ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA

KHOA CƠ KHÍ – BỘ MÔN CƠ ĐIỆN TỬ



**LUẬN VĂN TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC**

**PHÂN TÍCH, THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO ROBOT 3 BẬC TỰ DO ỨNG DỤNG KỸ THUẬT LẬP TRÌNH LEAD-THROUGH**

SVTH: Nguyễn Minh Nhựt

MSSV: 21302843

GVHD: TS. Phùng Trí Công

TP. HCM, 2017

**LỜI CẢM ƠN**

Lời đầu tiên, em xin gửi lời cảm ơn chân thành đến các Thầy/Cô hiện đang công tác và giảng dạy tại trường Đại học Bách Khoa TP.HCM, những người không chỉ ân cần, tận tụy truyền đạt kiến thức cho chúng em, mà còn là những người truyền ngọn lửa yêu nghề, niềm đam mê với kỹ thuật cho những kỹ sư tương lai như em, thôi thúc chúng em phải vượt qua được giới hạn của bản thân để vươn đến chân trời tri thức mới, bắt kịp với nền khoa học kỹ thuật trên thế giới.

Em xin gửi lời cảm ơn đặt biệt đến thầy Phùng Trí Công, người luôn theo sát và đưa ra những chỉ dẫn tận tình, truyền đạt kinh nghiệm, cũng như kiến thức cho em kể từ lúc bắt đầu làm quen với công việc nghiên cứu, cũng như trong quá trình thực hiện luận văn, và là người tạo điều kiện tốt nhất cho em trong suốt quá trình xây dựng mô hình robot. Những lời khuyên và kinh nghiệm của thầy đã giúp ích cho em rất nhiều trong việc gỡ rối những vấn đề khó khăn mà em gặp phải. Không có sự chỉ bảo và định hướng của thầy, luận văn này không thể hoàn thành.

Em cũng xin gửi lời cảm ơn đến ban quản lý phòng không gian học tập CDIO, đã dành cho em một không gian để lắp đặt robot, cung cấp dụng cụ, cũng như chỗ ngồi cho em trong suốt thời gian làm luận văn. Mình cũng xin cảm ơn các bạn trong lớp CK13KSCD đã nhiệt tình giúp đỡ và đưa ra những lời khuyên quý giá, giúp mình hoàn thiện đề tài.

Lời cuối cùng, em xin gửi lời cảm ơn đến cha mẹ, và gia đình em, những người đã động viên, và hỗ trợ em cả về vật chất và tinh thần, tiếp sức cho em vượt qua những khoảng thời gian khó khăn trong suốt khoảng thời gian học Đại học.

|  |  |
| --- | --- |
|  | TP. Hồ Chí Minh, ngày 25 tháng 12 năm 2017  Nguyễn Minh Nhựt |

**TÓM TẮT LUẬN VĂN**

Luận văn trình bày quá trình nghiên cứu, thiết kế và chế tạo một robot 3 bậc tự phục vụ công tác đào tạo. Robot được kết hợp một cơ cấu trợ lực để giữ robot cân bằng nhằm giảm ảnh hưởng của trọng lực, tiết kiệm được năng lượng. Nhờ đó, robot có thể ứng dụng được kỹ thuật lập trình Lead-through trong lập trình nhanh vị trí đầu công tác với kiểu đường dẫn từng điểm.

**MỤC LỤC**

[LỜI CẢM ƠN i](#_Toc501925002)

[TÓM TẮT LUẬN VĂN ii](#_Toc501925003)

[DANH MỤC HÌNH vi](#_Toc501925004)

[DANH MỤC BẢNG ix](#_Toc501925005)

[CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN 1](#_Toc501925006)

[1.1. Sơ lược về robot công nghiệp 1](#_Toc501925007)

[1.1.1. Tay máy 1](#_Toc501925008)

[1.1.2. Nguồn cung cấp 6](#_Toc501925009)

[1.1.3. Bộ điều khiển 6](#_Toc501925010)

[1.1.4. Cảm biến 10](#_Toc501925011)

[1.1.5. Khâu tác động cuối (end-effector) 11](#_Toc501925012)

[1.1.6. Một số đặc điểm kỹ thuật khác 11](#_Toc501925013)

[1.2. Đặt vấn đề 12](#_Toc501925014)

[1.3. Mục tiêu và nhiệm vụ luận văn 12](#_Toc501925015)

[1.3.1. Mục tiêu 12](#_Toc501925016)

[1.3.2. Nhiệm vụ 12](#_Toc501925017)

[1.3.3. Phạm vi 13](#_Toc501925018)

[1.4. Tổ chức luận văn 13](#_Toc501925019)

[CHƯƠNG 2: PHƯƠNG ÁN THIẾT KẾ 14](#_Toc501925020)

[2.1. Cơ cấu tay máy toàn khớp bản lề 14](#_Toc501925021)

[2.1.1. Khả năng thiết kế cơ cấu cân bằng tĩnh và bố trí động cơ 14](#_Toc501925022)

[2.1.2. Độ cứng vững 15](#_Toc501925023)

[2.1.3. Kết luận 15](#_Toc501925024)

[2.2. Cơ cấu cân bằng trọng lượng 15](#_Toc501925025)

[2.2.1. Dùng đối trọng 15](#_Toc501925026)

[2.2.2. Dùng hệ thống lò xo 16](#_Toc501925027)

[2.2.3. Kết luận 19](#_Toc501925028)

[2.3. Truyền động 19](#_Toc501925029)

[2.3.1. Truyền động điện cơ 19](#_Toc501925030)

[2.3.2. Cơ cấu truyền động 20](#_Toc501925031)

[2.3.3. Kết luận 21](#_Toc501925032)

[2.4. Bộ điều khiển 21](#_Toc501925033)

[2.4.1. Cảm biến 22](#_Toc501925034)

[2.4.2. Cấu trúc điều khiển 22](#_Toc501925035)

[2.4.3. Giải thuật điều khiển động cơ 22](#_Toc501925036)

[2.4.4. Hoạch định quỹ đạo 22](#_Toc501925037)

[2.4.5. Kết luận 23](#_Toc501925038)

[CHƯƠNG 3: MÔ HÌNH HÓA HỆ THỐNG 24](#_Toc501925039)

[3.1. Bài toán động học thuận 24](#_Toc501925040)

[3.2. Ma trận Jacobian 25](#_Toc501925041)

[3.3. Bài toán động học ngược 26](#_Toc501925042)

[CHƯƠNG 4: THIẾT KẾ CƠ KHÍ 28](#_Toc501925043)

[4.1. Thông số kích thước thiết kế 28](#_Toc501925044)

[4.2. Thiết kế cấu trúc các khâu 28](#_Toc501925045)

[4.3. Tính toán sai số 29](#_Toc501925046)

[4.4. Thiết kế sơ bộ kết cấu các khâu 31](#_Toc501925047)

[4.5. Tính toán cơ cấu cân bằng trọng lượng 33](#_Toc501925048)

[4.5.1. Tính toán momen xoắn do trọng lượng các khâu và tải trọng gây ra lên hai khớp dạng pitch 33](#_Toc501925049)

[4.5.2. Tính toán và lựa chọn lò xo cho hệ thống cân bằng 36](#_Toc501925050)

[4.6. Tính toán bộ truyền động 39](#_Toc501925051)

[4.6.1. Tính toán chọn động cơ 39](#_Toc501925052)

[4.6.2. Tính toán bộ truyền đai 43](#_Toc501925053)

[4.6.3. Tính toán trục 44](#_Toc501925054)

[4.7. Vùng không gian làm việc 45](#_Toc501925055)

[CHƯƠNG 5: THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỆN 46](#_Toc501925056)

[5.1. Hệ thống điện 46](#_Toc501925057)

[5.2. Mạch công suất và động cơ 46](#_Toc501925058)

[5.3. Cảm biến tiệm cận 48](#_Toc501925059)

[5.4. Công tắc hành trình 49](#_Toc501925060)

[5.5. Vi điều khiển trung tâm 49](#_Toc501925061)

[5.6. Hệ thống cấp nguồn 49](#_Toc501925062)

[CHƯƠNG 6: THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN 51](#_Toc501925063)

[6.1. Bộ điều khiển PID cho động cơ DC servo 51](#_Toc501925064)

[6.2. Giải thuật điều khiển cho vi điều khiển trung tâm 53](#_Toc501925065)

[CHƯƠNG 7: KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM 59](#_Toc501925066)

[7.1. Thực nghiệm kiểm tra lý thuyết cân bằng 59](#_Toc501925067)

[7.2. Mô hình tay máy 3 bậc tự cân bằng 60](#_Toc501925068)

[7.3. Kiểm tra sai số vị trí 62](#_Toc501925069)

[7.4. Kiểm tra sai số lặp lại 63](#_Toc501925070)

[CHƯƠNG 8: KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN ĐỀ TÀI 65](#_Toc501925071)

[8.1. Các kết quả đạt được 65](#_Toc501925072)

[8.2. Những thiếu xót của luận văn 65](#_Toc501925073)

[8.3. Hướng phát triển đề tài 65](#_Toc501925074)

[TÀI LIỆU THAM KHẢO 66](#_Toc501925075)

**DANH MỤC HÌNH**

[Hình 1.1 Tay máy tọa độ vuông góc 2](#_Toc501898864)

[Hình 1.2 Tay máy cơ cấu Gantry 2](#_Toc501898865)

[Hình 1.3 Tay máy tọa độ trụ 3](#_Toc501898866)

[Hình 1.4 Tay máy tọa độ cầu 3](#_Toc501898867)

[Hình 1.5 Tay máy toàn khớp bản lề 4](#_Toc501898868)

[Hình 1.6 Tay máy toàn khớp bản lề kết hợp cơ cấu hình bình hành 4](#_Toc501898869)

[Hình 1.7 Tay máy SCARA 5](#_Toc501898870)

[Hình 1.8 Khớp cổ tay trục trực giao 5](#_Toc501898871)

[Hình 1.9 Khớp cổ tay trục không trực giao 5](#_Toc501898872)

[Hình 1.10 Bộ điều khiển trong không gian khớp 8](#_Toc501898873)

[Hình 1.11 Bộ điều khiển trong không gian thao tác 9](#_Toc501898874)

[Hình 1.12 Các profile vận tốc quỹ đạo điển hình 10](#_Toc501898875)

[Hình 1.13 Quỹ đạo tiêu chuẩn cho việc kiểm tra cycle time 11](#_Toc501898876)

[Hình 2.1 Sơ đồ nguyên lý cấu hình 1 14](#_Toc501898877)

[Hình 2.2 Sơ đồ nguyên lý cấu hình 2 15](#_Toc501898878)

[Hình 2.3 Cơ cấu cân bằng dùng đối trọng 16](#_Toc501898879)

[Hình 2.4 Đường đặc tính của lò xo zero-length free 16](#_Toc501898880)

[Hình 2.5 Đường đặc tính của lò xo chiệu nén thông thường 16](#_Toc501898881)

[Hình 2.6 Các cơ cấu cân bằng dùng lò xo zero-length free 17](#_Toc501898882)

[Hình 2.7 Cơ cấu cân bằng dùng lò xo thông thường kết hợp con trượt 17](#_Toc501898883)

[Hình 2.8 Mô hình cơ cấu của Đại học quốc gia Seoul 17](#_Toc501898884)

[Hình 2.9 Cơ cấu cân bằng dùng lò xo thông thường kết hợp cơ cấu tay quay con trượt 18](#_Toc501898885)

