

BỘ CÔNG THƯƠNG
VIỆN NGHIÊN CỨU ĐIỆN TỬ - TIN HỌC - TỰ ĐỘNG HÓA

NGUYỄN XUÂN VINH

TỐI ƯU HÓA THIẾT KẾ VÀ ĐIỀU KHIỂN TAY MÁY SONG SONG
KIỂU STEWART-GOUGH PLATFORM

Chuyên ngành: Kỹ thuật điện tử

Mã số: 62.52.02.03

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Công trình này được hoàn thành tại:

Viện Nghiên cứu Điện tử, Tin học, Tự động hóa

Người hướng dẫn khoa học:

PGS.TS. Nguyễn Ngọc Lâm

TS. Nguyễn Minh Thạnh

Phản biện 1:

PGS. TS. Hoàng Trang

Phản biện 2:

PGS. TS. Nguyễn Ngọc Phương

Phản biện 3:

PGS. TS. Đồng Văn Hường

Luận án được bảo vệ trước Hội đồng chấm Luận án cấp Viện tại:

Viện Nghiên cứu Điện tử, Tin học, Tự động hóa.

vào hồi giờ ngày tháng 10 năm 2015

Có thể tìm hiểu Luận án tại:

Thư viện Viện Nghiên cứu Điện tử, Tin học, Tự động hóa;

Thư viện Quốc gia.

CÔNG TRÌNH CÔNG BỐ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN CỦA TÁC GIẢ [CTTG]

- [1]. Nguyễn Minh Thanh, 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 Cơ điện tử, VCM-2010*, tr. 242-247.
Journal of Computer Science and Cybernetics, ISSN: 1813-9663, vol. 27, no. 1, pp. 93-106.
- [2]. Nguyễn Minh Thanh, Lê Hoài Quốc, Nguyễn Xuân Vinh, Nguyễn Ngọc Lâm (2011), “Tối Ưu Hóa Thiết Kế Tay Máy Song Song Dùng Giải thuật Di Truyền Kết Hợp Tập Hợp Tối Ưu Pareto”, *Hội nghị toàn quốc về Điều khiển và Tự động hoá - VCCA-2011*, tr. 207-214.
- [3]. Nguyễn Xuân Vinh, Nguyễn Minh Thanh, Lê Hoài Quốc, Nguyễn Ngọc Lâm (2012), “Xác Định Tập Hợp Cấu Hình Suy Biến Tay Máy Song Song Dùng Lý Thuyết Vít”, *Hội nghị toàn quốc lần thứ 6 về Cơ điện tử, VCM-2012*, tr. 754-762.
- [4]. Nguyễn Xuân Vinh, Nguyễn Minh Thanh, Lê Hoài Quốc, Nguyễn Ngọc Lâm (2013), “Điều Khiển Tay Máy Song Song Dùng Lý Thuyết Mờ Kết Hợp Giải Thuật Di Truyền”, *Hội nghị toàn quốc lần thứ 2 về Điều khiển và Tự động hoá - VCCA-2013*, tr. 305-313.
- [5]. Nguyễn Xuân Vinh, Lê Quốc Hà, Nguyễn Ngọc Lâm, Lê Hoài Quốc, Nguyễn Minh Thanh (2014), “Experimental System for the Optimization of the Parallel Manipulator Control”, *Hội nghị toàn quốc lần thứ 7 về Cơ điện tử, VCM-2014*, tr. 280-287.
Journal of Computer Science and Cybernetics, ISSN: 1813-9663, vol. 31, no. 2, pp. 83-96.
- [6]. Nguyen Xuan Vinh, Nguyen Ngoc Lam, Le Quoc Ha, Le Hoai Quoc, Nguyen Minh Thanh, (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 TÁC GIẢ

- [1]. Nguyễn 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*.

M U

Tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform hi n nay ã c nghiên c u và ng d ng trong nhi u l nh v c khác nhau nh : gia công c khí chính xác, gi i ph u trong y h c, thiên v n h c, mô ph ng chuy n ng, ... ó là do nó có nh ng u i m v t tr i so v i tay máy n i ti p nh : c ng v ng cao, kh n ng ch u t i tr ng l n, kh n ng thay i v trí và nh h ng linh ho t, chính xác, n nh cao, ... Tuy nhiên, tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform c ng t n t i nh ng nh c i m nh t nh nh : không gian làm vi c b gi i h n, thi t k ch t o ph c t p, giá thành cao, bài toán ng h c thu n ph c t p và c bi t t n t i các i m k d (singularities) trong không gian làm vi c. Nh m h n ch các nh c i m nêu trên, vi c nghiên c u v t i u hoá thi t k và i u khi n c quan tâm c bi t trong quá trình ch t o và v n hành tay máy. Quá trình thi t k bao g m các b c : mô hình hóa; ánh giá kh n ng ho t ng c a tay máy v i các ràng bu c; t i u hóa thi t k theo a tiêu chí; t i u hóa b i u khi n phân c p trên c s các c u hình t i u hóa thi t k .

Qua tìm hi u các công trình ã công b , tác gi nh n th y các công trình nghiên c u ph n nhi u th c hi n m t cách riêng bi t v h th ng c khí ho c h i u khi n, mô ph ng ho t ng, gi i bài toán ng h c,... c a tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform theo t ng v n khác nhau. Vì v y, m t nghiên c u có tính t ng th v t i u hóa c thi t k c u hình c khí và h i u khi n cho tay máy song song ki u Stewart-Gough Platform có ý ngh a khoa h c và th c ti n.

M c tiêu c a lu n án: Xây d ng nh ng c s khoa h c v t i u hóa thi t k và i u khi n tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform, góp ph n t o ra công c thi t k , ch t o các h th ng ng d ng c th .

Ph m vi nghiên c u: T i u hóa thi t k và i u khi n tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform trên mô hình máy tính và th c nghi m.

Gi i h n c a lu n án:

- Áp d ng các gi i pháp t i u hóa s d ng gi i thu t di truy n (GA), thu t toán PSI, thu t toán GA-PSI. Áp d ng lý thuy t Vít xác nh c u hình suy bi n, i m k d và vùng lân c n i m k d c a tay máy song song.

- Mô hình thực nghiệm được xây dựng với các tiêu chí kiểm tra, so sánh các giá trị thu được từ quá trình thí nghiệm và thực nghiệm, không đòi hỏi tính linh hoạt và chính xác cao.
- Thực nghiệm khảo sát với 2 giá trị tham số: PID và Fuzzy-PID.

Phương pháp nghiên cứu: Nghiên cứu lý thuyết dựa trên các phương pháp mô hình hóa, số liệu công cụ tính toán - phần mềm máy tính thực hiện thí nghiệm và thực nghiệm. Tiến hành kiểm chứng trên mô hình thực nghiệm.

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 giá trị pháp nghiệm từ quá trình thí nghiệm tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform theo các tiêu chí (số lượng làm việc, số cấu hình làm việc, cấu trúc tay máy).
- Xây dựng mô hình thực nghiệm và thực hiện thí nghiệm quá trình vận hành.
- Xu hướng thí nghiệm giá trị thu được từ quá trình thí nghiệm tay máy trên các số liệu các thuật toán thực nghiệm kinh nghiệm và hiện tại.

Cấu trúc tài liệu: Tài liệu trình bày trong 133 trang khổ A4 bao gồm: phần mở đầu, 5 chương trình bày các nội dung tài liệu, kết luận, danh mục các công trình tham khảo, 121 tài liệu tham khảo và 6 phụ lục.

Đóng góp chính và ý nghĩa khoa học của tài liệu:

- Xây dựng cơ sở toán học cho quá trình thí nghiệm, xây dựng bộ công cụ nghiên cứu dùng mô hình hóa, ứng dụng đánh giá các tiêu chí như hiệu suất làm việc của tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform.
- Xu hướng các giá trị pháp nghiệm, xây dựng các chương trình thí nghiệm thí nghiệm theo các tiêu chí cho tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform theo giá trị thu được từ truy cập GA, thuật toán PSI, phương pháp kết hợp giá trị thu được từ truy cập và thuật toán PSI (GA-PSI). Các bài tập, thuật toán GA-PSI có khả năng ứng dụng thí nghiệm thực nghiệm và vận hành ban đầu được xác định phù hợp theo không gian khảo sát.

