

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI
-----oOo-----

THÁI HỮU NGUYỄN

**ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI PHI TUYẾN CHO ROBOT
CÔNG NGHIỆP TRÊN CƠ SỞ MẠNG NƠI RON NHÂN TẠO**

Chuyên ngành: Kỹ thuật điều khiển và tự động hóa
Mã số: 62520216

LUẬN ÁN TIẾN SĨ ĐIỀU KHIỂN VÀ TỰ ĐỘNG HÓA

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC

- 1. GS. TS. Phan Xuân Minh**
- 2. GS. TS. Nguyễn Doãn Phước**

HÀ NỘI - 2014

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan luận án này là công trình nghiên cứu của chính bản thân. Các kết quả nghiên cứu trong luận án là trung thực và chưa được công bố trong bất kỳ công trình nào khác, ngoài các công trình do chính tác giả công bố.

TẬP THỂ HƯỚNG DẪN

TÁC GIẢ LUẬN ÁN

THÁI HỮU NGUYỄN

LỜI CẢM ƠN

Bản luận án này được hoàn thành trên cơ sở những kết quả nghiên cứu của tôi dưới sự hướng dẫn khoa học của GS.TS. Phan Xuân Minh và GS.TS. Nguyễn Doãn Phước thuộc Bộ môn Điều khiển Tự động, trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Tôi xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc tới thầy, cô đã tin tưởng, quan tâm, giúp đỡ và tạo mọi điều kiện cho tôi hoàn thành luận án này.

Tôi xin chân thành cảm ơn PGS.TS. Nguyễn Phạm Thục Anh, GS.TSKH. Cao Tiến Huỳnh, PGS.TSKH. Phạm Thượng Cát, PGS.TS. Hán Thành Trung, PGS.TS. Hoàng Minh Sơn về những gợi ý khoa học quý báu giúp tôi hoàn thiện hơn trong công việc nghiên cứu cũng như hoàn thành luận án. Xin cảm ơn quý thầy cô giáo thuộc Bộ môn Điều khiển Tự động, Viện Điện, Đại học Bách khoa Hà Nội, đã có nhiều giúp đỡ và ủng hộ nhiệt tình trong thời gian tôi học tập và nghiên cứu.

Tôi xin bày tỏ lòng biết ơn tới các bậc lãnh đạo trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh nơi tôi công tác, đã tạo điều kiện thuận lợi cho tôi về thời gian và vật chất trong suốt quá trình nghiên cứu.

Trân trọng cảm ơn Viện Đào tạo sau Đại học, Đại học Bách khoa Hà Nội đã tạo mọi điều kiện thuận lợi để tôi hoàn thành tốt nhất luận án của mình.

Tôi xin cảm ơn quý thầy giáo, cô giáo, bạn bè, đồng nghiệp luôn giúp đỡ, động viên và chia sẻ khó khăn, luôn cho tôi thêm nghị lực để hoàn thành luận án.

Cuối cùng và đặc biệt quan trọng, tôi chân thành cảm ơn những người thân trong gia đình của tôi vì tất cả.

TÁC GIẢ LUẬN ÁN

THÁI HỮU NGUYỄN

MỤC LỤC

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT VÀ CÁC KÝ HIỆU.....	4
DANH MỤC CÁC BẢNG	7
DANH MỤC CÁC HÌNH ẢNH, ĐỒ THỊ.....	8
MỞ ĐẦU	10
1. Tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước	10
2. Tính cấp thiết của đề tài luận án	13
3. Mục tiêu của luận án.....	14
4. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của luận án	14
5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án	14
6. Nội dung của luận án.....	14
Chương 1	17
NGHIÊN CỨU, ĐÁNH GIÁ CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN	
ROBOT.....	17
1.1 Mô hình toán học và định hướng trong thiết kế điều khiển cho robot.....	17
1.1.1 Mô hình toán học của robot	17
1.1.1.1 Động học vị trí.....	17
1.1.1.2 Động học thuận vận tốc.....	18
1.1.1.3 Động lực học	18
1.1.2 Định hướng trong thiết kế điều khiển cho robot	20
1.2 Điều khiển chuyển động tay máy robot	22
1.2.1 Các thuật toán điều khiển kinh điển.....	22
1.2.1.1 Điều khiển trong không gian khớp	22
1.2.1.2 Điều khiển trong không gian làm việc.....	25
1.2.2 Các thuật toán điều khiển nâng cao.....	27
1.2.2.1 Các thuật toán điều khiển thích nghi.....	27
1.2.2.2 Tuyến tính hóa chính xác.....	28
1.2.2.3 Điều khiển bám quỹ đạo cho robot bằng phương pháp Jacobian xấp xỉ thích nghi.....	35
1.2.2.4 Điều khiển thích nghi bền vững sử dụng kỹ thuật backstepping trong điều khiển chuyển động của robot.....	41
1.2.2.5 Điều khiển thích nghi robot trên cơ sở mờ và mạng nơ ron.....	44