[Hình 2.10 Mô hình cơ cấu của Đại học quốc gia Seoul 18](#_Toc501898886)

[Hình 2.11 Trợ lực bằng xy lanh thủy lực 18](#_Toc501898887)

[Hình 2.12 Cơ cấu dùng lò xo thông thường kết hợp ròng rọc không tròn 19](#_Toc501898888)

[Hình 2.13 Mô hình cơ cấu của Viện kỹ thuật Tokyo 19](#_Toc501898889)

[Hình 2.14 Sơ đồ nguyên lý cơ cấu cân bằng tĩnh của robot 19](#_Toc501898890)

[Hình 2.15 Các profile góc dùng để lựa chọn 23](#_Toc501898891)

[Hình 3.1 Mô hình hóa tay máy 24](#_Toc501898892)

[Hình 3.2 Sơ đồ tính toán động học ngược 26](#_Toc501898893)

[Hình 4.1 Ảnh hưởng của sai số cơ khí và sai số góc lên giá trị 29](#_Toc501898894)

[Hình 4.2 Ảnh hưởng của sai số cơ khí và sai số góc lên giá trị 30](#_Toc501898895)

[Hình 4.3 Ảnh hưởng của sai số cơ khí và sai số góc lên giá trị 31](#_Toc501898896)

[Hình 4.4 Kết cấu khâu 1 31](#_Toc501898897)

[Hình 4.5 Kết cấu khâu 2 31](#_Toc501898898)

[Hình 4.6 Chuyển vị và hệ số an toàn của khâu 2 31](#_Toc501898899)

[Hình 4.7 Kết cấu khâu 3 32](#_Toc501898900)

[Hình 4.8 Chuyển vị và hệ số an toàn của khâu 3 32](#_Toc501898901)

[Hình 4.9 Sơ đồ nguyên lý của khâu 2 và 3 của robot 33](#_Toc501898902)

[Hình 4.10 Sơ đồ nguyên lý cơ cấu cân bằng 36](#_Toc501898903)

[Hình 4.11 Sơ đồ nguyên lý cụm lò xo 37](#_Toc501898904)

[Hình 4.12 Bố trí vị trí cho các khoảng cách 38](#_Toc501898905)

[Hình 4.13 Cụm tạo khoảng cách 39](#_Toc501898906)

[Hình 4.14 Cụm lò xo 39](#_Toc501898907)

[Hình 4.15 Sơ đồ nguyên lý bộ truyền động 39](#_Toc501898908)

[Hình 4.16 Quá trình tạo chuyển động của động cơ 2 (a) và 3 (b) 41](#_Toc501898909)

[Hình 4.17 Vận tốc các động cơ 42](#_Toc501898910)

[Hình 4.18 Vùng không gian làm việc của robot 45](#_Toc501898911)

[Hình 5.1 Sơ đồ khối hệ thống điện 46](#_Toc501898912)

[Hình 5.2 Driver IBT\_2 BTS7960 47](#_Toc501898913)

[Hình 5.3 Driver Hbr-M 200W 47](#_Toc501898914)

[Hình 5.4 Đường đặc tính đối với driver IBT\_2 BTS7960 47](#_Toc501898915)

[Hình 5.5 Đường đặc tính của driver Hbr-M 48](#_Toc501898916)

[Hình 5.6 Cảm biến tiệm cận LJ8A3-2-Z/BX 48](#_Toc501898917)

[Hình 5.7 Sơ đồ đấu dây cảm biến tiệm cận 48](#_Toc501898918)

[Hình 5.8 CTHT KW11-03KC 49](#_Toc501898919)

[Hình 5.9 Sơ đồ đấu dây công tắc hành trình 49](#_Toc501898920)

[Hình 5.10 Adapter 5V-1A 50](#_Toc501898921)

[Hình 5.11 Nguồn Mean Well 24VDC-30A 50](#_Toc501898922)

[Hình 6.1 Đáp ứng của động cơ 1 với góc mong muốn 51](#_Toc501898923)

[Hình 6.2 Đáp ứng của động cơ 2 với góc quay 52](#_Toc501898924)

[Hình 6.3 Đáp ứng của động cơ 3 với góc quay 52](#_Toc501898925)

[Hình 6.4 Chương trình ngắt TIMER 1 53](#_Toc501898926)

[Hình 6.5 Chương trình ngắt TIMER 3 53](#_Toc501898927)

[Hình 6.6 Chương trình ngắt Input Change 53](#_Toc501898928)

[Hình 6.7 Chương trình ngắt UART 54](#_Toc501898929)

[Hình 6.8 Chương trình chính 55](#_Toc501898930)

[Hình 6.9 Chương trình con StartingHome 56](#_Toc501898931)

[Hình 6.10 Chương trình Home 57](#_Toc501898932)

[Hình 6.11 Chương trình Lead-through 57](#_Toc501898933)

[Hình 6.12 Chương trình Playback 58](#_Toc501898934)

[Hình 7.1 Mô hình thực nghiệm lý thuyết cân bằng 59](#_Toc501898935)

[Hình 7.2 Kết quả thực nghiệm lý thuyết cân bằng 60](#_Toc501898936)

[Hình 7.3 Mô hình cơ khí của robot 60](#_Toc501898937)

[Hình 7.4 Cơ cấu cân bằng 60](#_Toc501898938)

[Hình 7.5 Kết quả thực nghiệm khả năng giữ vị trí của robot 61](#_Toc501898939)

[Hình 7.6 Mô hình hệ thống điện và điều khiển của robot 61](#_Toc501898940)

[Hình 7.7 Quá trình kiểm tra sai số vị trí 62](#_Toc501898941)

[Hình 7.8 Sai số vị trí theo phương 63](#_Toc501898942)

[Hình 7.9 Sai số vị trí theo phương 63](#_Toc501898943)

[Hình 7.10 Sai số vị trí theo phương 63](#_Toc501898944)

[Hình 7.11 Sai số lập lại tại các điểm đã được lập trình 64](#_Toc501898945)

**DANH MỤC BẢNG**

[Bảng 1.1 So sánh các nguồn truyền động 6](#_Toc501826985)

[Bảng 1.2 So sánh các chế độ huấn luyện 7](#_Toc501826986)

[Bảng 3.1 Bảng D-H 24](#_Toc501826987)

[Bảng 4.1 Giá trị giới hạn mong muốn của các khớp 28](#_Toc501826988)

[Bảng 4.2 Tính chất vật lý của nhôm 6061-T6 28](#_Toc501826989)

[Bảng 4.3 Kết quả chuyển vị và hệ số an toàn của khâu 2 và 3 32](#_Toc501826990)

[Bảng 4.4 Các thông số của bảng D-H sau khi thiết kế các khâu 32](#_Toc501826991)

[Bảng 4.5 Thông số kỹ thuật của lò xo MISUMI SWF26-125 37](#_Toc501826992)

[Bảng 4.6 Thông số kích thước cho cụm cân bằng khâu 2 38](#_Toc501826993)

[Bảng 4.7 Thông số kích thước cho cụm cân bằng khâu 3 38](#_Toc501826994)

[Bảng 4.8 Tổng momen quán tính mà động cơ 2 cần phải gia tốc từ trạng thái tĩnh 40](#_Toc501826995)

[Bảng 4.9 Tổng momen quán tính mà động cơ 3 cần phải gia tốc từ trạng thái tĩnh 40](#_Toc501826996)

[Bảng 4.10 Tọa độ các đỉnh của hình lập phương 41](#_Toc501826997)

[Bảng 4.11 Thông số động cơ 42](#_Toc501826998)

[Bảng 5.1 Thông số kỹ thuật của driver IBT\_2 [15]: 47](#_Toc501826999)

[Bảng 5.2 Thông số kỹ thuật của driver Hbr-M 200W [16]: 47](#_Toc501827000)

[Bảng 5.3 Thông số kỹ thuật của cảm biến tiệm cận LJ8A3-2-Z/BX 48](#_Toc501827001)

[Bảng 7.1 Thông số lò xo dùng thực nghiệm lý thuyết 59](#_Toc501827002)

[Bảng 7.2 Thông số của con lắc ngược được dùng trong thực nghiệm lý thuyết 59](#_Toc501827003)

# TỔNG QUAN

## Sơ lược về robot công nghiệp

Robot công nghiệp là khái niệm được dùng để nói đến những robot được ứng dụng trong những ngành công nghiệp, đóng vai trò quan trọng trong quá trình tự động hóa sản xuất ở nhiều nhà máy, xí nghiệp, đóng góp vào sự phát triển của công nghiệp dưới nhiều dạng khác nhau:

* Tiết kiệm sức người, giải phóng con người khỏi những công việc nặng nhọc, tẻ nhạt và và an toàn cho người lao động.
* Tăng năng suất lao động, nâng cao chất lượng sản phẩm

Tổng quát, robot công nghiệp được cấu thành từ những thành phần cơ bản [1], [2]:

1. Tay máy (manipulator)
2. Nguồn cung cấp
3. Bộ điều khiển
4. Cảm biến
5. Khâu tác động cuối (end-effector)

### Tay máy

Tay máy là một dạng robot có cấu tạo mô phỏng theo những đặc điểm cấu tạo cơ bản của cánh tay người. Các khâu của tay máy được liên kết với nhau thông qua các khớp động để hình thành một chuỗi động hở.

1. Bậc tự do

Số bậc tự do của tay máy (hay còn gọi là số bậc chuyển động) là số khả năng chuyển động độc lập trong vùng không gian làm việc của tay máy. Tay máy có số bậc tự do càng cao thì càng linh hoạt, nhưng phải lớn một và không nên quá sáu. Lý do là vì với sáu bậc tự do, nếu được bố trí hợp lý, tay máy đủ khả năng để tiếp cận đối tượng cần được tác động từ mọi hướng trong vùng không gian làm việc của nó bao gồm:

* Ba bậc chuyển động định vị
* Ba bậc chuyển động định hướng

1. Cơ cấu ba bậc chuyển động định vị của tay máy nối tiếp

*Tọa độ vuông góc:* cơ cấu PPP, chiếm khoảng 20% tay máy trên thế giới [3] ứng dụng chủ yếu là các thao tác cung cấp và vận chuyển nguyên vật liệu và sản phẩm, chất dỡ hàng hóa, lắp ráp các chi tiếp máy, hàn khép kín cho những công trình quy mô lớn như vỏ tàu, đường ống [1], [4].

* Ưu điểm: độ cứng vững cao, độ chính xác là như nhau trong vùng không gian làm việc, phương trình động học đơn giản nên hệ thống điều khiển cũng đơn giản.
* Nhược điểm: chỉ có thể tiếp cận đối tượng từ phía bên, độ khéo léo thấp.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| (a) | (b) |
| **Hình 1.1** Tay máy tọa độ vuông góc | |

*Cơ cấu Gantry* là một dạng khác của tay máy tọa độ vuông góc.

* Ưu điểm: giúp tay máy có thể tiếp cận đối tượng từ phía trên, thay vì từ phía bên; có thể được thiết kế cho vùng không gian làm việc lớn. Thêm vào đó, việc tay máy được lắp lên trần sẽ dành phần diện tích sàn lớn cho công việc khác.
* Nhược điểm: tất cả những thành phần liên quan đến ứng dụng phải nằm trong robot và yêu cầu thêm các loại cần trục và phần khung cứng vững.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| (a) | (b) |
| **Hình 1.2** Tay máy cơ cấu Gantry | |

*Tọa độ trụ:* cơ cấu RPP, chiếm khoảng 12% thị trường tay máy.