- Xây dựng mô hình vật lý tay máy song song có khả năng tái cấu hình và có tính mở, cho phép kiểm soát các thuật toán tối ưu hóa thích và hiệu quả khi vận hành tay máy song song.
- Nghiên cứu tối ưu hóa hiệu quả khi vận hành tay máy song song trên cơ sở áp dụng thuật toán hiệu quả khi vận hành thông minh (Fuzzy) và phương pháp điều khiển (Fuzzy-PID).

Ý nghĩa thực tiễn của Luận án:

- Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu của luận án, với nhiệm vụ điều chỉnh thực tiễn của tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform, ta có thể xác định các cấu hình thích hợp tối ưu về các tiêu chí phản ánh khả năng làm việc như: vùng làm việc, cấu hình suy biến, độ cứng vững,... theo các yêu cầu của nhà thiết kế.
- Nghiên cứu các giải pháp thuật toán hiệu quả khi vận hành cho tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform.
- Kết quả luận án sẽ xây dựng thành quy trình, có thể áp dụng cho tối ưu hóa thích và hiệu quả khi vận hành cho tay máy song song.

CHƯƠNG 1: TAY MÁY SONG SONG KIỂU STEWART-GOUGH PLATFORM VÀ CÁC CẤU TRÚC TOÁN HỌC

Nội dung chính: Tổng quan về các vấn đề nghiên cứu, các cấu trúc toán học làm nền tảng cho các nghiên cứu trong luận án: các bài toán vận hành, các giải pháp vận hành, nguyên lý cơ bản, cấu hình suy biến, mô hình và vùng làm việc, độ cứng vững của tay máy.

1.1 Tổng quan về tối ưu hóa thích và hiệu quả khi vận hành tay máy song song kiểu Stewart-Gough.

1.1.1 Giải thích về tay máy song song

Tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform có 6 bậc tự do để thực hiện các nhiệm vụ, chuyển động và 6 chân đỡ đứng, có khả năng thay đổi chiều dài và kết nối với hai mặt phẳng thông qua các khớp nối tại các trục. Do tay máy song song là tập hợp chủ yếu của khâu khép kín cho nên không gian làm việc hữu hạn và quá trình hiệu quả khi vận hành.

t p, òi h i tác ñg i u khi ñ cho các khâu ph i ph i h p v i nhau m t cách nh p ñhàng và chính xác.

1.1.2 Tình hình nghiên c u v tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform

Qua nghiên c u các tài li u công b , tác gi ñh ñ th y các k t qu ch ñ ñg t i u hoá c h ho c t i u hoá i u khi ñ, ch a có tính t ñg th có th áp ñ ñg vào th c t i n cho toàn b quá trình thi t k , ch t o và v ñ hành tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform.

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

Trên c s ñg ñ ñg các gi i pháp dùng các véc t không gian nh lý thuy t Vít, ph ñg pháp xác ñh c ñg v ñg trong lu ñn án, tác gi ch ñ l a ph ñg pháp phân tích hình h c (t hai ph ñg pháp hình h c và i s) mô hình hóa tay máy song song.

1.2.1 Phân tích hình h c tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform

Hai h t a {B} trên m t ph ñg ñ ñ và h t a {P} t trên t m chuy ñ ñg s xác ñh các véc t v trí c a các kh p ñ i B_i, P_i c ñg nh góc h p thành gi a các chân ñ ñg và hai m t ph ñg.

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

i v i tay máy song song, gi i bài toán ñg h c ñg c không quá ph c t p. ñg c l i, v i c gi i bài toán ñg h c thu ñ s g p r t ñh i u khó kh ñ do t ñ t i các ph ñg trình phi tuy ñ và không gi i tích c.

1.2.2.1 ñg h c ñg c

Véc t bi u ñi ñ chỉ u ñài c a các chân ñ ñg ñg ñh sau:

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

Chỉ u ñài c a các chân ñ ñg ñg s c xác ñh:

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

1.2.2.2 ng h c thu n

Theo ph ng pháp Newton-Raphson, gi i quy t bài toán ng h c 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:

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

V i $|L_i|_a^2$ là chi u dài th c t o c c a các chân d n ng.

Bài toán ng h c thu n c gi i theo các b c t o chi u dài th c t các chân d n ng; c l ng v trí và góc h ng c a t m chuy n ng; Tính ma tr n chuy n i Euler, $f_i(X)$ và $df_i(X)/dt$; Th c hi n b c l p cho n khi $X_{n+1} - X_n$ th i t mong mu n v i sai s cho phép.

1.2.2.3 ng l c h c

Ph ng trình ng l c h c c a c h Stewart–Gough Platform:

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

Trong ó: $H(q)$ là ma tr n mômen quán tính ($n \times n$), và là ma tr n i x ng và xác nh d ng v i m i $q \in R^6$; $C(q, \dot{q})$ là véc t th hi n các l c quán tính ly tâm và Coriolis; $\dagger_g(q)$ là véc t ($n \times 1$) th hi n mômen xo n t o r a b i tr ng l ng c a c h và là véc t ($n \times 1$) th hi n mômen xo n t i i m thu c khâu tác ng cu i, $q = [x_p, y_p, z_p, w_x, w_y, w_z]^T$;

1.2.2.4 Các gi i h n v ng h c

Có 3 gi i h n ng h c chính nh h ng n ho t ng c a tay máy: Gi i h n chi u dài chân d n ng; 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.

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

Các c u hình suy bi n c xác nh b ng vi c áp d ng lý thuy t Vít xác nh các t a Plücker theo tr c d n ng tuy n tính c a tay máy. T các t a Plücker này, thi t l p các ma tr n xác nh các giá tr chu n s ho t ng c a c c u tay máy song song. C u hình suy bi n s c tìm th y n u t t c các véc t trên tr c c a các d n ng là ph thu c tuy n tính. Các vít

l c c nh v d c tr c trên các chu i ng tuy n tính tác ng lên khâu ra c xác nh b i các t a Plücker E_i :

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

V i: : h s Clifford, ($\wedge^2 = 0$); e_i : t a c a véct ($e_i e_{oi} = 0$)

T các t a Plücker c a các vít n v E_i , ta c n xác nh ma tr n T nh 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 ó: $e_{xi} = \frac{x_{Bi} - x_{Ai}}{L_i}$, $e_{yi} = \frac{y_{Bi} - y_{Pi}}{L_i}$, $e_{zi} = \frac{z_{Bi} - z_{Pi}}{L_i}$

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

C u hình c a c c u song song là c bi t khi nh th c c a ma tr n T t i n n zero, ngh a là: $\det(T) = 0$.

1.2.2.6 c ng v ng c a tay máy song song

Khái ni m “ c ng v ng” c a tay máy song song c xem là giá tr trung bình các nh th c $\det(T)$ t ng ng v i m i c u hình thi t k . N u giá tr này càng l n thì tay máy song song càng gi m c các c u hình suy bi n và nâng cao c ng v ng trong quá trình ho t ng. c ng v ng (*stiffness*) c xác nh nh sau:

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

vì i, j, k, l, m, n là các bậc khớp sát trong không gian làm việc theo vị trí di chuyển và góc chuyển động của tâm khâu ra.

1.3 Kết luận chương 1

Chương 1 đã trình bày tình hình nghiên cứu và tập trung khớp sát vị trí và hoá tay máy song song kiểu Stewart-Gough Platform. Tóm tắt luận án xác định nội dung nghiên cứu. Tác giả trình bày các cơ sở toán học và các khái niệm cơ bản làm nền tảng để thể hiện các nghiên cứu trong luận án.

