

Tổng hợp các hệ thống điều khiển trong hệ thống lái tự động tàu thủy

PGS. TS. VƯƠNG ĐỨC PHÚC; ThS. ĐỖ VĂN A; ThS. TRƯƠNG CÔNG MỸ
Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

TÓM TẮT: Trên tàu thủy, hệ thống lái là một trong những hệ thống quan trọng nhất, trong khi hoạt động thì ở chế độ tự động được sử dụng nhiều nhất và đóng vai trò quan trọng cho con tàu hành trình an toàn, tăng tính kinh tế. Bài báo tổng hợp các bộ điều khiển đã và đang được sử dụng trong hệ thống lái, từ đó đề xuất 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.

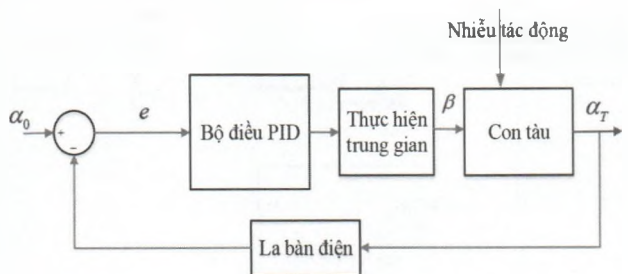
TỪ KHÓA: Hệ thống lái tàu thủy, hệ thống lái thích nghi, hệ thống lái mờ, điều khiển PID.

ABSTRACT: On a ship, the steering system is one of the most important systems, while in operation, the AUTO mode is used the most and plays an important role in the safety, increasing the economy of the ship. The article summarizes the controllers that have been and are being used in the steering system, thereby proposing a controller with better quality than those being used to control the rudder to move at the most suitable angle.

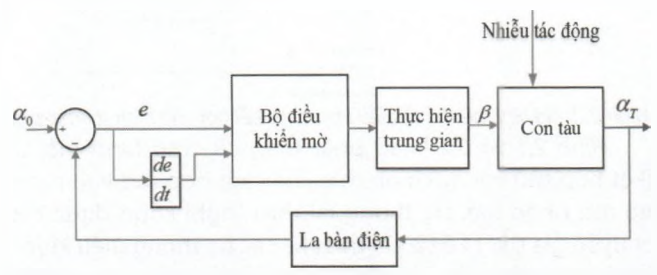
KEYWORDS: Steering gear system, ADPT marine autopilot, fuzzy autopilot, PID controller.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hệ thống lái tự động sử dụng bộ điều khiển PID [1] (tỷ lệ, tích phân và đạo hàm) đã được sử dụng trong nhiều năm do tính đơn giản, độ tin cậy và chi phí thấp. Hệ này có nhược điểm là khi điều kiện thời tiết thay đổi thì người dùng cũng phải thay đổi các tham số sao cho phù hợp, nhưng việc này là không đơn giản và khó chọn được tham số tối ưu dẫn tới tăng chi phí trong hải trình dài.



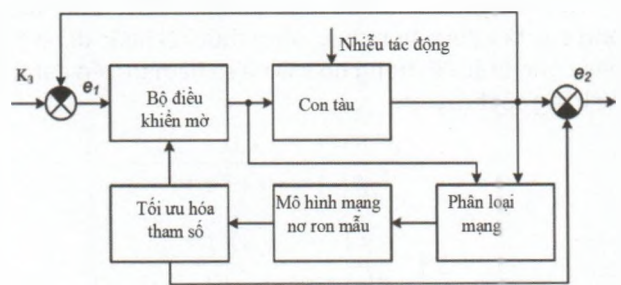
Hình 1.1: Mô hình hệ thống điều khiển PID



