

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH



**BÁO CÁO TỔNG KẾT
ĐỀ TÀI KH&CN CẤP TRƯỜNG TRỌNG ĐIỂM**

**THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO ROBOT SONG SONG DẠNG
DELTA SỬ DỤNG TRONG VIỆC PHÂN LOẠI SẢN PHẨM**

Mã số: T2013-28TĐ

Chủ nhiệm đề tài: PGS.TS. Nguyễn Trường Thịnh



Tp. Hồ Chí Minh, tháng 12/2013

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

**BÁO CÁO TỔNG KẾT
ĐỀ TÀI KH&CN CẤP TRƯỜNG TRỌNG ĐIỂM**

**THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO ROBOT SONG SONG DẠNG
DELTA SỬ DỤNG TRONG VIỆC PHÂN LOẠI SẢN PHẨM**

Mã số: T2013-28TĐ

Chủ nhiệm đề tài: PGS.TS. Nguyễn Trường Thịnh

TP. HCM, 12/2013

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
KHOA CƠ KHÍ CHẾ TẠO MÁY

**BÁO CÁO TỔNG KẾT
ĐỀ TÀI KH&CN CẤP TRƯỜNG TRỌNG ĐIỂM**

THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO ROBOT SONG SONG DẠNG
DELTA SỬ DỤNG TRONG VIỆC PHÂN LOẠI SẢN PHẨM

Mã số: T2013-28TD

**Chủ nhiệm đề tài: PGS.TS. Nguyễn Trường Thịnh
Thành viên đề tài: PGS.TS Nguyễn Ngọc Phương**

ThS. Tường Phước Thọ

TP. HCM, 12/2013

**DANH SÁCH NHỮNG THÀNH VIÊN THAM GIA NGHIÊN CỨU ĐỀ TÀI VÀ
ĐƠN VỊ PHỐI HỢP CHÍNH**

**Tên đề tài: THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO ROBOT SONG SONG DẠNG
DELTA SỬ DỤNG TRONG VIỆC PHÂN LOẠI SẢN PHẨM**

Cá nhân phối hợp thực hiện

<i>Họ và tên</i>	<i>Đơn vị công tác và lĩnh vực chuyên môn</i>	<i>Nội dung nghiên cứu cụ thể được giao</i>
PGS.TS. Nguyễn Trường Thịnh	ĐH SPKT – BM CDT	Thiết kế bộ phận điều khiển
PGS.TS Nguyễn Ngọc Phương	ĐH SPKT – BM CDT	Chế tạo phần cơ khí của máy

<i>Tên đơn vị trong và ngoài nước</i>	<i>Nội dung phối hợp nghiên cứu</i>	<i>Họ và tên người đại diện đơn vị</i>

Thời gian thực hiện: 2/2013 – 12/2013

Mục lục

DANH SÁCH NHỮNG THÀNH VIÊN THAM GIA NGHIÊN CỨU ĐỀ TÀI VÀ ĐƠN VỊ PHỐI HỢP CHÍNH	i
Mục lục	ii
DANH MỤC BẢNG BIỂU	vi
DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT	vi
THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU	vii
PHẦN 1: MỞ ĐẦU	1
I. TỔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU THUỘC LĨNH VỰC CỦA ĐỀ TÀI Ở TRONG VÀ NGOÀI NƯỚC	1
I.1 Tình hình nghiên cứu ngoài nước	1
I.2 Tình hình nghiên cứu trong nước	5
II. TÍNH CẤP THIẾT CỦA ĐỀ TÀI	7
III. MỤC TIÊU ĐỀ TÀI	8
IV. ĐỐI TƯỢNG NGHIÊN CỨU	8
V. PHẠM VI NGHIÊN CỨU	8
VI. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU	8
PHẦN 2: NỘI DUNG THỰC HIỆN	10
Chương 1: THIẾT KẾ VÀ THI CÔNG PHẦN CƠ KHÍ	10
1.1 Các phương án thiết kế truyền động cho robot	10
1.1.1 Phương án 1	10
1.1.2 Phương án 2	11
1.1.3 Phương án 3	11
1.1.4 Lựa chọn phương án chuyển động tối ưu	13
1.1.5 Tính số bậc tự do cho kết cấu robot	13
1.2 Mô phỏng kết cấu robot	14
1.3 Lựa chọn cơ cấu truyền động	17
1.4 Chọn động cơ và thông số bộ truyền cho robot	18
1.5 Phân tích động học, Jacobi và động lực học cho robot cấu hình song song	20

1.6 Động học thuận.....	20
1.7 Động học nghịch.....	22
1.8 Chuyển động vi phân (chuyển động Jacobi)	24
1.9 Động lực học	25
Chương 2: THIẾT KẾ VÀ THI CÔNG PHẦN ĐIỆN	28
2.1 Các thiết bị điện động lực của hệ thống:	28
2.1.1 Bộ điều khiển trung tâm.....	29
2.1.2 Driver và động cơ (Motor).....	29
2.1.3 Các thiết bị điện khác.....	29
2.2 Thiết kế mạch điện điều khiển trung tâm	30
2.2.1 Tổng quan về mạch điều khiển	30
2.2.2 Các module của mạch điều khiển trung tâm	30
2.3 Cấu trúc bộ điều khiển.....	34
2.3.1 Tổng quan về bộ điều khiển.....	34
2.3.2 Sơ đồ tổng quát về nguyên lý hoạt động của bộ điều khiển	35
2.4 Vi điều khiển	37
2.4.1 Tổng quan về vi điều khiển.....	37
2.4.2 Các module của một vi điều khiển.....	37
2.4.3 Truyền thông giữa máy tính và vi điều khiển	38
CHƯƠNG 3 : QUỸ ĐẠO VÀ CẤU TRÚC PHẦN MỀM	43
3.1 Bài toán Quỹ đạo và nội suy.....	43
3.1.1 Tổng quan về bài toán quỹ đạo	43
3.1.2 Bài toán quỹ đạo trong robot song song	44
3.1.3 Bài toán nội suy.....	48
3.2 Cấu trúc phần mềm.....	52
CHƯƠNG 4 : XỬ LÝ BÁM VẬT TRÊN BĂNG CHUYỀN	56
4.1 Các phương án phát hiện vật trên băng chuyền đang chuyển động	56
4.1.1 Sử dụng cảm biến.....	56
4.1.2 Camera thu nhận và xử lý ảnh xác định vị trí vật	57
4.2 Giới thiệu ứng dụng xử lý ảnh phục vụ trong các hoạt động của robot	57
4.3 Cấu trúc hệ thống	58

4.4 Quá trình xử lý ảnh cho việc phân loại và bám vật trên băng chuyền	59
4.4.1 Mô hình hệ thống robot song song Delta.....	59
4.4.2 Thu nhận ảnh và nâng cao chất lượng ảnh	60
4.4.3 Phân đoạn ảnh để phân loại và xác định đối tượng	61
4.4.4 Xác định vị trí đối tượng bằng thuật toán dán nhãn (labeling)	63
4.4.5 Tính diện tích và tâm vật	66
4.6 Lưu đồ quá trình robot gấp sản phẩm.....	67
CHƯƠNG 5 : KẾT QUẢ VÀ THỰC NGHIỆM	69
5.1 Các bộ phận và cấu trúc cơ khí.....	69
5.2 Hệ thống điều khiển	71
5.3 Hệ thống camera phát hiện và bám vật.	75
5.4 Giao diện điều khiển.....	76
5.5 Robot song song Delta	77
PHẦN 3 : KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	84
I. KẾT QUẢ ĐẠT ĐƯỢC	84
II. KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN ĐỀ TÀI.....	84
TÀI LIỆU THAM KHẢO	85
Phụ lục 1: Bài báo khoa học	
Phụ lục 2: Bản sao thuyết minh đã được phê duyệt	
Phụ lục 3: Tính số bậc tự do của cơ cấu	
Phụ lục 4: Động học thuận	
Phụ lục 5: Động học nghịch	
Phụ lục 6: Động Lực Học Robot	
Phụ lục 7: Chuyển động vi phân (chuyển động Jacobi)	

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1.1: Đặc điểm của các phương án di chuyển của robot	12
Bảng 1.2: Thông số khối lượng các bộ phận của robot	14
Bảng 2.3: Mô tả các chân cồng COM máy tính.....	40
Bảng 5.4: Kết quả thử nghiệm hệ thống camera.....	76
Bảng 5.5: Thông số kỹ thuật của Robot	79
Bảng 5.6: Kết quả thực nghiệm robot gấp sản phẩm.....	81

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT

MPa Mega Pascal

USART The Universal Synchronous and Asynchronous serial Receiver and Transmitter

D.O.F Degree of Freedom

THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

1. Thông tin chung:

Tên đề tài: THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO ROBOT SONG SONG DẠNG
DELTA SỬ DỤNG TRONG VIỆC PHÂN LOẠI SẢN PHẨM

- Mã số: T2013-28TD
- Chủ nhiệm: ThS Tường Phước Thọ
- Cơ quan chủ trì: Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM
- Thời gian thực hiện: từ 2/2013 đến 12/2013

2. Mục tiêu:

Mục tiêu của đề tài này là thiết kế và chế tạo một robot song song 3 chân 4 bậc tự do dựa trên nguyên lý Delta Platform cho mục đích phân loại thực phẩm kết hợp với việc xử lý ảnh, có khả năng đáp ứng nhanh trong các dây chuyền đóng gói sản phẩm

3. Tính mới và sáng tạo:

Kết hợp với hệ thống xử lý ảnh để tạo ra thiết bị công nghệ cao để tiến tới làm chủ công nghệ cao trong lĩnh vực chế biến thực phẩm.

4. Kết quả nghiên cứu:

Robot song song 3 chân 4 bậc tự do dựa trên nguyên lý Delta Platform cho mục đích phân loại thực phẩm

5. Sản phẩm:

Robot song song 3 chân 4 bậc tự do với các tính năng như sau :

Mô hình Robot song song	01	
Thông số kỹ thuật		
Độ chính xác, Khả năng lắp lại vị trí		0.1mm
Tốc độ đáp ứng		1 chu kỳ/ 1 giây
Không gian làm việc		Đường kính 200 mm x 60 mm
Các trục hoạt động		3 trục
Khả năng tải		2 kg
Kích thước máy		1.5 x 1.5 x 1.8 m
Số bậc tự do		4 dof (x,y,z,Φ)

6. Hiệu quả, phương thức chuyển giao kết quả nghiên cứu và khả năng áp dụng:

Khả năng áp dụng vào thực tiễn của đề tài rất cao. Địa chỉ có thể ứng dụng: Các doanh nghiệp sản xuất bán, kẹo, thực phẩm.

Cơ quan chủ trì
(ký, họ và tên, đóng dấu)

Ngày tháng năm 2013
Chủ nhiệm đề tài
(ký, họ và tên)

INFORMATION ON RESEARCH RESULTS

1. General information:

Project title: **DESIGN AND DEVELOPMENT DELTA-PLATFORM ROBOT
FOR SORTING FOOD**

Code number: T2013-28TD

Coordinator: Tưởng Phước Thọ

Implementing institution: The University of Technical Education Ho Chi Minh City

Duration: from 2/2013 to 12/2013

2. Objective(s):

Finding out technology design and manufacturing Delta Platform Robot that is able to sorting food.

3. Creativeness and innovativeness:

Creating the ability to develop delta-platform parallel robot can be used in food processing industry. Combine with image processing system to create high-tech equipment in the field of food processing.

4. Research results:

Delta-platform parallel robot can be used in food processing industry

5. Products:

Delta-platform parallel robot with specification:

Parallel Robot	01	
Specification		
Accuracy		0.1 mm
Workspace		Đường kính 200 mm x 60 mm
Number of axis		3
Payload		2 kg
Force End effector		40 N
Dimension		1.5 x 1.5 x 1.8 m
Number of D.O.F		4 dof (x,y,z,Φ)

6. Effects, transfer alternatives of research results and applicability:

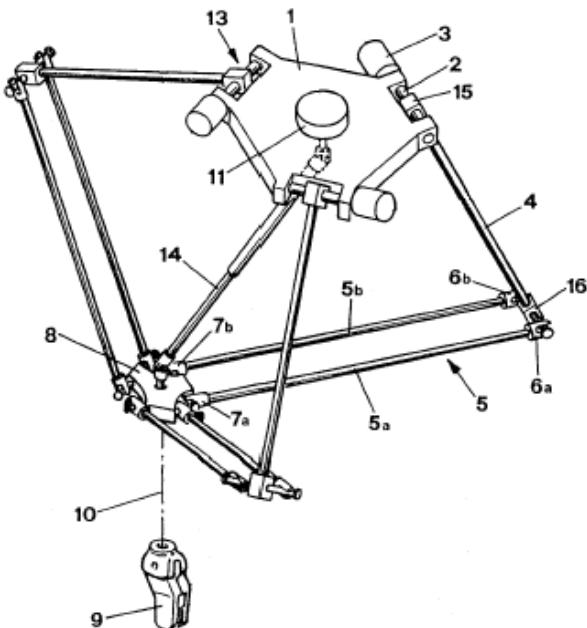
The application field of the subject is very large. Address applications: Food processing company.

PHẦN 1: MỞ ĐẦU

I. TỔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU THUỘC LĨNH VỰC CỦA ĐỀ TÀI Ở TRONG VÀ NGOÀI NUỐC

I.1 Tình hình nghiên cứu ngoài nước

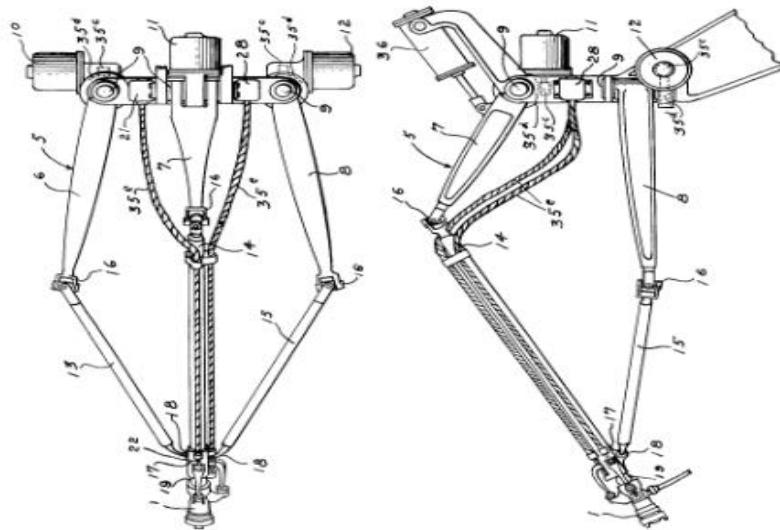
Được các khoa học nghiên cứu chế tạo và phát triển bắt đầu từ giữa thế kỷ XX. Đặc biệt có thể lưu ý tới một số nhà khoa học có những bước đi đầu tiên trong việc nghiên cứu cơ cấu robot có cấu hình song song là: Willard L. Polard, Eric Gough, Stewart, Klaus Cappel, Reymond Clavel.



Hình 0: Sơ đồ của robot Delta (theo bằng sáng chế Hoa Kỳ số 4,976,582).

Vào đầu thập niên 80, Reymond Clavel (giáo sư của Đại học EPFL) đã nảy ra một ý tưởng độc đáo là sử dụng cơ cấu hình bình hành để tạo ra một robot song song có ba bậc tự do tịnh tiến và một bậc tự do quay như trong **hình 1** ở bằng sáng chế Hoa Kỳ số 4,976,582. Ý tưởng này hoàn toàn là của Reymond Clavel chứ không phải bắt chước từ cơ cấu song song đã được đăng ký bản quyền vào năm 1942 (**hình 2**), và vào thời điểm đó Willard L. Polard cũng không hề biết đến giáo sư Clavel. Robot song song Delta đã được đánh giá là một trong những thiết kế robot song song thành công nhất với hàng trăm robot đang hoạt động trên toàn thế giới. Năm 1999, tiến sĩ Clavel đã nhận được giải thưởng Golden Robot Award được tài trợ bởi ABB Flexible Automation, để tôn vinh những hoạt động sáng tạo của ông về robot song song Delta.

Ý tưởng căn bản của thiết kế robot Delta là sử dụng các hình bình hành. Các hình bình hành cho phép khâu ra duy trì một hướng cố định tương ứng với khâu vào. Việc sử dụng ba hình bình hành hoàn toàn giữ chặt hướng của bộ di động duy trì chỉ với ba bậc tự do tịnh tiến. Các khâu vào của 3 hình bình hành được gắn với các cánh tay quay bằng các khớp quay. Các khớp quay của tay quay được truyền động theo 2 cách: hoặc sử dụng các động cơ quay (DC hoặc AC servo), hoặc bằng các bộ tác động tuyến tính. Cuối cùng, cánh tay thứ tư được dùng để truyền chuyển động quay từ đế đến khâu tác động cuối gắn trên tấm dịch chuyển.



Hình 2: Mô hình robot song song công nghiệp đầu tiên vào năm 1942.

Việc sử dụng các bộ tác động gắn trên đế và các khâu có khối lượng nhẹ cho phép tấm dịch chuyển đạt được tốc độ lên đến 50 G trong phòng thí nghiệm và 12 G trong các ứng dụng công nghiệp. Chính điều này làm cho robot Delta trở thành một ứng cử viên sáng giá cho các hoạt động gấp – đặt đối với các đối tượng nhẹ. Vùng làm việc của nó là sự giao nhau của 3 đường gờ tròn, nhưng robot Delta trên thị trường có thể hoạt động trong vùng làm việc hình trụ với đường kính là 1 m và có chiều cao là 0,2 m.

Vào năm 1983 khi mà hai anh em người Thụy Sĩ là marc-Olivier và Pascal Demaurex thành lập công ty Demaurex đóng tại Romanel-sur-Lausanne, Thụy Sĩ. Năm 1987, họ mua giấy phép sử dụng bản quyền robot Delta và đặt ra mục tiêu chính là thương mại hóa robot này vào ngành công nghiệp đóng gói. Sau vài năm, Demaurex đã thành công trong việc giữ vai trò trọng yếu trong thị trường mới mẻ đầy khó khăn này. Và họ cũng đã tiến hành một vài cải tiến sản phẩm của họ. Bốn phiên bản khác cũng đã được đưa ra thị trường với tên gọi là Pack-Placer, Line-Placer, Top-Placer và Presto. Đến thời điểm hiện nay, Demaurex tuyên bố đã bán được hơn 500 robot Delta trên toàn thế giới (**hình 3**).



Hình 3: Robot Line-Placer của hãng Demaurex dùng để đóng gói bánh quy.



Hình 4: SurgiScope đang vận hành tại Surgical Robotics lab, Đại học Humboldt, Berlin.

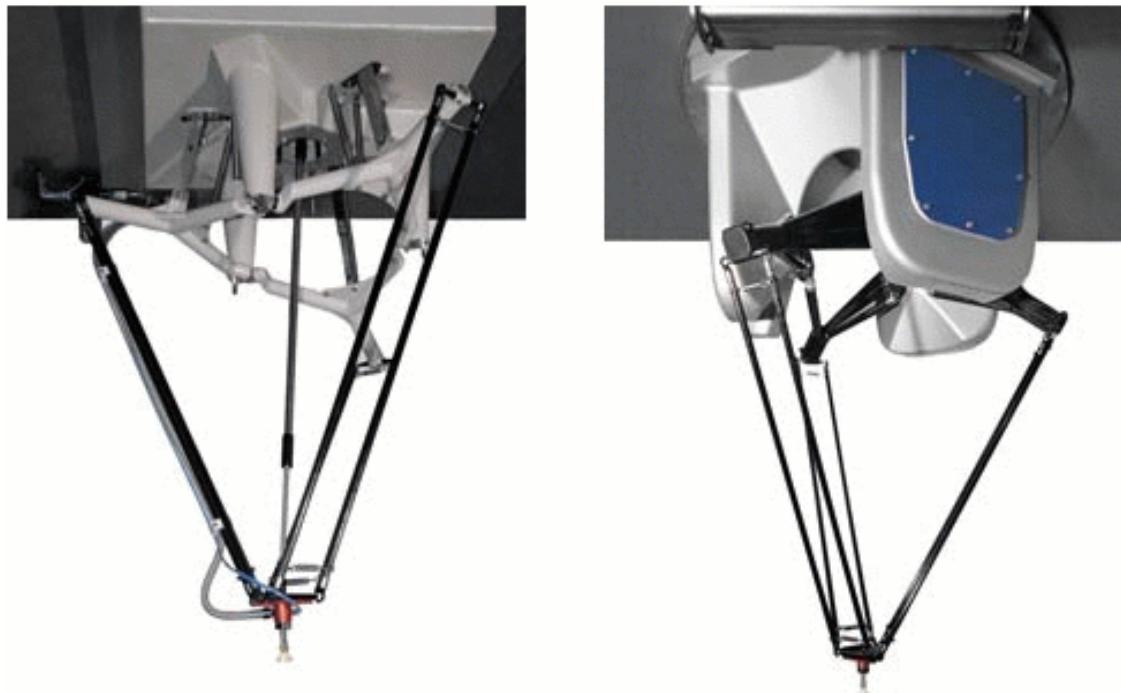
Khi mới bắt đầu Công ty Demaurex sản xuất robot Delta cỡ nhỏ từ những nghiên cứu của EPFL còn có Công ty DeeMed sản xuất robot Delta dùng để nâng đỡ kính hiển vi có khối lượng lớn (20 kg), sản phẩm này có tên gọi là SurgiScope (**hình 4**), Công ty ABB sản xuất robot Delta với các kích cỡ lớn. và hiện nay Công ty Demaurex đã bắt tay sản xuất robot có kích cỡ lớn hơn (khoảng từ 1.200 mm trở lên). Ngoài ra còn có Công ty Đức GROB-Werke sản xuất TRIAGLIDE 5g, và Mikron Technology Group sản xuất robot Triaglide, cả 2 robot này đều là loại robot Delta được trang bị động cơ tuyến tính. Gần đây, 3 robot Delta khác cũng đã được SIG Pack Systems giới thiệu là C23, C33 do Demaurex sản xuất và CE33 do SIG Pack Systems sản xuất (**hình 6**).



Hình 5: Robot Delta của hãng Hitachi Seiki thực hiện chức năng nâng - đặt và khoan.

Robot Delta không chỉ được ứng dụng trong công nghiệp mà còn được quan tâm nghiên cứu trong các phòng thí nghiệm. Rất nhiều biến thể của robot này đã được tạo ra, song hầu hết chúng đều gắn với thiết kế gốc. Một trong những biến thể được tạo bởi đại học Genoa, trong thiết kế này cơ cấu hình bình hành được thay thế bằng các cơ cấu tương đương. Một phiên bản khác là robot NUWAR, được chế tạo tại đại học Western Australia. NUWAR được thiết kế để có thể đạt tốc độ 600m/s². Robot này khác biệt nhờ sự sắp xếp không đồng phẳng các trục của cơ cấu chấp hành. Phiên bản với ba động cơ tuyến tính cũng đã được tạo ra trong phòng thí nghiệm tại Ferdinand-von-Steinbeis Schule, ETH Zurich, và đại học Stuttgart. Tất nhiên nơi robot Delta được nghiên cứu nhiều nhất và có nhiều biến thể nhất là tại nơi sinh ra chúng - EPFL. Hàng năm đều có những Hội nghị

khoa học quốc tế do IFAC, IEEE, ICRA, IROS tổ chức về những phát triển và ứng dụng mới về robot song song. Đại học EPFL – Thụy Sĩ là nơi thường đăng cai những nghiên cứu ứng dụng robot song song trong phẫu thuật.



Hình 6: Hai trong ba robot được SIG Pack Systems giới thiệu, C33 và CE33.

I.2 Tình hình nghiên cứu trong nước



Hình 7: Robot song song 3 bậc tự do của Tosy.

Đánh giá tình hình nghiên cứu trong nước: Qua tổng hợp những công bố nghiên cứu và triển khai trong nước hiện nay về robot song song, nhóm nghiên cứu thấy rằng với robot song song dạng 6 chân hexapod được nghiên cứu khá nhiều và được công bố khá rộng rãi trong và ngoài nước, tuy nhiên có thể nhận thấy đều là robot song song thực hiện các tác vụ như máy gia công CNC với quá trình điều khiển phức tạp, chứ không phải là thực hiện các tác vụ như gấp nhặt, đặt vật. Về robot dạng song song ứng dụng cho việc gấp, đặt vật chưa có đơn vị nghiên cứu nào quan tâm giải quyết những vấn đề rất cơ bản trong tính toán thiết kế hệ thống, xác định các thông số cấu trúc và động học tối ưu cho hệ thống được thực hiện. Và gần đây vào năm 2012, Công ty Tosy có đưa ra thông tin về robot song song (**hình 7**), tuy nhiên nhóm nghiên cứu không thể nào xác định được các thông số và thông tin về robot này do đó khó mà có thể so sánh hay đối chiếu được những gì mà nghiên cứu này đã làm được. Ngoài ra ở các trường đại học, cũng có những nghiên cứu mang tính rời rạc về robot dạng Delta, tuy nhiên chưa đáp ứng được yêu cầu về mức độ học thuật cũng như ứng dụng vào cuộc sống.

Do đó, việc làm chủ công nghệ, tiếp cận cùng với ứng dụng những công nghệ mới, hiện đại vào việc nghiên cứu robot vào trong các dây chuyền sản xuất và chế biến thực phẩm là việc làm khá cần thiết hiện nay của các nhà khoa học, làm sao ứng dụng những công nghệ mới và tiên tiến để giảm giá thành sản phẩm, tăng năng suất, hiệu quả, chất lượng, an toàn là việc làm cấp thiết hiện nay. Việc tăng năng suất, tăng hiệu quả và giảm giá thành là yếu tố sống còn của doanh nghiệp cùng với ứng dụng công nghệ mới là bước đi cần thiết của các doanh nghiệp sản xuất trong nước nếu muốn bước ra khỏi biên giới Việt Nam. Một trong những công nghệ mới nhằm tăng hiệu quả, tăng năng suất, cải tiến chất lượng và giảm giá thành là việc ứng dụng tự động hóa vào trong công nghiệp, đặc biệt là công nghiệp sản xuất thực phẩm khi nó đòi hỏi vệ sinh an toàn thực phẩm cho người sử dụng. Từ trước tới nay tại Việt Nam hầu như chưa có đơn vị nào ứng dụng robot vào quá trình sản xuất thực phẩm do giá thành cao từ việc nhập khẩu thiết bị của nước ngoài. Việc ứng dụng robot vào trong các dây chuyền sản xuất là yếu tố quan trọng cho sự phát triển thị trường của các doanh nghiệp.

Hiện nay, các ứng dụng về robot trong công nghiệp sản xuất thực phẩm ở nước ta còn rất ít. Nguyên nhân là các thiết bị này đều là ngoại nhập nên khá đắt (robot IRB 360/1 FLEX PICKER ROBOT 3 bậc tự do giá tới trên hơn 500 triệu). Vì vậy, việc đầu tư cho các dây chuyền sản xuất với những robot loại này thì không phải là vấn đề dễ giải quyết, trong khi không có đơn vị nào trong nước tổ chức nghiên cứu, thiết kế các thiết bị loại này phù hợp với yêu cầu sản xuất đặc thù trong nước. Có thể nói, vấn đề thiết kế, chế tạo

tay máy song song trong nước còn khá mới lạ. Do đó, việc thiết kế chế tạo tay máy song song phục vụ trong các dây chuyền sản xuất thực phẩm trong nước là rất cần thiết do chưa có đơn vị nghiên cứu và thực hiện.

II. TÍNH CẤP THIẾT CỦA ĐỀ TÀI

Robot song song là một cấu trúc gồm nhiều chuỗi động kín với một nhóm các trục và cơ cấu tác động cuối mắc song song nhau. Do hình thành từ những chuỗi động kín (closed-loop mechanism) gồm nhiều chuỗi động nối tiếp (serial kinematics chains) cùng nối với khung chấp hành (platform) và nền (base) như vậy sẽ làm tăng độ cứng vững của khung chấp hành cuối trên robot. Hơn thế nữa, chúng ta có thể đặt tất cả các cơ cấu chấp hành lên giá nếu cần nhằm làm cho các phần di chuyển của kết cấu trở nên gọn nhẹ, nhờ đó tận dụng được phần lớn năng lượng trực tiếp từ trục động cơ đồng thời giảm được sai số vị trí của cơ cấu tác động cuối. Nhờ những đặc điểm này mà các robot song song chiếm ưu thế trong tốc độ tác động cao với độ chính xác cao, tải trọng lớn và có độ cứng vững cao hơn hẳn các loại tay máy nối tiếp.

Đặc điểm của Robot song song

Ưu điểm	Nhược điểm
Chịu được tải trọng lớn	Không gian làm việc bị giới hạn
Độ cứng vững cao	Điều khiển song song/đồng thời
Tốc độ tác động nhanh	Bài toán động học thuận phức tạp
Định vị chính xác, lực quán tính nhỏ	Tồn tại các điểm kỳ dị (singularities)
Bài toán động học ngược đơn giản	

Để tăng năng suất, tăng hiệu quả và giảm giá thành là yếu tố sống còn của doanh nghiệp. Việc ứng dụng công nghệ cao và công nghệ mới là bước đi cần thiết của các doanh nghiệp sản xuất trong nước nếu muốn bước ra khỏi biên giới Việt Nam. Một trong những công nghệ mới nhằm tăng hiệu quả, tăng năng suất cải tiến chất lượng và giảm giá thành là việc ứng dụng tự động hóa vào trong công nghiệp đặc biệt là công nghiệp sản xuất thực phẩm khi nó đòi hỏi vệ sinh an toàn thực phẩm cho người sử dụng. Từ trước tới nay tại Việt Nam hầu như chưa có đơn vị nào ứng dụng robot vào vào quá trình sản xuất thực phẩm do giá thành cao từ việc nhập khẩu thiết bị của nước ngoài. Việc ứng dụng robot vào trong các dây chuyền sản xuất là yếu tố sống còn của các doanh nghiệp.

III. MỤC TIÊU ĐỀ TÀI

Mục tiêu của đề tài này là thiết kế và chế tạo một robot song song 3 chân 4 bậc tự do dựa trên nguyên lý Delta Platform cho mục đích phân loại thực phẩm kết hợp với việc xử lý ảnh, có khả năng đáp ứng nhanh trong các dây chuyền đóng gói sản phẩm. Mục tiêu chính của đề tài này nhằm:

- Làm chủ thiết kế và công nghệ chế tạo robot song song 4 bậc tự do với 3 chuỗi động học để tạo ra robot 4 bậc tự do 3 tịnh tiến và 1 xoay dựa trên nguyên lý động học song song (Parallel Kinematic Machine).
- Tạo ra khả năng chế tạo robot song song - Hexapod trong nước để sử dụng vào thực tế công nghiệp chế biến thực phẩm. Kết hợp với hệ thống xử lý ảnh để tạo ra thiết bị công nghệ cao để tiến tới làm chủ công nghệ cao trong lĩnh vực chế biến thực phẩm.

IV. ĐỐI TƯỢNG NGHIÊN CỨU

Đối tượng nghiên cứu là robot song song 3 chân 4 bậc tự do dựa trên nguyên lý Delta Platform cho mục đích phân loại thực phẩm kết hợp với việc xử lý ảnh, có khả năng đáp ứng nhanh trong các dây chuyền đóng gói sản phẩm.

V. PHẠM VI NGHIÊN CỨU

Thiết kế chế tạo Robot song song 4 bậc tự do với 3 chuỗi động học là 3 tịnh tiến và 1 xoay dựa trên nguyên lý động học song song (Parallel Kinematic Machine).

Xây dựng phần mềm điều khiển kết hợp với tín hiệu từ bộ xử lý ảnh để tạo nên một dây chuyền sản xuất đáp ứng nhanh.

VI. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

Xây dựng cơ sở phương pháp luận để xác định cấu trúc và kích thước động nhằm đạt mục tiêu tối ưu về kích thước của vùng không gian làm việc của bệ chuyển động (moving platform) gắn với thiết bị công tác (end-effector) để phù hợp với dây chuyền sản xuất thực phẩm.

Nghiên cứu thiết kế cơ hệ máy song song dựa trên mô hình bài toán bảo đảm độ cứng vững động lực học dưới tác động của hệ lực làm việc, mô phỏng kết quả tính toán bằng các phần mềm hỗ trợ tính toán và mô phỏng động lực học cơ hệ làm cơ sở để chế tạo và tích hợp phần kết cấu cơ khí của toàn máy.

