

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG**

**TÓM TẮT BÁO CÁO TỔNG KẾT
ĐỀ TÀI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ
CẤP ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG**

**ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI CHO TAY MÁY ROBOT
CÔNG NGHIỆP CÓ XÉT ĐẾN VÙNG CHẾT CỦA CƠ
CẤU TRUYỀN ĐỘNG**

Mã số: Đ2014-02-93

Chủ nhiệm đề tài: TS. Lê Tiến Dũng

Đà Nẵng, 12/2014

DANH SÁCH CÁC THÀNH VIÊN THAM GIA ĐỀ TÀI

TT	Họ và tên	Đơn vị công tác và lĩnh vực chuyên môn	Nội dung nghiên cứu cụ thể được giao	Chữ ký
1	Lê Tiến Dũng	Trường ĐHBK	Chủ nhiệm đề tài. Xây dựng các nội dung đề tài	
2	Nguyễn Hoàng Mai	Trường ĐHBK	Xây dựng mô hình	
3	Nguyễn Lê Hòa	Trường ĐHBK	Viết chương trình mô phỏng	

ĐƠN VỊ PHỐI HỢP CHÍNH

Tên đơn vị trong và ngoài nước	Nội dung phối hợp nghiên cứu	Họ và tên người đại diện đơn vị
Khoa Điện – Trường Đại học Bách khoa	Phối hợp triển khai ứng dụng kết quả nghiên cứu của đề tài trong đào tạo sau đại học.	TS. Nguyễn Hữu Hiếu

MỤC LỤC

Thông tin về kết quả nghiên cứu bằng tiếng Việt	1
Thông tin kết quả nghiên cứu bằng tiếng Anh	7
MỞ ĐẦU	9
CHƯƠNG 1- MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC CỦA TAY MÁY ROBOT CÔNG NGHIỆP	12
1.1. Giới thiệu tay máy robot công nghiệp	12
1.2. Mô hình động lực học của tay máy robot công nghiệp	12
1.2.1. Công thức Lagrange	12
1.2.2. Tính tổng động năng của hệ thống	12
1.2.3. Tính tổng thế năng của hệ thống	12
1.2.4. Các phương trình mô tả chuyển động	12
CHƯƠNG 2 KHẢO SÁT SỰ XUẤT HIỆN CỦA VÙNG CHẾT VÀ CÁC PHƯƠNG PHÁP MÔ HÌNH HÓA VÙNG CHẾT	13
2.1. Khái niệm vùng chết	13
2.2. Các phương pháp mô hình hóa vùng chết	13
2.2.1. Phương pháp của Er-Wei Bai	13
2.2.2. Phương pháp của Selmic và Lewis	14
2.3. Các phương pháp bù vùng chết	15
2.3.1. Phương pháp bù vùng chết sử dụng logic mờ	15
2.3.2. Phương pháp bù vùng chết sử dụng mạng neural nhân tạo	15
CHƯƠNG 3 THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI CHO TAY MÁY ROBOT CÔNG NGHIỆP CÓ XÉT ĐẾN VÙNG CHẾT CỦA CƠ CẤU CHẤP HÀNH	16
3.1. Mô hình động lực học của tay máy robot công nghiệp có xét đến vùng chết của cơ cấu chấp hành	16
3.2. Cấu trúc của mạng nơ-ron kết hợp với logic mờ và hàm wavelet	17
3.3. Thiết kế bộ điều khiển thích nghi cho tay máy robot công nghiệp sử dụng mạng FWNN để bù vùng chết và các thành phần bất định	18
3.4. Phân tích tính ổn định của hệ thống	19
CHƯƠNG 4 MÔ PHỎNG VÀ KIỂM CHỨNG	19
4.1. Mô hình động lực học tay máy robot song song phẳng 2 bậc tự do có xét đến sự xuất hiện của vùng chết trong cơ cấu truyền động	19
4.2. Mô phỏng so sánh sự thực thi của các thuật toán điều khiển	20
KẾT LUẬN, KIẾN NGHỊ VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN	24
Tài liệu tham khảo	25

THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

1. Thông tin chung:

- Tên đề tài: “Điều khiển thích nghi cho tay máy robot công nghiệp có xét đến vùng chết của cơ cấu truyền động”
- Mã số: Đ2014-02-93
- Chủ nhiệm: TS. Lê Tiến Dũng
- Thành viên tham gia:
 - 1. TS. Nguyễn Hoàng Mai Khoa Điện, Đại học Bách Khoa
 - 2. TS. Nguyễn Lê Hòa Khoa Điện, Đại học Bách Khoa
- Cơ quan chủ trì: Trường Đại học Bách Khoa
- Thời gian thực hiện: Từ 01/2014 đến 12/2014

2. Mục tiêu:

Nghiên cứu khảo sát mô hình động lực của tay máy robot công nghiệp có xét đến sự xuất hiện của các vùng chết trong cơ cấu truyền động. Từ đó đề xuất bộ điều khiển thích nghi ứng dụng mạng nơ-ron nhân tạo và logic mờ để bù đồng thời các vùng chết và các thành phần bất định khác như ma sát, bất định về tham số cũng như nhiễu loạn của tay máy robot. Mục đích nhằm nâng cao chất lượng điều khiển, độ ổn định, sự an toàn và mở rộng khả năng ứng dụng của tay máy robot công nghiệp trong thực tế, nhất là đối với những ứng dụng đòi hỏi chất lượng và độ chính xác cao. Ngoài ra, đề tài này còn phục vụ cho việc giảng dạy và nghiên cứu trong lĩnh vực Tự động hóa.

3. Tính mới và sáng tạo:

Đề tài đưa ra được một phân tích tổng quan về sự xuất hiện của các vùng chết trong mô hình động lực học của tay máy robot công nghiệp. Mô hình vùng chết trong đề tài là trường hợp không đối xứng, khác với các công trình đi trước thường chỉ xem xét trường hợp đặc biệt là mô hình vùng chết có dạng đối xứng, trong khi trong thực tế vùng chết trong các cơ cấu truyền động là không đối xứng.

Các nghiên cứu trước đây chỉ bù các vùng chết mà chưa xem xét đồng thời các yếu tố khác như lực ma sát, sai số mô hình, bất định về tham số, nhiễu loạn trong tay máy robot công nghiệp. Trong đề tài này, nhóm tác giả đã đề xuất bộ điều khiển thích nghi ứng dụng mạng nơ-ron nhân tạo và logic mờ để bù đồng thời các vùng chết và các thành phần bất định khác như ma sát, bất định về tham số cũng như nhiễu loạn của tay máy robot.

4. Tóm tắt kết quả nghiên cứu:

Trong báo cáo này, nhóm tác giả đã khảo sát vấn đề sự xuất hiện vùng chết và phương pháp bù vùng chết trong điều khiển tay máy robot công nghiệp. Dựa trên các phương trình Lagrange, mô hình động lực học tổng quát của tay máy robot công nghiệp đã được xây dựng có xét đến sự tồn tại đồng thời của vùng chết và các thành phần bất định khác như sai số mô hình, các lực ma sát và các nhiễu loạn từ bên ngoài.

Trên cơ sở mô hình động lực học có chứa các vùng chết ở đầu vào, một bộ điều khiển thích nghi mới sử dụng mạng nơ-ron kết hợp với logic mờ và hàm wavelet (FWNN) có khả năng tự chỉnh đã được đề xuất để có khả năng bù đồng thời các vùng chết và các thành phần bất định của robot. Các tham số của mạng FWNN được tự động chỉnh định online trong quá trình điều khiển robot bám theo quỹ đạo mong muốn. Sự ổn định của hệ thống khi sử dụng bộ điều khiển thích nghi cùng với các thuật toán chỉnh định online đã được chứng minh dựa trên lý thuyết Lyapunov.

Các kết quả mô phỏng trên tay máy robot song song 2 bậc tự do đã chứng minh tính hiệu quả của bộ điều khiển được thiết kế, đáp ứng yêu cầu đặt ra.

5. Tên sản phẩm:

- + 01 mô hình phần mềm mô phỏng trên Matlab – Simulink.
- + 02 bài báo đăng ở kỷ yếu hội nghị chuyên ngành quốc tế:
 1. Xuan Toa Tran, Tien Dung Le, Hee-Jun Kang, “High Gain Observer-Based Adaptive Sliding Mode Control for Robot Manipulators”, *International Conference on Green and Human Information Technology*, pp 43-47, Ho Chi Minh city, Vietnam, 2014.

2. Ngọc Bach Hoang, Tien Dung Le, Hee-Jun Kang, "Robust Adaptive Control of Wheeled Mobile Robot via Backstepping and Neural Networks", *International Conference on Green and Human Information Technology*, pp 37-42, Ho Chi Minh city, Vietnam, 2014.
- + 02 bài báo cáo hội nghị quốc tế và đã được đưa vào tạp chí quốc tế:
1. Tran Minh Duc, Van Mien, Hee-Jun Kang and Le Tien Dung "Visual Servoing of Robot Manipulator Based on Second Order Sliding Observer and Neural Compensation." *Lecture Notes in Computer Science*, Springer International Publishing, Volume 8588, 2014, pp 241-247.
 2. Hoai Nhan Nguyen, Jian Zhou, Hee-Jun Kang and Tien Dung Le, "Position accuracy improvement of robots having closed-chain mechanisms", *Lecture Notes in Computer Science*, Springer International Publishing, Volume 8589, 2014, pp 285-292.

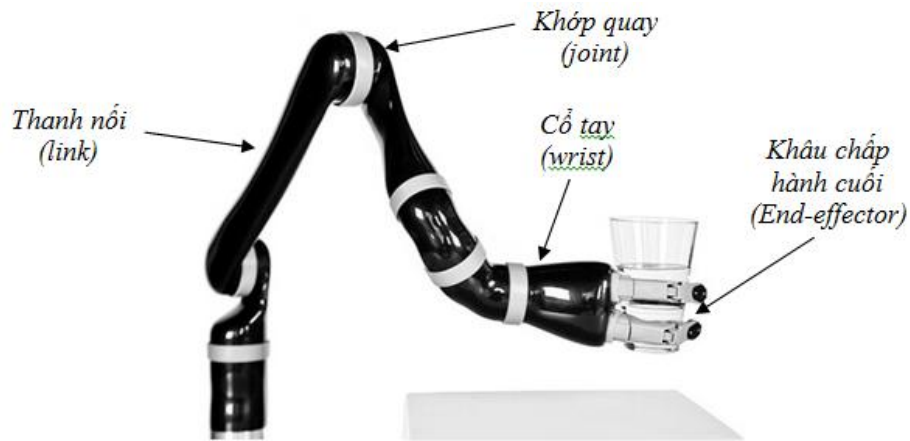
6. Hiệu quả, phương thức chuyển giao kết quả nghiên cứu và khả năng áp dụng:

Với việc hoàn thành đề tài này sẽ cung cấp kiến thức sâu hơn, đầy đủ hơn về vấn đề điều khiển tay máy robot công nghiệp đồng thời đưa ra một hướng mới giải quyết bài toán bù các vùng chết của cơ cấu truyền động trong tay máy robot. Thuyết minh và mô hình phần mềm của đề tài có thể làm tài liệu nghiên cứu cho sinh viên, học viên cao học, nghiên cứu sinh và cán bộ nghiên cứu trẻ trong lĩnh vực Tự động hóa.

