

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài luận án

Các phương pháp điều khiển truyền thống để thiết kế các hệ thống điều khiển tiên tiến cho tàu thủy điện hình như bộ điều khiển tỷ lệ - vi phân - tích phân (PID) vẫn còn phổ biến bởi vì nó có cấu trúc đơn giản và tính bền vững cao. Tuy nhiên, việc cải tiến chất lượng bộ điều khiển PID của hệ thống điều khiển tàu thủy vẫn luôn là vấn đề thời sự cho các nhà nghiên cứu, bởi vì khi thiết kế bộ điều khiển cho tàu thủy, bộ điều khiển PID thường yêu cầu phải có mô hình động học của tàu thủy đó.

Thực tế, các tính năng động học của tàu thủy thường mang tính phi tuyến cao và chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố nhiễu loạn bên ngoài. Bản thân yếu tố nhiễu loạn bên ngoài cũng mang những đặc tính phi tuyến và không xác định. Dẫn đến việc phải xây dựng các cấu trúc và tham số không xác định và yêu cầu phải có kỹ thuật điều khiển tiên tiến.

Hiện nay, các nhà khoa học trong lĩnh vực này, không ngừng nghiên cứu cải tiến chất lượng bộ điều khiển PID theo hai hướng cơ bản sau:

- Thứ nhất, cải tiến cấu trúc bộ điều khiển PID;
- Thứ hai, kết hợp lý thuyết lô-gic mờ, mạng nơ-ron nhân tạo, thuật toán di truyền và lý thuyết điều khiển thông minh khác với bộ điều khiển PID thông thường, nhằm đạt được chất lượng điều khiển mong muốn.

Do vậy, bộ điều khiển kết hợp này còn được gọi là bộ điều khiển PID thông minh. Bộ điều khiển PID thông minh không yêu cầu phải có mô hình toán học của đối tượng một cách chính xác, các tham số của hệ thống có tính bền vững hơn.

Hiện nay, mạng nơ-ron nhân tạo được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực, trong đó có lĩnh vực điều khiển tự động, vì mạng nơ-ron có thể giải quyết những vấn đề điều khiển phức tạp, ngay cả với đối tượng điều khiển có tính phi tuyến cao, có môi trường bên ngoài tác động không dự đoán được, làm cho tính năng của đối tượng trở nên khó điều khiển. Hơn nữa, khả năng tính toán nhanh của mạng nơ-ron cũng làm cho chúng trở nên khả thi với các ứng dụng điều khiển theo thời gian thực. Mặt khác, nhờ khả năng của mạng nơ-ron nhân tạo nhằm xấp xỉ tính phi tuyến của đối tượng điều khiển để điều chỉnh ba tham số PID trong thời gian thực để đạt được chất lượng PID một cách tối ưu nhất.

Để giải quyết được các bài toán có yếu tố không xác định trong các mô hình động học tàu thủy, cũng như nhiễu loạn do môi trường bên ngoài như sóng, gió, dòng chảy,... phương pháp điều khiển kết hợp PID nơ-ron đã được đề xuất, nghiên cứu và phát triển nhiều trên thế giới trong thời gian gần đây.

Là quốc gia biển, Việt Nam thực hiện chủ trương phát triển mạnh ngành vận tải biển và công nghiệp đóng tàu theo hướng hội nhập quốc tế và đáp ứng nhu cầu vận tải của xã hội với mục tiêu: “Xây dựng và phát triển ngành công nghiệp tàu thủy Việt Nam đến năm 2020 và định hướng phát triển đến năm 2030, nhằm đáp ứng yêu cầu phát triển kinh tế biển phù hợp với Chiến lược biển Việt Nam đến năm 2020, phục vụ nhu cầu phát triển kinh tế - xã hội; góp phần củng cố quốc phòng, an ninh và bảo vệ chủ quyền quốc gia trên các vùng biển và hải đảo của Tổ quốc”.

Tại Việt Nam, việc nghiên cứu hệ thống điều khiển tiên tiến cho tàu thủy vẫn còn khiêm tốn và chưa được ứng dụng rộng rãi. Nghiên cứu nhằm nâng cao chất lượng hệ thống điều khiển tàu thủy sẽ là một trong những vấn đề quan trọng cho hiện đại hóa nền công nghiệp đóng tàu tại Việt Nam, nhất là trong thời kỳ Cách mạng công nghiệp 4.0.

Xuất phát từ các lý do trên, tác giả đã chọn đề tài: **“Nghiên cứu ứng dụng bộ điều khiển PID dựa trên mạng nơ-ron nhân tạo thích nghi cho hệ thống điều khiển tàu thủy”**.

2. Mục đích nghiên cứu của luận án

Nghiên cứu phát triển ứng dụng bộ điều khiển PID dựa trên mạng nơ-ron thích nghi cho hệ thống điều khiển hướng đi tàu thủy, từ đó cải tiến nâng cao chất lượng bộ điều khiển PID của hệ thống điều khiển này. Đồng thời, thực hiện thiết kế thử nghiệm bộ điều khiển PID nơ-ron thích nghi theo mô phỏng và thực nghiệm.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của luận án

Đối tượng nghiên cứu của luận án: Hệ thống điều khiển hướng đi của tàu thủy, tập trung vào hệ thống máy lái tự động tàu thủy.

Phạm vi nghiên cứu của luận án:

- Nghiên cứu các thuật toán điều khiển thích nghi dựa trên sự kết hợp giữa mạng nơ-ron nhân tạo và điều khiển PID thông thường.
- Đề xuất phát triển thuật toán và ứng dụng vào thiết kế máy lái tự động sử dụng bộ điều khiển PID nơ-ron thích nghi cho điều khiển hướng đi tàu thủy.
- Sử dụng phần mềm Matlab để mô phỏng bộ điều khiển được đề xuất. Đánh giá chất lượng bộ điều khiển PID nơ-ron thích nghi với bộ điều khiển PID thông thường.
- Thực nghiệm trên tàu mô hình thu nhỏ trong bể thử.

4. Phương pháp nghiên cứu của luận án

Phương pháp nghiên cứu lý thuyết kết hợp nghiên cứu thực nghiệm, để làm nổi bật tính khoa học và tính thực tiễn của vấn đề cần giải quyết, cụ thể:

Nghiên cứu lý thuyết:

- Phân tích, tổng hợp hệ thống điều khiển PID thông thường và mạng nơ-ron nhân tạo;
- Nghiên cứu phát triển thuật toán điều khiển PID nơ-ron thích nghi cho hệ thống điều khiển hướng đi tàu thủy;
- Xây dựng mô hình nhận dạng tàu thủy bằng mạng nơ-ron nhân tạo;
- Thiết kế máy lái tự động sử dụng thuật toán PID dựa trên mạng nơ-ron truyền thẳng để điều khiển hướng đi tàu thủy; Mô phỏng trên máy tính.

Nghiên cứu thực nghiệm:

- Thiết kế mô hình tàu thủy và ứng dụng bộ điều khiển PID nơ-ron vào điều khiển trong môi trường thực;
- So sánh với bộ điều khiển PID thông thường để chứng minh tính hiệu quả của bộ điều khiển PID nơ-ron thích nghi.

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án

Ý nghĩa khoa học của luận án:

- Xây dựng cơ sở lý thuyết kết hợp bộ điều khiển PID và mạng nơ-ron nhân tạo để thiết kế hệ thống điều khiển hướng đi tàu thủy. Từ đó đã góp phần hoàn thiện một phần về cơ sở lý luận khoa học đối với bộ điều khiển PID kết hợp mạng nơ-ron nhân tạo;
- Đề xuất phát triển thuật toán, tận dụng ưu điểm của bộ điều khiển PID và mạng nơ-ron nhân tạo, để nâng cao chất lượng hệ thống điều khiển hướng đi, tăng khả năng thích nghi và độ chính xác dẫn đường;
- Cải tiến bộ điều khiển PID và mạng nơ-ron lan truyền ngược với thuật toán huấn luyện tăng cường và bộ nhận dạng nơ-ron cho bộ điều khiển nhằm tăng cường độ chính xác dẫn đường và thích nghi với nhiễu loạn môi trường.

Ý nghĩa thực tiễn của luận án:

- Kết hợp chặt chẽ cơ sở lý thuyết điều khiển tự động và ứng dụng vào thực tiễn thiết kế máy lái tự động tàu thủy;

- Kết quả nghiên cứu có thể làm tài liệu tham khảo cho các công trình nghiên cứu tiếp theo, nhất là ứng dụng điều khiển thông minh vào hệ thống dẫn đường tàu thủy như giám lác tàu thủy, định vị động...

6. Những điểm đóng góp mới

Luận án đã kế thừa, phát triển lý thuyết và ứng dụng kỹ thuật điều khiển PID với mạng nơ-ron nhân tạo trong điều khiển tàu thủy. Cụ thể:

- Tận dụng khả năng điều khiển và dễ phát triển của BDK PID để thiết kế sơ bộ, kết hợp với BDK nơ-ron, nhằm điều khiển hướng đi tàu thủy.

- Bộ điều khiển PID với các tham số K_p , K_i và K_d được điều chỉnh bằng mạng nơ-ron lan truyền ngược được tính toán mô phỏng tương minh. Khả năng tổng hợp và mô hình hóa trực tuyến của mạng nơ-ron giúp các tham số của BDK PID được tinh chỉnh và lựa chọn trực tiếp theo thời gian, tính thích nghi của mạng nơ-ron trong điều khiển được tận dụng và phát huy. Phương pháp ứng dụng này không mới tại thời điểm nghiên cứu luận án nhưng cũng ít tác giả ứng dụng vào điều khiển tàu thủy. Đặc biệt, việc huấn luyện mạng trực tuyến liên tục trong quá trình điều khiển mà tác giả sử dụng trong công trình này, trong nghiên cứu ứng dụng loại này là mới và chưa có tác giả nào thực nghiệm.

- Thiết kế bộ nhận dạng mô hình tàu thủy theo phương pháp tín hiệu vào - ra được giới thiệu và ứng dụng. Bộ nhận dạng này sử dụng mạng nơ-ron nhiều lớp truyền thẳng nhưng được tác giả huấn luyện mạng theo phương pháp trực tuyến, tăng cường nên tốc độ thích nghi tốt, có khả năng nhận dạng mô hình tàu phi tuyến biến đổi theo thời gian chứ không chỉ mô hình tuyến tính tĩnh như các nghiên cứu trước đó. Với việc kết hợp mô hình nhận dạng nơ-ron này, phương pháp điều khiển được tiến hành kiểu điều khiển dự đoán theo thời gian thực, nâng cao tính thích nghi và chất lượng điều khiển.

