

Hội Tự động hóa Việt Nam  
Đại học Bách khoa Hà Nội  
Công ty cổ phần Hội chợ triển lãm và quảng cáo Việt Nam VIETFAIR



## TUYỂN TẬP

HỘI NGHỊ - TRIỂN LÃM QUỐC TẾ LẦN THỨ 5  
VỀ ĐIỀU KHIỂN VÀ TỰ ĐỘNG HÓA VCCA-2019

6-7 tháng 9 năm 2019



VCCA-2019



VCCI

PHÒNG THƯƠNG MẠI VÀ CÔNG NGHIỆP VIỆT NAM



Hà Nội 2019

ISBN: 978-604-95-0875-2





09:15 – 09:30	76	Thiết kế, chế tạo robot nhằm tự động hóa trạm công nghệ gia công nóng	Chu Anh Mỹ, Vương Tiến Trung, Đào Văn Lưu, Nguyễn Thanh Tiên
09:30 – 09:45	83	Thiết kế, mô phỏng và chế tạo tay kẹp rô bốt mềm để cầm nắm các đối tượng có hình dạng bất kỳ	Trần Anh Vàng, Phùng Văn Bình, Văn Thế Nam
09:45 – 10:00	118	Tổng hợp điều khiển theo đầu ra cho tay máy có tính đến động học của động cơ chấp hành và yếu tố bất định trên cơ sở phân chia chuyển động	Bùi Đức Cường, Nguyễn Thanh Tiên, Dương Ngọc Khang, Phùng Mạnh Hùng
10:00 – 10:15	37	Về một phương pháp thiết kế bộ điều khiển trượt thích nghi cho Robot công nghiệp	Nguyễn Hoa Lưu, Đặng Thái Sơn, Lê Văn Chương, Hồ Sỹ Phương, Tạ Hùng Cường, Dương Đình Tú, Mai Thế Anh, Phan Văn Dư
10:15 – 10:30	96	Inverse kinematics analysis for a spatial multi-section continuum robot by using a closed-loop algorithm	Dương Xuân Bien, Chu Anh Mỹ

**Phòng họp HT 2: Cung Văn hóa Lao động Hữu nghị Việt-Xô**

Thời gian	Bài số	Tên báo cáo	Tác giả
<p><i>Tiểu ban 15</i>  <b>Điều khiển xe tự hành, rô bốt di động</b>  <i>Đồng Trưởng Tiểu ban</i>  <b>PGS. TS Hồ Phạm Huy Ánh, PGS. TS Tạ Cao Minh</b></p>			
08:30–08:45	30	Ứng dụng STM32 và Esp8266 điều khiển xe sinh thái UTC tại cuộc thi “Lái xe sinh thái tiết kiệm nhiên liệu Honda 2018	Trịnh Lương Miên, Trương Mạnh Hùng
08:45–09:00	126	Traction Control System of Electric Vehicles based on Sliding Mode Controller	Nguyễn Kim Tốt, Nguyễn Văn Nam, Võ Duy Thành, Tạ Cao Minh
09:00–09:15	127	Điều khiển lực kéo của xe ô tô điện trên cơ sở bộ điều khiển mờ kết hợp ước lượng hệ số ma sát	Đoàn Trung Kiên, Trần Minh Tuấn, Tô Thanh Tùng, Võ Duy Thành, Tạ Cao Minh
09:15–09:30	129	Study on Modeling and Simulation of Small Humanoid Robot Balance using movable mass	Nguyễn Xuân Tiên, Trần Minh Đạt, Nguyễn Huy Hùng, Nguyễn Tấn Tiến, và Nguyễn Thanh Phương
09:30–09:45	15	Trajectory Tracking Control Using Dynamic Surface Control Technique For Car Driving Simulator	Duyen Ha Thi Kim, Tien Ngo Manh, Ngọc Phạm Văn Bach, Cuong Nguyen Manh, Dinh Nguyen Duc, Dung Phạm Tiên, Manh Tran Van



<sup>1</sup>Học Viện Kỹ Thuật Quân Sự

Email: vangtranh@lqdtu.edu.vn

This study presents the design of a soft, three-fingers, pneumatic-driven robotic gripper for grasping the objects with the arbitrary size and shape. The gripper consists of one rigid connector and three soft fingers. Each soft finger is driven by pneumatic pressure. The finite element model (FEM) in Abaqus was used to simulate and analyze the bending curvature and displacement of these soft fingers. These fingers were fabricated by traditional casting process with the silicone RTV 225 material. The fabrication process of the fingers was also presented. To demonstrate the effectiveness of the proposed design, a series of experiments on a single finger as well as the SCORBOT ER 4u robotic arm were carried out. The experimented results show that the developed robotic soft gripper can grasp the objects with the sizes between 30 and 100 mm, arbitrary shape, and greatest payload of 137,7g.

