

L I C A M O A N

Tôi xin cam oan rằng nội dung của luận án này là kết quả nghiên cứu cá nhân tác giả. Tôi cũng tham khảo tất cả các nghiên cứu liên quan và nêu nguồn gốc một cách rõ ràng. Những kết quả nghiên cứu và đóng góp trong luận án chưa được công bố trong bất kỳ công trình khoa học nào khác.

Tác giả luận án

Nghiên cứu sinh

Nguyễn Xuân Vinh

L I C M N

Tôi xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến hai Thầy hướng dẫn: PGS. TS. Nguyễn Ngọc Lâm và TS. Nguyễn Minh Thành đã tận tình hướng dẫn tôi thực hiện các công trình nghiên cứu và hoàn thành luận án này.

Tôi xin chân thành cảm ơn các Thầy, Cô, Cán bộ, Nhân viên của Viện Nghiên cứu In-tơ, Tin học, Công nghệ hóa và Phân Viện Nghiên cứu In-tơ, Tin học, Công nghệ hóa TP.HCM đã nhiệt tình giúp đỡ, tạo điều kiện thuận lợi cho tôi trong suốt thời gian học tập và nghiên cứu.

Cuối cùng, xin bày tỏ lòng biết ơn chân thành đến Gia đình của tôi, những người thân đã chia sẻ mọi khó khăn, luôn đồng hành với tôi vượt qua khó khăn để hoàn thành tốt luận án này.

M	U.....	1
CH	NG 1: TAY MÁY SONG SONG KI U STEWART–GOUGH PLATFORM VÀ CÁC C S TOÁN H C.....	5
1.1	T ng quan v t i u hóa thi t k và i u khi n tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform.	5
1.1.1	Gi i thi u v tay máy song song	5
1.1.2	Tình hình nghiên c u v tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform .	6
1.2	Các c s toán h c v tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform.....	13
1.2.1	Phân tích hình h c tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform	14
1.2.2	Mô hình toán c a tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform	15
1.3	K t lu n ch ng 1	22
CH	NG 2: XÂY D NG CÔNG C MÔ HÌNH HÓA, KH O SÁT KH N NG HO T NG C A TAY MÁY SONG SONG KI U STEWART–GOUGH PLATFORM	23
2.1	Xây d ng công c mô hình hóa tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform	23
2.2	Mô hình hóa tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform s d ng b công c ã thi t k	27
2.2.1	i m làm vi c c a tay máy v i góc h ng tâm khâu là h ng s	27
2.2.2	Các y u t nh h ng n vùng làm vi c.....	29
2.2.3	C u hình làm vi c c a tay máy song song v i góc h ng tâm khâu thay i	32
2.2.4	Áp d ng lý thuy t Vít xác nh c u hình suy bi n, i m k d và vùng lân c n c a tay máy song song	34
2.2.5	c ng v ng c a tay máy.....	39
2.3	K t lu n ch ng 2	39

CHƯƠNG 3. GIỚI PHÁP VÀ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VỀ TÍCH TỬ HÓA THIẾT KẾ TAY MÁY SONG SONG KIỂU STEWART-GOUGH PLATFORM	41
3.1 Các thuật toán tích tử và phương pháp tích tử hóa thiết kế tay máy song song....	41
3.1.1 Các thuật toán tích tử	41
3.1.2 Phương pháp tích tử hóa thiết kế tay máy song song	46
3.2 Tích tử hóa thiết kế tay máy song song theo một tiêu chí.....	51
3.3 Tích tử hóa thiết kế tay máy song song theo hai tiêu chí.....	56
3.3.1 Tích tử hóa thiết kế theo hai tiêu chí dùng giá trị đệ quy và thuật toán PSI	57
3.3.2 Tích tử hóa thiết kế theo hai tiêu chí dùng thuật toán GA-PSI.....	61
3.3.3 Tích tử hóa thiết kế tay máy song song theo ba tiêu chí.....	66
3.4 Nhận xét và kết luận chương 3.....	71
CHƯƠNG 4. XÂY DỰNG MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM VÀ NGHIÊN CỨU TÍCH TỬ HÓA THIẾT KẾ	73
4.1 Xây dựng mô hình thực nghiệm.....	73
4.1.1 Thiết kế, chế tạo hệ thống cơ khí.....	74
4.1.2 Thiết kế, lập trình hệ thống điều khiển.....	76
4.2 Xác định thiết kế tích tử cho mô hình thực nghiệm.....	81
4.3 Kết luận chương 4.....	87
CHƯƠNG 5. ĐIỀU KHIỂN TAY MÁY SONG SONG KIỂU STEWART-GOUGH PLATFORM TRÊN CẤU TỬ HÓA THIẾT KẾ VÀ ĐIỀU KHIỂN.....	89
5.1 Khảo sát bằng mô phỏng các thuật toán điều khiển tay máy song song kiểu Stewart-Gough Platform.....	89
5.1.1 Điều khiển PID.....	91
5.1.2 Điều khiển mờ trực tiếp (Direct Fuzzy-PD).....	95
5.1.3 Điều khiển thích nghi mờ Fuzzy-PID	101
5.1.4 Nhận xét về các bộ điều khiển.....	108

5.2	Biểu diễn tay máy song song trên cấu trúc tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform.....	109
5.2.1	Biểu diễn PID.....	110
5.2.2	Biểu diễn tích hợp Fuzzy-PID	114
5.3	Quy trình lập kế hoạch quỹ đạo cho hệ thống.....	119
5.4	Kết luận chương 5	120
	KẾT LUẬN.....	122
	KIẾN NGHỊ VÀ NHỮNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO	123
	CÔNG TRÌNH CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ	124
	CÔNG TRÌNH THAM GIA CỦA TÁC GIẢ	125
	TÀI LIỆU THAM KHẢO	125
	PHỤ LỤC.....	137

DANH MỤC CÁC VI TẾT

T vi t t t	Vi t y Ti ng Anh	Vi t y Ti ng Vi t
ASME	American Society of Mechanical Engineers	H i k s c khí M
AVI	Active Vibration Isolation	H th ng cô l p dao ng tích c c
CRIGOS	Compact Robot for Image Guided Orthopedic Surgery	Robot nh g n cho ph u thu t ch nh hình v i h ng d n b ng hình nh.
CSA	Canadian Space Agency	C quan V tr Canada
ESA	European Space Agency	C quan V tr Châu Âu
GA	Genetic Algorithms	Gi i thu t di truy n
ICRA	International Conference on Robotics and Automation	H i ngh qu c t v Robot và T ng hóa
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	Vi n K s i n và i n t
IFAC	International Federation of Automatic Control	Liên oàn qu c t v i u khi n t ng
IFTOMM	International Federation for the Promotion of Mechanism and Machine Science	Liên oàn qu c t v Phát tri n khoa h c máy và C c u.
IROS	International Conference on Intelligent Robots and Systems	H i ngh qu c t v Robot và H th ng thông minh.
NASA	National Aeronautics and Space Administration	C quan Hàng không và V tr NASA (M)

NIST	National Institute of Standards and Technology	Vi n tiêu chu n và công ngh qu c gia (M)
PC	Personal computer	Máy tính cá nhân
PID	Proportional Integral Derivative	B i u khi n (gi i thu t) vi tích phân t l – B i u khi n (gi i thu t) PID
PPR	Pulse per rovolution	S xung trên vòng quay
PSA	Peugeot Société Anonyme	Công ty Peugeot
PSI	Parameters Space Investigation	Thu t toán i u tra không gian tham s
PWM	Pulse Width Modulation	i u ch r ng xung
SPI	Serial Peripheral Interface	Giao ti p ngo i vi n i ti p (SPI).

DANH M C CÁC NV OL NG

Ký hi u	Ti ng Anh	Ti ng Vi t	i l ng
m	meter	mét	Chi u dài
mm	millimeter	mi-li-mét	Chi u dài
kg	kilogram	kilôgam	Kh i l ng
s	second	giây	Th i gian
h	hour	gi	Th i gian
rad	radian	ra ian	Góc
N	newton	niut n	L c

DANH MỤC CÁC HÌNH V

Hình 1.1. C u t o tay máy song song	5
Hình 1.2. Tay máy song song c a hãng Dunlop Rubber [19]	7
Hình 1.3. Thi t b mô ph ng bay c a D. Stewart [19]	7
Hình 1.4. Delta robot [37].....	7
Hình 1.5. Thi t b gia công Hexapod - D án c a NIST [3]	7
Hình 1.6. Tay máy Stewart–Gough - D án Cubic Hexapod [20].....	8
Hình 1.7. Máy phay v i h c u trúc song song - D án Hexaglide [3].....	8
Hình 1.8. Thi t b SurgiScope [37]	8
Hình 1.9. Robot CRIGOS [31].....	8
Hình 1.10. H th ng nh v kính vi n v ng James Webb [84]	9
Hình 1.11. H th ng th nghi m ng c PSA [84]	9
Hình 1.12. Tay máy song song v i các d n ng tuy n tính [62]	10
Hình 1.13. Tay máy song ph ng dùng trong y t [81].....	11
Hình 1.14. Tay máy song song Stewart Platform - i h c SASTRA [75].....	11
Hình 1.15. H th ng ki m nh c sinh h c [9].....	12
Hình 1.16. H th ng gia công 5 tr c o CNC+Hexapod [110]	13
Hình 1.17. Gi n vector c a tay máy song song Stewart–Gough Platform.....	14
Hình 1.18. B trí kh p n i B_i trên m t ph ng n n (a) và P_i trên t m chuy n ng (b)	15
Hình 2.1. L u thu t toán mô hình hóa tay máy song song	24
Hình 2.2. Giao di n công c mô hình hóa tay máy song song	26
Hình 2.3. C u hình kh o sát i m làm vi c c a tâm khâu	28
Hình 2.4. T p h p i m làm vi c v i góc h ng tâm khâu là h ng s	28
Hình 2.5. Vùng làm vi c v i góc h ng tâm khâu là h ng s	29
Hình 2.6. T p h p i m làm vi c khi xét gi i h n góc kh p	30
Hình 2.7. Vùng làm vi c khi xét gi i h n góc kh p	30
Hình 2.8. i m làm vi c c a tâm khâu khi t ng bán kính m t ph ng n n.....	31
Hình 2.9. Vùng làm vi c c a tâm khâu khi t ng bán kính m t ph ng n n.....	31
Hình 2.10. Ví d v c u hình khác nhau t i i m kh o sát ($x_d=-1,4$; $y_d=-0,7$; $z_d=1,1$).....	32
Hình 2.11. i m làm vi c c a tâm khâu khi góc h ng thay i	33
Hình 2.12. Vùng làm vi c c a tay máy khi góc h ng tâm khâu thay i	33

Hình 2.13. Cấu hình Stewart–Gough Platform	ix	ng – xác	nh c	u hình suy bi n...	35
Hình 2.14. T p h p i m làm vi c	.....				35
Hình 2.15. Phân b i m k d	.....				35
Hình 2.16. K t qu v c u hình suy bi n t i v trí S_4 ($x_4 = -0,44, y_4 = -0,44, z_4 = 1,19$)..					36
Hình 2.17. Cấu hình bi n th – xác	nh c	u hình suy bi n.	.....		37
Hình 2.18. Lân c n i m k d v i $\det(T) < 10^{-4}$	.....				38
Hình 2.19. Lân c n i m k d v i $\det(T) < 10^{-3}$	.....				38
Hình 2.20. Lân c n i m k d v i $\det(T) < 10^{-2}$	.....				38
Hình 2.21. Lân c n i m k d v i $\det(T) < 10^{-1}$	.....				38
Hình 3.1. S g i i thu t di truy n	.....				43
Hình 3.2. S thu t toán PSI	.....				46
Hình 3.3. Ph ng pháp t i u hóa tay máy song song (thay i góc $\alpha > 0$)	.....				47
Hình 3.4. Cấu hình ban u c a tay máy tr c khi t i u hóa thi t k	.....				50
Hình 3.5. T p h p i m làm vi c tr c khi t i u theo 1 tiêu chí	.....				51
Hình 3.6. Vùng làm vi c c a tay máy tr c khi t i u theo 1 tiêu chí	.....				51
Hình 3.7. Quá trình t i u hóa theo 1 tiêu chí	.....				54
Hình 3.8. T p h p i m làm vi c c a tay máy sau khi t i u hóa theo 1 tiêu chí	.....				54
Hình 3.9. Vùng làm vi c c a tay máy sau khi t i u hóa theo 1 tiêu chí	.....				54
Hình 3.10. Cấu hình c a tay máy sau khi t i u hóa theo 1 tiêu chí	.....				55
Hình 3.11. Phân b i m làm vi c tr c khi t i u theo 2 tiêu chí	.....				56
Hình 3.12. Quá trình t i u hóa theo hai tiêu chí	.....				59
Hình 3.13. T p h p i m làm vi c c a tay máy sau khi t i u hóa theo 2 tiêu chí	.....				60
Hình 3.14. Vùng làm vi c c a tay máy sau khi t i u hóa theo 2 tiêu chí	.....				60
Hình 3.15. Cấu hình t i u hóa c a tay máy sau khi t i u hóa theo 2 tiêu chí	.....				60
Hình 3.16. Quá trình tìm ki m c u hình ban u dùng gi i thu t di truy n	.....				63
Hình 3.17 Phân b i m làm vi c – Vùng làm vi c c a c u hình ban u	.....				63
Hình 3.18. Cấu hình ban u - Ph ng pháp GA-PSI	.....				64
Hình 3.19. Quá trình t i u hóa theo hai tiêu chí dùng thu t toán PSI	.....				64
Hình 3.20. T p h p i m làm vi c (a) – Vùng làm vi c (b) tr c khi t i u theo 3 tiêu chí	.....				67
Hình 3.21. Quá trình t i u theo 3 tiêu chí dùng thu t toán PSI theo hai tr ng h p	.....				68
Hình 3.22. T p h p i m làm vi c sau khi t i u hóa theo 3 tiêu chí	.....				69

Hình 3.23. Vùng làm vi c sau khi t i u hóa theo 3 tiêu chí	69
Hình 3.24. C u hình t i u hóa theo 3 tiêu chí dùng thu t toán PSI.....	70
Hình 4.1. Tay máy song song v i chân d n ng ph ngoài không gian làm vi c [111].	73
Hình 4.2. Thi t k c khí mô hình th c nghi m tay máy.....	74
Hình 4.3. Mô hình c khí tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform.....	75
Hình 4.4. C u trúc h th ng i u khi n tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform	77
Hình 4.5. Mô hình i u khi n tay máy song song trên ph n m m Matlab	77
Hình 4.6. L u b i u khi n Master.....	78
Hình 4.7. L u b i u khi n Slave.....	79
Hình 4.8. S b i u khi n hai vòng kín (v trí và t c) chân d n ng.....	80
Hình 4.9. nh d ng các gói d li u c a h th ng i u khi n.....	80
Hình 4.10. B i u khi n tay máy song song ã thi t k	81
Hình 4.11. C u hình tay máy tr c khi t i u - Mô hình th c nghi m	82
Hình 4.12. T p h p i m làm vi c (a), vùng làm vi c (b) c a tay máy tr c khi t i u..	83
Hình 4.13. Quá trình t i u hóa a tiêu chí dùng thu t toán PSI – Mô hình th c nghi m	84
Hình 4.14. T p h p i m làm vi c và vùng làm vi c sau khi t i u hóa thi t k - Mô hình th c nghi m.....	85
Hình 4.15. C u hình t i u hóa - Mô hình th c nghi m	85
Hình 4.16. Mô hình th c nghi m tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform.....	87
Hình 5.1. Mô hình tay máy song song trên n n Simulink – Matlab	90
Hình 5.2. S i u khi n các chân d n ng.....	91
Hình 5.3. S i u khi n dùng thu t toán PID	92
Hình 5.4. Ch ng trình mô ph ng b i u khi n PID trên Simulink - Matlab.....	92
Hình 5.5. áp ng theo v trí c a tâm khâu – Mô ph ng b i u khi n PID.....	92
Hình 5.6. áp ng theo góc h ng c a tâm khâu – Mô ph ng b i u khi n PID.....	93
Hình 5.7. Sai s v trí (Z) c a tâm khâu – Mô ph ng b i u khi n PID	93
Hình 5.8. Sai s v trí (X, Y) c a tâm khâu – Mô ph ng b i u khi n PID	94
Hình 5.9. Sai s góc h ng c a tâm khâu – Mô ph ng b i u khi n PID	94
Hình 5.10. áp ng c a các chân d n ng – Mô ph ng b i u khi n PID	95
Hình 5.11. B i u khi n m tr c ti p (Direct Fuzzy-PD)	96
Hình 5.12. Ch ng trình mô ph ng b i u khi n m tr c ti p (Direct Fuzzy-PD).....	96

Hình 5.13. M t i u khi n m - B i u khi n m tr c ti p (Direct Fuzzy-PD).....	97
Hình 5.14. Chuy n ng v trí c a tâm khâu – Mô ph ng b i u khi n Direct Fuzzy-PD	97
Hình 5.15. Chuy n ng góc h ng c a tâm khâu – Mô ph ng b i u khi n Direct Fuzzy- PD	98
Hình 5.16. Sai s v trí (tr c Z) c a tâm khâu – Mô ph ng b i u khi n Direct Fuzzy-PD	98
Hình 5.17. Sai s v trí (tr c X, Y) c a tâm khâu – Mô ph ng b i u khi n Direct Fuzzy- PD	99
Hình 5.18. Sai s góc h ng c a tâm khâu – Mô ph ng b i u khi n Direct Fuzzy-PD	99
Hình 5.19. áp ng c a các chân d n ng – Mô ph ng b i u khi n Direct Fuzzy-PD	100
Hình 5.20. B i u khi n t ch nh nh Fuzzy – PID.....	101
Hình 5.21. Mô hình b i u khi n Fuzzy-PID trên Simulink - Matlab	101
Hình 5.22. M t i u khi n m ch nh nh h s K_P'	103
Hình 5.23. M t i u khi n m ch nh nh h s K_D'	103
Hình 5.24. M t i u khi n m ch nh nh h s	104
Hình 5.25. Chuy n ng v trí c a tâm khâu – Mô ph ng b i u khi n Fuzzy-PID	105
Hình 5.26. Chuy n ng góc h ng c a tâm khâu – Mô ph ng b i u khi n Fuzzy-PID	105
Hình 5.27. Sai s v trí (tr c Z) c a tâm khâu – Mô ph ng b i u khi n Fuzzy-PID...	106
Hình 5.28. Sai s v trí (tr c X, Y) c a tâm khâu – Mô ph ng b i u khi n Fuzzy-PID	106
Hình 5.29. Sai s góc h ng c a tâm khâu – Mô ph ng b i u khi n Fuzzy-PID.....	107
Hình 5.30. áp ng c a các chân d n ng – Mô ph ng b i u khi n Fuzzy-PID.....	107
Hình 5.31. Chuy n ng v trí c a tâm khâu – Th c nghi m b i u khi n PID	110
Hình 5.32. Sai s v trí (tr c Z) c a tâm khâu – Th c nghi m b i u khi n PID.....	111
Hình 5.33. Sai s xác l p (tr c X, Y) c a tâm khâu – Th c nghi m b i u khi n PID	111
Hình 5.34. Sai s góc h ng c a tâm khâu – Th c nghi m b i u khi n PID.....	112
Hình 5.35. áp ng c a các chân d n ng – Th c nghi m b i u khi n PID.....	112
Hình 5.36. Chuy n ng v trí c a tâm khâu – Th c nghi m b i u khi n Fuzzy-PID	115

Hình 5.37. Sai số vị trí (trục Z) của tâm khâu – Thử nghiệm bước đầu khi n Fuzzy-PID	115
Hình 5.38. Sai số vị trí (trục X, Y) của tâm khâu – Thử nghiệm bước đầu khi n Fuzzy-PID	116
Hình 5.39. Sai số góc lệch của tâm khâu – Thử nghiệm bước đầu khi n Fuzzy-PID..	116
Hình 5.40. Đáp ứng của các chân dẫn đường – Thử nghiệm bước đầu khi n Fuzzy-PID.	117
Hình 5.41. Quá trình điều khiển tay máy song song - Bước đầu khi n Fuzzy-PID	118

DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU

Bảng 2.1. Thông số tay máy và giới hạn không gian khảo sát	27
Bảng 2.2. Kết quả khảo sát làm việc của tâm khâu	28
Bảng 2.3. Kết quả khảo sát làm việc khi xét giới hạn góc khớp	30
Bảng 2.4. Kết quả khảo sát làm việc khi thay đổi bán kính mặt phẳng n	31
Bảng 2.5. Kết quả khảo sát làm việc với góc hướng tâm khâu thay đổi	33
Bảng 2.6. Thông số tay máy và giới hạn không gian khảo sát	34
Bảng 2.7. Kết quả khảo sát làm việc của hình Stewart–Gough Platform	35
Bảng 2.8. Kết quả khảo sát làm việc của hình binh	37
Bảng 2.9. Kết quả khảo sát làm việc và vùng làm việc theo chu số $\det(T)$	38
Bảng 3.1. Tập tham số khởi tạo - Quá trình tối ưu hóa thiết kế	48
Bảng 3.2. Hình ảnh các sơ đồ khảo sát thiết kế khâu /thiết kế	49
Bảng 3.3. Vị trí các khớp trên mặt phẳng n trước khi tối ưu hóa thiết kế	50
Bảng 3.4. Kết quả khảo sát vùng làm việc theo 1 tiêu chí.....	51
Bảng 3.5. Thông số các giới hạn truy cập - Tối ưu hóa theo 1 tiêu chí.....	52
Bảng 3.6. Kết quả tối ưu hóa thiết kế theo 1 tiêu chí – Giới hạn truy cập.....	52
Bảng 3.7. Kết quả tối ưu hóa thiết kế theo một tiêu chí - Phương pháp PSI.....	52
Bảng 3.8. Kết quả tối ưu hóa theo một tiêu chí	53
Bảng 3.9. Vị trí khớp nối trên mặt phẳng n sau khi tối ưu theo 1 tiêu chí	55
Bảng 3.10. Thông số giới hạn truy cập tối ưu hóa thiết kế theo hai tiêu chí.....	57
Bảng 3.11. Kết quả tối ưu hóa thiết kế theo hai tiêu chí - Giới hạn truy cập.....	57
Bảng 3.12. Kết quả tối ưu hóa thiết kế theo hai tiêu chí - Thuật toán PSI.....	58
Bảng 3.13. Kết quả tối ưu theo hai tiêu chí dùng giới hạn truy cập và thuật toán PSI..	58
Bảng 3.14. Vị trí khớp nối trên mặt phẳng n sau khi tối ưu 2 tiêu chí.	61
Bảng 3.15. Thông số giới hạn truy cập – Thuật toán GA-PSI.....	62
Bảng 3.16. Kết quả tìm kiếm cấu hình ban đầu dùng giới hạn truy cập GA.....	62
Bảng 3.17. Vị trí khớp nối của cấu hình ban đầu.....	64
Bảng 3.18. Kết quả sau khi tối ưu hai tiêu chí dùng thuật toán GA-PSI.....	65
Bảng 3.19. Kết quả tối ưu theo 3 tiêu chí dùng thuật toán PSI.....	68
Bảng 3.20. Vị trí khớp nối sau khi tối ưu hóa theo 3 tiêu chí dùng thuật toán PSI.....	70
Bảng 4.1. Thông số kết quả mô hình cơ khí.....	75

B ng 4.2. Thông s k thu t b i u khi n tay máy song song	81
B ng 4.3. V trí kh p n i tr c khi t i u - Mô hình th c nghi m	82
B ng 4.4. K t qu t i u hóa thi t k theo a tiêu chí dùng PSI - Mô hình th c nghi m	83
B ng 4.5. V trí kh p n i sau khi t i u hóa thi t k - Mô hình th c nghi m	86
B ng 5.1. Lu t h p thành m u(t) - B i u khi n m tr c ti p (Direct Fuzzy-PD)	96
B ng 5.2. Lu t h p thành m h s K_P' - B i u khi n t ch nh nh Fuzzy-PID.....	102
B ng 5.3. Lu t h p thành m h s K_D' - B i u khi n t ch nh nh Fuzzy-PID.	103
B ng 5.4. Lu t h p thành m h s - B i u khi n t ch nh nh Fuzzy-PID.	104
B ng 5.5. Tiêu chu n ch t l ng h th ng – Mô ph ng b i u khi n	108
B ng 5.6. Tiêu chu n ch t l ng h th ng – B i u khi n PID	113
B ng 5.7. Tiêu chu n ch t l ng h th ng – B i u khi n Fuzzy-PID.....	117

M U

Vào những năm gần đây, tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform đã được nghiên cứu và ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau như: gia công chính xác, gia công trong y học, thiên văn học, mô phỏng chuyển động, ... Tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform có những ưu điểm vượt trội so với tay máy nối tiếp như: cấu trúc gọn nhẹ, khả năng chịu tải trọng lớn, khả năng thay đổi vị trí và hình dạng linh hoạt, chính xác, độ bền cao, ... Tuy nhiên, tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform cũng tồn tại những nhược điểm như: không gian làm việc bị giới hạn, thiết kế phức tạp, giá thành cao, bài toán động học thuận và ngược khó giải quyết các điểm kỳ dị (singularities) trong không gian làm việc [3], [19], [26], [41]. Nhằm hạn chế các nhược điểm nêu trên, việc nghiên cứu tối ưu hóa thiết kế và điều khiển đặc biệt quan trọng trong quá trình thiết kế chế tạo và vận hành tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform. Quá trình này bao gồm các bước: mô hình hóa; đánh giá khả năng hoạt động của tay máy với các ràng buộc; tối ưu hóa thiết kế theo các tiêu chí; tối ưu hóa điều khiển phân cấp trên các cấu hình tối ưu hóa thiết kế.

Hiện nay tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform vẫn đang là tài liệu nghiên cứu của nhiều trường đại học trên thế giới, là tài liệu luận văn thạc sĩ và tiến sĩ đã và đang trình bày trên tạp chí trong nước và quốc tế [9], [67], [86].

Việt Nam, việc nghiên cứu tay máy song song đã được chú ý từ năm 2002. Nhiều trường đại học, viện nghiên cứu, cơ sở sản xuất đã trình bày các nghiên cứu, chế tạo tay máy song song.

Qua tìm hiểu các công trình đã công bố trong nước, tác giả nhận thấy việc nghiên cứu thiết kế chi tiết cách riêng biệt về thiết kế, chế tạo hệ thống khí [17], [113], [114], [116], [119], [120] hoặc điều khiển [24], [123], [124], mô phỏng hoạt động [105], [112], [117], [121], giải bài toán động học [57], [106], [107], phân tích cấu trúc [36],

xuất động [122], ... của tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform theo từng vận tốc khác nhau. Các nghiên cứu này chủ yếu dựa vào quy tắc các vận tốc đầu và cuối tiếp tục phát triển có thể áp dụng vào thực tiễn cho quá trình thiết kế, chế tạo và vận hành tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform. Vì vậy, một nghiên cứu có tính toàn diện, có khả năng áp dụng với các tham số khác nhau về cấu hình cơ khí, không gian khảo sát, các tính điều khiển, ... nhằm phân tích về thiết kế, chế tạo và vận hành tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

Lưu ý này trình bày các vấn đề nghiên cứu như sau:

- **Mục tiêu nghiên cứu:** Xây dựng hệ thống cơ sở khoa học về tối ưu hóa thiết kế và điều khiển tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform, góp phần tạo ra công cụ thiết kế, chọn lọc các hệ thống động cơ thích hợp.
- **Đối tượng nghiên cứu:** Tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform (các phần trình bày về tay máy song song trong luận án đề cập chủ yếu là tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform).
- **Phạm vi nghiên cứu:** Tối ưu hóa thiết kế và điều khiển tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform trên mô hình máy tính và thực nghiệm.
- **Giới hạn của luận án:**
 - Về tối ưu hóa thiết kế cấu hình, luận án giới hạn về các áp dụng mô hình lý thuyết và giới hạn về lý thuyết Vết xác định cấu hình suy biến, tìm kiếm và vùng lân cận của tay máy song song; các giới hạn về tối ưu hóa số lượng giới hạn truy cập (GA), thuật toán PSI, thuật toán GA-PSI.
 - Về tối ưu hóa thiết kế cấu hình đề cập giới hạn 3 tiêu chí: số khâu làm việc, số cấu hình làm việc, công suất tay máy.
 - Mô hình thực nghiệm được xây dựng với các tiêu chí kiểm tra, so sánh các giới hạn về tối ưu hóa thiết kế và điều khiển, không đòi hỏi tính linh hoạt và chính xác cao (số lượng các khâu động dùng vít me và động cơ DC servo).
 - Luận án cũng giới hạn thực nghiệm khảo sát 2 giới hạn điều khiển: PID và Fuzzy-PID.
- **Phương pháp nghiên cứu:** Nghiên cứu lý thuyết dựa trên các phương pháp mô hình hóa, số lượng công cụ tính toán - phần mềm máy tính thực hiện tối ưu hóa thiết kế và điều khiển. Tiến hành thực nghiệm trên mô hình thiết kế chọn lọc.
- **Nội dung nghiên cứu:**
 - Xây dựng bộ công cụ mô hình hóa, khảo sát và đánh giá khả năng hoạt động của tay máy song song.
 - Xây dựng giới hạn về tối ưu hóa thiết kế tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform theo các tiêu chí (số khâu làm việc, số cấu hình làm việc, công suất tay máy).
 - Xây dựng mô hình thực nghiệm và thực hiện tối ưu hóa cấu hình thiết kế.

- Xu t thi t k gi i thu t t i u hóa cho b i u khi n tay máy trên c s s đ ng các thu t toán i u khi n kinh i n và hi n i.

- **óng góp chính và ý ngh a khoa h c c a lu n án:**

- Xây d ng c s toán h c cho t i u hoá thi t k , xây d ng b công c nghiên c u dùng mô hình hóa, ng th i ánh giá các tiêu chí nh h ng n kh n ng làm vi c c a tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform.
- Xu t các gi i pháp t i u hóa, xây d ng các ch ng trình t i u hóa thi t k theo a tiêu chí cho tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform theo gi i thu t di truy n, thu t toán PSI, ph ng pháp k t h p gi a gi i thu t di truy n và thu t toán PSI (thu t toán GA-PSI). c bi t, thu t toán GA-PSI có kh n ng gi m thi u th i gian t i u hóa v i c u hình ban u c xác nh phù h p theo không gian kh o sát.
- Xây d ng mô hình v t lý tay máy song song có kh n ng tái c u hình và tính m , cho phép ki m ch ng các thu t toán t i u hóa thi t k và i u khi n tay máy song song.
- Xu t gi i pháp t i u hóa i u khi n tay máy song song trên c s áp đ ng thu t toán i u khi n thông minh (Fuzzy) và ph ng pháp k t h p (Fuzzy-PID).

- **Ý ngh a th c ti n c a Lu n án:**

- Trên c s các k t qu nghiên c u c a lu n án, v i m i ng đ ng th c ti n c a tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform, ta có th l a ch n và xác nh c u hình thi t k t i u v i các tiêu chí ph n ánh kh n ng làm vi c nh : vùng làm vi c, c u hình suy bi n, c ng v ng,... theo các yêu c u c a nhà thi t k .
- ng đ ng các gi i thu t i u khi n t i u a h p cho tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform.
- T các k t qu thu c, lu n án xu t m t quy trình s đ ng t i u hoá thi t k và i u khi n cho tay máy song song theo yêu c u th c ti n ra.

C u trúc c a lu n án: Lu n án g m ph n m u, 5 ch ng n i dung và ph n k t lu n.

Ph n m u trình bày lý do ch n tài, m c ích, i t ng, ph m vi, gi i h n, ph ng pháp, n i dung nghiên c u, ý ngh a khoa h c và th c ti n c a lu n án.

Chương 1 trình bày tổng quan về các vấn đề nghiên cứu, các cơ sở toán học làm nền tảng cho các nghiên cứu trong luận án (các bài toán về động học, các giới hạn về động học, nguyên lý cơ học, cấu trúc hình suy biến, điểm kỳ dị và lân cận, cấu trúc về các tay máy).

Các đóng góp chính của luận án trình bày trong chương 2, 3, 4 và 5.

Chương 2 trình bày về việc dựng các cơ sở toán học nêu trong chương 1 xây dựng bộ công cụ nghiên cứu dùng cho mô hình hóa, đồng thời đánh giá các tiêu chí như hiệu suất làm việc của tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform. Công cụ cho phép: 1) Khảo sát vùng làm việc và đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến vùng làm việc; 2) Khảo sát cấu trúc làm việc của tay máy về góc hình tâm khâu thay thế; 3) Áp dụng lý thuyết Vết xác định cấu trúc suy biến (Singularity), điểm kỳ dị và vùng lân cận của tay máy song song; 4) Cấu trúc về các cấu trúc hình thức.

Chương 3 trình bày các kết quả nghiên cứu của tác giả về tối ưu hóa thiết kế tay máy song song. Các giới pháp tối ưu hóa thiết kế như giới hạn truy cập, thuật toán PSI, thuật toán kết hợp GA-PSI được áp dụng tìm kiếm cấu trúc hình thức tối ưu tay máy song song theo một vài tiêu chí. Các kết quả tối ưu tìm kiếm, phân tích và đánh giá về cùng không gian tham số đưa vào cho tất cả các trường hợp tối ưu.

Chương 4 trình bày kết quả thiết kế và chế tạo mô hình thực nghiệm kiếm tìm các kết quả nghiên cứu. Đồng thời giới pháp tối ưu hóa thiết kế chương 3 xác định và xác lập cấu trúc hình thực nghiệm về tối ưu hóa thiết kế và hiệu suất cho tay máy song song.

Chương 5 trình bày các kết quả nghiên cứu về tối ưu hóa hiệu suất cho tay máy song song. Trên cơ sở cấu trúc hình thức tối ưu hóa thiết kế chương 4, luận án xuất và mô phỏng trên máy tính các giới pháp tối ưu hóa hiệu suất cho tay máy dùng các thuật toán hiệu suất kinh điển và hiện đại: PID, Fuzzy, Fuzzy-PID. Tiến hành thực nghiệm kiếm tìm, so sánh, đánh giá kết quả và chế tạo lắp ráp các bộ hiệu suất (PID, Fuzzy-PID) trên mô hình thực nghiệm tay máy song song.

Phụ lục luận trình bày những kết quả của luận án, hướng phát triển nghiên cứu tiếp theo.

CHƯƠNG 1: TAY MÁY SONG SONG KIỂU STEWART-GOUGH PLATFORM VÀ CÁC CÔNG THỨC TOÁN HỌC.

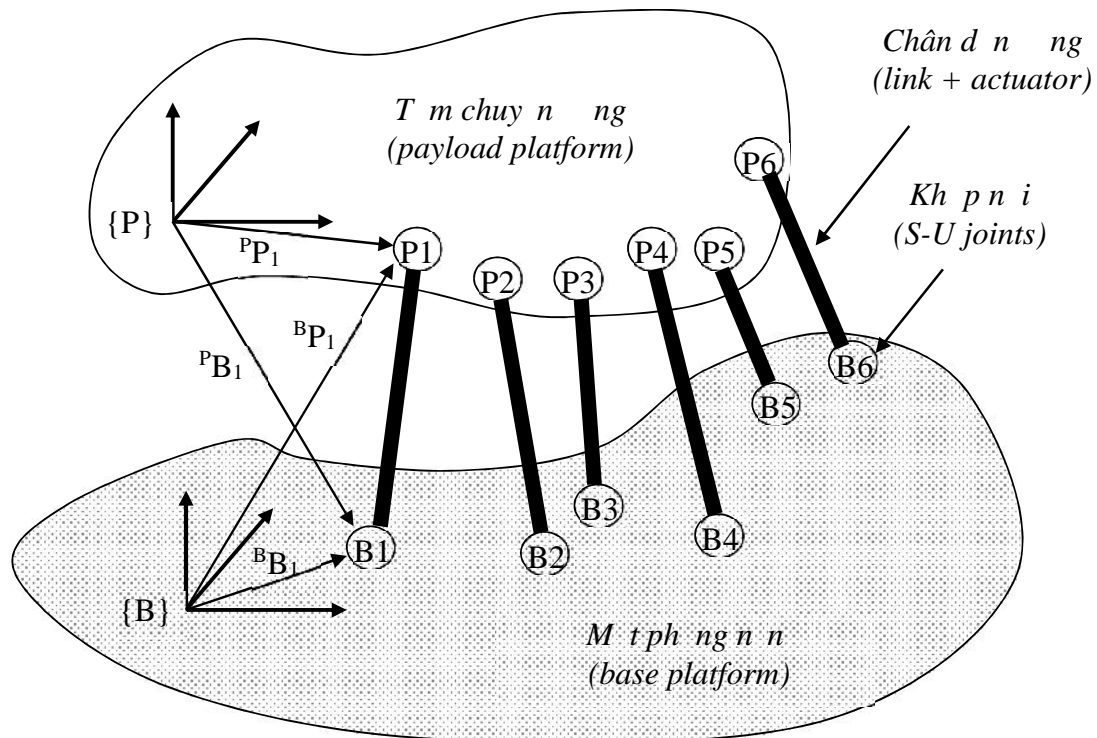
Chương này trình bày nội dung chính như sau:

- Giới thiệu tóm tắt về tay máy song song kiểu Stewart-Gough Platform;
- Nghiên cứu về tối ưu hóa và điều khiển tay máy song song kiểu Stewart-Gough Platform;
- Xu hướng nghiên cứu và phương pháp tiến hành luận án;
- Xác định các công thức làm nền tảng cho các kết quả nghiên cứu của luận án.

1.1 Tổng quan về tối ưu hóa thiết kế và điều khiển tay máy song song kiểu Stewart-Gough Platform.

1.1.1 Giới thiệu về tay máy song song

Tay máy song song kiểu Stewart-Gough Platform [19] có 6 bậc tự do (cấu tạo bởi 6 khâu kết nối nền (base platform), tải chuyển động (payload platform) và 6 chân đỡ nền). Các chân đỡ nền này có khả năng thay đổi chiều dài và kết nối với hai khâu thông qua các khớp nối (khớp cầu hoặc khớp các ng) tại các trục. Các khâu nối giữa các khâu nền và tải chuyển động có bố trí như hình 1.1.



Hình 1.1. Cấu tạo tay máy song song.

Theo [32], số bậc tự do của tay máy song song có tính nh sau:

$$F = 6(l - j - 1) + \sum_{i=1}^j f_i - I_d \quad (1.1)$$

Trong đó: l : số bậc tự do của vùng làm việc;

j : số khâu cơ cấu;

f_i : số khớp cơ cấu;

I_d : số bậc tự do của khâu i ;

I_d : số bậc tự do của khâu cơ cấu;

Trong trường hợp hai trục khớp cầu (spherical joint), công thức (1.1), ta có:

$$F = 6(n + 1 + 1 - 2.n - 1) + 2.n.3 = 6 - n \quad (1.2)$$

Trong trường hợp dùng khớp các (universal joint) và khớp lăng trụ (prismatic joint) đặt trên trục khâu, công thức (1.1) sẽ tính:

$$F = 6(2.n + 1 + 1 - 3.n - 1) + 2.n.2 + n.1 = 6 - n \quad (1.3)$$

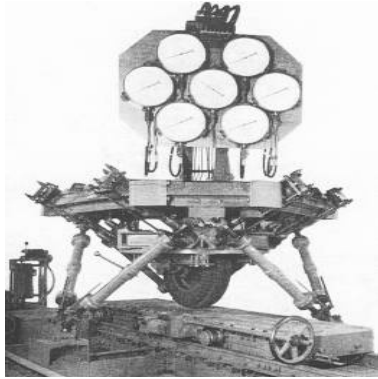
Thay thế vào công thức (1.2), (1.3), chúng ta thấy rằng số bậc tự do của tay máy song song chỉ còn lại $n = 6$ khâu, khi đó bậc tự do của tay máy song song là zero. Nếu có thể thì khi thay đổi chiều dài các chân đòn thì ta sẽ có số bậc tự do của tay máy song song $F = 6$. Như vậy, khi lắp ráp tay máy song song 6 bậc tự do kiểu Stewart-Gough Platform sẽ phù hợp vào vị trí của khi thay đổi chiều dài các chân đòn này.

1.1.2 Tình hình nghiên cứu về tay máy song song kiểu Stewart-Gough Platform

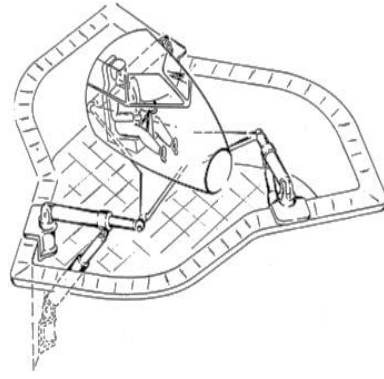
❖ Tình hình nghiên cứu trên thế giới trong lĩnh vực này như sau:

- Năm 1947, tại Birmingham, Anh quốc, tiến sĩ Eric Gough đã cho ra đời hình mẫu tiên về tay máy song song. Thiết kế này của Eric Gough hoàn thiện và chuyển vào năm 1954 tại hãng Dunlop Rubber với mục đích sử dụng nâng chuyển các tải trọng nặng (hình 1.2).
- Năm 1965, tại IMechE, Anh Quốc, Tiến sĩ Stewart, D. công bố công trình mô tả một nền tảng chuyển động (platform) 6 bậc tự do dùng mô phỏng và huấn luyện bay [19]. Bên cạnh đó, thiết kế này đã gây tác động rất lớn đến việc hình thành các nền tảng tay máy song song sau này (hình 1.3).
- Năm 1980: Giáo sư Raymond Clavel thiết kế ra Delta robot [37], sau này trở thành một trong những tay máy song song nổi tiếng nhất (hình 1.4).

- Năm 1985: Tay máy song song ra đời dựa trên các cấu trúc 3 bậc tự do dùng khớp trục và tịnh tiến.
- Năm 1987: Máy in 3D theo cấu trúc song song ra đời.
- Năm 2002: Hội nghị khoa học về tay máy song song quốc tế do IFToMM, ASME, IFAC, IEEE, Laval, Quebec, Canada và các nhà nghiên cứu phát triển quản lý và ứng dụng cho tay máy song song.
- Hàng năm nhiều hội nghị khoa học quốc tế do IFToMM, ASME, IFAC, IEEE, ICRA, IROS, ... tổ chức các công trình nghiên cứu mới về tay máy song song.



Hình 1.2. Tay máy song song của hãng Dunlop Rubber [19]



Hình 1.3. Thiết kế mô phỏng bay của D. Stewart [19]



Hình 1.4. Delta robot [37]



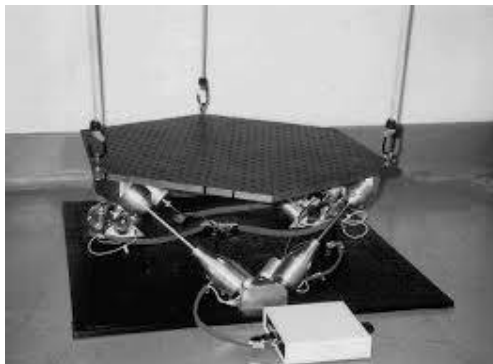
Hình 1.5. Thiết kế gia công Hexapod - Dự án của NIST [3]

Nhiều dự án các nhà nghiên cứu CHLB Trung Quốc, Mỹ, Hoa Kỳ đã được triển khai trên các ứng dụng tay máy song song – Hexapod như:

- Dự án NIST (Mỹ) (hình 1.5) với mục tiêu là nâng cao độ chính xác và độ bền của máy dựa trên nguyên lý Stewart-Gough Platform - Hexapod được triển khai từ năm 1998 đến năm 2001.
- Dự án Cubic Hexapod do các nhà nghiên cứu tại Đại học Washington và Trung tâm Công nghệ Hood kéo dài từ năm 1998 đến năm 2004. Dự án này đã phát triển tay

máy Stewart–Gough Platform loại trừ nhiễu trong các hình thức chính xác (hình 1.6), vì vậy khi cần vị trí chính xác 1 nanômét.

- Dự án Hexaglide của Viện robot của Thụy Sĩ bắt đầu năm 1996. Tay máy là hai cấu trúc song song 6 bậc tự do, sử dụng máy phay tốc độ cao và không gian làm việc 700×600×500 mm, sử dụng hệ thống VME-Bus và hình thức thi gian thực. Ưu điểm của nó là có thể thực hiện các chuyển động nhanh và chính xác cao (hình 1.7).



Hình 1.6. Tay máy Stewart–Gough - Dự án Cubic Hexapod [20]

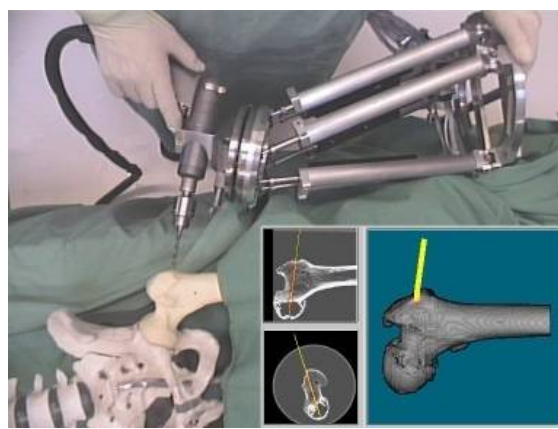


Hình 1.7. Máy phay hai cấu trúc song song - Dự án Hexaglide [3]

- Công ty Elekta (Thụy Sĩ), một công ty chuyên về các trang thiết bị y tế đã dùng robot Delta làm thiết bị Surgiscope nâng đỡ kính hiển vi có khối lượng 20 kg dùng trong phẫu thuật (hình 1.8).
- Một dự án của châu Âu chế tạo robot CRIGOS (Compact Robot for Image Guided Orthopedic Surgery) sử dụng cấu trúc Gough-Stewart nhằm cung cấp cho các bác sĩ phẫu thuật một công cụ hữu ích cho phẫu thuật xương (hình 1.9).



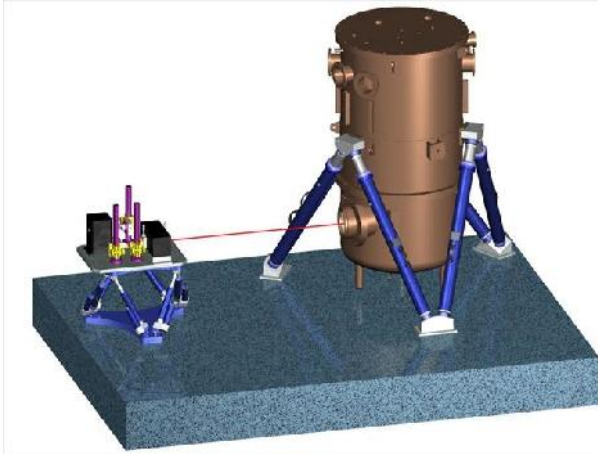
Hình 1.8. Thiết bị SurgiScope [37]



Hình 1.9. Robot CRIGOS [31]

- Hãng Symetrie (Pháp, chuyên thiết kế và chế tạo tay máy song song) tham gia các dự án như :

- o Kính viễn vọng không gian James Webb có thiết kế với hai hệ thống nhíp cơ m bin CCD và nguồn sáng dùng hai tay máy song song kiểu Hexapod (tay máy SONORA và BREVA) (hình 1.10).
- o Hệ thống thí nghiệm của PSA cho hãng ô tô Peugeot-Citroën (hình 1.11)



Hình 1.10. Hệ thống nhíp kính viễn vọng James Webb [84]



Hình 1.11. Hệ thống thí nghiệm của PSA [84]

❖ Tổng hợp các nghiên cứu trong lĩnh vực tay máy song:

Kể từ hình thành toàn bộ lĩnh vực nghiên cứu vào năm 2002, các tác giả đã bắt đầu nghiên cứu, khảo sát các cấu trúc, các bài toán động học và động lực học của tay máy song song thông qua phương pháp mô phỏng [104], [107], [112], [123].

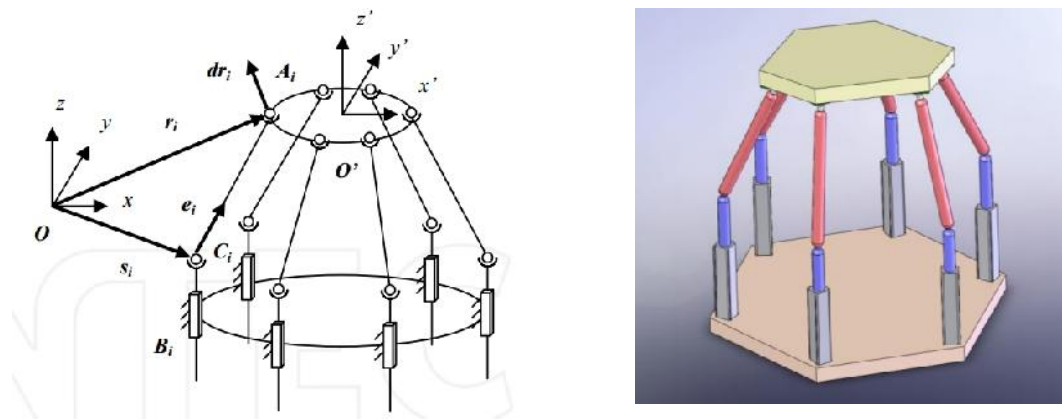
Từ hình thành toàn bộ lĩnh vực nghiên cứu năm 2004, các tác giả Phạm Văn Bình, Nguyễn Thanh Quang, Trần Thế Hùng và Phạm Anh Tuấn từ Phòng Nghiên cứu, Viện Công nghệ và Công nghệ mô hình, mô phỏng động lực học và tính toán thiết kế cho robot công nghiệp (Hexapod) ứng dụng trong gia công công nghệ khí [121]. Nhóm tác giả trên cũng đã tham gia thành công thi đấu này và thi đấu hiện nay cũng đang bày tỏ Viện Công nghệ. Một số tác giả khác cũng công bố các kết quả thiết kế, phân tích lực và biến dạng máy công cụ kim loại và hệ chân hexapod dùng phần mềm Matlab [106], [117].

Các bài toán cơ bản của tay máy song song tiếp tục được công bố trong những năm tiếp theo như: tìm miền làm việc của robot song song [105], nghiên cứu xây dựng tay máy song song [113], [114], [119], bài toán điều khiển cho tay máy song song [47], [124], ứng dụng tay máy song song [122]. Các vấn đề được đề cập của các tác giả trong Hội thảo Hannover, CHLB Đức các công trình [11], [12], [34] có giá trị học thuật cao tham khảo cho nghiên cứu triển khai thực tế.

Có thể thấy rằng, trong giai đoạn này tay máy song song – Hexapod đã được nhiều nhà khoa học trong nước quan tâm nghiên cứu. Những kết quả nghiên cứu nói trên đã đem lại những tính cần thiết, phù hợp với các mô hình thực nghiệm và mô phỏng. Qua khảo sát các công trình công bố trong nước cho thấy các nghiên cứu thực nghiệm và lý thuyết về tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform.

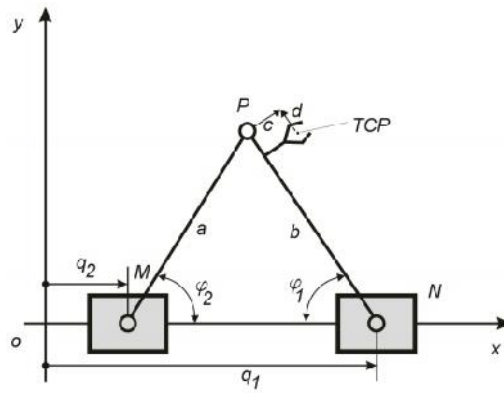
❖ **Tổng hợp các nghiên cứu có liên quan về tối ưu hóa hình dạng tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform.**

- Các nghiên cứu của V.A.Glazunov và nhóm tác giả [62], [63], [66], [90], [94] đã đi sâu hơn về phương pháp tối ưu hóa thiết kế tay máy song song có các chân đỡ ngang tùy chỉnh (hình 1.12). Trong đó, có xét đến các tiêu chí về không gian làm việc, các kích thước bằng phương pháp chiếu dài các chân đỡ ngang tùy chỉnh. Các nghiên cứu này có tính lý thuyết, cho các kích thước bằng thực nghiệm, phương pháp tối ưu hóa thiết kế sử dụng thuật toán tìm kiếm PSI dùng thuật toán Pareto. Ngoài ra, nội dung nghiên cứu là tay máy song song có chân đỡ ngang phân bố ngoài vùng không gian làm việc (cực cận biên). Tuy nhiên, các vấn đề nêu trong các công trình trên đã trở nên đáng nghiên cứu mới cho lĩnh vực tối ưu hóa thiết kế tay máy song song. Luận án này được phát triển theo hướng nghiên cứu thực nghiệm tối ưu hóa thiết kế và lý thuyết cho nội dung tay máy song song kiểu Stewart-Gough của tác giả công bố trong các công trình [CTTG-1]-[CTTG-6].



Hình 1.12. Tay máy song song với các chân đỡ ngang tùy chỉnh [62]

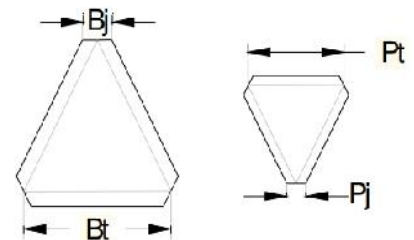
- Các nghiên cứu của Sergiu-Dan Stan và nhóm tác giả [81], [82], [83] đã đề xuất phương pháp dùng giá trị thu được từ tối ưu hóa tay máy song song dùng trong thực nghiệm (hình 1.13) và tay máy song song với chân đỡ ngang tùy chỉnh.



Hình 1.13. Tay máy song ph ng dùng trong y t [81]

Các công trình này c th c hi n cùng th i gian v i các nghiên c u c a lu n án, giúp cho lu n án kh ng nh s úng n trong vi c l a ch n gi i pháp s d ng gi i thu t di truy n t i u hóa thi t k tay máy song song. Các k t qu nghiên c u trong lu n án ã a ra gi i pháp t i u hóa thi t k cho tay máy song song b ng cách s d ng gi i thu t di truy n k t h p v i thu t toán tìm ki m PSI và t p h p t i u Pareto. Gi i pháp này c th c hi n mà không có s trùng l p v i các công trình công b trên th gi i.

- Các nghiên c u c a nhóm tác gi Rahmath Ulla Baig và S. Pugazhenthii (i h c SASTRA - n) [75], [76] c p n ph ng pháp dùng gi i thu t di truy n và thu t toán n ron t i u hóa h th ng cô l p dao ng tích c c (AVI – Active Vibration Isolation) trên c s i u ch nh kho ng cách gi a các kh p n i trên m t ph ng n n và t m chuy n ng (B_j, B_b, P_b, P_j) c a tay máy song song ki u Stewart Platform (hình 1.14). H th ng này c v n hành v i thu t toán i u khi n PID.

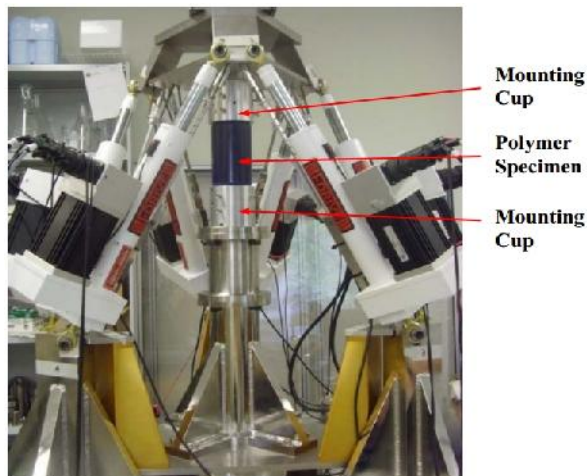


Hình 1.14. Tay máy song song Stewart Platform - i h c SASTRA [75]

Các công trình này c th c hi n cùng th i i m v i các nghiên c u c a lu n án. Các tác gi t p trung th c hi n t i u hóa theo tiêu chí gi m dao ng tích c c và

điều khiển tay máy theo dõi thụ động điều khiển kinh nghiệm PID. Các nghiên cứu mà luận án xuất có tính tổng quát hơn các công trình nêu trên về các tiêu chí tối ưu hóa thiết kế và nghiên cứu sâu hơn về điều khiển thông minh dùng bộ điều khiển mờ (Fuzzy) và bộ điều khiển thích nghi như PID-Fuzzy.

- Luận án tiến sĩ của Boyin Ding năm 2014 [9] trình bày ứng dụng tay máy song song kiểu Stewart-Gough Platform trong hệ thống kiểm soát sinh học. Hệ thống này (hình 1.15) có khả năng đo và xác định các thông số của tay máy với chính xác cao về các thuật toán điều khiển PID cho các chân động.



Hình 1.15. Hệ thống kiểm soát sinh học [9].

Công trình này quan tâm đến vận hành kiểm soát và đo lường các thông số của tay máy song song bằng thực nghiệm. Kết quả của công trình này là các so sánh giá trị tham số các thông số trình bày trong chương 2 và chương 4 của luận án.

Năm 2011, tài trợ của chương trình KH-CN KC.03 về nghiên cứu, phát triển, ứng dụng công nghệ tin học hóa: “Nghiên cứu, thiết kế và chế tạo tay máy song song (Stewart-Gough Platform) sử dụng trong hệ thống thí nghiệm chuyển đổi năng lượng, hình thành trung tâm gia công chế tạo 5 trục” do PGS.TS. Lê Hoài Quốc làm chủ nhiệm đã được thực hiện thành công. Sản phẩm tài trợ là một hệ thống gia công cắt gọt, xây dựng trên cơ sở máy tay máy song song Stewart-Gough Platform, có khả năng tạo hình từng bộ phận máy phay CNC 5 trục chính xác. Bàn máy (mang phôi) có vận hành và điều khiển bởi 6 chân (Hexapod), nâng đỡ các công cụ tiện tính [110] (hình 1.16). Hệ thống trên có điều khiển tích hợp máy tính với phần mềm điều khiển hoạt động gia công tạo hình theo chuẩn IEA (G&M code) thuận tiện thích ứng với các phần mềm CAD/CAM chuẩn.



Hình 1.16. Hình th ng gia công 5 tr c o CNC+Hexapod [110]

Qua các công trình công b nêu trên, có th th y các nghiên c u v t i u hoá tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform ch d ng t i u hoá c h ho c t i u hoá i u khi n mà ch a có các nghiên c u có tính t ng h p, y và xuyên su t có th áp d ng vào th c ti n cho toàn b quá trình thi t k , ch t o và v n hành tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform. Vì v y, các nghiên c u v v n này có ý ngh a khoa h c và th c ti n trong vi c thi t k và ch t o tay máy song song.

N m 2012, Phân vi n Nghiên c u i n t , Tin h c và T ng hóa ã th c hi n (giai o n 1) tài nghiên c u v tay máy song song v i chân d n ng ph ph c v ng d ng công nghi p [111]. Lu n án ã phát tri n các c c u c khí và m ch i u khi n c a tài này xây d ng mô hình th c nghi m t i u hóa b i u khi n tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform (m c 4.1).

Công trình [110] v thi t k , ch t o h th ng gia công 5 tr c o CNC+Hexapod c ng xu t nhu c u nghiên c u v t i u hóa xác nh các thông s ban u (không gian, góc nghiêng) cho ng d ng th c ti n c a tay máy song song.

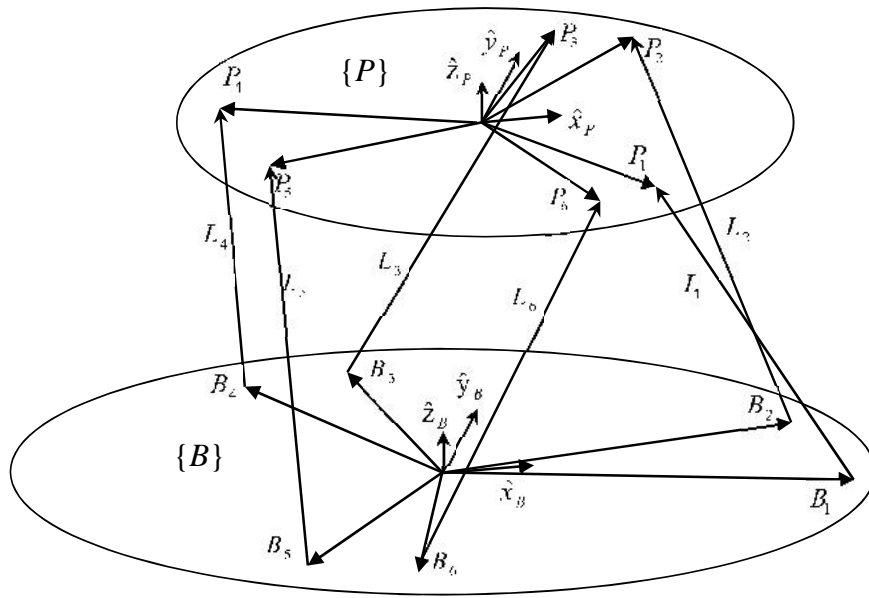
1.2 Các c s toán h c v tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform

Có hai ph ng pháp chính c dùng mô hình hóa tay máy song song: ph ng pháp hình h c và ph ng pháp i s . Ph ng pháp hình h c d a trên nguyên t c phân tích hình h c các vect trong không gian c a các kh p n i và chân d n ng c a tay máy song song. Trong khi ó, ph ng pháp i s d a trên các ph ng trình toán h c ph c t p,

khó tiếp cận hơn. Trên cơ sở ứng dụng các kỹ thuật pháp dùng các vectơ không gian nh lý thuyết Vít, phương pháp xác định các vectơ trong luận án, tác giả chỉ ra phương pháp phân tích hình học mô hình hóa tay máy song song.

1.2.1 Phân tích hình học tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform

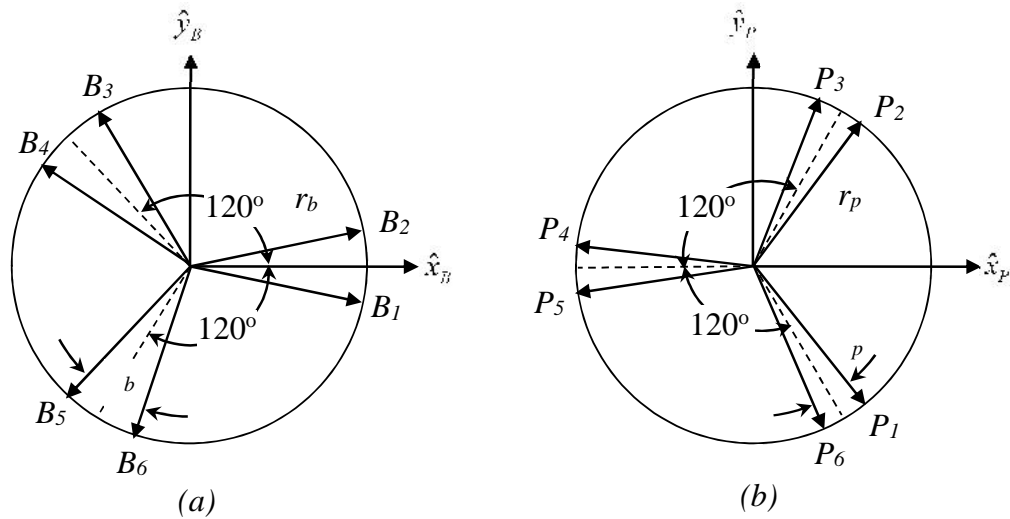
Các vectơ biểu diễn chuyển động của các chân đế và các khớp nối được trình bày theo hình 1.17. Trên mặt khớp nối, mặt hỗ trợ xác định. Hai hệ tọa độ $\{B\}$ trên mặt khớp nối và hệ tọa độ $\{P\}$ trên trục chuyển động xác định các vectơ vị trí của các khớp nối B_i, P_i cùng góc khớp thành giữa các chân đế và hai mặt khớp nối.



Hình 1.17. Giá trị vector của tay máy song song Stewart–Gough Platform

Tay máy Stewart–Gough Platform dạng xích có vị trí các khớp nối trên mặt khớp nối hoặc trục chuyển động có sự phối hợp vị trí xích nhau và cùng nằm trên một vòng tròn. Như thế, vị trí biểu diễn hình học của mặt khớp nối và trục chuyển động có thể biểu diễn ngắn gọn bằng 4 biến sau (hình 1.18):

- r_b : Bán kính vòng tròn tạo bởi các khớp nối trên mặt khớp nối.
- r_p : Bán kính vòng tròn tạo bởi các khớp nối trên trục chuyển động.
- b : Góc tạo bởi các khớp nối xích trên mặt khớp nối.
- p : Góc tạo bởi các khớp nối xích trên trục chuyển động.



Hình 1.18. B trí kh p n i B_i trên m t ph ng n n (a) và P_i trên t m chuy n ng (b)

1.2.2 Mô hình toán c a tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform

Tr c khi kh o sát mô hình toán [109] c a tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform ta c n ph i làm rõ m t s v n v ng h c. Khác v i tay máy n i ti p, vì c gi i bài toán ng h c ng c (xác nh t a Cartesian v i v trí c a các chân d n ng cho tr c) cho tay máy song song là không quá ph c t p [8], [43], [46], [56]. Trong khi ó, vì c gi i quy t bài toán ng h c thu n (xác nh v trí c a các chân d n ng t h t a Cartesian cho tr c) s g p r t nhi u khó kh n do t n t i các ph ng trình phi tuy n và không gi i tích c [22], [49], [68], [70], [101].

1.2.2.1 ng h c ng c

H t a chân d n ng c a tay máy song song là t p h p các bi n v chi u dài. Vi t d i d ng véc t , ta có:

$$L = [l_1 \ l_2 \ l_3 \ l_4 \ l_5 \ l_6]^T \tag{1.4}$$

T a u cu i, thông th ng là h t a Cartesian c a tay máy, s bao g m t a trong không gian và các góc Euler:

$$X = [x \ y \ z \ \]^T \tag{1.5}$$

th hi n bài toán ng h c ng c, m t ánh x G c bi u di n nh sau: $G: X \Rightarrow L$. Bài toán này có nhi m v tìm véc t chi u dài L_i t t a u cu i X cho tr c. i v i tay máy song song, h t a c a m t ph ng n n $\{B\}$ và h t a c a t m chuy n ng $\{P\}$ s c t t i tâm c a m t ph ng n n và t m chuy n ng. Véc t t a c a các kh p trên m t ph ng n n $\{B\}$ c bi u di n:

$$B_i = \begin{bmatrix} B_{ix} \\ B_{iy} \\ B_{iz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_b \cos(w_i) \\ r_b \sin(w_i) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1.6)$$

$$\forall i \ w_i = \frac{if}{3} - \frac{r_b}{2}; (i = 1, 3, 5) \text{ và } w_i = w_{i-1} + r_b; (i = 2, 4, 6)$$

Véc tơ tọa độ các khớp nối trên trục chuyển động $\{P\}$ xác định:

$$P_i = \begin{bmatrix} P_{ix} \\ P_{iy} \\ P_{iz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_p \cos(\{i\}) \\ r_p \sin(\{i\}) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1.7)$$

$$\forall i \ \{i\} = \frac{if}{3} - \frac{r_p}{2}; (i = 1, 3, 5) \text{ và } \{i\} = \{i-1\} + r_p; (i = 2, 4, 6)$$

Nếu vị trí mong muốn của trục chuyển động so với trục gốc xác định bằng véc tơ ${}^B P = [x_d \ y_d \ z_d]^T$ thì chúng ta sẽ có véc tơ biểu diễn chi u dài của các chân động như sau:

$$L_i = P_i + {}^B P - B_i \quad (1.8)$$

Khai triển (1.8) theo $\{B\}$ chúng ta sẽ có li gi i của bài toán động học:

$${}^B L_i = {}^B R^P P_i + {}^B P - {}^B B_i \quad (1.9)$$

Trong đó ${}^B R_T$ là ma trận chuyển đổi Euler 3-2-1:

$${}^B R_T = R_Z(\chi)R_Y(\sigma)R_X(\gamma) = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c\sigma c\chi & c\chi s\sigma s\sigma - c\sigma s\chi & s\sigma s\chi + c\sigma c\chi s\sigma \\ c\sigma s\chi & c\sigma c\chi + s\sigma s\sigma s\chi & c\sigma s\sigma s\chi - c\chi s\sigma \\ -s\sigma & c\sigma s\sigma & c\sigma c\sigma \end{bmatrix} \quad (1.10)$$

$$\forall i \ c = \cos(\) \text{ và } s = \sin(\)$$

Chi u dài của các chân động sẽ xác định bởi (1.9):

$$l_i = |L_i| = \sqrt{L_{ix}^2 + L_{iy}^2 + L_{iz}^2} \quad (1.11)$$

1.2.2.2 Nghịch thu

bài toán nghịch thu, ánh xạ F biểu diễn vị trí xác định véc tơ vị trí theo tọa độ Cartesian vị trí chi u dài xác định cho trục của các chân động: $F: L \Rightarrow X$.

