

BỘ GIAO THÔNG VẬN TẢI BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM



TRƯỜNG CÔNG MỸ

**NGHIÊN CỨU PHÁT TRIỂN HỆ THỐNG MÔ
PHỎNG CHUYÊN ĐỘNG TÀU THUỶ VỚI SÀN TREO
BA BẬC TỰ DO ỨNG DỤNG THUẬT TOÁN
ĐIỀU KHIỂN HIỆN ĐẠI**

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SỸ KỸ THUẬT

Ngành: Khoa học hàng hải; Mã số: 9840106
Chuyên ngành: Khoa học hàng hải

Hải Phòng - 2023

Công trình được hoàn thành tại Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

Người hướng dẫn khoa học 1: PGS.TS. Nguyễn Kim Phương

Người hướng dẫn khoa học 1: PGS.TS. Đinh Anh Tuấn

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án tiến sĩ cấp Trường họp tại Trường Đại học Hàng hải Việt Nam vào hồi giờ phút ngày....tháng....năm....2023.

Có thể tìm hiểu luận án tại Thư viện Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Ngày nay, cùng với sự phát triển mạnh mẽ của ngành công nghệ công tin trong cuộc cách mạng công nghệ 4.0, việc mô phỏng các thiết bị hàng hải để phục vụ đào tạo và huấn luyện là rất cần thiết.

Về mặt pháp lý, ngành giao thông vận tải đã và đang triển khai các thông tư, trong giao thông đường bộ có thông tư số 04/2022/TT-BGTVT ngày 22/4/2024 về “Sửa đổi, bổ sung một số điều của Thông tư số 12/2017/TT-BGTVT ngày 15 tháng 4 năm 2017 của Bộ trưởng Bộ Giao thông vận tải quy định về đào tạo sát hạch, cấp giấy phép lái xe cơ giới đường bộ”; trong ngành hàng hải có thông tư số 15/2019/TT-BGTVT ngày 26/4/2019 về “Ban hành quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về cơ sở vật chất, trang thiết bị đào tạo của cơ sở đào tạo, huấn luyện thuyền viên hàng hải”; tổ chức hàng hải quốc tế - IMO có các hướng dẫn đối với huấn luyện đào tạo sỹ quan hàng hải trong IMO Model Course 1.22 về “Ship simulator and bridge teamwork”, đối với sỹ quan máy khai thác, trong IMO Model Course 2.07 về “Engine - Room Simulator”.

Mặt khác, trong ngành hàng hải nói chung và công nghiệp đóng tàu nói riêng đã và đang phát triển rất nhiều các chủng loại tàu thủy ngày càng hiện đại và đa dạng về thiết kế. Do đó, nhiệm vụ của các đội ngũ thuyền viên cần phải nắm bắt chính xác, nhanh chóng cách thức vận hành. Tuy nhiên, việc đào tạo trên các thiết bị thật rất tốn kém nhiên liệu, thiết bị, nguồn lực và dễ tạo ra các sự cố nguy hiểm gây hỏng hóc cho thiết bị thật. Để khắc phục tình trạng này, việc đào tạo hiện nay có xu hướng sử dụng công nghệ thực tế ảo 3D kết hợp với mô hình chuyển động nhiều bậc tự do để mô phỏng các trang thiết bị, các tình huống có thể xảy ra trong quá trình huấn luyện.

Khi người vận hành thực hiện trên chương trình mô phỏng hàng hải sẽ rất an toàn, hạn chế được rủi ro so với dùng thiết bị thực tế mà vẫn được trải nghiệm được các tình huống giống như trên biển.

Hiện nay, hệ thống mô phỏng có tích hợp mô hình chuyển động (motion platform) nói chung và hệ thống mô phỏng chuyển động cho các phương tiện giao thông vận tải nói riêng đang được ứng dụng rất rộng rãi trong đào tạo, giải trí. Trên thế giới đã có rất nhiều các công trình nghiên cứu về hệ thống mô phỏng chuyển động 2DOF, 3DOF, 6DOF. Các công trình nghiên cứu trong nước tập trung vào vấn đề ứng dụng một sản phẩm phần cứng và phần mềm công nghiệp chuyên dụng của nước ngoài vào một dự án mô phỏng cụ thể cho trò chơi hoặc công nghiệp quốc phòng. Khi nghiên cứu tích hợp thêm mô hình chuyển động 3DOF cho hệ mô phỏng có rất nhiều công trình nghiên cứu xoay quanh kiểu cấu trúc tương tự này. Tuy nhiên, về mặt kỹ thuật các công trình nghiên cứu vẫn còn tồn tại nhưng hạn chế nhất định như chất lượng điều khiển, chất lượng và độ trung thực của hình ảnh, khả năng đồng bộ dữ liệu điều khiển còn tồn tại thời gian trễ τ_{delay} ... Các công trình này đều cho phép tính toán gần đúng góc quay động cơ servo α_i do đó khi dao động của mặt sàn mô phỏng khoảng $\pm 15^\circ$, gần giống thực tế chuyển động của một con tàu thì sai số đến 5% và thời gian trễ giữa chuyển động nghiêng/lắc của mô hình và hình ảnh thực tế 3D là tương đối lớn lên đến 1200ms. Điều

này làm giảm tính đồng bộ giữa thị giác và cảm nhận chuyển động thực tế của người huấn luyện, giảm tính chính xác trong mô phỏng chuyển động tàu thủy.

Xuất phát từ thực tế trên, đề tài: **“Nghiên cứu phát triển hệ thống mô phỏng chuyển động tàu thủy với sàn treo ba bậc tự do ứng dụng thuật toán điều khiển hiện đại”** là cần thiết, để đề xuất các thuật toán hiện đại nhằm nâng cao chất lượng mô phỏng chuyển động tàu thủy có tích hợp sàn treo ba bậc tự do, hướng tới đáp ứng nhu cầu tự động hóa và hiện đại hóa của đất nước cũng như ngành công nghiệp mô phỏng đã và đang rất phát triển

2. Mục tiêu nghiên cứu

Mục tiêu tổng quát của luận án là nghiên cứu, phát triển thuật toán khiển hiện đại nhằm cải thiện chất lượng hệ thống mô phỏng chuyển động tàu thủy có tích hợp sàn treo ba bậc tự do phục vụ cho đào tạo, huấn luyện sinh viên, học viên nhóm ngành hàng hải nhằm mục đích hạn chế thấp nhất các tai nạn trên biển và giảm chi phí so với việc huấn luyện trên tàu thật.

Cụ thể, luận án cần đạt được:

Thứ nhất, xây dựng hệ thống mô phỏng chuyển động tàu thủy nhằm tạo ra một bản sao giống hệt buồng lái của một con tàu hiện đại được đề xuất đáp ứng được các yêu cầu huấn luyện cho ngành hàng hải. Buồng lái được gắn trên một sàn chuyển động ba bậc tự do. Sàn chuyển động được thiết kế trên nguyên tắc của Stewart platform.

Thứ hai, trên cơ sở tiếp cận Stewart platform với ba bậc tự do (lắc ngang, lắc dọc và trượt đư) và sau khi mô phỏng động học tàu thủy dạng hình ảnh 3D. NCS tiến hành xây dự thuật toán điều khiển trên bộ điều khiển logic khả trình PLC để điều khiển tổ hợp DRIVE/SERVO nhằm tạo ra chuyển động thật 3 trục tự do mô phỏng lại chuyển động từ mô hình 3D ảo trên máy tính.

Thứ ba, tích hợp hoàn chỉnh một hệ thống mô phỏng 3D động học tàu thủy với mô hình chuyển động sàn treo được điều khiển trên cơ sở ứng dụng trí tuệ nhân tạo AI dạng mạng nơ ron nhân tạo để tăng độ chính xác và giảm thời gian trễ đồng bộ giữa hình ảnh và chuyển động vật lý.

3. Đối tượng, phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu: Trên cơ sở đánh giá sự cần thiết cùng với mục tiêu của đề tài luận án, đối tượng nghiên cứu của luận án là hệ thống mô phỏng 3D động học tàu thủy trong cấu trúc cabin buồng lái có tích hợp mô hình chuyển động 3 bậc tự do (3DOF) của sàn treo.

Phạm vi nghiên cứu

Nghiên cứu về mô hình động học tàu thủy bao gồm đầy đủ 6 bậc tự do với bộ tham số của lớp tàu với chiều dài 55m, chiều rộng 9.2m, mớn nước 2.6m và tải trọng là 429 tấn; mô hình toán của 3 yếu tố môi trường như: gió trong dải 0-30knots, sóng với 12 cấp thang beaufort và hải lưu trong dải 0-5knots; mô hình toán của hệ động lực 01 chân vịt và 01 bánh lái. Trên cơ sở các mô hình toán đó thiết kế tàu mô hình chuyển động trong không gian 3D của Unity Engine.

Nghiên cứu xây dựng mô hình sàn treo cabin buồng lái dạng Stewart platform với 03 bậc tự do và ứng dụng của PLC, mạng truyền thông công

nghiệp, động cơ servo để điều khiển 03 chuyển động của sàn bám theo 03 tín hiệu lắc ngang, lắc dọc và trượt đứng của tàu mô hình 3D.

Nghiên cứu thuật toán điều khiển hiện đại là mạng nơron nhân tạo MLP để học và dự báo trước quỹ đạo nhằm điều khiển 03 chuyển động của sàn treo bám theo chuyển động của tàu mô hình 3D với độ chính xác và thời gian trễ được cải thiện góp phần nâng cao chất lượng của hệ thống mô phỏng.

4. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp phân tích và tổng hợp lý thuyết phục vụ cho mục tiêu xây dựng mô hình động học của con tàu. Đối với phương pháp mô phỏng, đề tài sử dụng mô phỏng 3D các tình huống trên biển cũng như mô phỏng các trang thiết bị như hải đồ điện tử/ECDIS, RADAR, CONNING...

