



Hệ thống thực nghiệm số (Digital Testbed) phục vụ nghiên cứu điều khiển tàu thủy: Ứng dụng trong phát triển máy lái tự động

A Digital Testbed system for marine control research: Application to ship autopilot development

Nguyễn Công Vinh*

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Từ khóa:

TÓM TẮT

Thực nghiệm số;
Tự động điều khiển;
Mô hình động lực học tàu thủy;
NMEA 0183;
Máy lái tự động tàu thủy.

Bài báo giới thiệu một hệ thống thực nghiệm số (Digital Testbed) phục vụ nghiên cứu điều khiển tàu thủy, do tác giả xây dựng và phát triển. Tính mới của hệ thống thể hiện ở kiến trúc mô-đun, cho phép tích hợp các mô hình động lực học tàu, mô hình môi trường và các thuật toán điều khiển trong một nền tảng thống nhất, hỗ trợ người nghiên cứu thiết lập và thực hiện thực nghiệm một cách nhanh chóng. Hệ thống được phát triển ở hai cấp độ: (i) cấp độ 1 mô phỏng tập trung trên một máy tính với ưu điểm tốc độ xử lý cao, phù hợp cho các nghiên cứu lý thuyết; (ii) cấp độ 2, các mô-đun làm việc trên các máy tính khác nhau và kết nối qua cổng COM theo chuẩn NMEA 0183, cho phép thực nghiệm trong điều kiện gần thực tế và có thể kết nối trực tiếp với các thiết bị hàng hải. Hệ thống hỗ trợ thực hiện nhiều hướng nghiên cứu khác nhau như phát triển và kiểm chứng các thuật toán điều khiển, xây dựng và hiệu chỉnh mô hình động lực học tàu thủy, cũng như nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố môi trường đến chuyển động của tàu. Trong bài báo, hoạt động của hệ thống được minh họa thông qua việc thử nghiệm một máy lái tàu thủy (ship autopilot) trên cả hai cấp độ của hệ thống.

Keywords:

ABSTRACT

Digital Testbed;
Marine Control Systems;
Ship Dynamics Modeling;
NMEA 0183;
Communication, Ship Autopilot.

This paper presents a Digital Testbed system for marine control research, developed by the author. The novelty of the system lies in its modular architecture, which enables the integration of ship dynamics models, environmental models, and control algorithms within a unified platform, allowing researchers to quickly set up and conduct experiments. The system is developed at two levels: (i) Level 1, a centralized simulation on a single computer with the advantage of high computational speed, suitable for theoretical studies; and (ii) Level 2, in which modules operate on different computers and are interconnected via COM ports using the NMEA 0183 standard, enabling experiments under near real-world conditions and direct connection with marine equipment. The system supports various research directions, including the development and validation of control algorithms, the construction and calibration of ship dynamics models, as well as the study of environmental effects on ship motion. In this paper, the system operation is demonstrated through the testing of a ship autopilot at both levels of the system.

* Nguyễn Công Vinh. Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email: vinhnc@vimaru.edu.vn

<https://www.doi.org/10.55228/JTST150301>

Ngày nhận bài: 15/01/2026; Ngày nhận bài sửa: 27/03/2026; Ngày chấp nhận đăng: 08/04/2026

Ngày xuất bản trực tuyến: 15/05/2026

pISSN: 1859-4263; eISSN: 3030-4261

1. Đặt vấn đề

Điều khiển tự động chuyển động tàu thủy đã được nghiên cứu và phát triển từ rất sớm. Ngay từ đầu thế kỷ XX, các hệ thống máy lái tự động (ship autopilot) đã bắt đầu được triển khai nhằm hỗ trợ người điều khiển duy trì hướng đi ổn định trong các hành trình dài trên biển. Ngày nay, phạm vi điều khiển chuyển động tàu thủy đã được mở rộng, không chỉ dừng lại ở việc giữ hướng mà còn bao gồm các bài toán phức tạp hơn như điều khiển định vị động (dynamic positioning) cho tàu dịch vụ [7], điều khiển giảm lắc nhằm nâng cao độ ổn định và an toàn của tàu [2], cùng nhiều ứng dụng khác. Các phương pháp điều khiển cũng ngày càng đa dạng như điều khiển thích nghi, điều khiển mờ [6, 9], mạng nơ-ron... yêu cầu việc thực nghiệm với các con tàu khác nhau, các điều kiện tải trọng khác nhau, điều kiện môi trường khí tượng, thủy văn khác nhau để huấn luyện, điều chỉnh thông số cũng như khẳng định khả năng tự động thích nghi của bộ điều khiển đối với đối tượng điều khiển.

Việc thử nghiệm trực tiếp các hệ thống điều khiển trên tàu thật thường gặp nhiều khó khăn như chi phí cao, khó kiểm soát điều kiện môi trường và hạn chế về khả năng lặp lại các thí nghiệm. Vì vậy, việc xây dựng các môi trường thử nghiệm số cho phép mô phỏng chuyển động tàu và thử nghiệm các thuật toán điều khiển đang trở thành một hướng nghiên cứu quan trọng và đang được thế giới quan tâm [1, 4].

Bài báo này giới thiệu một hệ thống mô hình thử nghiệm số (Digital Testbed) phục vụ nghiên cứu điều khiển tàu thủy đã được tác giả xây dựng. Hệ thống cho phép mô phỏng động lực học của một số loại tàu cùng tác động của môi trường giúp người nghiên cứu có thể thực hiện các thực nghiệm một cách thuận lợi.