Ánh xạ F có tính chất không xác định và sẽ có nhiều li gi i cho ma trận X tương ứng với mỗi giá trị của L . Nếu ánh xạ của bài toán nghịch thu chỉ là vị trí nghịch

o ánh xạ G (bài toán ng h c ng c), thì vì c xác nh ánh xạ F ch c n xác nh ng c l i quy trình (1.9) ho c (1.11) m t cách tu n t i v i t t c 6 chân d n ng. Do ch có l_i c xác nh, trong khi ó L_i ch a rõ nên ch có (1.11) s c áp d ng. Tuy nhiên, vì c xác nh ng c theo (1.11) khá ph c t p, khi c n gi i quy t ng th i các ph ng trình phi tuy n v i các bi n ch a rõ trong ma tr n X . Theo ph ng pháp Newton-Raphson, gi i quy t bài toán ng h c thu n, c n ph i nh ngh a m t véc t bi u di n sai l ch gi a chi u dài tính toán và th c t (o c) c a các chân d n ng:

$$f_i(X) = L_i^T L_i - |L_i|_a^2 \quad (1.12)$$

Trong ó $|L_i|_a^2$ là chi u dài th c t o c c a các chân d n ng. Thay vào (1.9) ta có:

$$f_i(X) = \left({}^B R^P P_i + {}^B P - {}^B B_i \right)^T \left({}^B R^P P_i + {}^B P - {}^B B_i \right) - |L_i|_a^2 \quad (1.13)$$

Khai tri n o hàm theo các thành ph n trong $X = (x, y, z, \dots)$:

$$\begin{aligned} \frac{\partial f_i(X)}{\partial x} &= 2 \left(x + {}^P P_{i_x} R_{11} + {}^P P_{i_y} R_{12} + {}^P P_{i_z} R_{13} - {}^B B_{i_x} \right) \\ \frac{\partial f_i(X)}{\partial y} &= 2 \left(y + {}^P P_{i_x} R_{21} + {}^P P_{i_y} R_{22} + {}^P P_{i_z} R_{23} - {}^B B_{i_y} \right) \\ \frac{\partial f_i(X)}{\partial z} &= 2 \left(z + {}^P P_{i_x} R_{31} + {}^P P_{i_y} R_{32} + {}^P P_{i_z} R_{33} - {}^B B_{i_z} \right) \\ \frac{\partial f_i(X)}{\partial \{ \dots \}} &= 2 \left(x - {}^B B_{i_x} \right) \left({}^P P_{i_y} R_{13} + {}^P P_{i_z} R_{12} \right) + 2 \left(y - {}^B B_{i_y} \right) \left({}^P P_{i_y} R_{23} + {}^P P_{i_z} R_{22} \right) \\ &\quad + 2 \left(y - {}^B B_{i_z} \right) \left({}^P P_{i_y} R_{33} + {}^P P_{i_z} R_{32} \right) \\ \frac{\partial f_i(X)}{\partial \dots} &= 2 \left(x - {}^B B_{i_x} \right) \left(\begin{array}{l} -{}^P P_{i_x} \sin \dots \cos \{ \dots \} + {}^P P_{i_y} \sin \{ \dots \} \cos \{ \dots \} \\ + {}^P P_{i_z} \cos \{ \dots \} \cos \{ \dots \} \end{array} \right) \\ &\quad + 2 \left(y - {}^B B_{i_y} \right) \left(\begin{array}{l} -{}^P P_{i_x} \sin \dots \sin \{ \dots \} + {}^P P_{i_y} \sin \{ \dots \} \sin \{ \dots \} \\ + {}^P P_{i_z} \cos \{ \dots \} \sin \{ \dots \} \end{array} \right) \\ &\quad - 2 \left(z - {}^B B_{i_z} \right) \left({}^P P_{i_x} \cos \dots + {}^P P_{i_y} \sin \{ \dots \} \cos \dots + {}^P P_{i_z} \cos \{ \dots \} \sin \dots \right) \\ \frac{\partial f_i(X)}{\partial \dots} &= -2 \left(x - {}^B B_{i_x} \right) \left({}^P P_{i_x} R_{21} + {}^P P_{i_z} R_{22} + {}^P P_{i_z} R_{23} \right) \\ &\quad + 2 \left(y - {}^B B_{i_y} \right) \left({}^P P_{i_x} R_{11} + {}^P P_{i_z} R_{12} + {}^P P_{i_z} R_{13} \right) \end{aligned} \quad (1.14)$$

Trong ó R_{ij} là các thành ph n c a (1.10). Ma tr n X s c vi t l i d i d ng:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ \zeta \\ \dots \\ \mathbb{E} \end{bmatrix}_{n+1} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ \zeta \\ \dots \\ \mathbb{E} \end{bmatrix}_n - \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x} & \frac{\partial f_1}{\partial y} & \frac{\partial f_1}{\partial z} & \frac{\partial f_1}{\partial \zeta} & \frac{\partial f_1}{\partial \dots} & \frac{\partial f_1}{\partial \mathbb{E}} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x} & \frac{\partial f_2}{\partial y} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \frac{\partial f_6}{\partial x} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \\ f_5 \\ f_6 \end{bmatrix}_n \quad (1.15)$$

Các bước tiến hành giải bài toán ngược như sau:

- Bước 1: Cho chiều dài thanh các chân d n g.
- Bước 2: Chọn vị trí và góc hướng của trục quay n g.
- Bước 3: Tính (1.10), (1.13) và (1.14) cho mỗi chân d n g.
- Bước 4: Thay thế (1.15) cho n khi $X_{n+1} - X_n$ thì tìm mong muốn vị sai số cho phép.

Cần phải xác định rõ là bài toán ngược như không thể thực hiện theo thời gian thực (real-time). Vì phương pháp Newton-Raphson là một kỹ thuật, nên sử dụng (1.15) sẽ rất nhanh chóng. Do đó, ta nên chọn sai số và phạm vi, góc thì cần giải thích để có thể tính X với chính xác thì có thể chấp nhận.

1.2.2.3 *ng l c h c*

Trong trường hợp tổng quát, phương trình động lực học của hệ Stewart–Gough Platform [85], [97], [101] có thể viết như sau:

$$H(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + \ddagger_g(q) = J^T \ddagger \quad (1.16)$$

Trong đó: $H(q)$ là ma trận moment quán tính ($n \times n$), i x n g và xác định n g v i m i $q \in R^6$; $C(q, \dot{q})$ là vectơ thể hiện các lực quán tính ly tâm và Coriolis, $\ddagger_g(q)$ là vectơ ($n \times 1$) thể hiện moment xoắn do trọng lực gây ra và là vectơ ($n \times 1$) thể hiện moment xoắn từ i i m thu c khâu tác động cu i (t o b i l c tác động); $q = [x_p, y_p, z_p, \alpha, \beta, \gamma]^T$

Các thông số trong phương trình động lực học sẽ xác định:

Ma trận moment quán tính $H(q)$:

$$H(q) = \begin{bmatrix} h & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & h & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & H_{44} & H_{45} & H_{46} \\ 0 & 0 & 0 & H_{54} & H_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & H_{64} & 0 & H_{66} \end{bmatrix} \quad (1.17)$$

trong ó: $H_{44} = I_x C_s^2 C_x^2 + I_y C_s^2 S_x^2 + I_z S_s^2; H_{45} = H_{54} = (I_x - I_y) C_s C_x S_x;$

$$H_{46} = H_{64} = I_z S_s; H_{55} = I_x S_x^2 + I_y C_x^2; H_{66} = I_z;$$

Ma tr n Coriolis h ng tâm c tính nh sau:

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -K_1 \dot{s} - K_2 \dot{x} & -K_1 \dot{r} - K_3 \dot{s} + K_4 \dot{x} & -K_2 \dot{r} + K_4 \dot{s} \\ 0 & 0 & 0 & K_1 \dot{r} + K_4 \dot{x} & K_5 \dot{x} & -K_4 \dot{r} - K_5 \dot{s} \\ 0 & 0 & 0 & K_2 \dot{r} - K_4 \dot{s} & -K_4 \dot{r} - K_5 \dot{s} & 0 \end{bmatrix} \quad (1.18)$$

trong ó: $K_1 = C_s S_s (C_x^2 I_x + S_x^2 I_y - I_z); K_2 = C_s^2 C_x S_x (I_x - I_y); K_3 = C_x S_x S_x (I_x - I_y);$

$$K_4 = \frac{1}{2} C_s (C_x - S_x)(C_x + S_x)(I_x - I_y); K_5 = C_x S_x (I_x - I_y);$$

Ngoài ra, ma tr n Jacobian [55] c xác nh nh sau:

$$J = \begin{bmatrix} u_1^T & u_1^T R_1 P_1^P & u_1^T R_2 P_1^P & u_1^T R_3 P_1^P \\ u_2^T & u_2^T R_1 P_2^P & u_2^T R_2 P_2^P & u_2^T R_3 P_2^P \\ u_3^T & u_3^T R_1 P_3^P & u_3^T R_2 P_3^P & u_3^T R_3 P_3^P \\ u_4^T & u_4^T R_1 P_4^P & u_4^T R_2 P_4^P & u_4^T R_3 P_4^P \\ u_5^T & u_5^T R_1 P_5^P & u_5^T R_2 P_5^P & u_5^T R_3 P_5^P \\ u_6^T & u_6^T R_1 P_6^P & u_6^T R_2 P_6^P & u_6^T R_3 P_6^P \end{bmatrix} \quad (1.19)$$

trong ó: $u_i = \frac{R_{rsx} P_i + T - B_i}{|R_{rsx} P_i + T - B_i|}; R_1 = S(i) R_{rsx}; R_2 = R_r S(j) R_s R_x; R_3 = R_r R_s S(k) R_x;$

v i:

$$S(i) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}; S(j) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}; S(k) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$R_r = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C_r & -S_r \\ 0 & S_r & C_r \end{bmatrix}; R_s = \begin{bmatrix} C_s & 0 & S_s \\ 0 & 1 & 0 \\ -S_s & 0 & C_s \end{bmatrix}; R_x = \begin{bmatrix} C_x & -S_x & 0 \\ S_x & C_x & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$R_{r_{sx}} = R_r R_s R_x$ là nh ng ma tr n quay.

1.2.2.4 Các gi i h n v ng h c

Các gi i h n v ng h c c c bi t quan tâm i v i tay máy song song do k t c u c thù c a các chân d n ng c ng nh nh ng ràng bu c v các chuy n ng c khí. Tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform có 3 gi i h n ng h c chính nh h ng n kh n ng ho t ng c a tay máy:

- Gi i h n chi u dài chân d n ng (l_{min} l_i l_{max})
- Gi i h n góc chuy n ng các kh p n i.
- Gi i h n không gian gi a các chân d n ng.

Các gi i h n nêu trên s nh h ng r t nhi u n kh n ng ho t ng c a tay máy song song. Khi ti n hành mô hình hóa và t i u thi t k c n ph i xem xét n các nh h ng này.

1.2.2.5 Lý thuy t Vít (Screw theory) và c u hình suy bi n (Singularity)

Lý thuy t Vít c phát tri n b i Robert Stawell Ball [71] áp d ng trong ng h c và t nh h c c a các c c u (c h c v t r n). ó là m t cách th hi n chuy n v , v n t c, các l c và moment xo n trong không gian ba chi u, k t h p c hai ph n quay và t nh ti n.

Có nhi u nh lý c b n c a lý thuy t Vít bao g m: nh lý c a Poinsot và nh lý c a Chasles. M t s nh lý khác bao g m J. Plücker [38], W.K. Clifford [96], A.T. Yang [7], FM Dimentberg [28], K.H. Hunt [49], ...

Vì c áp d ng lý thuy t Vít gi i các bài toán trong l nh v c tay máy ã c s d ng t khá lâu [6], [72], [95], [100]. V i s phát tri n, lý thuy t Vít c s d ng nh m t công c quan tr ng trong c h c robot, thi t k c khí, hình h c tính toán và ng l c h c a v t th (multi body). Tuy nhiên, trong nh ng n m g n y lý thuy t Vít m i c áp d ng vào nh ng bài toán c th v tay máy song song [55], [62], [66], [90], [91], [93], [115]. Lý thuy t Vít th ng c áp d ng tìm ki m các c u hình suy bi n c a tay máy song song. T i các c u hình này, tay máy s r i vào tr ng thái b t nh và m t kh n ng

điều kiện. Vì vậy, lý thuyết Vít cũng xem là một phương pháp hỗ trợ quan trọng nghiên cứu về tay máy song song.

Các cấu hình suy biến cũng xác định như sau: áp dụng lý thuyết Vít xác định các tọa độ Plücker theo trục các chân đế nhưng tùy tính cấu tay máy. Từ các tọa độ Plücker này, ta cần thiết lập các ma trận xác định các giá trị chuẩn số học của cấu tay máy song song. Cấu hình suy biến sẽ tìm thấy nút các vectơ trên trục các chân đế là phụ thuộc tính.

Từ các cấu hình suy biến, sẽ biết được cấu tay máy song song sẽ gì mới. Khi đó, quá trình điều kiện của tay máy song song sẽ không còn phù hợp với mô hình toán ban đầu. Khi điều kiện quá trình di chuyển của tay máy, cần chú ý đến quá độ chuyển và cấu hình làm việc của tay máy. Cần phải thiết lập trục các quá độ chuyển và các cấu hình làm việc của tay máy song song sao cho tay máy không rơi vào các cấu hình suy biến để tìm thấy. Do đó, điều kiện tay máy song song, đầu tiên ta cần phải xác định trục vùng làm việc, các giới hạn vận tốc và các cấu hình suy biến [16], [21], [65], [89], [92], [94], [115].

Xét tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform (hình 1.17) với các trục khớp nối trên mặt phẳng nền và tay máy chuyển động (B_i, P_i) . Các véc tơ cũng như vectơ trục trên các chân đế cũng xác định bởi các tọa độ Plücker E_i :

$$E_i = e_i + e_{oi}; (i = 1, \dots, 6) \quad (1.20)$$

Với: e_i : h s Clifford, ($e_i^2 = 0$)

e_{oi} : tọa độ véc tơ ($e_i e_{oi} = 0$)

Các tọa độ véc tơ e_i cũng thể hiện thông qua tọa độ các điểm:

$$\left(\frac{x_{P_i} - x_{B_i}}{L_i}, \frac{y_{P_i} - y_{B_i}}{L_i}, \frac{z_{P_i} - z_{B_i}}{L_i} \right)$$

với: $x_{P_i}, y_{P_i}, z_{P_i}$: tọa độ điểm P_i , $x_{B_i}, y_{B_i}, z_{B_i}$: tọa độ điểm B_i

Từ các tọa độ Plücker của các véc tơ E_i , ta cần xác định ma trận T như sau:

$$(T) = \begin{pmatrix} e_{x1} & e_{y1} & e_{z1} & e_{x1}^o & e_{y1}^o & e_{z1}^o \\ e_{x2} & e_{y2} & e_{z2} & e_{x2}^o & e_{y2}^o & e_{z2}^o \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ e_{x6} & e_{y6} & e_{z6} & e_{x6}^o & e_{y6}^o & e_{z6}^o \end{pmatrix} \quad (1.21)$$

Trong đó:
$$e_{xi} = \frac{x_{Bi} - x_{Ai}}{L_i}, e_{yi} = \frac{y_{Bi} - y_{Pi}}{L_i}, e_{zi} = \frac{z_{Bi} - z_{Pi}}{L_i}$$

$$e_{xi}^o = y_{Pi}e_{zi} - z_{Pi}e_{yi}; e_{yi}^o = z_{Pi}e_{xi} - x_{Pi}e_{zi}; e_{zi}^o = x_{Bi}e_{yi} - y_{Bi}e_{xi}$$

Cụ hình của các cấu song song là đặc biệt khi nh thức của ma trận T tỉ lệ đến zero, nghĩa là: $\det(T) = 0$. Cụ hình suy biến sẽ tìm thấy nút các vectơ trên trục của các điểm là phụ thuộc tuyến tính.

1.2.2.6 Các ứng dụng của tay máy song song

Các ứng dụng là các tính quan trọng trong các thông số kỹ thuật của các cấu song song. Theo [CT T-1], giá trị thể hiện “các ứng dụng” của tay máy song song có xem là giá trị trung bình các nh thức $\det(T)$ trong ứng dụng i m i c cụ hình thì tốt. Nếu giá trị này càng lớn thì tay máy song song càng giảm các cấu hình suy biến và nâng cao các ứng dụng trong quá trình hoạt động. Tìm i c cụ hình thì tốt, các ứng dụng (*stiffness*) xác định như sau:

$$stiffness = \frac{\sum_{x=1}^i \sum_{y=1}^j \sum_{z=1}^k \sum_{\{1, \dots, i\}}^l \sum_{\{1, \dots, j\}}^m \sum_{\{1, \dots, k\}}^n |\det(T)|}{i.j.k.l.m.n} \quad (1.22)$$

Trong đó i, j, k, l, m, n là các bậc khảo sát trong không gian làm việc theo vị trí d chuyển (x, y, z) và góc chuyển động (α, β, γ) của tâm khâu. Các ứng dụng là một tiêu chí dùng tối ưu hóa thì tốt tay máy song song sẽ trình bày trong chương 3 của luận án.

1.3 Kết luận chương 1

Chương 1 đã giới thiệu tóm tắt tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước về tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform. Trong đó tác giả tập trung vào các công trình nghiên cứu hiện nay về tối ưu hóa thì tốt và i u khi n cho tay máy này. Tóm lược luận án đã xuất hiện về nghiên cứu tình hình về tối ưu hóa thì tốt và i u khi n cho tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform.

Chương 1 cũng xác định những các cơ sở toán học liên quan đến luận án như: phương pháp phân tích hình học, các bài toán hình học (hình học phẳng, hình học không gian), bài toán hình học, các giới hạn về hình học, phương pháp áp dụng lý thuyết Vít xác định cấu hình suy biến và phương pháp xác định các ứng dụng của cấu hình tay máy. Các cơ sở toán học và các phương pháp này sẽ được làm nền tảng để trình bày các nghiên cứu trong luận án.

CHƯƠNG 2: XÂY DỰNG CÔNG CỤ MÔ HÌNH HÓA, KHẢO SÁT KH N NG HO T NG C A TAY MÁY SONG SONG KI U STEWART– GOUGH PLATFORM

Chương này trình bày kỹ thuật xây dựng các công cụ toán học và các khái niệm cơ bản đã nêu trong chương 1 xây dựng công cụ nghiên cứu dùng cho mô hình hóa, đánh giá ảnh hưởng của các thông số của tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform. Kỹ thuật xây dựng công cụ trình bày bao gồm: Khảo sát điểm làm việc và đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến vùng làm việc; Khảo sát cấu hình làm việc của tay máy với góc lệch tâm khâu thay đổi; Áp dụng lý thuyết Vết xác định các cấu hình suy biến (singularity), điểm kẹt và vùng lân cận; Xác định các vùng cấu hình thi thoảng tay máy. Bộ công cụ này sẽ được sử dụng cho các nghiên cứu tối ưu hóa thi thoảng các chương sau.

Mô hình hóa không gian làm việc của tay máy song song [5], [78], [88] là quá trình tìm kiếm không gian hoạt động của khâu (vị trí tâm của trục chuyển động). Quá trình này cần xem xét đến các giới hạn vận tốc của tay máy song song. Các giới hạn vận tốc và các thông số của tay máy như: giới hạn chiều dài chân đòn, giới hạn vận tốc khớp nối, bán kính vòng tròn tiếp xúc các khớp nối, ... sẽ liên quan đến khảo sát và đánh giá ảnh hưởng của chúng đến khả năng làm việc của tay máy song song.

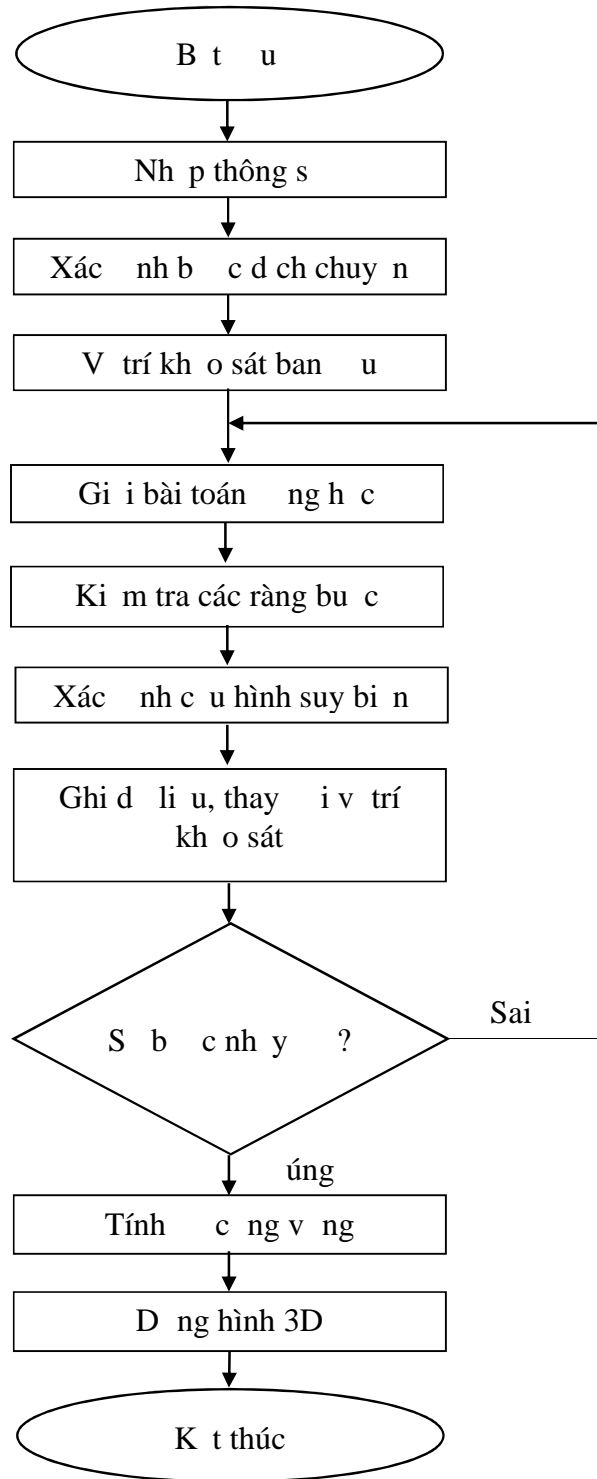
2.1 Xây dựng công cụ mô hình hóa tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform

Công trình [110] đã xây dựng một công cụ tính toán và mô phỏng cho phép mô phỏng hình ảnh chuyển động của các khâu song song, có khả năng liệt kê chi tiết các chân đòn, khảo sát bài toán ngược lực học và mô phỏng chuyển động của cấu trúc liên tiếp nhằm tối ưu hóa cấu trúc cho trước, cho phép tìm ra giải pháp tối ưu hóa khi thi thoảng và lựa chọn trên cơ sở tối ưu Pareto. Tuy nhiên, vì nhu cầu xây dựng nhu cầu thu thập toán khác nhau như giải pháp truy cập, phương pháp PSI, thu thập toán kết hợp GA-PSI, tác giả nhận thấy cần phải xây dựng một bộ công cụ mới có khả năng thực hiện mô hình hóa tay máy và tối ưu hóa thi thoảng theo yêu cầu tổng quát đã đề cập ở trên.

Bộ công cụ xây dựng có khả năng khảo sát vùng làm việc của các cấu hình thi thoảng khác nhau cũng như đánh giá các tiêu chí ảnh hưởng đến khả năng hoạt động của tay máy song song. Tập tham số khảo sát gồm: thông số tay máy, vùng không gian khảo sát, số bậc khớp, các giới hạn vận tốc khâu mà chúng sẽ chịu đựng được thông

qua giao diện của công cụ. Bộ công cụ này sẽ cung cấp một thư viện các phép tính cơ sở cho quá trình tối ưu hóa với các thuật toán tối ưu khác nhau liên tiếp.

Lưu ý, thuật toán thể hiện quá trình mô hình hóa tay máy song song của công cụ thể hiện hình 2.1.



Hình 2.1. Lưu ý, thuật toán mô hình hóa tay máy song song

B công cụ vẽ và dựng hình 3D bằng ngôn ngữ C tạo thành các M-file trên phần mềm Matlab để giải các bài toán cơ bản bao gồm:

- Bài toán hình học
- Bài toán hình học
- Xác định thể tích các khối làm vi sai, vùng làm vi sai, cấu hình làm vi sai của tay máy
- Xác định các cấu hình suy biến, vị trí khớp và vùng lân cận
- Tính vận tốc của cấu hình tay máy
- Hiện thị tay máy theo các cấu hình tùy chọn.

Ưu tiên, tập tham số khảo sát gồm: thông số của tay máy, vùng không gian khảo sát, số bậc khớp, các giới hạn vận tốc hình học như chiều dài chân đòn, giới hạn góc khớp xác định. Tập tham số khảo sát và vùng không gian khảo sát cho trước, chương trình sẽ tính bước dịch chuyển liên tiếp theo các trục (x, y, z) và các góc Euler (α, β, γ) .

Tại vị trí khảo sát ưu tiên, một chương trình con sẽ thực thi giải bài toán hình học nhằm xác định tất cả các khớp trên một phần mềm (công thức 1.6) và tìm chuyển động (công thức 1.7), từ đó xác định chiều dài các chân đòn (công thức 1.11) thông qua các vectơ chân đòn (công thức 1.8) và các ma trận quay (công thức 1.10). Các ràng buộc về chiều dài chân đòn, giới hạn góc khớp (mục 1.2.2.4) sẽ được kiểm tra xác định các cấu hình làm vi sai của tay máy song song. Tiếp, một chương trình con sẽ thực thi xác định các cấu hình suy biến, vị trí khớp và vùng lân cận (mục 1.2.2.5).

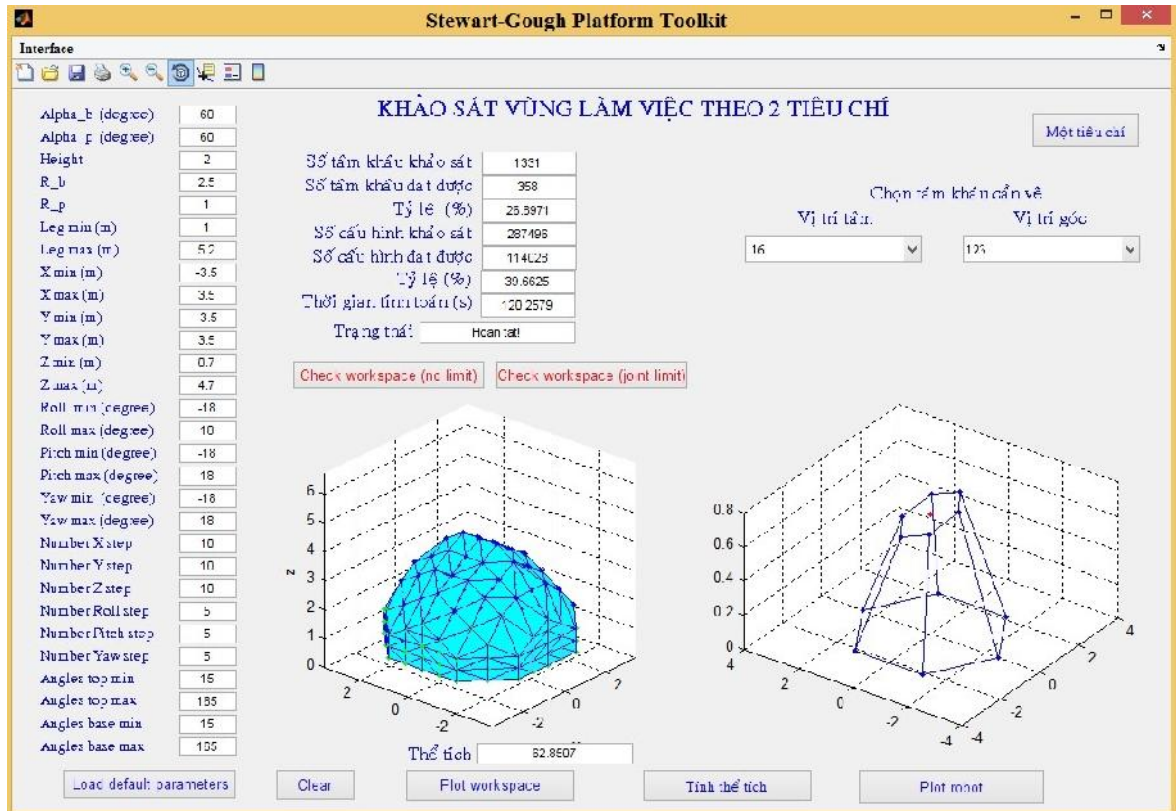
Quá trình khảo sát sẽ lặp lại với các vị trí trong không gian khảo sát. Sau khi kết thúc vòng lặp, vận tốc của cấu hình thị thị tay máy sẽ được xác định. Cuối cùng, một chương trình con sẽ dùng dựng hình 3D để thể hiện các khối làm vi sai của tay máy cũng như các cấu hình làm vi sai theo tùy chọn của người dùng.

B công cụ xây dựng nhúng trên cho phép thực thi các nhiệm vụ:

- Tính toán và hiển thị các kết quả mô hình hóa vận tốc làm vi sai của tay máy song song (số khối làm vi sai, số cấu hình làm vi sai vị trí góc hình thay đổi, vận tốc) và tập tham số khảo sát. Trên cơ sở đó, ta có thể phân tích và đánh giá các tiêu chí như hình dáng của vận tốc làm vi sai của tay máy song song (giới hạn không gian khảo sát, chiều dài chân đòn, bán kính một phần mềm, giới hạn góc khớp, cấu hình suy biến, ...) như mục 2.2.

- Thể hiện các tính toán cơ sở, xác định các tiêu chí tối ưu trong quá trình tối ưu hóa thiết kế tay máy song song. Tìm kiếm các quá trình tối ưu hóa thiết kế, bố công cơ cấu dẫn động khớp và đánh giá các kết quả vùng làm việc, các tiêu chí cần tối ưu theo thuật toán giúp các kỹ sư thu thập các số liệu các kỹ thuật thiết kế tiếp theo.
- Thể hiện hình dạng 3D các khâu hình thiết kế tay máy song song với tùy chọn vị trí khớp và góc nghiêng của tâm khâu. Xác định vị trí khớp nối của các khâu hình thiết kế.

Bộ công cụ mô hình hóa tay máy song song được xây dựng với môi trường giao diện (hình 2.2) cho phép nhập các tham số khớp như: thông số tay máy, vùng không gian khớp, các kỹ thuật hình học, số bậc khớp theo vị trí và góc nghiêng bên trái. Khi tiến hành khớp (check workspace), máy tính sẽ thể hiện chương trình mô hình hóa (hình 2.1) cho các kết quả như: số khâu làm việc, số khâu hình, vùng làm việc, thể tích không gian khớp sẽ thể hiện trực quan giữa giao diện. Các khâu làm việc được thể hiện bằng các biểu đồ trong không gian 3D. Các khâu này có khả năng thay đổi theo tùy chọn vị trí và góc nghiêng khớp trong các ô thông số bên phải giao diện.



Hình 2.2. Giao diện công cụ mô hình hóa tay máy song song

Phần tiếp theo sẽ trình bày các kỹ thuật ứng dụng công cụ tối ưu mô hình hóa tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform, khảo sát khả năng làm việc của tay máy với các tiêu chí khác nhau, các nhúng các thông số, các giới hạn vận hành, xác định cấu hình suy biến...

2.2 Mô hình hóa tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform sử dụng công cụ tối ưu.

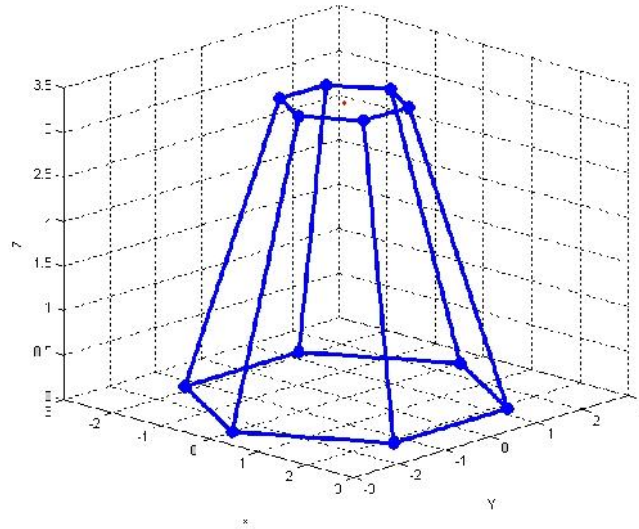
2.2.1 Tìm làm việc của tay máy với góc nghiêng tâm khâu là hằng số

Vùng làm việc của tay máy song song sẽ xác định bằng tập hợp các tìm làm việc của tâm khâu trong mặt giới hạn không gian khảo sát [1]. Vùng không gian khảo sát sẽ chia lại theo các trục x, y, z thành tập hợp các tìm của khảo sát của tâm khâu. Trong bài toán này, mặt tìm làm việc của tay máy sẽ xác định khi tâm khâu có thể vận chuyển tìm của khảo sát với góc nghiêng là hằng số. Khi đó tìm của khảo sát của tay máy sẽ xem là tham số giới hạn chiều dài của các chân đòn gánh. Đây sẽ xem là tiêu chí hiển thị của vùng làm việc của tay máy, quy định khả năng hoạt động của tay máy song song.

Kỹ thuật khảo sát sẽ thể hiện theo các vị trí của tâm khâu (x_d, y_d, z_d) trong vùng không gian khảo sát sẽ giới hạn: $x_{min} \leq x_d \leq x_{max}$; $y_{min} \leq y_d \leq y_{max}$; $z_{min} \leq z_d \leq z_{max}$ với góc nghiêng Euler của tâm khâu (α, β, γ) là hằng số. Thông số tay máy và giới hạn không gian khảo sát thể hiện bằng bảng 2.1. Cấu hình tay máy song song sẽ khảo sát thể hiện theo hình 2.3 với vị trí tâm khâu $x_d = y_d = 0, z_d = 3,5$ m.

Bảng 2.1. Thông số tay máy và giới hạn không gian khảo sát

Thông số tay máy	Giá trị	Giới hạn khảo sát	Giá trị
b	$\pi/3$ rad	x_{min}	-3,5 m
p	$\pi/3$ rad	x_{max}	3,5 m
r_b	2,5 m	y_{min}	-3,5 m
r_p	1 m	y_{max}	3,5 m
l_{imin}	1 m	z_{min}	0,7 m
l_{imax}	5,2 m	z_{max}	4,7 m
α, β, γ	0 rad	$x_{dstep}, y_{dstep}, z_{dstep}$	30 bước



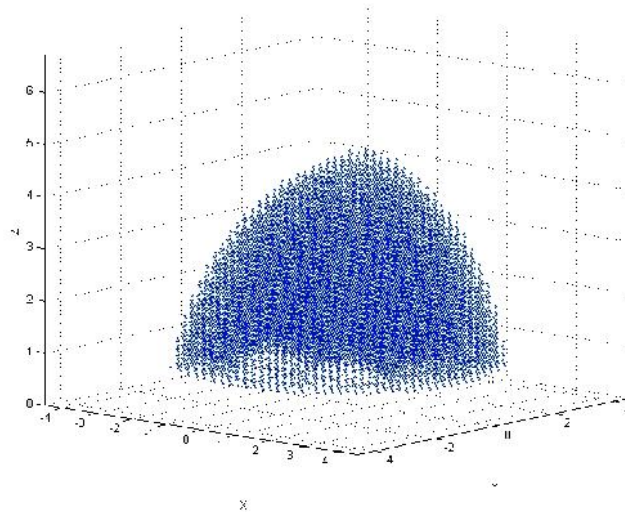
Hình 2.3. Cấu hình kho sắt i m làm vi c c a tâm khâu

Kết quả kho sắt i m làm vi c c a tay máy song song với góc hướng tâm khâu là hình sau đây thể hiện bằng hình 2.2 và hình 2.4.

Bảng 2.2. Kết quả kho sắt i m làm vi c c a tâm khâu

Số i m kho sắt trong không gian	29.791
Số i m làm vi c t c	12.984
Tỉ lệ t c (%)	43,6
Thời gian kho sắt (s)	62

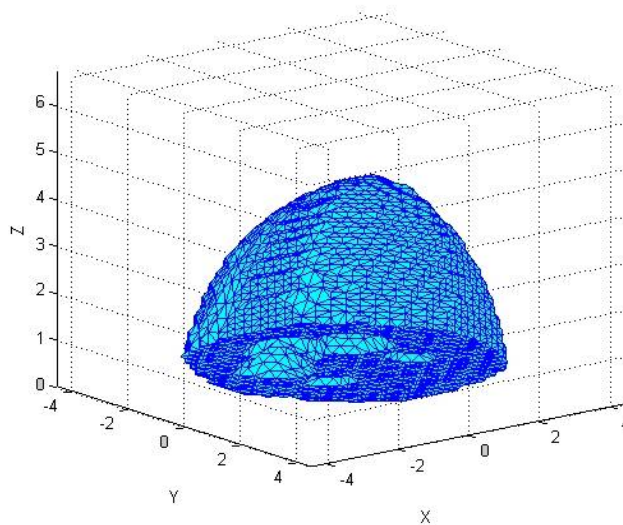
(Ghi chú: Các kết quả kho sắt thu được trong luận án này thể hiện trên cấu hình máy tính: Intel Core 2 Duo E7200, 2.53 GHz, 2GB Ram; phần mềm Matlab R2009b)



Hình 2.4. Tập hợp i m làm vi c v i góc hướng tâm khâu là hình sau đây

Ta có thể nhìn xét rỗng không phải tất cả các kim khâu sát đều có thể thả mãi các kim khâu ràng buộc vị trí hình chiếu dài của các chân đèn. Vì vậy, nếu thay vì vùng không gian khâu sát, ta sẽ có các phân bố kim khâu làm việc khác nhau của tay máy song song. Hình 2.4 thể hiện tập hợp các kim khâu làm việc của tâm khâu thả mãi kim khâu ràng buộc vị trí chiếu dài chân đèn trong vùng không gian khâu sát bằng 2.2.

Có thể xem xét rõ hơn vùng làm việc của tay máy song song, tập phân bố kim khâu làm việc trong không gian, ta sẽ xác định vùng bao bên ngoài (tập hợp các kim khâu nằm ngoài cùng) của phân bố kim khâu làm việc này. Nếu xem vùng không gian lân cận gần như hình kim khâu làm việc thì thả mãi ràng buộc vị trí chiếu dài các chân đèn thì tập hợp toàn bộ các không gian lân cận này sẽ gọi là vùng làm việc của tay máy song song. Vùng làm việc của tay máy (hình 2.5) sẽ thể hiện vị trí góc nhìn khác quan sát vùng lõm tỏa ra do ràng buộc vị trí liên kết chuyển động giữa các chân đèn.



Hình 2.5. Vùng làm việc vị trí góc hình khâu tâm khâu là hình s

Như vậy, có thể nhìn xét rỗng, vùng làm việc khi góc hình khâu tâm khâu là hình s phụ thuộc vào vị trí chiếu dài các chân đèn, không gian khâu sát và các ràng buộc vị trí liên kết chuyển động giữa các chân đèn của tay máy song song.

2.2.2 Các yếu tố hình học của vùng làm việc

2.2.2.1 Hình học vị trí góc khâu

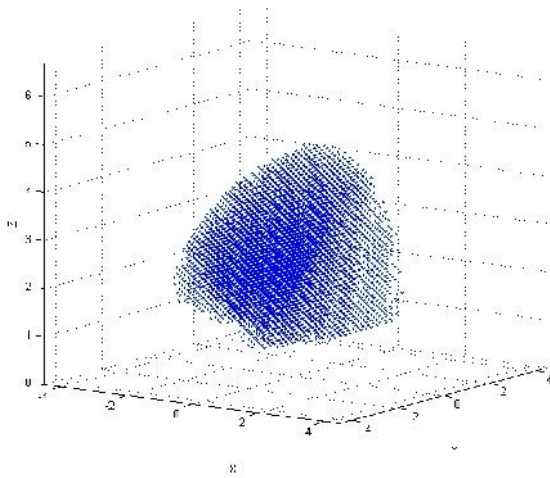
Ngoài vị trí chiếu dài của các chân đèn, vị trí góc chuyển động của các khâu phải tính toán (angle_base_{imin}, angle_base_{imax}) và tầm chuyển động (angle_top_{imin}, angle_top_{imax}) là một yếu tố hình học của khâu làm việc của tay máy

song song. Các góc này hình thành thành các trục khí, vị trí của các khớp nối trên mặt phẳng nền và trục chuyển động của tay máy.

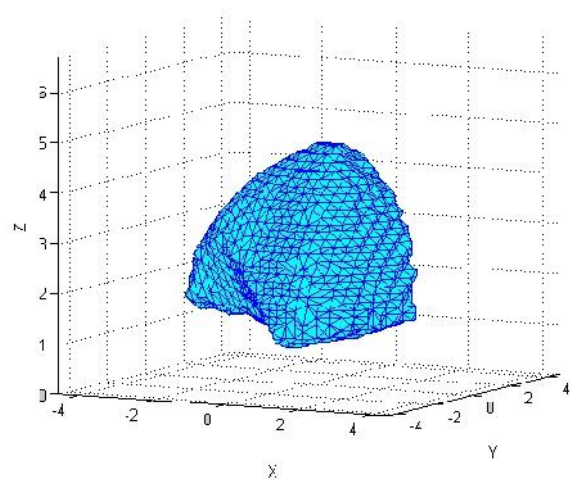
Tiền hành khảo sát vùng làm việc của tay máy song song theo tham số hình 2.1, thêm vào đó là các giá trị góc khớp trên mặt phẳng nền và trục chuyển động: $angle_base_{imin} = 0,2618$ rad; $angle_base_{imax} = 2,8798$ rad. Kết quả khảo sát được trình bày hình 2.3, hình 2.6 và hình 2.7.

Bảng 2.3. Kết quả khảo sát làm việc khi xét giá trị góc khớp

Số điểm khảo sát trong không gian	29.791
Số điểm làm việc thực tế	7.516
Tỉ lệ thực tế (%)	25,2



Hình 2.6. Tập hợp điểm khảo sát làm việc khi xét giá trị góc khớp



Hình 2.7. Vùng làm việc khi xét giá trị góc khớp

So sánh kết quả bảng 2.2 và bảng 2.3, số điểm làm việc của tâm khâu thực tế 12.984 điểm giảm xuống còn 7.516 điểm (giảm 42,1%). Như vậy, có thể nhận xét rằng: giá trị góc khớp làm suy giảm số điểm làm việc của tay máy song song (hình 2.4, hình 2.5, hình 2.6 và hình 2.7).

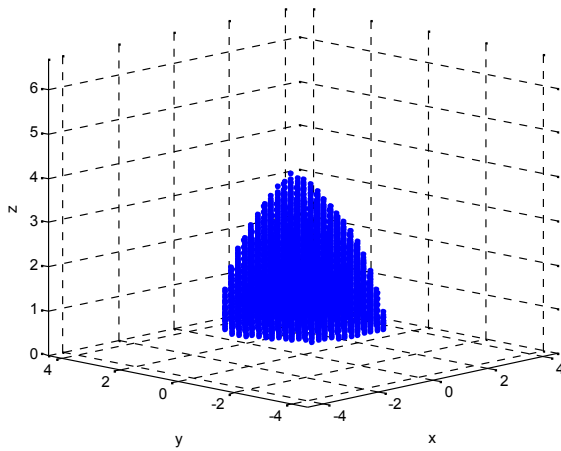
2.2.2.2 Hình ảnh bán kính mặt phẳng nền

Mặt trong ngành thông số hình ảnh nền vùng làm việc của tay máy song song là bán kính vòng tròn tạo bởi vị trí của các khớp nối trên mặt phẳng nền và trục chuyển động (r_b, r_p). Xem xét hình ảnh của thông số này, ta tiến hành khảo sát vùng làm việc của tay máy song song (theo bảng 2.1) với bán kính r_b được thay đổi: $r_b = 4$ m. Kết quả khảo sát được biểu diễn theo bảng 2.4, hình 2.8 và hình 2.9.

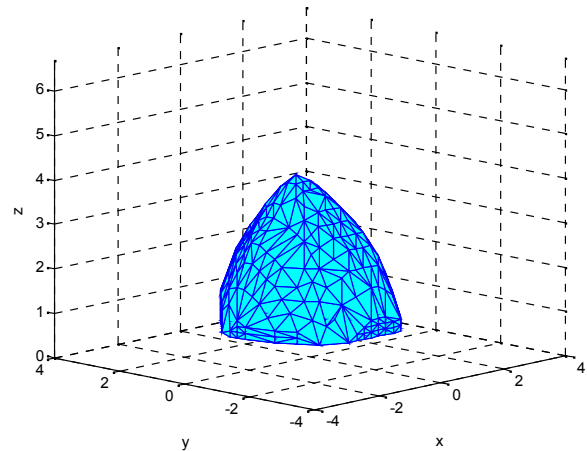
Bảng 2.4. Kết quả khảo sát làm việc khi thay đổi bán kính mặt phẳng nền

Số điểm khảo sát trong không gian	29.791
Số điểm làm việc thực	3.494
Tỉ lệ (%)	11,7

So sánh kết quả từ bảng 2.2 và bảng 2.4, số điểm làm việc giảm từ 12.984 điểm xuống còn 3.494 điểm (giảm 73%). Bên cạnh đó, vùng làm việc bắt đầu thu hẹp và kéo thấp xuống do các khớp cuối điểm mặt phẳng nền được đẩy ra xa (bán kính r_b tăng), trong khi giữ nguyên chiều dài các chân đứng không thay đổi (hình 2.4, hình 2.5, hình 2.8 và hình 2.9).



Hình 2.8. Số điểm làm việc thực của tay máy song song khi bán kính mặt phẳng nền tăng



Hình 2.9. Số điểm làm việc thực của tay máy song song khi bán kính mặt phẳng nền giảm

2.2.2.3 Kết luận về các ảnh hưởng của vùng làm việc

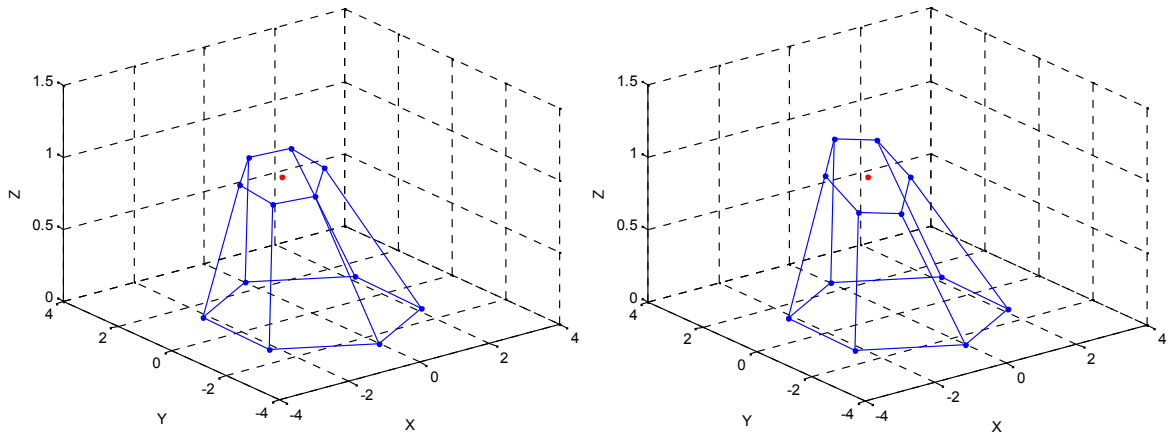
Như vậy, khi tiến hành xem xét mối quan hệ ảnh hưởng của vùng làm việc của tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform, có thể nhận xét như sau:

- Chiều dài của các chân đứng càng lớn thì vùng làm việc của tay máy song song càng lớn và ngược lại.
- Góc khớp càng lớn thì vùng làm việc của tay máy song song (số điểm khảo sát thực trong không gian) càng lớn và ngược lại.
- Khi giữ nguyên chiều dài các chân đứng và giữ nguyên góc khớp không thay đổi, bán kính mặt phẳng nền càng nhỏ thì vùng làm việc của tay máy song song càng lớn và ngược lại.

Các kết luận nêu trên có thể dùng như một công cụ, như một ví dụ để trình bày các kỹ thuật toán học và chứng minh chúng bằng kỹ thuật như là cần thiết để phát triển các nghiên cứu tiếp theo.

2.2.3 Cấu hình làm việc của tay máy song song với góc hình học tâm khâu thay đổi

Trong mục 2.2.1, vùng làm việc của tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform được xác định khi góc hình học của tâm khâu là hằng số không đổi. Trên thực tế, tay máy song song có nhiều cấu hình làm việc khác nhau tùy thuộc vào vị trí của khâu khớp trong không gian. Tùy thuộc vào vị trí khâu khớp, khi thay đổi các góc hình học Euler (α, β, γ) sẽ tạo thành các cấu hình khác nhau của tay máy song song (hình 2.10). Như vậy, với các cấu hình khác nhau này, ta sẽ phải tính toán các ràng buộc về chiều dài các khâu khớp. Nếu thay đổi các ràng buộc này, ta có thể xem đây là các cấu hình làm việc của tay máy.



Hình 2.10. Ví dụ về các cấu hình khác nhau của khâu khớp $(x_d=-1,4; y_d=-0,7; z_d=1,1)$.

Trong bài toán này, một tùy chỉnh khâu khớp được xem là làm việc của tay máy thay đổi các ràng buộc (chiều dài khâu khớp, giá trị góc khâu khớp...) cho tất cả các cấu hình khâu khớp khi góc hình học thay đổi tùy chỉnh khâu khớp. Như vậy, khi tiến hành khâu khớp theo góc hình học thay đổi, ngoài kỹ thuật về vị trí làm việc của khâu khớp trong không gian ta cần phải xem xét những sự khác biệt của các cấu hình tay máy song song cho dù tùy chỉnh vị trí khâu khớp nào đó không thay đổi tất cả các cấu hình khâu khớp. Bên cạnh tiêu chí về vị trí làm việc của khâu khớp, tiêu chí về sự khác biệt của các cấu hình khâu khớp cũng là một trong những công cụ của tay máy song song. Các kỹ thuật này sẽ là tiền đề cho các bài toán tối ưu theo các tiêu chí sự khác biệt nghiên cứu trong chương 3.

Tiến hành khâu khớp của cấu hình làm việc của tay máy theo bảng 2.1 với các góc hình học thay đổi trong giới hạn: $\min \alpha \leq \alpha \leq \max \alpha$; $\min \beta \leq \beta \leq \max \beta$; $\min \gamma \leq \gamma \leq \max \gamma$.

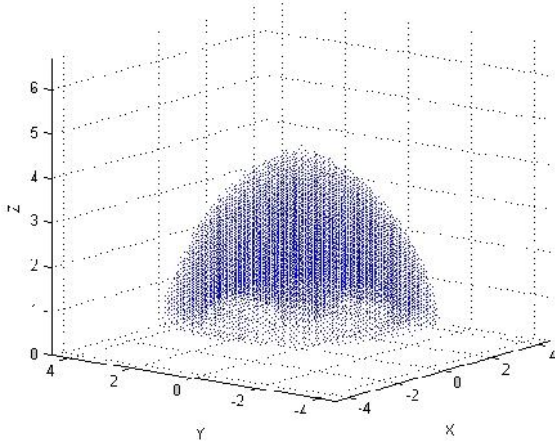
Trong đó $\theta_{min} = \theta_{min} = \theta_{min} = -0,2618 \text{ rad}$; $\theta_{max} = \theta_{max} = \theta_{max} = 0,2618 \text{ rad}$.

Số bước khảo sát theo góc nghiêng: $dstep = dstep = dstep = 5$ bước

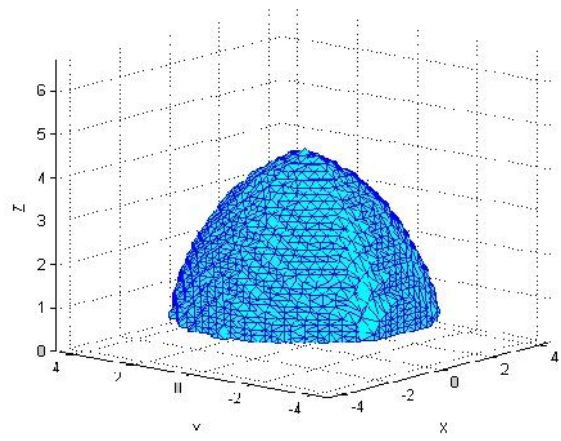
Kết quả khảo sát các cấu hình làm việc của tâm khâu với thay đổi vị trí các góc nghiêng cụ thể đi theo bảng 2.5, hình 2.11 và hình 2.12.

Bảng 2.5. Kết quả khảo sát làm việc của vị trí góc nghiêng tâm khâu thay đổi.

Số bước khảo sát	29.791	Số cấu hình khảo sát	6.434.856
Số làm việc thực tế	10.450	Số hình thực tế	2.996.056
Tỉ lệ thực (%)	35,1	Tỉ lệ thực (%)	46,6



Hình 2.11. Vùng làm việc của tâm khâu khi góc nghiêng thay đổi



Hình 2.12. Vùng làm việc của tay máy khi góc nghiêng tâm khâu thay đổi

Số làm việc so với mô hình 2.2.1 đã giảm từ 12.984 làm việc còn 10.450 làm việc và 2.996.056 cấu hình làm việc. Trong vùng làm việc (hình 2.12) tay máy song song có thể hoạt động với tất cả các cấu hình trong giới hạn góc nghiêng cho trước. Ngoài ra, số điểm tìm kiếm cấu hình tay máy nằm ngoài vùng làm việc. Việc sử dụng các cấu hình này cần cân nhắc khi tính toán vị trí chuyển động cho tay máy song song.

Khi tiến hành xem xét các giới hạn vị trí góc khớp tỉ mỉ hơn và tầm chuyển động, bán kính khớp động, ... có thể kết luận rằng số làm việc của số cấu hình làm việc của tâm khâu sẽ ảnh hưởng đến kết quả các bài toán mô hình 2.2.1 và mô hình 2.2.2. Các cấu hình thiết kế đóng vai trò quyết định đến khả năng hoạt động của tay máy song song. Các giới hạn vị trí chi u dài chân động, giới hạn góc khớp nối, các yếu tố khác như bán kính khớp nối ảnh hưởng đến vùng làm việc của tay máy song song.

Các kết quả khảo sát vùng làm việc sẽ xác định phạm vi chuyển động cho bài toán vị trí của tay máy trình bày trong chương 4 và chương 5.

Các kết quả trên đã được công bố công trình số [CTTG-1] của tác giả.

2.2.4 Áp dụng lý thuyết Vít xác định cấu hình suy biến, điểm kỳ dị và vùng lân cận của tay máy song song

Phần này sẽ trình bày phương pháp ứng dụng lý thuyết Vít [63], [64] (mục 1.2.2.5) tìm kiếm các cấu hình suy biến và tiếp đó xem xét các nhánh của các cấu hình suy biến trong vùng làm việc và quá trình di chuyển của tay máy song song. Phương pháp cũng sẽ xác định các điểm kỳ dị và vùng lân cận của chúng theo giá trị của chuẩn số $\det(T)$. Ảnh giá tính hiệu quả, phương pháp này có thể chỉ ra vị trí hai cấu hình thi t k khác nhau của tay máy song song trong cùng không gian khảo sát. Cấu hình thi t k khảo sát đầu tiên là cấu hình kin Stewart–Gough Platform với các vị trí B_i i x ng (hình 2.13). Cấu hình thi t k thứ hai là mô tả tay máy song song được trình bày hình 2.17.

2.2.4.1 Cấu hình kin Stewart–Gough Platform i x ng

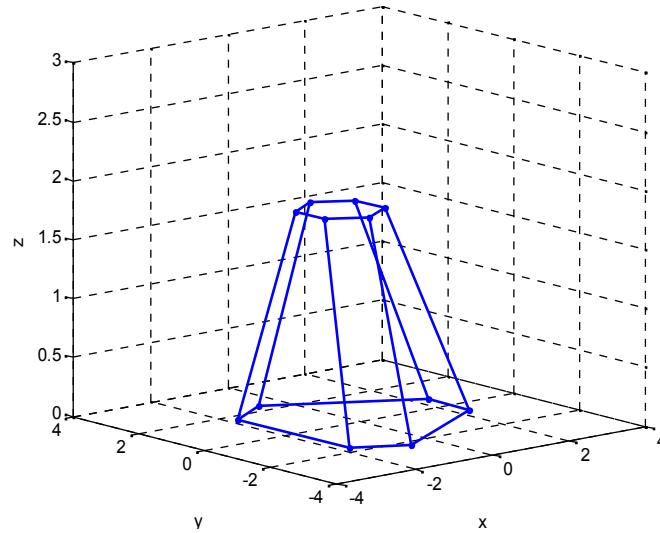
Tập tham số khảo sát của tay máy song song kin Stewart–Gough Platform có cấu hình thi t k như hình 2.13 và các thông số bảng 2.6.

Bảng 2.6. Thông số tay máy và giới hạn không gian khảo sát

Thông số tay máy	Giá trị	Giới hạn khảo sát	Giá trị
b	$/2$ rad	x_{min}	-1,1 m
p	$/3$ rad	x_{max}	1,1 m
r_b	2,4 m	y_{min}	-1,1 m
r_p	0,9 m	y_{max}	1,1 m
l_{imin}	1 m	z_{min}	0,5 m
l_{imax}	3,7 m	z_{max}	2,8 m
$dstep, dstep, dstep$	5 b c	$x_{dstep}, y_{dstep}, z_{dstep}$	10 b c

Tìm kiếm vị trí tâm khâu khảo sát, các góc hình sẽ thay đổi vị trí giới hạn các góc khớp: $0 \leq angle_base_i, angle_top_i \leq \pi$ rad.

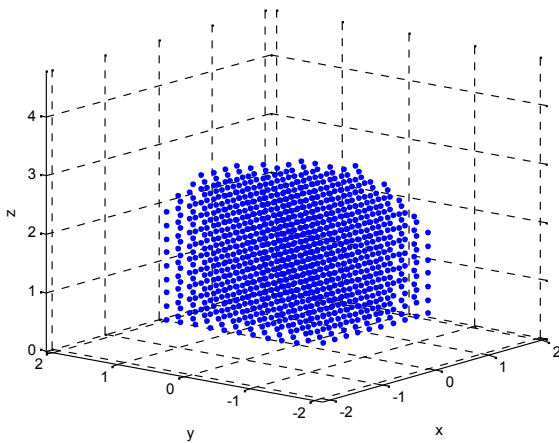
Tiến hành tìm kiếm các cấu hình suy biến dựa theo các giá trị $\det(T)$ (mục 1.2.2.5). Kết quả khảo sát được trình bày tại bảng 2.7, hình 2.14 và hình 2.15.



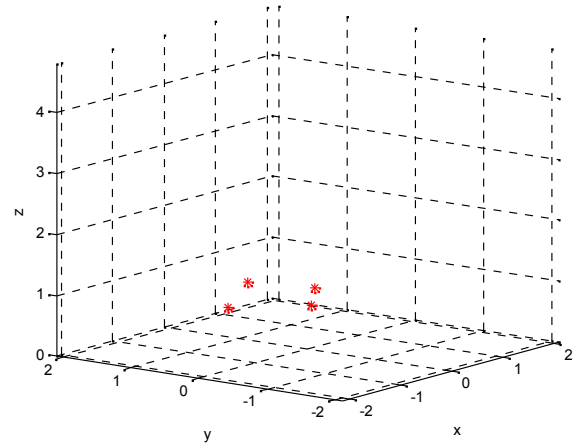
Hình 2.13. Cấu hình Stewart–Gough Platform i x ng – xác nh c u hình suy bi n
 Bảng 2.7. Kết quả khảo sát i m k d v i c u hình Stewart–Gough Platform i x ng

S i m kh o sát	1.331	S c u hình kh o sát	287.496
S i m làm vi c t c	1.263	S c u hình t c	113.866
S i m k d	4	S c u hình suy bi n	4

Kết quả cho thấy xuất hiện 04 cấu hình suy biến t i 04 i m làm vi c c a tâm khâu. Các i m này c xem là i m k d (singularity) c a tay máy song song c kh o sát.



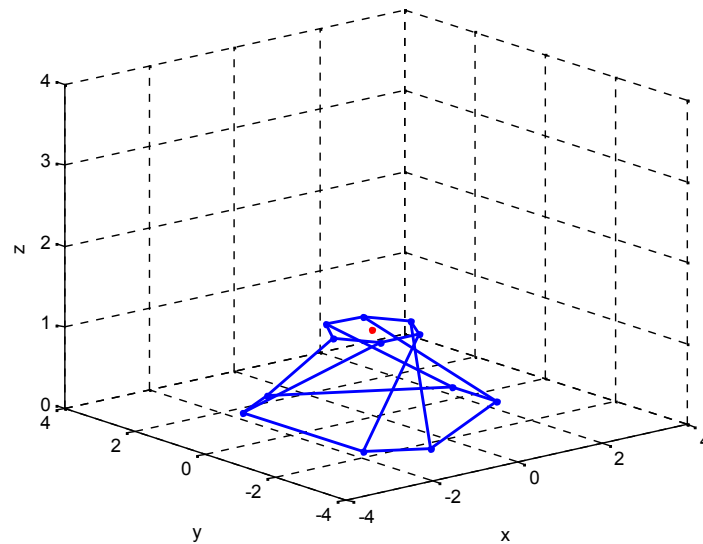
Hình 2.14. Tập hợp i m làm vi c



Hình 2.15. Phân b i m k d

Các i m k d (hình 2.15) c xác nh v i t a :

- $S_1 (x_1 = 0,66, y_1 = 0,44, z_1 = 0,5)$;
- $S_2 (x_2 = 0,66, y_2 = 0,66, z_2 = 0,73)$;
- $S_3 (x_3 = 0, y_3 = 0,88, z_3 = 0,96)$;
- $S_4 (x_4 = -0,44, y_4 = -0,44, z_4 = 1,19)$



Hình 2.16. Kết quả vẽ cấu hình suy biến trên trục S_4 ($x_4 = -0,44$, $y_4 = -0,44$, $z_4 = 1,19$).

Cấu hình suy biến này có các thông số như sau:

Vị trí các khớp nối trên mặt phẳng nền (B_i):

$$B_i = \begin{bmatrix} x_{B_i} \\ y_{B_i} \\ z_{B_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,3182 & 2,3182 & -0,6211 & -1,697 & -1,697 & -0,6211 \\ -0,6211 & 0,6211 & 2,3182 & 1,697 & -1,697 & -2,3182 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Vị trí các khớp nối trên trục chuyển động (P_i):

$$P_i = \begin{bmatrix} x_{P_i} \\ y_{P_i} \\ z_{P_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,010 & -0,890 & -1,340 & -0,890 & 0,010 & 0,460 \\ -0,339 & 0,339 & -0,440 & -1,219 & -1,219 & -0,440 \\ 1,190 & 1,190 & 1,190 & 1,190 & 1,190 & 1,190 \end{bmatrix}$$

Chiều dài các chân đòn: $L_i = [2,768 \quad 3,433 \quad 3,088 \quad 3,251 \quad 2,135 \quad 2,472]$

Ma trận của Plücker (Ma trận T) theo (1.21)

$$T = \begin{bmatrix} -0,8336 & 0,3469 & 0,4298 & -0,2670 & -0,9963 & 0,2864 \\ -0,9344 & -0,0821 & 0,3466 & 0,2153 & -0,8035 & 0,3902 \\ -0,2327 & -0,8930 & 0,3853 & 0,8931 & 0,2393 & 1,0942 \\ 0,2482 & -0,8969 & 0,3660 & 0,6211 & 0,6211 & 1,1009 \\ 0,7996 & 0,2237 & 0,5574 & -0,9459 & 0,9459 & 0,9772 \\ 0,4373 & 0,7597 & 0,4813 & -1,1158 & 0,2990 & 0,5419 \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow \det(T) = 0$$

Nhận thấy các ma trận T có giá trị $\det(T) = 0$. Kết quả này cho thấy, tức cấu hình khớp sít, tức các vectơ trên trục các chân đòn là phụ thuộc tuyến tính. Theo lý thuyết Vít, cấu hình khớp sít cũng xem là một cấu hình suy biến. Ngược lại, nếu khớp sít cũng xem là điểm kỳ dị của tay máy song song. Hình 2.16 cho thấy,

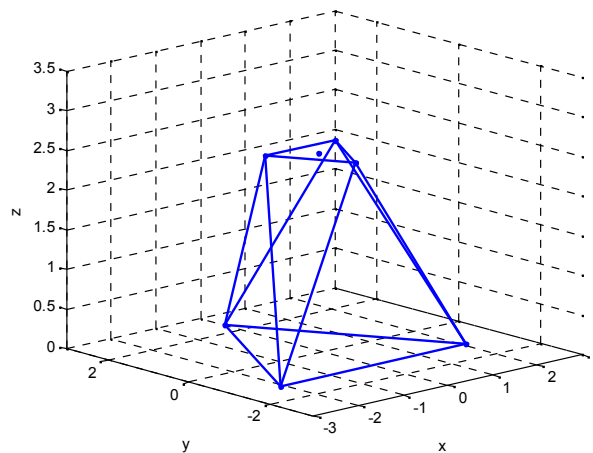
c u hình tay máy s r i vào tình tr ng b t nh và m t ki m soát. Nói cách khác, trong tr ng h p này tay máy song song s m t kh n ng i u khi n và không th khô i ph c l i các c u hình tr c ó. Vì v y, i v i bài toán i u khi n tay máy song song, c n ph i xác nh tr c t t c các c u hình suy bi n trong không gian làm vi c, sau ó c n i u ch nh thu t toán i u khi n tránh ho c v t qua nh ng c u hình suy bi n này trong quá trình chuy n ng c a tâm khâu.

2.2.4.2 C u hình bi n th

Ti n hành kh o sát vùng làm vi c c a tay máy song song v i t p thông s u vào cho tr c t ng t nh m c 2.2.4.1 v i c u hình bi n th nh hình 2.17. C u hình bi n th có v trí các kh p n i trên m t ph ng n n (B_i) và t m chuy n ng (P_i) nh sau:

$$P_i = \begin{bmatrix} 0 & 0,7794 & 0,7794 & -0,7794 & -0,7794 & 0 \\ -0,9 & 0,45 & 0,45 & 0,45 & 0,45 & -0,9 \\ 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,5 \end{bmatrix}$$

$$B_i = \begin{bmatrix} 2,0785 & 2,0785 & 0 & 0 & -2,0785 & -2,0785 \\ -1,2 & -1,2 & 2,4 & 2,4 & -1,2 & -1,2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$



Hình 2.17. C u hình bi n th – xác nh c u hình suy bi n.

Ta có k t qu kh o sát c th hi n nh b ng 2.8.

B ng 2.8. K t qu kh o sát i m k d v i c u hình bi n th

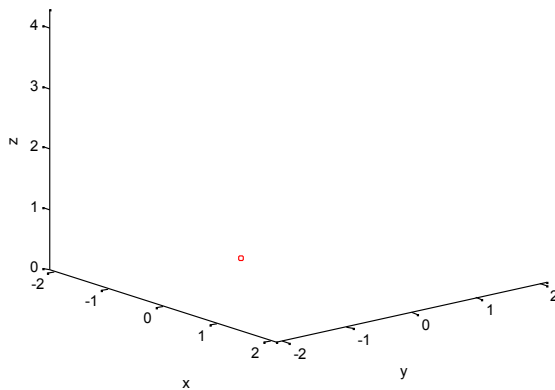
S tâm khâu kh o sát	1.331	S c u hình kh o sát	287.496
S i m làm vi c t c	479	S c u hình t c	170.674
S i m k d	0	S c u hình suy bi n	0

Theo kết quả khảo sát, số điểm làm việc của tâm khâu và số cấu hình tối thiểu hơn số vị trí khảo sát cấu hình chu n ki u Stewart–Gough Platform (m c 2.2.4.1). Trong vùng làm việc của tay máy không xuất hiện các cấu hình suy biến ngẫu nhiên. Tuy nhiên, kết quả khảo sát cho thấy tồn tại những cấu hình có giá trị $\det(T)$ rất nhỏ. Những điểm làm việc của các cấu hình này có thể xem là lân cận của những điểm kỳ dị. Nếu xem xét về các giá trị $\det(T) > 0$, ta sẽ xác định được vùng lân cận của các điểm kỳ dị của tay máy song song. Vì vậy, cần tránh các vùng lân cận những điểm kỳ dị để nâng cao an toàn cho tay máy song song trong quá trình chuyển động.

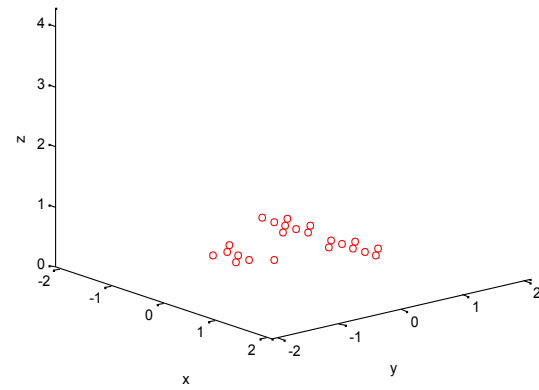
Tiến hành khảo sát theo những giá trị chu n s khác nhau của $\det(T)$ ta thu được kết quả theo bảng 2.9, hình 2.18 ÷ hình 2.21.

Bảng 2.9. Kết quả khảo sát điểm kỳ dị và vùng lân cận theo chu n s $\det(T)$

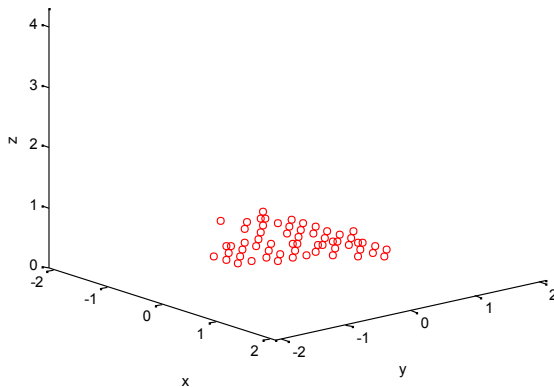
$\det(T)$	0	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
Số điểm kỳ dị	0	1	23	60	113
Số cấu hình suy biến	0	4	42	414	4.354



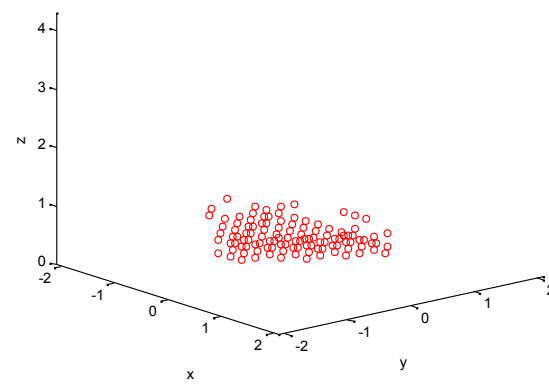
Hình 2.18. Lân cận điểm kỳ dị với $\det(T) < 10^{-4}$



Hình 2.19. Lân cận điểm kỳ dị với $\det(T) < 10^{-3}$



Hình 2.20. Lân cận điểm kỳ dị với $\det(T) < 10^{-2}$



Hình 2.21. Lân cận điểm kỳ dị với $\det(T) < 10^{-1}$

Các kết quả thu được cho thấy tất cả các điểm khớp trong vùng làm việc của tay máy song song. Các điểm khớp này có các vùng lân cận tránh khi đi u khi n tay máy song song. Các giá trị của chu số $det(T)$ sinh ra trong vùng làm việc của tay máy song song: khi giá trị chu số của $det(T)$ càng tăng, vùng làm việc của tay máy càng giảm và ngược lại. Việc xác định các giá trị hạn chế của chu số $det(T)$ giúp cho việc đi u khi n tay máy song song một cách an toàn hơn trong quá trình đi u khi n.

Các kết quả trên đã được công bố công trình số [CTTG-3] của tác giả.

2.2.5 Các đặc tính của tay máy

Như đã trình bày ở mục 1.2.2.6, các đặc tính là các tính quan trọng trong các thông số kỹ thuật của các khâu song song. Số lượng công cụ, tiến hành xác định các đặc tính của tay máy song song theo các khâu khác nhau.

Tính theo công thức 1.22 và bảng 2.1, ta có:

- Các khâu tay máy định vị xấp xỉ Stewart–Gough Platform như hình 2.3 có các đặc tính $stiffness = 1,92.10^{-18}$.
- Các khâu tay máy định vị biến thiên như hình 2.17 có các đặc tính $stiffness = 0,012724$.

Có thể nhận thấy rằng, các khâu tay máy định vị biến thiên (hình 2.17) có các đặc tính cao hơn so với các khâu tay máy định vị xấp xỉ Stewart–Gough Platform (hình 2.3). Trong quá trình thi công, các đặc tính của các khâu quy định như khối lượng và khối lượng chịu tải trong quá trình hoạt động của tay máy song song, các biến là vì các ứng dụng trong gia công khí và máy công cụ. Ngoài ra, các đặc tính giúp xác định tính khả thi của khâu thi công trong vị trí và lập mô hình khí cho tay máy song song.