Toàn bộ kết quả nghiên cứu của đề tài sẽ được ứng dụng tại khoa Điện, trường Đại học Bách Khoa để làm tài liệu tham khảo cho sinh viên, học viên cao học và nghiên cứu sinh.

7. Hình ảnh, sơ đồ minh họa chính

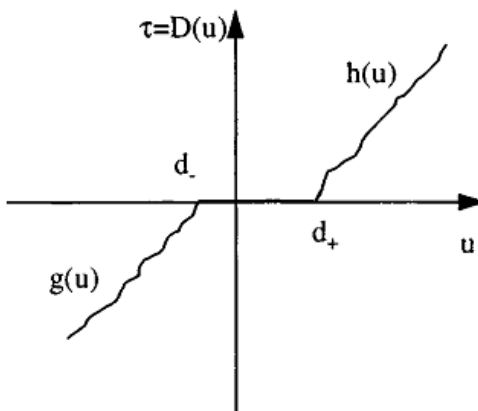
- Kết cấu cơ khí tay máy robot công nghiệp:



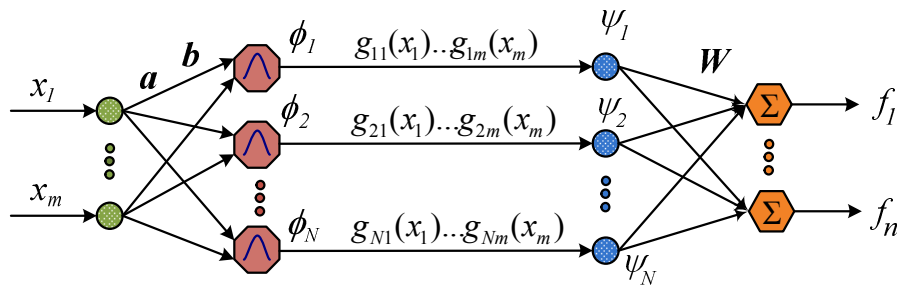
- Phương pháp dùng mô hình ngược của vùng chết ở đầu vào:



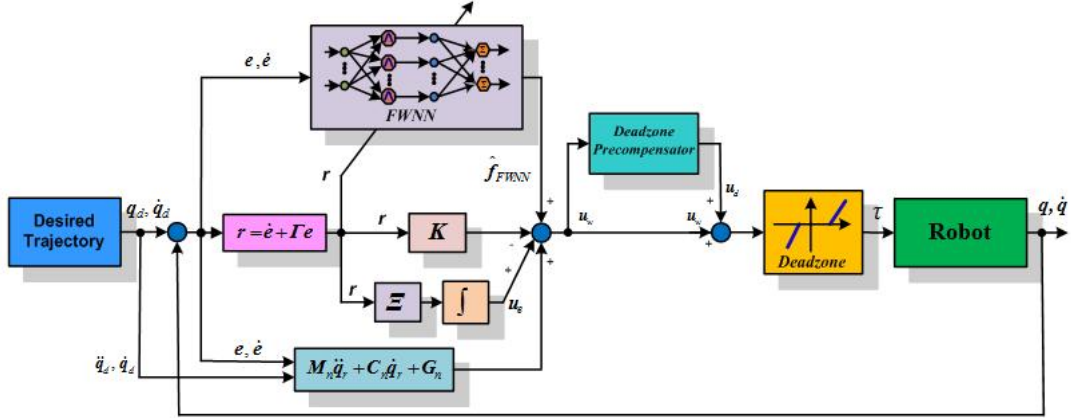
- Đồ thị biểu diễn vùng chết theo phương pháp của Selmic và Lewis:



- Cấu trúc của mạng nơ-ron kết hợp với logic mờ và hàm wavelet:



- Sơ đồ khối của bộ điều khiển thích nghi mà đề tài đề xuất:



Cơ quan Chủ trì
(ký, họ và tên, đóng dấu)

Ngày 16 tháng 12 năm 2014
Chủ nhiệm đề tài
(ký, họ và tên)

TS. Lê Tiến Dũng

INFORMATION ON RESEARCH RESULTS

1. General information:

Project title: **Adaptive control of robot manipulators with deadzone inputs**

Code number: Đ2014-02-93

Project Leader: Dr. Le Tien Dung

Coordinators:

1. Dr. Nguyen Hoang Mai

Dept. Electrical Engineering, DUT

2. Dr. Nguyen Le Hoa

Dept. Electrical Engineering, DUT

Implementing institution: University of Science and Technology-The University of Danang

Duration: from January, 2014 to December, 2014

2. Objective(s):

Study the dynamic model of robot manipulators with considering of deadzone nonlinearity inputs. Base on this dynamic model, an adaptive controller using neural networks and fuzzy logic systems is proposed for compensation of deadzone inputs and lumped uncertainties simultaneously. The purpose of this result is improving the quality of control, stability and extend the ability of applications of robot manipulators in industry. In addition, the results of this project are used for teaching and research in the field of automation.

3. Creativeness and innovativeness:

Most of the previous compensation methods cover only the case of symmetric deadzone where $d_{i+} = d_{i-}$. In this project, the non-symmetric deadzone is considered.

In most of the deadzone compensation researches, the researchers concerned only the compensation of deadzone while other nonlinear uncertainties and external disturbance contained in the same plant have not been dealt with simultaneously. Therefore, in this project we also address the uncertainties and external disturbance to improve the control performance.

To illustrate the proposed adaptive controller in this project, a simulation example is performed for a 2 degree-of-freedom parallel robot manipulator which has a complicated dynamic model in comparison to the traditional serial robot manipulators.

4. Research results:

In this paper, a novel adaptive controller using self-tuning FWNN is presented for mechanical systems with deadzone inputs and uncertainties. The proposed controller is based on the combination of five ingredients:

- + The first part is based on the dynamic model of the mechanical systems and on the filtered tracking errors.

- + The second one is a precompensator to offset the effects of deadzone inputs.

- + The third one is the self-tuning FWNN used to adaptively learn the lumped uncertainty of the mechanical systems.

- + The fourth one is an error estimator for compensating the approximation errors of the FWNN, the mismatch error of the deadzone precompensator, and the higher order terms in Taylor series expansion.

- + And the final part is a term for enhancing the robustness of the control system.

The parameters of dilation and translation of the fuzzy wavelet basis functions and the output weights of neural network are self-tuned online during the tracking control of system. The estimation algorithms for the precompensator and the error approximator are also proposed without any offline training phase.

The stability of the mechanical systems together with the proposed controller and the tuning algorithms is proposed using the Lyapunov theory.

Comparative simulations have been conducted for a five-bar mechanism with active joints preceded by unknown deadzone, and with lumped uncertainty. The simulation results show the efficiency of the proposed control scheme.

5. Products:

- + 01 simulation model on Matlab – Simulink.

- + 02 papers in the proceeding of an international conference:

3. Xuan Toa Tran, Tien Dung Le, Hee-Jun Kang, "High Gain Observer-Based Adaptive Sliding Mode Control for Robot Manipulators", *International Conference on Green and Human Information Technology*, pp 43-47, Ho Chi Minh city, Vietnam, 2014.
 4. Ngoc Bach Hoang, Tien Dung Le, Hee-Jun Kang, "Robust Adaptive Control of Wheeled Mobile Robot via Backstepping and Neural Networks", *International Conference on Green and Human Information Technology*, pp 37-42, Ho Chi Minh city, Vietnam, 2014.
- + 02 presentations at an international conference has been selected for the international journal:
3. Tran Minh Duc, Van Mien, Hee-Jun Kang and Le Tien Dung "Visual Servoing of Robot Manipulator Based on Second Order Sliding Observer and Neural Compensation." *Lecture Notes in Computer Science*, Springer International Publishing, Volume 8588, 2014, pp 241-247.
 4. Hoai Nhan Nguyen, Jian Zhou, Hee-Jun Kang and Tien Dung Le, "Position accuracy improvement of robots having closed-chain mechanisms", *Lecture Notes in Computer Science*, Springer International Publishing, Volume 8589, 2014, pp 285-292.

6. Effects, transfer alternatives of research results and applicability:

The obtained results in this project provide in more detail the dynamic control of robot manipulators and open a new direction for solving the problem in compensation of deadzone inputs for robot manipulators. The results of this project can be used as a reference for bachelor, master, and Ph.D. students as well as for lecturers working on the field of automation and control.

The research results of this project will be used as a reference at Department of Electrical Engineering, University of Science and Technology-The University of Danang.

MỞ ĐẦU

I. TỔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU THUỘC LĨNH VỰC CỦA ĐỀ TÀI Ở TRONG VÀ NGOÀI NƯỚC

I.1. Ngoài nước

Vùng chết được phát hiện trong các hệ thống phi tuyến mà ở đó các cơ cấu truyền động có đặc tính phi tuyến không liên tục. Sự xuất hiện của vùng chết ở đầu vào sẽ làm giới hạn chất lượng điều khiển của hệ thống [T. Gang and P. V. Kokotovic, 1994]. Trong những năm gần đây, vấn đề điều khiển các hệ thống tự động trong công nghiệp có xem xét đến sự xuất hiện của vùng chết, đặc biệt là trong robot công nghiệp, đã thu hút sự quan tâm của nhiều nhà nghiên cứu trên thế giới.

Các phương pháp thông minh như sử dụng mạng nơron nhân tạo và logic mờ đang ngày càng được phát triển mạnh mẽ nhờ vào những ưu điểm về khả năng tự học, tự thích nghi và linh hoạt. Các phương pháp điều khiển thông minh đã mở ra một tiềm năng mới về ứng dụng trong các hệ thống thực tiễn, đặc biệt là việc bù thích nghi cho các thành phần bất định trong tay máy robot công nghiệp. Từ đó, một số công trình nghiên cứu về ứng dụng của các phương pháp thông minh trong điều khiển tay máy robot công nghiệp có xét đến sự xuất hiện của vùng chết đã được công bố.

Tuy nhiên, chưa có công trình nào đưa ra được một phân tích tổng quan về sự xuất hiện của các vùng chết trong mô hình động lực học của tay máy robot công nghiệp. Hơn nữa, các công trình đi trước chỉ xem xét trường hợp đặc biệt là mô hình vùng chết có dạng đối xứng, trong khi trong thực tế vùng chết trong các cơ cấu truyền động là không đối xứng. Và điều quan trọng là các nghiên cứu đi trước chỉ bù các vùng chết mà chưa xem xét đồng thời các yếu tố khác như lực ma sát, sai số mô hình, bất định về tham số, nhiễu loạn trong tay máy robot công nghiệp.