Sử dụng mô phỏng trên Matlab/Simulink cho các thuật toán tìm tín hiệu điều khiển của mô hình động học ngược và thuật giải lặp Newton-Raphson của mô hình động học thuận.

Phương pháp thống kê, thu thập dữ liệu và đánh giá để xây dựng, chọn lọc bộ dữ liệu học tốt nhất cho mạng nơron nhân tạo MLP. Ngoài ra, để kiểm chứng các kết quả mô phỏng NCS sử dụng phương pháp thực nghiệm trên cơ sở thực hiện lắp đặt mô hình, lập trình điều khiển các động cơ servo trên PLC, xây dựng giao tiếp mạng truyền thông Modbus TCP, thuật toán quy đổi các góc roll, pitch, heave ra các góc quay của động cơ servo, thuật toán điều khiển xung phát xung điều khiển động cơ servo.

5. Ý nghĩa khoa học và ý nghĩa thực tiễn

Về mặt phương pháp luận, luận án hướng tới

Luận án đưa ra phương pháp luận, đề xuất áp dụng một thuật toán điều khiển mới để dự báo và điều khiển chuyển động của mô hình sàn treo ba bậc tự do bám theo tín hiệu đặt từ mô hình mô phỏng 3D. Cụ thể thuật toán này cho phép huấn luyện trước với bộ dữ liệu mẫu và dự báo tín hiệu chuyển động nghiêng, lắc và trượt đứng của con tàu trên cơ sở sử dụng mạng nơron nhân tạo MLP. Luận án sẽ góp phần bổ sung và làm phong phú thêm các phương pháp điều khiển nhằm làm giảm độ trễ của mô hình sàn treo ba bậc tự do so với mô hình chuyển động của hình ảnh trong không gian 3D.

Về mặt thực tiễn, với mô hình và thuật toán dự báo đề xuất, luận án hướng tới

Kết quả của luận án sẽ hiện thực hóa vấn đề khiêu khích mô hình sàn treo cabin buồng lái 3 bậc tự do chuyển động đồng bộ với chuyển động của con tàu trong mô hình mô phỏng 3D bằng mô hình cơ khí có cấu trúc Stewart platform. Cụ thể là mô hình dự báo trên cơ sở mạng nơron nhân tạo được cài đặt trong phần mềm Matlab/Simulink trên máy tính, có chức năng dự báo trước chuyển động của con tàu trong mô hình mô phỏng 3D và phát lệnh tới PLC để điều khiển thời gian thực các cơ cấu chấp hành Drive/Servo Motor truyền động cho 03 tay đòn.

6. Những điểm đóng góp mới

Đóng góp mới của luận án là phân tách cấu trúc điều khiển sàn treo 3 bậc tự do của hệ thống mô phỏng chuyển động tàu thủy thành hai khối là: khối dự báo góc quay và khối điều khiển vị trí của cơ cấu chấp hành. Từ đó tổng hợp

và hoàn thiện cơ sở lý thuyết của thuật toán dự báo trước góc quay của của động cơ servo bằng mạng nơron nhân tạo, chứng minh tính đúng đắn và khả thi của phương pháp đề xuất bằng thực nghiệm với mô hình vật lý trên cơ sở các tiêu chí về độ chính xác bám và giảm thời gian trễ.

7. Kết cấu của luận án

Luận án bao gồm 174 trang, 73 hình vẽ, 02 bảng biểu, phần mở đầu và 3 Chương, phần kết luận, các công trình nghiên cứu đã công bố của tác giả, tài liệu tham khảo và phụ lục.

Chương 1. TỔNG QUAN VỀ MÔ PHỎNG HÀNG HẢI VÀ MÔ HÌNH TOÁN ĐỘNG LỰC HỌC CỦA CHUYỂN ĐỘNG TÀU THỦY

1.1 Giới thiệu về hệ thống mô phỏng hàng hải

Hệ thống mô phỏng hàng hải là một khái niệm rộng, bao quát nó bao gồm thành phần chính là mô phỏng chuyển động của tàu thủy và nhiều hệ thống thiết bị mô phỏng khác như hệ thống Radar; hệ thống hải đồ điện tử (EDICS); hệ thống máy đo sâu; hệ thống định vị vệ tinh GPS; hệ thống la bàn; hệ thống điều khiển máy lái; hệ thống mô phỏng điều khiển máy. Trong các thành phần của hệ thống mô phỏng hàng hải thì mô phỏng chuyển động của tàu thủy và mô phỏng lái tàu là các hệ thống rất quan trọng. Nó giúp cho học viên nắm được kỹ năng điều khiển một con tàu khi điều động trong luồng lạch, vùng nước nông, dòng chảy hay khi tàu hành trình trên biển với những điều kiện thời tiết biến khác nhau như sóng, gió, mưa, bão...

1.2. Tình hình nghiên cứu thế giới và trong nước

Trên thế giới: Các công trình nghiên cứu mô phỏng chuyển động tàu thủy trên cơ sở các công cụ Matlab/Simulink; Các công trình mô phỏng chuyển động tàu thủy trực tuyến dựa trên nền tảng Website; Các công trình mô phỏng hàng hải ứng dụng các công cụ 3D; Các công trình nghiên cứu mô phỏng hàng hải có tích hợp mô phỏng chuyển động nhiều bậc tự do cho sàn treo cabin dạng Stewart Platform; Các công trình nghiên cứu mô phỏng chuyển động nhiều bậc tự do cho sàn treo cabin dạng Stewart Platform sử dụng cơ cấu chấp hành là động cơ servo; các công trình nghiên cứu ứng dụng Fuzzy, LQR, mạng nơron trong truyền động; Các công trình nghiên cứu về động học ngược liên quan đến tính chính xác của chuyển động sàn treo cabin

Trong nước: Các công trình nghiên cứu mô phỏng hàng hải mới chỉ dừng lại ở trên mô phỏng thời gian thực để lấy đáp ứng 2D của con tàu với các tác dụng thủy động lực học của các nhiễu môi trường hoặc lý thuyết, ngôn ngữ của các phần mềm đều sử dụng Matlab/Simulink.

Nhận xét: Nhìn chung, các công trình nghiên cứu trong nước và thế giới đều tập trung mô phỏng trên cơ sở lý thuyết, Matlab, 3D, chưa tích hợp mô hình sàn treo với các giải pháp nâng cao chất lượng điều khiển để đáp ứng được chất lượng về mặt thời gian thực

1.3. Hướng nghiên cứu của luận án

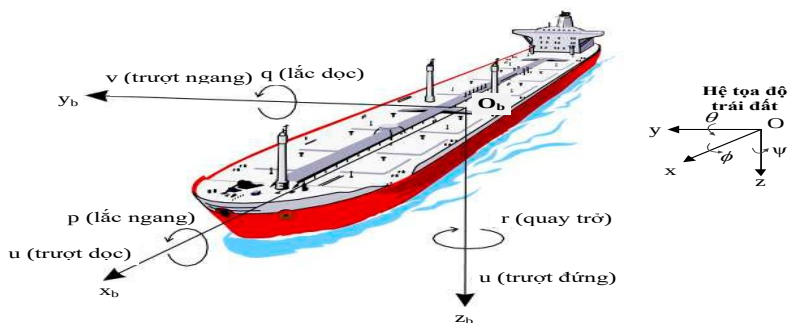
Từ việc đánh giá kết quả của các công trình nghiên cứu ở trong nước và nước ngoài NCS nhận thấy có 3 xu thế nghiên cứu trong mô phỏng chuyển động tàu thủy bao gồm:

Một là nghiên cứu mô phỏng đầy đủ trên cơ sở Matlab phục vụ cho phân tích các đặc tính đáp ứng, cho nhiệm vụ thiết kế các bộ điều khiển cũng như phục vụ cho các công tác phân tích điều động và tránh va;

Hai là nghiên cứu mô phỏng chuyển động tàu thủy trong không gian 3D phục vụ cho công tác huấn luyện hàng hải;

Ba là nghiên cứu mô phỏng chuyển động tàu thủy có tích hợp mô hình sàn treo với các giải pháp nâng cao chất lượng điều khiển, để đáp ứng được chất lượng về mặt thời gian thực (realtime). Định hướng nghiên cứu là sử dụng thuật toán điều khiển hiện đại giải quyết vấn đề tồn tại trên, đồng thời tiến hành các mô phỏng dựa trên mô hình động học thuận sử dụng phương pháp Newton-Raphson, cũng như bằng mô hình vật lý để đánh giá và kiểm chứng sai số.

1.4 Mô hình toán học mô tả chuyển động tàu thủy dạng không gian trạng thái



Hình 1.3 Thành phần chuyển động, tham số động học của chuyển động tàu

Chuyển động cân bằng tàu thủy ở mọi vị trí được thể hiện theo (1.1)

$$M_{RB}\dot{v} + C_{RB}(v)v = \tau_{RB}$$

$$\tau_{RB} = \tau - g(\eta)$$

$$\tau = \tau_{hyd} + \tau_{cs} + \tau_{prop} + \tau_{ext}$$

$\tau_{hyd} = \tau_R + \tau_D$ (Lực và mômen thủy động lực học sinh ra do chuyển động giữa thân tàu với nước)

τ_{cs} Lực và mômen do bánh lái, bánh lái phụ trợ tạo ra.

τ_{prop} Lực và mômen tạo ra do tác động của lực đẩy của chân vịt chính, chân vịt mũi/lái

$\tau_{ext} = \tau_{wind} + \tau_{wave} + \tau_{current}$ Lực và mômen tạo ra do tác động của nhiều loạn môi trường

$g(\eta)$ là lực và mômen này sinh ra do trọng lực và tính nổi của tàu dưới tác động của nước lên thân tàu

$C_{RB}(v)$ - Ma trận Coriolis hướng tâm, đặc trưng cho thủy động lực học chất rắn

M_{RB} - Ma trận quán tính do bản thân tàu sinh ra (coi động lực học tàu thủy như là động lực học của chất rắn)

1.5. Kết luận chương 1

Chương 1 đưa ra được tính cấp thiết, đặt ra mục tiêu, giới hạn và nội dung cần nghiên cứu của đề tài luận án tiến sĩ chuyên ngành. Đề xuất mô hình toán học mô tả chuyển động của con tàu dưới dạng không gian trạng thái 6 bậc tự do, mô hình toán của các yếu tố môi trường như sóng, gió và dòng chảy.