Để minh họa hoạt động của hệ thống Digital Testbed, bài báo mô tả việc sử dụng hệ thống trong thử nghiệm một máy lái tự động. Mục tiêu của các thử nghiệm này không phải nhằm đề xuất một thuật toán dành cho máy lái tự động tàu thủy mới, mà nhằm minh họa khả năng của hệ thống Digital Testbed trong việc hỗ trợ nghiên cứu và đánh giá các hệ thống điều khiển tàu thủy.

2. Giới thiệu hệ thống Digital Testbed

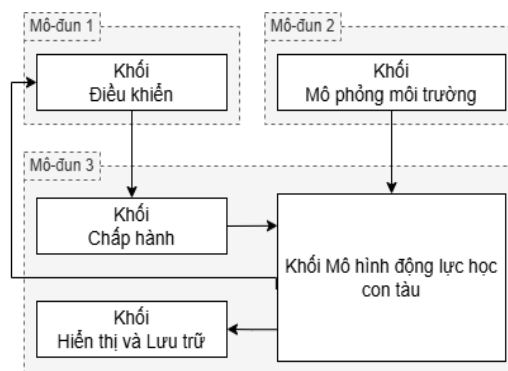
Hệ thống Digital Testbed được thiết kế gồm các

mô-đun chính sau:

Mô-đun 1: Chứa các bộ điều khiển

Mô-đun 2: Chứa các mô hình mô phỏng môi trường

Mô-đun 3: Chứa các mô hình mô phỏng động lực học tàu, khối chấp hành, lưu trữ và hiển thị.



Hình 1. Sơ đồ khối Hệ thống Digital Testbed

Với thiết kế như vậy, người nghiên cứu thuộc lĩnh vực nào chỉ cần đưa sản phẩm của mình vào khối tương ứng, thực hiện các kết nối (đã chuẩn hóa) tới các khối còn lại và tiến hành thực nghiệm. Mỗi khối đều có chứa sẵn nhiều mô hình là kết quả nghiên cứu của nhiều tác giả nên việc thực nghiệm sẽ có kết quả đa dạng, phong phú. Cụ thể với các thực nghiệm trong bài báo này, người nghiên cứu chỉ cần đưa máy lái tự động của mình vào *Mô-đun 1*, thực hiện các kết nối đơn giản là đã có thể thử nghiệm điều khiển với nhiều mô hình động lực học tàu thủy đã tích hợp sẵn trong *Mô-đun 3* với các tác động môi trường từ *Mô-đun 2*.

Ở góc độ khác, người nghiên cứu về mô hình động lực học tàu thủy có thể đưa mô hình của mình vào *Mô-đun 3* và thực nghiệm với các máy lái tự động, mô hình môi trường có sẵn của các tác giả khác đã tích hợp trong *Mô-đun 1* và *Mô-đun 2*.

Để phù hợp với các giai đoạn khác nhau trong nghiên cứu, hệ thống Digital Testbed được thiết kế với hai cấp độ:

Cấp độ 1, các mô-đun (Hình 1) được thiết lập trong môi trường Simulink của Matlab và chạy trên cùng một máy tính. Kết nối dữ liệu giữa các mô-đun sử dụng đường kết nối của Simulink. Ở cấp độ này, hệ thống chạy với tốc độ nhanh nhất mà máy tính cho phép. Ưu điểm của cấp độ này là thời gian

chạy thực nghiệm nhanh, hệ thống gọn gàng; phù hợp với giai đoạn nghiên cứu ở mức độ lý thuyết.

Cấp độ 2, các mô-đun (Hình 1) có thể là thiết bị thật hoặc các mô hình, thuật toán được cài đặt trên các máy tính khác nhau. Kết nối dữ liệu giữa các mô-đun (thiết bị thật hoặc máy tính) thông qua các cổng kết nối vật lý theo chuẩn NMEA trong hàng hải. Ở cấp độ này Hệ thống có thể chạy với thời gian thực, phù hợp với giai đoạn nghiên cứu ứng dụng, chế tạo thiết bị.

3. Thư viện mô hình tàu trong hệ thống Digital Testbed

Một trong những phần quan trọng của hệ thống Digital Testbed là thư viện mô hình tàu thủy để thực hiện thử nghiệm các thuật toán điều khiển.

Các mô hình động lực học con tàu trong hệ thống Digital Testbed được xây dựng dựa trên các mô hình toán học được trình bày trong các công trình nghiên cứu của Thor I. Fossen [3]. Các mô hình này được xây dựng theo phương trình động lực học sau:

$$M\dot{v} + C(v)v + D(v)v + g(\eta) = \tau \quad (1)$$

Trong đó, ma trận khối lượng tổng hợp M bao gồm hai thành phần là khối lượng thân tàu (rigid body) và khối lượng gia tăng (added mass) do tương tác thủy động giữa thân tàu và môi trường nước. Ma trận này phản ánh đặc tính quán tính của hệ thống và có ảnh hưởng trực tiếp đến đáp ứng động lực học của con tàu. Ma trận $C(v)$ mô tả các lực quán tính phụ thuộc vận tốc, thể hiện tính phi tuyến đặc trưng của chuyển động tàu thủy. Ma trận giảm chấn $D(v)$ biểu diễn các lực cản thủy động, thường bao gồm cả thành phần tuyến tính và phi tuyến theo vận tốc. Các lực và mô men thủy tĩnh được mô tả thông qua vectơ $g(\eta)$, phản ánh ảnh hưởng của lực nổi và mô men phục hồi đến chuyển động của con tàu, đặc biệt đối với các chuyển động lắc ngang và lắc dọc. Vectơ τ là tổng các lực và mô men tác dụng lên tàu, bao gồm lực điều khiển sinh bởi các hệ thống chấp hành như chân vịt và bánh lái, cũng như các lực môi trường như gió, sóng và dòng chảy.