* Ưu điểm: độ cứng vững tốt, khả năng chuyển động theo phương ngang giúp tay máy có thể tiến sâu vào trong các máy sản xuất.
* Nhược điểm: độ chính xác giảm khi tầm với theo phương ngang tăng. Do kết cấu cơ khí, tay máy loại này không thể tiến đến những điểm nằm trên sàn.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| (a) | (b) |
| **Hình 1.3** Tay máy tọa độ trụ | |

*Tọa độ cầu:* cơ cấu RRP

* Ưu điểm:tầm với theo phương ngang lớn; có thể tiếp cận được những đối tượng trên mặt sàn thuộc vùng không gian làm việc của nó.
* Nhược điểm: độ cứng vững thấp hơn tay máy tọa độ trụ, độ chính xác giảm khi tầm với theo phương ngang tăng, không thể tránh vật cản.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| (a) | (b) |
| **Hình 1.4** Tay máy tọa độ cầu | |

*Tay máy toàn khớp bản lề:* cơ cấu RRR, chiếm khoảng 59% tay máy đã được lắp đặt trên thế giới, khả năng ứng dụng của loại tay máy này rất rộng.

* Ưu điểm:có khả năng tránh vật cản để tiếp cận đối tượng, yêu cầu lượng vật liệu cấu thành nhỏ hơn những cấu trúc khác với cùng một vùng không gian làm việc cho trước [5].
* Nhược điểm: độ chính xác thay đổi trong vùng không gian làm việc, độ cứng vững kém.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| (a) | (b) |
| **Hình 1.5** Tay máy toàn khớp bản lề | |

Cơ cấu tay máy toàn khớp bản lề kết hợp cơ cấu hình bình hành để tạo thành một chuổi động kín.

* Ưu điểm: cơ cấu này làm tăng độ cứng vững và khả năng chịu tải do cơ cấu chấp hành ở khớp thứ 3 được dời về khâu 1.
* Nhược điểm: giảm vùng không gian làm việc của tay máy, mất khả năng tránh vật cản so với cơ cấu truyền thống.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| (a) | (b) |
| **Hình 1.6** Tay máy toàn khớp bản lề kết hợp cơ cấu hình bình hành | |

*SCARA (Selective Compliance Articulated Robot Actuator*)*:* cơ cấu RRP, chiếm khoảng 8% số lượng tay máy thế giới, được dùng chủ để gắp-thả và lắp ráp theo phương thẳng đứng.

* Ưu điểm:cơ cấu chấp hành cho hai khớp xoay đầu tiên không phải chịu momen xoắn do trọng lượng của bản thân tay máy hay tải gây ra, có thể tránh được vật cản.
* Nhược điểm:độ chính xác giảm khi tầm với theo phương ngang tăng, hạn chế theo phương thẳng đứng.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| (a) | (b) |
| **Hình 1.7** Tay máy SCARA | |

1. Cơ cấu định hướng [3]

Ba trục quay trực giao và giao nhau tại một điểm. Cơ cấu này đủ để định hướng một điểm trong không gian, nhưng góc quay bị giới hạn.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Hình 1.8 Khớp cổ tay trục trực giao

Ba trục quay giao nhau tại một điểm nhưng không trực giao. Cả 3 khớp có thể quay liên tục mà không bị giới hạn, được dùng trong ứng dụng sơn hay hàn đường

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

**Hình 1.9** Khớp cổ tay trục không trực giao

1. Cân bằng trọng lượng

Những cơ cấu tay máy có khớp quay dạng pitch (cơ cấu tay máy tọa độ cầu, tay máy toàn khớp bản lề), cơ cấu chấp hành cho các khớp này phải chịu một momen xoắn đáng kể do khối lượng bản thân của các khâu gây ra. Đối với những tay máy tải trọng vừa và nhẹ, việc cân bằng trọng lượng có vai trò quan trọng trong chế độ huấn luyện “dắt mũi” (lead-through).

*Cân bằng chủ động:* dùng trực tiếp cơ cấu tác động để cung cấp momen xoắn để duy trì tay máy ở trạng thái tĩnh ứng với mỗi vị trí khác nhau. Phương pháp này có ưu điểm là dùng ngay cơ cấu chấp hành mà không cần thông qua cơ cấu phụ nào khác. Nhược điểm là không thể loại thành phần trọng lực ra khỏi phương trình động lực học của tay máy.

*Cơ cấu cân bằng bị động:* cần thiết kế thêm những cơ cấu phụ, nhưng với phương pháp này thành phần bị động được loại ra khỏi phương trình động lực học của tay máy, do đó làm giảm đáng kể kích thước và chi phí cho của cơ cấu tác động. Những cơ cấu cân bằng bị động phổ biến là: đối trọng, lò xo, lò xo kết hợp hệ thống dây cáp và ròng rọc, hay kết hợp với cơ cấu tay quay-con trượt.

### Nguồn cung cấp

Bảng 1.1 So sánh các nguồn truyền động

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Truyền động thủy lực | Truyền động khí nén | Truyền động điện cơ |
| Cơ cấu tác động | Xy lanh thủy lực | Xy lanh khí nén | Động cơ bước, động cơ DC, AC. |
| Ưu điểm | Lực nâng lớn, tốc độ chạy êm, dầu ép không nén được nên các khớp của robot có thể được khóa cứng ở một vị trí xác định, đáp ứng nhanh, tự bôi trơn và tự làm nguội. | Giá thành thấp, việc thiết kế và lắp đặt khá đơn giản, thân thiện với môi trường | Cơ cấu tác động nhanh và chính xác, có khả năng ứng dụng những kỹ thuật điều khiển phức tạp |
| Nhược điểm | Tốc độ chậm, cần có hệ thống ống dẫn và bể dầu, có rò rỉ dầu nên không phù hợp trong môi trường sạch | Do đặc điểm của khí nén là nén được nên độ chính xác không cao ở giữa hành trình, khí xả gây ồn. | Khe hở bộ truyền bánh răng gây sai số, bị quá nhiệt khi hệ thống bị dừng hoạt động do quá tải, do đó phải có thắng để giữ vị trí. |

### Bộ điều khiển

1. Chế độ hoạt động

*Chế độ huấn luyện (teaching mode):* còn gọi là chế độ lập trình, chương trình được nhập vào bộ điều khiển bằng các phương pháp sau: pendant điều khiển , bộ mô phỏng, lead-through. Qua đó, tọa độ các vị trí mong muốn sẽ được lưu lại, và tạo thành một cơ sở dữ liệu. Người lập trình sẽ dựa trên cơ sở đó để lập trình cho robot thực hiện tác vụ mong muốn.

Bảng 1.2 So sánh các chế độ huấn luyện

|  |  |
| --- | --- |
| Pendant điều khiển | |
| Dạng điều khiển | Đường dẫn từng điểm, đường dẫn điều khiển |
|  | D:\_GOOGLE_DRIVE\_LUAN_VAN\Hinh\Robotics- Online Programming - Teach Pendant & Lead-through (1).mp4_snapshot_00.36_[2017.10.21_13.18.04].jpg |
| Ưu điểm | Lập trình dễ dàng, thân thiện với kỹ thuật viên, kỹ thuật viên được yêu cầu không cần có quá nhiều kiến thức về lập trình; những va chạm không mong muốn có thể dễ dàng được phát hiện ngay. |
| Nhược điểm | Khó khăn khi lập trình các tác vụ phức tạp hoặc yêu cầu độ linh hoạt; robot sẽ ngưng hoạt động trong suốt quá trình lập trình. |
| Lead-through | |
| Dạng điều khiển | Đường dẫn từng điểm, đường dẫn liên tục |
|  |  |
| Ưu điểm | Giảm thời gian lập trình, thích hợp cho những tác vụ yêu cầu độ khéo léo như hàn MIG hoặc sơn. |
| Nhược điểm | Không đạt được chính xác tọa độ mong muốn khi di chuyển bằng tay, yêu cầu cân bằng động học ở trạng thái tĩnh để dễ dàng dẫn hướng, có thời gian chết |

|  |  |
| --- | --- |
| Bộ mô phỏng | |
| Dạng điều khiển | Có thể lập trình được tất cả đường dẫn |
|  |  |
| Ưu điểm | Giảm thời gian chết của tay máy, nhiều tay máy có thể dùng chung một chương trình, thử nghiệm được nhiều giải thuật điều khiển, đạt độ chính xác cao. |
| Nhược điểm | Kết quả thực tế không giống như mô phỏng, mất thời gian xây dựng bộ mô phỏng, yêu cầu nhân lực có năng lực cao về lập trình và robot. |

*Chế độ tự động (auto mode):* chế độ chạy chương trình đã được lập trình trong chế độ huấn luyện.

1. Các bộ điều khiển

*Bộ điều khiển trong không gian khớp*

|  |
| --- |
|  |
| (a) Sơ đồ điều khiển vòng hở |
|  |
| (b) Sơ đồ điều khiển vòng kín |

Hình 1.10 Bộ điều khiển trong không gian khớp

*Bộ điều khiển trong không gian công tác*

|  |
| --- |
|  |
| (a) Sơ đồ điều khiển vòng hở |
|  |
| (b) Sơ đồ điều khiển vòng kín |

Hình 1.11 Bộ điều khiển trong không gian thao tác

1. Các dạng điều khiển

*Hệ điều khiển rời rạc:* chỉ quan tâm đến việc đưa đầu công tác của tay máy tới những điểm xác định mà không cần quan tâm đến quỹ đạo chuyển động giữa những điểm đó, thường dùng cho những ứng dụng gắp-thả, vận chuyển, hàn điểm. Khi đó, kỹ thuật lập trình quỹ đạo trong không gian khớp hay được sử dụng; bao gồm ba kiểu đường dẫn.

Đường dẫn từng đoạn: thuộc kiểu điều khiển vòng hở, dùng các cử chặn hay các công tắc hành trình để lắp lên trục quay nhằm đạt được các góc quay mong muốn của mỗi trục. Kiểu đường dẫn này được ứng dụng cho những tay máy đơn thuần dùng để gắp thả vật.

Đường dẫn theo điểm: dùng pendant điều khiển hay lập trình để lưu lại các tọa độ mong muốn, bộ điều khiển sẽ xử lý, tính toán tay máy trên hệ tọa độ suy rộng, và sau đó ra lệnh cho các trục vận hành với vận tốc lớn nhất hướng tới vị trí mới và một số trục có thể kết thúc vận hành trước. Do đó, đây thuộc kiểu điều khiển vòng kín.

Đường dẫn điều khiển: kiểu đường dẫn này tương tự như đường dẫn theo điểm nhưng lúc này các trục phải bắt đầu và kết thúc đồng thời. Muốn vậy, bộ điều khiển phải tính toán vận tốc góc, các giai đoạn tăng tốc và giảm tốc của từng khớp để đồng thời dừng cùng lúc. Do đó, đây thuộc kiểu điều khiển vòng kín.

*Hệ điều khiển theo đường dẫn liên tục:* đối với hệ điều khiển này, ngoài việc đạt đến điểm mong muốn, tay máy cần phải đi theo một quỹ đạo nhất định. Khi đó, kỹ thuật lập trình quỹ đạo trong không gian thao tác.