7. Kết cấu của luận án

Luận án gồm 96 trang A4 (không kể phụ lục) và thứ tự các phần như sau: Mở đầu; nội dung (chia thành 4 chương); kết luận và kiến nghị; danh mục các công trình khoa học đã công bố liên quan đến luận án (05 công trình); tài liệu tham khảo (64 tài liệu) và phụ lục (03 phụ lục).

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU VÀ MẠNG NƠ-RON NHÂN TẠO TRONG ĐIỀU KHIỂN

Chương 1 phân tích, đánh giá tổng quan và chi tiết tình hình nghiên cứu trên thế giới và trong nước liên quan đến luận án về ứng dụng mạng nơ-ron nhân tạo và BDK PID trong điều khiển hướng đi tàu thủy mà nghiên cứu sinh thực hiện.

Tình hình nghiên cứu trên thế giới liên quan đến luận án

Trong lĩnh vực điều khiển tự động, các nhà khoa học thường có xu hướng tiếp tục nghiên cứu phát triển phương pháp điều khiển mới dựa trên phương pháp cũ để khắc phục những nhược điểm tồn tại hoặc tìm kiếm các phương pháp hoàn toàn khác không dựa trên phương pháp cũ đã có trước đây, Điều này làm thúc đẩy mạnh mẽ các ứng dụng trong lĩnh vực điều khiển tự động ở phạm vi rộng.

Mặc dù có những bước tiến mạnh mẽ, nhưng cho đến giờ các phương pháp điều khiển mới vẫn chưa thay thế hoàn toàn các kỹ thuật phổ biến, như điều khiển PID truyền thống. BDK PID vẫn chiếm hơn 90% ứng dụng trong các hệ thống công nghiệp.

Trong những năm gần đây, kỹ thuật điều khiển dùng mạng nơ-ron nhân tạo đã phát

triển rất nhanh chóng. Nhiều hệ thống mạng nơ-ron với các cấu trúc khác nhau đã được đề xuất và ứng dụng rộng rãi trong kỹ thuật. Mạng nơ-ron rất hữu ích và hiệu quả trong điều khiển do chúng có những đặc tính sau: (1) là mạng có cấu trúc song song lớn; (2) có đặc tính phi tuyến cố hữu; (3) có khả năng học cực mạnh; (4) có khả năng tổng quát hóa; (5) có tính ổn định được đảm bảo cho một số hệ thống điều khiển nhất định.

Bộ điều khiển PID thích nghi dựa trên việc điều hưởng các tham số K_p , K_i và K_d bằng mạng nơ-ron nhân tạo thích nghi được gọi là điều khiển PID nơ-ron được các nhà khoa học nghiên cứu ứng dụng rộng rãi trong hệ thống công nghiệp

Phát triển hệ thống điều khiển tàu thủy là mục tiêu nghiên cứu của rất nhiều nhà khoa học. Một số công trình nghiên cứu thiết kế hệ thống điều khiển tàu thủy tiêu biểu trong thời gian gần đây đã được tác giả phân tích và nghiên cứu.

Tình hình nghiên cứu trong nước liên quan đến luận án

Ở Việt Nam, đã có nhiều công trình nghiên cứu của các tác giả về ứng dụng mạng nơ-ron nhân tạo trong điều khiển trên nhiều lĩnh vực khác nhau. Tuy nhiên, việc nghiên cứu ứng dụng cải tiến bộ điều khiển PID thích nghi dựa trên mạng nơ-ron nhân tạo cho hệ thống điều khiển tàu thủy chưa có tác giả nào tại Việt Nam đề cập tới.

Với phạm vi và đối tượng nghiên cứu cụ thể của luận án, vấn đề nghiên cứu của tác giả luôn mang tính thời sự, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn chuyên ngành hàng hải và không trùng lặp với các công trình đã công bố trước đó.

Mạng nơ-ron nhân tạo trong điều khiển

Hệ thống hóa cơ sở lý luận về mạng nơ-ron nhân tạo; cấu trúc mạng; phương pháp ứng dụng mạng nơ-ron trong nhận dạng và điều khiển.

Có nhiều phương pháp khác nhau để biến mạng nơ-ron nhân tạo thành BDK thích nghi cho đối tượng điều khiển và có thể được chia làm hai loại đó là điều khiển gián tiếp và điều khiển trực tiếp.

Phương pháp điều khiển trực tiếp đơn giản hơn phương pháp gián tiếp, không yêu cầu quá trình huấn luyện trước để nhận dạng các thông số của đối tượng điều khiển và cung cấp các luật thích nghi để cập nhật các hàm trọng lượng của mạng nơ-ron. Phương pháp này được ứng dụng vào đề tài luận án.

Nghiên cứu một số bộ điều khiển PID nơ-ron cho hệ thống điều khiển hướng đi tàu thủy

Tác giả đã nghiên cứu, phân tích một số công trình nghiên cứu về BDK PID dựa trên mạng nơ-ron nhân tạo cho điều khiển hướng đi tàu thủy. Điển hình là mạng nơ-ron lan truyền ngược và hàm cơ sở xuyên tâm ứng dụng cho hệ thống điều khiển tàu thủy.

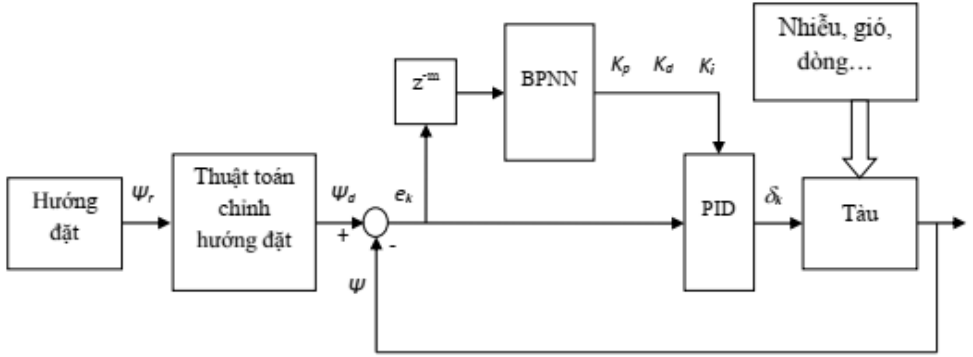
Cơ sở lý thuyết về các hệ tọa độ và động học tàu thủy

Trình bày tổng quan lý thuyết về các hệ trục tọa độ tham chiếu; phương trình động học của con tàu; phương trình động lực học của vật rắn và con tàu; thủy động lực học; lực phục hồi; trọng lực thêm vào. Phương trình điều khiển tàu theo quỹ đạo trên bề mặt trái đất, làm cơ sở cho bài toán ứng dụng BDK hướng tàu vào điều khiển dẫn tàu theo một quỹ đạo cho trước. Bản chất là bài toán điều khiển hướng mũi tàu bám theo một giá trị gọi là hướng đi phải theo, được tạo ra bởi một thuật toán dẫn đường cho tàu đi theo một quỹ đạo tạo bởi các điểm chuyển hướng.

CHƯƠNG 2. BỘ ĐIỀU KHIỂN PID NƠ-RON THÍCH NGHI DỰA TRÊN MẠNG NƠ-RON LAN TRUYỀN NGƯỢC CHO HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN HƯỚNG ĐI TÀU THỦY

2.1. Bộ điều khiển PID nơ-ron dựa trên mạng lan truyền ngược không có bộ nhận dạng cho hệ thống điều khiển hướng đi tàu thủy

2.1.1. Sơ đồ nguyên lý



Hình 2.1. Sơ đồ nguyên lý BDK PID nơ-ron lan truyền ngược

Cấu trúc của bộ điều khiển PID dựa trên mạng nơ-ron lan truyền ngược (Hình 2.1) gồm có hai phần: 1) Bộ điều khiển PID thông thường và 2) Mạng nơ-ron lan truyền ngược (BPNN). Bộ điều khiển PID được sử dụng để điều khiển hướng tàu. Chất lượng điều khiển phụ thuộc vào việc thiết lập các tham số K_p , K_i và K_d của bộ điều khiển PID mà nó được điều hướng bởi mạng BPNN. Mạng BPNN sử dụng thuật toán huấn luyện trực tuyến dựa trên phương pháp giảm gradient để cập nhật các trọng số và bảo đảm cho mạng nơ-ron được thiết kế có thể tính toán được các tham số PID mong muốn. Vì vậy, trong phương pháp này, bằng việc kết hợp bộ điều khiển PID thông thường và mạng BPNN thông minh cho chất lượng điều khiển mong muốn và ổn định.

2.1.2. Thuật toán điều khiển PID

Thuật toán điều khiển PID số:

$$\delta_{pid}(k) = K_p [e(k) - e(k-1)] + K_i e(k) + K_d [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \quad (2.1)$$

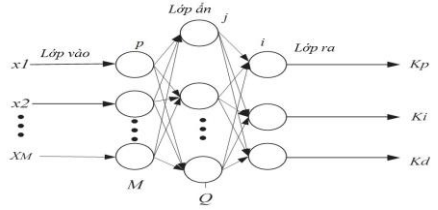
Trong đó, δ_{pid} là đầu ra (góc bẻ lái) của BDK PID; K_p , K_i và K_d tương ứng là hệ số tỷ lệ, tích phân và vi phân; $e(k)$ là sai số của hệ thống được biểu diễn như sau:

$$e(k) = \psi(k) - \psi_d(k) \quad (2.2)$$

Trong đó, ψ là đầu ra thực tế của hệ thống, ψ_d là đầu ra mong muốn của hệ thống.

2.1.3. Thuật toán điều khiển mạng nơ-ron lan truyền ngược

Mạng nơ-ron lan truyền ngược có 3 lớp, cấu trúc của BDK được minh họa trên hình 2.2. Số lượng các nơ-ron lớp vào, lớp ẩn và lớp ra tương ứng là M , Q , 3.



Hình 2.2. Mạng nơ-ron lan truyền ngược

a) Tính toán truyền thẳng của BPNN

Đầu ra của mỗi nơ-ron trong lớp vào là: $O_p = X_p$ ($p = 1, 2, 3, \dots, M$) (2.3)

Trong đó, O_p là đầu ra của nơ-ron thứ p trong lớp vào.