Nghiên cứu thiết kế bộ điều khiển cho robot song song - Hexapod. Trong đó quan tâm đến các phương pháp tính toán chính xác và xử lý thời gian thực cho mô hình bài toán động lực học thuận và ngược, nhận dạng chính xác các thông số của mô hình và kiến trúc điều khiển cho phép giảm thiểu ảnh hưởng của nhiễu.

Nghiên cứu lựa chọn giải pháp và thiết kế hệ thống truyền động trên cơ sở kết cấu và kích thước hệ thống cơ đã được xác định. Giải pháp lựa chọn ưu tiên là truyền động gián tiếp nhờ những động cơ servo thông dụng nhằm bảo đảm yêu cầu về lực và đặc tính động học. Nghiên cứu thiết kế các bộ điều khiển truyền động.

Nghiên cứu bài toán xử lý ảnh nhằm xác định chính xác đối tượng để phân loại trong dây chuyền sản xuất thực phẩm, từ đó tạo ra lệnh phù hợp để điều khiển hệ thống làm việc chính xác và hiệu quả.

Xây dựng phần mềm điều khiển kết hợp với tín hiệu từ bộ xử lý ảnh để tạo nên một dây chuyền sản xuất đáp ứng nhanh.

Thực nghiệm các chức năng hoạt động của máy và kết hợp với dây chuyền sản xuất và so sánh kết quả với việc phân loại thủ công trong dây chuyền sản xuất thực phẩm. Hoàn thiện sản phẩm nghiên cứu và viết báo cáo tổng hợp kết quả KHKT đề tài.

PHẦN 2: NỘI DUNG THỰC HIỆN

CHƯƠNG 1 : THIẾT KẾ VÀ THI CÔNG PHẦN CƠ KHÍ

Chương thiết kế phần cơ khí robot sẽ trình bày cụ thể các phương án thiết kế truyền động cho robot mà nhóm đã tìm hiểu từ đó rút ra được một phương án thiết kế truyền động tối ưu cho việc thi công robot phù hợp với điều kiện thực tế, thiết kế các chi tiết của robot, mô phỏng ứng suất và chuyển vị cho robot, bài toán động học thuận nghịch, động lực học robot.

1.1 Các phương án thiết kế truyền động cho robot.

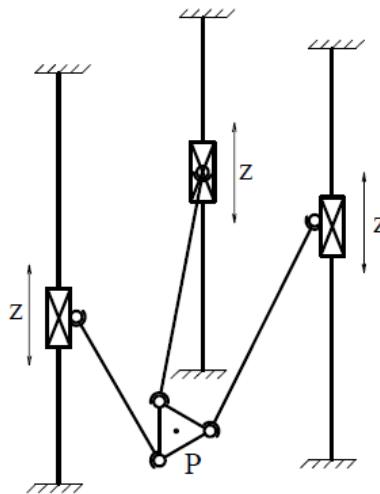
Với mục đích của đề tài là gấp các sản phẩm đang được dịch chuyển trên băng chuyền vì vậy yêu cầu đế dưới của robot phải chuyển động song phẳng với đế cố định do đó phương án thiết kế phải đáp ứng được số bậc tự do của cơ cầu là 3 bậc. Ngoài việc robot có chuyển động song phẳng của đế dưới robot nếu được gắn thêm đầu công tác thì robot yêu cầu có thêm 1 bậc tự do xoay để có thể điều chỉnh hướng của vật được gấp. Đôi với bậc tự do quay này (hay gọi là trực xoay) được gắn thêm vào chính giữa tâm đế dưới nên trong quá trình thiết kế xem đây là một bộ phận hỗ trợ thêm cho hoạt động của robot cho nên tác động của trực xoay không ảnh hưởng lớn đến kết cấu của robot.

Theo các báo cáo nghiên cứu khoa học về robot song song trong nước ở [phụ lục 1] để robot song song chuyển động song phẳng thì một trong hai phần chân của cánh tay robot được tạo bởi cơ cầu bình hành 4 khâu, đảm bảo được độ cứng vững hơn. Tiếp thu ưu điểm đảm bảo độ cứng vững của cơ cầu bình hành 4 khâu mà trong ba phương án thiết kế robot dưới đây được đề xuất với các chân robot gắn với đế chuyển động đều là cơ cầu bình hành 4 khâu. Chỉ khác nhau ở bộ phận tạo chuyển động cho robot là cánh tay trên.

1.1.1 Phương án 1

Ba cánh tay trên chuyển động trượt lên xuống 3 thanh thẳng đứng như **hình 1.1**. Mỗi thanh dùng cho chuyển động trượt của robot sẽ được đặt trên ba đỉnh của một tam giác đều.

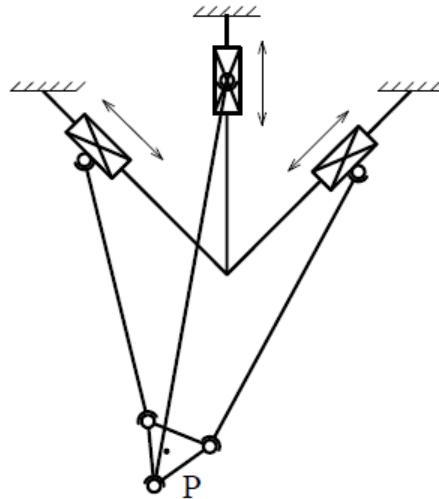
Ở phương án này, nhóm đã suy nghĩ và đề suất phương án sử dụng bộ truyền động vít me – đai óc để tạo chuyển động trượt lên xuống của các cánh tay. Khi sử dụng bộ truyền vít me – đai óc thì tốc độ cũng như độ chính xác có phần bị hạn chế.



Hình 1.1: Phương án 1.

1.1.2 Phương án 2.

Phương án 2 ba cánh tay trên sẽ trượt theo 3 cạnh của một hình chóp tam giác đều như **hình 2.2**. Ba chân cố định đặt tại ba đỉnh của một tam giác đều.



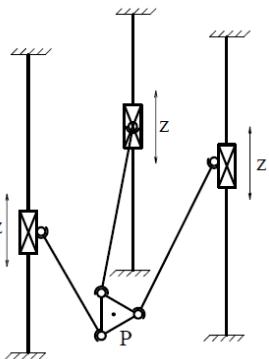
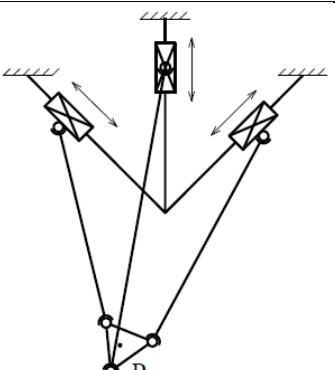
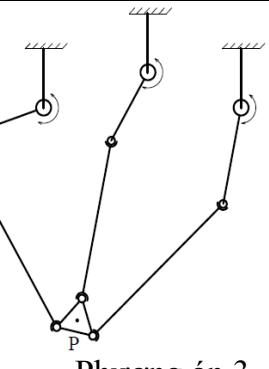
Hình 1.2: Phương án 2.

Ở phương án này cũng gần giống với phương án thứ nhất nhưng khoản dịch chuyển của các cánh tay phụ thuộc vào chiều dài các cạnh của hình chóp.

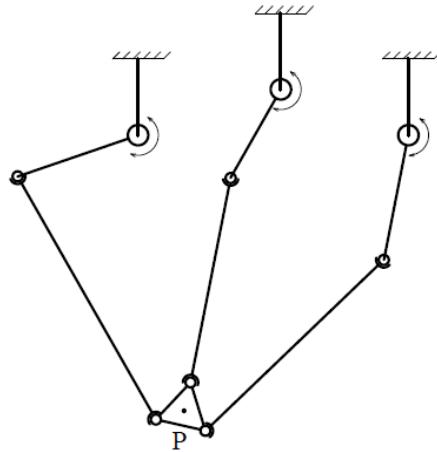
1.1.3 Phương án 3

Ở phương án 3, mỗi cánh tay trên của robot sẽ được tạo chuyển động quay bằng các khớp quay như **hình 1.3**. Vị trí đặt cố định mỗi gối đỡ trực quay là tại đỉnh của một tam giác đều.

Bảng 1.1: Đặc điểm của các phương án di chuyển của robot.

Phương án	Đặc điểm
 <p>Phương án 1</p>	<ul style="list-style-type: none"> Vị trí đặt bộ truyền động là cố định. Khối lượng robot nhỏ. Tốc độ chuyển động nhanh. Độ cứng vững tốt. Không gian hoạt động của robot nhỏ. Việc di chuyển tịnh tiến phần nào làm giảm sự linh hoạt và chính xác do ma sát và sai số của bộ chuyển động trượt. Cấu trúc đê đơn giản.
 <p>Phương án 2</p>	<ul style="list-style-type: none"> Vị trí đặt bộ truyền động là cố định. Khối lượng robot nhỏ. Tốc độ chuyển động nhanh. Độ cứng vững tốt. Không gian hoạt động của robot lớn hơn so với phương án thứ nhất, nhưng bị giới hạn về chiều cao. Cũng dựa trên nguyên lý tịnh tiến nên sự linh hoạt cũng không cao do hiện tượng ma sát. Cấu trúc phần đê lớn.
 <p>Phương án 3</p>	<ul style="list-style-type: none"> Vị trí đặt bộ truyền động là cố định. Khối lượng robot lớn hơn so với hai phương án trên. Tốc độ chuyển động rất nhanh. Độ cứng vững hợp lý. Không gian hoạt động của robot lớn. Do việc các cánh tay chuyển động phụ thuộc vào việc truyền trực tiếp chuyển động từ động cơ qua cánh tay nên việc di chuyển được linh hoạt hơn. Cấu trúc đê đơn giản.

Với phương án 3 được đưa ra thì các cánh tay trên được thiết kế dài hơn cũng như tạo được chuyển động quay chứ không phải chuyển động tịnh tiến như hai phương án đã được đề cập tới ở trên.



Hình 1.3: Phương án 3.

1.1.4 Lựa chọn phương án chuyển động tối ưu.

Trong thiết kế máy nói chung cũng như là robot nói riêng thì việc cần đảm bảo sự ổn định cũng như sự rung động và độ chính xác của robot ở mức chấp nhận được cần phải quan tâm chú ý. Đối với phương án thiết kế robot dựa vào cánh tay trên chuyển động tịnh tiến lên xuống 3 thanh thẳng đứng thì phạm vi hoạt động cũng như độ linh hoạt và chính xác bị hạn chế.

Đối với phương án thiết kế robot dựa vào ba cánh tay trên trượt theo 3 cạnh chót tam giác thì đã có thể giải quyết được phạm vi hoạt động của robot nhưng độ chính xác và khả năng linh động còn bị hạn chế phần nào do ma sát trượt khi chuyển động tịnh tiến.

Theo yêu cầu thiết kế robot của đề tài là ứng dụng cho việc gấp sản phẩm trên băng chuyển động chuyển động. Nên yêu cầu về độ chính xác, tính linh hoạt của robot phải tương đối tốt, đáp ứng được nhiệm vụ đặt ra trong đề tài nên phương án thiết kế robot với mỗi cánh tay trên có chuyển động quay bằng các khớp quay được xem là tốt hơn các phương án khác và phù hợp nhất yêu cầu đặt ra.

1.1.5 Tính số bậc tự do cho kết cấu robot.

Theo các tài liệu tham khảo [1] và [2] ta thấy được nhận xét trong chuỗi động học kín, hình thành các vòng (Loop). Người ta đã chứng minh được rằng quan hệ giữa số vòng độc lập L, số khâu N và số khớp J, số chuyển động trùng giữa hai khớp kề nhau và số bậc tự do *Dof* của robot như sau:

$$Dof = \lambda(n - j - 1) + \sum f_i - f_p \quad (1.1)$$

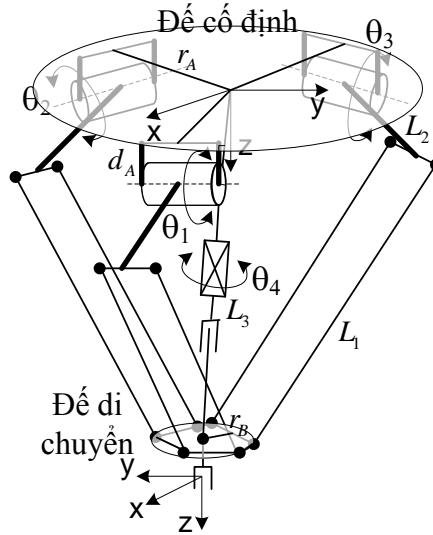
Với: λ là thông số động học của cơ cấu.

n là số khâu của cơ cấu.

j là số khớp của cơ cấu.

f_i là số khớp có khả năng di chuyển được.

f_p là số chuyển động trùng nhau giữa hai khớp liền nhau.



Hình 1.4: Sơ đồ robot song song dạng Delta sê được thiết kế.

Từ công thức (1.1) và **hình 1.4** ta có số bậc tự do của cơ cấu robot được chọn là 4 bậc tự do gồm 3 bậc tự do tịnh tiến và 1 bậc tự do xoay với cách tính cụ thể ở [phụ lục 2].

1.2 Mô phỏng kết cấu robot.

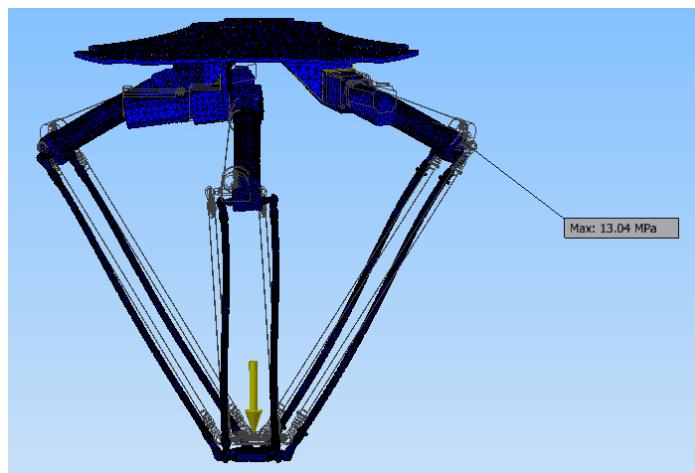
Trong tất cả các quy trình của công đoạn thiết kế thì việc đòi hỏi các chi tiết được thiết kế ra phải đảm bảo một số tính năng về độ bền lực, độ bền biến dạng cũng như vị trí các điểm có ứng suất lớn nhất phải được biết trước để có được các phương án điều chỉnh thiết kế cho phù hợp để đảm bảo tính an toàn cho các chi tiết được thiết kế.

Bảng 1.2: Thông số khối lượng các bộ phận của robot.

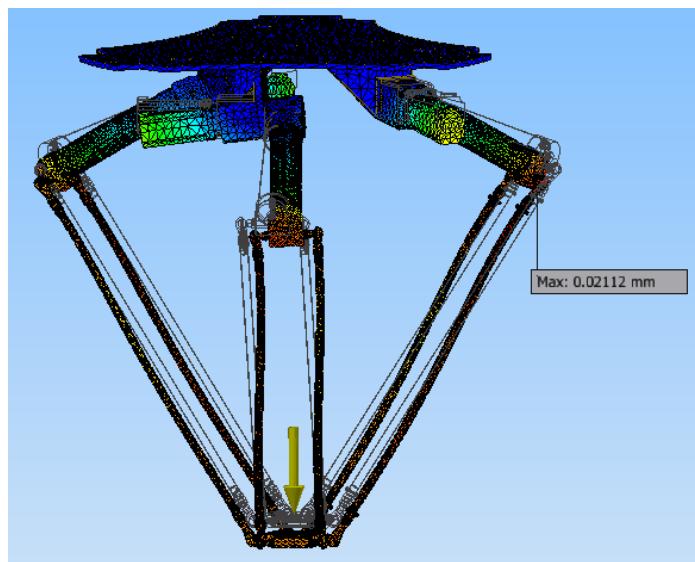
STT	Tên chi tiết/ bộ phận của robot	Số lượng	Khối lượng/chi tiết
1	Đế trên	1	~ 27.2 kg
2	Gối đỡ động cơ	3	~ 1.8 kg
3	Cánh tay trên	3	~ 1.7 kg
4	Cánh tay dưới	6	~ 0.45 kg
5	Trục xoay	1	~ 0.5 kg
6	Đế dưới	1	~ 0.3 kg
Tổng			~ 40.8 kg

Khối lượng của các chi tiết cùng hình dạng các chi tiết ảnh hưởng rất lớn đến việc tìm ứng suất cũng như chuyển vị lúc mô phỏng. Nhờ vào phần mềm mô phỏng mà ta có thể biết trước được khối lượng của các chi tiết, bộ phận của robot như **bảng 1.2**.

Đối với các chi tiết có biên dạng phức tạp cũng như các bộ phận được lắp ghép từ nhiều chi tiết lại với nhau thì việc tính toán sức bền cũng như là chuyển vị được xem là khó nên việc sử dụng các phần mềm hỗ trợ cho việc tìm ra các thông số hay phân tích sức bền, độ chuyển vị của chi tiết rất là cần thiết.



Hình 1.5: Ứng suất của robot dưới tác động của trọng lực khi không có trục xoay.

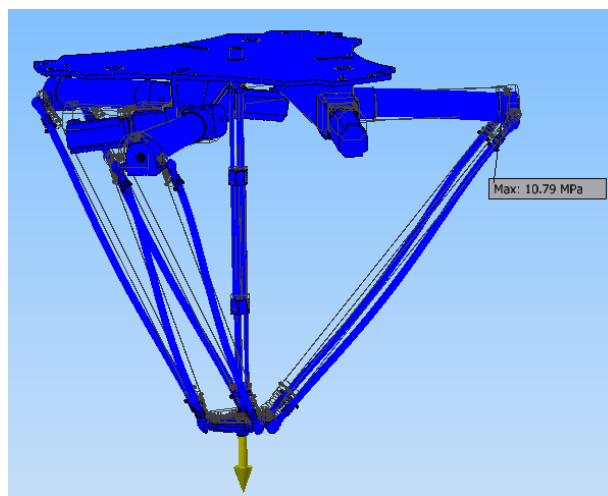


Hình 1.6: Chuyển vị robot dưới tác động của trọng lực khi không có trục xoay.

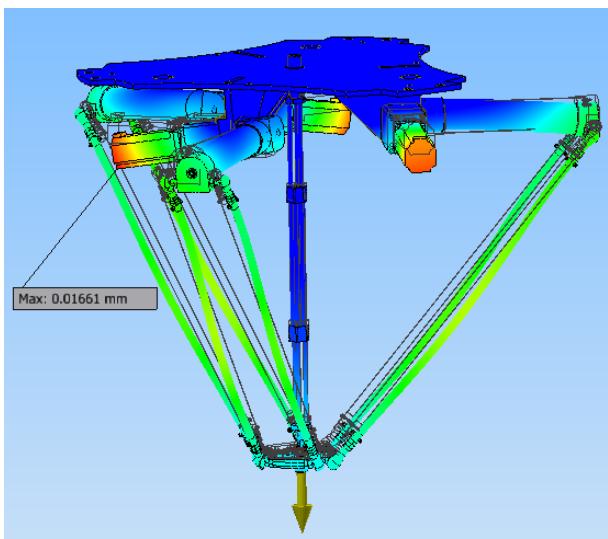
Hình 1.5 và **hình 1.6** thể hiện độ bền của robot khi được mô phỏng với thiết kế không có trục xoay dưới tác động của ngoại lực tác dụng vào phần tâm đế dưới của robot. **Hình 1.5** thể hiện ứng suất bền của robot dưới tác dụng của trọng lực với điểm có ứng suất lớn nhất là 13.04 MPa tại điểm nối giữa cánh tay trên với khớp cầu của cánh tay dưới. Còn

hình 1.6 thì thể hiện chuyển vị của các chi tiết robot dưới tác dụng của trọng lực với điểm có chuyển vị lớn nhất là 0.02112mm cũng tại điểm nối giữa cánh tay trên với khớp cầu của cánh tay dưới.

Thông qua **hình 1.7** và **hình 1.8** thể hiện độ bền của robot khi được mô phỏng với thiết kế có trục xoay dưới tác động của trọng lực tác dụng vào phần tâm đe dưới của robot. So sánh thông số ứng suất bền thể hiện ở **hình 1.5** và **hình 1.7** ta thấy được ứng suất bền lớn nhất cũng xác định tại cùng một điểm nhưng đã giảm từ 13.04 Mpa ở **hình 1.5** xuống còn 10.79 Mpa ở **hình 1.7** cũng như chuyển vị lớn nhất của robot cũng giảm và trên tất cả các cơ cấu của robot sự chuyển vị của các chi tiết cũng được giảm xuống. Từ đó có thể nhận thấy được rằng khi có thêm trục xoay ngoài việc làm cho robot hoạt động linh hoạt hơn nhờ có thêm một bậc tự do mà nó còn giúp robot tăng thêm độ cứng vững.



Hình 1.7: Ứng suất của robot dưới tác động của trọng lực khi có trục xoay.

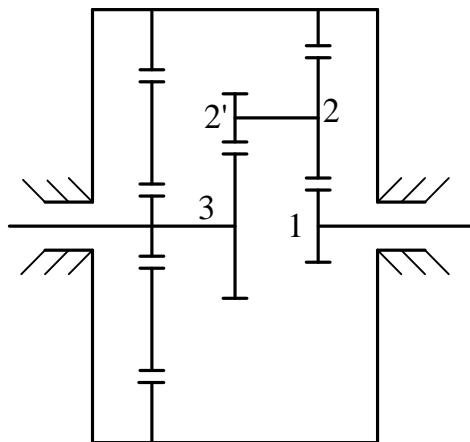


Hình 1.8: Chuyển vị robot dưới tác động của trọng lực khi có trục xoay.

1.3 Lựa chọn cơ cấu truyền động.

Với phương án chuyển động cho robot đã được lựa chọn như trên thì ta chỉ cần có ba động cơ để tạo chuyển động quay bằng các khớp quay cho cánh tay trên cùng và một động cơ tạo chuyển động quay của trục xoay quanh trục z.

Việc cho phép truyền động trực tiếp từ động cơ qua cánh tay thì sẽ không có được momen phù hợp cho việc chuyển động nên ta cần một bộ hộp giảm tốc phù hợp để làm tăng momen quay cho cánh tay nói riêng cũng như toàn bộ cơ cấu nói chung. Bên cạnh đó việc sử dụng hộp giảm tốc cũng sẽ làm tốc độ của robot bị giảm một phần, nhưng đổi lại việc điều khiển dễ dàng hơn cũng như tránh được một phản lực lớn tác động trực tiếp lên động cơ từ đó đảm bảo được tuổi thọ cho động cơ.



Hình 1.9: Nguyên lý của hộp giảm tốc được sử dụng cho các cánh tay.

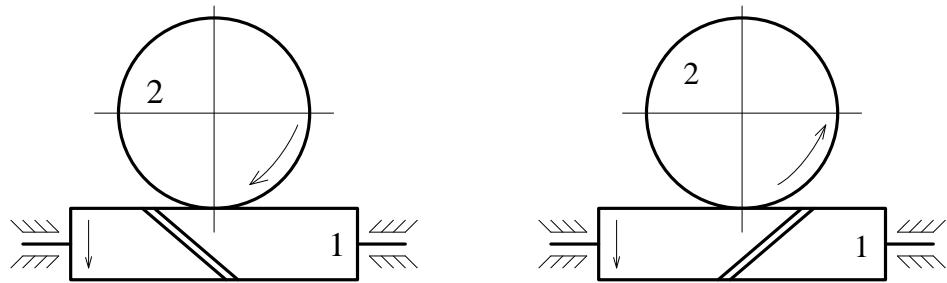
Hộp giảm tốc được sử dụng ở các cánh tay có sơ đồ nguyên lý của một hệ bánh răng thông thường nên có được tỉ số truyền của cả hộp số như **hình 1.9** là:

$$\mu_{13} = (-1)^k \frac{z_2 \cdot z_3}{z_1 \cdot z_2} \quad (1.2)$$

Với: k : là số cặp bánh răng ăn khớp ngoài.

z_1, z_2, z_2', z_3 : là kí hiệu số răng của các bánh răng tương ứng trên **hình 1.9**.

Đối với việc tạo chuyển động cho trục xoay thì việc sử dụng động cơ có thể lắp trực tiếp nhưng để đảm bảo cho độ an toàn của động cơ nên ta cần tới một hộp giảm tốc trực vít, bánh vít để có thể không bị lực tác động ngược trở lại động cơ. Để kết nối giữa động cơ và hộp số ta cần có một bộ truyền động đai.



Hình 1.10: Nguyên lý bộ truyền trục vít.

Đối với bộ truyền trục vít thì có ưu điểm về tỉ số truyền lớn:

$$\mu = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} \quad (1.3)$$

Với: z_1 : là số mối ren của trục vít.

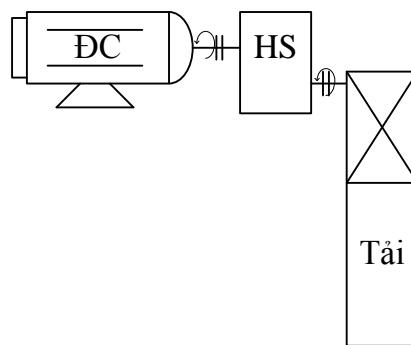
z_2 : là số răng ở bánh vít.

n_1, n_2 : lần lượt là số vòng quay của trục vít, bánh vít.

1.4 Chọn động cơ và thông số bộ truyền cho robot.

Chọn động cơ cho cánh tay robot.

Để giúp các cánh tay robot hoạt động được thì cần phải tính toán lựa chọn động cơ cho phù hợp. Với robot loại cấu trúc nối tiếp thì việc lựa chọn động cơ tương đối đơn giản do nó là hệ vòng hở. Đối với robot song song thì việc lựa chọn động cơ tương đối khó hơn do đây là hệ vòng kín, nên để đơn giản cho việc tìm động cơ đối với robot cấu hình song song Delta thì ta có thể chia ba cánh tay của robot thành 3 cánh tay loại nối tiếp độc lập với nhau, mỗi cánh tay đều có dùng một hộp số giảm tốc gắn nối tiếp với động cơ. Từ đó việc lựa chọn động cơ dễ dàng hơn như sau:



Hình 1.11: Nguyên lý hoạt động của động cơ trên một cánh tay.

Theo **bảng 1.2** thì ta có tải trọng tác động lên trục của một hộp giảm tốc bao gồm 1 cánh tay trên, hai cánh tay dưới và tải trọng từ vật muôn gấp và với tốc độ lớn nhất là 15 vòng/phút:

$$m = m_t + \sum_i m_i = m_3 + 2.m_4 + m_6 + m_t \quad (1.4)$$

Trong đó: m_t : là khối lượng của tải.

m_i : là khối lượng một số chi tiết của robot (với i là stt trong **bảng 1.2**).

$$\Rightarrow P_{qt} = \frac{F.v}{1000} = \frac{m.10.\omega.r_a}{1000} = \frac{3,2.10.1,6.0,38}{1000} \approx 0.02kW \quad (1.5)$$

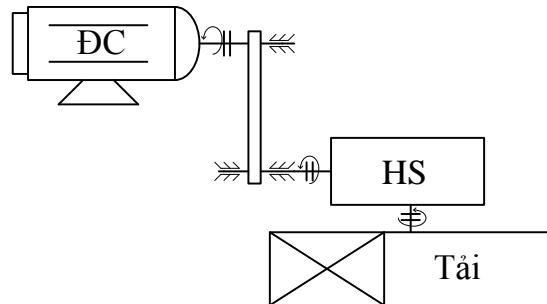
Với hiệu suất hộp giảm tốc là: $\eta_{hs} = 0.3$

Công suất cần thiết của động cơ là:

$$P = \frac{P_{qt}}{\eta} = \frac{0.02}{0.3} \approx 0.07kW = 70W \quad (2.6)$$

So sánh với thông số động cơ AC servo của các hãng bán trên thị trường là từ 100W đến 7.5kW nên ta chọn động cơ có công suất 100W là phù hợp, kèm theo hộp số 1:25.

Chọn động cơ cho trục xoay.



Hình 1.12: Nguyên lý hoạt động của động cơ trục xoay.

Theo **bảng 1.2** thì ta có tải trọng tác động lên trục hộp giảm tốc của trục xoay bao gồm khối lượng của chi tiết như trục xoay, đế dưới, tải từ vật muôn gấp. Công suất cần thiết để quay trục xoay với vận tốc lớn nhất là 180 vòng/phút, đường kính trục hộp số là 20mm.

$$m = m_t + \sum_i m_i = m_5 + m_6 + m_t \quad (2.7)$$

Trong đó: m_t : là khối lượng của tải.

m_i : là khối lượng một số chi tiết của robot (với i là stt trong **bảng 1.2**).

$$\Rightarrow P_{qt} = \frac{F.v}{1000} = \frac{m.10.\omega.r_{tr}}{1000} = \frac{1,1.10.0,84.0,01}{1000} \approx 0.0021kW \quad (2.8)$$

- Hiệu suất hộp giảm tốc là: $\eta_{hs} = 0.3$

- Hiệu suất bộ truyền đai là: $\eta_d = 0.95$

Hiệu suất chung của bộ truyền là: $\eta = \eta_{hs} \cdot \eta_d = 0.3 \cdot 0.95 = 0.285$

Công suất cần thiết của động cơ là:

$$P = \frac{P_{qt}}{\eta} = \frac{0,0021}{0,285} \approx 7,5 \times 10^{-3} kW = 7.5W \quad (1.9)$$

Vì trên thị trường đối với loại động cơ AC servo thì công suất nhỏ nhất là 100W nên ta chọn động cơ có công suất 100W cho việc điều khiển trực tiếp kèm theo hộp số 1:60.

1.5 Phân tích động học, Jacobi và động lực học cho robot cấu hình song song.

Phân tích vị trí của phần công tác nằm trong số những bài toán cơ bản nhất của động học robot, nhằm giải quyết vấn đề tính toán điều khiển quỹ đạo công tác. Có 2 loại bài toán phân tích vị trí đó là bài toán thuận và bài toán nghịch. Bài toán thuận có nhiệm vụ xác định thê (vị trí và hướng) của phần công tác khi biết giá trị các biến khớp. Bài toán nghịch nhằm xác định giá trị các biến khớp để đảm bảo quy luật chuyển động của phần công tác. Đối với robot cấu hình nối tiếp bài toán thuận tương đối đơn giản nhưng bài toán ngược khá phức tạp. Ngược lại, đối với robot cấu hình song song bài toán nghịch lại đơn giản nhưng bài toán thuận lại phức tạp.

Ma trận Jacobi là ma trận biến đổi các vận tốc khớp trong không gian khớp theo trạng thái vận tốc trong không gian bộ tác động cuối, tạo tiền đề cho việc giải bài toán động lực học robot.

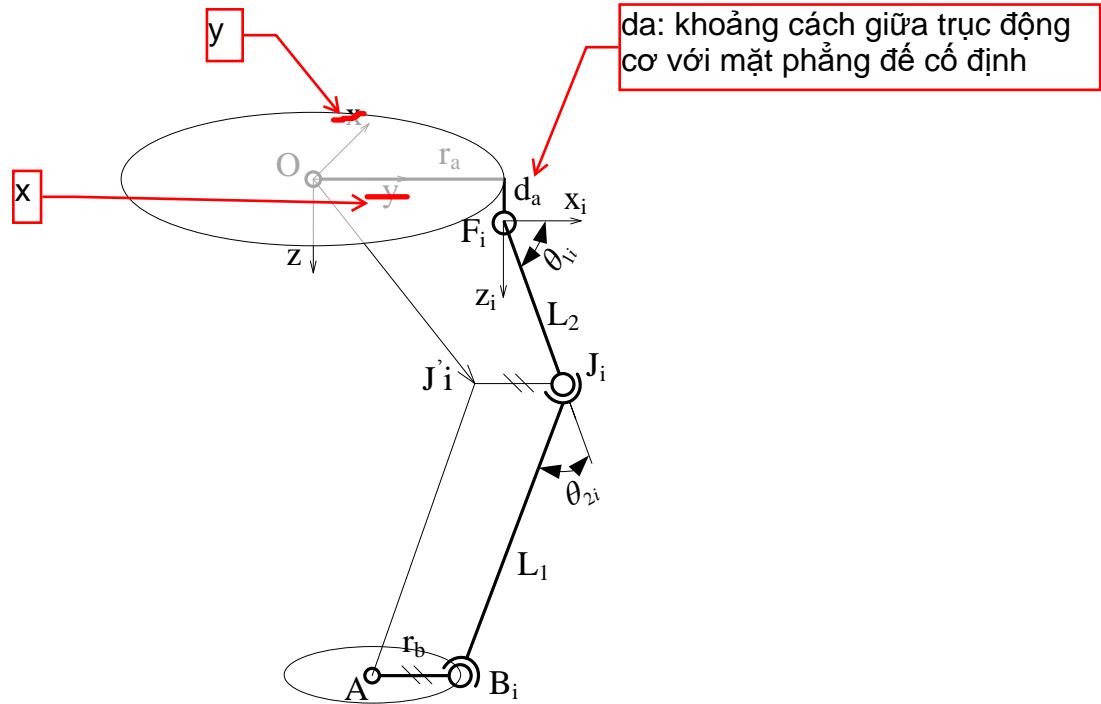
Bài toán động lực học thì giúp cho việc điều khiển vận tốc và gia tốc của robot theo quỹ đạo tối ưu nhất.

