

THÔNG TIN LUẬN ÁN TIẾN SĨ

Tên đề tài: **Nghiên cứu nâng cao chất lượng điều khiển bám quỹ đạo của phương tiện chuyển động ngầm.**

Ngành: **Kỹ thuật điều khiển và tự động hóa**

Mã số: **9520216**

Chuyên ngành: **Kỹ thuật điều khiển và tự động hóa**

Nghiên cứu sinh: **Vũ Văn Quang**

Người hướng dẫn khoa học:

PGS.TS. Đinh Anh Tuấn

PGS.TS. Phạm Ngọc Tiệp

Cơ sở đào tạo: **Trường Đại học Hàng hải Việt Nam**

TÓM TẮT NỘI DUNG LUẬN ÁN

1. Mục đích, đối tượng và nội dung nghiên cứu

Mục đích của luận án là áp dụng lý thuyết điều khiển hiện đại để xây dựng bộ điều khiển mới nhằm nâng cao chất lượng điều khiển bám quỹ đạo của phương tiện chuyển động ngầm dạng AUV 4 DOF hệ thiếu cơ cấu chấp hành.

Đối tượng nghiên cứu của luận án bao gồm: 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.

Nội dung của luận án: Giới thiệu về mô hình động lực học và phân tích các đặc điểm của phương tiện ngầm. Xác định đối tượng của luận án là phương tiện chuyển động ngầm tự hành AUV 4 bậc tự do thiếu cơ cấu chấp hành. Ứng dụng lý thuyết điều khiển hiện đại thiết kế bộ điều khiển Backstepping cho đối tượng AUV (Autonomous Underwater) thiếu cơ cấu chấp hành và bị ảnh hưởng của nhiễu bên ngoài không biết trước. 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. Nghiên cứu 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 để nâng cao chất lượng điều khiển. Hệ thống kín với ANHSMC được mô phỏng kiểm chứng bằng phần mềm Matlab/Simulink.

2. 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 4 bậc tự do thiếu cơ cấu chấp hành.

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.

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

Ý nghĩa khoa học

Luận án nghiên cứu và xây dựng các kỹ thuật điều khiển thích nghi mới trên cơ sở điều khiển phi tuyến kết hợp với mạng nơ-ron nhân tạo và điều khiển mờ cho phương tiện ngầm tự hành AUV 4 DOF có mô hình bất định, chịu ảnh hưởng của nhiễu môi trường. Mở ra hướng nghiên cứu mới cho hệ thiếu cơ cấu chấp hành thích nghi trượt tầng theo vec tơ (khác với trượt tầng từng biến độc lập) hay còn gọi là trượt tầng suy rộng.

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 cơ cấu 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).

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.

Ý nghĩa thực tiễn

Xây dựng thành công thuật toán điều khiển Backstepping và Backsepping 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

kiểm được kiểm chứng trên phần mềm chuyên dụng đảm bảo bám quỹ đạo cho AUV.

Xây dựng bộ điều khiển trượt tầng Hierarchical Sliding Mode Controller (HSMC) thích nghi nơ-ron cho mô hình AUV bốn bậc tự do với hai tham số trọng số để tính gần đúng hàm chứa nhiều phần tử của ma trận bất định C, D. Mạng nơ – ron hướng tâm hai lớp sẽ chuyển các thành phần bất định về dạng hàm và xấp xỉ tạo thành bộ điều khiển thích nghi nơ-ron trượt tầng (ANHSMC) 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.

4. Kết quả nghiên cứu và đóng góp của Luận án

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 như điều khiển trực tiếp thu thập dữ liệu dạng online, độ quá điều chỉnh nhỏ và thời gian xác lập ngắn hơn.

- 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”. Kết quả mô phỏng các bộ điều khiển với nhau với cùng bộ thông số đã chứng minh các mục tiêu của luận án đạt được.

Giáo viên hướng dẫn

Nghiên cứu sinh

PGS.TS Đinh Anh Tuấn

PGS.TS Phạm Ngọc Tiệp

Vũ Văn Quang

DOCTORAL THESIS INFORMATION

Thesis title: **Research to improve the trajectory tracking control quality of Autonomous Underwater Vehicle (AUV).**

Speciality: **Control and Automation Engineering** Code: **9520216**

Majoring: **Control and Automation Engineering**

Ph.D Candidate: **Vu Van Quang**

Supervisors: **Assoc. Prof. Dr. Dinh Anh Tuan**
Assoc. Prof. Dr. Pham Ngoc Tiep

Training Institution: **Vietnam Maritime University**

SUMMARY OF THE THESIS

1. Aims, objective and content of the Thesis

The aim of the thesis is to apply modern control theory to build a new controller to improve the quality of trajectory tracking control of a 4-degree-of-freedom autonomous underwater vehicle (4 DOF AUV) with a system lacking an actuator.

