

ỨNG DỤNG BỘ ĐIỀU KHIỂN LOGIC MỜ (FUZZY LOGIC CONTROLLER) TRONG MÁY LÁI TỰ ĐỘNG TÀU BIỂN APPLICATION OF FUZZY LOGIC CONTROLLER TO SHIPS AUTOPILOT

TS. NGUYỄN CÔNG VINH
Khoa Điều khiển tàu biển, Trường ĐHHH

Tóm tắt:

Bài viết này giới thiệu về nguyên lý hoạt động của bộ điều khiển logic mờ và ứng dụng cụ thể của nó trong máy lái tự động tàu thủy. Máy lái tự động này được lập trình trong Matlab và được lắp đặt, chạy thử nghiệm trên tàu mô hình tỉ lệ 1:24 của một tàu VLCC. Các kết quả thực nghiệm, chi tiết của máy lái được nêu trong bài viết này.

Abstract:

This paper introduces the overview of fuzzy logic controller and its application in a ship's autopilot. The introduced autopilot is programmed in Matlab, installed and tested on a model vessel of a VLCC, scaled 1:24. The detail construction of the autopilot and results of experiments are also introduced in this paper.

1. Giới thiệu chung

Từ chiếc máy lái tự động tàu thủy đầu tiên lắp đặt trên tàu dầu J.A. Moffet năm 1920 đến nay, kỹ thuật điều khiển áp dụng trong máy lái đã tiến được một bước dài. Cho đến năm 1970, các bộ điều khiển chủ yếu là loại PID hoặc PID kết hợp với các phương pháp bổ sung khác. Cho đến thập kỷ 80, với sự ra đời và phát triển của máy tính và các bộ vi điều khiển, nhiều lý thuyết mới được áp dụng và cho ra đời nhiều loại bộ điều khiển khác nhau như bộ điều khiển ứng dụng logic mờ, ứng dụng mạng nơron, hệ thống chuyên gia...[1].

Bài viết này giới thiệu về bộ điều khiển logic mờ và ứng dụng của nó trong máy lái tự động tàu thủy. Máy lái giới thiệu trong bài viết này được thiết kế và lắp đặt chạy thử nghiệm trên một tàu mô hình tại Trung tâm huấn luyện và nghiên cứu Ilawa, Ba lan.

2. Logic mờ (Fuzzy logic) là gì? Tại sao sử dụng?

Lý thuyết fuzzy logic được Zadeh, L.A. nêu ra lần đầu tiên vào năm 1965 [4]. Lý thuyết này giải quyết các bài toán rất gần với cách tư duy của con người. Tới nay, lý thuyết logic mờ đã phát triển rất mạnh mẽ và được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực của cuộc sống.

Theo logic truyền thống (traditional logic), một biểu thức logic chỉ nhận một trong hai giá trị: True hoặc False. Khác với lý thuyết logic truyền thống, một biểu thức logic mờ có thể nhận một trong vô số giá trị nằm trong khoảng số thực từ 0 đến 1. Nói cách khác, trong logic truyền thống, một sự kiện chỉ có thể hoặc là đúng (tương đương với True - 1) hoặc là sai (tương đương với False - 0) còn trong logic mờ, mức độ đúng của một sự kiện được đánh giá bằng một số thực có giá trị nằm giữa 0 và 1, tùy theo mức độ đúng "nhiều" hay "ít" của nó.

Giá trị của các biến trong biểu thức logic mờ không phải là các con số mà là các khái niệm, ví dụ như "nhanh", "trung bình", "chậm" hay "nóng", "vừa", "lạnh"... Chính vì vậy cách giải quyết các bài toán trong logic mờ rất gần với cách tư duy của con người [1].

