

BỘ GIAO THÔNG VẬN TẢI

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM



VŨ VĂN QUANG

**NGHIÊN CỨU NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG
ĐIỀU KHIỂN BÁM QUỶ ĐẠO CỦA PHƯƠNG TIỆN
CHUYỂN ĐỘNG NGẦM**

Tóm tắt luận án tiến sĩ kỹ thuật

Ngành: Kỹ thuật điều khiển và tự động hóa

Mã số: 9520216

Hải Phòng – 2024

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

Người hướng dẫn khoa học: 1. PGS.TS. Đinh Anh Tuấn
2. PGS.TS. Phạm Ngọc Tiếp

Phản biện 1: PGS.TS. Nguyễn Tiến Ban

Phản biện 2: PGS.TS. Nguyễn Tùng Lâm

Phản biện 3: PGS.TS. Phạm Tâm Thành

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 2024

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 luận án

Trái đất có khoảng 70% bề mặt được bao phủ bởi nước, do vậy có rất nhiều khu vực vẫn chưa được con người khám phá. Việt Nam nằm trên bờ Biển Đông, có vùng biển rộng hơn một triệu km² (gấp hơn ba lần diện tích đất liền) với bờ biển dài hơn 3.200 km và hệ thống sông ngòi dày đặc, có ý nghĩa cực kỳ quan trọng đối với công việc phát triển đất nước, trong đó nổi bật là dầu khí, hải sản. Do vậy phương tiện chuyển động ngầm nói chung và AUV nói riêng rất cần thiết, hữu hiệu trong việc phục vụ các ngành công nghiệp như: Xây dựng công trình biển, khảo sát nghiên cứu biển, hải dương học, tìm kiếm cứu hộ, kinh tế biển và quốc phòng. Đặc biệt trong quân sự hiện nay AUV có thể được ví như UAV (thiết bị bay không người lái) trên mặt đất với tầm quan trọng được khẳng định trong rất nhiều công trình ứng dụng gần đây [1], [2].

Để cụ thể hóa những chính sách của Đảng và Nhà nước cùng với sự phát triển vượt bậc của khoa học kỹ thuật ngày nay, phương tiện ngầm ngày càng được quan tâm phát triển, nhất là phương tiện ngầm có người lái bên trong. Tuy nhiên phương tiện ngầm có người lái bên trong thường là những thiết bị quân sự cỡ lớn và có thể dẫn đến những rủi ro như vụ tai nạn tàu ngầm Nanggala nặng 1300 tấn của Hải quân Indonesia năm 2021 làm chết 53 người và chìm ở độ sâu 850m không thể trục vớt và điều tra nguyên nhân [6]. Từ đó khẳng định sự cần thiết cũng như tầm quan trọng của thiết bị không có người lái bên trong vì mục đích an toàn cho tính mạng con người và giảm thiểu rủi ro ở mức thấp nhất. Phương tiện ngầm tự hành AUV có nhiều ưu điểm như không yêu cầu điều hành liên tục của con người và không chứa các hệ thống con để duy trì sự sống như hệ thống khí tuần hoàn, thức ăn, nước uống.... Điều này dẫn đến sự đơn giản hóa trong thiết kế, bảo trì, bảo dưỡng thường xuyên sẽ nhỏ hơn so với thiết bị ngầm có người lái bên trong. Do đó AUV là thiết bị ngầm tự hành được quan tâm phát triển trong ngành công nghệ hàng hải cho cả mục đích dân sự và quân sự [7], [9].

AUV (Autonomous Underwater Vehicles) là đối tượng hoạt động trong môi trường nước chịu tác động của các yếu tố không biết trước như gió, dòng chảy, mật độ không được tính toán chính xác, ngay cả đặc tính động học của đối tượng cũng bất biến theo thời gian như nhiên liệu bị tiêu hao, trọng lượng tàu, vị trí trọng tâm tàu thay đổi. Do đó, các thuật toán điều khiển hiện đại đã được nghiên cứu cho AUV, nhằm nâng cao khả năng cập nhật sự biến thiên của các hệ số thủy động học và động học của AUV để đạt được chất lượng điều khiển mong muốn.

Để nghiên cứu các thuật toán điều khiển cho AUV thì điều khiển thông minh có những ưu điểm rất lớn, một là tận dụng được kiến thức chuyên gia trong điều khiển, hai là tính linh hoạt cao, có khả năng thay đổi để đáp ứng dần tốt hơn (khả năng tự học), ba là có thể không cần biết mô hình toán học của hệ thống Tuy nhiên những nhược điểm mà điều khiển thông minh mang lại cũng không phải ít như khó được bảo đảm bằng toán học, cấu trúc điều khiển phức tạp. Vì thế bộ điều khiển thông minh thường đi kèm với các bộ điều khiển phi tuyến để tạo thành các hệ Hybrid (hệ lai) để tận dụng những lợi thế của điều

kiển phi tuyến và phát huy ưu điểm của bộ điều khiển thông minh [17], [18].

Phương tiện chuyển động ngầm hiện nay chủ yếu được nghiên cứu với phương trình chuyển động 6 DOF. Các công trình về phương tiện chuyển động ngầm 4 DOF cho các phương tiện ngầm cỡ nhỏ thường hướng đến thuật toán điều khiển đủ cơ cấu chấp hành. Hệ thiếu cơ cấu chấp hành được nghiên cứu trong các hệ thống như tàu thủy, tàu ngầm, máy bay, tàu vũ trụ, robot với mục đích để giảm giá thành, giảm trọng lượng, giảm tiêu hao năng lượng tiêu thụ hoặc hệ thống có thiết bị chấp hành bị lỗi. Trên thực tế, khi giảm cơ cấu chấp hành thì việc phát triển kỹ thuật điều khiển càng cần thiết và khó khăn hơn so với các hệ đủ cơ cấu chấp hành. Các công trình nghiên cứu hệ thiếu cơ cấu chấp hành UMS (Underactuated mechanical systems) được nghiên cứu tập trung nhiều đến việc thiết kế thuật toán điều khiển cho các hệ UMS phi tuyến khi phải xét đến các yếu tố bất định, mô hình không chính xác, nhiễu tác động vào hệ thống.

Vì những lý do đó NCS lựa chọn đề tài “Nghiên cứu nâng cao chất lượng điều khiển bám quỹ đạo của phương tiện chuyển động ngầm” làm đề tài nghiên cứu cho luận án tiến sĩ của mình, đề từ đó đề xuất các thuật toán hiện đại nhằm nâng cao chất lượng bám quỹ đạo của AUV, hướng tới đáp ứng nhu cầu phát triển và hiện đại hóa thiết bị ngầm tự hành AUV trong nước và trên thế giới.

2. Mục đích nghiên cứu

Áp dụng lý thuyết điều khiển hiện đại xây dựng bộ điều khiển mới nhằm nâng cao chất lượng điều khiển bám quỹ đạo cho phương tiện chuyển động ngầm dạng AUV 4 DOF thiếu cơ cấu chấp hành.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của đề tài

Đối tượng nghiên cứu: Hệ thống điều khiển của phương tiện chuyển động ngầm tự hành AUV 4 DOF bám được quỹ đạo mong muốn với sai số nhỏ nhất trong điều kiện mô hình động học của tàu có các thành phần bất định.

Phạm vi nghiên cứu:

Trong luận án này NCS không đề cập nhiều đến vấn đề dẫn đường hay định vị do những vấn đề này đã được nhiều công trình nghiên cứu trước đó và cho kết quả tốt. NCS chỉ sử dụng bám quỹ đạo theo hằng số và quỹ hàm điều hòa trong không gian cho các mô phỏng sau này.

NCS hướng tới nghiên cứu xây dựng các thuật toán điều khiển để cung cấp tín hiệu điều khiển tức thời là các tín hiệu lực và mô men cho phép AUV di chuyển theo quỹ đạo mong muốn có tính năng bám hướng và quỹ đạo trên mặt phẳng ngang. Việc sử dụng các tín hiệu điều khiển thông qua các cơ cấu truyền động khác nhau trên AUV, NCS chưa có điều kiện nghiên cứu trong nội dung luận án này.

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

Luận án đề xuất hai xu hướng điều khiển cho hệ thiếu cơ cấu chấp hành ứng dụng cho đối tượng AUV một là đưa về dạng đủ cơ cấu chấp hành khi thiết kế bộ điều khiển cho các trạng thái đủ cơ cấu chấp hành, sau đó áp dụng tín hiệu điều khiển này cho hệ thiếu chấp hành ban đầu (bộ điều khiển Backstepping và Backsepping Fuzzy), hai là thiết kế bộ điều khiển trực tiếp cho hệ thiếu cơ cấu chấp hành (HSMC và HSMC mờ).

Các giải thuật đề xuất đã được kiểm chứng thông qua mô phỏng kỹ thuật số cho một mô hình tàu thực tế. Với kết quả mô phỏng khẳng định chất lượng bám quỹ đạo thỏa mãn các yêu cầu đặt trước.

5. Phương pháp nghiên cứu

Phân tích lý thuyết các công trình khoa học được công bố trong thời gian gần đây ở lĩnh vực điều khiển thích nghi phi tuyến. Phân tích các ưu nhược điểm của từng phương pháp để từ đó đề xuất hướng nghiên cứu và phát triển phương pháp điều khiển mới cho phương tiện chuyển động ngầm tự hành AUV.

Nghiên cứu tổng hợp kết hợp với so sánh để đưa ra các giải pháp kỹ thuật cho phương án nâng cao chất lượng điều khiển. Các giải thuật mới được đề xuất, phân tích tính ổn định dựa trên lý thuyết Lyapunov và khảo sát đánh giá thông qua mô phỏng bằng phần mềm Matlab.

6. Những đóng góp mới của luận án

Xây dựng thành công thuật toán điều khiển Backstepping và Backstepping thích nghi sử dụng hệ logic mờ để so sánh đánh giá chất lượng điều khiển cho AUV có thành phần bất định dạng hàm số. Các kỹ thuật điều khiển được kiểm chứng trên phần mềm chuyên dụng.

Xây dựng bộ điều khiển trượt tầng Hierarchical Sliding Mode Controller (HSMC) thích nghi nơ-ron cho mô hình AUV 4 DOF trên cơ sở kết hợp điều khiển trượt tầng và mạng nơ-ron nhân tạo để nâng cao chất lượng điều khiển quỹ đạo AUV tối ưu nhất.

7. Bố cục của luận án

- Luận án được chia thành 3 chương với nội dung chính được tóm tắt như sau:

Chương 1: Giới thiệu tổng quan về phương tiện chuyển động ngầm AUV, các phương pháp điều khiển đã được công bố trong và ngoài nước, làm nền tảng để phát triển các giải thuật điều khiển mới được đề xuất trong luận án.

Chương 2: Điều khiển backstepping thích nghi mờ đảm bảo bám quỹ đạo cho AUV thiếu cơ cấu chấp hành. So sánh với bộ điều khiển Backstepping thích nghi sử dụng hệ logic mờ để chỉnh định tham số của bộ điều khiển. Từ đó khẳng định ưu điểm của bộ điều khiển kép Adaptive Fuzzy Backstepping (AFB) về độ bền vững với nhiễu và thời gian quá độ giảm.

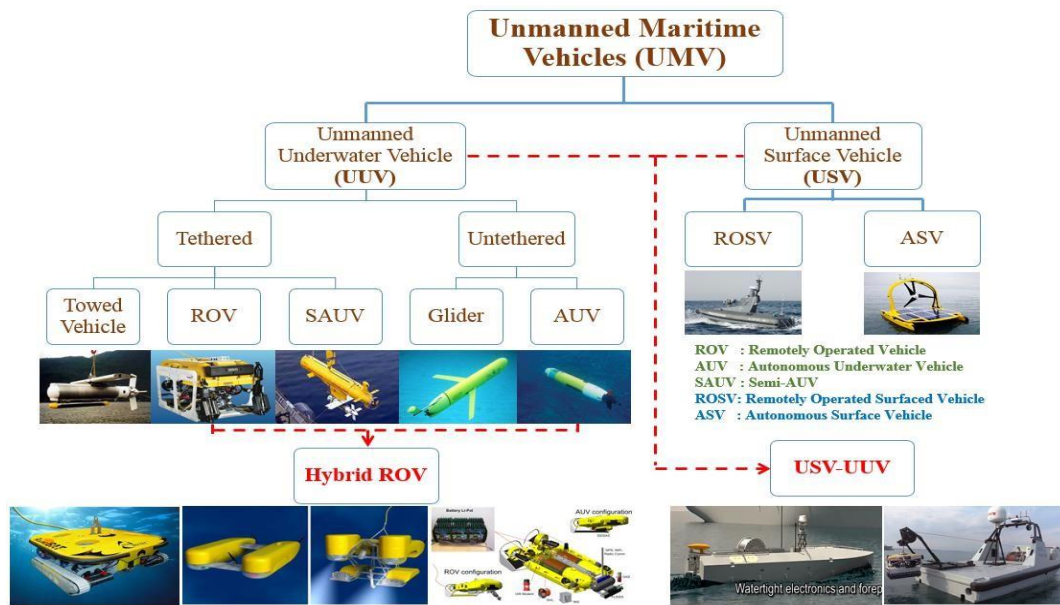
Chương 3: Điều khiển trượt tầng thích nghi nơ-ron cho AUV thiếu cơ cấu chấp hành nâng cao chất lượng điều khiển bám quỹ đạo. Trình bày lý thuyết về kỹ thuật về điều khiển trượt tầng Hierarchical Sliding Mode Controller (HSMC), và mạng nơ-ron nhân tạo làm nền tảng để phát triển bộ điều khiển thích nghi nơ-ron trượt tầng được đề xuất trên cơ sở kết hợp điều khiển trượt tầng và mạng nơ-ron nhân tạo. Hệ thống kín với ANHSMC được mô phỏng kiểm chứng bằng phần mềm Matlab/Simulink.

Chương 1.