Hiện tại đã có nhiều mô hình động lực học tàu thủy được nghiên cứu bởi nhiều nhà nghiên cứu với các mục đích nghiên cứu khác nhau ở Việt Nam cũng như nhiều nước trên thế giới [5][8]. Nhờ đó, thư viện mô hình tàu có thể được mở rộng theo thời gian, tạo thành một cơ sở dữ liệu mô hình phục vụ lâu dài cho các nghiên cứu về điều khiển tàu thủy.

Trong phiên bản hiện tại, thư viện của hệ thống Digital Testbed đã tích hợp các mô hình tàu tiêu biểu do nhóm nghiên cứu của Thor I. Fossen đề xuất. Đó là các tàu mariner, container, Lcontainer, tanker...

4. Sử dụng hệ thống Digital Testbed trong nghiên cứu điều khiển tàu thủy

Để minh họa việc sử dụng hệ thống Digital Testbed trong nghiên cứu điều khiển tàu thủy, một bộ điều khiển của máy lái tự động sử dụng phương pháp điều khiển mờ (Fuzzy control) được triển khai trong hệ thống để điều khiển các mô hình tàu đã tích hợp sẵn.

Thông qua các kịch bản thực nghiệm với sự thay đổi về tốc độ tàu, loại tàu và điều kiện môi trường, tác giả muốn minh họa tính ưu việt của hệ thống Digital Testbed. Đó là việc giúp cho người nghiên cứu nhanh chóng thiết lập và so sánh các tình huống, bài toán khác nhau mà không cần thay đổi cấu trúc mô hình tổng thể; tiết kiệm thời gian trong nghiên cứu và hỗ trợ cho kết quả nghiên cứu được đa dạng và toàn diện hơn.

Các bài thực nghiệm được thực hiện ở cả hai cấp độ của hệ thống.

4.1. Máy lái tự động Fuzzy

Máy lái Fuzzy được sử dụng trong thực nghiệm có các hàm thuộc đầu vào, đầu ra mô phỏng theo cách lái của một thủy thủ lành nghề với hai đầu vào là độ lệch hướng đi ($\Delta\psi$) và tốc độ chuyển hướng (r) của tàu. Thông số các hàm thuộc này được thể hiện trên Bảng 1 và Bảng 2 [9].

Bảng 1. Hàm thuộc đầu vào 1 của Máy lái Fuzzy ($\Delta\psi$).

-vb	-b	-m	-s	zero	+s	+m	+b	+vb
zmf	trapmf	trapmf	trimf	trimf	trimf	trapmf	trapmf	smf
[-55 -50]	[-55 -50 -40 -25]	[-27 -25 -20 -4,5]	[-5 -1,5 0]	[-1 0 1]	[0 1,5 5]	[4,5 20 25 27]	[25 40 50 55]	[50 55]

Bảng 2. Hàm thuộc đầu vào 2 của Máy lái Fuzzy (r).

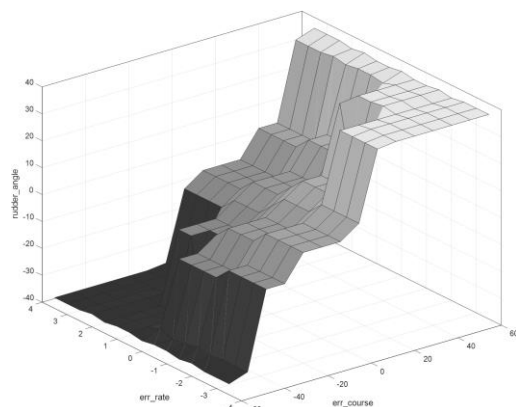
-b	-m	-t	zero	+t	+m	+b
zmf	trimf	trimf	trimf	trimf	trimf	smf
[-3 -1,5]	[-2 -1,8 -0,3]	[-0,31 -0,2 -0,08]	[-0,12 0 0,12]	[0,08 0,2 0,31]	[0,3 1,8 2]	[1,5 3]

Máy lái Fuzzy có một đầu ra là góc bẻ lái (δ) với hàm thuộc như trong Bảng 3 [9].

Bảng 3. Hàm thuộc đầu ra Máy lái Fuzzy (δ).

-b	-m	-s	zero	+s	+m	+b
trimf	trimf	trimf	trimf	trimf	trimf	trimf
[-37 -37 -33]	[-10 -10 -9]	[-5 -5 -4]	[-0,1 0 0,1]	[4 5 5]	[9 10 10]	[33 37 37]

Bộ điều khiển Fuzzy của máy lái sử dụng 63 luật mờ tạo lên bề mặt điều khiển như trong Hình 2.



Hình 2. Bề mặt điều khiển Máy lái Fuzzy.