3. Ứng dụng bộ điều khiển logic mờ trong máy lái tự động tàu thủy

3.1 Mô tả cách lái tàu thủy bằng lý thuyết logic mờ

Một trong những nhiệm vụ của thủy thủ lái là điều khiển con tàu đi theo hướng đi định trước. Để làm điều đó, sinh viên được học các qui tắc điều khiển bánh lái con tàu căn cứ theo độ lệch hướng đi và tốc độ ngả mũi của tàu, ví dụ như: "nếu tàu lệch hướng sang phải một góc nhỏ và đang ngả mũi chậm sang phải thì bẻ bánh lái sang trái một góc nhỏ; nếu tàu lệch hướng sang phải một góc nhỏ và đang ngả mũi chậm sang trái thì bánh lái để Zero; nếu tàu lệch hướng sang phải một góc nhỏ và đang ngả mũi với tốc độ trung bình sang phải thì bẻ bánh lái sang trái một góc trung bình;..." Các khái niệm nhỏ, trung bình, lớn, nhanh, chậm là các khoảng giá trị và được đánh

giá bằng cảm quan của người điều khiển tàu. Các khái niệm này rất gần gũi với con người nhưng lại rất “khó hiểu” đối với máy móc.

Lý thuyết tập mờ đã chứng minh được tính ưu việt của nó khi giải quyết các bài toán trong thực tế bằng cách xử lý các “khái niệm” chứ không chỉ xử lý các “con số” cụ thể. Trong bài toán lái tàu theo hướng đi yêu cầu nói trên, góc lệch hướng $\Delta\Psi$, tốc độ quay trở r , góc bẻ lái δ được định nghĩa với các khái niệm như sau:

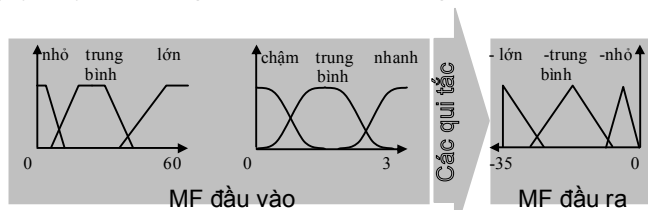
- $\Delta\Psi \in [“Zero”, \pm“nhỏ”, \pm“trung bình”, \pm“lớn”];$
- $r \in [“Zero”, \pm“chậm”, \pm“trung bình”, \pm“nhanh”];$
- $\delta \in [“Zero”, \pm“nhỏ”, \pm“trung bình”, \pm“lớn”].$

Với các định nghĩa trên, các qui tắc lái tàu được biểu diễn bằng biểu thức logic mờ như sau:

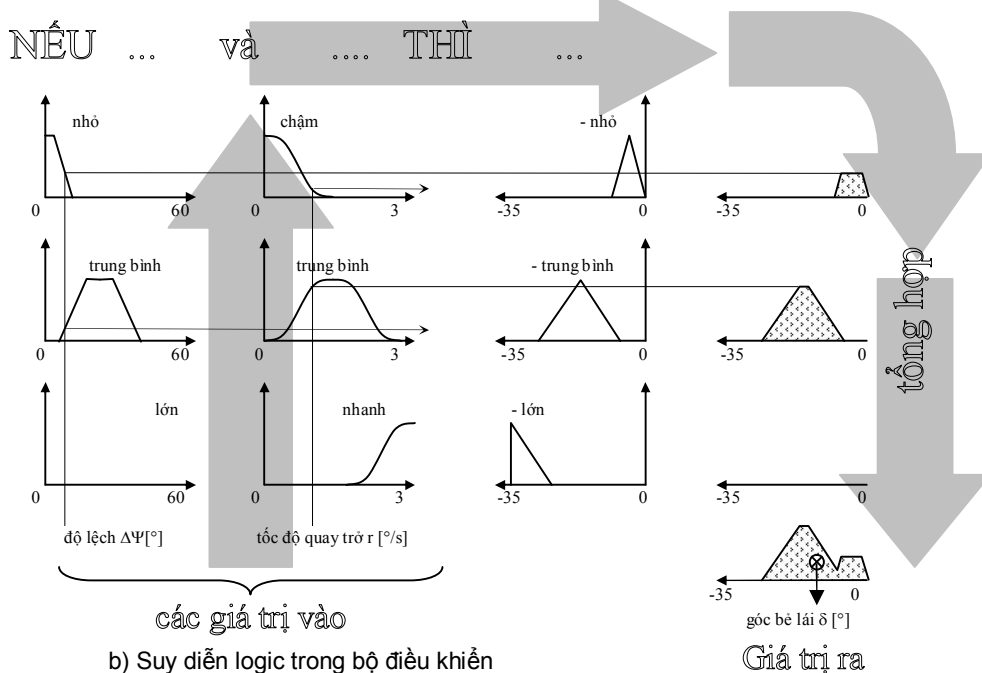
- NẾU ($\Delta\Psi$ là +nhỏ) và (r là +chậm) THÌ (δ là -nhỏ)
- NẾU ($\Delta\Psi$ là +nhỏ) và (r là -chậm) THÌ (δ là Zero)
- NẾU ($\Delta\Psi$ là +nhỏ) và (r là +trung bình) THÌ (δ là -trung bình)