Hình 1.2: Mô hình hệ thống điều khiển mờ

Với sự gia tăng lớn của chi phí nhiên liệu thế giới vào đầu những năm 70 đã dẫn đến việc phát triển và áp dụng các phương pháp điều khiển tiên tiến hơn để đáp ứng nhu cầu cấp thiết nhằm giảm thiểu chi phí vận tải. Hệ thống lái tự động dựa trên các phương pháp thích ứng sử dụng mô hình mẫu và tự điều chỉnh [2-4]; kết hợp các thuộc tính của điều khiển thích nghi và tối ưu [5]. Tuy nhiên, rất ít thiết kế có kết quả được triển khai trên thực tế, khiến nhiều nhà nghiên cứu phải cân nhắc việc sử dụng các mô hình thông minh như logic mờ và mạng nơ-ron nhân tạo. Về mặt này, logic mờ [6], với nguồn gốc từ suy luận của con người được coi là cách tiếp cận thích hợp nhất có tiềm năng tái tạo những người điều khiển tàu có nhiều kinh nghiệm, từ đó tạo ra một bộ điều khiển có chất lượng tốt do hệ thống lái là đối tượng phi tuyến, không có mô hình toán học chính xác. 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.

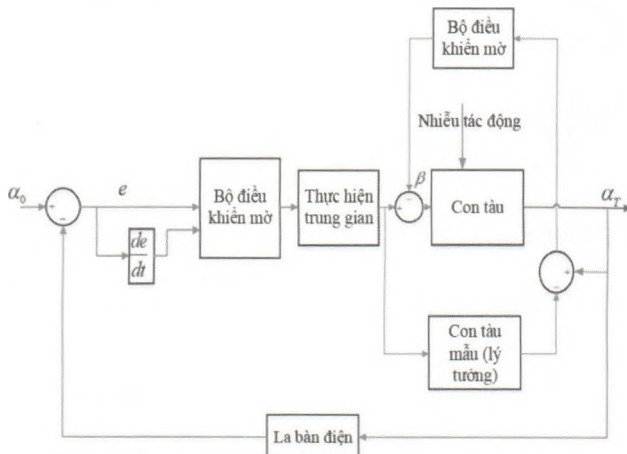
2. MÔ HÌNH BỘ ĐIỀU KHIỂN



Hình 2.1: Mô hình hệ thống điều khiển mờ - nơ-ron

2.1. Cấu trúc hệ thống

Cấu trúc hệ thống lái tự động sử dụng bộ PID truyền thống được chỉ ra ở Hình 1.1. Hình 1.2 chỉ ra mô hình hệ thống điều khiển mờ thuần túy.



Hình 2.2: Mô hình hệ thống điều khiển mờ kết hợp mô hình tham chiếu

Hình 2.1 và 2.2 là sự phát triển của mô hình mờ lai (kết hợp mờ với mô hình mẫu, hay kết hợp mờ với mạng nơ-ron nhân tạo). Hệ thống lái thích nghi cũng được các chuyên gia thiết kế và khi thiết kế các hệ thống điều khiển thích nghi phải đặc biệt chú ý vấn đề về hội tụ và tính bền vững. Tiêu chuẩn ổn định Lyapunov thường được sử dụng để tìm các luật điều khiển thích nghi và độ hội tụ. Điển hình cho hệ thống lái thích nghi đang sử dụng dưới tàu đó là hệ thống lái PR-6000-E.

2.2. Mô hình toán tàu thủy

Mô hình của một phương tiện hàng hải được Fossen [7] trình bày và được mô tả trong một hệ tọa độ 6 bậc tự do. Do chuyển động của con tàu trong một mặt phẳng nằm ngang, mô hình 6 bậc tự do được đơn giản hóa và giảm xuống còn 3 bậc tự do bao gồm tiến lùi, lắc dọc và quay trái phải. Vị trí và hướng đi của tàu trong hệ tọa độ tuyệt đối được biểu diễn dưới dạng vector. Trong nghiên cứu này, tàu là tàu hàng, có bánh lái thông thường, gắn phía đuôi. Bánh lái là một bề mặt nâng ở dạng tấm phẳng hoặc có tiết diện là profil có phần bù và được đặt sau chân vịt. Khi bề lái sẽ tạo ra lực giúp tàu chuyển hướng sang trái, phải. Trên hệ thống đó, α là hướng thực tế của con tàu lấy từ la bàn, β là góc bẻ của bánh lái, thì hàm truyền của con tàu được xác định theo:

