



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0027291

(51)⁷ G05B 13/02

(13) B

(21) 1-2016-02030

(22) 13/10/2014

(86) PCT/CN2014/000899 13/10/2014

(87) WO2015/066964 A1 14/05/2015

(30) 20130551643.0 07/11/2013 CN

(45) 25/02/2021 395

(43) 26/09/2016 342A

(73) HARBIN ENGINEERING UNIVERSITY (CN)

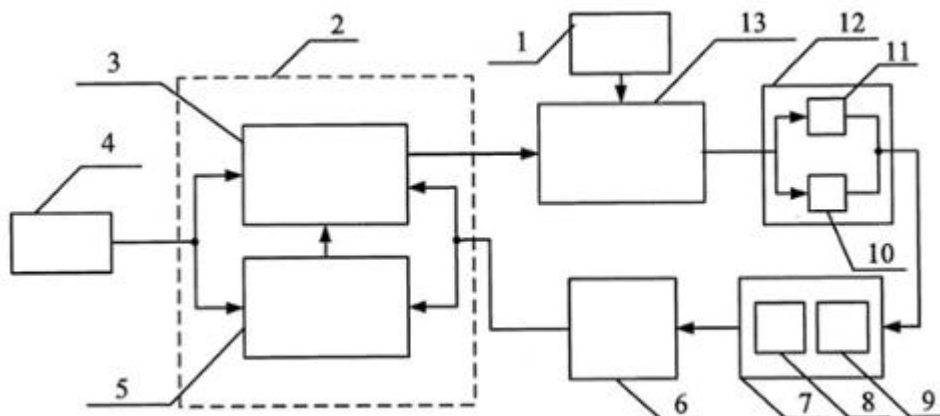
Intellectual Property Rights Center of Harbin Engineering University Nantong Street
No. 145 Nan'gang District Harbin, Heilongjiang 150001, China

(72) XIA, Guoqing (CN); SHAO, Xingchao (CN); LUAN, tiantian (CN); YANG, Yue (CN); CHEN, Xinghua (CN); LIU, Jianxu (CN); LI, Juan (CN); LIU, Ju (CN).

(74) Công ty TNHH Sở hữu trí tuệ Vàng (GINTASSET CO., LTD.)

(54) HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN CHUYỂN ĐỘNG TÀU THỦY KIỂU CUỐN CHIẾU LỌC DỰA TRÊN BỘ ƯỚC LƯỢNG MỜ THÍCH ỨNG

(57) Sáng chế đề cập tới hệ thống điều khiển chuyển động tàu thủy kiểu cuốn chiếu lọc dựa trên bộ ước lượng mờ thích ứng, hệ thống này bao gồm: hệ thống điều khiển (2), hệ thống dẫn đường (4), bộ biến đổi vi đồng phối (6), hệ thống xử lý dữ liệu (7) và hệ thống cảm biến (12), trong đó hệ thống dẫn đường (4) thiết lập vị trí mong muốn, hướng hành trình mong muốn và tốc độ mong muốn của tàu thủy ở từng thời điểm; hệ thống cảm biến (12) bao gồm bộ cảm biến trạng thái định hướng vị trí (11) và bộ cảm biến tốc độ (10); hệ thống xử lý dữ liệu (7) bao gồm hệ thống hợp nhất dữ liệu (9) và hệ thống lọc (8); hệ thống điều khiển (2) bao gồm bộ điều khiển cuốn chiếu lọc (3) và bộ ước lượng mờ thích ứng (5); bộ ước lượng mờ thích ứng (5) đồng thời tiếp nhận dữ liệu từ hệ thống dẫn đường (4) và bộ biến đổi vi đồng phối (6); và bộ điều khiển cuốn chiếu lọc (3) đồng thời tiếp nhận thông tin mong muốn và các dẫn xuất của nó được cung cấp bởi hệ thống dẫn đường (4), thông tin biến trạng thái mới được cung cấp bởi bộ biến đổi vi đồng phối (6), và đầu ra ước lượng liên quan tới các hàm phi tuyến chưa biết được tạo ra nhờ bộ ước lượng mờ thích ứng (5).



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập tới hệ thống điều khiển chuyển động tàu thủy.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Trong những năm gần đây, nguồn tài nguyên biển giàu có đã thu hút sự chú ý của mọi quốc gia, và nhân loại càng ngày càng quan tâm hơn đến kỹ thuật khai thác và phát triển liên quan tới đại dương. Cùng với mức độ thường xuyên hơn của các hoạt động ngoài khơi của con người, các lĩnh vực liên quan tới điều khiển tàu thủy đã đánh thức mối quan tâm chung của các nhà nghiên cứu, và kỹ thuật điều khiển hải trình tàu thủy, điều khiển hành trình, theo dõi hành trình, công nghệ định vị động và kỹ thuật tương tự cũng đã trở thành những vấn đề nóng đối với các nhà nghiên cứu thuộc lĩnh vực điều khiển.

Trong khi thiết kế bộ điều khiển chuyển động của tàu thủy, hầu hết các phương pháp điều khiển phi tuyến đều dựa trên thông tin mô hình, và hiện rất khó có thể thiết lập mô hình hệ thống chính xác. Vì vậy, yêu cầu đặt ra là phải tiến hành nghiên cứu về phương pháp điều khiển phi tuyến dựa trên bộ ước lượng mờ thích ứng liên quan tới chuyển động của tàu thủy trong trường hợp mô hình có thông tin chưa biết. Hơn nữa, khi thiết kế bộ điều khiển nhờ phương pháp cuốn chiếu thông thường, đại lượng điều khiển ảo cần phải được suy ra ở từng bước, và nếu số bậc của hệ thống tăng lên, việc thiết kế không những đòi hỏi quy trình tạo dẫn xuất phức tạp, mà còn đặt ra những yêu cầu nhất định đối với các đặc tính hệ thống. Để tránh phải tạo ra các đại lượng điều khiển ảo trong quá trình thiết kế bộ điều khiển cuốn chiếu, các bộ lọc cấp hai được đưa ra để tính xấp xỉ các đại lượng điều khiển ảo và các dẫn xuất của chúng nhằm đơn giản hóa quy trình thiết kế của bộ điều khiển; và việc đưa ra các bộ lọc như vậy còn có thể cải thiện khả năng chặn nhiễu của bộ điều khiển. Hiện tại, hầu hết các tài liệu đề cập tới các nghiên

cứu về điều khiển chuyển động của tàu thủy tự động hoàn toàn dựa trên định vị động và kỹ thuật tương tự đều không xét đến các đặc tính động học của hệ thống đẩy mà chỉ thực hiện các lệnh điều khiển ở dạng lực điều khiển và mômen điều khiển sẽ tác động trực tiếp lên tàu thủy, và cách tiếp cận này có khác biệt nhất định so với với hệ thống thực tế.