Để thấy rằng, các biểu thức trên chỉ chứa các khái niệm, hoàn toàn không chứa các con số hay phương trình toán học nào hết, nó rất giống với các qui tắc lái tàu mà sinh viên được học.

3.2 Nguyên lý hoạt động của bộ điều khiển logic mờ



a) Các Membership Function của bộ điều khiển



b) Suy diễn logic trong bộ điều khiển

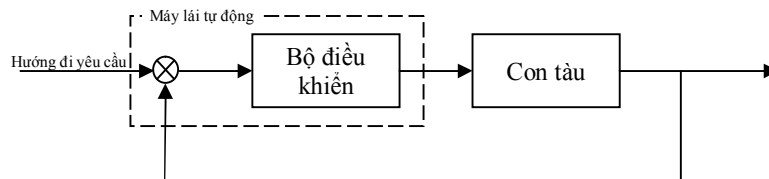
Hình 1. Các Membership Function và quá trình suy diễn logic trong bộ điều khiển logic mờ

Bộ điều khiển logic mờ được cấu tạo gồm các Membership Functions (MF) đầu vào, đầu ra cùng một loạt các qui tắc liên hệ giữa chúng (xem Hình 1a). Từ một giá trị cụ thể của đầu vào, bộ điều khiển tiến hành việc “mờ hoá” tại các MF đầu vào, tức là đánh giá xem tín hiệu đó thuộc vào mức nào trong các mức đã định nghĩa trước. Sau khâu này, tín hiệu đầu vào được chuyển

sang các giá trị dạng khái niệm như “nhANH”, “chẬM”, “lỚN”, “nhỎ”... Một giá trị đầu vào có thể thuộc một hay nhiều mức của bộ điều khiển. Trong Hình 1b, giá trị đầu vào độ lệch $\Delta\Psi$ nằm trong cả hai mức giá trị **nhỏ** và **trung bình**; tốc độ quay trở r cũng thuộc cả hai mức **chậm** và **trung bình**. Tiếp theo, các khái niệm này được xử lý theo các qui tắc của bộ điều khiển và cho ra kết quả là một miền giá trị được tạo bởi các phần của MF đầu ra (xem Hình 1b). Từ miền giá trị kết quả này, khối “giải mờ” của bộ điều khiển tiến hành biến đổi ngược để được một giá trị cụ thể cho đầu ra [1].

3.3 Bộ điều khiển logic mờ trong máy lái tự động tàu thủy

Bộ điều khiển logic mờ giới thiệu trong phần này là bộ điều khiển được thiết kế và thử nghiệm trên tàu Blue Lady của Trung tâm huấn luyện và nghiên cứu Ilawa, Ba lan [3]. Bộ điều khiển này có một nhiệm vụ duy nhất là giữ ổn định hướng đi của tàu theo giá trị yêu cầu.