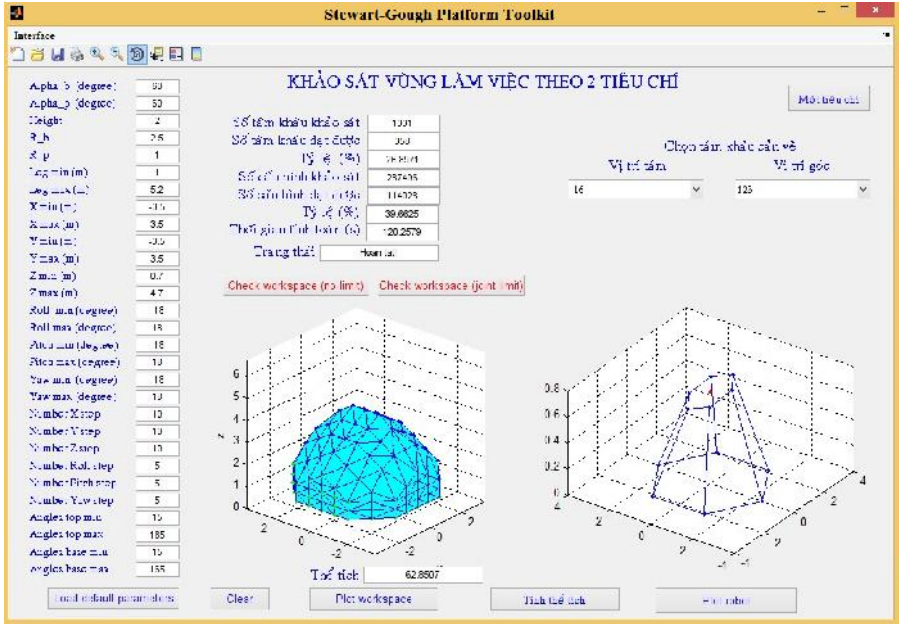
CHƯƠNG 2: XÂY DỰNG CÔNG CỤ MÔ HÌNH HÓA, KHỚP SÁT KHỚP NGHO T NG C A TAY MÁY SONG SONG KIỂU STEWART-GOUGH PLATFORM

Chương này trình bày kết quả nghiên cứu các cơ sở toán học và các khái niệm cơ bản đã nêu trong chương 1 nhằm xây dựng bộ công cụ nghiên cứu dùng mô hình hóa, thống kê, số lượng công cụ đánh giá các tiêu chí như hiệu suất làm việc của tay máy song song kiểu Stewart-Gough Platform. Bộ công cụ này sẽ sử dụng cho các nghiên cứu vị trí và hóa thị các chương sau.

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

Bộ công cụ mô hình hóa, luận án xây dựng, giới thiệu các bài toán cơ bản như khớp sát vùng làm việc, các cấu hình làm việc, cấu hình suy biến, cấu hình tay máy, cấu hình đánh giá các tiêu chí như hiệu suất làm việc của tay máy song song. Bộ công cụ viết dưới dạng ngôn ngữ C tổ thành các M-file trên phần mềm Matlab. Lưu ý các bước: Nhập thông số -> Xác định bậc di chuyển -> Vị trí khớp sát ban đầu -> Giới thiệu bài toán học (chương 1) -> Kiểm tra các ràng buộc -> Xác định cấu hình suy biến (lý thuyết Vít) -> Ghi dữ liệu, thay đổi vị trí khớp sát -> Tính cấu hình -> Đồ hình 3D, biểu diễn trên giao diện.

Giao diện công cụ mô tả trên hình 2.2, cho phép nhập các tham số khớp sát như: thông số tay máy, vùng không gian khớp sát, các giới hạn vận tốc, số bậc khớp sát theo vị trí và góc khớp sát bên trái. Khi tiến hành khớp sát (check workspace), máy tính sẽ thể hiện mô hình hóa cho các kết quả như: số làm việc, số cấu hình, vùng làm việc, thị gian khớp sát và thể hiện trực quan giới thiệu giao diện, đồ hình 3D,...

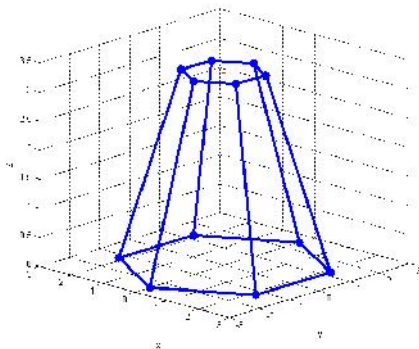


Hình 2.2. Giao diện công cụ mô hình hóa tay máy song song

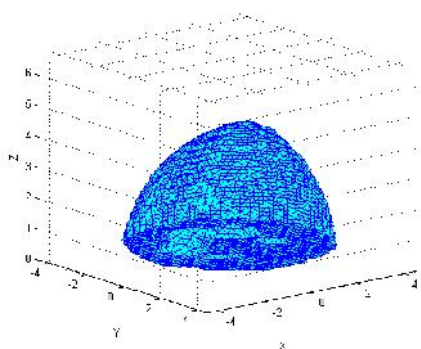
2.2 Mô hình hóa tay máy song song kiểu Stewart-Gough Platform sử dụng công cụ thi t k

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

Tay máy song song có thể khảo sát như hình 2.3



Hình 2.3. Cấu hình khâu của tay máy



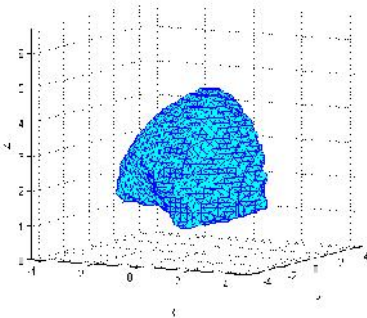
Hình 2.5. Vùng làm việc của tay máy

K t qu vùng làm vi c c xác nh b ng t p h p các i m làm vi c mà tâm khâu ra có th v n t i c khi tay máy d ch chuy n trong không gian v i góc h ng c a t m chuy n ng là h ng s , ph thu c vào chi u dài các chân d n ng và không gian kh o sát (hình 2.5)

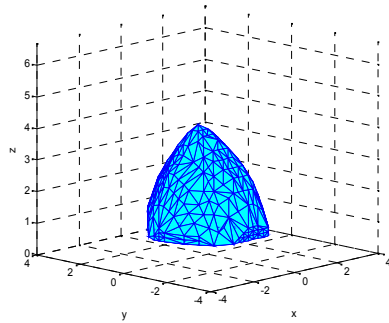
2.2.2 Các y u t nh h ng n vùng làm vi c

2.2.2.1 nh h ng b i gi i h n góc kh p

Gi i h n góc chuy n ng c a các kh p n i (hình thành t c u t o c kh i c a các kh p c u và góc t o b i các kh p c u và hai m t ph ng) làm gi m s i m làm vi c và thu nh vùng làm vi c (hình 2.7)



Hình 2.7. Vùng làm vi c khi xét gi i h n góc kh p



Hình 2.9. Vùng làm vi c c a tâm khâu khi t ng bán kính m t ph ng n n

2.2.2.2 nh h ng b i bán kính m t ph ng n n

Bán kính ng tròn (t o b i v trí c a các kh p n i trên m t ph ng n n và t m chuy n ng) có nh h ng làm gi m vùng làm vi c c a tay máy song song. K t qu trình bày trên hình 2.9.

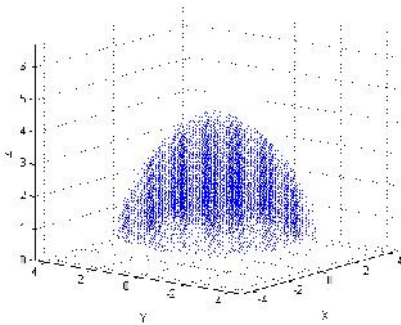
2.2.2.3 K t lu n v các nh h ng tác ng n vùng làm vi c

S d ng b công c khảo sát nh h ng tác ng n vùng làm vi c c a tay máy song song ki u Stewart-Gough Platform cho th y: Chi u dài c a các chân d n ng càng l n và góc kh p càng l n thì vùng làm vi c c a tay máy song song càng l n và ng c l i; Khi chi u dài các chân d n ng và góc kh p không thay i, bán kính ng tròn trên m t ph ng n n càng nh thì vùng làm vi c c a tay máy song song càng l n h n và ng c l i.