Nghiên cứu này trình bày thiết kế của một tay kẹp rô bốt mềm, ba ngón, truyền động bằng khí nén sử dụng cho việc cầm nắm các đối tượng có hình dạng và kích thước bất kỳ. Tay kẹp mềm bao gồm một cụm kết nối và ba ngón tay mềm. Mỗi ngón tay mềm được truyền động nhờ áp suất khí nén. Mô hình phần tử hữu hạn (FEM) trong Abaqus được sử dụng để mô phỏng và phân tích độ cong và chuyển vị của tay gấp. Các ngón tay mềm được chế tạo bằng phương pháp đúc truyền thống với vật liệu silicocone RTV 225. Một quy trình chế tạo các ngón tay mềm cũng đã được đưa ra. Để đánh giá hiệu quả của thiết kế này, một loạt các thí nghiệm trên một ngón tay cũng như lắp lên cánh tay rô bốt SCORBOT ER 4u đã được thực hiện. Các kết quả thực nghiệm chỉ ra rằng tay gấp rô bốt mềm đã phát triển có thể cầm nắm được các đối tượng có kích thước từ 30 đến 100 mm, hình dạng bất kỳ, trọng lượng lớn nhất là 137,7 g.

**TB14.6** 09:45 – 10:00 hrs

**[P118]** Tổng hợp điều khiển theo đầu ra cho tay máy có tính đến động học của động cơ chấp hành và yếu tố bất định trên cơ sở phân chia chuyển động.

Output feedback control of robotic manipulator with coupled kinematic model of actuator and uncertainties based on separated motions.

Bùi Đức Cường, Nguyễn Thanh Tiên, Dương Ngọc

Khang, Phùng Mạnh Hùng

Học viện Kỹ thuật quân sự-Khoa Kỹ thuật điều khiển

Email: ngttienkd@gmail.com

This paper presents the synthetic of output feedback control for a robot manipulator model in spite of coupled kinematic and uncertainties of actuators based on separated motions: derivatives of the positions, velocities and moments (currents) while only manipulator's positions are available. In this paper kinematic model of a robot manipulator is established. Using sliding mode controller, the control algorithm for manipulator is designed in Cartesian space and joint space. Then the

simulation with two-link manipulator is presented in Matlab/Simulink workspace. Results of simulation prove the convergence of tracking error and form of control voltage of actuators.

Bài báo đề cập đến vấn đề tổng hợp điều khiển tay máy robot có xét đến động học động cơ chấp hành, có chứa các yếu tố nhiễu loạn bất định trong mô hình trên cơ sở phân chia chuyển động: Dịch chuyển vị trí, tốc độ và mô men (dòng điện). Trong bài báo xây dựng mô hình động học của tay máy. Trình bày thuật toán điều khiển tổng quát trong chế độ trượt với biến không gian khớp và không gian công tác. Thực hiện mô phỏng với mô hình tay máy 2 khâu trong môi trường Matlab-Simulink. Kết quả mô phỏng chứng minh tính hội tụ của sai số bám sát, dạng điện áp điều khiển đặt vào động cơ.

**TB14.7** 10:00 – 10:15 hrs

**[P37]** Về một phương pháp thiết kế bộ điều khiển trượt thích nghi cho Robot công nghiệp.

A novel adaptive sliding mode controller for robot manipulators using RBF neural model.

Nguyễn Hoa Lưu<sup>1</sup>, Đặng Thái Sơn<sup>1</sup>, Lê Văn Chương<sup>1\*</sup>,

Hồ Sỹ Phương<sup>1</sup>, Tạ Hùng Cường<sup>1</sup>, Dương Đình Tú<sup>1</sup>,

Mai Thế Anh<sup>1</sup>, Phan Văn Dư<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Vinh

Email: chuonglv@vinhuni.edu.vn

The paper presents a new method for designing adaptive sliding mode controllers for robot manipulators. This is an object with strong nonlinear features with change in a wide range of the kinematic parameters and unpredictability of external disturbance. The control law is synthesized based on sliding mode control principle; the nonlinear functions are approximated by radial neural networks whose weights adjusted by adaptive control laws. The proposed controller is used to control a two link robot manipulator. Matlab Simulink platform is used to simulate and evaluate the controller performance.

Bài báo trình bày phương pháp thiết kế bộ điều khiển trượt thích nghi cho đối tượng robot công nghiệp. Đây là đối tượng có đặc tính phi tuyến mạnh, các tham số động học của đối tượng thay đổi trong dải rộng, nhiễu bên ngoài tác động không biết trước. Luật điều khiển được tổng hợp dựa trên nguyên tắc điều khiển trượt, các thành phần phi tuyến được xấp xỉ bằng mạng nơron hướng tâm với các trọng số được hiệu chỉnh bằng luật điều khiển thích nghi. Bộ điều khiển được áp dụng cho mô hình tay máy robot hai bậc tự do. Việc mô phỏng và đánh giá kết quả được thực hiện trên phần mềm Matlab Simulink.

**TB14.8** 10:15 – 10:30 hrs

**[P96]** Inverse kinematics analysis for a spatial multi-section continuum robot by using a closed-loop algorithm.

Dương Xuân Biên, Chu Anh Mỹ

Le Quy Don Technical University

Email: xuanbien82@yahoo.com



# VỀ MỘT PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT THÍCH NGHI CHO ROBOT CÔNG NGHIỆP

## A novel adaptive sliding mode controller

### for robot manipulators using RBF neural model

Nguyễn Hoa Lu<sup>1</sup>, Đặng Thái Sơn<sup>1</sup>, Lê Văn Chương<sup>1\*</sup>, Hồ Sỹ Phương<sup>1</sup>,  
Tạ Hùng Cường<sup>1</sup>, Dương Đình Tú<sup>1</sup>, Mai Thế Anh<sup>1</sup>, Phan Văn Dư<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Vinh

\*Email: chuonglv@vinhuni.edu.vn

#### Abstract

The paper presents a new method for designing adaptive sliding mode controllers for robot manipulators. This is an object with strong nonlinear features with change in a wide range of the kinematic parameters and unpredictability of external disturbance. The control law is synthesized based on sliding mode control principle; the nonlinear functions are approximated by radial neural networks whose weights adjusted by adaptive control laws. The proposed controller is used to control a two link robot manipulator. Matlab Simulink platform is used to simulate and evaluate the controller performance.