Đầu vào và đầu ra của lớp ẩn của mạng là: $net_j(k) = \sum_{p=1}^M \omega_{jp} O_p$ (2.4)

$$O_j(k) = f(net_j(k)) \quad (j = 1, 2, 3, \dots, Q) \quad (2.5)$$

Trong đó, net_j là đầu vào của nơ-ron thứ j trong lớp ẩn; ω_{jp} là trọng số của lớp ẩn; $f(x)$ là hàm kích hoạt của nơ-ron lớp ẩn, nó là hàm sigmoid với đối xứng dương và âm.

$$f(x) = \tanh(x) = (e^x - e^{-x}) / (e^x + e^{-x}) \quad (2.6)$$

Đầu vào và đầu ra của lớp ra là: $net_i(k) = \sum_{j=1}^Q \omega_{ij} O_j$ (2.7)

$$O_i(k) = g(net_i(k)) \quad (i = 1, 2, 3) \quad (2.8)$$

$$K_p(k) = O_1(k); K_I(k) = O_2(k); K_D(k) = O_3(k) \quad (2.9)$$

Trong đó, ω_{ij} là trọng số của nơ-ron lớp ra; các đầu ra của nơ-ron lớp ra là K_p , K_I và K_D ; $g(x)$ là hàm kích hoạt của nơ-ron lớp ra, nó là hàm sigmoid không âm.

$$g(x) = \frac{1}{2} \cdot [1 + \tanh(x)] = e^x / (e^x + e^{-x}) \quad (2.10)$$

Mạng nơ-ron điều chỉnh các tham số PID một cách tự động và làm giảm bớt thời gian thiết kế hệ thống điều khiển. Tuy nhiên, sai số mô hình toán học tàu thủy thường tồn tại và làm giảm độ chính xác điều khiển hệ thống. Vì vậy, thuật toán huấn luyện online được áp dụng để điều chỉnh trọng số nơ-ron nhằm làm giảm sai số hệ thống e_y .

b) Lan truyền ngược sai số và điều chỉnh trọng số

Hàm chỉ tiêu chất lượng có dạng như sau: $E(k) = \frac{1}{2} (rin(k) - yout(k))^2$ (2.11)

Quá trình huấn luyện dựa trên thuật toán lan truyền ngược nhằm điều chỉnh các trọng số nơ-ron sử dụng phương pháp giảm gradient cho hàm sai số trong một chu trình điều khiển. Việc điều chỉnh trọng số từ lớp ẩn tới lớp ra được biểu diễn như sau:

$$\Delta \omega_{ij}(k) = -\eta \frac{\partial E(k)}{\partial \omega_{ij}} \quad (2.12)$$

Tuy nhiên, để tránh cực tiểu cục bộ và tăng tốc độ hội tụ, ta thêm vào một xung lượng vào thuật toán được đề xuất.

$$\Delta\omega_{ij}(k) = -\eta \frac{\partial E(k)}{\partial \omega_{ij}} + \alpha \Delta\omega_{ij}(k-1) \quad (2.13)$$

Trong đó, η là hệ số tốc độ học, α là hệ số xung lượng.

Từ đó:

$$\frac{\partial E(k)}{\partial \omega_{ij}(k)} = \frac{\partial E(k)}{\partial y(k)} \cdot \frac{\partial y(k)}{\partial u(k)} \cdot \frac{\partial u(k)}{\partial O_i(k)} \cdot \frac{\partial O_i(k)}{\partial net_i(k)} \cdot \frac{\partial net_i(k)}{\partial \omega_{ij}(k)} \quad (2.14)$$

$$\frac{\partial net_i(k)}{\partial \omega_{ij}(k)} = O_i(k) \quad (2.15)$$

và dựa trên các phương trình (2.9), (2.14), các phương trình sau đây được tính:

$$\frac{\partial u(k)}{\partial O_1(k)} = e(k) - e(k-1) \quad (2.16)$$

$$\frac{\partial u(k)}{\partial O_2(k)} = e(k) \quad (2.17)$$

$$\frac{\partial u(k)}{\partial O_3(k)} = e(k) - 2e(k-1) + e(k-2) \quad (2.18)$$

Thuật toán học của việc cập nhật trọng số trong lớp ra được biểu diễn như sau:

$$\omega_{ij}(k+1) = \omega_{ij}(k) + \Delta\omega_{ij}(k) \quad (2.19)$$

$$\Delta\omega_{ij}(k) = \alpha \Delta\omega_{ij}(k-1) + \eta \delta_i O_j(k) \quad (2.20)$$

Trong đó, δ_i là hàm sai số của lớp ẩn, nó cần thiết cho việc điều chỉnh các trọng số từ lớp vào tới lớp ẩn. δ_i được biểu diễn như sau:

$$\delta_i = e_y(k) \cdot \frac{\partial y(k)}{\partial u(k)} \cdot \frac{\partial u(k)}{\partial O_i(k)} \cdot \dot{g}(net_i(k)) \quad (2.21)$$

$$\text{Đạo hàm bậc nhất của } g(x) \text{ được cho bởi: } \dot{g}(x) = g(x)(1-g(x)) \quad (2.22)$$

Thuật toán học được biểu diễn như sau:

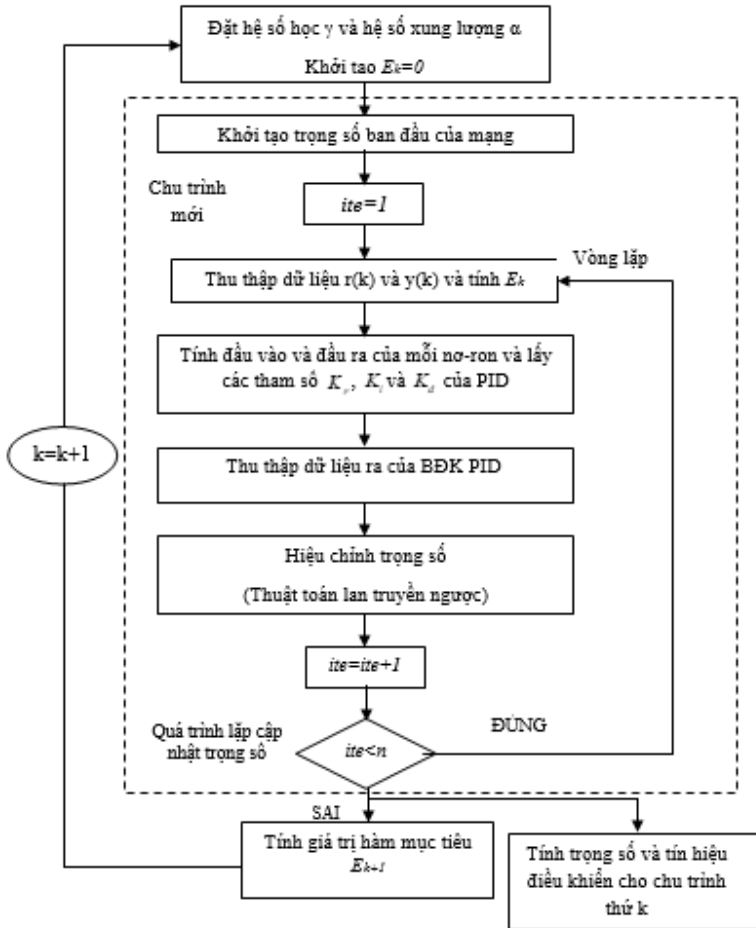
$$\omega_{jp}(k+1) = \omega_{jp}(k) + \Delta\omega_{jp}(k) \quad (2.23)$$

$$\Delta\omega_{jp}(k) = \alpha \Delta\omega_{jp}(k-1) + \eta \delta_j O_p(k) \quad (2.24)$$

$$\delta_j = \dot{f}(net_j(k)) \cdot \sum_{i=1}^3 \delta_i \omega_{ij}(k) \quad (2.25)$$

$$\dot{f}(x) = \frac{(1-f^2(x))}{2} \quad (2.26)$$

2.1.4. Huấn luyện lan truyền ngược tăng cường



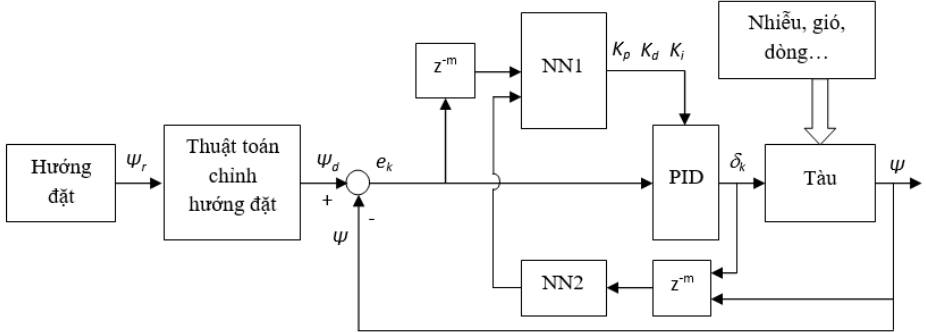
Hình 2.3. Sơ đồ khối thuật toán điều khiển PID - BPNN

Thuật toán của điều khiển PID dựa trên BPNN này sử dụng phương pháp huấn luyện tăng cường (Hình 2.3). Các giá trị số lần huấn luyện trong một chu trình n và hệ số học η ở đây là cố định. Tại thời điểm bắt đầu của chu trình điều khiển chỉ thị bởi tham số k , trọng số của mạng nơ-ron được chọn là giá trị ngẫu nhiên rất nhỏ. Tín hiệu ra của các nơ-ron lớp ẩn và lớp ra được tính toán dựa trên các trọng số ban đầu này. Tiếp theo, trọng số của mạng nơ-ron được cập nhật bằng thuật toán lan truyền ngược sao cho giá trị của E_k đạt cực tiểu. Quá trình này được lặp đi lặp lại n lần trước khi bắt đầu một chu trình điều khiển mới ($k=k+1$). Tín hiệu ra của mạng nơ-ron tại vòng huấn luyện thứ n chính là tín hiệu điều khiển được xuất ra tại chu trình điều khiển thứ k .

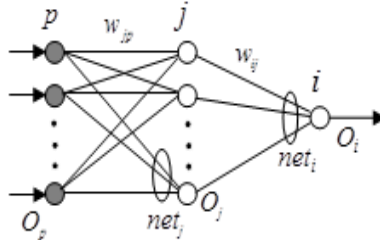
2.2. Bộ điều khiển PID nơ-ron dựa trên mạng lan truyền ngược có bộ nhận dạng nơ-ron cho hệ thống điều khiển hướng đi tàu thủy

2.2.1. Sơ đồ nguyên lý

BĐK được đề xuất có cấu trúc như hình 2.4, được bổ sung thêm một mạng nơ-ron thứ hai (NN2) để dự đoán tốc độ quay trở của tàu (ψ_{dot_k}). Đây là một mạng nơ-ron có ba lớp truyền thẳng và được huấn luyện theo thuật toán lan truyền ngược tăng cường (Hình 3.5). Đầu vào của mạng là tốc độ quay trở của tàu và tín hiệu góc bẻ lái tại các thời điểm $k-1, k-2, k-3$. Hướng đi dự đoán của tàu có được nhờ việc nhận dạng tốc độ quay trở của tàu, sau đó các tín hiệu này được chuyển đến đầu vào của mạng nơ-ron thứ nhất (NN1).