Dựa trên tra cứu tài liệu, theo bài báo có tiêu đề: “việc điều khiển theo dõi quỹ đạo của máy bay trực thăng không người lái nhờ kỹ thuật cuốn chiếu lọc” của Zhou Hongbo và các đồng tác giả thuộc Đại học công nghệ Nam Trung Quốc về lý thuyết điều khiển và quyết định (số 4 năm 2012), bộ điều khiển theo dõi quỹ đạo dựa trên phương pháp cuốn chiếu lọc được thiết kế đặc biệt cho máy bay trực thăng không người lái, trong đó thay vì trực tiếp suy ra các đại lượng điều khiển ảo, các bộ lọc được sử dụng để thực hiện tính xấp xỉ các đại lượng điều khiển ảo và các dẫn xuất của chúng, nhờ đó đơn giản hóa thiết kế của bộ điều khiển; và theo bài báo có tiêu đề: “thiết kế điều khiển bay của máy bay trực thăng không người lái dựa trên kỹ thuật cuốn chiếu lọc tích hợp” của He Yuebang và các đồng tác giả thuộc Đại học công nghệ Nam Trung Quốc trong tạp chí của Đại học công nghệ Nam Trung Quốc (số 2 năm 2013), một nghiên cứu nữa được thực hiện liên quan tới việc áp dụng phương pháp cuốn chiếu lọc vào nhiệm vụ theo dõi quỹ đạo của máy bay trực thăng không người lái, và khả năng chống nhiễu của hệ thống vòng kín được cải thiện bằng cách đưa ra khái niệm tích hợp và độ chắc chắn. Tuy nhiên, cả hai nghiên cứu nêu trên đều được thực hiện đối với hệ thống có mô hình đã biết.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Do đó, mục đích của sáng chế là đề xuất hệ thống điều khiển chuyển động tàu thủy kiểu cuốn chiếu lọc dựa trên bộ ước lượng mờ thích ứng với điều kiện là mô hình có hàm phi tuyến chưa biết.

Cụ thể hơn, sáng chế đề xuất hệ thống điều khiển chuyển động tàu thủy kiểu cuốn chiếu lọc dựa trên bộ ước lượng mờ thích ứng bao gồm: hệ thống điều khiển, hệ thống dẫn đường, bộ biến đổi vi đồng phân, hệ thống xử lý dữ liệu và hệ

thống cảm biến, trong đó hệ thống dẫn đường tạo ra hành trình êm theo giá trị mong muốn đầu vào và vị trí ban đầu của tàu thủy và thiết lập vị trí mong muốn, hướng hành trình mong muốn và tốc độ mong muốn của tàu thủy ở từng thời điểm theo hành trình; hệ thống cảm biến bao gồm bộ cảm biến trạng thái định hướng vị trí và bộ cảm biến tốc độ, và truyền vị trí thực và góc hướng hành trình, thu thập được bởi bộ cảm biến trạng thái định hướng vị trí, và thông tin tốc độ chuyển động của tàu thủy thu thập được bởi bộ cảm biến tốc độ tới hệ thống xử lý dữ liệu cùng nhau; vị trí thực và góc hướng hành trình cũng như thông tin tốc độ chuyển động của tàu thủy được xử lý nhờ hệ thống hợp nhất dữ liệu và hệ thống lọc trong hệ thống xử lý dữ liệu để thu được thông tin vị trí-hướng và thông tin tốc độ tần số thấp của tàu thủy, các thông tin này được truyền tới bộ biến đổi vi đồng phối và được đưa vào biến đổi trạng thái để thu được các biến trạng thái mới; các biến trạng thái mới được truyền tới bộ điều khiển cuộn chiều lọc và bộ ước lượng mờ thích ứng của hệ thống điều khiển; bộ ước lượng mờ thích ứng đồng thời tiếp nhận dữ liệu từ hệ thống dẫn đường và bộ biến đổi vi đồng phối và ước lượng các hàm phi tuyến chưa biết theo yêu cầu của bộ điều khiển, bước này cũng liên quan tới việc ước lượng các nhiễu tần số thấp; bộ điều khiển cuộn chiều lọc đồng thời tiếp nhận thông tin mong muốn và các dẫn xuất của nó được cung cấp bởi hệ thống dẫn đường, thông tin biến trạng thái mới được cung cấp bởi bộ biến đổi vi đồng phối, và đầu ra ước lượng liên quan tới các hàm phi tuyến chưa biết được tạo ra nhờ bộ ước lượng mờ thích ứng, và phân giải để thu được thông tin lệnh điều khiển tương ứng nhằm điều chỉnh lực đẩy theo chiều dọc, lực đẩy theo chiều ngang và mômen hướng hành trình của tàu thủy, nhờ đó thực hiện điều khiển chính xác đối với tàu thủy.

Hệ thống theo sáng chế có thể còn có:

bộ ước lượng mờ thích ứng đồng thời tiếp nhận dữ liệu từ hệ thống dẫn đường và bộ biến đổi vi đồng phối và ước lượng các hàm phi tuyến chưa biết theo yêu cầu của bộ điều khiển, nghĩa là bộ ước lượng mờ thích ứng trong hệ thống điều khiển thực hiện ước lượng toàn diện đối với các hàm phi tuyến chưa biết và các nhiễu tần số thấp nhờ hệ thống logic mờ dựa trên một luật thích ứng theo các

biến trạng thái mới được cung cấp bởi bộ biến đổi vị đồng phối và thông tin mong muốn được cung cấp bởi hệ thống dẫn đường để thu được các hàm phi tuyến theo yêu cầu trong bộ điều khiển cuốn chiếu lọc;

các bộ lọc cấp hai được đưa vào bộ điều khiển cuốn chiếu lọc trong hệ thống điều khiển và thực hiện tính xấp xỉ các đại lượng điều khiển ảo và các dẫn xuất của chúng;

bộ biến đổi vị đồng phối biến đổi thông tin vị trí-hướng và thông tin tốc độ của tàu thủy để thu được thông tin biến trạng thái mới, và truyền thông tin biến trạng thái mới tới hệ thống điều khiển;

bộ điều khiển cuốn chiếu lọc trong hệ thống điều khiển tạo ra một lệnh liên quan tới lực điều khiển và mômen điều khiển nhờ một loạt các phép phân giải phi tuyến bằng cách tiếp nhận các giá trị ước lượng được của các hàm phi tuyến chưa biết theo thông tin mong muốn về vị trí và hướng cũng như các dẫn xuất của nó được cung cấp bởi hệ thống dẫn đường và kết hợp với thông tin biến trạng thái mới để khởi hoạt hệ thống dẫn động nhằm điều chỉnh vị trí và hướng hành trình của tàu thủy.

các bộ lọc cấp hai được đưa vào bộ điều khiển cuốn chiếu lọc trong hệ thống điều khiển và thực hiện tính xấp xỉ các đại lượng điều khiển ảo và các dẫn xuất của chúng.