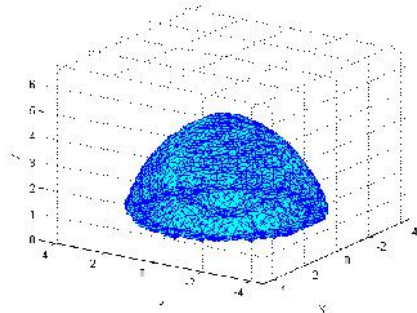
2.2.3 C u hình làm vi c v i góc h ãng tâm khâu thay i

T i m i m t i m làm vi c (tâm khâu) c kh o sát trong không gian, các góc h ãng tâm khâu , , l n l t thay i s t o thành các c u hình khác nhau c a tay máy song song. ãng v i m i c u hình khác nhau này, ta s ph i tính ãn các ràng bu c v chỉ u dài các chân d ãng. N u th a các ràng bu c này, thì c u hình này là c u hình làm vi c t c c a tay máy.

M t i m kh o sát c a tâm khâu trong không gian xem là t c khi tay máy th a mãn các ràng bu c v dài chân d ãng, gi i h ãn góc kh p, ... cho t t c các c u hình kh o sát (khi thay i góc h ãng c a tâm khâu) t i i m kh o sát ó. Nh v y, khi kh o sát theo góc h ãng thay i, ngoài k t qu v s tâm khâu t c trong không gian ta c ãn ph i xét ãn t ãng s c u hình t c c a tay máy cho dù t i m t v trí tâm khâu c kh o sát nào ó không th a mãn h t t c các c u hình kh o sát.



Hình 2.11. i m làm vi c c a tâm khâu khi góc h ãng thay i



Hình 2.12. Vùng làm vi c c a tay máy v i góc h ãng thay i

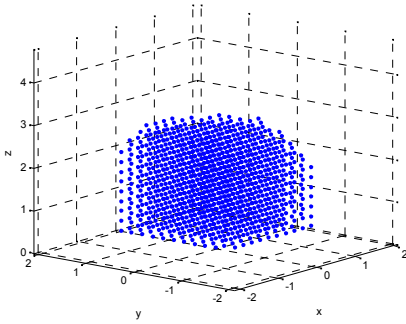
K t qu kh o sát cho th y s i m và vùng làm vi c c a tay máy gi m khi góc h ãng tâm khâu thay i (hình 2.11 và 2.12). Các k t qu này s là t i ãn cho bài toán t i u hóa a tiêu chí c ãng i ãn c u ch ãng sau.

2.2.4 Áp d ãng lý thuy t Vít xác ãnh c u hình suy bi ãn (Singularity), i m k ã và vùng lãn c ãn c a tay máy song song

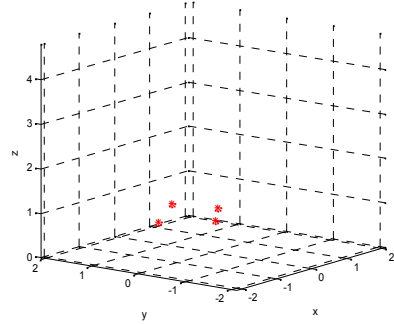
Lu ãn ãn kh o sát và tìm ki m các c u hình suy bi ãn cho hai thi t k khác nhau c a tay máy song song v i cùng m t vùng không gian kh o sát

2.2.4.1 C u hình ki u Stewart Gough Platform i x ãng

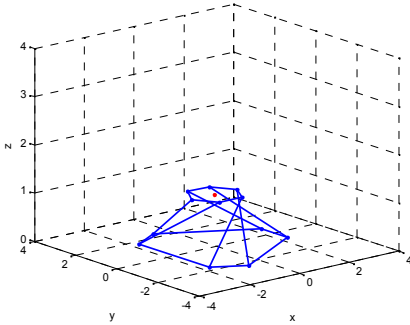
Kết quả khảo sát cho các hình vẽ (hình 2.3) xuất hiện các cấu hình suy biến tại các điểm (hình 2.14; 2.16):



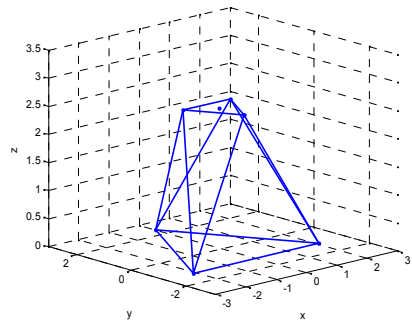
Hình 2.14. Tập hợp điểm làm việc



Hình 2.15. Phân bố điểm



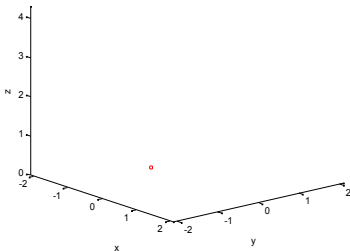
Hình 2.16. Mặt cấu hình suy biến



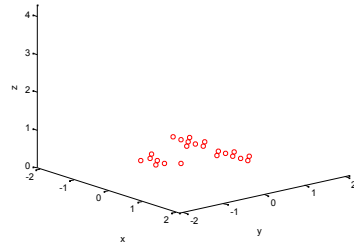
Hình 2.17. Cấu hình binth

2.2.4.2 Cấu hình binth (hình 2.17)

Điểm cấu hình binth không thể xuất hiện các cấu hình đặc biệt như điểm (hình 2.18, 2.19).



Hình 2.18. Điểm điểm đặc biệt
với $\det(T) < 10^{-4}$



Hình 2.19. Điểm điểm đặc biệt
với $\det(T) < 10^{-3}$

Tuy nhiên, kết quả khảo sát cho thấy tính ngẫu nhiên của hình ảnh video hình suy biến ngẫu nhiên giá trị $\det(T)$ rất nhỏ. Các giá trị nhỏ của chu số $\det(T)$ tại các cấu hình nhúng ngẫu nhiên vùng làm việc của tay máy song song. Khi giá trị chu số của $\det(T)$ càng tăng, số điểm làm việc của tay máy càng giảm. Tuy nhiên, khi số điểm nhúng của tay máy song song số điểm nâng cao hơn do lợi ích của các vùng lân cận của điểm.

2.2.5 Các ứng dụng của tay máy

Các ứng dụng số cho thấy tính khả thi của việc thiết kế mô hình và quy trình nhúng nhúng trong quá trình làm việc của tay máy song song, cần biết là vị trí các ứng dụng trong gia công khí và máy công cụ. Trong luận án này, các ứng dụng là một tiêu chí quan trọng trong quá trình tối ưu hóa thiết kế và lựa chọn cho tay máy khảo sát.

2.3 Kết luận chương 2

Bộ công cụ xây dựng giải quy các bài toán chuyển động học, các giá trị vận tốc, cấu hình suy biến,... của tay máy song song dựa trên Stewart-Gough Platform. Bộ công cụ xây dựng mô hình hóa vùng làm việc của tay máy song song gồm: khảo sát điểm làm việc, cấu hình làm việc vị trí góc nhúng tâm khâu thay thế; phân tích các thông số nhúng nhúng vùng làm việc, áp dụng lý thuyết Vít xác định cấu hình suy biến, điểm kết thúc và vùng lân cận, tính toán các ứng dụng của tay máy với các cấu hình thiết kế.

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

Chương 3 nghiên cứu các giới pháp tối ưu hóa thiết kế với sử dụng các giới pháp: giới hạn truy cập GA, PSI, kết hợp GA-PSI tìm kiếm cấu hình thiết kế tối ưu theo một và nhiều tiêu chí cho cùng không gian tham số vào cho tất cả các trường hợp.