Tiêu chí về các đặc tính sẽ được xem xét trong quá trình tối ưu hóa thi công cho tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform trong chương 3.

Các kết quả trên được đánh giá là phù hợp với công trình [9], [10], [33], [52], [CT T-1].

2.3 Kết luận chương 2

Trong chương này tác giả đã trình bày giải pháp xây dựng công cụ mô hình hóa tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform. Bộ công cụ xây dựng có kh

nhân công khảo sát vùng làm việc công nghệ đánh giá các tiêu chí nhân công nhân công hoạt động của tay máy song song. Điểm cốt lõi là bố công cho phép người dùng thể hiện các giới hạn tối ưu hóa thiết kế và hiển thị minh các cấu hình tối ưu hóa tất cả dữ liệu.

Bố công đã công nghệ mô hình hóa vùng làm việc của tay máy song song gồm: khảo sát điểm làm việc, cấu hình làm việc vị góc hướng tâm khâu thay đổi; các nhân công tác động vùng làm việc: giới hạn chiều dài chân đứng, giới hạn khớp nối, bán kính vòng tròn trên mặt phẳng ngang; xác định cấu hình suy biến, điểm khởi đầu và vùng lân cận; công nghệ của tay máy với các cấu hình thiết kế. Bố công công nghệ người dùng thể hiện trực quan cấu hình tay máy song song theo các điểm làm việc và cấu hình tùy chọn.

Các kết quả người dùng bố công trong chương này công cho thấy không gian làm việc của tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform chủ nhân công bị nhiễu yếu yếu tố khác nhau. Khi xem xét càng nhiễu các yếu tố ràng buộc, khả năng làm việc của tay máy càng bị giới hạn. Nâng cao khả năng làm việc của tay máy song song, cần thiết phải xây dựng một giới pháp nhằm tìm kiếm cấu hình thiết kế tối ưu của tay máy sao cho các tiêu chí khác nhau của tay máy như: số điểm làm việc, số cấu hình, công nghệ,... tất cả là liên hệ. Đây chính là bài toán tối ưu hóa thiết kế cần phải giải quyết.

Các kết quả người dùng bố công thể hiện việc khảo sát các tham số của tay máy song song như trên cho thấy bố công thiết kế là hợp lý, đáp ứng các yêu cầu nghiên cứu. Bố công này sẽ sử dụng cho các nghiên cứu tối ưu hóa thiết kế chương 3 và 4.

CHƯƠNG 3. GIỚI PHÁP VÀ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU TỐI ƯU HÓA THIẾT KẾ TAY MÁY SONG SONG KIỂU STEWART-GOUGH PLATFORM

Tối ưu hóa thiết kế tay máy song song kiểu Stewart-Gough Platform là bài toán tìm kiếm, xác định cấu hình tối ưu của tay máy theo các tiêu chí và mục tiêu khác nhau. Trong các cấu hình tối ưu này, tay máy sẽ có khả năng hoạt động tốt nhất theo các điều kiện và tiêu chí đã đặt ra trong quá trình tối ưu hóa.

Trong chương số tiếp theo của công cụ (chương 2), chương này xuất các giới pháp và trình bày các kết quả thực hiện tối ưu hóa thiết kế theo các tiêu chí cho tay máy song song kiểu Stewart-Gough Platform với các giới pháp tối ưu hóa khác nhau bao gồm: giới hạn độ dịch chuyển, thuật toán PSI, phương pháp kết hợp giữa giới hạn độ dịch chuyển và thuật toán PSI (thuật toán GA-PSI). Các kết quả khảo sát sẽ được phân tích và đánh giá theo các tiêu chí: số lượng khâu, số khâu, cấu trúc tay máy song song. Việc chọn lựa thuật toán tối ưu các tiêu chí sẽ ảnh hưởng đến quá trình và kết quả tối ưu hóa. Các giới pháp tối ưu hóa thiết kế có kết quả tốt nhất và được áp dụng phù hợp theo từng bài toán cụ thể. Các kết quả thu được cho phép kết luận khả năng làm việc của tay máy song song sau khi tiến hành tối ưu hóa thiết kế.

3.1 Các thuật toán tối ưu và phương pháp tối ưu hóa thiết kế tay máy song song

3.1.1 Các thuật toán tối ưu

Các thuật toán tối ưu có thể chia thành 3 nhóm: các thuật toán tìm kiếm kiểu liệt kê, các thuật toán tìm kiếm toán học, và các thuật toán tìm kiếm ngẫu nhiên [27], [77], [79], [87].

Nguyên tắc của các thuật toán tìm kiếm kiểu liệt kê khá đơn giản. Trong một không gian tìm kiếm hữu hạn, hoặc rời rạc, thuật toán sẽ liệt kê giá trị của hàm mục tiêu tại tất cả các điểm nút trong vùng khảo sát. Các thuật toán tìm kiếm kiểu liệt kê phù hợp cho các quá trình thực hiện đơn giản. Tuy nhiên, khi khảo sát vùng không gian tham số lớn, các thuật toán này lại có mặt hạn chế và không hiệu quả do cần nhiều thời gian xử lý.

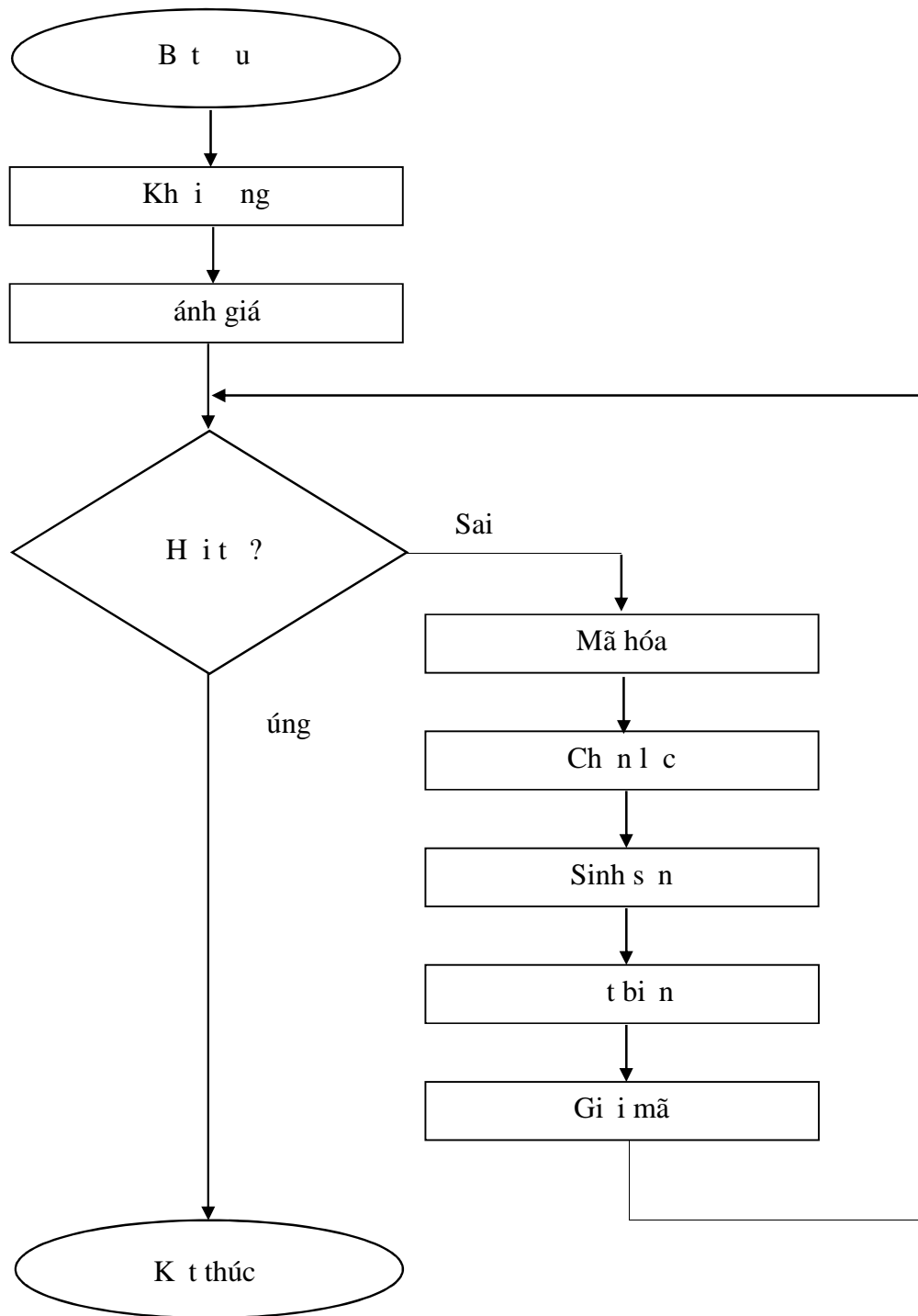
Các thuật toán tìm kiếm toán học dựa trên các khai triển toán học các hàm mục tiêu và các gradient của nó. Các thuật toán này đòi hỏi các khai triển của các hàm mục tiêu phải là hàm tuyến tính, đôi khi phải là hàm liên tục và khả vi. Ngoài ra, các thuật toán tìm kiếm này chỉ có khả năng tìm kiếm tối ưu cục bộ. Tối ưu toàn cục chỉ có thể xác định khi tìm kiếm ban đầu của thuật toán nằm trong vùng lân cận của điểm tối ưu toàn cục.

Các thuật toán tìm kiếm ngẫu nhiên dựa trên số tiến triển của quá trình xử lý. Các thuật toán này thường có phát minh dựa theo sao chép của các hiện tượng, quy luật tự nhiên. Có thể liệt kê một số thuật toán cơ bản: giải thuật mô phỏng luyện kim (simulated annealing), giải thuật leo núi (hill climbing), giải thuật tìm kiếm tabu (tabu search), thuật toán đàn kiến (ant colony algorithm) [39], [53], [58], giải thuật di truyền (genetic algorithm) [30], [81], [82], [83], [108], [118]...

Bài toán tối ưu hóa tay máy song song có không gian tìm kiếm rất lớn và các hàm mục tiêu không thể xác định bằng các biểu thức toán học tường minh. Vì vậy, các thuật toán tìm kiếm kỹ thuật và các thuật toán tìm kiếm toán học là không phù hợp để tối ưu hóa tay máy song song.

Giải thuật di truyền là giải thuật tiến hóa dựa theo cách chọn lọc tự nhiên và các hiện tượng di truyền học [108]. Phương pháp chủ yếu của giải thuật di truyền là tìm kiếm liệt kê tiến hóa của quần thể. Để tiến hóa, các cá thể mang liệt kê kiểm soát lỗi và thay vào đó là các cá thể mới có liệt kê tốt hơn. Sau một thế hệ, quần thể khảo sát sẽ chọn lọc các liệt kê tốt hơn. Quá trình này sẽ lặp lại cho đến khi đạt được liệt kê tốt nhất (hình 3.1).

Giải thuật di truyền, cũng như các giải thuật tiến hóa nói chung dựa trên quan niệm cho rằng quá trình tiến hóa của tự nhiên là quá trình hoàn chỉnh, hợp lý nhất và tối ưu nhất mang tính tiến bộ. Quá trình tiến hóa thể hiện tính tiến bộ, thế hệ sau bao giờ cũng tốt hơn (phát triển hơn, hoàn thiện hơn) thế hệ trước. Tiến hóa tự nhiên cũng duy trì hai quá trình cơ bản: sinh sản và chọn lọc tự nhiên. Các thế hệ mới luôn được sinh ra bổ sung, thay thế thế hệ cũ. Cá thể nào phát triển hơn, thích nghi hơn với môi trường sẽ có nhiều khả năng sống sót và phát triển, cá thể nào không thích nghi sẽ bị môi trường đào thải. Các cá thể mới sinh ra trong quá trình tiến hóa nhờ lai ghép thế hệ cha-mẹ. Một cá thể mới có thể mang những tính trạng của cha-mẹ (di truyền), cũng có thể mang những tính trạng hoàn toàn mới (đột biến). Di truyền và đột biến là hai cơ chế có vai trò quan trọng nhau trong tiến trình tiến hóa, dù rằng hiện tượng đột biến diễn ra với xác suất nhỏ hơn nhiều so với di truyền. Giải thuật di truyền nói riêng và các giải thuật tiến hóa nói chung tuy có ý nghĩa khác biệt nhưng mô phỏng ba quá trình cơ bản của tiến hóa tự nhiên: chọn lọc tự nhiên, lai ghép (sinh sản) và đột biến.



Hình 3.1. Sơ đồ thuật toán di truyền

Vấn đề hình thức, GA được mô tả là một tập: $GA = (I, \Psi, \Omega, s, t, \sim, \cdot)$ với:

$I = B^l$: Không gian tìm kiếm lời giải của bài toán.

$\Psi: I \rightarrow R$: Ký hiệu của hàm thích nghi (Fitness function).

Ω : Ký hiệu cho tập các phép toán di truyền.

$s: I^{+} \rightarrow I^{-}$ ký hiệu cho thao tác chẵn; gọi l và μ các số.

$t: I^{-} \rightarrow \{True, False\}$ là tiêu chuẩn đúng.

$\sim, \} l n l$ là số các trường trong trường cha mẹ và trường con cháu.

Vì những khái niệm và những định nghĩa trên chúng ta có thể hình thức hóa các thuật ngữ truy cập tổng quát dùng các quy tắc bài toán bao gồm những thành phần chính sau:

- Cấu trúc dữ liệu I biểu diễn cho không gian tìm kiếm của bài toán.
- Phương pháp khởi tạo quần thể ban đầu $P(0)$.
- Hàm thích nghi xác định thích nghi của các cá thể trong quần thể.
- Các phép toán tiến hóa của các thuật ngữ di truyền như lai ghép và đột biến.
- Các tham số cần thiết cho các thuật ngữ kích thước quần thể, xác suất lai, xác suất đột biến, số thế hệ tiến hóa,...

Các thuật ngữ di truyền tổng quát có vị trí như sau:

Begin

$t:=0;$

Khởi tạo $P(0) = \{a_1(0), a_2(0), \dots, a_n(0)\} \in I^{-}$

Tính thích nghi cho các cá thể thuộc $P(0)$

$P(0) = \{\Psi(a_1(0)), \Psi(a_2(0)), \dots, \Psi(a_n(0))\};$

While (chưa đạt điều kiện dừng) do

$t:=t+1;$

Tái sinh $P'(t)$ từ $P(t);$

Lai $Q(t)$ từ $P(t-1);$

đột biến $R(t)$ từ $P(t-1);$

$P(t) := P(t-1) \cup Q(t) \cup R(t);$

ánh giá

$P(t) = \{\Psi(a_1(t)), \Psi(a_2(t)), \dots, \Psi(a_n(t)), \dots, \Psi(a_{n+1}(t))\};$

Return;

End

Thu t toán i u tra không gian tham s (PSI) cho phép hình thành và a ra gi i pháp cho bài toán xác nh t p h p các gi i pháp kh thi. M i u, vì c s d ng thu t toán PSI ph i d a trên các cu c i tho i gi a máy tính và nhà thi t k . Sau ó, thu t toán PSI c s d ng nh m t c s cho s phát tri n các ph ng pháp tìm ra gi i pháp có tính kh thi và t p h p t i u Pareto, xác nh tiêu chu n, phân chia và t ng h p các h th ng quy mô l n, c l ng nh y c a các tiêu chu n i v i vì c thay i các biên.

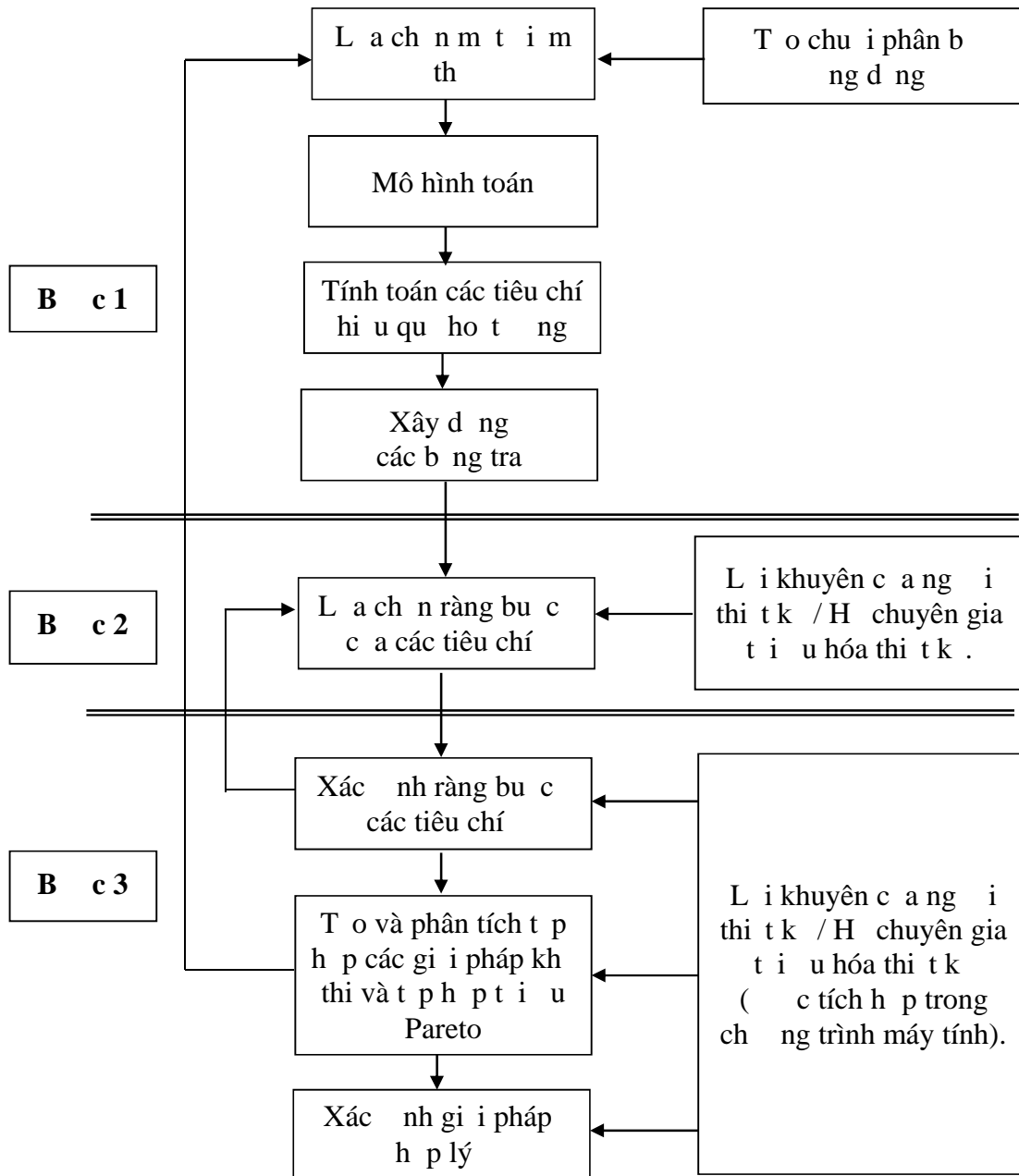
S thu t toán PSI c ti n hành theo 3 b c (hình 3.2):

- B c 1: Xây d ng các b ng tra
- B c 2: L a ch n các ràng bu c c a các tiêu chí
- B c 3: Ki m tra và xác nh các gi i pháp phù h p

M t s c i m liên quan n ph ng pháp t i u hóa thi t k dùng PSI:

- Các bài toán v c b n có nhi u tiêu chí.
- Xem xét ng th i t t c các tiêu chí c b n theo các th t u tiên.
- Xác nh t p h p các gi i pháp kh thi là m t b c quan tr ng trong vì c hình thành và gi i quy t các bài toán.
- Vì c hình thành và gi i quy t bài toán là m t quá trình th ng nh t và c gi i quy t theo ph ng th c t ng h .
- Các tham s c a m t mô hình có tính liên t c, có r t nhi u các ràng bu c khác nhau gi a các tham s và bi n thi t k .
- Các nhà thi t k th ng g p nh ng khó kh n l n trong vì c phân tích các gi i pháp kh thi và các t p h p t i u c ng nh trong vì c l a ch n gi i pháp t i u nh t.

Thu t toán và ch ng trình s xác nh các nghi m cho phép và các nghi m t i u hóa trên t p h p Pareto khi l a ch n các tham s c c u song song v i nhi u tiêu chí khác nhau. T p h p t i u Pareto s c tìm th y trên biên thay i c a nh ng kho ng các tham s .



Hình 3.2. S thu t toán PSI

Lưu ý rằng luận án này sử dụng các giải thuật di truyền, thuật toán PSI và thuật toán kết hợp GA-PSI để tiến hành tối ưu hóa thiết kế tay máy song song. Tham số của các tiêu chí tối ưu trong luận án sẽ xem xét gồm: số khâu làm việc, số khâu hình làm việc khi góc khớp thay đổi và công suất tay máy.

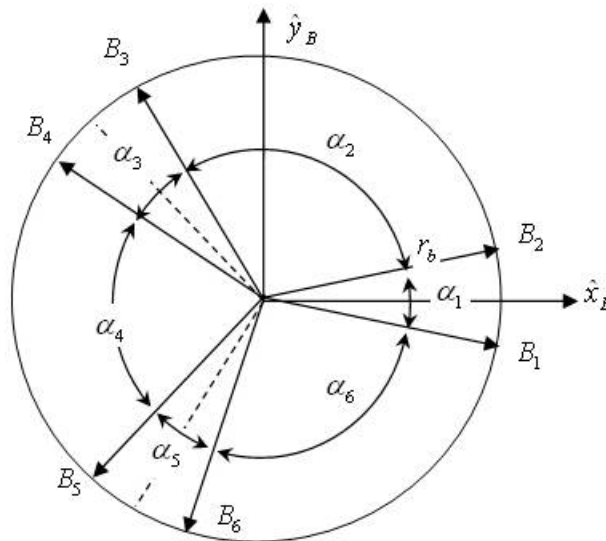
3.1.2 Phương pháp tối ưu hóa thiết kế tay máy song song

Có nhiều phương pháp tối ưu hóa thiết kế máy tay máy song song như Stewart-Gough Platform bằng cách thay đổi các tham số của tay máy như: góc β , ρ , bán kính r_b , r_p , giới hạn chuyển động theo chiều dài của các chân đỡ (l_{min}, l_{max}) hoặc giới hạn

chuyển góc c a kh p n i ($angle_base_{imin}$, $angle_base_{imax}$, $angle_top_{imin}$, $angle_top_{imax}$) c a tay máy. Tuy nhiên, khi ch n l a các ph ng pháp t i u hóa thi t k khác nhau, c n xem xét kh n ng áp d ng kh d các k t qu nghiên c u trong vi c ch t o h th ng c khí và i u khi n c a tay máy.

Có th nh n th y r ng vi c thay i các tham s nh gi i h n chuy n ng c a chi u dài chân đ n ng, gi i h n chuy n ng góc c a kh p n i, bán kính r_b , r_p c a tay máy g p nhi u khó kh n và h n ch do ph thu c nhi u vào c u t o c khí. Trong khi ó các góc α_i có th thay i d dàng mà không nh h ng n c c u c a tay máy n u các kh p B_i, P_i c b trí theo các ng tròn trên m t ph ng n n ho c t m chuy n ng.

Lu n án này s d ng ph ng pháp t i u hóa thi t k cho tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform b ng cách thay i các v trí kh p $B_i = (B_1, B_2, \dots, B_6)$ trên m t ng tròn có bán kính c nh r_b v i th t gi a các kh p không thay i. Nói cách khác, các thu t toán t i u s tìm ki m các góc $\alpha_i = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_6) > 0$ sao cho tay máy t c các tiêu chí (s i m làm vi c, s c u hình làm vi c, c ng v ng) là l n nh t (hình 3.3). Ph ng pháp này có tính kh thi cao trong vi c thi công mô hình v t lý và kh o sát các c u hình t i u hóa thi t k v sau.



Hình 3.3. Ph ng pháp t i u hóa tay máy song song (thay i góc $\alpha_i > 0$)

Lu n án s l n l t áp d ng các gi i pháp t i u hóa khác nhau cho các bài toán t i u thi t k tay máy song song theo a tiêu chí. Các k t qu t i u s c kh o sát và ánh giá v i cùng m t t p tham s kh i t o bao g m các thông s c a tay máy và vùng không gian kh o sát gi thi t cho tr c th hi n b ng 3.1. t ng bài toán c th , các thông s liên quan khác s c b sung vào quá trình t i u hóa.

Các tham số xác lập cho bài toán tối ưu hóa thiết kế :

Bảng 3.1. Tập tham số khởi tạo - Quá trình tối ưu hóa thiết kế

Thông số tay máy	Ký hiệu	Giá trị
Bán kính vòng tròn bố trí khớp nối B_i	r_b	2 m
Bán kính vòng tròn bố trí khớp nối P_i	r_p	1 m
Giới hạn chiều dài chân đế ngang	l_{imin}	1 m
	l_{imax}	3 m
Giới hạn góc khớp nối trên mặt phẳng ngang	$angle_base_{imin}$	0,2618 rad
	$angle_base_{imax}$	2,8798 rad
Giới hạn góc khớp nối trên trục chuyển động	$angle_top_{imin}$	0,1745 rad
	$angle_top_{imax}$	2,9670 rad
Không gian khảo sát		
Giới hạn khảo sát theo trục x	x_{min}	-1,5 m
	x_{max}	-0,7 m
Giới hạn khảo sát theo trục y	y_{min}	1,2 m
	y_{max}	1,8 m
Giới hạn khảo sát theo trục z	z_{min}	0,9 m
	z_{max}	2,5 m
Giới hạn khảo sát theo góc nghiêng α, β, γ	$min, \alpha_{min}, \beta_{min}, \gamma_{min}$	-0,1745 rad
	$max, \alpha_{max}, \beta_{max}, \gamma_{max}$	0,1745 rad
Số bước khảo sát theo vị trí	$x_{dstep}, y_{dstep}, z_{dstep}$	5 bước
Số bước khảo sát theo góc nghiêng	$dstep, \alpha_{dstep}, \beta_{dstep}, \gamma_{dstep}$	5 bước

Chọn cấu hình ban đầu trục khi tối ưu có vị trí các khớp B_i và P_i cân bằng với $\alpha = \beta = \gamma = 0$ rad (hình 3.4, bảng 3.3). Trên cấu hình ban đầu này, các giới hạn pháp tối ưu hóa sẽ lần lượt áp dụng tối ưu hóa thiết kế tay máy lần lượt theo các trường hợp:

- Tối ưu hóa theo 1 tiêu chí: Số lần làm việc của tâm khâu với góc nghiêng là hằng số $\alpha = \beta = \gamma = 0$ rad (mục 3.2).

– T i u hóa theo a tiêu chí:

- Bài toán 2 tiêu chí: S i m làm vi c c a tâm khâu; s c u hình làm vi c c a tay máy v i góc h ãng thay i trong gi i h ãn kh o sát (m c 3.3).
- Bài toán 3 tiêu chí: S i m làm vi c c a tâm khâu; s c u hình làm vi c c a tay máy v i góc h ãng thay i; c ãng v ãng c a tay máy. Trong bài toán này, th t u tiên c a các tiêu chí s c c xem xét và ánh giá trong hai tr ãng h p khác nhau (m c 3.3.3).

Các k t qu t i u hóa thi t k trong lu ãn án (ch ãng 3, ch ãng 4) c th c hi ãn trên c s s ãng b công c (ch ãng 2) kh o sát các c u hình thi t k c a tay máy t i các chu k /th h t i u.

S c u hình kh o sát t i m t chu k /th h t i u s quy t ãnh ãn th i gian t i u hóa. N u s b c kh o sát (step) quá ãnh , k t qu kh o sát s ã không bao quát c h t vùng không gian kh o sát c ãng ãnh các c u hình c a tay máy. Trong tr ãng h p ch ãn s b c kh o sát l ãn, s c u hình kh o sát s r t l ãn, quá trình t i u hóa ã không mang tính kh ã thi v ã m t th i gian (b ãng 3.2). B ên c ãnh ó các c u hình kh o sát c ã ch ãn l ã quá ãng ãnh nhau s c ó các k t qu t ãng t , ã không h t r ãnh i u trong vi c ánh giá kh ã ãng ãm vi c c a tay máy. Vì v y, s b c kh o sát theo v trí và góc h ãng c ã ã cân ãnh c và ch ãn l ã tr c khi t i ãn hành quá trình t i u hóa thi t k tay máy song song.

B ãng 3.2. ãnh ãng c a s b c kh o sát t i t ãng chu k /th h t i u

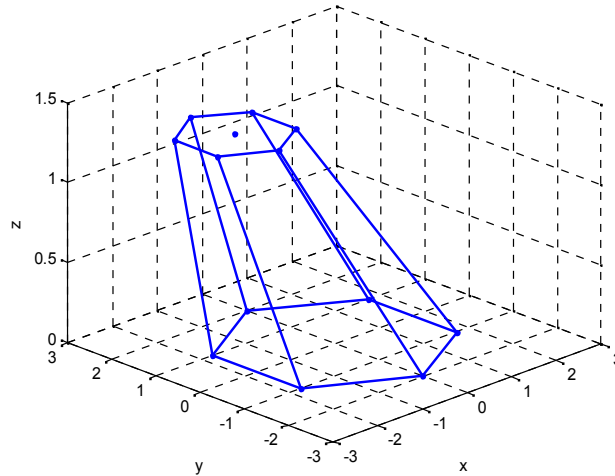
S b c kh o sát (step) theo v trí và góc h ãng	3	5	7	10
S i m kh o sát = (step) ³	9	125	343	1.000
S c u hình kh o sát = (step) ⁶	81	15.625	117,649	1.000.000

Thông qua quá trình th ãng ãnh và i u ch ãnh các thu t toán t i u hóa thi t k trong lu ãn án, s b c kh o sát theo v trí (x_{dstep} , y_{dstep} , z_{dstep}) và góc h ãng ($dstep$, $dstep$, $dstep$) s c ã l ã ch ãn phù h p theo th ã tích vùng không gian kh o sát và gi i h ãn góc h ãng c a t m chuy ãng. Vì c ã l ã ch ãn này c th c hi ãn theo nguyên t c ã m b o tính toàn v ãn c a vùng không gian kh o sát và th i gian kh o sát kh ã thi. Các k t qu t i u hóa trong lu ãn án cho th y các giá tr ã này là phù h p cho vi c xác ãnh vùng không gian làm vi c v i th i gian t i u hóa ã không quá l ãn trong khi v ã ã m b o c tính khác b i t và ã ã ãng c a các gi i pháp t i u hóa thi t k . Các k t qu t i u hóa thi t k c xem

xét loại bỏ các cấu hình suy biến, tìm điểm và vùng lân cận của chúng. Vì vậy, số bộ khảo sát (chia l) sẽ không nhỏ hơn số vị trí xác định cấu hình tối ưu hóa.

Các cấu hình tối ưu của tay máy trong chương 3 sẽ có thể hiện vị trí tâm khâu: $x_d = -0,7$; $y_d = 1,56$; $z_d = 1,22$ m.

Cấu hình ban đầu trước khi tối ưu hóa tối ưu:



Hình 3.4. Cấu hình ban đầu của tay máy trước khi tối ưu hóa tối ưu

Bảng 3.3. Vị trí của các khớp tỉ mỉ trong n trên trục khi tối ưu hóa tối ưu

Vị trí B_i (m)	1	2	3	4	5	6
B_{i_x}	1,73205	1,73205	0	-1,73205	-1,73205	0
B_{i_y}	-1	1	2	1	-1	-2

Vị trí tối ưu di truyền, các tiêu chí tối ưu sẽ xác định hàm thích nghi của các cá thể. Thứ tự ưu tiên, cấu hình tối ưu của tay máy sẽ chọn ngẫu nhiên. Các cấu hình tối ưu có hàm thích nghi tốt nhất sẽ chọn lọc và lặp lại cho quá trình tiến hóa tiếp theo. Trong thuật toán tìm kiếm không gian tham số PSI, sau mỗi chu kỳ tối ưu, cấu hình tối ưu có số điểm làm việc như trước để lựa chọn theo lời khuyên của nhà thiết kế hoặc kỹ thuật viên chuyên gia tối ưu hóa tích hợp trong chương trình máy tính (hình 3.2). Cấu hình tối ưu lựa chọn này sẽ là số cho chu kỳ tiếp theo. Thuật toán GA-PSI sẽ dùng vị trí tối ưu để tìm kiếm cấu hình ban đầu phù hợp cho thuật toán PSI để tìm vị trí tối ưu hóa. Thuật toán này có khả năng giúp nhà thiết kế xác định các cấu hình ban đầu phù hợp vì sẽ thay vì không gian khảo sát và thông số tay máy.

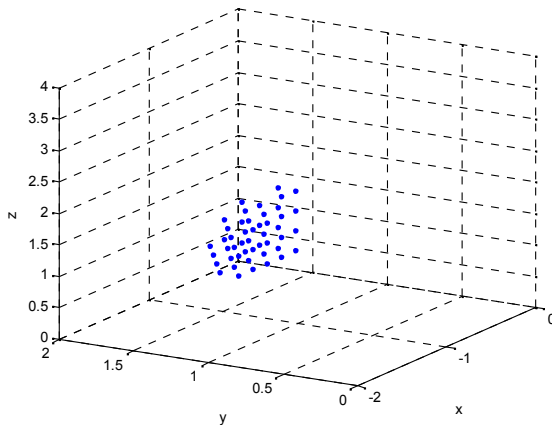
iv i các gi i pháp nêu trên, t i m i chu k ho c th h t i u, b công c mô hình hóa (hình 2.2) s th c hi n vi c kh o sát và ánh giá vùng làm vi c c a các c u hình thi t k . K t thúc quá trình t i u hóa, thi t k t i u c a các gi i pháp s c ánh giá và so sánh v i c u hình thi t k ban u (hình 3.4).

3.2 T i u hóa thi t k tay máy song song theo m t tiêu chí

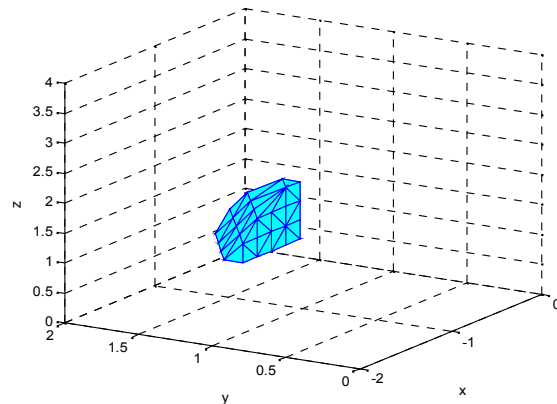
Ti n hành kh o sát c u hình ban u c a tay máy (hình 3.4) theo b ng 3.1, s i m làm vi c c a tâm khâu v i góc h ng là h ng s = = = 0 (rad) c th hi n theo hình 3.5, hình 3.6 và b ng 3.4.

B ng 3.4. K t qu kh o sát vùng làm vi c theo 1 tiêu chí

S i m kh o sát trong gi i h n không gian	216
S i m làm vi c t c	47
T l t c (%)	21,7%



Hình 3.5. T p h p i m làm vi c tr c khi t i u theo 1 tiêu chí



Hình 3.6. Vùng làm vi c c a tay máy tr c khi t i u theo 1 tiêu chí

Trong ph n này, tác gi ti n hành t i u hóa thi t k l n l t theo các gi i pháp sau:

- Gi i thu t di truy n (GA).
- Thu t toán i u tra không gian tham s (PSI).

Áp d ng gi i thu t di truy n (hình 3.1) v i các thông s nh b ng 3.5 và hàm thích nghi:

$$Fitness = S i m làm vi c t c \tag{3.1}$$

B ng 3.5. Thông s c a gi i thu t di truy n - T i u hóa theo 1 tiêu chí

S cá th trong qu n th	50	Xác xu t t bi n	0,01
S nhi m s c th trong cá th	6	Xác xu t lai ghép	0,89
S gen trong nhi m s c th	4	S th h t i a	2.000

K t qu t i u hóa thi t k theo m t tiêu chí dùng gi i thu t di truy n c trình bày theo b ng 3.6.

B ng 3.6. K t qu t i u hóa thi t k theo 1 tiêu chí – Gi i thu t di truy n

Thông s	Ban u	Th h t i u			
		1	5	47	247
S i m làm vi c t c	47	57	125	179	179
T l t i u (%)	0	21,2	165,9	280,8	280,8
Th i gian t i u (s)		0,8	4,1	39,3	206,5

Đ a vào b ng k t qu sau khi t i u, ta có th nh n th y r ng, s i m làm vi c t c t ng t 47 lên 125 v trí ch sau b n th h u c a gi i thu t di truy n (t ng 165,9%). T i th h cu i, ta có s i m làm vi c t c sau khi t i u là 179 i m. Nh v y, khi k t thúc quá trình t i u, s i m làm vi c t c ã t ng lên 280,8% so v i c u hình kh o sát ban u (t 47 i m lên 179 i m).

Quá trình t i u hóa chi ti t theo m t tiêu chí c a gi i thu t di truy n c th hi n trong hình 3.7, hình 3.8, hình 3.9 v i t a v trí kh p B_i c a tay máy th hi n b ng 3.9.

Áp d ng thu t toán PSI (hình 3.2), ta có k t qu t i u hóa thi t k theo m t tiêu chí c trình bày theo b ng 3.7.

B ng 3.7. K t qu t i u hóa thi t k theo m t tiêu chí - Ph ng pháp PSI

Thông s	Ban u	Chu k t i u			
		1	2	7	100
S i m làm vi c t c	47	68	93	180	180
T l t i u (%)	0	44,6	97,8	282,9	282,9
Th i gian t i u (s)	0,56	16	33	116	1.662

Dựa vào bảng 3.7, chúng ta có thể nhận thấy số tâm khâu tăng từ 47 lên 68 làm việc ch sau chu kỳ tiêu tiên (tăng 44,6%). Tổng chu kỳ tiêu thụ bình quân chu kỳ cũ (chu kỳ 100), số tâm khâu rút ra từ c sau khi tiêu là 180 vị trí (tăng 282,9%) so với vị trí hình ban đầu (hình 3.4).

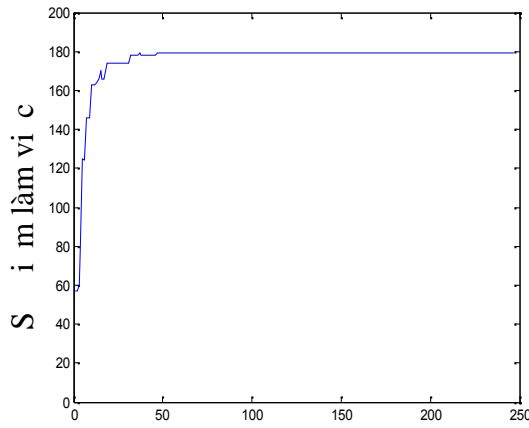
Tổng chu kỳ tiêu thụ bình quân chu kỳ cũ, giá trị tiêu theo tiêu chí thì nhận là như nhau. Tiêu này cho thấy khi nhận xét các cấu hình thì khác nhau có cùng số tâm khâu rút giá trị lớn nhất trong vùng khảo sát. Trong trường hợp này, bài toán tiêu có nhiều lợi ích khác nhau dựa trên các thông số ràng buộc của tay máy song song.

So sánh kết quả tiêu của hai giải pháp:

Có thể đánh giá hiệu quả của các giải pháp tiêu hóa thì khác theo một tiêu chí, các kết quả tăng giảm, quá trình tiêu hóa chi tiết của giải pháp thu thập dữ liệu và phương pháp PSI sẽ trình bày và so sánh theo bảng 3.8, hình 3.7, hình 3.8, hình 3.9. Bảng vị trí khớp nối B_i của tay máy sau khi tiêu trình bày bảng 3.9.

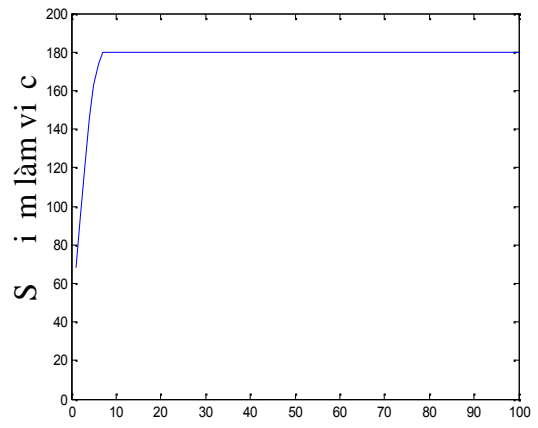
Bảng 3.8. Kết quả tiêu hóa theo một tiêu chí

Thông số	Trực khi tiêu hóa	Kết quả tiêu	
		Thu thập toán GA	Thu thập toán PSI
Số vị trí làm việc rút ra	47	179	180
Tổng tiêu (%)	0	280,9	282,9
Thời gian/chu kỳ tiêu		47	7
Thời gian tiêu (s)		206	1.662



Chu k t i u

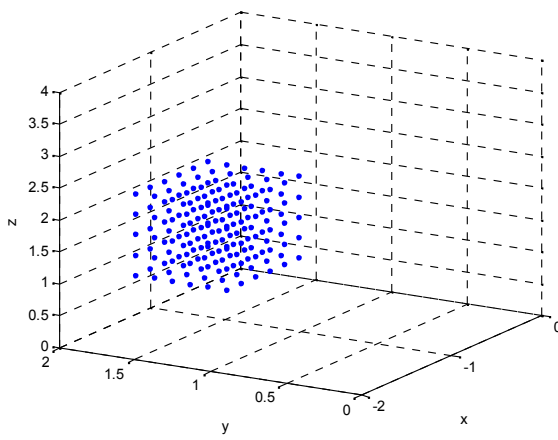
a) Gi i thu t di truy n



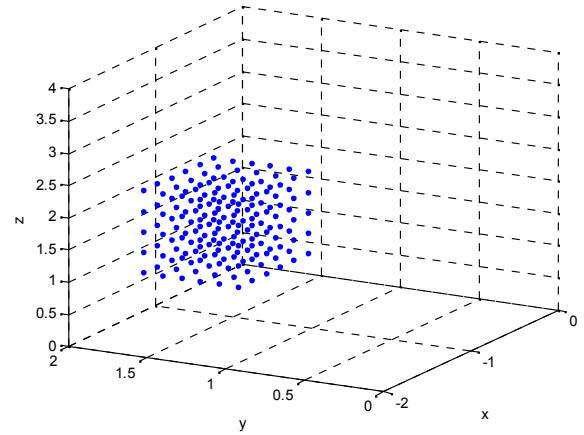
Chu k t i u

b) Thu t toán PSI

Hình 3.7. Quá trình t i u hóa theo 1 tiêu chí

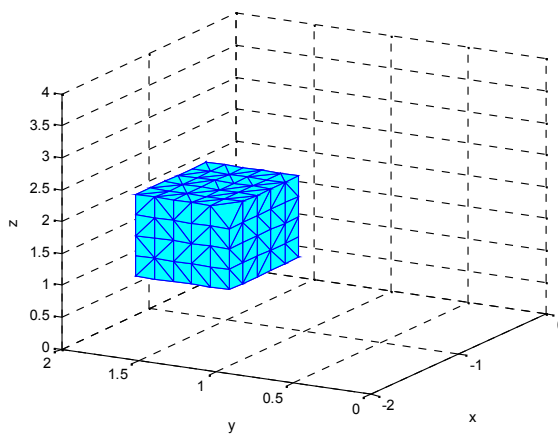


a) Gi i thu t di truy n

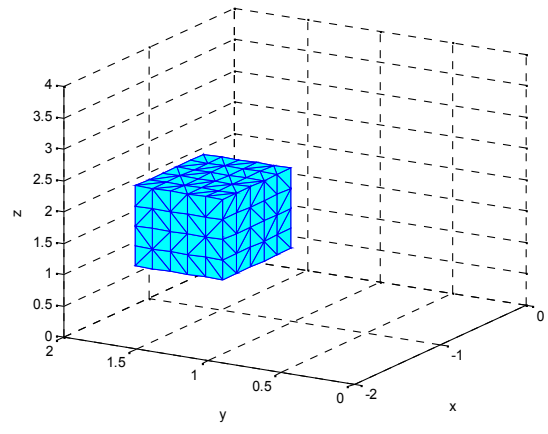


b) Thu t toán PSI

Hình 3.8. T p h p i m làm vi c c a tay máy sau khi t i u hóa theo 1 tiêu chí.

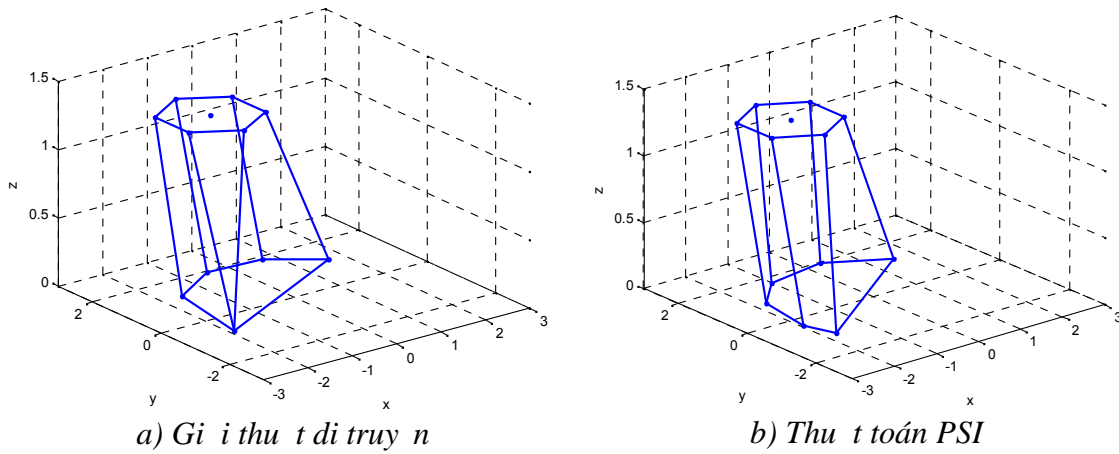


a) Gi i thu t di truy n



b) Thu t toán PSI

Hình 3.9. Vùng làm vi c c a tay máy sau khi t i u hóa theo 1 tiêu chí



Hình 3.10. Cấu hình của tay máy sau khi tối ưu hóa theo 1 tiêu chí

Vị trí của các khớp tịnh tiến $B_i = (B_1, B_2, \dots, B_6)$ sau khi tối ưu có thể nhìn thấy trong hình 3.9.

Bảng 3.9. Vị trí khớp tịnh tiến sau khi tối ưu theo 1 tiêu chí

Thuật toán	Vị trí B_i (m)	1	2	3	4	5	6
Di truyền	B_{i_x}	1,6483	0,7135	-0,4771	-1,5565	-1,8818	-1,8818
	B_{i_y}	1,1328	1,8684	1,9423	1,2559	-0,6775	-0,6775
PSI	B_{i_x}	1,5321	0,3473	-1,0000	-1,7321	-1,7321	-1,9696
	B_{i_y}	1,2856	1,9696	1,7321	1,0000	-1,0000	-0,3473

Cấu hình tối ưu theo hai giới pháp được miêu tả trong hình 3.10 và vị trí các khớp B_i có vị trí dịch chuyển lại gần với vùng không gian khảo sát hơn so với cấu hình ban đầu (hình 3.4 và hình 3.10). Các khớp này có thể bố trí trên mặt phẳng và theo nguyên phù hợp với phương pháp tối ưu hóa thích ứng trình bày ở mục 3.1.2.

Có thể kết luận rằng, việc sử dụng làm việc của tâm khâu (góc lệch là hằng số), vùng làm việc của tay máy song song sẽ có ảnh hưởng sau khi tiến hành tối ưu hóa thích ứng (hình 3.6 và hình 3.9) với hai giới pháp. Kết quả tối ưu sử dụng làm việc của thuật toán PSI tốt hơn giới thiệu di truyền (180 mm so với 179 mm làm việc). Tuy nhiên, thời gian tối ưu của thuật toán PSI lớn hơn so với giới thiệu GA (1.662 giây so với 206 giây).

Các kết quả trên đã được công bố trong công trình [CTTG-1] và [CTTG-2] của tác giả.

3.3 T i u hóa thi t k tay máy song song theo hai tiêu chí

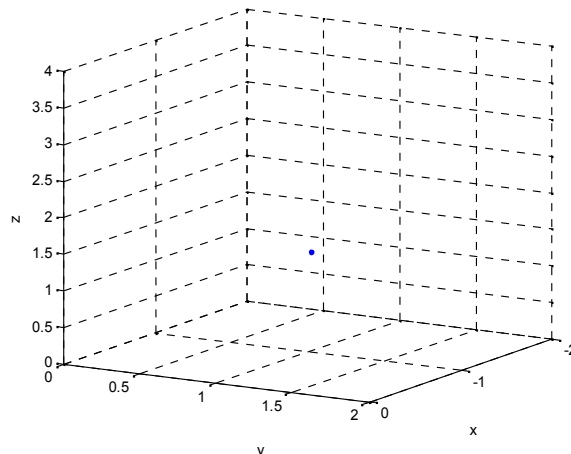
Phần này trình bày kết quả áp dụng giải thuật di truyền và thuật toán PSI t i u hóa thi t k tay máy song song theo hai tiêu chí: s i m làm vi c và s c u hình t

c. Tiếp đó là phương pháp kết hợp giải thuật di truyền và PSI giải thích u th i gian t i u hóa và nâng cao tính linh hoạt trong việc chọn lựa cấu hình ban đầu trước khi t i u.

Trước tiên, giải thuật di truyền và thuật toán PSI được áp dụng cho việc tìm kiếm không gian làm việc của tay máy song song với hai tiêu chí như sau: s tâm khâu và cấu hình làm việc khi góc nghiêng thay i. Tối ưu vị trí tâm khâu c k h o sát, các góc nghiêng (α, β) lần lượt thay i t o thành các cấu hình khác nhau. Trong luận án này, mô t i m làm việc c xác nh khi tay máy có kh n ng ho t ng t t c các cấu hình khác nhau khi góc nghiêng thay i t i i m k h o sát ó. Khi tiến hành k h o sát v i góc nghiêng thay i, cấu trúc máy, ngoài kết quả v s i m làm việc t c (tiêu chí thứ nhất) trong không gian chúng ta cần phải xem xét n s c u hình t c c a tay máy song song cho dù vị trí tâm khâu c k h o sát không thay a m h t t t c các cấu hình. Đây là tiêu chí thứ hai quy t nh n kh n ng ho t ng c a tay máy song song.

Tiến hành k h o sát cấu hình ban đầu trước khi t i u (hình 3.4) với tham số bảng 3.1. Kết quả k h o sát trước khi tiến hành t i u hóa cho thấy tay máy song song với giải thích góc khớp có s i m làm việc t c l v trí và 5.829 cấu hình (hình 3.11). Có thể nhận thấy rằng, khi xem xét thêm ràng buộc về các cấu hình tối i i m làm việc và giải thích các khớp nối, s i m làm việc t c c a tay máy ã giảm xuống rất nhiều.

Trong vùng làm việc của tay máy, quá trình t i u hóa thi t k theo hai tiêu chí trong luận án sẽ dựa trên nguyên tắc ưu tiên chỉ tiêu thứ nhất (s i m làm việc) trước so với tiêu chí thứ hai (s c u hình làm việc).



Hình 3.11. Phân bố i m làm việc trước khi t i u theo 2 tiêu chí

3.3.1 T i u hóa thi t k theo hai tiêu chí dùng gi i thu t di truy n và thu t toán PSI

Áp d ng gi i thu t di truy n (hình 3.1) v i các tham s nh b ng 3.10 v i hàm thích nghi c nh ngh a nh sau:

$$Fitness = S i m làm vi c t c * 10^i + S c u hình t c. \quad (3.2)$$

V i $i > \log(S c u hình kh o sát); (i \in \mathbb{Z}; i \geq 0)$

B ng 3.10. Thông s gi i thu t di truy n t i u hóa thi t k theo hai tiêu chí

S cá th trong qu n th	50	Xác xu t t bi n	0,05
S nhi m s c th trong cá th	6	Xác xu t lai ghép	0,89
S gen trong nhi m s c th	4	S th h t i a	500

K t qu t i u hóa thi t k theo hai tiêu chí dùng gi i thu t di truy n th hi n b ng 3.11. Quá trình t i u hóa theo hai tiêu chí c a gi i thu t di truy n c th hi n t hình 3.12 n hình 3.14 v i t a v trí kh p B_i c a tay máy th hi n hình 3.15 và b ng 3.14.

B ng 3.11. K t qu t i u hóa thi t k theo hai tiêu chí - Gi i thu t di truy n

Thông s	Ban u	Th h t i u				
		1	6	89	131	181
S i m làm vi c t c	1	39	68	160	169	169
T l t i u (%)		3.900	6.800	16.000	16.900	16.900
S c u hình t c	5.829	37.389	41.967	44.407	44.407	44.407
T l t i u (%)		641,4	720	761,8	761,8	761,8
Th i gian t i u (s)		234	1.407	20.884	30.739	42.471

K t qu t i u hóa theo hai tiêu chí cho th y, th h th 131 gi i thu t di truy n ã t t i k t qu tìm ki m t t nh t v i s i m làm vi c t c là 169 i m, s c u hình làm vi c t c là 44.407 c u hình. Th i gian t i u hóa c a gi i thu t di truy n là 42.471 s 11,8 gi .

Áp d ng thu t toán PSI t i n hành hóa thi t k theo hai tiêu chí cho tay máy song song. K t qu t i u hóa thi t k theo hai tiêu chí dùng thu t toán PSI c trình bày theo b ng 3.12.

B ng 3.12. K t qu t i u hóa thi t k theo hai tiêu chí - Thu t toán PSI

Thông s	Ban u	Chu k t i u			
		1	12	25	40
S tâm khâu t c	1	28	28	169	169
T l t i u (%)		2.800	2.800	16.900	16.900
S c u hình t c	5.829	10.877	10.877	44.601	44.601
T l t i u (%)		186,6	186,6	765,2	765,2
Th i gian t i u (s)		3.492	41.92	87.293	139.670

Thu t toán PSI cho k t qu t i u t chu k 25 v i 169 i m làm vi c t c và 44.601 c u hình. Trong chu k t i u u tiên, s i m làm vi c và s c u hình làm vi c t c t ng nhanh so v i c u hình ban u. Trong 11 chu k t i u k ti p, các tiêu chí không c c i thi n. T chu k 12 tr i, các tiêu chí kh o sát t ng nhanh và t t i u t i chu k 25. Quá trình t i u hóa thi t k theo hai tiêu chí k t thúc t i chu k 40. Th i gian t i u hóa là 139.670 s 38,8 gi .

So sánh các k t qu t i u hóa theo hai tiêu chí: Các k t qu c trình bày b ng 3.13, t hình 3.12 n hình 3.14 v i t a v trí kh p B_i c a tay máy th hi n hình 3.15 và b ng 3.14.

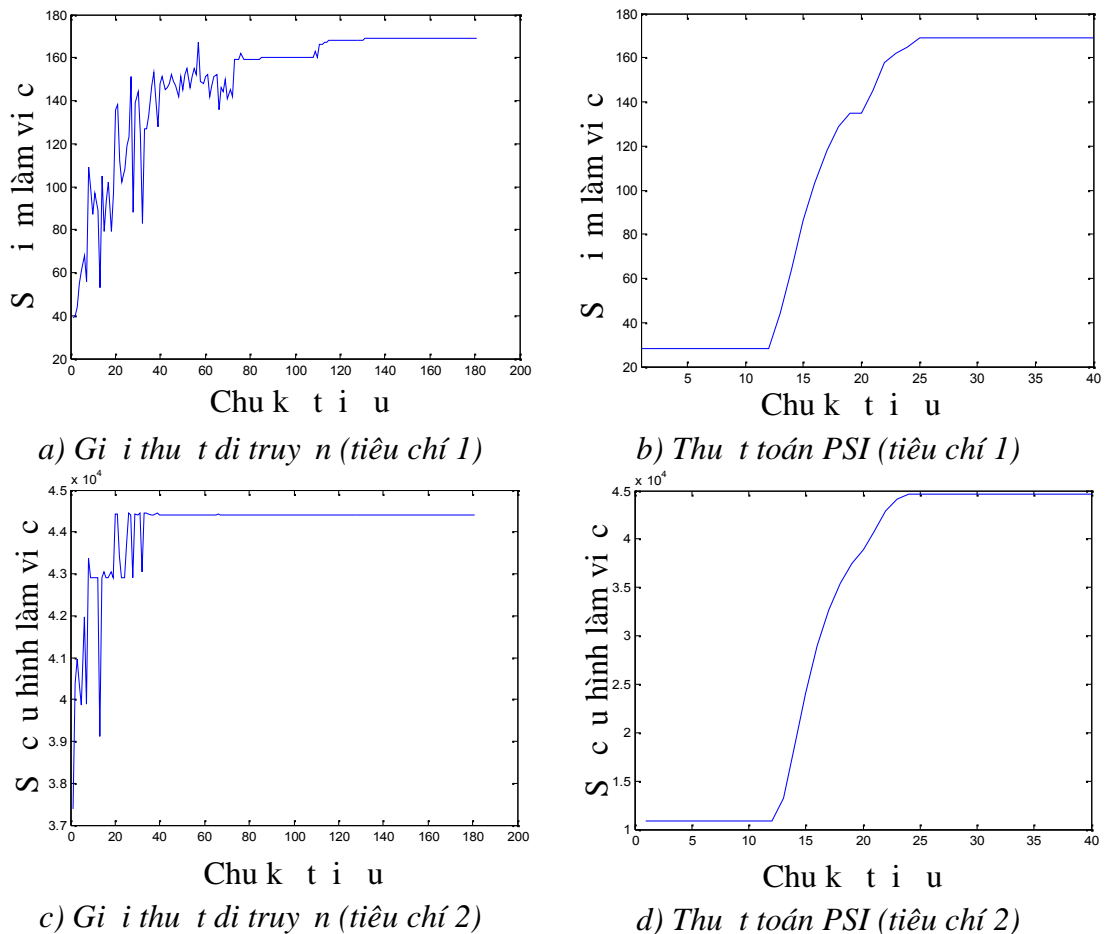
B ng 3.13. K t qu t i u theo hai tiêu chí dùng gi i thu t di truy n và thu t toán PSI

Thông s	Tr c khi t i u hóa	K t qu t i u	
		Gi i thu t di truy n	Thu t toán PSI
S i m làm vi c t c	1	169	169
T l t i u (%)		16.900	16.900
S c u hình t c	5.829	44.407	44.601
T l t i u (%)		761,8	765,2
Th h /chu k t t i u		131	25
Th i gian t i u (s)		42.471	139.670

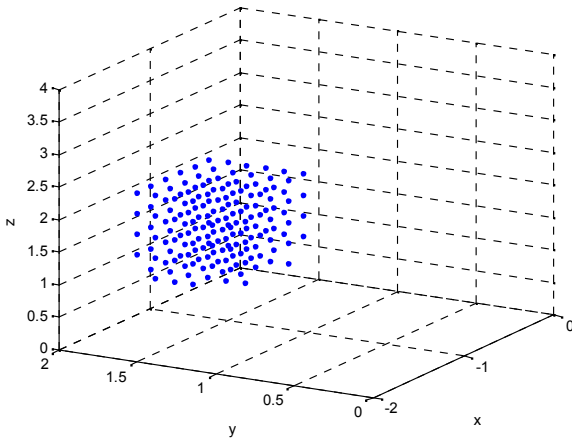
K t qu cho th y, sau khi t i u hóa tay máy có s c i thi n r t l n v s i m làm vi c c ng nh s c u hình làm vi c t c. Hai gi i pháp t i u hóa có cùng t p h p

ì m làm vi c và vùng làm vi c sau khi t i u (169 ì m). Thu t toán PSI có s c u hình làm vi c t c nhi u h n 3,4% so v i gi i thu t di truy n (44.601 so v i 44.407 c u hình). Hai c u hình t i u hóa thi t k (hình 3.15) có v trí kh p n i sai l ch 1.10^{-4} m. Th i gian t i n hành t i u hóa c a thu t toán PSI l n h n so v i gi i thu t di truy n (38,8 gi so v i 11,8 gi) (b ng 3.14).

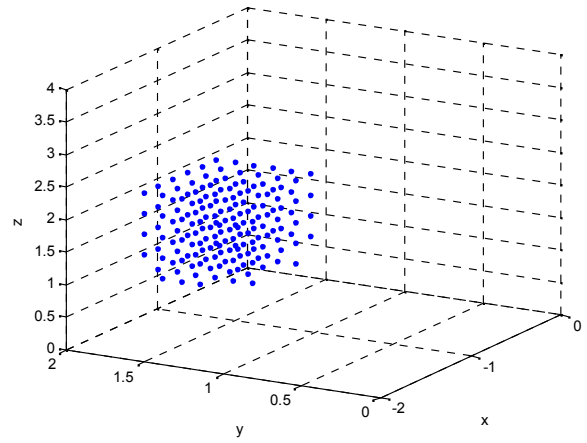
Trong 80 th h u tiên c a gi i thu t di truy n, các tiêu chí t i u thay ì theo h ng t ng nh ng không theo quy lu t do nh h ng b i tính t bi n và lai ghép c a gi i thu t di truy n. T th h 80 tr i, hàm thích nghi b t u h i t và t t i u t i th h 131. ì v i thu t toán PSI, trong kho ng 12 chu k t i u u tiên, các tiêu chí không c c i thi n (hình 3.12 b, d). Trong kho ng th i gian này, quá trình t i u hóa c xem là không hi u qu do c u hình ban u c a thu t toán PSI không phù h p v i vùng không gian kh o sát. Tính hi u qu ban u và th i gian t i u hóa l n c a thu t toán PSI s c xem xét và gi i quy t ph n sau.



Hình 3.12. Quá trình t i u hóa theo hai tiêu chí.

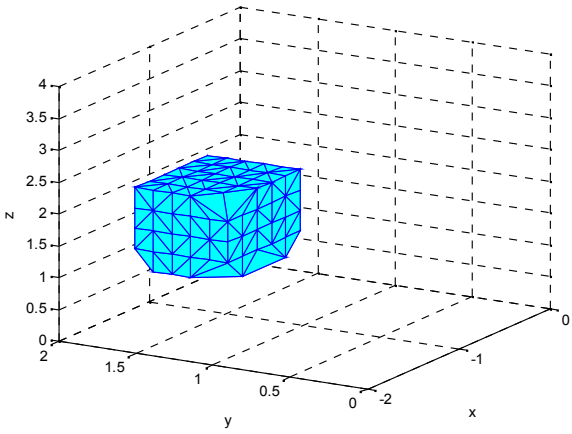


a) Gi i thu t di truy n

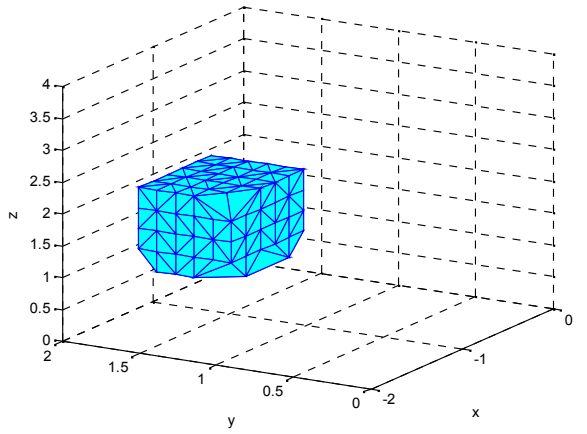


b) Thu t toán PSI

Hình 3.13. T p h p i m làm vi c c a tay máy sau khi t i u hóa theo 2 tiêu chí.

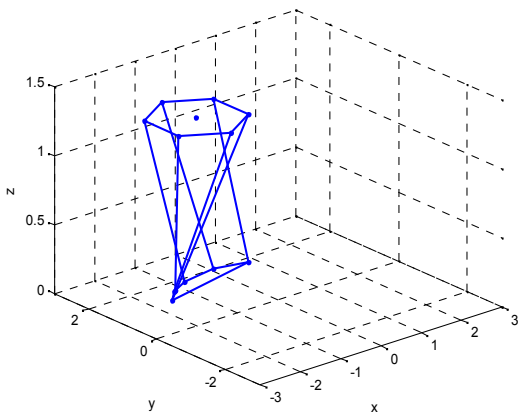


a) Gi i thu t di truy n

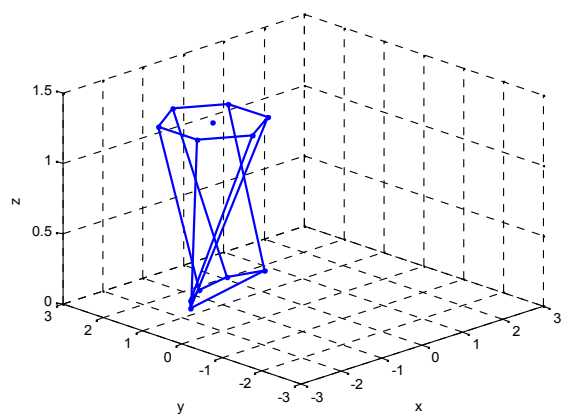


b) Thu t toán PSI

Hình 3.14. Vùng làm vi c c a tay máy sau khi t i u hóa theo 2 tiêu chí



a) Gi i thu t di truy n



a) Thu t toán PSI

Hình 3.15. C u hình t i u hóa c a tay máy sau khi t i u hóa theo 2 tiêu chí

Bảng 3.14. Vị trí khớp nối trên mặt phẳng ngang sau khi tải trọng 2 tiêu chí.

Thuật toán	Vị trí B_i (m)	1	2	3	4	5	6
Di truyền	B_{ix}	-1,5343	0,8325	0,0942	-0,7297	-1,1492	-1,2281
	B_{iy}	1,2828	1,8184	1,9977	1,8621	1,6368	1,5785
PSI	B_{ix}	-1,5343	0,8326	0,0942	-0,7298	-1,1493	-1,2281
	B_{iy}	1,2829	1,8185	1,9978	1,8621	1,6368	1,5785

Như vậy có thể nhận xét rằng, giá trị thuật toán di truyền và thuật toán PSI đã có tác dụng áp dụng thành công trong việc tối ưu hóa thiết kế tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform theo hai tiêu chí. Cấu hình ban đầu của tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform có sơ đồ làm việc của khâu cơ cấu hình làm việc ban đầu như hình vẽ. Khi áp dụng giá trị thuật toán di truyền và thuật toán PSI, cấu hình tối ưu hóa thiết kế có các tiêu chí hoạt động được nâng cao hơn nhiều lần so với cấu hình ban đầu (tăng từ 1 lên 169 lần làm việc ở vị trí tiêu chí 1, từ 5.829 lên 44.601 lần làm việc ở vị trí tiêu chí 2).

Các kết quả trên đây đã được kiểm tra và chứng minh. Kết quả này sẽ được khảo sát và đánh giá phần sau.

Các kết quả trên đây đã được công bố công trình [CTTG-1] và [CTTG-2] của tác giả.

3.3.2 Tối ưu hóa thiết kế theo hai tiêu chí dùng thuật toán GA-PSI

Với kết quả khảo sát tại mục 3.2 và 3.3.1, có thể kết luận rằng thuật toán PSI có kết quả tối ưu tốt hơn so với giá trị thuật toán di truyền. Tuy nhiên thuật toán này vẫn còn những hạn chế về hiệu suất tối ưu ban đầu (hình 3.12 b, d) và thời gian tối ưu hóa lớn (bảng 3.8, bảng 3.13) do việc chọn lựa cấu hình ban đầu của thiết kế phù hợp với không gian khảo sát. Cấu hình thiết kế ban đầu này thường được chọn theo cấu hình chu kỳ (điều kiện) và có sơ đồ làm việc ban đầu như hình vẽ. Do các chu kỳ của thuật toán PSI có thể gian lận và khả năng thoát các chu kỳ lặp lại. Vì vậy, việc chọn lựa cấu hình ban đầu phù hợp có vai trò quyết định trong việc giảm thiểu thời gian tối ưu hóa của thuật toán PSI, đặc biệt là việc tối ưu hóa các tiêu chí ở vùng không gian khảo sát khác nhau. Bài toán chọn lựa cấu hình ban đầu sao cho phù hợp với vùng khảo sát bất kỳ cần được tranh luận và cách giảm thiểu thời gian tính toán cho quá trình tối ưu hóa.

Lưu ý: Xu hướng giảm thu nhập tìm kiếm của hình ban đầu cho quá trình tối ưu hóa dùng thuật toán PSI (giới hạn là thuật toán GA-PSI) theo 3 bước:

- Bước 1: Áp dụng giới hạn thu nhập có thể giảm tối ưu hóa ngân sách tìm kiếm của hình ban đầu phù hợp cho quá trình tối ưu hóa dùng thuật toán PSI và vùng không gian khảo sát.
- Bước 2: Trên cơ sở của hình ban đầu xác định giới hạn thu nhập, thuật toán PSI sẽ áp dụng xác định hình thức tối ưu hóa thích hợp và các tham số như phần 3.3.1.
- Bước 3: Phân tích, đánh giá và so sánh kết quả tối ưu hóa thích hợp của thuật toán GA-PSI và các kết quả khác như phần 3.3.1.

Bước 1: Áp dụng giới hạn thu nhập tìm kiếm của hình ban đầu cho thuật toán PSI

Vấn đề chính không phải là xác định giá trị tối ưu toàn cục và giảm thiểu gian lận, giới hạn thu nhập có thể không quá lớn và sẽ được khảo sát các giới hạn số và phần 3.2 và phần 3.3.1.

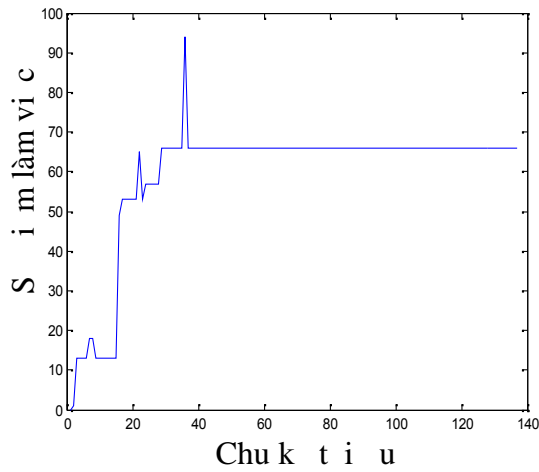
Áp dụng giới hạn thu nhập và các tham số bảng 3.15 và hàm thích nghi như công thức 3.2. Quá trình và kết quả tìm kiếm của hình ban đầu dùng giới hạn thu nhập thể hiện bảng 3.16, hình 3.16, hình 3.17, hình 3.18. Vị trí các khớp nối B_i trình bày theo bảng 3.17.