#### Keywords

Robot manipulators, sliding mode control, adaptive law, RBF neural network.

#### Tóm tắt

Bài báo trình bày phương pháp thiết kế bộ điều khiển trượt thích nghi cho đối tượng robot công nghiệp. Đây là đối tượng có đặc tính phi tuyến mạnh, các tham số động học của đối tượng thay đổi trong dải rộng, nhiễu bên ngoài tác động không biết trước. Luật điều khiển được tổng hợp dựa trên nguyên tắc điều khiển trượt, các thành phần phi tuyến được xấp xỉ bằng mạng nơ-ron hướng tâm với các trọng số được hiệu chỉnh bằng luật điều khiển thích nghi. Bộ điều khiển được áp dụng cho mô hình tay máy robot hai bậc tự do. Việc mô phỏng và đánh giá kết quả được thực hiện trên phần mềm Matlab Simulink.

#### Ký hiệu

Ký hiệu	Ý nghĩa
$M(q)$	Ma trận quán tính
$C(q, \dot{q})$	Ma trận hệ số Coriolis và lực hướng tâm
$G(q)$	Gia tốc trọng trường
$F(\dot{q})$	Lực ma sát
$t_d$	Nhiễu bên ngoài
$q$	Véc-tơ biểu diễn vị trí
$t$	Véc-tơ momen tác động lên các khớp
$V(s), L$	Hàm Lyapunov

#### Chữ viết tắt

AC	Adaptive Controller
DOF	Degree Of Freedom
RBF NN	Radial Basis Function Neural Network
SMC	Sliding Mode Controller

#### 1. Đặt vấn đề

Trong công nghiệp, robot là một trong những đối tượng được sử dụng phổ biến, mang lại hiệu quả cao trong sản xuất và là lĩnh vực được nghiên cứu phát triển liên tục trong hàng chục năm qua. Hệ phương trình động học của robot là một hệ phi tuyến mạnh trong đó tồn tại các tham số khó có thể xác định chính xác hoặc biến đổi trong quá trình làm việc như: khối lượng tải, mômen quán tính tải, các thành phần ma sát trong các khớp,... Việc tìm kiếm các phương pháp tổng hợp các hệ thống điều khiển cho đối tượng robot công nghiệp là vấn đề hấp dẫn và có ý nghĩa thiết thực, thu hút sự quan tâm của các nhà khoa học trong lĩnh vực điều khiển.

Các luật điều khiển truyền thống chỉ phát huy hiệu quả khi các tham số của đối tượng là cố định hoặc thay đổi không đáng kể, mức độ phi tuyến không lớn. Khi đặc tính phi tuyến của đối tượng thay đổi mạnh và có nhiễu tác động bên ngoài không biết trước thì việc sử dụng các luật điều khiển nói trên không mang lại hiệu quả, thậm chí không đảm bảo được tính ổn định của hệ thống. Để giải quyết bài toán điều khiển các đối tượng này ta sử dụng phương pháp điều khiển trượt. Đây là một phương pháp điều khiển đơn giản song mang lại chất lượng điều khiển cao và đã được nhiều tác giả áp dụng thành công cho bài toán điều khiển robot [1,2,4]. Trong bài báo này, nhóm tác giả đề xuất phương pháp thiết kế bộ điều khiển trượt thích nghi cho đối tượng robot công nghiệp. Luật điều khiển được tổng hợp dựa trên nguyên tắc điều khiển trượt, các thành phần phi tuyến được xấp xỉ bằng mạng nơ-ron hướng tâm với các trọng số được hiệu chỉnh bằng luật điều khiển thích nghi. Bộ điều khiển được áp dụng cho mô hình tay máy robot hai bậc tự

do, sử dụng phần mềm Matlab Simulink để mô phỏng và đánh giá chất lượng của bộ điều khiển.

## 2. Giải quyết vấn đề

### 2.1. Mô hình đối tượng

Xét cánh tay robot  $n$  bậc tự do (H.1), có mô hình động học được mô tả bằng phương trình sau [2]:

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) + F(\dot{q}) + t_d = t, \quad (1)$$

trong đó:  $q = [q_1, q_2, \dots, q_n]^T$ ,  $\dot{q} = [\dot{q}_1, \dot{q}_2, \dots, \dot{q}_n]^T$ ,

$\ddot{q} = [\ddot{q}_1, \ddot{q}_2, \dots, \ddot{q}_n]^T$  - các véc tơ biểu diễn vị trí, vận tốc và gia tốc góc của các khớp tương ứng;