3.1 Các thuật toán tối ưu, phương pháp tối ưu hóa thiết kế

3.1.1 Các thuật toán tối ưu

Luận án sử dụng các thuật toán tìm kiếm ngẫu nhiên phù hợp cho bài toán không gian tham số lớn. Tác giả sử dụng giới hạn truy cập (GA),

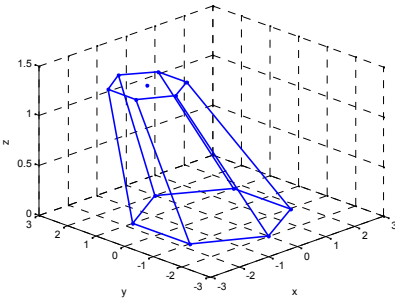
thu t toán i u tra không gian tham s (PSI), thu t toán k t h p GA-PSI cho quá trình t i u hóa thi t k tay máy song song.

3.1.2 Ph ãng pháp t i u hóa thi t k tay máy song song

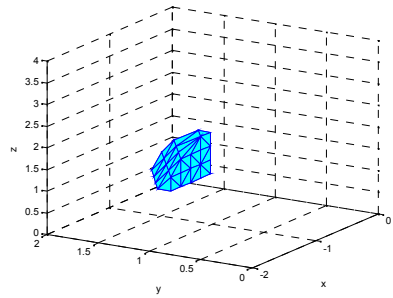
Ph ãng pháp t i u hóa thi t k cho tay máy c s ð ãng theo cách thay i các v trí kh p B_i trên m t ãng tròn có bán kính c ãnh r_b v i th t gi a các kh p không thay i tìm ki m c u hình tay máy t c các tiêu chí theo th t ãng tiên nhi u nh t có th .

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

Trong bài toán này, các thu t toán t i u hóa c thi t k có nhi m v tìm ki m các c u hình thi t k t c u hình ban ãu (hình 3.4, 3.6) sao cho tay máy t c s i m làm vi c nhi u nh t (1 tiêu chí) trong vùng không gian kh o sát v i góc h ãng c a tâm khâu là h ãng s .

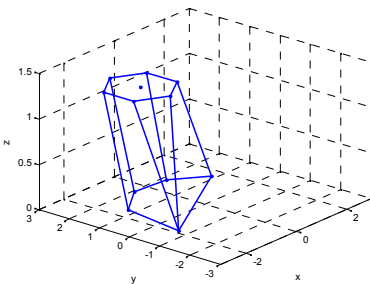


Hình 3.4. C u hình tr ãng t i u

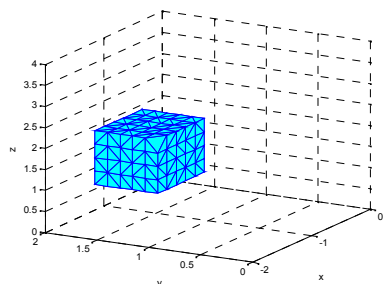


Hình 3.6. Vùng làm vi c tr ãng t i u

Trên hình 3.10 là k t qu ãng ð ãng b công c trình bày ch ãng 2 t i u hoá theo 1 tiêu chí (s i m làm vi c) b ãng thu t toán GA và PSI.

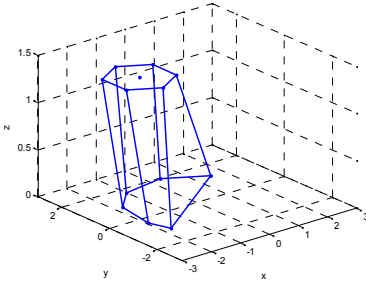


C u hình t i u hóa

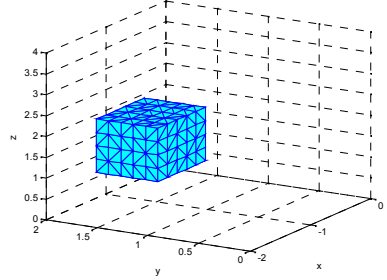


Vùng làm vi c sau khi t i u

Gi i thu t di truy n



C u hình t i u hóa



Vùng làm vi c sau khi t i u

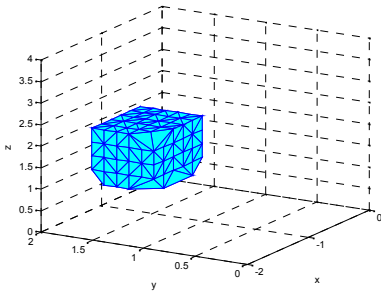
Thu t toán PSI

Hình 3.10. K t qu t i u hóa thi t k tay máy song song theo 1 tiêu chí

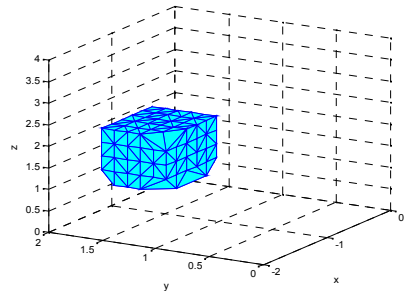
3.3 T i u hóa thi t k tay máy song song theo a tiêu chí

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

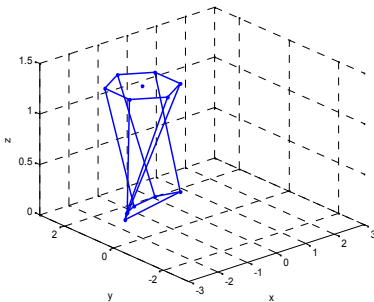
Các thu t toán t i u hóa th c hi n tìm ki m các c u hình tay máy có s i m làm vi c và s c u hình làm vi c nhi u nh t (2 tiêu chí).



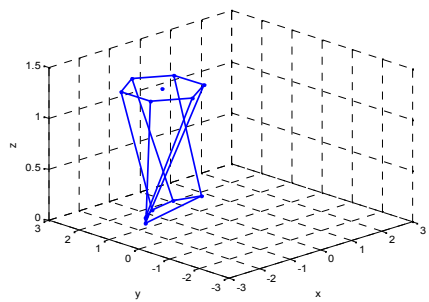
Gì i thu t di truy n



Thu t toán PSI



Gì i thu t di truy n



Thu t toán PSI

Hình 3.15. Vùng làm vi c và c u hình t i u hóa theo 2 tiêu chí.

Gi i thu t di truy n và ph ng pháp PSI ã c tác gi áp d ng thành công trong vi c t i u hóa thi t k tay máy song song ki u Stewart-Gough Platform theo hai tiêu chí (hình 3.15).

3.3.2 T i u hóa thi t k theo hai tiêu chí dùng thu t toán GA-PSI

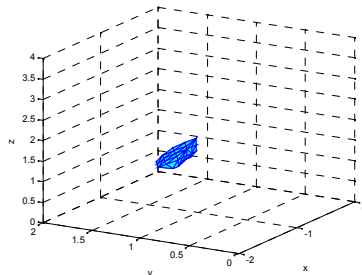
Lu n án xu t dùng gi i thu t di truy n ki m c u hình thi t k ban u cho quá trình t i u hóa dùng ph ng pháp PSI. K t qu t i u theo hai tiêu chí là t ng ng v i gi i thu t GA và thu t toán PSI (b ng 3.17). Th i gian t i u dùng ph ng pháp k t h p GA-PSI nh h n so v i thu t toán PSI. Ph ng pháp GA-PSI giúp gi m th i gian thi t k và ch n l a m t c u hình thi t k ban u phù h p khi áp d ng thu t toán PSI trong vùng không gian kh o sát b t k .