TỔNG QUAN VỀ PHƯƠNG TIỆN CHUYỂN ĐỘNG NGẦM AUV

1.1. Tổng quan về phương tiện chuyển động ngầm

Hiện nay phương tiện chuyển động ngầm được chia thành nhiều loại khác nhau [1]. Căn cứ vào khả năng tham gia điều khiển của con người có thể phân thành hai loại chính: Phương tiện chuyển động ngầm có người lái bên trong và phương tiện chuyển động ngầm không người lái bên trong. Hình 1.1 là sơ đồ phân loại phương tiện chuyển động ngầm là phương tiện ngầm điều khiển từ xa (ROV), phương tiện ngầm có người lái và phương tiện chuyển động ngầm tự hành (AUV).



Hình 1.1. Phân loại phương tiện chuyển động ngầm [1]

Phương tiện ngầm tự hành AUV không có người lái bên trong điều khiển tự động ra đời nhằm khắc phục một số nhược điểm của ROV với nhiều hình dạng và đặc tính khác nhau cho những nhiệm vụ cụ thể. Các thiết bị này có khả năng hoạt động trong nhiều dạng môi trường khác nhau từ sông ngòi, vùng biển đến các vùng lạnh giá khắc nghiệt nhất. Ngày nay, cùng với việc phát triển của các dạng vật liệu mới, kỹ thuật máy tính, thiết bị cảm biến, cũng như sự tiến bộ về lý thuyết điều khiển robot, hàng loạt các dạng AUV nhỏ gọn, tiên tiến, thông minh và đáng tin cậy đã được chế tạo và đưa vào ứng dụng trong thực tế như quan trắc môi trường, khảo sát địa hình, ...

1.2. Một số ứng dụng tiêu biểu của AUV

Bảng 1.1 minh họa sơ lược về quá trình phát triển sản phẩm AUV trên thế giới. Toàn bộ quá trình phát triển và đánh giá các loại sản phẩm về AUV thế giới có thể tham khảo trong [7] [14].

Stt	Mô tả chính
1	AUV: Wukong được phát triển bởi trường Đại học Kỹ thuật Cáp Nhĩ Tân, năm 2019, Wukong dài 2 mét, rộng 1 mét và nặng 1,3 tấn. Trong hai lần thử nghiệm đầu tiên vào năm 2019, phương tiện chỉ đạt độ sâu 1.500m so với mực nước biển.
2	AUV: Vityaz-D Do Nga sản xuất Theo hãng thông tấn TASS, được giới thiệu tại diễn đàn công nghệ và quân sự quốc tế Army-2020. Con tàu lặn đến độ sâu 10.028m này hứa hẹn sẽ giúp ngành công nghiệp quốc phòng Nga đạt đến một tầm cao mới trong tương lai.
3	AUV: Dolphin là sản phẩm nghiên cứu của Đại học Bách khoa Hà Nội đứng đầu nhóm nghiên cứu là PGS.TS Trương Việt Anh NCS tại trường ĐH Tohoku, Nhật Bản. Công bố tại triển lãm "Ứng dụng khoa học, công nghệ trong doanh nghiệp" tại Trung tâm Hội nghị Quốc gia 12/2019
4	AUV Bluefin 9 được phát triển bởi tập đoàn của Mỹ từ năm 2010. Thông số kỹ thuật của AUV như sau: Nặng 60,5kg, Dài 1,65 m, rộng 0,24 m, có thể lặn sâu nhất 200, vận tốc di chuyển tối đa là 2 m/s, có khả năng hoạt động 12 giờ liên tục trên biển.

1.3. Hệ tọa độ của thiết bị lặn tự hành AUV

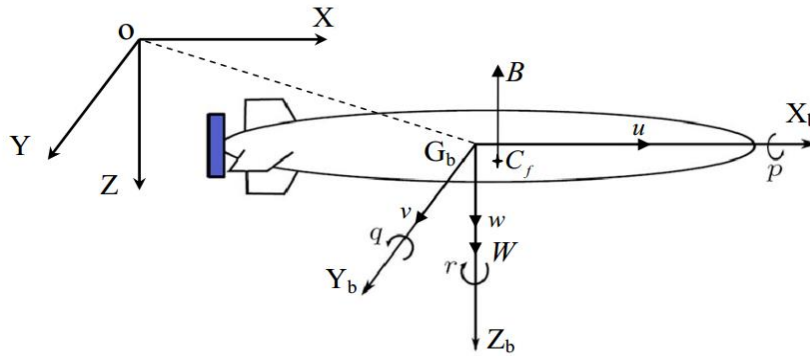
Mô hình động học của thiết bị lặn tự hành AUV được xây dựng dựa trên lý thuyết cơ học, những nguyên lý của động học và tĩnh học. Mô hình động học của AUV được sử dụng để thiết kế các hệ thống điều khiển cho phương tiện này đáp ứng các mục tiêu cụ thể. Nói chung, chuyển động của AUV có thể được biểu diễn bằng phương trình chuyển động với sáu bậc tự do (6-DOF) [7], [8]. Các thành phần như chiều chuyển động, lực và mô men tác động, tốc độ và vị trí cho AUV được biểu diễn trong bảng 1.3

Bảng 1.3: Các ký hiệu của SNAME

Bậc tự do	Chuyển động	Lực và mô-men	Tốc độ dài và tốc độ góc	Vị trí và góc Euler
1	Trượt dọc theo trục x (Surge)	X	u	x
2	Trượt ngang theo trục y (Sway)	Y	v	y
3	Trượt đứng theo trục z (Heave)	Z	w	z
4	Lắc ngang quanh trục x (Roll, heel)	K	p	ϕ
5	Lắc dọc quanh trục y (pitch, trim)	M	q	θ
6	Quay trở quanh trục z (Yaw)	N	r	ψ

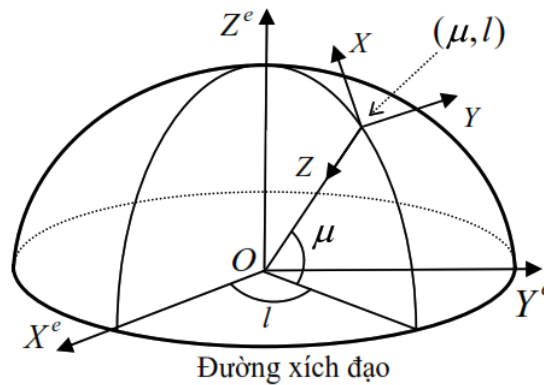
Hệ tọa độ (x, y, z) là vị trí của phương tiện chuyển động ngầm theo chuyển động tịnh tiến dọc các trục 0x, 0y và 0z, và đạo hàm (x, y, z) theo thời gian chính là vận tốc của các chuyển động tịnh tiến đó (u, v, w). Các tọa độ (ϕ, θ, ψ) là các góc miêu tả hướng chuyển động của phương tiện ngầm AUV quanh các trục x, y, z và tốc

độ quay quanh (p, q, r) chính là đạo hàm theo thời gian theo các tọa độ tương ứng (ϕ, θ, ψ) với hệ quy chiếu tính từ hệ tọa độ địa lý OXYZ đến hệ quy chiếu của hệ tọa độ gắn thân $G_b X_b Y_b, Z_b$ như hình 1.6.



Hình 1.6. Biểu diễn hệ tọa độ của AUV [9]

Để phân tích chuyển động của phương tiện chuyển động ngầm thường quan tâm đến hệ tọa độ địa lý OXYZ và hệ tọa độ cố định tâm trái đất $O X^e Y^e Z^e$. Mối quan hệ giữa hai hệ tọa độ này được thể hiện trên hình 1.7.



Hình 1.7. Quan hệ của hệ tọa độ địa lý và hệ tọa độ cố định tâm trái đất [9]

Hệ tọa độ $O X^e Y^e Z^e$ (Earth-Centered Reference Frames) gồm:

Khung tọa độ ECI (i-frame) là khung quán tính để định vị trái đất (thỏa mãn định luật II Newton khi xét đến các chuyển động có khung quy chiếu của hệ tọa độ không có gia tốc). ECEF (e-frame) $O X^e Y^e Z^e$ có gốc gắn với tâm trái đất nhưng trục quay góc $\omega_e = 7.2921 \cdot 10^{-5}$ rad/s so với khung quán tính ECI. Chuyển động quay của trái đất có thể bỏ qua đối với phương tiện hàng hải, do đó có thể coi khung e-frame là khung quán tính. Trong thực tế khung tọa độ e-frame được sử dụng cho điều khiển, định vị và dẫn đường nói chung khi miêu tả chuyển động của phương tiện chuyển động ngầm và vị trí trên đại dương [11].

1.4. Mô tả động học phương tiện chuyển động ngầm

1.5. Các lực và mô men ngoại lực tác động lên AUV

Xét loại AUV được điều khiển bởi chân vịt là động cơ đẩy, bánh lái hướng làm nhiệm vụ điều khiển theo hướng, vừa điều khiển giảm lắc và một hệ thống bơm điều

khởi AUV theo độ sâu hay góc chúc ngóc, truyền động quay các bánh lái này là các máy lái điện. Ngoại lực và mô men ngoại lực tác động lên AUV được biểu diễn:

$$\tau_{RB} = M_A \dot{\underline{v}} + C_A(\underline{v})\underline{v} + D(\underline{v})\underline{v} + L(\underline{v})\underline{v} + \underline{g}(\underline{\eta}) + \underline{\tau} \quad (1.19)$$

Với $M_A, C_A(\underline{v})$ là ma trận quán tính và ma trận hướng tâm Coriolis khối nước kèm; $D(\underline{v})$ là ma trận và mô men thủy động; $\underline{g}(\underline{\eta})$ là véc tơ lực và mô men gây ra bởi trọng lực và lực nổi; $L(\underline{v})$ là ma trận thông số lực và mô men của bánh lái; $\underline{\tau} = \underline{\tau}_{bl} + \underline{\tau}_{pl}$ là lực và mô men của bánh lái và động cơ đẩy [9].

1.6. Các yếu tố môi trường tác động lên phương tiện ngầm tự hành

1.7. Tình hình nghiên cứu AUV trên thế giới

1.8. Những nghiên cứu AUV trong nước

Trên thế giới những công trình khoa học nghiên cứu về AUV được quan tâm rất lớn, những công trình được công bố ngày càng nhiều. Trong đó các kỹ thuật điều khiển hiện đại đang được ứng dụng phát triển. Ở Việt Nam các công bố gần đây về AUV chủ yếu là các luận án Tiến sĩ tập trung ở một số ĐH lớn như Đại học Bách khoa Hà Nội, học viện Kỹ thuật quân sự, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, nghiên cứu không tập trung vào một số vấn đề như ngư lôi, tàu ngầm, thiết bị thủy âm liên lạc. Công trình công bố hoàn thiện về AUV chưa được quan tâm nghiên cứu.

Kết luận chương 1: Việc phân tích tình hình nghiên cứu trong chương 1 cho phép NCS rút ra kết luận sau: AUV (Autonomous Underwater Vehicles) là đối tượng hoạt động trong môi trường nước chịu tác động của các yếu tố không biết trước như độ sâu, áp suất, dòng hải lưu, không được tính toán chính xác, ngay cả đặc tính động học của đối tượng cũng bất biến theo thời gian như nhiên liệu bị tiêu hao, trọng lượng tàu, vị trí trọng tâm tàu thay đổi. Điều khiển nâng cao chất lượng điều khiển bám quỹ đạo của AUV đòi hỏi phải sử dụng lý thuyết điều khiển phi tuyến hiện đại.

Phương tiện chuyển động ngầm hiện nay chủ yếu được nghiên cứu với phương trình chuyển động 6 DOF. Các công trình về phương tiện chuyển động ngầm 4 DOF cho các phương tiện ngầm cỡ nhỏ thường hướng đến thuật toán điều khiển đủ cơ cấu chấp hành. Các nghiên cứu về hệ thiếu cơ cấu chấp hành chủ yếu cho tàu thủy mặt nước, AUV 4 DOF thiếu cơ cấu chấp hành chưa được công bố nhiều trong các công trình khoa học. Do đó trong luận án này NCS tập trung tiếp cận hai xu hướng điều khiển thiếu cơ cấu chấp hành: Một là cố gắng đưa về dạng đủ cơ cấu chấp hành khi thiết kế bộ điều khiển cho các trạng thái đủ cơ cấu chấp hành, sau đó áp dụng tín hiệu điều khiển này cho hệ thiếu chấp hành ban đầu (bộ điều khiển Backstepping và Backsepping Fuzzy). Hai là thiết kế bộ điều khiển trực tiếp cho hệ thiếu cơ cấu chấp hành (HSMC và HSMC nơ-ron). Đây chính là tiền đề để định hướng cho những đóng góp mới được thực hiện trong luận án.

Chương 2.

ĐIỀU KHIỂN BACKSTEPPING THÍCH NGHI MỜ ĐẢM BẢO BẨM QUỸ ĐẠO CHO AUV 4 DOF THIỂU CƠ CẤU CHẤP HÀNH

2.1. Mô hình toán của AUV

Tùy theo các ứng dụng cụ thể mà ta chọn số bậc tự do phù hợp, số bậc tự do càng ít thì khả năng điều khiển sẽ đỡ phức tạp hơn. Đối với một thiết bị hoạt động trong môi trường nước thì việc điều khiển chính xác các vị trí, tọa độ của cả 6 bậc là hết sức phức tạp. Để đơn giản hóa đối với các loại thiết bị lặn tự hành cỡ nhỏ có thể bỏ 2 bậc tự do là: Góc θ (chuyển động quay lật) và góc ϕ (chuyển động quay lắc), thì phương trình chuyển động của thiết bị lặn tự hành AUV gồm 4 bậc tự do được biểu diễn qua các đại lượng (một động cơ chân chân vịt chính để di chuyển, một động cơ chân vịt mũi, một động cơ bánh lái để điều hướng và động cơ bơm để lặn nổi). Mục đích để đơn giản hóa trong quá trình điều khiển mà vẫn đảm bảo được yêu cầu nhiệm vụ đặt ra. Vị trí tọa độ (x, y) , hướng đi của AUV (ψ) và vị trí trục z (độ sâu lặn).