Do đó, việc phân tích sự xuất hiện của vùng chết trong các cơ cấu chấp hành của tay máy robot công nghiệp, xây dựng mô hình động lực học của tay máy robot công nghiệp có xét đến mô hình không đối xứng của các vùng chết và xây dựng cấu trúc điều khiển mới ứng dụng các thuật toán thích nghi cho tay máy robot công nghiệp để có khả năng bù đồng thời các vùng chết không đối xứng và các thành phần bất định cũng như nhiễu loạn từ bên ngoài tác động lên tay máy robot công nghiệp là hướng nghiên cứu mở mang ý nghĩa cấp thiết và quan trọng.

I.2. Trong nước

Việt Nam là một nước có nền công nghiệp đang phát triển nên các nghiên cứu về điều khiển chuyển động của tay máy robot công nghiệp đã được đề cập đến trong rất nhiều các công trình nghiên cứu, các luận văn tiến sĩ, thạc sĩ. Tuy nhiên, vấn đề khảo sát, điều khiển thích nghi cho tay máy robot công nghiệp có xét đến vùng chết của cơ cấu truyền động chưa được nhà nghiên cứu nào công bố.

Vì vậy, đối với tình hình nghiên cứu trong nước thì đề tài đề xuất này là một công trình hoàn toàn mới.

II. TÍNH CẤP THIẾT CỦA ĐỀ TÀI

Tay máy robot công nghiệp đóng một vai trò quan trọng trong rất nhiều các hệ thống sản xuất tự động hóa. Đặc biệt, chúng rất phù hợp để làm việc trong các môi trường nguy hiểm, độc hại hoặc trong môi trường chân không nơi mà con người không thể có mặt. Bài toán điều khiển bám chính xác theo quỹ đạo của tay máy robot công nghiệp còn có nhiều thách thức và còn tồn tại nhiều vấn đề cần nghiên

cứu do tính chất phi tuyến và mô hình động lực học phức tạp của tay máy robot. Bên cạnh đó, nhiều nghiên cứu đã chỉ ra sự ảnh hưởng của vùng chết trong các cơ cấu truyền động của tay máy robot có ảnh hưởng nhiều đến độ chính xác của tay máy robot khi được điều khiển bám theo một quỹ đạo yêu cầu.

Nguyên nhân xuất hiện vùng chết do đặc tính phi tuyến và không liên tục của các cơ cấu truyền động. Sự có mặt của các vùng chết này sẽ hạn chế chất lượng điều khiển của tay máy robot và gây ra các sai số. Gần đây, nhiều nhà nghiên cứu đã cố gắng đề xuất một số mô hình toán học của vùng chết để thực hiện bù và nâng cao chất lượng điều khiển trong một số cơ hệ. Tuy nhiên, các mô hình vùng chết đã được đề xuất thường chỉ phù hợp với các hệ cơ khí đơn giản. Khi áp dụng các mô hình này để bù vùng chết trong tay máy robot công nghiệp cần thiết phải đồng thời xem xét các yếu tố khác như lực ma sát, sai số mô hình, bất định về tham số, nhiễu loạn... Ngoài ra, các nghiên cứu đi trước chỉ khảo sát trường hợp mô hình vùng chết là đối xứng, trong khi trong thực tế mô hình vùng chết là không đối xứng. Do đó, hiện nay việc đề xuất một cấu trúc điều khiển mới ứng dụng các thuật toán thông minh cho tay máy robot công nghiệp để có khả năng bù đồng thời các vùng chết không đối xứng và các thành phần bất định về ma sát, sai số mô hình, bất định về tham số và các nhiễu loạn từ bên ngoài tác động lên robot có ý nghĩa cấp thiết và quan trọng.

Với những ý nghĩa trên, việc đề xuất đề tài nghiên cứu này sẽ đưa ra một hướng mới giải quyết bài toán bù các vùng chết của cơ cấu truyền động trong tay máy robot. Đề tài sẽ góp phần hoàn thiện lý thuyết điều khiển cho tay máy robot công nghiệp nhằm nâng cao hơn nữa chất lượng làm việc và mở rộng khả năng ứng dụng của tay máy robot công nghiệp trong thực tế, nhất là đối với những ứng dụng đòi hỏi chất lượng và độ chính xác cao.

III. MỤC TIÊU ĐỀ TÀI

a) Mục tiêu tổng quát

Nghiên cứu khảo sát mô hình động lực học của tay máy robot công nghiệp có xét đến sự xuất hiện của vùng chết của cơ cấu truyền động. Từ đó đề xuất phương pháp điều khiển thông minh ứng dụng mạng nơron nhân tạo và logic mờ để bù đồng thời các vùng chết và các thành phần bất định khác như ma sát, bất định về tham số cũng như các nhiễu loạn của tay máy robot. Mục đích nhằm nâng cao chất lượng điều khiển, độ ổn định, sự an toàn và mở rộng khả năng ứng dụng của tay máy robot công nghiệp trong thực tế, nhất là đối với những ứng dụng đòi hỏi chất lượng và độ chính xác cao. Ngoài ra, đề tài này còn phục vụ cho việc giảng dạy và nghiên cứu trong lĩnh vực Tự động hóa.

b) Mục tiêu cụ thể

Trước hết, mô hình động lực học tổng quát của một tay máy robot công nghiệp n bậc tự do được xây dựng trong đó có xét đến các vùng chết của các cơ cấu truyền động. Dựa trên yêu cầu của bài toán điều khiển tay máy robot bám theo quỹ đạo yêu cầu, các hàm sai lệch sẽ được xác định. Từ đó sẽ đề xuất một bộ điều khiển thích nghi ứng dụng các thuật toán thông minh để bù đồng thời các vùng chết và các thành phần bất định khác như ma sát, bất định về tham số cũng như các nhiễu loạn của tay máy robot. Dựa trên *phương pháp Lyapunov*, các thuật toán cập nhật online cho các trọng số của mạng nơron được đề xuất đảm bảo sự ổn định của hệ thống cũng như sự hội tụ của quỹ đạo thực của robot về các giá trị mong muốn. Để đảm bảo giảm thiểu các sai số, các thành phần ước lượng sai số được thêm vào để tăng

thêm độ chính xác cho hệ thống. Tính ổn định của hệ thống được chứng minh dựa trên lý thuyết ổn định Lyapunov. Cuối cùng là viết chương trình mô phỏng kiểm nghiệm và đánh giá kết quả thu được.

IV. ĐỐI TƯỢNG NGHIÊN CỨU

Đối tượng nghiên cứu của đề tài bao gồm:

- Mô hình động lực học dạng tổng quát cho một tay máy robot công nghiệp có n bậc tự do.
- Sự xuất hiện của vùng chết trong cơ cấu truyền động của tay máy robot công nghiệp.
- Phương pháp điều khiển thích nghi để nâng cao chất lượng điều khiển tay máy robot khi có sự xuất hiện của vùng chết.

V. PHẠM VI NGHIÊN CỨU

Đề tài này tập trung nghiên cứu sự xuất hiện của vùng chết trong các cơ cấu truyền động của tay máy robot công nghiệp, ảnh hưởng của vùng chết này đến chất lượng điều khiển bám theo quỹ đạo của khâu chấp hành và nghiên cứu phương án điều khiển thông minh để bù vùng chết. Trong đề tài, giả thiết các biến khớp và tốc độ của biến khớp là đo được và đưa phản hồi về bộ điều khiển chuyển động của robot. Đề tài khảo sát trường hợp tổng quát mô hình vùng chết là không đối xứng. Ngoài ra, giả thiết các thành phần bất định như sai số mô hình, các lực ma sát và nhiễu loạn từ bên ngoài là hữu hạn và bị chặn trên.

VI. CÁCH TIẾP CẬN, PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

a) Cách tiếp cận

- Thành lập mô hình động lực học tổng quát của một tay máy robot công nghiệp n bậc tự do trong đó có xét đến các vùng chết không đối xứng của các cơ cấu truyền động
- Trên cơ sở mô hình động lực học, tiến hành phân tích đánh giá các tham số, thành phần có thể mô hình được và các thành phần bất định ảnh hưởng đến chất lượng điều khiển của tay máy robot.
- Đề xuất luật điều khiển thông minh ứng dụng mạng nơron nhân tạo và logic mờ để bù đồng thời các vùng chết và các thành phần bất định.

b) Phương pháp nghiên cứu

- Xây dựng các hàm sai lệch và các tín hiệu phụ của sai lệch dựa trên quỹ đạo mong muốn và quỹ đạo thật của tay máy robot.
- Ứng dụng các thuật toán thông minh để xây dựng một cấu trúc điều khiển mới và thành lập phương trình cụ thể của bộ điều khiển thích nghi để bù đồng thời các vùng chết và các thành phần bất định khác như ma sát, bất định về tham số cũng như các nhiễu loạn của tay máy robot.
- Dựa trên phương pháp Lyapunov để đề xuất các thuật toán cập nhật online cho các trọng số của mạng nơron đảm bảo sự ổn định của hệ thống cũng như sự hội tụ của quỹ đạo thực của robot về các giá trị mong muốn.
- Thiết kế các bộ ước lượng sai số để bù triệt để các sai số, tăng thêm độ chính xác của hệ thống điều khiển.
- Phân tích và đánh giá lại sự ổn định của hệ thống dựa trên lý thuyết ổn định Lyapunov.
- Xây dựng mô hình mô phỏng trên phần mềm Matlab-Simulink để kiểm nghiệm lại lý thuyết đã đề xuất.

CHƯƠNG 1. MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC CỦA TAY MÁY ROBOT CÔNG NGHIỆP

1.1. Giới thiệu tay máy robot công nghiệp

Ngày nay tay máy robot công nghiệp đang được sử dụng rộng rãi và đã có nhiều bước phát triển trong quan trọng trong điều khiển sự hoạt động của chúng. Tay máy robot công nghiệp là lĩnh vực giao thoa của nhiều ngành quan trọng, cùng với yêu cầu phát triển không ngừng của khoa học công nghệ nên chất lượng điều khiển robot luôn cần được cải tiến hơn nữa để đạt đến chất lượng hoạt động cao. Trong đó, vấn đề phân tích và xây dựng mô hình động lực học của tay máy robot một cách chính xác có ý nghĩa quan trọng để làm cơ sở thiết kế các bộ điều khiển chất lượng cao.

1.2. Mô hình động lực học của tay máy robot công nghiệp

1.2.1. Công thức Lagrange

Các phương trình Lagrange được biểu diễn như sau:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i} = f_i, \quad i = 1, \dots, n \quad (1.1)$$

trong đó f_i ($i = 1, \dots, n$) là lực cơ sở tương ứng với tọa độ q_i .