1.6 Động học thuận

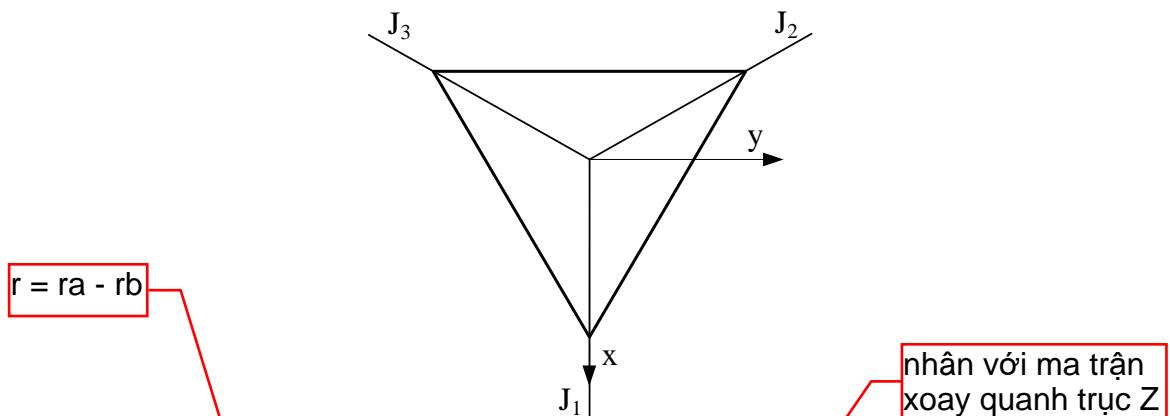
Trong trường hợp này, đã biết được góc quay của $\theta_{11}, \theta_{12}, \theta_{13}$ của các cánh tay, cần xác định vị trí của điểm A của để chuyển động. Đầu tiên, xét bề mặt gồm mọi vị trí A khả dĩ của nhánh i với θ_{li} cho trước. Đây là mặt cầu tâm J_i cách J_i một đoạn r_b . Dùng phương pháp dời vector theo trục X ta có:

$$\overrightarrow{OJ_i} = \overrightarrow{OF_i} + \overrightarrow{F_i J_i} + \overrightarrow{J_i J_i} \quad (1.10)$$

Để tìm được vị trí của tọa độ điểm A khi biết các góc quay $\theta_{11}, \theta_{12}, \theta_{13}$ ta thực hiện giải bài toán giao nhau của ba hình cầu tâm J_i ($i = 1, 2, 3$) với bán kính L_1 .



Hình 1.13: Các góc khớp và vector của một cánh tay robot.



Hình 1.14: Hệ tọa độ để cố định.

$$\Rightarrow \text{tọa độ } J_1 \text{ là: } (r + L_2 \cos \theta_{11}; 0; L_2 \sin \theta_{11} + d_A) = (x_1; y_1; z_1)$$

Tương tự ta có tọa độ các điểm J_1 và J_2 như sau:

$$J_2 = (-(r + L_2 \cos \theta_{12}) \sin 30^\circ; (r + L_2 \cos \theta_{12}) \cos 30^\circ; L_2 \sin \theta_{12} + d_A) = (x_2; y_2; z_2)$$

$$J_3 = (-(r + L_2 \cos \theta_{13}) \sin 30^\circ; -(r + L_2 \cos \theta_{13}) \cos 30^\circ; L_2 \sin \theta_{13} + d_A) = (x_3; y_3; z_3)$$

Gọi $(x_0; y_0; z_0)$ là tọa độ điểm A (tâm đế dưới)

Điểm A là điểm chung có đồng thời ở ba cánh tay do hình cầu được tạo ra ở ba cánh tay đều đi qua. Giao điểm của 3 hình cầu là nghiệm của bài toán động học thuận và cũng là nghiệm của hệ phương trình sau:

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 = L_1^2 \quad (1.11)$$

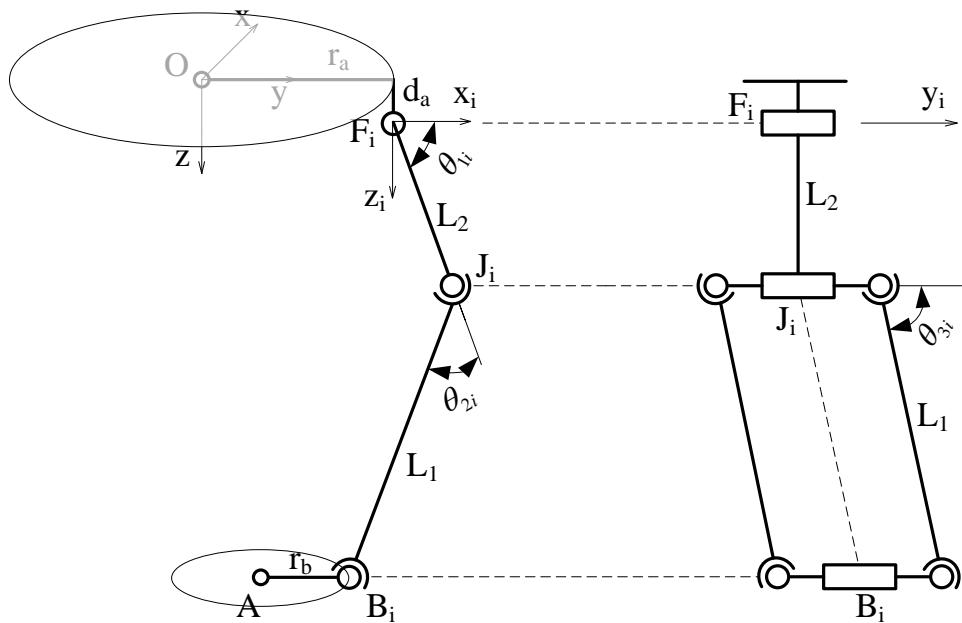
$$\{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_2)^2 = L_1^2 \quad (1.12)$$

$$(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 = L_1^2 \quad (1.13)$$

Sử dụng phương pháp đại số để giải hệ phương trình của ba hình cầu được trình bày cụ thể ở [phụ lục 3] ta được các điểm giao nhau của ba hình cầu hay nghiệm tổng quát của bài toán động học thuận như sau:

$$z = \frac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2a} \quad x = \frac{a_1 z + b_1}{d} \quad y = \frac{a_2 z + b_2}{d}$$

1.7 Động học nghịch.



Hình 1.15: Các góc khớp của một cánh tay robot.

Trong động học nghịch, với tọa độ điểm A cho trước, cần tìm các góc khớp $\theta_{11}, \theta_{12}, \theta_{13}$ là rất cần thiết để chuyển động để di động đến vị trí mong muốn. Với vị trí điểm A đã biết, vị trí B_i cũng biết. Xét hệ tọa độ tại tâm O của đế trên cố định, ta thực hiện dời hệ tọa độ đó tới khớp quay F_i như **hình 1.15** rồi thực hiện chiếu tọa độ điểm A lên hệ tọa độ đặt tại F_i của mỗi cánh tay ta được hệ phương trình từ đó tìm giá trị góc quay θ_{1i} tương ứng cho mỗi cánh tay. Cách giải được trình bày tổng quan như sau:

Gọi cánh tay thứ nhất có hệ tọa độ như **hình 1.15** và xét tọa độ điểm A so với tọa độ đặt tại F_i ta có được hệ phương trình:

$$\begin{cases} X_A = L_2 \cos \theta_1 + L_1 \sin \theta_3 \cos(\theta_1 + \theta_2) + r \\ Y_A = L_1 \cos \theta_3 \\ Z_A = L_2 \sin \theta_1 + L_1 \sin \theta_3 \sin(\theta_1 + \theta_2) + d_A \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} X_A - L_2 \cos \theta_1 - r = L_1 \sin \theta_3 \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ Y_A = L_1 \cos \theta_3 \\ Z_A - L_2 \sin \theta_1 - d_A = L_1 \sin \theta_3 \sin(\theta_1 + \theta_2) \end{cases} \quad (1.14)$$

$$(1.15)$$

$$(1.16)$$

Thực hiện bình phương và cộng hai vế của các phương trình (2.14), (2.15), (2.16) ta được phương trình sau:

$$\Leftrightarrow X_A^2 + Y_A^2 + Z_A^2 + L_2^2 - L_1^2 + r^2 + d_A^2 - 2X_A r - 2Z_A d_A - (2X_A - 2r)L_2 \cos \theta_1 - 2(Z_A - d_A)L_2 \sin \theta_1 = 0 \quad (1.17)$$

Sau đó thực hiện đặt ẩn cho phương trình (2.17) và giải ta sẽ được góc quay φ_1 của cánh tay thứ nhất.

Ta thực hiện thuật toán quay tọa độ tại góc O như trên **hình 1.15** quanh trục z một góc 120° theo chiều ngược kim đồng hồ bằng cách nhân ma trận tọa độ cánh tay thứ nhất với ma trận xoay quanh z một góc 120° . Ta sẽ được phương trình tọa độ cánh tay thứ hai như sau:

$$\begin{cases} X_A = -\frac{1}{2}r - \frac{1}{2}L_2 \cos \theta_1 - \frac{1}{2}L_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}L_1 \cos \theta_3 \\ Y_A = \frac{\sqrt{3}}{2}r + \frac{\sqrt{3}}{2}L_2 \cos \theta_1 - \frac{1}{2}L_1 \cos \theta_3 + \frac{\sqrt{3}}{2}L_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 \end{cases} \quad (1.18)$$

$$\begin{cases} Z_A = L_2 \sin \theta_1 + L_1 \sin(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 + d_A \end{cases} \quad (1.19)$$

$$\begin{cases} X_A + \frac{1}{2}r + \frac{1}{2}L_2 \cos \theta_1 = -\frac{1}{2}L_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}L_1 \cos \theta_3 \\ Y_A - \frac{\sqrt{3}}{2}r - \frac{\sqrt{3}}{2}L_2 \cos \theta_1 = -\frac{1}{2}L_1 \cos \theta_3 + \frac{\sqrt{3}}{2}L_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 \\ Z_A - L_2 \sin \theta_1 - d_A = L_1 \sin(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 \end{cases} \quad (1.21)$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} X_A + \frac{1}{2}r + \frac{1}{2}L_2 \cos \theta_1 = -\frac{1}{2}L_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}L_1 \cos \theta_3 \\ Y_A - \frac{\sqrt{3}}{2}r - \frac{\sqrt{3}}{2}L_2 \cos \theta_1 = -\frac{1}{2}L_1 \cos \theta_3 + \frac{\sqrt{3}}{2}L_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 \\ Z_A - L_2 \sin \theta_1 - d_A = L_1 \sin(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 \end{cases} \quad (1.22)$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} X_A + \frac{1}{2}r + \frac{1}{2}L_2 \cos \theta_1 = -\frac{1}{2}L_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}L_1 \cos \theta_3 \\ Y_A - \frac{\sqrt{3}}{2}r - \frac{\sqrt{3}}{2}L_2 \cos \theta_1 = -\frac{1}{2}L_1 \cos \theta_3 + \frac{\sqrt{3}}{2}L_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 \\ Z_A - L_2 \sin \theta_1 - d_A = L_1 \sin(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 \end{cases} \quad (1.23)$$

Thực hiện bình phương và cộng hai vế của các phương trình (2.21), (2.22), (2.23) ta được phương trình sau:

$$\Rightarrow X_A^2 + Y_A^2 + Z_A^2 + L_2^2 - L_1^2 + r^2 + d_A^2 + X_A r - \sqrt{3}Y_A r - 2Z_A d_A + (X_A L_2 + 2L_2 r - \sqrt{3}Y_A L_2) \cos \theta_1 - 2(Z_A - d_A)L_2 \sin \theta_1 = 0 \quad (1.24)$$

Sau đó thực hiện đặt ẩn cho phương trình (2.24) và giải ta sẽ được góc quay φ_1 của cánh tay thứ hai.

Tiếp theo, ta thực hiện thuật toán quay tọa độ tại góc O như trên **hình 1.15** quanh trục z một góc 240° theo chiều ngược kim đồng hồ bằng cách nhân ma trận tọa độ cánh tay thứ

nhất với ma trận xoay quanh z một góc 240° . Ta sẽ được phương trình tọa độ cánh tay thứ ba như sau:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_A = -\frac{1}{2}r - \frac{1}{2}L_2 \cos \theta_1 - \frac{1}{2}L_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 + \frac{\sqrt{3}}{2}L_1 \cos \theta_3 \\ Y_A = -\frac{\sqrt{3}}{2}r - \frac{\sqrt{3}}{2}L_2 \cos \theta_1 - \frac{1}{2}L_1 \cos \theta_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}L_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 \\ Z_A = L_2 \sin \theta_1 + L_1 \sin(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 + d_A \end{array} \right. \quad (1.25)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} X_A + \frac{1}{2}r + \frac{1}{2}L_2 \cos \theta_1 = -\frac{1}{2}L_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 + \frac{\sqrt{3}}{2}L_1 \cos \theta_3 \\ Y_A + \frac{\sqrt{3}}{2}r + \frac{\sqrt{3}}{2}L_2 \cos \theta_1 = -\frac{1}{2}L_1 \cos \theta_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}L_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 \\ Z_A - L_2 \sin \theta_1 - d_A = L_1 \sin(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 \end{array} \right. \quad (1.26)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} X_A + \frac{1}{2}r + \frac{1}{2}L_2 \cos \theta_1 = -\frac{1}{2}L_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 + \frac{\sqrt{3}}{2}L_1 \cos \theta_3 \\ Y_A + \frac{\sqrt{3}}{2}r + \frac{\sqrt{3}}{2}L_2 \cos \theta_1 = -\frac{1}{2}L_1 \cos \theta_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}L_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 \\ Z_A - L_2 \sin \theta_1 - d_A = L_1 \sin(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 \end{array} \right. \quad (1.27)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} X_A + \frac{1}{2}r + \frac{1}{2}L_2 \cos \theta_1 = -\frac{1}{2}L_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 + \frac{\sqrt{3}}{2}L_1 \cos \theta_3 \\ Y_A + \frac{\sqrt{3}}{2}r + \frac{\sqrt{3}}{2}L_2 \cos \theta_1 = -\frac{1}{2}L_1 \cos \theta_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}L_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 \\ Z_A - L_2 \sin \theta_1 - d_A = L_1 \sin(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 \end{array} \right. \quad (1.28)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} X_A + \frac{1}{2}r + \frac{1}{2}L_2 \cos \theta_1 = -\frac{1}{2}L_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 + \frac{\sqrt{3}}{2}L_1 \cos \theta_3 \\ Y_A + \frac{\sqrt{3}}{2}r + \frac{\sqrt{3}}{2}L_2 \cos \theta_1 = -\frac{1}{2}L_1 \cos \theta_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}L_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 \\ Z_A - L_2 \sin \theta_1 - d_A = L_1 \sin(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 \end{array} \right. \quad (1.29)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} X_A + \frac{1}{2}r + \frac{1}{2}L_2 \cos \theta_1 = -\frac{1}{2}L_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 + \frac{\sqrt{3}}{2}L_1 \cos \theta_3 \\ Y_A + \frac{\sqrt{3}}{2}r + \frac{\sqrt{3}}{2}L_2 \cos \theta_1 = -\frac{1}{2}L_1 \cos \theta_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}L_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 \\ Z_A - L_2 \sin \theta_1 - d_A = L_1 \sin(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 \end{array} \right. \quad (1.30)$$

Thực hiện bình phương và cộng hai vế của các phương trình (1.28), (1.29), (1.30) ta được phương trình sau:

$$\Leftrightarrow X_A^2 + Y_A^2 + Z_A^2 + r^2 + d_A^2 + L_2^2 - L_1^2 + Y_A r + \sqrt{3}Y_A r - 2Z_A d_A + (Y_A L_2 + 2L_2 r + \sqrt{3}Y_A L_2) \cos \theta_1 - 2(Z_A - d_A) L_2 \sin \theta_1 = 0 \quad (1.31)$$

Sau đó thực hiện đặt ẩn cho phương trình (1.31) và giải ta sẽ được góc quay θ_1 của cánh tay thứ ba.

Cách giải cụ thể bài toán động học nghịch được trình bày cụ thể ở phần [phụ lục 4].

1.8 Chuyển động vi phân (chuyển động Jacobi).

Phân tích Jacobi cơ cấu robot song song khó hơn cơ cấu robot nối tiếp vì có nhiều khâu tạo thành vòng kín. Cơ cấu robot song song gồm bộ chuyển động và đế cố định nối với nhau bằng nhiều cánh tay. Để chuyển động như bộ tác động cuối của cơ cấu. Do cấu trúc vòng kín, nên tất cả các khớp không thể điều khiển một cách độc lập. Một số khớp được điều khiển bằng bộ tác động, số khác là khớp thụ động.

Xét cơ cấu robot song song dạng Delta có ba bậc tự do tịnh tiến như **hình 1.16** và các góc khớp trên một cánh tay như **hình 1.15** ta sẽ khai triển ma trận Jacobi chỉ với 3 bậc tự do tịnh tiến. Từ **hình 1.15** phương trình vòng kín nhánh i là:

$$\overline{OA} + \overline{AB_i} = \overline{OF_i} + \overline{F_iJ_i} + \overline{J_iB_i} \quad (1.32)$$

Lấy vi phân phương trình (1.18) theo thời gian:

$$v_A = \omega_{1i} \times a_i + \omega_{2i} \times b_i \quad (1.33)$$

Với v_p là vận tốc tuyến tính của bệ di động, $a_i = L_{2i} = F_i J_i$, $b_i = L_{1i} = J_i B_i$, ω_{ji} là vận tốc góc khâu j của nhánh thứ i .

Trong đó vector đầu vào là $\dot{q} = [\dot{\theta}_{11}, \dot{\theta}_{12}, \dot{\theta}_{13}]^T$ và vector đầu ra là $v_p = [v_{px}, v_{py}, v_{pz}]^T$.

Mỗi liên hệ biến đổi giữa vận tốc khớp trong không gian khớp và vận tốc đầu cuối trong không gian bộ tác động cuối như sau:

$$J_x v_A = J_q \dot{q} \quad (1.34)$$

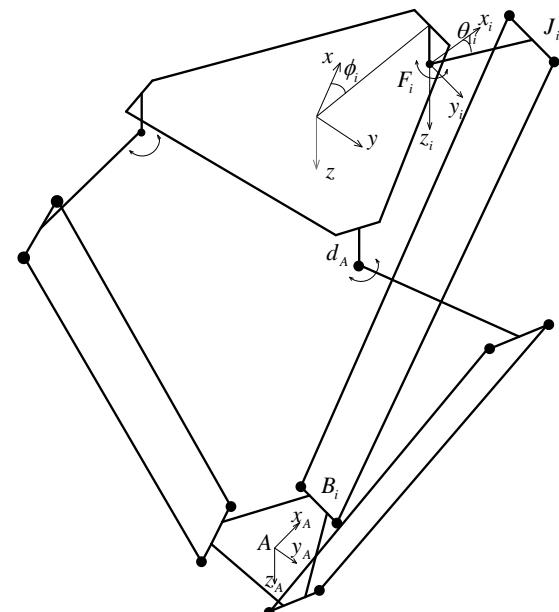
Với :

$$J_x = \begin{bmatrix} j_{1x} & j_{1y} & j_{1z} \\ j_{2x} & j_{2y} & j_{2z} \\ j_{3x} & j_{3y} & j_{3z} \end{bmatrix}$$

$$J_x = a \begin{bmatrix} s\theta_{21}s\theta_{31} & 0 & 0 \\ 0 & s\theta_{22}s\theta_{32} & 0 \\ 0 & 0 & s\theta_{23}s\theta_{33} \end{bmatrix}$$

Với các phương pháp thực hiện giải ma trận Jacobi đã được nhóm nghiên cứu tìm hiểu và trình bày chi tiết các bước ở phần [phụ lục 6].

1.9 Động lực học.



Hình 1.16: Cơ cấu robot song song dạng Delta chỉ có 3 bậc tự do tịnh tiến.

Phân tích động lực học cơ cấu song song gặp nhiều khó khăn do sự hiện diện của nhiều chuỗi vòng kín. Có nhiều phương pháp để giải nhưng phương pháp Lagrange có thể được xem là hiệu quả do nhiều ràng buộc từ các vòng kín của cơ cấu song song, việc thiết lập các phương trình chuyển động theo tập hợp các tọa độ độc lập tổng quát trở nên rất khó khăn. Để đơn giản hóa vấn đề, có thể dùng thêm các tọa độ và tập hợp các thừa số Lagrange để phân tích động lực học của robot cấu hình song song với phương trình Lagrange có dạng:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_j} = Q_j + \sum_{i=1}^k \lambda_i \frac{\partial \Gamma_i}{\partial q_j} \text{ với } j = 1 \div n \quad (1.35)$$

Để thuận tiện cho quá trình giải, các phương trình trong hệ (1.21) được chia thành hai nhóm. Nhóm 1 chứa các ẩn là các nhân tử Lagrange có dạng phương trình:

$$\sum_{i=1}^k \lambda_i \frac{\partial \Gamma_i}{\partial q_j} = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j} - \hat{Q}_j \quad (1.36)$$

Nhóm 2 chứa các ẩn là các lực tổng quát do cơ cấu phát động sinh ra có dạng phương trình:

$$Q_j = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_j} - \sum_{i=1}^k \lambda_i \frac{\partial \Gamma_i}{\partial q_j} \text{ với } j = k+1 \div n \quad (1.37)$$

Từ hai phương trình (1.22), (1.23) và các liên kết, ràng buộc về mặt hình học được trình bày cụ thể ở phần [phụ lục 5], nhóm nghiên cứu đã tìm được các nhân tử Lagrange và lực tổng quát do cơ cấu phát động sinh ra như các phương trình sau:

$$\begin{cases} 2 \sum_{i=1}^3 \lambda_i (A_x + hc\phi_i - rc\phi_i - ac\phi_i c\theta_{1i}) = (m_A + 3m_b) \ddot{A}_x - f_{Ax} \\ 2 \sum_{i=1}^3 \lambda_i (A_y + hc\phi_i - rc\phi_i - ac\phi_i c\theta_{1i}) = (m_A + 3m_b) \ddot{A}_y - f_{Ay} \\ 2 \sum_{i=1}^3 \lambda_i (A_z - as\theta_{1i}) = (m_A + 3m_b) \ddot{A}_z + (m_A + 3m_b) g_c - f_{Az} \end{cases} \quad (1.38)$$

$$\begin{cases} 2 \sum_{i=1}^3 \lambda_i (A_y + hc\phi_i - rc\phi_i - ac\phi_i c\theta_{1i}) = (m_A + 3m_b) \ddot{A}_y - f_{Ay} \\ 2 \sum_{i=1}^3 \lambda_i (A_z - as\theta_{1i}) = (m_A + 3m_b) \ddot{A}_z + (m_A + 3m_b) g_c - f_{Az} \end{cases} \quad (1.39)$$

$$\begin{cases} 2 \sum_{i=1}^3 \lambda_i (A_z - as\theta_{1i}) = (m_A + 3m_b) \ddot{A}_z + (m_A + 3m_b) g_c - f_{Az} \end{cases} \quad (1.40)$$

$$\tau_1 = (I_m + \frac{1}{3}a^2 + m_b a^2) \ddot{\theta}_{11} + (\frac{1}{2}m_a + m_b) g_c ac\theta_{11} - 2a\lambda_1 [(A_x c\phi_1 + A_y s\phi_1 + h - r) s\theta_{11} - A_z c\theta_{11}] \quad (1.41)$$

$$\tau_2 = (I_m + \frac{1}{3}a^2 + m_b a^2) \ddot{\theta}_{12} + (\frac{1}{2}m_a + m_b) g_c ac\theta_{12} - 2a\lambda_2 [(A_x c\phi_2 + A_y s\phi_2 + h - r) s\theta_{12} - A_z c\theta_{12}] \quad (1.42)$$

$$\tau_3 = (I_m + \frac{1}{3}a^2 + m_b a^2) \ddot{\theta}_{13} + (\frac{1}{2}m_a + m_b) g_c ac\theta_{13} - 2a\lambda_3 [(A_x c\phi_3 + A_y s\phi_3 + h - r) s\theta_{13} - A_z c\theta_{13}] \quad (1.43)$$

Việc tìm hiểu bài toán động lực học với kết quả được các phương trình (1.38), (1.39), (1.40) và các phương trình (1.41), (1.42), (1.43) sẽ được ứng dụng vào việc điều khiển thời gian thực cho cơ cấu chấp hành của robot song song dạng Delta.

Như vậy ở chương này, các phương án thiết kế cấu hình cho robot song song đã được đưa ra. Bên cạnh đó, việc lựa chọn phương án tối ưu nhất phù hợp với mục đích đề tài cũng đã được đề cập. Bằng việc chọn lựa cấu hình robot dạng 3 trực xoay quanh mặt phẳng vuông góc với bệ cố định tại 3 đỉnh của tam giác đều, chương này cũng đã nêu được cách tính toán các bài toán động học, động lực học cho robot song song Delta, các phương án truyền động và từ đó xác định được thông số động cơ cần thiết dựa vào phương pháp tính công suất tĩnh. Chương kế tiếp sẽ trình bày cụ thể về phần hệ thống điện - điều khiển cho robot, một thành phần không thể thiếu của bất cứ robot nào.

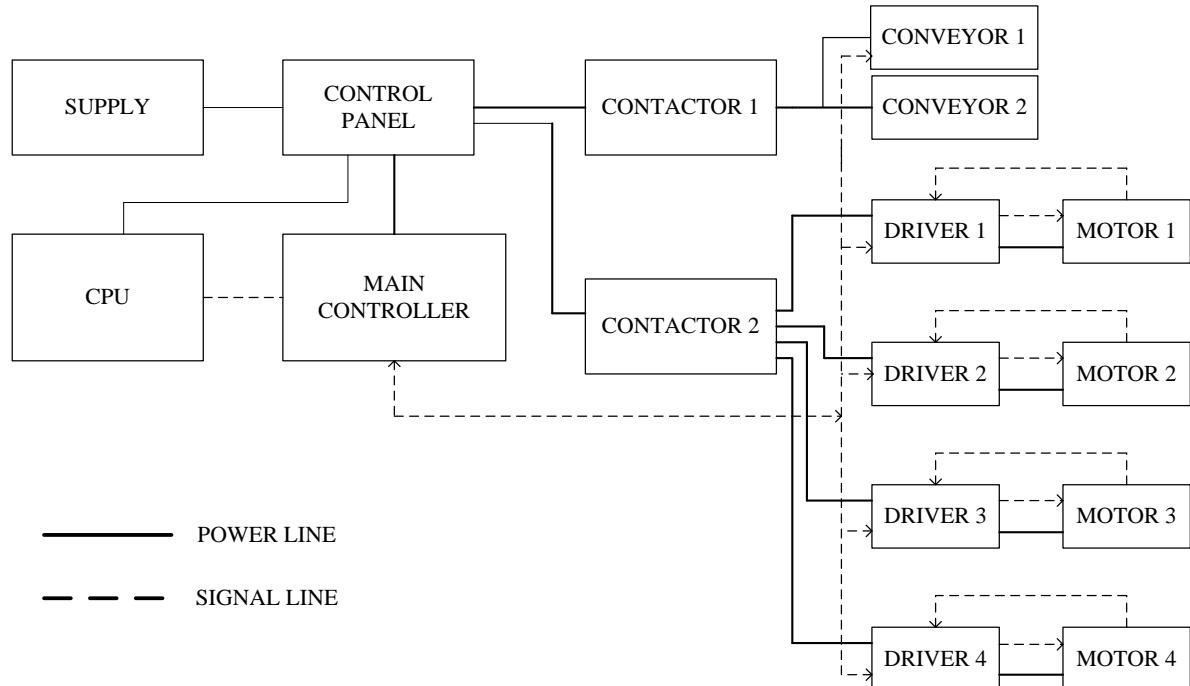
CHƯƠNG 2: THIẾT KẾ VÀ THI CÔNG PHẦN ĐIỆN

Để đảm bảo hệ thống hoạt động linh hoạt, chính xác, yêu cầu đặt ra là phải thiết kế cấu hình phù hợp nhất cho mục tiêu đặt ra. Do vậy, hệ thống cơ khí phải đảm bảo được tính chính xác và đạt độ cứng vững cần thiết. Ngoài ra, việc thiết kế phần điện - điều khiển cũng đóng vai trò không kém phần quan trọng trong toàn bộ hệ thống. Ở các chương trên đã tính toán phương án truyền động cũng như tính chọn công suất động cơ, chương này sẽ đề cập đến việc thiết kế hệ thống điện - điều khiển cho robot. Đầu tiên, ta sẽ tìm hiểu sơ đồ điện động lực cũng như điện điều khiển của hệ robot.

2.1 Các thiết bị điện động lực của hệ thống:

Các thiết bị điện muốn hoạt động được cần sự cung cấp điện từ nguồn chính, từ đó điện được phân phối sang các thiết bị trong hệ thống. Một phần không kém quan trọng trong phần này chính là hệ thống truyền tải tín hiệu.

Hệ thống điện - điều khiển trong robot song song Delta có thể được mô tả trong sơ đồ **hình 2.1** sau:



Hình 2.1: Sơ đồ mạch điện hệ thống.

2.1.1 Bộ điều khiển trung tâm:

Bộ điều khiển trung tâm đóng vai trò quan trọng trong việc tương tác với hệ thống của người sử dụng qua Panel điều khiển. Bộ điều khiển trung tâm bao gồm: CPU điều khiển tín hiệu và mạch điều khiển trung tâm. CPU điều khiển tín hiệu hoạt động với hiệu điện thế 220VAC-50Hz với đặc tính là hoạt động ổn định được trong điều kiện liên tục. Mạch điều khiển trung tâm hoạt động với hiệu điện thế 5-12VDC 2A, với mục đích là cung cấp và thu thập tín hiệu điều khiển của các cơ cấu chấp hành, cảm biến,....

2.1.2 Driver và động cơ (Motor):

Cơ cấu chấp hành chính trong hệ thống robot song song Delta chính là 4 cánh tay. Để các cơ cấu này hoạt động thì cần sự cung cấp điện động lực cũng như điện điều khiển cho driver. Do đó, với công suất động cơ tính được ở chương trước, ta lựa chọn được động cơ thích hợp. Đi liền với động cơ là bộ điều khiển driver. Điện áp cung cấp cho driver là 220VAC, tín hiệu điều khiển driver dùng điện áp 24VDC.