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

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:

$$F(s) = \frac{\alpha(s)}{\beta(s)} = \frac{k_1(1+T_d s)}{s(1+T_1 s+T_2 s^2)} \tag{2}$$

$$F(s) = \frac{\alpha(s)}{\beta(s)} = \frac{k_1(1+T_d s)}{s(1+T_1 s)(1+T_2 s)} \tag{3}$$

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):

$$F(s) = \frac{\alpha(s)}{\beta(s)} = \frac{k_2(1+T_d s)}{s(1+T_1 s+T_2 s^2)} \tag{4}$$

3. MÔ PHỎNG HỆ THỐNG

3.1. Thiết kế bộ điều khiển mờ (FLC)

Bộ điều khiển căn tạo ra tín hiệu β để giữ cho tàu đúng hướng. Dựa trên tín hiệu đầu vào là sai lệch e giữ hướng đi thực α và hướng đi đặt α_0 và vi phân sai lệch de/dt cho bộ điều khiển mờ. Đầu ra của bộ điều khiển sẽ quy định tạo ra là góc bánh lái lệnh tuyệt đối.

Theo Hình 1.2 và Hình 2.2, bộ điều khiển mờ có tín hiệu vào là $e, de/dt$ có biến ngôn ngữ được chọn như sau:

$e = \{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB\};$

$de/dt = \{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB\}.$

Trong đó: NB - Âm lớn; NM - Âm trung bình; NS - Âm nhỏ; ZE - Không; PS - Dương nhỏ; PM - Dương trung bình; PB - 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, NB là -10 độ, PB là +10 độ.

Tương tự, đầu ra của bộ điều khiển là β có biến ngôn ngữ được chọn như sau:

$\beta = \{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB\}.$

Về giá trị để hệ thống đáp ứng nhanh ta chọn NB là -3 độ, PB là +35 độ. Ở đây, biến ngôn ngữ được chọn là 7 giá trị cho chất lượng điều khiển tăng, nhưng làm cho hệ phức tạp và đòi hỏi cấu hình cứng cao hơn.

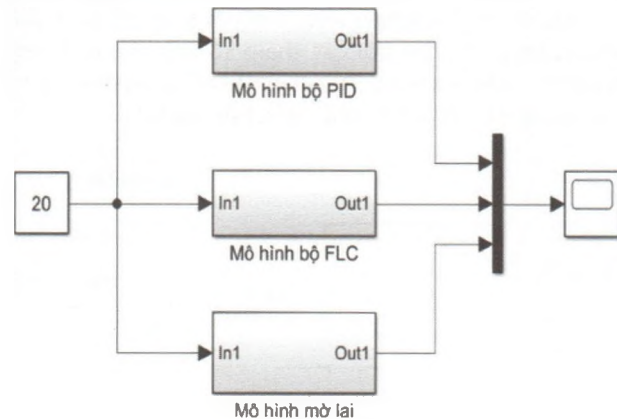
Bảng 3.1. Luật hợp thành bộ điều khiển mờ

e \ de/dt	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE
NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZE	PS
ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB	PB
PB	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	PB

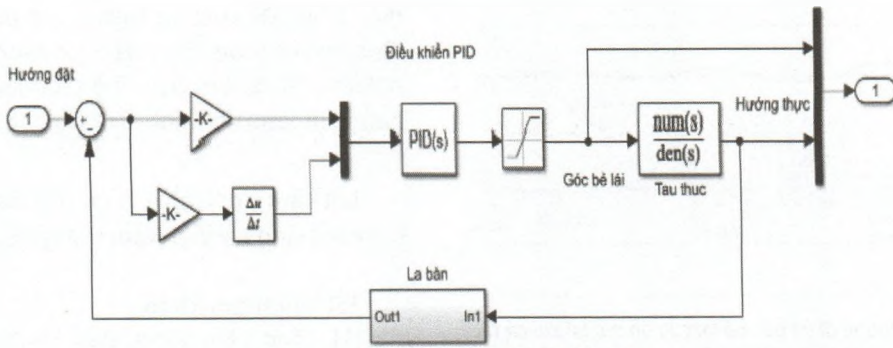
Luật điều khiển được chọn theo Bảng 3.1, phương pháp giải mờ trọng tâm với thiết bị hợp thành là MAX-MIN

