

ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI

Đỗ Anh Tuấn

Mô hình hóa và khảo sát sai số của robot công nghiệp

Chuyên ngành: Kỹ thuật Cơ khí

Mã số: 62520103

Nghiên cứu sinh: Đỗ Anh Tuấn

Người hướng dẫn khoa học:

1. PGS.TS. Phan Bùi Khôi

2. GS. TS. Trần Văn Địch

LỜI CẢM ƠN

Trong quá trình học tập và hoàn thành luận án, tác giả luôn nhận được sự dạy bảo của các thầy cô giáo Trường Đại học Bách khoa Hà Nội và sự giúp đỡ, động viên của gia đình, người thân, đồng nghiệp.

Tôi xin chân thành cảm ơn PGS.TS Phan Bùi Khôi, GS.TS Trần Văn Địch đã tận tình dạy bảo, hướng dẫn và giúp đỡ trong suốt khoá học. Những lời khuyên, hướng dẫn bổ ích của các thầy đã giúp tôi có định hướng và tiếp cận tốt hơn với nội dung của đề tài để có thể hoàn thành luận án.

Tôi xin cảm ơn các thầy cô giáo trong Viện Cơ khí - Trường Đại học Bách khoa Hà Nội đã tạo điều kiện giúp tôi có thể tra cứu, sưu tầm tài liệu và đóng góp ý kiến để tôi hoàn thành tốt luận án.

Cuối cùng, tôi xin cảm ơn những người thân trong gia đình, bạn bè và đồng nghiệp đã động viên, hỗ trợ, tạo điều kiện và giúp đỡ tôi trong suốt khoá học.

NGHIÊN CỨU SINH

Đỗ Anh Tuấn

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan tất cả những nội dung trong luận án “Mô hình hóa và khảo sát sai số của robot công nghiệp” đều do tôi tự thực hiện hoặc đồng thực hiện dưới sự hướng dẫn của tập thể cán bộ hướng dẫn: PGS.TS Phan Bùi Khôi và GS.TS Trần Văn Địch.

Để hoàn thành luận án này, tôi chỉ sử dụng những tài liệu đã ghi trong mục tài liệu tham khảo mà không dùng bất cứ một tài liệu khác. Không hề có sự sao chép, gian lận kết quả của bất kỳ công trình nghiên cứu nào khác.

TM TẬP THỂ HD

NGHIÊN CỨU SINH

PGS. TS Phan Bùi Khôi

Đỗ Anh Tuấn

MỤC LỤC

LỜI CẢM ƠN.....	1
LỜI CAM ĐOAN.....	2
MỤC LỤC.....	3
DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT.....	6
DANH MỤC CÁC BẢNG.....	8
DANH MỤC CÁC HÌNH ẢNH, ĐỒ THỊ.....	9
MỞ ĐẦU.....	11
1. TỔNG QUAN VỀ ROBOT VÀ ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA ROBOT.....	16
1.1 Giới thiệu cấu trúc robot công nghiệp.....	16
1.2 Thao tác của robot công nghiệp.....	18
1.3 Độ chính xác của robot công nghiệp.....	21
1.3.1 Tổng quan về sai số và độ chính xác của robot.....	21
1.3.2 Ảnh hưởng của sai số trong robot.....	25
1.4 Một số nghiên cứu về sai số và độ chính xác của robot.....	26
1.5 Hướng nghiên cứu của đề tài.....	28
1.6 Kết luận chương 1.....	31
2. KHẢO SÁT ĐỘNG HỌC ROBOT CÔNG NGHIỆP.....	32
2.1 Cơ sở khảo sát động học robot.....	32
2.1.1 Tọa độ thuần nhất và ma trận biến đổi tọa độ thuần nhất.....	32
2.1.2 Ma trận truyền.....	35
2.1.3 Phương pháp tam diện trùng theo.....	37
2.2 Thiết lập phương trình động học robot.....	38
2.2.1 Ma trận trạng thái khâu thao tác của robot.....	38
2.2.2 Phương trình động học robot cấu trúc chuỗi hở.....	40
2.2.3 Phương trình động học robot cấu trúc mạch vòng.....	41
2.2.4 Phương trình động học robot cấu trúc song song.....	45
2.3 Giải thuật và chương trình giải bài toán động học.....	49
2.4 Khảo sát động học robot.....	49
2.4.1 Bài toán động học robot hàn điểm.....	49
2.4.2 Khảo sát động học robot hàn hồ quang.....	58