4.2. Mô hình tàu được sử dụng trong thực nghiệm

Trong thực nghiệm, máy lái Fuzzy điều khiển hai mô hình tàu do Thor I. Fossen đề xuất, đó là mô hình tàu container $L = 175$ m và mô hình tàu chở dầu (Tanker) có các thông số như trong Bảng 4.

Bảng 4. Thông số các tàu trong thực nghiệm [3]

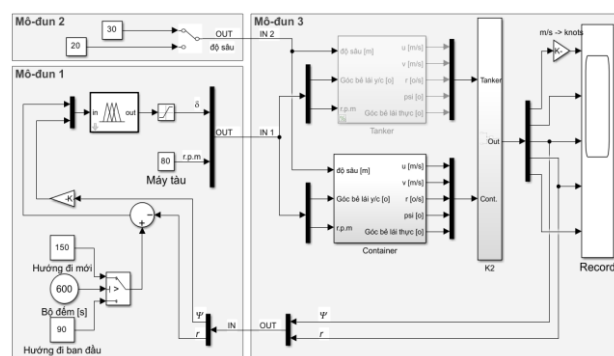
Mô hình	Chiều dài (m)	Tốc độ (hải lý/giờ)	Lượng giãn nước (tấn)
Container	175	14-16	30.000
Tanker	260	12-14	200.000

Tàu Container có lượng giãn nước 30.000 tấn, tốc độ 14-16 hải lý/giờ là loại tàu cỡ trung bình, có tính năng điều động tốt nên việc điều khiển chuyển hướng và giữ hướng cho con tàu tương đối thuận lợi. Tàu Tanker có lượng giãn nước 200.000 tấn thuộc nhóm tàu siêu trường, siêu trọng. Với chiều dài 260 m và lượng giãn nước lớn như vậy việc thay đổi hướng đi của con tàu sẽ khó khăn hơn nhiều so với tàu Container nói trên. Ngoài ra,

những tàu siêu lớn như vậy còn có đặc tính không ổn định hướng đi (Directional instability) gây khó khăn cho máy lái tự động khi điều khiển giữ hướng cho con tàu.

4.3. Thực nghiệm trên hệ thống ở cấp độ 1

Ở cấp độ này các mô-đun được chạy trên cùng một máy tính trong môi trường Simulink của Matlab. Máy lái tự động đã mô tả trong mục 4.1 được đưa vào *Mô-đun 1*. Mô hình mô phỏng các con tàu đã tích hợp sẵn trong *Mô-đun 3*. Khi chạy thực nghiệm chỉ có một mô hình tàu tham gia thực nghiệm được biên dịch và chạy. Các mô hình tàu khác sẽ được “ẩn” đi bằng lệnh “Comment out” của Simulink để không làm giảm tốc độ của hệ thống. Trên Hình 3, tàu Tanker đã được “Comment out” nên hình ảnh khối đã mờ đi.



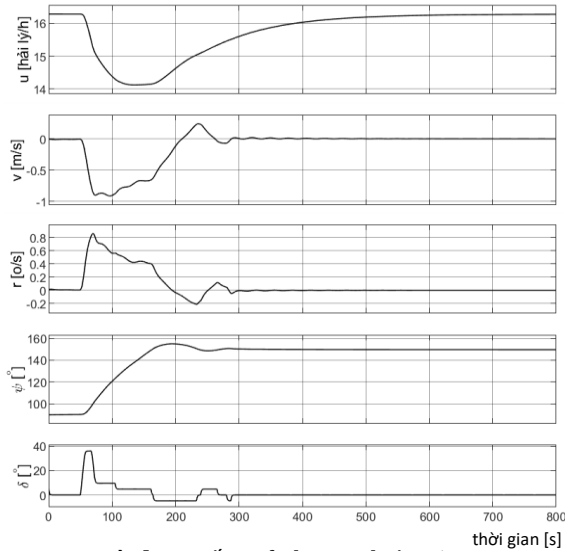
Hình 3. Sơ đồ thực nghiệm trên hệ thống Digital Testbed (cấp độ 1).

Việc thay đổi các tham số trong quá trình thực nghiệm có thể làm thủ công hoặc tự động. Trong thực nghiệm này, việc chuyển hướng đi yêu cầu được thực hiện tự động thông qua công tắc thời gian trong *Mô-đun 1* (Hình 3).

Đầu vào của *Mô-đun 3* cũng như luồng dữ liệu được lưu trữ và hiển thị tại khối “Record” có thể

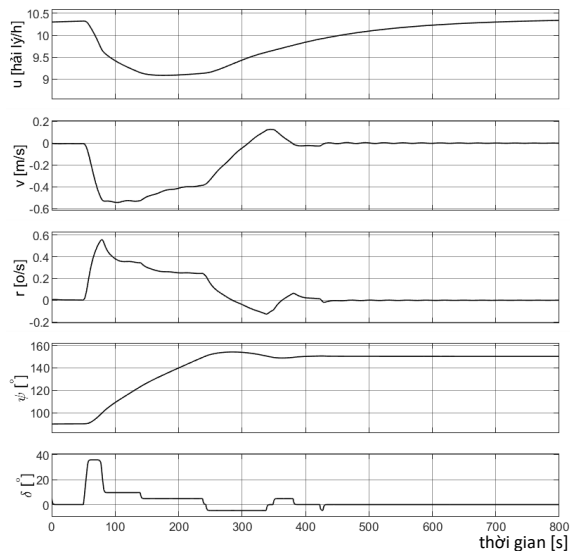
thay đổi theo yêu cầu của thực nghiệm. Trong thực nghiệm này với máy lái điều khiển hướng đi tàu biển, các đầu vào và luồng dữ liệu được lưu trữ bao gồm góc bẻ lái, hướng mũi tàu, tốc độ quay trở, vận tốc ngang và vận tốc dọc của thân tàu.