Bảng 3.15. Thông số giới hạn thu nhập – Thuật toán GA-PSI

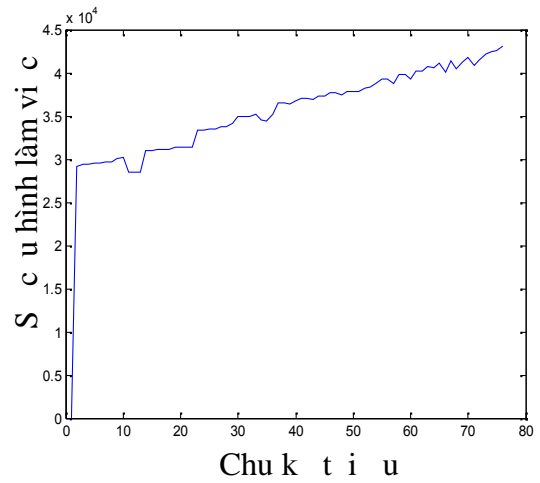
Số cá thể trong quần thể	20	Xác suất đột biến	0,01
Số nhiễm sắc thể trong cá thể	6	Xác suất lai ghép	0,89
Số gen trong nhiễm sắc thể	4	Số thế hệ tối đa	1.000

Bảng 3.16. Kết quả tìm kiếm của hình ban đầu dùng giới hạn thu nhập GA

Thông số	Thế hệ khảo sát				
	1	2	3	36	137
Số lần làm việc tốt	0	1	13	94	66
Số cuộc hình thức	1.824	2.717	7.474	29.429	20.629
Thời gian khảo sát	95	191	287	3.447	13.118



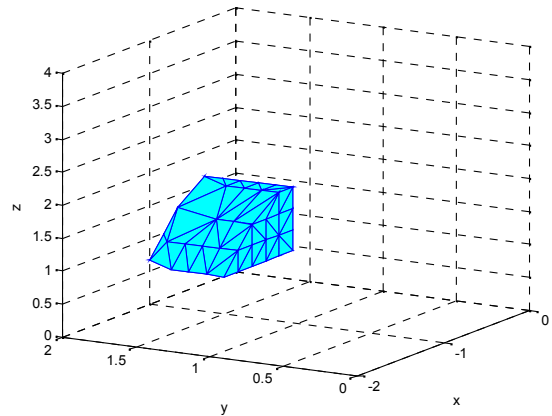
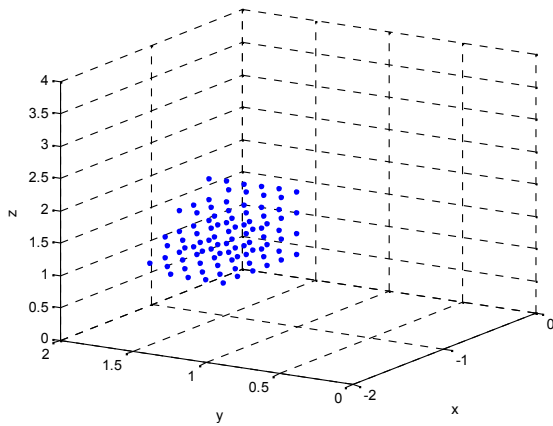
a) *Giới thiệu tìm kiếm (tiêu chí 1).*



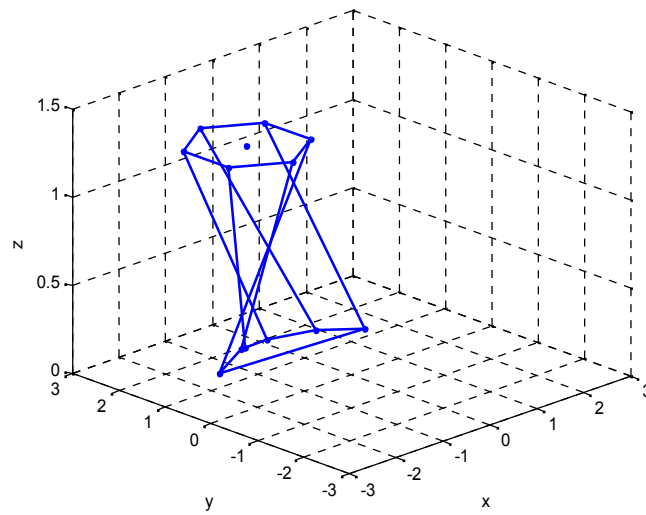
b) *Giới thiệu tìm kiếm (tiêu chí 2).*

Hình 3.16. Quá trình tìm kiếm cấu hình ban đầu dùng giới thiệu tìm kiếm.

Kết quả tìm kiếm tối ưu nhất của giới thiệu tìm kiếm tối ưu nhất là 36 vị trí tâm khâu là 94 vị trí, số chu hình làm việc tối ưu nhất là 29.429 chu hình (hình 3.16, hình 3.17). Kết quả này sẽ xem là thông số kỹ thuật cho quá trình tối ưu hóa tiếp theo dùng thuật toán PSI. Tập giá trị kỹ thuật trên mặt phẳng $B_i = (B_1, B_2, \dots, B_6)$ của cấu hình công nghệ hiện hành 3.17 và hình 3.18.



Hình 3.17 Phân bố điểm làm việc – Vùng làm việc của cấu hình ban đầu.



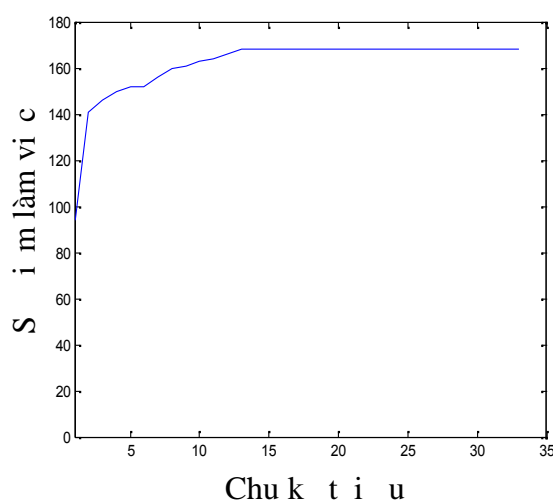
Hình 3.18. Cấu hình ban đầu - Phương pháp GA-PSI

Bảng 3.17. Vị trí khớp nối của cấu hình ban đầu

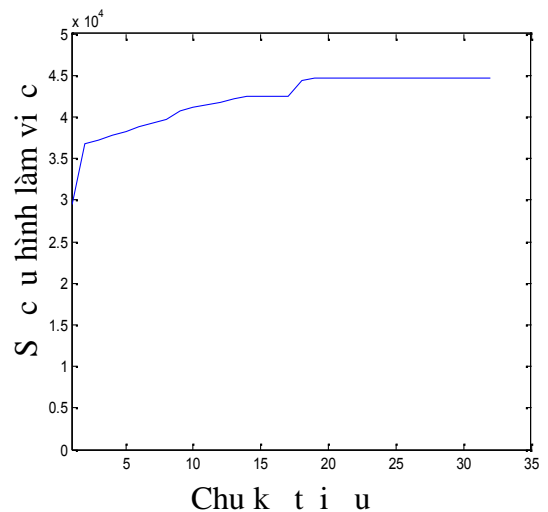
Vị trí B_i (m)	1	2	3	4	5	6
B_{i_x}	-1,3918	1,5454	0,9604	0,1603	-0,3154	-0,4118
B_{i_y}	1,4362	1,2694	1,7542	1,9935	1,9749	1,9571

Bảng 2: Trên cơ sở cấu hình ban đầu xác định giá trị thu thập dữ liệu, áp dụng thuật toán PSI tìm kiếm cấu hình tối ưu hóa thiết kế.

Tiến hành tối ưu theo hai tiêu chí vị trí cấu hình ban đầu (hình 3.18) dùng thuật toán PSI, ta thu được kết quả như bảng 3.18 và quá trình tối ưu hóa thể hiện tại hình 3.19.



a) Thuật toán PSI - Tiêu chí 1.



b) Thuật toán PSI - Tiêu chí 2.

Hình 3.19. Quá trình tối ưu hóa theo hai tiêu chí dùng thuật toán PSI

Bảng 3.18. Kết quả sau khi tiến hành hai tiêu chí dùng thuật toán GA-PSI

Thông số	Thời gian GA	Chu kỳ tiến hành PSI				
		1	2	12	17	32
Số lần làm việc	94	141	146	169	169	169
Số hình thức	29.429	36.726	37.266	42.122	46.601	46.601
Thời gian tiến hành (s)	13.118	16.369	19.620	52.133	68.389	117.159

Bảng 3: Đánh giá và so sánh kết quả thuật toán GA-PSI

Theo kết quả trên, chu kỳ tiến hành dùng thuật toán PSI, số lần làm việc tăng 94 lên 141 và 150% (tăng 150%), số hình thức làm việc của tay máy song song tăng 29.429 lên 36.726 hình thức (tăng 124,8%). Thuật toán GA-PSI có kết quả tiến hành chu kỳ tiến hành 17 và số lần làm việc là 169 lần và số hình thức là 44.601 hình thức. Tập hợp làm việc, vùng làm việc và các vị trí khớp nối trên mặt phẳng $B_i = (B_1, B_2, \dots, B_6)$ trùng với kết quả tiến hành theo hai tiêu chí của thuật toán PSI thể hiện hình 3.13, hình 3.14. Cấu hình thi công tiến hành của tay máy song song thể hiện hình 3.15 và các vị trí khớp nối B_i bảng 3.14.

Quá trình tiến hành thi công theo hai tiêu chí về thuật toán GA-PSI (hình 3.16, hình 3.19) cho thấy có sự liên tục theo hai tiêu chí. Khoảng thời gian kém hiệu quả do vì các nhân lực cấu hình không phù hợp khi áp dụng thuật toán PSI thuần túy (mục 3.3.1) đã có lợi ích.

So sánh kết quả tiến hành theo trình tự dùng thuật toán PSI thuần túy và phương pháp kết hợp GA-PSI chúng ta có thể nhận ra một số nhận xét như sau:

- Kết quả tiến hành của hai thuật toán này theo hai tiêu chí là tương đương.
- Cấu hình thi công tay máy sau khi tiến hành trong hai trình tự (các vị trí khớp nối trên mặt phẳng B_i) có sai số $\approx 1.10^{-4}m$.
- Thời gian tiến hành dùng phương pháp kết hợp GA-PSI ít hơn so với thuật toán PSI và tập hợp tiến hành Pareto thuần túy:

+ Thời gian tiến hành dùng thuật toán GA-PSI:

$$t_{GA-PSI} = 117.159 \text{ s} \approx 32,5 \text{ (giờ)}$$

+ Thời gian tiến hành dùng thuật toán PSI:

$$t_{PSI} = 139.670 \text{ s} \approx 38,8 \text{ (giờ)}$$

Việc kết hợp thu thập toán GA-PSI giúp quy tắc toán tối ưu hóa tay máy song song theo hai tiêu chí cho kết quả không khác biệt so với trình hợp dựng thu thập toán PSI. Ưu điểm của thu thập toán GA-PSI là cho phép loại bỏ thời gian tối ưu kém hiệu quả ban đầu và việc thu thập toán PSI (cấp độ $> 16\%$ thời gian khảo sát) nhúng vào việc xác định các cấu hình ban đầu phù hợp với vùng không gian khảo sát. Khi tối ưu hóa thiết kế theo các tiêu chí về số bậc khớp liên, thời gian tính toán có thể tăng hàng trăm giây. Khi đó, phương pháp kết hợp GA-PSI có thể giảm thiểu một phần thời gian tính toán đáng kể cho các nhà thiết kế. Bên cạnh đó, thu thập toán GA-PSI còn giúp nhà thiết kế trong việc chọn lựa các cấu hình ban đầu phù hợp khi tiến hành tối ưu hóa thiết kế trong vùng không gian khảo sát bất kỳ.

Các kết quả nghiên cứu trong phần này chưa xét đến các ứng dụng của tay máy song song. Đây là một tiêu chí quan trọng quy định nên khi nào ngừng các ứng dụng tay máy song song trên thực tế. Tiêu chí này sẽ được xem xét và đánh giá trong quá trình tối ưu hóa phần tiếp theo.

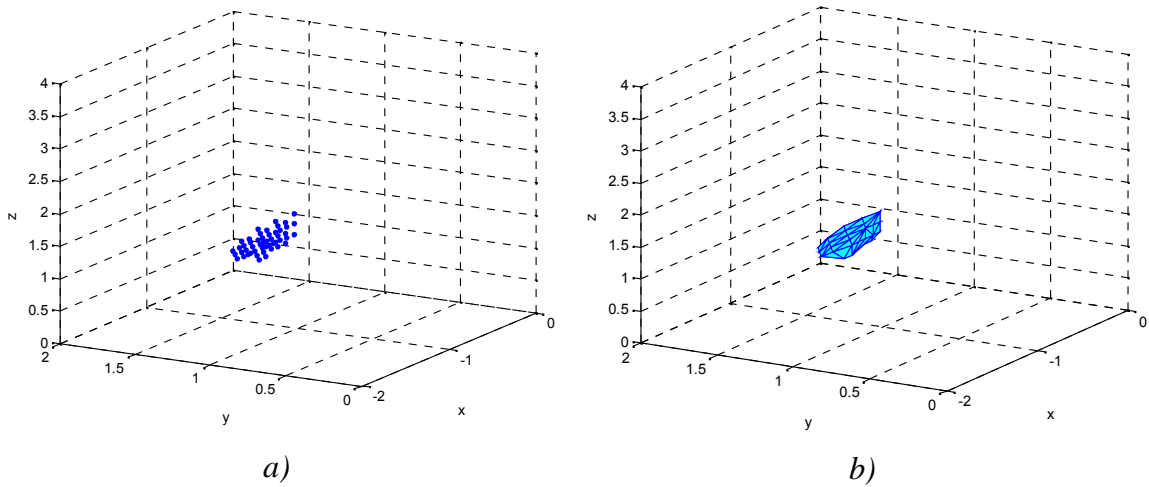
Các kết quả trên đã được công bố công trình số [CTTG-1] và [CTTG-2] của tác giả.

3.3.3 Tối ưu hóa thiết kế tay máy song song theo ba tiêu chí

Việc áp dụng các giải pháp tối ưu hóa theo hai tiêu chí dùng giải thuật di truyền, thu thập toán PSI, thu thập toán GA-PSI đã cho kết quả cấp độ rõ rệt và sẽ tiếp tục làm việc và sẽ được hình thành các ứng dụng tay máy song song. Các cấu hình tối ưu này có vị trí các khớp nối B_i trên mặt phẳng nền trung gian vùng không gian khảo sát để tiếp tục làm việc và sẽ được hình thành là liên nhện. Trên thực tế, các cấu hình tối ưu hóa hình 3.15 không đảm bảo các ứng dụng ngừng và không có tính khả thi trong việc xây dựng mô hình thực nghiệm của tay máy (mục 1.2.2.6). Vì vậy, nhà thiết kế nên xem xét đến tiêu chí về các ứng dụng của các cấu hình thiết kế trong quá trình tối ưu hóa.

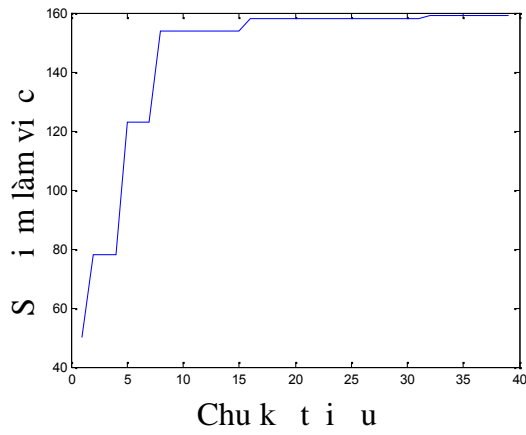
Phần này trình bày kết quả áp dụng thu thập toán PSI tối ưu hóa thiết kế tay máy song song theo 3 tiêu chí: (1) Số khâu làm việc; (2) Số khâu làm việc; (3) Ứng dụng của các khâu thiết kế. Quá trình tối ưu hóa sẽ được khảo sát và đánh giá theo hai trình hợp với thứ tự ưu tiên về các tiêu chí liên tiếp là (1)-(2)-(3) và (3)-(1)-(2) theo bảng 3.1 với các thông số điều chỉnh: $angle_base_{imin} = angle_top_{imin} = 0 \text{ rad}$; $angle_base_{imax} = angle_top_{imax} = \text{rad}$; $x_{dstep}, y_{dstep}, z_{dstep} = 10b \text{ c}$.

Kết quả khảo sát trực khi tiến hành tối ưu hóa với giá trị các góc hình học và số bậc khảo sát nh trên cho thấy tay máy song song (hình 3.4) có vị trí và 41.383 độ cứng (hình 3.20), độ cứng vững (*stiffness*) có giá trị $1,92.10^{-18}$.

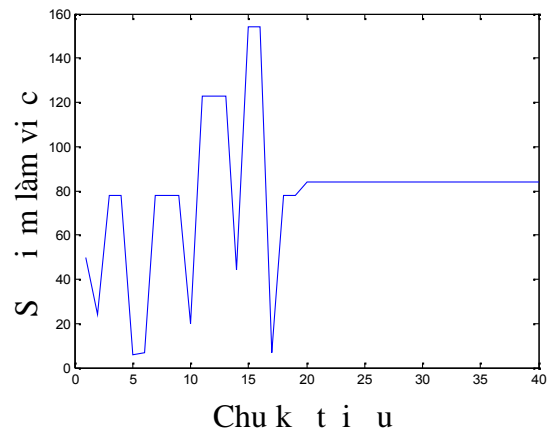


Hình 3.20. Hình ảnh làm việc (a) – Vùng làm việc (b) trực khi tiến hành tối ưu theo 3 tiêu chí.

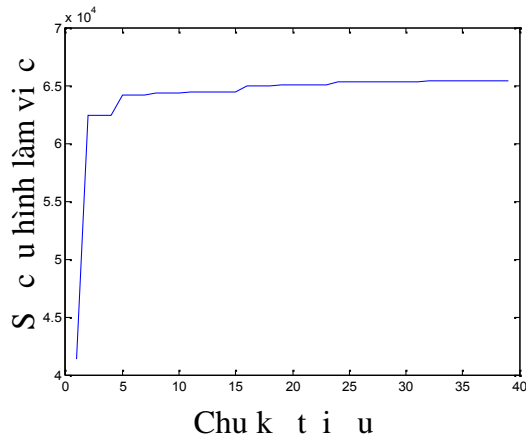
Áp dụng thuật toán PSI, tiến hành tối ưu hóa tay máy song song theo 3 tiêu chí. Quá trình tối ưu hóa được thể hiện theo hình 3.21 và bảng 3.19. Hình ảnh làm việc và cấu hình tối ưu trong hai trường hợp được thể hiện hình 3.22-hình 3.24 và bảng 3.20.



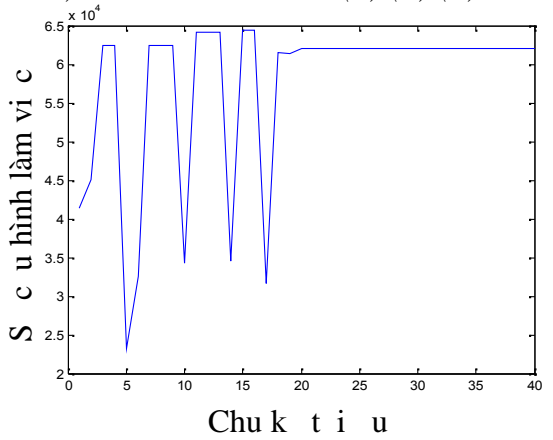
a) Tiêu chí 1 – Th t (1)-(2)-(3)



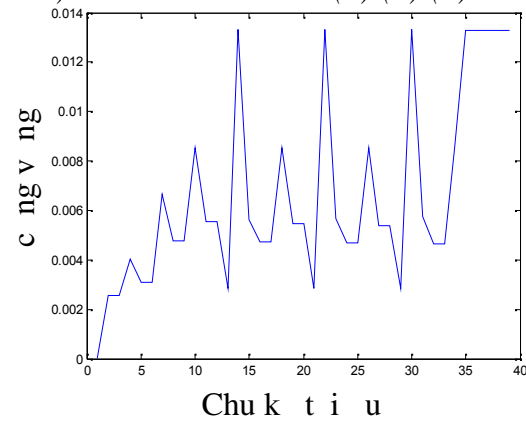
b) Tiêu chí 1 – Th t (3)-(1)-(2)



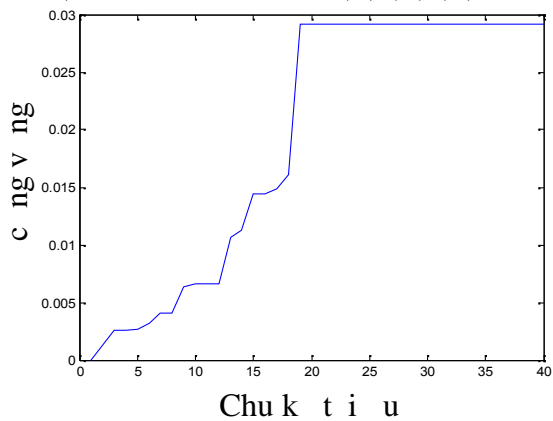
c) Tiêu chí 2 – Th t (1)-(2)-(3)



d) Tiêu chí 2 – Th t (3)-(1)-(2)



e) Tiêu chí 3 – Th t (1)-(2)-(3)



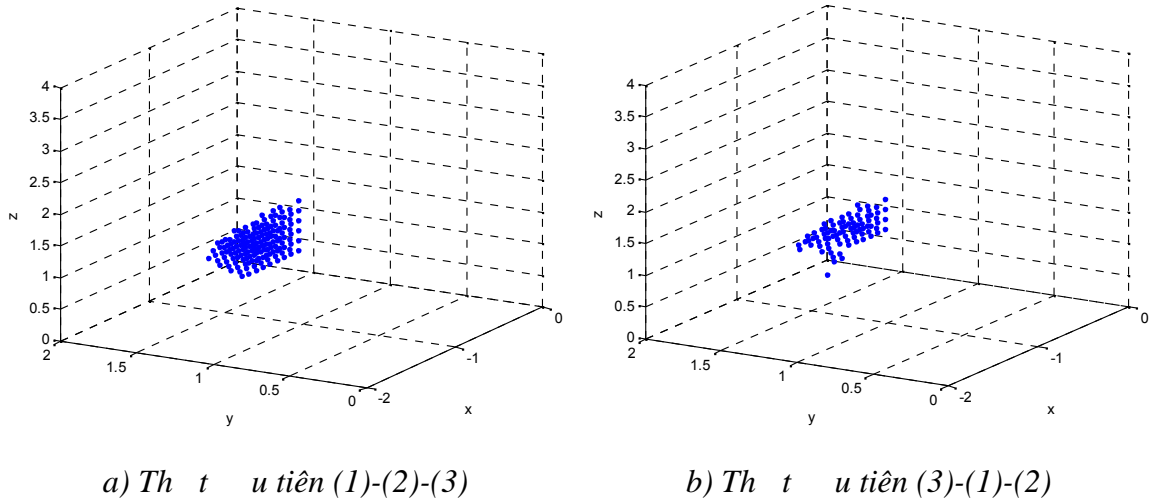
f) Tiêu chí 3 – Th t (3)-(1)-(2)

Hình 3.21. Quá trình t i u theo 3 tiêu chí dùng thu t toán PSI theo hai tr ãng h p

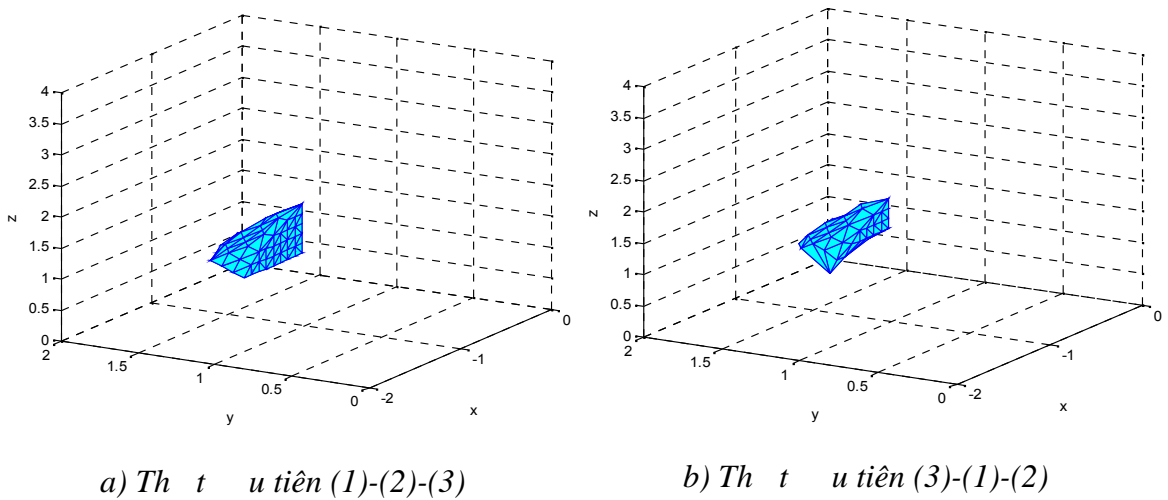
B ãng 3.19. K t qu t i u theo 3 tiêu chí dùng thu t toán PSI

Tiêu chí t i u	Ban u	Th t u tiên (1)-(2)-(3)	Th t u tiên (3)-(1)-(2)
(1) S i m làm vi c t c	50	159	84
(2) S c u hình t c	41.383	65.387	62.018
(3) c ng v ng	$1,92 \cdot 10^{-18}$	0,0133	0,0292

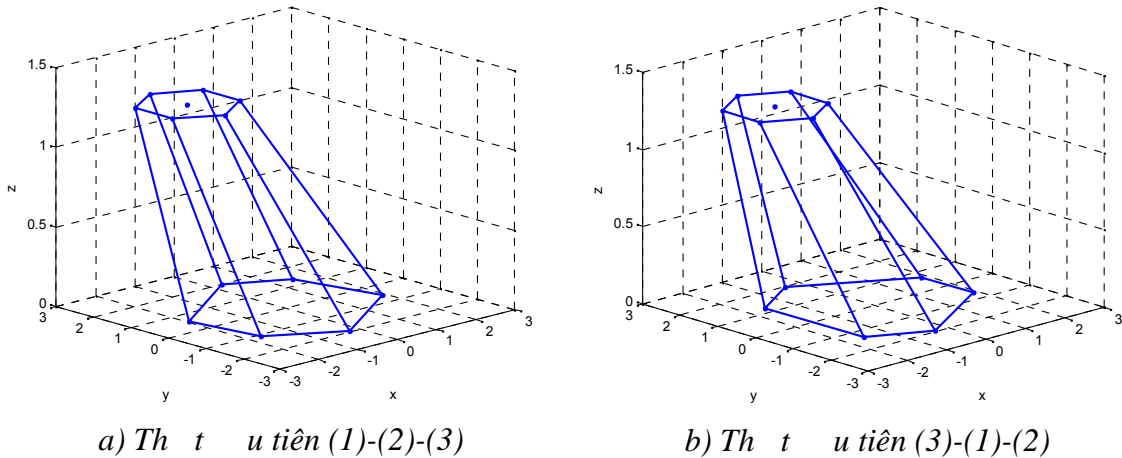
Bảng 3.19 cho thấy thuật toán PSI đã nâng cao các khả năng hoạt động của tay máy song song (hình 3.24) theo các tiêu chí về số điểm làm việc, số cấu hình làm việc và công suất của tay máy. Trong các hai trường hợp, các tiêu chí ưu tiên đáng kể số vị cấu hình ban đầu (hình 3.4). Trường hợp (1)-(2)-(3) có số điểm làm việc và cấu hình tốt nhất nên số vị trường hợp (3)-(1)-(2). Khi áp dụng thuật ưu tiên (3)-(1)-(2), tay máy song song có công suất tốt nhất nên số vị trường hợp (1)-(2)-(3).



Hình 3.22. Tập hợp điểm làm việc sau khi tối ưu hóa theo 3 tiêu chí



Hình 3.23. Vùng làm việc sau khi tối ưu hóa theo 3 tiêu chí



Hình 3.24. Cấu hình tối ưu hóa theo 3 tiêu chí dùng thuật toán PSI

Bảng 3.20. Vị trí khớp nối sau khi tối ưu hóa theo 3 tiêu chí dùng thuật toán PSI

Thuật toán tối ưu	Vị trí B_i (m)	1	2	3	4	5	6
(1)-(2)-(3)	B_{i_x}	1,9126	1,4627	0,2437	-1,9126	-1,6773	-0,2437
	B_{i_y}	-0,5847	1,3639	1,985	0,5847	-1,0892	-1,985
(3)-(1)-(2)	B_{i_x}	1,891	1,8671	-0,3816	-1,5542	-1,5094	-0,3128
	B_{i_y}	-0,6511	0,7167	1,9632	1,2586	-1,3121	-1,9753

Khi xét nghiệm công việc, kết quả tối ưu hóa có sự sai lệch làm vị trí và số cấu hình tối ưu ít hơn số vị trí hình phạt theo hai tiêu chí (mức 3.3). Kết quả tối ưu hóa khi xét nghiệm tiêu chí công việc đã giúp cho tay máy mềm dẻo hơn khi hoạt động công nghệ khi nâng hạ tải trên thiết bị. Cấu hình tối ưu hóa theo 3 tiêu chí (hình 3.24) có phân bố vị trí các khớp nối B_i không tập trung vào vùng khảo sát như mức 3.3. Các khớp này có phân bố rộng rãi hơn nhằm giảm tải trọng tâm của tay máy chuyển động theo hình 3.15 nhằm giảm thiểu lực cản vùng làm việc của tay máy số vị trí cấu hình ban đầu.

Có thể kết luận rằng, thuật toán PSI đã được áp dụng thành công trong việc tối ưu hóa theo 3 tiêu chí. Khi hoạt động của tay máy song song sẽ nâng cao vị trí các tiêu chí khác nhau về sự sai lệch, số cấu hình làm việc, công việc của tay máy. Vì các thuật toán tối ưu sẽ ảnh hưởng đến quá trình và kết quả tối ưu hóa. Đây là một thách thức lớn cho nhà thiết kế trong quá trình tối ưu hóa tay máy song song theo ba tiêu chí.

Các kết quả trên đã được công bố trong công trình [CTTG-5], [CTTG-6] của tác giả.

3.4 Nhận xét và kết luận chung

Trong chương này, tác giả trình bày các thí nghiệm áp dụng hóa thi kết theo tiêu chí cho tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform, sử dụng thí nghiệm di chuyển GA, thí nghiệm toán PSI, thí nghiệm toán GA-PSI.

Khi thí nghiệm hoá 1 tiêu chí (sử dụng làm ví dụ về tâm khâu với góc hình là hình chữ nhật) kết quả thí nghiệm sử dụng làm ví dụ về thí nghiệm GA và thí nghiệm toán PSI nhận được gần giống nhau. Sử dụng tâm khâu đã tăng lên 380,9% khi áp dụng GA và 382,9% khi áp dụng PSI. Tuy nhiên, thời gian thí nghiệm của PSI (1.662 giây) lớn hơn so với thí nghiệm GA (206 giây).

Khi thí nghiệm hoá 2 tiêu chí (theo sử dụng làm ví dụ và sử dụng hình làm ví dụ), kết quả thí nghiệm của thí nghiệm GA và thí nghiệm toán PSI cũng cho kết quả gần giống với sử dụng làm ví dụ và không gian làm ví dụ sau khi thí nghiệm (169 giây), có thể thấy rằng sử dụng hình làm ví dụ (PSI: 44.601 ; GA: 44.407 giây sử dụng hình), có vị trí khớp nối sai lệch 1.10^{-4} m. Thời gian tiến hành thí nghiệm của thí nghiệm toán PSI (38,8 giây) lớn hơn so với thí nghiệm di chuyển (11,8 giây).

Một điểm mới trong chương này là xuất hiện thí nghiệm kết hợp GA-PSI, trong đó dùng thí nghiệm di chuyển tìm kiếm về hình ban đầu cho quá trình thí nghiệm dùng thí nghiệm toán PSI. Việc kết hợp hai thí nghiệm toán GA-PSI giúp quy tắt bài toán thí nghiệm tay máy song song theo hai tiêu chí không làm thay đổi kết quả của PSI. Sử dụng thí nghiệm pháp cho phép loại bỏ thời gian thí nghiệm kiểm tra về quá trình thí nghiệm toán PSI (chỉ chiếm 16% thời gian khảo sát). Thí nghiệm này có ý nghĩa thực tế, cho phép giảm thời gian thí nghiệm thi kết theo tiêu chí khi có thay đổi về không gian khảo sát và số bậc khớp nối.

Khi thí nghiệm hoá 3 tiêu chí: (1) sử dụng làm ví dụ, (2) sử dụng hình làm ví dụ, (3) cũng về các cấu hình thi kết, kết quả thí nghiệm hoá của thí nghiệm PSI cho thấy sử dụng làm ví dụ, sử dụng hình làm ví dụ và cũng về tay máy cũng nâng cao. Sử dụng hình, sử dụng làm ví dụ và cũng về sự phụ thuộc vào thứ tự tiên của các tiêu chí. Thứ tự ưu tiên theo thứ tự (1)-(2)-(3) có sử dụng làm ví dụ và cấu hình thi kết lớn hơn so với thứ tự (3)-(1)-(2). Khi áp dụng thứ tự ưu tiên (3)-(1)-(2), tay máy song song có cũng về lớn hơn so với thứ tự (1)-(2)-(3).

Các kết quả thu được nói trên cho phép kết luận: sau khi tiến hành thí nghiệm thi kết về các thí nghiệm xuất hiện, khả năng làm ví dụ về tay máy song song đã được nâng cao.

Ph thu c vào bài toán c th , các gi i pháp t i u t ng ng s c l a ch n phù h p tìm ki m c u hình t i u hóa. Thu t toán PSI có th c áp d ng trong tr ng h p c u hình thi t k ban u c a tay máy c xác nh là c n biên v i không gian làm vi c cho tr c. Gi i thu t di truy n GA có th c s d ng kh o sát nhanh các c u hình g n t i u v i ph m vi kh o sát l n. Thu t toán GA-PSI cho phép xác nh c u hình thi t k t i u trong tr ng h p vùng không gian kh o sát là các bi n s thay i.

Th t u tiên các tiêu chí cho bài toán t i u hoá s c ch n l a theo yêu c u c th c a nhi m v thi t k . i v i các ng d ng trong y h c (hình 1.8, hình 1.9), tay máy song song s c n nhi u vùng không gian làm vi c (s i m làm vi c, s c u hình làm vi c).

t ng linh ho t và phân gi i chuy n ng c a góc h ng, ta có th ch n th t là (1)-(2)-(3). i v i các ng d ng gia công c khí, máy công c (hình 1.5, hình 1.7, hình 1.16), thì tiêu chí v c ng v ng c a tay máy song song s c chú tr ng, ch n th t là (3)-(1)-(2). Trong s n xu t, các tay máy song song ki u Delta robot (hình 1.4) th c hi n các tác v g p và t (pick and place) l i chú tr ng nhi u n kh n ng áp ng nhanh và h ng d ch chuy n trong không gian r ng, có th ch n th t t i u hóa là (2)-(1)-(3).

Nh v y, có th k t lu n r ng, vi c ng d ng các gi i pháp t i u hoá xu t trong ch ng này có ý ngh a th c ti n, cho phép nhà thi t k có kh n ng xác nh c u hình c n thi t trong quá trình thi t k và ch t o tay máy song song theo nhi m v t ra. Các gi i pháp t i u hóa này c ng có th áp d ng v i các tiêu chí t i u khác nh : t c d ch chuy n, kh n ng t i tr ng, gia t c chuy n ng,... V n này c n c ti p t c nghiên c u v sau.

Các k t qu t i u hóa thi t k theo a tiêu chí trong ch ng này s c ng d ng tìm ki m m t c u hình thi t k t i u theo 3 tiêu chí cho mô hình th c nghi m c xây d ng trong ch ng 4.

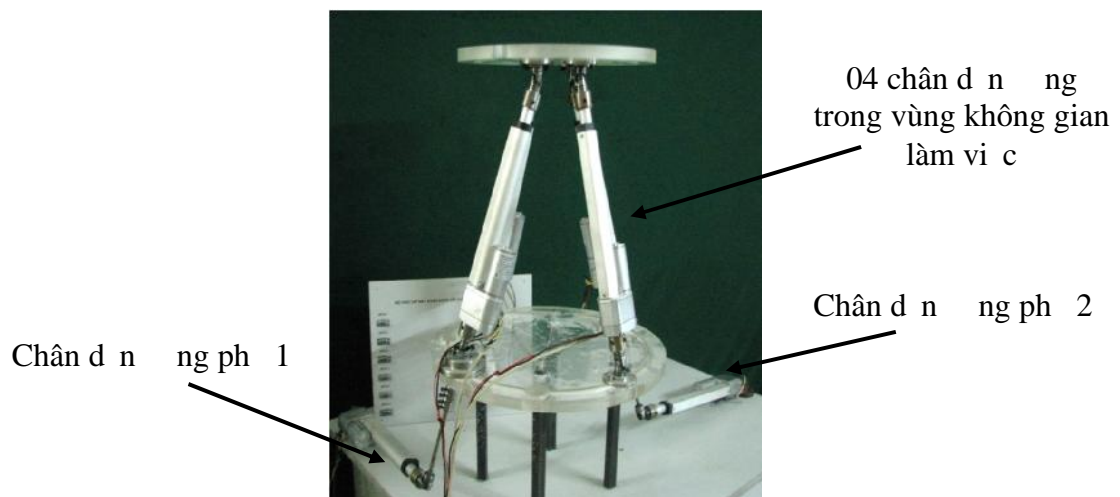
CHƯƠNG 4. XÂY DỰNG MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM VÀ I NG D NG GI I PHÁP T I U HÓA THI T K

Phần này sẽ trình bày các kỹ thuật thiết kế, chế tạo mô hình áp dụng các thuật toán tối ưu hóa và điều khiển cho tay máy song song kiểu Stewart-Gough Platform. Mô hình tay máy có tính mô phỏng thiết kế và kiểm nghiệm thay thế các cấu hình làm việc và áp dụng các thuật toán điều khiển khác nhau. Mô hình được xây dựng gồm hai phần: Thiết kế, chế tạo hệ thống khí phù hợp với phạm vi nghiên cứu của luận án; Chế tạo, lập trình hệ thống điều khiển chuyển động cho tay máy song song.

Phần tiếp theo sẽ trình bày kỹ thuật xây dựng hệ thống thực nghiệm cho tay máy song song kiểu Stewart-Gough Platform. Trên cơ sở tiếp thông số và không gian khảo sát của mô hình tay máy, thuật toán PSI được áp dụng xác định các cấu hình tối ưu hóa thiết kế và tiêu chí vị trí ưu tiên khác nhau. Cấu hình tối ưu hóa được chọn xây dựng thành cấu hình thực nghiệm phục vụ cho việc khảo sát quá trình điều khiển chuyển động của tay máy như trình bày trong chương 5.

4.1 Xây dựng mô hình thực nghiệm

Tiến sĩ Việt Nam, một số kỹ thuật nghiên cứu cho tay máy song song đã được công bố và ứng dụng vào các lĩnh vực như gia công khí, ứng dụng công nghiệp [110], [113], [119], [122], [124]. Năm 2012, Phạm Văn Nghiên cùng đồng nghiệp, Tin học, Trường Đại học TP.HCM đã thực hiện thành công chế tạo tay máy song song có hai chân đứng ngoài không gian làm việc và giao tiếp máy tính [111].



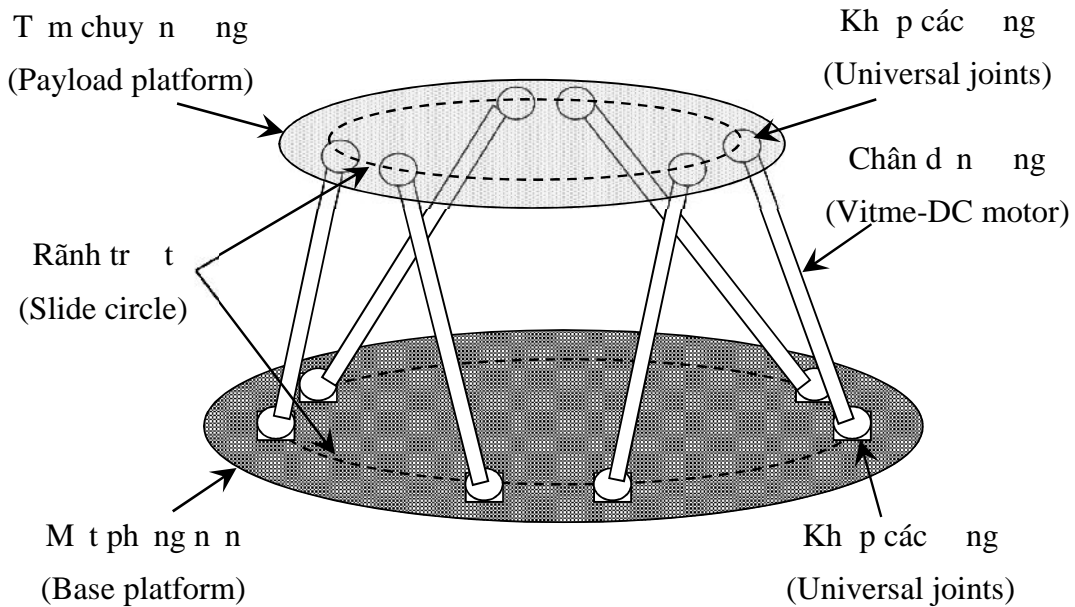
Hình 4.1. Tay máy song song với chân đứng ngoài không gian làm việc [111]

Trên cơ sở tay máy song song với chân đứng ng ph (hình 4.1) [111], tác giả luận án đã xây dựng mô hình tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform bằng việc tái cấu trúc, bổ sung, điều chỉnh các chi tiết, thành phần khí và mạch điện tử.

4.1.1 Thiết kế, cấu trúc cơ khí

Mô hình thực nghiệm tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform có thiết kế có cấu trúc bao gồm một phần nền và tám chuyển động gắn với sáu chân đứng thông qua các khớp cầu bố trí trên các rãnh trượt tròn như hình 4.2.

Thông thường, các tay máy song song ứng dụng gia công chính xác sử dụng chân đứng là các trục vít [110]. Tuy nhiên, với mục tiêu xây dựng mô hình thực nghiệm với việc nghiên cứu, khảo sát kết cấu cơ khí, không đòi hỏi độ chính xác cao, tác giả sử dụng các chân đứng sử dụng vítme-động cơ DC.



Hình 4.2. Thiết kế cơ khí mô hình thực nghiệm tay máy.

Có thể thay đổi và khảo sát các cấu hình khác nhau của tay máy, tám chuyển động và một phần nền có thiết kế có rãnh trượt theo vòng tròn. Như vậy, các khớp cầu có thể bố trí trên rãnh trượt tròn của mặt nền và tám chuyển động. Thiết kế này cho phép xây dựng các cấu hình tay máy khác nhau phù hợp với nội dung nghiên cứu và phương pháp tối ưu hóa thiết kế tay máy của luận án trình bày trong chương 3.

Chân đứng là các vítme-động cơ DC có các mã bin ghi vị trí theo cách chuyển động. Chiều dài thiết kế của chân đứng xác định bằng tín hiệu encoder

g n v i ãng c DC. Mô hình c k h í sau khi hoàn ch ãnh có c c u ãnh hình 4.3. Mô hình này có kh ãn ãng thay ãi v trí các chân d ãn ãng trên m t ph ãng n ãn và t m chuy ãn ãng. Các thông s k thu t c a mô hình c k h í c ã trình bày b ãng 4.1. Các c u t o chi ti t c k h í c a h ãnh ãng th c ãng h ãm (kh p các ãng, t m chuy ãn ãng, m t ph ãng n ãn, chân d ãn ãng, ...) c ã trình bày trong ph ãi c 2.



Hình 4.3. Mô hình c k h í tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform

B ãng 4.1. Thông s k thu t mô hình c k h í

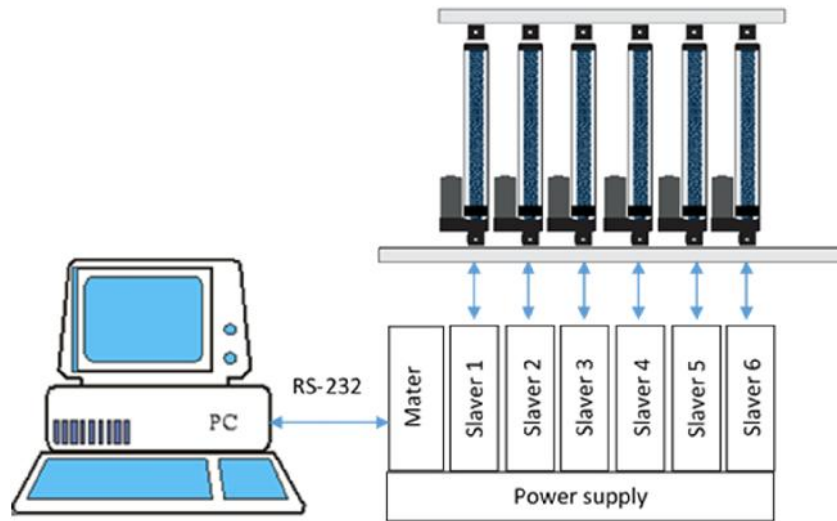
Thông s k thu t	Giá tr
Bán kính rãnh tr ãm t ph ãng n ãn	$r_b = 0,2 \text{ m}$
Bán kính rãnh tr ãt m chuy ãn ãng	$r_p = 0,15 \text{ m}$
Gi ãi h ãn c a chân d ãn ãng	$0,32 \text{ m} \quad l_i = 0,52 \text{ m}$
T c ã d ch chuy ãn t i a c a chân d ãn ãng	$v_{max} = 16 \text{ mm/s}$
i ãn áp ãnh m c ãng c	$U = 24 \text{ VDC}$
S ãxung/vòng quay c a encoder	100 ppr
B ãc ren c a vitme	2,52 mm
Gi ãi h ãn chuy ãn ãng c a tâm khâu	$X/Y/Z: 300/300/200 \text{ mm}$ $// : \pm 0,43 \text{ rad}$
Tr ãng l ãng	5 kg

4.1.2 Thi t k , l p tr ình h th ng i u khi n

Do tay máy song song có nhi u chân đ n ng v i các ràng bu c l n nhau cho nên không gian làm vi c h t s c a đ ng và quá tr ình i u khi n r t ph c t p [32], [103]. th c hi n m t tác ng i u khi n cho khâu ng h c cu i, các khâu ng h c ph i c i u khi n ng th i, ph i h p v i nhau m t cách nh p nh àng và chính xác. i v i tay máy song song, vi c áp đ ng các gi i thu t i u khi n cho các chân đ n ng c n th c hi n quá tr ình ph i h p chuy n ng gi a các kh p. Thông th ng, h th ng i u khi n c thi t k có b i u khi n trung tâm ph i h p các b i u khi n chuy n ng c a các chân đ n ng. Ngoài ra, có th ánh giá và c i thi n các thu t toán i u khi n, h th ng i u khi n c n có tính m , d dàng áp đ ng các thu t toán i u khi n khác nhau v i ch c n ng giám sát, thu nh p s li u theo th i gian th c. ây là nh ng yêu c u c b n c n ph i gi i quy t khi thi t k và xây đ ng h th ng i u khi n cho mô hình tay máy song song.

Trong lu n án này, c u trúc h th ng i u khi n c xu t nh hình 4.4. Các nhi m v i u khi n c phân c p c th nh sau:

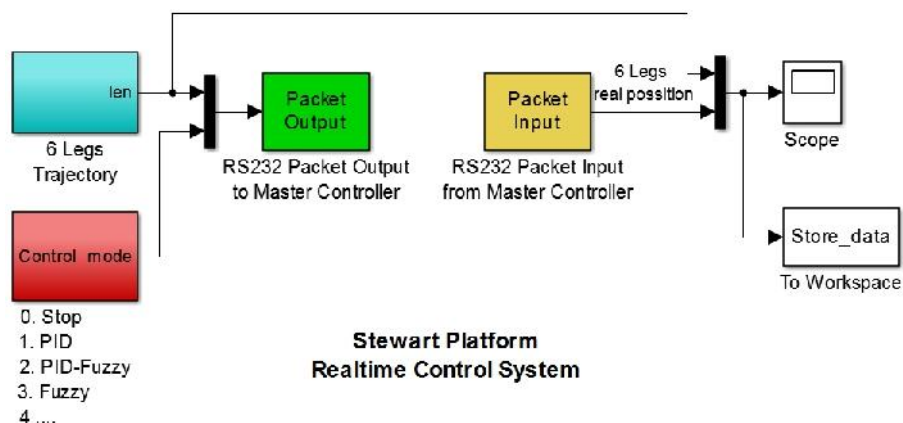
- Máy tính (PC) th c hi n các tính toán v ng h c, ng l c h c c a tay máy; giám sát, hi n th và l u tr các đ li u th c nghi m theo th i gian th c; giao ti p v i b i u khi n trung tâm (Master); t o giao di n ng i dùng.
- B i u khi n trung tâm (Master) th c hi n nhi m v k t n i gi a máy tính và các b i u khi n tr c ti p (Slave); tính toán và ph i h p t c chuy n ng c a các kh p.
- Các b i u khi n tr c ti p (Slave 1, ..., Slave 6) k t n i v i Master thông qua bus n i ti p SPI, th c hi n nhi m v i u khi n chuy n ng c a chân đ n ng bám theo v trí và t c t thông qua m ch công su t và encoder. Các thu t toán i u khi n c tích h p và l a ch n th c thi thông qua giao di n ng i dùng t máy tính.



Hình 4.4. Cấu trúc hệ thống điều khiển tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform

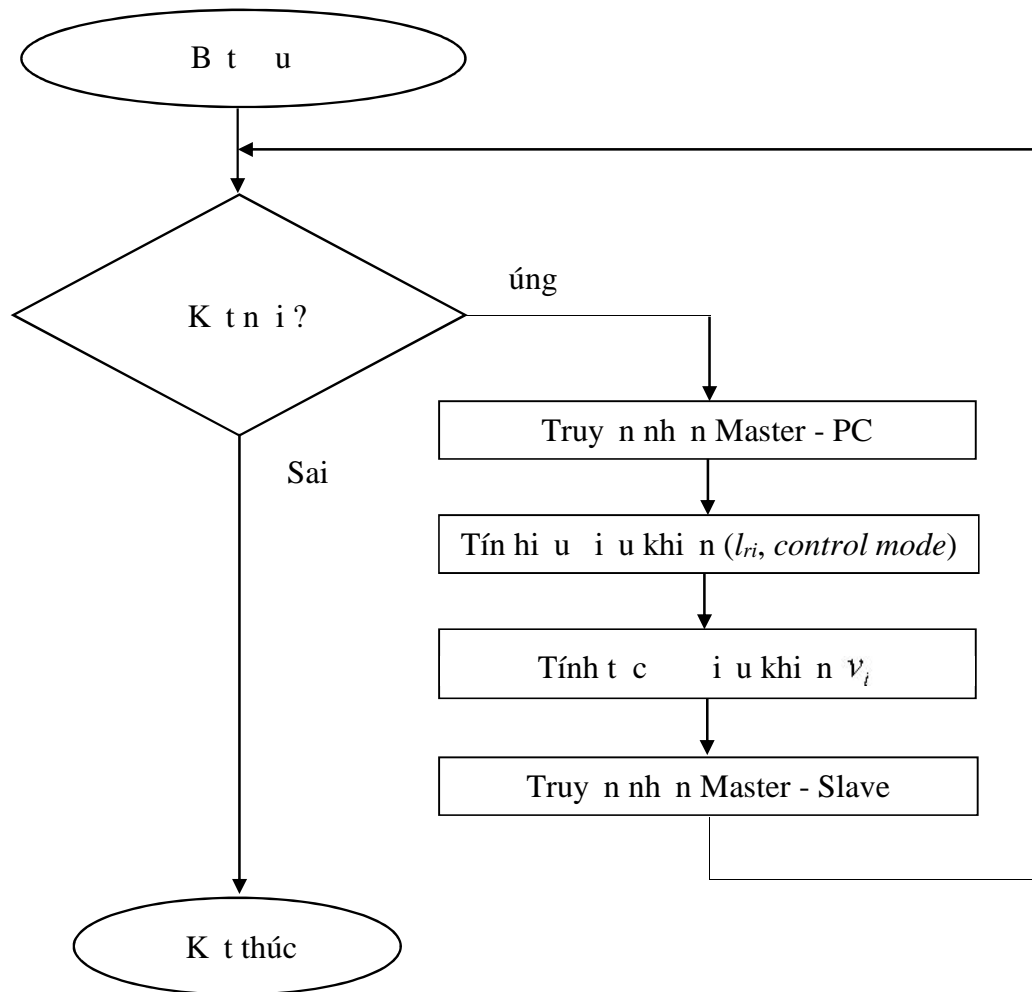
mô phỏng quá trình xử lý dữ liệu của hệ thống liên tục đồng bộ mô phỏng tín hiệu trong quá trình điều khiển, bộ điều khiển Master, các bộ điều khiển Slave và máy tính PC được đồng bộ hóa với thời gian lấy mẫu $T_s = 1$ ms.

Để so sánh kết quả với mô phỏng bằng Matlab, tác giả xây dựng mô hình trình điều khiển trên nền Simulink-Matlab sử dụng công cụ Realtime Windows Target (hình 4.5). Trong quá trình điều khiển, máy tính sẽ tính toán các vị trí chuyển động cần thiết l_r và nhận vị trí thực tế l_m của các chân đế. Các dữ liệu vị trí, tốc độ của các chân đế được thu thập, giám sát và điều khiển trong suốt quá trình vận hành tay máy theo thời gian thực. Các thuật toán điều khiển tích hợp sẵn trong các bộ điều khiển Slave sẽ chuyển chế độ thi (control mode) thông qua giao diện của chương trình điều khiển trên máy tính. Các dữ liệu thu thập, hiển thị dưới dạng biểu đồ ảnh giá trị liên tục của bộ điều khiển thông qua việc xem xét các tiêu chuẩn chất lượng của hệ thống.



Hình 4.5. Mô hình điều khiển tay máy song song trên phần mềm Matlab

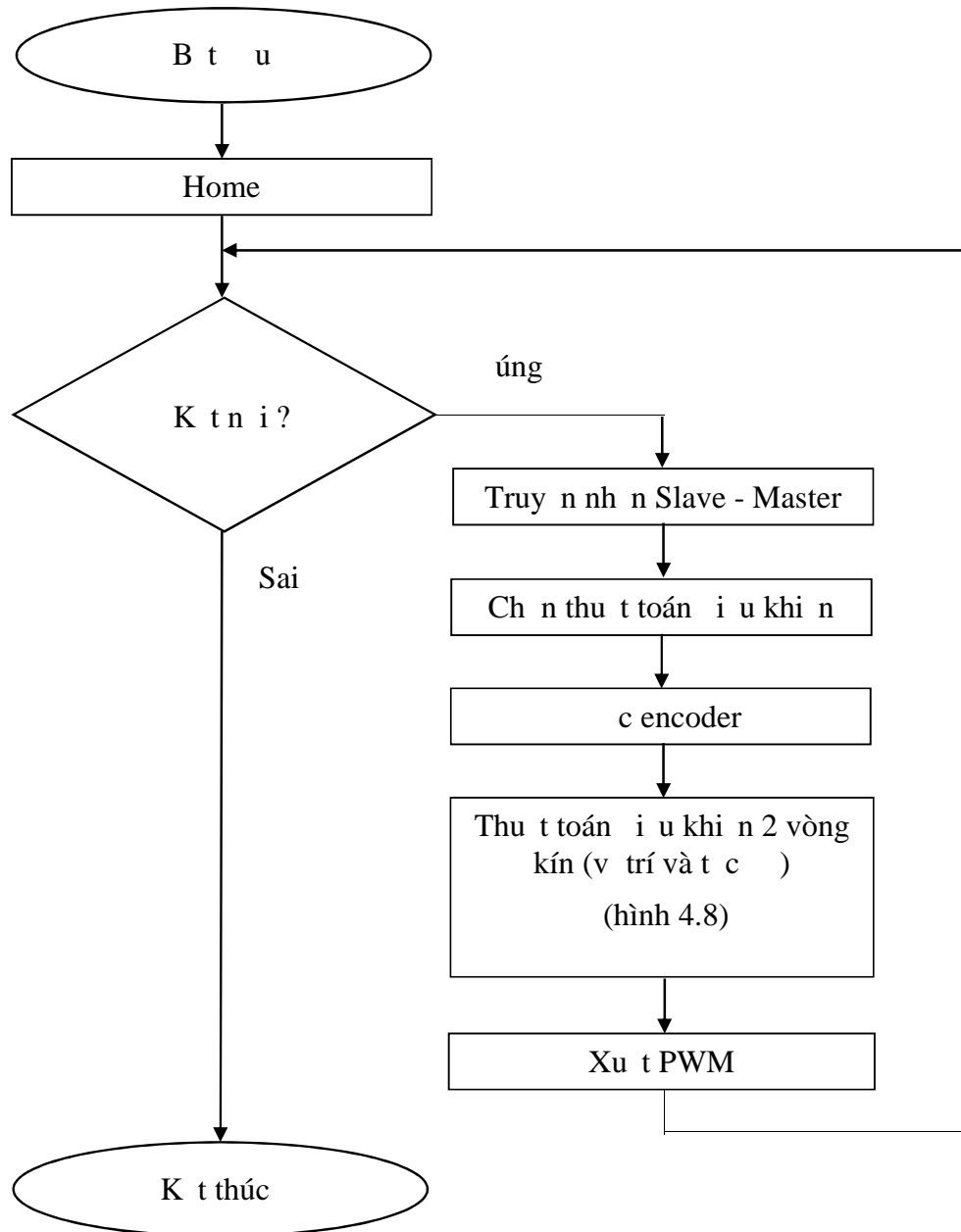
Bộ điều khiển Master đóng vai trò quan trọng trong việc giám sát, thu thập dữ liệu và chuyển đổi tín hiệu (hình 4.6). Bộ điều khiển Master sẽ truyền các tín hiệu điều khiển và dữ liệu tới các máy tính và bộ điều khiển Slave thông qua các giao thức truyền thông khác nhau (hình 4.9). Trong quá trình điều khiển, bộ điều khiển Master sẽ tính toán và phát ra các chuyển đổi mong muốn (v_{r_i}) phù hợp cho các chân động cơ. Các giá trị này sẽ được tính dựa vào các sai lệch vị trí (e_i) và tốc độ (v_{m_i}) của các chân động cơ. Như vậy, hệ thống sẽ mô phỏng chuyển đổi nháp nhằm giảm các chân động cơ của tay máy song song.



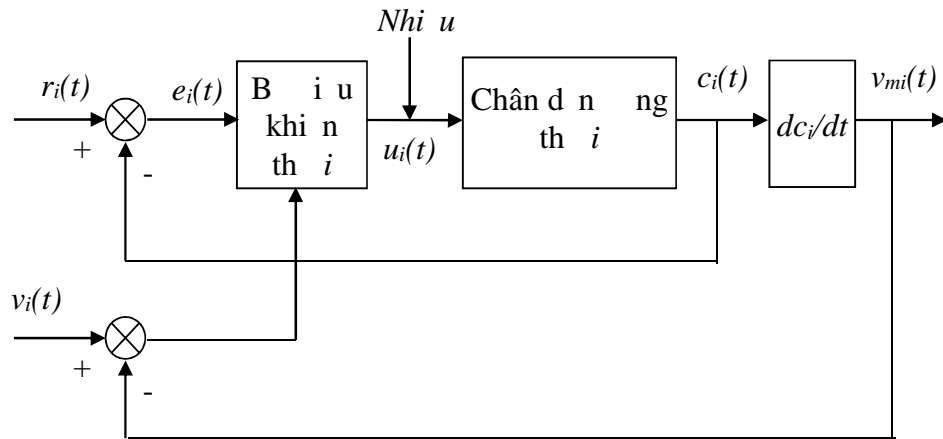
Hình 4.6. Lưu bộ điều khiển Master

Các bộ điều khiển Slave có nhiệm vụ điều khiển chuyển đổi các chân động cơ (cực u-vitme- động cơ DC) bám theo vị trí (l_{r_i}) và tốc độ (v_{r_i}) thông qua mô-đun chuyển đổi công suất và tín hiệu vị trí từ encoder (hình 4.7). Các thuật toán điều khiển như PID, Fuzzy-PID được xây dựng và tích hợp thành các chương trình con với ngôn ngữ lập trình

ANSI C. Các thuật toán này có thể được dùng để lập trình, phát triển theo yêu cầu nghiên cứu và các kỹ thuật thông qua giao diện trên máy tính. Điều này cho phép chọn lựa các thuật toán khác nhau trong quá trình lập trình. Tín hiệu điều khiển (PWM) thông qua mạch công suất để lập trình vị trí và tốc độ của chân động theo số điều khiển hai vòng kín như hình 4.8.



Hình 4.7. L u b i u khi n Slave



Hình 4.8. Sơ đồ điều khiển hai vòng kín (v trí và tốc độ) chân động.

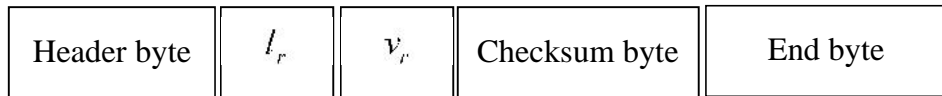
Phương thức giao tiếp giữa máy tính và bộ điều khiển Master được xây dựng thông qua giao thức truyền thông RS-232 có tốc độ 115.2 kps. Giao thức SPI (Serial Peripheral Interface) được sử dụng làm giao thức truyền thông giữa bộ điều khiển Master và các bộ điều khiển Slave. Các sơ đồ gói dữ liệu của hai thiết bị điều khiển được trình bày trong hình 4.9



a) T PC đến Master



b) T Master đến PC



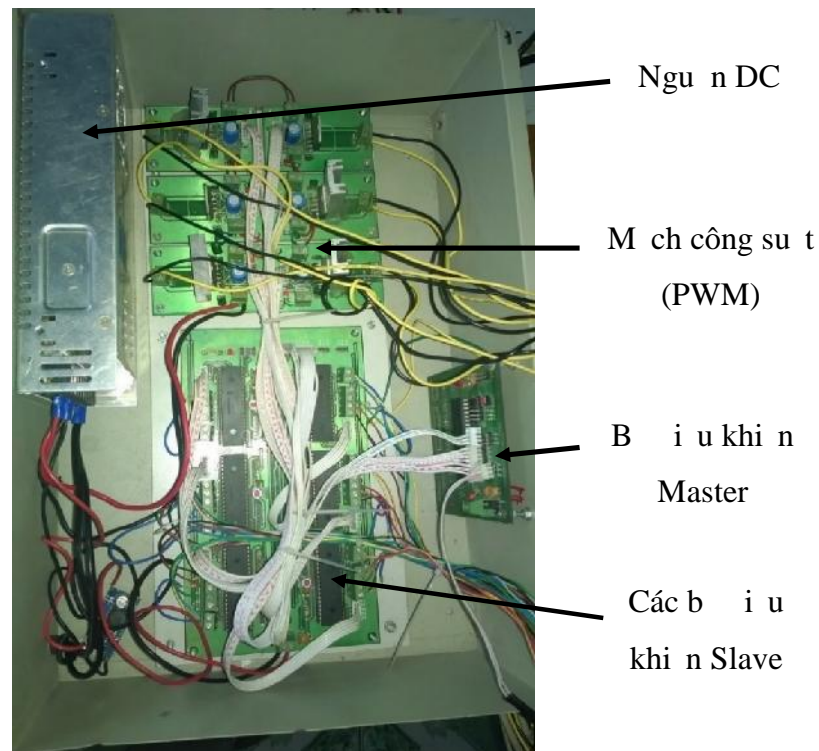
c) T Master đến Slave



d) T Slave đến Master

Hình 4.9. Sơ đồ các gói dữ liệu của hai thiết bị điều khiển

Bộ điều khiển thực tế sau khi chọn lọc được trình bày trong hình 4.10 với các thông số kỹ thuật thể hiện trong bảng 4.2 và sơ đồ nguyên lý chi tiết trình bày tại phần 1 c 2.



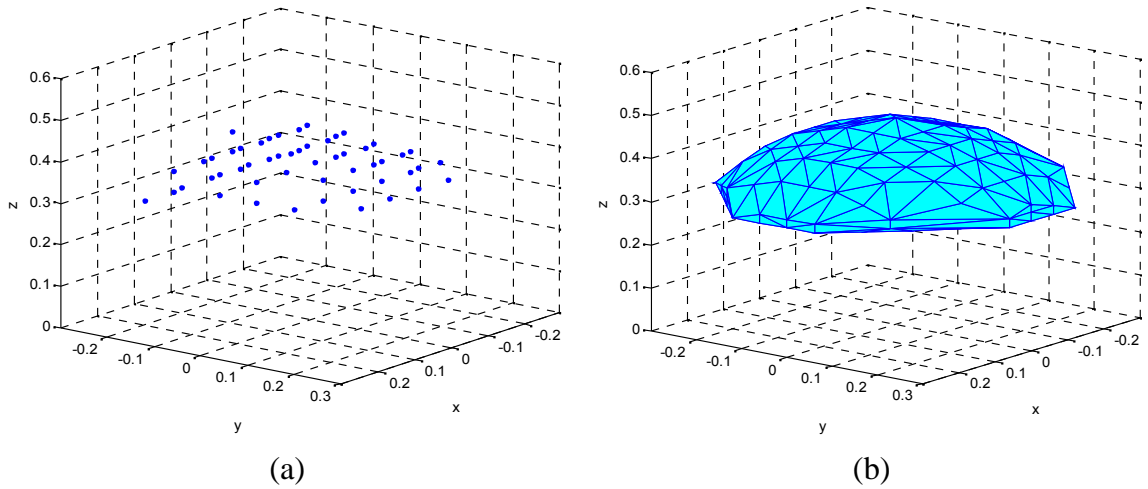
Hình 4.10. Bộ vi xử lý tay máy song song đã thi t k

Bảng 4.2. Thông số kỹ thuật bộ vi xử lý tay máy song song

Vi xử lý Master	PIC18F4550
Vi xử lý Slave	DSPIC30F4011
Kết nối PC - Master	RS232 115.2 kps
Kết nối Master - Slave	SPI 1Mbps
Mạch công suất (PWM)	LM18200 20 khz
Thuật toán vi xử lý 2 vòng kín (t c , v trí)	PID, Fuzzy-PID
Chu kỳ lấy mẫu (T_s)	1 ms
Phần mềm máy tính	Simulink - Matlab 2014a, Realtime Windows Targets
Ngôn ngữ lập trình vi xử lý (PIC, DSPIC)	Ngôn ngữ lập trình ANSI C (CSS-C Compiler v4.114)

4.2 Xác định thiết kế tối ưu cho mô hình thực nghiệm.

Phần này sẽ trình bày kết quả nghiên cứu và giải pháp tối ưu hóa thiết kế (chương 3) cho mô hình thực nghiệm tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform đã được tạo trong mục 4.1. Trên cơ sở các thông số kỹ thuật cơ khí (bảng 4.1) của mô hình thực nghiệm,

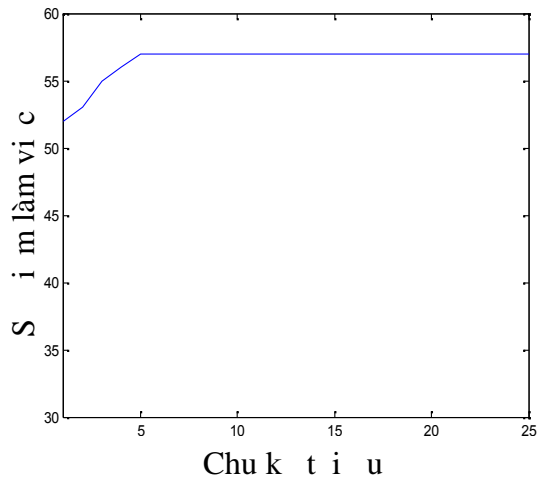


Hình 4.12. T p h p i m làm vi c (a), vùng làm vi c (b) c a tay máy tr c khi t i u.

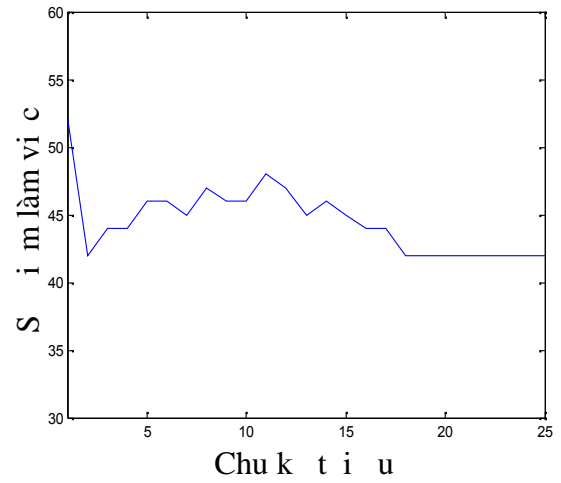
Áp d ng thu t toán PSI k th p v i t p h p t i u Pareto, t i n hành t i u hóa thi t k cho mô hình th c nghi m v i các tiêu chí t i u nh sau: s i m làm vi c, s c u hình làm vi c, c ng v ng c a c u hình tay máy. Quá trình t i u hóa thi t k c th c hi n v i th t t i u các tiêu chí l n l t là (1)-(2)-(3) và (3)-(1)-(2) nh ã trình bày m c 3.3.3. K t qu , quá trình t i u hóa thi t k chi ti t trên mô hình th c nghi m c th hi n b ng 4.4 và hình 4.13. Vùng làm vi c và c u hình tay máy sau khi t i u hóa thi t k c trình bày hình 4.14, hình 4.15 v i v trí các kh p n i th hi n b ng 4.5.