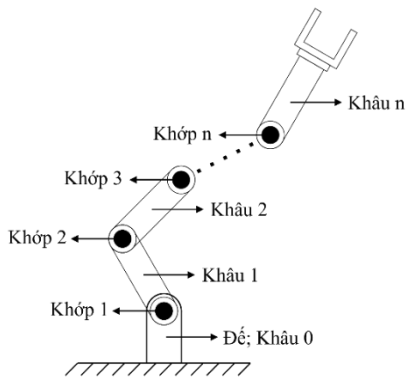
$t = [t_1, t_2, \dots, t_n]^T$  - véc tơ biểu diễn momen tác động lên các khớp;

$M(q) \hat{I}_j^{n \times n}$  - ma trận quán tính;

$C(q, \dot{q}) \hat{I}_j^{n \times n}$  - ma trận hệ số Coriolis và lực hướng tâm;

$G(q) \hat{I}_j^{n \times 1}$  - gia tốc trọng trường;

$F(\dot{q}, t_d)$  - lần lượt là thành phần lực ma sát và nhiễu tác động lên các khớp của robot và bị chặn  $|t_d| \leq D_B$ .



H.1 Sơ đồ tay máy  $n$  DOF

Bài toán đặt ra là thiết kế bộ điều khiển đảm bảo đại lượng đầu ra bám theo giá trị mong muốn cho trước dưới điều kiện có tác động nhiễu từ bên ngoài không biết trước.

Biến đổi (1) như sau:

$$\ddot{q} + M^{-1}(q)C(q, \dot{q})\dot{q} + M^{-1}(q)G(q) + M^{-1}(q)F(\dot{q}) + M^{-1}(q)t_d = M^{-1}(q)t, \quad (2)$$

hay

$$\ddot{q} = -M^{-1}(q)C(q, \dot{q})\dot{q} - M^{-1}(q)G(q) - M^{-1}(q)F(\dot{q}) - M^{-1}(q)t_d + M^{-1}(q)t. \quad (3)$$

Ta được phương trình:

$$\ddot{q} = f(q, \dot{q}) + g(q)u + d(t) \quad (4)$$

trong đó:

$$f(q, \dot{q}) = -M^{-1}(q)C(q, \dot{q})\dot{q} - M^{-1}(q)G(q) - M^{-1}(q)F(\dot{q}) - M^{-1}(q)t_d,$$

$$g(q) = M^{-1}(q), \quad u = t,$$

$$d(t) = -M^{-1}(q)t_d$$

với  $f(q, \dot{q})$ ,  $g(q)$  là hàm phi tuyến trơn, không biết trước và thay đổi theo thời gian;  $d(t)$  là nhiễu ngoài tác động lên hệ thống, biến đổi chậm và bị chặn  $|d(t)| \leq d_M$ .

Nhiệm vụ đặt ra là thiết kế bộ điều khiển để hệ kín bám quỹ đạo đặt với sai lệch bám tiến về 0 và đảm bảo tính khả năng kháng nhiễu. Để tổng hợp hệ thống điều khiển cho đối tượng (4), giải pháp thích hợp nhất trong trường hợp này là điều khiển trượt, vì tính đơn giản và khả năng thực thi dễ dàng của phương pháp. Đối với thành phần phi tuyến của đối tượng điều khiển (4) ta sử dụng mạng nơ ron hướng tâm (RBF NN) ba lớp với khả năng xấp xỉ vạn năng [1,3] để xấp xỉ các hàm phi tuyến  $f(q, \dot{q})$ ,  $g(q)$ . Các bước thiết kế được trình bày sau đây.

### 2.2. Tổng hợp bộ điều khiển trượt

Giả sử đối tượng (4) là xác định ta có thể tổng hợp ngay được tín hiệu điều khiển  $u(t)$  theo nguyên lý điều khiển trượt [3,4]. Mục tiêu của thiết kế bộ điều khiển trượt là xác định tín hiệu điều khiển  $u$  sao cho robot bám được quỹ đạo  $q_d$  mong muốn, nghĩa là sai lệch  $e(t) = (q_d - q) \otimes 0$ ,  $\dot{e}(t) = (\dot{q}_d - \dot{q}) \otimes 0$ , trong đó  $e$ ,  $\dot{e}$  là các giá trị sai số về vị trí và vận tốc, hay nói một cách khác là xác định được tín hiệu điều khiển  $u(t)$  đảm bảo hệ thống kín luôn chuyển động bám theo mặt trượt được định nghĩa như sau [4]:

$$s(e, \dot{e}) = ce + \dot{e} \quad (5)$$

với  $c > 0$  và mặt trượt đảm bảo điều kiện  $S(0) = 0$ . Với mặt trượt (5), nhiệm vụ thiết kế là xác định một tín hiệu điều khiển  $u_{SMC}$  sao cho khi có tác động làm cho hệ rời khỏi mặt trượt thì tín hiệu điều khiển này lại kéo hệ trở về mặt trượt. Tín hiệu điều khiển trượt được thiết kế dựa trên sự tồn tại hàm Lyapunov  $V(s)$  cho hệ kín.

Đối với mặt trượt (5) ta chọn hàm Lyapunov như sau [3,4]:

$$V(s) = \frac{1}{2}s^2. \quad (6)$$

Để tồn tại chế độ trượt trên mặt trượt (5) đòi hỏi phải thỏa mãn điều kiện:

$$\dot{V} \leq -s \leq 0, \quad (7)$$

để thỏa mãn (7) ta cần có:

$$\dot{e} = -k \operatorname{sgn}(s), \quad (8)$$

với  $k$  là hệ số dương.