Thực nghiệm 1: Tàu Container chạy ổn định trên hướng đi 90° với tốc độ 16 hải lý/giờ. Tại giây thứ 50, yêu cầu máy lái chuyển hướng sang hướng đi 150° và giữ ổn định trên hướng đi mới.



Hình 4. Kết quả thực nghiệm 1.

Hệ thống ghi nhận và biểu diễn kết quả làm việc của máy lái cũng như các thông số của con tàu trong thời gian thực nghiệm như trên Hình 4.



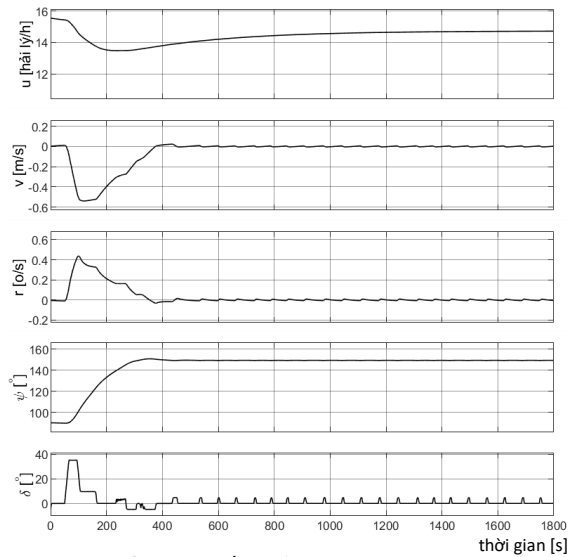
Hình 5. Kết quả thực nghiệm 2.

Thực nghiệm 2: Tàu Container chạy ổn định trên hướng đi 90° với tốc độ 10 hải lý/giờ. Tại giây thứ 50, yêu cầu máy lái chuyển hướng sang hướng đi 150° và giữ ổn định trên hướng đi mới.

Hệ thống ghi nhận và biểu diễn kết quả làm việc của máy lái cũng như các thông số của con tàu trong thời gian thực nghiệm như trên Hình 5.

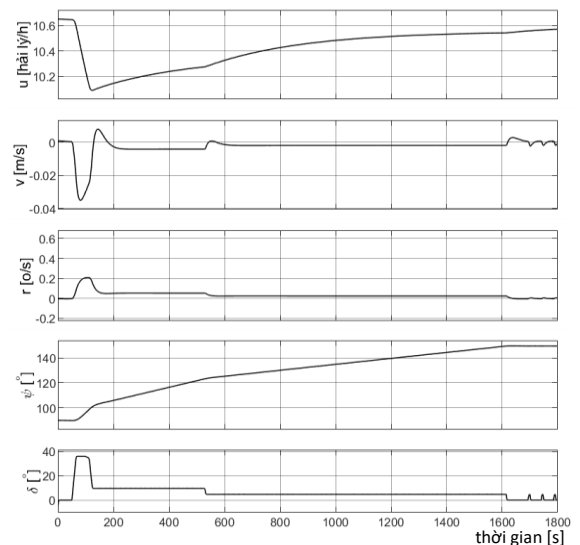
Thực nghiệm 3: Tàu Tanker chạy ổn định trên hướng đi 90° với tốc độ 15 hải lý/giờ tại khu vực có độ sâu lớn. Tại giây thứ 50, yêu cầu máy lái chuyển hướng sang hướng đi 150° và giữ ổn định trên hướng đi mới.

Hệ thống ghi nhận và biểu diễn kết quả làm việc của máy lái cũng như các thông số của con tàu trong thời gian thực nghiệm như trên Hình 6.



Hình 6. Kết quả thực nghiệm 3.

Thực nghiệm 4: Tàu Tanker chạy ổn định trên hướng đi 90° với tốc độ 11 hải lý/giờ tại khu vực có độ sâu hạn chế. Tại giây thứ 50, yêu cầu máy lái chuyển hướng sang hướng đi 150° và giữ ổn định trên hướng đi mới.



Hình 7. Kết quả thực nghiệm 4.

Hệ thống ghi nhận và biểu diễn kết quả làm việc của máy lái cũng như các thông số của con tàu trong thời gian thực nghiệm như trên Hình 7.

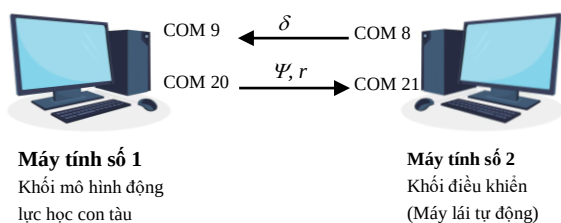
Với các kết quả thực nghiệm trên, người nghiên cứu có thể so sánh, phân tích chất lượng điều khiển của máy lái khi con tàu thay đổi tốc độ (so sánh kết quả giữa thực nghiệm 1 và 2); khi thay đổi đối tượng điều khiển (so sánh kết quả giữa thực nghiệm 2 và 3); tác động của hiệu ứng nước nông đến việc điều khiển con tàu (so sánh kết quả giữa thực nghiệm 3 và 4) để từ đó đánh giá và hiệu chỉnh bộ điều khiển.