B ng 4.4. K t qu t i u hóa thi t k theo a tiêu chí dùng PSI - Mô hình th c nghi m

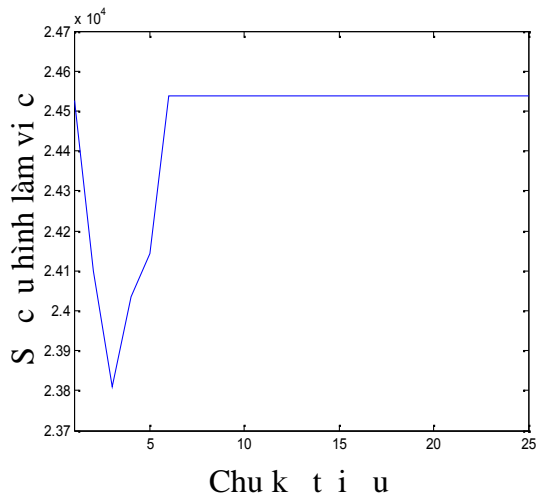
Thông s	Chu k t i u PSI - Th t t i u (1)-(2)-(3)					
	1	3	4	5	6	25
S i m làm vi c t c	52	55	56	57	57	57
S c u hình t c	24.525	23.809	24.034	24.144	24.537	24.537
c ng v ng	$2,2 \cdot 10^{-18}$	0,00156	0,0012	0,00122	0,00156	0,00156
Thông s	Chu k t i u PSI - Th t t i u (3)-(1)-(2)					
	1	3	4	17	18	25
S i m làm vi c t c	52	44	44	44	42	42
S c u hình t c	24.525	18.327	18.046	17.915	17.592	17.598
c ng v ng	$2,2 \cdot 10^{-18}$	0,00011	0,00025	0,0211	0,0423	0,0423



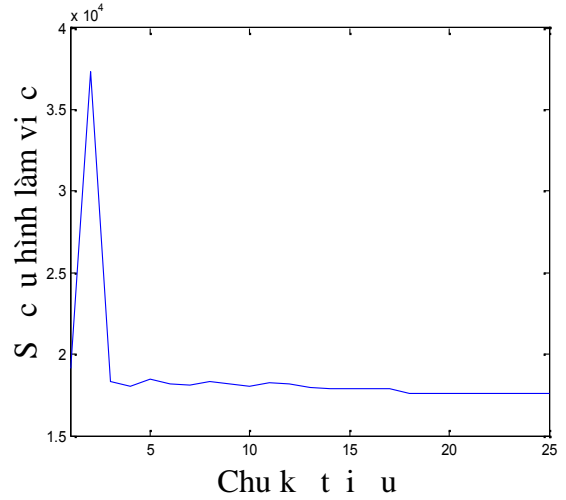
a) Tiêu chí 1 – Th t (1)-(2)-(3)



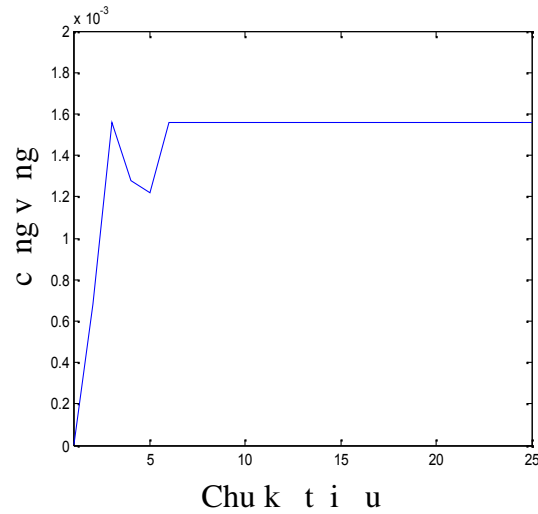
b) Tiêu chí 1 – Th t (3)-(1)-(2)



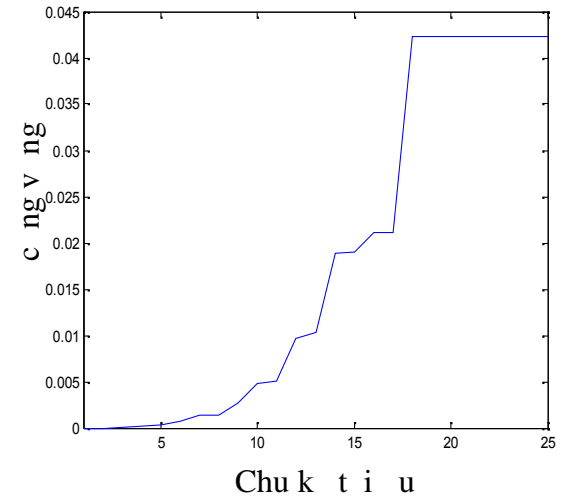
c) Tiêu chí 2 – Th t (1)-(2)-(3)



d) Tiêu chí 2 – Th t (3)-(1)-(2)

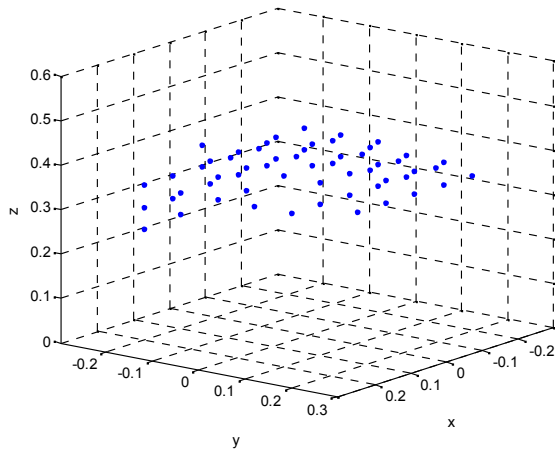


e) Tiêu chí 3 – Th t (1)-(2)-(3)

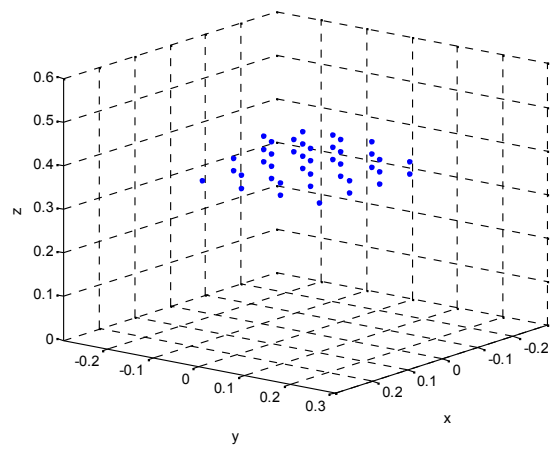


f) Tiêu chí 3 – Th t (3)-(1)-(2)

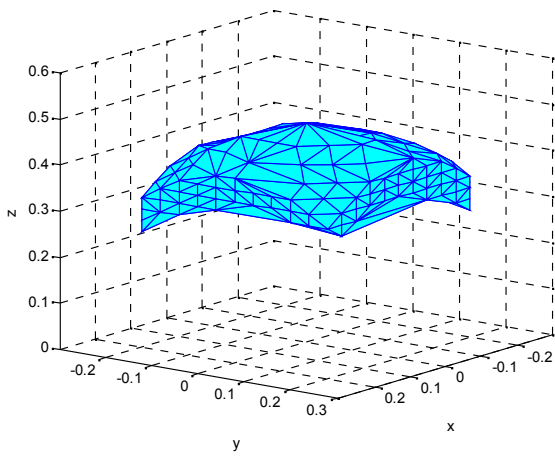
Hình 4.13. Quá trình t i u hóa a tiêu chí dùng thu t toán PSI – Mô hình th c nghi m



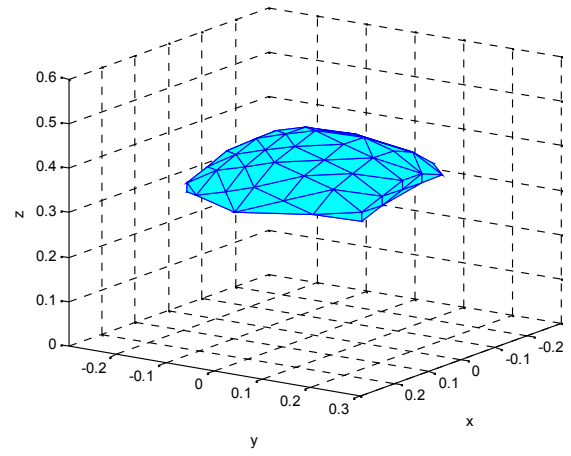
a) T p h p i m làm vi c
-Th t (1)-(2)-(3)



b) T p h p i m làm vi c
-Th t (3)-(1)-(2)

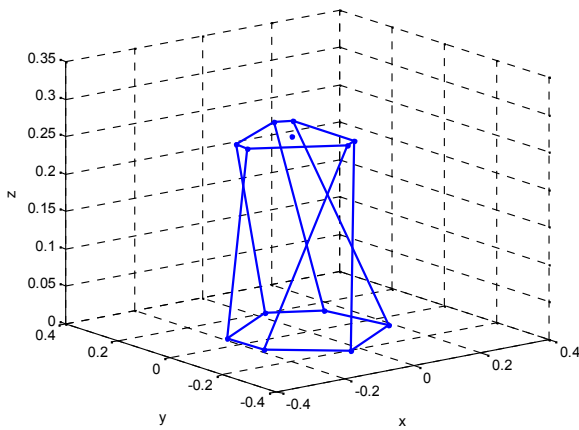


c) Vùng làm vi c -Th t (1)-(2)-(3)

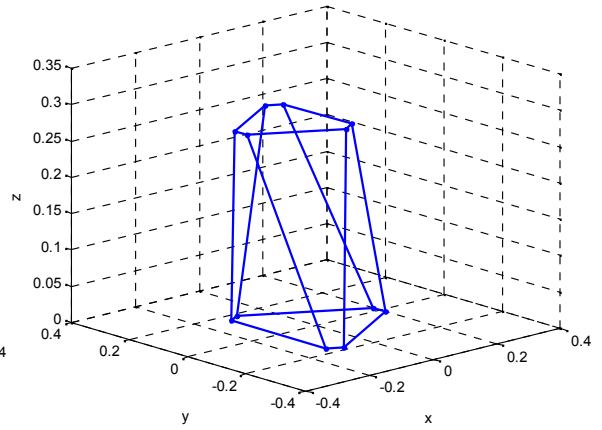


d) Vùng làm vi c -Th t (3)-(1)-(2)

Hình 4.14. T p h p i m làm vi c và vùng làm vi c sau khi t i u hóa thì t k - Mô hình th c nghi m



a) Th t (1)-(2)-(3)



b) Th t (3)-(1)-(2)

Hình 4.15. C u hình t i u hóa - Mô hình th c nghi m

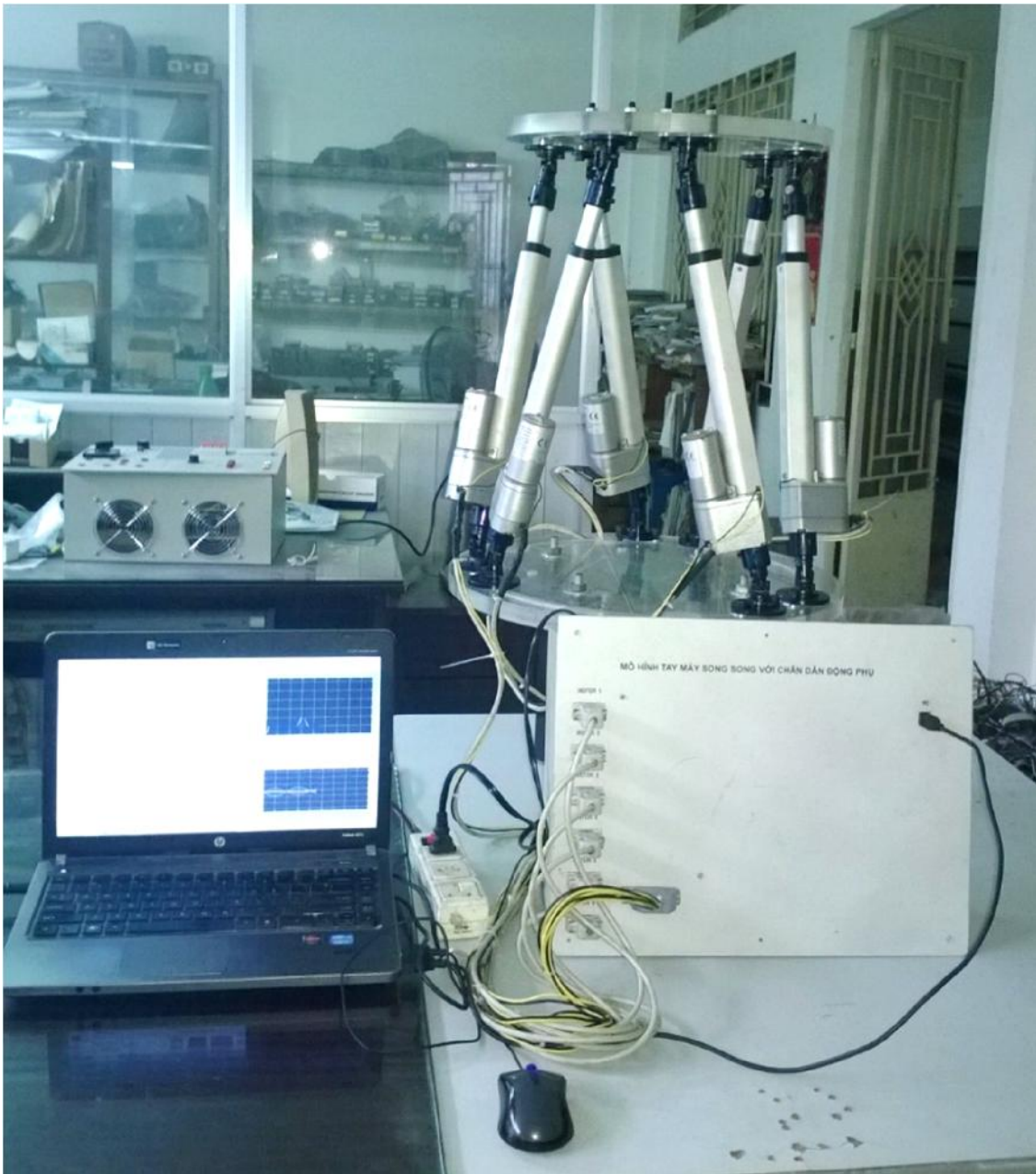
Bảng 4.5. Vị trí khớp nối sau khi tối ưu hóa thiết kế - Mô hình thực nghiệm

Thứ tự	Vị trí B_i (m)	1	2	3	4	5	6
(1)-(2)-(3)	B_{i_x}	0,1902	0,14862	0,0278	-0,1902	-0,1854	-0,0278
	B_{i_y}	-0,0618	0,13382	0,1980	0,0618	-0,0749	-0,1980
(3)-(1)-(2)	B_{i_x}	0,1952	0,1952	-0,0601	-0,1315	-0,1315	-0,0601
	B_{i_y}	-0,0432	0,0432	0,1907	0,1475	-0,1475	-0,1907

So sánh kết quả và quá trình tối ưu hóa (bảng 4.4, hình 4.13 và hình 4.14), có thể nhận thấy rằng trong trường hợp (1)-(2)-(3) vùng làm việc và cấu hình làm việc tối ưu chỉ khác nhau về vị trí trường hợp (3)-(1)-(2). Tuy nhiên, về vị trí trường hợp (3)-(1)-(2), tay máy song song có cấu hình làm việc trường hợp (1)-(2)-(3). Cấu hình sau khi tối ưu (3)-(1)-(2) có vị trí các khớp nối khác biệt gần nhau theo từng cặp (hình 4.15 b). Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu đã trình bày trong chương 3 và các công trình [9], [10], [33], [52].

Một bộ cấu hình cho quá trình tối ưu khi chuyển động của tay máy, cấu hình có cấu hình làm việc nhất sau khi tối ưu theo thứ tự (3)-(1)-(2) (hình 4.15 b) sẽ được xây dựng và bố trí trên mô hình thực nghiệm nhằm kiểm chứng các giải pháp tối ưu hóa bài toán tối ưu. Mô hình thực nghiệm tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform về cấu hình tối ưu hóa thiết kế sẽ được xây dựng hoàn chỉnh như hình 4.16.

Trên cơ sở cấu hình thực nghiệm, chương 5 sẽ trình bày các kết quả nghiên cứu về tối ưu hóa bài toán tối ưu. Các kết quả này sẽ có giá trị trong vùng không gian làm việc của mô hình thực nghiệm xác định theo hình 4.15 d và tập thông số kỹ thuật trình bày tại bảng 4.1 và bảng 4.2.



Hình 4.16. Mô hình thực nghiệm tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform

Các kết quả trên đã được công bố trong công trình [CTTG-5], [CTTG-6] của tác giả.

4.3 Kết luận chương 4

Trong chương 4, tác giả đã trình bày các kết quả thiết kế và xây dựng mô hình thực nghiệm tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform. Mô hình thực nghiệm được xây dựng gồm hai bộ phận: Thiết kế, chế tạo hệ thống cơ khí phù hợp với phạm vi nghiên cứu của luận án; Chế tạo, lập trình hệ thống điều khiển cho tay máy song song.

Cấu hình cơ khí sử dụng chân đỡ ngang để vít me và đỡ ngang bằng động cơ DC servo. Cấu trúc đỡ ngang này tuy không mượt mà và chính xác cao nhưng phù hợp cho các nghiên cứu thực nghiệm.

Mô hình này đáp ứng các yêu cầu nghiên cứu. Mô hình thực nghiệm có tính mềm dẻo, có khả năng thay đổi các cấu hình và áp dụng các thuật toán điều khiển một cách linh hoạt. Hệ thống điều khiển được phân cấp và tích hợp bằng các chân đế ngang trong quá trình hoạt động. Các dữ liệu của hệ thống được thu thập, giám sát và điều khiển theo thời gian thực.

Chương 4 cũng đã trình bày việc áp dụng thành công kết quả nghiên cứu thực nghiệm để tối ưu hóa thiết kế theo các tiêu chí cho tay máy song song (chương 3) xác định cấu hình thiết kế thực nghiệm trên mô hình thực nghiệm. Thuật toán PSO được áp dụng để tối ưu hóa thiết kế tay máy theo các tiêu chí vận tốc, số khâu làm việc và cấu hình làm việc. Cấu hình tối ưu hóa theo thuật toán (3)-(1)-(2) được áp dụng cho cấu hình thực nghiệm làm cơ sở cho các nghiên cứu tiếp theo trong chương 5. Kết quả này đã chứng minh khả năng áp dụng trên thực tế của các giải pháp tối ưu hóa thiết kế tay máy song song kiểu Stewart-Gough Platform mà tác giả đã nghiên cứu, trình bày trong luận án và các công trình đã công bố.

CHƯƠNG 5. I U KHI N TAY MÁY SONG SONG KI U STEWART– GOUGH PLATFORM TRÊN C S T I U HÓA THI T K VÀ I U KHI N

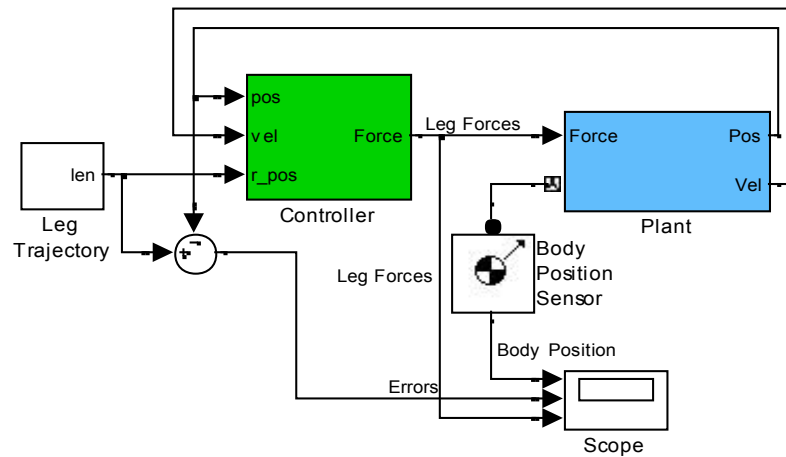
Phần này trình bày kỹ thuật khảo sát trên máy tính các thuật toán i u khi n và phương pháp i ti n các b i u khi n cho tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform thông qua quá trình mô phỏng. Trên cơ sở cấu hình thi t k và thông số ảnh hưởng thực nghiệm (chương 4), các thuật toán i u khi n kinh i n và thuật toán i u khi n thông minh được áp dụng trong việc tìm kiếm b i u khi n thích hợp cho tay máy song song. Các i ti n b i u khi n, tác giả áp dụng các phương pháp kết hợp nhằm i ti n các tiêu chuẩn chất lượng cấu trúc.

Trong phần tiếp theo, phương pháp i u khi n kinh i n (PID) và phương pháp i u khi n kết hợp (Fuzzy-PID) được áp dụng trên mô hình thực nghiệm kiểm chứng và đánh giá các kỹ thuật quá trình mô phỏng.

Một quy trình áp dụng các kỹ thuật i u hóa thi t k và i u khi n cho tay máy song song được xu t trong phần cuối chương 5.

5.1 Kh o sát b ng mô phỏng các thuật toán i u khi n tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform

Cấu trúc thực nghiệm (hình 4.15 b) và vùng không gian làm việc và tập thông số kỹ thuật (hình 4.14 b, bảng 4.1) được mô hình hóa trên phần mềm Simulink - Matlab (hình 5.1) và mô hình toán các thành phần và mô hình giải bài toán động học của tay máy được trình bày chi tiết ở phần 1.1. Trên cơ sở cấu hình này, các thuật toán i u khi n và phương pháp i ti n được khảo sát, đánh giá thông qua kỹ thuật mô phỏng và phân tích chất lượng b i u khi n trong quá trình chuyển động [4], [13], [15], [54], [59], [60]. Các tiêu chuẩn chất lượng cấu trúc được phân tích trên cơ sở áp dụng quá trình chuyển động và quá trình phi h p các chân động.



Hình 5.1. Mô hình tay máy song song trên *n n* Simulink – Matlab

Các thông số của mô hình [61] xác định theo bảng 4.1 và là:

$$b = 0,2182 \text{ rad}; \quad p = 0,288 \text{ rad}; \quad r_b = 0,2 \text{ m}; \quad r_p = 0,15 \text{ m};$$

$$l_{imin} = 0,32 \text{ m}; \quad l_{imax} = 0,52 \text{ m}; \quad mass_{lower_leg} = 0,27 \text{ kg}; \quad mass_{upper_leg} = 0,23 \text{ kg}$$

$$I_{x_lower_leg} = I_{y_lower_leg} = 0,1953 \text{ kg.m}^2; \quad I_{z_lower_leg} = 0,3894 \text{ kg.m}^2$$

$$I_{x_upper_leg} = I_{y_upper_leg} = 0,0619 \text{ kg.m}^2; \quad I_{z_upper_leg} = 0,1232 \text{ kg.m}^2$$

Chuyển động tham chiếu theo vị trí và góc hướng của tâm khâu áp dụng cho các thuật toán điều khiển như sau:

$$X_{ang} = -0,02\sin(0,1 t) \text{ rad/s};$$

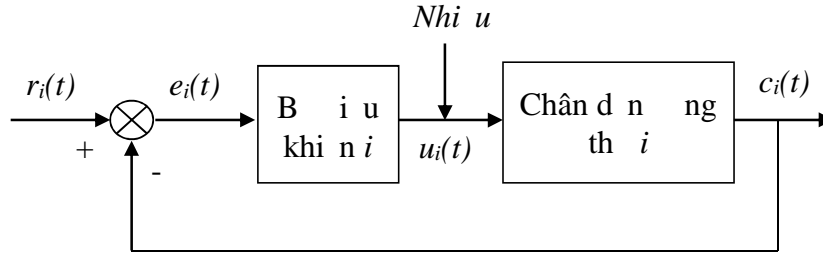
$$Y_{ang} = Z_{ang} = 0,02\sin(0,1 t) \text{ rad/s};$$

$$X_{pos} = Y_{pos} = 0,02\sin(0,1 t) \text{ m}; \quad (5.1)$$

$$Z_{pos} = 0,383 + 0,02\sin(0,1 t) \text{ m};$$

Các kết quả khảo sát số phân tích và đánh giá theo áp dụng chuyển động (vị trí và góc hướng) của tâm khâu và quá trình phi hệ quả các chân động. Các tiêu chuẩn chất lượng của hệ thống đánh giá bao gồm: vọt l (POT), sai số xác lập (e_{xl}), thời gian lên (t_{rise}), thời gian xác lập (t_{xl}) theo áp dụng chuyển động vị trí và góc hướng của tâm khâu [11], [13]. Bảng tổng hợp kết quả nghiên cứu mô phỏng các tiêu chuẩn chất lượng của các biểu đồ khi trong luận án trình bày chi tiết từ phần 5. Trên cơ sở so sánh các tiêu chuẩn chất lượng của biểu đồ khi, ta có thể nhận biết biểu đồ khi phù hợp với các mục tiêu điều khiển khác nhau. Văn bản này sẽ trình bày rõ hơn phần kết luận của chương 5.

T chuyển động tham chiếu của tâm khâu, mô hình bài toán hệ thống điều khiển xác định chi u dài mong muốn của các khâu động. Trên các khâu động, các thuật toán điều khiển được áp dụng cho các khâu thành phần theo cùng một sơ đồ như hình 5.2.



Hình 5.2. Sơ đồ điều khiển các khâu động.

Trong đó:

$r_i(t)$: chi u dài mong muốn của khâu động thực i .

$e_i(t)$: sai số chuyển động của khâu động thực i .

$u_i(t)$: lệnh điều khiển của khâu động thực i .

$c_i(t)$: chi u dài thực tế của khâu động thực i .

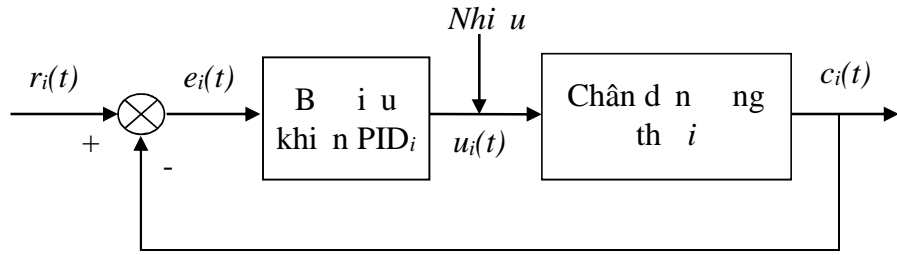
Tính toán và kiểm nghiệm các khâu điều khiển sẽ kiểm tra bằng mô phỏng tín hiệu nhiễu với công suất nhiễu: $Noise_power = 0,2$.

Trong luận án, với các khâu điều khiển khác nhau, các áp dụng quá trình của các khâu động sẽ xem xét để đánh giá quá trình phân phối của các khâu động. Quá trình phân phối này sẽ ảnh hưởng đến an toàn và kiểm soát khâu bám của tay máy song song. Các áp dụng quá trình thành phần của các khâu động với các khâu điều khiển khác nhau sẽ trình bày chi tiết trong phần 4.

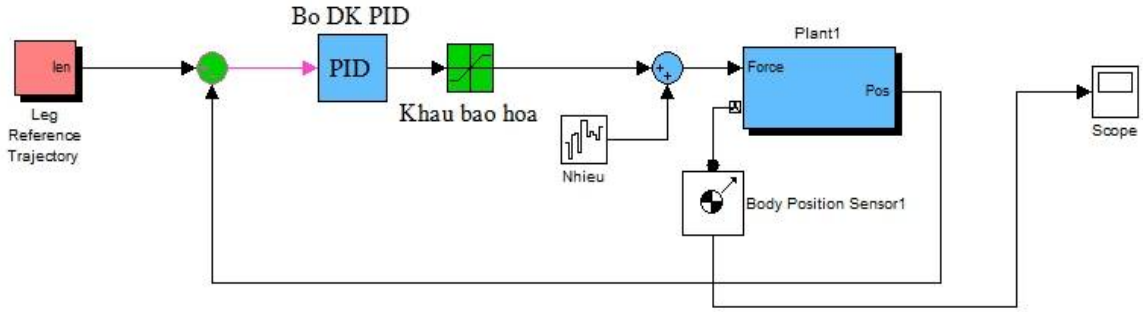
5.1.1 Bộ điều khiển PID

Thuật toán điều khiển ưu tiên áp dụng cho các khâu điều khiển khâu động là thuật toán điều khiển vi tích phân loại PID (Proportional Integral Derivative) [42], [45], [48], [80], [98], [99] với lệnh điều khiển tính theo công thức:

$$u(t) = K_p e(t) + K_D \frac{de(t)}{dt} + K_I \int e(t) dt \quad (5.2)$$



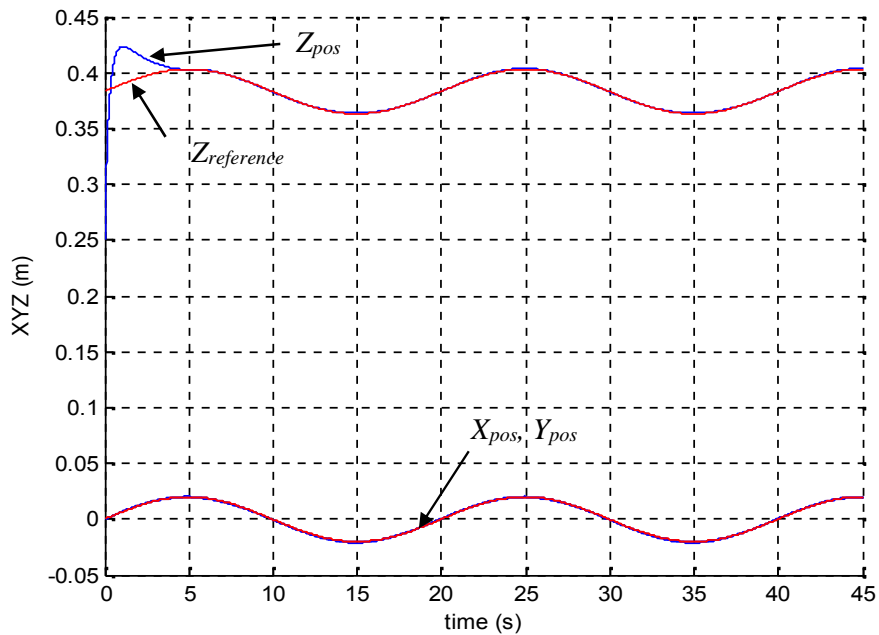
Hình 5.3. Sơ đồ khối của bộ điều khiển dùng thuật toán PID



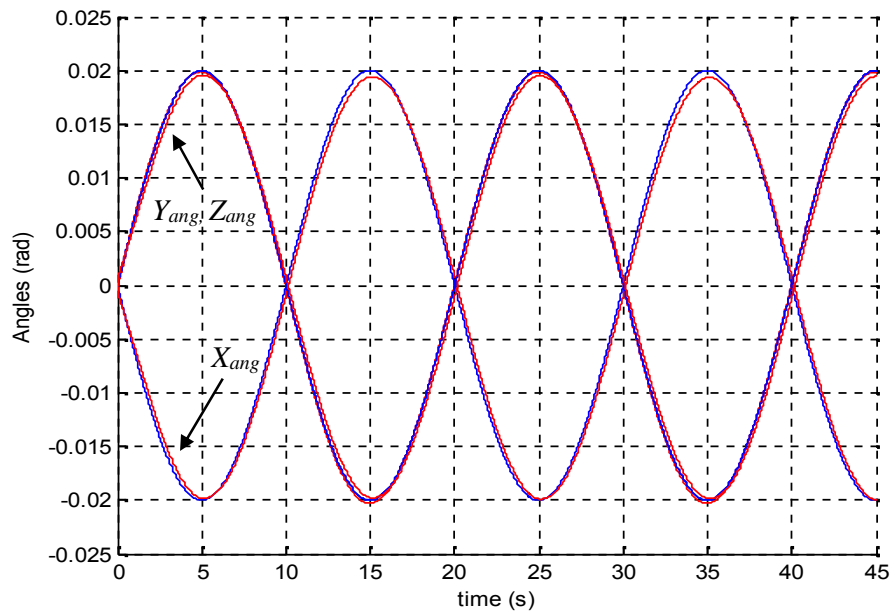
Hình 5.4. Chương trình mô phỏng bộ điều khiển PID trên Simulink - Matlab

Theo phương pháp Ziegler-Nichols thể hiện trong công trình [23], [40] và phương pháp auto-tuning [2] trong quá trình mô phỏng, bộ thông số điều khiển khâu PID có tác dụng như sau: $K_P = 5 \cdot 10^3$; $K_I = 8 \cdot 10^3$; $K_D = 2 \cdot 10^3$.

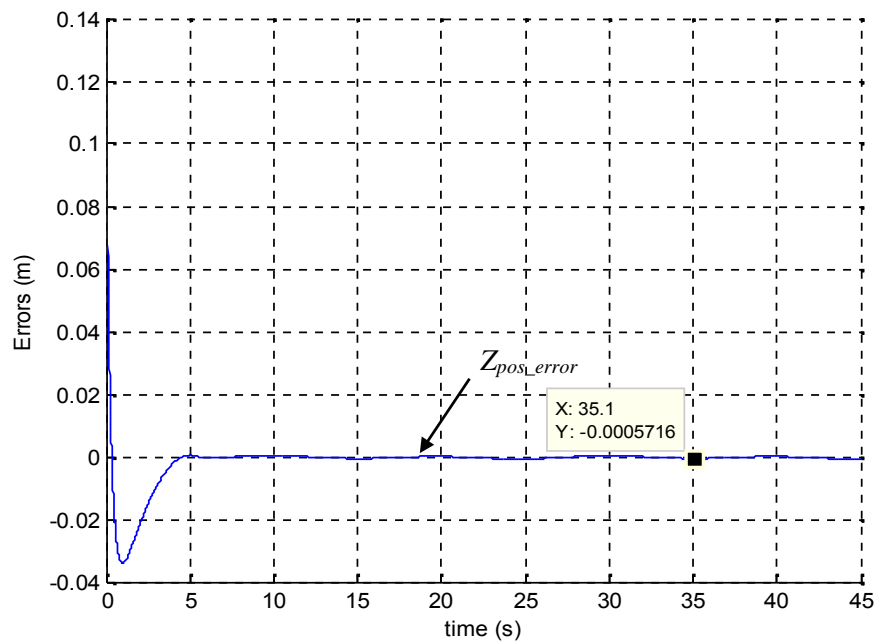
Tiến hành khảo sát bộ điều khiển PID với áp dụng chuyển động của tâm khâu thể hiện hình 5.5 và hình 5.6. Các sai số chuyển động của tâm khâu theo vị trí và góc lệch cùng với áp dụng của các chân d n g trình bày ở hình 5.7 và hình 5.10.



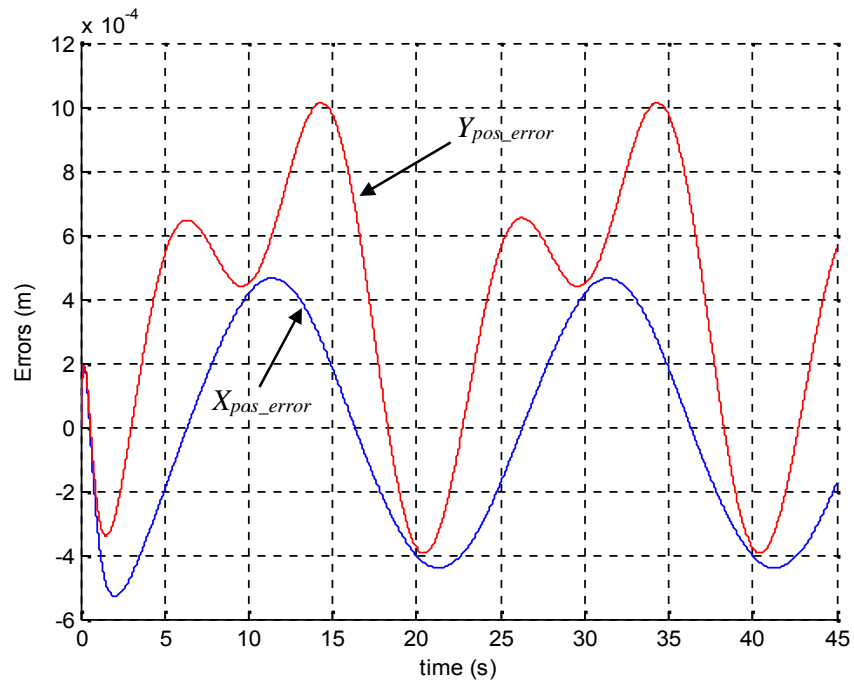
Hình 5.5. Đáp ứng theo vị trí của tâm khâu – Mô phỏng bộ điều khiển PID



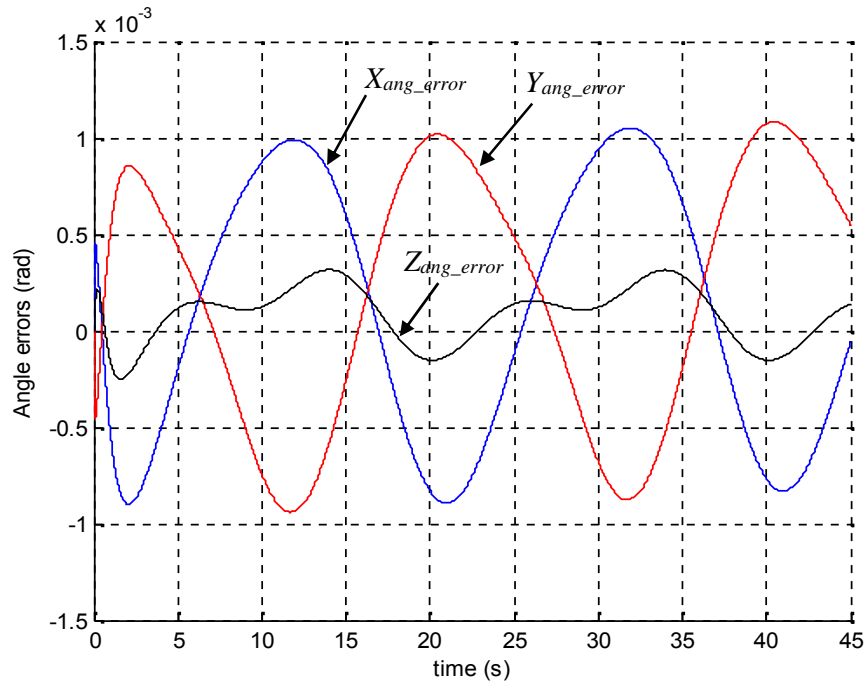
Hình 5.6. áp ng theo góc h ng c a tâm khâu – Mô ph ng b i u khi n PID



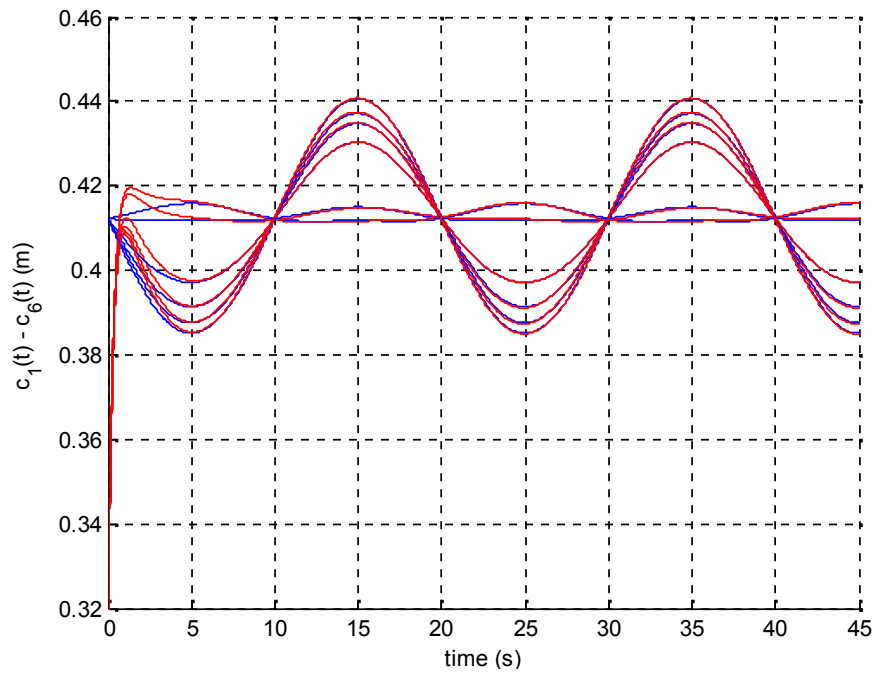
Hình 5.7. Sai s v trí (Z) c a tâm khâu – Mô ph ng b i u khi n PID



Hình 5.8. Sai số vị trí (X, Y) của tâm khâu – Mô phỏng b i u khi n PID



Hình 5.9. Sai số góc hướng của tâm khâu – Mô phỏng b i u khi n PID



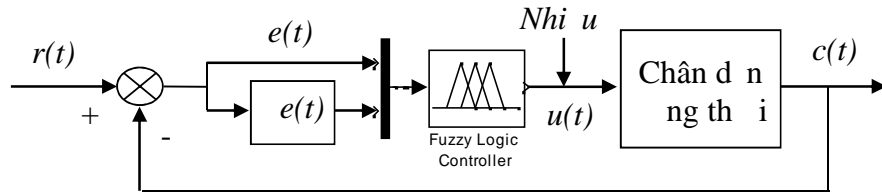
Hình 5.10. Đáp ứng của các chân d n ng – Mô phỏng b i u khi n PID

Kết quả khảo sát cho thấy bộ điều khiển PID có tính ổn định, chuyển động của tâm khâu bám theo tín hiệu tham chiếu tốt, nhúng bộ điều khiển không ảnh hưởng gì đến thời gian xác lập hệ thống. Các tiêu chuẩn chất lượng của bộ điều khiển PID (bảng 5.5) cho thấy đáp ứng theo trục Z có vượt quá khá lớn ($POT=10,57\%$). Sai số xác lập (e_{xl}) của tâm khâu có giá trị 1.10^{-3} m theo vị trí và $1,1.10^{-3}$ rad theo góc nghiêng. Thời gian xác lập của đáp ứng $t_{xl}=4,5$ s và thời gian lên $t_{rise}=0,17$ s cho thấy tốc độ biến thiên (du_i/dt) của các lực điều khiển u_i là rất lớn trong khoảng thời gian quá độ.

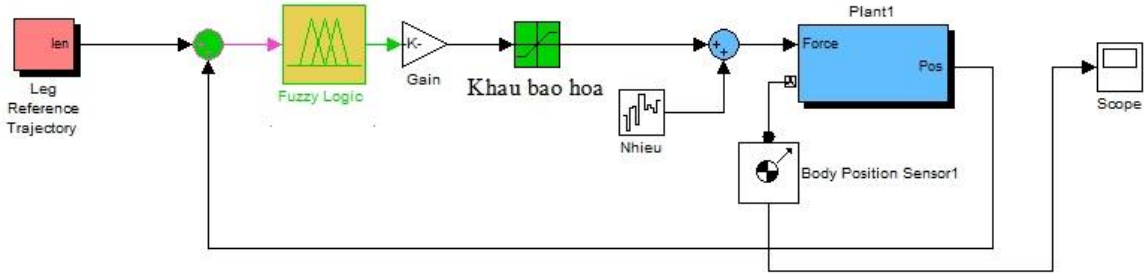
Có thể thay đổi bộ điều khiển PID với các hệ số K_P, K_I, K_D mà luận án đã chọn có tính ổn định, các tiêu chuẩn chất lượng của hệ thống chấp nhận được nhưng vẫn cần phải cải thiện tiếp theo.

5.1.2 Bộ điều khiển mờ trực tiếp (Direct Fuzzy-PD)

Theo kết quả trình bày mục 5.1.1, vượt quá (POT) và sai số xác lập (e_{xl}) được xem là hai tiêu chuẩn quan trọng quy định chất lượng của bộ điều khiển. Nhằm cải thiện các tiêu chuẩn POT và e_{xl} so với bộ điều khiển PID, tác giả sử dụng bộ điều khiển mờ trực tiếp (Direct Fuzzy-PD) cho tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform [18], [29], [35], [44], [51], [69], [73], [74], [103]. Đây là bộ điều khiển mờ với tín hiệu điều khiển $u(t)$ được tính theo sai số $e(t)$ (khâu P) và đạo hàm của sai số $\dot{e}(t)$ (khâu D) như hình 5.11.



Hình 5.11. B i u khi n m tr c ti p (Direct Fuzzy-PD)

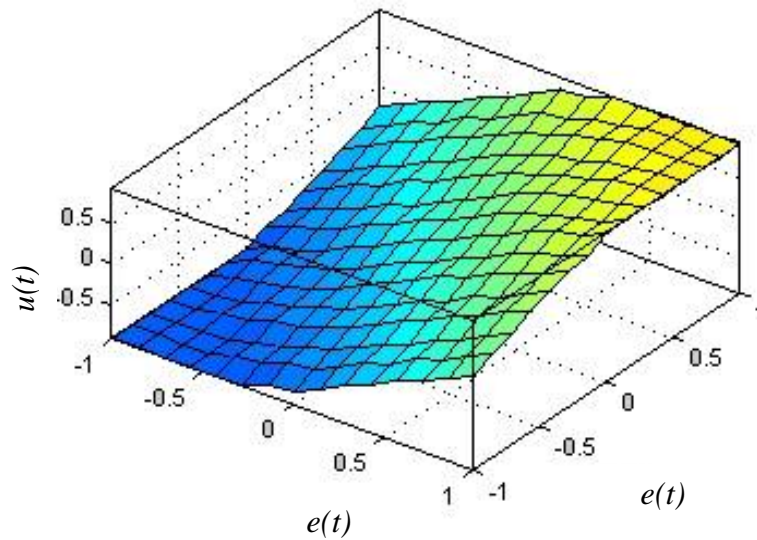


Hình 5.12. Ch ng trình mô ph ng b i u khi n m tr c ti p (Direct Fuzzy-PD)

B i u khi n m trên n n Simulink–Matlab (hình 5.12) v i các lu t h p thành m c xây d ng nh m gi m thi u v t l và sai s xác l p c a h th ng theo s bi n thiên c a $e(t)$ và $\dot{e}(t)$ (b ng 5.1, hình 5.13). Các hàm liên thu c c a $e(t)$, $\dot{e}(t)$ và $u(t)$ c xây d ng theo d ng hàm tam giác v i các bi n ngôn ng n m trong kho ng $[-1,1]$. Các hàm liên thu c này c a b i u khi n m tr c ti p c th hi n chi ti t trong ph 1 c 3.

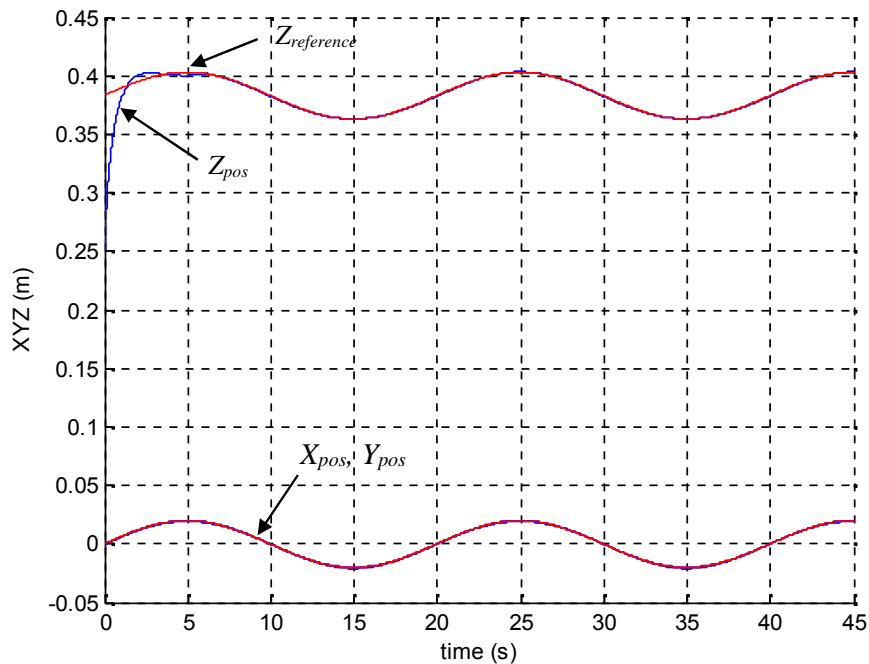
B ng 5.1. Lu t h p thành m $u(t)$ - B i u khi n m tr c ti p (Direct Fuzzy-PD)

$e(t) / \dot{e}(t)$	NB	NM	NS	NT	ZE	PT	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	NT	ZE	PT
NM	NB	NB	NB	NM	NS	NT	ZE	PT	PS
NS	NB	NB	NM	NS	NT	ZE	PT	PS	PM
ZE	NB	NM	NS	NT	ZE	PT	PS	PM	PB
PS	NM	NS	NT	ZE	PT	PS	PM	PB	PB
PM	NS	NT	ZE	PT	PS	PM	PB	PB	PB
PB	NT	ZE	PT	PS	PM	PB	PB	PB	PB

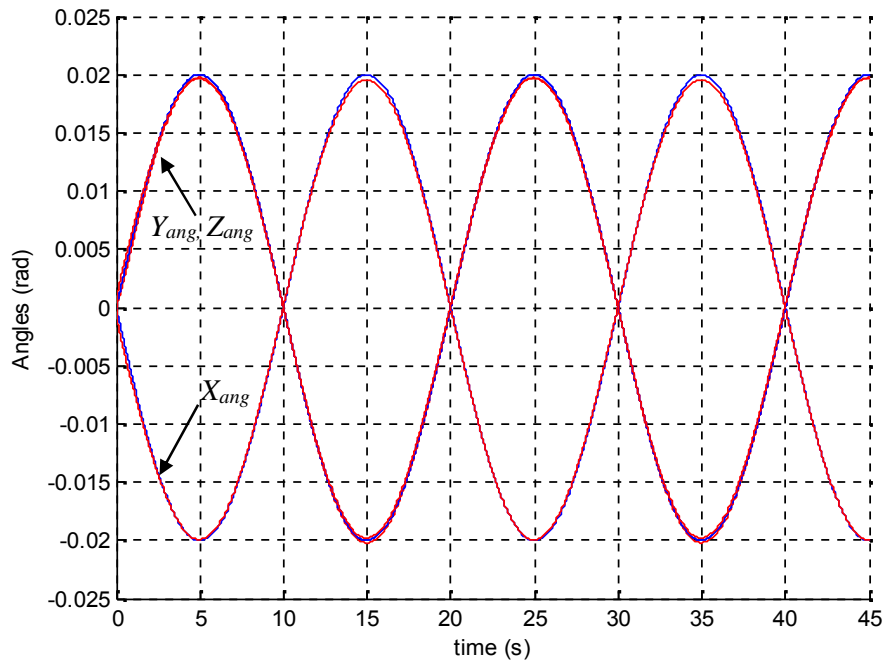


Hình 5.13. Mặt u khi n m - B i u khi n m tr c ti p (Direct Fuzzy-PD)

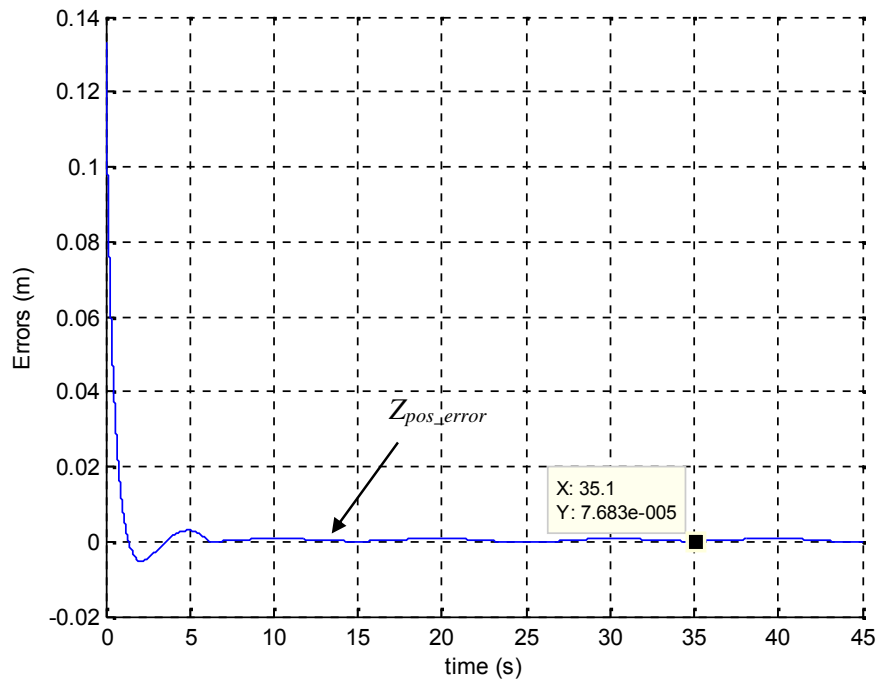
Ti n hành kh o sát b i u khi n, áp ng chuy n ng c a tâm khâu theo v trí và góc h ng c th hi n hình 5.14 và hình 5.15 ã bám t t theo chuy n ng tham chi u. Các sai s chuy n ng c a tâm khâu c trình bày t hình 5.16 n hình 5.18. áp ng c a các chân d n ng thành ph n c th hi n hình 5.19. Các tiêu chu n ch t l ng c a b i u khi n c trình bày chi ti t t i b ng 5.5.



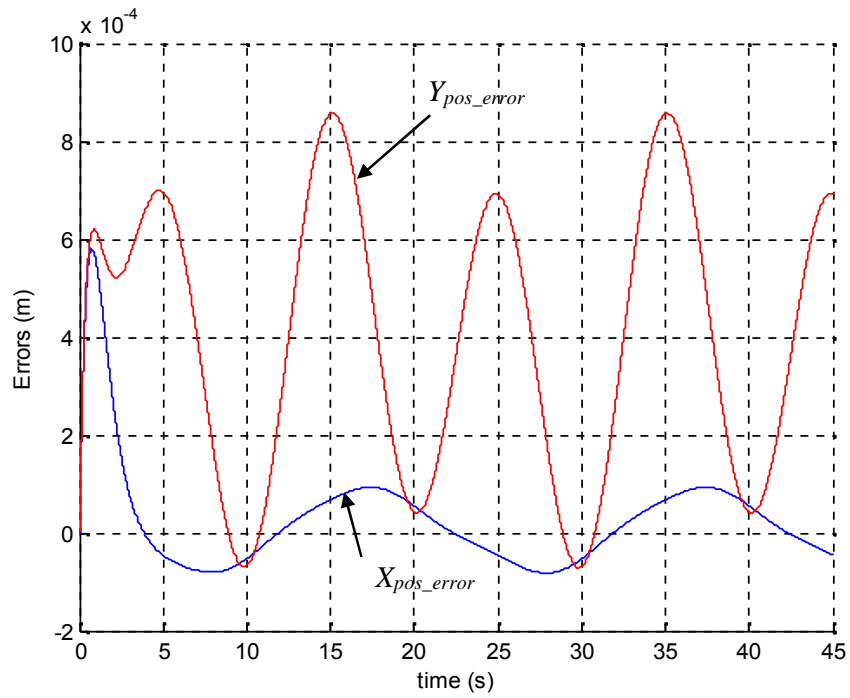
Hình 5.14. Chuy n ng v trí c a tâm khâu – Mô ph ng b i u khi n Direct Fuzzy-PD



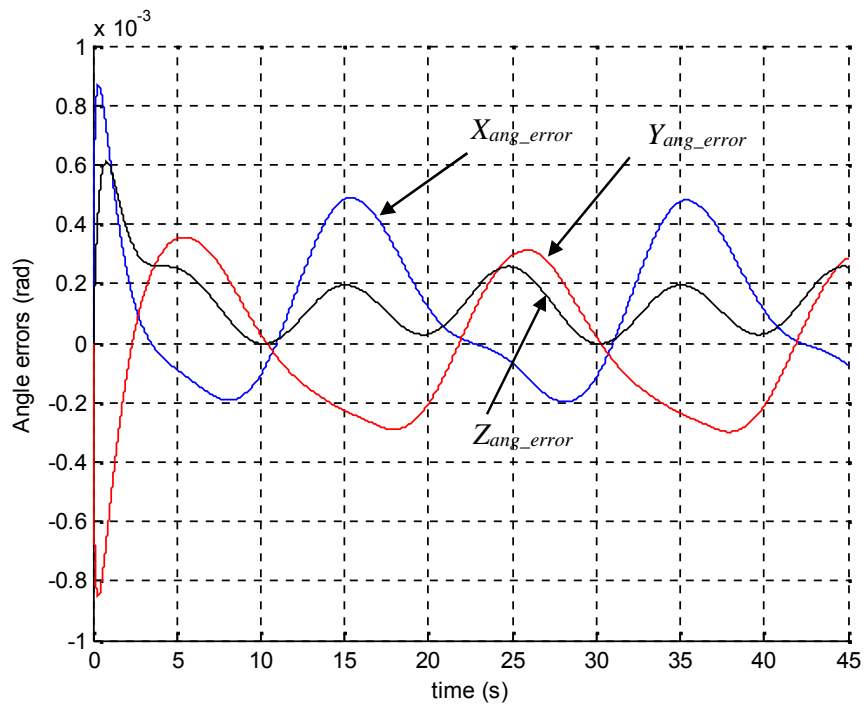
Hình 5.15. Chuyển động góc hàng c a tâm khâu – Mô phỏng b i u khi n Direct Fuzzy-PD



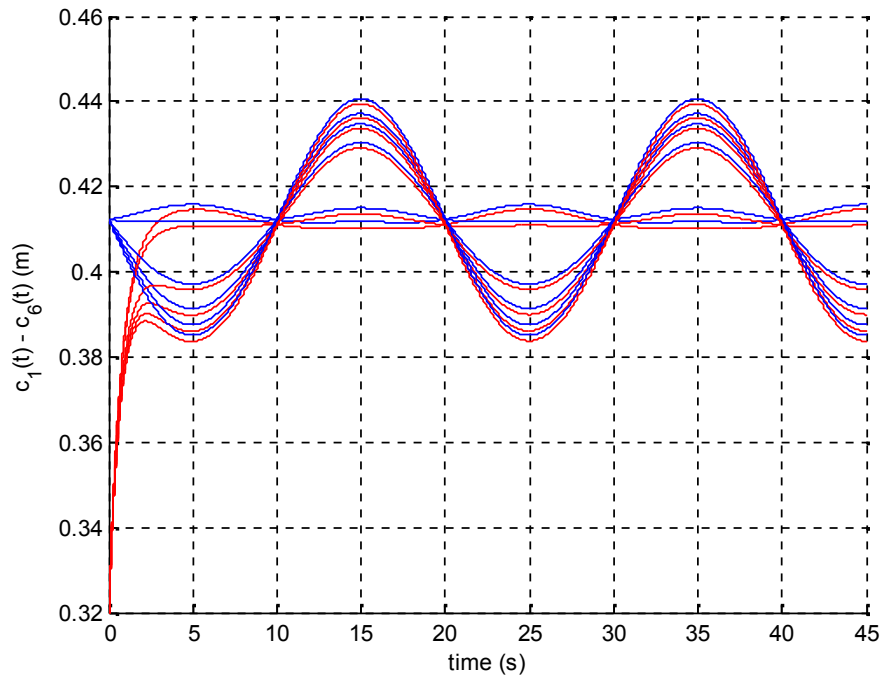
Hình 5.16. Sai số vị trí (tr c Z) c a tâm khâu – Mô phỏng b i u khi n Direct Fuzzy-PD



Hình 5.17. Sai số vị trí (trục X, Y) của tâm khâu – Mô phỏng bù iu khi n Direct Fuzzy-PD



Hình 5.18. Sai số góc hướng của tâm khâu – Mô phỏng bù iu khi n Direct Fuzzy-PD



Hình 5.19. Đáp ứng của các chân d n ng – Mô phỏng b i u khi n Direct Fuzzy-PD

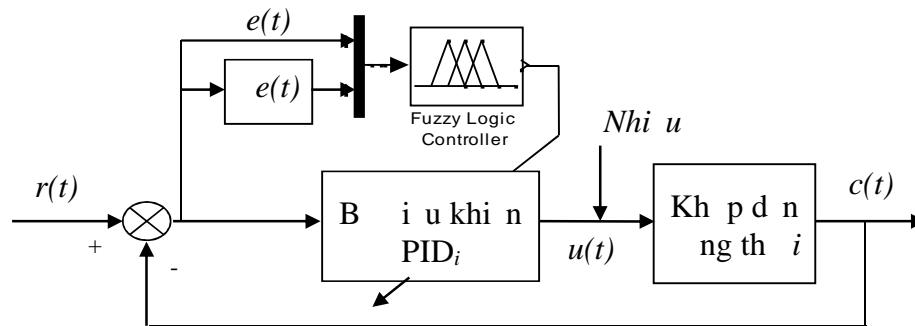
D a theo k t qu kh o sát, có th nh n th y r ng v t l (POT) ã gi m xu ng áng k so v i tr ng h p dùng b i u khi n PID (t 10,57% gi m xu ng 1,37%). Sai s xác l p theo v trí c a tâm khâu gi m t 1.10^{-3} m xu ng còn $0,84.10^{-3}$ m. Sai s xác l p theo góc h ng gi m t $1,1.10^{-3}$ rad xu ng còn $0,5.10^{-3}$ rad. Bên c nh các c i thi n r r t v v t l và sai s xác l p, b i u khi n m tr c ti p có kho ng th i gian lên (t_{rise}) và th i gian xác l p (t_{xl}) l n h n trong tr ng h p dùng b i u khi n PID. Th i gian xác l p t ng t 4,5 s lên 6,3 s và th i gian lên t ng t 0,17 s lên 0,45 s. i u này gây ra h n ch v t c áp ng c a h th ng trong quá trình quá .

Nh v y, có th nh n th y r ng, b i u khi n m tr c ti p ã c i thi n các tiêu chu n ch t l ng v v t l và sai s xác l p t th n so v i b i u khi n PID tr c ó. Tuy nhiên, b i u khi n m l i làm ch m quá trình áp ng c a h th ng do có th i gian lên và th i gian xác l p t ng cao. H n ch này s c xem xét trong ph n ti p theo v i b i u khi n k th p Fuzzy-PID.

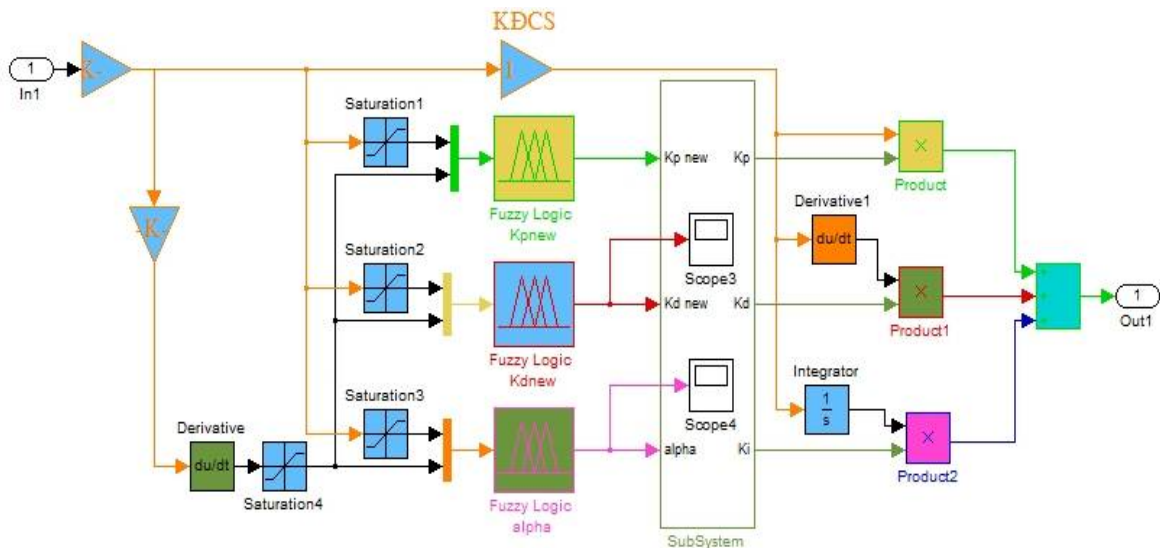
i v i các bài toán có yêu c u u tiên v v t l và chính xác (sai s xác l p) và không ph thu c nhi u n th i gian xác l p thì b i u khi n m tr c ti p nh trên c xem là phù h p và có tính t i u h n so v i b i u khi n PID.

5.1.3 B i u k h i n t c h n h n h Fuzzy-PID

Theo k t qu kh o s át m c 5.1.1 và m c 5.1.2, b i u k h i n PID có áp ng nhanh v i b i n thiên c a l c i u k h i n $u_i(t)$ l n. Bên c n h ó, b i u k h i n m t r c t i p (Direct Fuzzy-PD) l i có u i m v v t l và sai s xác l p n h . có th c i thi n các tiêu chu n ch t l ng c a h th ng m t cách chung n h t, tác gi xu t s d ng b i u k h i n t c h n h n h Fuzzy-PID đ a trên s k t h p u i m c a b i u k h i n m và b i u k h i n PID [14], [25], [29], [50], [102]. M t trong nh ng h n ch c a khâu PID là các h s K_P , K_I , K_D không thay i trong quá trình i u k h i n. Vì v y, áp ng c a h th ng th ng không cho k t qu t i u v i s b i n thiên liên t c c a sai s . B i u k h i n t c h n h n h Fuzzy-PID xu t (hình 5.20) có kh n ng thay i các h s K_P , K_I , K_D c a khâu PID trong quá trình i u k h i n đ a theo các lu t c h n h m và s thay i c a các thông s $e(t)$ và $\dot{e}(t)$.



Hình 5.20. B i u k h i n t c h n h n h Fuzzy – PID



Hình 5.21. Mô hình b i u k h i n Fuzzy-PID trên Simulink - Matlab

Theo [25], [50], [102], các hệ số K_P, K_D nằm trong khoảng $[K_{Pmin} K_{Pmax}]$ và $[K_{Dmin} K_{Dmax}]$

Trong đó: $K_{Pmin} = 0,5.K_P; K_{Pmax} = 1,5.K_P; K_{Dmin} = 0,5.K_D; K_{Dmax} = 1,5.K_D;$

với $K_p = 5.10^3; K_i = 8.10^3; K_d = 2.10^3$ để chọn nhẩm c 5.1.1.

Tuy nhiên tính hóa các hệ số K_P, K_I, K_D cho bộ điều khiển thích nghi (Fuzzy-PID) theo [25], [50], [102], ta có:

$$K_P = (K_{Pmax} - K_{Pmin}) \cdot K'_P + K_{Pmin}$$

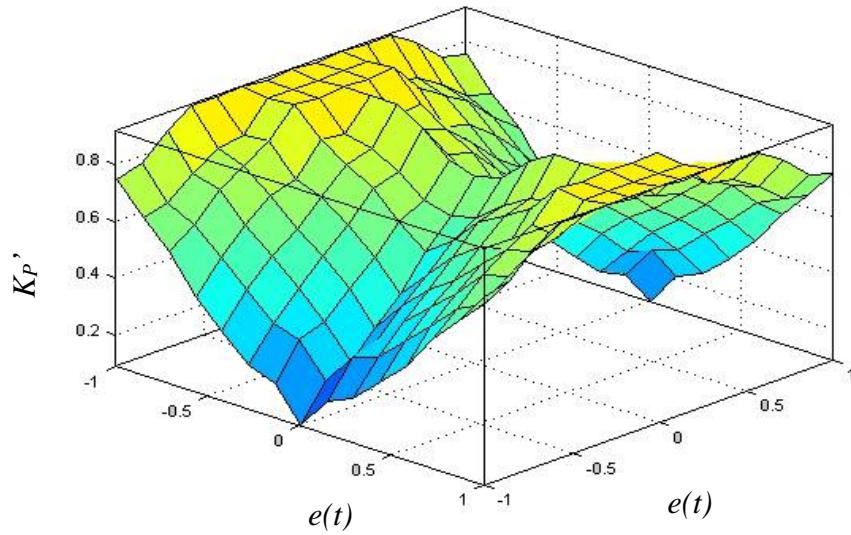
$$K_D = (K_{Dmax} - K_{Dmin}) \cdot K'_D + K_{Dmin}$$

$$K_I = K_P^2 / (S \cdot K_D)$$

Trong đó K'_P, K'_D để xác định 49 luật thích nghi nhẩm và có giá trị chuẩn hóa trong khoảng $[0,1]$, $s = T_I / T_D \in [1,1000]$ để xác định dựa vào vị trí thích nghi tham số K_P, K_D . Các hàm liên tục của $e(t), \dot{e}(t), K_P, K_D$ và để xác định có dạng tam giác và các biến ngôn ngữ trong khoảng $[-1, 1]$. Các hàm liên tục này của bộ điều khiển thích nghi nhẩm để thể hiện chi tiết trong phần 3 của luận án. Luồng thành phần và mặt thích nghi nhẩm các hệ số K_P, K_D và của bộ điều khiển PID để thể hiện trong bảng 5.2 và bảng 5.4 và hình 5.22 và hình 5.24.

Bảng 5.2. Luồng thành phần hệ số K_P' - Bộ điều khiển thích nghi Fuzzy-PID.

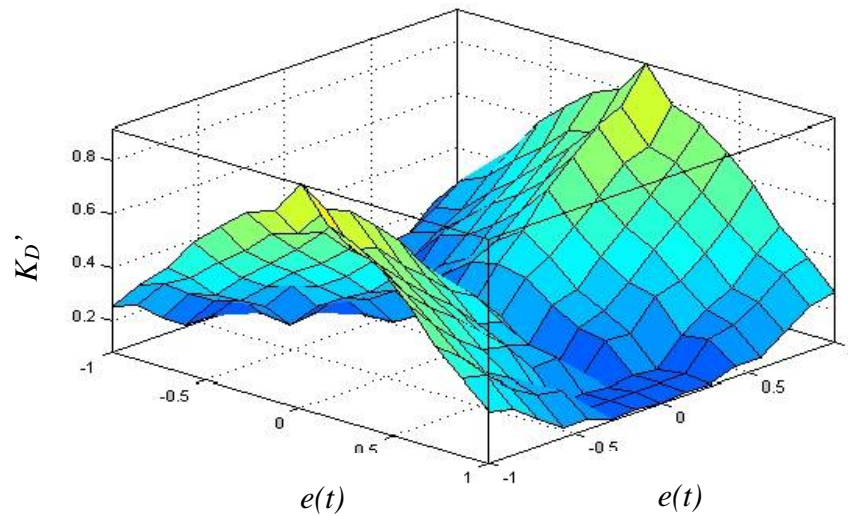
$e(t) / \dot{e}(t)$	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	PM	PS	PT	ZE	PT	PS	PM
NM	PB	PM	PS	PT	PS	PM	PB
NS	PB	PB	PM	PS	PM	PB	PB
ZE	PB	PB	PB	PM	PB	PB	PB
PS	PB	PB	PM	PS	PM	PB	PB
PM	PB	PM	PS	PT	PS	PM	PB
PB	PM	PS	PT	ZE	PT	PS	PM



Hình 5.22. Mặt đồ khi n m ch nh nh h s K_P'

B ng 5.3. Lu t h p thành m h s K_D' - B i u khi n t ch nh nh Fuzzy-PID.