1.2.2. Tính tổng động năng của hệ thống

Phương trình tổng động năng của robot ở dạng toàn phương như sau:

$$T = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n M_{ij}(\mathbf{q}) \dot{q}_i \dot{q}_j = \frac{1}{2} \dot{\mathbf{q}}^T \mathbf{M}(\mathbf{q}) \dot{\mathbf{q}} \quad (1.2)$$

trong đó \mathbf{M} là ma trận quán tính, được tính bởi công thức:

$$\begin{aligned} \mathbf{M}(\mathbf{q}) = \sum_{i=1}^n & \left(m_i \mathbf{J}_P^{(l_i)T} \mathbf{J}_P^{(l_i)} + \mathbf{J}_O^{(l_i)T} \mathbf{R}_i \mathbf{I}_i^i \mathbf{R}_i^T \mathbf{J}_O^{(l_i)} + \right. \\ & \left. + m_{m_i} \mathbf{J}_P^{(m_i)T} \mathbf{J}_P^{(m_i)} + \mathbf{J}_O^{(m_i)T} \mathbf{R}_{m_i} \mathbf{I}_{m_i}^{m_i} \mathbf{R}_{m_i}^T \mathbf{J}_O^{(m_i)} \right) \end{aligned} \quad (1.3)$$

1.2.3. Tính tổng thế năng của hệ thống

$$U = - \sum_{i=1}^n \left(m_i \mathbf{g}_0^T \mathbf{p}_{l_i} + m_{m_i} \mathbf{g}_0^T \mathbf{p}_{m_i} \right) \quad (1.4)$$

trong đó, các vector vị trí \mathbf{p}_{l_i} và \mathbf{p}_{m_i} chỉ phụ thuộc vào các biến khớp \mathbf{q} và không có chứa $\dot{\mathbf{q}}$.

1.2.4. Các phương trình mô tả chuyển động

Sau khi xét đến các thành phần bất định, mô hình động lực học của tay máy robot được viết lại ở dạng ma trận như sau:

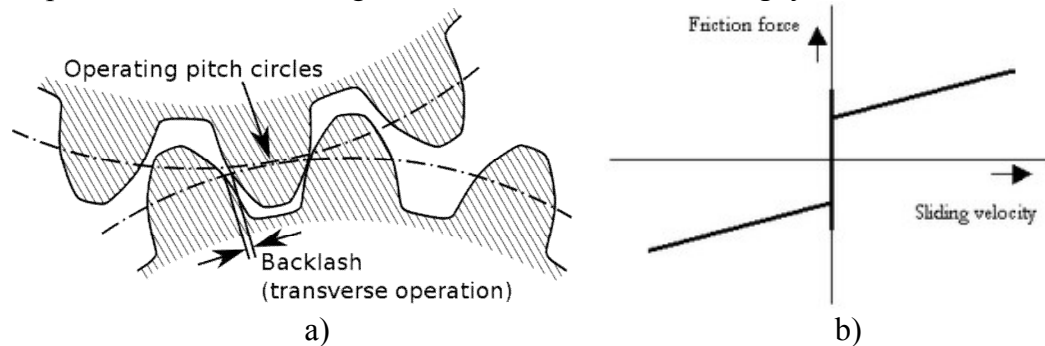
$$\mathbf{M}(\mathbf{q}) \ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) \dot{\mathbf{q}} + \mathbf{g}(\mathbf{q}) + \mathbf{F}_v \dot{\mathbf{q}} + \mathbf{F}_s \text{sign}(\dot{\mathbf{q}}) + \boldsymbol{\tau}_d = \boldsymbol{\tau} \quad (1.5)$$

CHƯƠNG 2. KHẢO SÁT SỰ XUẤT HIỆN CỦA VÙNG CHẾT VÀ CÁC PHƯƠNG PHÁP MÔ HÌNH HÓA VÙNG CHẾT

2.1. Khái niệm vùng chết

Hiện tượng vùng chết là đầu ra bằng không cho đến khi biên độ của đầu vào vượt qua một giá trị nào đó. Hiện tượng vùng chết xảy ra trong nhiều bộ phận khác nhau của các hệ thống điều khiển như ở các sensor, các bộ khuếch đại và các cơ cấu truyền động bao gồm van điều khiển thủy lực hoặc các động cơ điện. Các vùng chết gây ra một số ảnh hưởng đến các hệ thống điều khiển và ảnh hưởng rõ nhất là làm giảm độ chính xác điều khiển. Chúng còn có thể làm hạn chế sự hoạt động hoặc làm mất ổn định hệ thống.

Vùng chết thường được bắt gặp ở những cơ cấu truyền động như các van servo, động cơ điện ... Các cơ cấu truyền động này có đặc tính phi tuyến không liên tục. Nguyên nhân xuất hiện vùng chết là do các khe hở (backlash) giữa các bánh răng của hộp số, hoặc do hiện tượng ma sát tĩnh, hoặc do một số nguyên nhân khác.



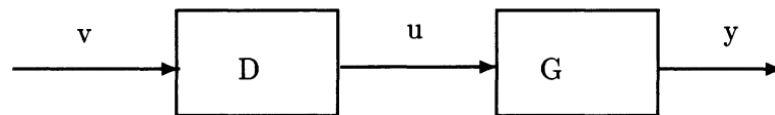
Hình 2.1 – Các nguyên nhân xuất hiện vùng chết: a) Backlash; b) Ma sát.

Trong tay máy robot công nghiệp, ở các khớp của robot được truyền động bởi các cơ cấu truyền động thường có sự xuất hiện của vùng chết, đặc biệt là trong các trường hợp giữa cơ cấu truyền động và khớp có sử dụng hộp giảm tốc. Trong các ứng dụng không yêu cầu cao về độ chính xác, thì vùng chết thường bị bỏ qua khi phân tích động lực học của robot và thiết kế bộ điều khiển chuyển động của robot. Tuy nhiên, ngày nay yêu cầu về độ chính xác hoạt động của robot ngày càng cao, do đó các vùng chết cần được xem xét và nghiên cứu để có phương án loại trừ.

2.2. Các phương pháp mô hình hóa vùng chết

2.2.1. Phương pháp của Er-Wei Bai

Trên hình 2.2, khối G biểu diễn cho hệ thống phi tuyến có mô hình chưa biết rõ, $u(t)$ và $y(t)$ là đầu vào và đầu ra của G. $u(t)$ đồng thời là đầu ra của vùng chết D, đầu vào của D là $v(t)$.

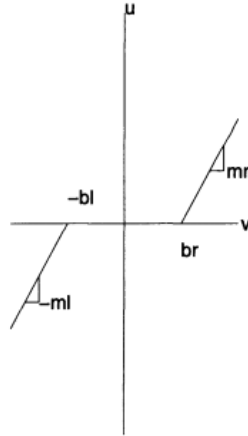


Hình 2.2 – Hệ thống có vùng chết

Mô tả toán học của vùng chết được biểu diễn như sau [Bai, Er-Wei., 2001]:

$$u(t) = \begin{cases} m_r v(t) - m_r b_r, & \text{if } v(t) > b_r \text{ or } u(t) > 0 \\ 0, & \text{if } -b_l \leq v(t) \leq b_r \text{ or } u(t) = 0 \\ m_l v(t) + m_l b_l, & \text{if } v(t) < -b_l \text{ or } u(t) < 0 \end{cases} \quad (2.1)$$

Vùng chết được biểu diễn bằng hình vẽ như trên Hình 2.3. Trong đó các hằng số b_l, b_r, m_r, m_l là các số thực dương chưa xác định.



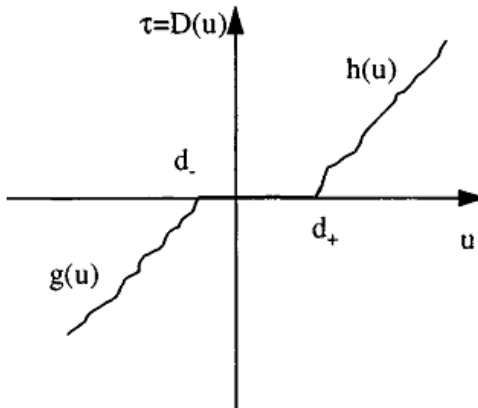
Hình 2.3 – Đồ thị biểu diễn vùng chết theo phương pháp của Er-Wei Bai

2.2.2. Phương pháp của Selmic và Lewis

Giả sử đầu vào của vùng chết là u , đầu ra của vùng chết là τ . Đầu ra τ của vùng chết cũng chính là mô-men tác dụng vào các khớp của robot. Mô hình toán học của vùng chết trong cơ cấu truyền động của robot được biểu diễn như sau:

$$\tau = D(u) = \begin{cases} g(u) < 0, & u \leq d_- \\ 0, & -d_- < u < d_+ \\ h(u) > 0, & u \geq d_+ \end{cases} \quad (2.2)$$

trong đó $h(u), g(u)$ là những hàm liên tục, phi tuyến. Vì vậy sự mô tả này là một trường hợp rất tổng quát của $D(u)$. Mô hình vùng chết của Selmic và Lewis được biểu diễn bằng đồ thị ở hình 2.4.



Hình 2.4 – Đồ thị biểu diễn vùng chết

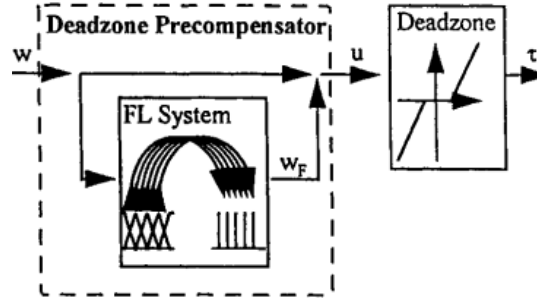
2.3. Các phương pháp bù vùng chết

2.3.1. Phương pháp bù vùng chết sử dụng logic mờ

Phương trình biểu diễn mối quan hệ giữa đầu ra và đầu vào như sau:

$$\tau = D_d(u) = \begin{cases} u + d_-, & u < -d_- \\ 0, & -d_- \leq u \leq d_+ \\ u - d_+, & d_+ \leq u \end{cases} \quad (2.3)$$

Sơ đồ tổng hợp các tín hiệu từ đầu vào của bộ bù trước cho đến đầu ra của vùng chết được biểu diễn như trên hình 2.9.



Hình 2.5 – Sơ đồ khối của bộ bù trước vùng chết bằng logic mờ.