Như vậy, ở cấp độ 1, người nghiên cứu chỉ cần đưa máy lái của mình vào *Mô-đun 1* và tiến hành thực nghiệm, thu được kết quả rất đa dạng mà không tốn thời gian thiết lập hệ thống.

4.4. Thực nghiệm trên Hệ thống Digital Testbed ở cấp độ 2

Ở cấp độ 2, các mô-đun được thiết lập trên các máy tính khác nhau. Việc trao đổi thông tin giữa các mô-đun được thực hiện qua các cổng COM của máy tính.

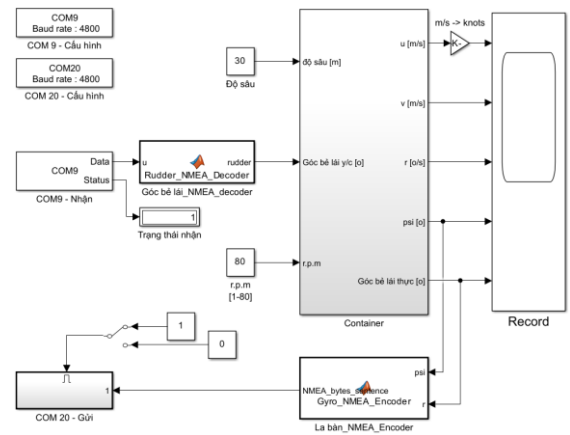
Trong bài thực nghiệm, máy tính số 1 chứa *Mô-đun 3*, máy tính số 2 chứa *Mô-đun 1* (Máy lái tự động Fuzzy). Cổng COM 20 của máy tính số 1 được kết nối với cổng COM 21 của máy tính số 2 để truyền dữ liệu về hướng đi, tốc độ quay trở của con tàu tới máy lái tự động. Cổng COM 8 của máy tính số 2 được kết nối với cổng COM 9 của máy tính số 1 để truyền dữ liệu điều khiển (góc bẻ lái) từ máy lái tự động sang mô hình động lực học con tàu (Hình 8).



Hình 8. Sơ đồ kết nối Hệ thống.

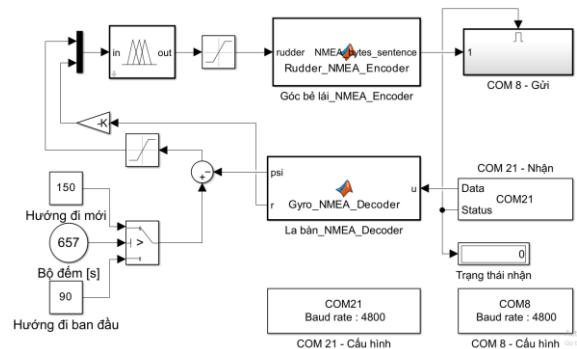
Khối *Mô hình động lực học con tàu* nằm trong *Mô-đun 3* được thiết lập trong môi trường Simulink của Matlab (Hình 9). Trong sơ đồ này, khối *La bàn_NMEA_Encoder* có nhiệm vụ mã hóa dữ liệu hướng đi (ψ) và tốc độ quay trở (r) của con tàu theo đúng định dạng bản tin chuẩn NMEA 0183.

Ngược lại, khối *Góc bẻ lái_NMEA_decoder* có nhiệm vụ giải mã bản tin đã nhận được từ cổng COM 9 thành tín hiệu điều khiển là góc bẻ lái (δ) để điều khiển con tàu.



Hình 9. Sơ đồ Khối Mô hình động lực học con tàu trong Simulink (Máy tính số 1).

Tương tự như vậy, Khối *Điều khiển* trong *Mô-đun 1* được thiết lập trong môi trường Simulink của Matlab (Hình 10). Trong sơ đồ này, khối *La bàn_NMEA_Decoder* có nhiệm vụ giải mã bản tin để lấy được hướng đi (ψ) và tốc độ quay trở (r) của con tàu đưa vào máy lái tự động. Khối *Góc bẻ lái_NMEA_Encoder* có nhiệm vụ mã hóa bản tin góc bẻ lái theo định dạng bản tin chuẩn NMEA 0183 đến hệ thống lái điều khiển con tàu.



Hình 10. Sơ đồ Khối điều khiển - Máy lái tự động trong Simulink (Máy tính số 2).

Khi làm việc ở cấp độ 2, các mô-đun của hệ thống Digital Testbed làm việc độc lập trên các máy tính khác nhau hoặc có thể là một thiết bị thật, việc giao tiếp giữa các mô-đun qua cổng COM cần thực hiện theo đúng tiêu chuẩn giao tiếp và kỹ thuật điện do National Marine Electronics Association (NMEA) thiết lập. Đây là giao thức nối tiếp sử dụng chuẩn RS422 để truyền dữ liệu giữa các thiết bị điện tử trên tàu, như GPS, sonar, la bàn,... đang phổ

biến nhất hiện nay.