Hệ thống theo sáng chế chủ yếu khác biệt ở chỗ:

1) hệ thống dẫn đường tạo ra hành trình êm mong muốn nhờ mục tiêu mong muốn nhất định và vị trí ban đầu của tàu thủy, và thu được vị trí và hướng hành trình mong muốn và các dẫn xuất của nó của tàu thủy ở từng thời điểm theo hành trình, vì thế tàu thủy sau cùng được ổn định hóa ở vị trí mong muốn với hướng hành trình mong muốn sau quá trình chuyển động tăng tốc đều, chuyển động đều và chuyển động giảm tốc đều; và hệ thống dẫn đường truyền vị trí và hướng hành trình mong muốn thu được và các dẫn xuất của nó tới hệ thống điều khiển để ước lượng các hàm phi tuyến chưa biết và phân giải các lệnh điều khiển;

2) hệ thống cảm biến có bộ cảm biến trạng thái định hướng vị trí và bộ cảm biến tốc độ cùng truyền thông tin thu thập được tới hệ thống xử lý dữ liệu để xử lý nhằm thu được dữ liệu theo yêu cầu;

3) hệ thống xử lý dữ liệu có hệ thống hợp nhất dữ liệu và hệ thống lọc, trong đó hệ thống hợp nhất dữ liệu hợp nhất dữ liệu thu thập được bởi nhiều bộ cảm biến để thu được thông tin tương ứng, tiếp đó thông tin này được lọc nhờ hệ thống lọc để thu được thông tin chuyển động của tàu thủy cấp tới hệ thống điều khiển sau cùng, và thông tin chuyển động của tàu thủy được truyền tới bộ biến đổi vi đồng phối;

4) bộ biến đổi vi đồng phối thực hiện biến đổi trạng thái vi đồng phối đối với thông tin vị trí-hướng và thông tin tốc độ của tàu thủy được cung cấp bởi hệ thống xử lý dữ liệu để thu được các biến trạng thái mới để tạo điều kiện thuận lợi cho bộ điều khiển đối với thiết kế của bộ điều khiển cuộn chiều lọc; và

5) hệ thống điều khiển có hai bộ phận là bộ ước lượng mờ thích ứng và bộ điều khiển cuộn chiều lọc, trong đó bộ ước lượng mờ thích ứng tiếp nhận thông tin mong muốn được cung cấp bởi hệ thống dẫn đường và thông tin biến trạng thái mới được cung cấp bởi bộ biến đổi vi đồng phối, ước lượng các hàm phi tuyến chưa biết với luật thích ứng nhất định và hệ thống mờ tương ứng, và truyền các hàm phi tuyến ước lượng được tới bộ điều khiển cuộn chiều lọc để phân giải các lệnh điều khiển; bộ điều khiển cuộn chiều lọc thu được các lệnh điều khiển thích hợp bằng cách phân giải một loạt thuật toán điều khiển phi tuyến theo thông tin mong muốn được cung cấp bởi hệ thống dẫn đường và kết hợp với các giá trị ước lượng được của các hàm phi tuyến chưa biết được tạo ra nhờ bộ ước lượng mờ thích ứng và các biến trạng thái mới được cung cấp bởi bộ biến đổi vi đồng phối, để điều khiển cơ cấu khởi động của tàu thủy và điều chỉnh vị trí và tốc độ của tàu thủy, nhờ đó thu được mục đích điều khiển.

Bộ điều khiển cuộn chiều lọc trong hệ thống điều khiển không cần phải tạo ra các đại lượng điều khiển ảo, và bằng cách đưa kỹ thuật bộ lọc cấp hai vào thiết kế của bộ điều khiển và tính xấp xỉ các đại lượng điều khiển ảo và các dẫn xuất

của chúng nhờ bộ lọc, không những thiết kế của bộ điều khiển được đơn giản hóa, mà ngoài ra, khả năng chặn nhiễu của bộ điều khiển được nâng cao.

Các ưu điểm theo sáng chế nằm ở chỗ chuyển động của tàu thủy được điều khiển chính xác mà không cần biết chính xác mô hình toán học chuyển động của tàu thủy. Bộ ước lượng mờ thích ứng theo sáng chế không những có khả năng ước lượng các hàm phi tuyến chưa biết trong mô hình mà ngoài ra, có thể ước lượng các nhiễu tần số thấp bên ngoài, do đó mức độ chắc chắn của hệ thống đối với các nhiễu được cải thiện; và hơn nữa, các bộ lọc được đưa vào phương pháp cuốn chiếu lọc để thực hiện tính xấp xỉ các đại lượng điều khiển ảo và các dẫn xuất của chúng để thay thế quy trình tạo dẫn xuất đối với các đại lượng điều khiển ảo theo phương pháp cuốn chiếu thông thường, vì thế bộ điều khiển có dạng đơn giản và quy trình thiết kế được đơn giản hóa. Hơn nữa, việc đưa vào các bộ lọc còn cải thiện khả năng chặn nhiễu của bộ điều khiển.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Fig.1 là sơ đồ khối thể hiện cấu trúc chung của hệ thống điều khiển chuyển động tàu thủy kiểu cuốn chiếu lọc dựa trên bộ ước lượng mờ thích ứng;

Fig.2 thể hiện cấu trúc của bộ điều khiển cuốn chiếu lọc;

Fig.3 thể hiện các đồ thị đường cong của các hàm tư cách phân tử của hệ thống mờ thích ứng;

Fig.4 thể hiện các đồ thị đường cong của các sai số theo dõi liên quan tới vị trí và hướng hành trình; và

Fig.5 là các đồ thị đường cong của các lệnh điều khiển của bộ điều khiển.

Mô tả chi tiết sáng chế

Sáng chế sẽ được mô tả chi tiết sau đây.

Fig.1 là sơ đồ khối thể hiện cấu trúc chung của hệ thống điều khiển chuyển động tàu thủy kiểu cuốn chiếu lọc dựa trên bộ ước lượng mờ thích ứng theo sáng chế, và như được thể hiện trên Fig.1, số chỉ dẫn 1 biểu thị các nhiễu môi trường; số chỉ dẫn 2 biểu thị hệ thống điều khiển; số chỉ dẫn 3 biểu thị bộ điều khiển cuốn

chiều dọc; số chỉ dẫn 4 biểu thị hệ thống dẫn đường; số chỉ dẫn 5 biểu thị bộ ước lượng mờ thích ứng; số chỉ dẫn 6 biểu thị bộ biến đổi vi đồng phôi; số chỉ dẫn 7 biểu thị hệ thống xử lý dữ liệu; số chỉ dẫn 8 biểu thị hệ thống lọc; số chỉ dẫn 9 biểu thị hệ thống hợp nhất dữ liệu; số chỉ dẫn biểu thị 10 bộ cảm biến tốc độ; số chỉ dẫn 11 biểu thị bộ cảm biến trạng thái định hướng vị trí; số chỉ dẫn 12 biểu thị hệ thống cảm biến; và số chỉ dẫn biểu thị tàu thủy 13.