Bên cạnh đó, việc xây dựng mô hình toán chuyển động tàu thủy xét trong mặt phẳng ngang 3 bậc tự do thuận tiện cho việc đưa ra bài toán thiết kế bộ điều khiển lái tự động tàu thủy theo hướng và quỹ đạo của con tàu.

Chương 2. MÔ PHỎNG CHUYỂN ĐỘNG 3D TÀU THUỶ VÀ XÂY DỰNG MÔ HÌNH TÍN HIỆU ĐIỀU KHIỂN 3 TRỤC TỰ DO CỦA SÀN TREO CABIN

2.1. Phần mềm mô phỏng chuyển động 3D tàu thủy - Unity 3D

Để xây dựng chương trình ứng dụng mô phỏng chuyển động 3D của tàu thủy ta phải sử dụng một phần mềm chuyên dụng trong mô phỏng và xử lý đồ họa 3D (được gọi là Game Engine).

2.1.1 Triển khai hệ thống mô phỏng chuyển động tàu thủy trong Unity3D

Để lập trình và xây dựng các nhân tố của hệ thống mô phỏng chuyển động tàu thủy trong Unity, đầu tiên ta cần phải tạo ra một project sau đó đặt tên. Project được lựa chọn là dạng 3D cho bài toán mô phỏng của luận án. Sau khi tạo được dự án cửa sổ mới sẽ xuất hiện, nơi người lập trình có thể thiết kế, thêm các đối tượng mô phỏng



Hình 2.1 Giao diện của Unity 3D

2.1.2 Các công cụ cơ bản để chuyển đổi từ phương trình động học thành chuyển động 3D

Module công cụ Rigidbody; Module công cụ Colliders

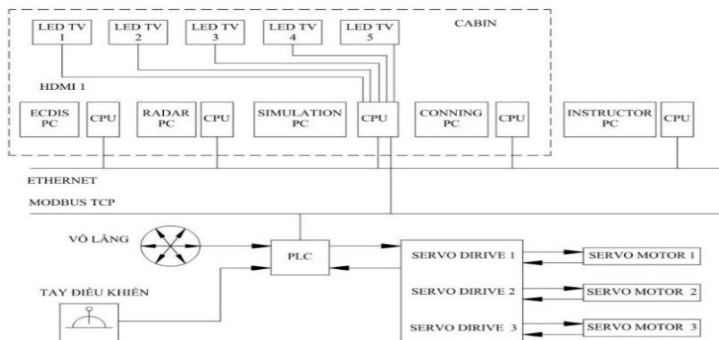
2.2 Ứng dụng phần mềm Unity3D để mô phỏng chuyển động tàu thủy

Trên cơ sở mô hình toán học đã đề xuất ở chương 1 NCS sẽ nghiên cứu ứng dụng phần mềm Unity3D để chuyển hóa toàn bộ kết quả của các phương trình toán thành chuyển động của con tàu trong môi trường mô phỏng 3D.

Cụ thể là: tạo lực nổi cho tàu thủy; tạo lực và mô men thủy động học cho tàu thủy; tạo lực và mô men liên quan đến thiết bị đẩy và bánh lái cho tàu thủy; tạo lực và mô men do nhiều môi trường tác động tàu thủy; thu thập thông tin 6 bậc tự do của mô hình tàu thủy; tạo một số đối tượng thời tiết và địa hình, địa vật tương tác trong lập trình; một số mô hình 3D tàu mục tiêu.

2.3 Đề xuất cấu trúc hệ thống mô phỏng hàng hải

2.3.1 Mô hình mô phỏng chuyển động của tàu thủy



Hình 2.14 Cấu trúc mạng của hệ thống mô phỏng chuyển động tàu thủy



Hình 2.15 Mô hình mô phỏng chuyển động 3DOF buồng lái tàu thủy

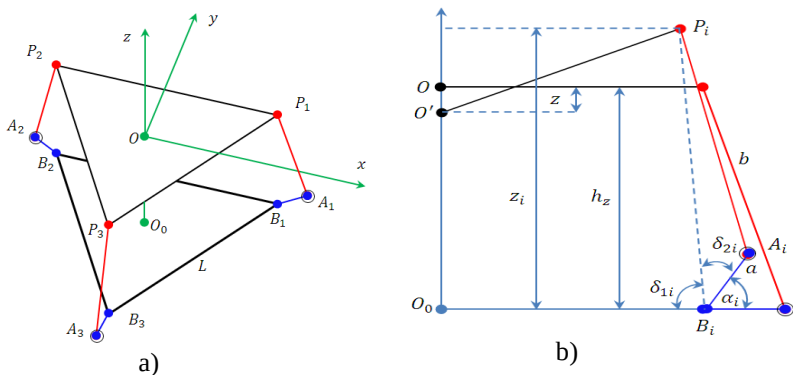
Cấu trúc hình 2.15 được diễn giải như sau: tín hiệu chuyển động thật 3 DOF (roll, pitch, heave, yaw) của con tàu trong mô phỏng 3D lập trình trên phần mềm Unity3D được gửi đến PLC trung gian thông qua giao thức Modbus TCP. Từ tín hiệu này PLC sẽ tính ra chuyển động quay của 3 trục của động cơ servo sau đó gửi tín hiệu điều khiển dạng xung đến các drive của các servo tương ứng.

Trong mỗi động cơ servo đều có các encoder phản hồi góc quay của nó, do đó thông qua bộ điều khiển PID được cài đặt trong drive góc quay của động cơ được điều khiển chính xác và đảm bảo tuân thủ lệnh điều khiển từ PLC.

2.3.2 Mô phỏng chuyển động của tàu thủy với sàn treo ba bậc tự do (3DOF)

Mô hình chuyển động ứng dụng cho hệ thống mô phỏng hàng hải với sàn treo cabine buồng lái tàu thủy được đề xuất có dạng 3 bậc tự do trên cơ sở cấu trúc của Stewart platform. NCS nghiên cứu cấu trúc có điều chỉnh trong

đó 3 trục song thay bằng 3 tay đòn được nối khớp với 3 tay quay truyền động bởi 3 động cơ servo. Như vậy tín hiệu điều khiển trực tiếp chuyển động của sàn cabin là giá trị góc của 3 tay quay: $\underline{\alpha} = [\alpha_1 \ \alpha_2 \ \alpha_3]^T$



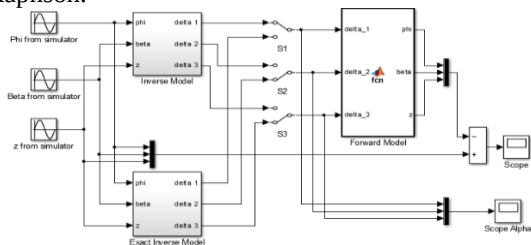
Hình 2.17 a) Sơ đồ hình học của mô hình 3DOF, b) Tay quay và tay đòn

2.4 Mô hình động học ngược xác định góc quay động cơ servo

Mô hình động học ngược rất quan trọng cho bài toán điều khiển để xác định góc quay của mỗi trục động cơ α_i ($i = 1, 2, 3$) từ dữ liệu độ nghiêng, độ lắc và độ cao tương đối từ mô hình mô phỏng 3D của con tàu là vector $\underline{\eta}$.

2.5 Kiểm chứng bằng mô hình động học thuận

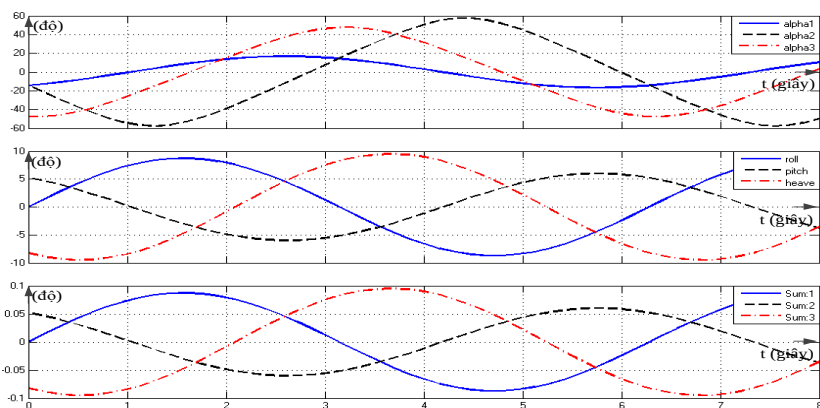
Xây dựng mô hình động học thuận giúp ta xác định được độ nghiêng, độ lắc và độ cao tương đối thực của chuyển động mô hình từ góc quay của ba động cơ α_i để so sánh với dữ liệu độ nghiêng, độ lắc và độ cao từ mô phỏng 3D là vector $\underline{\eta}$. Để xây dựng mô hình động học thuận ta sử dụng phương pháp Newton-Raphson.



Hình 2.19 Sơ đồ mô phỏng hệ thống trên Matlab/Simulink

2.6 Kết quả mô phỏng

Các mô phỏng được thực hiện bao gồm các kịch bản chỉ có lắc ngang, chỉ có lắc dọc, chỉ có trượt thẳng đứng và chuyển động hỗn hợp. Các tín hiệu đáp ứng bao gồm ba góc quay α_i của ba servo (alpha1, alpha2, alpha3); các tín hiệu đầu vào nhận được từ phân mô phỏng 3D của tàu bao gồm ba chuyển động $\underline{\eta}$ (roll, pitch, heave); các sai lệch giữa tín hiệu đầu vào và tín hiệu sau mô hình “Forward Model” (sum1, sum2, sum3) hình dưới đây.