2.5	Kết luận chương 2.....	63
3.	SAI SỐ VÀ PHƯƠNG PHÁP MÔ HÌNH HÓA SAI SỐ.....	64
3.1	Các nguồn gây ra sai số	65
3.1.1	Sai số hình học, động học.....	65
3.1.2	Sai số phi hình học	68
3.2	Phương pháp mô hình hoá sai số	70
3.2.1	Phương pháp vi phân ma trận biến đổi tọa độ thuận nhất	70
3.2.2	Phương pháp vi phân phương trình động học	76
3.3	Kết luận chương 3:.....	83
4.	KHẢO SÁT SAI SỐ ROBOT CÔNG NGHIỆP.....	84
4.1	Giải thuật và chương trình tính toán sai lệch vị trí và hướng	84
4.2	Khảo sát sai số trong robot hàn điểm.....	86
4.2.1	Thiết lập mô hình khảo sát	86
4.2.2	Kết quả khảo sát	86
4.3	Khảo sát sai số trong robot hàn hồ quang.....	88
4.4	Kết luận chương 4.....	89
5.	NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH SAI SỐ HÌNH HỌC, ĐỘNG HỌC CỦA KHÂU, KHỚP ROBOT	91
5.1	Cơ sở phương pháp xác định sai số của khâu, khớp.....	91
5.1.1	Phương pháp ma trận giả nghịch đảo Moore-Penrose.....	93
5.1.2	Phương pháp bình phương tối thiểu tuyến tính kết hợp giải thuật di truyền.....	93
5.2	Giải thuật di truyền	95
5.2.1	Giới thiệu.....	95
5.2.2	Các khái niệm cơ bản	96
5.2.3	Mô hình giải thuật di truyền	97
5.2.4	Các tham số của GA	98
5.2.5	Mã hoá NST	98
5.2.6	Khởi tạo quần thể ban đầu.....	100
5.2.7	Các toán tử di truyền	101
5.2.8	Chiến lược nạp lại quần thể.....	104
5.3	Ứng dụng giải thuật di truyền xác định sai số hình học, động học của khâu, khớp robot	104
5.3.1	Xác định sai số hình học, động học cho robot 2 bậc tự do:.....	105
5.3.2	Xác định sai số hình học, động học cho robot 6 tự do:	107
5.4	Kết luận chương 5.....	113
	KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN	114

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	116
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	118
DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA LUẬN ÁN.....	121
PHỤ LỤC.....	123

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT

Ký hiệu	Diễn giải nội dung	Đơn vị
a_i	Lượng tịnh tiến dọc theo trục ox	mm
α_i	Góc quay quanh trục ox	rad
CAD	Computer Aided Design	
CAM	Computer Aided Manufacturing	
c_{ij}	Phần tử hàng thứ i cột thứ j của ma trận	
Cq_i	$\cos(q_i)$	
Cq_{ij}	$\cos(q_i+q_j)$	
CNC	Computer Numerical Control	
D-H	Denavit-Hartenberg	
d_i	Lượng tịnh tiến dọc theo trục oz	mm
de_M	Véc tơ sai lệch vị trí và hướng khâu thao tác	
de	Véc tơ sai số trong các khâu, khớp trung gian	
dq	Véc tơ sai số động học	
ds	Véc tơ sai số hình học	
dT_i	Vị phân của ma trận ${}^{i-1}T_i$	
dT_N	Vị phân của ma trận T_N	
e	Véc tơ gia số sai lệch vị trí và hướng của robot	
GA	Genetic Algorithm – Giải thuật di truyền	
IR	Industrial Robot	
n	Số bậc tự do của robot	
NC	Numerical Control	
p	Véc tơ vị trí và hướng của khâu thao tác	
q	Véc tơ tham số động học	
q_i	Biến khớp thứ i	rad
\dot{q}_i	Vận tốc biến khớp thứ i	rad/s
\ddot{q}_i	Gia tốc biến khớp thứ i	rad/s ²
s	Véc tơ tham số hình học	
Sq_i	$\sin(q_i)$	

Sq_{ij}	$\sin(q_i+q_j)$
t	Thời gian
${}^{i-1}T_i$	Ma trận truyền giữa khâu $i-1$ và khâu i
T^T	Ma trận nghịch đảo của ma trận T
T_N	Ma trận chuyển từ khâu n về khâu 0

DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng 2-1: Cấu trúc bảng dữ liệu các điểm hàn đối với hệ tọa độ đồ gá.....	51
Bảng 2-2: Bảng tham số các điểm hàn đối với hệ tọa độ đồ gá	55
Bảng 2-3: Mô hình hóa đường cong mỗi hàn.....	60
Bảng 4-1: Giá trị sai số hình học, động học của robot	88
Bảng 5-1: Bảng dữ liệu đo sai lệch ở những điểm khảo sát.....	92
Bảng 5-2: Dữ liệu đo sai lệch theo trục x và y:	106
Bảng 5-3: Giá trị sai số hình học, động học của robot 2 bậc tự do	107
Bảng 5-4: Bảng dữ liệu đo sai lệch tại 10 điểm đo	108
Bảng 5-5: Kết quả xác định sai số của 24 tham số hình học, động học lần 1	109
Bảng 5-6: Kết quả xác định sai số của 24 tham số hình học, động học lần 2	110
Bảng 5-7: Kết quả xác định sai số của 24 tham số hình học, động học lần 3	110
Bảng 5-8: Kết quả xác định sai số của 24 tham số hình học, động học lần 4	111
Bảng 5-9: Kết quả xác định sai số của 24 tham số hình học, động học lần 5	111

DANH MỤC CÁC HÌNH ẢNH, ĐỒ THỊ

Hình 0-1: Robot trên dây chuyền hàn thân xe ô tô.....	11
Hình 0-2: Robot ứng dụng trong y tế.....	11
Hình 0-3: Robot ứng dụng rà phá bom mìn.....	12
Hình 1-1: Hình ảnh một số loại robot công nghiệp phổ biến.....	16
Hình 1-2: Các thành phần chính của robot công nghiệp.....	17
Hình 1-3: Mô hình robot 3 bậc tự do.....	19
Hình 1-4: Vị trí, hướng và quỹ đạo của khâu thao tác.....	20
Hình 1-5: Quỹ đạo công nghệ của các mối hàn điểm.....	20
Hình 1-6: Biểu diễn sai số do dung sai, biến dạng trong khâu.....	21
Hình 1-7: Sai số trong mô hình robot 1 khâu.....	23
Hình 1-8: Sai lệch quỹ đạo của robot.....	25
Hình 1-9: Sai số trong robot gây ảnh hưởng đến vị trí mối hàn.....	25
Hình 1-10: Sai số trong robot gây sai lệch vị trí và hướng của dụng cụ cắt gọt trong robot gia công.....	26
Hình 2-1: Mô hình điểm P thuộc vật rắn.....	33
Hình 2-2: Các tham số động học D-H: q, d, a và α	35
Hình 2-3: Các tham số động học theo phương pháp tọa độ suy rộng: a, b, c, α , β và γ	36
Hình 2-4: Mô hình hóa quỹ đạo hàn.....	38
Hình 2-5: Tam diện vuông gắn điểm hàn và súng hàn.....	38
Hình 2-6: Robot cấu trúc nối tiếp chuỗi hở.....	40
Hình 2-7: Robot cấu trúc mạch vòng.....	42
Hình 2-8: Robot cấu trúc song song.....	45
Hình 2-9: Mạch động học chân 1 của robot song song.....	46
Hình 2-10: Dây chuyền robot hàn thân xe ô tô.....	49
Hình 2-11: Mô hình cơ hệ robot hàn và thân xe ô tô trên dây chuyền hàn tự động.....	50
Hình 2-12: Robot hàn điểm 6 bậc tự do, các hệ tọa độ khâu.....	50
Hình 2-13: Các điểm hàn 1, 2, 3.....	51
Hình 2-14: Tọa độ súng hàn theo phương x, y, z.....	56
Hình 2-15: Hình ảnh mô phỏng động robot hàn thân xe ô tô khi đồ gá cố định.....	56
Hình 2-16: Hình ảnh mô phỏng động robot hàn thân xe ô tô khi đồ gá di động.....	58
Hình 2-17: Mô hình robot hàn hồ quang thực hiện mối hàn nối 2 ống dẫn khí.....	58
Hình 2-18: Quỹ đạo mũi hàn.....	61