Theo Fig.1, hệ thống điều khiển chuyển động tàu thủy kiểu cuốn chiếu dọc dựa trên bộ ước lượng mờ thích ứng theo sáng chế có hệ thống điều khiển 2, hệ thống dẫn đường 4, bộ biến đổi vi đồng phôi 6, hệ thống xử lý dữ liệu 7 và hệ thống cảm biến 12. Vị trí và hướng thực tế của tàu thủy thu thập được bởi bộ cảm biến trạng thái định hướng vị trí 11 trong hệ thống cảm biến 12 và thông tin tốc độ chuyển động của tàu thủy thu thập được bởi bộ cảm biến tốc độ 10 được đóng gói với nhau và được truyền tới hệ thống xử lý dữ liệu 7, và sau khi các dữ liệu này được xử lý nhờ hệ thống hợp nhất dữ liệu 9 và hệ thống lọc 8, thu được thông tin vị trí-hướng và thông tin tốc độ của tàu thủy cấp tới hệ thống điều khiển 2; dữ liệu đã xử lý được truyền tới bộ biến đổi vi đồng phôi 6 và được đưa vào biến đổi trạng thái để thu được các biến trạng thái mới để thiết kế với phương pháp cuốn chiếu; các biến mới này được truyền tới bộ điều khiển cuốn chiếu dọc 3 và bộ ước lượng mờ thích ứng 5 của hệ thống điều khiển 2 để hệ thống điều khiển có thể thực hiện tính toán tương ứng; bộ ước lượng mờ thích ứng 5 đồng thời tiếp nhận dữ liệu từ hệ thống dẫn đường 4 và bộ biến đổi vi đồng phôi 6 và ước lượng các hàm phi tuyến chưa biết theo yêu cầu của bộ điều khiển, và cũng thực hiện ước lượng các nhiễu tần số thấp; bộ điều khiển cuốn chiếu dọc 3 đồng thời tiếp nhận thông tin mong muốn và các dẫn xuất của nó được cung cấp bởi hệ thống dẫn đường 4, thông tin biến trạng thái mới được cung cấp bởi bộ biến đổi vi đồng phôi 6, và đầu ra ước lượng liên quan tới các hàm phi tuyến chưa biết, được tạo ra nhờ bộ ước lượng mờ thích ứng 5, và thực hiện một loạt các phép phân giải để thu được thông tin lệnh điều khiển tương ứng nhằm điều chỉnh lực đẩy theo chiều dọc, lực đẩy theo chiều ngang và mômen hướng hành trình của tàu thủy, nhờ đó thực hiện điều khiển chính xác đối với tàu thủy.

1) Hệ thống dẫn đường 4 tự động tạo ra hành trình êm theo giá trị mong muốn thiết lập trước η_d và vị trí ban đầu của tàu thủy và có thể thu được các vị trí mong muốn x_d, y_d và hướng hành trình mong muốn ψ_d cũng như các dẫn xuất $\dot{x}_d, \dot{y}_d$ và $\dot{\psi}_d$ của nó theo yêu cầu của tàu thủy ở từng thời điểm theo hành trình, vì thế tàu thủy có thể tiến đến vị trí định trước nhờ quá trình là chuyển động tăng tốc đều, chuyển động đều và chuyển động giảm tốc đều.

Để thuận tiện, có thể mô tả công thức:
 $\eta_r = [x_d, y_d, \psi_d]^T$, $\dot{\eta}_r = \mathbf{v}_r = [u_d, v_d, r_d]^T$.

2) Hệ thống cảm biến 12 có bộ cảm biến trạng thái định hướng vị trí 11 và bộ cảm biến tốc độ 10 lần lượt thu thập vị trí thực và góc hướng hành trình thực và thông tin tốc độ của tàu thủy. Thông tin vị trí-hướng và thông tin tốc độ của tàu thủy được truyền tới hệ thống xử lý dữ liệu 7, và được xử lý nhờ hệ thống hợp nhất dữ liệu 9 và hệ thống lọc 8 để thu được thông tin vị trí-hướng $\eta = [x, y, \psi]^T$ và thông tin tốc độ $\mathbf{v} = [u, v, r]^T$ của tàu thủy, các thông tin này có thể áp dụng được cho hệ thống điều khiển 2; và dữ liệu đã xử lý được truyền tới bộ biến đổi vi đồng phối 6 để biến đổi trạng thái nhằm thu được các biến mới $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2$ nhờ phép biến đổi tọa độ $\mathbf{x}_1 = \eta$, $\mathbf{x}_2 = \mathbf{J}(\eta)\mathbf{v}$, và các biến mới tạo ra một mô hình mới tương đương với hệ thống ban đầu. Để phù hợp với mô hình mới, vị trí và hướng mong muốn mới và tốc độ mới được mô tả là $\mathbf{x}_{1d} = \eta_r$, $\dot{\mathbf{x}}_{1d} = \mathbf{v}_r$.

Mô hình của hệ thống ban đầu như sau:

$$\begin{aligned}\dot{\eta} &= \mathbf{J}(\eta)\mathbf{v} \\ \mathbf{M}\dot{\mathbf{v}} &= -\mathbf{C}(\mathbf{v})\mathbf{v} - \mathbf{D}(\mathbf{v})\mathbf{v} + \mathbf{J}^T(\eta)\mathbf{b} + \boldsymbol{\tau} \\ \boldsymbol{\tau} &= \bar{\mathbf{A}}\boldsymbol{\tau} + \bar{\mathbf{B}}\boldsymbol{\tau}_e\end{aligned}$$

Trong công thức này, η là vector vị trí và hướng hành trình của tàu thủy; $\mathbf{v}$ là vector tốc độ của tàu thủy; $\mathbf{b}$ là cường độ nhiễu tần số thấp; $\mathbf{J}(\eta)$ là ma trận biến đổi giữa hệ tọa độ thân tàu và hệ tọa độ trắc địa; $\mathbf{M}$ là ma trận quán tính hệ thống; $\mathbf{C}(\mathbf{v})$ là ma trận lực hướng tâm Coriolis; $\mathbf{D}(\mathbf{v})$ là ma trận giảm chấn; $\boldsymbol{\tau}$ là vector điều khiển; $\boldsymbol{\tau}_e$ là vector lệnh điều khiển; và $\bar{\mathbf{A}}$ và $\bar{\mathbf{B}}$ là các ma trận hệ số liên quan tới cơ cấu khởi động.

Sau khi biến đổi vi đồng phôi, thu được hệ tương đương như sau:

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{x}}_1 &= \mathbf{x}_2 \\ \dot{\mathbf{x}}_2 &= \mathbf{M}_\eta^{-1}(\mathbf{x}_1)(\mathbf{u} + \mathbf{J}\boldsymbol{\omega}) - \mathbf{M}_\eta^{-1}(\mathbf{x}_1)\mathbf{C}_\eta(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)\mathbf{x}_2 \\ &\quad - \mathbf{M}_\eta^{-1}(\mathbf{x}_1)\mathbf{D}_\eta(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)\mathbf{x}_2 + \mathbf{M}_\eta^{-1}(\mathbf{x}_1)\mathbf{b} \\ \dot{\mathbf{u}} &= \mathbf{A}\mathbf{u} + \mathbf{B}\boldsymbol{\tau}_e.\end{aligned}$$