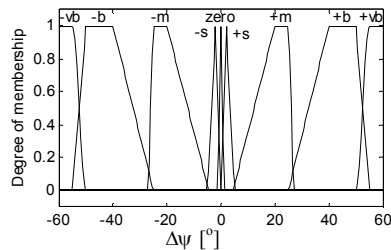


Hình 2. Sơ đồ nguyên lý của máy lái tự động

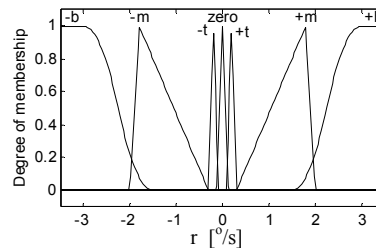
Các tham số của bộ điều khiển được nêu trong Bảng 1. Bộ điều khiển này sử dụng phương thức “giải mờ” (defuzzification) kiểu bisector kết hợp với các MF đầu ra có hình dáng đặc biệt (0) để tạo ra các tín hiệu điều khiển dạng xung với chiều dài xung biến đổi. Đây là một phương pháp điều khiển phù hợp với tính năng điều động của tàu Blue Lady và có nhiều ưu điểm (xem phần 3.4).

Bảng 1. Các tham số của bộ điều khiển

FIS type	Mamdani
# Inputs	2
# Outputs	1
AND method	min
OR method	max
Implication	min
Aggregation	max
Defuzzification	bisector



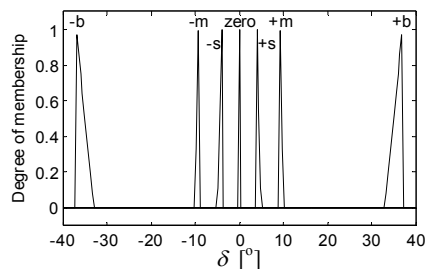
a) Độ lệch hướng đi



b) Tốc độ quay trở

Hình 3. Các MF đầu vào của bộ điều khiển

Tín hiệu đầu vào của bộ điều khiển là độ lệch hướng đi $\Delta\Psi$ và tốc độ quay trở r . Các MF đầu vào của bộ điều khiển được định nghĩa như trên Hình 3. Độ lệch hướng đi được chia làm 9 mức. Khi độ lệch nằm ngoài miền giá trị $[-60..+60]$, bộ điều khiển sẽ áp dụng các qui tắc giống như khi độ lệch đạt giá trị $\pm 60^\circ$ (mức $\pm vb$). Miền giá trị của các MF tốc độ quay trở nằm trong khoảng $[-3.5 .. + 3.5]$ và được chia làm 7 mức. Các mức này được xây dựng dựa trên cơ sở tốc độ quay trở thực tế của con tàu.

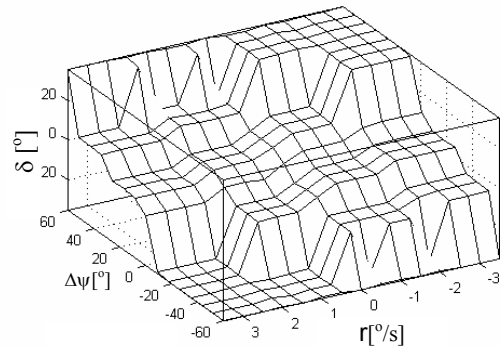


Hình 4. Các MF đầu ra của bộ điều khiển

Các MF đầu ra của bộ điều khiển được định nghĩa như trong 0 bao gồm 7 mức. Các góc bẻ lái được đặt các mức $\pm 5^\circ$, $\pm 10^\circ$ và $\pm 35^\circ$ là các mức thường sử dụng để giữ hướng tàu, quay trở tàu và tạo gia tốc ban đầu khi tàu bắt đầu quay trở với góc chuyển hướng lớn. Máy lái tự động giới thiệu trong bài viết này sử dụng phương pháp điều khiển bằng xung lực với độ dài xung biến thiên theo thời gian để điều khiển tàu vì vậy miền giá trị của các MF đầu ra được định nghĩa là các miền đứng độc lập, không giao nhau.

Bộ các qui tắc điều khiển gồm 63 qui tắc được thể hiện trong Hình 4. Các qui tắc này được thiết lập hoàn toàn dựa trên kinh nghiệm thực tế, tương tự như việc dạy cho sinh viên nêu trong phần 3.1.