Tổng hợp các tín hiệu được biểu diễn bằng phương trình như sau:

$$\tau = D_d(u) = D_d(w + w_F) = w + [w_F - sat_d(w + w_F)] \quad (2.4)$$

Tín hiệu đầu ra τ của vùng chết đã được bù như sau [F. L. Lewis et al., 1999]:

$$\tau = w - \tilde{d}^T X(w) + \tilde{d}^T \delta \quad (2.5)$$

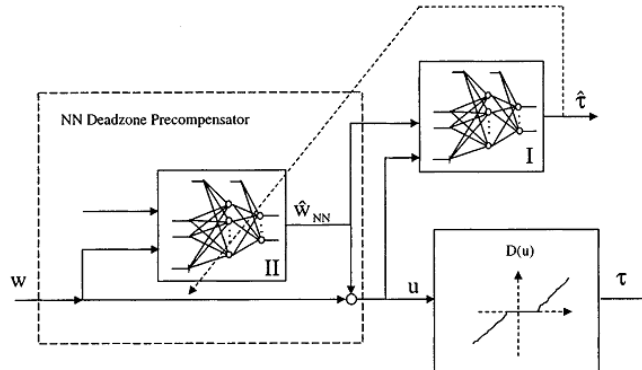
trong đó \tilde{d} là sai số của ước lượng, được tính bởi công thức sau:

$$\tilde{d} = d - \hat{d} \quad (2.6)$$

và δ là sai số mô hình, thỏa mãn điều kiện biên: $\|\delta\| \leq 1$.

2.3.2. Phương pháp bù vùng chết sử dụng mạng neural nhân tạo

Sơ đồ bù vùng chết được biểu diễn như trên hình 2.6. Ở đây có 2 mạng neural: mạng NN I để bù trước vùng chết và mạng NN II để ước lượng vùng chết. Chỉ có đầu ra của mạng NN II được đưa đến trực tiếp đầu vào u , còn đầu ra của mạng NN I dùng để chỉnh định lại mạng NN II.



Hình 2.6 – Sơ đồ khối của phương pháp bù vùng chết bằng mạng neural nhân tạo.

CHƯƠNG 3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI CHO TAY MÁY ROBOT CÔNG NGHIỆP CÓ XÉT ĐẾN VÙNG CHẾT CỦA CƠ CẤU CHẤP HÀNH

3.1. Mô hình động lực học của tay máy robot công nghiệp có xét đến vùng chết của cơ cấu chấp hành

Mô hình động lực học của tay máy robot công nghiệp đã xây dựng ở chương 1 có thể được viết lại như sau:

$$\mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{G}(\mathbf{q}) + \boldsymbol{\tau}_f(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) + \boldsymbol{\tau}_d = \boldsymbol{\tau} \quad (3.1)$$

trong đó $\mathbf{q} = [q_1, q_2, \dots, q_n]^T \in \mathfrak{R}^n$ là vector vị trí các khớp; $\dot{\mathbf{q}} = [\dot{q}_1, \dot{q}_2, \dots, \dot{q}_n]^T \in \mathfrak{R}^n$ là vector vận tốc của các khớp; $\ddot{\mathbf{q}} = [\ddot{q}_1, \ddot{q}_2, \dots, \ddot{q}_n]^T \in \mathfrak{R}^n$ là vector gia tốc của các khớp; $\mathbf{M}(\mathbf{q}) \in \mathfrak{R}^{n \times n}$ là ma trận quán tính; $\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) \in \mathfrak{R}^{n \times n}$ là ma trận của các lực hướng tâm và lực Coriolis; $\mathbf{G}(\mathbf{q}) \in \mathfrak{R}^n$ là ma trận của các lực trọng trường; $\boldsymbol{\tau}_f(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$ là vector của các lực ma sát; $\boldsymbol{\tau}_d$ là vector của các lực nhiễu loạn từ bên ngoài; và $\boldsymbol{\tau} \in \mathfrak{R}^n$ là vector của các đầu ra của cơ cấu truyền động và là đầu vào điều khiển các khớp của tay máy robot công nghiệp. Trong trường hợp có xét đến các vùng chết của cơ cấu truyền động, $\boldsymbol{\tau}$ chỉ có thể điều khiển thông qua tín hiệu \mathbf{u} của đầu ra bộ điều khiển.

Khi có sự tồn tại của các thành phần bất định, mô hình động lực học của tay máy robot công nghiệp có thể được viết lại như sau:

$$\hat{\mathbf{M}}\ddot{\mathbf{q}} + \hat{\mathbf{C}}\dot{\mathbf{q}} + \hat{\mathbf{G}} + \mathbf{T}_u = \boldsymbol{\tau} \quad (3.2)$$

Trong đó, \mathbf{T}_u là vector chứa các thành phần bất định bao gồm sai số mô hình, các thành phần lực ma sát và nhiễu loạn từ bên ngoài:

$$\mathbf{T}_u = \Delta\mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}} + \Delta\mathbf{C}\dot{\mathbf{q}} + \Delta\mathbf{G} + \boldsymbol{\tau}_f + \boldsymbol{\tau}_d \quad (3.3)$$

Giả thiết rằng các thành phần bất định đều bị chặn trên bởi các hằng số dương: $\|\Delta\mathbf{M}\| \leq \rho_M$, $\|\Delta\mathbf{C}\| \leq \rho_C$ và $\|\Delta\mathbf{G}\| \leq \rho_G$. Nhiễu loạn từ bên ngoài và các thành phần lực ma sát cũng bị chặn trên. Vì vậy, tổng các thành phần bất định có thể được giả thiết là bị chặn trên bởi một giá trị hữu hạn.

Mô hình động lực học của tay máy robot công nghiệp thỏa mãn các tính chất sau đây:

Tính chất 1: Ma trận quán tính $\hat{\mathbf{M}}$ là đối xứng và xác định dương.

Tính chất 2: Ma trận thiết lập bởi phương trình $\hat{\mathbf{M}} - 2\hat{\mathbf{C}}$ là ma trận đối xứng lệch (*skew matrix*). Nghĩa là $\mathbf{x}^T (\hat{\mathbf{M}} - 2\hat{\mathbf{C}}) \mathbf{x} = 0$, với \mathbf{x} là một vector khác không bất kỳ.

Tay máy robot được truyền động bởi các cơ cấu truyền động không phải là lý tưởng và có xét đến sự tồn tại của các vùng chết. Đầu ra $\boldsymbol{\tau}$ của các cơ cấu truyền động là hàm số của tín hiệu vào $\mathbf{u} \in \mathfrak{R}^n$ mà chúng ta phải thiết kế. Giả thiết rằng vùng chết ở mỗi khớp không ảnh hưởng đến các khớp khác, chúng ta có thể biểu diễn vector đầu vào bằng phương trình sau:

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{D}_d(\mathbf{u}) \quad (3.4)$$

Mô hình toán học của vùng chết không đối xứng xuất hiện trong cơ cấu truyền động của tay máy robot được biểu diễn bởi phương trình sau:

$$\tau_i = D_d(u_i) = \begin{cases} u_i - d_{i+}, & \text{for } d_{i+} \leq u_i \\ 0, & \text{for } d_{i-} \leq u_i \leq d_{i+} \\ u_i + d_{i-}, & \text{for } u_i \leq -d_{i-} \end{cases} \quad (3.5)$$

trong đó d_{i+} và d_{i-} là các kích thước của vùng chết, $i = 1, 2, \dots, n$.

Cuối cùng, mô hình động lực học của tay máy robot công nghiệp với sự tồn tại của các thành phần sai số mô hình, ma sát, các nhiễu loạn và có xét đến các vùng chết của cơ cấu truyền động được viết lại như sau:

$$\hat{\mathbf{M}}\ddot{\mathbf{q}} + \hat{\mathbf{C}}\dot{\mathbf{q}} + \hat{\mathbf{G}} + \mathbf{T}_u = \mathbf{u} - \text{sat}_d(\mathbf{u}) \quad (3.6)$$

trong đó:

$$\text{sat}_{d_i}(u_i) = \begin{cases} d_{i+}, & \text{for } d_{i+} \leq u_i \\ 0, & \text{for } d_{i-} \leq u_i \leq d_{i+} \\ d_{i-}, & \text{for } u_i \leq -d_{i-} \end{cases} \quad (3.7)$$

3.2. Cấu trúc của mạng nơ-ron kết hợp với logic mờ và hàm wavelet

Cấu trúc của mạng FWNN mà đề tài sử dụng được biểu diễn như trên hình 3.1. Mạng này có m đầu vào, n đầu ra và có thể được mô tả bằng một tập hợp các luật sau đây [C.-K. Lin, 2009]:

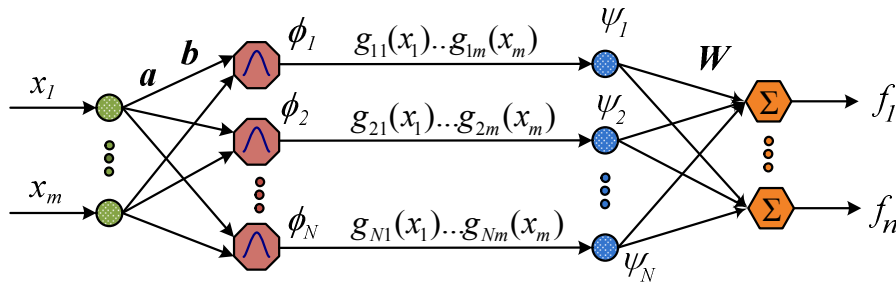
R_j (luật thứ j): **NEÛ** x_1 là A_{j1} và x_2 là A_{j2} và ... và x_m là A_{jm}

THÌ $f_1 = w_{1j}g_{j1}(x_1)\dots g_{jm}(x_m)$ và

$f_2 = w_{2j}g_{j1}(x_1)\dots g_{jm}(x_m), \dots$, và

$f_n = w_{nj}g_{j1}(x_1)\dots g_{jm}(x_m)$ với $j = 1, 2, \dots, N$,

trong đó x_i là biến đầu vào thứ i , $i = 1, 2, \dots, m$; f_k là biến đầu ra thứ k , $k = 1, 2, \dots, n$; A_{ji} là một tập mờ của biến x_i đối với luật mờ thứ j là R_j ; B_{kj} là một tập mờ của biến f_k của luật mờ thứ j là R_j ; và N là số luật hợp thành.



Hình 3.1 – Cấu trúc của mạng FWNN

Các đầu ra của mạng FWNN có thể được biểu diễn bởi phương trình:

$$f_k = \sum_{j=1}^N w_{kj} \psi_j(\mathbf{x}), \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (3.8)$$

$$\mathbf{f}_{FWNN} = \mathbf{W}^T \boldsymbol{\Psi}(\mathbf{x}, \mathbf{a}, \mathbf{b}) \quad (3.9)$$

trong đó $f_{FWNN} = [f_1, f_2, \dots, f_n]^T \in \mathcal{R}^n$ là vector đầu ra; $W = [w_{kj}]$ là một ma trận trọng số đầu ra kích thước $N \times n$; và $\Psi(x, a, b) = [\psi_1(x), \psi_2(x), \dots, \psi_N(x)]^T$ là vector hàm cơ sở mờ wavelet.