Trong công thức: $\mathbf{D}_\eta(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) = \mathbf{J}^{-T}(\boldsymbol{\eta})\mathbf{D}(\mathbf{v})\mathbf{J}^{-1}(\boldsymbol{\eta})$,

$$\mathbf{C}_\eta(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) = \mathbf{J}^{-T}(\boldsymbol{\eta})[\mathbf{C}(\mathbf{v}) - \mathbf{M}\mathbf{J}^{-1}(\boldsymbol{\eta})\dot{\boldsymbol{\eta}}]\mathbf{J}^{-1}(\boldsymbol{\eta}),$$

$$\mathbf{M}_\eta(\mathbf{x}_1) = \mathbf{J}^{-T}(\boldsymbol{\eta})\mathbf{M}\mathbf{J}^{-1}(\boldsymbol{\eta})$$

$$\mathbf{u} = \mathbf{J}^{-T}(\boldsymbol{\eta})\boldsymbol{\tau}$$

$$\mathbf{A} = \mathbf{J}^{-T}(\boldsymbol{\eta})\bar{\mathbf{A}}\mathbf{J}^T(\boldsymbol{\eta}) + \dot{\boldsymbol{\eta}}^T(\boldsymbol{\eta})\mathbf{J}^T(\boldsymbol{\eta})$$

$$\mathbf{B} = \mathbf{J}^{-T}(\boldsymbol{\eta})\bar{\mathbf{B}}.$$

3) Theo mô hình tương đương thu được như nêu trên, thiết kế được bộ điều khiển cuốn chiếu lọc như sau:

$$\mathbf{z}_1 = \dot{\mathbf{x}}_1 = \mathbf{x}_1 - \mathbf{x}_{1c}$$

$$\mathbf{z}_2 = \dot{\mathbf{x}}_2 = \mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_{2c}$$

$$\mathbf{z}_3 = \dot{\mathbf{u}} = \mathbf{u} - \mathbf{x}_{3c},$$

trong đó $\mathbf{x}_{ic} (i=1,2,3)$ là đầu ra của từng bộ lọc cấp hai để tính xấp xỉ từng đại lượng điều khiển ảo, và đạo hàm $\dot{\mathbf{x}}_{ic} (i=1,2,3)$ của từng đại lượng điều khiển ảo này cũng được đưa ra nhờ bộ lọc cấp hai.

Lúc này, từng đại lượng điều khiển ảo theo yêu cầu như sau:

$$\boldsymbol{\alpha}_1 = -\mathbf{k}_1\mathbf{z}_1 + \dot{\mathbf{x}}_{1c}$$

$$\boldsymbol{\alpha}_2 = \mathbf{M}_\eta(-\mathbf{k}_2\mathbf{z}_2 + \dot{\mathbf{x}}_{2c} - \mathbf{f}(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) - \mathbf{v}_1)$$

$$\boldsymbol{\alpha}_3 = \mathbf{B}^{-1}(-\mathbf{k}_3\mathbf{z}_3 + \dot{\mathbf{x}}_{3c} - \mathbf{A}\mathbf{u} - \mathbf{M}_\eta^{-T}\mathbf{v}_2),$$

trong đó $\mathbf{f}(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) = -\mathbf{M}_\eta^{-1}(\boldsymbol{\eta})[(\mathbf{C}_\eta(\mathbf{v}, \boldsymbol{\eta}) + \mathbf{D}_\eta(\mathbf{v}, \boldsymbol{\eta}))\mathbf{x}_2 + \mathbf{b} + \mathbf{J}\boldsymbol{\omega}]$; $\mathbf{k}_i (i=1,2,3)$ là ma trận độ khuếch đại điều khiển (ma trận chéo xác định dương); và $\mathbf{v}_i (i=1,2,3)$ là vector bù của từng sai số hành trình, và được xác định là

$$\mathbf{v}_i = \mathbf{z}_i - \boldsymbol{\varsigma}_i,$$

trong đó vector $\boldsymbol{\varsigma}_i$ được xác định là

$$\dot{\boldsymbol{\varsigma}}_i = -\mathbf{k}_i\boldsymbol{\varsigma}_i + \mathbf{g}_i(\mathbf{x}_{(i+1)c} - \boldsymbol{\alpha}_i) + \mathbf{g}_i\boldsymbol{\varsigma}_{i+1}, \quad (i=1,2).$$

Trong công thức, $\mathbf{g}_1 = \mathbf{1}$, $\mathbf{g}_2 = \mathbf{M}_\eta^{-1}$, $\mathbf{g}_3 = \mathbf{B}$ và giá trị ban đầu của ς_i là không ($\varsigma_i(0) = \mathbf{0}$, $i = 1, 2$), $\varsigma_3 = \mathbf{0}$, và luật điều khiển lúc này như sau:

$$\mathbf{r}_e = \mathbf{a}_3.$$

$\mathbf{x}_{ic}$ và $\mathbf{x}_{ic}^*$, ($i = 1, 2, 3$) theo yêu cầu trong quy trình thiết kế bộ điều khiển được xác định như sau:

- 1) nếu $i = 1$, $\mathbf{x}_{1c} = \mathbf{x}_{1d} = \bar{\alpha}_0$, $\mathbf{x}_{1c}^* = \mathbf{x}_{1d}^* = \bar{\alpha}_0^*$; và
- 2) nếu $i = 2, 3$, $\mathbf{x}_{ic}$ và $\mathbf{x}_{ic}^*$ được đưa ra nhờ các bộ lọc.

Cần lưu ý rằng $\bar{\alpha}_0$ là mục tiêu định vị định trước $\mathbf{x}_{1d}$, và $\bar{\alpha}_0^*$ là tốc độ hành trình định trước $\mathbf{x}_{1d}^*$.

Từng bộ lọc có thể được xác định như sau:

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi}_{i1} \\ \dot{\phi}_{i2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{I} \\ -\omega_{ni}^2 \mathbf{I} & -2\zeta_i \omega_{ni} \mathbf{I} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_{i1} \\ \phi_{i2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega_{ni}^2 \mathbf{I} \end{bmatrix} \mathbf{a}_{(i-1)c}$$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x}_{ic} \\ \mathbf{x}_{ic}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_{i1} \\ \phi_{i2} \end{bmatrix}.$$

Trong công thức này, $\mathbf{I}$ là ma trận đơn vị cấp 3. Có thể thấy rằng, khi $\mathbf{a}_{(i-1)c}$ bị chặn, $\mathbf{x}_{ic}$ và $\mathbf{x}_{ic}^*$ bị chặn và liên tục.

4) Tất cả các thiết kế như nêu trên được thực hiện trong trường hợp các tham số mô hình là đã biết. Tuy nhiên, các tham số mô hình nói chung chưa biết hoặc một phần chưa biết, và rất khó có thể thiết kế bộ điều khiển dựa trên mô hình ở thời điểm này. Hệ thống mờ thích ứng được làm thích ứng để ước lượng các hàm phi tuyến chưa biết theo yêu cầu của bộ điều khiển nhằm giải quyết vấn đề liên quan tới các tham số mô hình chưa biết.

Giả sử cơ sở luật mờ có N luật, và luật thứ i có dạng như sau:

R^i : nếu x_1 là μ_1^i và $\dots$ và x_n là μ_n^i , thì y là B^i ($i = 1, 2, \dots, N$),

trong đó μ_n^i là hàm tư cách phân tử của x_n ($n = 1, 2, \dots, N$).