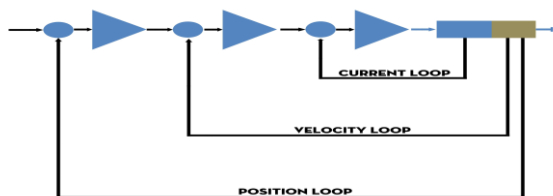


Hình 2.23 Kết quả mô phỏng khi có chuyển động hỗn hợp

2.7 Xây dựng cấu trúc điều khiển bám tín hiệu mô phỏng của tổ hợp Drive/Servo ứng dụng PLC

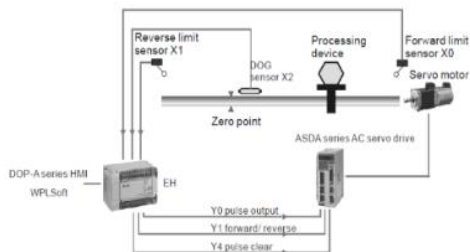
2.7.1 Phân tích các vòng lặp điều khiển

Để điều khiển các góc quay của động cơ thì cấu trúc vòng lặp điều khiển động cơ servo thường gồm 03 mạch vòng kín nối tầng như hình dưới đây. Vòng trong cùng là điều khiển mô men, ở giữa là vòng điều khiển tốc độ và ngoài cùng là vòng điều khiển vị trí.

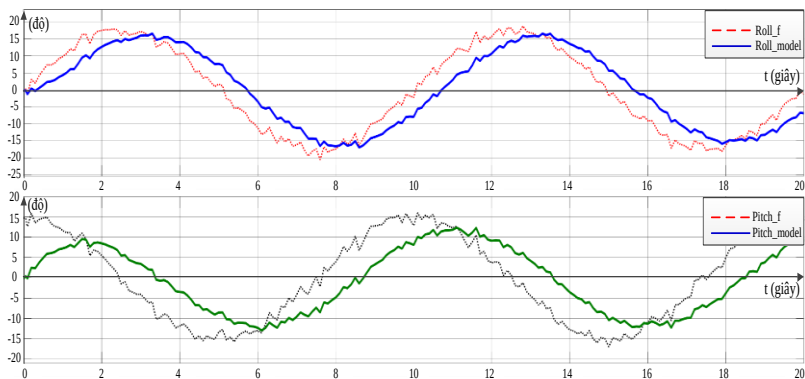


Hình 2.24 Cấu trúc vòng lặp trong điều khiển nối tầng động cơ servo

Tiếp theo NCS đề xuất phương án điều khiển vị trí sử dụng PLC và Servo Motor như hình dưới đây:



Hình 2.25 Cấu trúc điều khiển sử dụng PLC và Servo Motor của hãng Delta



Hình 2.28 Đặc tính đáp ứng bám theo các góc quay con tàu của sàn cabine

Qua kết quả trên, kết hợp với nhiều lần khảo sát và đo đạc ta nhận thấy đáp ứng chuyển động của sàn cabine luôn có độ trễ từ 500÷1500ms; biên độ max bám theo của sàn có sai số khoảng 12%

2.7.2 Cải thiện chất lượng điều khiển vị trí bằng thuật toán dự báo số trên cơ sở PLC

Trong khuôn khổ phần ứng dụng PLC để thiết kế bộ điều khiển bám của mục này ta sẽ sử dụng thuật toán dự báo đơn giản trên cơ sở điều khiển số cho PLC vì trong một số ứng dụng cụ thể phương án này vẫn đem lại hiệu quả. Phương trình động học tàu thủy viết cho 3 biến trạng thái ϕ, θ, z như sau:

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p + q\sin(\phi)\tan(\theta) + r\tan(\phi)\tan(\theta) \\ q\cos(\theta) - r\sin(\phi) \\ -u\sin(\theta) + v\cos(\theta)\sin(\phi) + w\cos(\theta)\cos(\phi) \end{bmatrix}$$

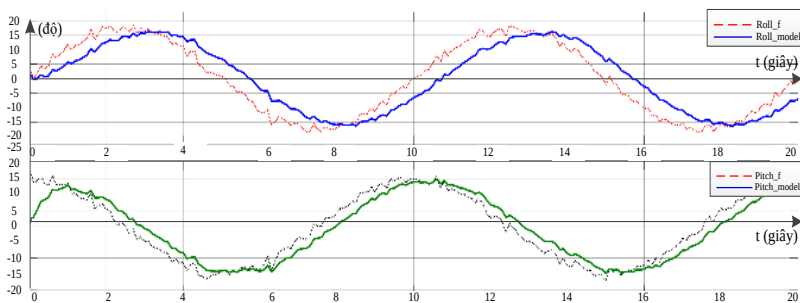
do về trái là các đạo hàm nên ta có thể thiết kế các thuật toán dự báo để lập trình cho PLC gồm hai bước như sau:

- Bước 1: Cập nhật các giá trị ở chu kỳ hiện tại từ máy tính chủ thông qua mạng Modbus TCP:

$$p(k), q(k), r(k), u(k), v(k), w(k), \phi(k), \theta(k), z(k)$$

- Bước 2: Dự báo các trạng thái lắc ngang, lắc dọc, trượt dọc $\phi(k+1), \theta(k+1), z(k+1)$ theo công thức như sau:

$$\begin{bmatrix} \phi(k+1) \\ \theta(k+1) \\ z(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi(k) + p(k) + q(k)\sin(\phi(k))\tan(\theta(k)) + r(k)\tan(\phi(k))\tan(\theta(k)) \\ \theta(k) + q(k)\cos(\theta(k)) - r(k)\sin(\phi(k)) \\ z(k) - u(k)\sin(\theta(k)) + v(k)\cos(\theta(k))\sin(\phi(k)) + w(k)\cos(\theta(k))\cos(\phi(k)) \end{bmatrix}$$



Hình 2.29 Đáp ứng bám theo các góc quay con tàu của sàn cabine khi sử dụng dự báo với $T_s = 500ms$

Thời gian cắt mẫu T_s cho chu kỳ tính toán được chọn nằm trong dải 500÷1500ms. Sau khi lập trình, cài đặt vào hệ thống và thu thập dữ liệu ta được các đồ thị như hình như trên với $T_s = 500ms$

Kết quả trên cho thấy các góc quay của sàn cabine đã bám tốt hơn. Tuy nhiên, không được nhiều cải thiện về sai số và độ trễ. Ngoài ra, trong cả hai kết quả các đường đặc tính đáp ứng đều có dao động ít hơn, chuyển động mượt hơn so với lượng đặt do đã được lọc thông qua vòng lặp điều khiển vị trí thực tế là khâu quá tính bậc một.

2.8 Kết luận chương 2

Trong chương 2, NCS đã nghiên cứu và ứng dụng phần mềm mô phỏng Unity3D để mô phỏng chuyển động tàu thủy trên cơ sở phương trình động học có được ở chương 1.

Khi mô hình mô phỏng 3D chuyển động tàu thủy hoạt động, NCS thực hiện thu thập tham số là các thành phần chuyển động 6 bậc tự do của tàu trong vector η . Tiếp theo để mô phỏng chuyển động bằng sàn treo cabin, NCS giới hạn lại chỉ sử dụng 03 tín hiệu chuyển động chính là lắc ngang, lắc dọc và trượt đứng (ϕ, θ, z) .

NCS đã nghiên cứu và xây dựng bộ điều khiển bám tín hiệu chuyển động ϕ, θ, z của con tàu mô phỏng 3D bằng mô hình động học ngược chính xác sau đó sử dụng mô hình động học thuận mô phỏng sử dụng thuật toán Newton-Raphson để kiểm tra đáp ứng bám tín hiệu. Ngoài ra, để hướng đến tính thực tiễn NCS ứng dụng thiết bị PLC để điều khiển các cơ cấu thực hiện của mô hình vật lý sàn treo. Trong đó, NCS đã đề xuất các phương án ghép nối giữa PLC và Drive, phương pháp thiết kế thuật toán điều khiển trên PLC và Drive để nâng cao chất lượng điều khiển bám tín hiệu mô phỏng. Tuy nhiên, đối với cả hai phương án sử dụng mô hình mô phỏng với thuật toán Newton-Raphson và mô hình sàn treo vật lý thật thì do tính chất thay đổi ngẫu nhiên của lượng đặt và nhiều tải nên chất lượng bám tín hiệu vẫn bị trễ từ 500ms - 1500ms mặc dù đã sử dụng các phương pháp như Feedforward đầu vào, bù nhiễu tải, dự báo số. Vì vậy, hướng nghiên cứu trong chương tiếp theo sẽ là sử dụng các phương pháp điều khiển dự báo hiện đại để khắc phục các điểm còn tồn tại.

Chương 3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN DỰ BÁO ỨNG DỤNG MẠNG NƠON NHÂN TẠO TRONG ĐIỀU KHIỂN SÀN TREO

3.1 Trí tuệ nhân tạo - AI và mạng nơon nhân tạo - ANN

Trí tuệ nhân tạo (AI - Artificial Intelligence) là một khái niệm rộng và bao trùm, là trí thông minh được thể hiện bằng máy móc (hoặc máy tính).

Mạng nơon nhân tạo (ANN - Artificial Neural Networks) mô phỏng lại mạng nơon sinh học là một cấu trúc khối gồm các đơn vị tính toán đơn giản được liên kết chặt chẽ với nhau.