Hình 2.4. Sơ đồ nguyên lý BĐK PID nơ-ron NN1 với bộ nhận dạng nơ-ron NN2



Hình 2.5. Cấu trúc mạng nơ-ron nhận dạng NN2

2.2.2. Mạng nơ-ron nhận dạng

Một hệ thống động học có thể được mô tả bằng hai dạng: Mô hình đầu vào – đầu ra và mô hình không gian trạng thái. Đề tài này ứng dụng mạng nơ-ron truyền thẳng để học và nhận dạng mô hình tàu thủy ứng dụng cho điều khiển theo phương án đầu vào – đầu ra.

Mô hình đầu vào – đầu ra mô tả hệ thống động học dựa trên dữ liệu vào và ra của hệ thống đó. Trên nguyên lý này, mô hình đầu vào – đầu ra giả thiết rằng tín hiệu ra mới trong miền thời gian rời rạc của hệ thống có thể được dự đoán từ các dữ liệu vào ra ở khoảng thời gian trước đó của hệ thống, tức là các thông tin của hệ thống thu được từ trước đó.

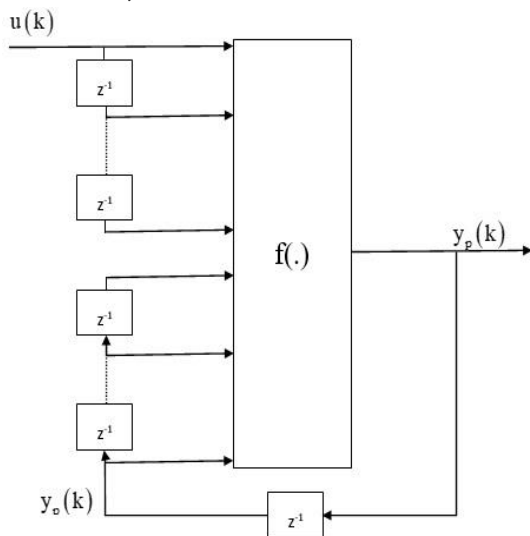
Nếu một hệ thống giả sử là được xác định theo các biến thời gian, ví dụ SISO (một đầu vào, một đầu ra), mô hình đầu vào – đầu ra được mô tả như sau:

$$y_p(k) = f(y_p(k-1), y_p(k-2), \dots, y_p(k-n)) \\ u(k-1), u(k-2), \dots, u(k-m) \quad (2.27)$$

Trong đó, $[u(k), y_p(k)]$ là cặp tín hiệu đầu vào – đầu ra của hệ thống tại thời điểm k . Các số nguyên n, m tương ứng là số các tín hiệu ra (bậc của hệ thống) và số các tín hiệu vào của hệ thống. Trong thực tế m thường nhỏ hơn hoặc bằng n . f là hàm phi tuyến tính, nó tính toán tín hiệu ra mới của hệ thống dựa trên tín hiệu vào ra trước đó của hệ thống. Nếu hệ thống là tuyến tính thì f là một hàm tuyến tính và phương trình (2.27) được viết lại:

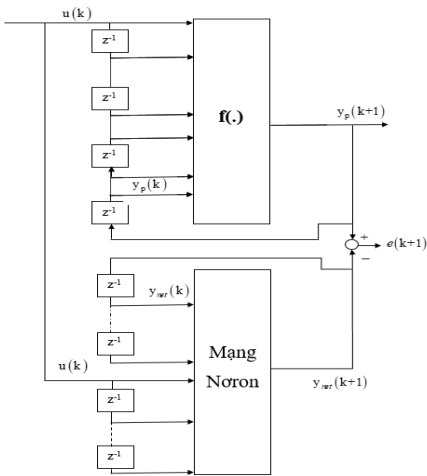
$$y_p(k) = a_1 y_p(k-1) + a_2 y_p(k-2), \dots, a_n y_p(k-n) \\ + b_1 u(k-1) + b_2 u(k-2), \dots, + b_m u(k-m) \quad (2.28)$$

trong đó a_i ($i=1, 2, \dots, n$) và b_i ($i=1, 2, \dots, m$) là các hằng số.

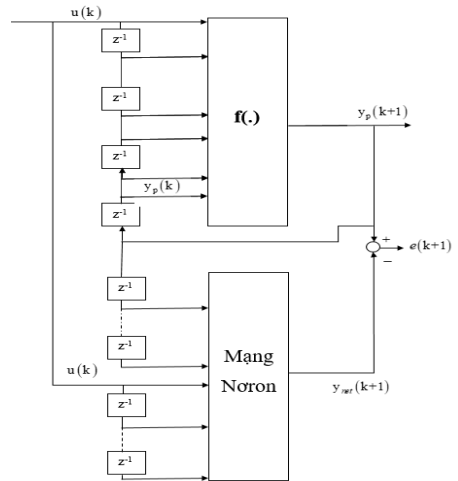


Hình 2.6. Mô hình đầu vào – đầu ra

Nhận dạng hệ thống đầu vào – đầu ra bằng mạng nơ-ron truyền thẳng (không có bộ nhớ động) đặt ra nhiệm vụ tìm hàm số mô tả hay ước lượng được quan hệ vào ra của tín hiệu của hệ thống động học. Phương trình (2.27) có thể miêu tả bằng hình 2.6. Hệ thống động học được mô tả bằng hàm f và số nguyên m và n . Nếu cho trước giá trị m và n , chỉ cần đi tìm hàm f . Hàm f không thay đổi theo thời gian đối với những hệ thống không biến đổi theo thời gian. Chính vì mạng nơ-ron nhân tạo truyền thẳng có khả năng mô tả các hàm số tĩnh như vậy nên nó được ứng dụng để ước lượng hàm số f (chính là mô hình tàu) trong đề tài. Tuy nhiên đề tài nâng cao khả năng nhận dạng của mô hình tàu nơ-ron này bằng chiến lược trực tuyến, tức là tín hiệu vào ra được cập nhật liên tục giúp mô hình nơ-ron có thể nhận dạng con tàu liên tục theo thời gian. Đây cũng là điểm mới đáng chú ý của đề tài nghiên cứu.



Hình 2.7. Cấu trúc nhận dạng song song



Hình 2.8. Cấu trúc nhận dạng chuỗi song song

Hệ thống nhận dạng bằng mạng nơ-ron nói trên có thể có hai cấu trúc: cấu trúc song song (hình 2.7) và cấu trúc chuỗi song song (hình 2.8). Đề tài này ứng dụng cấu trúc song song để nhận dạng mô hình tàu thủy liên tục theo thời gian. Trong cấu trúc này, mạng nơ-ron và hệ thống điều khiển nhận cùng tín hiệu vào từ bên ngoài; các tín hiệu ra của hệ thống không dùng để đưa vào mạng nơ-ron. Hệ thống điều khiển và mạng nơ-ron nhận dạng là hai quá trình riêng biệt cùng chia sẻ một bộ tín hiệu vào từ bên ngoài. Các tín hiệu ra của mạng nơ-ron và hệ thống điều khiển không ảnh hưởng đến nhau. Các kết quả mô phỏng đã chứng minh hiệu quả và tính khả thi của phương pháp này.

Trong đề tài, mạng nơ-ron nhận dạng được là BDK NN2 và biểu diễn trên hình 2.7.

2.3. Kết luận chương 2

Chương 2 tác giả đã tập trung nghiên cứu xây dựng BDK PID dựa trên mạng nơ-ron lan truyền ngược không có và có bộ nhận dạng nơ-ron. Trong BDK PID nơ-ron này, tác giả đã được thêm thuật toán huấn luyện tăng cường để tăng tốc độ thích nghi của hệ thống, điều chỉnh nhanh và chính xác các tham số của BDK PID.

Nghiên cứu và xây dựng bộ nhận dạng mô hình nơ-ron theo phương pháp tín hiệu vào-ra được giới thiệu và ứng dụng. Bộ nhận dạng này sử dụng mạng nơ-ron nhiều lớp truyền thẳng nhưng được huấn luyện mạng theo phương pháp trực tuyến, tăng cường nên tốc độ thích nghi tốt, có khả năng nhận dạng mô hình tàu phi tuyến biến đổi theo thời gian. Với việc kết hợp mô hình nhận dạng nơ-ron này, phương pháp điều khiển được tiến hành kiểu điều khiển dự đoán theo thời gian thực, nâng cao tính thích nghi và chất lượng điều khiển.

CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Trong nghiên cứu này sử dụng mô hình toán học con tàu là mô hình của con tàu thật *Mariner Class Vessel*. Để có thể điều khiển được sự quay trở tàu và đáp ứng tốt trong trường hợp góc đặt hướng lớn, một mô hình tham khảo tính năng động học của tàu được sử dụng để tạo ra hướng đi phù hợp với động học của tàu cung cấp cho BDK.

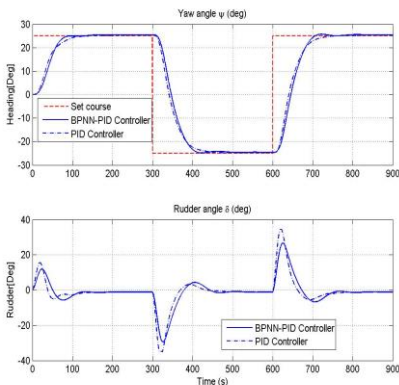
Nhằm kiểm tra tính ổn định của tính bền vững và ổn định của các BDK hướng đi này. Ảnh hưởng của gió đến thân tàu dựa trên nghiên cứu của Isherhood 1972. Tốc độ gió thay đổi ngẫu nhiên theo chu kỳ 5 giây và giới hạn trong phạm vi $[-60^0, +60^0]$ với chu kỳ 30 giây. Nhiều trong thiết bị đo hướng được biểu diễn bằng tín hiệu ngẫu nhiên phân bố trong khoảng $[-0.1^0, +0.1^0]$. Tính phi tuyến của động cơ cũng được xét đến, phạm vi giới hạn của góc bẻ lái δ trong khoảng $[-35^0, +35^0]$ và tốc độ bẻ lái $\dot{\delta} = r$ trong khoảng $[-2.5^0/s, +2.5^0/s]$. Trong tất cả các tình huống, tốc độ ban đầu của tàu là 15 hải lý/giờ.