Tiếp đó, đầu ra của hệ thống mờ có thể được biểu diễn như sau:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^N \theta_i \prod_{j=1}^n \mu_j^i(x_i)}{\sum_{i=1}^N \prod_{j=1}^n \mu_j^i(x_i)} = \xi^T(\mathbf{x})\boldsymbol{\theta}$$

Trong công thức này, $\xi(\mathbf{x}) = [\xi_1(\mathbf{x}), \dots, \xi_N(\mathbf{x})]^T$ và $\boldsymbol{\theta} = [\theta_1, \dots, \theta_N]^T$ được xác định là các vector tham số ước lượng mờ, với

$$\xi_i(\mathbf{x}) = \frac{\prod_{j=1}^n \mu_j^i(x_i)}{\sum_{i=1}^N \prod_{j=1}^n \mu_j^i(x_i)}$$

Để tính xấp xỉ hàm phi tuyến chưa biết f theo yêu cầu trong bộ điều khiển, hệ thống mờ thích ứng có thể được sử dụng để tính xấp xỉ từng phần tử một của f , nghĩa là,

$$\varphi_k(\mathbf{x}) = \frac{\sum_{i=1}^N \theta_{ki} \prod_{j=1}^n \mu_j^i(x_i)}{\sum_{i=1}^N \left[\prod_{j=1}^n \mu_j^i(x_i) \right]} = \xi_k^T(\mathbf{x})\boldsymbol{\theta}_k, (k=1,2,3)$$

trong đó hàm xấp xỉ Φ của hàm phi tuyến f có thể được xác định là:

$$\Phi = [\varphi_1 \quad \varphi_2 \quad \varphi_3]^T = \begin{bmatrix} \xi_1^T & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \xi_2^T & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \xi_3^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{bmatrix} = \xi^T(\mathbf{x})\boldsymbol{\theta}$$

với $\xi^T(\mathbf{x}) = \text{diag}\{\xi_1^T, \xi_2^T, \xi_3^T\}$, $\boldsymbol{\theta} = [\theta_1, \theta_2, \theta_3]^T$.

Vector ước lượng tối ưu được xác định là $\boldsymbol{\theta}^*$, và đối với giá trị dương nhỏ tùy ý nhất định $\varepsilon (\varepsilon > 0)$, điều kiện sau được thỏa mãn:

$$\|\mathbf{f} - \Phi^*\| \leq \varepsilon,$$

trong đó $\Phi^* = \xi^T(\mathbf{x})\boldsymbol{\theta}^*$.

Lấy $\boldsymbol{\theta}^* - \boldsymbol{\theta}$, hệ số thích ứng được chọn là:

$$\dot{\boldsymbol{\theta}}_i = r_i (v_{2i} \xi_i^T(\mathbf{x}))^T - 2k_i \boldsymbol{\theta}_i, (i=1,2,3),$$

trong đó $r_i > 0$ và $k_i > 0$ là các tham số thiết kế, và v_{2i} là phần tử thứ I của

$\mathbf{V}_2$.

Lấy $\gamma \in \mathbb{R}^{3N \times 3N}$, $\kappa \in \mathbb{R}^{3N \times 3N}$, và xác định

$$\gamma = \text{diag}\{r_1 \mathbf{I}_N, r_2 \mathbf{I}_N, r_3 \mathbf{I}_N\}, \quad \kappa = \text{diag}\{k_1 \mathbf{I}_N, k_2 \mathbf{I}_N, k_3 \mathbf{I}_N\},$$

trong đó $\mathbf{I}_n$ là ma trận đơn vị cấp n , thì hệ số thích ứng được biểu diễn ở dạng vector là:

$$\theta = \gamma(\mathbf{v}_2^T \xi^T(\mathbf{x}))^T - 2\kappa\theta.$$

Do đó, hệ thống điều khiển 2 có thể thu được các lệnh điều khiển nhờ tính toán theo công thức $\tau_e = \alpha_3$ để điều chỉnh vị trí và hướng hành trình của tàu thủy.

Theo sáng chế, mô hình toán học phi tuyến của tàu thủy được sử dụng cho thử nghiệm mô phỏng, trong đó các tham số mô hình tàu thủy như sau:

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} 9.1948 \cdot 10^7 & 0 & 0 \\ 0 & 9.1948 \cdot 10^7 & 1.2607 \cdot 10^9 \\ 0 & 1.2607 \cdot 10^9 & 1.0724 \cdot 10^{11} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{D}_l = \begin{bmatrix} 1.5073 \cdot 10^6 & 0 & 0 \\ 0 & 8.1687 \cdot 10^6 & -1.3180 \cdot 10^8 \\ 0 & -1.3180 \cdot 10^8 & 1.2568 \cdot 10^{11} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{D}_n(\mathbf{v}) = -\text{diag}\{X_{|u|u}|u|, Y_{|v|v}|v|, N_{|r|r}|r|\},$$

$$\text{trong đó:} \quad \mathbf{D}(\mathbf{v}) = \mathbf{D}_l + \mathbf{D}_n(\mathbf{v})$$

$$X_{|u|u} = -2.9766 \cdot 10^4$$

$$Y_{|v|v} = -8.0922 \cdot 10^4$$

$$N_{|r|r} = -1.2228 \cdot 10^{12}$$

Trong khi mô phỏng, các tham số sau liên quan tới nhiễu và độ bất định được bổ sung:

$$\mathbf{b}=[0.25 \times 10^5 \sin(0.1t), 0.25 \times 10^5 \sin(0.1t), 0.25 \times 10^6 \sin(0.1t)]^T$$

$$\mathbf{M}_\eta = (1 + 0.3 \sin(0.8t)) \mathbf{M}_\eta^*$$

$$\mathbf{C}_\eta = (1 + 0.3 \sin(0.8t)) \mathbf{C}_\eta^*$$

$$\mathbf{D}_\eta = (1 + 0.3 \sin(0.8t)) \mathbf{D}_\eta^*,$$

trong đó các tham số có chỉ số trên "*" là các tham số mô hình danh định.

Các tọa độ của vị trí ban đầu là (0m, 0m, 0°), tốc độ ban đầu là (0m/s, 0m/s, 0°/s), và vị trí mong muốn là (2m, 1m, 5°). Các kết quả mô phỏng được thể hiện trên các hình vẽ từ Fig.3 tới Fig.5.

Bằng cách phân tích các đồ thị mô phỏng và dữ liệu, có thể thấy rằng dưới tác động của hệ thống điều khiển chuyển động tàu thủy kiểu cuộn chiếu lọc dựa trên bộ ước lượng mờ thích ứng theo sáng chế, tàu thủy có thể khắc phục các ảnh hưởng từ độ bất định của các tham số mô hình để nhanh chóng tìm được vị trí mong muốn được cung cấp bởi hệ thống dẫn đường khi có mặt nhiễu xung quanh và duy trì hướng hành trình nhất định để đạt được hiệu quả điều khiển mong muốn dưới tác động của điều chỉnh tương đối trơn. Điều này cho thấy bộ điều khiển mờ thích ứng theo sáng chế có thể ước lượng tốt hơn các hàm phi tuyến chưa biết và nhiễu của mô hình tàu thủy, và các bộ lọc theo phương pháp cuộn chiếu lọc có thể tính xấp xỉ tốt các đại lượng điều khiển ảo và các dẫn xuất của chúng, nhờ đó ngăn chặn quy trình tạo dẫn xuất của các đại lượng điều khiển ảo theo phương pháp cuộn chiếu thông thường và đơn giản hóa quy trình thiết kế của bộ điều khiển. Các kết quả mô phỏng cho thấy hệ thống điều khiển chuyển động tàu thủy kiểu cuộn chiếu lọc dựa trên bộ ước lượng mờ thích ứng theo sáng chế với luật điều khiển có các đặc tính theo dõi tiệm cận toàn cầu, và có độ chắc chắn tốt hơn đối với độ bất định của các tham số mô hình và động lực học chưa được mô hình hóa.