1.3 Hướng nghiên cứu của luận án	45
1.3.1 Phát biểu bài toán	45
1.3.2 Phương pháp luận.....	45
1.4 Kết luận chương 1	45
Chương 2	46
ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI TAY MÁY ROBOT SỬ DỤNG MẠNG NƠ RON TRÊN CƠ SỞ KỸ THUẬT BACKSTEPPING	46
2.1 Tổng hợp bộ điều khiển thích nghi sử dụng mạng nơ ron.....	46
2.1.1 Xấp xỉ hàm số bằng mạng nơ ron nhân tạo.....	46
2.1.2 Tổng hợp bộ điều khiển thích nghi trên cơ sở kỹ thuật backstepping	49
2.1.3 Phân tích tính ổn định của hệ thống	56
2.1.4 Tổng hợp ANNC cho robot 1 bậc tự do.....	59
2.1.4.1 <i>Biến đổi mô hình về dạng truyền ngược chặt</i>	59
2.1.4.2 <i>Tổng hợp ANNC</i>	60
2.1.4.3 <i>Kết quả mô phỏng</i>	61
2.2 Tổng hợp ANNC cho robot n bậc tự do.....	62
2.2.1 Biến đổi mô hình về dạng truyền ngược chặt	62
2.2.2 Tổng hợp ANNC	63
2.2.3 Tổng hợp ANNC cho robot 2 bậc tự do.....	63
2.2.3.1 <i>Biến đổi mô hình về dạng truyền ngược chặt</i>	63
2.2.3.2 <i>Tổng hợp ANNC</i>	65
2.2.3.3 <i>Kết quả mô phỏng</i>	65
2.3 Kết luận chương 2	67
Chương 3	69
ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT NƠ RON THÍCH NGHI BỀN VỮNG CHO TAY MÁY ROBOT BẤT ĐỊNH HÀM SỐ	69
3.1 Đặt bài toán tổng hợp bộ điều khiển trượt	69
3.2 Tổng hợp bộ điều khiển trượt	69
3.3 Xấp xỉ hàm bất định bằng mạng nơ ron hướng tâm.....	71
3.4 Phân tích tính ổn định của hệ thống.....	74
3.5 Tổng hợp RANNSMC cho robot n bậc tự do.....	75
3.5.1 Biến đổi mô hình về dạng truyền ngược chặt	75
3.5.2 Tổng hợp RANNSMC	75

3.6. Tổng hợp RANNSMC cho robot 3 bậc tự do.....	76
3.6.1 Biến đổi mô hình về dạng truyền ngược chặt	76
3.6.2 Tổng hợp RANNSMC	80
3.6.3 Kết quả mô phỏng	80
3.7 Kết luận chương 3.....	82
Chương 4.....	83
ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI BỀN VỮNG TAY MÁY ROBOT SỬ	
DỤNG MẠNG NƠ RON KẾT HỢP ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT	
83	
4.1 Cơ sở lý thuyết	83
4.1.1 Điều khiển thích nghi sử dụng mạng nơ ron trên cơ sở kỹ thuật backstepping	84
4.1.2 Điều khiển trượt	85
4.1.2.1 Tổng hợp bộ điều khiển trượt cho đối tượng xác định	85
4.1.2.2 Tổng hợp bộ điều khiển trượt cho đối tượng bất định.....	86
4.2 Tổng hợp RAC cho robot n bậc tự do	87
4.2.1 Biến đổi mô hình về dạng truyền ngược chặt	87
4.2.2 Tổng hợp bộ điều khiển RAC	88
4.3 Phân tích tính ổn định của hệ thống.....	89
4.4 Tổng hợp ANNC, RANNSMC và RAC cho robot 3 bậc tự do.....	94
4.4.1 Biến đổi mô hình về dạng truyền ngược chặt	94
4.4.2 Tổng hợp ANNC, RANNSMC và RAC	94
4.4.3 Kết quả mô phỏng	95
4.4.4 Nhận xét	95
4.5 Mô phỏng kiểm chứng RAC với mô hình robot 3 bậc tự do được thiết kế trên phần mềm Solidworks và sử dụng công cụ SimMechanics.	96
4.5.1 Chọn thông số mô phỏng	96
4.5.2 Kết quả mô phỏng	97
4.5.3 Nhận xét	99
4.6 Kết luận chương 4.....	99
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	100
- Kết luận	100
- Kiến nghị	100
DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA LUẬN ÁN....	101
TÀI LIỆU THAM KHẢO	102