Phương tiện chuyển động ngầm AUV 4 DOF có phương trình động học phi tuyến tổng quát như sau:

$$\begin{cases} \dot{\eta} = J(\eta)v \\ M\dot{v} + C(v)v + D(v)v = \tau \end{cases} \quad (2.13)$$

Trong đó $J(\eta)$ là ma trận quay quanh trục Oz biểu diễn như sau:

$$J(\eta) = \begin{bmatrix} \cos(\psi) & -\sin(\psi) & 0 & 0 \\ \sin(\psi) & \cos(\psi) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} \\ J_{21} & J_{22} \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

Ma trận quán tính của hệ thống:

$$M = \begin{bmatrix} m + X_{\dot{u}} & 0 & X_{\dot{w}} & -m y_g \\ 0 & m + Y_{\dot{v}} & 0 & Y_r + m x_g \\ Z_{\dot{u}} & 0 & m + Z_{\dot{w}} & 0 \\ -m y_g & m x_g + N_{\dot{v}} & 0 & I_z + N_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

Ma trận Coriolis và ma trận lực hướng tâm của hệ thống:

$$C = \begin{bmatrix} 0 & -mr & 0 & -m x_g r - a_2 \\ mr & 0 & 0 & -m y_g r + a_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ m x_g r + a_2 & m y_g r - a_1 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

$D(v)$ là ma trận suy giảm thủy động lực học được biểu diễn như sau:

$$D(v) = \begin{bmatrix} X_u + X_{|u|} |u| & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Y_v + Y_{|v|} |v| & 0 & 0 \\ Z_0 |u| & 0 & Z_w + Z_{|w|} |w| & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K_p + K_{|p|} |p| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} \\ D_{21} & D_{22} \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

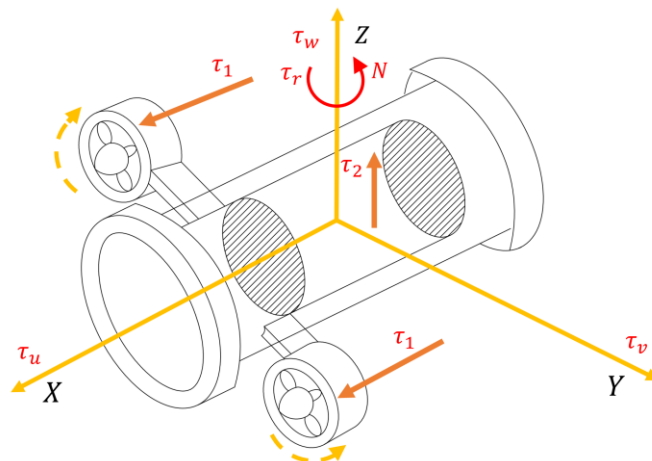
Trong đó các ma trận $M, J(\eta), C(v), D(v)$ thỏa mãn những tính chất sau:

(1) $M = M^T > 0$, (2) $C(v) = -C^T(v)$, (3) $D(v) > 0$

(4) $J(\eta)$ là ma trận quay xung quanh trục oz và là ma trận trực giao $J^{-1}(\eta) = J^T(\eta)$

Mô hình chuyển động bốn bậc tự do của tàu ngầm AUV bao gồm : $\eta = [x, y, z, \psi]^T$ là véc-tơ vị trí của tàu theo các trục Ox, Oy, Oz và góc điều hướng tàu quay quanh trục Oz ; $v = [u, v, w, r]^T$ là véc-tơ vận tốc dài theo các phương Ox, Oy, Oz và tốc độ quay xung quanh trục Oz . Theo hệ phương trình (2.13) τ – là lực và mô-men được tạo ra bởi cơ cấu thực hiện của AUV, các lực và mô men này được thực hiện bởi $\tau = [\tau_u, \tau_v, \tau_w, \tau_r]^T$.

Mô hình toán của AUV 4 DOF có nhiều cơ cấu thực hiện như: Chân vịt chính sau lái tạo ra lực đẩy trượt dọc τ_u , chân vịt phụ tạo ra lực trượt ngang τ_v , hai bơm nước ở hai bên AUV sẽ tạo ra lực trượt dọc τ_w , bánh lái chính sau lái tạo ra mô-men τ_r thay đổi hướng đi của tàu. Mặt khác, nếu $\tau_v, \tau_r = 0$ tức là trong mô hình toán của AUV không có thành phần lực gây ra trượt ngang và quay trở (phần tử thực hiện không có cơ cấu đẩy ngang và bánh lái) hướng theo trục y thì mô hình toán xét trên mặt phẳng ngang được gọi là mô hình tàu thiếu cơ cấu chấp hành (Underactuated). Giả thiết rằng lực tác động của bánh lái phía sau lái có thành phần lực gây ra trượt ngang là rất nhỏ, điều đó không mất đi tính thực tế là AUV không có đạt ngang trong quá trình chuyển động. Đây là mô hình toán đặc trưng cho loại AUV chỉ có 2 cơ cấu thực hiện là động cơ đẩy phía sau và động cơ theo trục dọc như mô hình hoạt động của Quadrotor UAV hay gọi là QUV (hình 2.2).



Hình 2.2. Phân tích lực AUV 4 DOF thiếu cơ cấu chấp hành

AUV được coi là thiết bị thiếu cơ cấu chấp hành (Underactuated) khi số tín hiệu điều khiển đầu vào ít hơn số biến trạng thái điều khiển (hay số bậc tự do) [21]. NCS tách mô hình toán (hệ phương trình 2.13) thành hai phần là hệ thống thiếu chấp hành và hệ thống đủ chấp hành. Véc-tơ vị trí $\eta = [\eta_1 \ \eta_2]^T$ sẽ được chia làm hai phần $\eta_1 = [x \ z]^T$ cho trạng thái đủ chấp hành và $\eta_2 = [y \ \psi]^T$ cho trạng thái thiếu chấp hành. Tương tự, véc-tơ vận tốc v cũng được chia làm hai phần với $v = [v_1 \ v_2]^T$. Phương trình động lực học AUV (2.13) được viết lại như sau:

$$\begin{cases} \dot{\eta}_1 = J_{11}v_1 + J_{12}v_2 \\ \dot{\eta}_2 = J_{21}v_1 + J_{22}v_2 \\ M_{11}\dot{v}_1 + (C_{11} + D_{11})v_1 + M_{12}\dot{v}_2 + (C_{12} + D_{12})v_2 = \tau \\ M_{21}\dot{v}_1 + (C_{21} + D_{21})v_1 + M_{22}\dot{v}_2 + (C_{22} + D_{22})v_2 = 0 \end{cases} \quad (2.18)$$

Với:

$$\begin{aligned} M_{11} &= \begin{bmatrix} m + X_{\dot{u}} & 0 \\ 0 & m + Y_{\dot{v}} \end{bmatrix} & M_{12} &= \begin{bmatrix} X_{\dot{w}} & -my_g \\ 0 & Y_r + mx_g \end{bmatrix} & M_{21} &= \begin{bmatrix} Z_{\dot{u}} & 0 \\ -my_g & mx_g + N_v \end{bmatrix} & M_{22} &= \begin{bmatrix} m + Z_{\dot{w}} & 0 \\ 0 & I_z + N_r \end{bmatrix} \\ C_{11}(v) &= \begin{bmatrix} 0 & -mr \\ mr & 0 \end{bmatrix} & C_{12}(v) &= \begin{bmatrix} 0 & -mx_g r - a_2 \\ 0 & -my_g r + a_1 \end{bmatrix} & C_{21}(v) &= \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ mx_g r + a_2 & my_g r - a_1 \end{bmatrix} & C_{22}(v) &= \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \\ J_{11}(v) &= \begin{bmatrix} \cos(\psi) & -\sin(\psi) \\ \sin(\psi) & \cos(\psi) \end{bmatrix} & J_{12}(v) &= \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} & J_{21}(v) &= \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} & J_{22}(v) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \\ D_{11}(v) &= \begin{bmatrix} X_u + X_{|u|} |u| & 0 \\ 0 & Y_v + Y_{|v|} |v| \end{bmatrix} & D_{12}(v) &= \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} & D_{21}(v) &= \begin{bmatrix} Z_0 |u| & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} & D_{22}(v) &= \begin{bmatrix} Z_w + Z_{|w|} |w| & 0 \\ 0 & K_p + K_{p|p|} |p| \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Vì M_{22} là ma trận xác định dương nên từ phương trình thứ tư trong (2.18), suy ra:

$$\dot{v}_2 = -M_{22}^{-1} [M_{21}\dot{v}_1 + (C_{21} + D_{21})v_1 + (C_{22} + D_{22})v_2] \quad (2.19)$$

Thay (2.19) vào phương trình thứ ba trong (2.18):

$$M_{11}\dot{v}_1 + (C_{11} + D_{11})v_1 - M_{12}M_{22}^{-1} [M_{21}\dot{v}_1 + (C_{21} + D_{21})v_1 + (C_{22} + D_{22})v_2] + (C_{12} + D_{12})v_2 = \tau \quad (2.20)$$

$$\Leftrightarrow (M_{11} - M_{12}M_{22}^{-1}M_{21})\dot{v}_1 + ((C_{11} + D_{11}) - M_{12}M_{22}^{-1}(C_{21} + D_{21}))v_1 + ((C_{12} + D_{12}) - M_{12}M_{22}^{-1}(C_{22} + D_{22}))v_2 = \tau$$

Rút gọn phương trình (2.20) tính được:

$$\bar{M}\dot{v}_1 + \bar{C}_1v_1 + \bar{C}_2v_2 = \tau \quad (2.21)$$

$$\bar{M} = M_{11} - M_{12}M_{22}^{-1}M_{21}$$

$$\text{Với: } \bar{C}_1 = (C_{11} + D_{11}) - M_{12}M_{22}^{-1}(C_{21} + D_{21})$$

$$\bar{C}_2 = (C_{12} + D_{12}) - M_{12}M_{22}^{-1}(C_{22} + D_{22})$$

Vì ma trận $\bar{M}$ là ma trận khả nghịch xác định dương nên từ phương trình (2.21), suy ra:

$$\dot{v}_1 = \bar{M}^{-1}(-\bar{C}_1v_1 - \bar{C}_2v_2) + \bar{M}^{-1}\tau \quad (2.22)$$

Thay (2.22) vào phương trình (2.19):

$$\dot{v}_2 = -M_{22}^{-1} [M_{21}\bar{M}^{-1}(\tau - \bar{C}_1v_1 - \bar{C}_2v_2) + (C_{21} + D_{21})v_1 + (C_{22} + D_{22})v_2]$$

$$\Leftrightarrow \dot{v}_2 = -M^{-1}_{22} \left[M_{21} \bar{M}^{-1} (-\bar{C}_1 v_1 - \bar{C}_2 v_2) + (C_{21} + D_{21}) v_1 + (C_{22} + D_{22}) v_2 \right] - M^{-1}_{22} M_{21} \bar{M}^{-1} \tau$$

Thay (2.21) và (2.22) vào hệ phương trình (2.18), suy ra hệ phương trình động lực học của AUV được tính như sau:

$$\begin{cases} \dot{\eta}_1 = J_{11} v_1 \\ \dot{v}_1 = \bar{M}^{-1} (-\bar{C}_1 v_1 - \bar{C}_2 v_2) + \bar{M}^{-1} \tau \\ \dot{\eta}_2 = J_{22} v_2 \\ \dot{v}_2 = -M^{-1}_{22} \left[M_{21} \bar{M}^{-1} (-\bar{C}_1 v_1 - \bar{C}_2 v_2) + (C_{21} + D_{21}) v_1 + (C_{22} + D_{22}) v_2 \right] - M^{-1}_{22} M_{21} \bar{M}^{-1} \tau \end{cases} \quad (2.23)$$

Với: $J_{12}(v) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ và $J_{21}(v) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$

2.2. Cơ sở lý thuyết điều khiển Backstepping thích nghi mờ

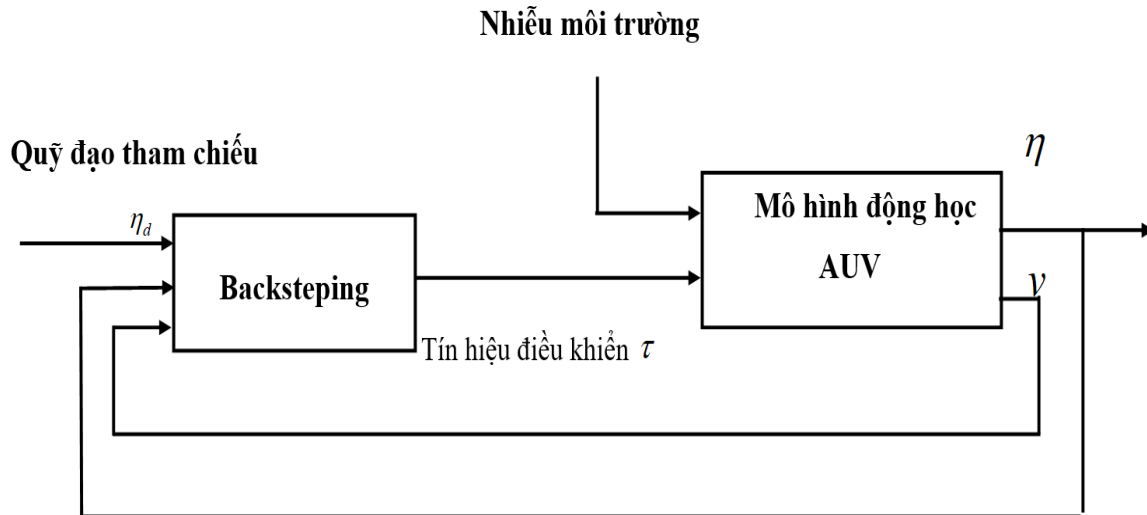
2.2.1. Kỹ thuật điều khiển Backstepping

2.2.2. Điều khiển dựa trên hệ suy diễn mờ

2.3. Điều khiển Backstepping cho AUV 4 DOF thiếu cơ cấu chấp hành

2.3.1. Tổng hợp bộ điều khiển cho AUV bằng kỹ thuật Backstepping

Để kiểm chứng mô hình toán AUV 4 bậc tự do hệ thiếu cơ cấu chấp hành đã được trình bày và đề xuất trong phần chương 2 và lý thuyết về bộ điều khiển được NCS trình bày trong phần trên về nghiên cứu thiết kế bộ điều khiển Backstepping điều khiển AUV. Mô hình của hệ thống được mô tả như sau:



Hình 2.5. Cấu trúc hệ thống điều khiển Backstepping cho AUV

Thuật toán điều khiển Backstepping được trình bày sau đây:

Hệ phương trình (2.23) được viết lại dạng tổng quát hóa như sau:

$$\begin{cases} \dot{\eta}_1 = J_{11} v_1 \\ \dot{v}_1 = f_1(X) + g_1(X) \tau_1 \\ \dot{\eta}_2 = J_{22} v_2 \\ \dot{v}_2 = f_2(X) + g_2(X) \tau_2 \end{cases} \quad (2.61)$$

$$\begin{aligned} X &= [\eta_1 \quad v_1 \quad \eta_2 \quad v_2]^T \\ f_1(X) &= \bar{M}^{-1} (-\bar{C}_1 v_1 - \bar{C}_2 v_2) \\ g_1(X) &= \bar{M}^{-1} \\ f_2(X) &= -M^{-1}_{22} \left[M_{21} \bar{M}^{-1} (-\bar{C}_1 v_1 - \bar{C}_2 v_2) + (C_{21} + D_{21}) v_1 + (C_{22} + D_{22}) v_2 \right] \\ g_2(X) &= -M^{-1}_{22} M_{21} \bar{M}^{-1} \end{aligned}$$

Định nghĩa véc tơ sai số giữa tín hiệu đầu ra và tín hiệu đặt như sau:

$$e(t) = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \eta_1 - \eta_{1d} \\ \eta_2 - \eta_{2d} \end{bmatrix} \quad (2.63)$$

Coi hệ (2.61) là hai hệ con (2.64), (2.65) với tín hiệu điều khiển τ_1, τ_2 cho từng

$$\text{hệ} \quad \begin{cases} \dot{\eta}_1 = J_{11}v_1 \\ \dot{v}_1 = f_1(X) + g_1(X)\tau_1 \end{cases} \quad (2.64) \quad \begin{cases} \dot{\eta}_2 = J_{22}v_2 \\ \dot{v}_2 = f_2(X) + g_2(X)\tau_2 \end{cases} \quad (2.65)$$

Tín hiệu điều khiển chung hệ (2.61) được chọn theo luật sau:

$$\tau = \alpha\tau_1 + \beta\tau_2 \quad (2.66)$$

Với α, β là các hằng số dương.

Hệ (2.64), (2.65) là các hệ truyền ngược chặt bậc 2, theo kỹ thuật Backstepping, để xác định tín hiệu điều khiển τ_1, τ_2 :

$$\tau_1 = g_1^{-1}(X) \left(-c_2 e_2 - J_{11}^T e_1 - f_1(X) + \dot{\alpha}_1 \right) \quad (2.77)$$

Với c_2 là hằng số dương

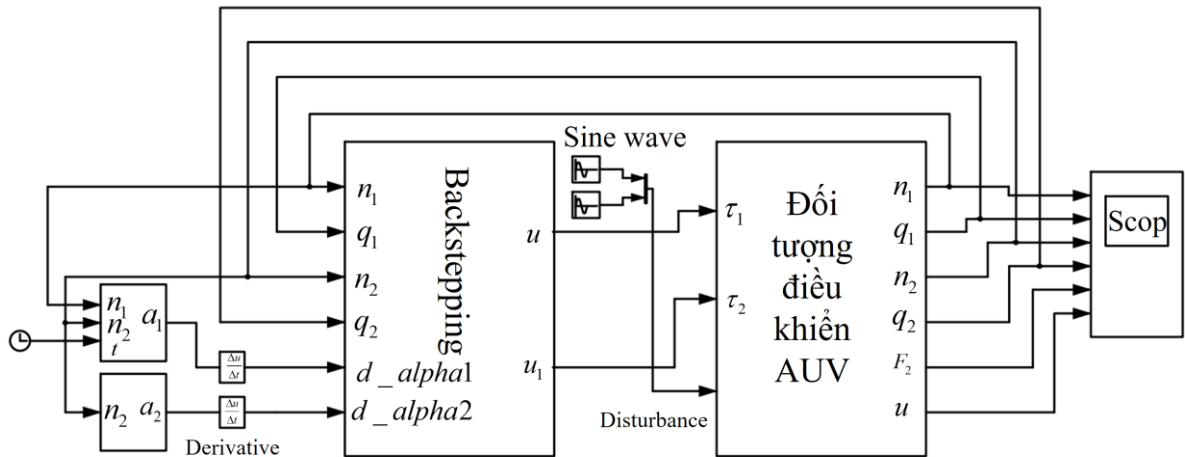
$$\tau_2 = g_2^{-1}(X) \left(-c_4 e_4 - J_{22}^T e_3 - f_2(X) + \dot{\alpha}_2 \right) \quad (2.79)$$

Với $e_3 = \eta_2 - \eta_{2d}$, $e_4 = \dot{\eta}_2 - \dot{\eta}_{2d}$, $\alpha_2 = J_{22}^{-1}(-c_3 e_3 + \dot{\eta}_{2d})$, c_3, c_4 là các hằng số dương. Thay τ_1, τ_2 vào phương trình (2.66) tính được:

$$\tau = \alpha.g_1^{-1}(X) \left(-c_2 e_2 - J_{11}^T e_1 - f_1(X) + \dot{\alpha}_1 \right) + \beta.g_2^{-1}(X) \left(-c_4 e_4 - J_{22}^T e_3 - f_2(X) + \dot{\alpha}_2 \right) \quad (2.80)$$

2.3.2. Phân tích mô hình mô phỏng điều khiển Backstepping cho AUV 4 DOF

Sơ đồ khối mô phỏng hệ thống điều khiển Backstepping cho đối tượng AUV hệ thiếu cơ cấu chấp hành bao gồm khối tín hiệu đầu vào (khối a_1, a_2), khối điều khiển Backstepping và mô hình đối tượng điều khiển AUV, khối lấy tín hiệu đầu ra (Scop) như hình 2.5.



Hình 2.6. Sơ đồ mô phỏng điều khiển backstepping cho AUV 4 DOF

Để kiểm chứng chất lượng của bộ điều khiển Backstepping áp dụng cho AUV, mô phỏng được thực hiện với bộ tham số sau:

Bảng 2.2: Tham số mô hình thiết bị AUV [17]

Tham số	Giá trị	Tham số	Giá trị	Tham số	Giá trị
m	18.5 kg	Y_r	-1.03 kg.m/rad/s	N_r	-12.32 kg.m ² /rad/s
x_g	0.15 m	$\dot{Y}_v$	-0.85 kg	$\dot{N}_v$	0.32 kg.m ² /rad
y_g	0.15 m	$\dot{Y}_{v v }$	-0.62 kg/m	I_z	1.57 kg.m ²
z_g	0 m	Z_w	4.57 kg/s	$N_{r r }$	0.5×10^{-3} kg/m
$\dot{X}_u$	6.83×10^{-6} kg/s	$\dot{Z}_u$	0.32 kg	$N_{r r }$	0.5×10^{-6}
$X_{u u }$	-0.58 kg/m	Z_0	0	$Z_{w w }$	1.15×10^{-6} kg/m
Y_v	0.08 kg/s	$\dot{X}_w$	-1.13×10^{-6} kg		

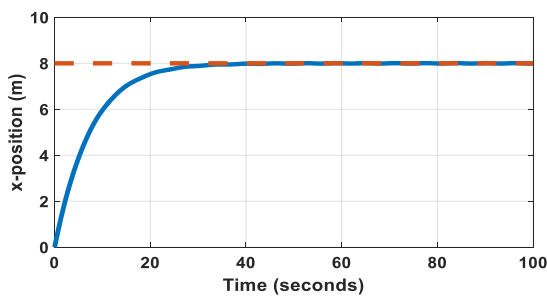
Bảng 2.3: Tham số bộ điều khiển Backstepping

Tham số	Giá trị	Tham số	Giá trị
k	100	c_1	$c_1 = \text{diag}\{0.15 \ 0.12\}$
δ	5	c_2	$c_2 = \text{diag}\{90 \ 90\}$
k_1	0.05	c_3	$c_3 = \text{diag}\{0.2 \ 0.2\}$
k_2	5	c_4	$c_4 = \text{diag}\{0.1 \ 0.1\}$
λ	500	η_{1d}	Constant
β	2.5	η_{2d}	Constant

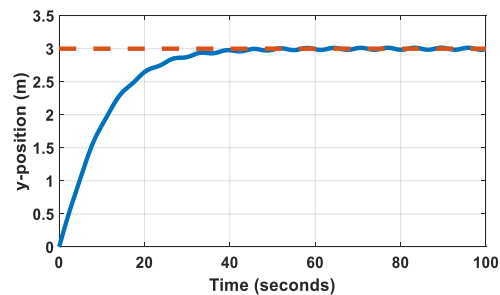
Xây dựng kịch bản mô phỏng trên hai trường hợp cụ thể như sau:

Trường hợp 1: Thiết bị AUV lặn xuống độ sâu -10 (m) tính từ mặt nước và đồng thời di chuyển đến vị trí mong muốn với các giá trị đặt như sau: $\eta_{1d} = [11 \ 5]^T$ và $\eta_{2d} = [-10 \ 0.3]^T$

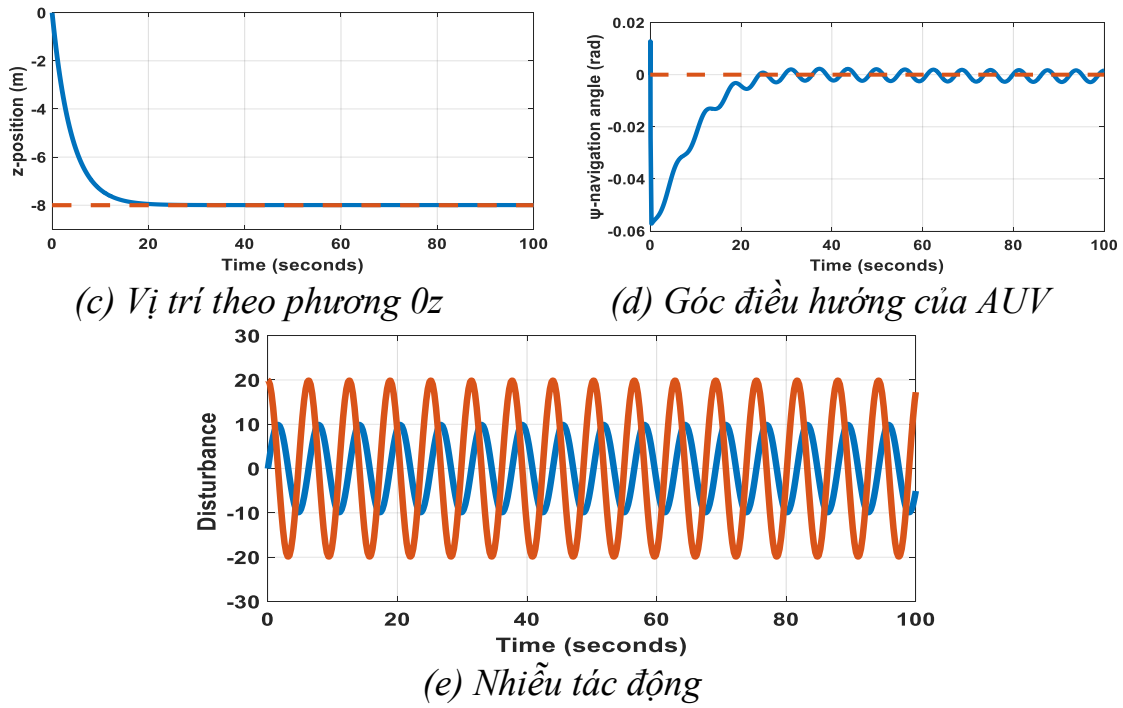
Trường hợp 2: Thiết bị AUV lặn xuống độ sâu -8 (m) tính từ mặt nước và đồng thời di chuyển đến vị trí mong muốn với các giá trị đặt như sau: $\eta_{1d} = [8 \ 3]^T$ và $\eta_{2d} = [-8 \ 0]^T$. Tuy nhiên thiết bị chịu tác động nhiễu điều hòa vào tín hiệu điều khiển có dạng: $\Delta = [20\sin(0.01t) \ 10\cos(0.01t)]^T$



(a) Vị trí theo phương 0x



(b) Vị trí theo phương 0y

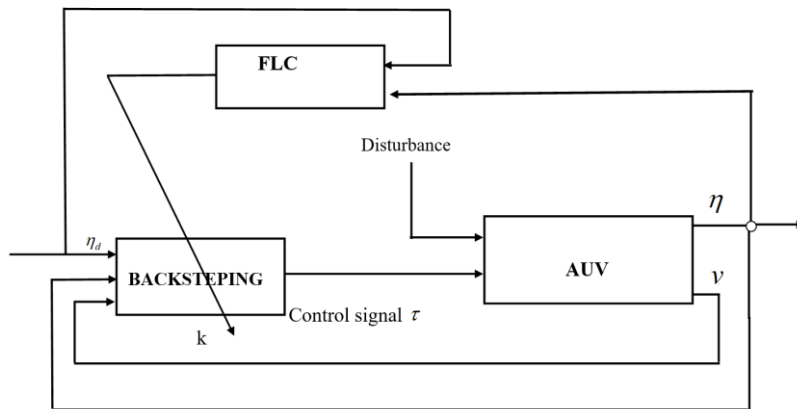


Hình 2.8. Vị trí, độ sâu, góc điều hướng và nhiễu trường hợp 2 Backstepping

Bộ điều khiển Backstepping đảm bảo hệ thống ổn định bám vị trí theo phương Ox, Oy, Oz ; giảm thiểu biên độ góc điều hướng và sai lệch. Trong các trường hợp giá trị đặt khác nhau và có nhiễu ngoài tác động, bộ điều khiển Backstepping đều cho chất lượng điều khiển khá tốt. Kết quả mô phỏng đã khẳng định được những ưu điểm của bộ điều khiển được đề xuất. Tuy nhiên khi sử dụng bộ điều khiển Backstepping thì các thông số của bộ điều khiển nhất là hệ số α, β phụ thuộc rất nhiều vào kinh nghiệm của người làm điều khiển lựa chọn thông số của mô hình (như trong mô phỏng này lựa chọn $\alpha = 0.65, \beta = 0.05$). Để không phải lựa chọn cố định α và β luận án đề xuất một phương pháp điều chỉnh α và β dựa trên hệ mờ để so sánh chất lượng bám quỹ đạo với phương pháp điều khiển Backstepping thông thường.