Các vector của các tham số lan tỏa và tịnh tiến tương ứng được viết bởi các phương trình sau:

$$a = [a_{11} \ a_{12} \ \dots \ a_{1m} \ a_{21} \ a_{22} \ \dots \ a_{2m} \ a_{N1} \ a_{N2} \ \dots \ a_{Nm}]^T \in \mathcal{R}^{mN} \quad (3.10)$$

$$b = [b_{11} \ b_{12} \ \dots \ b_{1m} \ b_{21} \ b_{22} \ \dots \ b_{2m} \ b_{N1} \ b_{N2} \ \dots \ b_{Nm}]^T \in \mathcal{R}^{mN} \quad (3.11)$$

3.3. Thiết kế bộ điều khiển thích nghi cho tay máy robot công nghiệp sử dụng mạng FWNN để bù vùng chết và các thành phần bất định

Cho trước một quỹ đạo mong muốn $q_d \in \mathcal{R}^n$ của khâu chấp hành cuối của tay máy robot, sai số của hệ thống được định nghĩa bởi:

$$e = q - q_d \quad (3.12)$$

Bộ lọc của sai số hệ thống được định nghĩa bởi:

$$r = \dot{e} + \Gamma e = \dot{q} - \dot{q}_d \quad (3.13)$$

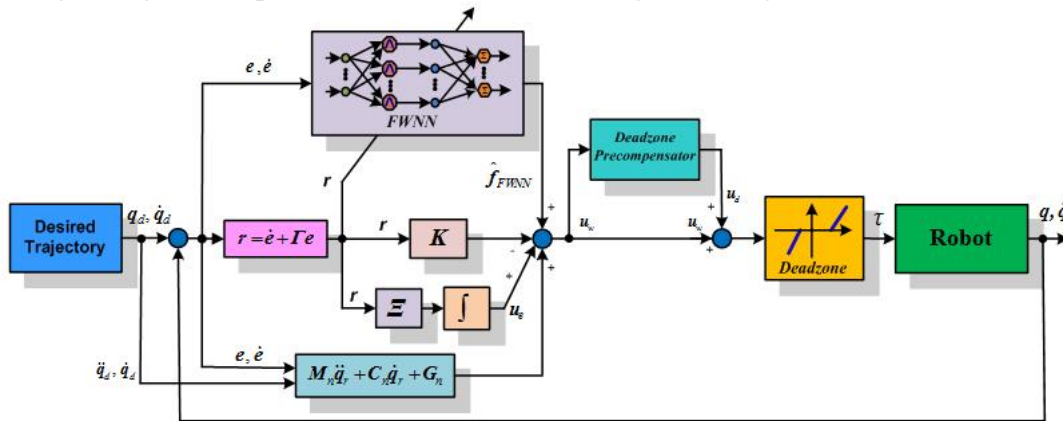
trong đó $\Gamma = \Gamma^T > 0$ là ma trận tham số có giá trị tùy vào thiết kế, và $\dot{q}_r = \dot{q}_d - \Gamma e$ được định nghĩa là vector vận tốc tham chiếu.

Sơ đồ khối của bộ điều khiển thích nghi mà đề tài đề xuất cho tay máy robot công nghiệp có xét đến đồng thời cả vùng chết và các thành phần bất định được thể hiện ở trên hình 3.2.

Phương trình của bộ điều khiển thích nghi được viết như sau:

$$u = M_n \ddot{q}_r + C_n \dot{q}_r + G_n + u_d + \hat{f}_{FWNN} + u_e - Kr \quad (3.14)$$

trong đó u_d là bộ bù trước cho vùng chết; \hat{f}_{FWNN} là đầu ra của mạng FWNN có cấu trúc đã được mô tả ở trên để học online các thành phần bất định của tay máy robot. Vector ước lượng sai số u_e được sử dụng để bù các sai số. Thành phần Kr được sử dụng để tăng thêm sự bền vững của hệ thống. K là một ma trận đường chéo xác định dương, trong đó các phần tử của K đều là các hằng số dương.



Hình 3.2 – Sơ đồ khối của bộ điều khiển thích nghi mà đề tài đề xuất

Trong đề tài này, chúng tôi đề xuất các luật cập nhật tham số online cho mạng FWNN, bộ bù trước vùng chết và bộ ước lượng sai số như sau:

$$\dot{W} = -A_1 \Psi r^T \quad (3.15)$$

$$\dot{\hat{\mathbf{a}}} = -\mathbf{A}_2 \mathbf{P} \hat{\mathbf{W}} \mathbf{r} \quad (3.16)$$

$$\dot{\hat{\mathbf{b}}} = -\mathbf{A}_3 \mathbf{Q} \hat{\mathbf{W}} \mathbf{r} \quad (3.17)$$

$$\dot{\hat{\mathbf{D}}} = -\mathbf{A}_4 \bar{\xi} \mathbf{r}^T \quad (3.18)$$

$$\dot{\mathbf{u}}_e = -\mathbf{A}_5 \mathbf{r} \quad (3.19)$$

$$\mathbf{u}_e = -\mathbf{A}_5 \int \mathbf{r} dt + \mathbf{Z} \quad (3.20)$$

Các luật cập nhật này được thực hiện online trong quá trình tay máy robot được điều khiển bám theo một quỹ đạo cho trước mà không cần qua một giai đoạn học offline nào.

3.4. Phân tích tính ổn định của hệ thống

Để phân tích tính ổn định của hệ thống, hàm Lyapunov được chọn như sau:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 \quad (3.21)$$

trong đó: $V_1 = \frac{1}{2} \mathbf{r}^T \mathbf{M}_n \mathbf{r}$, $V_2 = \frac{1}{2} \text{tr} \{ \tilde{\mathbf{D}}^T \mathbf{A}_4^{-1} \tilde{\mathbf{D}} \}$, $V_3 = \frac{1}{2} \text{tr} \{ \tilde{\mathbf{W}}^T \mathbf{A}_1^{-1} \tilde{\mathbf{W}} \}$,

$$V_4 = \frac{1}{2} \text{tr} \{ \tilde{\mathbf{a}}^T \mathbf{A}_2^{-1} \tilde{\mathbf{a}} \}, V_5 = \frac{1}{2} \text{tr} \{ \tilde{\mathbf{b}}^T \mathbf{A}_3^{-1} \tilde{\mathbf{b}} \}, V_6 = \frac{1}{2} \text{tr} \{ \tilde{\mathbf{u}}_e^T \mathbf{A}_5^{-1} \tilde{\mathbf{u}}_e \}.$$

Rõ ràng V_1, V_2, V_3, V_4, V_5 và V_6 đều là các hàm xác định dương. Vì vậy, V là một hàm xác định dương.

Cuối cùng, chúng ta có kết quả đạo hàm của hàm Lyapunov như sau:

$$\dot{V} = -\mathbf{r}^T \mathbf{K} \mathbf{r} \leq 0 \quad (3.22)$$

Bởi vì \mathbf{K} là một ma trận đường chéo xác định dương, $\dot{V} = 0$ chỉ khi $\mathbf{r} = \mathbf{0}$. Vì vậy, từ phương trình trên chúng ta có thể thấy hệ thống điều khiển ổn định tiệm cận đối với \mathbf{r} . Điều này có nghĩa là:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \mathbf{e} = 0 \xrightarrow{\text{yields}} \lim_{t \rightarrow \infty} \mathbf{q} = \mathbf{q}_d$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \dot{\mathbf{e}} = 0 \xrightarrow{\text{yields}} \lim_{t \rightarrow \infty} \dot{\mathbf{q}} = \dot{\mathbf{q}}_d$$

Do đó, chúng ta có thể kết luận là hệ thống ổn định.

CHƯƠNG 4. MÔ PHỎNG VÀ KIỂM CHỨNG

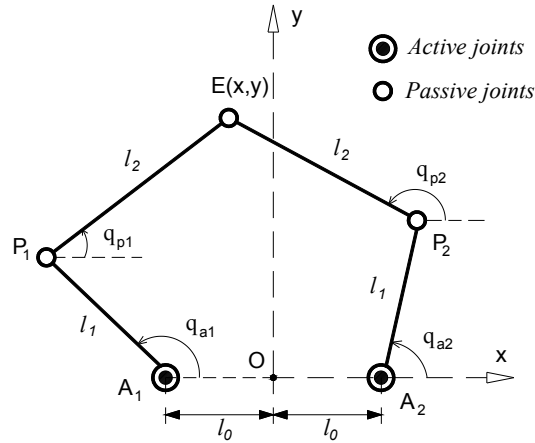
4.1. Mô hình động lực học tay máy robot song song phẳng 2 bậc tự do có xét đến sự xuất hiện của vùng chết trong cơ cấu truyền động

Mô hình động lực học của tay máy robot song song phẳng hai bậc tự do trong trường hợp chưa xét đến vùng chết đã được trình bày trong tài liệu [T. D. Le, 2013]. Khi xét đến cả vùng chết của cơ cấu truyền động, mô hình động lực học của tay máy robot này có thể được viết lại như sau:

$$\hat{\mathbf{M}}_a \ddot{\mathbf{q}}_a + \hat{\mathbf{C}}_a \dot{\mathbf{q}}_a + \mathbf{T}_{u,a} = \mathbf{u}_a - \text{sat}_d(\mathbf{u}_a) \quad (4.1)$$

Trong đó, chỉ số dưới a thể hiện mô hình được xây dựng trong hệ tọa độ gắn với các khớp chủ động; $\mathbf{q}_a = [q_{a1}, q_{a2}]^T$ là vector vị trí của các khớp chủ động; $\dot{\mathbf{q}}_a = [\dot{q}_{a1}, \dot{q}_{a2}]^T$ và $\ddot{\mathbf{q}}_a = [\ddot{q}_{a1}, \ddot{q}_{a2}]^T$ tương ứng là các vector vận tốc và gia tốc của các

khớp chủ động; $\mathbf{u}_a = [u_{a1}, u_{a2}]^T$ là vector của các đầu vào điều khiển truyền động cho các khớp chủ động A_1 và A_2 ; và $sat_d(\mathbf{u}_a)$ biểu diễn cho các vùng chết ở đầu vào. Sơ đồ động học của tay máy robot song song phẳng 2 bậc tự do được thể hiện như ở trên hình 4.2.



Hình 4.1 – Sơ đồ động học của tay máy robot song song phẳng hai bậc tự do

4.2. Mô phỏng so sánh sự thực thi của các thuật toán điều khiển

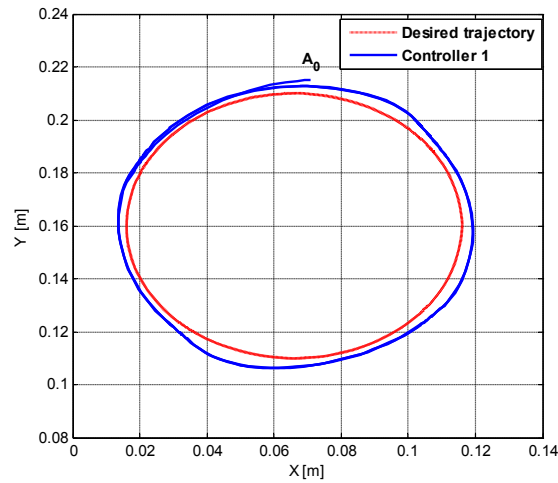
Để kiểm chứng sự hiệu quả của bộ điều khiển thích nghi mà đề tài đã đề xuất, các bộ điều khiển sau đây được lập trình mô phỏng cho tay máy robot song song phẳng hai bậc tự do và so sánh kết quả với nhau:

+ **Bộ điều khiển 1:** Bộ điều khiển không có chứa thành phần $\hat{\mathbf{f}}_{FWNN}$ của mạng FWNN và có thành phần bù trước vùng chết \mathbf{u}_d .