2.1.3 Các thiết bị điện khác:

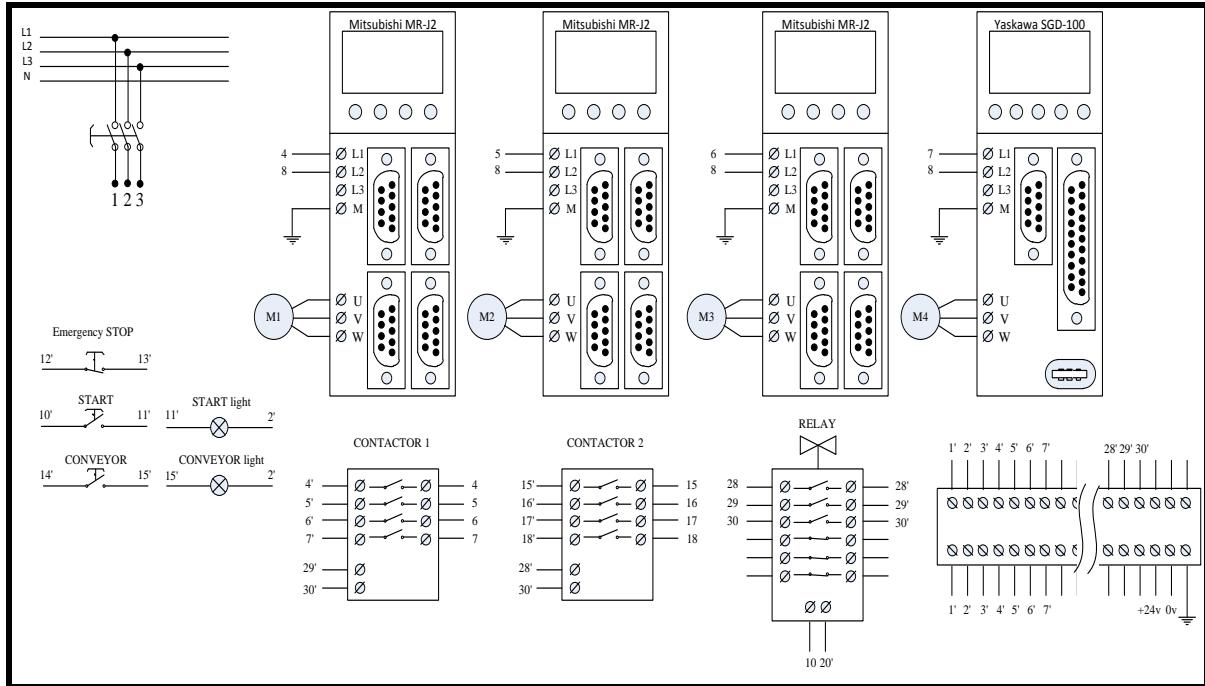
Trong hệ thống robot song song, không chỉ riêng các cánh tay được điều khiển điện, hệ thống còn bao gồm các thành phần phụ trợ khác, bao gồm: động cơ cho băng chuyền, các cảm biến, công tắc hành trình. Việc kết hợp này đảm bảo cho robot có một hệ thống hoàn chỉnh. Ngoài ra, nó còn giúp phát huy được khả năng của robot cũng như đảm bảo độ chính xác và tính ổn định cho toàn hệ thống.

Động cơ băng chuyền là một thành phần không thể thiếu trong hệ thống gấp đặt của robot song song Delta. Đối tượng gấp đặt sẽ nằm trên băng chuyền, vì vậy, yêu cầu là phải đảm bảo băng chuyền hoạt động ổn định. Do đó, với phương án thiết kế đã nêu ở chương 2, đề tài chọn băng chuyền vận hành bằng một động cơ điện DC 24V, có gắn encoder để điều khiển vận tốc. Ngoài ra, mạch điều khiển băng chuyền cũng phải có chức năng đảo chiều quay động cơ giúp đảo chiều chạy của băng chuyền, để linh hoạt trong nhiều mục đích sử dụng khác nhau.

Để đảm bảo robot hoạt động chính xác và ổn định, robot song song Delta cũng được trang bị các cảm biến, công tắc hành trình. Các cảm biến và công tắc hành trình không chỉ có nhiệm vụ nhận biết vị trí Home cho các cánh tay mà còn đảm bảo tính an toàn cho chúng, các cảm biến được gắn ở vị trí cao nhất của 3 cánh tay và vị trí Home của bậc tự do xoay thứ 4. Cảm biến được sử dụng trong đề tài là cảm biến tiệm cận dùng từ trường, việc sử dụng cảm biến loại này đảm bảo tính chính xác hơn so với sử dụng các công tắc hành trình thông thường vì tín hiệu cảm biến không bị dội, giảm tối thiểu khả năng nhiễu

do ảnh hưởng của hệ thống. Tín hiệu cảm biến được đưa về mạch điều khiển trung tâm để điều khiển robot về vị trí Home. Hiệu điện thế dùng cho cảm biến là 12VDC.

Sơ đồ đi dây mạch động lực được trình bày trong **hình 2.2**.



Hình 2.2: Sơ đồ đi dây mạch động lực.

Ngoài ra, hệ thống điều khiển còn tương tác với người dùng qua Panel điều khiển: Các nút nhấn START, STOP, CPU, E.STOP, công tắc điều khiển băng chuyền, Chuột, Bàn phím. Người dùng thao tác trực tiếp trên bảng điều khiển: khởi động và tắt hệ thống bằng các nút nhấn, công tắc tay gạt.

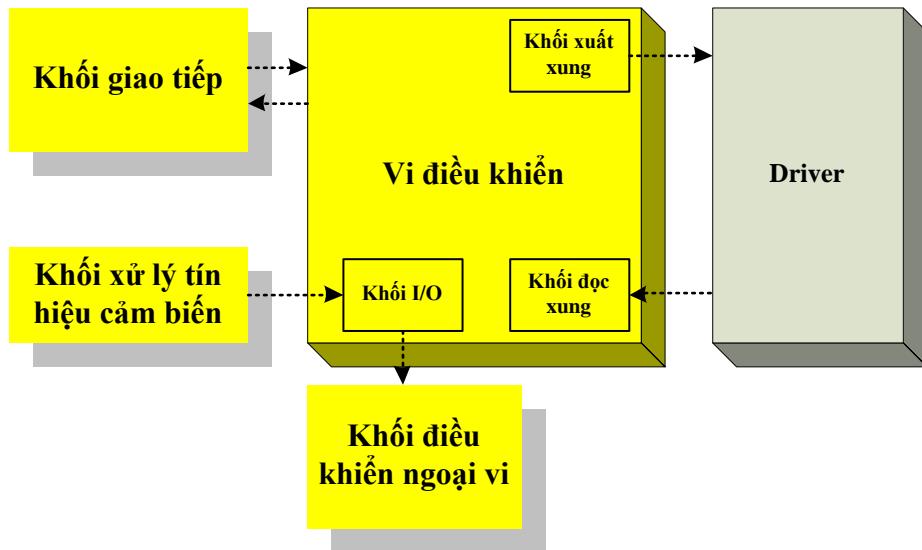
2.2 Thiết kế mạch điện điều khiển trung tâm.

2.2.1 Tổng quan về mạch điều khiển.

Mạch điều khiển trung tâm với nhiệm vụ chính là giao tiếp với máy tính và thực hiện điều khiển bộ driver, giao tiếp với các thiết bị ngoại vi. Mạch điều khiển trung tâm gồm 4 module chính: Module giao tiếp với máy tính, Module vi điều khiển trung tâm, module công suất cung cấp tín hiệu điều khiển động cơ và các cơ cấu chấp hành khác, module thu thập dữ liệu cảm biến, công tắc hành trình,...

2.2.2 Các module của mạch điều khiển trung tâm.

Sau đây là sơ đồ các và nguyên lý các khói trong mạch điều khiển trung tâm:



Hình 2.3: Các module của mạch điện điều khiển trung tâm.

Mạch điện điều khiển trung tâm bao gồm các khối sau:

Khối giao tiếp máy tính: Có nhiệm vụ trao đổi dữ liệu giữa vi điều khiển và máy tính. Dữ liệu đó có thể là: Chuỗi lệnh mang thông tin về số xung và tần số xung, các lệnh về Home, các lệnh đọc tín hiệu cảm biến, cơ cấu chấp hành,....

Khối xử lý tín hiệu cảm biến: Khối này làm nhiệm vụ chuyển tín hiệu cảm biến về mức điện áp thích hợp cho vi điều khiển có thể đọc được.

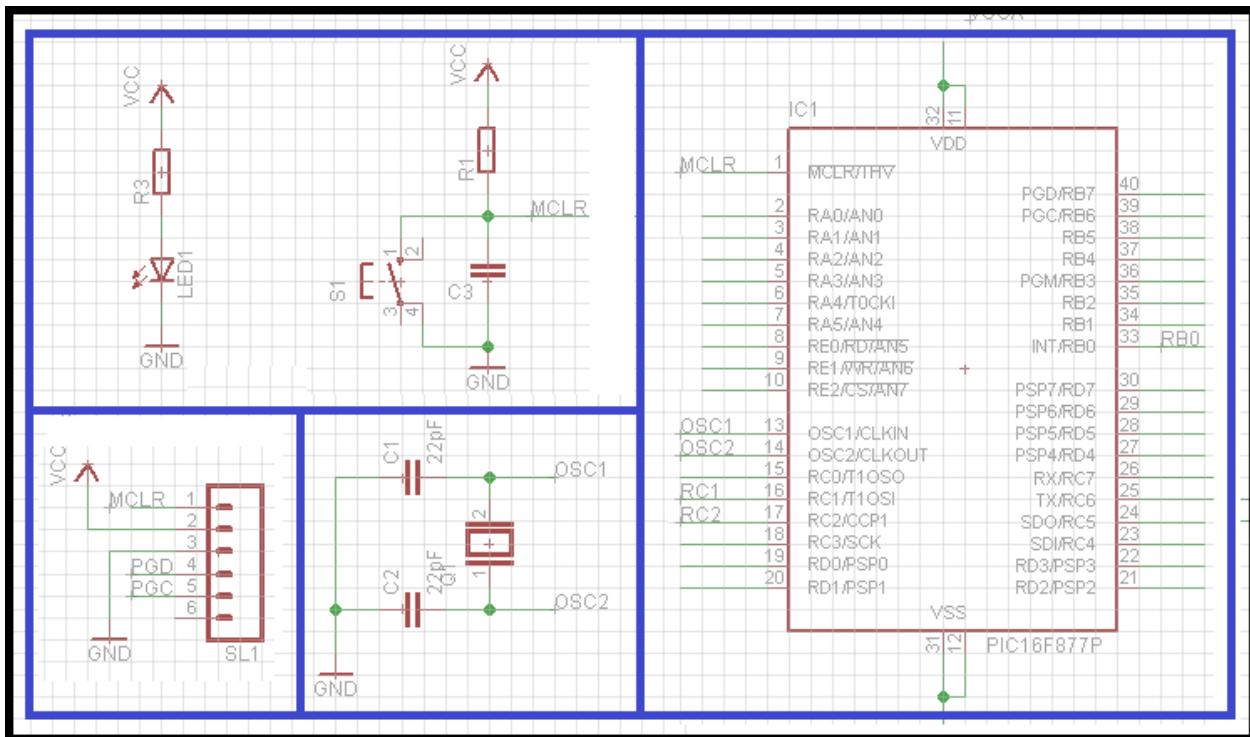
Khối điều khiển ngoại vi: Có nhiệm vụ nhận mức logic 0/1 từ vi điều khiển để điều khiển các thiết bị, cơ cấu chấp hành thông qua việc điều khiển relay.

Vi điều khiển: là trung tâm xử lý tín hiệu và điều khiển. Nó bao gồm nhiều khối nhỏ khác nhau, mỗi khối trong nó thực hiện một nhiệm vụ nhất định.

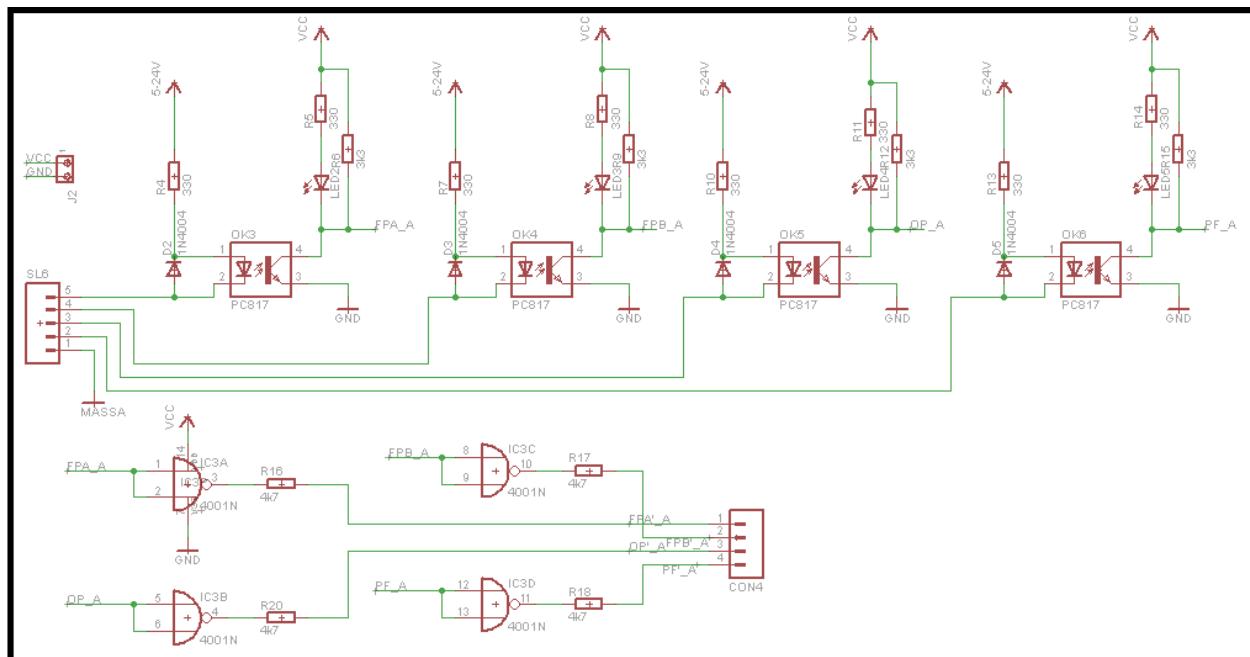
+ **Khối xuất xung:** Dựa vào thông tin giải mã chuỗi lệnh nhận được từ máy tính qua khối giao tiếp, khối xuất xung thực hiện nhiệm vụ tạo ra xung với tần số mong muốn qua các module tạo xung trong vi điều khiển (Đề tài này sử dụng Timer 1 để tạo xung)

+ **Khối I/O:** Khối này đơn thuần chỉ là xuất và nhận tín hiệu có mức logic 0/1 tương ứng với 0v/5v

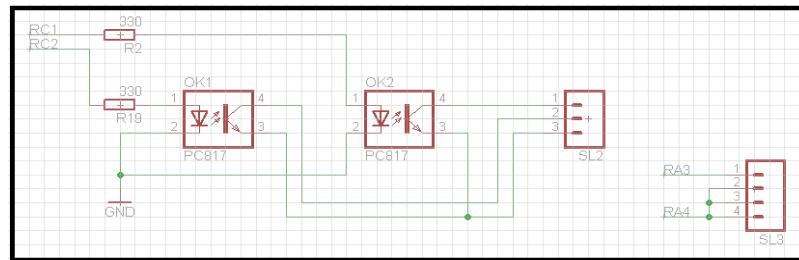
+ **Khối đọc xung:** có nhiệm vụ đọc xung trả về từ bộ Driver và có thể gửi lên máy tính qua khối giao tiếp bất cứ lúc nào được yêu cầu.



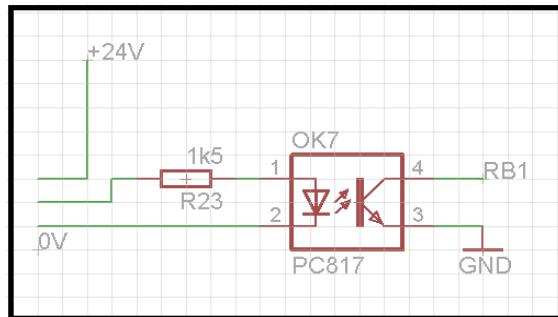
Hình 2.4: Khối vi điều khiển.



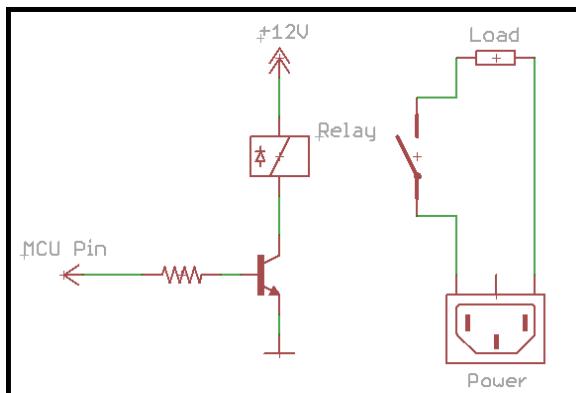
Hình 2.5: Khối nhận xung hồi tiếp từ Driver.



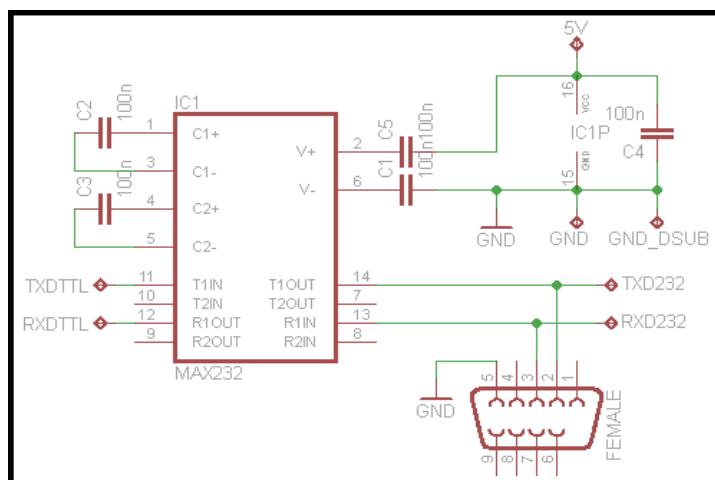
Hình 2.6: Khối xuất xung điều khiển Driver.



Hình 2.7: Khối đọc tín hiệu cảm biến.



Hình 2.8: Khối xuất tín hiệu số điều khiển ngoại vi.



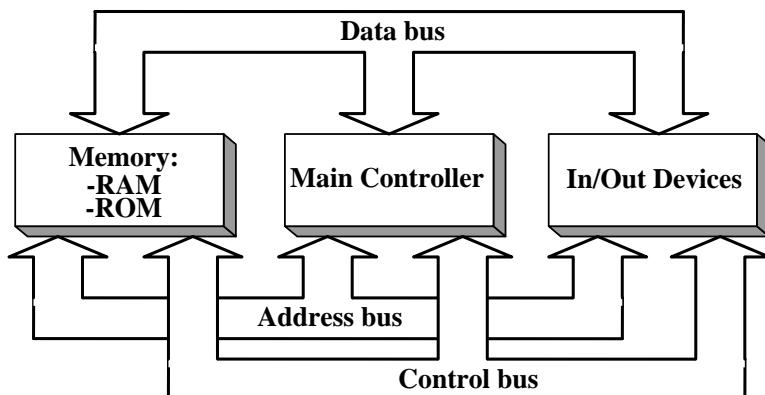
Hình 2.9: Khối giao tiếp máy tính chuẩn RS-232.

2.3 Cấu trúc bộ điều khiển.

2.3.1 Tổng quan về bộ điều khiển.

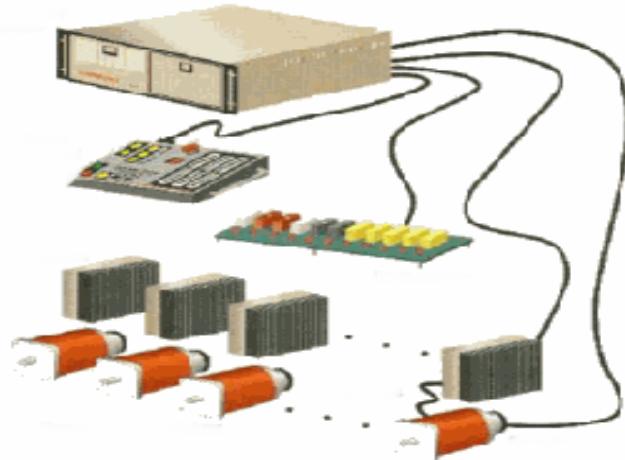
Bộ điều khiển thường cấu thành từ các bộ phận cơ bản tương tự như máy tính bao gồm bộ xử lý trung tâm, bộ nhớ và bộ xuất/nhập kết hợp với màn hình để hiển thị các lệnh khi lập trình và đồng thời theo dõi sự thay đổi tọa độ trong dịch chuyển của các khâu. Toàn bộ các phần nói trên được bố trí bên trong tủ điều khiển chính và được sắp xếp theo từng mô đun gồm các bo mạch điện tử. Bên cạnh đó, để lập trình một cách thuận tiện, các nhà chế tạo thường bố trí một pa-nen kết nối song song - còn gọi là bộ Teach Pendant - với bộ điều khiển gồm một hộp được bố trí bên trong là một bo mạch kết nối trực tiếp với bộ xuất/nhập và bên ngoài gồm các nút nhấn để thực hiện các thao tác điều khiển trực tiếp chuyển động của các trục trong chế độ lập trình huấn luyện (Teaching mode). Đôi khi trong cấu hình của bộ điều khiển còn được trang bị thêm một bộ điều khiển mô phỏng (Simulator) để hỗ trợ thêm cho quá trình lập trình.

Hình 2.10 trình bày sơ đồ khối đơn giản nhất của bộ điều khiển - đó là một thiết bị có cấu trúc tương tự như máy tính thực thụ bao gồm các phần như sau:



Hình 2.10: Bộ điều khiển robot theo cấu trúc PC-based.

- + Một hay nhiều bộ vi xử lý tương đương với một bộ xử lý trung tâm.
- + Bộ nhớ chứa chương trình chính do nhà sản xuất viết. Trong đó các chương trình chi tiết và dữ liệu nhập vào được thực hiện bởi người sử dụng.
- + Thiết bị xuất/nhập để máy tính nhận thông tin từ các bộ phận hỗ trợ lập trình, từ các cảm biến và chuyển tín hiệu điều khiển đến các cơ cấu tác động vận hành các trục và đến các phần tử chấp hành bên ngoài có liên quan trong quá trình hoạt động của robot cũng như trao đổi thông tin, dữ liệu với các máy tính và bộ điều khiển khác.

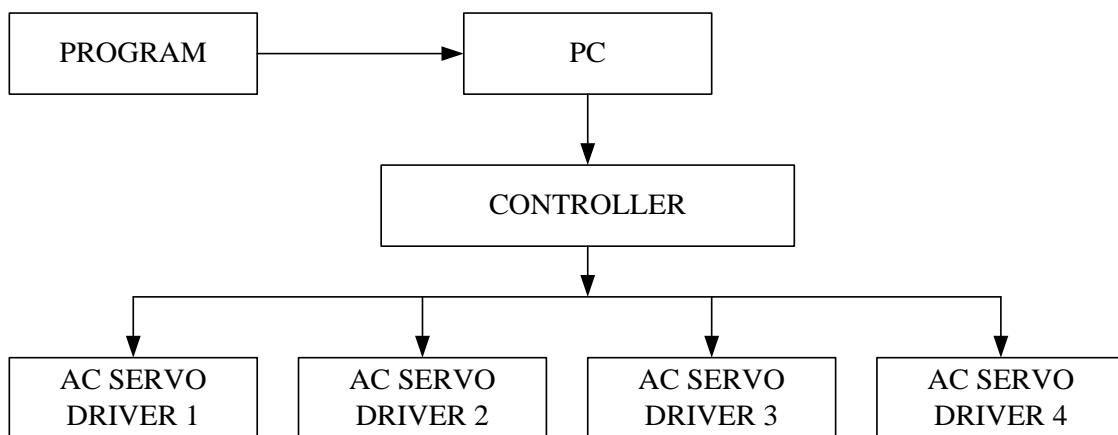


Hình 2.11: Các thành phần tối thiểu cho một bộ điều khiển.

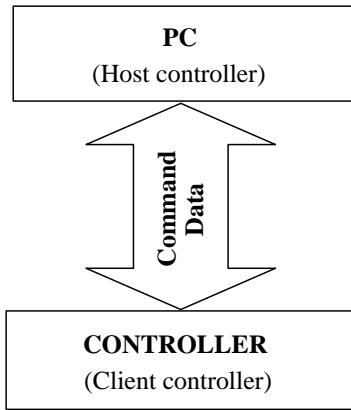
Đối với những bộ điều khiển theo cấu trúc PC-based, bộ xử lý trung tâm sẽ do phần mềm đảm nhiệm. Tuy nhiên để nâng cao tính năng của bộ xử lý (thực hiện chức năng nội suy), thì cần dùng các mạch phần cứng hỗ trợ thêm. **Hình 2.11** thể hiện các thành phần của bộ điều khiển.

2.3.2 Sơ đồ tổng quát về nguyên lý hoạt động của bộ điều khiển.

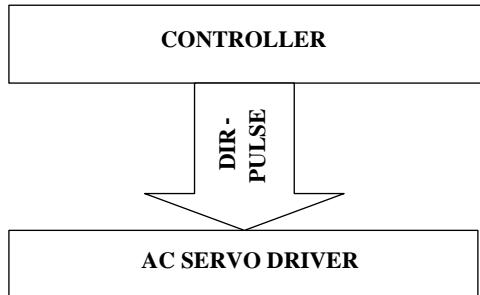
Bộ điều khiển của robot song song bao gồm nhiều thành phần khác nhau. Mục tiêu quan trọng nhất trong bộ điều khiển chính là điều khiển các động cơ trực chính của robot. Các tín hiệu điều khiển robot xuất phát từ phần mềm máy tính, chuỗi lệnh được gửi xuống bộ điều khiển bao gồm lệnh về điều khiển vị trí và vận tốc động cơ, lệnh về điều khiển các thiết bị ngoại vi như băng chuyền, các van khí nén,... Dòng dữ liệu truyền từ máy tính đến bộ điều khiển và ngược lại được trình bày trong **hình 2.12, 2.13 và 2.14**:



Hình 2.12: Sơ đồ khái quát của hệ thống kết nối điều khiển.



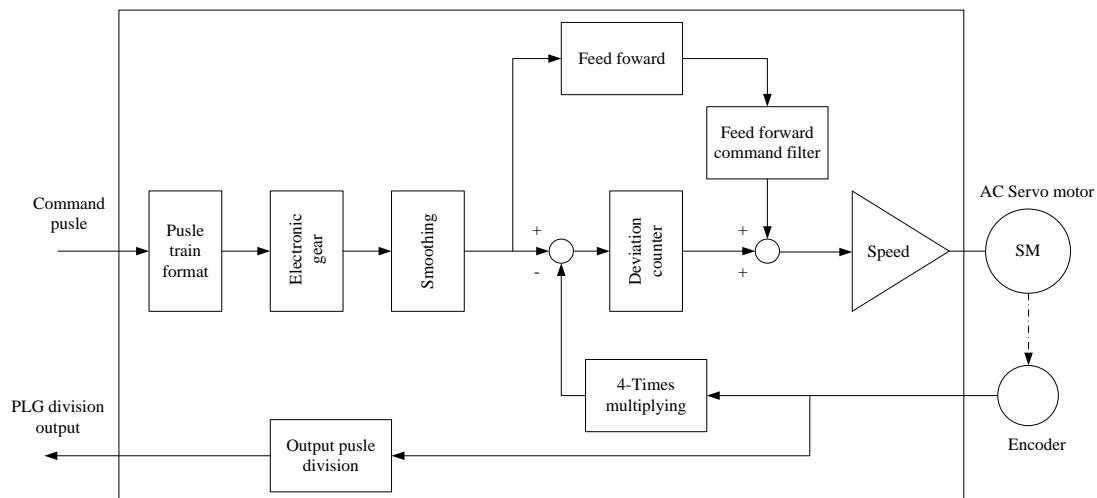
Hình 2.13: Sơ đồ giao tiếp điều khiển giữa Host Controller và Client Controller.



Hình 2.14: Sơ đồ giao tiếp điều khiển giữa XYZ Controller và AC Servo Driver.

Sau khi nhận dữ liệu từ PC bộ điều khiển XYZ Controller giải mã các dữ liệu trên và gửi ra dưới dạng xung DIR và PULSE và gửi ra AC Servo Driver. (hình 2.13 và 2.14).

Hình 2.15 trình bày sơ lược về hệ thống xử lý tín hiệu điều khiển bên trong bộ điều khiển động cơ AC Servo.



Hình 2.15: Sơ đồ khái niệm cho điều khiển vị trí của Servo driver.

Có thể nói, bộ điều khiển servo driver có một số ưu điểm nhất định như hoạt động theo chế độ điều khiển vị trí (Dir – Pulse), điều khiển vận tốc, điều khiển moment,... Bên trong có bộ đệm xung (làm mềm các chuyển động gián đoạn do quá trình điều khiển gây ra) nhằm đạt tốc độ nhận xung cao nhất. Ngoài ra, Driver còn trang bị bộ PID và bộ bù xung thông minh giúp cho việc điều khiển dễ dàng, chính xác và mềm mại.(**hình 2.15**).

2.4 Vi điều khiển.

2.4.1 Tổng quan về vi điều khiển.

Tại các chương trước, chúng ta đã bàn về hệ thống điều khiển cho robot song song dạng Delta. Trong đó, bộ điều khiển bao gồm PC và mạch điều khiển trung tâm. Mạch điều khiển trung tâm có nhiệm vụ điều khiển động cơ và xử lý các tín hiệu cảm biến,... về cho PC. Trong đó, vi điều khiển đóng một vai trò quan trọng, là con tim của mạch điều khiển trung tâm. Phần này trình bày về các module trong một vi điều khiển, bao gồm các module định thời Timer/Counter, module tạo xung, cũng như các module ngắt ngoài xử lý các tín hiệu ngoại vào, ngoại ra đảm bảo robot hoạt động linh hoạt và chính xác.

2.4.2 Các module của một vi điều khiển.

a. Timer/Counter

Timer/Counter là các mô đun độc lập với CPU. Chức năng chính của các bộ Timer/Counter là định thời (tạo ra một khoảng thời gian, đếm thời gian...) và đếm sự kiện. Trên các chip PIC, các bộ Timer/Counter còn có thêm chức năng tạo ra các xung điều rộng PWM, ở một số dòng PIC, một số Timer/Counter còn được dùng như các bộ canh chỉnh thời gian trong các ứng dụng thời gian thực.

Các bộ Timer/Counter được chia theo độ rộng thanh ghi chứa giá trị định thời hay giá trị đếm của chúng, cụ thể trên chip PIC16F887 có hai bộ Timer 8 bit và một bộ 16 bit. Trong đề tài sử dụng bộ Timer/Counter 1 (16 bit) để tạo ra xung vuông có thể điều chỉnh được tần số xung phát, dùng cho việc điều khiển AC Driver.

b. Ngắt ngoài

Interrupts, thường được gọi tắt là ngắt, là một tín hiệu khẩn cấp gửi đến bộ xử lý, yêu cầu bộ xử lý tạm dừng tức khắc các hoạt động hiện tại để nhảy đến một nơi khác thực hiện một nhiệm vụ khẩn cấp nào đó, nhiệm vụ này gọi là trình phục vụ ngắt. Ngắt ngoài dùng trong đề tài nhằm phát hiện tín hiệu xung cũng như tín hiệu từ cảm biến từ 4 bộ Driver để thực hiện nhiệm vụ cho bàn máy về vị trí Home.

PIC16F887 cung cấp cho người điều khiển 8 chân ngắt ngoài:

- + Ngắt INT nằm ở pin RB0
- + Ngắt On-change ở pin RB1-RB7

2.4.3 Truyền thông giữa máy tính và vi điều khiển:

Việc giao tiếp giữa phần mềm điều khiển trên máy tính với các vi điều khiển, trong trường hợp này máy tính đóng vai trò là Master điều khiển và giám sát hoạt động của 6 vi điều khiển Slave, qua đó điều khiển các biến khớp của cánh tay máy.

Để có thể thực hiện việc truyền thông giữa máy tính và các vi điều khiển, nhóm nghiên cứu sử dụng phương thức truyền UART nối tiếp 8 bit theo kiểu Master-Slave. Các Slave sẽ được mã hóa một ký tự riêng để thiết lập địa chỉ cho mình, trong quá trình truyền thông thì khi Master gửi lệnh xuống tất cả các Slave đều nhận được lệnh, tuy nhiên Master sẽ gửi kèm theo địa chỉ sau khi kết thúc lệnh muốn gửi. Do đó chỉ có Slave đúng địa chỉ mới thực hiện những lệnh mà Master yêu cầu.

Khi các Slave muốn gửi lên Master (Điển hình ở đây là gửi lên giá trị hồi tiếp Encoder của động cơ) thì tại một thời điểm chỉ có truyền thông giữa Master và một Slave duy nhất. Master gọi Slave nào thì Slave đó thực thi việc gửi tín hiệu lên Master. Lưu ý ở đây là các Slave không thể nói chuyện được với nhau, mọi liên lạc nhất thể phải thông qua Master.

Hệ điều khiển tay máy robot Delta bao gồm 4 vi điều khiển 16F887 dùng để điều khiển 4 khớp tay máy, 1 vi điều khiển sử dụng để điều khiển băng chuyền và nhận các tín hiệu cảm biến, tín hiệu hoàn tất xuất xung,....