Để làm điều này, các khối mã hóa/giải mã trong các mô-đun của hệ thống được lập trình trong Matlab để mã hóa/giải mã các bản tin theo đúng cấu trúc đã được quy định. Các bản tin được sử dụng trong các thực nghiệm trong bài báo này bao gồm:

Bản tin về hướng mũi tàu:

\$HEHDT,xxx.xx,T*hh<CR><LF>

Trong đó:

\$HEHDT Mã nhận dạng

xxx.xx Hướng mũi tàu (độ)

T Hướng Bắc thật

*hh Mã kiểm tra

<CR><LF> Kết thúc bản tin

Bản tin về tốc độ quay trở:

\$HEROT,x.xx,A*hh<CR><LF>

Trong đó:

\$HEROT Mã nhận dạng

x.xx Tốc độ quay trở (độ/phút)

A Trạng thái

*hh Mã kiểm tra

<CR><LF> Kết thúc bản tin

Bản tin về góc bẻ lái được gửi từ máy lái tự động:

\$HCRSA,x.xx,A,x.xx,A*hh<CR><LF>

Trong đó:

\$HCRSA Mã nhận dạng

x.xx Góc bẻ lái (bán lái bên phải)

A Độ tin cậy

x.xx Góc bẻ lái (bán lái bên trái)

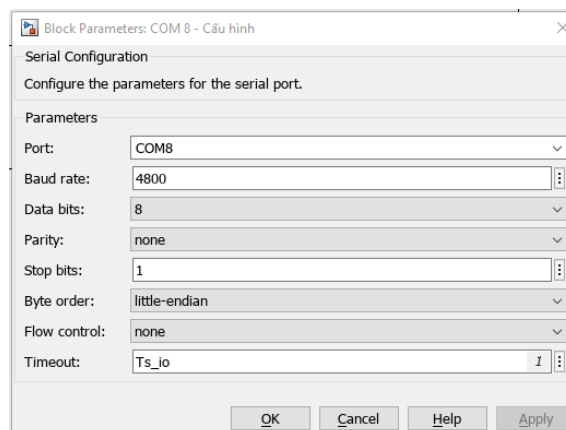
A Độ tin cậy

*hh Mã kiểm tra

<CR><LF> Kết thúc bản tin

Các cổng COM trên các máy tính được cấu hình giống như cấu hình cổng COM của các thiết bị sử dụng trên tàu biển. Cụ thể, các cổng COM 8, COM 9,

COM 20, COM 21 đều được cấu hình như trên Hình 11.

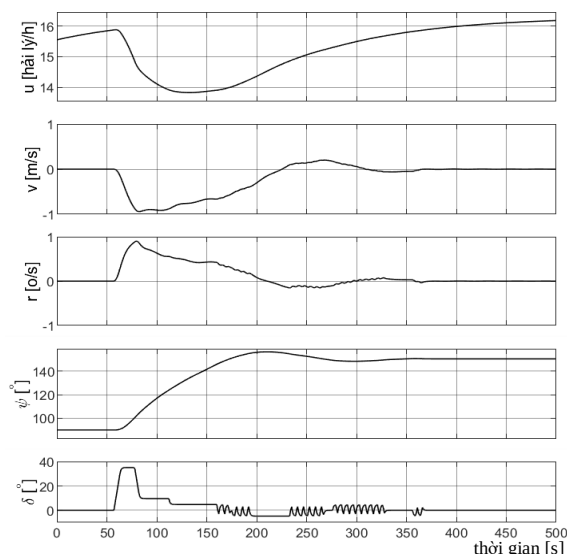


Hình 11. Cấu hình cổng COM được thiết lập trên các máy tính trong hệ thống.

Hiện tại, việc truyền dữ liệu giữa các mô-đun thông qua cổng COM RS 422 với định dạng bản tin theo chuẩn NMEA 0183 như đã trình bày ở trên. Đây là phương thức truyền dữ liệu phổ biến nhất hiện nay. Để có thể kết nối với những thiết bị dùng chuẩn NMEA 2000 cùng giao thức Ethernet-based, hệ thống Digital Testbed chỉ cần điều chỉnh lại khối “mã hóa/giải mã” và thay các cổng kết nối từ thư viện Matlab Simulink trong các mô-đun của hệ thống là hoàn toàn có thể kết nối được.

Thực nghiệm 5: Tàu Container chạy ổn định trên hướng đi 90° với tốc độ 16 hải lý/giờ. Tại giây thứ 60, yêu cầu máy lái chuyển hướng sang hướng đi 150° và giữ ổn định trên hướng đi mới.

Kết quả điều khiển của máy lái Fuzzy theo yêu cầu của bài thực nghiệm như trên Hình 12.



Hình 12. Kết quả thực nghiệm 5.

Đối tượng điều khiển và bộ điều khiển trong Thực nghiệm 1 và Thực nghiệm 5 hoàn toàn giống nhau. Nhìn tổng quan, kết quả điều khiển trên Hình 4 và Hình 12 có tính tương đồng cao. Tuy nhiên, trên Hình 12 có thể nhận ra các đặc điểm riêng do các khối trong hệ thống được kết nối với nhau thông qua cổng COM của hai máy tính khác nhau. Điều này thể hiện, ở cấp độ 2, Hệ thống đã hoạt động gần với thực tế hơn nhiều so với cấp độ 1.

Với kết nối qua cổng COM theo giao thức tiêu chuẩn ở cấp độ này, việc kết nối một máy lái tự động thật vào hệ thống để thử nghiệm với nhiều tình huống, hoặc nhiều mô hình tàu có trong hệ thống là hoàn toàn khả thi.