+ **Bộ điều khiển 2:** Bộ điều khiển có chứa thành phần $\hat{\mathbf{f}}_{FWNN}$ của mạng FWNN nhưng không có chứa thành phần bù trước vùng chết \mathbf{u}_d .

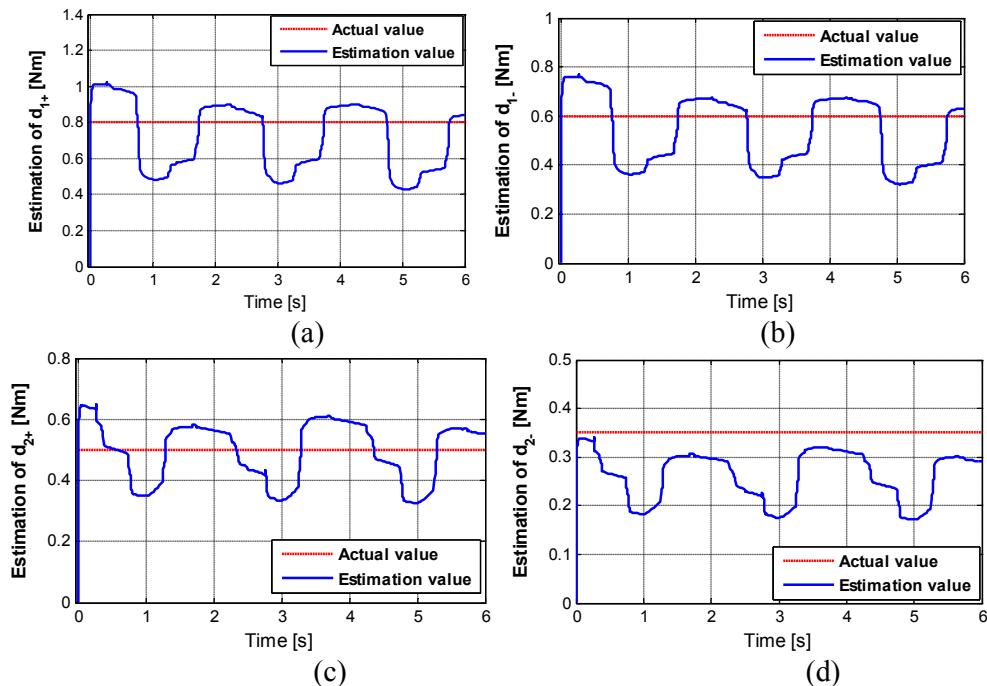
+ **Bộ điều khiển 3:** Bộ điều khiển với đầy đủ các thành phần đã đề xuất ở chương 3.

Mô phỏng được thực hiện cho các trường hợp khi điểm chấp hành cuối của tay máy robot được điều khiển để bám theo một quỹ đạo đường tròn trên mặt phẳng XY. Tọa độ của tâm đường tròn là (0.066, 0.16) và bán kính đường tròn là 0.05. Điểm xuất phát ban đầu của khâu chấp hành cuối của tay máy robot là $\mathbf{A}_0(0.071, 0.215)$. Tay máy robot bị tác động bởi lực nhiễu loạn từ bên ngoài là $\boldsymbol{\tau}_d(t) = [T_{L1}(t), T_{L2}(t)]^T = [1, 1]^T$ tại thời điểm $t = 2.5s$. Thời gian mô phỏng là 6 giây trong đó điểm cuối của robot chuyển động vẽ đường tròn 3 lần.

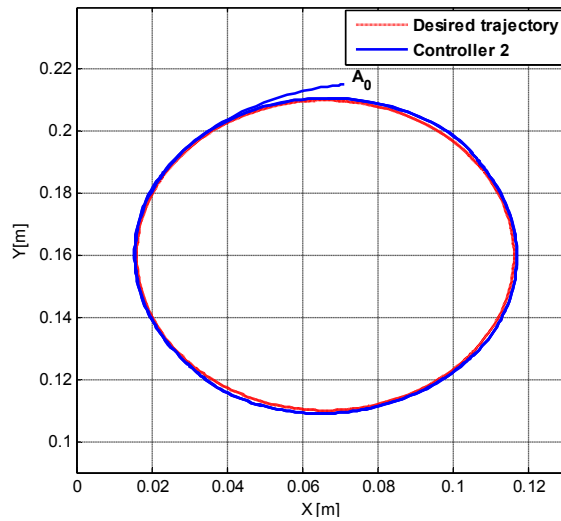


Hình 4.2 – Kết quả điều khiển bám theo đường tròn khi dùng bộ điều khiển 1

Hình 4.2 cho thấy kết quả chuyển động của điểm cuối bám theo đường tròn trong trường hợp dùng bộ điều khiển 1. Chúng ta có thể thấy kết quả điều khiển bám quỹ đạo của robot không tốt do ảnh hưởng của thành phần bất định lớn. Kết quả ước lượng của các kích thước vùng chết được thể hiện như trên hình 4.3. Có thể thấy rằng các giá trị ước lượng không hội tụ về giá trị thực. Nguyên nhân của kết quả này là sự tồn tại sai số lớn giữa quỹ đạo thực và quỹ đạo yêu cầu.

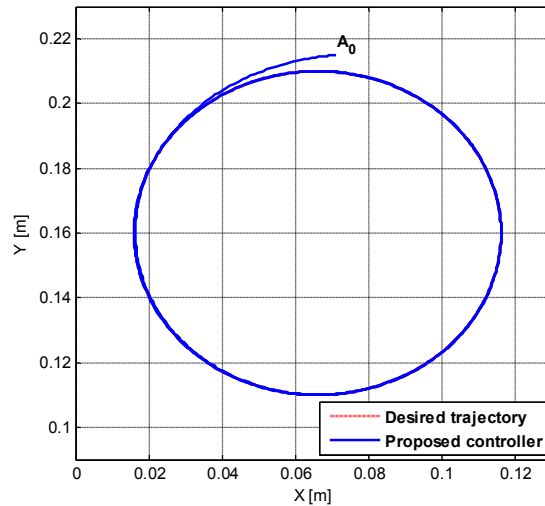


Hình 4.3 – Các kết quả ước lượng của kích thước vùng chết khi sử dụng bộ điều khiển 1: (a) \hat{d}_{1+} ; (b) \hat{d}_{1-} ; (c) \hat{d}_{2+} ; (d) \hat{d}_{2-}



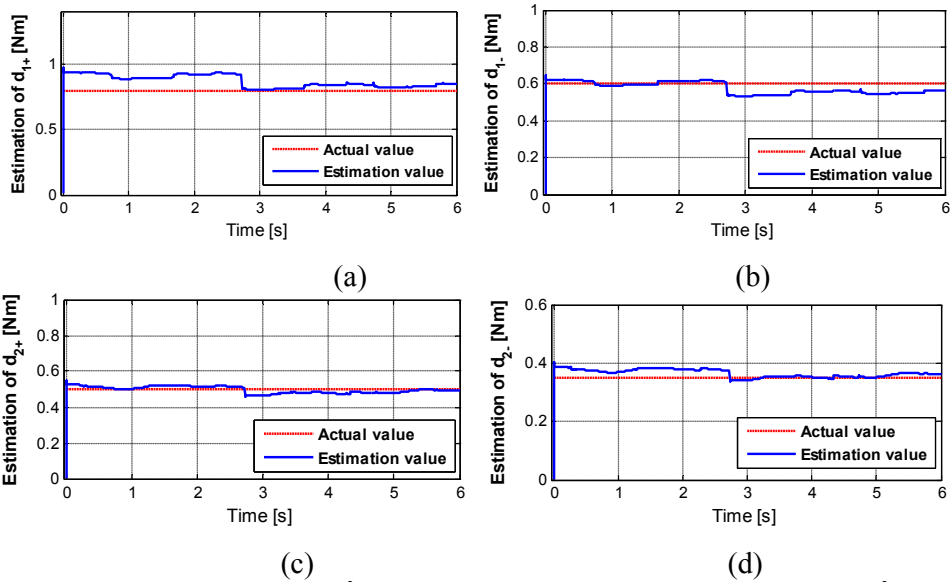
Hình 4.4 – Kết quả điều khiển bám theo đường tròn khi dùng bộ điều khiển 2

Kết quả mô phỏng bám quỹ đạo cho trường hợp sử dụng bộ điều khiển 2 được thể hiện như trên hình 4.4. Khi so sánh với kết quả trên đồ thị hình 4.2 của bộ điều khiển 1, có thể thấy ảnh hưởng của các thành phần bất định và nhiễu loạn của tay máy robot nhiều hơn ảnh hưởng của vùng chết. Nguyên nhân là trong trường hợp tay máy robot song song có cấu trúc phức tạp, các thành phần bất định như sai số mô hình, ma sát lớn làm kết quả điều khiển xấu đi nếu không được bù.

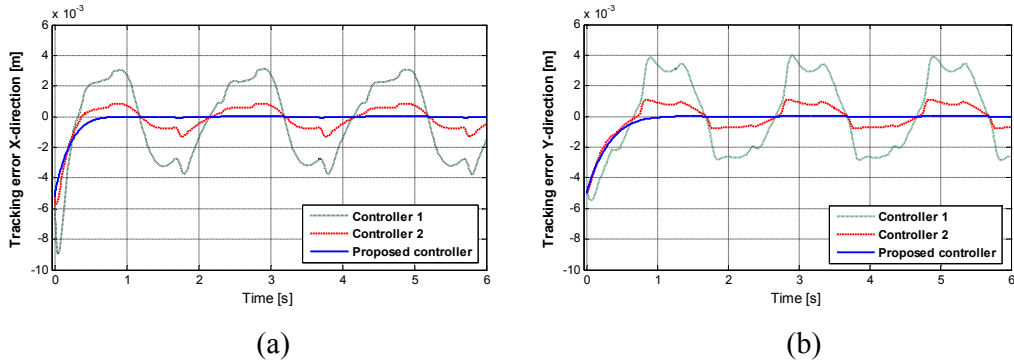


Hình 4.5 – Kết quả điều khiển bám theo đường tròn khi dùng bộ điều khiển đã đề xuất

Hình 4.5 cho kết quả điều khiển bám theo quỹ đạo đường tròn trong trường hợp dùng bộ điều khiển đã đề xuất (3.23). Các kết quả ước lượng kích thước vùng chết được thể hiện trên hình 4.7. Có thể thấy rằng các giá trị ước lượng vùng chết gần với giá trị thực của chúng. Điều này cho thấy các thành phần bất định có ảnh hưởng đến việc ước lượng kích thước của các vùng chết, và bộ điều khiển thích nghi mà đề tài đã đề xuất có khả năng hội tụ giá trị ước lượng về với giá trị thực của các kích thước vùng chết.