Nhiệm vụ của hệ thống như sau:

Điều khiển vận tốc và vị trí của các trục thông qua điều khiển số xung xuất ra và tần số xung xuất.

Nhận tín hiệu hồi tiếp từ Encoder gửi lên máy tính để theo dõi quá trình điều khiển.

Nhận tín hiệu trả về từ các cảm biến để xác định vị trí Home của tay máy

Giao tiếp với máy tính qua cổng COM port sử dụng giao thức RS-232, nhằm gửi tín hiệu điều khiển các động cơ thông qua phần mềm được thiết kế trên máy tính.

c. Bộ truyền nhận dữ liệu USART

Thuật ngữ USART (The Universal Synchronous and Asynchronous serial Receiver and Transmitter) nghĩa là bộ truyền nhận nối tiếp tổng hợp đồng bộ và bất đồng bộ, thường được ứng dụng trong việc kết nối nhiều vi điều khiển hoặc vi điều khiển và máy tính với nhau. USART được dùng trong đề tài nhằm thực hiện việc giao tiếp, trao đổi dữ liệu giữa các vi điều khiển với máy tính.

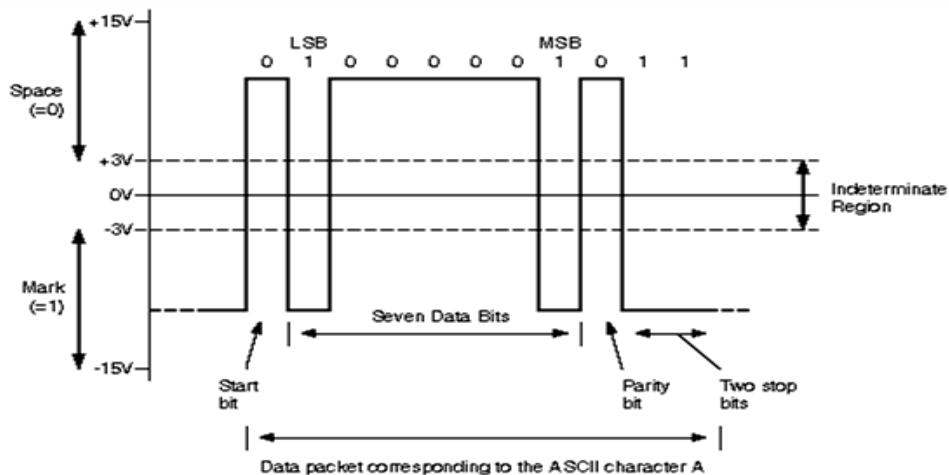
Tín hiệu từ chip USART thường theo mức TTL: mức logic cao là 5V, mức thấp là 0V. Trong khi đó, tín hiệu theo chuẩn RS232 trên máy tính cá nhân thường là -12V cho mức logic cao và +12V cho mức logic thấp. Chuẩn RS232 (hay COM) trên các máy tính cá nhân là sự kết hợp của chip USART và chip chuyển đổi mức điện áp (cụ thể Max232).

d. Khái niệm chung chuẩn RS-232.

Giao tiếp RS-232 là giao tiếp nối tiếp bất đồng bộ (asynchronous receiver transmitter), chậm hơn so với giao tiếp nối tiếp đồng bộ vì mỗi khung truyền bao gồm thêm Start bit để bắt đầu khung truyền, Stop bit để kết thúc và vì là bất đồng bộ nên tốc độ không thể đẩy lên quá cao được như nối tiếp đồng bộ. Giữa Start bit và Stop bit là các bit data và bit kiểm ra chẵn lẻ (Parity bit).

Vì là bất đồng bộ nên có thể chấp nhận một sai số nhất định trong khi truyền nếu thạch anh không phù hợp.

Giản đồ một khung truyền của giao thức RS 232 như sau:



Hình 2.16: Các mức Logic của cổng RS232.

e. Đặc tính kỹ thuật của chuẩn RS-232.

Các yêu cầu về điện được qui định trong RS-232C như sau:

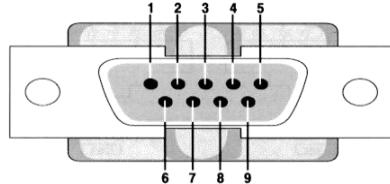
- +Mức logic 1: nằm trong khoảng -3V đến -12V
- +Mức logic 0: nằm trong khoảng +3V đến +12V
- +Tốc độ truyền/nhận dữ liệu cực đại là 100 Kbit/giây.
- +Các lối vào của bộ nhận phải có điện dung nhỏ hơn 2,500 pF.

+Độ dài của cáp nối giữa máy tính và thiết bị ghép nối qua cổng nối tiếp không được vượt quá 15m nếu không sử dụng modem.

+ Các giá trị tốc độ truyền dữ liệu chuẩn là: 50, 75, 110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 28800, ..., 56600, 115200 kbps.

Điểm lưu ý là máy tính sử dụng RS232 ở mức điện áp CMOS, còn PIC lại sử dụng ở mức điện áp TTL. Như vậy cần phải có sự chuyển đổi mức điện áp phù hợp.

f. Sơ đồ chân trên máy tính.



Hình 2.17: Cổng COM máy tính.

Có hai kiểu đầu nối được sử dụng cho cổng nối tiếp RS-232 là loại 25 chân và 9 chân. Trong đề tài này sử dụng loại 9 chân, còn gọi là đầu DB9. Sơ đồ chân như sau:

Bảng 2.1: Mô tả các chân cổng COM máy tính.

STT	Tên chân	Chức năng chân
3	TxD – Transmit data	Truyền dữ liệu
2	RxD – Receive data	Nhận dữ liệu
7	RTS – Request to send	Yêu cầu gửi
8	CTS - Clear to send	Xóa để gửi
5	SG - Signal Ground	Mass tín hiệu
1	DCD - Data carrier detect	Phát tín hiệu mang dữ liệu
4	DRT - Data terminal	Đầu cuối sẵn sàng
9	RI - Ring Indicate	Báo chuông
--	FG – Frame Ground	Đất vỏ máy, dây bọc kim

Trong đó quan trọng nhất là 2 chân TxD và RxD các chân còn lại chỉ đóng vai trò phụ trợ cho việc truyền nhận dữ liệu. Chuẩn giao tiếp nối tiếp bất đồng bộ sử dụng trong đề tài là RS-232 với định dạng khung truyền phổ biến là:

+ Tốc độ Baud = 9600 bps

+ 1 Start bit

+ 8 bit data

+0 bit chẵn lẻ

+1 Stop bit

Nếu trong quá trình truyền bị nhiễu quá nhiều, có thể là do nhiễu từ các thiết bị điện xoay chiều trong hệ thống trùng với tần số dao động của đường truyền, ta có thể thay đổi tốc độ Baudrate (ví dụ: 11200 bps....) để tránh hiện tượng nhiễu.

g. Điều khiển vận tốc và vị trí động cơ.

Vị trí của động cơ được điều khiển bằng cách cấp đúng số xung vuông cần thiết để trực động cơ đạt được vị trí mong muốn.

Vận tốc của động cơ được điều khiển kết hợp với vị trí, theo đó, với số xung cần cấp, vận tốc cấp xung nhanh hay chậm, hay còn gọi là tần số phát xung nhanh hay chậm sẽ tỉ lệ thuận với vận tốc của trực động cơ.

- Khi gửi dữ liệu xuống các vi điều khiển, cần phải mã hóa dữ liệu để các vi điều khiển phân biệt được các dữ liệu nào là của vi điều khiển nào. Cách mã hóa dữ liệu như sau:

- Trước tiên cần phải mã hóa chuỗi dữ liệu sao cho vi điều khiển phân biệt được đâu là dữ liệu mà máy tính gửi đến cho mình. Cấu trúc mã hóa như sau:

[chuỗi lệnh cần gửi][mã vi điều khiển]

Trong đó:

[chuỗi lệnh cần gửi]: những thông số, lệnh cần gửi

[mã vi điều khiển]: là các chữ cái A >> Z. Ký tự ứng với từng vi điều khiển

Ví dụ: [lệnh 1]q : gửi lệnh 1 cho vi điều khiển thứ 1

[lệnh 2]w : gửi lệnh 2 cho vi điều khiển thứ 2

- Tiếp theo là mã hóa các thông tin số, giúp vi điều khiển phân biệt được đâu là giá trị vận tốc, vị trí, ... Cấu trúc mã hóa như sau:

[số liệu của thông tin][mã dạng thông tin]

- Trong đó: mã dạng thông tin gồm:

“p” : vị trí góc quay (tính theo xung)

“v” : vận tốc quay.

Ví dụ : 50v120p : gửi vận tốc là 50 và số xung là 120.

50v120pq: gửi vận tốc là 50 và số xung là 120 xuống vi điều khiển thứ nhất

- Ngoài ta còn có một số lệnh đặc biệt :

hq hw he hr: lệnh gọi tất cả về vị trí Home

%[x]: lệnh yêu cầu vi điều khiển X gửi dữ liệu lên cho máy tính

Giả sử cần động cơ 1 quay một góc 90 độ (tương ứng 1800 xung) với vận tốc 200, động cơ 2 quay 45 độ (900 xung) với vận tốc 150, động cơ 3 quay 60 độ (1200 xung) với vận tốc 180, ta gửi mã lệnh như sau "200v1800pq150v900pw180v1200pe" (với "q": mã ký tự cho động cơ 1, "w" cho động cơ 2, "e" cho động cơ 3, "r" cho động cơ 4)

Khi cần về vị trí **Home** cho tất cả các động cơ, chuỗi lệnh gửi xuống vi điều khiển sẽ là "hqwhehr". Đối với những góc quay ngược chiều kim đồng hồ, ta thêm dấu '-' đằng trước thông số xung.

Như vậy, bài toán về thiết kế phần điện - điều khiển cho robot song song Delta đã được trình bày một cách khái quát. Ở chương 2, đề tài đã phân tích cấu hình của robot song song, cách tính chọn động cơ,... Hơn nữa, chương 3 này đã thiết kế được phần điện - điều khiển cho robot, mục đích là điều khiển chuyển động của các cánh tay robot đã được tính toán tối ưu, giúp hệ thống linh hoạt hơn. Kết thúc chương này, đề tài đã nêu được cấu trúc phần cứng cho robot bao gồm phần cơ khí và điện. Chương kế tiếp sẽ trình bày cụ thể hơn về phần mềm của hệ thống và cách mà nó tạo quỹ đạo di chuyển cho robot.

CHƯƠNG 3 : QUỸ ĐẠO VÀ CẤU TRÚC PHẦN MỀM

Tại các chương trước, báo cáo đã chỉ ra các phương án thiết kế hệ thống cơ khí và điện - điều khiển cho robot song song Delta. Các thiết kế này là tiền đề để tạo nên phần cứng cho robot. Tiếp đến, trong chương này sẽ trình bày phương án thiết kế quỹ đạo và nội suy cho các chuyển động của robot cũng như cấu trúc phần mềm của hệ điều khiển robot song song Delta nhằm cung cấp cái nhìn tổng quát cũng như cụ thể về từng thành phần trong cả hệ thống robot.

3.1 Bài toán Quỹ đạo và nội suy.

3.1.1 Tổng quan về bài toán quỹ đạo.

Khi sử dụng các phương trình chuyển động của robot, chúng ta có thể xác định vị trí của robot dựa vào các biến khớp, hoặc ta có thể xác định các biến khớp dựa vào vị trí và hướng của đầu công tác cuối. Việc lập đường đi và quỹ đạo có liên quan đến cách mà robot di chuyển từ vị trí này sang vị trí khác với một thuật toán cho trước.

Có rất nhiều phương pháp lập trình cho bài toán này với mục đích là tạo quỹ đạo di chuyển giữa các đoạn nhỏ được chia trước, giữa các quỹ đạo theo đường thẳng, hoặc các quỹ đạo tuần tự. Việc lập đường đi và quỹ đạo yêu cầu phải sử dụng cả bài toán động học và động lực học của robot.

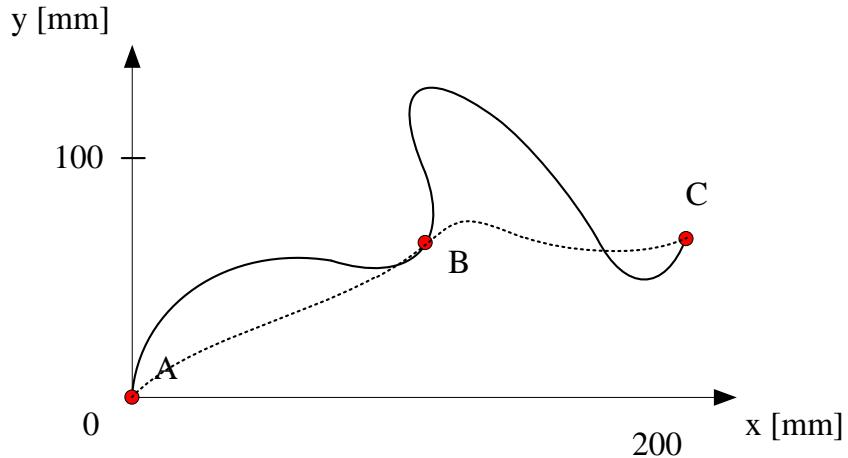
Đường đi và quỹ đạo:

Đường đi được định nghĩa là một chu trình quỹ đạo tuần tự của robot độc lập với biến thời gian. Vì thế, nếu robot di chuyển từ điểm A sang điểm B sang điểm C như hình 4.7. Thì đoạn đường di chuyển từ A đến B và đến C là một đường đi. Ngược lại, quỹ đạo lại liên quan đến con đường di chuyển của robot nhưng có kèm theo biến thời gian. Ví dụ như trong bài toán quỹ đạo, bất kể khi nào đạt được vị trí B và C, thì đường đi là như nhau. Trong khi đó, dựa vào bài toán vận tốc và gia tốc, các điểm B và C có thể đạt được vào các thời điểm khác nhau, tạo nên các quỹ đạo khác nhau.

Do đó, trong điều khiển chính xác, ta sẽ chọn phương án giải bài toán quỹ đạo với hàm vị trí, vận tốc và gia tốc theo biến thời gian.

Quỹ đạo là một đường đi mà vật thể di chuyển trong không gian. Trong lĩnh vực robot, vật thể có thể là đầu công tác cuối của một dạng robot nối tiếp hay song song. Quỹ đạo có thể được mô tả bằng phương pháp toán học hay phương pháp hình học, hoặc sự thay đổi tọa độ của vật thể qua thời gian. Có một vài thông số cần xác định khi tạo quỹ đạo cho robot. Lấy ví dụ, nếu quỹ đạo di chuyển là tuyến tính, bậc 3 hay bậc 5, ta cần xác

định các thông số như vận tốc đầu, vận tốc cuối, vận tốc tối đa,... Sau đó, quỹ đạo di chuyển của robot sẽ được tính toán thông qua quá trình nội suy. Như vậy, quỹ đạo của robot phải bao gồm các thông số vận tốc, gia tốc và vị trí.



Hình 0.1: Các đường đi của robot

3.1.2 Bài toán quỹ đạo trong robot song song.

a. Quỹ đạo với vận tốc đầu và cuối cho trước.

Một cách để tạo quỹ đạo mượt cho robot, ví dụ tọa độ của robot theo thời gian được xác định theo đa thức. Trong trường hợp này, các hệ số có thể là vận tốc đầu và cuối của đầu công tác. Giả sử X là vector biểu diễn hệ trục tọa độ (x,y,z) của đầu công tác cuối, t_0 là thời điểm bắt đầu chuyển động.

$$X(t_0) = X_0 \quad (3.1)$$

$$\dot{X}(t_0) = \dot{X}_0 \quad (3.2)$$

Và t_f là thời điểm ở cuối chuyển động.

$$X(t_f) = X_f \quad (3.3)$$

$$\dot{X}(t_f) = \dot{X}_f \quad (3.4)$$

Giả sử nội suy theo hàm bậc 3, ta cần xác định 4 hệ số của đa thức sao cho thỏa mãn hàm:

$$X_d(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 \quad (3.5)$$

Trong đó $X_d(t)$ là tọa độ (x,y,z) của đầu công tác tại thời điểm t

Hàm vận tốc được xác định bằng cách đạo hàm theo biến t phương trình hàm vị trí:

$$\dot{X}_d(t) = a_1 + 2a_2t + 3a_3t^2 \quad (3.6)$$

Và cuối cùng là hàm gia tốc, là đạo hàm của hàm vận tốc theo biến t

$$\ddot{X}_d(t) = 2a_2 + 6a_3t \quad (3.7)$$

Kết quả là 4 hệ số của quá trình nội suy bậc 3 được xác định bằng cách giải hệ 3 phương trình trên.

Cuối cùng, khi biết t_f và t_0 , thay vào hàm vị trí, ta có:

$$X_d(t) = a_0 + a_1(t - t_0) + a_2(t - t_0)^2 + a_3(t - t_0)^3 \quad (3.8)$$

Trong đó,

$$a_0 = X_0 \quad a_1 = \dot{X}_0$$

$$a_2 = \frac{3(X_1 - X_0) - (2\dot{X}_0 + \dot{X}_1)(t_f - t_0)}{(t_f - t_0)^4}$$

$$a_3 = \frac{2(X_0 - X_1) - (\dot{X}_0 + \dot{X}_1)(t_f - t_0)}{(t_f - t_0)^3}$$

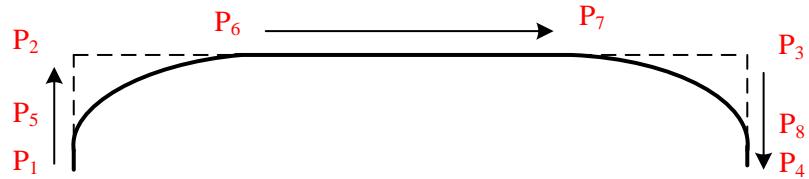
Kết quả này có thể được sử dụng để tạo quỹ đạo cho robot đi qua nhiều điểm khác nhau bằng cách thay thế giá trị đầu của chuyển động tại điểm thứ $i+1$ bằng giá trị cuối của chuyển động tại điểm thứ i .

b. Quỹ đạo gấp đặt

$$a = \begin{cases} a_{\max} \sin\left(\frac{4\pi}{T}t\right) & (0 \leq t \leq \frac{T}{8}) \\ a_{\max} & (\frac{T}{8} < t \leq \frac{3T}{8}) \\ a_{\max} \cos\left[\frac{4\pi}{T}\left(t - \frac{3T}{8}\right)\right] & (\frac{3T}{8} < t \leq \frac{5T}{8}) \\ -a_{\max} & (\frac{5T}{8} < t \leq \frac{7T}{8}) \\ -a_{\max} \cos\left[\frac{4\pi}{T}\left(t - \frac{7T}{8}\right)\right] & (\frac{7T}{8} < t \leq T) \end{cases}$$

Trong những ứng dụng công nghiệp, robot gấp đặt tốc độ cao thường sử dụng quỹ đạo như **hình 3.2**. Bao gồm 3 đoạn: $\overline{P_1P_2}(S_1)$, $\overline{P_2P_3}(S_2)$ và $\overline{P_3P_4}(S_3)$ với gia tốc được cho bởi công thức 4.7. Để cải thiện hiệu suất của robot, đoạn thứ 2 sẽ được bắt đầu tại P_5 và đoạn thứ 3 sẽ bắt đầu tại P_7 . Tiếp sau đó, robot sẽ chạy đến P_6 khi đoạn thứ nhất kết thúc, và

đến P_8 khi đoạn thứ 2 kết thúc (đường thẳng). P_5 là điểm giữa của P_1P_2 , và P_8 là điểm giữa của P_3P_4 .



Hình 3.2: Đường đi của robot

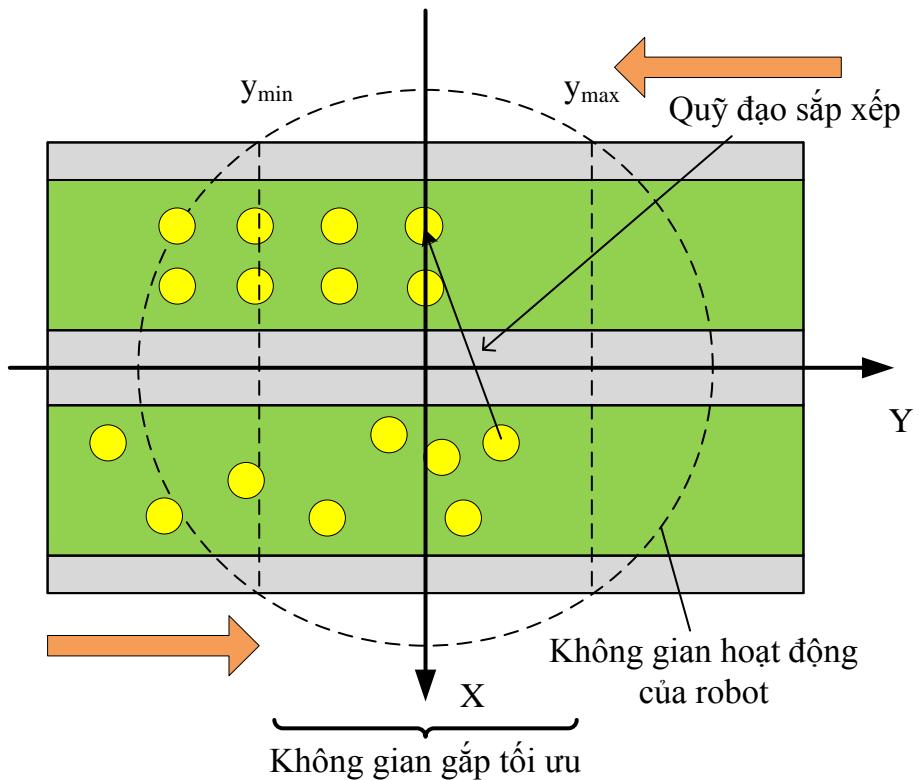
Trong đó a_{\max} là gia tốc lớn nhất của robot, T là tổng thời gian robot hoàn thành một đoạn. Ta có:

$$t = \frac{T_1}{2} + T_2 + \frac{T_3}{2} \quad (3.9)$$

Trong đó:

$$T_i = \sqrt{\frac{S_i}{(\frac{1}{8\pi} + \frac{1}{8})a_{\max}}} \quad (i = 1 - 3) \quad (3.10)$$

c. Vận tốc băng chuyền:



Hình 3.3: Điều khiển vận tốc băng chuyền

Trong dây chuyền sắp xếp tự động, mật độ các đối tượng trên băng chuyền khác nhau ở các thời điểm khác nhau. Do đó, băng chuyền phải di chuyển nhanh khi mật độ thấp, và chậm khi mật độ cao để nâng cao năng suất trong khi vẫn đảm bảo không bỏ sót một vật nào. **Hình 3.3** cho ta thấy vị trí của vật thể được sử dụng để tính toán vận tốc cho băng chuyền.

Giả sử vận tốc lớn nhất của băng chuyền là v_{\max} , (y_{\min}, y_{\max}) là không gian gấp tối ưu của robot (dựa vào không gian hoạt động của robot). Vị trí của vật thể mà robot sẽ gấp là (x, y) khi robot bắt đầu di chuyển, v_t là vận tốc của băng chuyền tại thời điểm này. Ta có:

$$v = \begin{cases} v_{\max} & (y \leq 0) \\ v_{\max} \frac{(y_{\max} - y)}{y_{\max}} & (0 < y \leq y_{\max}) \\ 0 & (y_{\max} < y) \end{cases} \quad (3.11)$$

Để giảm thiểu tác động bên ngoài làm thay đổi vận tốc của băng chuyền, ta sử dụng quy luật hình sine trong xử lý vận tốc. Gia tốc tối đa của băng chuyền là a'_{\max} , sẽ thay đổi từ v_1 đến v_2 ($v_2 > v_1$). Trong quá trình này, gia tốc của băng chuyền sẽ là:

$$a' = (1 + a'_{\max} \sin(\frac{2\pi t}{T'} + \frac{3\pi}{2})) \quad (3.12)$$

$$\text{Trong đó } T' = \frac{v_2 - v_1}{a'_{\max}}$$

d. Tính toán vị trí gấp

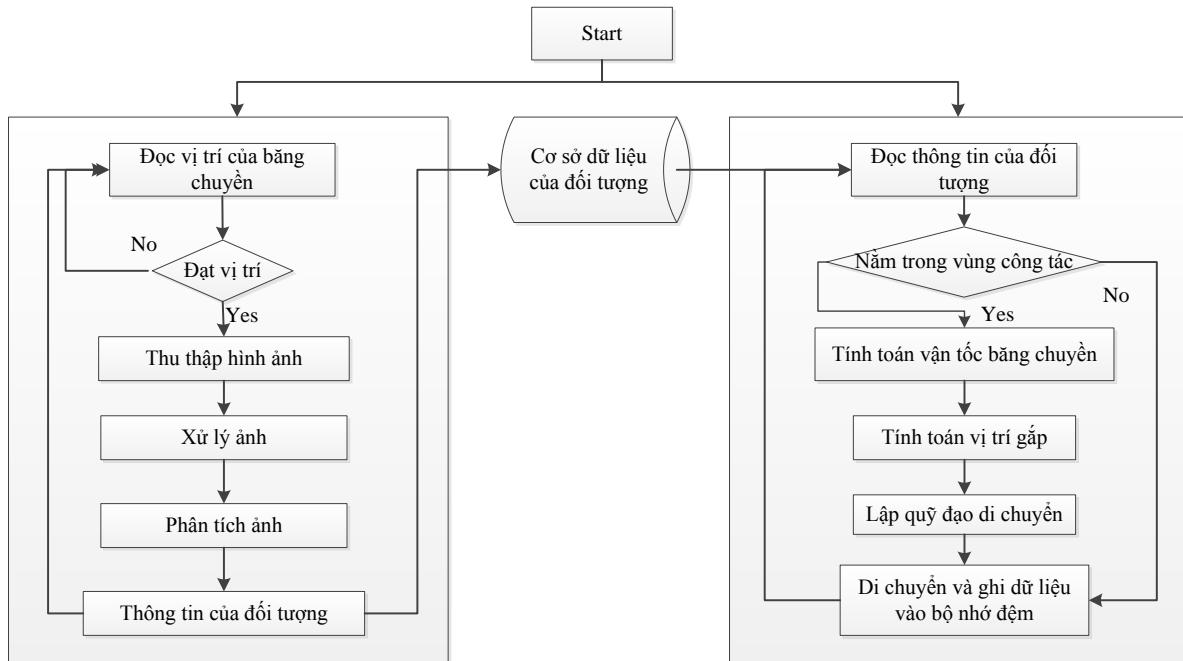
Với băng chuyền di chuyển dọc theo trục y, vì vậy vị trí theo thời gian thực sẽ là:

$$\begin{cases} x = x_n \\ y = y_n + \int_0^t v dt \end{cases} \quad (3.13)$$

Trong đó (x_n, y_n) là vị trí của vật tại thời điểm robot bắt đầu di chuyển đến nó, v là vận tốc của băng chuyền. Từ công thức 3.9 và 3.13, ta có:

$$y = y_n + \frac{v_2 + v_1}{2} \frac{v_2 - v_1}{a'_{\max}} + v_2 \left(\frac{1}{2} \sqrt{\frac{S_1}{(\frac{1}{8\pi} + \frac{1}{8})a_{\max}}} + \sqrt{\frac{\sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}}{(\frac{1}{8\pi} + \frac{1}{8})a_{\max}}} + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{S_3}{(\frac{1}{8\pi} + \frac{1}{8})a_{\max}}} - \frac{v_2 - v_1}{a'_{\max}} \right) \quad (3.14)$$

Hệ thống xử lý được mô tả theo lưu đồ sau:



Hình 3.4: Lưu đồ các bước xử lý của hệ thống.

Để đảm bảo hệ thống hoạt động ổn định, thông tin về đối tượng sẽ được trao đổi giữa hệ thống xử lý ảnh và hệ thống điều khiển. Thông tin về đối tượng được ghi vào hệ thống cơ sở dữ liệu. Hệ thống điều khiển sẽ đọc thông tin từ cơ sở dữ liệu và tính toán các thông số cần thiết cho quá trình gấp đặt.

3.1.3 Bài toán nội suy.

Nội suy đóng vai trò sinh ra dữ liệu vị trí để dịch chuyển các trục từ các khối dữ liệu tạo ra bởi bộ thông dịch. Nó là một trong những bộ phận quan trọng phản ánh độ chính xác của hệ điều khiển. Trong mục này, các loại nội suy khác nhau được giới thiệu một cách cơ bản. Ưu điểm và nhược điểm của chúng cũng được đề cập.

Các đặc điểm yêu cầu đối với bộ nội suy để nó có thể thực hiện tốt việc tính toán các vị trí trung gian và tốc độ dịch chuyển của các trục từ dữ liệu hình dáng đường đi của đầu công tác:

1. Dữ liệu từ bộ nội suy phải trùng với hình dáng (đường) của đầu công tác
2. Bộ nội suy phải xem xét về giới hạn tốc độ tùy theo cấu trúc của máy và đặc tính của động cơ servo trong quá trình tính toán vận tốc.
3. Cần phải tránh sai số tích lũy trong quá trình nội suy

Nếu phân chia nội suy theo loại đường cần nội suy, hiện nay người ta dùng các phương pháp nội suy sau:

- Nội suy thẳng dùng để gia công các đường thẳng đi qua các điểm.

- Nội suy tròn dùng để đi theo cung tròn hoặc các đường tròn khép kín.
- Nội suy xoắn ốc.
- Nội suy bậc 2, bậc 3, paraplol, hypopol và spline.

Để robot có thể di chuyển nhịp nhàng suốt quỹ đạo, vấn đề đặt ra là phải giải được bài toán nội suy. Trong bài toán này, vấn đề quan trọng nhất là điều khiển vận tốc đầu công tác sao cho robot có thể chuyển động linh hoạt và chính xác. Ở đề tài này, nhóm thực hiện đề tài đã sử dụng 3 phương pháp nội suy thường dùng đó là nội suy đường thẳng, nội suy cung tròn, và nội suy đường cong Spline để thực hiện các chuyển động cơ bản của robot.

a. Nội suy đường thẳng (Linear Interpolation)

Hiện nay, nội suy đường thẳng 2 hay 3 trực tương đối phổ biến. Trong nội suy đường thẳng, đầu công tác dịch chuyển từ điểm bắt đầu đến điểm kết thúc theo một đường thẳng. Trong lập trình một chuỗi của các dịch chuyển đường thẳng, chỉ tọa độ điểm cuối của mỗi đường phải chỉ ra bởi vì điểm cuối của một đường trở thành điểm đầu của đường tiếp theo. Nội suy đường thẳng có thể được thực hiện để tạo đường đi của mọi biên dạng và mặt cong. Nội suy đường thẳng yêu cầu 3 tham số: các tọa độ điểm đầu, các tọa độ điểm đích, tốc độ dịch chuyển.

Trong nội suy đường thẳng 2 trực, bộ nội suy tính toán tốc độ cho trực X và Y làm sao bảo đảm tỉ lệ tốc độ giữa trực X và Y bằng tỉ lệ của khoảng gia số theo yêu cầu dx/dy . Với nội suy đường thẳng 3 trực, bộ nội suy tính toán khoảng gia số dx , dy , dz dọc theo các trực X, Y, Z từ điểm bắt đầu tới điểm kết thúc. Đối với robot song song dạng Delta, các gia số theo trực X, Y, Z được tính qua bài toán động học nghịch vị trí của Robot, từ các gia số về vị trí đó, ta tìm được các gia số về góc quay. Các khoảng gia số này trở thành đầu vào trực tiếp để điều khiển vị trí, và tỉ lệ giữa chúng được sử dụng để tạo tốc độ cho 3 cánh tay chính tạo nên chuyển động đầu công tác cho robot Delta.