Lấy đạo hàm hai vế của (6) ta có:

$$\dot{V}(s) = s\dot{s}, \quad (9)$$

trong đó:

$$\dot{s} = c\dot{e} + \ddot{e} = c\dot{e} + \ddot{q} - \ddot{q}_d = c\dot{e} + f(q, \dot{q}) + g(q)u - \ddot{q}_d. \quad (10)$$

Giả sử  $f(\cdot)$  và  $g(\cdot)$  đã xác định, từ (8) và (10) ta tổng hợp được tín hiệu điều khiển trượt  $u_{SMC}$ :

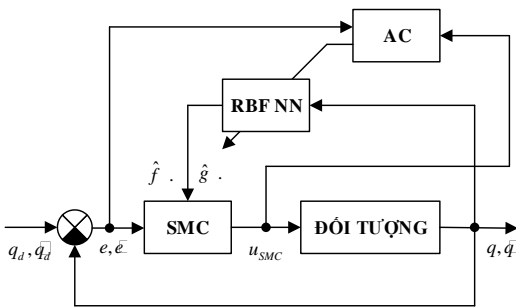
$$u_{SMC} = \frac{1}{g(q)} \left( \dot{e} + \frac{e}{d_M} - f(q, \dot{q}) + k \operatorname{sgn}(s) \right) \quad (11)$$

với  $k^3 d_M$ .

Mặc dù điều khiển trượt là một giải pháp đơn giản và mang lại chất lượng điều khiển cao, tuy nhiên, tín hiệu điều khiển tạo ra bởi bộ điều khiển trượt là hàm không liên tục do đó sẽ gây ra hiệu ứng rung (chattering) ảnh hưởng xấu đến chất lượng điều khiển của hệ thống. Nếu chúng ta sử dụng giá trị  $d_M$  lớn khi khắc phục tác động của nhiễu bên ngoài  $d(t)$  lớn sẽ làm hiện tượng chattering càng tăng. Do đó, để thực hiện được, giá trị  $d_M$  phải nằm trong giới hạn nhỏ mà hệ thống cho phép.

Để tổng hợp được bộ điều khiển trượt (11) thì cần phải biết trước được hàm  $f(q, \dot{q})$ ,  $g(q)$ , tuy nhiên, trên thực tế  $f(q, \dot{q})$ ,  $g(q)$  là hàm phi tuyến không biết trước và thay đổi theo thời gian. Bài báo đề xuất sử dụng mạng nơ ron nhân tạo RBF để xấp xỉ các hàm phi tuyến nói trên.

Sơ đồ cấu trúc hệ thống điều khiển đề xuất được biểu diễn trên H.2.



H.2 Sơ đồ cấu trúc hệ thống điều khiển SMC

trong đó SMC - bộ điều khiển trượt; AC - khối thích nghi; RBF NN - mạng nơ ron hướng tâm;  $\hat{f}(\cdot)$  và  $\hat{g}(\cdot)$  là đánh giá của các hàm phi tuyến tương ứng.

### 2.2. Xấp xỉ hàm phi tuyến sử dụng mạng nơ ron hướng tâm

Để xấp xỉ các hàm phi tuyến  $f(\cdot)$  và  $g(\cdot)$  ta sử dụng mạng nơ ron hướng tâm (RBF NN) với cấu trúc gồm 3 lớp: lớp vào, lớp ra và lớp ẩn (H3).

Hàm  $f(\cdot)$  và  $g(\cdot)$  được xác định bởi [1,3]:

$$f(\cdot) = W_f^{*T} f_f(x) + e_f, \quad (12)$$

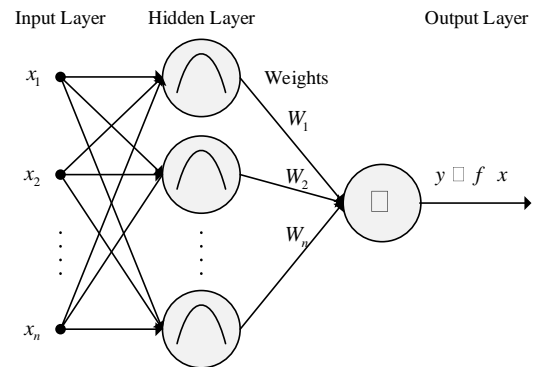
$$g(\cdot) = W_g^{*T} f_g(x) + e_g, \quad (13)$$

với  $W_f^*$ ,  $W_g^*$  - các trọng số lý tưởng;  $e_f$ ,  $e_g$  - các sai số xấp xỉ của mạng nơ ron,  $|e_f| \leq e_{Mf}$ ,  $|e_g| \leq e_{Mg}$ ;  $e_{Mf}$ ,  $e_{Mg}$  - sai số cho trước.