3.2 Các hình trạng của mạng nơon ANN và mạng truyền thẳng nhiều lớp MLP

3.2.1 Các hình trạng của mạng nơon

a. Mạng truyền thẳng (Feed forward neural network):

Trong mạng này dòng dữ liệu từ đơn vị đầu vào đến đơn vị đầu ra chỉ được truyền thẳng. Việc xử lý dữ liệu có thể mở rộng ra nhiều lớp, nhưng không có các liên kết phản hồi.

b. Mạng hồi quy (Recurrent neural network):

Trong mạng này có chứa các liên kết ngược. Khác với mạng truyền thẳng, các thuộc tính động của mạng mới quan trọng. Trong một số trường hợp, các giá trị kích hoạt của các đơn vị trải qua quá trình nối lồng (tăng giảm số đơn vị và thay đổi các liên kết) cho đến khi mạng đạt đến một trạng thái ổn định và các giá trị kích hoạt không thay đổi nữa.

3.2.2 Mạng truyền thẳng nhiều lớp MLP

Một mạng truyền thẳng nhiều lớp bao gồm một lớp vào, một lớp ra và một hoặc nhiều lớp ẩn. Các nơon đầu vào thực chất không phải các nơon theo đúng nghĩa, bởi lẽ chúng không thực hiện bất kỳ một tính toán nào trên dữ liệu vào, đơn giản nó chỉ tiếp nhận các dữ liệu vào và chuyển cho các lớp kế tiếp. Các nơon ở lớp ẩn và lớp ra mới thực sự thực hiện các tính toán, kết quả được định dạng bởi hàm đầu ra (hàm chuyển).

3.3 Ứng dụng mạng nơon nhân tạo dạng MLP trong điều khiển sàn treo

3.3.1 Bài toán dự báo trước giá trị tham chiếu cho tổ hợp Drive/Servo Mortor

MLP là một giải pháp tốt để nhận dạng phi tuyến, chẩn đoán sự cố hỏng hóc tiềm ẩn hoặc dự báo trạng thái. Vì vậy, NCS sẽ xây dựng mạng MLP phục vụ cho việc dự báo trước giá trị tham chiếu cho tổ hợp Drive/Servo Mortor. Mạng MLP được sử dụng trong luận án này là một mạng MLP truyền thẳng có phân bố các lớp như sau: lớp đầu vào (12 nơon ứng với 12 tín hiệu vào); lớp đầu ra (3 nơon ứng với 03 tín hiệu ra) và các lớp ẩn. Số lượng lớp ẩn và số nơon của nó sẽ được chọn dựa trên mô hình dự báo nào có sai số MAPE là nhỏ nhất được trình bày chi tiết trong mục 3.3.3.

Lớp đầu ra gồm 3 nút ra ứng ba giá trị dự báo của góc quay của 3 động cơ servo $\underline{\alpha} = [\alpha_1 \quad \alpha_2 \quad \alpha_3]^T$ để nhận được giá trị lắc ngang, lắc dọc, trượt đứng của sàn treo sớm hơn. Từ quá trình luyện mạng và kết quả nhận được thì lớp ẩn sẽ chọn bao gồm 10 nút. Trong phương án này việc chẩn

đoán, dự báo tương lai trước đạt được là 50ms đến 1500 ms dựa vào các dữ liệu tại thời điểm hiện tại và quá khứ. Mạng nơron MLP sẽ học được mối quan hệ này và kết quả sau khi học có thể được kiểm tra lại bằng bộ dữ liệu mẫu khác (test file). Để xác định sai số, sai số tuyệt đối phần trăm (APE) và sai số tuyệt đối trung bình phần trăm (MAPE) được sử dụng và được định nghĩa sau đây:

$$APE = \left| \frac{gocthuc - gocdubao}{gocthuc} \right| * 100$$

$$MAPE = \frac{1}{N_h} \sum_{h=1}^{N_h} APE \quad (\text{Trong đó } N_h \text{ là thời gian dự báo})$$

3.3.2. Xây dựng mạng nơron sử dụng công cụ Matlab/Nntool

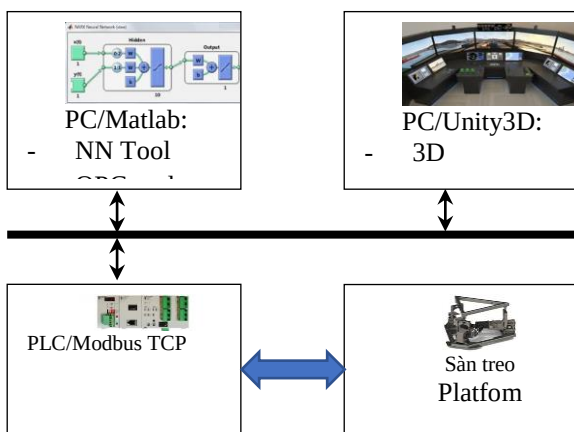
a. Bộ công cụ ANN Toolbox

Các toolbox của MATLAB là một bộ sưu tập của m-file mà mở rộng các khả năng của MATLAB đến một số lĩnh vực kỹ thuật như hệ thống điều khiển, xử lý tín hiệu, tối ưu hoá, và ANN. Trong toolbox ANN version 3.0 [Mat99b], MATLAB cung cấp 12 hàm huấn luyện có hiệu suất cao. Một mạng ANN lan truyền ngược được dùng phổ biến

b. Đề xuất cấu trúc thực hiện

Quá trình luyện mạng: Cấu hình của hệ thống trong quá trình luyện mạng bao gồm dữ liệu đầu vào là các tín hiệu từ các cảm biến độ nghiêng roll,

pitch, heave của sàn treo được thu thập tại PLC. Các tín hiệu này được truyền về máy tính PC/Matlab thông qua module OPC tool. Ngoài ra, dữ



Hình 3.2 Sơ đồ cấu trúc hệ thống điều khiển sàn treo có tích hợp module ANN/MLP

liệu của các góc quay động cơ servo cũng được thu thập bởi PLC và chuyển về phần mềm Matlab như là các dữ liệu đầu ra.

Trong đó, việc thu thập dữ liệu và điều khiển trực tiếp sản treo được thực hiện thông qua PLC; máy tính điều khiển giám sát sẽ trao đổi với PLC thông qua module OPC server, module này cung cấp dữ liệu cho phần mềm mô phỏng 3D đồng thời giao tiếp với phần mềm Matlab thông qua toolbox OPC. Máy tính cài đặt phần mềm Matlab/NN tool cài đặt thuật toán ANN/MLP, thực hiện luyện mạng và sẽ nhận dữ liệu đầu vào từ sản treo sau đó thực hiện thuật toán đã học và đưa ra các quyết định dự báo cho máy tính để bộ điều khiển PLC đưa ra các tình huống xử lý sớm hơn.

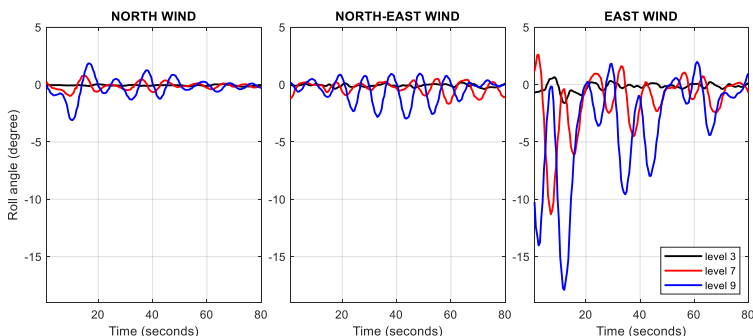
c. Thu thập dữ liệu thời gian thực cho Matlab/NNtool

Bộ công cụ OPC toolbox làm cầu nối dữ liệu giữa Matlab/Simulink và thiết bị khả trình PLC. Kết quả cài đặt và thực nghiệm cho thấy phương án này rất hiệu quả và đảm bảo chất lượng tốt trong thực nghiệm các hệ điều khiển quá trình cần thời gian xử lý không quá nhanh.

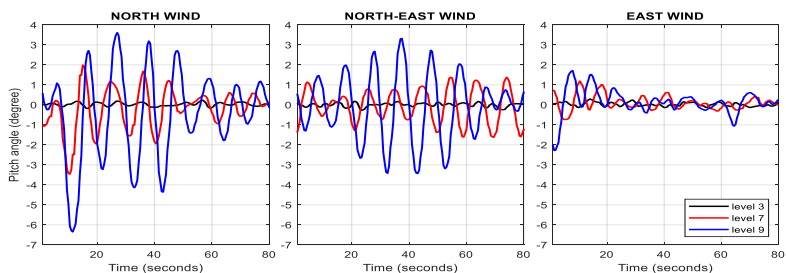
3.3.3 Huấn luyện mạng trong Matlab/NNtool

Dữ liệu sử dụng để luyện mạng được cấp từ PLC vào phần mềm Matlab bằng công cụ OPC tool/OPC Server: KEPServerEX 5. Những dữ liệu chuyển động trên ba trục (roll, pitch và rate of heave) của sản treo, những dữ liệu sẽ được xử lý để có được 1207 bản ghi dữ liệu của hệ thống mô phỏng buồng lái với nhiều kịch bản thử nghiệm (cấp sóng khác nhau) để huấn luyện cho mạng nơ-ron. Các bản ghi này được chọn lọc để ra các mẫu có tín hiệu tham chiếu các thời điểm trước là 50ms - 1500ms.