Đường dẫn liên tục: đường dẫn giữa 2 điểm đầu và cuối do người lập trình quy định; vận tốc, gia tốc trên đường dẫn cũng cần phải được xác định. Đường dẫn này sau đó sẽ được chia thành nhiều điểm nút. Tay máy sẽ được điều khiển để lần lượt đi qua tất cả các điểm nút để đạt đến điểm đích, đường dẫn giữa hai điểm nút liền kề có thể là đường dẫn từng điểm hoặc đường dẫn điều khiển. Do đó, đây thuộc kiểu điều khiển vòng kín. Tay máy dùng kiểu đường dẫn liên tục được sử dụng chủ yếu trong việc sơn và hàn MIG.

1. Lập trình quỹ đạo động học

Lập trình quỹ đạo chuyển động của robot được phân thành hai lớp bài toán: lập trình quỹ đạo trong không gian thao tác và lập trình quỹ đạo trong không gian khớp.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  | có dạng hình thang  có bước nhảy | nhẵn |

Hình 1.12 Các profile vận tốc quỹ đạo điển hình

Ngoài ra, trong lập trình đường dẫn theo điểm, biến góc trong không gian khớp, hay biến tọa độ trong không gian thao tác còn là những hàm đa thức theo thời gian. Các hàm đa thức này có thể từ bậc 3, 5, và 7 tùy vào điều kiện bắt đầu và kết thúc mong muốn [2].

1. Giải thuật điều khiển

Có nhiều giải thuật điều khiển robot, mỗi giải thuật thì phù hợp với đặc thù của mỗi loại robot, cũng như trong những tác vụ chuyên biệt. Một số bộ điều khiển phổ biến bao gồm [2]:

* Điều khiển momen tính (Computed Torque Control).
* Điều khiển tuyến tính.
* Điều khiển thích nghi.

### Cảm biến

Tùy thuộc vào chế độ huấn luyện, lập trình trong không gian khớp (góc quay, vận tốc góc, …) hay không gian thao tác (tọa độ, lực, …) mà cảm biến được sử dụng khác nhau. Ngoài ra, đối với những robot công nghiệp, có những vị trí quan trọng cần phải được xác định bao gồm:

*Vị trí Home:* nếu nói trong vùng không gian thao tác, vị trí Home là một vị trí cố định và duy nhất, mà tại đó robot ở trạng thái nghĩ. Trong không gian khớp, vị trí Home là vị trí 0 của mỗi khớp xoay của robot, các khớp sẽ thay đổi giá trị tính từ vị trí này. Các công tắc hành trình, hay cảm biến tiệm cận được sử dụng để xác định điểm này cho robot

*Vị trí biên:* là những vị trí giới hạn vùng không gian làm việc của robot nhằm mục đích tránh va chạm. Các cảm biến cơ học như công tắc hành trình được dùng cho mục đích này.

### Khâu tác động cuối (end-effector)

Khâu tác động cuối hay còn gọi là đầu công tác, được xác định tùy thuộc vào tác vụ mà tay máy thực hiện. Đối với tác vụ nâng chuyển vật liệu hay gắp-thả, khâu tác động cuối có thể là tay gắp có hình dạng và kích thước phù hợp với đối tượng được gắp. Đối với những tác vụ công nghệ, khâu tác động có thể là đầu hàn, đầu phun sơn, máy khoan, máy mài, …

### Một số đặc điểm kỹ thuật khác

1. Tải trọng

*Tải trọng tối đa:* là tải trọng mà robot mang được ở tốc độ đã được giảm nhưng vẫn duy trì được độ chính xác định mức.

*Tải trọng danh nghĩa:* là tải trọng mà robot mang được ở tốc độ tối đa nhưng vẫn duy trì độ chính xác định mức.

1. Thời gian chu kỳ tiêu chuẩn (standard cycle time):

Giá trị này được dùng như một thước đo đánh gia hiệu năng của robot công nghiệp. Thời gian đó được đo khi robot thực hiện quỹ đạo tiêu chuẩn gồm: nâng lên theo phương thẳng đứng , di chuyển ngang , và cuối cùng là hạ xuống theo phương thẳng đứng .



Hình 1.13 Quỹ đạo tiêu chuẩn cho việc kiểm tra cycle time

1. Sai số lặp lại:là sai số được đo khi robot thực hiện lặp đi lặp lại một thao tác dưới cùng một tín hiệu điều khiển.
2. Tốc độ tối đa:

Theo lý thuyết, tốc độ tối đa của robot có thể được đo khi cho các khớp duỗi hết hành trình và thực chuyển động đồng thời. Nhưng một cách thực tế hơn, tốc độ tối đa được đo trong hành trình trong quá trình robot thực hiện quỹ đạo tiêu chuẩn.

## Đặt vấn đề

Dù các môn học về robot công nghiệp đã được đưa vào phục vụ công tác đào tạo đã lâu, nhưng những mô hình robot công nghiệp để dùng cho mục đích này vẫn còn hạn chế. Những mô hình tay máy SCARA với ba trục xoay thẳng đã được nhiều sinh viên thực hiện thành công.

Tuy nhiên, trong công nghiệp cũng như giảng dạy, tay máy toàn khớp bản lề được sử dụng và giảng dạy rất nhiều, nhưng mô hình dùng để thực nghiệm hầu như là dùng lại những mô hình robot cũ, chứ rất ít được thiết kế và chế tạo lại ở môi trường đại học. Lý do chính có thể giải thích cho hiện tượng này đó là vấn đề trọng lực. Tại các khớp dạng pitch (khớp gập) của tay máy toàn khớp bản lề, cơ cấu chấp hành phải chịu momen xoắn đáng kể do trọng lượng các khâu gây ra. Do đó, cơ cấu chấp hành phải đủ khỏe để có thể tạo chuyển động cho robot, dẫn đến giá thành cũng tăng theo. Một lý do khác là vấn đề an toàn. Đối với những robot công nghiệp, động cơ tại mỗi khớp được tích hợp hệ thống thắng từ nhằm để duy trì tư thế của robot trong quá trình hoạt động, cũng như khi xảy ra sự cố mất điện.

Do đó, trong luận văn này, một robot toàn khớp bản lề 3-DOF theo hướng phát triển lên 6-DOF được nghiên cứu, thiết kế, và chế tạo. Robot sẽ được kết hợp với một cơ cấu trợ lực nhằm dùng những động cơ phổ biến có sẵn trên thị trường, tiết kiệm chi phí, đảm bảo an toàn, và cũng là một giải pháp tiết kiệm năng lượng cho những robot công nghiệp. Cơ cấu trợ lực này cũng là một phần quan trọng trong kỹ thuật lập trình Lead-through; nhờ vào cơ cấu này, mà robot có thể dễ dàng được thao tác thông qua việc cầm nắm, và dẫn hướng đầu công tác để thực hiện tác vụ mong muốn.

## Mục tiêu và nhiệm vụ luận văn

### Mục tiêu

Ở mức độ luận văn, thiết kế tay máy 3-DOF toàn khớp bản lề dạng roll-pitch-pitch, kết hợp cơ cấu cân bằng trọng lượng ở trạng thái tĩnh cho hai khớp pitch, nhằm ứng dụng chế độ lập trình Lead-through dùng kiểu đường dẫn từng điểm, dùng trong công tác đào tạo.

### Nhiệm vụ

Để làm được việc này, ta cần làm những việc sau:

* Tìm hiểu, phân tích cơ cấu của tay máy công nghiệp toàn khớp bản lề.
* Thiết kế cơ khí, và xây dựng bản vẽ.
* Thiết kế cơ cấu cân bằng cho hai khớp dạng pitch.
* Xây dựng mô hình để kiểm tra khả năng cân bằng của robot.
* Thiết kế hệ thống điện.
* Thiết kế giải thuật điều khiển đường dẫn theo điểm ứng dụng chế độ lập trình Lead-through.

### Phạm vi

* Khối lượng tải mang cố định ở khớp cổ tay là .
* Tầm với theo phương ngang là .
* Vùng không gian làm việc là một khối lập phương có cạnh
* Tốc độ ở tối đa theo phương ngang ở khớp cổ tay là [6].
* Sai số lặp lại: .

## Tổ chức luận văn

Chương 1: Giới thiệu tổng quan về robot công nghiệp. Từ đó đặt ra mục tiêu và nhiệm vụ luận văn.

Chương 2: Trình bày và phân tích các phương án thiết kế

Chương 3: Trình bày mô hình hóa hệ thống

Chương 4: Trình bày quá trình thiết kế cơ khí

Chương 5: Trình bày thiết kế hệ thống điện

Chương 6: Trình bày giải thuật điều khiển cho kỹ thuật lập trình Lead-through

Chương 7: Trình bày mô phỏng và thực nghiệm, các vấn đề gặp phải, đề xuất phương án giải quyết và hướng phát triển đề tài.

# PHƯƠNG ÁN THIẾT KẾ

## Cơ cấu tay máy toàn khớp bản lề

Mục tiêu lựa chọn:

* Phù hợp để thiết kế cơ cấu cân bằng tĩnh và bố trí động cơ.
* Kết cấu vững chắc nhưng vẫn đảm bảo nhỏ gọn.

Như đã giới thiệu ở chương tổng quan, tay máy toàn khớp bản lề gồm hai cấu hình chính. Mỗi cấu hình sẽ lần lượt được đánh giá dựa trên những mục tiêu đã đề ra.

### Khả năng thiết kế cơ cấu cân bằng tĩnh và bố trí động cơ

Cơ cấu cân bằng tĩnh được ứng dụng vào tay máy nhằm duy trì tư thế của tay máy tại mọi vị trí mà không bị tác dụng của trọng lượng bản thân tay máy. Do đó, đầu tiên cần xem xét ảnh hưởng của trọng lượng ứng với mỗi cấu hình khác nhau tác dụng lên trục quay của từng động cơ.

*Cấu hình 1:*



Hình 2.1 Sơ đồ nguyên lý cấu hình 1

Momen do khối lượng các khâu gây ra lên trục của các motor 2 và 3 ở trạng thái tĩnh được suy ra từ công thức:

Với: là ma trận Jacobian của vị trí khối tâm và là vector trọng lực của khối lượng

*Cấu hình 2*



Hình 2.2 Sơ đồ nguyên lý cấu hình 2

### Độ cứng vững

So với cấu hình 1, cấu hình 2 nhờ được áp dụng cơ cấu hình bình hành để tạo truyền động cho khớp ba nên đạt được độ cứng vững tốt hơn so với cấu hình 1 [7].

### Kết luận

Sơ đồ nguyên lý 2 được lựa chọn vì độ cững vững của cơ cấu, sự đa dạng trong thiết kế các cơ cấu cân bằng, giảm thiểu được momen cần cung cấp.

## Cơ cấu cân bằng trọng lượng

Mục tiêu lựa chọn:

* Cân bằng hoàn toàn trọng lực trong vùng không gian làm việc.
* Cấu tạo đơn giản, dễ chế tạo.

### Dùng đối trọng

Điều kiện cân bằng:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1) |

*Ưu điểm:* Cấu trúc đơn giản

*Nhược điểm:* tăng tổng khối lượng và momen quán tính, nên momen xoắn yêu cầu cũng phải tăng cho quá trình tăng tốc và giảm tốc.