2.4. Phân tích mô hình mô phỏng bộ điều khiển Backstepping thích nghi mờ (AFB)

2.4.1. Tổng hợp bộ điều khiển cho AUV bằng kỹ thuật Backstepping thích nghi mờ



Hình 2.10. Mô hình hệ thống điều khiển Backstepping thích nghi mờ

Tín hiệu điều khiển τ tính theo τ_1, τ_2 phụ thuộc vào tham số của bộ điều khiển theo phương trình (2.80):

$$\tau = \alpha \cdot g_1^{-1}(X) \left(-c_2 e_2 - J_{11}^T e_1 - f_1(X) + \dot{\alpha}_1 \right) + \beta \cdot g_2^{-1}(X) \left(-c_4 e_4 - J_{22}^T e_3 - f_2(X) + \dot{\alpha}_2 \right)$$

Khi chọn α, β là cố định thì trong hệ thống tồn tại hiện tượng rung lắc nhiều. Nhằm giảm bớt hiện tượng rung lắc, luận án đề xuất một phương pháp điều chỉnh α và β dựa trên hệ mờ. Hệ mờ được thiết kế nhằm thay đổi dựa trên việc chỉnh định hai tham số α và β . Thực chất chỉ cần thay đổi một trong hai tham số cũng thay đổi được mặt trượt nên coi α có ràng buộc tuyến tính với β : $\beta = k \cdot \alpha$

Do thiết kế hệ mờ chủ yếu là dựa trên kinh nghiệm của người điều khiển nên tương ứng với một giá trị $\alpha > 0$ lại thu được một hệ mờ thích hợp với luật chỉnh định. Đầu vào của hệ logic mờ là $e_1, \dot{e}_1$ và đầu ra là α .

Bảng 2.4: Hệ suy diễn cho bộ điều khiển Backstepping thích nghi mờ

α		e_1		
		-1	0	1
$\dot{e}_1$	1	0	-1	-2
	0	1	0	-1
	-1	2	1	0

2.4.2. Mô hình mô phỏng hệ điều khiển Backstepping thích nghi mờ

Để kiểm chứng chất lượng của bộ điều khiển Backstepping thích nghi mờ (AFB), mô phỏng đã thực hiện cho đối tượng thiết bị lặn tự hành AUV với các bộ tham số sau:

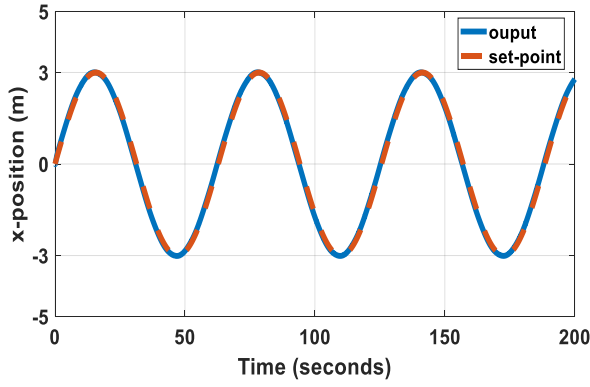
Bảng 2.5: Tham số bộ điều khiển AFB

Tham số	Giá trị	Tham số	Giá trị
k	100	c_1	$c_1 = \text{diag} \{0.15 \ 0.12\}$
δ	5	c_2	$c_2 = \text{diag} \{90 \ 90\}$
k_1	0.05	c_3	$c_3 = \text{diag} \{0.2 \ 0.2\}$
k_2	5	c_4	$c_4 = \text{diag} \{0.1 \ 0.1\}$
η_{1d}	Constant	$[c_1 \ c_2 \ c_3 \ c_4 \ c_5]$	$[3 \ 2.5 \ 2 \ 2.5 \ 3]$
η_{2d}	Constant		

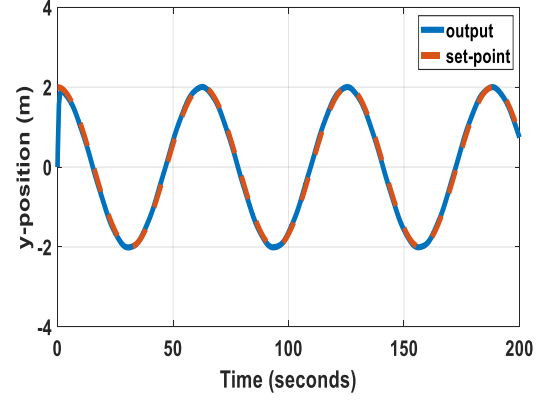
Dưới đây là kịch bản mô phỏng với hai trường hợp có nhiễu và không có nhiễu cụ thể như sau: Trường hợp 1: Phương tiện chuyển động ngầm tự hành AUV lặn xuống độ sâu -10 (m) từ mặt nước và đồng thời di chuyển đến vị trí mong muốn với các giá trị đặt như sau: $\eta_{1d} = [11 \ 5]^T$ và $\eta_{2d} = [-10 \ 0.3]^T$

Trường hợp 2: Thiết bị AUV lặn xuống độ sâu -4 (m) tính từ mặt nước và đáp ứng quỹ đạo điều hòa theo thời gian với các giá trị đặt như sau: $\eta_{1d} = [3\sin(0.01t) \ 5\cos(0.01t)]^T$ và $\eta_{2d} = [-4 \ 0]^T$. Thiết bị cũng chịu tác động nhiễu điều hòa vào tín hiệu điều khiển có dạng :

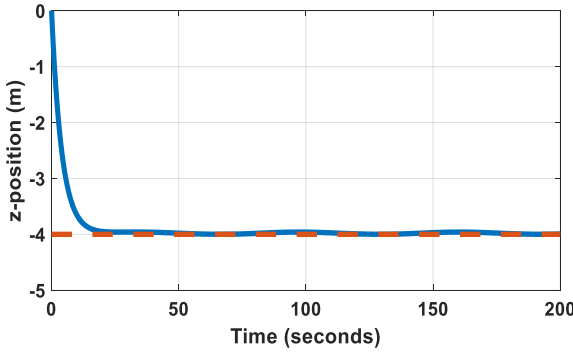
$$\Delta = [20\sin(0.01t) \ 10\cos(0.01t)]^T$$



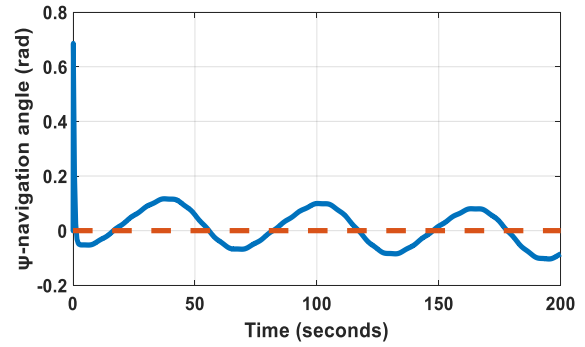
(a) Vị trí theo phương 0x



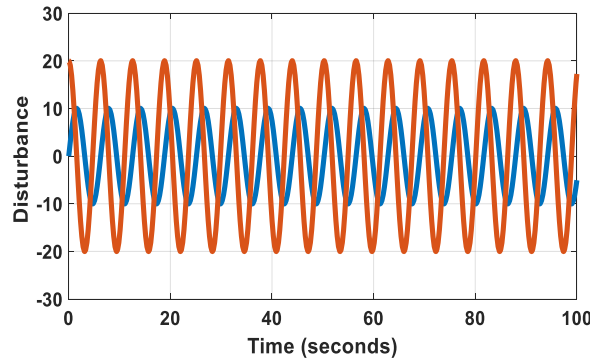
(b) Vị trí theo phương 0y



(c) Vị trí theo phương 0z



(d) Góc điều hướng của AUV



(e) Nhiễu tác động

Hình 2.14. Vị trí, độ sâu, góc điều hướng và nhiễu trường hợp 2 AFB

Như vậy bộ điều khiển Adaptive Fuzzy Backstepping (AFB) đảm bảo hệ thống ổn định bám vị trí theo phương Ox, Oy, Oz ; giảm thiểu biên độ góc điều hướng và sai lệch tiến về 0. Để so sánh chất lượng điều khiển của Backstepping với Backstepping Fuzzy NCS tiến hành mô phỏng các đường đặc tính đáp ứng theo các trục trên cùng một đồ thị như sau.

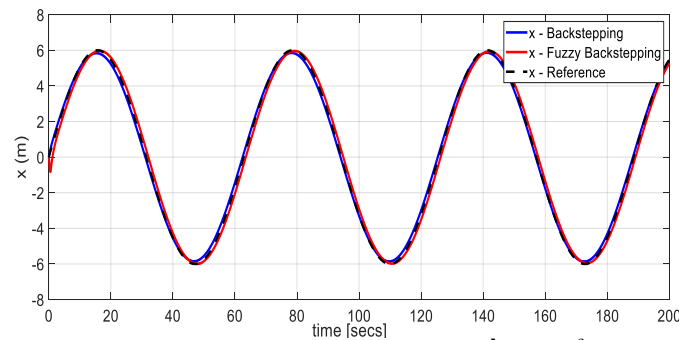
2.5. So sánh kết quả mô phỏng bộ điều khiển Backstepping với Backstepping thích nghi mờ (AFB)

Khai báo hàm m-file trên Matlap các thông số so sánh hai bộ điều khiển với 3 bộ thông số để lấy đường đặc tính (blue, red, black) trên cùng một đồ thị và 5 hình vẽ (figure 1 – figure 5) gồm các đáp ứng theo trục x của AUV (hình 2.16a), đáp ứng theo trục y (hình 2.16b), đáp ứng góc điều hướng (hình 2.16c), đáp ứng theo trục z (hình 2.16d) và đáp ứng theo quỹ đạo x, y (hình 2.16e) như sau:

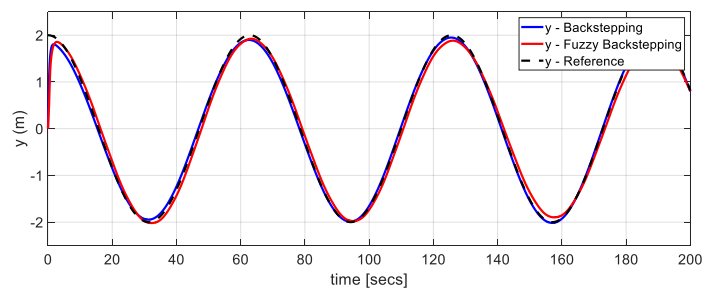
Trường hợp 1: Thiết bị AUV lặn xuống độ sâu -10 (m) tính từ mặt nước và đáp ứng quỹ đạo điều hòa theo thời gian với các giá trị đặt như sau: $\eta_{1d} = [3\sin(0.01t) \quad 2\cos(0.01t)]^T$ và $\eta_{2d} = [-10 \quad 0]^T$. Thiết bị cũng chịu tác động nhiễu điều hòa vào tín hiệu điều khiển có dạng: $\Delta = [20\sin(0.01t) \quad 10\cos(0.01t)]^T$

Trường hợp 2: Thiết bị AUV lặn xuống độ sâu -8 (m) tính từ mặt nước và đáp ứng quỹ đạo điều hòa theo thời gian với các giá trị đặt như sau:

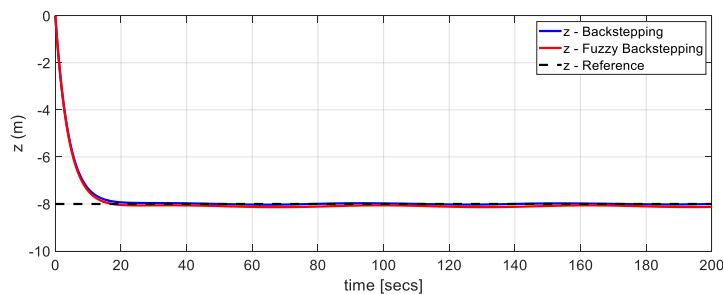
$\eta_{1d} = [6\sin(0.01t) \quad 2\cos(0.01t)]^T$ và $\eta_{2d} = [-8 \quad 0]^T$. Thiết bị cũng chịu tác động nhiễu điều hòa vào tín hiệu điều khiển có dạng: $\Delta = [20\sin(0.01t) \quad 10\cos(0.01t)]^T$



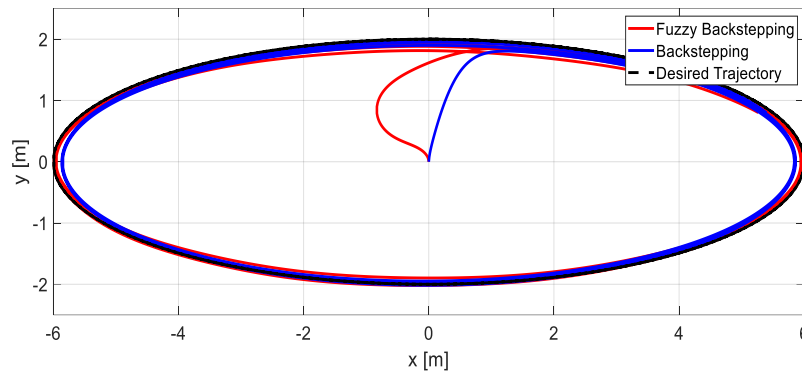
Hình 2.16a. Đáp ứng theo trục x của AUV với 2 bộ điều khiển BCS và AFB trường hợp 2



Hình 2.16b. Đáp ứng theo trục y của AUV với 2 bộ điều khiển BCS và AFB trường hợp 2



Hình 2.16c. Đáp ứng theo trục z của AUV với 2 bộ điều khiển BCS và AFB trường hợp 2



Hình 2.16d. Quỹ đạo theo trục x, y của AUV với 2 bộ điều khiển BCS và AFB trường hợp 2

Bộ điều khiển BCS và bộ điều khiển AFB mà luận án đề xuất đều mang lại chất lượng tốt ngay cả khi có nhiễu ngoài tác động vào AUV. Trong trường hợp mô hình khó xác định và muốn có bộ điều khiển cài đặt đơn giản thì nên dùng AFB. Nhưng để thiết kế được AFB thì đòi hỏi người sử dụng phải đầu tư rất nhiều thời gian để tự thu thập kinh nghiệm lựa chọn ra thông số bộ điều khiển phù hợp. Trong trường hợp không muốn đầu tư thời gian vào thiết kế thì người sử dụng nên chọn BCS. Để so sánh chất lượng điều khiển của AFB với các bộ điều khiển khác phù hợp với phương pháp điều khiển thiếu cơ cấu chấp hành NCS tiếp tục nghiên cứu các bộ điều khiển khác để nâng cao chất lượng điều khiển bám quỹ đạo của AUV.