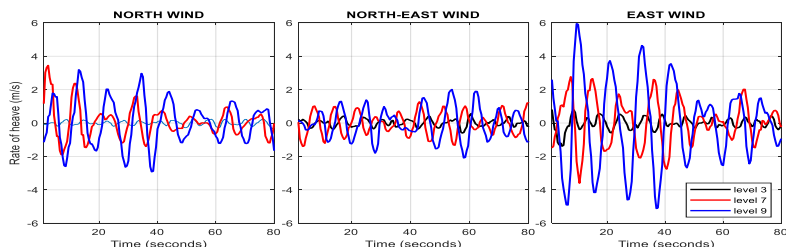
Như đã số những bài toán xây dựng mô hình dự báo sử dụng mạng nơ-ron, NCS sẽ lấy 80% dữ liệu của 1207 bản ghi, 20% dữ liệu còn lại để sử dụng cho việc thử nghiệm mô hình (testing). Như vậy, dữ liệu đầu vào và đầu ra để luyện mạng sẽ là hai bảng dạng file excel và có kích thước tương ứng là $INPUT_{80}$: <966x12 double> và $OUTPUT_{80}$: <966x3 double>. Trong khi đó dữ liệu được sử dụng để thử nghiệm mô hình đã luyện sẽ là hai bảng $INPUT_{20}$: <241x12 double> và $OUTPUT_{20}$: <241x3 double>. Các bảng này sẽ được nhập (import) vào Workspace của Matlab để sử dụng.



a)



b)

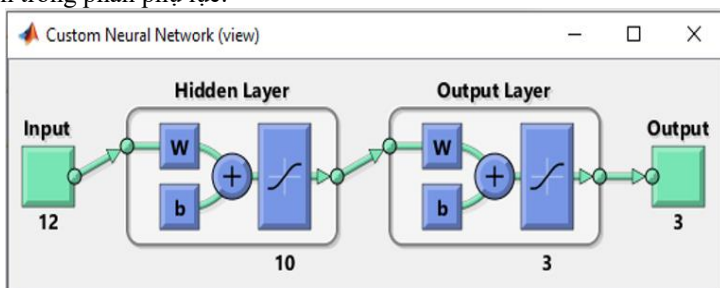


c)

Hình 3.5 Dữ liệu mẫu để luyện mạng nơ-ron a) Chuyển động roll; b) Chuyển động pitch; c) Chuyển động heave

Trong nhiều nghiên cứu về mạng nơ-ron đã chỉ ra rằng số lớp ẩn và số nơ-ron trong mỗi lớp ẩn tối ưu sẽ phụ thuộc vào từng bộ dữ liệu. Bởi vậy, NCS huấn luyện 20 mô hình với số lớp ẩn khác nhau (1, 2, 3, 4, 5) số nơ-ron trong mỗi lớp cũng thay đổi (5, 10, 15, 20) để chọn ra mô hình có sai số trung bình tuyệt đối MPEA (tính theo công thức 3.4) là nhỏ nhất.

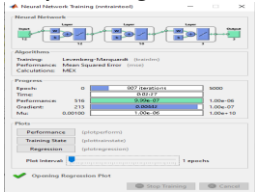
Khi huấn luyện 20 mô hình với số lớp ẩn và số nơ-ron khác nhau, NCS đã chọn ra được mô hình với 01 lớp ẩn và 10 nơ-ron là mô hình có sai số trung bình tuyệt đối nhỏ nhất khi thử với 20% dữ liệu còn lại (241 bản ghi) của bộ dữ liệu tổng 1207 bản ghi. Bộ dữ liệu tổng huấn luyện mạng được thể hiện trong phần phụ lục.



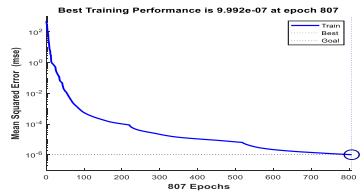
Hình 3.6 Sơ đồ cấu trúc mạng nơ-ron được chọn với 01 lớp đầu vào (12 nơ-ron), 01 lớp ẩn (10 nơ-ron) và 01 lớp ra (03 nơ-ron)

Các hình dưới đây là cửa sổ trạng thái trong quá trình huấn luyện mạng. Giá trị của sai số MSE trong suốt quá trình luyện mạng với 01 lớp ẩn (10 nơ-

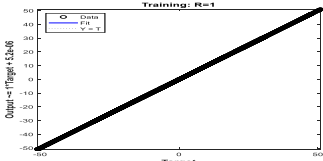
ron). Mạng đạt lỗi huấn luyện mục tiêu (0.001) sau 807 bước lặp. Hệ số hồi quy khi huấn luyện mạng R=1 cho thấy mạng hội tụ rất tốt.



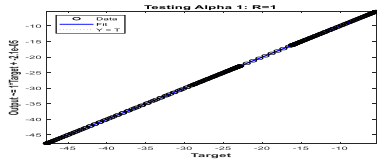
Hình 3.7 Cửa sổ trạng thái quá trình huấn luyện mạng



Hình 3.8 Đặc tính sai số MSE của quá trình huấn luyện mạng

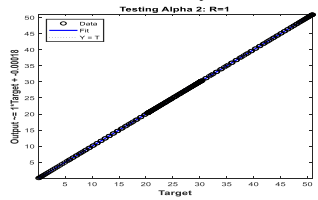


Hình 3.9 Đường hồi quy luyện mạng

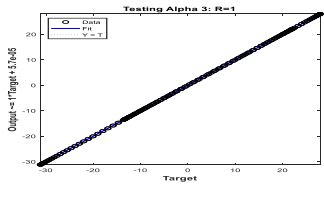


Hình 3.10 Đường hồi quy khi thử nghiệm mạng với đầu ra alpha 1

Với các đầu vào của 20% bản ghi còn lại của bộ dữ liệu tổng sẽ được sử dụng làm đầu vào cho mô hình đã huấn luyện. Đầu ra dự báo của mô hình đã huấn luyện sẽ được so sánh với đầu ra tương ứng trong 20% bản ghi còn lại để so sánh độ tương quan. Kết quả các đường quy khi thử nghiệm với 03 đầu ra (alpha 1, alpha 2 và alpha 3) được thể hiện trên các hình dưới đây. Ta thấy rằng, với cả 03 đầu ra, hệ số hồi quy R đều bằng 1, điều đó cho thấy chính xác và tin cậy của mô hình đã huấn luyện.

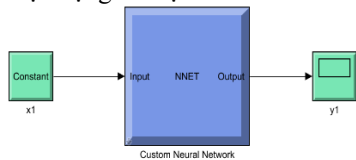


Hình 3.11 Đường hồi quy khi thử nghiệm mạng với đầu ra alpha 2



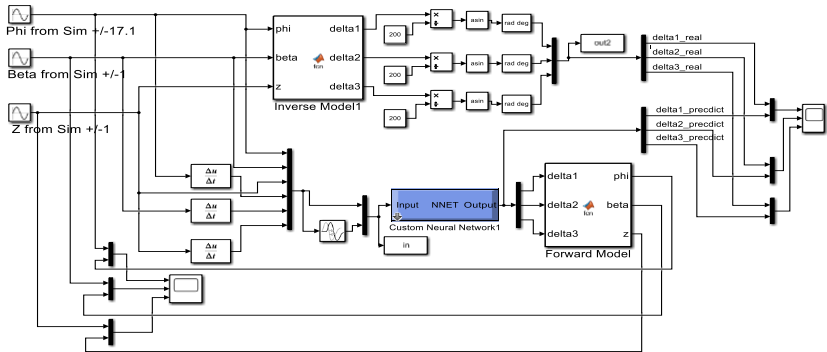
Hình 3.12 Đường hồi quy khi thử nghiệm mạng với đầu ra alpha 3

Kết quả sau quá trình huấn luyện mạng thì các trọng số W_{ji} và các ngưỡng hay độ lệch (bias) θ_j của mạng được cập nhật và ta có sơ đồ cấu trúc mạng nơ ron với 12 đầu vào, 10 nút ẩn và 3 lớp đầu ra. Mô hình này sẽ được sử dụng trong phần mềm Simulink để nhận dạng dữ liệu vào mới khi điều khiển sản treo.



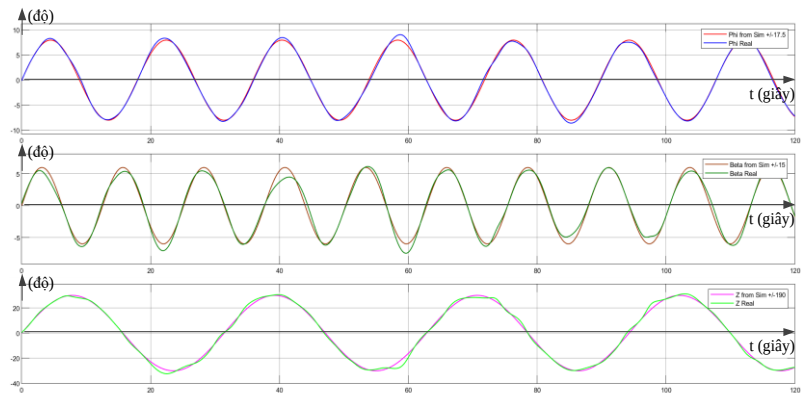
Hình 3.13 Khối mạng nơ ron đã hình thành trong môi trường Simulink để sử dụng

3.3.4 Xây dựng kịch bản mô phỏng với mô hình Newton-Raphson

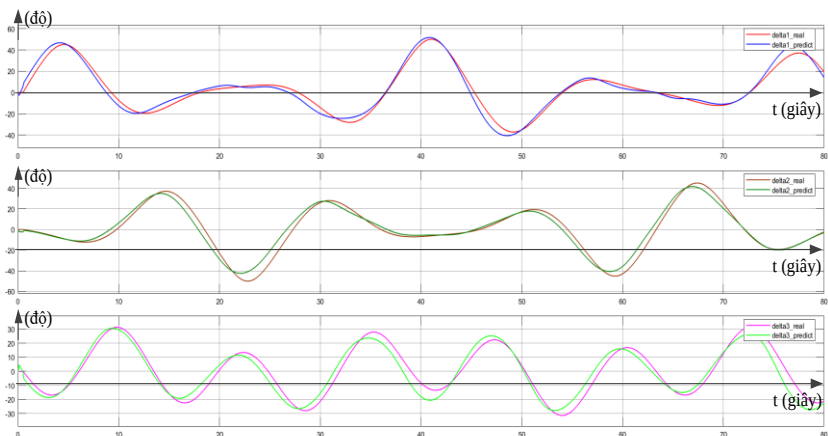


Hình 3.14 Sơ đồ khối mô phỏng có sử dụng mạng nơ ron nhân tạo

Kết quả mô phỏng kiểm chứng ở hình 3.12 chỉ ra đặc tính các dữ liệu đầu vào và dữ liệu đầu ra tại các thời điểm lân cận tín hiệu tham chiếu ϕ , θ , z . Đáp ứng đầu ra của mạng nơron và đầu ra tham chiếu cho thấy sai số giữa giá trị tính toán bởi mô hình và giá trị thực tế không vượt quá 12% và tính thời gian thực của hệ đạt không còn trễ đến 50ms.