Các kết quả trên khẳng định khả năng của hệ thống Digital Testbed trong việc tích hợp và thử nghiệm các thiết bị điều khiển thật trong thực tế.

5. Kết luận

Bài báo đã giới thiệu một hệ thống thực nghiệm số (Digital Testbed) phục vụ nghiên cứu điều khiển tàu thủy, được xây dựng theo cấu trúc mô-đun và có khả năng triển khai linh hoạt ở nhiều cấp độ. Thông qua các thí nghiệm minh họa, hệ thống đã thể hiện được khả năng hỗ trợ hiệu quả cho quá trình thử nghiệm và đánh giá các hệ thống điều khiển trong lĩnh vực hàng hải.

Một trong những ưu điểm của hệ thống là khả năng tiết kiệm thời gian cho người nghiên cứu, do không cần thiết lập lại toàn bộ môi trường thực nghiệm từ đầu mà có thể khai thác trực tiếp các mô-đun và cấu hình đã được xây dựng sẵn. Bên cạnh đó, hệ thống cung cấp thư viện mô hình đa dạng, cho phép thực nghiệm trên nhiều loại đối tượng khác nhau, góp phần mở rộng phạm vi và tính đa dạng trong thực nghiệm.

Hệ thống được xây dựng với hai cấp độ triển khai, đáp ứng các nhu cầu nghiên cứu khác nhau. Ở cấp độ 1, hệ thống phù hợp với các nghiên cứu mang tính lý thuyết nhờ ưu điểm về tốc độ xử lý cao và cấu hình gọn nhẹ. Ở cấp độ 2, hệ thống cho phép thực nghiệm với các kết nối và giao thức đã được chuẩn hóa trong hàng hải, cho phép kết nối thiết bị thật vào quá trình thử nghiệm, qua đó hỗ trợ hiệu quả cho các nghiên cứu mang tính ứng dụng.

Hệ thống Digital Testbed có khả năng phục vụ nhiều hướng nghiên cứu khác nhau, từ phát triển các thuật toán điều khiển như máy lái tự động, đến xây dựng mô hình động lực học tàu thủy và nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố môi trường đến chuyển động của tàu. Đặc biệt, hệ thống cho phép tích hợp và sử dụng các mô hình, thuật toán hoặc sản phẩm nghiên cứu từ các tác giả khác, tạo điều kiện thuận lợi cho việc kế thừa, mở rộng và phát triển các nghiên cứu liên ngành.

Với những đặc điểm trên, trong tương lai hệ thống Digital Testbed có thể trở thành một nền tảng nghiên cứu dùng chung, góp phần nâng cao hiệu quả, chất lượng trong nghiên cứu và phát triển các hệ thống điều khiển tự động trong lĩnh vực hàng hải.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: DT25-26.18.

Tài liệu tham khảo

- [1] Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering, "S-TAS simulation testbed for autonomous ship," Autonomous Ship Verification & Evaluation Research Center, 2024. [Online]. Available: <https://www.kriso.re.kr/menu.es?mid=a20202070000>.
- [2] Q. D. Nguyen, "Thiết kế bộ điều khiển vây giảm lắc tàu thủy dựa trên mạng thần kinh phản hồi," *Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải*, no. 67, pp. 11–17, 2021. [Online]. Available: <https://jmst.vimaru.edu.vn/index.php/jmst/article/view/83>.
- [3] T. I. Fossen, *Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2011.
- [4] E. C. Gezer, M. K. I. Moreau, A. S. Høgden, D. T. Nguyen, R. Skjetne, and A. Sørensen, "Digital-physical testbed for ship autonomy studies in the Marine Cybernetics Laboratory basin," arXiv, 2025. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2505.06787>.
- [5] H. K. Doan, A. T. Dinh, and D. T. Hoang, "Xây dựng, phân tích động lực học của mô hình tàu container 3D 6 bậc tự do dưới tác động của sóng và gió," *Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải*, no. 72, pp. 15–21, 2022. [Online]. Available: <https://jmst.vimaru.edu.vn/index.php/jmst/article/view/343>.
- [6] D. P. Vuong, V. A. Do, and V. T. Le, "Bộ điều khiển mờ lai trong hệ thống tự động lái tàu thủy," *Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải*, no. 72, pp. 5–8, 2022. [Online]. Available: <https://jmst.vimaru.edu.vn/index.php/jmst/article/view/341>.

- [7] H. Q. Nguyen and D. D. Phan, "Nghiên cứu bộ điều khiển dự báo mô hình để tiết kiệm năng lượng cho hệ thống định vị động tàu biển," *Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải*, no. 85, pp. 15–21, 2022. [Online]. Available: <https://jmst.vimaru.edu.vn/index.php/jmst/article/view/965>.
- [8] M. Rybczak and A. Rak, "Prototyping and simulation environment of ship motion control system," *TransNav: The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, vol. 14, no. 2, pp. 367–374, 2020, doi:10.12716/1001.14.02.13.
- [9] W. Gierusz, N. C. Vinh, and A. Rak, "Maneuvering control and trajectory tracking of very large crude carrier," *Ocean Engineering*, vol. 34, no. 7, pp. 932–945, 2007, doi:10.1016/j.oceaneng.2006.06.003.