**Hình 2.3** Cơ cấu cân bằng dùng đối trọng

### Dùng hệ thống lò xo

Lò xo được dùng trong các cơ cấu cân bằng có vai trò như một bộ phận tạo trợ lực.Trợ lực này sẽ được dùng để tạo ra một momen có chiều ngược chiều với momen do trọng lực gây ra. Tùy thuộc vào việc bố trí và kết hợp các cơ cấu khác, momen do lò xo tạo ra có thể bằng một phần hay hoàn toàn momen do trọng lực gây ra. Có 2 loại lò xo được dùng trong các cơ cấu này: lò xo zero-length free và lò xo thông thường.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **Hình 2.4** Đường đặc tính của lò xo zero-length free | **Hình 2.5** Đường đặc tính của lò xo chiệu nén thông thường |

1. Dùng lò xo zero-length free

Đường đặc tính biểu diễn mối liên hệ giữa ngoại lực và độ biến dạng của lò xo zero-length free được thể hiện ở hình. Sơ đồ nguyên lý của cơ cấu cân bằng dùng lò xo zero-length free được thể hiện qua hình 2.4 (a) và (b). Khi đó, độ cứng của lò xo được tính theo công thức [8]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.2) |

*Ưu điểm:* cấu trúc đơn giản.

*Nhược điểm:* lò xo khó tìm kiếm, và lò xo chịu kéo có độ giãn dài không cao so với lò xo chịu nén, nên làm giảm góc quay mong muốn.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| (a) | (b) |

**Hình 2.6** Các cơ cấu cân bằng dùng lò xo zero-length free

1. Dùng lò xo thông thường kết hợp với con trượt

Khi đó độ cứng của lò xo được tính theo công thức: và lò xo phải được tạo trước độ nén ban đầu [9].

*Ưu điểm:* có thể bù chính xác trọng lực, lò xo chịu nén có độ nén lớn, nên có thể đạt được góc quay mong muốn.

*Nhược điểm:* dây phải có khả năng chịu kéo, và cần thiết kế thêm bộ phận căng dây và bộ phận tạo lực nén ban đầu cho lò xo, bố trí con trượt trên khâu làm thay đổi trọng tâm trong quá trình quay.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **Hình 2.7** Cơ cấu cân bằng dùng lò xo thông thường kết hợp con trượt | **Hình 2.8** Mô hình cơ cấu của Đại học quốc gia Seoul |

1. Dùng lò xo thông thường kết hợp với cơ cấu tay quay con trượt

Cơ cấu dùng lò xo chịu nén thông thường kết hợp cơ cấu tay quay con trượt thay cho dây dây kéo như ở cơ cấu trước.

Điều kiện cân bằng [10]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.3) |

và độ nén ban đầu của lò xo

*Ưu điểm:* cơ cấu vững chắc, nên trợ lực tốt.

*Nhược điểm:* cơ cấu phức tạp vì phải có thêm con trượt và ray trượt, nên khó tích hợp vào những robot cỡ nhỏ.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **Hình 2.9** Cơ cấu cân bằng dùng lò xo thông thường kết hợp cơ cấu tay quay con trượt | **Hình 2.10** Mô hình cơ cấu của Đại học quốc gia Seoul |

1. Dùng xy lanh thủy lực

|  |  |
| --- | --- |
| Hình 2.11 Trợ lực bằng xy lanh thủy lực | Đây là dạng bù trọng lực chủ động. Cơ cấu bao gồm một xy lanh thủy lực, và bình tích áp dạng màng, bên trong có tích hợp một cảm biến áp suất để ghi nhận áp suất chất lỏng. Tín hiệu sẽ được hồi tiếp về và là tín hiệu điều khiển cho momen của động cơ của mỗi khớp [11]. |

1. Cơ cấu dùng lò xo thông thường kết hợp với ròng rọc không tròn

Cơ cấu là một hệ thống gồm ròng rọc không tròn 2 nối cứng với khâu 3, lò xo 1 được nối với một dây cáp hay dây đai 4, rồi được quấn qua ròng rọc. Biên dạng của ròng rọc có thể được tìm trực tiếp bằng công thức hay dùng máy tính để giải điều kiện cân bằng cho khâu 3 [12], [13].

*Ưu điểm:* có thể giảm được đến momen do trọng lực gây ra.

*Nhược điểm:* khó khăn trong việc hình thành biên dạng và chế tạo ròng rọc; chỉ phù hợp sử dụng lò xo chịu kéo, nên cũng bị hạn chế về góc quay

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **Hình 2.12** Cơ cấu dùng lò xo thông thường kết hợp ròng rọc không tròn | **Hình 2.13** Mô hình cơ cấu của Viện kỹ thuật Tokyo |

### Kết luận

Từ những ưu nhược điểm kể trên, cơ cấu cân bằng có sơ đồ nguyên lý được sử dụng có sơ đồ như hình sau:



Hình 2.14 Sơ đồ nguyên lý cơ cấu cân bằng tĩnh của robot

## Truyền động

Mục tiêu lựa chọn

* Kết cấu nhỏ gọn, nhẹ, dễ tìm mua cũng như hiệu chỉnh.
* Khả năng hồi tiếp được vị trí nhằm mục tiêu ứng dụng kỹ thuật lập trình Lead-through.

### Truyền động điện cơ

1. Động cơ bước

*Ưu điểm:*

* Việc điều khiển góc đạt độ chính xác cao nếu momen tải không vượt quá momen giới hạn của động cơ.
* Quá trình điều khiển không quá phức tạp.
* Driver điều khiển phổ biến, và dễ dàng tìm kiếm.

*Nhược điểm:*

Động cơ bước được dùng trong điều khiển vòng hở nên không phát hiện được hiện tượng trượt xung trong quá trình điều khiển.

1. Động cơ DC có gắn encoder

*Ưu điểm:*

* Momen khởi động lớn.
* Chi phí thấp.
* Có tín hiệu hồi tiếp từ encoder phục vụ quá trình điều khiển.
* Đường đặc tuyến giữa tốc độ và momen là tuyến tính.

*Nhược điểm:*

* Bảo trì chổi than.
* Độ chính xác phụ thuộc vào bộ điều khiển và encoder được gắn vào.

1. Động cơ AC servo

*Ưu điểm:*

* Có thể tích hợp hệ thống thắng nên an toàn trong quá trình sử dụng.
* Ít tốn chi phí bảo trì.
* Thích hợp cho những ứng dụng cần điều khiển chính xác momen

*Nhược điểm:*

* Giá thành cao.
* Do động cơ hoạt động với điện áp AC lớn hơn , nên khi sử dụng cần đảm bảo những yêu cầu về an toàn điện.

### Cơ cấu truyền động

1. Truyền động trực tiếp:

*Ưu điểm:* truyền động đơn giản; do được truyền động trực tiếp từ động cơ nên không xảy ra hiện tượng rơ khi qua các bộ truyền động.

*Nhược điểm:* trục của hộp giảm tốc ngoài việc truyền momen xoắn còn phải chịu thêm lực kéo hoặc đẩy do khối lượng robot gây ra. Khó khăn trong việc bố trí động cơ cho phù hợp với kết cấu.

1. Truyền động thông qua bộ truyền:

* Bộ truyền bánh răng trụ

*Ưu điểm:*

* + Tỷ số truyền không thay đổi do không có hiện tượng trượt trơn.
  + Hiệu suất truyền cao, có thể đạt .
  + Tuổi thọ cao, làm việc với độ tin cậy cao.

*Nhược điểm:*

* + Kết cấu trở nên cồng kềnh và nặng nề khi khoảng cách 2 trục truyền lớn.
  + Cần phải có giải pháp bôi trơn, che chắn.
* Bộ truyền xích

*Ưu điểm:*

* + Hiệu suất bộ truyền .
  + Chủ động trong việc bố trí khoảng cách 2 trục.

*Nhược điểm:*

* + Ồn khi các mắt xích và bánh xích vào ra khớp
  + Cần phải có giải pháp bôi trơn, che chắn.
* Bộ truyền đai răng

*Ưu điểm:*

* + Hiệu suất bộ truyền .
  + Kích thước bộ truyền nhỏ gọn, dễ bố trí, và tìm mua.

*Nhược điểm:* Cần phải có giải pháp căng đai.

### Kết luận

Từ những phân tích trên, robot được truyền động bằng động cơ DC giảm tốc có gắn encoder thông qua bộ truyền bánh đai răng.

## Bộ điều khiển

Mục tiêu:

* Áp dụng được kỹ thuật lập trình Lead-through.
* Sai số lặp lại vị trí theo cả 3 phương là .
* Phát hiện được vị trí Home và vị trí biên của robot.

### Cảm biến

*Cảm biến tiệm cận:* không có tác động vật lý giữa robot và cảm biến. Thị trường có 2 loại phổ biến là: cảm biến tiệm cận điện quang, và cảm biến tiệm cận điện cảm. Với cùng một kích thước, thì cảm biến tiệm cận điện quang cho khoảng bắt vật lớn hơn gấp 10 lần so với loại điện cảm. Tuy nhiên, trên thị trường, cảm biến tiệm cân điện quang loại hình trụ chỉ phổ biến với kích thước nhỏ nhất là loại M18, trong khi con số đó đối với loại điện cảm là M8. Do đó, cảm biến tiệm cận lại có ưu thế hơn nhờ sự nhỏ gọn, dễ tích hợp vào vùng không gian nhỏ hẹp, vốn không cần khoảng cách bắt vật lớn.

*Công tắc hành trình:* có tác động vật lý giữa robot và cảm biến nên kém bền.

### Cấu trúc điều khiển

1. Điều khiển tập trung:

*Ưu điểm:*

* Giảm được khối lượng lập trình cho quá trình xử lý truyền nhận tín hiệu giữa các vi điều khiển.
* Bộ điều khiển nhỏ gọn và tiết kiệm chi phí.
* Dễ kiểm tra kiểm tra khi có lỗi xảy ra

*Nhược điểm:*

* Có thể xảy ra hiện tượng đọc trượt xung encoder.
* Vi điều khiển phải đáp ứng đủ số chân chức năng yêu cầu.

1. Điều khiển phân cấp:

*Ưu điểm:*

* Mỗi vi điều khiển Slave sẽ đọc encoder độc lập nên tránh được hiện tượng trượt xung.
* Vi điều khiển Slave không yêu cầu phải mạnh.

*Nhược điểm:*

* Phải xử lý tốt quá trình truyền nhận giữa các vi điều khiển.
* Khó khăn trong việc phát hiện và khắc phục lỗi.
* Bộ điều khiển cồng kềnh, rối rắm.

### Giải thuật điều khiển động cơ

Giải thuật điều khiển được sử dụng là giải thuật điều khiển PID.

### Hoạch định quỹ đạo

1. Profile góc là đáp ứng của động cơ theo bộ điều khiển PID vị trí.

*Ưu điểm:* các khớp của robot tiến nhanh nhất tới vị trí mong muốn.

*Nhược điểm:*

* Thời gian hoàn thành phụ thuộc vào thời gian đáp ứng của động cơ.
* Lực quán tính lớn do khó kiểm soát được gia tốc.
* Các khớp không thể được lập trình để dừng đồng thời.

1. Profile góc có profile vận tốc dạng hình thang. Profile vận tốc dạng hình thang này là dạng điển hình, được sử dụng nhằm hạn chế lực quán tính, và qui định thời gian quay mong muốn; khi đó, vận tốc góc được điều khiển thông qua việc điều khiển góc quay của mỗi động cơ theo một phương trình đã biết nhằm đạt được góc quay mong muốn.

*Ưu điểm:*

* Kiểm soát được gia tốc của động cơ.
* Có thể lập trình để các khớp dừng đồng thời.