3.1. Bộ điều khiển PID nơ-ron dựa trên mạng lan truyền ngược không có bộ nhận dạng

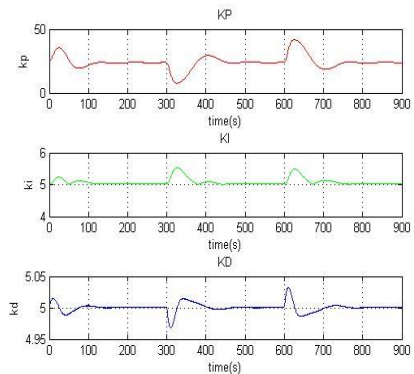
Mạng nơ-ron gồm 4 nơ-ron lớp vào, 6 nơ-ron lớp ẩn và 3 nơ-ron lớp ra. Đầu vào của mạng bao gồm hướng đi mong muốn ψ_r , hướng đi thực tế ψ , sai số hướng đi $e(k)$, và hiệu số $e(k) - e(k-1)$. Ba nơ-ron lớp ra tương ứng với các tham số K_p , K_i và K_d của bộ điều khiển PID. Hệ số học và số lần huấn luyện trong một chu trình là cố định ($n=50$, $\gamma=0.5$), giá trị xung lượng được thêm vào trong quá trình huấn luyện lan truyền ngược $\eta = 0.025$. Phạm vi đổi hướng từ -25.0^0 đến $+25.0^0$. Thời gian mô phỏng 900 giây.

3.1.1. Không có gió và nhiễu tín hiệu tác động

Hình 3.1 cho thấy BDK BPNN-PID có độ vọt lố rất nhỏ, tính bền vững tốt và độ ổn định cao, thời gian xác lập nhanh hơn và góc bẻ lái nhỏ hơn so với BDK PID thông thường. Trên Hình 3.2 biểu thị sự thay đổi của các tham số K_p , K_i và K_d được điều chỉnh bởi mạng nơ-ron được đề xuất.

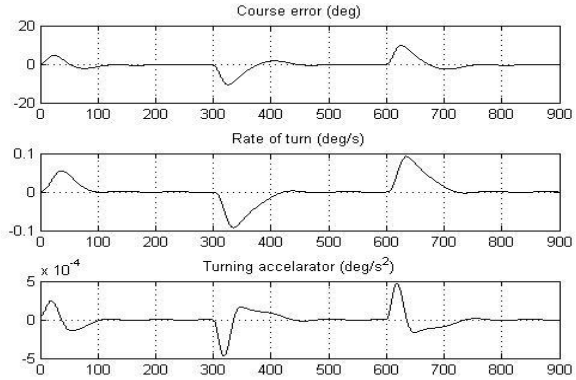


Hình 3.1. Hướng tàu và góc bẻ lái khi không có gió và nhiễu



Hình 3.2. Sự thay đổi các tham số K_p , K_i và K_d

Hình 3.3 minh họa sai số hướng đi của tàu, tốc độ và gia tốc quay trở hướng mũi tàu. Cho ta thấy tính hiệu quả và bền vững của ĐK BPNN- PID được đề xuất.



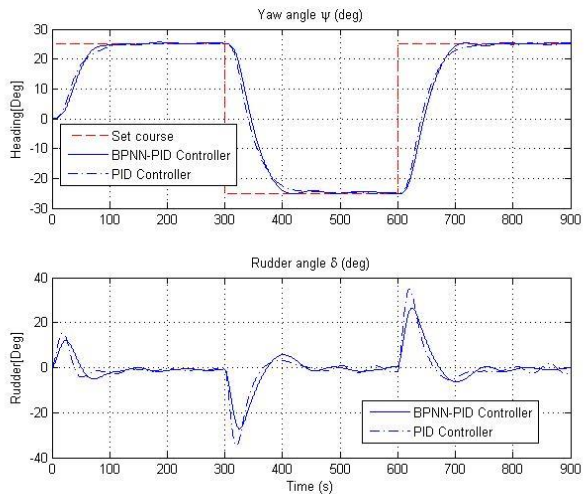
Hình 3.3. Sai số hướng đi, tốc độ và gia tốc quay trở hướng mũi tàu

Bảng 3.1. Tổng bình phương độ lệch hướng và tổng bình phương góc bẻ lái khi không có gió và nhiễu

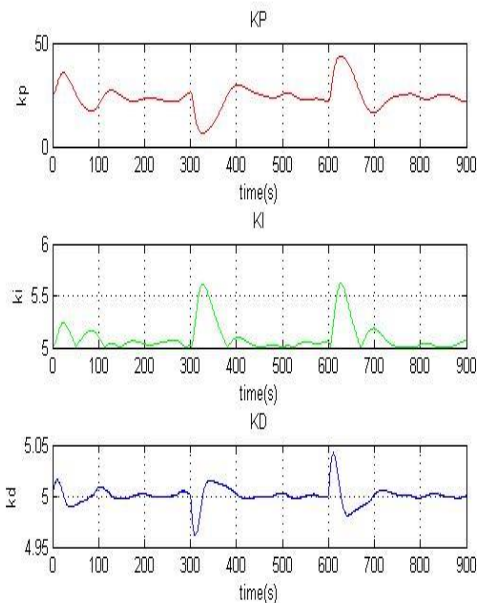
		Không gió
ĐK PID	E_{ψ}	23,72
	E_{δ}	156,28
ĐK BPNN-PID	E_{ψ}	20,98
	E_{δ}	148,27

3.2.2. Khi có gió và nhiễu tác động

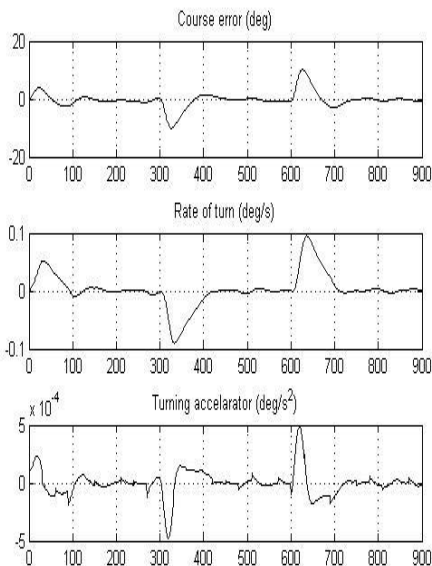
Hình 3.4 cho thấy khi có gió và nhiễu tác động, máy lái tự động sử dụng ĐK BPNN-PID có mức độ dao động ít hơn, đảm bảo được tính bền vững và ổn định trong suốt thời gian tiến hành mô phỏng. Góc bẻ lái nhỏ hơn so với ĐK PID thông thường, điều này đảm bảo cho động cơ máy lái không bị quá tải trong điều kiện nhiễu môi trường tác động.



Hình 3.4. Hướng đi và góc bẻ lái khi có gió và nhiễu tác động



Hình 3.5. Sự thay đổi các tham số K_p , K_i và K_d khi có nhiễu tác động



Hình 3.6. Sai số hướng đi, tốc độ và gia tốc quay trở hướng mũi tàu

Hình 3.5 minh họa các tham số K_p , K_i và K_d được điều chỉnh một cách tự động trong suốt quá trình mô phỏng bởi mạng nơ-ron dưới tác động của nhiễu và gió tới hướng tàu.

Bảng 3.2 Tổng bình phương độ lệch hướng và tổng bình phương góc bẻ lái khi có nhiễu và gió tác động

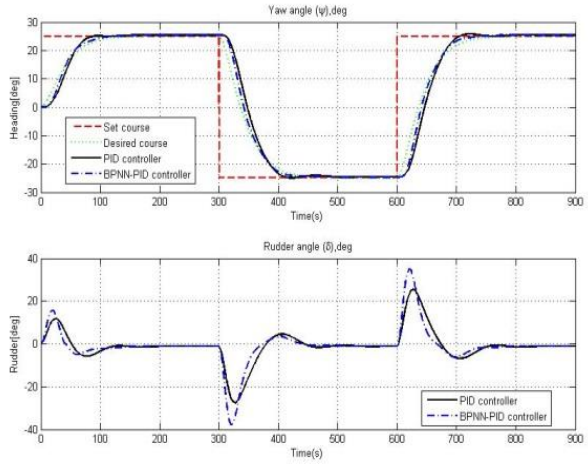
		Có gió
BĐK PID	E_ψ	28,32
	E_δ	171,24
BĐK BPNN-PID	E_ψ	26,43
	E_δ	159,45

3.2. Bộ điều khiển PID nơ-ron dựa trên mạng nơ-ron lan truyền ngược có mạng nhận dạng

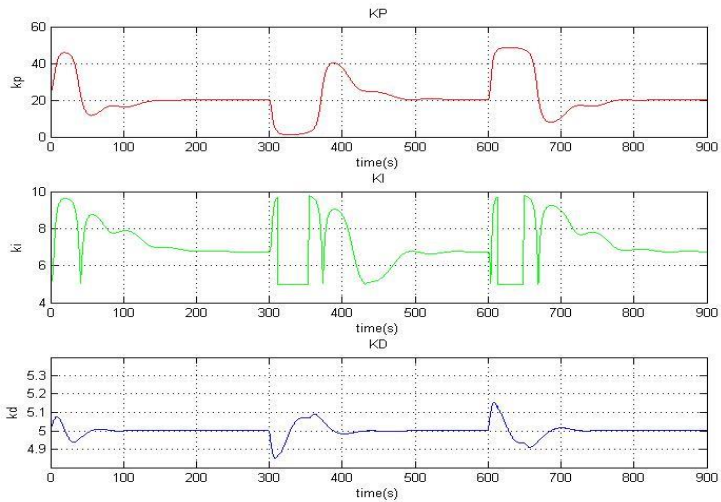
Mạng nơ-ron dùng để điều chỉnh các tham số BĐK PID (NN1) gồm 6 nơ-ron lớp vào, 9 nơ-ron lớp ẩn và 3 nơ-ron lớp ra. Đầu vào của mạng bao gồm hướng đi mong muốn ψ_r , hướng đi thực tế ψ , sai số hướng đi $e(k)$, và hiệu số $e(k) - e(k-1)$. Ba nơ-ron lớp ra tương ứng với các tham số K_p , K_i và K_d của bộ điều khiển PID. Mạng nơ-ron nhận dạng (NN2) gồm có 6 nơ-ron lớp vào, 9 nơ-ron lớp ẩn và 1 nơ-ron lớp ra. Hệ số học và số lần huấn luyện trong một chu trình là cố định ($n=150$, $\gamma=0.5$), giá trị xung lượng được thêm vào trong quá trình huấn luyện lan truyền ngược $\eta = 0.025$. Phạm vi đổi hướng từ -25.0° đến $+25.0^\circ$. Thời gian mô phỏng 900 giây.

3.2.1. Không có gió và nhiễu tín hiệu đo tác động

Hình 3.7 cho thấy BDK BPNN-PID với mạng nhận dạng nơ-ron có độ vượt quá giá trị điều khiển rất nhỏ, tính bền vững tốt và độ ổn định cao, thời gian xác lập nhanh hơn và góc bẻ lái đáp ứng nhanh so với BDK PID thông thường. Trên hình 3.8 biểu thị sự thay đổi của các tham số K_p , K_i và K_d được điều chỉnh bởi BDK với mạng nơ-ron nhận dạng.