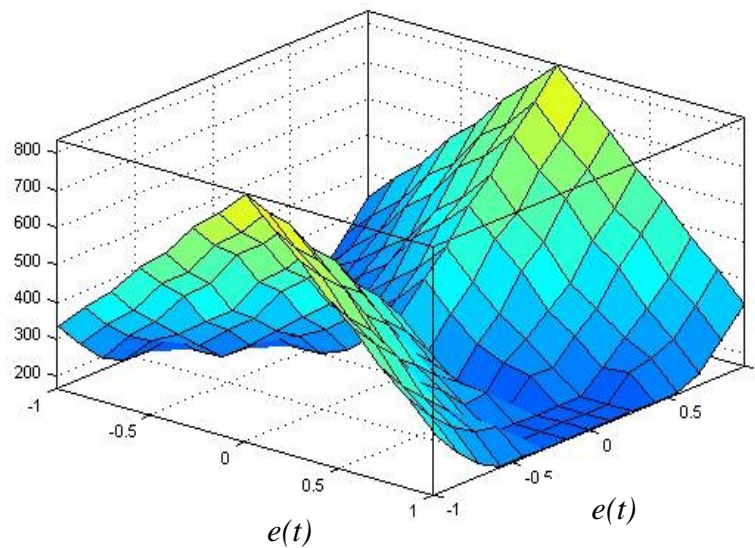
$e(t) / e'(t)$	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	PT	PS	PM	PB	PM	PS	PT
NM	ZE	PT	PS	PM	PS	PT	ZE
NS	ZE	ZE	PT	PS	PT	ZE	ZE
ZE	ZE	ZE	ZE	PT	ZE	ZE	ZE
PS	ZE	ZE	PT	PS	PT	ZE	ZE
PM	ZE	PT	PS	PM	PS	PT	ZE
PB	PT	PS	PM	PB	PM	PS	PT



Hình 5.23. Mặt đồ khi n m ch nh nh h s K_D'

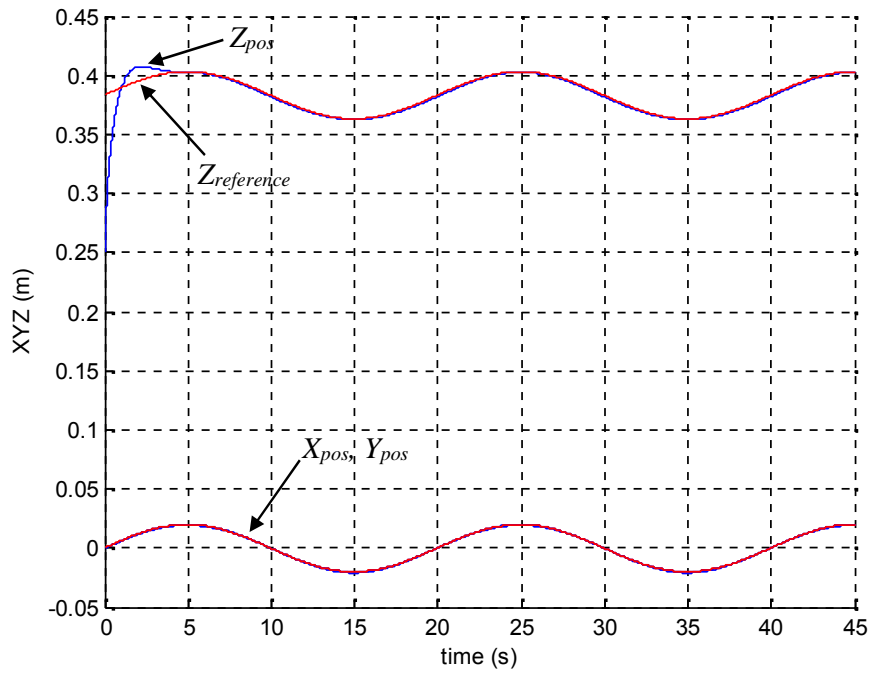
Bảng 5.4. Lu t h p thành m h s - B i u khi n t ch nh nh Fuzzy-PID.

$e(t) / e(t)$	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	PT	PS	PM	PB	PM	PS	PT
NM	ZE	PT	PS	PM	PS	PT	ZE
NS	ZE	ZE	PT	PS	PT	ZE	ZE
ZE	ZE	ZE	ZE	PT	ZE	ZE	ZE
PS	ZE	ZE	PT	PS	PT	ZE	ZE
PM	ZE	PT	PS	PM	PS	PT	ZE
PB	PT	PS	PM	PB	PM	PS	PT

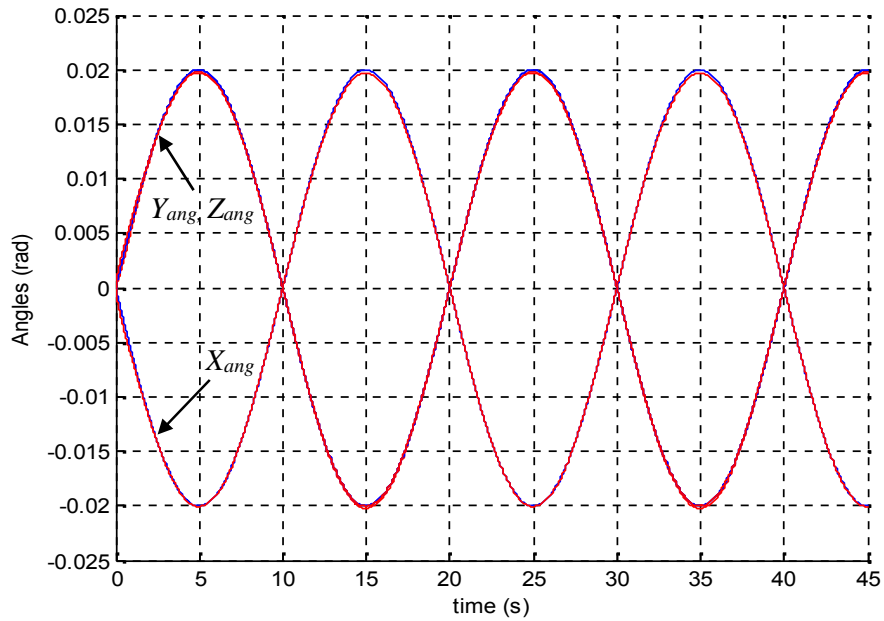


Hình 5.24. M t i u khi n m ch nh nh h s

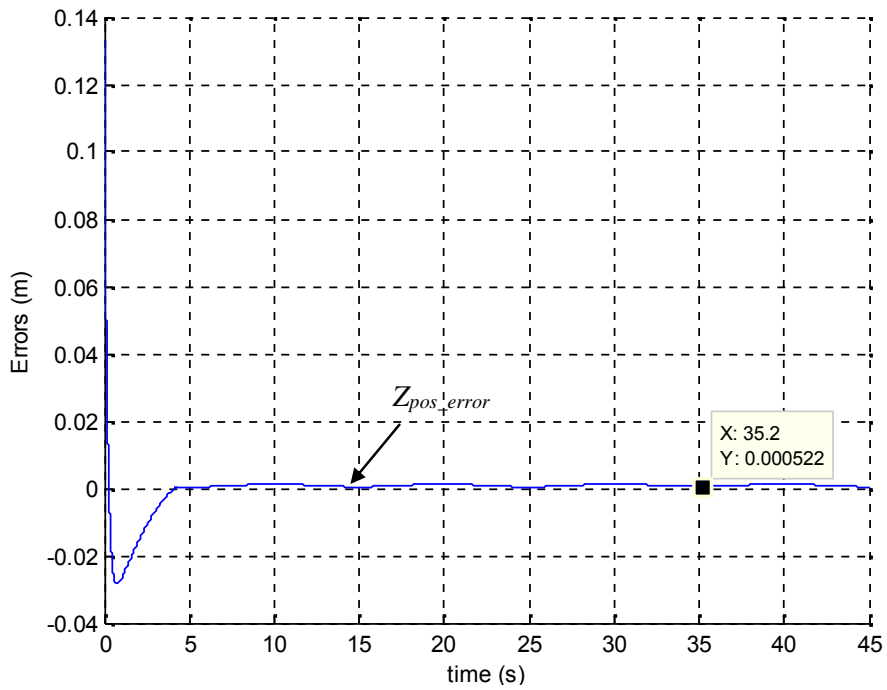
Ti n hành kh o sát h th ng v i b i u khi n t ch nh nh Fuzzy-PID v i cùng i u ki n và thông s kh o sát nh tr ng h p 5.1.1. K t qu cho th y các áp ng, sai s chuy n ng c a tâm khâu (hình 5.25-hình 5.30) và các tiêu chu n ch t l ng c a b i u khi n (b ng 5.5) c c i thi n áng k m t cách chung nh t so v i tr ng h p ch dùng b i u khi n PID kinh i n ho c b i u khi n m tr c tí p.



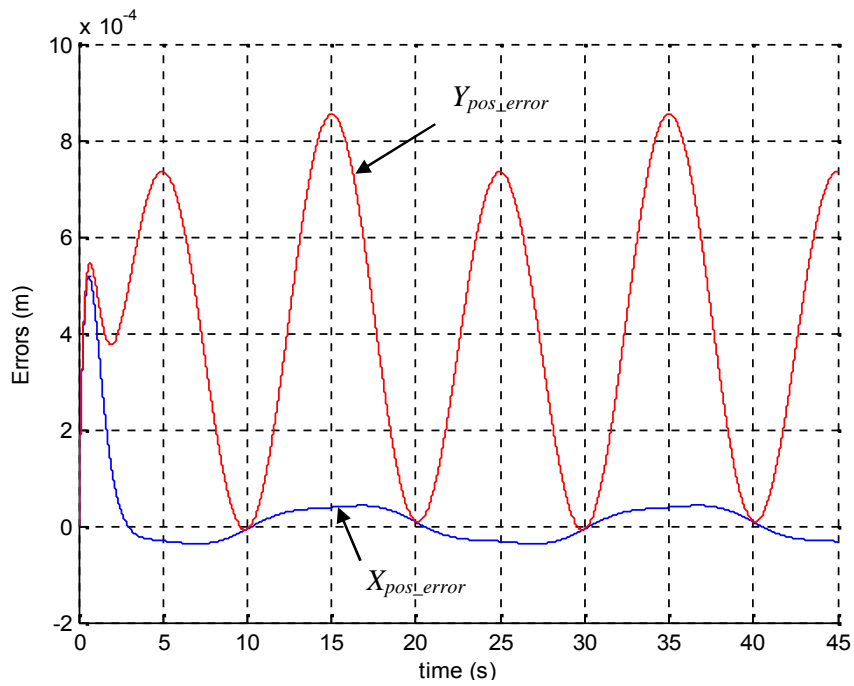
Hình 5.25. Chuyển động vị trí của tâm khâu – Mô phỏng bằng bộ điều khiển Fuzzy-PID



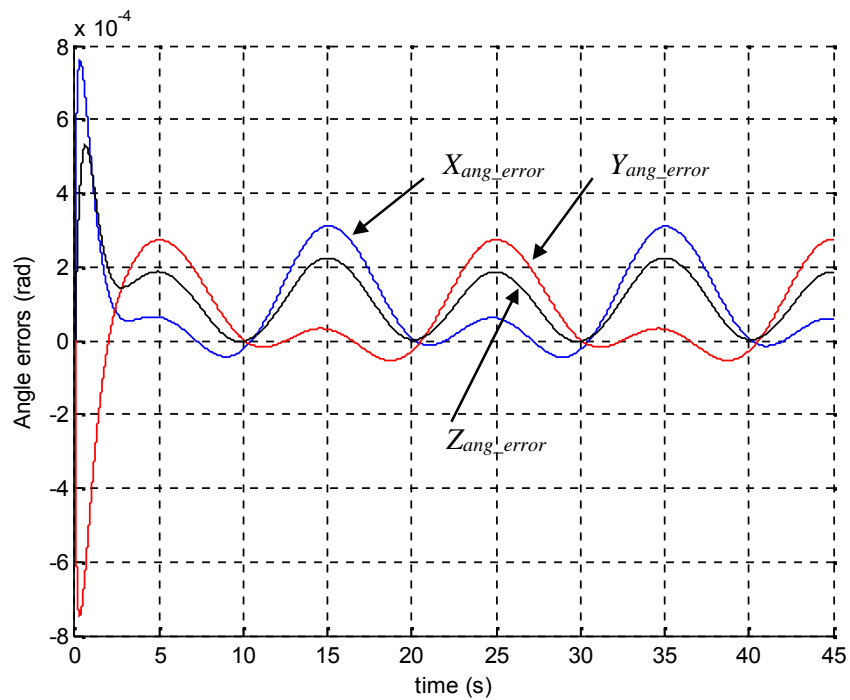
Hình 5.26. Chuyển động góc khâu của tâm khâu – Mô phỏng bằng bộ điều khiển Fuzzy-PID



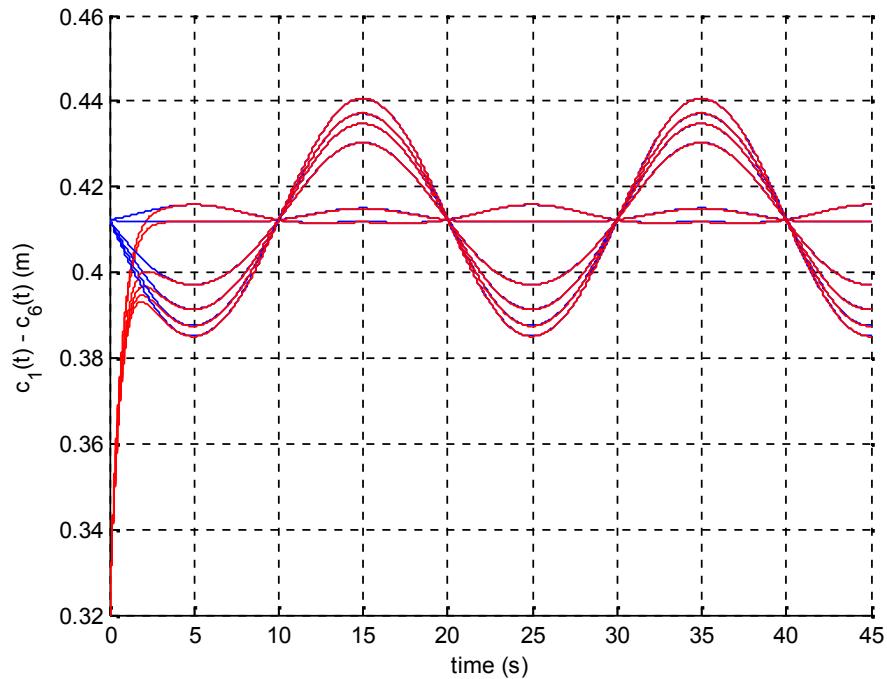
Hình 5.27. Sai số vị trí (trục Z) của tâm khâu – Mô phỏng khi dùng Fuzzy-PID



Hình 5.28. Sai số vị trí (trục X, Y) của tâm khâu – Mô phỏng khi dùng Fuzzy-PID



Hình 5.29. Sai số góc hàng ca tâm khâu – Mô phỏng khi dùng Fuzzy-PID



Hình 5.30. Đáp ứng của các chân dẫn ng – Mô phỏng khi dùng Fuzzy-PID

Từ các kết quả khảo sát ở mục 5.1.1 và mục 5.1.2, có thể nhận thấy rằng các tiêu chuẩn chất lượng của hệ thống vị trí dùng khi dùng Fuzzy-PID đã cải thiện trên các số liệu các tham số vị trí dùng khi dùng PID và dùng khi dùng mô phỏng.

Bảng 5.5. Tiêu chuẩn chất lượng hệ thống – Mô phỏng hệ thống

Tiêu chuẩn chất lượng	PID	Direct Fuzzy-PD	Fuzzy-PID
Độ lệch (POT) (%)	10,57	0	5
Sai số xác lập (e_{xl}) theo vị trí (m)	1.10^{-3}	$0,84.10^{-3}$	$0,84.10^{-3}$
Sai số xác lập (e_{xl}) theo góc nghiêng (rad)	$1,1.10^{-3}$	$0,5.10^{-3}$	$0,32.10^{-3}$
Thời gian xác lập (t_{xl}) (s)	4,5	6,5	3,9
Thời gian lên (t_{rise}) (s)	0,17	0,45	0,41

So sánh hệ thống PID, độ lệch của hệ thống Fuzzy-PID giảm tới 10,57% xuống còn 5%. Khoảng sai số xác lập theo vị trí giảm tới 1.10^{-3} m xuống còn $0,84.10^{-3}$ m. Giá trị này có kết quả tương đương với vị trí hệ thống dừng bằng hệ thống mờ trực tiếp. Ngoài ra, chuyển động theo góc nghiêng có khoảng sai số là nhỏ nhất so với hai hệ thống dừng bằng hệ thống PID và hệ thống mờ trực tiếp.

Khi xem xét kết quả đáp ứng của hệ thống, thời gian xác lập của hệ thống Fuzzy-PID có giá trị $t_{xl} = 3,9$ s. Giá trị này cho thấy hệ thống Fuzzy-PID có khả năng xác lập nhanh hơn so với hệ thống PID ($t_{xl} = 4,5$ s) và hệ thống mờ trực tiếp ($t_{xl} = 6,5$ s). Bên cạnh đó, thời gian lên của hệ thống cũng ngắn hơn so với vị trí hệ thống dừng bằng hệ thống mờ trực tiếp (t_{rise} giảm tới 0,45 s xuống còn 0,41 s).

Có thể thấy rằng các tiêu chuẩn chất lượng của hệ thống đã được cải thiện thông qua việc dùng các luật hệ thống mờ để điều chỉnh các tham số K_P, K_I, K_D của hệ thống PID kinh nghiệm theo sự biến thiên của $e(t)$ và $\dot{e}(t)$. Tất cả các chỉ tiêu chất lượng của hệ thống được nâng cao một cách đáng kể trong quá trình hệ thống chuyển động của tay máy song song kiểu Stewart Platform.

5.1.4 Nhận xét về các hệ thống.

Qua kết quả mô phỏng, có thể thấy rằng hệ thống PID với các tham số K_P, K_I, K_D đã chọn có tính ổn định, các tiêu chuẩn chất lượng của hệ thống chấp nhận được và đáp ứng yêu cầu kỹ thuật. Bên cạnh đó, hệ thống mờ trực tiếp phù hợp cho quá trình chuyển động của tay máy song song kiểu Stewart Platform.

Hệ thống mờ trực tiếp (Direct Fuzzy-PD) với luật hệ thống mờ đã chọn có khả năng cải thiện chất lượng hệ thống PID về các tiêu chuẩn như độ lệch, sai số xác

l p. Tuy nhiên b i u khi n m tr c ti p l i có h n ch v th i gian áp ng c a h th ng. i v i các bài toán yêu c u u tiên v v t l và chính xác (sai s xác l p) và không ph thu c nhi u n th i gian xác l p thì b i u khi n m tr c ti p c xem là phù h p và có tính linh ho t h n so v i b i u khi n PID.

i v i b i u khi n t ch nh nh Fuzzy-PID, k t qu cho th y các tiêu chu n ch t l ng c a h th ng c c i thi n ng th i và t giá tr t i u h n so v i b i u khi n PID và b i u khi n m tr c ti p. B i u khi n Fuzzy-PID có tính n nh và áp ng nhanh ng th i có v t l và sai s xác l p nh trong quá trình i u khi n chuy n ng c a tay máy song song ki u Stewart Platform. ây chính là i m t i u hóa c a b i u khi n Fuzzy-PID so v i b i u khi n PID và b i u khi n m tr c ti p.

Các k t qu nghiên c u mô ph ng áp d ng các ph ng pháp và gi i thu t i u khi n cho mô hình tay máy song song ki u Stewart-Gough Platform có ý ngh a quan tr ng trong vi c nh h ng l a ch n và ng d ng các gi i thu t t i u cho h th ng th c nghi m.

Các k t qu trên ã c công b công trình s [CTTG-4] c a tác gi .

Các k t qu kh o sát và c i ti n b i u khi n s c ki m ch ng b ng th c nghi m trên mô hình v t lý ph n ti p theo.

5.2 i u khi n tay máy song song trên c s t i u hóa thi t k tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform

Ph n này trình bày k t qu th c nghi m trên mô hình v t lý nh m m c ích ki m ch ng các k t qu kh o sát và c i ti n b i u khi n t m c 5.1. Thu t toán i u khi n PID và thu t toán i u khi n t ch nh nh Fuzzy-PID s c l n l t áp d ng cho các b i u khi n tr c ti p (Slave) c a các chân d n ng. Các thu t toán này s c áp d ng v i c u hình th c nghi m (hình 4.15 b), chuy n ng tham chi u và các thông s i u khi n nh m c 5.2.1 và 5.2.2. Các chuy n ng tham chi u c gi i h n trong ph m vi thông s k thu t c a mô hình c khí (b ng 4.1) và vùng làm vi c c a c u hình th c nghi m (hình 4.14 d).

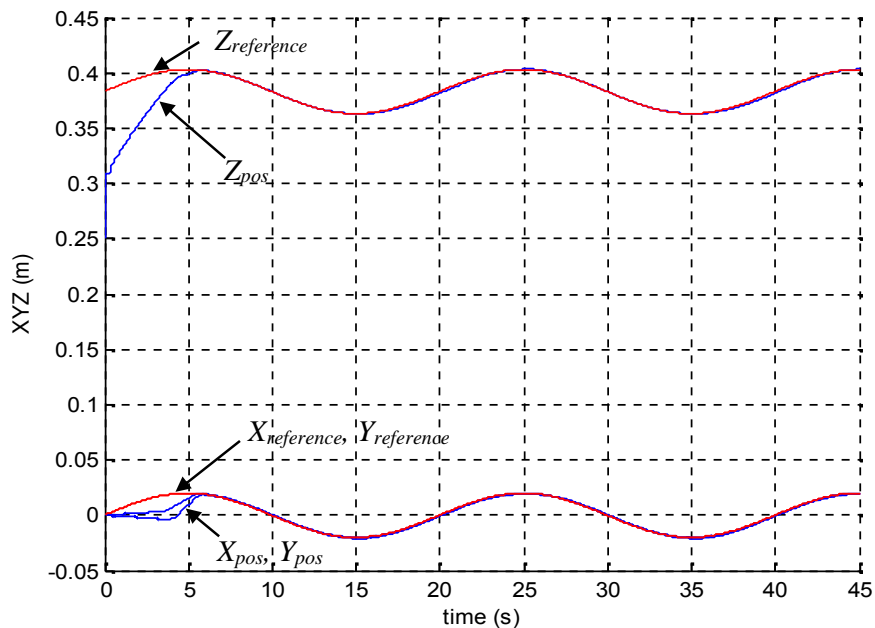
Các tiêu chí ch t l ng c a b i u khi n s c ánh giá theo các áp ng quá , sai s chuy n ng c a tâm khâu và quá trình ph i h p chuy n ng gi a các chân d n ng thành ph n c a tay máy song song. Các áp ng quá , sai s chuy n ng c a tâm khâu c n i suy b ng cách gi i bài toán ng h c thu n (m c 1.2.2.2) t giá tr chi u dài th c t o c c a các chân d n ng. B ng t ng h p k t qu nghiên c u th c nghi m

các tiêu chuẩn chất lượng về vị trí các biên độ khi khác nhau trong luận án trình bày chi tiết trong phần 5. Kết quả thực nghiệm các áp dụng quá thành phần của các chân d n ng v i các b i u khi n khác nhau trình bày chi tiết trong phần 6 của luận án.

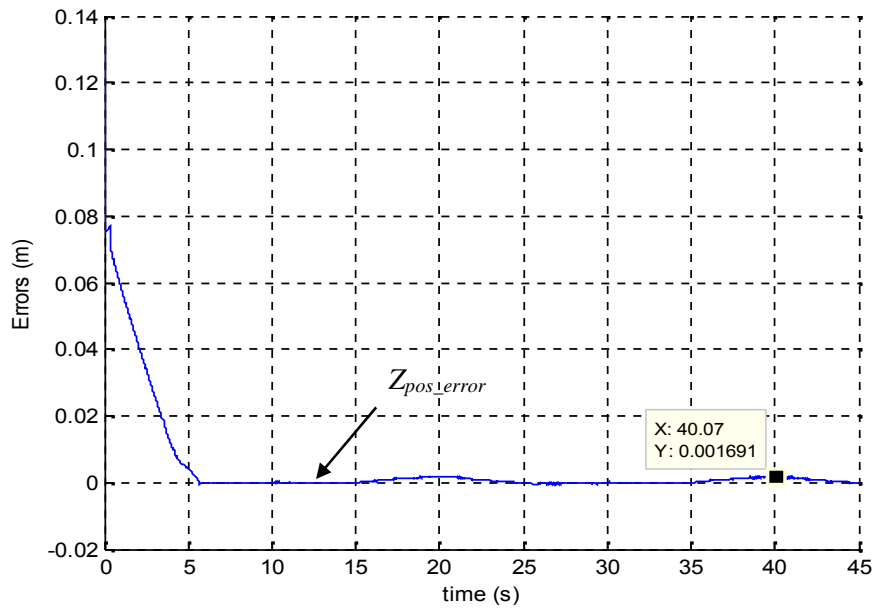
5.2.1 B i u khi n PID

Áp dụng thuật toán PID cho mô hình thực nghiệm (hình 4.16) về vị trí biên độ khi khác nhau như hình 4.8. Theo phương pháp Ziegler-Nichols [23], [40] và phương pháp auto-tuning [2] trong quá trình thực nghiệm, các thông số của biên độ khi n PID cho mô hình thực nghiệm tác dụng như sau: $K_P = 8,5$, $K_I = 0,005$, $K_D = 0,02$.

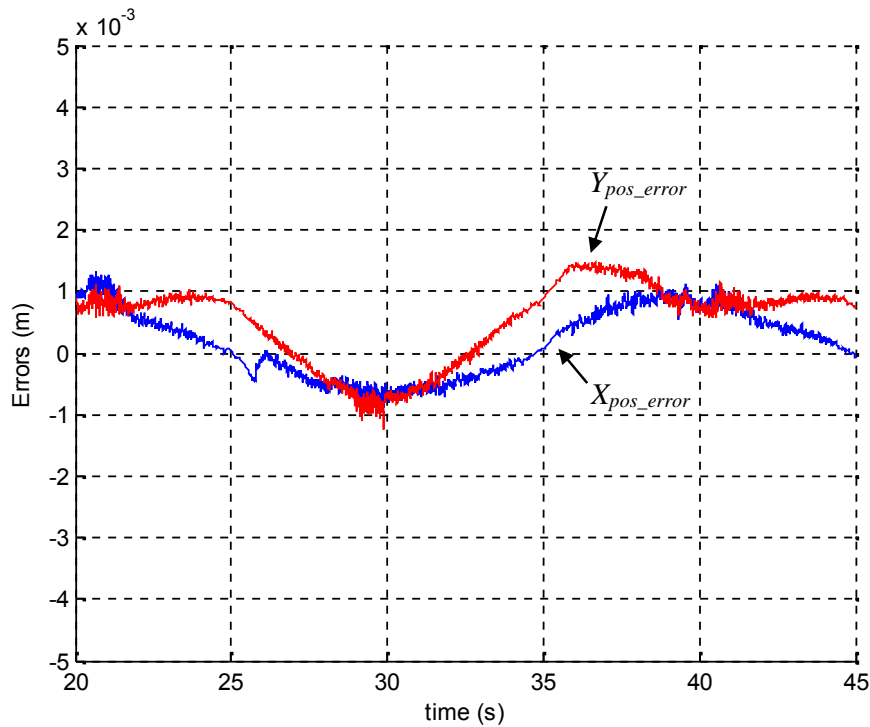
Trong quá trình biên độ khi n theo thời gian thực, chiều dài thời gian các chân d n ng o t các encoder thực tế ghi nhận và biên độ hình 5.35. Kết quả suy ra về áp dụng quá và sai lệch chuyển động của tâm khâu thực tế như hình 5.31 và hình 5.34. Các tiêu chuẩn chất lượng của hệ thống trình bày trong bảng 5.6.



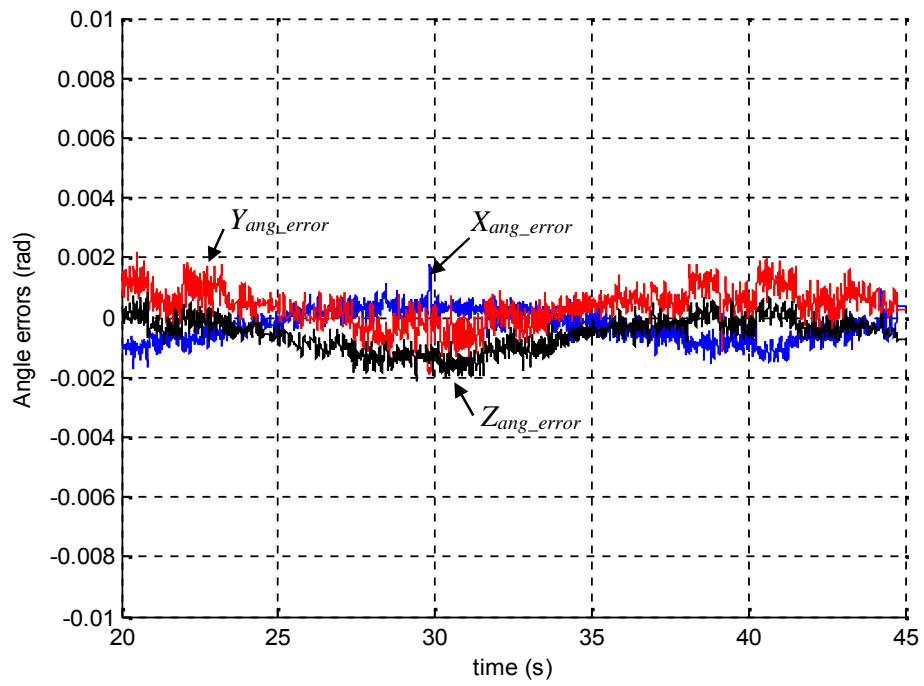
Hình 5.31. Chuyển động vị trí của tâm khâu – Thực nghiệm biên độ khi n PID



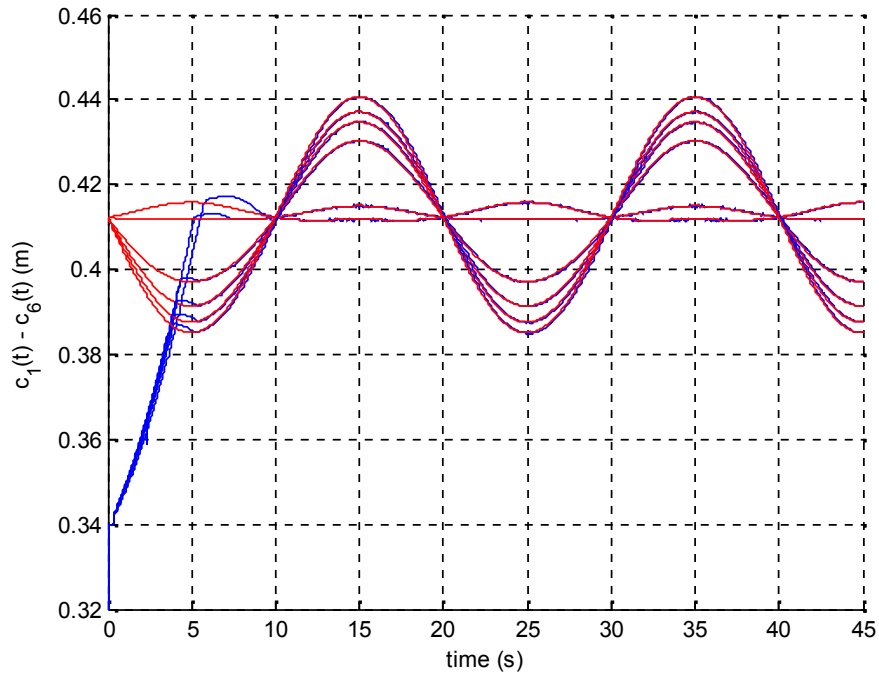
Hình 5.32. Sai số vị trí (trục Z) của tâm khâu – Thử nghiệm bước u khi n PID



Hình 5.33. Sai số xác lập (trục X, Y) của tâm khâu – Thử nghiệm bước u khi n PID



Hình 5.34. Sai số góc hàng c a tâm khâu – Th c nghi m b i u khi n PID



Hình 5.35. áp ng c a các chân d n ng – Th c nghi m b i u khi n PID

Bảng 5.6. Tiêu chuẩn chất lượng hệ thống – Bộ điều khiển PID

Tiêu chuẩn chất lượng	Mô phỏng	Thực nghiệm
overshoot (POT) (%)	10,57	0
Sai số xác lập (e_{xl}) theo vị trí (m)	1.10^{-3}	$1,7.10^{-3}$
Sai số xác lập (e_{xl}) theo góc nghiêng (rad)	$1,1.10^{-3}$	2.10^{-3}
Thời gian xác lập (t_{xl}) (s)	4,5	5,7
Thời gian lên (t_{rise}) (s)	0,17	3,7

Kết quả thực nghiệm cho thấy, đáp ứng chuyển động theo vị trí của tâm khâu (hình 5.31) không có overshoot ($POT = 0\%$) so với kết quả mô phỏng ($POT = 10,57\%$). Sai số xác lập theo vị trí và góc nghiêng của tâm khâu khá nhỏ và tương đương với kết quả mô phỏng. Theo ghi nhận thực tế của chân đế động ($v_{max} = 16 \text{ mm/s}$), mô hình tay máy thực nghiệm là có đáp ứng nhanh với thời gian xác lập $t_{xl} = 5,7 \text{ s}$, thời gian lên $t_{rise} = 3,7 \text{ s}$ với khoảng dịch chuyển (75 mm) trong quá trình quá độ. Có thể thấy rằng, bộ điều khiển PID với các hệ số K_P, K_I, K_D thực nghiệm đã chọn có tính ổn định, các tiêu chuẩn chất lượng của hệ thống chấp nhận được.

Có thể khẳng định bộ điều khiển PID với các thông số đã chọn có chất lượng điều khiển tốt và phù hợp cho mô hình thực nghiệm tay máy song song. Như vậy, các tiêu chuẩn chất lượng của hệ thống đáp ứng các yêu cầu vận hành, tức là đáp ứng nhanh và sai số xác lập của bộ điều khiển PID đã được kiểm chứng bằng các kết quả thực nghiệm trên mô hình tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform.

Trên thực tế, do sai số xác lập dao động theo chuyển động tham chiếu (hình 5.32, hình 5.33, hình 5.34) nên tay máy có hiện tượng rung lắc trong quá trình điều khiển. Ngoài ra, khi xem xét quá trình phân phối gia tốc các chân đế động (hình 5.35), ta có thể thấy rằng quá trình xác lập của các chân đế động không đồng nhất. Điều này gây ra hiện tượng gia tốc gia các chân đế động, gây mất an toàn cho kết cấu cơ khí và bộ điều khiển. Các hạn chế về sai số xác lập và hiện tượng phân phối chuyển động gia tốc các khớp nối cần được nghiên cứu tiếp theo với bộ điều khiển thích nghi Fuzzy-PID.

5.2.2 B i u khi n t ch nh nh Fuzzy-PID

Nh ã trình bày m c 5.1.1 và m c 5.2.1, m t trong nh ng h n ch c a khâu PID là các h s K_P , K_I , K_D không thay i trong quá trình i u khi n. Vì v y, các tiêu chu n ch t l ng c a h th ng (v t l , sai s xác l p) th ng không t k t qu t t nh t và quá trình ph i h p gi a các chân d n ng ch a ng b . B i u khi n t ch nh nh Fuzzy-PID là m t l a ch n t t h n c i thi n các h n ch nêu trên d a theo s k t h p các u i m c a b i u khi n m và b i u khi n PID. Các k t qu mô ph ng trình bày m c 5.1.3 cho th y, b i u khi n t ch nh nh Fuzzy-PID cho k t qu c i thi n rõ r t v áp ng quá . Ph n này s trình bày các k t qu th c nghi m b i u khi n t ch nh nh Fuzzy-PID cho tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform.

Ti n hành áp d ng thu t toán t i u hóa b i u khi n Fuzzy-PID ã kh o sát m c 5.1.3. Các thông s th c nghi m c xác nh theo [25], [50], [102] nh sau:

$$K_{Pmin} = 3; K_{Pmax} = 15; K_{Dmin} = 0,01; K_{Dmax} = 0,1;$$

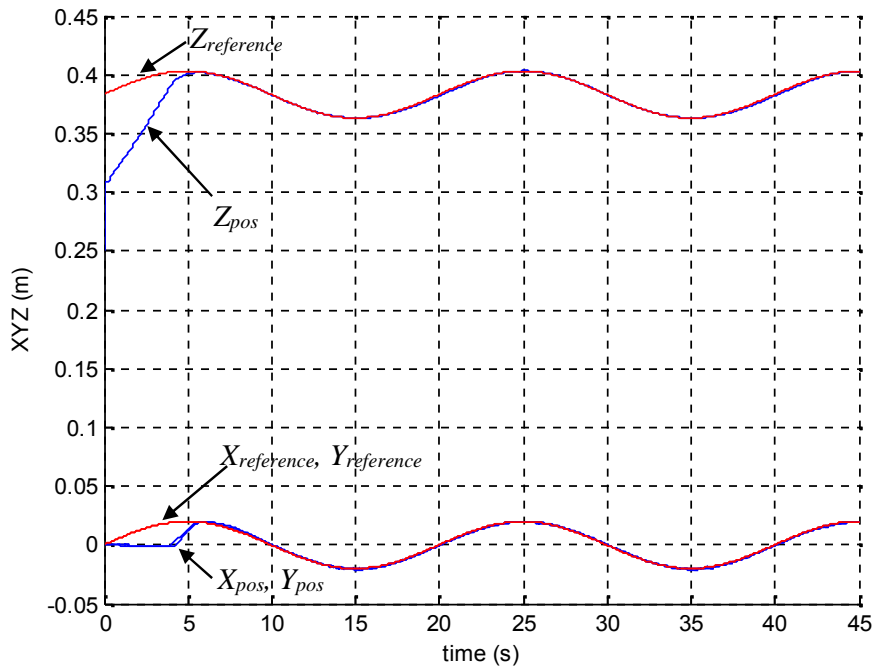
Tuy n tính hóa các h s K_P , K_I , K_D nh m c 5.1.3, ta có:

$$K_P = (K_{Pmax} - K_{Pmin}) \cdot K'_P + K_{Pmin},$$

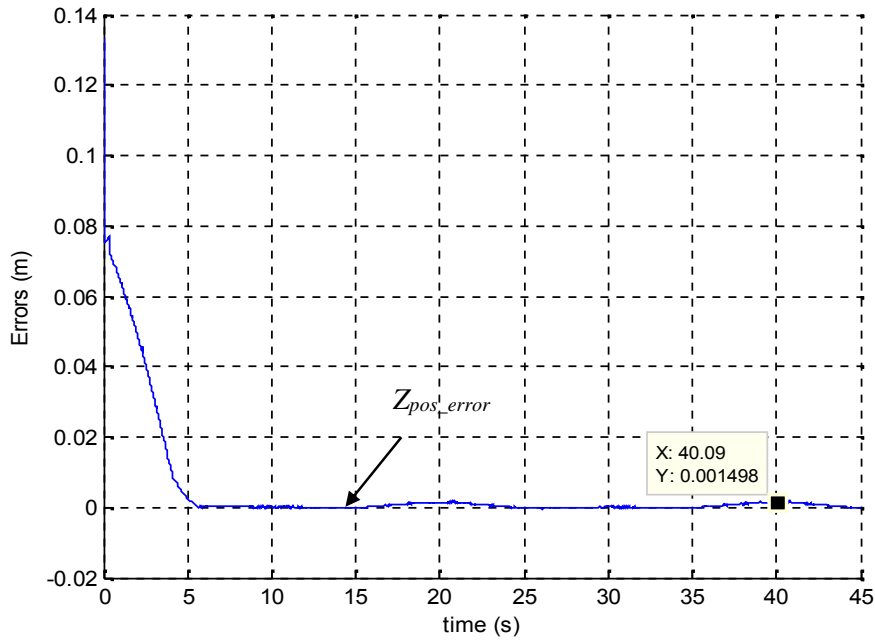
$$K_D = (K_{Dmax} - K_{Dmin}) \cdot K'_D + K_{Dmin}, K_I = K_P^2 / (S \cdot K_D),$$

Trong ó K'_P, K'_D c xác nh t các lu t i u khi n m (b ng 5.2, b ng 5.3) và có giá tr chu n hóa trong kho ng $[0,1]$, $S = T_I / T_D \in [1,1000]$ s c xác nh d a vào vi c ch nh nh tham s K_P, K_D (b ng 5.4). Hàm liên thu c c a K_P, K_D và c xác nh có d ng tam giác, các bi n ngôn và m t i u khi n th hi n nh m c 5.1.3.

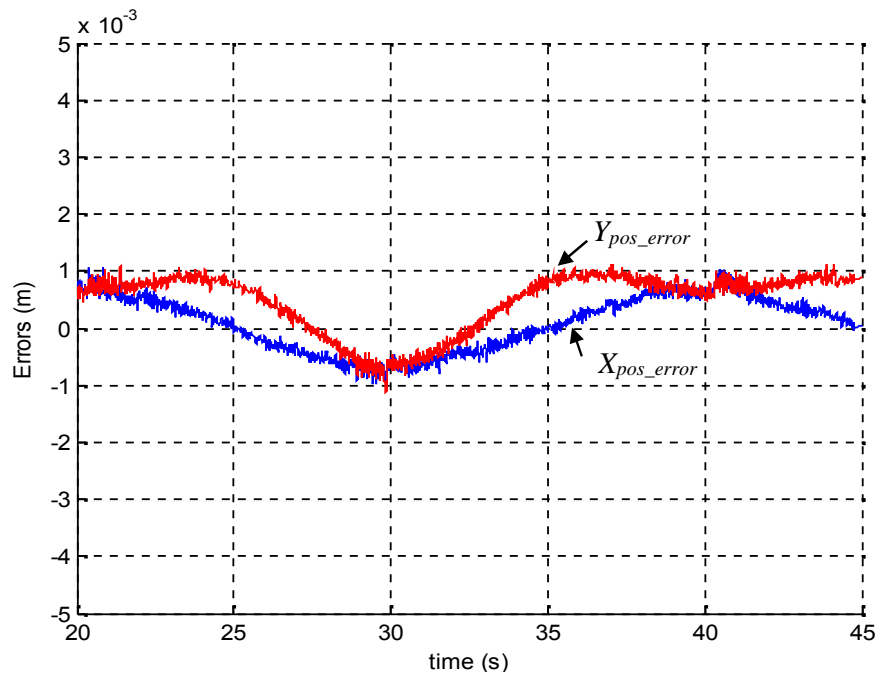
Chi u dài th c t các chân d n ng c th hi n hình 5.40. K t qu n i suy v i áp ng quá và sai s chuy n ng c a tâm khâu c th hi n t hình 5.36 n hình 5.39. Các tiêu chu n ch t l ng th c nghi m c a h th ng c trình bày t i b ng 5.7.



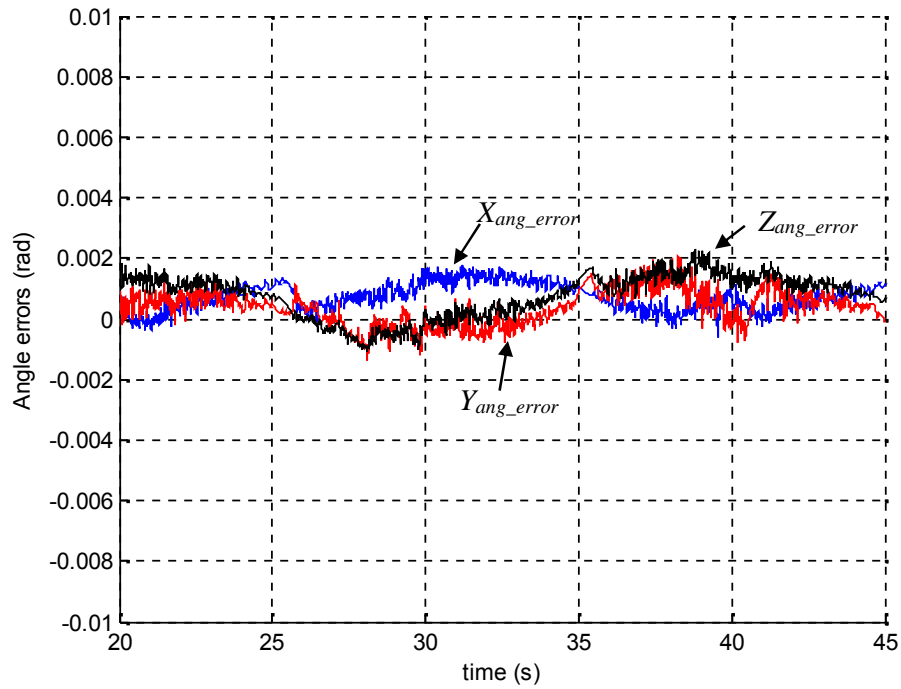
Hình 5.36. Chuyển động vị trí ca tâm khâu – Thử nghiệm bước đầu khi dùng Fuzzy-PID



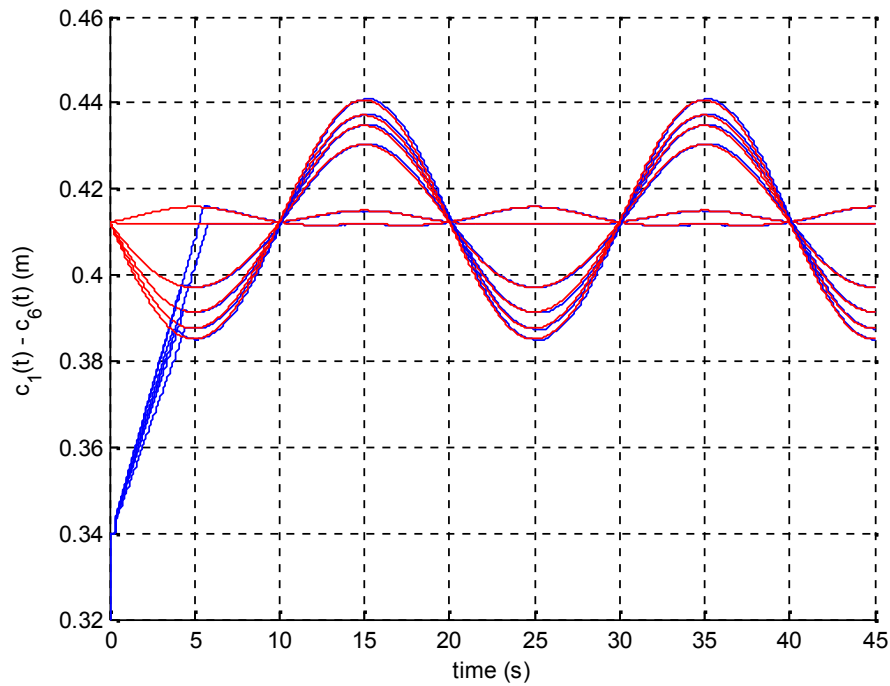
Hình 5.37. Sai số vị trí (trục Z) ca tâm khâu – Thử nghiệm bước đầu khi dùng Fuzzy-PID



Hình 5.38. Sai số vị trí (trục X, Y) của tâm khâu – Thử nghiệm bước i u khi n Fuzzy-PID



Hình 5.39. Sai số góc hướng của tâm khâu – Thử nghiệm bước i u khi n Fuzzy-PID



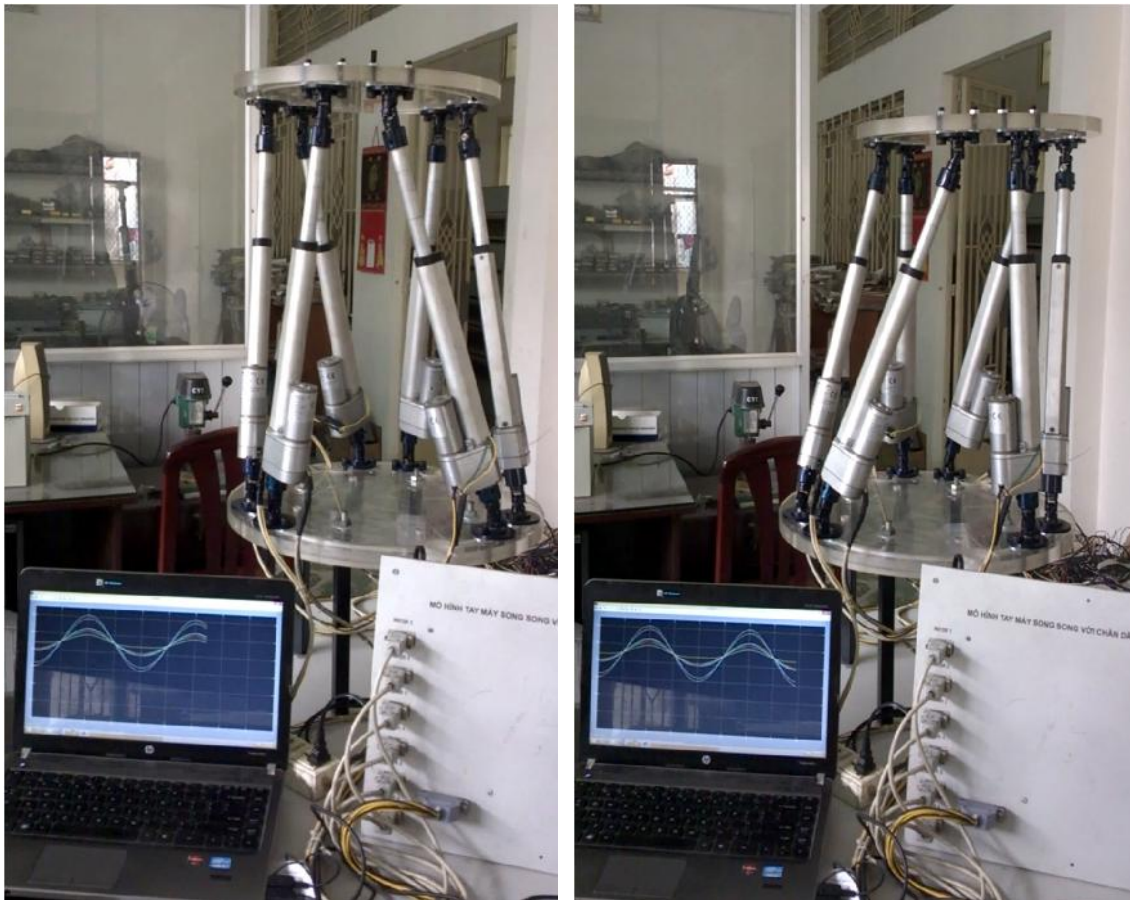
Hình 5.40. Đáp ứng của các chân đòn ngang – Thử nghiệm bước i u khi n Fuzzy-PID

Bảng 5.7. Tiêu chuẩn chất lượng hệ thống – B i u khi n Fuzzy-PID

Tiêu chuẩn chất lượng	Mô phỏng	Thử nghiệm
vọt l (POT) (%)	5	0
Sai số xác lập (e_{xl}) theo vị trí (m)	$0,84 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
Sai số xác lập (e_{xl}) theo góc nghiêng (rad)	$0,32 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$
Thời gian xác lập (t_{xl}) (s)	3,9	5,7
Thời gian lên (t_{rise}) (s)	0,41	3,7

Kết quả thử nghiệm cho thấy chuyển động theo vị trí của tâm khâu không có vọt l (POT = 0%) (hình 5.36) và sai số xác lập của tâm khâu c c i thi n áng k so v i tr ãng h p ùng b i u khi n PID. Các sai số chuyển động giảm từ $1,7 \cdot 10^{-3}$ m xuống còn $1,5 \cdot 10^{-3}$ m theo trục Z và từ $1,5 \cdot 10^{-3}$ m xuống còn $1 \cdot 10^{-3}$ m theo trục X, Y (hình 5.37, hình 5.38). Khoảng sai số xác lập theo góc nghiêng giảm từ $2 \cdot 10^{-3}$ rad xuống còn $1,7 \cdot 10^{-3}$ rad (hình 5.39) và thời gian xác lập và thời gian lên có giá trị tăng lên so với trường hợp b i u khi n PID. Như các giá trị của sai số xác lập giảm đi đáng kể nên quá trình chuyển động của tay máy trong thực tế sẽ đạt được độ chính xác cao và ổn định trong quá trình vận hành.

Ngoài ra, có thể nhận thấy rằng quá trình phi hình chuyển động giữa các khớp của bộ điều khiển thích nghi Fuzzy-PID đã được cải thiện đáng kể. Trong quá trình quá độ, chuyển động của các khớp được đồng bộ hóa và không có va chạm trong trường hợp sử dụng bộ điều khiển PID (hình 5.40). Điều này chứng minh sự phi hình chuyển động và đồng bộ giữa các khớp trong quá trình điều khiển chuyển động của tay máy song song (hình 5.41), đặc biệt là trong các trường hợp có sự thay đổi đột ngột của tín hiệu điều khiển.



Hình 5.41. Quá trình điều khiển tay máy song song - Bộ điều khiển Fuzzy-PID

Kết quả thực nghiệm mô phỏng 5.2.1 và 5.2.2 cho thấy bộ điều khiển kinh điển PID đã được tối ưu hóa thông qua việc kết hợp lý thuyết điều khiển mờ với các hệ thống điều khiển kinh điển PID. Các chỉ tiêu va chạm được giảm thiểu đáng kể thông qua việc áp dụng phương pháp tối ưu toàn cục cho quá trình điều khiển chuyển động của tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform.

Kết quả cho thấy mô phỏng khác biệt về đáp ứng của hệ thống thực nghiệm (mô phỏng 5.2.1, 5.2.2) và kết quả mô phỏng (mô phỏng 5.1.1, 5.1.3). Các đáp ứng của hệ thống trên mô hình thực nghiệm có va chạm (POT) thấp hơn trong khi thời gian xác lập (t_{xl}) lớn hơn so

vị trí quy mô phôi trên máy tính. Điều này có lý gì do mô hình tay máy thực tế có các sai số về vị trí và bố trí hình vị trí chuyển động so với mô hình trên máy tính.

Vì vậy nên là, áp dụng và so sánh kết quả điều kiện các thuật toán khác thông qua hình thức thực nghiệm tối ưu hóa điều kiện tay máy song song kiểu Stewart-Gough Platform của tác giả tiếp tục nghiên cứu sau.

Các kết quả khảo sát trên mô hình thực nghiệm (chương 4 và chương 5) đã kiểm chứng tính chính xác, độ bền và mang tính hình thức các kết quả nghiên cứu tối ưu hóa thiết kế và điều kiện tay máy song song kiểu Stewart-Gough Platform trình bày trong luận án.

Các kết quả trên đã công bố công trình số [CTTG-5], [CTTG-6] của tác giả.

5.3 Quy trình nghiên cứu kết quả luận án cho hình thức

Các kết quả nghiên cứu mục 4.2 và 5.2 cho thấy tính khả thi trong việc nghiên cứu các phương pháp tối ưu hóa thiết kế và điều kiện tay máy song song kiểu Stewart-Gough Platform cho các mô hình thực tế. Các giả thiết tối ưu hóa nêu trên áp dụng theo một quy trình với các hướng dẫn thực sự giúp các nhà nghiên cứu thực hiện quá trình thiết kế và chế tạo tay máy song song với hiệu suất linh hoạt trong thời gian ngắn.

Tác giả xuất phát quy trình nghiên cứu tối ưu hóa thiết kế và điều kiện cho tay máy song song kiểu Stewart-Gough Platform. Quy trình thực hiện như sau:

Bước 1: Xác định yêu cầu thiết kế (vùng không gian làm việc, các cấu hình làm việc vị trí góc hướng tâm khâu thay đổi, công suất...). Tiếp theo, cần xác định các tiêu chí thiết kế và thứ tự ưu tiên của chúng. Điều kiện các nghiên cứu trong thiên văn học, y học (hình 1.8, hình 1.9 và hình 1.10), tay máy song song thế hệ mới chính xác và không gian làm việc lớn hơn công suất. Trong trường hợp này thứ tự ưu tiên (1)-(2)-(3) (mục 3.3.3) sẽ là phương pháp phù hợp cho quá trình tối ưu hóa thiết kế. Trong khi đó, với các nghiên cứu gia công khí, máy công cụ, sản xuất, dịch vụ (hình 1.5, hình 1.7, hình 1.11 và hình 1.16), thì tiêu chí về công suất và tốc độ chuyển động của tay máy song song sẽ chú trọng nhiều hơn.

Bước 2: Dựa trên yêu cầu thực tế, tiến hành tối ưu hóa thiết kế. Các thuật toán tối ưu hóa thiết kế đã trình bày trong luận án như thuật toán di truyền GA, thuật toán PSI, thuật toán kết hợp GA-PSI có thể áp dụng xác định cấu hình thiết kế phù hợp mô

các tiêu chí và thông số họ t ã tra. Các giá trị thu được từ quá trình nghiên cứu và trình bày trong luận án này có thể áp dụng cho các phương pháp điều khiển các tiêu chí điều khiển khác nhau: tốc độ chuyển động, khả năng thích nghi, giá trị chuyển động,...

Vì các cấu hình tay máy được xác định sau quá trình điều khiển thực nghiệm, các nhà nghiên cứu có thể ứng dụng công cụ mô hình hóa tay máy công nghiệp khảo sát, đánh giá và phân tích các ràng buộc, các tiêu chí họ t ã cho cấu hình tay máy song song trên máy tính. Điều này sẽ giúp các nhà nghiên cứu xem xét sự phù hợp công nghiệp của các thông số của tay máy trước khi triển khai thực hiện xây dựng mô hình vật lý.

Bảng 3: Điều khiển bằng cách điều chỉnh các tham số toán học. Vì các tham số toán học điều khiển phải phù hợp với các yêu cầu và tiêu chuẩn chất lượng của hệ thống như vật lý, thời gian xác lập, thời gian lên, sai số xác lập,.... Ví dụ: điều khiển vận tốc thiên văn học, y học,.... thuật toán Direct Fuzzy-PID là một cách điều khiển phù hợp với yêu cầu không có vật lý, thuật toán Fuzzy-PID cho phép các hệ thống có đáp ứng nhanh, vật lý rất phù hợp với các hệ thống gia công khí, máy công cụ, sản xuất, dịch vụ ...

Bảng 4: Kiểm tra bằng mô phỏng và thực nghiệm.

5.4 Kết luận chương 5

Chương 5 đã trình bày kết quả khảo sát bằng mô phỏng các bộ điều khiển kinh điển PID, bộ điều khiển mờ thích nghi và bộ điều khiển thích nghi Fuzzy-PID. Bộ điều khiển PID được xem là phù hợp cho quá trình chuyển động của tay máy song song với tính toán, các tiêu chuẩn chất lượng của hệ thống chấp hành và các tham số điều khiển. Bộ điều khiển mờ thích nghi có khả năng điều chỉnh thích nghi so với bộ điều khiển PID và các tiêu chuẩn như vật lý, sai số xác lập nhỏ hơn nhiều so với thời gian đáp ứng của hệ thống. Bộ điều khiển mờ thích nghi được xem là phù hợp và có tính linh hoạt hơn so với bộ điều khiển PID vì các bài toán yêu cầu ưu tiên về vật lý và chính xác. Bộ điều khiển thích nghi Fuzzy-PID có các tiêu chuẩn chất lượng của hệ thống điều khiển hóa mặt cách ứng dụng so với bộ điều khiển PID và bộ điều khiển mờ thích nghi.

Kết quả thực nghiệm trên cấu hình điều khiển thực nghiệm cho thấy bộ điều khiển PID và các hệ số K_P , K_I , K_D đã chọn có tính toán, các tiêu chuẩn chất lượng của hệ thống chấp hành và các tham số vật lý phù hợp với mô hình vật lý. Bộ điều khiển PID có hiện tượng rung lắc trong quá trình điều khiển và quá trình xác lập của các chân động không đồng nhất. Bộ

điều khiển thích nghi Fuzzy-PID có các chỉ tiêu chất lượng cao hơn các điều khiển mô tả cách toàn diện và khả năng thích nghi với các điều kiện vận hành của điều khiển PID.

Các kết quả khảo sát trên mô hình thực nghiệm (chương 4 và chương 5) đã kiểm chứng mô tả cách tin cậy, hiệu quả và mang tính hiệu quả các kết quả nghiên cứu tối ưu hóa thích nghi và điều khiển tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform trình bày trong luận án.

Các kết quả tối ưu hóa điều khiển trong phạm vi chương 5 đã xác định vị trí các khâu cơ cấu. Trong trường hợp tổng quát, mô tả quy trình ứng dụng các kết quả nghiên cứu tối ưu hóa thích nghi và điều khiển cho tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform đã được xây dựng vị trí các khâu cơ cấu.

Các kết quả trên đã được công bố công trình số [CTTG-4]-[CTTG-6] của tác giả.

KẾT LUẬN

Lưu ý rằng, để đạt được nghiên cứu tối ưu hóa cấu hình cơ khí và hệ thống điều khiển trong thiết kế thực tế, cần phải có sự hỗ trợ của các công cụ tính toán và mô phỏng. Các kết quả nghiên cứu đã được trình bày trong các chương trước.

Dựa trên việc nghiên cứu tối ưu hóa thiết kế và điều khiển tay máy song song kiểu Stewart-Gough Platform, lưu ý rằng các kết quả nghiên cứu chính như sau:

1. Xây dựng công cụ mô hình hóa tay máy song song kiểu Stewart-Gough Platform. Phân tích và đánh giá tác động của các ràng buộc (giới hạn chiều dài chân đòn, giới hạn góc khớp, bán kính mặt phẳng nền); xem xét những tiêu chí cần biết như năng suất tích tụ vùng làm việc; xác định các cấu hình suy biến, điểm chết và vùng lân cận, cũng như vận hành cho tay máy song song kiểu Stewart-Gough Platform.
2. Xu hướng nghiên cứu tối ưu hóa thiết kế theo các tiêu chí: giới hạn truy cập GA, thuật toán PSI, thuật toán GA-PSI nhằm nâng cao khả năng hoạt động của tay máy song song. Trong đó thuật toán GA-PSI có khả năng giảm thiểu gian tối ưu hóa thiết kế cho tay máy song song kiểu Stewart-Gough Platform.
3. Xây dựng mô hình thực nghiệm linh hoạt giảm thiểu cơ khí tay máy song song kiểu Stewart-Gough Platform có khả năng thay đổi cấu hình thiết kế và hệ thống điều khiển phân cấp. Lưu ý rằng nghiên cứu tối ưu hóa xác định các cấu hình thực nghiệm tối ưu trên mô hình đã xây dựng. Mô hình này sẽ được dùng làm công cụ kiểm tra các giới hạn điều kiện khác nhau cho quá trình chuyển động của tay máy song song kiểu Stewart-Gough Platform.
4. Xu hướng phát triển nâng cao chất lượng điều khiển hệ thống tay máy song song trên các thuật toán điều khiển kinh điển và điều khiển hiện đại (thuật toán Fuzzy, thuật toán tích hợp như Fuzzy-PID). Áp dụng kiểm nghiệm các giới hạn tối ưu hóa thiết kế và điều khiển vào mô hình thực nghiệm tay máy song song kiểu Stewart-Gough Platform. Cần thực hiện phù hợp với các kết quả mô phỏng trên máy tính và các công nghệ công nghiệp.

KI N NGH V NH NG NGHIÊN C U TI P THEO

- Ti p t c các nghiên c u v t i u hóa thi t k và i u khi n tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform b ng ph ng pháp k t h p các thu t toán tìm ki m ng u nhiên khác và các thu t toán tìm ki m theo biên.
- Gi i bài toán t i u hóa thi t k theo a tiêu chí có tính n t i tr ng.
- Nghiên c u, ng d ng các gi i thu t i u khi n khác trên mô hình th c nghi m.

CÔNG TRÌNH CÔNG BỐ CỦA CÁC TÁC GIẢ

- [CTTG-1] Nguyễn Minh Thành, Lê Hoài Quốc, Nguyễn Xuân Vinh, Nguyễn Ngọc Lâm (2011), “Optimization of Parallel Manipulators Using Genetic Algorithms”, *Hội nghị toàn quốc lần thứ 5 về CNTT, VCM-2010*, tr. 242-247.
Journal of Computer Science and Cybernetics, ISSN: 1813-9663, vol. 27, no. 1, pp. 93-106.
- [CTTG-2] Nguyễn Minh Thành, Lê Hoài Quốc, Nguyễn Xuân Vinh, Nguyễn Ngọc Lâm (2011), “Tiêu Hóa Thiệt Kế Tay Máy Song Song Dùng Giải Thuật Di Truyền Kết Hợp Thuật Heuristic Pareto”, *Hội nghị toàn quốc về robot và Tự động hóa - VCCA-2011*, tr. 207-214.
- [CTTG-3] Nguyễn Xuân Vinh, Nguyễn Minh Thành, Lê Hoài Quốc, Nguyễn Ngọc Lâm (2012), “Xác định Thuật Heuristic Cho Hình Suy Biện Tay Máy Song Song Dùng Lý Thuyết Vết”, *Hội nghị toàn quốc lần thứ 6 về CNTT, VCM-2012*, tr. 754-762.
- [CTTG-4] Nguyễn Xuân Vinh, Nguyễn Minh Thành, Lê Hoài Quốc, Nguyễn Ngọc Lâm (2013), “Giải Thuật Heuristic Tay Máy Song Song Dùng Lý Thuyết Mối Kết Hợp Giải Thuật Di Truyền”, *Hội nghị toàn quốc lần thứ 2 về robot và Tự động hóa - VCCA-2013*, tr. 305-313.
- [CTTG-5] Nguyễn Xuân Vinh, Lê Quốc Hà, Nguyễn Ngọc Lâm, Lê Hoài Quốc, Nguyễn Minh Thành (2014), “Experimental System for the Optimization of the Parallel Manipulator Control”, *Hội nghị toàn quốc lần thứ 7 về CNTT, VCM-2014*, tr. 280-287.
Journal of Computer Science and Cybernetics, ISSN: 1813-9663, vol. 31, no. 2, pp. 83-96.
- [CTTG-6] Nguyễn Xuân Vinh, Nguyễn Ngọc Lâm, Lê Quốc Hà, Lê Hoài Quốc, Nguyễn Minh Thành, (2015), “Optimal Design and Control of a Stewart-Gough Platform”, *7th IEEE International Conferences on Cybernetics and Intelligent Systems (CIS) Robotics, Automation and Mechatronics (RAM), Cambodia*.

CÔNG TRÌNH THAM GIA CỦA CÁC TÁC GIẢ

- [CT T-1] Nguyen Minh Thanh, Victor Glazunov, Tran Cong Tuan, Nguyen Xuan Vinh (2010), “Multi-criteria optimization of the parallel mechanism with actuators located outside working space”, *The 11th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision*, IEEE 2010, Singapore.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A. Calin, T. Muntean (2003), "Determining the Workspace of a Hexapod Machine Tool", *Proceedings of the International Conference on Manufacturing Systems*, Iassy.
- [2] A. Leva, C. Cox, A. Ruano (2002), “Hands-on PID autotuning: a guide to better utilisation”, IFAC. Professional Brief.
- [3] A. Merlet J.P. (2006), *Parallel Robots*, Kluwer Academic Publishers.
- [4] A. Omran, G. El-Bayiumi, M. Bayoumi, and A. Kassem (2008), “Genetic Algorithm Based Optimal Control for a 6-DOF Non Redundant Stewart Manipulator”, *International Journal of Mechanical, Industrial and Aerospace Engineering*.
- [5] A. V. Korobeynikov, V. E. Turlapov (2005), “Modeling and Evaluating of the Stewart–Gough Platform”, *International Conference Graphicon*, Novosibirsk Akademgorodok, Russia.
- [6] A.F. Kraynev, V.A. Glazunov (1991), “Parallel Structure Mechanisms in Robotics”, *MERO'91, Sympos. Nation. de Roboti Industr*, Bucuresti, Romania, pp. 104-111.
- [7] A.T. Yang (1974), "Calculus of Screws", *Basic Questions of Design Theory*, William R. Spillers, Elsevier, pp. 266-281.
- [8] B. Dasgupta and T. S. Mruthyunjaya (1998), “A Newton– Euler formulation for the inverse dynamics of the Stewart–Gough Platform manipulator”, *Mech. Mach.Theory*, vol. 33, no. 8, pp. 1135–1152.
- [9] B. Ding (2014), “A Study of a Gough-Stewart Platformbased Manipulator for Applications in Biomechanical Testing”, PhD thesis, The University of Adelaide, School of Mechanical Engineering.

- [10] B. Ding, B. Cazzolato, R. Stanley, S. Grainger, J. Costi (2014), 'Stiffness Analysis and Control of a Stewart Platform-Based Manipulator With Decoupled Sensor-Actuator Locations for Ultrahigh Accuracy Positioning Under Large External Loads", *ASME Journal of Dynamics, Measurement and Control*.
- [11] B. Heimann, H. Abdelatif (2007), "Dynamics and Control of Robots with parallel kinematical Structures", *ISMA 2007, HCMC*.
- [12] B. Heimann, M. Grotijahn and J. Kuhn (2004), "Friction and Rigid Body Identification of Robots with Parallel Kinematic"; *The 8th Intl Conference on Mechatronics Technology*, Hanoi.
- [13] C. Canudas de Wit, B. Siciliano, G. Bastin (1996), *Theory of Robot Control*, Springer, London .
- [14] C.C. Yu (1999), *Autotuning of PID Controllers: Relay Feedback Approach*, Springer, London.
- [15] C.H. An, C.G. Atkeson, J.M. Hollerbach (1988), *Model-Based Control of a Robot Manipulator*, MIT Press, Cambridge.
- [16] C.M. Gosselin, J. Angeles (1990), "Singularity Analysis of Closed Loop Kinematic Chains", *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol. 6, no. 3, pp. 281-290.
- [17] Cong Bang Pham, Song Huat Yeo and Guilin Yang (2007), "Analytical Force-closure workspace of Cable-driven planar Parallel Mechanisms"; *ISMA 2007, HCMC*.
- [18] D. Angeli (1999), "Input-to-State stability of PD-controlled robotic systems", *Automatica* 35, pp. 1285–1290.
- [19] D. Stewart (1966), "A Platform with Six Degrees of Freedom". *In: Pr. Inst. Mech. Eng. v.180, Pt.1, 15*, pp. 371-386.
- [20] D. Thayer, J. Vagners, A. von Flotow, C. Hardham, and K. Scribner (2002), "Six-axis vibration isolation system using soft actuator and multiple sensors", *Journal of Spacecraft and Rockets*, vol. 39, no. 2, pp. 206-212.
- [21] D. Zlatanov, R.G Fenton, B. Benhabib (1998), "Identification and Classification of the Singular Configurations of Mechanisms", *Mechanism and Machine Theory*, vol. 33, no. 6, pp. 743-760.