Hình 4.6 – Các kết quả ước lượng của kích thước vùng chết khi sử dụng bộ điều khiển đã đề xuất: (a) \hat{d}_{1+} ; (b) \hat{d}_{1-} ; (c) \hat{d}_{2+} ; (d) \hat{d}_{2-}



Hình 4.8 – So sánh các sai số quỹ đạo: (a) Theo trục X, (b) Theo trục Y

Kết quả so sánh sai số các quỹ đạo trong 3 trường hợp được thể hiện trên hình 4.6. Từ kết quả đồ thị cho thấy, các sai số gây ra khi sử dụng bộ điều khiển 2 nhỏ hơn so với trường hợp sử dụng bộ điều khiển 1. Đặc biệt, bộ điều khiển thích nghi mà đề tài đề xuất mang lại sai số nhỏ nhất trong 3 trường hợp. Điều này có nghĩa rằng bộ điều khiển thích nghi mà đề tài đề xuất đã nâng cao chất lượng điều khiển hệ thống so với các kết quả đi trước.

KẾT LUẬN, KIẾN NGHỊ VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Kết luận

Trong báo cáo này, nhóm tác giả đã khảo sát vấn đề sự xuất hiện vùng chết và phương pháp bù vùng chết trong điều khiển tay máy robot công nghiệp. Dựa trên các phương trình Lagrange, mô hình động lực học tổng quát của tay máy robot công nghiệp đã được xây dựng có xét đến sự tồn tại đồng thời của vùng chết và các thành phần bất định khác như sai số mô hình, các lực ma sát và các nhiễu loạn từ bên ngoài. Trên cơ sở mô hình này, một bộ điều khiển thích nghi mới sử dụng mạng nơ-ron kết hợp với logic mờ và hàm wavelet (FWNN) có khả năng tự chỉnh đã được đề xuất để có khả năng bù đồng thời các vùng chết và các thành phần bất định của robot. Bộ điều khiển thích nghi cấu thành từ 5 phần: Phần 1 dựa trên mô hình động lực học của tay máy robot và các bộ lọc sai số; phần 2 là một bộ bù trước, trong đó các giá trị tham số ước lượng của vùng chết $\hat{D} = [\hat{d}_+ \hat{d}_-]^T$ được sử dụng để bù vùng chết ở đầu vào; phần 3 là mạng FWNN được sử dụng để học và xấp xỉ các thành phần bất định của tay máy robot; phần 4 là một bộ ước lượng sai số để bù những sai số xấp xỉ của mạng FWNN, sai số của bộ bù vùng chết và các thành phần bậc cao của khai triển chuỗi Taylor; và phần cuối cùng là thành phần nâng cao sự bền vững của hệ thống. Các tham số của mạng FWNN được tự động chỉnh định online trong quá trình điều khiển robot bám theo quỹ đạo mong muốn. Sự ổn định của hệ thống khi sử dụng bộ điều khiển thích nghi cùng với các thuật toán chỉnh định online đã được chứng minh dựa trên lý thuyết Lyapunov. Các kết quả mô phỏng đã chứng minh tính hiệu quả của bộ điều khiển được thiết kế, đáp ứng yêu cầu đặt ra.

Kiến nghị

Các tay máy robot công nghiệp đóng một vai trò quan trọng và được sử dụng trong rất nhiều các hệ thống sản xuất tự động hóa. Tuy nhiên, sự có mặt của các vùng chết trong cơ cấu chấp hành làm hạn chế chất lượng điều khiển của tay máy robot và gây ra các sai số. Do đó kết quả đề tài có thể được sử dụng góp phần hoàn thiện lý thuyết điều khiển cho tay máy robot công nghiệp và nâng cao hơn nữa chất lượng làm việc và mở rộng khả năng ứng dụng của tay máy robot công nghiệp trong thực tế, nhất là đối với những ứng dụng đòi hỏi chất lượng và độ chính xác cao.

Hướng phát triển

Một số hướng phát triển của đề tài trong tương lai bao gồm:

- Khảo sát chi tiết hơn đặc tính động lực học của tay máy robot xét đến cả động lực học của các motor và hệ truyền động của các khớp.
- Trên cơ sở đó, xây dựng mô hình thực tế để kiểm nghiệm lại những kết quả thu được từ lý thuyết.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A. K. Alexandridis and A. D. Zaprani, "Wavelet neural networks: A practical guide," *Neural Networks*, vol. 42, pp. 1-27, 2013.
- [2] Bai, Er-Wei. "Adaptive dead zone inverses for possibly nonlinear control systems." *Adaptive control of nonsmooth dynamic systems*. Springer London, 2001. 31-47.
- [3] Bessa, Wallace M., Max S. Dutra, and Edwin Kreuzer. "Sliding mode control with adaptive fuzzy dead-zone compensation of an electro-hydraulic servo-system." *Journal of Intelligent and Robotic Systems* 58.1 (2010): 3-16.
- [4] C.-K. Lin, "H ∞ reinforcement learning control of robot manipulators using fuzzy wavelet networks," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 160, pp. 1765-1786, 2009.
- [5] Campos, Javier, and Frank L. Lewis. "Deadzone compensation in discrete time using adaptive fuzzy logic." *Fuzzy Systems, IEEE Transactions on* 7.6 (1999): 697-707.
- [6] D. W. C. Ho, Z. Ping-Au, and X. Jinhua, "Fuzzy wavelet networks for function learning," *Fuzzy Systems, IEEE Transactions on*, vol. 9, pp. 200-211, 2001.
- [7] D. Le Tien, K. Hee-Jun, and R. Young-Shick, "Robot manipulator modeling in Matlab-SimMechanics with PD control and online gravity compensation," in *Strategic Technology (IFOST), 2010 International Forum on*, 2010, pp. 446-449.
- [8] Hu, Chuxiong, Bin Yao, and Qingfeng Wang. "Adaptive robust precision motion control of systems with unknown input dead-zones: A case study with comparative experiments." *Industrial Electronics, IEEE Transactions on* 58.6 (2011): 2454-2464.
- [9] Hu, Chuxiong, Bin Yao, and Qingfeng Wang. "Performance-oriented adaptive robust control of a class of nonlinear systems preceded by unknown dead zone with comparative experimental results." *Mechatronics, IEEE/ASME Transactions on* 18.1 (2013): 178-189.
- [10] Han, Seong Ik, et al. "Robust adaptive deadzone and friction compensation of robot manipulator using RWC MAC network." *Journal of mechanical science and technology* 25.6 (2011): 1583-1594.
- [11] J. Cao, Z. Lin, and G.-b. Huang, "Composite function wavelet neural networks with extreme learning machine," *Neurocomputing*, vol. 73, pp. 1405-1416, 2010.
- [12] Lê Hoài Quốc, Chung Tấn Lâm, *Nhập môn robot công nghiệp*, Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, Hà Nội, 2007.
- [13] Lê Tiến Dũng và Đoàn Quang Vinh, "Adaptive Sliding Mode Control of Robot Manipulators Using Radial Basis Function Networks and Error Estimators", *Kỷ yếu hội nghị toàn quốc về điều khiển và tự động hóa VCCA 2013*, trang 1-8, năm 2013.
- [14] Le, Tien Dung, and Hee-Jun Kang. "An Adaptive Controller Using Wavelet Network for Five-Bar Manipulators with Deadzone Inputs." *Emerging Intelligent Computing Technology and Applications*. Springer Berlin Heidelberg, 2013. 159-164.

- [15] Lewis, F. L., et al. "Deadzone compensation in motion control systems using adaptive fuzzy logic control." *Control Systems Technology, IEEE Transactions on* 7.6 (1999): 731-742.
- [16] N. Chauhan, V. Ravi, and D. Karthik Chandra, "Differential evolution trained wavelet neural networks: Application to bankruptcy prediction in banks," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, pp. 7659-7665, 2009.
- [17] Nguyễn Trọng Doanh, "Thiết kế hệ thống đo độ chính xác lập cho robot công nghiệp", *Tạp chí khoa học và công nghệ các trường đại học kỹ thuật*, Nhà xuất bản Bách khoa Hà Nội, tr. 25-29, 2008.
- [18] Nguyễn Phùng Quang, "Những điều cần biết về điều khiển robot", *Tạp chí Tự động hóa ngày nay* số 68, tr. 49-52, 2006.
- [19] Phạm Đình Long, *Nghiên cứu, khảo sát các đặc tính làm việc của hệ thống chấp hành của robot công nghiệp*, Luận án tiến sỹ kỹ thuật, Đại học Thái Nguyên, 2009.
- [20] Q. Zhang and A. Benveniste, "Wavelet networks," *Neural Networks, IEEE Transactions on*, vol. 3, pp. 889-898, 1992.
- [21] R. H. Abiyev and O. Kaynak, "Fuzzy Wavelet Neural Networks for Identification and Control of Dynamic Plants; A Novel Structure and a Comparative Study," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 55, pp. 3133-3140, 2008.
- [22] Selmic, Rastko R., and Frank L. Lewis. "Deadzone compensation in motion control systems using neural networks." *Automatic Control, IEEE Transactions on* 45.4 (2000): 602-613.
- [23] S. Srivastava, M. Singh, M. Hanmandlu, and A. N. Jha, "New fuzzy wavelet neural networks for system identification and control," *Applied Soft Computing*, vol. 6, pp. 1-17, 2005.
- [24] T. D. Le, Hee-Jun Kang, and Young-Soo Suh, "Chattering-Free Neuro-Sliding Mode Control of 2-DOF Planar Parallel Manipulators," *INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED ROBOTIC SYSTEMS*, vol. 10, 2013.
- [25] Tong, Shaocheng, and Yongming Li. "Adaptive fuzzy output feedback tracking backstepping control of strict-feedback nonlinear systems with unknown dead zones." *Fuzzy Systems, IEEE Transactions on* 20.1 (2012): 168-180.
- [26] Wang, Xing-Song, Chun-Yi Su, and Henry Hong. "Robust adaptive control of a class of nonlinear systems with unknown dead-zone." *Automatica* 40.3 (2004): 407-413.
- [27] Zhou, Jing, Changyun Wen, and Tieshan Li. "Adaptive output feedback control of uncertain nonlinear systems with hysteresis nonlinearity." *Automatic Control, IEEE Transactions on* 57.10 (2012): 2627-2633.