Phương trình đường thẳng đi qua 2 điểm được biểu diễn bằng phương trình tham số như sau:

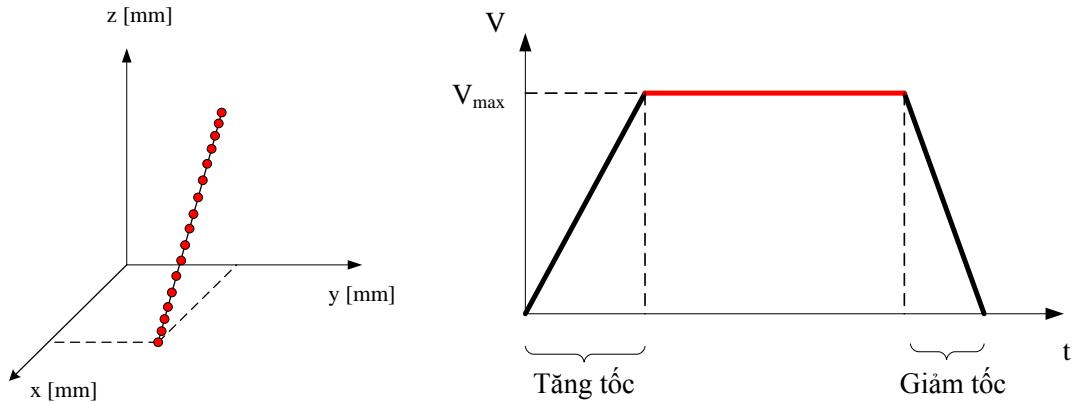
$$\begin{cases} x = x_0 + at \\ y = y_0 + bt \\ z = z_0 + ct \end{cases} \quad (3.15)$$

Với: (x_0, y_0, z_0) là điểm đi qua, và (a, b, c) là vector chỉ phương của đường thẳng.

Ví dụ: Đường thẳng đi qua điểm đầu A(1,1,0) và B(-2,5,1) vậy vector chỉ phương là vector $AB = (-3, 4, 1)$

Vậy phương trình tham số của đường thẳng là

$$\begin{cases} x = 1 - 3t \\ y = 1 + 4t \\ z = t \end{cases} \quad (3.16)$$



Hình 3.5: Biểu diễn quỹ đạo đường thẳng và đồ thị vận tốc trong suốt quá trình di chuyển

b. Nội suy cung tròn (Circular Interpolation)

Trong nội suy cung tròn, dây cung được chia thành các phân đoạn thẳng nhỏ. Bộ nội suy tính toán các thành phần vận tốc dọc trực V_x và V_y và tạo các xung cho mỗi trực chuyển động. Tổng số của các xung xác định vị trí của trực và tần số xung xác định vận tốc của trực.

Ưu điểm của nội suy cung tròn là khả năng tạo một cung tròn chỉ với vài dòng lệnh chương trình cơ bản. Các thông tin cần thiết cho lập trình nội suy cung tròn bao gồm: Các tọa độ của điểm đầu, tọa độ điểm đích, bán kính của cung tròn hoặc tọa độ tâm, hướng di chuyển của đầu công tác.

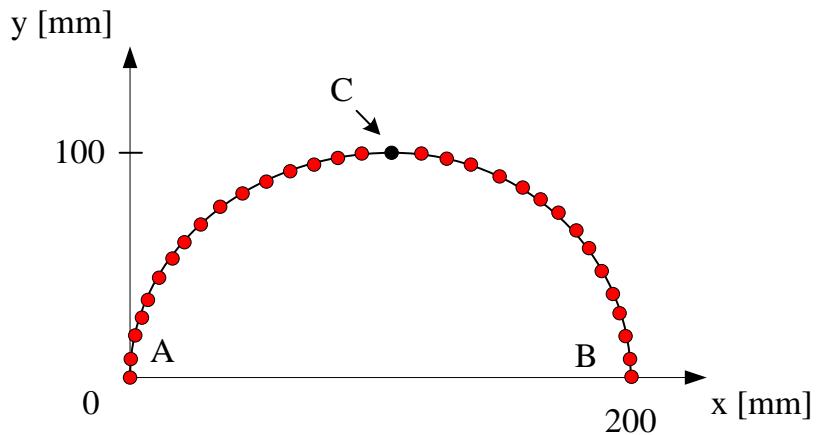
Nội suy cung tròn bị giới hạn trong mặt phẳng 2 trực. Một đường tròn được tạo trong mặt phẳng XY, ZX hoặc YZ.

Trong đó cung tròn được cho bởi PTTS như sau:

$$\begin{cases} x = x_0 + R \cos \omega t \\ y = y_0 + R \sin \omega t \\ z = z_0 \end{cases} \quad (3.17)$$

Trong đó: R là bán kính cung tròn.

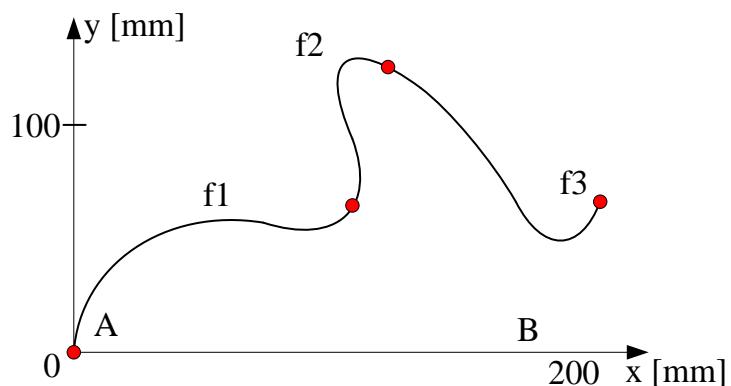
(x_0, y_0, z_0) là tọa độ tâm đường tròn.



Hình 3.6: Cung tròn được tạo bởi 2 điểm A và B với điểm giữa là C được chia thành nhiều đoạn nhỏ tương ứng với các nghiệm của phương trình tham số.

c. Nội suy Cubic Splines

Splines là phương pháp nội suy thường được dùng và hiệu quả nhất cho các biến dạng phức tạp thay thế cho dữ liệu nội suy đường thẳng và đường tròn. Trong nội suy đa thức bậc cao như bậc 3, bậc 5, chỉ có một công thức duy nhất, được đưa ra bởi một đa thức, được sử dụng để tính toán tất cả các điểm dữ liệu. Ý tưởng nội suy Splines là sử dụng nhiều công thức, mỗi một đa thức đi qua các điểm dữ liệu nhất định, và điểm cuối của đa thức này là điều kiện đầu của đa thức kế tiếp. Trong ứng dụng gấp đặt, nhóm thực hiện đè tài sử dụng phương pháp nội suy với đa thức bậc 3. Phương pháp này được sử dụng khi ta muốn đầu công tác robot di chuyển trên một đường đi bất kỳ với dữ liệu tính toán nội suy giữa nhiều điểm.



Hình 3.7: Đường cong spline được tạo thành từ 3 phương trình f_1 , f_2 , f_3 .

d. Điều khiển nội suy

Quá trình điều khiển nội suy dựa trên kết quả của phương trình tham số tìm được đối với nội suy đường thẳng và nội suy cung tròn và nội suy spline.

Từ bài toán động học nghịch của robot, ta tìm được các góc

$$\theta_1 = f(x, y, z, \theta) = f(t)$$

$$\theta_2 = f(x, y, z, \theta) = f(t)$$

$$\theta_3 = f(x, y, z, \theta) = f(t)$$

$$\theta_4 = f(x, y, z, \theta) = f(t)$$

Với t là biến thời gian.

Chuyển động của một đoạn tương đối nhỏ với tốc độ cao được quyết định bởi tần số cao f_0 . Do đó, tần số f_0 có thể được giảm xuống bằng cách tăng hệ số của quá trình nội suy.

Hệ số lớn nhất được biểu diễn bằng biến S , trong đó, S được tính tại điểm đầu tiên của mỗi đoạn như sau:

Đối với chuyển động thẳng tuyến tính: $S = L$

Đối với chuyển động tròn: $S = R$

Trong đó: $L = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$

$$R = \sqrt{i^2 + j^2 + k^2}$$

Đa thức được rút gọn thành: $V_1 = f_0$

Trong phần mềm, V bằng giá trị tần số xung ngắn để đưa xuống vi điều khiển.

Muốn chuyển động càng mịn, ta giảm giá trị Δt và tăng tần số xung để đảm bảo vận tốc cho đầu công tác.

3.2 Cấu trúc phần mềm.

Trong phần này, chúng tôi mô tả một thành phần dựa trên kiến trúc phần mềm điều khiển được phát triển để có được một nền tảng robot thử nghiệm mạnh mẽ. Hai mục tiêu cơ bản của hệ kiến trúc phần mềm đó là: chuẩn hóa các chức năng của cảm biến và các thành phần điều khiển, tính toán của robot, thứ hai là mở rộng khả năng tùy chỉnh của phần mềm.

Kiến trúc tầng và định nghĩa các thành phần:

Mặc dù cấu trúc phần mềm của mô hình thí nghiệm về cơ bản có chứa hai máy tính: máy tính chủ và các máy tính điều khiển, nó bao gồm một hệ thống các thành phần được chia thành bốn lớp chính để xuất ban đầu của (Nilsson & Johansson, 1999): lớp thấp nhất, lớp trung gian, lớp cao và lớp người dùng cuối. Mỗi lớp có chứa các thành phần khác

nhau được phân loại tùy thuộc vào chức năng của nó (**hình 3.8**). Thành phần này có liên quan đến một khớp hoặc một hệ thống cấu trúc phần cứng. Bốn lớp đó là:

1. *Lớp thấp nhất*: có thành phần tương ứng với môi trường vật lý. Ví dụ như các thành phần cảm biến hoặc các thành phần điều khiển các khớp.

2. *Lớp giữa*: Các thành phần có thể sử dụng thông tin của các lớp thấp nhất và lớp cao. Ví dụ có thể là một thành phần cảm biến ảo hoặc một thành phần điều khiển tay máy.

3. *Lớp cao*: các thành phần tạo quỹ đạo di chuyển.

4. *Lớp người dùng cuối*: Các thành phần thiết lập tác vụ, giao tiếp với người dùng.

Các thành phần trong một ứng dụng điều khiển được trình bày ở **hình 3.8**.

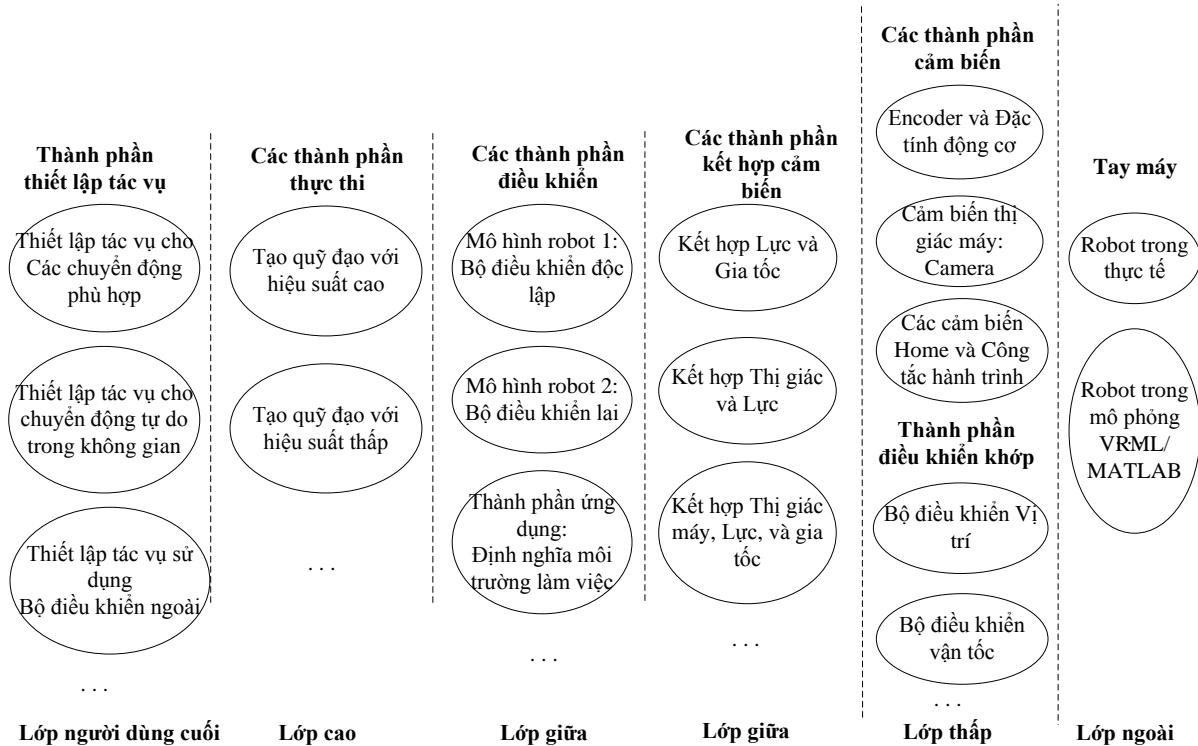
Lớp người dùng cuối mô tả các tác vụ bao gồm các vị trí cuối, hướng và vận tốc của đầu công tác cuối của robot. Các thành phần khác đã được phát triển và được sử dụng dựa trên tác vụ với không gian mở, với chuyển động ràng buộc hoặc với cả hai.Thêm vào đó, thành phần còn lại được thiết kế để điều khiển robot song song. Các ngõ vào của các thành phần trong lớp này có thể là vị trí và hướng của robot, lực tác động bởi tay máy vào môi trường hoặc thậm chí có thể là thị giác máy. Hiện tại, các ngõ vào này chỉ có thể thiết lập ngoại tuyến, vẫn chưa thể xác định bằng phương pháp trực tuyến, và như thế, robot có thể được lập trình phù hợp với vị trí thực của thiết bị đã được thiết đặt sẵn.

Lớp cao là sự kết hợp cơ bản giữa 2 thành phần với các chức năng của bộ tạo đường đi. Bộ này sẽ tạo quỹ đạo giữa các set point cho robot, dựa trên lệnh chuyển động được nhận từ bộ quản lý tác vụ. Các lệnh này phụ thuộc vào lớp thấp hơn có thể là quỹ đạo trong không gian khớp hoặc quỹ đạo trong không gian Decard của đầu công tác robot. Thành phần thứ hai được phát triển để nâng cao hiệu năng tính toán của khớp trước nếu cần thiết. Đặc biệt, nó bao gồm sự phân tích cấu trúc hình học của robot thành 2 hệ thống phụ: một cho vị trí và một cho hướng. Thành phần này chỉ ra giải pháp phân tích nhằm đơn giản hóa vấn đề các điểm kỳ dị trong robot. Hơn nữa, phải chấp nhận một số hạn chế để tránh các điểm kỳ dị xuất hiện ở các khớp. Mặc dù quỹ đạo được phát triển chưa tốt, nhưng không gian làm việc đáp ứng tốt nhu cầu chuyển động cần thiết.

Đối với lớp giữa, đứng trên góc độ kỹ thuật, các điều chỉnh đối với bộ điều khiển chuyển động yêu cầu người dùng phải thành thạo. Ở lớp này, cấu trúc được chia làm hai lớp nhỏ bao gồm: lớp ứng dụng điều khiển (các ràng buộc chuyển động, tool mass,...) và lớp điều khiển (điều chỉnh vòng lặp điều khiển, các hệ số,...)

Sử dụng các công cụ có sẵn của Matlab để liên kết các tín hiệu (các lệnh tham chiếu, giá trị trả về của vị trí, vận tốc, momen, cảm biến,...) và các biểu thức toán học. Các khớp

này được thiết kế với số lượng ngõ vào và ngõ ra được định sẵn. Trong mỗi khối, một có thể thực hiện các nguyên lý điều khiển khác nhau, hoặc các liên kết cảm biến, kết hợp thành một ngôn ngữ lập trình tính toán với hiệu suất cao bằng các biến vào ra đều có thể đọc ghi dễ dàng.

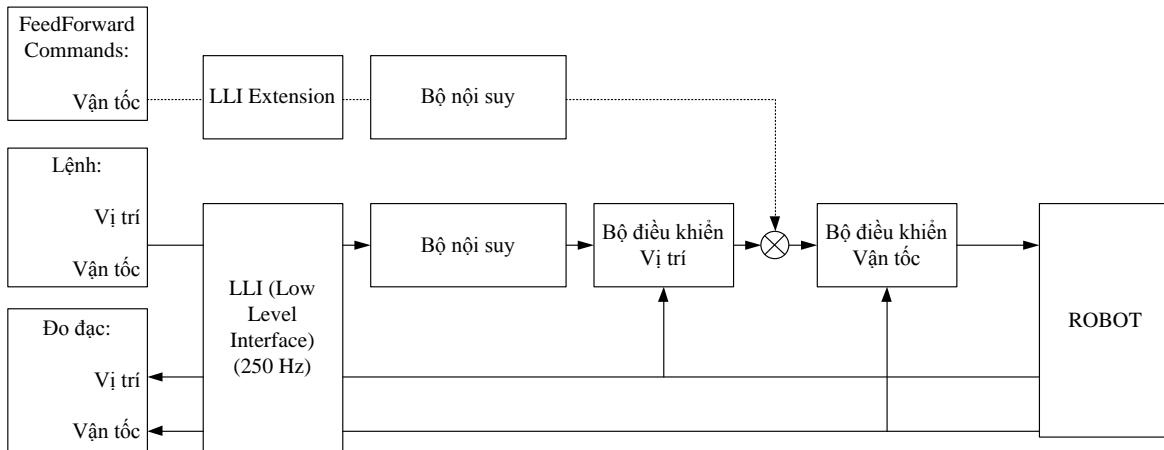


Hình 3.8: Cấu trúc của các thành phần được phát triển cho robot song song

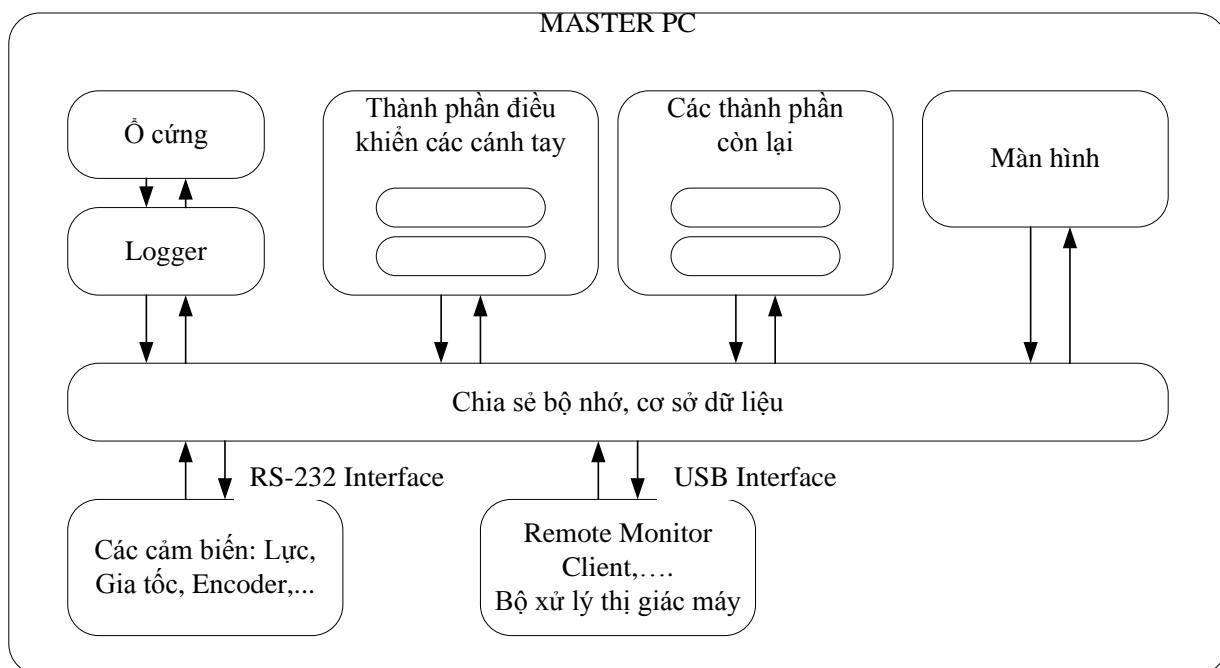
Ở lớp thấp nhất của cấu trúc phần mềm, lớp này thực hiện các công việc liên quan đến cảm biến, mỗi một cảm biến được mô hình hóa bởi một thành phần bao gồm 2 phần cơ bản: một cho việc xây dựng cấu trúc dữ liệu và một cho việc chia sẻ dữ liệu cảm biến. Một chức năng của các thành phần cảm biến là xử lý các thông tin của từng cảm biến cụ thể và để cung cấp một dữ liệu thống nhất cho bộ quản lý dữ liệu. Tác dụng chính của bộ quản lý này là có thể trực tiếp điều chỉnh dữ liệu cảm biến. Hơn nữa, dữ liệu cảm biến phải được chia sẻ với tất cả chức năng cần thiết trong kiến trúc phần mềm. Một chức năng quan trọng khác của thành phần cảm biến là đánh dấu thời điểm khi nào cần đo đạc, hoặc tương tác.

Về phần điều khiển khớp, ở đây sử dụng một giao thức mức thấp (LLI) được thiết kế bởi Staubli Robots (Pertin & Bonnet, 2004); Thực ra, chỉ có module phần mềm là còn giữ lại thiết kế của hệ thống Staubli nguyên bản. Mức LLI này tuân theo cấu trúc được đưa ra trên **hình 3.9**. Và nhiệm vụ của nó là cho phép điều khiển từng khớp riêng biệt một cách

dễ dàng. Ba thành phần khác nhau được định nghĩa trong cấu trúc phần mềm (cho phép điều khiển: momen, vị trí và vận tốc).



Hình 3.9: Cấu trúc lớp thấp của bộ điều khiển khớp



Hình 3.10: Sơ đồ biểu diễn giao tiếp phần cứng - phần mềm

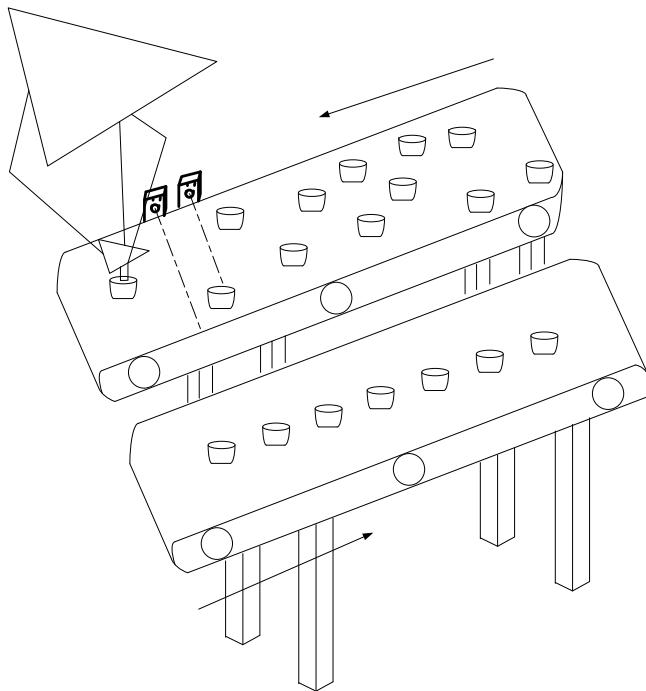
Muốn robot hoạt động một cách linh hoạt và ổn định, nhất thiết phải tập trung vào bài toán thiết kế di chuyển cho robot. Ở chương này, vẫn đề tạo quỹ đạo chuyển động và nội suy của robot song song Delta đã được trình bày, trong đó quỹ đạo gấp đặt đóng vai trò quan trọng trong đề tài, phù hợp với mục đích đã đặt ra. Ngoài ra, cấu trúc phần mềm của hệ thống robot cũng được đề cập, cung cấp một cái nhìn tổng quát nhất về hệ điều khiển robot từ phần cứng đến phần mềm. Chương kế tiếp sẽ đi sâu vào phần xử lý ảnh, là "con mắt" của toàn hệ thống.

CHƯƠNG 4 : XỬ LÝ BÁM VẬT TRÊN BĂNG CHUYỀN

Hệ thống robot song song Delta phân loại và gấp sản phẩm trên băng chuyền gồm nhiều quá trình phối hợp với nhau. Sau khi thiết kế cơ khí, lắp ráp phần điện và bộ điều khiển đã được trình bày ở các chương trên thì robot có thể hoạt động và chạy theo các quy đạo lập trình sẵn trên máy tính. Nhưng việc phân loại và gấp sản phẩm trên băng chuyền của robot cần thực thi một cách tự động, yêu cầu một hệ thống liên tục giám sát phát hiện và phân loại các sản phẩm đang chạy trên băng chuyền để gửi dữ liệu cho robot. Ở chương này chúng ta sẽ tìm các phương án và quá trình thực hiện để robot có thể nhận biết, bám theo vật đang chuyển động.

4.1 Các phương án phát hiện vật trên băng chuyền đang chuyển động.

4.1.1 Sử dụng cảm biến

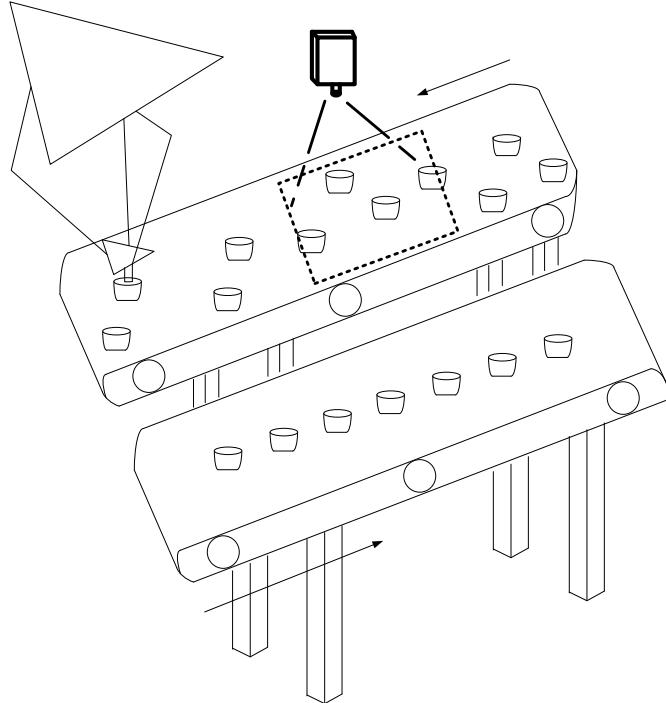


Hình 4.1: Phương án phát hiện vật bằng cảm biến.

Để phát hiện và xác định vị trí vật thông thường chúng ta sử dụng cảm biến siêu âm (**hình 4.1**). Nguyên lý: sóng siêu âm được truyền đi trong không khí với vận tốc khoảng $V = 343\text{m/s}$. Nếu một cảm biến phát ra sóng siêu âm và thu về các sóng phản xạ đồng thời, đo được khoảng thời gian từ lúc phát đi tới lúc thu về, thì máy tính có thể xác định được quãng đường mà sóng đã di chuyển trong không gian. Quãng đường di chuyển của sóng sẽ bằng 2 lần khoảng cách từ cảm biến tới vật, theo hướng phát của sóng siêu âm. Hay khoảng cách D từ cảm biến tới vật sẽ được tính theo công thức: $D = V \times T/2$.

Ưu điểm của cảm biến siêu âm là lắp đặt dễ dàng, xử lý nhanh khi phát hiện vật. Nhưng nhược điểm cảm biến siêu âm dùng trong trường hợp này là xác định vị trí vật không chính xác cao, dễ bỏ sót các vật bị che khuất bởi vật trước, dẫn tới xác định nhầm tọa độ để gấp vật.

4.1.2 Camera thu nhận và xử lý ảnh xác định vị trí vật



Hình 4.2: Phương án phát hiện vật bằng camera.

Một camera sẽ được gắn phía trên băng chuyền (**hình 4.2**), các hình ảnh được thu nhận lại và được xử lý thông qua một chương trình trên máy tính. Qua việc xác định chính xác vị trí của vật trong ảnh với một tỉ lệ thống nhất từ đó ta sẽ tính toán để biết vị trí thật của vật trên băng chuyền.

Nhược điểm của phương pháp này là cần có định chắc chắn vị trí của camera và thuật toán tìm vị trí phức tạp nhưng nó lại có ưu điểm là độ chính xác cao, cập nhật sự thay đổi vị trí nhanh giúp cho robot hoạt động tốt. Do đó phương pháp này sẽ được chọn phù hợp để tìm xác định vị trí vật trên băng chuyền đang chuyển động.

4.2 Giới thiệu ứng dụng xử lý ảnh phục vụ trong các hoạt động của robot.

Khoa học và kỹ thuật ngày càng phát triển mạnh mẽ trong mọi lĩnh vực thì việc áp dụng robot để thay thế con người làm việc càng ngày càng đóng vai trò quan trọng trong công nghiệp. Chúng sẽ thay thế chúng ta thực hiện những công việc nguy hiểm hay mang tính lặp lại, những công việc mà cần tốc độ và độ chính xác vượt qua gần như khả năng

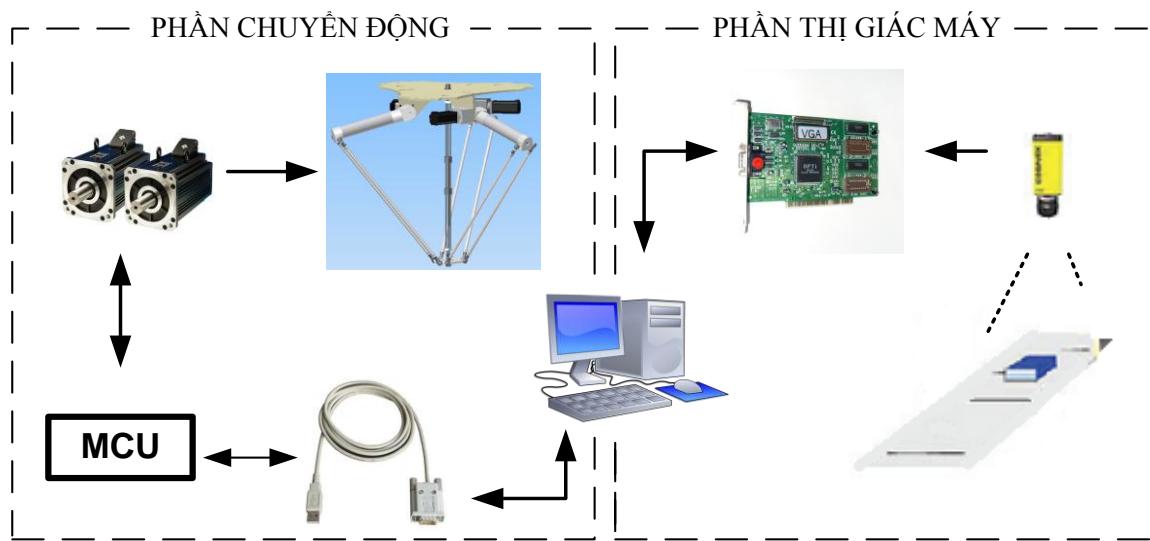
của con người có thể làm được. Khi các robot trở nên tinh vi hơn thì thị giác máy sẽ đóng vai trò ngày càng quan trọng. Người ta sẽ đòi hỏi người máy không những phát hiện và nhận dạng các bộ phận công nghiệp, mà còn hiểu được những gì chúng thấy và đưa ra những hành động phù hợp.

Xử lý ảnh trong robot bao gồm lý thuyết và các kỹ thuật liên quan nhằm mục đích tạo ra một hệ thống có thể nhận thông tin từ các hình ảnh thu được hoặc các tập dữ liệu đa chiều. Lĩnh vực nghiên cứu của xử lý ảnh rất rộng, và đặc điểm chung là các bài toán về xử lý ảnh đều không có một đề bài chung và cách giải quyết duy nhất. Mỗi giải pháp giải quyết một vấn đề được cho một kết quả nhất định cho những trường hợp cụ thể.

Một số ứng dụng của xử lý ảnh vào các lĩnh vực được kể đến ở đây là: điều khiển tiến trình trong các robot công nghiệp, hay các thiết bị, xe tự hành; phát hiện sự thay đổi, các thiết bị giám sát; tổ chức thông tin: chỉ số kho dữ liệu các ảnh hoặc chuỗi ảnh liên tục; mô hình hóa đối tượng: trong quá trình kiểm tra trong môi trường công nghiệp, xử lý ảnh trong y học; đóng vai trò làm đầu vào cho thiết bị trong quá trình tương tác giữa người và máy.

4.3. Cấu trúc hệ thống

Nhiệm vụ đặt ra là thiết lập một hệ thống có thể theo dõi đối tượng di chuyển và robot song song delta có thể tới đúng vị trí và bắt đối tượng từ băng chuyền đang di chuyển và sau đó đặt theo trình tự lên một băng chuyền khác. Hệ thống bao gồm hai phần đó là phần thị giác máy và phần điều khiển chuyển động robot (**hình 4.3**).



Hình 4.3: Sơ đồ cấu trúc hệ thống.