*Nhược điểm:* cần phải xác định trước profile điều khiển.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| (a) | (b) |

Hình 2.15 Các profile góc dùng để lựa chọn

### Kết luận

* Bộ điều khiển được xây dựng theo cấu trúc điều khiển tập trung.
* Cảm biến Home dùng cảm biến tiệm cận điện cảm. Vị trí biên được xác định bằng công tắc hành trình.
* Động cơ được điều khiển bằng giải thuật PID.
* Profile góc là đáp ứng của động cơ theo bộ điều khiển PID vị trí

# MÔ HÌNH HÓA HỆ THỐNG

## Bài toán động học thuận



Hình 3.1 Mô hình hóa tay máy

Bảng 3.1 Bảng D-H

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

Ma trận biến đổi có dạng:

Ma trận biến đổi của gốc tọa độ 4 về hệ trục tọa độ 0 gắn với khâu giá được thể hiện qua công thức (3.1)

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.1) |

Trong đó:

## Ma trận Jacobian

Từ bài toán động học thuận, tọa độ của gốc tọa độ 4 so với gốc tọa độ 0 được xác định từ bằng ma trận:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.2) |

Đặt:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.3) |
|  | (3.4) |
|  | (3.5) |

Khi đó, phương trình (3.2) được viết lại có dạng:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.6) |

Ma trận Jacobian được tính từ công thức:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.7) |
|  | | (3.8) |

Trong đó:

## Bài toán động học ngược

Từ phương trình (3.2), giá trị các góc được tính lần lượt như sau:



Hình 3.2 Sơ đồ tính toán động học ngược

Kết quả:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.3) |
|  | (3.4) |
|  | (3.5) |

Vận tốc góc của các khớp được tính từ công thức:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.6) |

Từ đó, với yêu cầu đề bài , các giá trị vận tốc góc các khớp được tìm từ công thức. Do đó,

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.7) |
|  | (3.8) |
|  | (3.9) |

# THIẾT KẾ CƠ KHÍ

## Thông số kích thước thiết kế

Hai giá trị và là hai thông số quan trọng quyết định đến vùng làm việc của tay máy. Nếu ta xem tầm với mong muốn của tay máy là cố định, và tay máy là lý tưởng, tức là , và ta đặt . Khi đó, tỉ số tối ưu có giá trị khoảng [14]

Từ yêu cầu đề tài , tác giả chọn .

Khi đó, , và

Các giá trị còn lại phụ thuộc vào kết cấu cơ khí của robot trong quá trình thiết kế.

Góc quay giới hạn của các khớp được chọn sơ bộ dựa trên robot ABB IRB 1410.

Bảng 4.1 Giá trị giới hạn mong muốn của các khớp

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Khớp | Góc | Giới hạn góc |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

## Thiết kế cấu trúc các khâu

Vật liệu được chọn làm tay máy là nhôm vì đặc điểm là kim loại nhẹ, cứng vững và dễ gia công bằng các phương pháp gia công thông thường (tiện, phay, cnc…) Trong số các mác nhôm tấm thì nhôm hợp kim 6061-T6 được dùng phổ biến, và rộng rãi trong ngành cơ khí và tự động hóa.

Tính chất của nhôm 6061-T6 [15] được thể hiện ở bảng sau:

**Bảng 4.2** Tính chất vật lý của nhôm 6061-T6

|  |  |
| --- | --- |
| Tính chất | Giá trị |
| Khối lượng riêng |  |
| Giới hạn chảy |  |
| Giới hạn bền |  |
| Độ cứng |  |
| Modun đàn hồi |  |
| Modun trượt |  |

## Tính toán sai số

* Xét

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.1) |

Đặt:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.2) |
|  | (4.3) |

Với các ràng buộc là giới hạn mong muốn của các góc:

Ta được:

khi

khi

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| (a) | (b) |

Hình 4.1 Ảnh hưởng của sai số cơ khí và sai số góc lên giá trị

* Xét

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.4) |

Đặt:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.5) |
|  | (4.6) |

Với các ràng buộc là giới hạn mong muốn của các góc:

Ta được:

khi

khi

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| (a) | (b) |

Hình 4.2 Ảnh hưởng của sai số cơ khí và sai số góc lên giá trị

* Xét

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.7) |

Đặt:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.8) |
|  | (4.9) |

Với các ràng buộc là giới hạn mong muốn của các góc:

Ta được:

khi

khi

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| (a) | (b) |

Hình 4.3 Ảnh hưởng của sai số cơ khí và sai số góc lên giá trị

Từ đó, sai số chung của chiều dài các khâu được chọn là . Độ phân giải của mỗi động cơ là .

## Thiết kế sơ bộ kết cấu các khâu

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Hình 4.4 Kết cấu khâu 1 | | Hình 4.5 Kết cấu khâu 2 | |
|  |  | |

Hình 4.6 Chuyển vị và hệ số an toàn của khâu 2

|  |
| --- |
|  |

Hình 4.7 Kết cấu khâu 3

|  |  |
| --- | --- |
|  | |
|  |  |
| Hình 4.8 Chuyển vị và hệ số an toàn của khâu 3 | |

**Bảng 4.3** Kết quả chuyển vị và hệ số an toàn của khâu 2 và 3

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Chuyển vị lớn nhất | Hệ số an toàn tối thiểu |
| Khâu 2 |  |  |
| Khâu 3 |  |  |

Kết luận:

Hệ số an toàn được chọn chung cho toàn robot là , và điều kiện là giá trị hệ số an toàn nhỏ nhất của kết cấu phải lớn hơn hoặc bằng giá trị này. Kết quả phân tích kết cấu của khâu 2 và 3 lần lượt thỏa điều kiện về hệ số an toàn

Dựa trên kết quả chuyển vị, vị khớp nối giữa khâu 2 và 3 có giá trị chuyển vị trong khoảng và vị trí khớp cổ tay trên khâu 3 sẽ bị chuyển vị trong khoảng theo chiều trọng lực. Do đó, gốc tọa độ 4 sẽ chịu lượng chuyển vị lớn nhất bằng tổng của hai đại lượng chuyển vị trên. Giá trị đó nằm trong khoảng , rất bé khi so với tầm với mong muốn, và không ảnh hưởng nhiều đến sai số vị trí của robot.

Từ thiết kế sơ bộ trên, các thông số quan trọng còn lại trong bảng D-H của robot được xác định theo bảng 4.4 sau:

**Bảng 4.4** Các thông số của bảng D-H sau khi thiết kế các khâu

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

## Tính toán cơ cấu cân bằng trọng lượng

### Tính toán momen xoắn do trọng lượng các khâu và tải trọng gây ra lên hai khớp dạng pitch



Hình 4.9 Sơ đồ nguyên lý của khâu 2 và 3 của robot

* *Momen do khối lượng các khâu và tải tác dụng lên trục động cơ 2 và 3*
* Ma trận biến đổi từ góc tọa độ 2 về góc tọa độ 1

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.10) |

Với là góc điều khiển mới thay cho góc

* Momen xoắn do khối tâm tác dụng lên các trục động cơ

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.11) |
|  | (4.12) |

Do đó:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.13) |
|  | (4.14) |

Nên:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.15) |

* Momen xoắn do khối tâm tác dụng lên các trục động cơ

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.16) |
|  | (4.17) |

Do đó:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.18) |
|  | (4.19) |

Nên:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.20) |

* Momen xoắn do khối tâm tác dụng lên các trục động cơ

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.21) |
|  | (4.22) |

Do đó:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.23) |
|  | (4.24) |

Nên:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.25) |

* Momen xoắn do khối tâm tác dụng lên các trục động cơ

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.26) |
|  | (4.27) |

Nên:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.28) |

* Momen xoắn do khối tâm tác dụng lên các trục động cơ

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.29) |
|  | (4.30) |

Nên:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.31) |

* Momen xoắn do khối tâm tác dụng lên các trục động cơ

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.32) |
|  | (4.33) |

Nên:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.34) |

* Vector momen tổng của khối lượng các khâu tác dụng lên các khớp động:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.35) |

Thay các giá trị tương ứng vào, ta tìm được momen do trọng lượng các khâu tác dụng lên trục động cơ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.36) |
|  | (4.37) |

Khi đó, momen cực đại do trọng lượng khác khâu tương ứng:

### Tính toán và lựa chọn lò xo cho hệ thống cân bằng



Hình 4.10 Sơ đồ nguyên lý cơ cấu cân bằng

Phương trình cân bằng momen:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.38) |

Với:

Thay vào phương trình cân bằng momen ta được:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.39) |

Từ phương trình trên, điều kiện để cơ cấu cân bằng với mọi giá trị :

* Nếu thì (4.40)
* Nếu thì (4.41)

Khi đó, độ cứng lò xo được tính theo công thức:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.42) |

Điều kiện để khâu xoay toàn vòng là:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.43) |

Đặt , từ điều kiện cân bằng, ta có:

và

Khảo sát hàm , hàm đạt cực tiểu khi

Khi đó, , nếu giá trị này không thỏa điều kiện xoay toàn vòng thì góc quay giới hạn của khâu được xác định từ biểu thức:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.44) |

Góc quay giới hạn phụ thuộc vào giá trị tức tỉ số giữa

Bộ tạo lực cân bằng cho mỗi khớp gồm hai lò xo 3 mắc song song, và được dẫn hướng trên hai thanh trượt 1; các thanh trượt này được cố định vào khâu 1. Con trượt 2 có thể trượt tự do trên thanh trượt 1. Quá trình trượt của con trượt sẽ tạo ra lực nén lên lò xo, đồng thời tạo lực kéo lên dây cáp 4. Từ sơ đồ nguyên lý, lò xo MISUMI SWF26-125 được lựa chọn.



Hình 4.11 Sơ đồ nguyên lý cụm lò xo

**Bảng 4.5** Thông số kỹ thuật của lò xo MISUMI SWF26-125

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Thông số | Giá trị |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

* *Khâu 2*

**Bảng 4.6** Thông số kích thước cho cụm cân bằng khâu 2

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

* *Khâu 3*

**Bảng 4.7** Thông số kích thước cho cụm cân bằng khâu 3

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  | Xoay toàn vòng |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Hình 4.12 Bố trí vị trí cho các khoảng cách

|  |  |
| --- | --- |
| **Hình 4.13** Cụm tạo khoảng cách | **Hình 4.14** Cụm lò xo |

## Tính toán bộ truyền động



Hình 4.15 Sơ đồ nguyên lý bộ truyền động

### Tính toán chọn động cơ

Nhờ cơ cấu cân bằng, momen xoắn trên trục động cơ chủ yếu là momen tăng tốc hay giảm tốc cho robot.

* *Momen cần thiết để gia tốc cho các khâu từ trạng thái nghỉ*

Yêu cầu kỹ thuật:

* Tốc độ tối đa khi quay đều:
* Gia tốc:

Do đó, thời gian tăng tốc và giảm tốc:

*Động cơ 1:* Momen quán tính lớn nhất quanh tâm quay của động cơ 1 là tại vị trí robot ở tầm với cực đại theo phương ngang, ứng với. Khi đó, momen gia tốc cần thiết của động cơ 1:

*Động cơ 2:* Cố định khâu 3 và cho khâu2 bắt đầu quay, momen quán tính của các khâu bị tác động được trình bày trong bảng:

Bảng 4.8 Tổng momen quán tính mà động cơ 2 cần phải gia tốc từ trạng thái tĩnh

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Khâu** | **Công thức** | **Momen quán tính qua khối tâm** | **Khối lượng** | **Khoảng cách** | **Momen quán tính** |
| Khâu 2 |  |  |  |  |  |
| Khâu 3 |  |  |  |  |  |
| Khâu 5 |  |  |  |  |  |
| Khâu 6 |  |  |  |  |  |
| Tải |  |  |  |  |  |
|  | | | | |  |

*Động cơ 3:* Cố định khâu 2 và cho khâu 3 quay, momen quán tính của các khâu bị tác động được trình bày trong bảng:

Bảng 4.9 Tổng momen quán tính mà động cơ 3 cần phải gia tốc từ trạng thái tĩnh

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Khâu** | **Công thức** | **Momen quán tính qua khối tâm** | **Khối lượng** | **Khoảng cách** | **Momen quán tính** |
| Khâu 3 |  |  |  |  |  |
| Khâu 4 |  |  |  |  |  |
| Khâu 5 |  |  |  |  |  |
| Khâu 6 |  |  |  |  |  |
| Tải |  |  |  |  |  |
|  | | | | |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| (a) | (b) |

Hình 4.16 Quá trình tạo chuyển động của động cơ 2 (a) và 3 (b)

Tốc độ động cơ truyền động cho mỗi khớp được tính dựa vào vận tốc .