3.2. Xây dựng mô hình trên Matlab Simulink

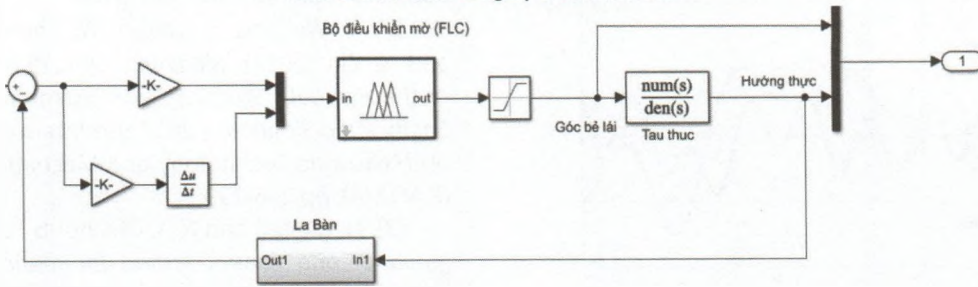
Hệ thống tổng thể được xây dựng trên Simulink được thể hiện trên Hình 3.1. Hình 3.2 - 3.4 là các mô hình con tương ứng. Trong bài báo này, nhóm tác giả tập trung phân tích kết quả mô phỏng con tàu theo hệ thống điều khiển Hình 1.1 và Hình 2.2 (mờ lai).



Hình 3.1: Mô hình tổng thể hệ thống



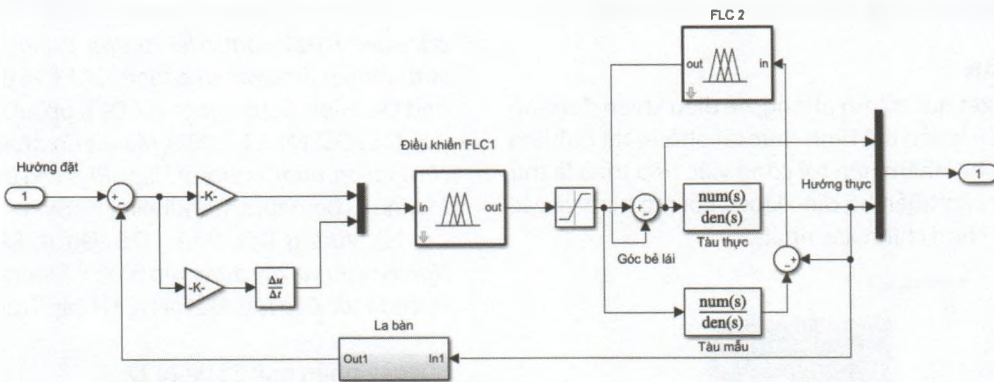
Hình 3.2: Mô hình dùng bộ điều khiển PID



Hình 3.3: Mô hình dùng bộ điều khiển mờ

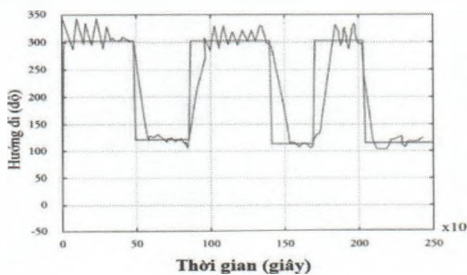
3.3. Kết quả mô phỏng

Hình 3.5 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.

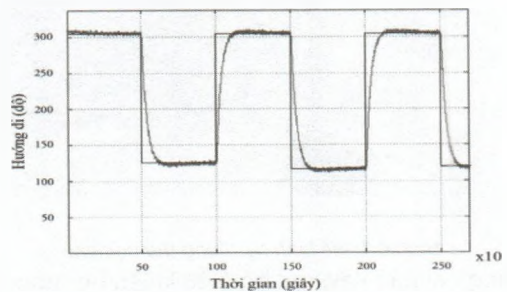


Hình 3.4: Mô hình dùng bộ điều khiển mờ lai

Hình 3.6 thể hiện hướng đi của tàu khi sử dụng mô hình điều khiển được 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.