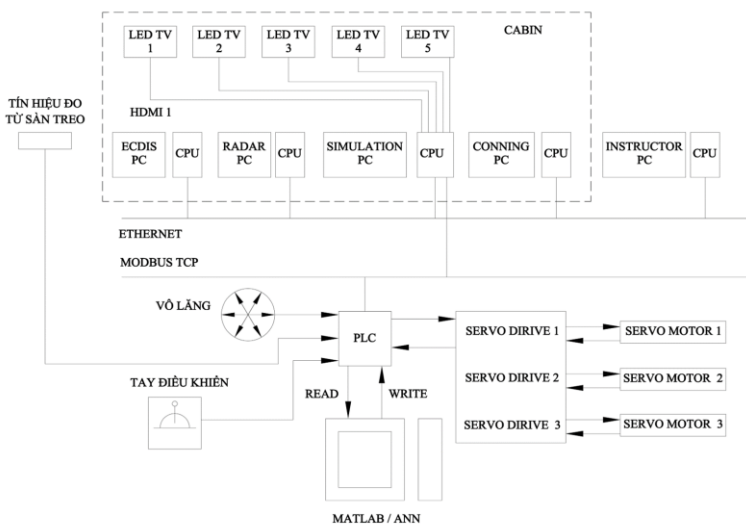
Hình 3.15 Đặc tính mô phỏng đáp ứng tín hiệu ra ϕ (lắc ngang), θ (lắc dọc) và chuyển động trượt dọc trục thẳng đứng là z khi có mạng Nơron



Hình 3.16 Đặc tính mô phỏng tín hiệu đầu vào điều khiển động cơ servo α_1 , α_2 , α_3 khi có mạng Noron

cho ta thấy đối với các tín hiệu điều khiển 03 động cơ servo $\underline{\alpha} = [\alpha_1 \ \alpha_2 \ \alpha_3]^T$ đã được dự báo và có pha luôn vượt trước các tín hiệu điều khiển động cơ servo mà ta có được từ mô hình động học ngược, thời gian vượt trước có thời điểm lên tới 1200ms.

3.4. Sơ đồ kết nối dữ liệu của hệ thống mô phỏng hàng hải



Hình 3.17 Cấu trúc mạng của hệ thống mô phỏng hàng hải

Trong đó, bổ sung thêm bộ cảm biến để đo các tín hiệu nghiêng, lắc và trượt đứng từ sàn treo; bổ sung thêm một máy tính chạy bộ dự báo ANN trên Matlab/Simulink. Cả hai bộ phận này đều được kết nối tín hiệu tới PLC.

3.4.1 Giao diện dữ liệu của PLC với vô lăng, tay trang và bộ tín hiệu sàn treo

Module giao diện dữ liệu của PLC có nhiệm vụ giao diện trực tiếp với người vận hành và gửi tín hiệu điều khiển từ người vận hành đến bộ điều khiển trung tâm PLC. NCS sử dụng Encoder tuyệt đối mã hiệu EP500S8-1024-3F-P-24 để xử lý tín hiệu 11 vị trí của tay trang cũng như truyền tín hiệu vị trí từ vô lăng lái về bộ điều khiển trung tâm, với cảm biến tín hiệu sàn treo tác giả sử dụng loại 3 trục loại QK- AS08

3.4.2 Giao diện dữ liệu của PLC với panel điều khiển máy chính, máy lái, neo, chân vịt mũi

Module vào/ra dữ liệu của PLC kết nối tới hai panel: Panel điều khiển máy chính và panel điều khiển máy lái, cho nên để có thể chế tạo chính xác, đảm bảo độ tin cậy cho module module vào/ra dữ liệu, trước hết, phải xác định chuẩn các đầu vào/ra. Panel điều khiển máy chính và chân vịt mũi bao gồm các tín hiệu đèn tín hiệu, bao gồm: đèn báo lỗi điều khiển từ xa, đèn báo động sự cố, nút dừng sự cố, đèn báo động giảm tốc, nút ấn thả neo, nút ấn thu neo, nút ấn khởi động chân vịt mũi, nút ấn dừng chân vịt mũi, đèn báo sự cố chân vịt mũi.

3.4.3 Giao diện dữ liệu của PLC với Drive/Servo motor

Để lấy tín hiệu phản hồi về từ servo, tác giả đã lấy tín hiệu từ các chân của drive servo sau đó đưa vào đầu vào của module mở rộng.

3.5. Thiết kế, chế tạo bàn điều khiển control console

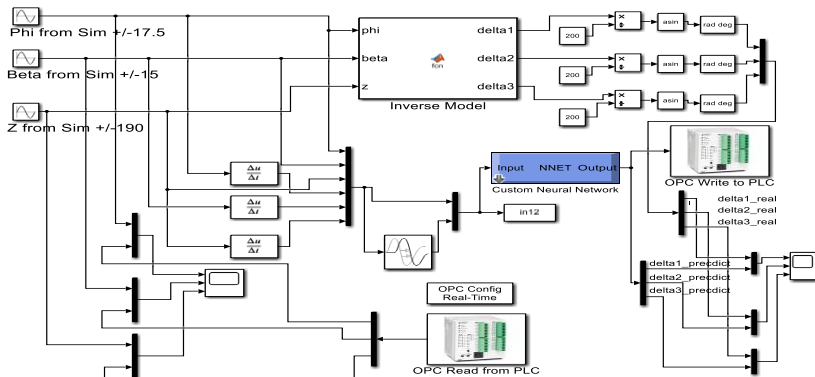


Hình 3.25. Hình ảnh bàn control console buồng lái và Hình 2.226 Hệ thống mô phỏng sau khi được chế tạo

3.6. Cải thiện chất lượng điều khiển sàn treo mô hình vật lý bằng bộ dự báo ứng dụng mạng nơron

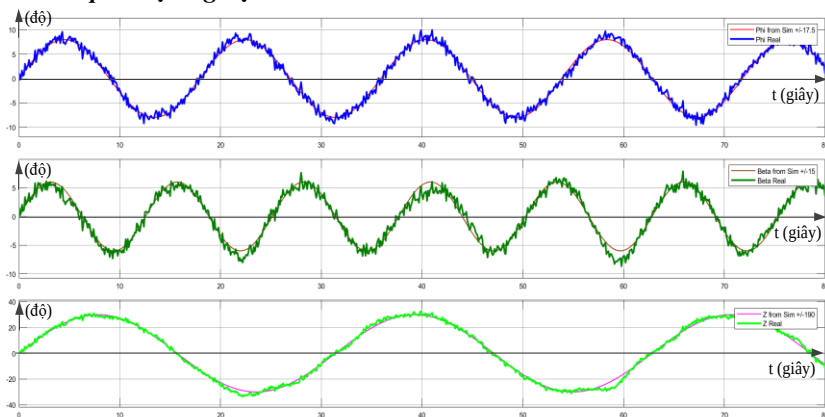
Sau khi chế tạo thành công mô hình vật lý của sàn treo ba bậc tự do đã được đề cập ở mục 3.4 và 3.5, công việc tiếp theo rất quan trọng là xây dựng cấu trúc điều khiển sử dụng thuật toán dự báo MLP để điều khiển mô hình sàn treo vật lý vừa được chế tạo. Toàn bộ cấu trúc điều khiển sử dụng thuật toán dự báo MLP trong môi trường Matlab/Simulink được NCS thiết kế, ta

thay toàn bộ khối mô hình động học thuận bằng các khối OPC read, OPC write để kết nối tín hiệu với hệ thống phần cứng của sản treo vật lý.



Hình 3.29 Sơ đồ cấu trúc ứng mạng nơron nhân tạo MLP trong điều khiển mô hình vật lý sản treo 3 DOF

Kết quả thực nghiệm:



Hình 3.30 Đáp ứng tín hiệu khi tín hiệu nghiêng, lắc và trượt dừng của sản treo khi ứng dụng mạng nơron nhân tạo MLP so sánh với tín hiệu từ mô phỏng 3D

Nhận xét kết quả thực nghiệm:

- Nếu đưa thuật toán dự báo MLP để điều khiển mô hình vật lý sản treo thông qua PLC thì độ trễ cho mô hình điều khiển này cũng giảm và cải thiện đáng kể gần giống như mô hình mô phỏng, với đáp ứng có độ trễ không vượt quá 60ms.

- Tuy nhiên, biên độ của các tín hiệu ra ϕ (lắc ngang), θ (lắc dọc) và chuyển động trượt dọc trục thẳng đứng là z đo được trực tiếp từ sản treo

không bám được hoàn toàn các tín hiệu từ hệ thống mô phỏng 3D, có thời điểm xuất hiện xung nhiễu của tín hiệu đo vượt quá 5%.