Các hàm cơ sở được xác định bởi [3,5]:

$$f_i(x) = \exp\left\{-\frac{\|x - c_i\|^2}{2s_i^2}\right\}, \quad (14)$$

trong đó:  $x$  là véc tơ đầu vào của mạng RBF,  $c_i$  là véc tơ có chiều bằng chiều của véc tơ  $x$ , biểu diễn tâm của hàm cơ sở thứ  $i$ ,  $s_i$  biểu diễn độ trải rộng của hàm cơ sở. Các trọng số lý tưởng  $W_f^*$ ,  $W_g^*$  không biết trước và cần phải đánh giá.



H.3 Cấu trúc mạng nơ ron xấp xỉ hàm phi tuyến

Xét đầu vào của mạng RBF NN  $x = [x_1, x_2]^T$ , đánh giá của các hàm phi tuyến  $f(\cdot)$  và  $g(\cdot)$  được biểu diễn thông qua các hàm cơ sở và trọng số hiệu chỉnh:

$$\hat{f}(x) = \hat{W}_f^T f_f(x) \quad (15)$$

$$\hat{g}(x) = \hat{W}_g^T f_g(x) \quad (16)$$

Thay  $\hat{f}(\cdot)$  và  $\hat{g}(\cdot)$  vào (11) ta được luật điều khiển trượt như sau:

$$u_{SMC} = \frac{1}{\hat{g}(\cdot)} \left( \dot{e} + \frac{e}{d_M} - \hat{f}(\cdot) + k \operatorname{sgn}(s) \right) \quad (17)$$

với  $k^3 D$ .

Biến đổi (10) có chú ý đến (17) ta có:

$$\begin{aligned} \dot{s} &= \dot{e} + \frac{e}{d_M} - f(\cdot) - g(\cdot)u - d(t) \\ &= \hat{f}(\cdot) - f(\cdot) + \hat{g}(\cdot) - g(\cdot)u \\ &\quad - k \operatorname{sgn}(s) - d(t). \end{aligned} \quad (18)$$

Đặt:

$$\begin{aligned} \hat{f}^0 &= \hat{f}(\cdot) - f(\cdot) = \hat{W}_f^T f_f(x) - W_f^{*T} f_f(x) - e_f \\ &= \hat{W}_f^T f_f(x) - e_f, \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \hat{g}^0 &= \hat{g}(\cdot) - g(\cdot) = \hat{W}_g^T f_g(x) - W_g^{*T} f_g(x) - e_g \\ &= \hat{W}_g^T f_g(x) - e_g, \end{aligned} \quad (20)$$

trong đó:  $\hat{W}_f^0 = \hat{W}_f - W_f^*$ ,  $\hat{W}_g^0 = \hat{W}_g - W_g^*$ .

Biến đổi (18) chú ý đến (19) và (20) ta có:

$$\begin{aligned} \dot{s} &= \hat{W}_f^T f_f(x) - e_f + (\hat{W}_g^T f_g(x) - e_g)u \\ &\quad - k \operatorname{sgn}(s) - d(t). \end{aligned} \quad (21)$$

Chọn hàm Lyapunov:

$$L = \frac{1}{2} s^2 + \frac{1}{2g_1} W_f^T W_f + \frac{1}{2g_2} W_g^T W_g, \quad (22)$$

trong đó  $g_1 > 0, g_2 > 0$ .

Lấy đạo hàm (22) chú ý đến (21) ta có:

$$\begin{aligned} \dot{L} &= s \dot{s} + \frac{1}{g_1} W_f^T \dot{W}_f + \frac{1}{g_2} W_g^T \dot{W}_g \\ &= W_f^T \dot{e}_f(x) - \frac{1}{g_1} W_f^T \dot{u} + W_g^T \dot{e}_g(x) - \frac{1}{g_2} W_g^T \dot{u} \\ &\quad + s \dot{e}_f - e_g u - k \operatorname{sgn}(s) - d(t) \dot{u}. \end{aligned} \quad (23)$$

Từ (23) ta chọn luật cập nhật các trọng số cho mạng RBF như sau:

$$\dot{W}_f = g_1 s f_f(x), \quad (24)$$

$$\dot{W}_g = g_2 s f_g(x) u. \quad (25)$$

Tiếp tục biến đổi (23) chú ý đến (24), (25) ta có:

$$\begin{aligned} \dot{L} &= s \dot{e}_f - e_g u - k \operatorname{sgn}(s) - d(t) \dot{u} \\ &= s \dot{e}_f - e_g u - d(t) \dot{u} - k |s|. \end{aligned} \quad (26)$$

Do mạng nơ ron RBF có khả năng xấp xỉ với sai số nhỏ bao nhiêu tùy ý nên sai số xấp xỉ  $e_f, e_g$  có thể lựa chọn giá trị nhỏ tùy ý.

Chọn:  $k^3 |e_f + e_g u + d(t)|$  khi đó ta có  $\dot{L} \leq 0$  hay hệ thống ổn định.

Các biểu thức (24), (25) biểu diễn luật điều khiển thích nghi dùng để huấn luyện mạng RBF là đơn giản và dễ dàng thực hiện kỹ thuật. Độ chính xác của phép xấp xỉ phụ thuộc vào việc lựa chọn các tham số  $c_i, s_i$  của hàm phân bố Gauss (14) sao cho bao phủ được hết dải biên độ các đại lượng phi tuyến  $f(\cdot)$  và  $g(\cdot)$ .