		Độ lệch hướng đi								
		-vb	-b	-m	-s	z	+s	+m	+b	+vb
Tốc độ quay trở	-b	-b	-s	+s	+m	+m	+m	+b	+b	+b
	-m	-b	-m	z	+s	+s	+s	+m	+b	+b
	-t	-b	-m	-s	+s	+s	+s	+m	+m	+b
	z	-b	-m	-s	-s	z	+s	+s	+m	+b
	+t	-b	-m	-m	-s	-s	-s	+s	+m	+b
	+m	-b	-b	-m	-s	-s	-s	z	+m	+b
	+b	-b	-b	-b	-m	-m	-m	-s	+s	+b



Hình 4. Các qui tắc của bộ điều khiển

3.4 Các thực nghiệm và kết quả

Như đã nêu trong phần 3.3, máy lái được lắp đặt và thực nghiệm trên tàu Blue Lady. Đây là một tàu mô hình tỉ lệ 1:24 của một tàu VLCC. Tàu Blue Lady có các kích thước như trong Bảng 2 và hình ảnh như trên 0.

Bảng 2. Các thông số của tàu thật và mô hình

Các thông số	Tàu thật	Blue Lady
Chiều dài toàn bộ	330.65[m]	13.75[m]
Chiều rộng	57.00[m]	2.38[m]
Mớn nước toàn tải	20.60[m]	0.86[m]
Lượng giãn nước toàn tải	315000[t]	22.83[t]
Mớn nước không tải	12[m]	0.5[m]
Lượng giãn nước không tải	176 000[t]	12.46[t]
Tốc độ	15.2[kn]	3.10[kn]

Con tàu này có đường đặc tính lái phi tuyến không ổn định, một đặc tính thường có ở các tàu VLCC. Góc chết của bánh lái (dead zone) là $[-5^\circ..+5^\circ]$. Với đặc tính này, khi bẻ lái góc nhỏ hơn 5° về mỗi bên mạn, tốc độ quay trở của tàu không dự đoán trước được, thậm chí có trường hợp bẻ lái sang phải nhưng tàu tiếp tục ngả mũi sang trái. Khi thực nghiệm trên hồ, hiệu ứng này gây không ít khó khăn trong việc giữ ổn định hướng cho tàu, thậm chí ngay cả khi lái tay.