Đầu tiên hệ thống sẽ thực hiện nhận biết hình dạng và vị trí các vật trên một băng chuyền. Sau đó sẽ hoàn thành nhiệm vụ sắp xếp các vật đó một cách thông minh. Để robot có thể gấp được các đối tượng một cách chính xác thì cần phụ thuộc vào quá trình thu nhận và xử lý ảnh, do đó quá trình theo dõi các đối tượng chính là vấn đề cốt lõi của hệ thống. Với việc tính toán phức tạp thì rất khó có thể thực hiện các hoạt động gấp và đặt trong thời gian thực, đặc biệt khi hệ thống đang chạy ở tốc độ cao. Việc sử dụng động cơ AC servo và điều khiển tốc độ băng chuyền theo ý muốn sẽ thuận tiện cho việc tính toán.

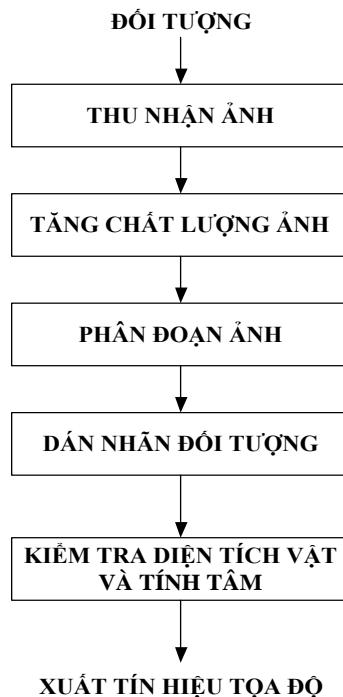
Một camera sẽ thu nhận hình ảnh mỗi khi băng chuyền chạy một khoảng cách băng chiều dài khung hình. Hình dạng và vị trí vật sẽ được nhận biết qua một chương trình xử lý ảnh trên máy tính trung tâm, từ đó gửi thông tin vị trí các sản phẩm đạt yêu cầu cho cơ cấu chấp hành robot làm việc.

4.4 Quá trình xử lý ảnh cho việc phân loại và bám vật trên băng chuyền

4.4.1 Mô hình hệ thống robot song song Delta

Hệ thống hoạt động bằng cách sử dụng một camera thu nhận ảnh các đối tượng, sau đó dùng một phần mềm trên máy tính cho việc xử lý ảnh để tìm kiếm và phân loại các đối tượng mong muốn.

Hệ thống xử lý theo các bước sau:



Hình 4.4: Các bước xử lý xác định tọa độ vật.

Thu nhận ảnh để có được ảnh của đối tượng cần kiểm tra. Tăng cường chất lượng hình ảnh (lọc nhiễu) để tạo điều kiện cho việc xử lý tiếp theo. Phân đoạn ảnh là quá trình chia

bức ảnh ra thành vùng chứa các đối tượng và nền xung quanh. Dán nhãn các đối tượng để xác định số lượng và vị trí các đối tượng. Kiểm tra diện tích vật và tính tâm là phân biệt vật với các nhiễu sau đó xác định tâm vật.

4.4.2 Thu nhận ảnh và nâng cao chất lượng ảnh

Quá trình thu nhận ảnh được thực hiện qua một camera. Trong quá trình thu nhận ảnh thì ánh sáng là yếu tố quan trọng trong việc có được ảnh thu chất lượng tốt. Ánh sáng môi trường bên ngoài phụ thuộc vào nhiều điều kiện như không gian, thời gian,...do đó cần thiết kế một hệ thống chiếu sáng cố định, không phụ thuộc vào môi trường. Một hệ thống gồm các đèn chiếu sáng phía trên băng chuyền được dùng sẽ làm tăng chất lượng ảnh thu được.



Hình 4.5: Vật trên băng chuyền được chụp lại từ camera.

Bên cạnh đó, khi sử dụng camera để chụp hình ảnh, cho dù tầm nhìn, điều kiện chiếu sáng tốt và camera độ phân giải cao nhưng chất lượng hình ảnh cũng có thể bị giảm trong điều kiện môi trường công nghiệp như bụi bẩn, làm gây ra nhiễu ảnh.

Nhiều thể hiện trên ảnh như sau: giả sử ảnh là một miền đồng nhất. Như vậy các phần tử của ma trận biểu diễn ảnh sau quá trình số hóa phải có cùng giá trị. Nhưng thực tế quan sát, ta thấy: gần giá trị trung bình có những phần tử trội lên khá nhiều. Đó chính là hiện tượng nhiễu. Như vậy, nhiễu trong ảnh số được xem như sự dịch chuyển nhanh của tín hiệu thu nhận (tín hiệu ảnh $I[m, n]$) trên một khoảng cách ngắn. Việc nâng cao chất lượng hình ảnh mục đích chính để loại bỏ nhiễu.

Xem một cách tương đương trong không gian tần số, nhiễu ứng với các thành phần tần số cao trong ảnh. Do vậy, người ta nghĩ đến việc biến đổi có tính ảnh hưởng của các phần tử lân cận bằng cách lấy “tổ hợp” các điểm lân cận này (trong không gian thực) hay lọc các thành phần tần số cao (trong không gian tần số). Đây chính là kỹ thuật lọc (filtering). Cơ sở lý thuyết của kỹ thuật lọc số là dựa trên tính dư thừa thông tin không gian: các

pixel lân cận có thể có cùng hoặc gần cùng một số đặc tính. Hơn nữa, nhiều có thể coi như sự đột biến của một điểm ảnh so với các điểm lân cận.

Trong kỹ thuật này, người ta sử dụng một mặt nạ và di chuyển khắp ảnh gốc. Tùy theo cách tổ hợp điểm đang xét với các điểm lân cận mà ta có kỹ thuật lọc tuyến tính hay phi tuyến. Điểm ảnh chịu tác động của biến đổi là điểm ở tâm mặt nạ.

Ở đây bộ lọc Gaussian (lọc tuyến tính) được sử dụng cho quá trình lọc nhiễu ảnh. Bộ lọc Gauss là công cụ phổ biến để thực hiện quá trình tiền xử lý (preprocessing), hình ảnh dùng làm đầu vào tốt cho các phân tích cao cấp hơn như trong thị giác máy tính, hoặc cho các giải thuật được thực hiện trong một tỉ lệ khác của hình được cho. Nó có thể giúp làm giảm nhiễu và mức độ chi tiết (không mong muốn của hình ảnh). Một cách trực quan, đây được xem là phương pháp làm mờ mịn cũng giống như hiệu ứng hình ảnh được đặt dưới một lớp màn trong suốt bị mờ.

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{\frac{-x^2}{2\sigma^2}} \quad (4.1)$$

$$G(x) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (4.2)$$

Trong đó x và y là tọa độ theo hai trục đứng và ngang còn σ là phương sai chuẩn của phân tán Gaussian hay là giá trị quyết định độ lệch giữa các điểm trên bề mặt Gaussian.

4.4.3 Phân đoạn ảnh để phân loại và xác định đối tượng

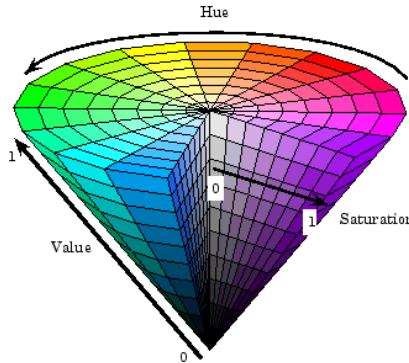
Phân đoạn ảnh là công đoạn rất quan trọng trong các bài toán xử lý ảnh và thị giác máy tính. Mục đích của phân đoạn ảnh là chia ảnh đầu vào thành các vùng đồng nhất. Trong đó, mỗi vùng đồng nhất là tập các điểm ảnh có chung một số tính chất như màu sắc, kiểu tô, v.v. Các giải thuật phân đoạn ảnh có thể được xếp vào một trong các loại:

Tách ngưỡng (thresholding): chia ngưỡng cường độ và gán điểm ảnh vào từng lớp khác nhau. Ưu điểm của phương pháp này là đơn giản, và được dùng cho phân đoạn sơ bộ.

Loang vùng: từ mỗi điểm ảnh nhân (xác định trước) của mỗi vùng, tìm các điểm ảnh liên thông dựa trên một số tiêu chuẩn được xác định trước và loang dần để tạo thành vùng. Ở đây phân đoạn ảnh được dùng bằng cách phân ngưỡng dựa trên màu HSV của ảnh. Qua công đoạn phân ngưỡng chúng ta sẽ tách các đối tượng không đạt yêu cầu sẽ không nằm trong ngưỡng và có thể phân loại sản phẩm đạt yêu cầu và không đạt yêu cầu.

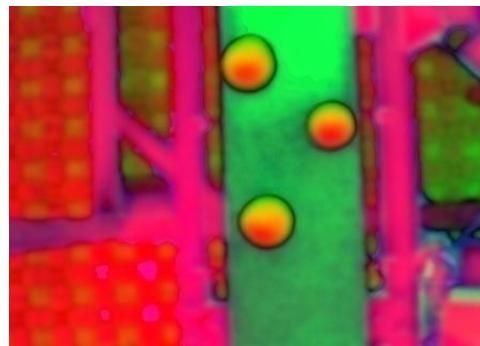
HSV là không gian màu được dùng nhiều trong việc chỉnh sửa ảnh, phân tích ảnh và một phần của lĩnh vực thị giác máy tính. Hệ không gian này dựa vào 3 thông số sau để mô

tả màu sắc H = Hue: màu sắc, S = Saturation: độ đậm đặc, sự bão hòa, V = value: giá trị cường độ sáng. Không gian màu này thường được biểu diễn dưới dạng hình trụ hoặc hình nón (**hình 5.6**).



Hình 4.6: Không gian màu HSV.

Theo như cách biểu diễn không gian màu theo hình nón như **hình 4.6**, đi từ giá trị độ sáng (V) được biểu diễn bằng cách đi từ dưới đáy hình nón lên và nằm trong khoảng từ 0-1. Ở đáy hình nón V có giá trị là 0, là tối nhất và trên đỉnh hình nón là độ sáng lớn nhất (V=1). Đi từ tâm hình nón ra mặt nón là giá trị bão hòa của màu sắc (S). S có giá trị từ 0 - 1. 0 ứng với tâm hình nón là chỗ mà màu sắc là nhạt nhất. S = 1 ở ngoài mặt nón, là nơi mà giá trị màu sắc là đậm đặc nhất.

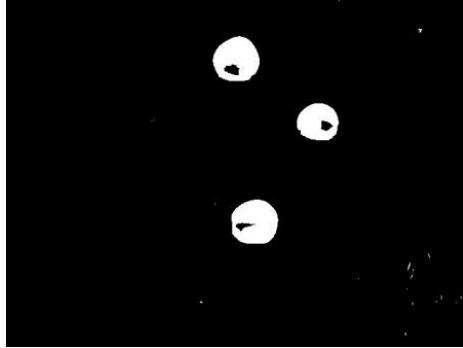


Hình 4.7: Ảnh được chuyển qua hệ màu HSV.

Như vậy với mỗi giá trị (H, S, V) sẽ cho một màu sắc mà ở đó mô tả đầy đủ thông tin về màu sắc, độ đậm đặc và độ sáng của màu đó (**hình 4.7**). Việc tách ngưỡng dựa trên hệ màu HSV nhằm chuyển phân tách các điểm ảnh thành hai giá trị 0 và 1 dựa vào việc so sánh với các giá trị ngưỡng 3 thông số (H, S, V).

$$I(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{khi } I(x, y) < \text{ngưỡng} \\ 1 & \text{khi } I(x, y) \geq \text{ngưỡng} \end{cases} \quad (4.3)$$

Sau khi phân đoạn bằng tách ngưỡng miền HSV được ảnh có 2 vùng, vùng foreground “1” là vùng có giá trị nằm trong ngưỡng miền HSV đặt trước, và vùng background “0” là vùng có giá trị không nằm trong ngưỡng (**hình 4.8**).



Hình 4.8: Ảnh phân đoạn sau khi tách ngưỡng.

4.4.4 Xác định vị trí đối tượng bằng thuật toán dán nhãn (labeling).

Sau khi phân đoạn ảnh đến công đoạn quan trọng nhất, đó là xác định vị trí các đối tượng đã nhận dạng. Có rất nhiều giải thuật cho việc xử lý xác định vị trí nhiều đối tượng trong 1 khung hình, một trong những cách phổ biến và chính xác là thuật toán dán nhãn cho các đối tượng (labeling).

Cách dán nhãn cho nhiều vật thể: Các giá trị pixel ảnh nhị phân có thể biểu diễn như 1 ma trận, ví dụ một ma trận ảnh nhị phân như sau:

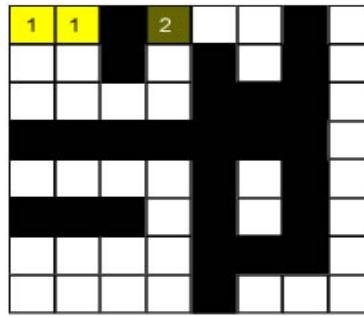
1	1	0	1	1	1	0	1
1	1	0	1	0	1	0	1
1	1	1	1	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	1
1	1	1	1	0	1	0	1
0	0	0	1	0	1	0	1
1	1	1	1	0	0	0	1
1	1	1	1	0	1	1	1

Hình 4.9: Ma trận các pixel.

Việc dán nhãn các đối tượng sẽ được thực hiện qua 2 lần đảm bảo cho sự chính xác và tránh lặp lại nhiều lần một đối tượng.

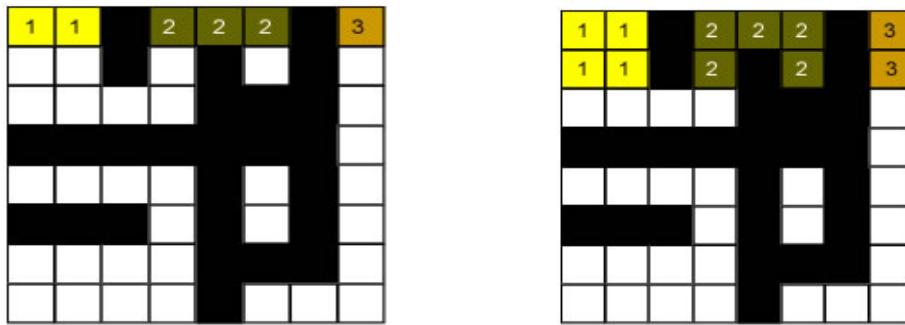
Dán nhãn lần I: bắt đầu duyệt từng pixel của ảnh theo cột từ trái sang phải và từ trên xuống dưới. Trong quá trình duyệt nếu gặp một điểm ảnh là giá trị 1 thì sẽ tiến hành xem xét các điểm lân cận liền kề đã duyệt qua của nó. Do các điểm ảnh xem xét chưa được gán nhãn và giá trị nhãn hiện tại là “0” nên điểm ảnh hiện tại sẽ được gán nhãn bằng một nhãn mới “1”. Đến điểm (1,2), để ý rằng một trong những điểm lân cận xem xét của nó đã

được gán nhãn “1” vì vậy nó cũng sẽ có nhãn là “1”. Cú tiếp tục như thế cho tới điểm ảnh ở dòng 1 cột 4, không có điểm ảnh nào lân cận xem xét đã được gán nhãn vì vậy nó được gán bằng một nhãn mới “2”. (**hình 4.10**)



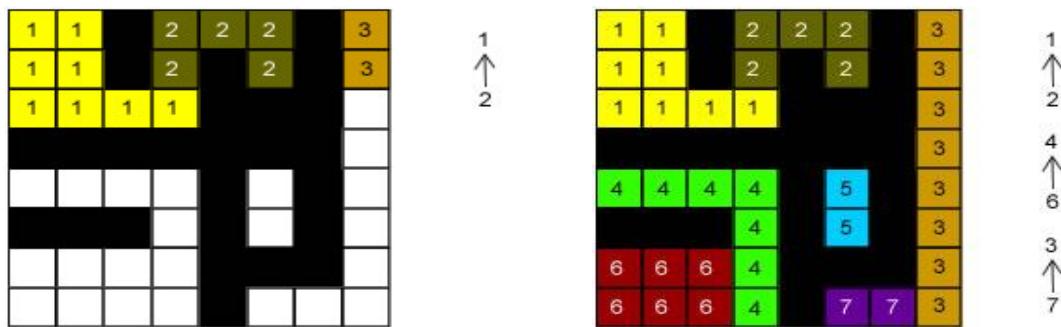
Hình 4.10: Dán nhãn lần I.

Dưới đây sẽ là những điểm ảnh kế tiếp gặp trong việc duyệt điểm ảnh ở hàng 1 và hàng 2 (**hình 4.11**).



Hình 4.11: Dán nhãn lần I.

Ở hàng thứ 3 các pixel (3,1) (3,2) vẫn được kiểm tra tương tự trên, nhưng tới pixel (3,3) có 1 vấn đề các pixel xung quanh nó chứa cả 2 nhãn khác nhau. Trong trường hợp này, nhãn nhỏ hơn (ở đây là “1”) sẽ được đánh. (**hình 4.12**)



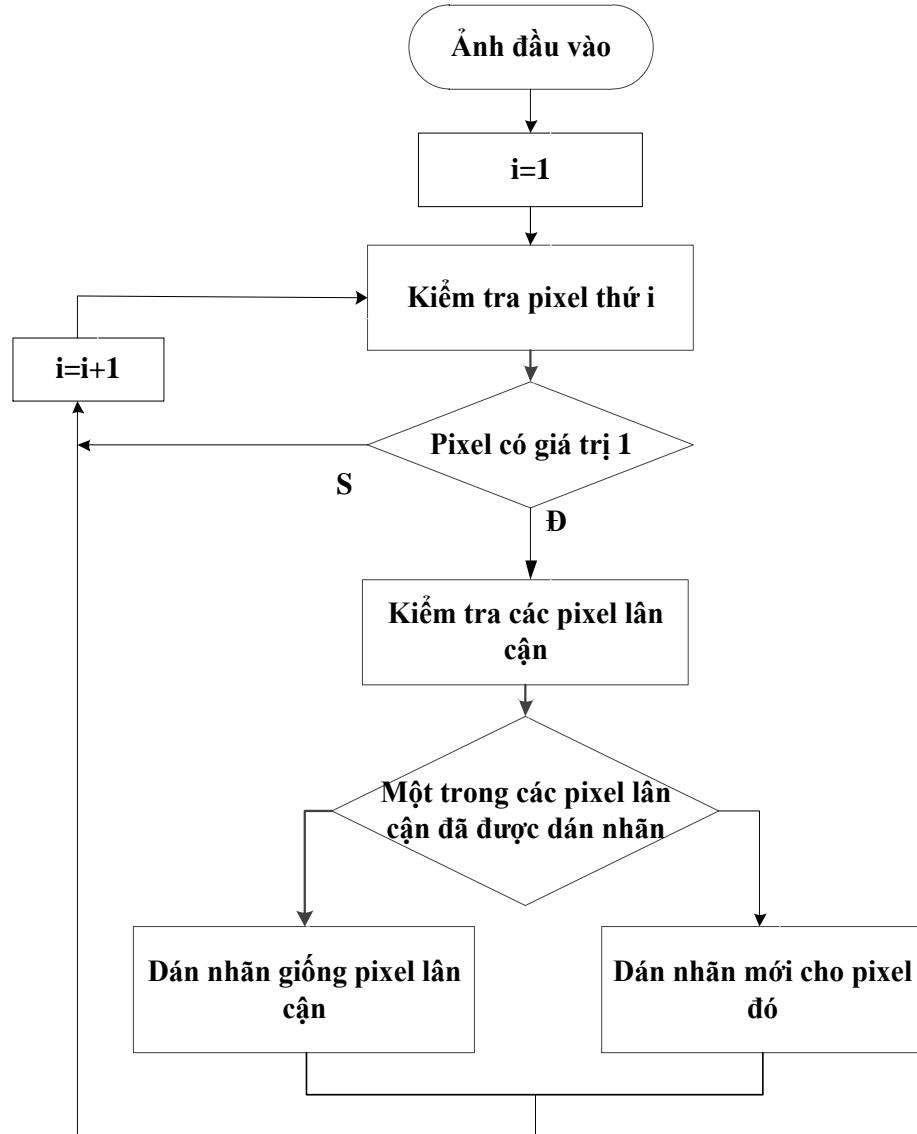
Hình 4.12: Dán nhãn lần I.

Và cứ tiếp tục dán nhãn với những pixel còn lại sẽ hoàn thành việc dán nhãn lần I và tìm ra được các đối tượng theo các nhãn.

Dán nhãn lần II: Sau khi dán nhãn các đối tượng lần I vẫn còn một vấn đề là xuất hiện một số đối tượng được dán nhãn 2 lần. Giải quyết vấn đề này bằng cách dán nhãn lần II.

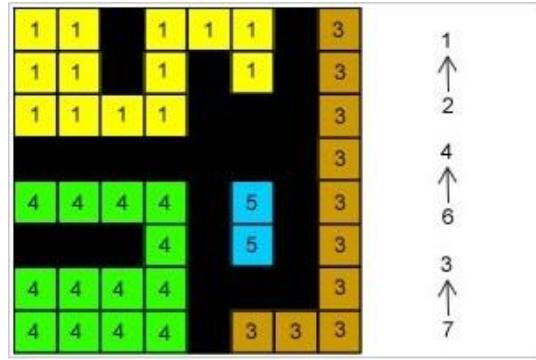
Với lần dán nhãn thứ hai chỉ xét các pixel đã được dán nhãn, các pixel làm nền sẽ bỏ qua. Xét từng pixel đã được dán nhãn, nếu pixel đó có các pixel xung quanh cùng giá trị với pixel đó thì ta sẽ giữ nguyên, nếu pixel đó có một trong các pixel xung quanh khác với pixel đó ta sẽ dán nhãn lại pixel đó với giá trị nhãn nhỏ hơn trong hai giá trị nhãn đó.

Một cách tổng quát, quá trình dán nhãn được thực hiện qua **hình 4.13**.



Hình 4.13: Lưu đồ các bước dán nhãn.

Sau khi dán nhãn lần 2 có kết quả cuối cùng:

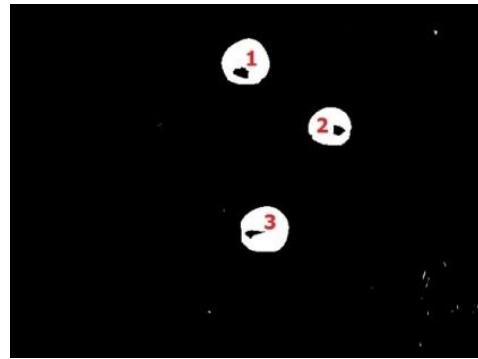


Hình 4.14: Dán nhãn lần II.

Kết thúc quá trình dán nhãn, tất cả các đối tượng được xác định, số pixel có trong từng đối tượng, thứ tự nhãn từng đối tượng.

4.4.5 Tính diện tích và tâm vật

Sau khi thực hiện việc dán nhãn tất cả các đối tượng sẽ xác định được tất cả đối tượng có trong ảnh. Vấn đề đặt ra là sẽ xuất hiện một vài đối tượng không phải là vật cần theo dõi mà là nhiễu cũng được dán nhãn. Các nhiễu này cần phải tìm cách bỏ qua và không gửi tín hiệu tọa độ các nhiễu trong ảnh. Cách giải quyết vấn đề này là xác định diện tích của từng đối tượng được dán nhãn. Thông thường nếu là nhiễu sẽ chỉ có một vài pixel của vùng nhiễu được dán nhãn, nếu là đối tượng cần theo dõi thì sau khi phân ngưỡng và dán nhãn đối tượng sẽ có một số lượng lớn các pixel nằm trong một vùng diện tích.



Hình 4.15: Ảnh quá trình tính diện tích vật.

Loại bỏ nhiễu và xác định được các đối tượng đã dán nhãn sẽ tính toán được vị trí tâm của từng đối tượng bằng việc tính giá trị trung bình của tất cả pixel được dán nhãn trong đối tượng theo hai trục X và trục Y:

$$X_G = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}; \quad (4.4)$$

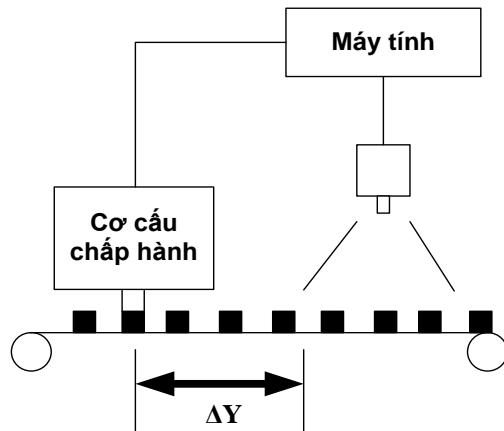
$$Y_G = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n}; \quad (4.5)$$

Qua tất cả các bước đã phân loại được các sản phẩm đạt yêu cầu, xác định vị trí của chúng. Nhưng vì các sản phẩm di chuyển trên băng chuyền đang chuyển động dọc trục Y, do đó tọa độ Y của vật tại thời điểm gấp sản phẩm còn phụ thuộc vào tốc độ băng chuyền. Giả sử rằng gốc tọa độ trong ảnh trùng với gốc trục X và trục Y của robot, vị trí tọa độ Y của vật được xác định:

$$Y'_G = \Delta Y + Y_G = \int_0^t V dt + Y_G \quad (4.6)$$

Trong đó ΔY chính là khoảng cách từ đầu cơ cấu chấp hành tới vị trí cuối khung ảnh.

V là vận tốc băng chuyền (mm/s)



Hình 4.16: Tính tọa độ vật.

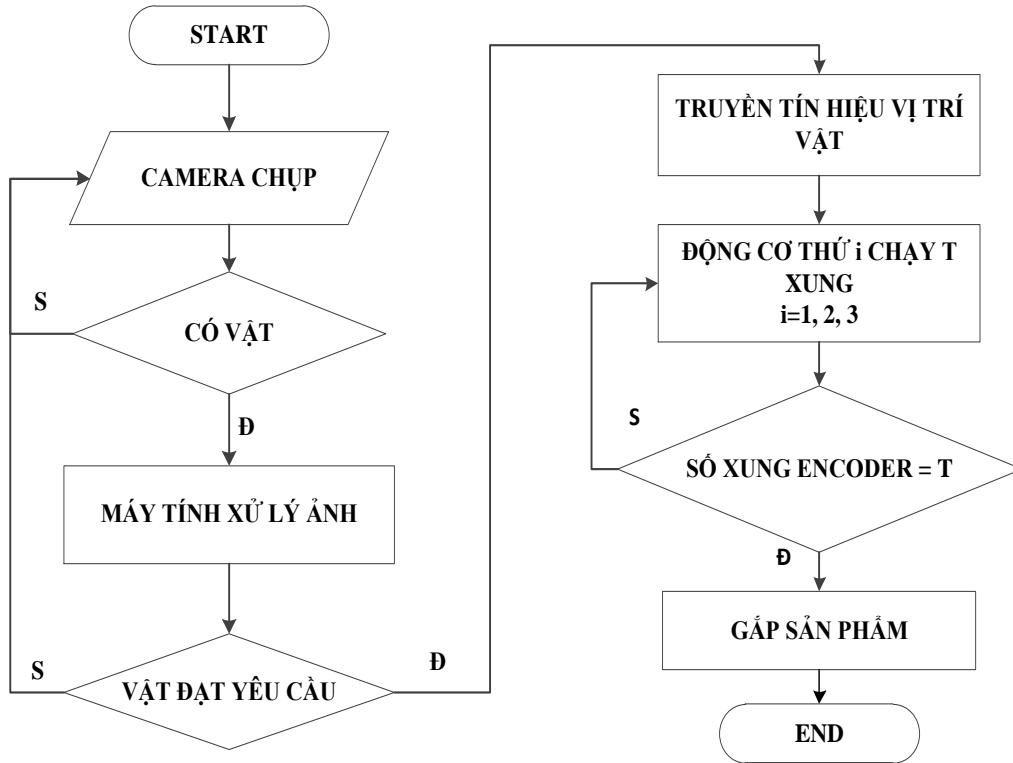
Sau khi đã thực hiện tất cả các bước trên ta đã có được vị trí của các sản phẩm, dữ liệu sẽ liên tục được cập nhật và gửi xuống cho robot thực hiện gấp sản phẩm.

Để robot song song Delta có thể thực hiện gấp sản phẩm trên băng chuyền đang chuyển động thì cần có một phương pháp phát hiện và luôn bám theo các vật đang chuyển động. Qua đó việc thu nhận và xử lý ảnh như trên là một quá trình quan trọng giúp cho việc hoạt động của robot diễn ra tốt.

4.5 Lưu đồ quá trình robot gấp sản phẩm

Tổng kết lại quá trình robot song song gấp sản phẩm hoạt động theo lưu đồ 5.2 sau. Hệ thống bao gồm một camera dùng để thu nhận hình ảnh, tín hiệu hình ảnh được đưa về một máy tính, một chương trình sẽ xử lý trên từng khung hình bằng thuật toán phù hợp để

tính toán ra tọa độ chính xác của đối tượng và truyền cho bộ điều khiển robot. Bộ điều khiển sẽ xuất xung điều khiển ba động cơ AC servo giúp cho ba cánh tay trên của robot hoạt động. Và robot sẽ tới đúng vị trí và gấp sản phẩm.



Hình 4.17: Lưu đồ quá trình xử lý ảnh gấp vật..

Mục đích của chương này là đưa ra các phương án và tìm cách giải quyết vấn đề phát hiện và bám vật trên băng chuyền đang chuyển động. Các phương pháp nghiên cứu trong phần này dựa trên các bài toán và thuật toán xử lý ảnh cơ bản, thư viện mở OPEN CV, phân tích hình học. Việc thiết lập hệ thống theo dõi và bám vật trên băng chuyền chuyển động là rất quan trọng, để xuất các thuật toán và chương trình tối ưu hóa hướng gấp sản phẩm nhằm nâng cao tính chính xác và độ linh hoạt cho robot, cũng như tối ưu hóa vùng làm việc của robot song song Delta.

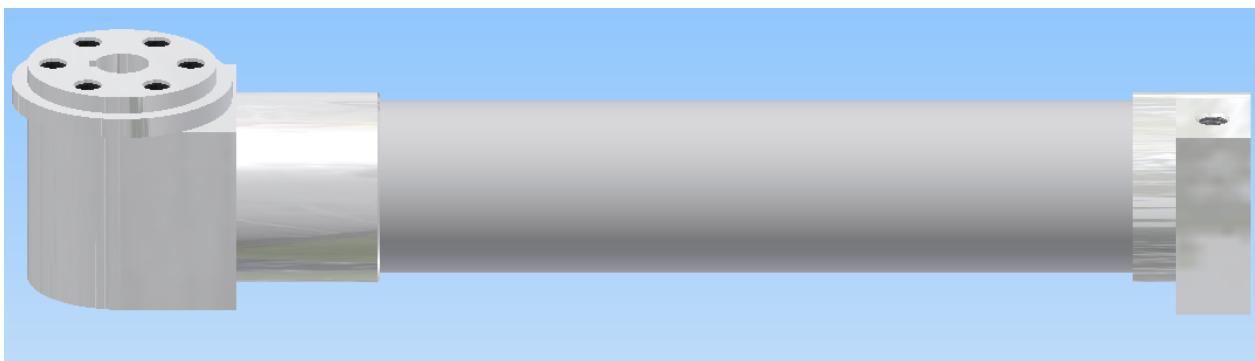
CHƯƠNG 5 : KẾT QUẢ VÀ THỰC NGHIỆM

Đối với một đề tài nghiên cứu, điều quan trọng là kết quả thực nghiệm. Dựa trên kết quả thực nghiệm những sản phẩm làm ra, những lần vận hành thử để biết được những mặt đã làm được, những mặt chưa làm được để tìm cách khắc phục. Các sai sót thiết kế hay hệ thống hoạt động có ổn định hay không thì qua thực nghiệm sẽ nói lên điều đó. Sau đây là kết quả thực nghiệm các đối tượng chính mà nhóm đã thiết kế.