Yêu cầu bảo hộ

1. Hệ thống điều khiển chuyển động tàu thủy kiểu cuốn chiếu lọc dựa trên bộ ước lượng mờ thích ứng bao gồm: hệ thống điều khiển (2), hệ thống dẫn đường (4), bộ biến đổi vi đồng phối (6), hệ thống xử lý dữ liệu (7) và hệ thống cảm biến (12), hệ thống điều khiển chuyển động tàu thủy kiểu cuốn chiếu lọc dựa trên bộ ước lượng mờ thích ứng này khác biệt ở chỗ, hệ thống dẫn đường (4) tạo ra hành trình êm theo giá trị mong muốn đầu vào và vị trí ban đầu của tàu thủy, và thiết lập vị trí mong muốn, hướng hành trình mong muốn và tốc độ mong muốn của tàu thủy ở từng thời điểm theo hành trình; hệ thống cảm biến (12) bao gồm bộ cảm biến trạng thái định hướng vị trí (11) và bộ cảm biến tốc độ (10), và truyền vị trí thực và góc hướng hành trình thu thập được bởi bộ cảm biến trạng thái định hướng vị trí (11), và thông tin tốc độ chuyển động của tàu thủy thu thập được bởi bộ cảm biến tốc độ (10) tới hệ thống xử lý dữ liệu (7) cùng nhau; vị trí thực và góc hướng hành trình cũng như thông tin tốc độ chuyển động của tàu thủy được xử lý nhờ hệ thống hợp nhất dữ liệu (9) và hệ thống lọc (8) trong hệ thống xử lý dữ liệu (7) để thu được thông tin vị trí-hướng và thông tin tốc độ tần số thấp của tàu thủy, các thông tin này được truyền tới bộ biến đổi vi đồng phối (6) và được đưa vào biến đổi trạng thái để thu được các biến trạng thái mới; các biến trạng thái mới được truyền tới bộ điều khiển cuốn chiếu lọc (3) và bộ ước lượng mờ thích ứng (5) của hệ thống điều khiển (2); bộ ước lượng mờ thích ứng (5) đồng thời tiếp nhận dữ liệu từ hệ thống dẫn đường (4) và bộ biến đổi vi đồng phối (6) và ước lượng các hàm phi tuyến chưa biết theo yêu cầu của bộ điều khiển, bước này cũng liên quan tới việc ước lượng các nhiễu tần số thấp; bộ điều khiển cuốn chiếu lọc (3) đồng thời tiếp nhận vị trí mong muốn và hướng hành trình mong muốn cũng như tốc độ mong muốn được cung cấp bởi hệ thống dẫn đường (4), thông tin biến trạng thái mới được cung cấp bởi bộ biến đổi vi đồng phối (6), và đầu ra ước lượng liên quan tới các hàm phi tuyến chưa biết được tạo ra nhờ bộ ước lượng mờ thích ứng (5), và phân giải để thu được thông tin lệnh điều khiển tương ứng nhằm điều chỉnh lực đẩy theo chiều dọc, lực đẩy theo chiều ngang và mômen hướng hành trình của tàu thủy, nhờ đó thực hiện điều khiển chính xác đối với tàu thủy.

2. Hệ thống theo điểm 1, khác biệt ở chỗ, bộ ước lượng mờ thích ứng (5) đồng thời tiếp nhận dữ liệu từ hệ thống dẫn đường (4) và bộ biến đổi vi đồng phôi (6) và ước lượng các hàm phi tuyến chưa biết theo yêu cầu của bộ điều khiển, nghĩa là bộ ước lượng mờ thích ứng (5) trong hệ thống điều khiển (2) thực hiện ước lượng toàn diện đối với các hàm phi tuyến chưa biết và các nhiễu tần số thấp nhờ hệ thống logic mờ dựa trên một luật thích ứng theo các biến trạng thái mới được cung cấp bởi bộ biến đổi vi đồng phôi (6) và thông tin mong muốn được cung cấp bởi hệ thống dẫn đường (4) để thu được các hàm phi tuyến theo yêu cầu trong bộ điều khiển cuốn chiếu lọc.

3. Hệ thống theo điểm 1 hoặc 2, khác biệt ở chỗ, các bộ lọc cấp hai được đưa vào bộ điều khiển cuốn chiếu lọc (3) trong hệ thống điều khiển (2) và thực hiện tính xấp xỉ các đại lượng điều khiển ảo và các dẫn xuất của chúng.