### 2.3. Mô phỏng và đánh giá kết quả

Giả sử động học của tay máy robot 2 bậc tự do (H.4) được mô tả bằng phương trình sau:

$$M(q) \ddot{q} + C(q, \dot{q}) \dot{q} + G(q) + F(\dot{q}) + t_d = t,$$

trong đó:  $M_{11} = (m_1 + m_2)l_1^2 + m_2l_2^2 + 2m_2l_1l_2 \cos q_2$ ,

$$M_{12} = m_2l_2^2 + m_2^2l_1l_2 \cos q_2,$$

$$M_{21} = m_2l_2^2 + m_2^2l_1l_2 \cos q_2, \quad M_{22} = m_2l_2^2;$$

$$C_{11} = -m_2^2l_1l_2 \dot{q}_2 \sin q_2,$$

$$C_{12} = -m_2^2l_1l_2 (\dot{q}_1 + \dot{q}_2) \sin q_2,$$

$$C_{21} = m_2^2l_1l_2 \dot{q}_1 \sin q_2, \quad C_{22} = 0;$$

$$G_{11} = (m_1 + m_2)l_1g \cos q_1 + m_2l_2g(q_1 + q_2),$$

$$G_{21} = m_2l_2g(q_1 + q_2).$$

Thông số của robot được cho như sau:

$$m_1 = 2.0(\text{kg}), \quad m_2 = 1.0(\text{kg});$$

$$l_1 = 1.0(\text{m}), \quad l_2 = 0.8(\text{m}).$$

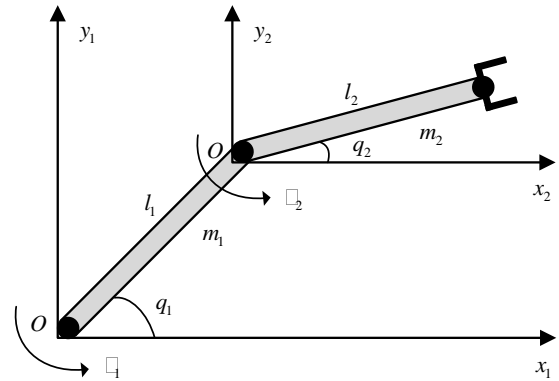
Nhiều và lực ma sát tác động lên các khớp:

$$F(\dot{q}) = 0.02 \operatorname{sgn}(\dot{q})(N);$$

$$t_d = [0.2 \sin t \quad 0.2 \sin t]^T (N)$$

Quy đạo mẫu cho các khớp:

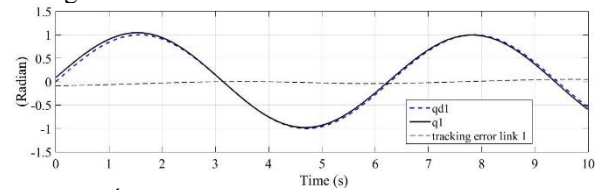
$$q_{1d} = \sin t(\text{rad}); \quad q_{2d} = 1.5 \sin t(\text{rad})$$



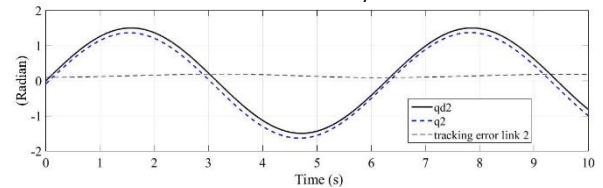
H. 4 Tay máy robot 2 bậc tự do

Để xấp xỉ các hàm phi tuyến sử dụng mạng nơ ron RBF có cấu trúc ba lớp, lớp ẩn gồm 5 nơ ron với hàm cơ sở được chọn theo (14), luật cập nhật các trọng số theo (24), (25), phương pháp xấp xỉ thể hiện trên hình H.3. Tham số của mặt trượt theo (5), bộ điều khiển SMC thể hiện theo (17).

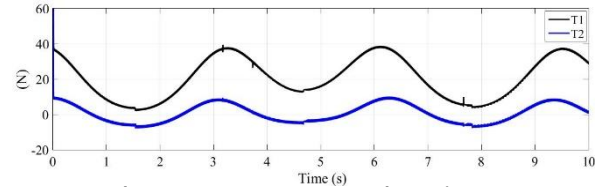
Kết quả mô phỏng thể hiện trên H.5, H.6, H.7, H.8. Qua kết quả mô phỏng cho thấy với thuật toán điều khiển trượt thích nghi được đề xuất cho chất lượng bám quỹ đạo đặt tốt, sai lệch bám nhỏ, khả năng kháng nhiễu tốt.