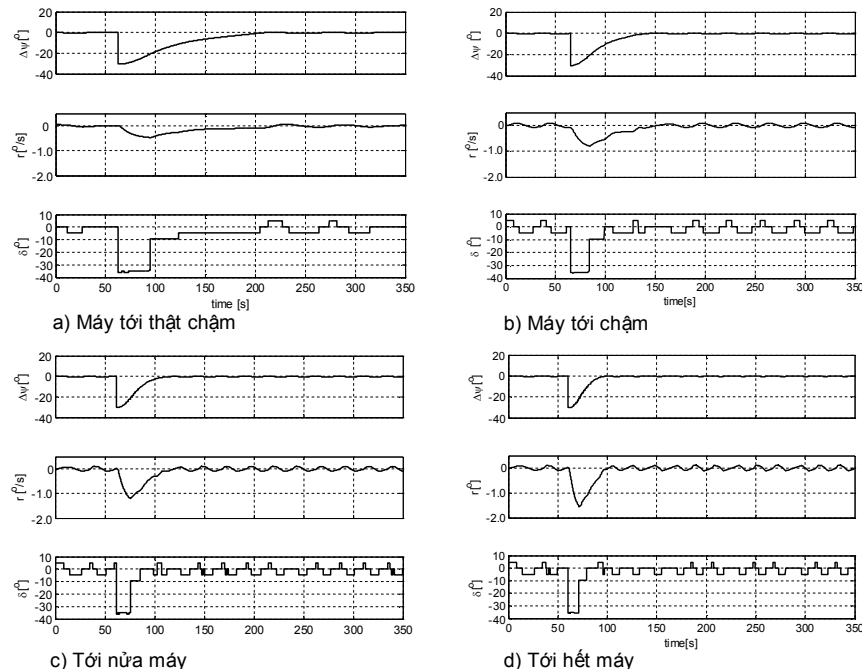


Hình 6. Tàu Blue Lady trên hồ của trung tâm nghiên cứu Ilaa

Thực nghiệm để đánh giá khả năng giữ hướng của máy lái được tiến hành như sau: Đặt hướng lái yêu cầu là 0° và chờ cho máy lái giữ hướng tàu ổn định tại hướng đi này. Khi tàu đã ổn định hướng đi, đột ngột thay đổi hướng đi yêu cầu sang hướng 30° và theo dõi khả năng chuyển hướng, ổn định hướng đi của máy lái. Thực nghiệm được tiến hành với các chế độ máy khác nhau của tàu: tới hết máy, tới nửa máy, tới chậm và tới thật chậm.

Kết quả thực nghiệm được thể hiện trên Hình 5. Khi tàu chạy với chế độ tới hết máy, thời gian để hoàn thành việc chuyển hướng và ổn định trên hướng đi mới là 40 giây. Khi tàu chạy với

chế độ máy tới thật chậm, thời gian để hoàn thành công việc trên là 140 giây. Trong tất cả các trường hợp, hướng mũi tàu đều được giữ ổn định với sai số hướng đi $\pm 1.5^\circ$, tốc độ đảo mũi tàu nằm trong phạm vi $\pm 0.1^\circ/\text{giây}$.



Hình 5. Kết quả thực nghiệm của máy lái

Phương pháp điều khiển bằng xung lực với độ dài xung biến đổi theo thời gian được thực hiện với việc ấn định góc bẻ lái tại các mức $\pm 35^\circ$, $\pm 10^\circ$, $\pm 5^\circ$, và thay đổi thời gian bẻ lái của bánh lái. Các đặc điểm này được thể hiện rất rõ trên đồ thị góc bẻ lái δ (Hình 5). Trên đồ thị có thể thấy việc tự động chỉnh thời gian bẻ lái để thích nghi với tốc độ tàu của máy lái. Khi tàu đã ổn định hướng, nếu máy chạy ở chế độ tới chậm thì thời gian bẻ lái từ 5 đến 10 giây về mỗi bên mạn; còn khi tàu chạy ở chế độ tới hết máy, thời gian bẻ lái về mỗi bên mạn chỉ còn từ 2 đến 5 giây.

Kết quả thực nghiệm cho thấy, phương pháp điều khiển này có ưu điểm là phù hợp với phạm vi rộng tốc độ của tàu. Nó có thể áp dụng được với cả loại tàu có đường đặc tính lái phi tuyến ổn định và không ổn định.

4. Kết luận

Phương pháp giải quyết các bài toán trong lý thuyết logic tập mờ rất gần với tư duy con người. Nhờ đó, phương pháp này có thể giải quyết được các bài toán có độ phức tạp cao, có chứa đựng nhiều yếu tố không rõ ràng. Việc ứng dụng lý thuyết tập mờ vào máy lái tàu thủy đã cho kết quả tốt. Các kết quả thực nghiệm với tàu mô hình đều cho kết quả lái ổn định, sai số chấp nhận được. Đặc biệt, máy lái đã điều khiển tàu tốt trong phạm vi biến đổi tốc độ rộng.

Với khả năng xử lý các khái niệm gần gũi với cuộc sống con người. Việc kết hợp lý thuyết mờ với các phương pháp khác như mạng nơ-ron, trí tuệ nhân tạo... chắc chắn sẽ mở ra một hướng nghiên cứu với nhiều triển vọng khả quan.

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- [1] Heikki K. *Soft computing in dynamical systems*. AS-74.115
- [2] N.P.Hưng, *Máy lái tự động kiểu thích nghi dùng mạng nơ-ron nhân tạo điều khiển theo quỹ đạo*, Tạp chí chuyên ngành khoa Điều khiển tàu biển, số 10, 2008
- [3] N.C.Vinh, *The synthesis of trajectory regulator using fuzzy logic theory in a marine vessel autopilot*, Gdynia, Poland 2007
- [4] Passino K., Yurkovich S., *Fuzzy control*, Addison Wesley, 1998

Người phản biện: TS. Nguyễn Phùng Hưng