- [22] D.C.H Yang, T.W Lee (1984), “Feasibility Study of a Platform Type of Robotic Manipulators from a Kinematic Viewpoint”, *Journal of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design*, vol. 106, pp. 191-198.
- [23] Dingyu Xue, YangQuan Chen, and P. Derek Atherton (2007), *Linear Feedback Control: Analysis And Design With Matlab*, ISBN 978-0-898716-38-2.
- [24] Dinh Cong Huan, Vuong Thi Dieu Huong, Vu Minh Hung, Do Thi Ngoc Oanh, Nguyen Huy Thuy and Pham Anh Tuan (2004), “Development of a Control System for Hexapod”, *The 8th Intl. Conference on Mechatronics Technology*, Hanoi.
- [25] E. Yesil, M. Guzelkaya, I. Eksin (2004), “Self tuning fuzzy PID type load and frequency controller”, *Energy Conversion and Management*, vol. 45, no. 3, pp. 377-390.
- [26] E.F. Fitcher (1986), “A Stewart–Gough Platform-Based Manipulator: General Theory and Practical Construction”. *The International Journal of Robotic Research*, vol. 5, no. 2, pp. 157-182.
- [27] Ehrgott, Matthias, Gandibleux, Xavier (2002), “Multiple Criteria Optimization: State of the Art Annotated Bibliographic Survey”, *International Series in Operations Research & Management Science*, vol. 52, pp. 376-388.
- [28] F. Dimentberg (1965), *The Screw Calculus and its Applications in Mechanics*, *Clearinghouse for Federal Technical and Scientific Information*, Virginia.
- [29] F. Herrera, M. Lozano, J. L. Verdegay (1995), “Tuning Fuzzy logic controllers by Genetic Algorithms”, *International Journal of Approximate Reasoning* 12, pp. 299 – 315.
- [30] F. Pernodet, H. Lahmidi, P. Michel (2009), “Use of genetic algorithms for multicriteria optimization of building refurbishment”, *Eleventh International IBPSA Conference*, Glasgow, Scotland, July 27-30, 2009.
- [31] G. Brandt, A. Zimolong ; L. Carrat, P. Merloz, H.-W. Staudte, S. Lavallee, K. Radermacher and G. Rau (2002), “A compact robot for image guided orthopedic surgery”, *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 3, no. 4, pp. 252-60.

- [32] G. Lebrete, K. Liu, and F. L. Lewis (1993), “Dynamic analysis and control of a Stewart–Gough Platform manipulator,” *J. Robot. Syst.*, vol. 10, no. 5, pp. 629–655.
- [33] Gong, Youhong (1992), “Design analysis of a Stewart platform for vehicle emulator systems”, Mater thesis, Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Mechanical Engineering
- [34] H. Abdellatif and B. Heimann (2006), “Dynamics and Control of Robots with Parallel Kinematic Structures”, *The 3rd Viet Nam Conference on Mechatronics*, Ha Noi, 2006.
- [35] H. Ishibuchi, K. Nozaki, N. Yamamoto and H. Tanaka (1995), ” Selecting Fuzzy If – Then Rules for Classification Problems using Genetic Algorithm”, *IEEE Transaction on Fuzzy Systems*, vol. 3, no. 3, August 1995.
- [36] Huy Hoang Pham, I-Ming Chen (2007), “Stiffness Analysis of a 6-DOF Flexure Parallel Mechanism”; *ISMA 2007*, HCMC.
- [37] I. Bonev (2001), “Delta Parallel Robot - the Story of Success”, <http://www.parallemic.org>.
- [38] J. Plücker (1865), “On a New Geometry of Space”, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, vol. 155, pp. 725–791.
- [39] J. Dréo, A. P. Etrowski, P. Siarry, E. Taillard (2006), *Metaheuristics for Hard Optimization - Simulated Annealing, Tabu Search, Evolutionary and Genetic Algorithms, Ant Colonies,...*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006, pp. 6-9.
- [40] J. G. Ziegler, N. B. Nichols (1942), “Optimum setting for Automatic Controllers”. *Trans. ASME* 64, pp. 759-768.
- [41] J. P. Merlet (1988), *Parallel Manipulators*, Rapport de Recherche Inria N0 791, Fevrier.
- [42] J. Park, W.K. Chung (2000), “Design of a robust H_∞ PID control for industrial manipulators”, *ASME J. Dyn. Syst. Meas. Contr.*, vol. 122, no. 4, pp. 803–812.
- [43] J. Wittenburg (2008), “Dynamics of Multibody Systems” (Second Edition), *ISBN 978-3-540-73913-5*, Springer Berlin Heidelberg New York, pp. 9-23.

- [44] J. Yen, R. Langari (1999), *Fuzzy Logic – Intelligence, Control, and Information*. Center of Fuzzy Logic, Robotics, and Intelligent Systems Texas A&M University. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458.
- [45] J.A. Ramirez, I. Cervantes, R. Kelly (2000), “PID regulation of robot manipulators: stability and performance”, *Sys. Contr. Lett.* 41, pp. 73–83.
- [46] J.Wang and C. M. Gosselin (1998), “A new approach for the dynamic analysis of parallel manipulators”, *Multibody Syst. Dyn*, vol. 2, pp. 317–334.
- [47] Jong-Gug Bae, Ho-Seok Shim and Jeh Won Lee (2004), “Active Control of a Ship Cabin Motion Using 3-DOF Parallel Mechanisms”, *The 8th Intl. Conference on Mechatronics Technology*, Hanoi, 2004.
- [48] K. Aström, T. Hagglund (1995), *PID Controllers: Theory, Design, and Tuning*, Instrument Society of America, Research Triangle Park.
- [49] K. Hunt (1983), “Structural Kinematics of In-Parallel-Actuated Robot Arms”, *ASME Journal of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design*, vol. 105, no. 4, pp. 705-712.
- [50] K. K. Ahn and B. K. Nguyen (2006), “Position Control of Shape Memory Alloy Actuators Using Self Tuning Fuzzy PID Controller”, *International Journal of Control, Automation, and Systems*, vol. 4, no. 6, pp. 756-762.
- [51] K. K. Passino and S. Yurkovich (1998), *Fuzzy Control*, Department of Electrical Engineering, The Ohio State University. Copyright 1998 Addison – Wesley Longman, Inc.
- [52] Klimchik, Pashkevich, Caro; Chablat (2011), “Stiffness Matrix of Manipulators With Passive Joints: Computational Aspects”, *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 28, no. 4.
- [53] L. Kuhn (2002), *Ant Colony Optimization for Continuous Spaces*, A thesis submitted to The Department of Information Technology and Electrical Engineering, The University of Queensland, pp. 9-15.
- [54] L. Sciavicco, B. Siciliano (1996), *Modeling and Control of Robot Manipulator* McGraw-Hill, New York.
- [55] L. W. Tsai (1998), “The Jacobian Analysis of A Parallel Manipulator Using Reciprocal Screws”, *Proceedings of the 6th International Symposium on*

Recent Advances in Robot Kinematics, Salzburg, Austria, edited by J. Lenarcic and M. Husty, Kluwer Academic Dordrecht, pp. 327–336.

- [56] L. W. Tsai (2000), "Solving the inverse dynamics of a Stewart–Gough manipulator by the principle of virtual work", *ASME Journal of Mechanical Design* 122, no. 1, pp. 3-9.
- [57] Le Xuan Huy, Hoang Nga, Do Tran Thang and Pham Minh Tuan (2004), "Determination of Control Data based on Dynamic Simulation for Hexapod", *The 8th Intl. Conference on Mechatronics Technology*, Hanoi, 2004.
- [58] M. Dorigo and T. Stützle (2004), *Ant Colony Optimization*, ISBN 0-262-04219-3, A Bradford Book, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England, pp. 65-78.
- [59] M. Takegaki, S. Arimoto (1981), "A new feedback method for dynamic control of manipulators", *Trans. ASME J. Dyn. Syst. Meas. Contr*, vol. 102, pp. 119–125.
- [60] M.W. Spong, M. Vidyasagar (1989), *Robot Dynamics and Control*, Wiley, New York.
- [61] Matlab, *Modeling the Stewart–Gough Platform*, <http://www.mathworks.com>.
- [62] Nguyen Minh Thanh, Le Hoai Quoc, Victor Glazunov (2009), "Constraints analysis, determination twists inside singularity and parametrical optimization of the parallel mechanisms by means the theory of screws", *Proceedings of the (CEE 2009) 6th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control*, IEEE, Toluca, Mexico, 2009, pp. 89-95.
- [63] Nguyen Minh Thanh, Le Hoai Quoc, Victor Glazunov (2012), "Singularity Analysis, Constraint Wrenches and Optimal Design of Parallel Manipulators", *Book chapter of Serial and Parallel Robot Manipulators - Kinematics, Dynamics, Control and Optimization*, ISBN: 978-953-51-0437-7, pp. 359-372.
- [64] Nguyen Minh Thanh, V.A Glazunov, Lu Nhat Vinh, Nguyen Cong Mau (2008), "Parametrical optimization of parallel mechanisms while taking into account singularities". *International Conference on Control, Automation, Robotics*

and Vision (ICARCV) Proceedings, Hanoi, Vietnam, IEEE 2008, pp. 1872-1877.

- [65] Nguyen Minh Thanh, V.A Glazunov, Tran Cong Tuan, Nguyen Xuan Vinh, “Multi-criteria optimization of the parallel mechanism with actuators located outside working space”, *The 11th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision*, IEEE 2010, December 7-10, 2010, Singapore.
- [66] Nguyen Minh Thanh, Victor Glazunov, Lu Nhat Vinh (2010), “Determination of Constraint Wrenches and Design of Parallel Mechanisms”. *International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control*, IEEE 2010, Mexico, pp. 46-53.
- [67] O. Ulucay (2006), *Design and Control of Stewart–Gough Platform*, Master Thesis, Sabaci University.
- [68] P. Nanua, Kenneth J. Waldron, and V. Murthy (1990), “Direct Kinematic Solution of a Stewart–Gough Platform”, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 6. no. 4.
- [69] P. Tomei (1991), “Adaptive PD controller for robot manipulators”, *IEEE Trans. Robot. Autom.*, vol. 7, no. 4, pp. 565–570.
- [70] P.R. McAcree, R.W. Daniel (1996), “A Fast, Robust Solution to the Stewart–Gough Platform Forward Kinematics”, *Journal of Robotic Systems*, vol. 13, no. 7, pp. 407-427.
- [71] R. Ball, (1900), *A Treatise on the Theory of Screws*, Cambridge at the University Press.
- [72] R. Featherstone (1987), *Robot Dynamics Algorithms*. Springer. ISBN 0898382300.
- [73] R. Kelly (1997), “PD control with desired gravity compensation of robot manipulators: A review”, *Int. J. Robot. Res.*, vol. 16, no. 5, pp. 660–672.
- [74] R. Kelly (1998), “Global positioning of robot manipulators via PD control plus a class of nonlinear integral actions”, *IEEE Trans. Autom. Contr.*, vol. 43, no. 7, pp. 934–937.
- [75] R. Ulla Baig, S. Pugazhenti (2011), “Design optimization of an active vibration isolation system”, *International Journal of the Physical Sciences*, vol. 6, no. 30, pp. 6882 - 6890, 23 November, 2011.

- [76] R. Ulla Baig, S. Pugazhenth (2014), “Neural Network Optimization of Design Parameters of Stewart Platform for Effective Active Vibration Isolation”, *Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 9, no. 4, pp. 78-84.
- [77] R.B Statnikov (1999), *Multicriteria Design. Optimization and Identification*, Dordrecht/ Boston / London: Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [78] R.F. Boian, M. Bouzit, G.C. Burdea, J.E. Deutsch (2004), “Dual Stewart–Gough Platform Mobility Simulator”, *Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS*, San Fran cisco, CA, USA.
- [79] R.T. Marler and J.S. Arora (2004), “Survey of multi-objective optimization methods for engineering”, *Struct Multidisc Optim* 26, pp. 369–395, DOI 10.1007/s00158-003-0368-6, Springer-Verlag 2004.
- [80] S. Arimoto, F. Miyazaki (1984), “Stability and robustness of PID feedback control for robot manipulators of sensory capability”. *Robotics Research*, ed. by M. Brady, R. Paul (MIT Press, Cambridge 1984) pp. 783–799
- [81] S. D. Stan, M. Manic, R. Balan, V. Maties (2009), "Genetic algorithms for workspace optimization of planar medical parallel robot", *IEEE International Conference on Emerging Trends in Computing*, ICETIC 2009, Virudhanagara, Tamil Nadu, India.
- [82] S. D. Stan, V. M tie , R. B lan (2008), “Kinematics Analysis, Design And Optimization Of A Six Degrees-Of-Freedom Parallel Robot”, *ENOC 2008*, Saint Petersburg, Russia.
- [83] S. D. Stan, V. Maties, R. Balan, C. Lapusan (2008), “Optimization of a Hexapod Micro Parallel Robot Using Genetic Algorithms”, *Innovations and Advanced Techniques in Systems, Computing Sciences and Software Engineering*, Springer-Verlag, 2008.
- [84] Symetrie (2015), “Hexapod Technology”, <http://www.symetrie.fr/>.
- [85] T. R. Kane and D. A. Levinson (1985), *Dynamics: Theory and Application*, McGraw-Hill, New York, N.Y.
- [86] T. W. Fong (1990), *Design and Testing of a Stewart–Gough Platform Augmented Manipulator for Space Applications*, Master Thesis of Science in Aeronautics and Astronautics, Massachusetts Institute of Technology Aine.

- [87] T. Weise (2008), *Global Optimization Algorithms – Theory and Application*, pp. 250-274.
- [88] V. Saxena, Dongming Liu, C. M. Daniel, J. W. Sutherland (1997), “A Simulation Study of the Workspace and Dexterity of A Stewart–Gough Platform based machine Tool”, *Proceedings of the ASME Dynamic System and Control Divison*, Dallas, TX, USA.
- [89] V.A Glazunov, A.F. Kraynev, G.V. Rashoyan, A.N. Trifonova (1999), “Singular Zones of the parallel Structure Mechanisms”, *Proceeding of the 10th World Congress on TMM*, Oulu, Finland, pp. 2710-2715.
- [90] V.A Glazunov, R. Gruntovich, A. Lastochkin, Nguyen Minh Thanh (2007), “Representations of constraints imposed by kinematic chains of parallel mechanisms”, *Proceedings of the 12th IFToMM World Congress in Mechanism and Machine Science*, France, June 17-21, vol. 1, pp. 380-385.
- [91] V.A. Glazunov, Nguyen Minh Thanh (2008), “Determination of the parameters and the Twists Inside Singularity of the parallel Manipulators with Actuators Situated on the Base”, *In Proceedings of the Seventeenth CISM-IFToMM Symposium*, Tokyo, Japan, pp. 467-474.
- [92] V.A. Glazunov, Nguyen Ngoc Hue, Nguyen Minh Thanh (2009), “Singular configuration analysis of the parallel mechanisms”, *Journal of Machinery and Engineering Education*, ISSN 1815-1051, no. 4, 2009, pp. 11-16.
- [93] V.A. Glazunov (2006), “Twists of Movements of the parallel Mechanisms Inside Their Singularities”, *Mechanism and Machine Theory*, pp. 1185-1195.
- [94] V.A. Glazunov, A.F. Krainev, G.V. Rashoyan, A.N. Trifonova, and M.G. Esina (2000), “Modeling the zones of singular positions of the parallel-structure manipulators”, *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, Allerton Press Inc, no. 2, pp. 85-91.
- [95] V.A. Glazunov, A.S. Koliskor, A.F. Kraynev (1991), *Spatial Parallel Structure Mechanisms*, Moscow, Nauka.
- [96] W. K. Clifford (1873), "Preliminary Sketch of Biquaternions", *Paper XX, Mathematical Papers*, pp. 381.
- [97] W. Q. D. Do and D. C. H. Yang (1998), “Inverse dynamic analysis and simulation of a platform type of robot,” *J. Robot. Syst.*, vol. 5, no. 3, pp 209–227.

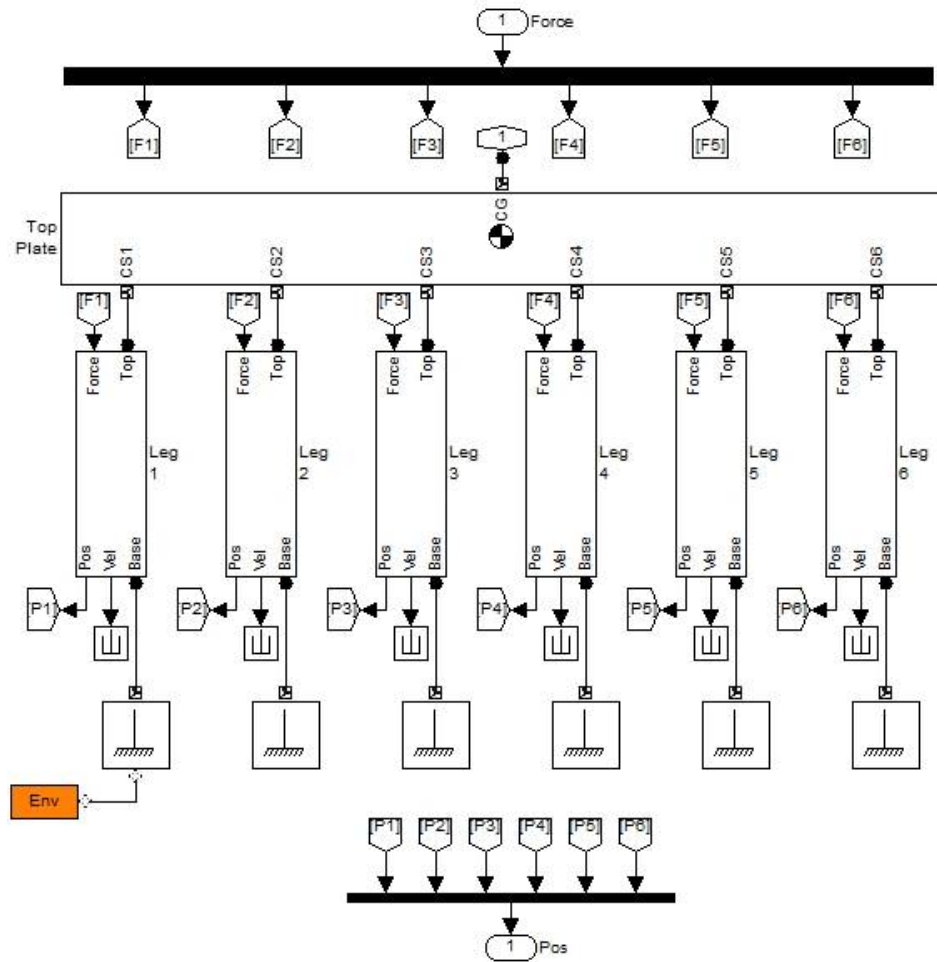
- [98] Y. Choi, W.K. Chung (2004), “PID Trajectory Tracking Control for Mechanical Systems”, *Lecture Notes in Control and Information Sciences*, vol. 289, Springer, New York 2004.
- [99] Y. Choi, W.K. Chung, I.H. Suh (2001), “Performance and H_∞ optimality of PID trajectory tracking controller for Lagrangian systems”, *IEEE Trans. Robot. Autom.*, vol. 17, no. 6, pp. 857–869.
- [100] Y.N. Sarkissyan, T.F. Parikyan (1990), “Analysis of Special Configurations of the parallel Topology Manipulators”, *Eight CISM-IFMoMM Symp. of Robots and Manipulators*, Krakow, Poland, pp. 156-163.
- [101] Z. Geng, L. S. Haynes, J. D. Lee, and R. L. Carroll (1992), “On the dynamics model and kinematics analysis of a class of Stewart–Gough Platform” *Robot. Autonomous Syst.*, vol. 9, pp. 237–254.
- [102] Zhen-Yu Zhao, M. Tomizuka, and S. Isaka (1993), “Fuzzy Gain Scheduling of PID Controllers”, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 23, no. 5, September/October 1993.
- [103] Zude Zhou, Wei Meng, Qingsong Ai, Quan Liu, Xiang Wu (2013), “Practical Velocity Tracking Control of a Parallel Robot Based on Fuzzy Adaptive Algorithm”, *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 2013, Article ID 574896.
- [104] Bùi Quang Cường, Nguyễn Văn Nghìn (2002), “Thiết kế và chế tạo Robot Crane”, *Hội nghị toàn quốc lần I về Cơ điện tử*, Hà Nội.
- [105] Nguyễn Bội Lâm, Phạm Minh Hải, Phan Văn Cường (2005), “Thuật toán tìm kiếm làm việc của cánh tay máy song song phẳng 3 bậc tự do”, *Hội nghị toàn quốc lần 6 về Tự động hóa*, Hà Nội.
- [106] Minh Công Hùng, Văn Ngọc Thiên Hùng, Trần Ngọc Oanh, Nguyễn Huy Thủy, Phạm Anh Tuấn, Hoàng Chí Nhân (2004), “Thiết kế hệ thống máy cẩu tự động kim loại Hexapod bằng mô phỏng”, *Hội nghị toàn quốc lần II về Cơ điện tử*, TP.HCM.
- [107] Hoàng Chí Nhân (2002), “Giải bài toán động học ngược của Hexapod 6 CTC”, *Hội nghị toàn quốc lần I về Cơ điện tử*, Hà Nội.
- [108] Hoàng Kim, Lê Hoàng Thái (2000), *Giải thuật di truyền cách giải tự nhiên các bài toán trên máy tính*, Nhà xuất bản giáo dục.

- [109] Lê Hoài Quốc (2005), *Kỹ thuật ngụy máy, Tập I – Robot công nghiệp*, NXB Hà Nội và Công ty TNHH Công nghệ Gia TP. Hồ Chí Minh, tái bản lần thứ nhất.
- [110] Lê Hoài Quốc, Nguyễn Minh Thành (2011), “Mô hình hoá cánh tay máy song song và xây dựng trung tâm gia công trên máy phay CNC 5 trục”, *Hội nghị toàn quốc về cơ khí và Tự động hoá, VCCA-2011*, 25-26/2011, Hà Nội, Việt Nam.
- [111] Lê Quốc Hà (2012), “Nghiên cứu thiết kế, chế tạo tay máy song song và chân đứng song song để ứng dụng công nghiệp”, *Báo cáo tài KH&PTCN Bộ Công Thương*, 2012.
- [112] Lê Thanh Thủy, Phạm Anh Tuấn, Phạm Văn Bích Ngọc, Trần Thế Ngọc (2002), “Mô phỏng động lực học robot cánh tay song song”, *Hội nghị toàn quốc lần 1 về Cơ khí và Tự động hoá*, Hà Nội.
- [113] Nguyễn Hoàng Thái (2006), “Chế tạo thí nghiệm Robot Hexaglide”, *Hội nghị toàn quốc lần 3 về Cơ khí và Tự động hoá*, Hà Nội.
- [114] Nguyễn Hoàng Thái (2006), “Mô phỏng máy khoan cao tốc 2 bậc tự do có cấu trúc song song”, *Hội nghị toàn quốc lần 3 về Cơ khí và Tự động hoá*, Hà Nội.
- [115] Nguyễn Minh Thành, Trần Công Tuấn, Nguyễn Ngọc Lâm, Nguyễn Minh Thi, Phan Văn Cường (2011), “Ứng dụng thuật toán Plücker xem xét cấu hình suy biến của cánh tay song song”, *Hội nghị toàn quốc về cơ khí và Tự động hoá - VCCA-2011*, Việt Nam.
- [116] Nguyễn Minh Tuấn, Nguyễn Văn Nghìn (2004), “Nhúng kết quả nghiên cứu ban đầu về Hexapod”, *Hội nghị toàn quốc lần II về Cơ khí và Tự động hoá*, TP.HCM.
- [117] Nguyễn Minh Tuấn, Nguyễn Văn Nghìn (2004), “Phân tích lực và biến dạng trong chân Hexapod bằng phần mềm MATLAB”, *Hội nghị toàn quốc lần II về Cơ khí và Tự động hoá*, TP.HCM.
- [118] Nguyễn Ngọc Tú, Trần Văn Long (2007), “Giới thiệu lại cho bài toán sắp hàng trình tự sinh học”, *Tạp chí phát triển KH&CN*, tập 10, số 04 – 2007.
- [119] Nguyễn Thị Ngọc Phúc, Trần Minh Nghĩa, Nguyễn Đình Ninh (2005), “Nghiên cứu tạo dựng tay máy song song dạng Hexa”, *Hội nghị toàn quốc về Tự động hoá*, Hà Nội.
- [120] Phạm Văn Bách Ngọc, Võ Quang Thế Ngọc, Trần Thế Ngọc, Phạm Anh Tuấn (2004), “Thiết kế robot cánh tay song song (Hexapod) ứng dụng trong gia công đặc biệt

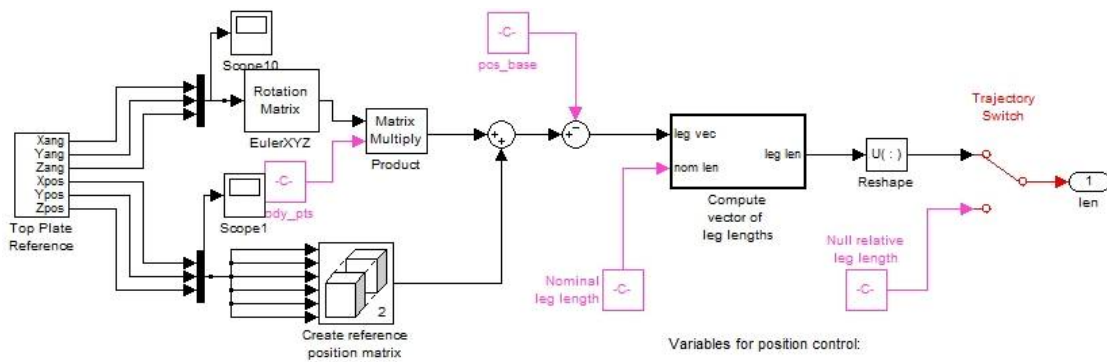
chính xác”, *H i ngh C h c toàn qu c nhân d p 25 n m thành l p Vi n C h c*.

- [121] Ph m V n B ch Ng c, V Thanh Quang, Tr n Th ng, Ph m Anh Tu n (2004), “Mô ph ng và thi t k Hexapod cho gia công c khí chính xác”, *H i ngh toàn qu c l n II v C i n t*, TP.HCM.
- [122] Thái Th Thu Hà, H Thanh Tâm (2005), “ ng d ng tay máy song song trong máy o t a CMM”, *H i ngh toàn qu c l n 6 v T ng hóa*, Hà N i.
- [123] T Di p Công Thành, ng V n Nghìn (2002), “B i u khi n Parallel Robot”, *H i ngh toàn qu c l n I v C i n t*, Hà N i.
- [124] V Minh Hùng, Th Ng c Oanh, Nguy n Huy Th y, Ph m Anh Tu n (2005), “ i u khi n ph i h p v trí nhi u tr c cho robot c c u song song 6 b c t do – Hexapod PR6-01”, *H i ngh toàn qu c l n 6 v T ng hóa*, Hà N i.

Ph 1 c 1. Mô hình toán tay máy song song trên ph n m m Simulink-Matlab



Hình PL1.1. Mô hình toán tay máy song song trên Simulink - Matlab



Control error for each leg length:

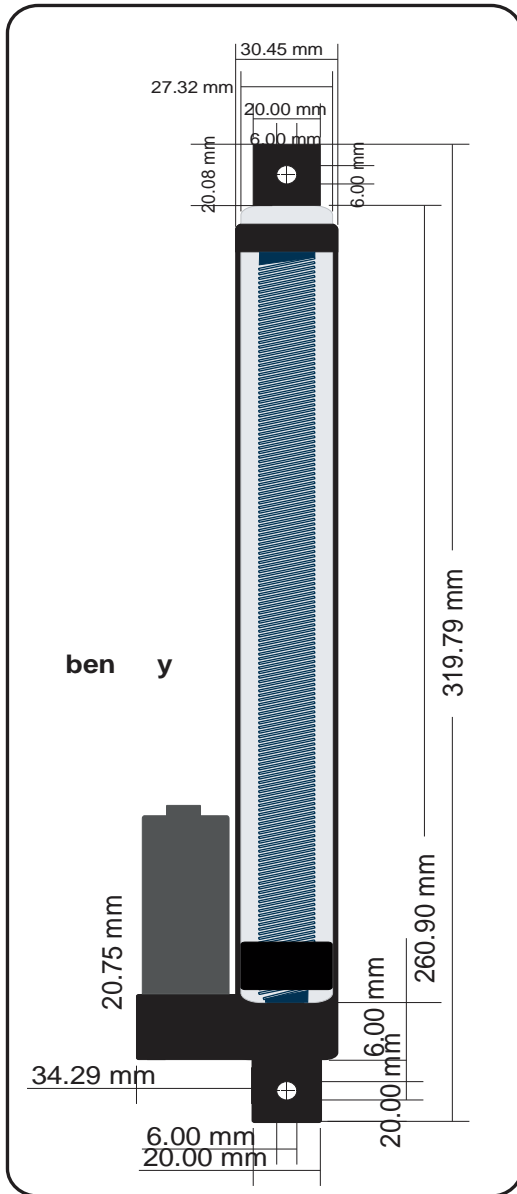
$$\| (R^T p_t + p) - p_b \| - l_n$$

Variables for position control:

- > R is the rotation matrix for the top plate
- > p is the position vector of the origin of the top plate
- > p_t is the leg attachment point vector at the top plate
- > p_b is the leg attachment point vector at the base
- > l_n is the nominal or reference distance between the top and base attachment points

Hình PL1.2. Mô hình giải bài toán nghịch c tay máy song song trên Simulink – Matlab

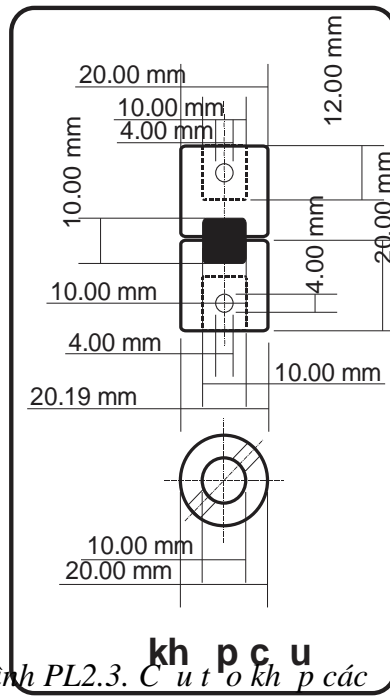
Ph 1 c 2. Các chi ti t c khí, m ch i u khi n tay máy song song



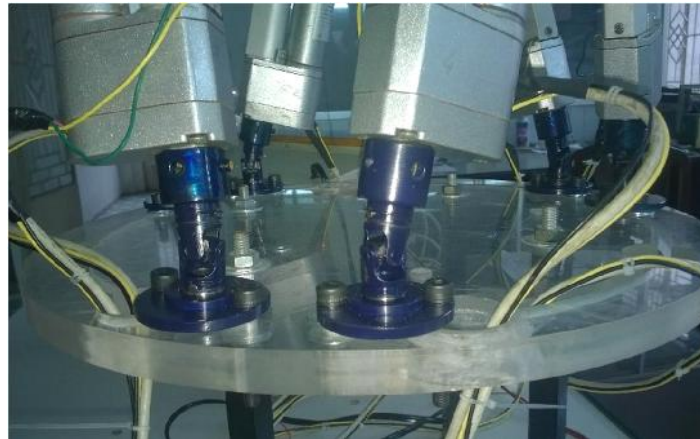
Hình PL2.1. C u t o chân d n ng
(Vitme- ng c DC)



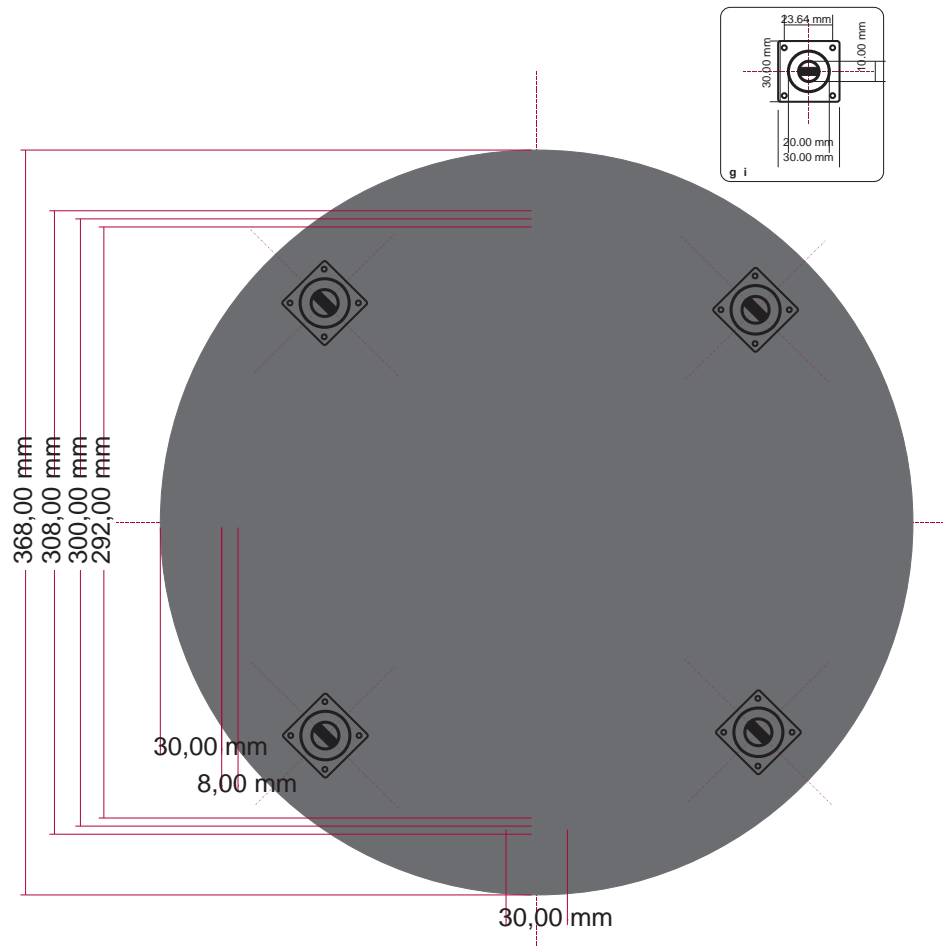
Hình PL2.2. Chân d n ng th c t



Hình PL2.3. C u t o kh p các ng



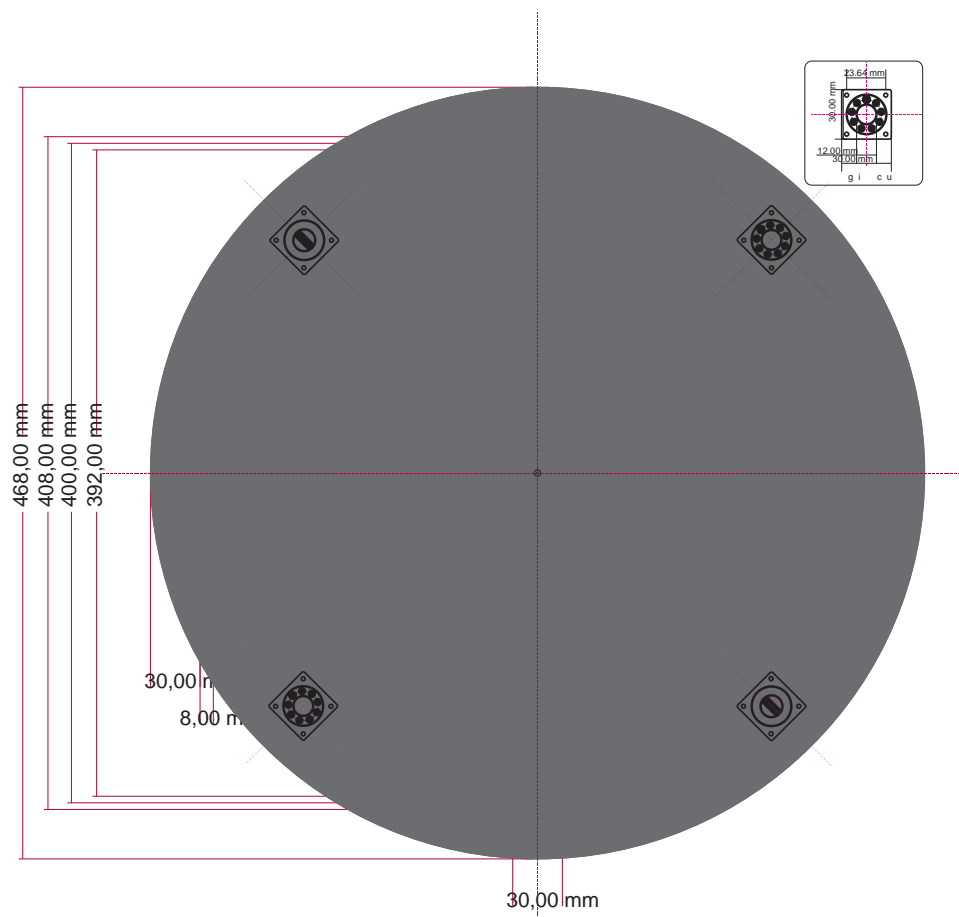
Hình PL2.4. Kh p các ng th c t



Hình PL2.5. C u t o t m chuy n ñ g



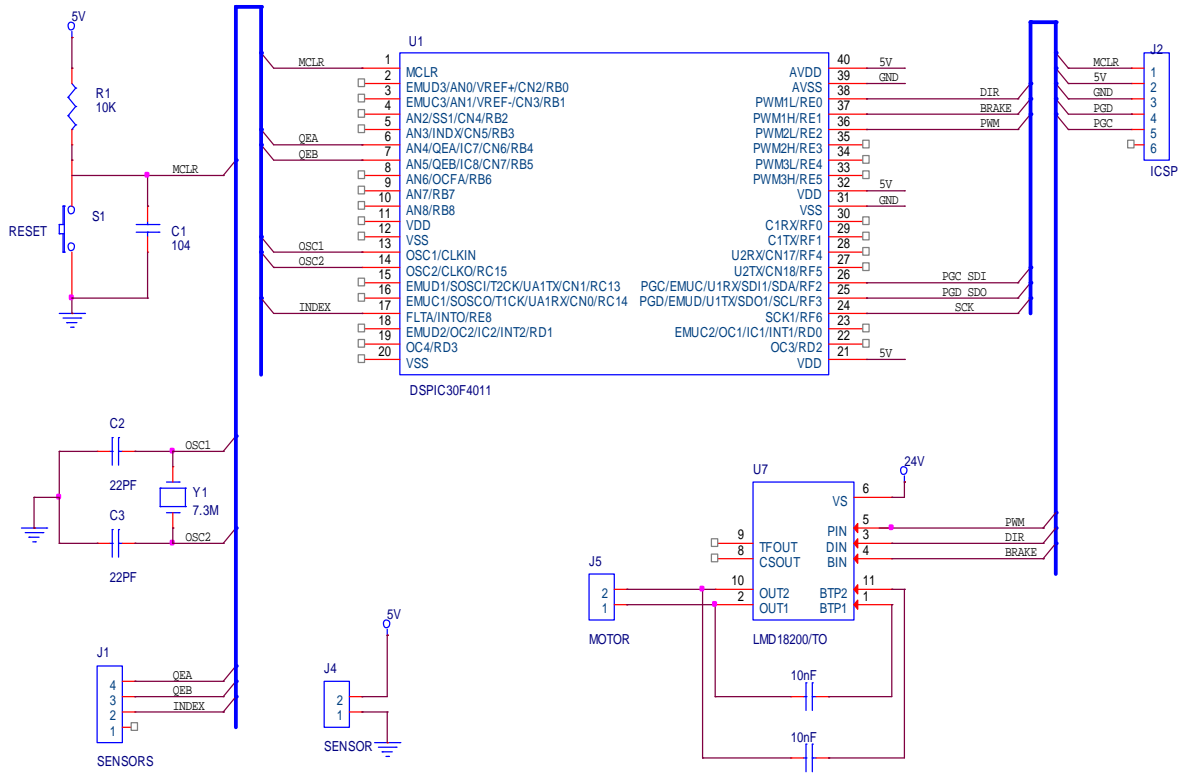
Hình PL2.6. T m chuy n ñ g th c t



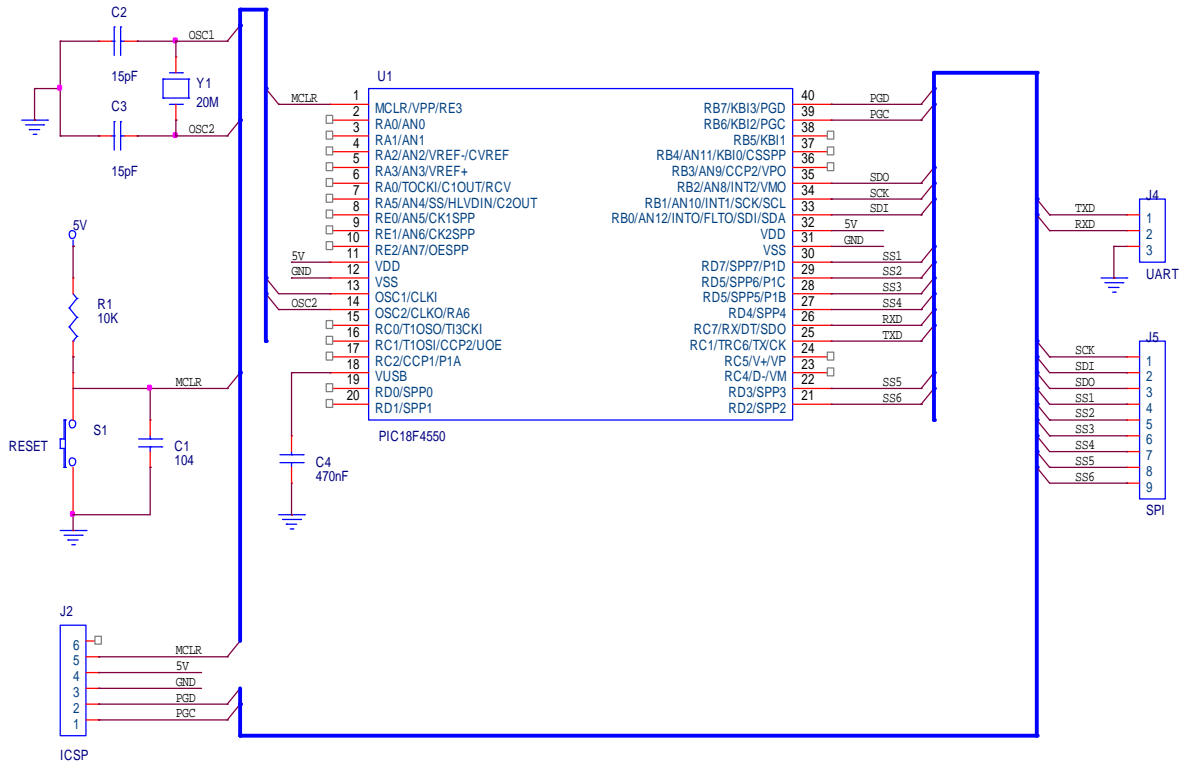
Hình PL2.7 C u t o m t p h n g n n



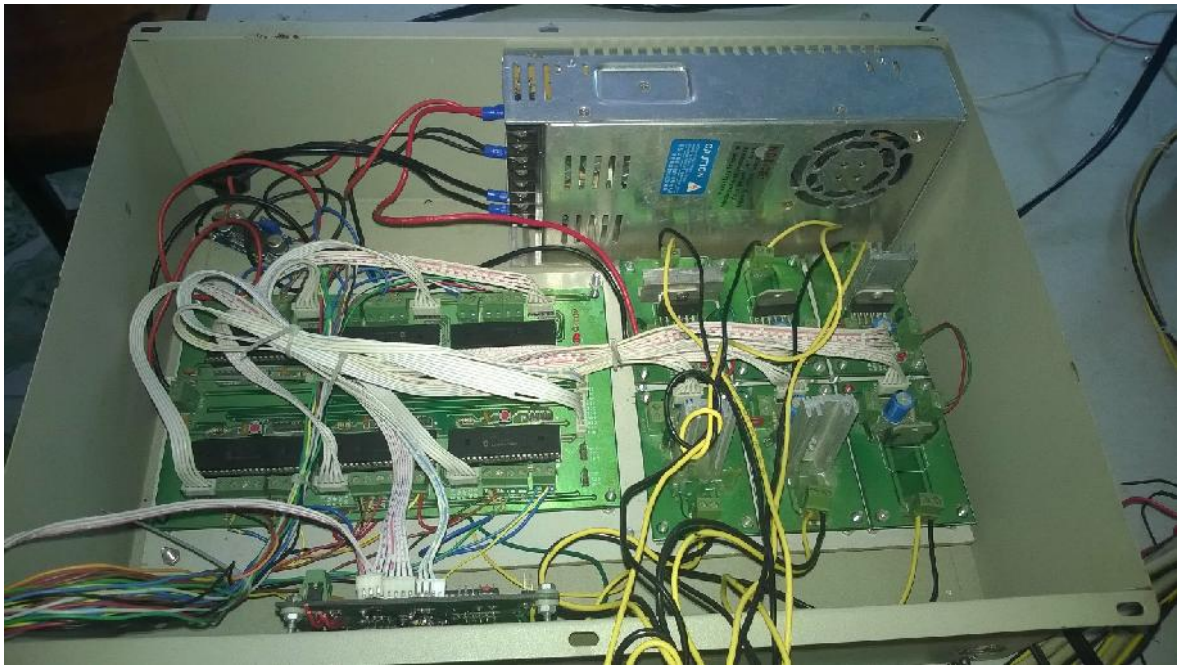
Hình PL2.8 M t p h n g n n t h c t



Hình PL2.9. S nguyên lý b i u khi n Slave



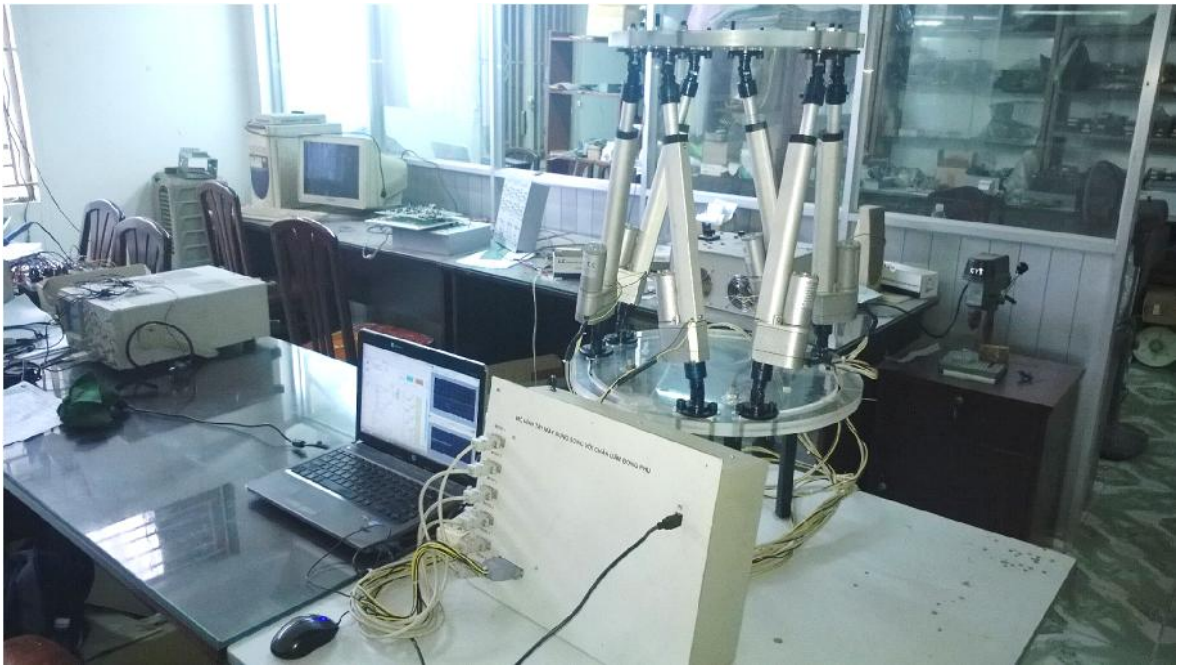
Hình PL2.10. S nguyên lý b i u khi n Master



Hình PL2.11. Mạch điều khiển tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform



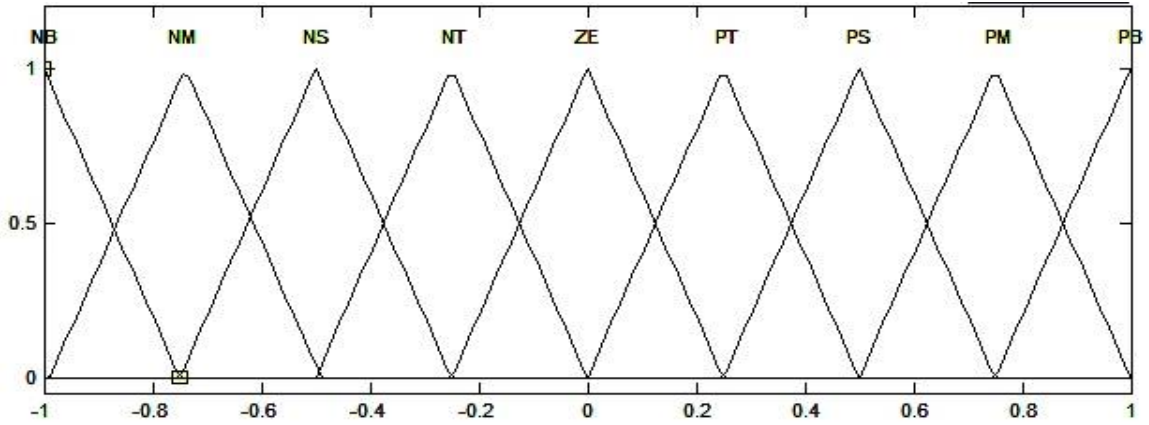
(a)



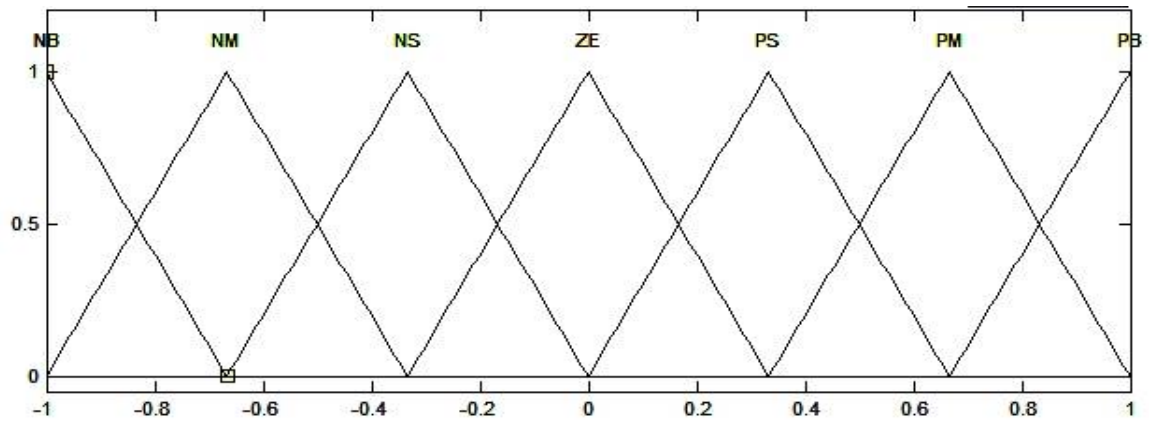
(b)

Hình PL2.12. Mô hình thí nghiệm hệ thống i u khi n tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform

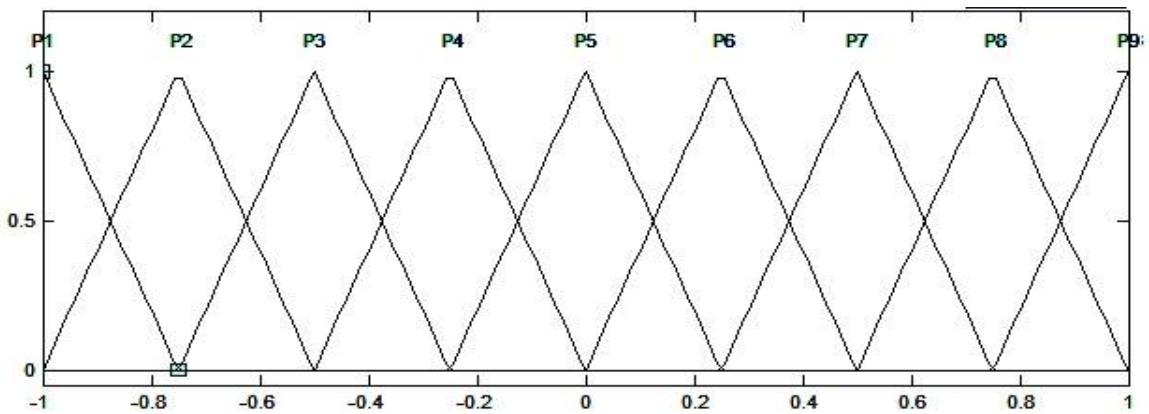
Ph 1 c 3. Hàm liên thuộc các biến u khi n m



a) Hàm liên thuộc của $e(t)$

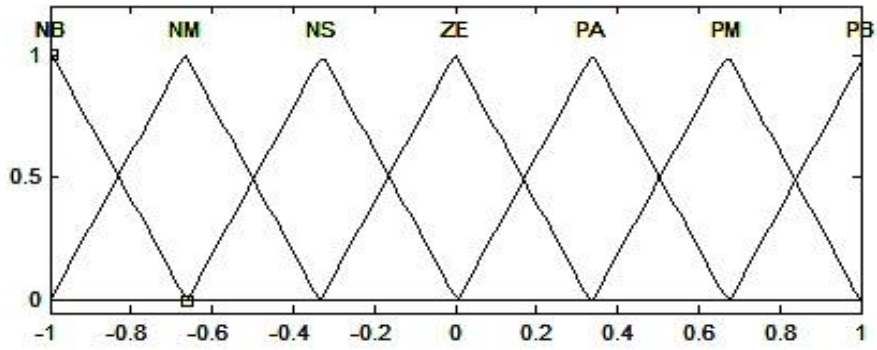


b) Hàm liên thuộc của e/dt

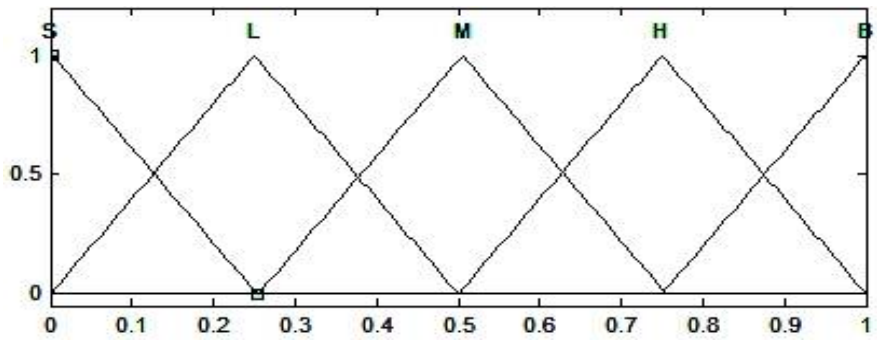


c) Hàm liên thuộc của $u(t)$

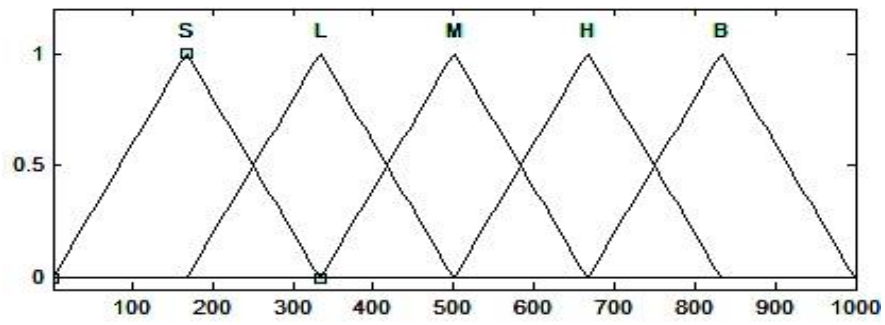
Hình PL3.1. Các hàm liên thuộc - Biến u khi n m trực tiếp (Direct Fuzzy-PD)



a) Hàm liên thuộc của $e(t)$, e/dt



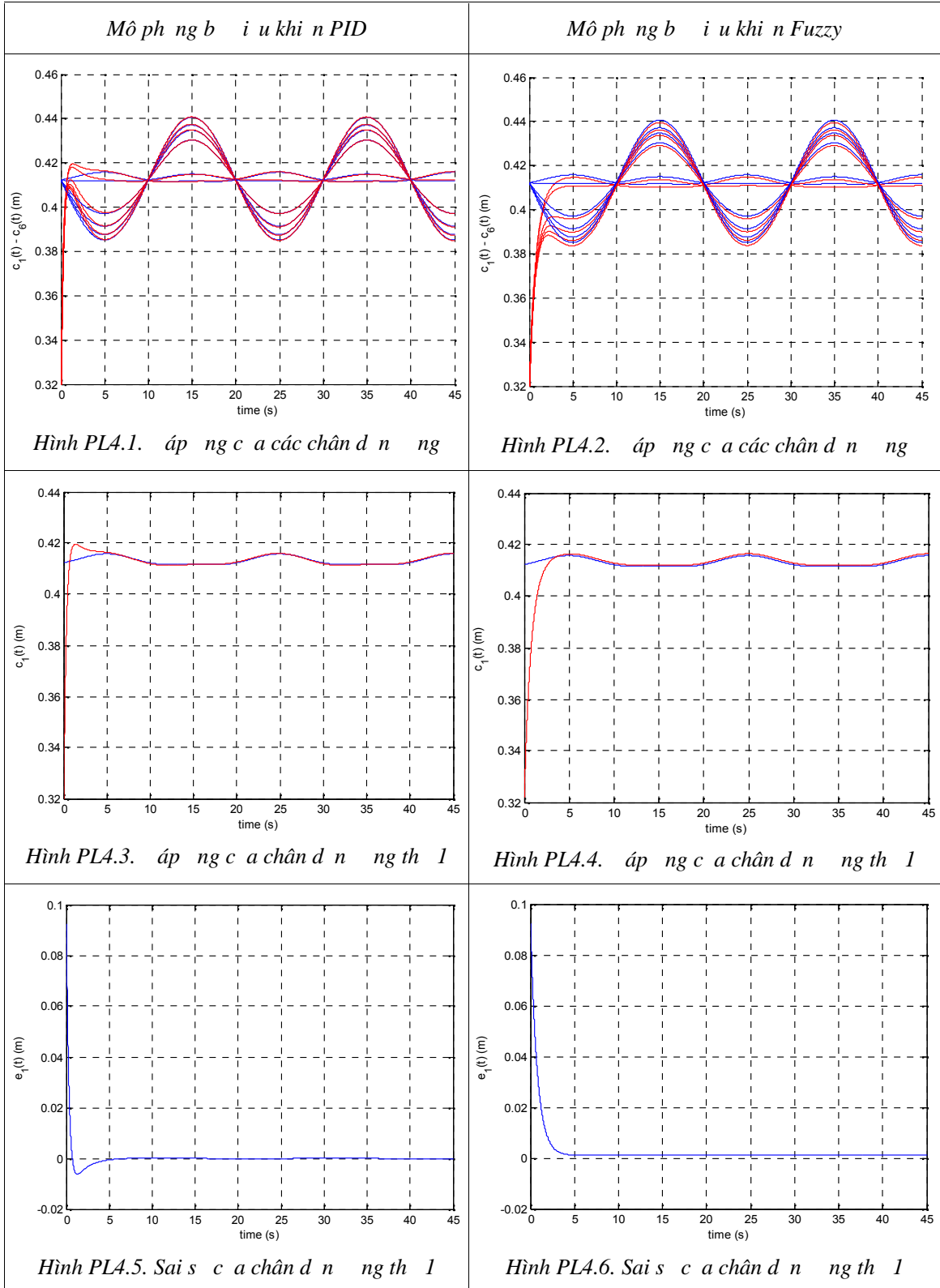
b) Hàm liên thuộc của K_P , K_D



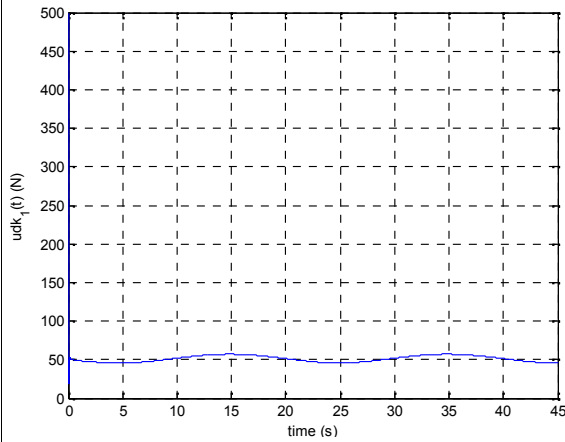
a) Hàm liên thuộc của u

Hình PL3.2. Các hàm liên thuộc của biến đầu vào khi dùng Fuzzy-PID

Ph 1 c 4. K t qu mô ph ng - áp ng các chân d n ng tay máy song song

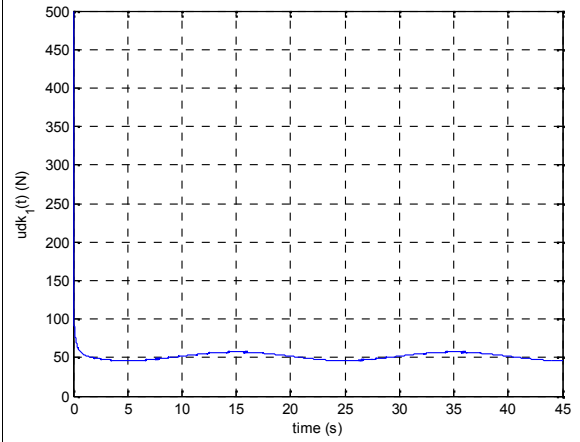


Mô phỏng bộ điều khiển PID

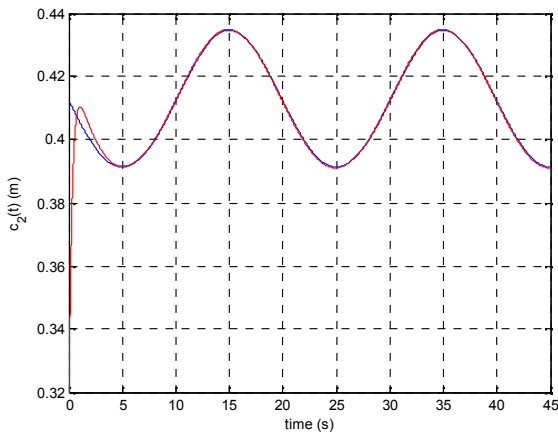


Hình PL4.7. Lực điều khiển chân d n ng th 1

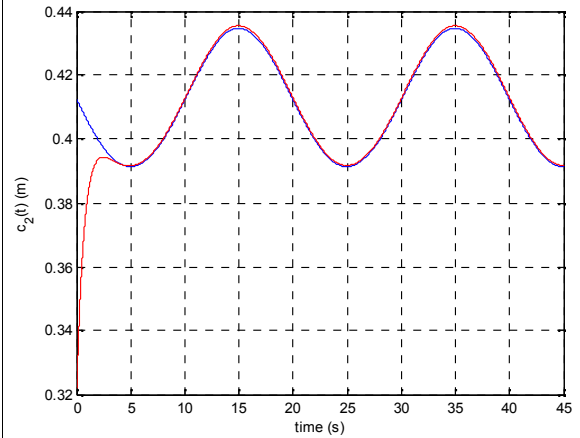
Mô phỏng bộ điều khiển Fuzzy



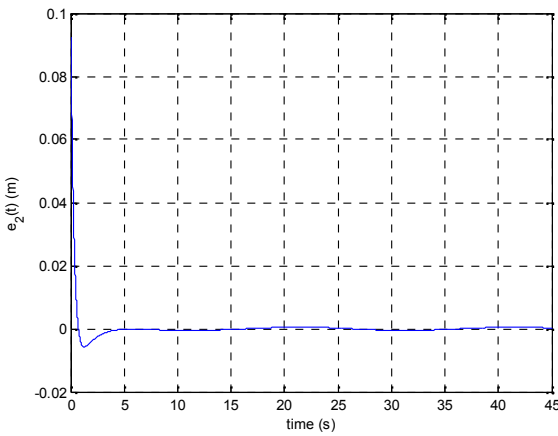
Hình PL4.8. Lực điều khiển chân d n ng th 1



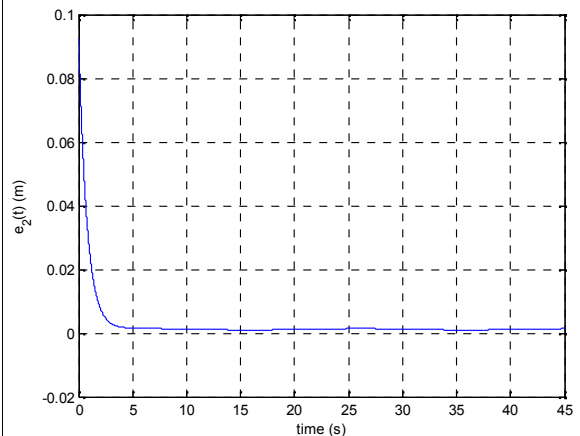
Hình PL4.9. Đáp ứng c a chân d n ng th 2



Hình PL4.10. Đáp ứng c a chân d n ng th 2

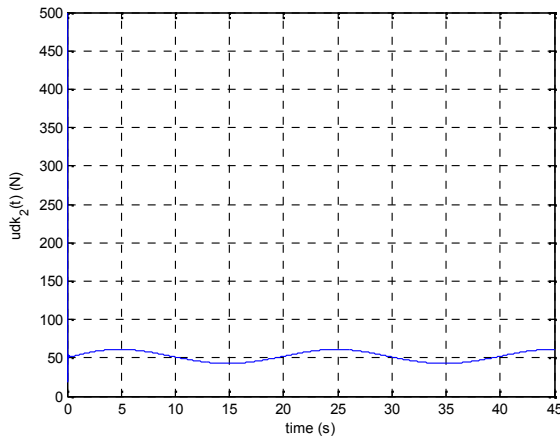


Hình PL4.11. Sai số c a chân d n ng th 2



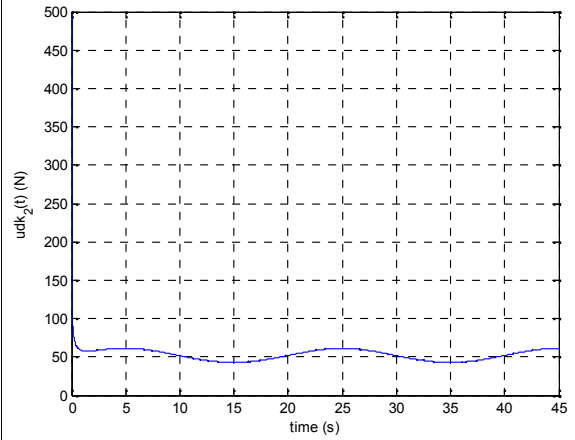
Hình PL4.12. Sai số c a chân d n ng th 2

Mô phỏng bộ điều khiển PID

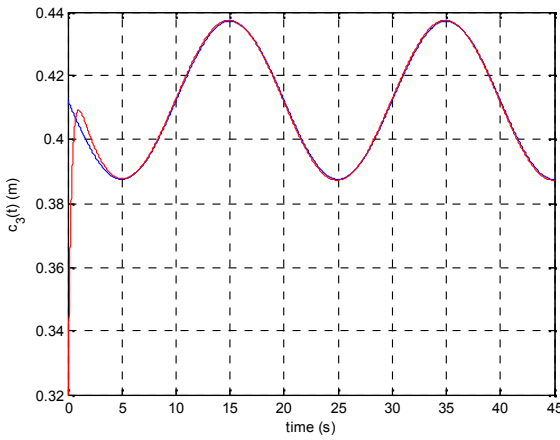


Hình PL4.13. Lực điều khiển chân d n ng th 2

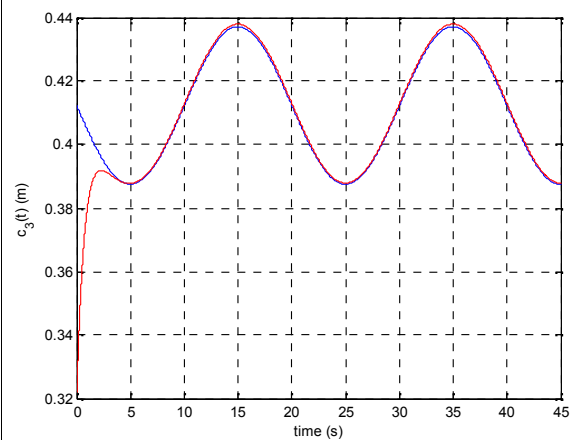
Mô phỏng bộ điều khiển Fuzzy



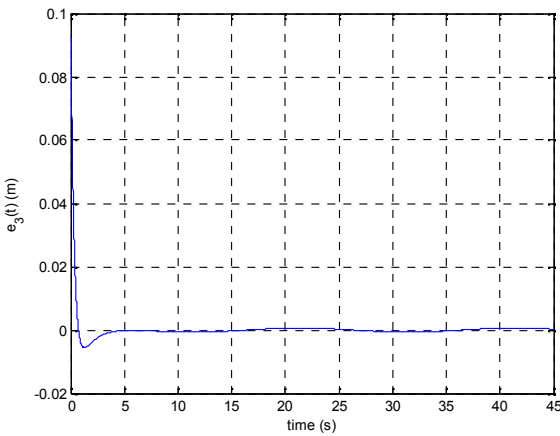
Hình PL4.14. Lực điều khiển chân d n ng th 2