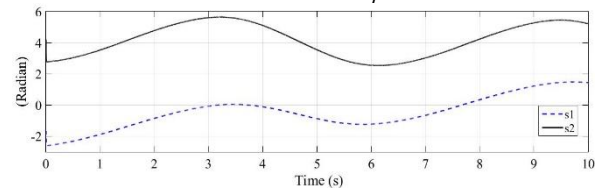
H. 5 Kết quả mô phỏng bám quỹ đạo đặt và sai lệch bám của khớp 1



H. 6 Kết quả mô phỏng bám quỹ đạo đặt và sai lệch bám của khớp 2



H. 7 Kết quả mô phỏng tín hiệu điều khiển tác động lên các khớp



H. 8 Kết quả mô phỏng sự thay đổi của mặt trượt theo thời gian

### 3. Kết luận

Bài báo trình bày phương pháp thiết kế bộ điều khiển trượt thích nghi cho đối tượng robot công nghiệp, trong đó sử dụng mạng nơron hàm cơ sở xuyên tâm (RBF NN) để ước lượng và bù trừ các thành phần phi tuyến trong luật điều khiển. Áp dụng cho đối tượng mô hình robot hai bậc tự do (DOF). Kết quả mô phỏng cho thấy các luật điều khiển đơn giản, dễ thực hiện kỹ thuật đảm bảo khả năng thích nghi và chất lượng điều khiển.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] Thái Hữu Nguyên, Phan Xuân Minh, Nguyễn Công Khoa (2014), *Điều khiển trượt mờ thích nghi bền vững cho robot ba bậc tự do*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ, số 52, tr. 541-548.
- [2] Frank L.Lewis, Darren M.Dawson, Chaouki (2003). *Robot Manipulator Control: Theory and Practice*. CRC Press
- [3] J. Liu (2013), *Radial Basis Function (RBF) Neural Network Control for Mechanical Systems*. Tsinghua University Press, Beijing and Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [4] Vu Thi Yen, Wang Yao Nan, Pham Van Cuong (2019), *Robust Adaptive Sliding Mode Neural Networks Control for Industrial Robot Manipulators*, International Journal of Control, Automation and Systems 17(3) (2019) 783-792.
- [5] S. N. Huang, K. K. Tan, T. H. Lee (2001), *A combined PID/adaptive controller for a class of nonlinear systems*, Automatica 37, pp.611-618.
- [6] Yong Tao, Jiaqi Zheng, Yuanchang Lin (2016), *A Sliding Mode Control-Based on a RBF Neural Network for Deburring Industry Robotic Systems*, International Journal of Advanced Robotic Systems.



**Nguyễn Hoa Lư**, sinh năm 1953, nhận bằng Tiến sĩ chuyên ngành Điều khiển học kỹ thuật và lý thuyết thông tin, Hà Nội năm 1996, PGS. năm 2006. Hiện tại là giảng viên Viện KT&CN, Trường ĐH Vinh. Hướng nghiên cứu chính: phương pháp phân tích và tổng hợp các hệ thống điều khiển tự động.



**Đặng Thái Sơn**, sinh năm 1981, nhận bằng Tiến sĩ chuyên ngành Kỹ thuật điện tử của Trường ĐH Bách khoa Hà Nội năm 2017. Hiện tại là giảng viên Viện Kỹ thuật và Công nghệ, Trường ĐH Vinh. Hướng nghiên cứu chính: hệ thống nhúng, robotics, ứng dụng các công nghệ mới cho hệ thống điện - điện tử.



**Lê Văn Chương**, sinh năm 1985, nhận bằng Thạc sĩ chuyên ngành Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa của Học viện Kỹ thuật quân sự năm 2013. Hiện tại là giảng viên Viện Kỹ thuật và Công nghệ, Trường ĐH Vinh. Từ năm 2017 là nghiên cứu sinh tại Viện khoa học công nghệ quân sự, hướng nghiên cứu chính: các phương pháp phân tích và tổng hợp các hệ thống điều khiển tự động.



**Hồ Sỹ Phương**, sinh năm 1986, nhận bằng Thạc sĩ chuyên ngành Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa của Học viện Kỹ thuật quân sự năm 2013. Hiện tại là giảng viên Viện Kỹ thuật và Công nghệ, Trường ĐH Vinh. Hướng nghiên cứu chính: mô hình hóa, mô phỏng hệ thống tự động, robotics.



**Tạ Hùng Cường**, sinh năm 1986, nhận bằng Thạc sĩ chuyên ngành Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa của Học viện Kỹ thuật quân sự năm 2013. Hiện tại là giảng viên Viện Kỹ thuật và Công nghệ, Trường ĐH Vinh. Hướng nghiên cứu chính: điều khiển các quá trình công nghệ trong công nghiệp.



**Dương Đình Tú**, sinh năm 1985, nhận bằng Tiến sĩ chuyên ngành Điều khiển học kỹ thuật và lý thuyết thông tin của Trường ĐH giao thông Moscow năm 2018. Hiện tại là giảng viên Viện Kỹ thuật và Công nghệ, Trường ĐH Vinh. Hướng nghiên cứu chính: hệ thống truyền thông công nghiệp, robotics.



**Mai Thế Anh**, sinh năm 1987, nhận bằng Tiến Sĩ chuyên ngành Điều khiển học kỹ thuật và lý thuyết thông tin của Trường ĐH năng lượng Moscow năm 2018. Hiện tại là giảng viên Viện Kỹ thuật và Công nghệ, Trường ĐH Vinh. Hướng nghiên cứu chính: robotics, mạng neural, điều khiển mờ.



**Phan Văn Dư**, sinh năm 1990, nhận bằng Thạc sĩ chuyên ngành Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa của Đại học Thái Nguyên năm 2017. Hiện tại là giảng viên Viện Kỹ thuật và Công nghệ, Trường ĐH Vinh. Hướng nghiên cứu chính: robotics, mạng neural, điều khiển mờ, mô hình hóa và mô phỏng hệ thống điều khiển tự động.