Kết luận chương 2: Trong chương này NCS nghiên cứu lý thuyết cơ sở bộ điều khiển, xây dựng được thuật toán điều khiển Backstepping và Backstepping thích nghi mờ (AFB) cho mô hình tàu AUV 4 bậc tự do, bộ điều khiển chính là là công trình kết hợp kỹ thuật điều khiển hiện đại với điều khiển thông minh tạo thành một hệ thống kín nhằm nâng cao chất lượng điều khiển cho AUV có thành phần bất định dạng hàm số.

Thông qua kết quả mô phỏng có thể khẳng định bộ điều khiển Backstepping và Backstepping thích nghi mờ phù hợp để điều khiển cho đối tượng AUV thiếu cơ cấu chấp hành đảm bảo hệ thống bám quỹ đạo theo phương Ox, Oy, Oz ; giảm thiểu biên độ góc điều hướng và sai lệch tiến về 0.

Để khắc phục những khó khăn trong việc xác định các thông số bất định hàm của $C(v), D(v)$ cũng như các nhiễu tác động từ môi trường đại dương. Trong phần tiếp theo nghiên cứu NCS sẽ kết hợp các bộ điều khiển phi tuyến khác để tối ưu hơn nữa thuật toán điều khiển nhằm nâng cao chất lượng điều khiển bám quỹ đạo cho AUV thiếu cơ cấu chấp hành đã xây dựng. Đem lại cho hệ thống cấu hình điều khiển vừa thích nghi với quỹ đạo mong muốn vừa bền vững với nhiễu đến từ đại dương. Đây chính là mục tiêu hướng tới của luận án.

Chương 3.

ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT TẦNG THÍCH NGHI NƠ RON NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG ĐIỀU KHIỂN CHO AUV THIẾT CƠ CẤU CHẤP HÀNH

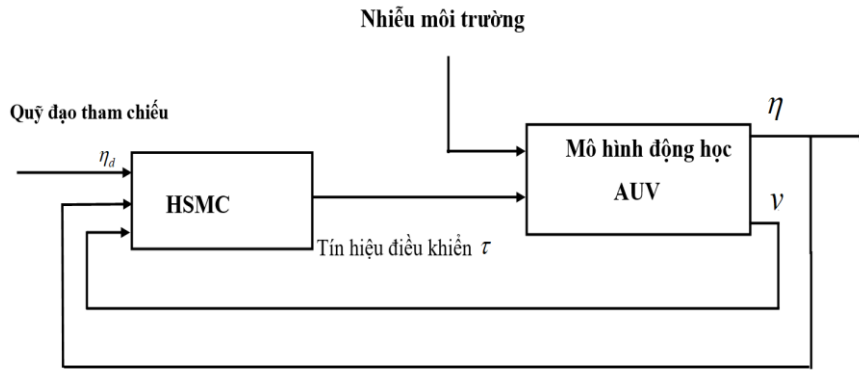
3.1. Bộ điều khiển trượt tầng (HSMC)

3.2. Mạng nơ-ron nhân tạo

3.3. Thiết kế bộ điều khiển HSMC cho thiết bị lặn tự hành AUV

3.3.1. Tổng hợp bộ điều khiển trượt tầng HSMC cho AUV 4 DOF

Cấu trúc bộ điều khiển trượt tầng bao gồm các tín hiệu đầu vào $\eta_d = [x, y, z, \psi]^T$ là véc-tơ vị trí của tàu theo các trục Ox, Oy, Oz và góc điều hướng tàu quay quanh trục z . Vận tốc dài $v = [u, v, w, r]^T$ gửi tín hiệu về bộ điều khiển HSMC để so sánh với tín hiệu đặt và đưa ra tín hiệu điều khiển trực tiếp $\tau = [\tau_u, \tau_v, \tau_w, \tau_r]^T$ đến đối tượng AUV như hình 3.3



Hình 3.3. Cấu trúc hệ thống điều khiển HSMC cho AUV

Thuật toán điều khiển trượt tầng HSMC được trình bày như sau:

Hệ phương trình (2.23) viết lại dưới dạng tổng quát hóa

$$\begin{cases} \dot{\eta}_1 = J_{11}v_1 \\ \dot{v}_1 = f_1(X) + g_1(X)\tau \\ \dot{\eta}_2 = J_{22}v_2 \\ \dot{v}_2 = f_2(X) + g_2(X)\tau \end{cases} \quad (3.35)$$

$$X = [\eta_1 \quad v_1 \quad \eta_2 \quad v_2]^T$$

$$f_1(X) = \bar{M}^{-1}(-\bar{C}_1v_1 - \bar{C}_2v_2)$$

Với:

$$g_1(X) = \bar{M}^{-1}$$

$$f_2(X) = -M_{22}^{-1} \left[M_{21}\bar{M}^{-1}(-\bar{C}_1v_1 - \bar{C}_2v_2) + (C_{21} + D_{21})v_1 + (C_{22} + D_{22})v_2 \right]$$

$$g_2(X) = -M_{22}^{-1}M_{21}\bar{M}^{-1}$$

Định nghĩa véc tơ sai số giữa tín hiệu đầu ra và tín hiệu đặt như sau:

$$e(t) = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \eta_1 - \eta_{1d} \\ v_1 \\ \eta_2 - \eta_{2d} \\ v_2 \end{bmatrix} \quad (3.36)$$

Theo phương pháp điều khiển Hierarchical Sliding Mode Controller (HSMC) cho hệ thiếu cơ cấu chấp hành, tín hiệu của bộ điều khiển được chia làm hai thành phần: $\tau = \tau_{eq} + \tau_{sw}$ (3.38)

+ τ_{eq} là tín hiệu dùng để điều khiển hệ con trong cấu trúc bộ điều khiển Hierarchical Sliding Mode Controller.

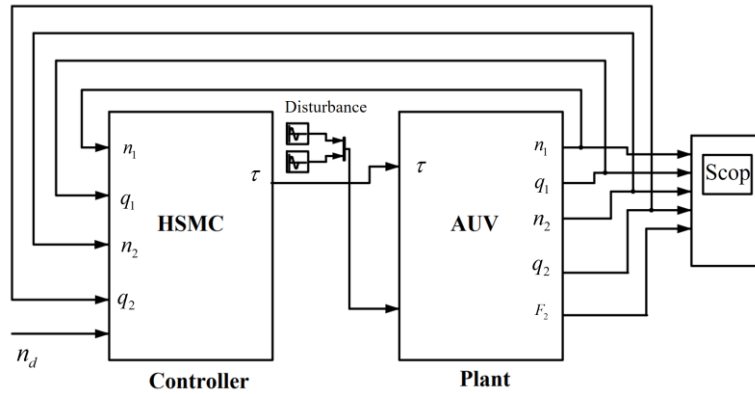
+ τ_{sw} là tín hiệu dùng để điều khiển chuyển mạch của lớp mặt trượt hệ thống.

Tín hiệu điều khiển xác định theo công thức sau:

$$\tau = \tau_{eq1} + \tau_{sw1} + \tau_{eq2} + \tau_{sw2} = -\frac{\lambda f_1 + \beta f_2 + \lambda k_1 J_{11} v_1 + \beta k_2 J_{22} v_2 + k.S + \delta \operatorname{sgn}(S)}{\lambda g_1 + \beta g_2} \quad (3.43)$$

3.3.2. Mô hình mô phỏng AUV 4 DOF điều khiển trượt tầng HSMC

Sơ đồ khối mô phỏng hệ thống điều khiển trượt tầng HSMC cho đối tượng AUV hệ thiếu cơ cấu chấp hành trên matlab simulink bao gồm khối tín hiệu đầu vào, tín hiệu đặt η_d , khối điều khiển HSMC và mô hình đối tượng điều khiển AUV (có nhiều tác động), khối lấy tín hiệu đầu ra (Scop) như hình 3.4.



Hình 3.4. Sơ đồ mô phỏng điều khiển trượt tầng HSMC trên Matlab simulink

Để kiểm chứng chất lượng của bộ điều khiển Hierarchical Sliding Mode Controller (HSMC), mô phỏng đã thực hiện cho đối tượng thiết bị lặn tự hành AUV với các bộ tham số sau:

Bảng 3.1: Tham số bộ điều khiển HSMC

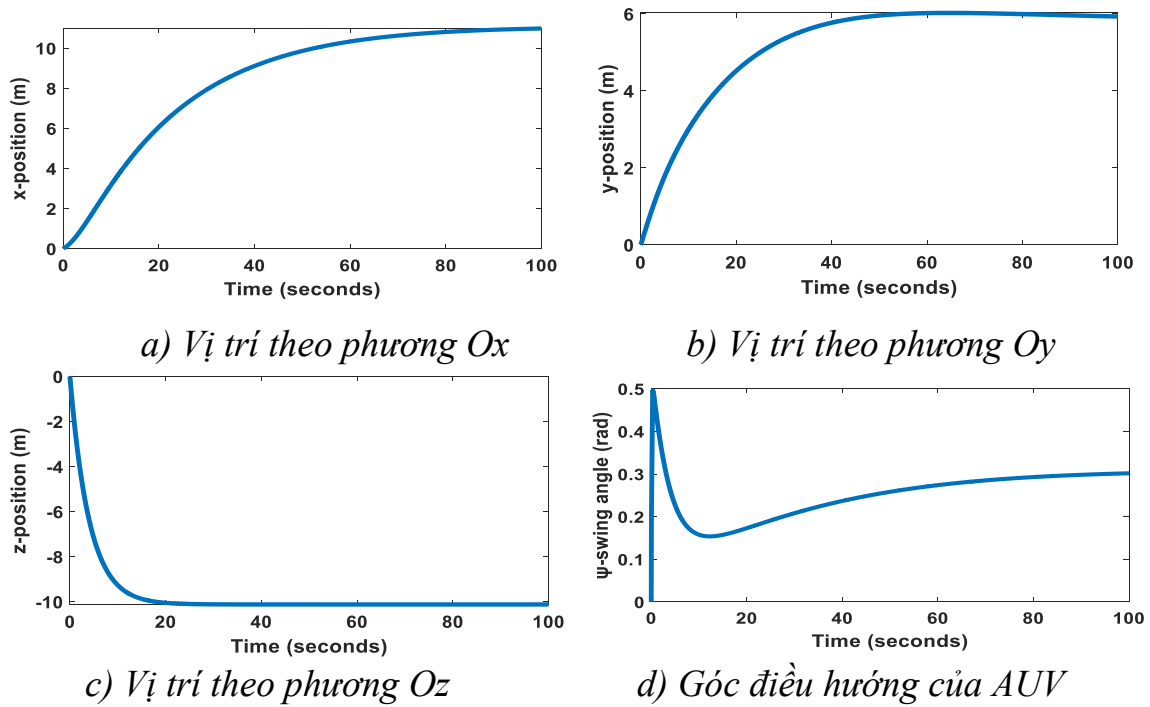
Tham số	Giá trị	Tham số	Giá trị
k	100	λ	500
δ	5	β	2.5
k_1	0.05	η_{1d}	$[5 \ 4]^T$
k_2	5	η_{2d}	$[-4 \ 0]^T$

Để chắc chắn hơn về chất lượng của bộ điều khiển Hierarchical Sliding Mode Controller (HSMC), luận án đã thử nghiệm nhiều thông số đặt khác cho đối tượng mô hình AUV như sau:

Trường hợp 1: Vị trí đặt theo phương x là : 7 (m), vị trí đặt theo phương y là : 5 (m), vị trí đặt theo phương z là : -6 (m), giá trị đặt góc điều hướng : -0.25 (rad)

Trường hợp 2: Vị trí đặt theo phương x là : 7 (m), vị trí đặt theo phương y là : 4 (m), vị trí đặt theo phương z là : -8 (m), giá trị đặt góc điều hướng: 0.15 (rad)

Trường hợp 3: Vị trí đặt theo phương x là: 11 (m), vị trí đặt theo phương y là: 6 (m), vị trí đặt theo phương z là : -10 (m), giá trị đặt góc điều hướng: 0.3 (rad)



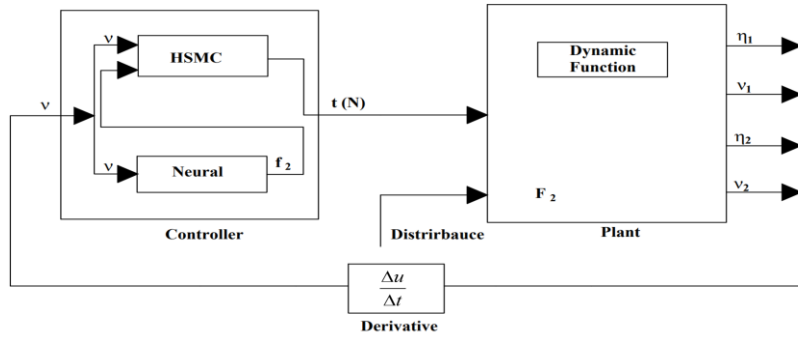
Hình 3.8. Vị trí, độ sâu và góc điều hướng trường hợp 3 HSMC

Kết quả mô phỏng và các thông số động lực học của mô hình đối tượng lặn tự hành AUV đều cho chất lượng điều khiển tốt. Mặc dù thời gian xác lập trong cả ba trường hợp hơi lớn và có hiện tượng dao động khi chuyển mạch xung quanh mặt trượt hệ thống nhưng bộ điều khiển trượt tầng (HSMC) đều cho các giá trị mô phỏng bám sát với giá trị đặt mong muốn và gần như độ quá điều chỉnh rất nhỏ và chấp nhận được. Kết quả mô phỏng trên phần mềm MATLAB đã minh chứng được rằng: Với giải thuật này, đáp ứng hệ thống thiết bị lặn tự hành AUV bám theo tín hiệu mong muốn với độ vọt lố không đáng kể gần như bằng không hoặc nhỏ hơn 5%, sai số xác lập bằng không và thời gian xác lập bám vị trí theo phương Ox, Oy lần lượt là 84s, 86s; còn thời gian xác lập của vị trí theo phương Oz và góc điều hướng là khoảng 40s. Bộ điều khiển Hierarchical Sliding Mode Controller (HSMC) được xây dựng cho chất lượng tốt so với yêu cầu bài toán điều khiển mô hình thiết bị lặn AUV 4 DOF thiếu cơ cấu chấp hành. Trong nghiên cứu tiếp theo NCS sẽ kết hợp các bộ điều khiển thông minh để tối ưu hơn nữa thuật toán điều khiển nhằm đem lại hiệu quả cao trong việc điều khiển mô hình AUV.