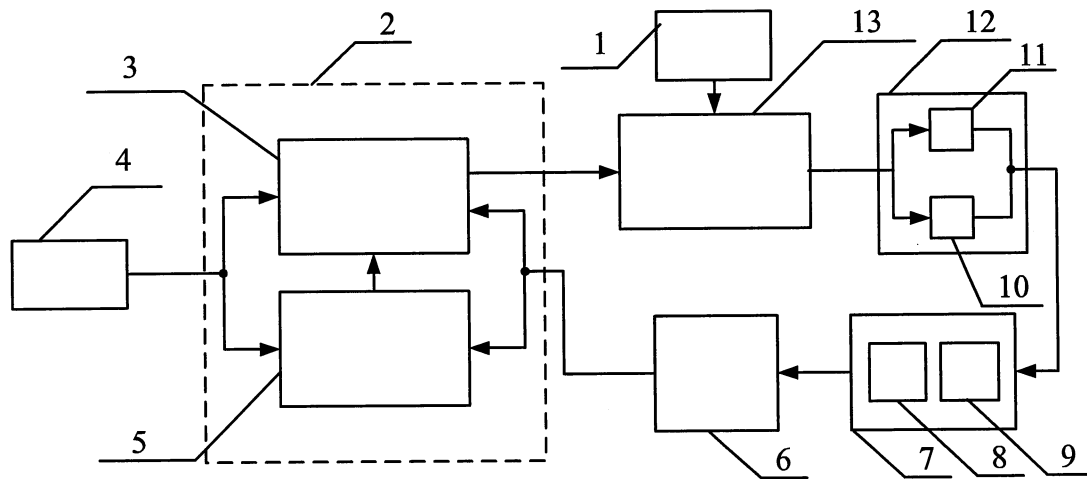


Fig.1

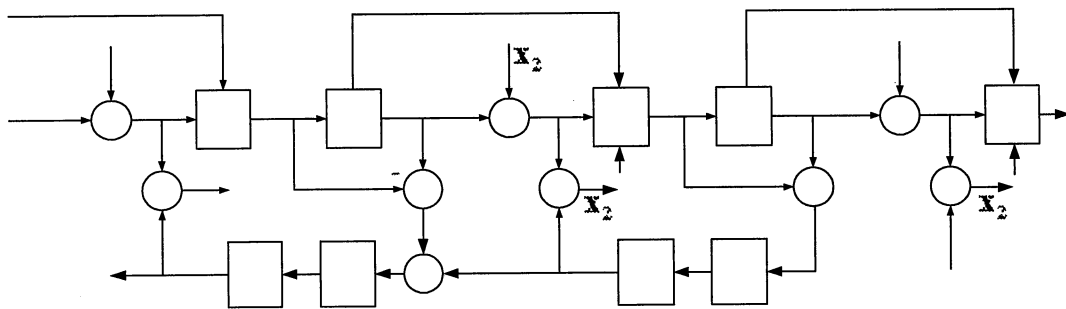
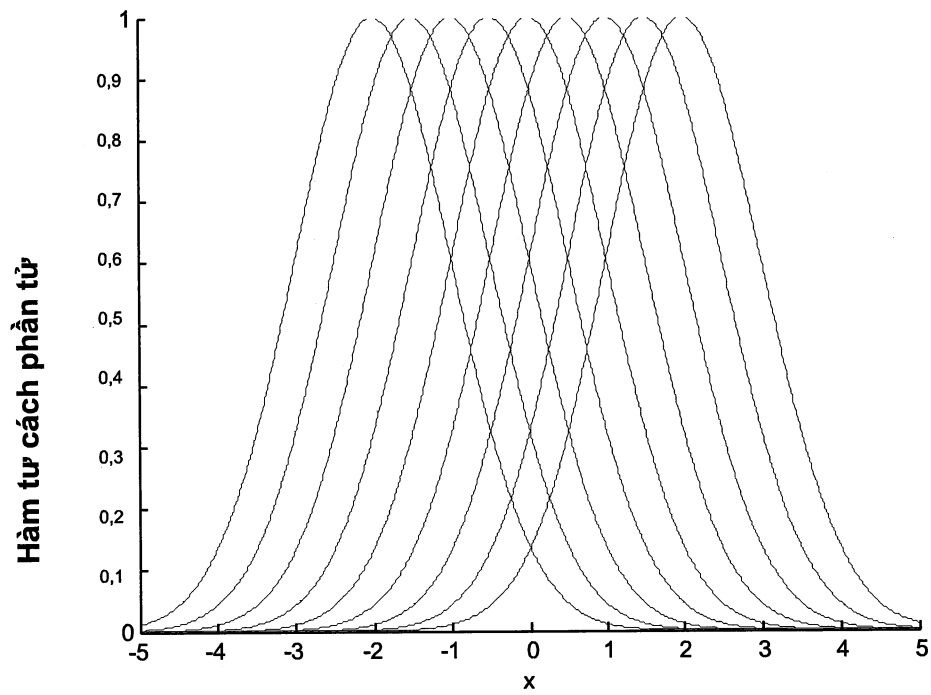
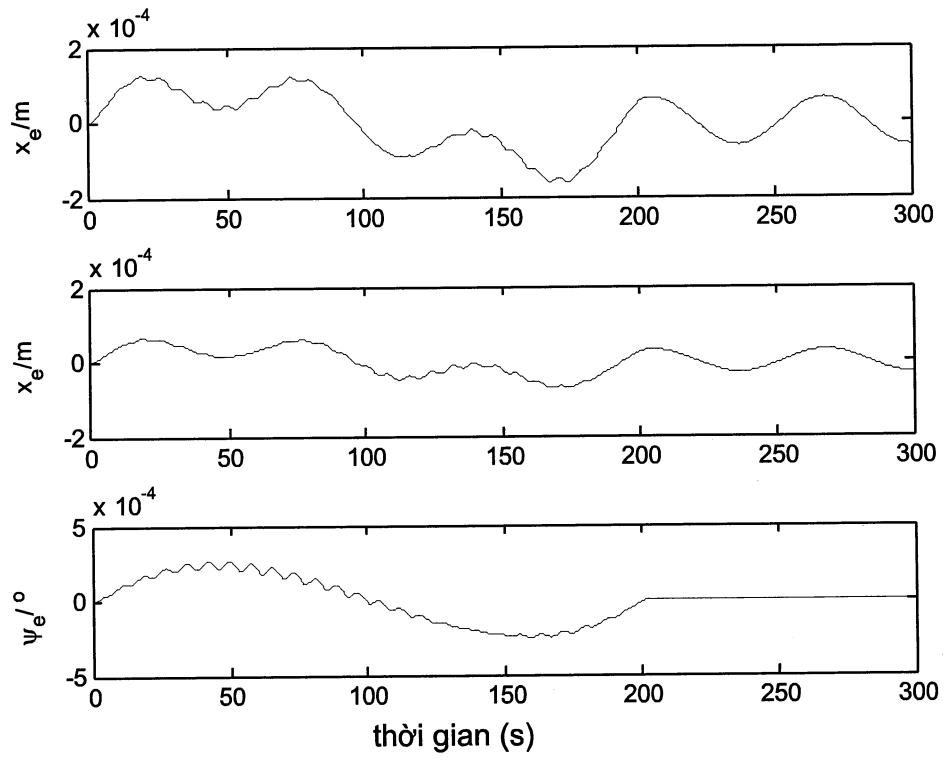
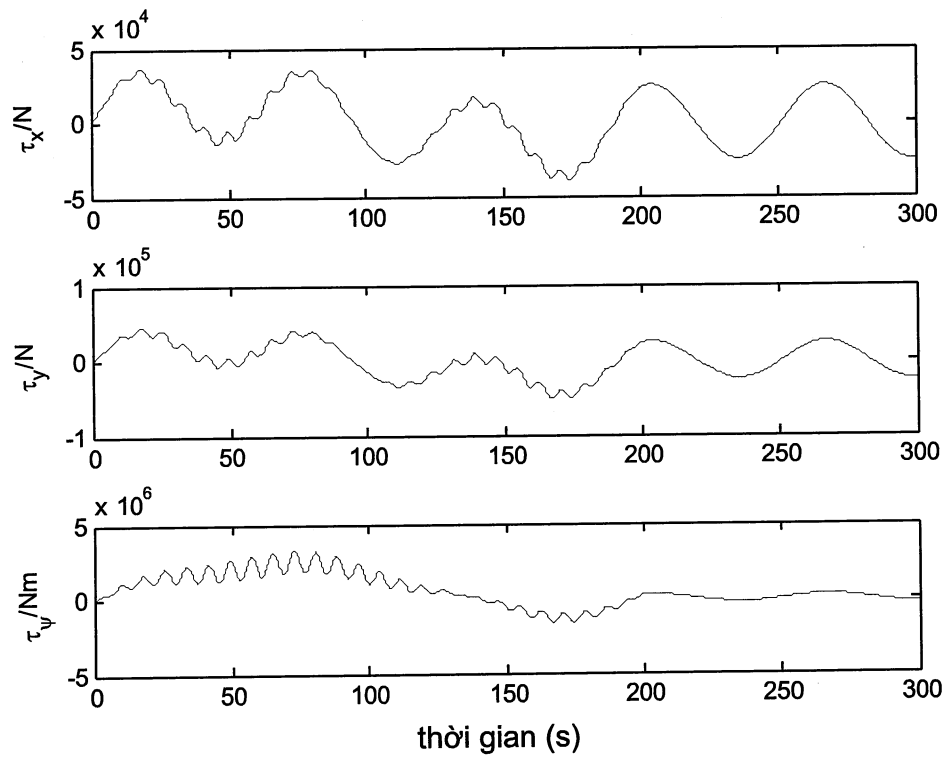


Fig.2

**Fig.3**

**Fig.4****Fig.5**