Vùng không gian làm việc chủ yếu của robot là hình lập phương cạnh , có tọa độ các đỉnh được thể hiện trong bảng:

Bảng 4.10 Tọa độ các đỉnh của hình lập phương

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

Với yêu cầu đặt ra là vận tốc mong muốn theo phương ngang là trong vùng làm việc trên, hay . Với tọa độ các đỉnh đã cho, ta dễ dàng viết được phương trình đường thẳng của các cạnh 15, 26, 37, 48. Sau đó, giá trị của các góc đạt được nhờ giải bài toán động học ngược. Lần lượt thay giá trị các góc tìm được vào phương trình (3.7), (3.8), và (3.9), ta có kết quả:



Hình 4.17 Vận tốc các động cơ

Vận tốc góc tối đa cho mỗi động cơ là:

Từ tất cả các yêu cầu về momen, tốc độ và độ phân giải của động cơ, và các động cơ có bán trên thị trường, động cơ được chọn là động cơ là động cơ DC servo Planet 24V 60W 70RPM có các thông số được cho trong bảng 4.10.

Bảng 4.11 Thông số động cơ

|  |  |
| --- | --- |
| Điện áp hoạt động |  |
| Công suất |  |
| Tốc độ không tải |  |
| Momen |  |
| Tỉ số truyền |  |
| Encoder |  |

Từ đó, tỉ số bộ truyền đai cũng được chọn là

### Tính toán bộ truyền đai

* Bộ truyền đai cho khâu 2

Công suất truyền:

Modun được xác định theo công thức:

Chọn đai răng gờ hình thang có . Do đó, bước đai

Số răng bánh đai nhỏ:

Số răng bánh đai lớn:

Đường kính bánh đai lớn và nhỏ:

Vận tốc đai:

Lực vòng:

Khoảng cách trục được xác định theo công thức:

Chọn sơ bộ

Chiều dài tính toán của đai

Chọn , tương ứng với răng

Tính toán lại khoảng cách trục :

Trong đó:

Nên:

Kiểm bền đai theo tải trọng riêng

Trong đó:

Với . Thay các giá trị trên vào ta được:

* Bộ truyền đai cho khâu 3

Công suất truyền:

Bánh đai và dây đai của bộ truyền đai cho khâu 3 tương tự như của khâu 2.

### Tính toán trục

Chọn vật liệu làm trục là thép không gỉ AISI 304 có ứng xuất xoắn cho phép . Nhằm mục đích an toàn, đường kính trục được tính cho trường hợp không có cơ cấu cân bằng. Khi đó, momen uốn tác động lên trục khâu 2 và 3 bao gồm momen do trọng lực và momen cần để gia tốc.

Đường kính sơ bộ của trục truyền động cho khâu 2:

Đường kính sơ bộ của trục truyền động cho khâu 3:

Theo tiêu chuẩn, đường kính trục truyền cho khâu 2 bằng tại vị trí nối với khâu 2, và đường kính trục truyền cho khâu 3 bằng 10 tại vị trí nối với khâu 3.

## Vùng không gian làm việc

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  | | --- | --- | |  | Phạm vi | |  |  | |  |  | |  |  | |

Hình 4.18 Vùng không gian làm việc của robot

# THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỆN

## Hệ thống điện



**Hình 5.1** Sơ đồ khối hệ thống điện

Hệ thống điện của robot được mô tả như hìn 5.1 gồm:

* Khối cơ cấu tác động: gồm 3 động cơ DC và 3 driver điều khiển động cơ.
* Khối cảm biến biến gồm: encoder để hồi tiếp tín hiệu về góc quay của động cơ DC. Các cảm biến tiệm cận được dùng để xác định vị trí Home và các vị trí biên được phát hiện bằng công tắc hành trình.
* Khối điều khiển: bộ điều khiển trung tâm là một vi điều khiển.

## Mạch công suất và động cơ

Hai driver được lựa chọn để kiểm tra mối liên hệ giữa tín hiệu là Duty Cycle của xung PWM và tốc độ của động cơ gắn với khâu 1 gồm: IBT\_2 và Hbr-M 200W.

Bảng 5.1 Thông số kỹ thuật của driver IBT\_2 [16]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | Giá trị |
| Điện áp hoạt động |  |
| Dòng điện liên tục |  |
| Mức điện áp của tín hiệu logic điều khiển |  |
| Tần số xung PWM tối đa |  |

Bảng 5.2 Thông số kỹ thuật của driver Hbr-M 200W [17]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | Giá trị |
| Điện áp hoạt động |  |
| Dòng điện liên tục |  |
| Mức điện áp của tín hiệu logic điều khiển |  |
| Tần số xung PWM tối đa |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **Hình 5.2** Driver IBT\_2 BTS7960 | **Hình 5.3** Driver Hbr-M 200W |

Quá trình kiểm tra được tiến hành trực tiếp trên khâu 1 của robot với tần số xung PWM được thiết lập ở tần số .



Hình 5.4 Đường đặc tính đối với driver IBT\_2 BTS7960



**Hình 5.5** Đường đặc tính của driver Hbr-M

Do đó, driver Hbr-M được chọn vì có đường đặc tính gần như là tuyến tính, và có độ trễ không đáng kể trong quá trình tăng và giảm duty cycle.

## Cảm biến tiệm cận

Cảm biến được dùng để thiết lập vị trí Home của robot là cảm biến tiệm cận LJ8A3-2-Z/BX có thông số kỹ thuật trong bảng 5.3.

Bảng 5.3 Thông số kỹ thuật của cảm biến tiệm cận LJ8A3-2-Z/BX

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Điện áp hoạt động | |  |
| Dòng điện tiêu thụ cực đại | |  |
| Dòng output cực đại | |  |
| Khoảng cách phát hiện tối đa | |  |
| Tần số đáp ứng | | DC , AC |
| Kiểu tín hiệu output | | NPN |
|  |  | |
| **Hình 5.6** Cảm biến tiệm cận LJ8A3-2-Z/BX | **Hình 5.7** Sơ đồ đấu dây cảm biến tiệm cận | |

## Công tắc hành trình

Công tắc hành trình KW11-03KC có con lắn được dùng để giới hạn hành trình của robot có 2 tiếp điểm thường đóng và thường mở, và có thể hoạt động với điện áp tối đa hoặc ; và chịu được dòng cực đại .

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **Hình 5.8** CTHT KW11-03KC | **Hình 5.9** Sơ đồ đấu dây công tắc hành trình |

## Vi điều khiển trung tâm

Các modun cần thiết đối với vi điều khiển trung tâm là:

* 3 bộ tạo PWM độc lập để điều khiển 3 động cơ DC Servo.
* 6 chân ngắt ngoài dùng cho việc đọc encoder, và cảm biến tiệm cận
* Tối thiểu 2 bộ Timer và giao tiếp RS232.

Dựa vào các các tính năng kể trên, vi điều khiển được sử dụng là dsPIC30F4011 vì đáp ứng đầy đủ các tính năng cũng như hiệu năng như:

* Có thể hoạt động với tốc độ lên đến 30 MIPs, 2 môdun RS232
* 3 bộ tạo PWM chuyên dụng cho điều khiển động cơ
* 3 ngắt ngoài và 10 ngắt Input Change Notification
* 5 bộ Timer 16 bit, và có thể hoạt động theo cặp để tạo 2 bộ Timer 32 bit.

## Hệ thống cấp nguồn

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Module** | | **Điện áp ()** | **Dòng tiêu thụ tối đa ()** |
| Vi điều khiển dsPIC30F4011 | |  |  |
| Encoder | |  |  |
| Cảm biến tiệm cận | Input |  |  |
| Output |  |  |
| Công tắc hành trình | |  |  |
| Động cơ DC | |  |  |

Từ đó, hệ thống phải cần 2 mức điện áp , và .

Tổng dòng điện tối đa mà hệ thống cần được cung cấp từ bộ nguồn :

Tổng dòng điện tối đa mà hệ thống cần được cung cấp từ bộ nguồn :

Chọn adapter 5V-1A để cấp nguồn , và điện áp được cấp bằng nguồn Mean Well 24VDC-30A.

|  |  |
| --- | --- |
| Kết quả hình ảnh cho adapter 5v 1a |  |
| Hình 5.10 Adapter 5V-1A | **Hình 5.11** Nguồn Mean Well 24VDC-30A |

# THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN

Kỹ thuật lập trình Lead-through là một trong những kỹ thuật lập trình mà ưu điểm lớn nhất của kỹ thuật này đơn giản quá trình định vị nhanh đầu công tác đến những vị trí mong muốn. Ngoài ra, kỹ thuật này không cần người vận hành phải có kiến thức về robot và lập trình, giúp việc tương tác giữa người vận hành và robot trở nên dễ dàng, gần gũi hơn.

Bộ điều khiển cho kỹ thuật lập trình Lead-through được bắt đầu bằng việc xây dựng bộ điều khiển vị trí cho các các cơ cấu chấp hành. Tiếp theo, giải thuật điều khiển được phát triển nhằm phục vụ cho kỹ thuật lập trình Lead-through với kiểu đường dẫn theo điểm.

## Bộ điều khiển PID cho động cơ DC servo

Yêu cầu của bộ điều khiển PID vị trí:

* Sai số xác lập xung
* Gia tốc tối đa:
* Không xảy ra hiện tượng phọt lố

*Động cơ 1:*

Đáp ứng của động cơ 1 khi chỉ có hệ số cho sai số xác lập xung.

Với bộ hệ số PID của động cơ 1: , đáp ứng của động cơ được cải thiện, và thỏa yêu cầu đặt ra. Cụ thể, sai số xác lập là xung, và gia tốc tối đa của hành trình chuyển động khoảng .



Hình 6.1 Đáp ứng của động cơ 1 với góc mong muốn

*Động cơ 2:*

Với bộ hệ số PID của động cơ 2: , đáp ứng của động cơ được cải thiện, và thỏa yêu cầu đặt ra. Cụ thể, sai số xác lập là xung, và gia tốc tối đa của hành trình chuyển động khoảng .



Hình 6.2 Đáp ứng của động cơ 2 với góc quay

*Động cơ 3:*

Bộ điều khiển PID cho động cơ 3 có các hệ số , đáp ứng của động cơ được cải thiện, và thỏa yêu cầu đặt ra. Cụ thể, sai số xác lập là xung, và gia tốc tối đa của hành trình chuyển động khoảng .