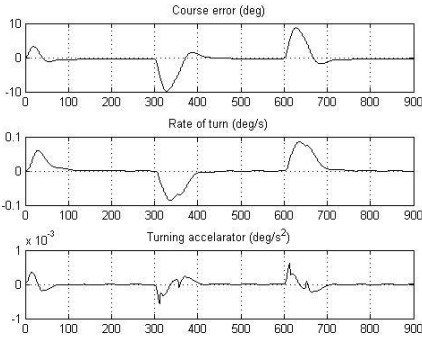


Hình 3.7. Hướng tàu và góc bẻ lái khi không có gió và nhiễu

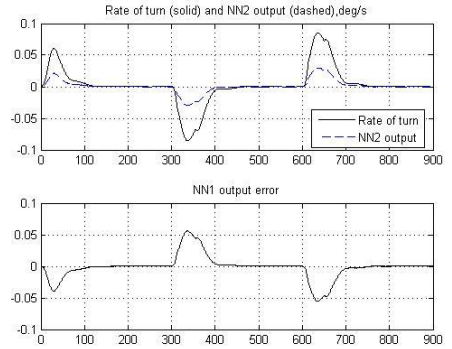


Hình 3.8. Sự thay đổi các tham số K_p , K_i , K_d

Hình 3.9 minh họa sai số hướng đi của tàu, tốc độ và gia tốc quay trở hướng mũi tàu. Cho ta thấy tính hiệu quả và bền vững của BDK BPNN-PID với bộ nhận dạng nơ-ron.



Hình 3.9. Sai số hướng đi, tốc độ và gia tốc quay trở hướng tàu khi không gió và nhiễu



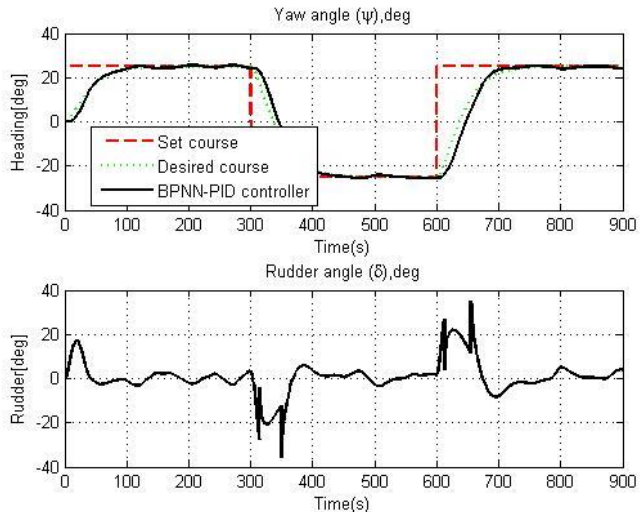
Hình 3.10. Đầu ra của bộ nhận dạng nơ-ron NN2 khi không có gió và nhiễu

Bảng 3.3. Tổng bình phương độ lệch hướng và tổng bình phương góc bẻ lái khi không gió và nhiễu

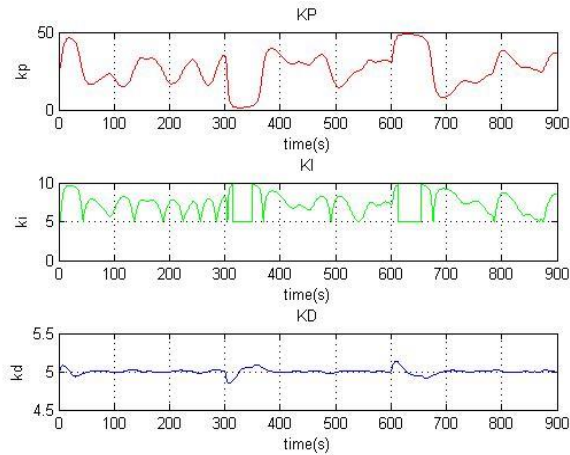
		Không gió và nhiễu
BĐK PID	E_{ψ}	23.91
	E_{δ}	149.41
BĐK BPNN-PID có NN nhận dạng	E_{ψ}	17.44
	E_{δ}	149.33

3.2.2. Khi có gió và nhiễu tác động

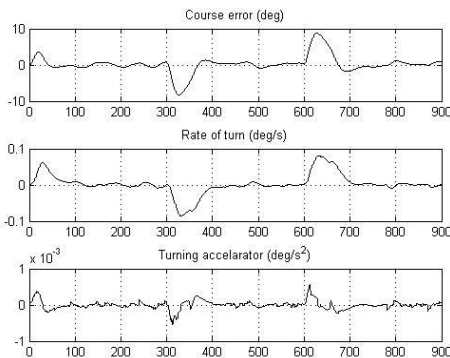
Hình 3.11 minh họa hướng đi và góc bẻ lái của tàu dùng BĐK PID nơ-ron với bộ nhận dạng, ta thấy hướng đi ổn định, thời gian xác lập nhanh và góc bẻ lái phù hợp, tính bền vững cao.



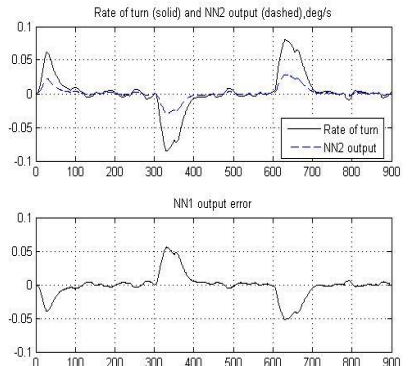
Hình 3.11. Hướng tàu và góc bẻ lái khi có gió và nhiễu tác động



Hình 3.12. Sự thay đổi các thông số K_p , K_i và K_d



Hình 3.13. Sai số hướng đi, tốc độ và gia tốc quay trở hướng tàu khi có gió và nhiễu



Hình 3.22. Đầu ra của bộ nhận dạng nơ-ron NN2 khi có gió và nhiễu

Bảng 3.4. Tổng bình phương độ lệch hướng và tổng bình phương góc bề lái khi có nhiễu và gió

		Có gió và nhiễu
BĐK PID	E_V	31.32
	E_δ	195.76
BĐK BPNN-PID có NN nhận dạng	E_V	18.35
	E_δ	154.39

Qua kết quả mô phỏng ta thấy, BĐK PID nơ-ron với bộ nhận dạng nơ-ron có sai số hướng đi và góc bề lái nhỏ hơn so với BĐK PID thông thường. BĐK này hoạt động tích cực và các tham số được điều chỉnh thích nghi hơn BĐK PID. Điều đó chứng minh được tính khả thi và hiệu quả của BĐK được đề xuất.

3.4. Kết luận chương 3

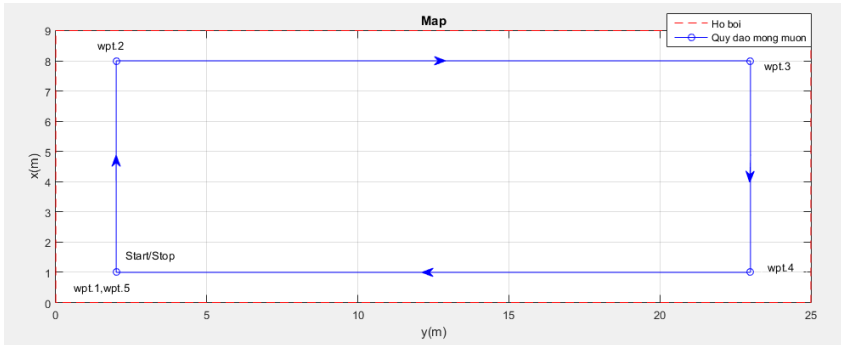
Chương 3 tác giả trình bày kết quả mô phỏng trên máy tính của BDK đề xuất trong chương 2. Mô hình toán học con tàu là mô hình phi tuyến của tàu thật được sử dụng trong tình huống mô phỏng. Các tín hiệu nhiễu ngẫu nhiên trong tín hiệu, tác động của gió đến quá trình giữ hướng được sử dụng để kiểm chứng tính khả thi cũng như đáp ứng của BDK. Gió được thay đổi trong quá trình mô phỏng để kiểm tra sự thích nghi của BDK đến thay đổi của tác động bên ngoài.

Kết quả cho thấy sự hoạt động ổn định và hiệu quả của BDK PID mờ-ron so với PID truyền thống và khả năng thích nghi với thay đổi của môi trường. Mạng mờ-ron nhận dạng cũng cho kết quả khả quan khi kết hợp với BDK PID mờ-ron.

CHƯƠNG 4. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

4.1. Điều kiện thực nghiệm

Mô hình tàu được tiến hành thực nghiệm tại hồ bơi trường Đại học Giao thông Vận tải thành phố Hồ Chí Minh với kích thước hồ bơi 9m x 25m. Tác giả tiến hành điều khiển con tàu chạy bám theo biên dạng của hồ bơi như được mô tả trong hình 4.1. Quỹ đạo mong muốn của con tàu được mô tả bằng năm điểm chuyển hướng và tàu sẽ tiến hành chuyển hướng ba lần với các giá trị góc bẻ lái lần lượt như sau $90^\circ - 90^\circ - 90^\circ$. Tại thời điểm ban đầu tàu được đặt dọc theo chiều rộng của hồ bơi tương ứng với góc mũi tàu ban đầu là 10° . Chiều dài quỹ đạo mong muốn (hình 4.1) là $L_{\text{trajectory}} = 57(\text{m})$.



Hình 4.1. Quỹ đạo di chuyển mong muốn của con tàu

- Tải trọng mang theo của tàu là 4.5 kg;
- Chiều cao mớn nước là 100 mm, chiều dài tàu là 1500 m, chiều rộng là 250mm;
- Giới hạn góc bánh lái là từ -20° đến 20° . Giới hạn vận tốc góc bánh lái là từ $-5^\circ/\text{s}$ đến $5^\circ/\text{s}$;
- Thời gian lấy mẫu của hệ thống là 0.1s;
- Vận tốc di chuyển của tàu là hằng số 0.4 m/s;

Trong quá trình mô phỏng, để kiểm tra đáp ứng của bộ điều khiển, tác giả thêm vào ba loại nhiễu như sau:

- Nhiễu do sóng theo phổ PM (được mô tả ở phần Phụ lục 1) với tần số trội của sóng $\omega_0 = 0.60625$, hệ số tắt dần tương đối $\xi = 0.3$, hằng số $K_\omega = 0.1979$;

- Nhiều của dòng chảy là hằng số và làm lệch góc mũi tàu đi 10° ;

- Nhiều do quá trình đo đạc là một số ngẫu nhiên.