The research objective of the thesis includes: The control system of a 4 DOF AUV can follow the desired trajectory with the smallest error in the condition that the ship's kinematic model has irregular determined components.

Content of the Thesis: Introduction to kinematic model and analysis of autonomous underwater vehicle characteristics. Determining the object of the thesis is a 4 DOF AUV lacking an actuator structure. Applying modern control theory to design a Backstepping controller for an AUV (Autonomous Underwater) that lacks an actuator and is affected by unknown external disturbances. Comparing with the adaptive Backstepping controller that uses a fuzzy logic system to adjust the controller parameters. Therefrom, confirming the advantages of the Adaptive Fuzzy Backstepping (AFB) dual controller in terms of stability against noise and reduced transient time. Theoretical research on techniques for Hierarchical Sliding Mode Controller (HSMC) and artificial neural networks as a foundation to develop HSMC to improve control quality. The sealed system with ANHSMC is simulated and verified using Matlab/Simulink software.

2. Methodology of the Thesis

Theoretical analysis of scientific works published recently in the field of nonlinear adaptive control. Analyzing the advantages and disadvantages of each method to propose directions for research and develop new control methods for 4-degree-of-freedom autonomous underwater vehicle lacking actuators.

Synthetic research is combined with comparison to find technical solutions for improving control quality. New algorithms are proposed to stability analysis based on Lyapunov theory and assessment survey is conducted through simulation using Matlab software.

3. Scientific and practical signification:

Scientific signification

The thesis researches and develops new adaptive control techniques based on nonlinear control combined with artificial neural networks and fuzzy control for 4 DOF AUV with irregular determined models, influenced by environmental noise. Finding new research directions for systems lacking an adaptive actuator for vector-based sliding (different from sliding with each independent variable), also known as generalized hierarchical sliding.

The thesis proposes two control trends for systems lacking actuators for application to AUV. First, bring in the form of full actuators when designing the controller for states with enough actuators, then apply this control signal to the system lacking the original actuator (Backstepping and Backsepping Fuzzy controllers). Second, design a direct controller for the system lacking the actuator (HSMC and neural HSMC).

The proposed algorithms have been verified through digital simulation of a realistic ship model. The simulation results confirm that the trajectory tracking quality satisfies the preset requirements.

Practical signification

Successfully built Backtsepping and Adaptive Backstepping control algorithms using a fuzzy logic system to compare and evaluate control quality for AUVs with functionally irregular components. Control techniques are verified on specialized software to ensure trajectory tracking for the AUV.

Building a neural adaptive Hierarchical Sliding Mode Controller (HSMC) for a 4 DOF AUV model with two weight parameters to approximate the multi-element function of the uncertainty matrix C , D . The two-layer radial neural network will convert the uncertain components into functional form and approximate to form an Adaptive Neural Hierarchical Sliding Mode Controller (ANHSMC) based on the combination of hierarchical sliding control and artificial neural network to improve the quality of optimal AUV trajectory control.

4. Main results and new contributions of the Thesis

The thesis has chosen the 4 DOF AUV model lacking an actuator as the application objective to open up new research directions for modern control techniques. With the set task of improving the quality of trajectory tracking control of 4 DOF AUV, the thesis has achieved the following results:

- Successfully built a Backstepping controller to verify the model and ensure the trajectory for a 4 DOF AUV system lacking an actuator.
- Application of adaptive backstepping controller using fuzzy logic system to adjust controller parameters.
- Confirming the advantages of the Adaptive Fuzzy Backstepping (AFB) dual controller in terms of robustness to noise and reduced transient time.
- The thesis successfully researches the Adaptive Neural Hierarchical Sliding Mode Controller (HSMC) method for a 4 DOF AUV model lacking an actuator. Through Lyapunov's theorem, the stability of the system is proven.
- The thesis compares AUV controllers lacking actuators with each other to provide an assessment for users to choose controllers. In cases the model is difficult to determine and a simple controller setting is desired, AFB or ANHSMC should be used. In case you do not want to invest time in design but still ensure stable quality, users should choose condoms or HSMC. In the case of having to choose two nonlinear controllers, HSMC should be given priority because of its superior control quality such as direct control of online data collection, small overshoot and shorter setup time.

- Backstepping controller ensuring trajectory tracking to verify 4 DOF AUV model, neural HSMC based on artificial neural network, is a feasible solution to improve the quality of trajectory tracking control of autonomous underwater vehicle presented in the thesis " Research to improve the trajectory tracking control quality of autonomous underwater vehicle". The simulation results of each controller together have proven that the aims of the thesis are achieved.

SUPERVISOR

Ph.D Candidate

Assoc. Prof. Dr. Dinh Anh Tuan Assoc. Prof. Dr. Pham Ngoc Tiep Vu Van Quang