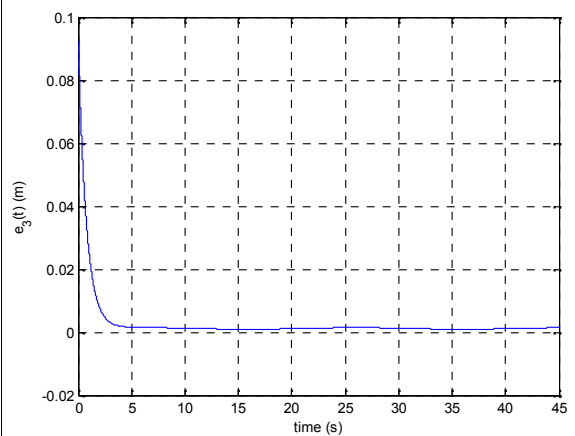
Hình PL4.15. Áp lực chân d n ng th 3



Hình PL4.16. Áp lực chân d n ng th 3

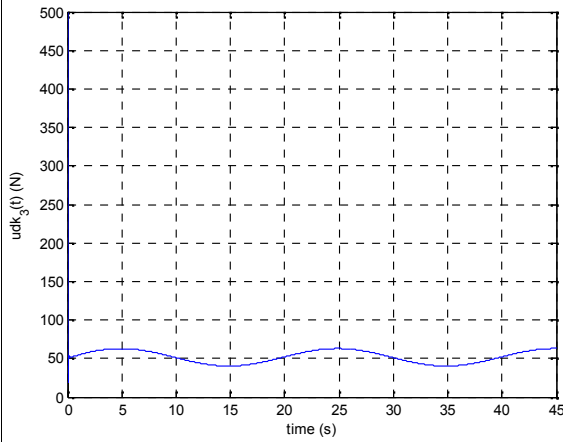


Hình PL4.17. Sai số chân d n ng th 3



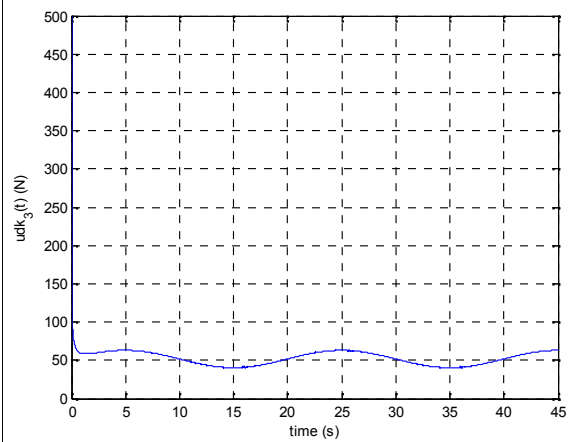
Hình PL4.18. Sai số chân d n ng th 3

Mô phỏng biến tải khi dùng PID

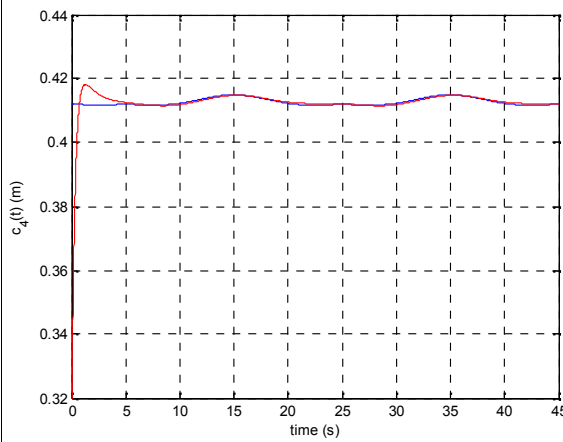


Hình PL4.19. Tải biến khi dùng chân điều khiển PID

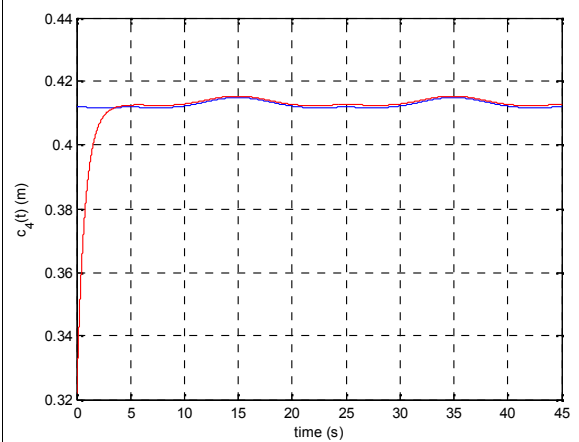
Mô phỏng biến tải khi dùng Fuzzy



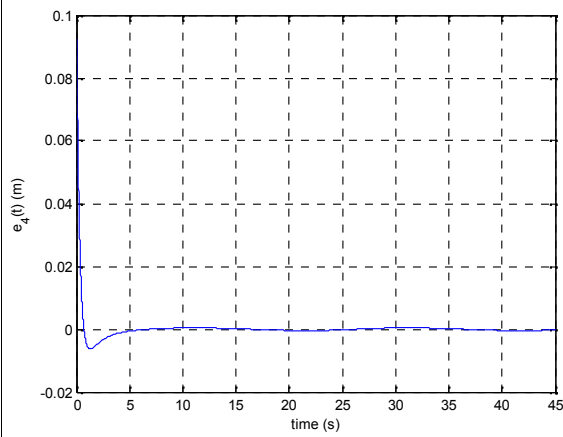
Hình PL4.20. Tải biến khi dùng chân điều khiển Fuzzy



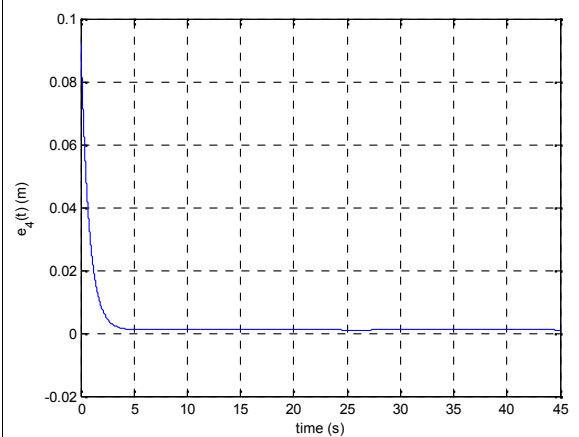
Hình PL4.21. Đáp ứng của chân điều khiển PID



Hình PL4.22. Đáp ứng của chân điều khiển Fuzzy

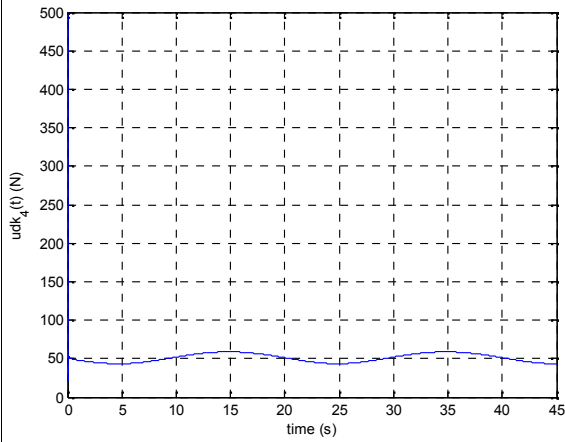


Hình PL4.23. Sai số của chân điều khiển PID



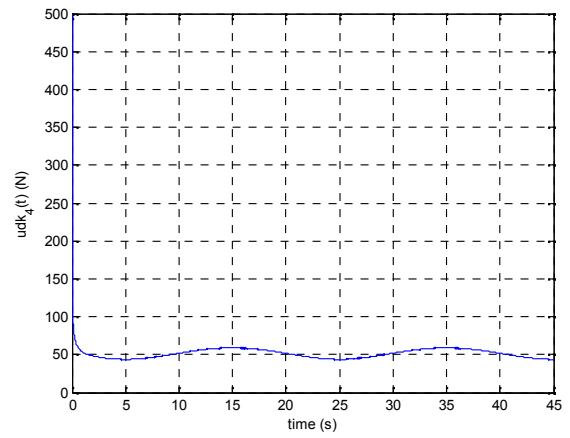
Hình PL4.24. Sai số của chân điều khiển Fuzzy

Mô phỏng bộ điều khiển PID

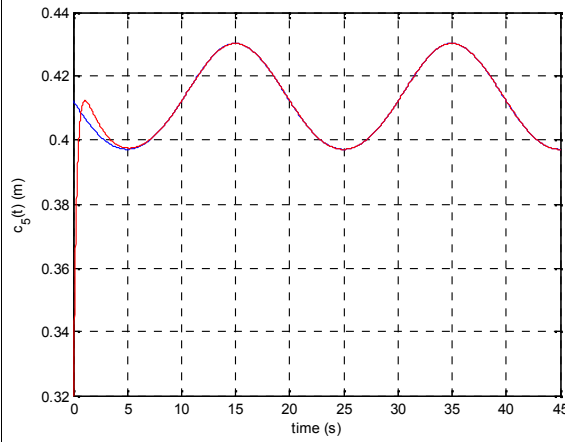


Hình PL4.25. Lực điều khiển chân d n ng th 4

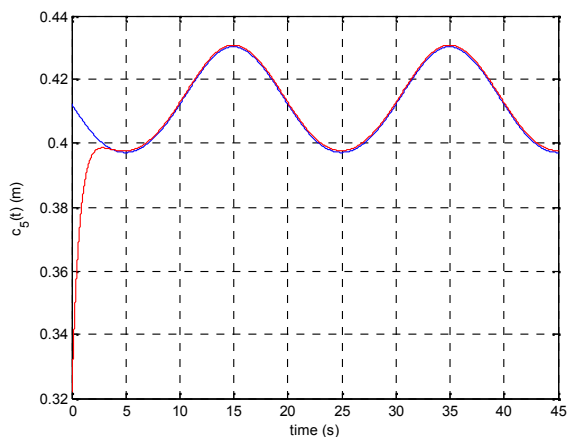
Mô phỏng bộ điều khiển Fuzzy



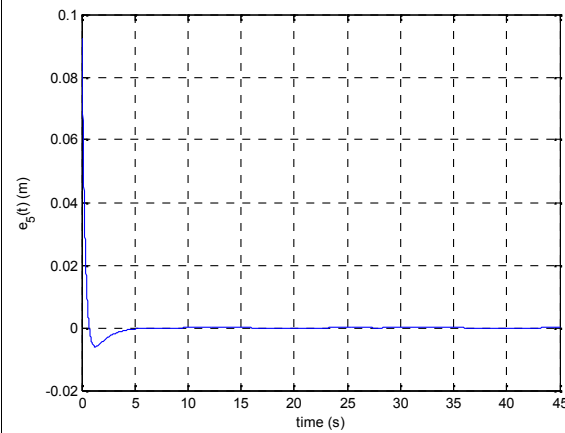
Hình PL4.26. Lực điều khiển chân d n ng th 4



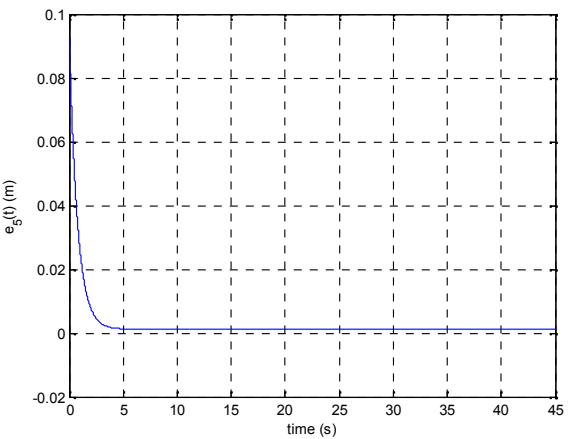
Hình PL4.27. Áp lực chân d n ng th 5



Hình PL4.28. Áp lực chân d n ng th 5

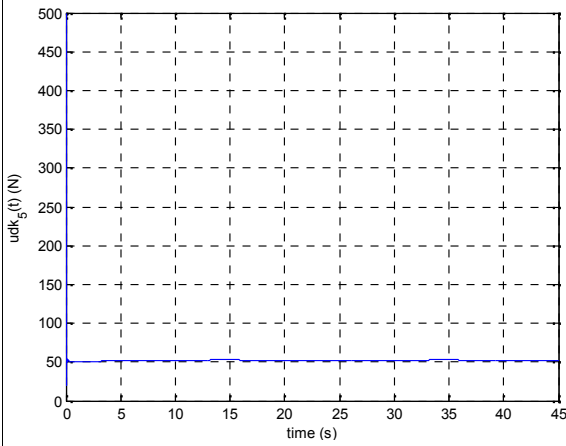


Hình PL4.29 Sai số chân d n ng th 5



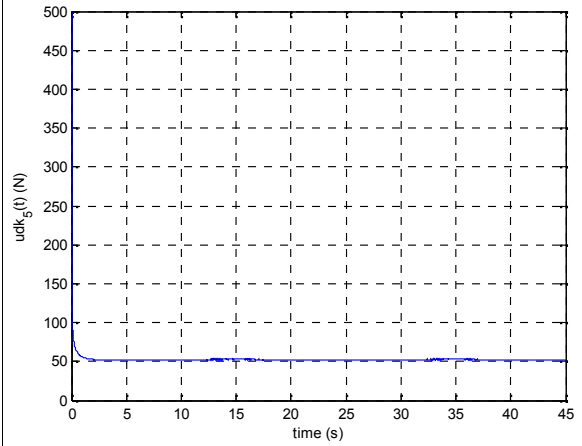
Hình PL4.30 Sai số chân d n ng th 5

Mô phỏng bộ điều khiển PID

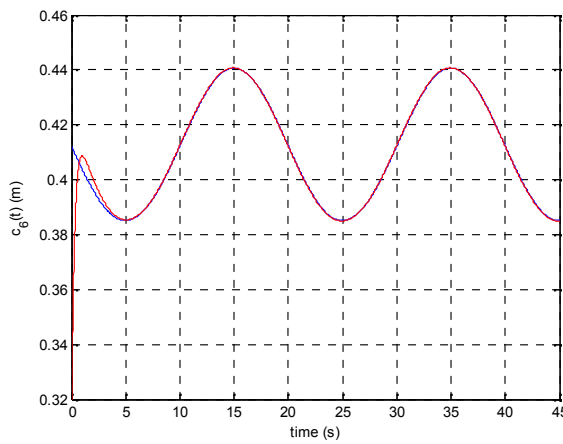


Hình PL4.31. Lực điều khiển chân đế bằng thuật toán PID

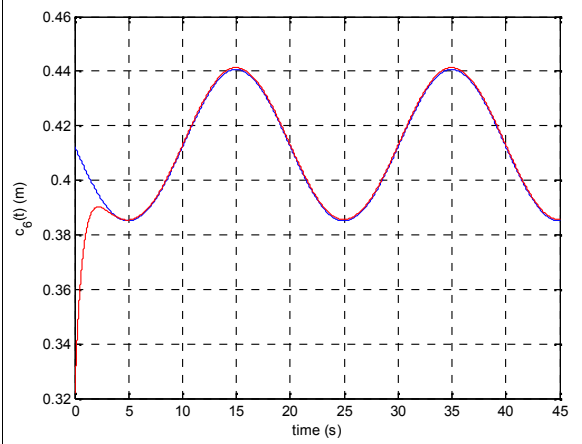
Mô phỏng bộ điều khiển Fuzzy



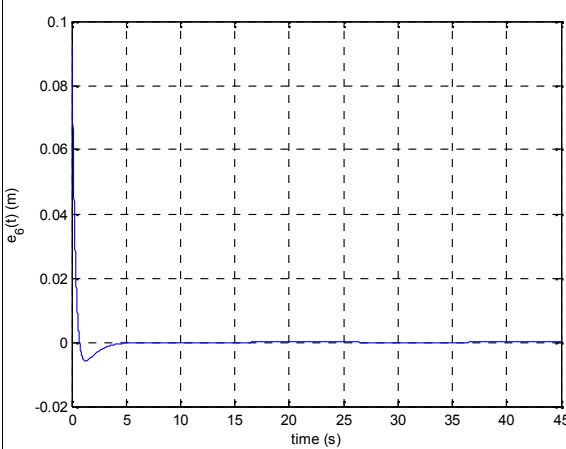
Hình PL4.32. Lực điều khiển chân đế bằng thuật toán Fuzzy



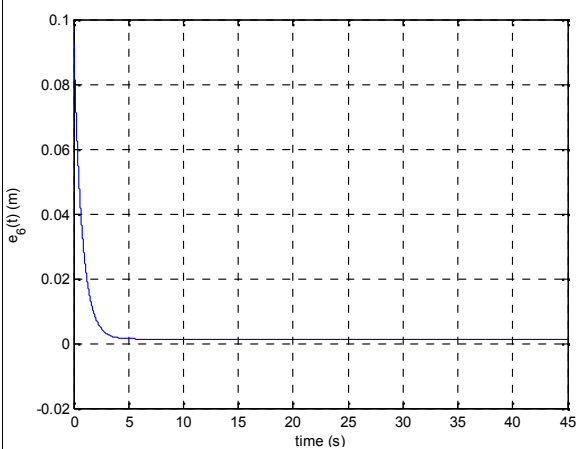
Hình PL4.33. Đáp ứng vị trí chân đế bằng thuật toán PID



Hình PL4.34. Đáp ứng vị trí chân đế bằng thuật toán Fuzzy

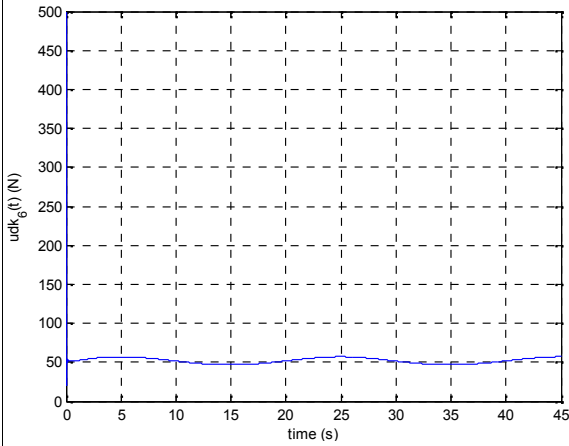


Hình PL4.35. Sai số vị trí chân đế bằng thuật toán PID



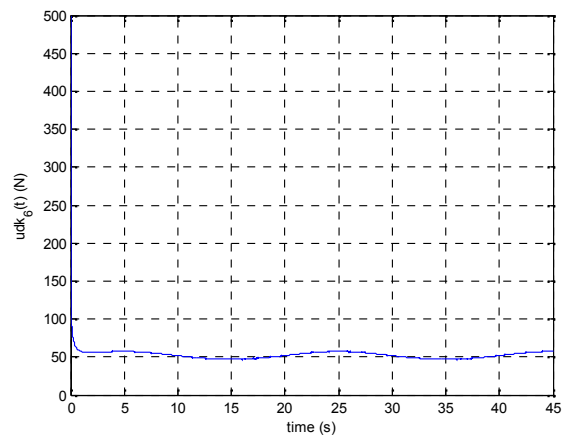
Hình PL4.36. Sai số vị trí chân đế bằng thuật toán Fuzzy

Mô phỏng bù i u khi n PID



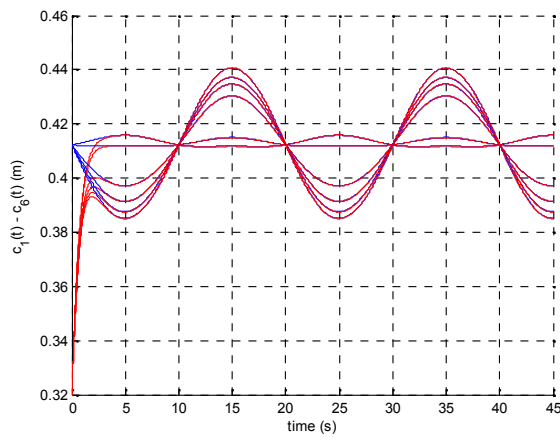
Hình PL4.37. L c i u khi n chân d n ng th 6

Mô phỏng bù i u khi n Fuzzy

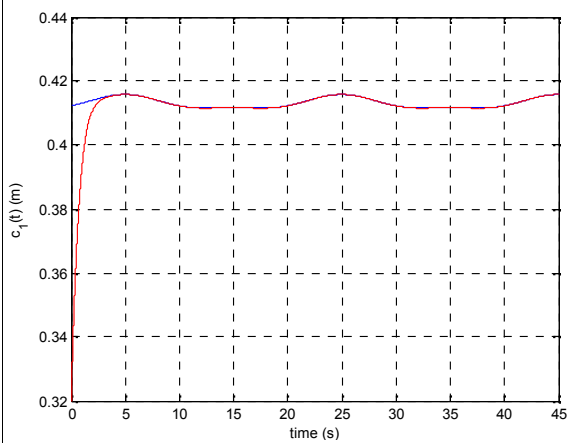


Hình PL4.38. L c i u khi n chân d n ng th 6

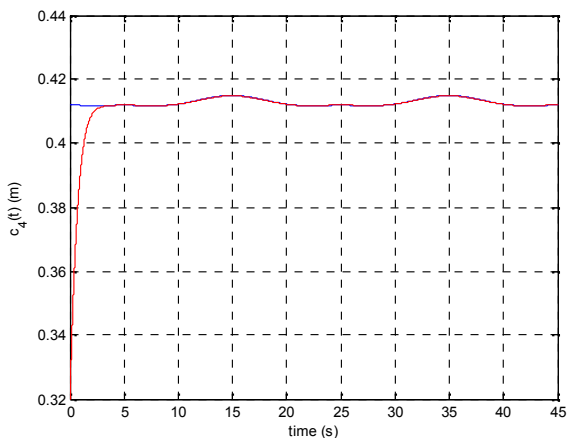
Mô phỏng bù i u khi n Fuzzy-PID



Hình PL4.39. áp ng c a các chân d n ng

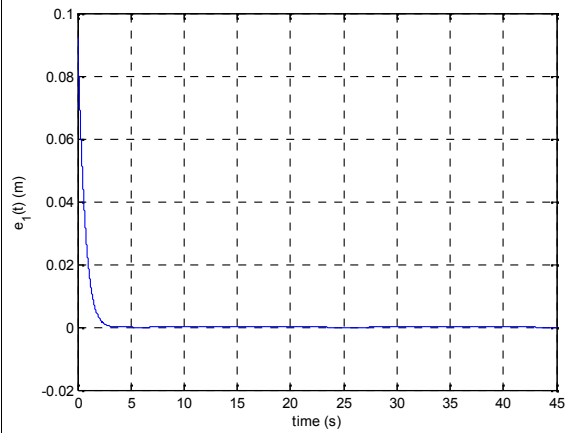


Hình PL4.40. áp ng c a chân d n ng th 1

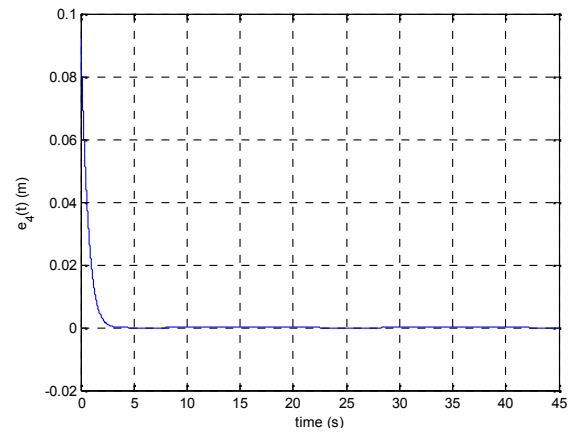


Hình PL4.41. áp ng c a chân d n ng th 4

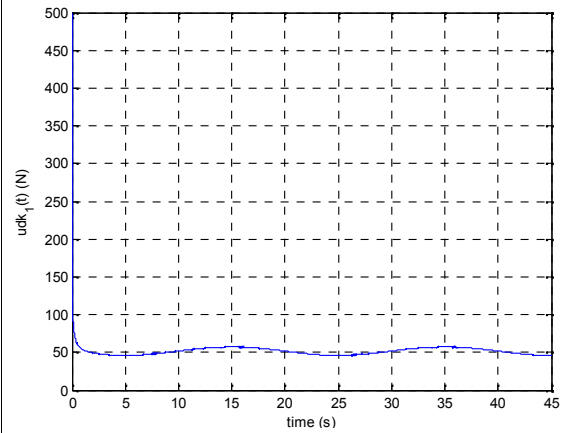
Mô phỏng bộ điều khiển Fuzzy-PID



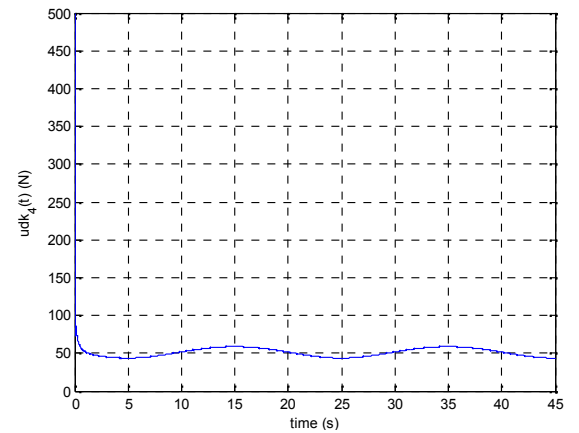
Hình PL4.42 Sai số của chân điều khiển 1



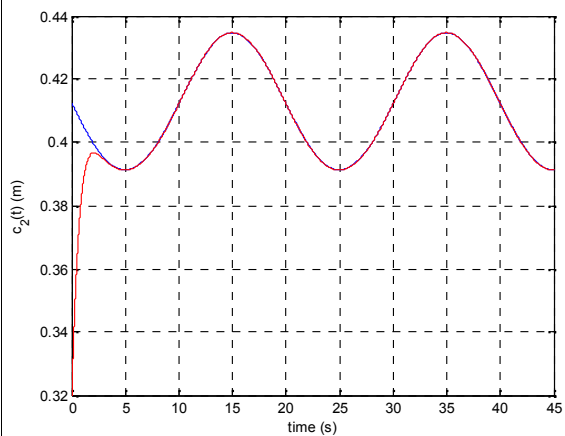
Hình PL4.43 Sai số của chân điều khiển 4



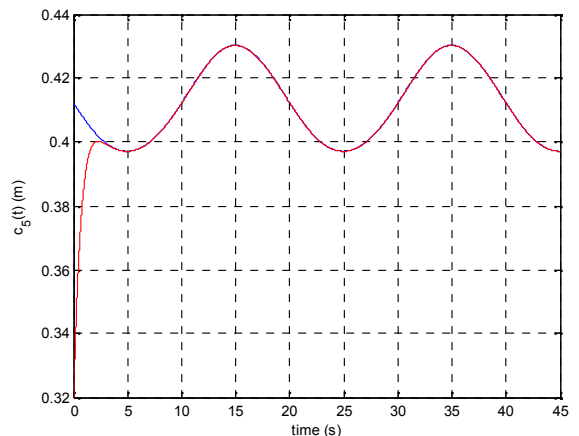
Hình PL4.44. Lực điều khiển chân điều khiển 1



Hình PL4.45. Lực điều khiển chân điều khiển 4

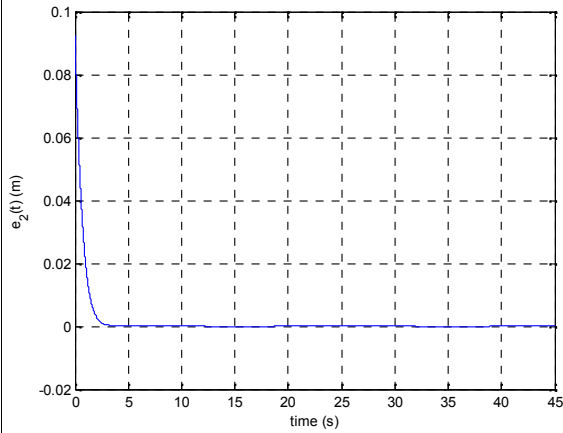


Hình PL4.46. Đáp ứng của chân điều khiển 2

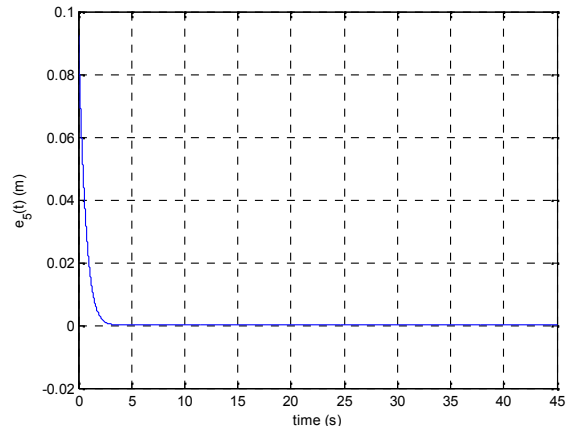


Hình PL4.47. Đáp ứng của chân điều khiển 5

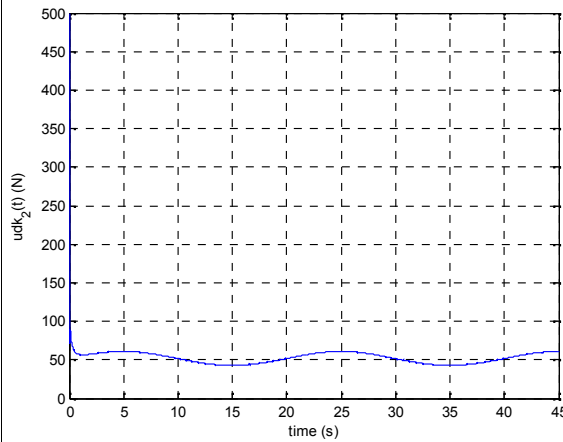
Mô phỏng hệ thống điều khiển Fuzzy-PID



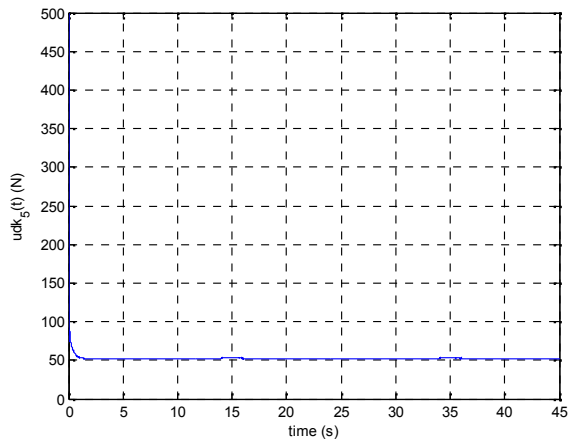
Hình PL4.48 Sai số của chân điều khiển 2



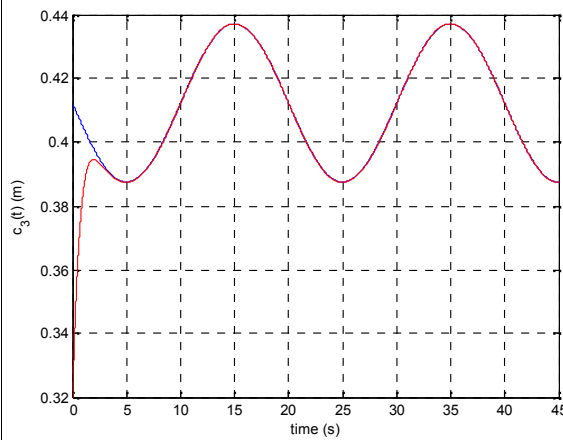
Hình PL4.49 Sai số của chân điều khiển 5



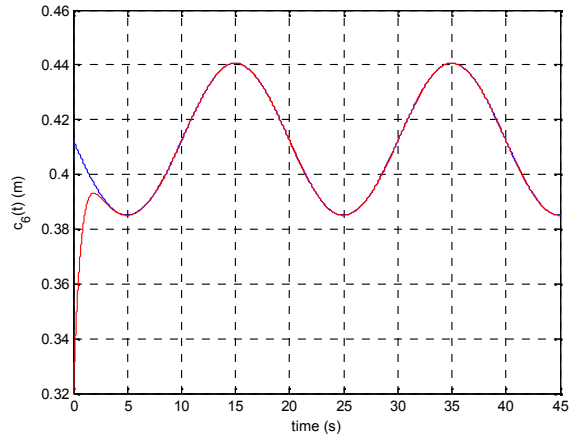
Hình PL4.50 Lực điều khiển chân điều khiển 2



Hình PL4.51 Lực điều khiển chân điều khiển 5

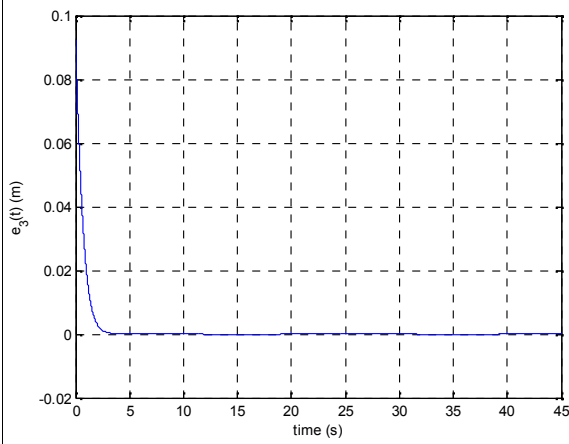


Hình PL4.52. áp dụng của chân điều khiển 3

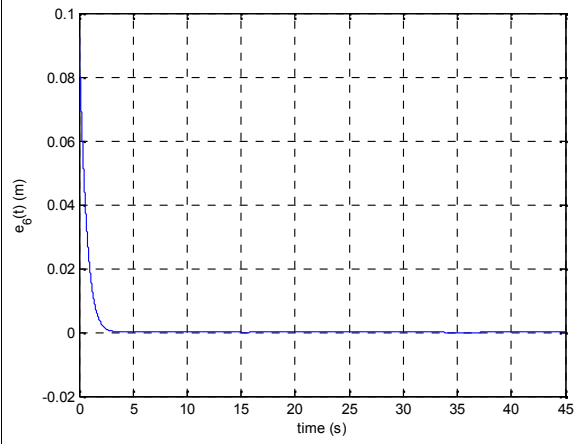


Hình PL4.53. áp dụng của chân điều khiển 6

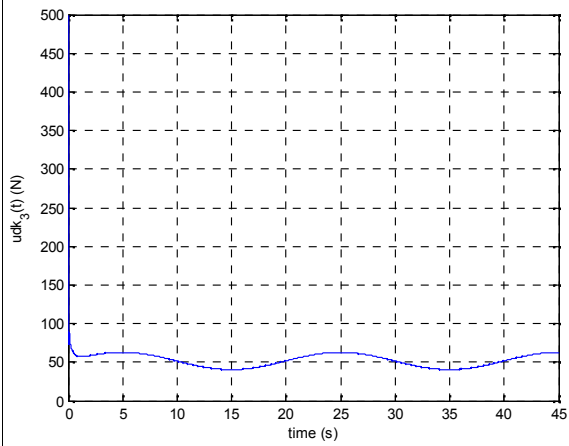
Mô phỏng bù i u khi n Fuzzy-PID



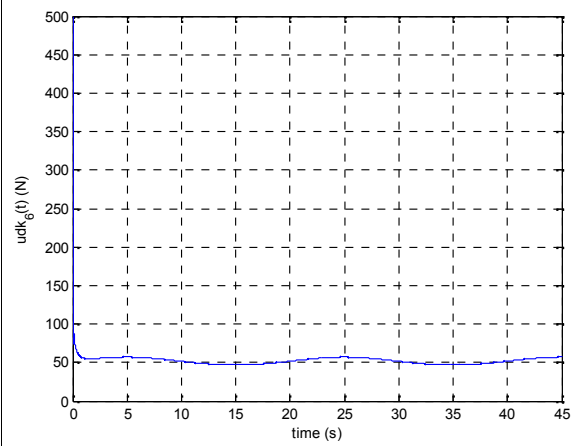
Hình PL4.54 Sai số của chân d n ng th 3



Hình PL4.55 Sai số của chân d n ng th 6



Hình PL4.56. L c i u khi n chân d n ng th 3



Hình PL4.57. L c i u khi n chân d n ng th 6

Ph 1 c 5. Các tiêu chu n ch t l ñng c a b i u khi n tay máy song song

B ñng PL5.1. Mô ph ñng b i u khi n PID

Tiêu chu n ch t l ñng / Tr c		X	Y	Z
v t l (POT)	V trí (%)	0	0	10,57
	Góc h ñng (%)	0	0	0
Sai s xác l p (e_{xl})	V trí (m)	$0,53 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$0,57 \cdot 10^{-3}$
	Góc h ñng (rad)	$1 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-3}$
Th i gian xác l p (t_{xl})	V trí (s)	0	0	4,5
	Góc h ñng (s)	0	0	0
Th i gian lên (t_{rise})	V trí (s)	0	0	0,17
	Góc h ñng (s)	0	0	0

B ñng PL5.2. Mô ph ñng b i u khi n Direct Fuzzy-PD

Tiêu chu n ch t l ñng / Tr c		X	Y	Z
v t l (POT)	V trí (%)	0	0	1,37
	Góc h ñng (%)	0	0	0
Sai s xác l p (e_{xl})	V trí (m)	$0,1 \cdot 10^{-3}$	$0,84 \cdot 10^{-3}$	$0,076 \cdot 10^{-3}$
	Góc h ñng (rad)	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,24 \cdot 10^{-3}$
Th i gian xác l p (t_{xl})	V trí (s)	0	0	6,3
	Góc h ñng (s)	0	0	0
Th i gian lên (t_{rise})	V trí (s)	0	0	0,45
	Góc h ñng (s)	0	0	0

Bảng PL5.3. Mô phỏng b i u khi n Fuzzy-PID

Tiêu chu n ch t l ã ng / Tr c		X	Y	Z
v t l (<i>POT</i>)	V trí (%)	0	0	5
	Góc h ã ng (%)	0	0	0
Sai s ã xác l p (<i>e_{xl}</i>)	V trí (m)	$0,03 \cdot 10^{-3}$	$0,84 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$
	Góc h ã ng (rad)	$0,32 \cdot 10^{-3}$	$0,28 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$
Th i gian xác l p (<i>t_{xl}</i>)	V trí (s)	0	0	3,9
	Góc h ã ng (s)	0	0	0
Th i gian lên (<i>t_{rise}</i>)	V trí (s)	0	0	0,41
	Góc h ã ng (s)	0	0	0

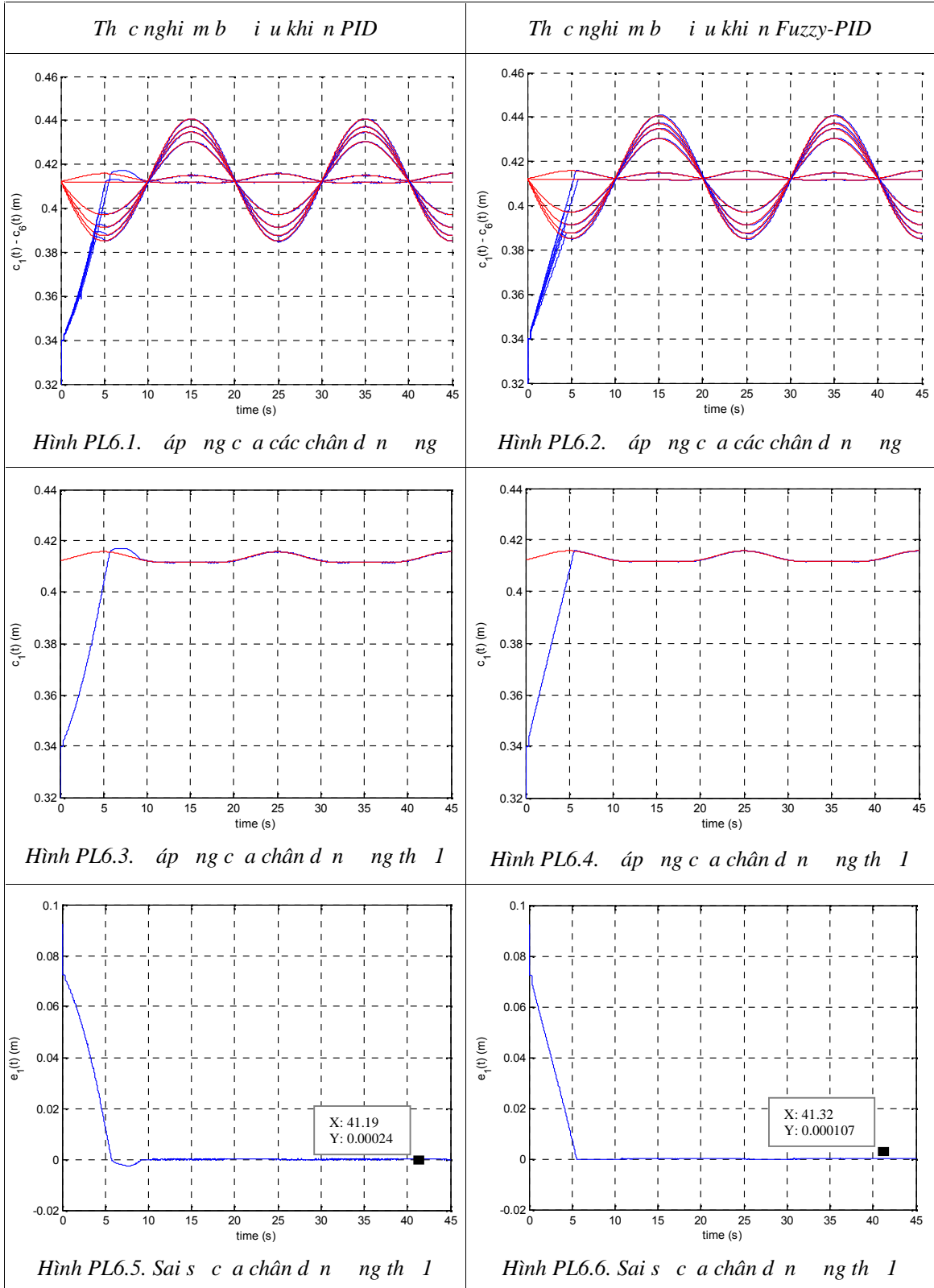
Bảng PL5.4. Th c nghi m b i u khi n PID

Tiêu chu n ch t l ã ng / Tr c		X	Y	Z
v t l (<i>POT</i>)	V trí (%)	0	0	0
	Góc h ã ng (%)	0	0	0
Sai s ã xác l p (<i>e_{xl}</i>)	V trí (m)	$1 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$
	Góc h ã ng (rad)	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Th i gian xác l p (<i>t_{xl}</i>)	V trí (s)	0	0	5,7
	Góc h ã ng (s)	0	0	0
Th i gian lên (<i>t_{rise}</i>)	V trí (s)	0	0	3,7
	Góc h ã ng (s)	0	0	0

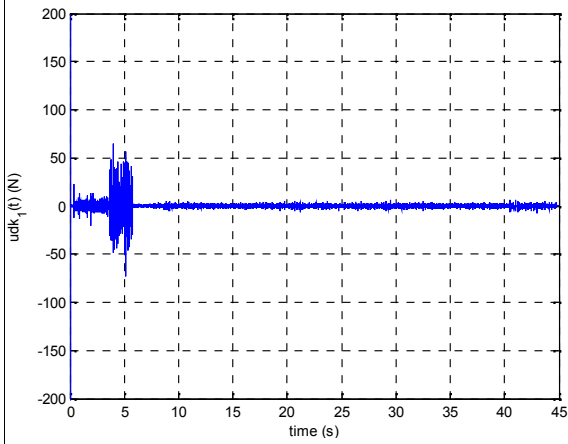
Bảng PL5.5. Thử nghiệm mô phỏng khi dùng Fuzzy-PID

Tiêu chuẩn chất lượng / Trục		X	Y	Z
vấn đề (<i>POT</i>)	V trí (%)	0	0	0
	Góc nghiêng (%)	0	0	0
Sai số xác lập (<i>e_{xl}</i>)	V trí (m)	1.10^{-3}	1.10^{-3}	$1,5.10^{-3}$
	Góc nghiêng (rad)	$1,7.10^{-3}$	$1,6.10^{-3}$	$1,6.10^{-3}$
Thời gian xác lập (<i>t_{xl}</i>)	V trí (s)	0	0	5,7
	Góc nghiêng (s)	0	0	0
Thời gian lên (<i>t_{rise}</i>)	V trí (s)	0	0	3,7
	Góc nghiêng (s)	0	0	0

Ph 1 c 6. K t qu th c nghi m - áp ng các chân d n ng tay máy song song

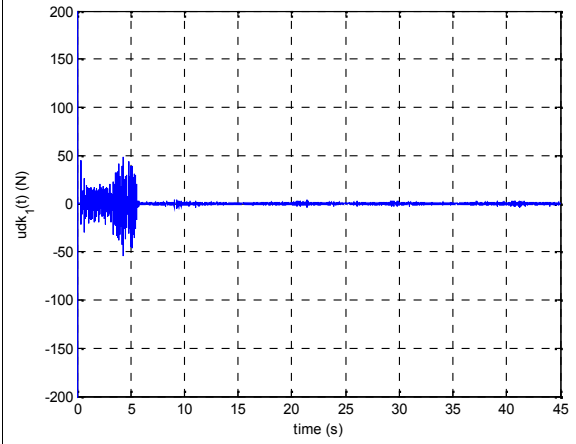


Th c nghi m b i u khi n PID

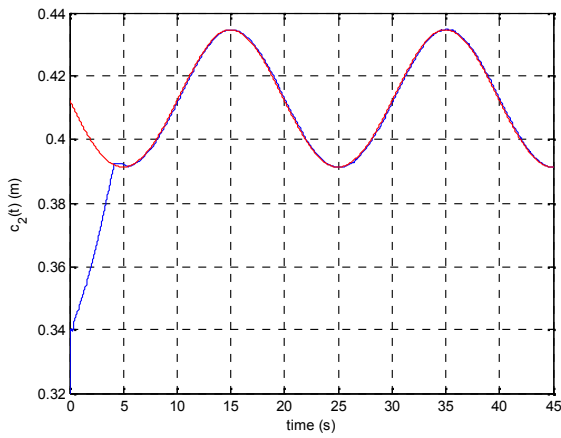


Hình PL6.7. L c i u khi n c a ch n d n ng l

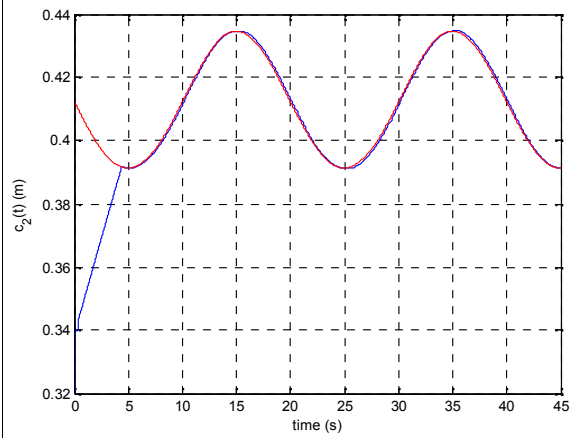
Th c nghi m b i u khi n Fuzzy-PID



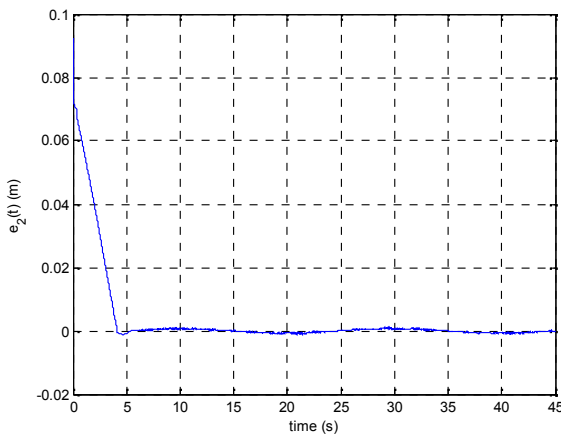
Hình PL6.8. L c i u khi n c a ch n d n ng l



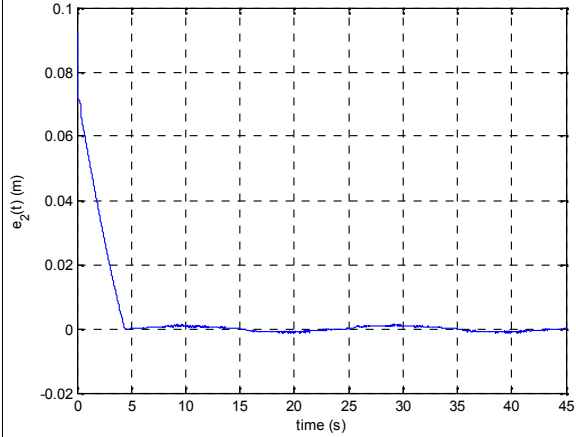
Hình PL6.9. áp ng c a ch n d n ng th 2



Hình PL6.10. áp ng c a ch n d n ng th 2

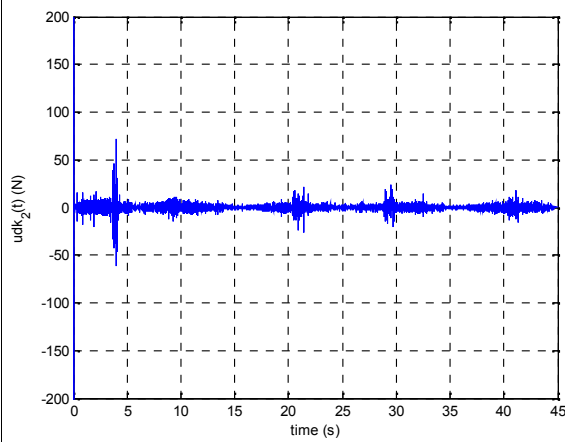


Hình PL6.11. Sai s c a ch n d n ng th 2



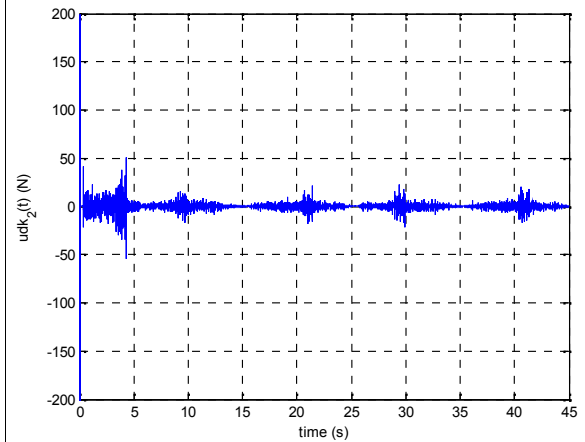
Hình PL6.12. Sai s c a ch n d n ng th 2

Thí nghiệm b i u khi n PID

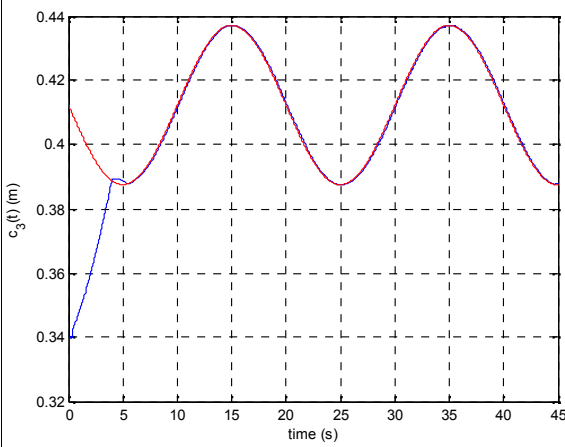


Hình PL6.13. L c i u khi n c a chân d n ng 2

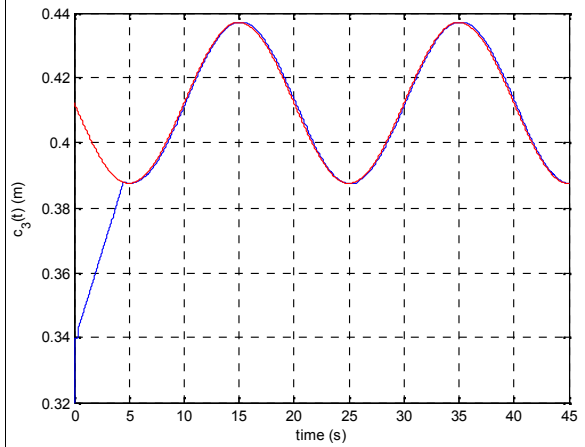
Thí nghiệm b i u khi n Fuzzy-PID



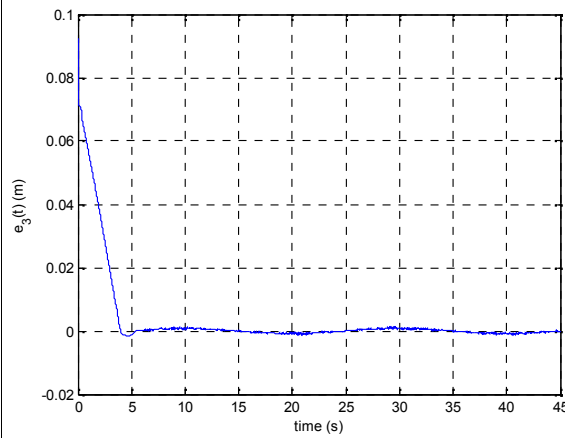
Hình PL6.14. L c i u khi n c a chân d n ng 2



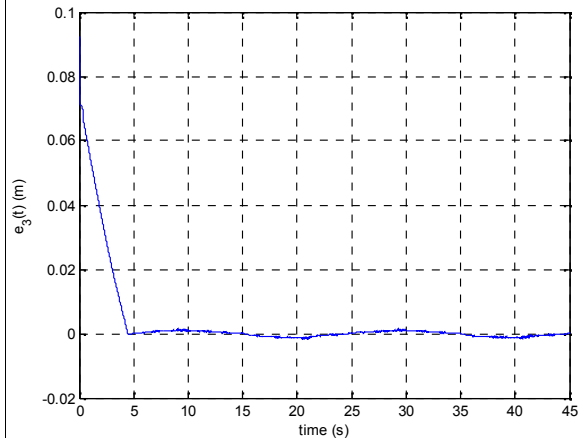
Hình PL6.15. áp ng c a chân d n ng th 3



Hình PL6.16. áp ng c a chân d n ng th 3

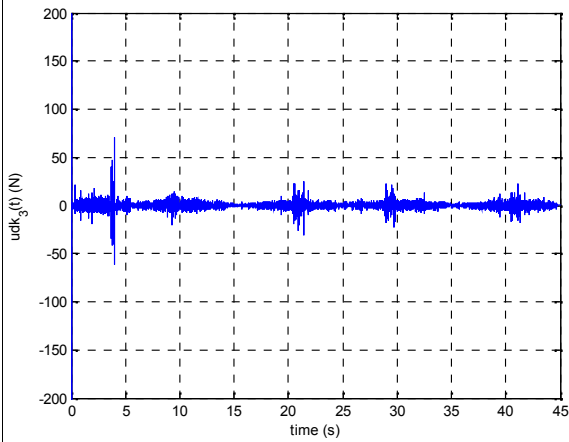


Hình PL6.17. Sai s c a chân d n ng th 3



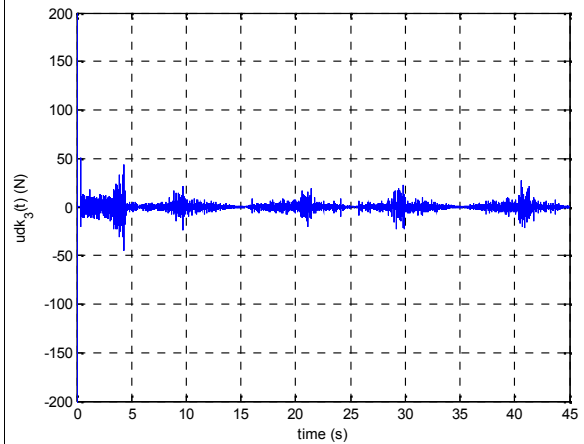
Hình PL6.18. Sai s c a chân d n ng th 3

Thí nghiệm bước i u khi n PID

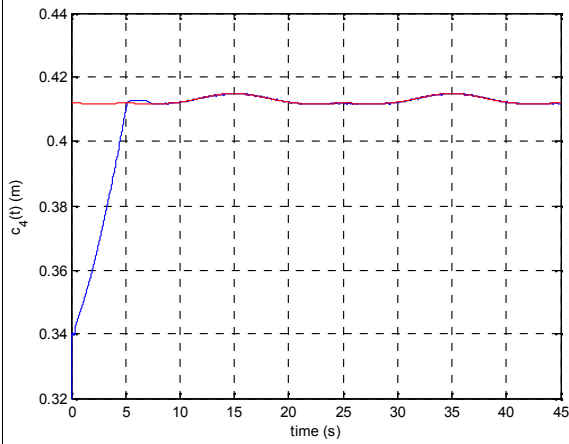


Hình PL6.19. L c i u khi n c a chân d n ng 3

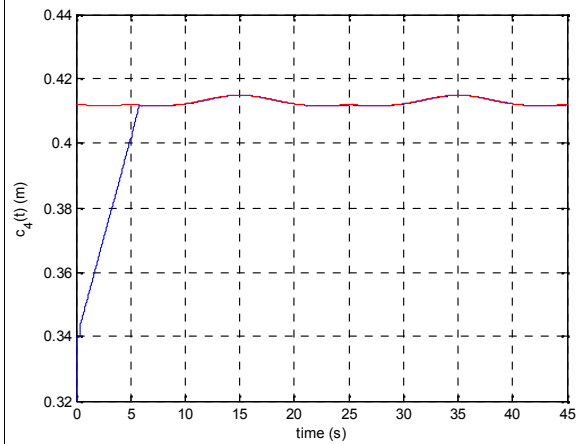
Thí nghiệm bước i u khi n Fuzzy-PID



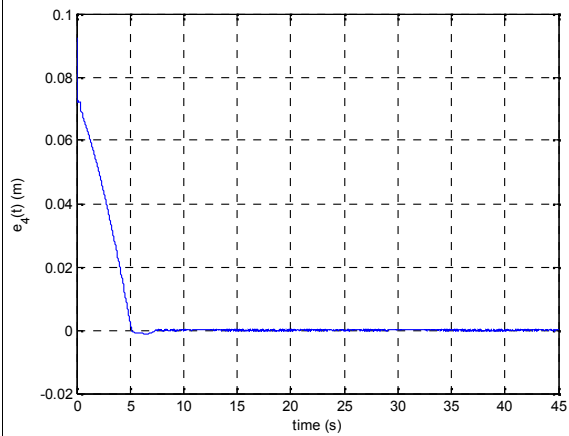
Hình PL6.20. L c i u khi n c a chân d n ng 3



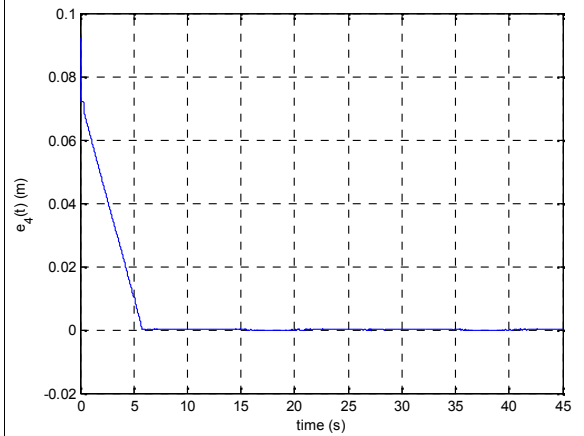
Hình PL6.21. áp ng c a chân d n ng th 4



Hình PL6.22. áp ng c a chân d n ng th 4

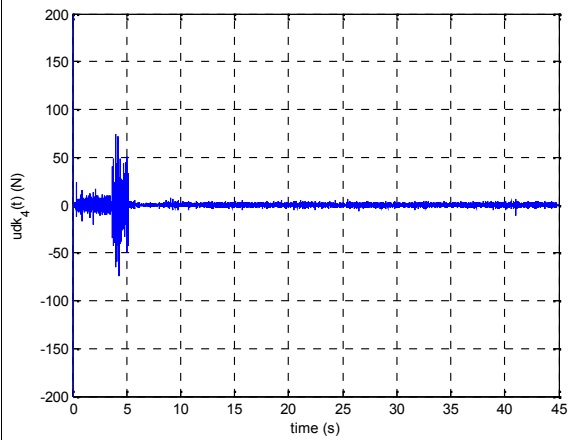


Hình PL6.23. Sai s c a chân d n ng th 4



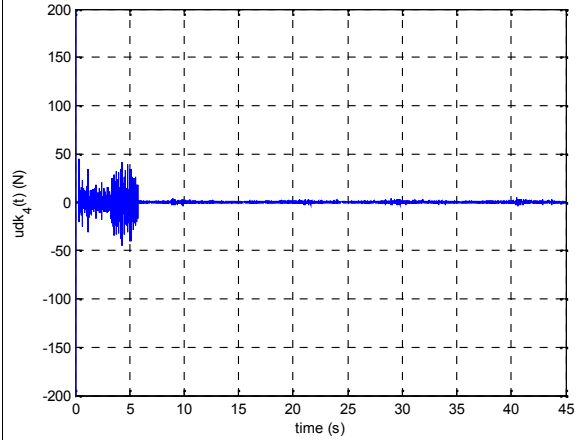
Hình PL6.24. Sai s c a chân d n ng th 4

Th c nghi m b i u khi n PID

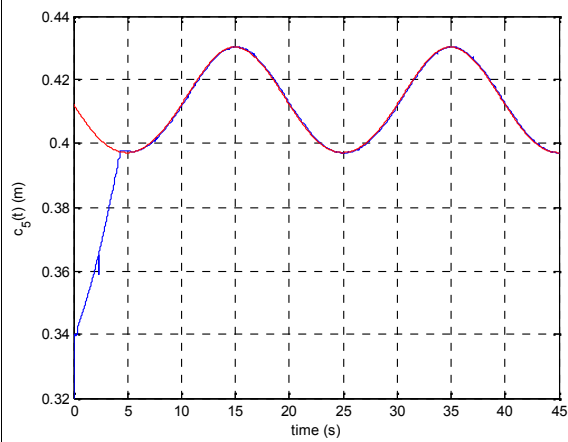


Hình PL6.25. L c i u khi n c a chân d n ng 4

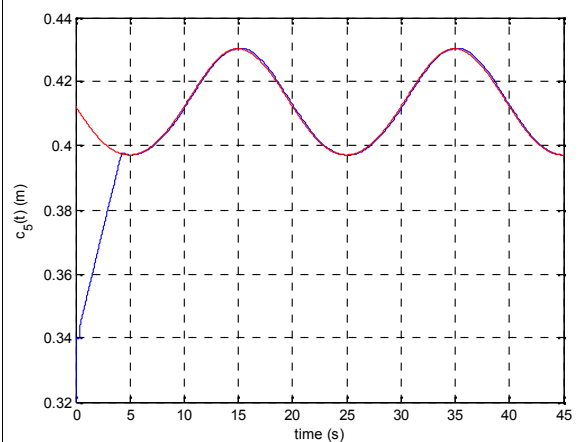
Th c nghi m b i u khi n Fuzzy-PID



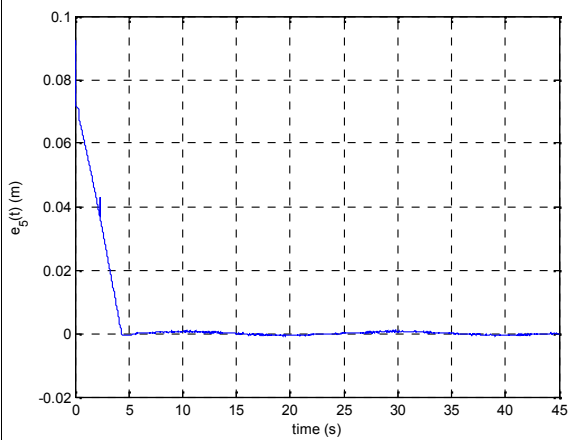
Hình PL6.26. L c i u khi n c a chân d n ng 4



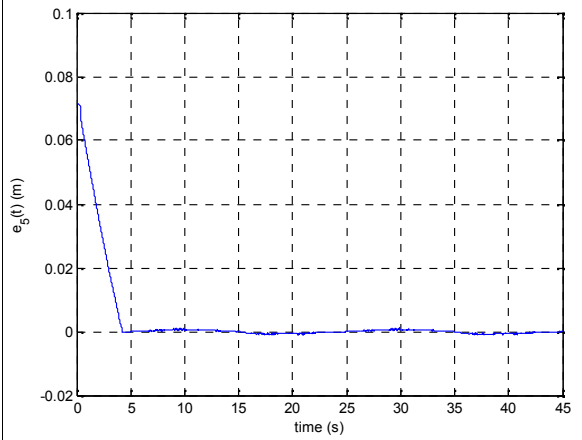
Hình PL6.27. áp ng c a chân d n ng th 5



Hình PL6.28. áp ng c a chân d n ng th 5

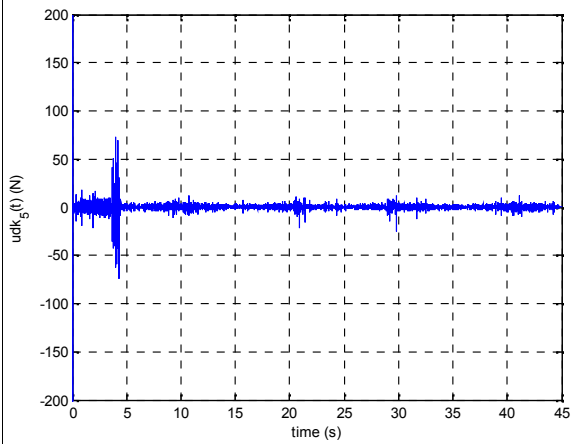


Hình PL6.29. Sai s c a chân d n ng th 5



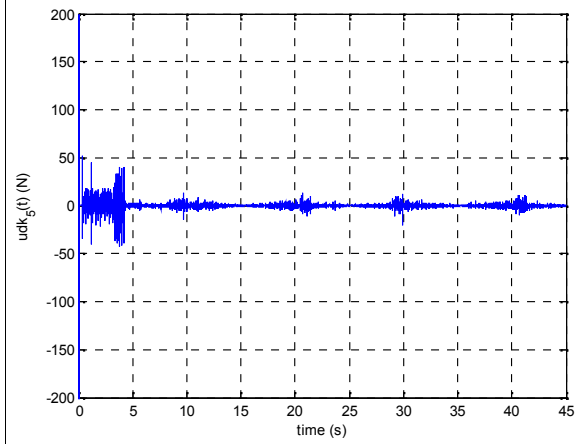
Hình PL6.30. Sai s c a chân d n ng th 5

Thí nghiệm b i u khi n PID

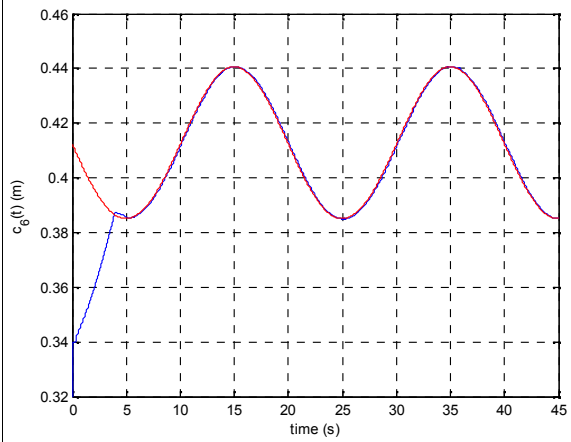


Hình PL6.31. L c i u khi n c a chân d n ng 5

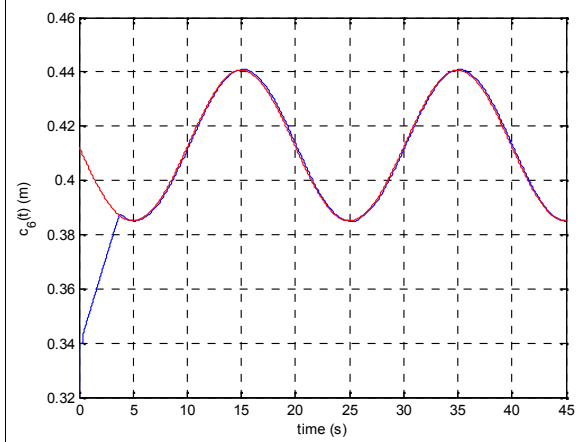
Thí nghiệm b i u khi n Fuzzy-PID



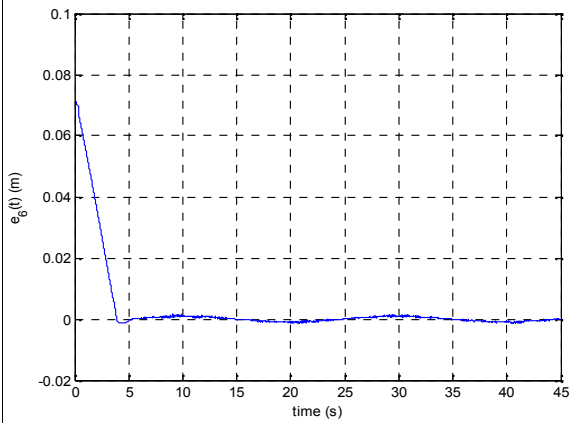
Hình PL6.32. L c i u khi n c a chân d n ng 5



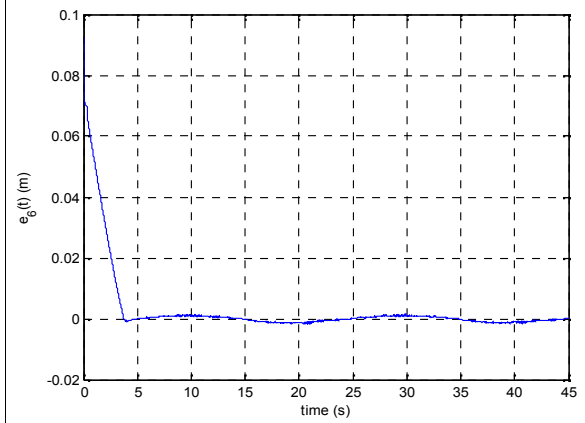
Hình PL6.33. á p ng c a chân d n ng th 6



Hình PL6.34. á p ng c a chân d n ng th 6

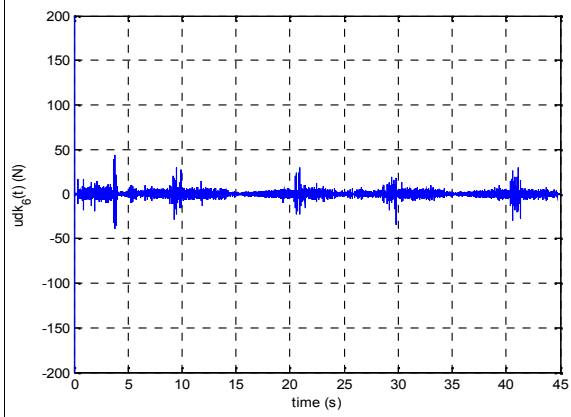


Hình PL6.35. Sai s c a chân d n ng th 6



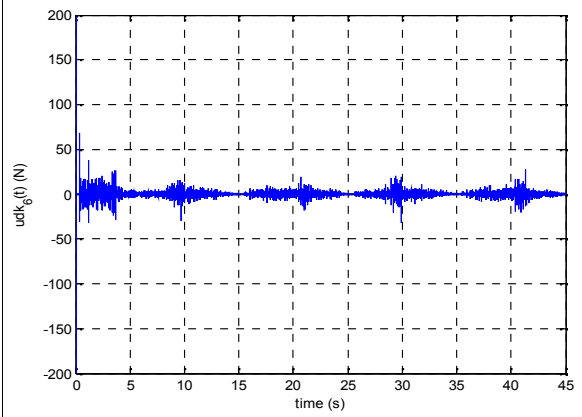
Hình PL6.36. Sai s c a chân d n ng th 6

Thí nghiệm bước i u khi n PID



Hình PL6.37. L c i u khi n c a chân d n ng 6

Thí nghiệm bước i u khi n Fuzzy-PID



Hình PL6.38. L c i u khi n c a chân d n ng 6