Ngoài ra, trong quá trình mô phỏng, vị trí của con tàu được xác định bằng phương pháp tích phân có dạng như sau:

$$\begin{cases} x(t) = x_0(0) + \int_0^t U \cos \psi(t) dt \\ y(t) = y_0(0) + \int_0^t U \sin \psi(t) dt \end{cases}$$



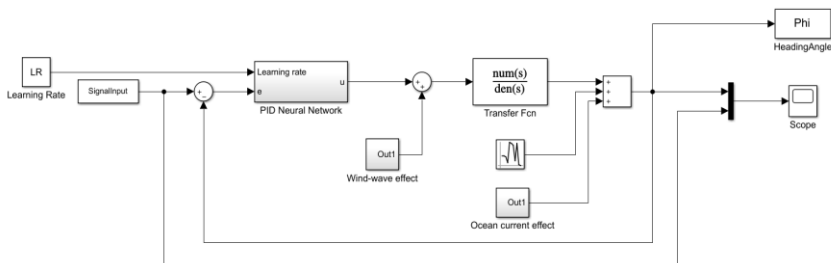
Hình 4.2. Điều kiện thực nghiệm tàu mô hình trên thực tế



Hình 4.3. Tàu mô hình

4.2. Kết quả thực nghiệm

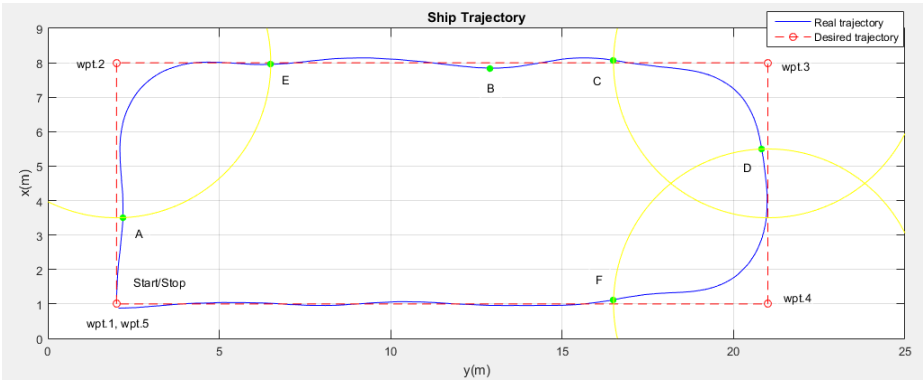
Hình 4.4 mô tả sơ đồ khối hệ thống lái tàu tự động sử dụng PID nơ-ron (khối PID Neural Network). Trong đó, nhiễu do sóng biển sẽ tác động lên hệ thống được mô tả trong khối Wind-wave effect; nhiễu do các dòng chảy được mô tả trong khối Ocean current effect và nhiễu do quá trình đo đạc được cộng trực tiếp vào góc mũi tàu. Khối PID neural network là bộ điều khiển của hệ thống lái tàu.



Hình 4.4. Sơ đồ khối hệ thống điều khiển hướng tàu sử dụng BĐK PID nơ-ron

Trong quá trình di chuyển, tàu sẽ luôn có sai số về vị trí và góc. Chính vì vậy mà tác giả đưa ra hai đồ thị về sai số bao gồm đồ thị mô tả sai số bám quỹ đạo - khoảng cách từ tàu đến đoạn thẳng quỹ đạo mong muốn theo thời gian như hình 4.5 và đồ thị mô tả sai số góc mũi tàu - góc hợp bởi đoạn thẳng quỹ đạo mong muốn và hướng mũi lái tàu hay nói cách khác sai số góc mũi tàu là hiệu số giữa góc ψ và góc α trên hình 4.6 (thuật toán dẫn

đường LOS) theo thời gian như trong hình 4.5. Hơn nữa, tác giả cũng đưa ra hai đồ thị mô tả góc bánh lái và góc mũi tàu thu về từ các cảm biến như trong hình 4.6 và 4.7.

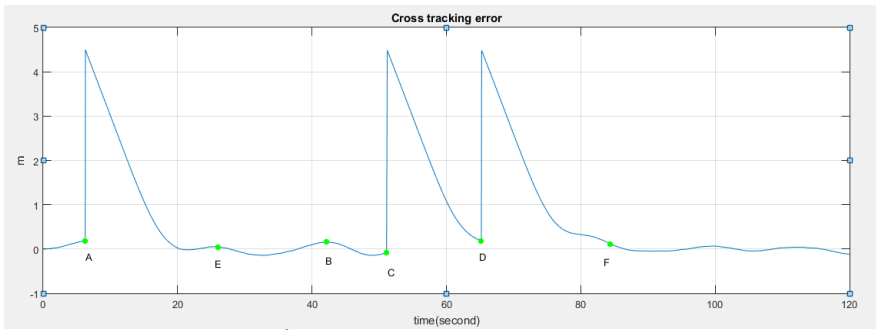


Hình 4.5. Quỹ đạo của tàu với BDK PID nơ-ron

Hình 4.5 mô tả quỹ đạo di chuyển của tàu khi hệ thống lái tàu tự động sử dụng PID nơ-ron. Ta thấy xuất hiện các vòng tròn giới hạn (màu vàng) có tâm đặt tại các điểm chuyển hướng waypoint 2, waypoint 3, waypoint 4 với bán kính bằng ba lần chiều dài tàu. Các vòng tròn này dùng để xác định vị trí tàu bắt đầu chuyển hướng để bám theo đoạn thẳng quỹ đạo mới. Ngoài ra, từ hình 4.5, ta thấy rằng khi đi qua điểm chuyển hướng waypoint 2 thì tàu không bị lệch ra khỏi quỹ đạo mong muốn tuy nhiên tàu lại bị dao động xung quanh đoạn thẳng quỹ đạo tạo thành từ waypoint 2 và waypoint 3. Sai số bám quỹ đạo lớn nhất của tàu khi đi từ waypoint 2 đến waypoint 3 là 0.1557m tương ứng với điểm B trên hình 4.5 và hình 4.6.

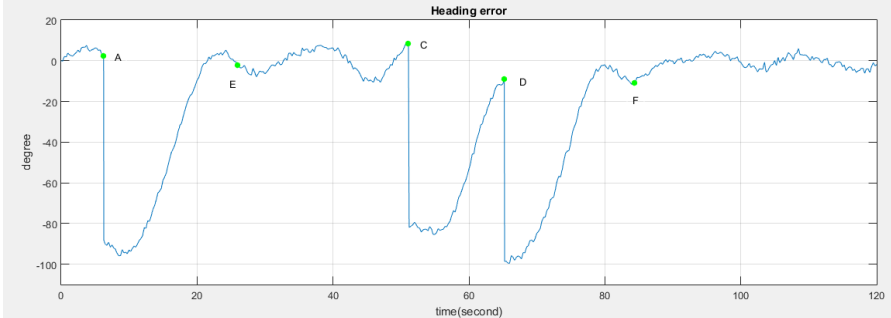
Hơn nữa, ta nhận thấy rằng vì đáp ứng của PID nơ-ron là khá tốt nên khi đi qua điểm chuyển hướng waypoint 2, tàu nhanh chóng bám theo đoạn quỹ đạo mong muốn. Ngoài ra khi đi qua điểm chuyển hướng waypoint 3 ta thấy rằng tàu không bị lệch ra khỏi quỹ đạo mong muốn tuy nhiên do bán kính bề lái tàu quá lớn ($R=3L_{\text{ship}}=4.5\text{m}$) nên khi vừa đi qua điểm chuyển hướng waypoint 3 thì tàu đã đi vào vòng tròn giới hạn kế tiếp với tâm tại điểm chuyển hướng waypoint 4 nên tàu lại phải tiếp tục chuyển hướng để bám theo đoạn thẳng quỹ đạo mới tạo thành từ waypoint 3 và waypoint 4. Chính vì vậy mà trên đoạn thẳng quỹ đạo này thì sai số bám quỹ đạo của tàu vẫn chưa thể tiến về 0.

Hình 4.6 thể hiện sai số bám quỹ đạo của con tàu theo thời gian. Từ hình 4.6 ta có thể thấy rằng tại các thời điểm $t = 6.25\text{s}$; 51.1s ; 64.2s tương ứng với các điểm A, C, D trên hình 4.5 và 4.6 thì sai số bám quỹ đạo của con tàu có bước nhảy vọt tại thời điểm chuyển waypoint. Bước nhảy về sai số bám quỹ đạo này được giải thích tương tự như các bước nhảy trong hình 4.5. Mặt khác, cũng từ hình 4.5, ta thấy rằng sau khi tàu đi qua điểm chuyển hướng waypoint 3 thì sai số bám quỹ đạo của tàu vẫn không thể tiến về 0, tuy nhiên sai số bám quỹ đạo đạt được giá trị nhỏ nhất là 0.1767m tương ứng với điểm D trên hình 4.5 và hình 4.6.



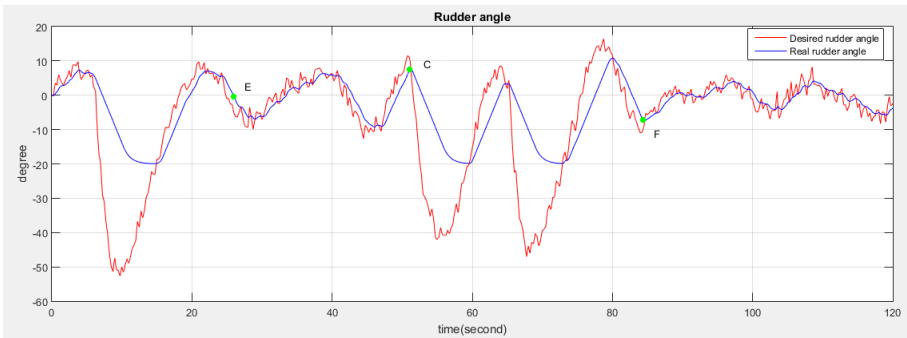
Hình 4.6. Sai số bám quỹ đạo của tàu với BDK PID nơ-ron

Ngoài ra, từ hình 4.5, ta thấy rằng sau khi tàu đi ra khỏi vòng tròn giới hạn có tâm tại điểm chuyển hướng waypoint 2 thì sai số bám quỹ đạo trong vùng ổn định từ điểm E đến điểm C như trên hình 4.7 và hình 4.8 có sai số bám quỹ đạo của dao động quanh giá trị 0 với sai số bám quỹ đạo lớn nhất trong vùng này là 0.1557m. Thời gian xác lập của tàu tính từ thời điểm bắt đầu chuyển hướng từ điểm A để bám theo đoạn thẳng quỹ đạo tạo thành từ điểm chuyển hướng waypoint 2 và waypoint 3 là $T = 11.97s$ ($t_{100}-t_{10}=18.25-6.28=11.97s$). Tương tự khi tàu đi ra khỏi vòng tròn giới hạn có tâm tại điểm chuyển hướng waypoint 4, ta thấy sai số bám quỹ đạo trong vùng ổn định từ điểm F đến điểm chuyển hướng waypoint 5 cũng bị dao động quanh giá trị 0 và giá trị sai số bám quỹ đạo lớn nhất trong vùng này là 0.1148m. Thời gian xác lập của tàu tính từ thời điểm bắt đầu chuyển hướng từ điểm C để bám theo đoạn thẳng quỹ đạo tạo thành từ điểm chuyển hướng waypoint 3 và waypoint 4 là $T=17.54s$ ($t_{280}-t_{190}=82.79-64.25=17.54s$).