3.4. Bộ điều khiển trượt tầng (HSMC) thích nghi Nơ ron cho AUV

3.4.1. Tổng hợp bộ điều khiển trượt tầng (HSMC) thích nghi Nơ ron cho AUV

Khi xây dựng mô hình các ma trận C và D theo hệ phương trình (2.23) thì hai phương trình $f_1(X)$, $f_2(X)$ đều chứa các thành phần ma trận C, D. Tuy nhiên, không thể xác định chính xác nhiều tác động từ bên ngoài vào AUV, do đó NCS đề xuất bộ điều khiển trượt tầng thích nghi mạng nơ-ron để xấp xỉ gần đúng hàm $f_2(X)$ chứa nhiều phần tử của ma trận bất định C, D. Cấu trúc ANHSMC được xây dựng như hình 3.9, bao gồm khối điều khiển (Controller), khối đối tượng (Plant), nhiễu và các khối tín hiệu đầu vào ra.



Hình 3.9. Cấu trúc bộ điều khiển HSMC thích nghi Nơ ron

Bộ điều khiển trượt tầng thích nghi nơ-ron được triển khai như sau:

Phương trình $f_2(X)$ trong (3.35) được viết lại như sau:

$$\dot{v}_2 = f_2(v) + g_2(v)u \quad (3.44)$$

Với
$$f_2(v) = -M_{22}^{-1} \left[M_{21} \bar{M}^{-1} (-\bar{C}_1 v_1 - \bar{C}_2 v_2) + (C_{21} + D_{21}) v_1 + (C_{22} + D_{22}) v_2 \right]$$

$$g_2(v) = -M_{22}^{-1} M_{21} \bar{M}^{-1}$$

Hàm phi tuyến dùng để xấp xỉ các thành phần bất định như sau:

$$\zeta = W^T h(H^T v_2) + \varepsilon(v) \quad (3.45)$$

$A \in R^{n \times n}$ là ma trận Hurwitz tùy chọn, do đó $f_2(v)$ được tổng hợp lại như sau:

$$f_2(v) = Av_2 + \zeta(v) \quad (3.46)$$

Thay (3.46) vào (3.44) ta có

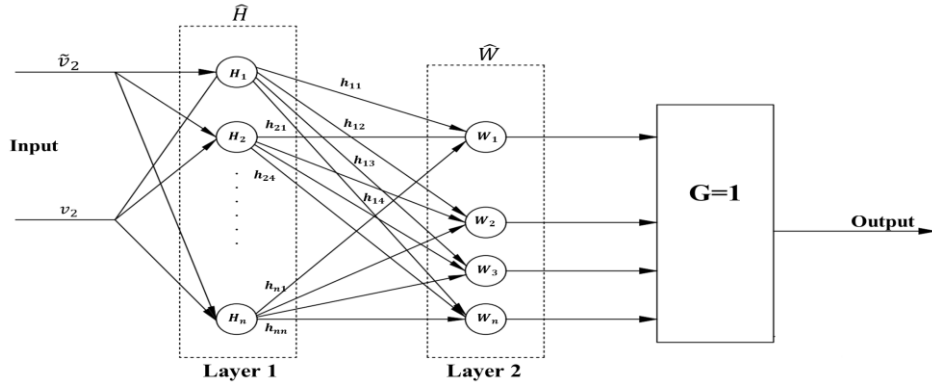
$$\dot{v}_2(t) = Av_2 + W^T h(H^T v_2) + g_2(v)u + \varepsilon(v) \quad (3.47)$$

Do đó hàm xấp xỉ được xây dựng như sau:

$$\dot{\hat{v}}_2(t) = A\hat{v}_2 + \hat{W}^T h(\hat{H}^T \hat{v}_2) + g_2(\hat{v})u + C\tilde{v}_2(t) \quad (3.48)$$

Với $\hat{W} \in R^{N \times n}$, $\hat{Y} \in R^{N \times N}$ là các ma trận trọng số; $C \in R^{n \times n}$, N là số chiều của đầu vào, n là số nút của mạng nơ-ron.

Đầu ra của lớp vào được định nghĩa là Layer 1 có thông số ước lượng được tính $H = [H_1, H_2, \dots, H_n]^T \in R^n$, W là bộ trọng số tối ưu của mạng nơ-ron, $\hat{W}$ là ước lượng của W được định nghĩa trong layer 2, $\tilde{W}$ là sai số trọng số, $G=1$ là hàm truyền thẳng để xuất tín hiệu ra output chính là hàm $f_2(v)$ như cấu trúc tổng quát hình 3.9.



Hình 3.10. Cấu trúc mạng Nơ – ron hướng tâm RBF

Mạng nơ-ron hướng tâm hai lớp bao gồm lớp vào và lớp ra, lớp vào là những nơ-ron hướng tâm, để tăng tốc độ hội tụ thường lựa chọn số lượng lớn, lớp ra là các nơ-ron tuyến tính. Cấu trúc huấn luyện mạng RBF được mô tả trong hình 3.11 với lớp vào là v_2 và $\tilde{v}_2$ để đưa ra 2 thông số ước lượng và trọng số tối ưu của mạng nơ-ron tạo thành phương trình 3.49 là phương trình khai báo trong bộ điều khiển ANHSMC. Phần tiếp theo sau công thức 3.49 NCS lựa chọn hàm Lyapunov để chứng minh tính ổn định của bộ điều khiển.

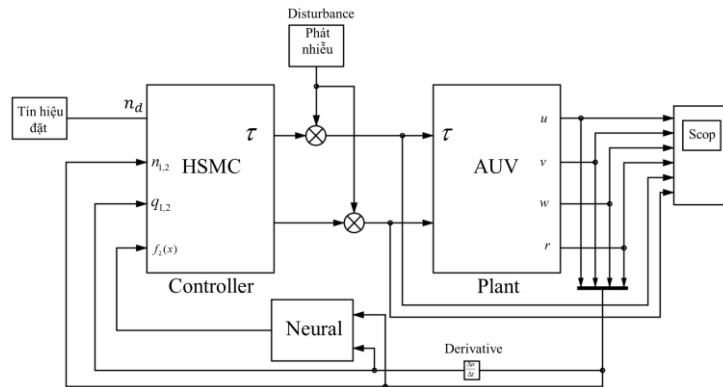
Từ phương trình (3.47) và (3.48), sai số ước lượng được tính như sau:

$$\begin{aligned}\tilde{\dot{v}}_2 &= A_c \tilde{v}_2(t) + \tilde{W}^T h(\hat{H}^T \hat{v}_2) + \delta(v) \\ \delta(v) &= W^T [h(H^T v_2) - h(\hat{H}^T \hat{v}_2)] + [g_2(v) - g_2(\hat{v})]u + \varepsilon(v)\end{aligned}\quad (3.49)$$

Với $A_c = A - C$; $\tilde{v}_2(t) = v_2(t) - \hat{v}_2(t)$; $\tilde{W} = W - \hat{W}$.

3.4.2. Phân tích kết quả mô phỏng

Cấu trúc bộ điều khiển trượt tầng bao gồm các tín hiệu đầu vào $\eta_d = [x, y, z, \psi]^T$ là véc-tơ vị trí của tàu theo các trục Ox, Oy, Oz và góc điều hướng tàu quay quanh trục z . Vận tốc dài $v = [u, v, w, r]^T$ gửi tín hiệu về bộ điều khiển HSMC để so sánh với tín hiệu đặt và đưa ra tín hiệu điều khiển trực tiếp $\tau = [\tau_u, \tau_v, \tau_w, \tau_r]^T$ đến đối tượng AUV như hình 3.12.



Hình 3.12. Sơ đồ mô phỏng điều khiển trượt tầng HSMC thích nghi Nơ ron

Để kiểm chứng chất lượng của bộ điều khiển Backstepping áp dụng cho thiết bị tàu AUV, mô phỏng được thực hiện với các bộ tham số sau:

Bảng 3.2: Tham số bộ điều khiển ANHSMC

Tham số	Giá trị	Tham số	Giá trị
k	100	λ	500
δ	5	β	2.5
k_1	0.1	η_{1d}	Constant
k_2	0.05	η_{2d}	Constant
A_c	$\begin{bmatrix} 4 & 2 \\ 1 & 3 \end{bmatrix}$	F_1	2
ψ_1	1	F_2	0.2
ψ_2	0.3	n	25

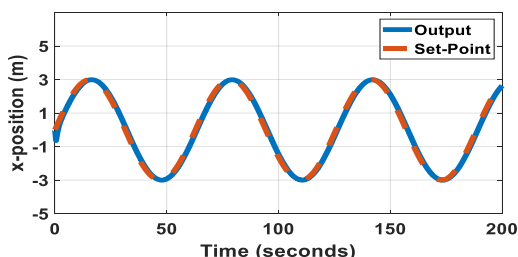
Trường hợp 1: Thiết bị AUV lặn xuống độ sâu -5 (m) tính từ mặt nước và đồng thời di chuyển đến vị trí mong muốn với các giá trị đặt như sau: $\eta_{1d} = [11 \ 8]^T$ và $\eta_{2d} = [-5 \ 0.6]^T$

Trường hợp 2: Thiết bị AUV lặn xuống độ sâu -10 (m) tới -2 (m) tính từ mặt nước và đồng thời di chuyển đến vị trí mong muốn với các giá trị đặt như sau: $\eta_{1d} = [9 \ 7]^T$ và $\eta_{2d} = [-2 \ -0.5]^T$

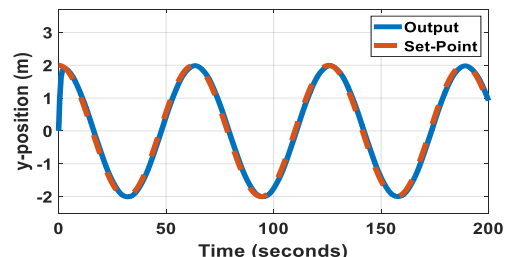
Trường hợp 3: Thiết bị AUV lặn xuống độ sâu -12 (m) tính từ mặt nước và đồng thời di chuyển đến vị trí mong muốn với các giá trị đặt như sau: $\eta_{1d} = [8 \ 5]^T$ và $\eta_{2d} = [-12 \ 0]^T$. Tuy nhiên thiết bị chịu tác động nhiễu điều hòa vào tín hiệu điều khiển có dạng:

$$\Delta = [20\sin(0.01t) \ +10\cos(0.01t)]^T$$

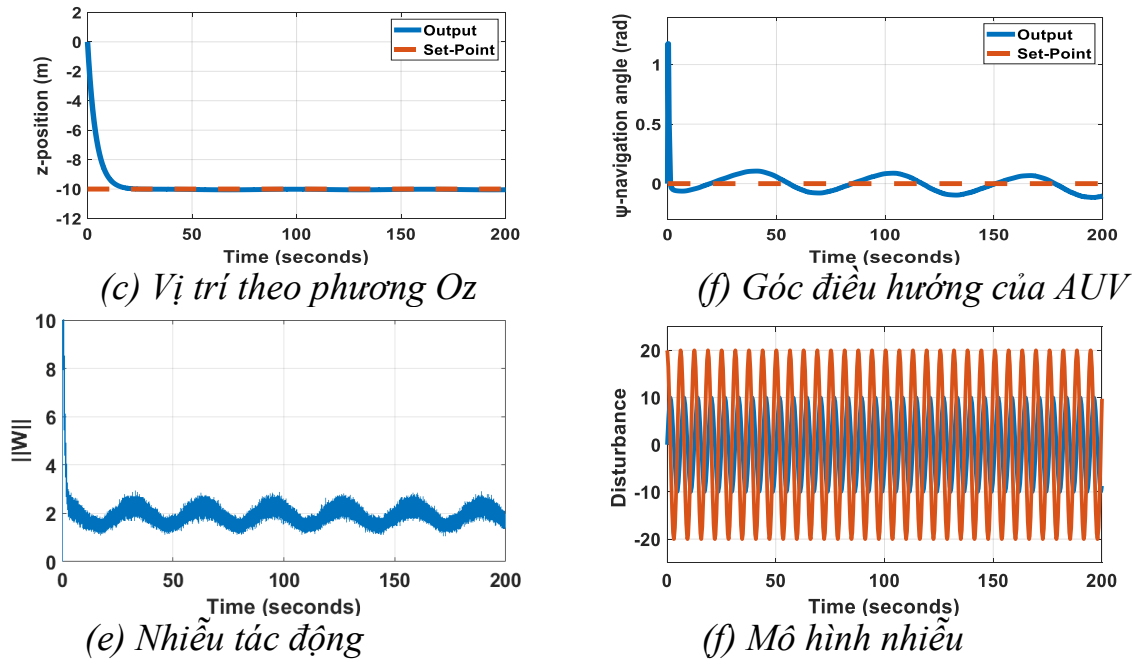
Trường hợp 4: Thiết bị AUV lặn xuống độ sâu -10 (m) tính từ mặt nước và đồng thời di chuyển đến vị trí mong muốn với các giá trị đặt như sau: $\eta_{1d} = [3\sin(0.01t) \ 2\cos(0.01t)]^T$ and $\eta_{2d} = [-10 \ 0]^T$



(a) Vị trí theo phương Ox



(b) Vị trí theo phương Oy



Hình 3.16. Vị trí, độ sâu, góc điều hướng và nhiễu trường hợp 4 ANHSMC

Theo kết quả mô phỏng, bộ điều khiển đề xuất phản ứng khá tốt với nhiễu bên ngoài và giữ cho hệ thống hoạt động ổn định. Các kết quả thu được trong Hình 3.16 chứng minh tính ổn định của hệ thống ngay cả khi có nhiễu tác động. Đặc biệt, chất lượng điều khiển trong 0x, 0y khi theo bám quỹ đạo hàm tuần hoàn cũng rất tốt như trong Hình 3.16 a và Hình 3.16 b. Tương tự như vậy, chất lượng vị trí ở 0z và góc điều hướng cũng bám giá trị đặt. Do đó, các kết quả thu được theo bộ điều khiển HSMC thích nghi Nơ ron tiêu chuẩn có thể được coi là lý tưởng.