**Hình 6.3** Đáp ứng của động cơ 3 với góc quay

## Giải thuật điều khiển cho vi điều khiển trung tâm

|  |  |
| --- | --- |
| Hình 6.4 Chương trình ngắt TIMER 1 | Hình 6.5 Chương trình ngắt TIMER 3 |



**Hình 6.6** Chương trình ngắt Input Change



Hình 6.7 Chương trình ngắt UART



Hình 6.8 Chương trình chính



Hình 6.9 Chương trình con StartingHome



**Hình 6.10** Chương trình Home



**Hình 6.11** Chương trình Lead-through



Hình 6.12 Chương trình Playback

# KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

## Thực nghiệm kiểm tra lý thuyết cân bằng

Lý thuyết cân bằng được áp dụng để duy trì tư thế cho một con lắc ngược có mô hình bố trí được trình bày trong hình 7.1. Lò xo được dùng trong phần thực nghiệm này có thông số được cho trong bảng 7.1. Từ công thức (4.41) và (4.42), các kích thước của cơ cấu cân bằng được cho trong bảng 7.2.

Kết quả thực nghiệm: con lắc có thể giữ cân bằng tại mọi vị trí trong vùng quay được của con lắc. Thực nghiệm chứng tỏ lý thuyết cân bằng đã chọn có khả năng bù được hoàn toàn phần momen do khối lượng của bản thân con lắc gây ra.

Bảng 7.1 Thông số lò xo dùng thực nghiệm lý thuyết

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |

Bảng 7.2 Thông số của con lắc ngược được dùng trong thực nghiệm lý thuyết

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |



Hình 7.1 Mô hình thực nghiệm lý thuyết cân bằng

|  |
| --- |
| D:\_LUAN_VAN\Thuc nghiem\thcnghim\IMG_0287.JPGD:\_LUAN_VAN\Thuc nghiem\thcnghim\IMG_0277.JPGD:\_LUAN_VAN\Thuc nghiem\thcnghim\IMG_0279.JPG |
| D:\_LUAN_VAN\Thuc nghiem\thcnghim\IMG_0281.JPGD:\_LUAN_VAN\Thuc nghiem\thcnghim\IMG_0283.JPGD:\_LUAN_VAN\Thuc nghiem\thcnghim\IMG_0285.JPG |

Hình 7.2 Kết quả thực nghiệm lý thuyết cân bằng

## Mô hình tay máy 3 bậc tự cân bằng

Mô hình tay máy 3 bậc tự do ứng dụng cơ cấu cân bằng đạt được kết quả như ý muốn. Tay máy có thể duy trì được tư thế gần như tại mọi vị trí trong vùng không gian làm việc. Quá trình thay đổi tư thế của tay máy cũng được tiến hành bằng tay một cách nhẹ nhàng.



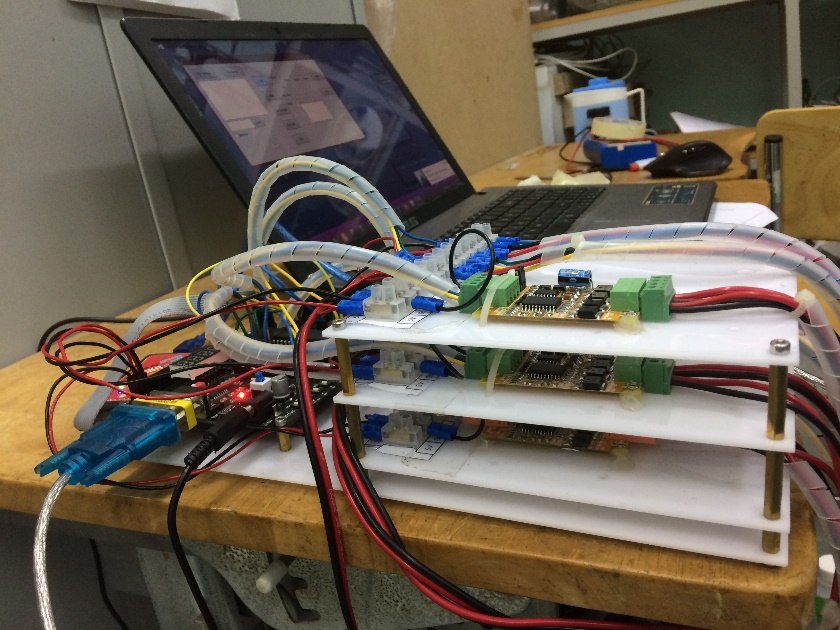
Hình 7.3 Mô hình cơ khí của robot

|  |  |
| --- | --- |
| D:\_GOOGLE_DRIVE\_LUAN_VAN\Thuc nghiem\thcnghim\IMG_0378.JPG | D:\_GOOGLE_DRIVE\_LUAN_VAN\Thuc nghiem\thcnghim\IMG_0380.JPG |

Hình 7.4 Cơ cấu cân bằng

|  |
| --- |
|  |

Hình 7.5 Kết quả thực nghiệm khả năng giữ vị trí của robot



Hình 7.6 Mô hình hệ thống điện và điều khiển của robot

## Kiểm tra sai số vị trí



Hình 7.7 Quá trình kiểm tra sai số vị trí

Vị trí được kiểm tra là điểm có tọa độ . Bằng cách giải bài toán động học ngược với , giá trị các góc quay của các khớp có giá trị:

Thay các giá trị các góc vừa tính được cùng với vào các công thức tính toán sai số (4.1), (4.2), và (4.3), sai số tính toán theo 3 phương tại điểm có tọa độ có giá trị:

Kết quả thực nghiệm cho các giá trị sai số;

Ta có thể ước lượng nguyên nhân sai số bằng cách giải hệ:

Giá trị ước lượng cho kết quả hợp lý về nguyên nhân gây sai số lớn. Cụ thể, encoder được dùng trong mô hình có xung trên vòng, tương ứng với độ phân giải là . Sai số kích thước của các khâu trong quá trình gia công, và lắp đặt có thể làm xuất hiện những thông số khác trong bảng D-H, làm ảnh hưởng đến sai số vị trí.



Hình 7.8 Sai số vị trí theo phương

|  |  |
| --- | --- |
| D:\_GOOGLE_DRIVE\_LUAN_VAN\Thuc nghiem\thcnghim\IMG_0421.JPG  Hình 7.9 Sai số vị trí theo phương | D:\_GOOGLE_DRIVE\_LUAN_VAN\Thuc nghiem\thcnghim\IMG_0424.JPG  Hình 7.10 Sai số vị trí theo phương |

## Kiểm tra sai số lặp lại

Thông qua cách lập trình Lead-through, hai điểm trên mặt phẳng được định trước. Tay máy sẽ lần lượt di chuyển đầu công tác từ điểm đầu tiên, qua các điêm trung gian, và dừng lại ở điểm thứ 2. Quá trình được tiến hành lập đi, lập lại 10 lần trong chế độ Play back, và kết quả đạt được thể hiện trong hình 7.8.

Những nguyên nhân có thể giải thích cho giá trị sai số lập lại lớn như:

* Hộp giảm tốc của động cơ bị rơ.
* Xảy ra hiện tượng đọc trược xung encoder.
* Đáp ứng của động cơ khác nhau trong các lần chạy.



Hình 7.11 Sai số lập lại tại các điểm đã được lập trình

# KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN ĐỀ TÀI

## Các kết quả đạt được

* Thiết kế được mô hình robot 3 bậc tự do.
* Thực nghiệm và áp dụng thành công cơ cấu cân băng lên mô hình robot, giúp robot dù mang tải cố định nhưng vẫn duy trì được tư thế tại mọi điểm trong vùng không gian làm việc.
* Thiết kế hệ thống điện và hệ thống điều khiển cho robot.
* Xây dựng được giải thuật lập trình Lead-through cho robot, giúp lập trình nhanh cho robot với kiểu đường dẫn theo điểm.

## Những thiếu xót của luận văn

* Chưa quan tâm đến vấn đề động lực học.
* Chưa quan tâm đến ảnh hưởng của tỉ số truyền hộp giảm tốc lên khả năng lập trình Lead-through. Hộp giảm tốc của động cơ hiện tại còn tương đối cứng, gây khó khăn cho quá trình dẫn hướng đầu công tác.

## Hướng phát triển đề tài

* Thay thế các động cơ hiện tại bằng các động cơ servo được tích hợp encoder có độ phân giải cao đề được sai số lặp lại nhỏ hơn. Đồng thời, động cơ cũng nên có hộp giảm tốc với tỉ số truyền nhỏ để có thể lập trình theo đường dẫn liên tục bằng kỹ thuật lập trình Lead-through
* Tiếp tục phát triển 3 khớp cổ tay cho robot để robot có khả năng định hướng vật thể trong môi trường làm việc.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | Lê Hoài Quốc, Chung Tấn Lâm, Nhập Môn Robot Công Nghiêp, Hồ Chí Minh: Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 2001. |
| [2] | R. N. Jazar, Theory of Applied Robotics: Kinematics, Dynamics, and Control, 2nd ed., Springer, 2010. |
| [3] | Bruno Siciliano, Lorenzo Sciavicco, Luigi Villani, Giuseppe Oriolo, Robotics: Modelling, Planning and Control, 1st ed., Springer, 2009. |
| [4] | "International Federation of Robotics," 2016. [Online]. Available: https://ifr.org. |
| [5] | J. J. Craig, Introduction to Robotics Mechanics and Control, 3rd ed., Pearson Prentice Hall, 2005. |
| [6] | Gen Endo, Hiroya Yamada and Shigeo Hirose, "Development of a Light Duty Arm with an Active-Fingertip Gripper for Handling Discoid Objects," in *The 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Taipei, Taiwan, 2010. |
| [7] | Alexandr Klimchik, Evgeni Magid, Stephane Caro, Kriangkrai Waiyakan, and Anatol Pashkevich, "Stiffness of serial and quasi-serial manipulators: comparison analysis," in *MATEC Web of Conferences 7, 02003*, 2016. |
| [8] | Vigen Arakelian, Sébastien Briot, Balancing of Linkages and Robot Manipulators: Advanced Methods with Illustrative Examples, vol. 27, Springer International Publishing, 2015. |
| [9] | Hwi-Su Kim, Jae-Bok Song, "Multi-DOF Counterbalance Mechanism for a Service Robot Arm," *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics,* vol. 19, pp. 1756-1763, 2014. |
| [10] | Kuk-Hyun Ahn, Won-Bum Lee, Jae-Bok Song, "Reduction in Gravitational Torques of an Industrial Robot Equipped," in *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Daejeon, Korea, 2016. |
| [11] | D. E. Helmut Ortmeier, "Device and Method for Balancing the Weight on a Robot Arm". United States of America Patent US 6,408,225 B1, 18 January 2002. |
| [12] | Nathan Ulrich, Vijay Kumar, "Passive Mechanical Gravity Compensation," in *Proceedings of International Conference on Robotics and Automation*, 1991. |
| [13] | Gen Endo, Hiroya Yamada, Akira Yajima, Masaru Ogata, Shigeo Hirose, "A Passive Weight Compensation Mechanism with a Non-Circular Pulley and a Spring," in *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2010. |
| [14] | Lelai Zhou, Shaoping Bai, Michael Rygaard Hansen, "Integrated dimensional and drive-train design optimization of a light-weight anthropomorphic," *Robotics and Autonomous Systems,* vol. 60, pp. 113-122, 2012. |
| [15] | "http://asm.matweb.com," [Online]. |
| [16] | "BTS7960 Datasheet," 2004. |
| [17] | "Mạch điều khiển động cơ DC 200W Hbr-M," 2014. |