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT VÀ CÁC KÝ HIỆU

Các chữ viết tắt:

STT	Chữ viết tắt	Tiếng Anh	Tiếng Việt
1	ANNC	Adaptive Neural Network Control	Điều khiển mạng nơ ron thích nghi
2	SMC	Sliding Mode Control	Điều khiển trượt
3	RANNSMC	Robust Adaptive Neural Networks Sliding Mode Control	Điều khiển trượt nơ ron thích nghi bền vững
4	RAC	Robust Adaptive Control	Điều khiển thích nghi bền vững
5	GAS	Global Asymptotic Stable	Ổn định tiệm cận toàn cục
6	MNN	Multiple Layer Neural Networks	Mạng nơ ron nhiều lớp
7	NN	Neural Network	Mạng nơ ron
8	RBF	Radial Basis Function	Hàm cơ sở xuyên tâm
9	CLF	Control Lyapunov Function	Hàm điều khiển Lyapunov
10	PD	Proportional-Derivative	Tỷ lệ – Vi phân
11	PID	Proportional-Integral-Derivative	Tỷ lệ - Tích phân – Vi phân
12	SISO	Single Input – Single Output	Hệ một vào – một ra
13	MIMO	Multiple Inputs–Multiple Outputs	Hệ nhiều vào – nhiều ra
14	EL	Euler – Lagrange	Euler-Lagrange (tên riêng)
15	DH	Denavit – Hartenberg	Denavit – Hartenberg (tên riêng)
16	3D	3 Dimensions	Không gian 3 chiều
17	DOF	Degree - of - Freedom	Bậc tự do
18	ĐHT		Động học thuận
19	ĐHN		Động học ngược
20	ĐLH		Động lực học
21	BĐK		Bộ điều khiển
22	$tr(.)$		Vết của ma trận
23	$diag(.)$		Ma trận đường chéo
24	$sgn(.)$		Hàm dấu
25	DSP	Digital signal Processor	Xử lý tín hiệu số
26	IPC	Inter-Process Communication	Máy tính công nghiệp IPC

Các ký hiệu:

STT	Ký hiệu	Ý nghĩa
1	τ	Véc tơ mô men tác dụng lên các khớp quay của robot
2	τ_d	Véc tơ nhiễu tác động lên hệ thống
3	F	Véc tơ lực tác dụng lên các khớp tịnh tiến của robot
4	H	Ma trận quán tính
5	\hat{H}	Ma trận quán tính ước lượng
6	C	Ma trận tương hỗ và ly tâm
7	\hat{C}	Ma trận tương hỗ và ly tâm ước lượng
8	G	Véc tơ lực trọng trường
9	\hat{G}	Véc tơ lực trọng trường ước lượng
10	N	Ma trận đối xứng lệch
11	\tilde{N}	Ma trận tương hỗ, ly tâm và trọng trường
12	\hat{N}	Ma trận ước lượng của N
13	q	Véc tơ vị trí góc các khớp robot
14	\dot{q}	Véc tơ tốc độ góc các khớp robot
15	\ddot{q}	Véc tơ gia tốc góc các khớp robot
16	q_d	Véc tơ vị trí góc đặt các khớp robot
17	\dot{q}_d	Véc tơ tốc độ góc đặt các khớp robot
18	\ddot{q}_d	Véc tơ gia tốc góc đặt các khớp robot
19	W	Ma trận hồi quy
20	p	Véc tơ tham số động lực học robot
21	\hat{p}	Véc tơ ước lượng p
22	V	Hàm Lyapunov
23	X	Véc tơ quỹ đạo trong không gian làm việc
24	\dot{X}	Véc tơ vận tốc trong không gian làm việc
25	\ddot{X}	Véc tơ gia tốc trong không gian làm việc
26	X_d	Véc tơ quỹ đạo đặt trong không gian làm việc
27	\dot{X}_d	Véc tơ vận tốc đặt trong không gian làm việc
28	\ddot{X}_d	Véc tơ gia tốc đặt trong không gian làm việc
29	J	Ma trận Jacobi
30	\hat{J}	Ma trận Jacobi ước lượng
31	K_p, K_I, K_D	Hệ số tỷ lệ, tích phân, vi phân
32	L	Hàm Lagrange
33	K	Hàm tổng động năng
34	P	Hàm tổng thế năng