B ng 3.17. K t qu sau khi t i u hai tiêu chí dùng thu t toán GA-PSI

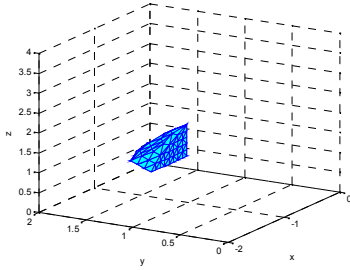
Thông s	T i u GA	Chu k t i u PSI				
		1	2	12	17	32
S i m làm vi c t c	94	141	146	169	169	169
S c u hình t c	29.429	36.726	37.266	42.122	46.601	46.601
Th i gian t i u (s)	13.118	16.369	19.620	52.133	68.389	117.159

3.3.3 T i u hóa thi t k tay máy song song theo ba tiêu chí

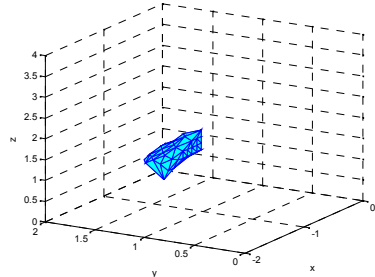
Áp d ng thu t toán PSI t i n hành t i u hóa thi t k tay máy song song theo 3 tiêu chí: (1) s i m làm vi c, (2) s c u hình làm vi c, (3) c ng v ng c a tay máy theo hai tr ng h p u tiên: (1)-(2)-(3) và (3)-(1)-(2).



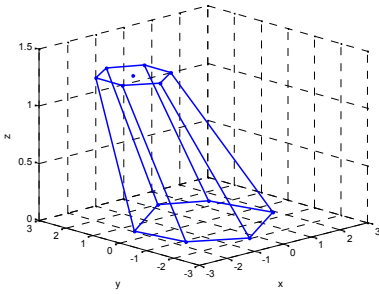
Vùng làm vi c tr c t i u



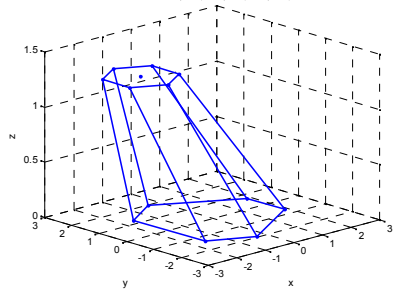
Th t (1)-(2)-(3)



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



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



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

Hình 3.24. C u hình t i u hóa theo 3 tiêu chí dùng thu t toán PSI

So sánh k t qu (hình 3.24), có th nh n th y r ng trong tr ng h p th t u tiên (1)-(2)-(3) s i m làm vi c và c u hình t c l n h n so v i tr ng h p (3)-(1)-(2). i v i tr ng h p th t u tiên (3)-(1)-(2), tay máy song song s có c ng v ng l n h n trong vùng không gian kh o sát.

3.4 Nh n xét và k t lu n ch ng 3

ng d ng công c mô hình hoá, lu n án ã t i n hành t i u hóa theo các gi i pháp dùng gi i thu t di truy n GA, thu t toán PSI, thu t toán k t h p GA-PSI. Các k t qu thu c cho th y kh n ng làm vi c c a tay máy song song ã c c i thi n h n. Khi t i u hoá 1 tiêu chí, s t âm khâu ã t ng lên 282,9%. Khi t i u hoá 2 tiêu chí, s i m làm vi c t ng 16.900% và s c u hình làm vi c t ng 765,2%. Khi k t h p GA-PSI cho phép gi m th i gian t i u hoá 16%.

CH NG 4. XÂY D NG MÔ HÌNH TH C NGHI M V I NG D NG GI I PHÁP T I U HÓA THI T K

Ch ng 4 trình bày k t qu thi t k , ch t o mô hình và áp d ng t i u hoá xác nh c u hình th c nghi m nh m ki m ch ng các k t qu nghiê n c u.

4.1 Xây dựng mô hình thực nghiệm

4.1.1 Thiết kế, cấu trúc thực nghiệm khí

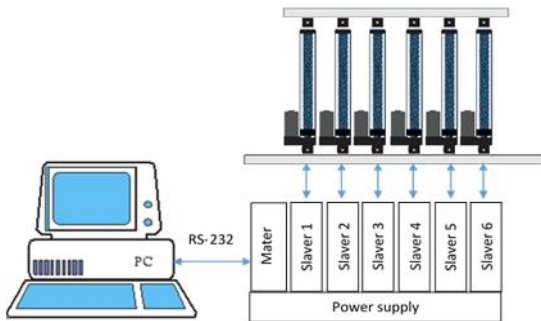
Mô hình tay máy song song kiểu Stewart-Gough Platform có thiết kế có cấu trúc bao gồm 6 khớp nối và 6 trục chuyển động có gắn 6 trục dẫn động (có gắn DC-Vitme) thông qua các khớp nối (hình 4.3).



Hình 4.3. Mô hình cấu trúc tay máy song song

Trục chuyển động và khớp nối của thiết kế có rãnh trượt theo hướng tròn. Như vậy có thể thay đổi và chỉnh vị trí các khớp nối trên các trục khớp nối và trục chuyển động. Các khớp nối có gắn trục trên rãnh trượt của khớp nối và trục chuyển động.

4.1.2 Thiết kế, lập trình hệ thống điều khiển



Mô hình hệ thống điều khiển



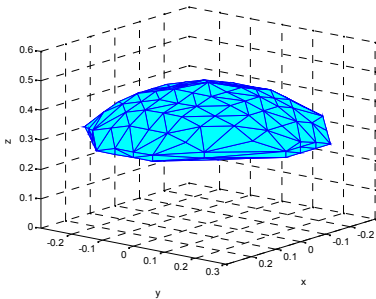
Bộ điều khiển

Hình 4.4. Hệ thống điều khiển tay máy song song

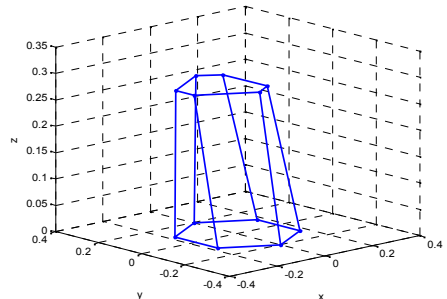
Hệ thống này khi cần phân tích kết quả như sau: Máy tính thực hiện các tính toán và vẽ đồ thị, người học cầm tay máy, giám sát, hiển thị và lưu trữ các dữ liệu thực nghiệm theo thời gian thực, tổng giao diện và nội dung, giao tiếp với người khi cần trung tâm (Master). Trong quá trình hiển thị chuyển đổi cầm tay máy, máy tính sẽ tính toán các vị trí chuyển đổi cần thiết và nhúng vị trí thực tế của các chân đèn. Các dữ liệu này sẽ được ghi lại để phục vụ cho việc phân tích và đánh giá chất lượng của người khi cần. Lưu ý rằng đã xây dựng phần mềm này cho người khi cần tay máy này.

4.2 Xác định hình thức thí nghiệm trên mô hình thực nghiệm

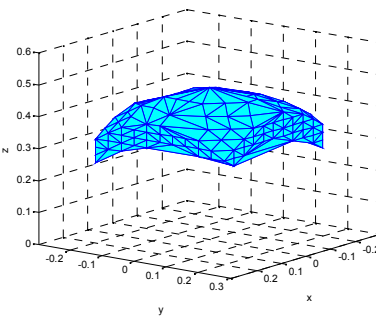
Áp dụng thuật toán PSI tiến hành tối ưu hóa thí nghiệm theo các tiêu chí trên mô hình thực nghiệm với hai trường hợp ưu tiên: (1)-(2)-(3) và (3)-(1)-(2). Cấu hình thí nghiệm tối ưu hóa theo thuật (3)-(1)-(2) sẽ được xây dựng và bố trí trên mô hình thực nghiệm để kiểm tra các giả thiết tối ưu hóa người khi cần (hình 4.15 f).