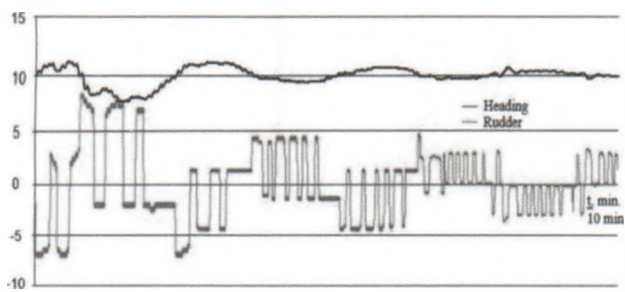


Hình 3.5: Sự thay đổi hướng đi của tàu khi sử dụng bộ điều khiển PID

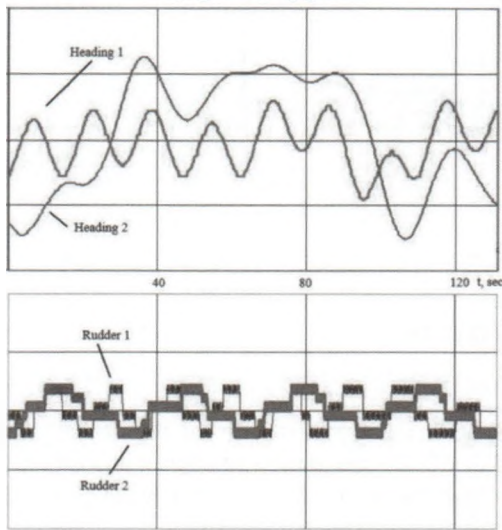


Hình 3.6: Sự thay đổi hướng đi của tàu khi sử dụng bộ điều khiển mờ lai

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.



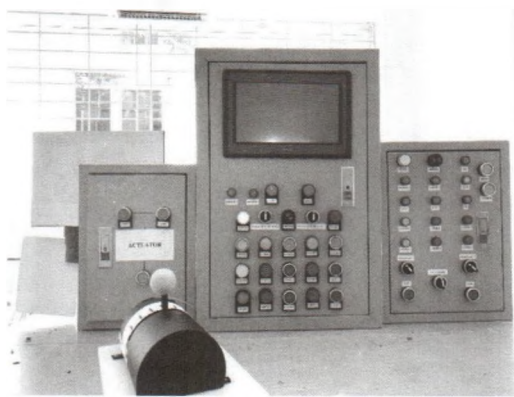
Hình 3.7: Sự thay đổi hướng đi và góc bẻ lái của bộ mờ lai khi có tác động của sóng gió



Hình 3.8: Phản ứng của hệ thống trên hai con tàu khác nhau

4. KẾT LUẬN

Sau khi có kết quả từ mô phỏng, hệ điều khiển được áp dụng trong điều khiển mô hình thực tại phòng thí nghiệm để đánh giá sơ bộ nhằm tiến tới công việc tiếp theo là thử xuống tàu để hoàn thiện bộ điều khiển với mô hình và các hệ số được lựa chọn chính xác nhất.



Hình 4.1: Mô hình hệ thống thử nghiệm

Trong bài báo này, các bộ điều khiển hệ thống lái đã được thống kê, phân tích và mô phỏng trên Matlab. 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 [8] để kiểm nghiệm, từ đó tìm được bộ điều khiển giúp tàu ổn định hướng đi, tăng tính kinh tế trong quá trình khai thác con tàu.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong Đề tài mã số DT21-22.54

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 (2012), *Adaptive Fuzzy Control via Command Filtering and Backstepping for Ship Course-Keeping*, Applied mathematics & information sciences, vol.6, no.3, pp.733-739.
 [6]. 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.
 [7]. FOSSEN, T. I. (2002), *Marine Control Systems. Guidance, Navigation, and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles*, Marine Cybernetics. Trondheim, Norway.
 [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 NCKH cấp Trường DT21-22.41.

Ngày nhận bài: 28/5/2022
Ngày chấp nhận đăng: 01/7/2022
Người phản biện: TS. Đào Quang Khanh
ThS. Lê Văn Tâm