35	A	Hàm năng lượng
36	F_d	Véc tơ lực ma sát
37	u, U	Tín hiệu điều khiển và véc tơ tín hiệu điều khiển
38	e, E	Sai lệch và véc tơ sai lệch
39	\dot{e}, \dot{E}	Đạo hàm sai lệch và véc tơ đạo hàm sai lệch
40	I	Mô men quán tính
41	l	Chiều dài cánh tay robot
42	m	Khối lượng cánh tay robot
43	x, \mathbf{x}	Biến trạng thái và véc tơ trạng thái
44	$\dot{x}, \dot{\mathbf{x}}$	Đạo hàm biến trạng thái và đạo hàm véc tơ biến trạng thái
45	$\ddot{x}, \ddot{\mathbf{x}}$	Đạo hàm bậc 2 của biến trạng thái và đạo hàm bậc 2 của véc tơ biến trạng thái
46	$\hat{x}, \hat{\mathbf{x}}$	Biến trạng thái và véc tơ biến trạng thái ước lượng
47	x_d, \mathbf{x}_d	Tín hiệu đặt và véc tơ tín hiệu đặt
48	\dot{x}_d	Véc tơ đạo hàm tín hiệu đặt
49	\ddot{x}_d	Véc tơ đạo hàm bậc 2 của tín hiệu đặt
51	$L_f \dots$	Đạo hàm Lie
52	r	Bậc tương đối của hệ
53	z, Z, \mathbf{Z}	Tín hiệu vào, véc tơ tín hiệu vào, véc tơ tín hiệu vào có thành phần đỡ của mạng nơron nhân tạo
54	y	Tín hiệu đầu ra
55	y_d	Tín hiệu ra mong muốn
56	R	Bộ điều khiển gián điểm cực
57	$W(s)$	Hàm truyền đạt
58	S	Mặt trượt
59	W, V	Ma trận trọng số của mạng nơron
60	S	Thành phần phi tuyến của mạng nơron
61	W^*, V^*	Ma trận trọng số lý tưởng
62	\hat{W}, \hat{V}	Ma trận trọng số ước lượng
63	\tilde{W}, \tilde{V}	Ma trận sai số
64	$\dot{\hat{W}}, \dot{\hat{V}}$	Ma trận đạo hàm của ma trận \hat{W}, \hat{V}
65	$\dot{\tilde{W}}$	Đạo hàm của ma trận sai số
66	Γ_w, Γ_v	Ma trận hằng số
67	Ω_z	Tập compact
68	A	Ma trận hệ thống
69	B	Ma trận quan sát

70	C	Ma trận điều khiển
71	A_m	Ma trận hệ thống mẫu
72	B_m	Ma trận quan sát mẫu
73	C_m	Ma trận điều khiển mẫu
74	z	Véc tơ trạng thái sau phép đổi trục
75	ℓ	Số nơ ron trong một lớp
76	T	Véc tơ tham số động học
77	\hat{T}	Véc tơ tham số động học ước lượng
78	ψ	Hàm ước lượng sai lệch của mạng nơ ron
79	$F(x)$	Hàm phi tuyến, bất định
80	$\hat{F}(x)$	Hàm ước lượng $F(x)$
81	$\bar{F}(x)$	Véc tơ hàm phi tuyến, bất định
82	$\hat{\bar{F}}(x)$	Véc tơ hàm ước lượng $\bar{F}(x)$
83	$\tilde{\bar{F}}(x)$	Véc tơ hàm sai lệch
84	ϕ	Hàm cơ sở xuyên tâm của mạng nơ ron RBF
85	$f(.)$	Hàm phi tuyến tron bất định
86	$\hat{f}(.)$	Hàm ước lượng của $f(.)$

DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng 2.1: Thông số động học của tay máy 1 DOF

Bảng 2.2: Thông số động học của Robot 2 DOF

Bảng 3.1: Thông số động học DH Robot Scara 3 DOF

Bảng 3.2: Thông số động học của Robot Scara 3 DOF