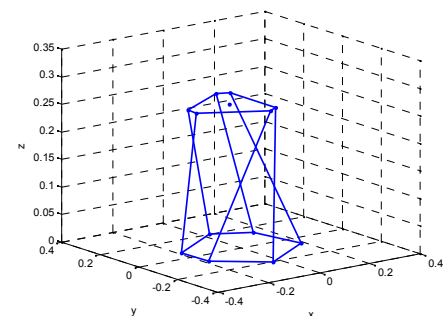
a) Vùng làm việc trực tiếp
u



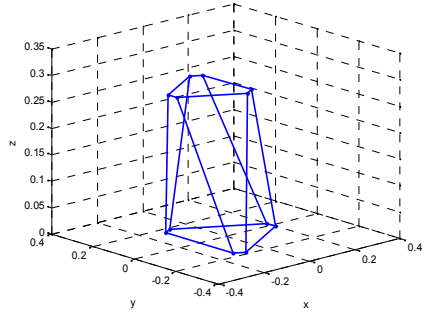
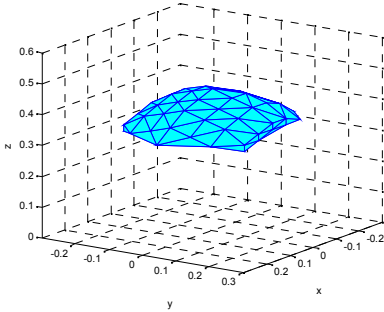
b) Cấu hình trực tiếp



c) Thuật ưu tiên (1)-(2)-(3)



d) Thuật ưu tiên (1)-(2)-(3)



e) Th t u tiên (3)-(1)-(2)

f) Th t u tiên (3)-(1)-(2)

Hình 4.15. K t qu t i u hóa thi t k trên mô hình th c nghi m

4.3 K t lu n ch ng 4

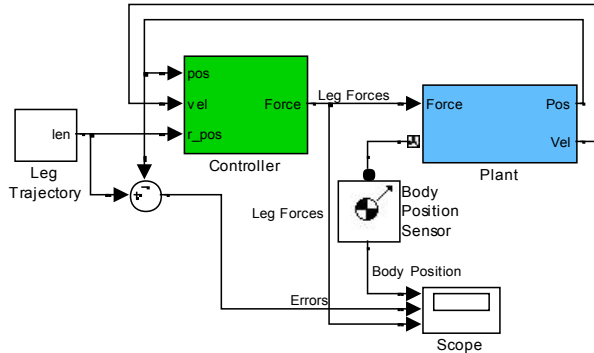
Tác gi ã thi t k và xây d ng h th ng th c nghi m có tính m , có kh n ng thay i các c u hình và áp d ng các thu t toán i u khi n m t cách linh ho t. Tác gi ã áp d ng thành công k t qu nghiên c u v t i u hóa thi t k theo a tiêu chí cho tay máy song song (thu t toán PSI) xác nh và b trí c u hình thi t k t i u trên mô hình th c nghi m.

CH NG 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

Ch ng 5 trình bày các k t qu nghiên c u v t i u hóa b i u khi n cho tay máy song song. Trên c s c u hình t i u hóa thi t k ch ng 4, xu t và mô ph ng trên máy tính các gi i pháp t i u hóa b i u khi n dùng các thu t toán i u khi n: PID, Fuzzy, Fuzzy-PID. Ti n hành th c nghi m ki m ch ng, so sánh, ánh giá k t qu và ch t l ng các b i u khi n (PID, Fuzzy-PID) trên mô hình th c nghi m tay máy song song.

5.1 Kh o sát b ng mô ph ng các thu t toán i u khi n tay máy song song ki u Stewart-Gough Platform

Mô hình tay máy song song ki u Stewart–Gough Platform c ch n t hình 4.15f theo th t u tiên (3)-(1)-(2) và c mô hình hóa trên n n Simulink c a ph n m m Matlab (hình 5.1). Các phân tích và ánh giá s c th c hi n theo áp ng quá c a t m chuy n ng và quá trình ph i h p gi a các chân d n ng.



Hình 5.1. Mô hình i u khi n tay máy song song trên n n Simulink - Matlab

5.1.1 B i u khi n PID

Lu n án kh o sát và l y k t qu mô ph ng v i PID

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

B i u khi n m tr c ti p v i 63 lu t ch nh nh m c thi t k

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

B i u khi n t ch nh nh Fuzzy-PID có kh n ng thay i các h s K_P , K_I , K_D c a khâu PID trong quá trình i u khi n d a theo các lu t ch nh nh m và s thay i c a các thông s $e(t)$ và $\dot{e}(t)$.

5.1.4 Nh n xét v các b i u khi n.

K t qu kh o sát b ng mô ph ng cho th y b i u khi n PID v i các h s K_P , K_I , K_D ã ch n có tính n nh, các tiêu chu n ch t l ng c a h th ng ch p nh n c. B i u khi n m tr c ti p (Direct Fuzzy-PD) v i lu t i u khi n m ã ch n có kh n ng c i thi n t th n so v i i u khi n PID v các tiêu chu n nh v t l , sai s xác l p, tuy nó có h n ch v th i gian áp ng c a h th ng. 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. 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.

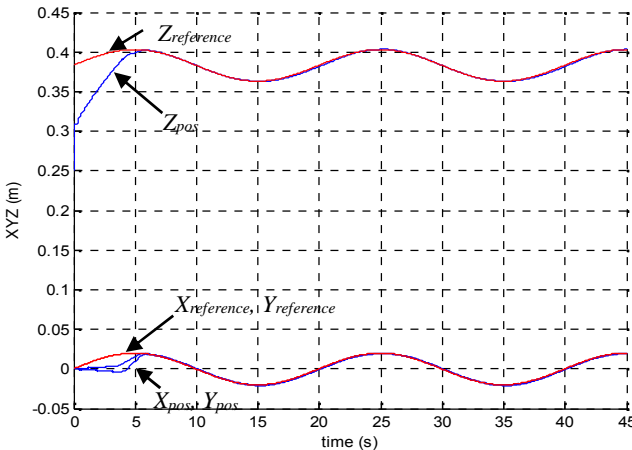
Các k t qu mô ph ng có ý ngh a nh h ng l a ch n và ng d ng gi i thu t cho mô hình th c nghi m.

5.2 Điều khiển tay máy song song trên hệ thống điện tử hóa thị giác tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform

Áp dụng thuật toán điều khiển PID và Fuzzy-PID cho bộ điều khiển tay máy song song. Các tiêu chí đánh giá về chất lượng bộ điều khiển sẽ được phân tích theo đáp ứng quá tải tạm chuyển động và quá trình phi hình học của các chân động cơ tay máy song song.

5.2.1 Bộ điều khiển PID

Các thông số của bộ điều khiển PID được chọn theo phương pháp Ziegler-Nicholes và phương pháp auto-tuning trong quá trình thử nghiệm với: $K_P = 8,5$, $K_I = 0,005$, $K_D = 0,02$. Kết quả thu được: vận tốc (POT) = 0%; Sai số xác lập (e_{xl}) theo vận tốc là $1,7 \cdot 10^{-3} \text{m}$; Sai số xác lập (e_{xl}) theo góc nghiêng $2 \cdot 10^{-3} \text{rad}$. Thời gian xác lập $t_{xl} = 5,7 \text{s}$; Thời gian lên $t_{rise} = 3,7 \text{s}$. Như vậy, thuật toán điều khiển PID có tính ổn định tốt, không có vận tốc, sai số xác lập theo vận tốc và góc nghiêng của tâm khâu khá nhỏ và đáp ứng nhanh với kết quả mô phỏng (hình 5.31).