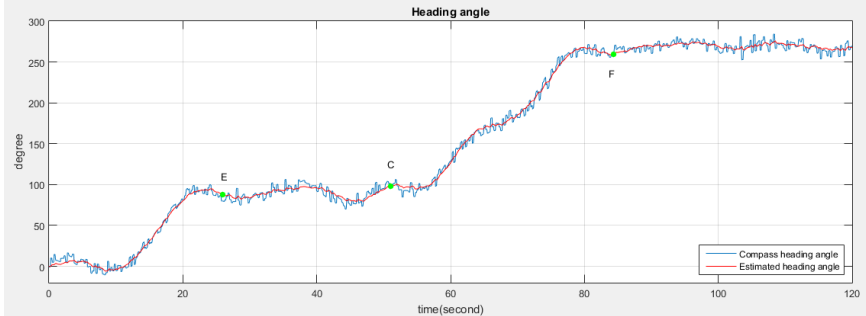
Hình 4.7. Sai số góc mũi tàu của tàu với BDK PID nơ-ron

Hình 4.7 thể hiện sai số góc mũi tàu theo thời gian. Tại các thời điểm $t = 6.25s$; $51.1s$; $64.2s$ thì sai số góc mũi tàu cũng có bước nhảy tương tự như hình 4.8. Ngoài ra, từ hình 4.7 ta có thể thấy sau khi tàu đi ra khỏi vòng tròn giới hạn có tâm tại điểm chuyển hướng waypoint 2 thì sai số góc mũi tàu trong vùng ổn định từ điểm E đến điểm C dao động quanh giá trị 0° , sai số góc mũi tàu lớn nhất trong đoạn này là 10.51° . Tương tự, khi tàu đi ra khỏi vòng tròn giới hạn có tâm tại điểm chuyển hướng waypoint 4, sai số góc mũi tàu trong vùng ổn định từ điểm F cho đến điểm chuyển hướng waypoint 5 cũng bị dao động quanh giá trị 0° , sai số góc mũi tàu lớn nhất trong đoạn này là 10.82° .



Hình 4.8. Góc bánh lái với BDK PID nơ-ron

Hình 4.8 thể hiện đáp ứng góc bánh lái của tàu khi hệ thống lái tàu tự động sử dụng BDK PID nơ-ron. Ta thấy rằng, mặc dù góc bánh lái mong muốn – tín hiệu đầu ra của bộ điều khiển (desired rudder angle) (đường màu đỏ trên hình 4.8) có những bước nhảy khá lớn tại các thời điểm $t=6.25s$; $51.1s$; $64.2s$, tuy nhiên đáp ứng của góc bánh lái thực tế vẫn là một đường cong trơn bởi vì bánh lái của tàu mô hình bị giới hạn về góc và bị giới hạn cả về vận tốc góc nên đáp ứng góc bánh lái thực tế không thể có những bước nhảy quá lớn.



Hình 4.9. Góc mũi tàu với BDK PID nơ-ron

Hình 4.9 mô tả góc mũi tàu thu về từ cảm biến la bàn theo thời gian. Sau khi tàu đi qua điểm chuyển hướng waypoint 2, trong vùng ổn định từ điểm E đến điểm C, sai số góc mũi tàu không tiến về 0^0 mà dao động quanh giá trị này. Điều này có thể được giải thích là bởi vì trong quá trình di chuyển tàu chịu ảnh hưởng của nhiễu từ môi trường nên làm góc mũi tàu bị dao động. Tương tự khi tàu đi qua điểm chuyển hướng waypoint 4, trong vùng ổn định từ điểm F đến điểm chuyển hướng waypoint 5, góc mũi tàu cũng dao động quanh giá trị 0^0 .

4.3. Kết luận chương 4

Kết quả đạt được trong chương 4 cụ thể như sau:

- Sử dụng mô hình tàu thật thu nhỏ trên cơ sở nghiên cứu phương trình động học và động lực học tàu thủy và nhiễu loạn môi trường (như sóng, gió, dòng chảy,...) tác động vào con tàu.
- Sử dụng BDK PID nơ-ron thích nghi cho hệ thống điều khiển hướng đi ở chương 2 áp dụng cho mô hình tàu được đưa ra.
- Ứng dụng hệ thống dẫn đường cho tàu dựa trên thuật toán LOS (Light of Sight). Thông qua việc điều khiển bám theo hướng đi mong muốn do thuật toán này tạo ra, BDK

có thể dẫn tàu đi theo quỹ đạo mong muốn. Thực nghiệm này nhằm kiểm chứng khả năng điều khiển hướng tàu theo giá trị thay đổi của hướng đi mong muốn.

- Tiến hành thực nghiệm dẫn đường cho mô hình thật thu nhỏ trên hồ bơi. Kết quả cho thấy tính hiệu quả và thích nghi của BDK được đề xuất.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. KẾT LUẬN

Luận án đã đạt được mục đích nghiên cứu đặt ra, với các kết quả cụ thể như sau:

1.1. Hệ thống hóa cơ sở lý luận về thuật toán điều khiển thích nghi dựa trên sự kết hợp giữa mạng nơ-ron nhân tạo và lý thuyết điều khiển PID thông thường. Trên cơ sở đó, đề xuất phát triển thuật toán và ứng dụng vào thiết kế máy lái tự động sử dụng bộ điều khiển PID nơ-ron thích nghi cho điều khiển hướng đi tàu thủy.

1.2. Ứng dụng lập trình trên Matlab để mô phỏng bộ điều khiển được đề xuất, đánh giá chất lượng bộ điều khiển PID nơ-ron thích nghi với bộ điều khiển PID thông thường.

1.3. Thiết kế và mô phỏng BDK PID nơ-ron dựa trên mạng lan truyền ngược, tác giả đã sử dụng bộ nhận dạng nơ-ron để nhận dạng mô hình tàu. Bộ nhận dạng này sử dụng mạng nơ-ron nhiều lớp truyền thẳng nhưng tác giả huấn luyện mạng theo phương pháp *trực tuyến, tăng cường* nên tốc độ thích nghi tốt, có khả năng nhận dạng mô hình tàu phi tuyến biến đổi theo thời gian. Với việc kết hợp mô hình nhận dạng nơ-ron này, phương pháp điều khiển được tiến hành kiểu điều khiển dự đoán theo thời gian thực, nâng cao tính thích nghi và chất lượng điều khiển.

1.4. Thực nghiệm điều khiển mô hình tàu thu nhỏ trong môi trường bể thử nhằm kiểm chứng BDK PID nơ-ron và sự đáp ứng của toàn hệ thống đối với tác động của môi trường bên ngoài cũng như tính phi tuyến của mô hình thật.

Các tham số Tỷ lệ - Tích phân - Vi phân (K_p , K_i , K_d) của BDK PID được điều chỉnh bằng mạng nơ-ron lan truyền ngược.

Tính mới được thể hiện trong luận án thông qua các kết quả sau:

- Đề xuất mô hình sử dụng mạng nơ-ron lan truyền ngược tăng cường kết hợp với BDK PID truyền thống trong điều khiển hướng đi tàu thủy.

- Đề xuất mạng nơ-ron nhận dạng mô hình tàu thủy sử dụng kết hợp với BDK PID nơ-ron nhằm nâng cao chất lượng điều khiển, hỗ trợ quá trình học và thích nghi của mạng nơ-ron điều khiển.

- Thuật toán huấn luyện mạng nơ-ron lan truyền ngược tăng cường lần đầu được sử dụng kết hợp với BDK PID áp dụng cho điều khiển hướng đi tàu thủy và cho kết quả tốt.

BDK PID nơ-ron dựa trên mạng nơ-ron nhân tạo đề xuất trong luận án cho thấy các phương án khả thi đã được trình bày trong luận án "*Nghiên cứu ứng dụng bộ điều khiển PID dựa trên mạng nơ-ron nhân tạo thích nghi cho hệ thống điều khiển tàu thủy*". Các kết quả mô phỏng và thực nghiệm đem lại kết quả tốt hơn BDK PID truyền thống trong phạm vi nghiên cứu của luận án và chứng tỏ các mục tiêu nghiên cứu đã đạt được.

2. KIẾN NGHỊ

Kiến nghị của luận án cũng chính là những vấn đề cần quan tâm trong hướng nghiên cứu tiếp theo, cụ thể:

2.1. Do giới hạn về cơ sở vật chất cho thí nghiệm, đặc biệt là bể thử thí nghiệm đủ tiêu chuẩn cho việc thực nghiệm trên mô hình tàu ở trong nước cũng như thời gian thực hiện,

luận án chỉ mô phỏng một số tình huống trên máy tính với số lần hạn chế, tình huống hạn chế. Tiến hành thực nghiệm chỉ dừng ở BDK PID nơ-ron không có bộ nhận dạng.

2.2. Luận án nghiên cứu tính khả thi của từng phương án điều khiển được đề xuất, chưa nghiên cứu so sánh có hệ thống các phương án với nhau để kiểm nghiệm mô hình tốt nhất cho việc kết hợp BDK PID và mạng nơ-ron nhân tạo. Tuy nhiên áp dụng mô hình nào cho đối tượng điều khiển nào sao cho tốt nhất, thậm chí tối ưu là hướng nghiên cứu cần thêm thời gian và điều kiện nhiều hơn. Tác giả dành công việc này cho những nghiên cứu trong tương lai gần.

2.3. Luận án giới hạn nghiên cứu đối với điều khiển hướng đi của tàu thủy, chưa tập trung nghiên cứu đến vấn đề như hệ thống giảm lắc tàu thủy, hệ thống định vị động, hay ứng dụng cho các phương tiện thủy loại khác... Vì vậy, trong thời gian tiếp theo, với điều kiện cho phép, tác giả sẽ tiến hành thiết kế BDK PID nơ-ron được đề xuất vào các vấn đề nêu trên.