3.5. So sánh kết quả mô phỏng bộ điều khiển HSMC Nơ-ron HSMC (ANHSMC)

Khai báo hàm m-file trên Matlap các thông số so sánh hai bộ điều khiển với 3 bộ thông số để lấy đường đặc tính (blue, red, black) trên cùng một đồ thị và 5 hình vẽ (figure 1 – figure 5) theo kịch bản mô phỏng: Thiết bị AUV lặn xuống độ sâu -10 (m) tính từ mặt nước và đáp ứng quỹ đạo điều hòa theo thời gian với các giá trị đặt như sau: $\eta_{1d} = [3\sin(0.01t) \quad 2\cos(0.01t)]^T$ và $\eta_{2d} = [-10 \quad 0]^T$. Thiết bị cũng chịu tác động nhiễu điều hòa vào tín hiệu điều khiển có dạng: $\Delta = [10\sin(0.01t) \quad 5\cos(0.01t)]^T$

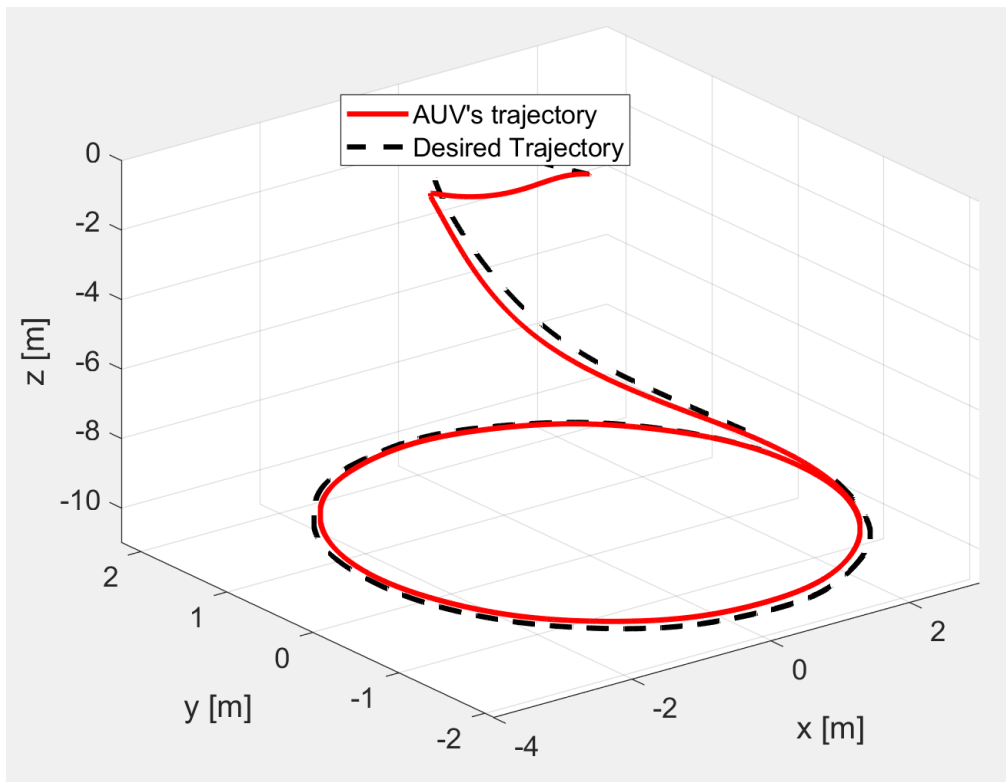
Theo kết quả mô phỏng trên, bộ điều khiển trượt tầng HSMC thích nghi Nơ ron cho chất lượng điều khiển tốt hơn HSMC thông thường. Giảm hiện tượng dao động khi chuyển mạch xung quanh mặt trượt hệ thống hơn khi sử dụng bộ điều khiển trượt tầng (HSMC), các giá trị mô phỏng bám sát với giá trị đặt mong muốn và gần như độ quá điều chỉnh là rất nhỏ. Phương pháp thích nghi nơ-ron ANHSMC đã xấp xỉ các thông số khó xác định trong thực tế nhằm mục đích nâng cao chất lượng điều khiển bám quỹ đạo tối ưu nhất.

Cả bộ điều khiển HSMC và bộ điều khiển ANHSMC đều mang lại chất lượng tốt ngay cả khi có nhiễu ngoài tác động vào AUV. Trong trường hợp mô hình khó xác định và muốn có bộ điều khiển bền vững với nhiễu thì nên lựa chọn ANHSMC. Nhưng để thiết kế được ANHSMC thì đòi hỏi người sử dụng phải đầu tư rất nhiều thời gian để tự thu thập kinh nghiệm lựa chọn ra thông số bộ điều khiển phù hợp. Tuy nhiên khi cài đặt ANHSMC cần lựa chọn các vi điều khiển có tốc độ xử lý nhanh để đảm bảo tính thời gian thực cho hệ thống vì việc huấn luyện mạng được thực hiện trực tuyến (online).

Kết luận chương 3:

Chương này NCS tập trung xây dựng thuật toán điều khiển HSMC và HSMC thích nghi nơ-ron cho mô hình tàu AUV 4 bậc tự do, bộ điều khiển là công trình kết hợp kỹ thuật điều khiển hiện đại với điều khiển thông minh tạo thành một hệ thống kín nhằm tối ưu chất lượng điều khiển cho AUV có thành phần bất định dạng hàm số. Các kỹ thuật điều khiển được kiểm chứng trên phần mềm chuyên dụng và cho kết quả tốt cả khi AUV bám theo quỹ đạo đặt trước.

Đặc tính đáp ứng được xác định như hình 3.20 với điểm xuất phát trong không gian tọa độ $(0, 0, 0)$, lặn xuống độ sâu 10 mét và quay quanh quỹ đạo đặt là quỹ đạo điều hòa $\eta_{1d} = [3\sin(0.01t) \quad 2\cos(0.01t)]^T$ và $\eta_{2d} = [-10 \quad 0]^T$



Hình 3.20. AUV bám theo quỹ đạo của bộ điều khiển ANHSMC lặn sâu 10m

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết luận:

Luận án đã lựa chọn mô hình phương tiện chuyển động ngầm AUV 4 bậc tự do hệ thiếu cơ cấu chấp hành là đối tượng ứng dụng để mở ra hướng nghiên cứu mới cho kỹ thuật điều khiển hiện đại. Với nhiệm vụ đặt ra là nâng cao chất lượng điều khiển bám quỹ đạo của phương tiện chuyển động ngầm AUV 4 DOF, luận án đã đạt được một số kết quả như sau:

- Xây dựng thành công bộ điều khiển Backstepping kiểm chứng mô hình và đảm bảo quỹ đạo cho AUV 4 DOF hệ thiếu cơ cấu chấp hành.

- Ứng dụng bộ điều khiển backtepping thích nghi sử dụng hệ logic mờ để chỉnh định tham số của bộ điều khiển.

- Khẳng định ưu điểm của bộ điều khiển kép Adaptive Fuzzy Backstepping (AFB) về độ bền vững với nhiễu và thời gian quá độ giảm.

- Luận án nghiên cứu thành công phương pháp điều khiển trượt tầng Hierarchical Sliding Mode Controller (HSMC) thích nghi nơ-ron cho mô hình AUV 4DOF thiếu cơ cấu chấp hành. Thông qua định lý Lyapunov chứng minh được tính ổn định của hệ thống.

- Luận án so sánh các bộ điều khiển AUV hệ thiếu cơ cấu chấp hành với nhau để đưa ra đánh giá cho người dùng lựa chọn các bộ điều khiển. Trong trường hợp mô hình khó xác định và muốn có bộ điều khiển cài đặt đơn giản thì nên dùng AFB hoặc ANHSMC. Trong trường hợp không muốn đầu tư thời gian vào thiết kế mà vẫn đảm bảo về chất lượng ổn định thì người sử dụng nên chọn BCS hoặc HSMC. Trong trường hợp phải lựa chọn 2 bộ điều khiển phi tuyến thì nên ưu tiên lựa chọn HSMC vì những ưu việt hơn về chất lượng điều khiển.

- Bộ điều khiển Backstepping đảm bảo bám quỹ đạo kiểm chứng mô hình AUV 4 DOF, HSMC nơ-ron dựa trên mạng nơ-ron nhân tạo là phương án khả thi nâng cao chất lượng điều khiển bám quỹ đạo của phương tiện chuyển động ngầm được trình bày trong luận án “Nghiên cứu nâng cao chất lượng bám quỹ đạo của phương tiện chuyển động ngầm”. Các kết quả mô phỏng từng bộ điều khiển với nhau đã chứng minh các mục tiêu của luận án đạt được.

Kiến nghị:

Luận án mới chỉ tập trung nghiên cứu các giải thuật điều khiển phi tuyến và phi tuyến thích nghi để nâng cao chất lượng bám quỹ đạo của phương tiện chuyển động ngầm, mô hình động lực học chủ yếu dựa trên mô hình mô phỏng theo thông số cố định bám quỹ đạo trên mặt phẳng ngang. Việc áp dụng các bộ điều khiển chỉ mô phỏng một số tình huống trên máy tính với số lần hạn chế, tình huống hạn chế. NCS dành công việc này cho những nghiên cứu trong tương lai gần.

Mô hình AUV là mô hình liên tục với các thông số thay đổi theo thời gian, các bộ điều khiển phi tuyến cũng là liên tục nên cần thêm những bộ chuyển đổi để đưa về bộ xử lý là các máy tính số hiện nay trong điều kiện thời gian thực. Đặc biệt là việc sử dụng các tín hiệu điều khiển này cho các cơ cấu truyền động khác nhau trên AUV là bài toán hoàn thiện để triển khai thực nghiệm kiểm chứng thuật toán điều khiển cần phát triển trong các nghiên cứu tiếp theo.

NHỮNG CÔNG TRÌNH ĐÃ ĐƯỢC CÔNG BỐ

1	Vũ Văn Quang, Đinh Anh Tuấn, Lê Xuân Hải, Kim Đình Thái, Trần Việt Hoàng, Nguyễn Anh Đức (2021). <i>Thiết kế bộ điều khiển Backstepping cho thiết bị lặn tự hành</i> , Tạp chí khoa học & công nghệ tập 57, số 4 (8/2021), tr. 43-48, P-ISSN 1859-3585 E-ISSN 2615-9619.
2	Vu, Q. V., Dinh, T. A., Nguyen, T. V., Tran, H. V., Le, H. X., Pham, H. V., ... & Nguyen, L. (2021). <i>An Adaptive Hierarchical Sliding Mode Controller for Autonomous Underwater Vehicles</i> , Electronics, 10 (18), 2316. E-ISSN: 2079-9292 (Journal Q2).
3	Van Quang Vu, Anh Tuan Dinh, Dung Manh Do, Gia Thinh Bui Hai Le Xuan, Linh Ngoc Nguyen (2022). <i>Adaptive Fuzzy Backstepping Controller for AUV Lacking Compliant Structure</i> , The 3rd International Conference on Human-centered Artificial Intelligence (Computing4Human) December 16 th , 2022 in Hanoi City, Vietnam. Hội thảo quốc tế về trí tuệ nhân tạo lấy con người làm trung tâm (Computing4Human) lần thứ III.
4	Vũ Văn Quang, Đinh Anh Tuấn, Bùi Gia Thịnh (2023) <i>Adaptive fuzzy hierarchical sliding mode controller for AUV lacking compliant structure</i> , Tạp chí khoa học & công nghệ tập 59, số 2B (4/2023), tr. 9-14, P-ISSN 1859-3585 E-ISSN 2615-9619
5	Van-Quang Vu, Anh-Tuan Dinh, Van-Diep Bui, Thi-Thanh Pham (2023). <i>Modeling the AUV Autonomous underground vehicles by lacking of actuators method</i> , International Journal of Advances in Engineering and Management (IJAEM) Volume 5 , Issue 9, September 2023, Page No: 847-854 ISSN: 2395-5252 DOI: 10.35629/5252-0509847854.