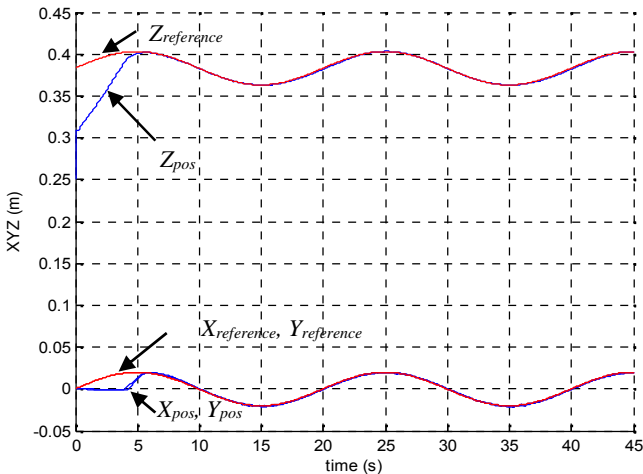
Hình 5.31. Chuyển động vị trí của tâm khâu – kết quả thuật toán điều khiển PID.

Sai số vận tốc dao động theo chuyển động của tâm khâu gây ra quá trình rung lắc tay máy trong quá trình điều khiển. Mặt khác, vận tốc đã khiếm thời gian xác lập của các chân động cơ bám vào quỹ đạo chuyển động không còn ổn định. Điều này gây ra hiện tượng giật ngả của các chân động cơ, gây mất an toàn cho kết cấu cơ khí và bộ điều khiển.

Qua kết quả thực nghiệm, có thể thấy rằng bộ điều khiển PID với các hệ số đã chọn có tính ổn định, khá phù hợp với mô hình thực nghiệm. Các tiêu chuẩn chất lượng của hệ thống chấp nhận được.

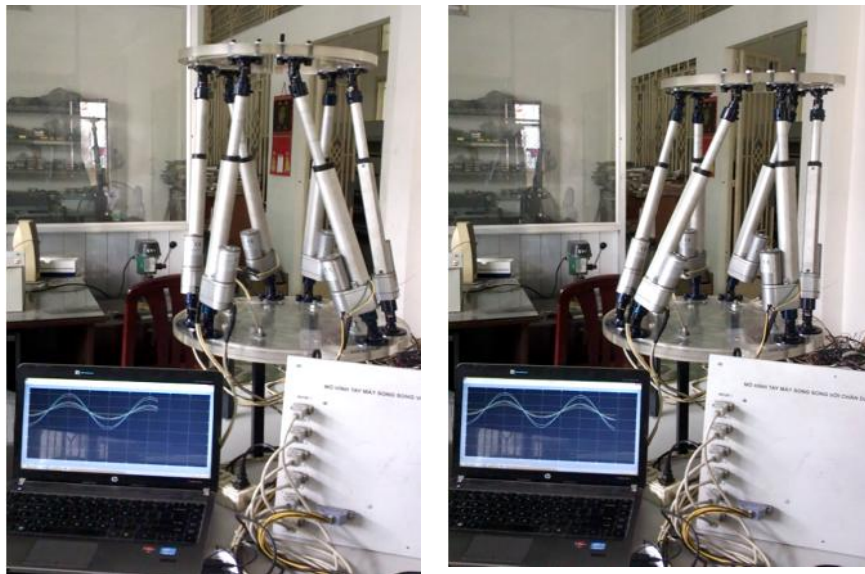
5.2.2 Bộ điều khiển chuyển động Fuzzy-PID

Động học bộ điều khiển Fuzzy-PID cho mô hình thiết kế. Kết quả thực nghiệm cho thấy chuyển động theo vị trí của tâm khâu không có vọt lố ($POT\% = 0\%$) và sai số xác lập của tâm khâu về vị trí đứng bằng bộ điều khiển PID. Các sai số chuyển động giảm tới $1,7 \cdot 10^{-3}$ m xung quanh $1,5 \cdot 10^{-3}$ m theo trục Z và tới $1,5 \cdot 10^{-3}$ m xung quanh $1 \cdot 10^{-3}$ m theo trục X, Y. Khoảng sai số xác lập theo góc nghiêng giảm tới $2 \cdot 10^{-3}$ rad xung quanh $1,7 \cdot 10^{-3}$ rad. Thời gian xác lập và thời gian lên có giá trị tương đương bộ điều khiển PID. Như các giá trị của sai số xác lập giảm đáng kể nên quá trình chuyển động của tay máy trong thực tế đã đạt tiêu chuẩn ổn định và tin cậy trong quá trình vận hành.



Hình 5.36. Chuyển động vị trí của tâm khâu – bộ điều khiển Fuzzy-PID

Kết quả thực nghiệm cho thấy bộ điều khiển kinh điển PID đã được tối ưu hóa thông qua việc kết hợp lý thuyết điều khiển mờ (Fuzzy) chuyển thành bộ điều khiển kinh điển PID. Các kết quả thực nghiệm này đã kiểm chứng khá chính xác các kết luận bài toán tối ưu hóa thiết kế và mô phỏng bộ điều khiển trong các công trình đã công bố.



Hình 5.41. Quá trình ho t ng tay máy song song - B K Fuzzy-PID

5.3 Quy trình ng d ng k t qu lu n án cho h th ng th c t

Các k t qu nghiên c u m c 4.2, 5.1 và 5.2 cho th y tính kh thi trong vi c ng d ng các ph ng pháp t i u hóa thi t k và i u khi n cho tay máy song song ki u Stewart-Gough Platform. Quy trình ng d ng bao g m 4 b c: Xác nh yêu c u thi t k \Rightarrow T i n hành t i u hóa thi t k \Rightarrow T i u hóa b i u khi n \Rightarrow K i m tra b ng mô ph ng và th c nghi m.

5.4 K t lu n ch ng 5

Ch ng 5 ã trình bày k t qu kh o sát b ng mô ph ng các b i u khi n kinh i n PID, b i u khi n m tr c t i p và b i u khi n t ch nh nh Fuzzy-PID. Các k t qu th c nghi m cho th y tay máy song song ki u Stewart-Gough ã ho t ng t t v i c u hình t i u hóa thi t k trong vùng làm vi c cho tr c. Vi c t i u hóa b i u khi n s d ng b i u khi n t ch nh nh Fuzzy-PID ã cho k t qu t i u h n so v i ph ng pháp PID truy n th ng trong quá trình i u khi n chuy n ng tay máy.

KẾT LUẬN

Dựa trên việc nghiên cứu về tối ưu hóa thiết kế và điều khiển tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform, luận án đã đề ra những kết quả nghiên cứu chính như sau:

1. Xây dựng bộ công cụ mô hình hóa tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform. Bộ công cụ phân tích và ảnh hưởng của các ràng buộc (giới hạn chiều dài chân đòn, giới hạn góc khớp, bán kính mặt phẳng nền); xem xét những tiêu chí cơ bản như hiệu suất tích tụ năng lượng làm việc; xác định các cấu hình suy biến, kích thước và vùng làm việc cho tay máy này.
2. Xu hướng nghiên cứu tối ưu hóa thiết kế theo các tiêu chí: giới hạn tối đa vận tốc, 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 khối lượng tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform có khả năng thay đổi cấu hình thiết kế về hình học điều khiển phân cấp. Mô hình này sẽ được ứng dụng làm công cụ kiểm tra các giới hạn điều khiển khác nhau cho quá trình chuyển động của tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform.
4. Xu hướng phát triển pháp nâng cao chất lượng điều khiển vị trí động học tay máy song song trên các kết hợp các thuật toán điều khiển kinh điển và điều khiển mờ (thuật toán Fuzzy, thuật toán tích hợp như Fuzzy-PID). Áp dụng kiểm chứng các giới hạn phát triển tối ưu hóa thiết kế và điều khiển vào mô hình thực nghiệm tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform. Kết quả thực nghiệm phù hợp với các kết quả mô phỏng trên máy tính và các công trình đã công bố.

NHỮNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO

Tiếp tục các nghiên cứu về tối ưu hóa thiết kế và điều khiển tay máy song song kiểu Stewart–Gough Platform về kết hợp các thuật toán tìm kiếm ngẫu nhiên và các thuật toán tìm kiếm theo biên; Giải bài toán tối ưu chi phí có tính thông số đa biến; Nghiên cứu, ứng dụng các giới hạn điều khiển khác trên mô hình thực nghiệm.