- Ngoài ra, kết quả thu được từ hình 3.30 là đặc tính đáp ứng mà ta đo được có sử dụng bộ dự báo dùng mạng nơron nhân tạo (MLP) kết hợp với bộ điều khiển PLC tạo tín hiệu điều khiển 03 động cơ servo trong mô hình vật lý treo so với đặc tính của mô phỏng 3D có xuất hiện những sai lệch tức thời lớn, do có nhiễu xung răng cưa thu được ở tín hiệu nghiêng/lắc thực của sản treo. Về mặt tổng thể thì hệ thống có sử dụng mạng nơron nhân tạo MLP đã cải thiện được rất tốt chất lượng điều khiển độ nghiêng/lắc của sản treo khi bám theo mô hình con tàu mô phỏng, độ trễ pha đã giảm đi rất đáng kể chỉ còn khoảng 60ms. Với thời gian nhỏ như vậy đã hoàn toàn tạo cảm giác cho người huấn luyện có được sự đồng bộ giữa thị giác nhìn trên mô hình 3D và cảm nhận thực tế khi đứng trên sản treo. Mặt khác, tồn tại thứ ba mà ở trên đã nêu có thể giải thích được là do nhiễu của các thiết bị đo sinh ra và trên thực tế các nhiễu tần số cao này có thể được lọc phẳng bởi chính mô hình có quán tính chậm khoảng 2000ms (tối đa 0,5Hz) của sản treo.

3.7 Kết luận chương 3:

Trong chương 3, NCS đã tìm hiểu về trí tuệ nhân tạo AI và mạng nơron nhân tạo ANN, sau đó thiết kế bộ dự báo trên cơ sở mạng nơron nhân tạo dạng nhiều lớp truyền thẳng MLP. Tiến hành kiểm chứng bằng mô phỏng dựa trên mô hình động học thuận sử dụng phương pháp Newton-Raphson có ứng dụng MLP so với tín hiệu ban đầu được mô phỏng lấy từ máy tính PC server chạy mô hình 3D.

NCS xây dựng mô hình vật lý để thực nghiệm kiểm chứng kết quả nhằm đánh giá chất lượng điều khiển bám so với mô phỏng.

Trên cơ sở chế tạo thành công mô hình vật lý của sản treo ba bậc tự do tiến hành xây dựng cấu trúc điều khiển sử dụng thuật toán dự báo MLP để điều khiển mô hình sản treo vật lý vừa được chế tạo để thu thập kết quả thực nghiệm. Về mặt tổng thể thì hệ thống có sử dụng mạng nơron nhân tạo MLP đã cải thiện được rất tốt chất lượng điều khiển độ nghiêng/lắc của sản treo khi bám theo mô hình con tàu mô phỏng, độ trễ pha đã giảm đi rất đáng kể chỉ còn khoảng 60ms.

KẾT LUẬN

Những vấn đề đã được giải quyết:

Quá trình thực hiện đề tài, luận án đã giải quyết được những nội dung sau:

1. Đã nghiên cứu và đề xuất mô hình toán học đầy đủ về động lực học của đối tượng con tàu dưới dạng không gian trạng thái 6 bậc tự do đáp ứng cho mong muốn mô phỏng được chính xác chuyển động tàu thủy trong không gian 3D. Từ đó có thể đưa trực tiếp các phương trình này vào model của con tàu mới bất kỳ nào để tạo ra các tương tác vật lý như trên thực tế. Bên cạnh đó, cũng nghiên cứu và đề xuất mô hình toán học của các yếu tố môi trường như sóng, gió và dòng chảy.

2. Đã nghiên cứu và ứng dụng phần mềm mô phỏng Unity3D để mô phỏng thành công chuyển động tàu thủy trên cơ sở phương trình động học có được. Trong đó, phương trình động lực học $M_{RB}\dot{v} + C_{RB}(v)v = \tau - g(\eta)$ đã được mô phỏng thông qua module RigidBody và đưa vào mô hình tàu, bên cạnh các thành phần lực nổi, lực và mô men thủy động lực học, lực và mômen tạo ra do tác động của các lực đẩy của chân vịt chính, chân vịt mũi, bánh lái, lực do tác động của môi trường như sóng, gió, dòng chảy... đều lần lượt được tính toán bằng các khối hàm và đưa vào vật thể là con tàu đảm bảo đầy đủ tương tác vật lý của nó.

3. Đã nghiên cứu và xây dựng bộ điều khiển bám tín hiệu chuyển động ϕ, θ, z của con tàu mô phỏng 3D bằng mô hình động học ngược chính xác, sau đó sử dụng mô hình động học thuận ứng dụng thuật toán Newton-Raphson để kiểm tra đáp ứng bám tín hiệu. Đã đề xuất các phương án ghép nối giữa PLC và Drive, phương pháp thiết kế thuật toán điều khiển trên PLC và Drive để cải thiện chất lượng điều khiển bám tín hiệu mô phỏng như sử dụng các phương pháp như Feedforward đầu vào, bù nhiễu tải, dự báo số.

4. Đã nghiên cứu và xây dựng thành công mô hình vật lý sàn treo 3 bậc tự do trên cơ sở cấu trúc của Stewart platform có sử dụng bộ điều khiển bám các tín hiệu chuyển động ϕ, θ, z của con tàu mô phỏng 3D trên cơ sở ứng dụng thiết bị điều khiển logic khả trình PLC, Drive, Servo.

5. Đã nghiên cứu và thiết kế dự báo hiện đại dạng mạng nơron nhân tạo MLP có sử dụng công cụ NNtool trong môi trường Matlab/Simulink và công cụ thời gian thực OPC. Mạng nơron nhân tạo dạng truyền thẳng nhiều lớp - MLP được xây dựng để dự báo trước góc quay của 03 động cơ servo chuyển động sàn treo có cấu trúc 12 lớp vào, 10 nút ẩn và 3 lớp ra. Bộ điều khiển dự báo đã khắc phục các nhược điểm về độ trễ và nâng cao chất lượng điều khiển để bám thời gian thực tín hiệu mô phỏng chỉ còn khoảng 50-100ms.

Những vấn đề còn tồn tại

Những vấn đề trong quá trình thực hiện đề tài mà luận án còn tồn tại, chưa giải quyết được bao gồm:

1. Các chỉ tiêu lớn là độ chính xác và độ trễ của các thông số nghiêng, lắc, trượt đứng của sàn treo bám theo tín hiệu chuyển động ϕ, θ, z của con tàu mô phỏng 3D đã được cải thiện, tuy nhiên không khắc phục được hoàn toàn.

Độ bám tín hiệu còn có thời điểm vượt lên 5%, độ trễ pha đã giảm nhưng có tình huống vẫn đạt đến 100ms và còn xuất hiện tín hiệu xung nhiễu lớn từ tín hiệu đo.

2. Chưa thực hiện được việc thu thập dữ liệu mô hình vật lý hoạt động ở tất cả các cấp độ sóng và tình huống điều động con tàu khác nhau. Dữ liệu thu thập kết quả chưa đủ lớn và việc tách lọc, lựa chọn cũng không đảm bảo tuyệt đối tốt để làm đầu vào cho mô hình mạng nơron nhân tạo MLP được huấn luyện với các mẫu hoàn hảo nhằm thu được các trọng số W_{ji} và các ngưỡng hay độ lệch (bias) θ_j của mạng tối ưu nhất.

Hướng khắc phục các vấn đề còn tồn tại là lựa chọn và lắp đặt bộ cảm biến các giá trị nghiêng, lắc, trượt của sàn treo loại tốt hơn đồng thời sử dụng các thuật toán tối ưu để tách lọc, lựa chọn bộ dữ liệu mẫu tốt nhất làm đầu vào cho quá trình huấn luyện.

CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

I. Công trình công bố trong nước

1. Trương Công Mỹ, Trần Anh Dũng (2021). *Xây dựng hệ thống mô phỏng chuyển động tàu thủy sử dụng mô hình 3 bậc tự do*. Tạp chí Tự Động Hóa Ngày Nay, ISSN 1859-0551, số 239 + 240 tháng 1+2/2021, trang 69-72
2. Trương Công Mỹ, Đinh Anh Tuấn, Nguyễn Kim Phương (2021). *Ứng dụng PLC để thiết kế bộ điều khiển bám tín hiệu mô phỏng hàng hải của tổ hợp Drive/ động cơ servo*. Tạp chí Khoa học công nghệ hàng hải, ISSN 1859 -316X, Số 66 - 4/2021, trang 66-71
3. Đinh Anh Tuấn, Trương Công Mỹ (2021). *Nghiên cứu và thiết kế bộ điều khiển bám tín hiệu mô phỏng hàng hải của tổ hợp Drive/Servo ứng dụng PLC*. Tạp chí Giao thông vận tải (ISSN 2354 - 0818) số tháng 8 năm 2021, trang 166-170
4. Trương Công Mỹ. *Improve the Quality of Ship Simulation Signal Tracking Control for the Cockpit Cabin Deck with 3 Degrees of Freedom Applying Prediction Algorithms Based on Artificial Neural Networks*. VCCA 2021, NO. ID52
5. Trương Công Mỹ, Phạm Minh Thảo (2023). *Nghiên cứu ứng dụng mạng nơ ron trong điều khiển hệ thống cabin sàn treo cho mô phỏng thủy phi cơ nhằm đáp ứng tính thời gian thực*. Tạp chí giao thông vận tải (ISSN 2354 – 0818) số tháng 5/2023

II. Công trình công bố quốc tế

6. Đào Minh Quân, Đinh Anh Tuấn, Trương Công Mỹ và Lưu Quang Hưng, *Building the control signal model for design of 3DOF motion platform of marine simulation system*, Journal of Physics: Conference Series (SCOPUS), cof.ser.**1679** 022012.
7. Trương Công Mỹ, Đinh Anh Tuấn, Nguyễn Kim Phương, *Improving the Quality of Ship Simulation Signal Tracking Control for the Cockpit Cabin Deck with 3 Degrees of Freedom Applying Prediction Algorithms Based on Artificial Neural Networks*, AMFUF 2021, page 264-271
8. Trương Công Mỹ, Phạm Minh Thảo, Lê Đặng Khánh, *An Artificial Neural Networks (ANN) Approach for 3 Degrees of Freedom Motion Controlling*, International journal on informatics visualization (SCOPUS) – June 2023 301-309.