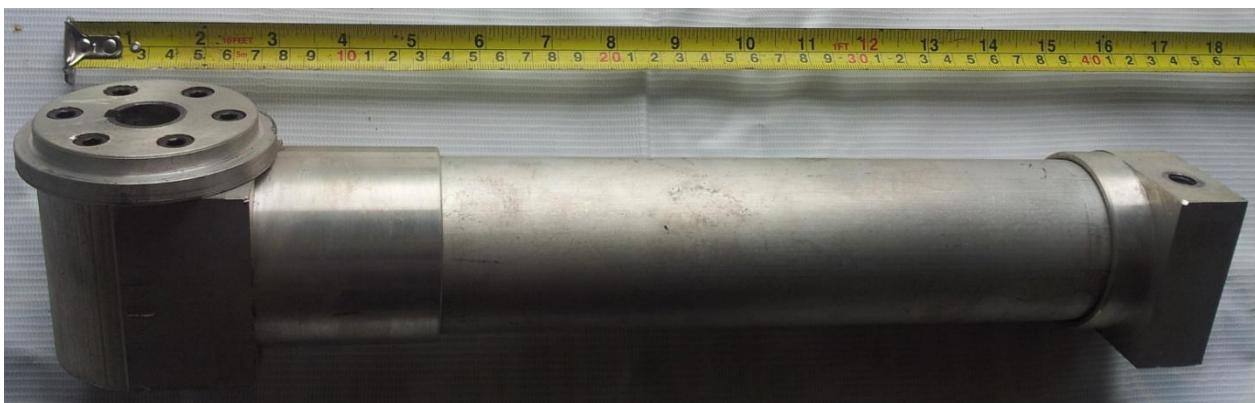
5.1 Các bộ phận và cấu trúc cơ khí

Các chi tiết bộ phận kết cấu cơ khí sau quá trình thiết kế từng chi tiết riêng biệt theo một số chi tiết, bộ phận được sản xuất theo tiêu chuẩn như ốc lục giác, đai ốc, khớp cầu, ống nhôm. Nhóm đã thiết kế được các chi tiết bộ phận cơ khí chính của robot như những hình sau đây.

Hình 5.2 là hình thực tế của cánh tay trên được thiết kế mô phỏng như **hình 5.1** với các chi tiết tiêu chuẩn là ống nhôm làm nên thân tay và ốc lục giác.



Hình 5.1: Thiết kế cánh tay trên của robot.



Hình 5.2: Cánh tay trên của robot.

Hình 5.4 là hình thực tế của cánh tay dưới được thiết kế mô phỏng như trên **hình 5.3** với các chi tiết tiêu chuẩn là ống nhôm làm nên thân tay và hai khớp cầu ở hai đầu cánh

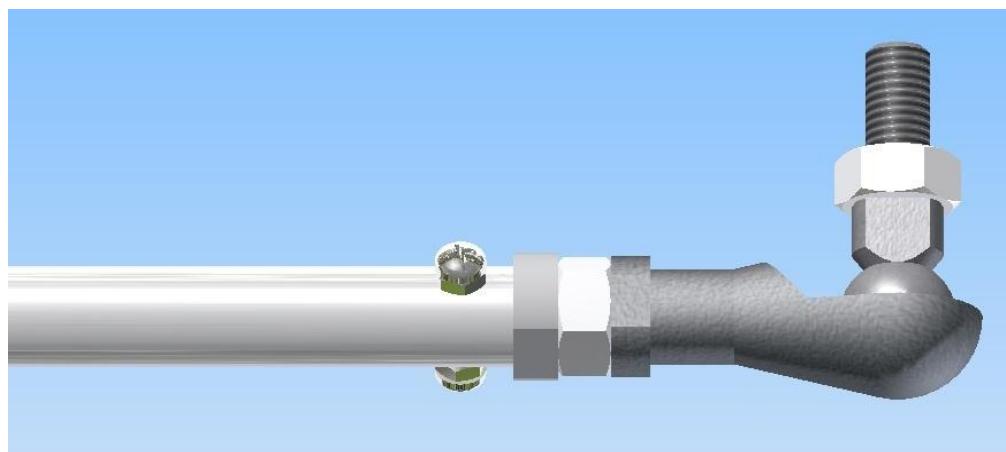
tay. Các khớp cầu như trong **hình 5.6** là các khớp tiêu chuẩn được bán trên thị trường, do đó việc kết nối khớp cầu với ống nhôm tiêu chuẩn cần phải thiết kế một chi tiết để nối chúng lại với nhau.



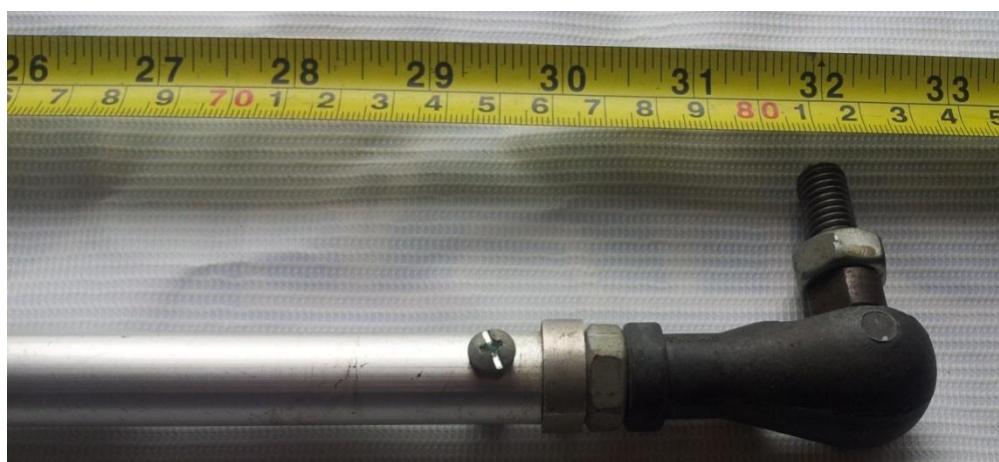
Hình 5.3: Thiết kế cánh tay dưới.



Hình 5.4: Cánh tay dưới.

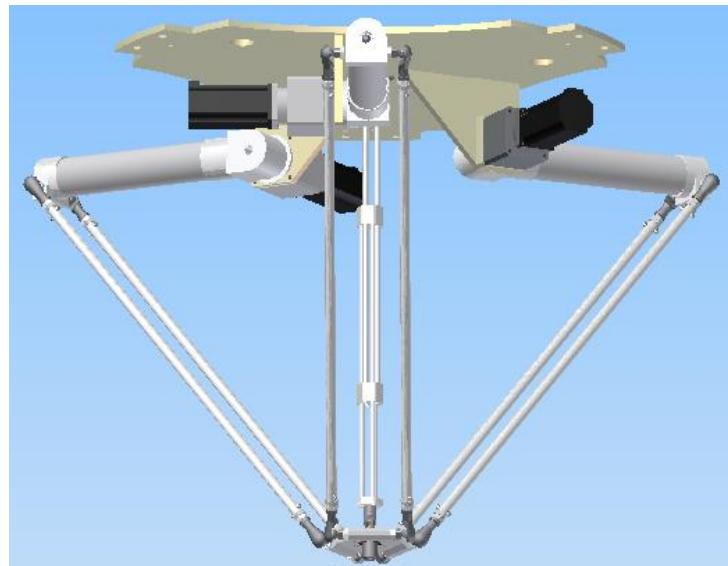


Hình 5.5: Thiết kế đầu nối giữa khớp cầu và thân cánh tay dưới.

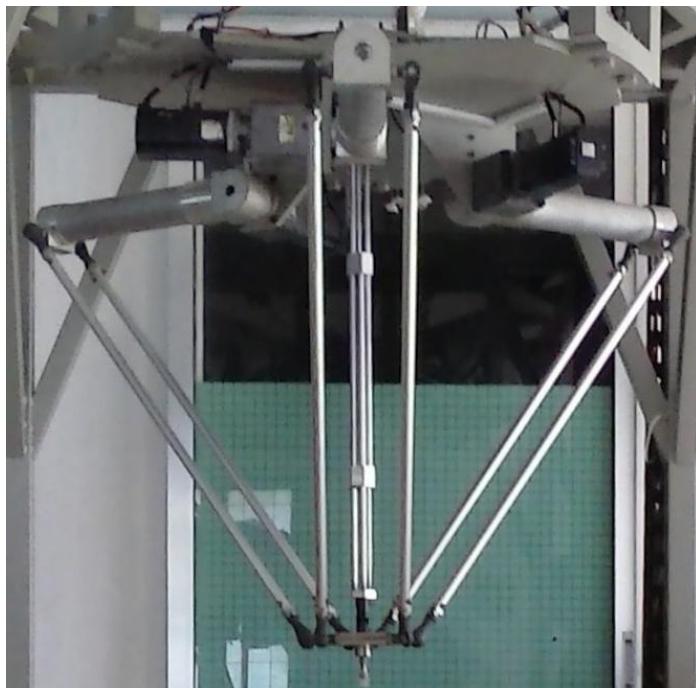


Hình 5.6: Khớp cầu lắp với thân cánh tay dưới.

Sau khi thiết kế lắp ráp các chi tiết thành các bộ phận của robot như cánh tay trên, cánh tay dưới như **hình 5.2** và **hình 5.4** ta sẽ lắp ráp các bộ phận đó lại với đế trên, đế dưới, gối đỡ động cơ, trục xoay tạo thành một robot có cấu hình song song dạng Delta như **hình 5.7** và **hình 5.8** dưới đây.



Hình 5.7: Thiết kế tổng thể robot.

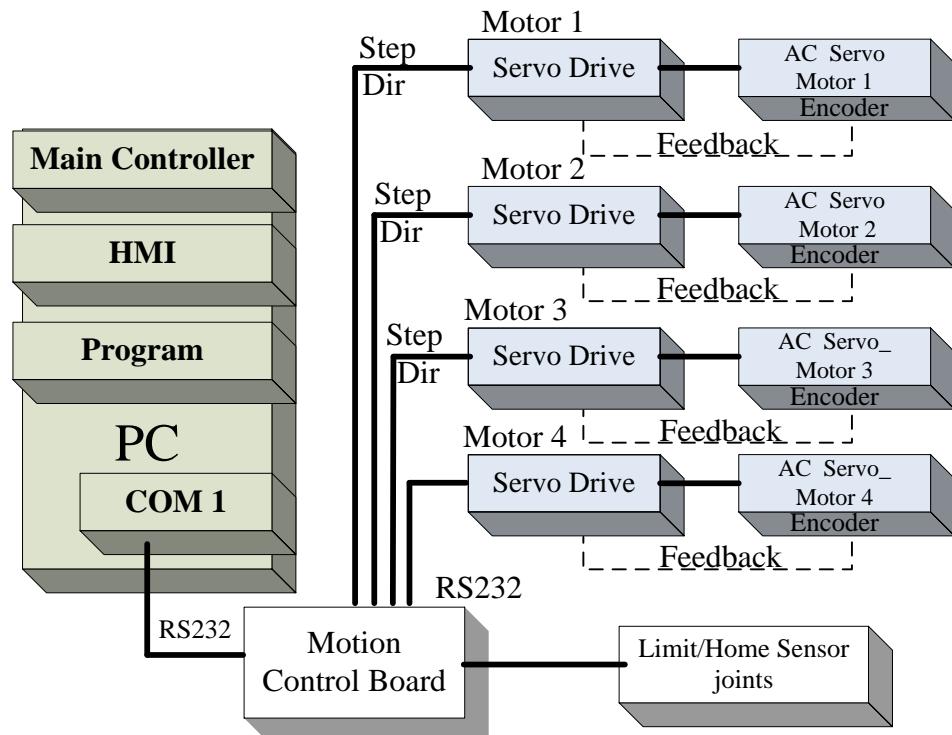


Hình 5.8: Hình tổng thể của robot.

5.2 Hệ thống điều khiển

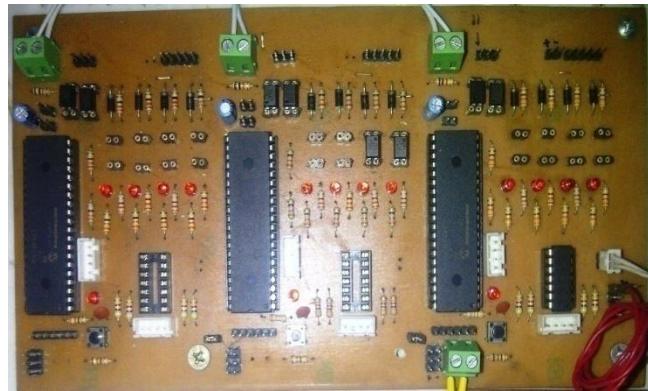
Cấu trúc của hệ thống điều khiển robot và các thiết bị phần cứng được chỉ ra như trong **hình 5.9**. Một CPU-3.0GHz chạy trên nền Windows XP được sử dụng như là máy

tính điều khiển chính. Các thiết bị khác, như bộ điều khiển servo (bộ điều khiển động cơ của các trục khớp) và cảm biến kết nối các khu vực điều khiển tới máy tính chính. Các bộ điều khiển servo và các cảm biến có bộ vi xử lý riêng. Các bộ vi xử lý cho phép bộ điều khiển servo điều khiển góc độ và vận tốc của động cơ với các lệnh chuyển từ máy tính. Máy tính làm việc với chức năng như bộ điều khiển chủ. Nó tính toán các thuật toán điều khiển hồi tiếp sau khi nhận được các dữ liệu từ các bộ encoder và cảm biến, tạo ra quỹ đạo của các khớp, và gửi các lệnh điều khiển của máy để điều khiển động cơ servo của các khớp.



Hình 5.9: Sơ đồ khái niệm hệ thống điều khiển robot song song.

Bộ điều khiển robot song song cấu thành từ các bộ phận như máy tính bao gồm bộ xử lý trung tâm, bộ nhớ, các card vào ra ngoài ra còn có vi điều khiển kết nối để làm bộ giao tiếp giữa máy tính và thiết bị ngoại vi, ở đây là các bộ điều khiển các động cơ servo cũng như các cảm biến gắn trên robot. Tất cả các thiết bị này được bố trí trong tủ điều khiển trung tâm. Dựa vào sự phân tích, các động cơ được sử dụng trong robot có cùng công suất. Các bộ điều khiển hoạt động ở tần số 20MH. **Hình 5.12** cho thấy sơ đồ khái của hệ thống điều khiển cũng như quá trình tính toán điều khiển robot song song.

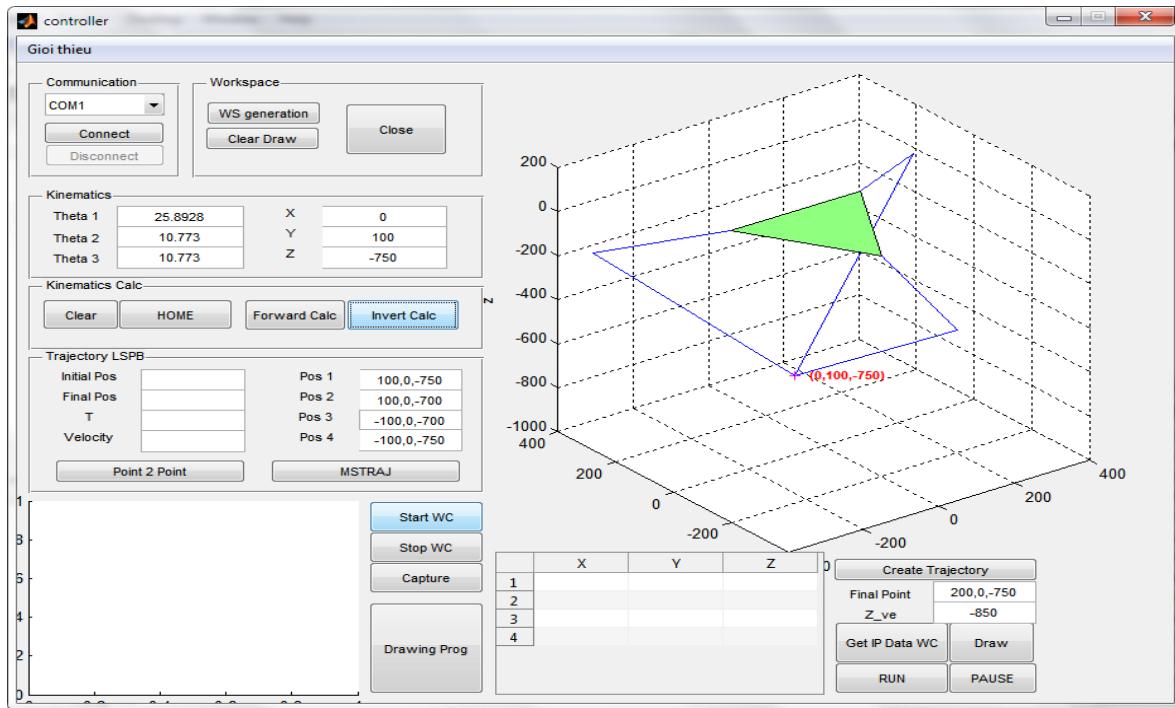


Hình 5.10: Mạch điều khiển giao tiếp thiết bị ngoại vi.

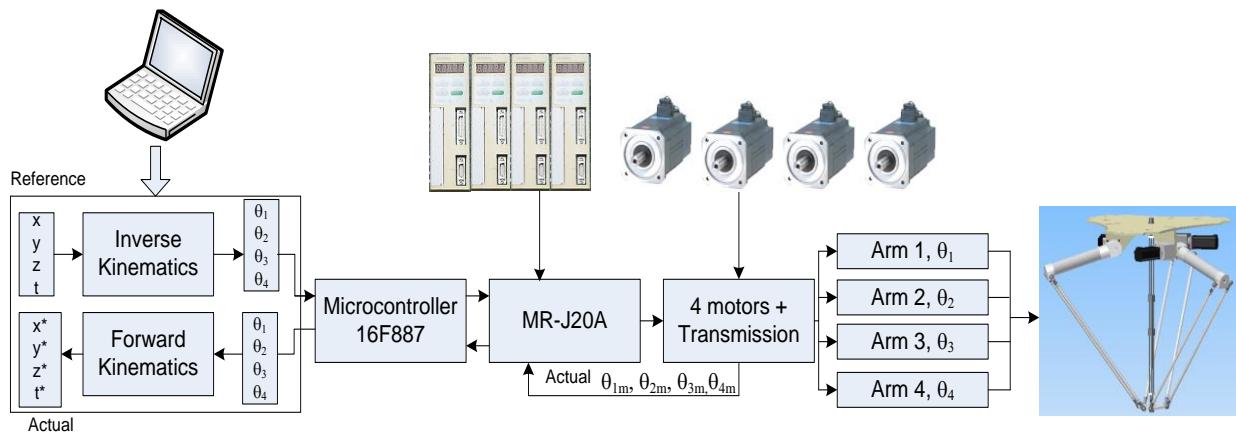
Trong hệ thống điều khiển robot song song Delta được thiết kế, nhóm đã sử dụng các giải thuật nội suy đường thẳng, cong hoặc đường cong bậc cao. Vận tốc lớn nhất được quy ước bởi người điều khiển và quan hệ giữa vận tốc và vị trí được xác định từ dữ liệu tính toán nội suy. Đối với việc nội suy thẳng thì vận tốc bắt đầu di chuyển và tăng dần theo độ dốc và đạt giá trị lớn nhất, và giảm dần khi tới gần điểm kết thúc. Để nội suy cung tròn, giải thuật cần cung cấp các thông số như: Điểm bắt đầu, điểm kết thúc, điểm giữa nằm trên cung tròn và vận tốc lớn nhất khi di chuyển suốt quỹ đạo.

Một vấn đề khá quan trọng và mang tính quyết định đến chất lượng xử lý và đáp ứng của robot song song đó là đưa ra giải thuật điều khiển robot song song phù hợp. Ví dụ như khi chúng ta muốn quỹ đạo di chuyển sẽ bắt đầu tại điểm A, đi ngang qua điểm C và kết thúc tại B. Quỹ đạo được chia thành nhiều điểm nhỏ giữa A và B. Khoảng cách giữa các điểm trên quỹ đạo di chuyển được tìm bằng cách sử dụng phép nội suy bậc 3 spline. Giải thuật nội suy bậc 3 dạng spline là một dạng nội suy đa thức dành cho việc tính toán những đường di chuyển mịn giữa các điểm dữ liệu.

Giải thuật và chương trình tính toán, mô phỏng trong phần này được thực hiện trên phần mềm Matlab dựa trên các bài toán động học và động lực học được phân tích trên.Thêm vào đó, nhóm thực hiện việc điều khiển thông qua giao diện phần mềm trên nền Visual Studio 2008 kết hợp sử dụng các thư viện liên quan. Với chương trình tính toán mô phỏng được thực hiện dựa trên việc xác định các thông số động học và những phương trình xác định những ràng buộc của cơ cấu song song. Sau đó tiến hành khảo sát bài toán động lực học cơ cấu khi cho biết vị trí tức thời của điểm tác động cuối cũng như các thông số khác như vận tốc, lực, moment tác động. Bài toán thuận được dùng để kiểm tra và đánh giá sai số của quá trình điều khiển.



Hình 5.11: Giao diện tính toán, mô phỏng, điều khiển trên nền Matlab.



Hình 5.12: Sơ đồ điều khiển cho robot song song Delta.

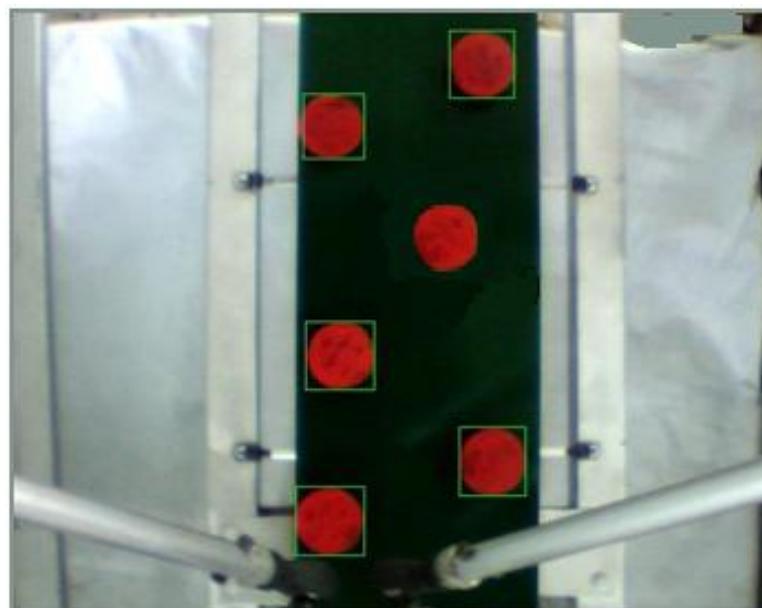
Hình 5.13 là hình dạng bên ngoài của bộ điều khiển trung tâm của robot song song. Bộ điều khiển này có nhiệm vụ điều khiển robot song, giao tiếp với người vận hành và chứa các thiết bị điện tử, các bộ điều khiển các động cơ servo AC. Ngoài ra, bộ điều khiển còn được thiết kế để phát triển nâng cao tích hợp cho một hệ thống hoàn chỉnh gồm các thiết bị điều khiển băng chuyền, biến tần, các thiết bị đầu cuối, màn hình theo dõi quá trình điều khiển và quá trình xử lý ảnh...



Hình 5.13: Bộ điều khiển

5.3 Hệ thống camera phát hiện và bám vật.

Hệ thống camera có khả năng phát hiện những vật đạt yêu cầu trên băng chuyền đang chuyển động và gửi dữ liệu vị trí vật cho robot thông qua một máy tính xử lý. Hiện tại hệ thống nhận biết và bám theo màu sắc của vật. Cụ thể ở đây thực hiện việc bám các hộp thạch rau câu có mặt trên màu đỏ trên băng chuyền chuyển động.

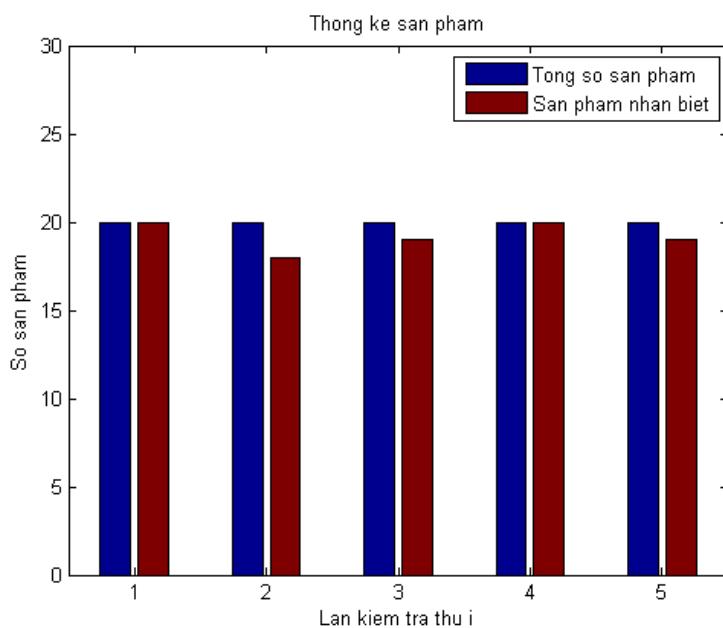


Hình 5.14: Ảnh bám vật.

Tiến hành thử nghiệm hệ thống phát hiện và bám vật, kết quả được như **bảng 5.1**.

Bảng 5.1: Kết quả thử nghiệm hệ thống camera.

STT	Số sản phẩm kiểm tra	Số sản phẩm hệ thống phát hiện được	Tỉ lệ thành công
1	20	20	100%
2	20	18	90%
3	20	19	95%
4	20	20	100%
5	20	19	95%



Hình 5.15: Kết quả thử nghiệm hệ thống camera qua 5 lần.

Qua việc kiểm tra nhóm nhận thấy hệ thống camera hoạt động tốt trong việc phát hiện và bám vật trên băng chuyền chuyển động. Các trường hợp sản phẩm không phát hiện được (**hình 5.14**) là do việc tách ngưỡng trong quá trình xử lý ảnh phụ thuộc vào hệ thống chiếu sáng cho khu vực camera chưa tốt. Cách khắc phục là chiếu đủ sáng và cố định hệ thống.

5.4 Giao diện điều khiển

Phần giao diện điều khiển có khả năng hỗ trợ người dùng giao tiếp với robot thông qua máy tính để điều khiển tay máy.

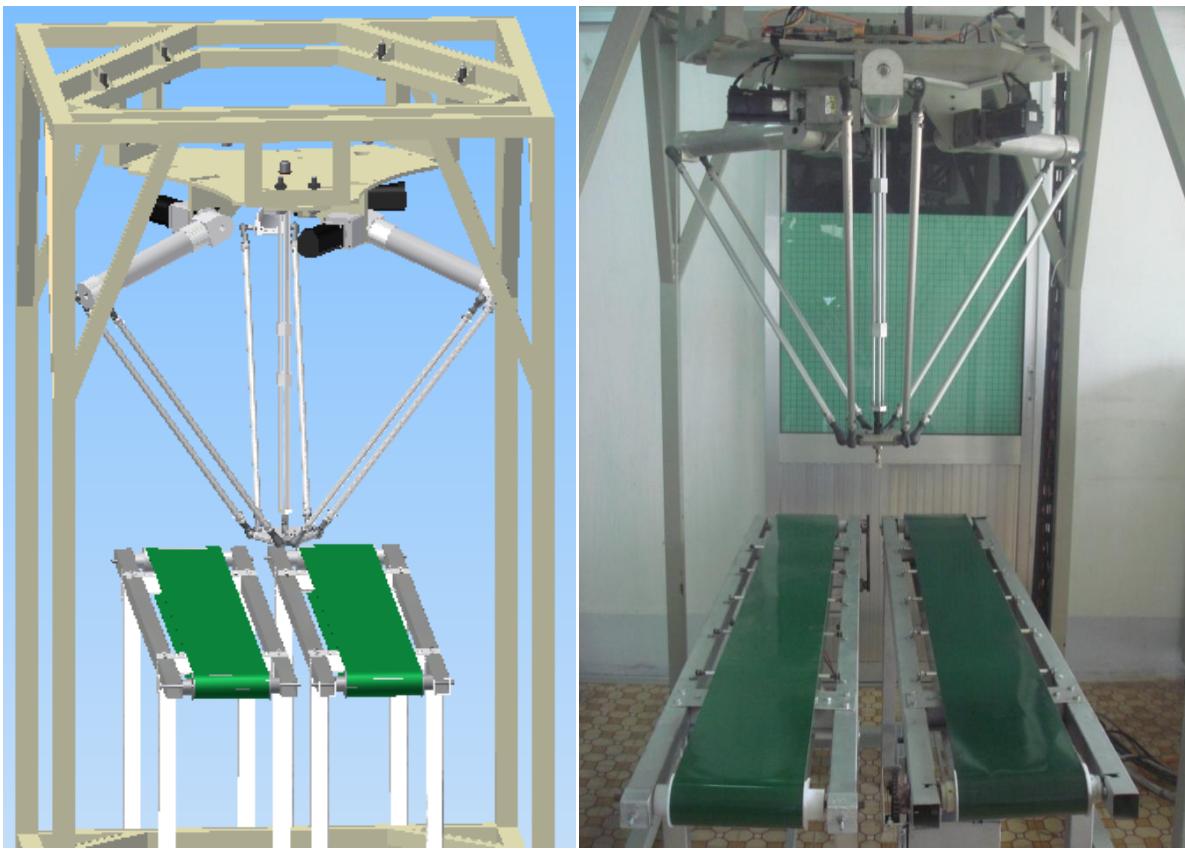


Hình 0.16: Giao diện điều khiển.

Giao diện được lập trình bằng ngôn ngữ C++, có các chức năng như giao tiếp với mạch điều khiển robot qua cổng Com, điều khiển chuyển động robot theo 3 trục X, Y, Z ; điều khiển theo góc từng động cơ, giám sát quá trình bám vật qua thị giác máy, chương trình gấp và đặt các sản phẩm,... ngoài ra có các lệnh về STOP, HOME, RESET...

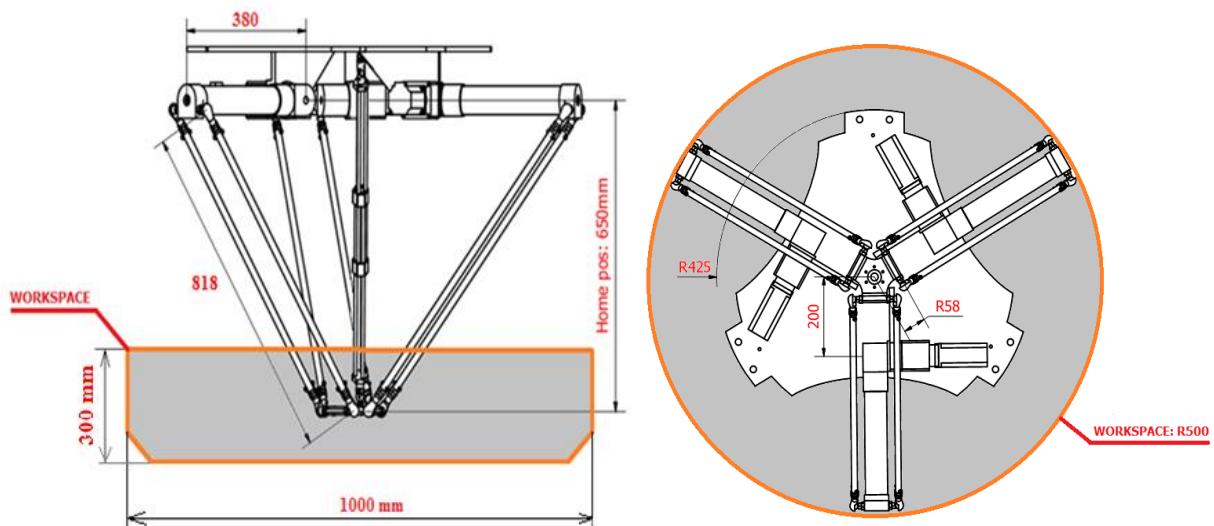
5.5 Robot song song Delta

Robot song song Delta sau khi được lắp ráp hoàn chỉnh có hình dáng và đặc điểm như sau:



Hình 5.17: Robot song song delta hoàn chỉnh.

Không gian hoạt động thực tế của robot song song Delta là một hình trụ tròn, có bán kính 500mm, cao 300 mm như **hình 5.18**.



Hình 5.18: Không gian hoạt động robot.

Sau quá trình chế tạo, robot song song Delta sau khi hoàn thành có các thông số kỹ thuật sau:

Bảng 5.2: Thông số kỹ thuật của Robot

STT	Thông số kỹ thuật	
1	Số bậc tự do	3 tịnh tiến, 1 xoay
2	Kích thước tổng thể	1200x1200x2100 mm
3	Tải tối đa	150 gram
4	Khả năng lắp lại vị trí	0.6 mm (với 50 chu kỳ 25/305/25mm)
5	Phạm vi hoạt động	Đường kính: 1000 mm Chiều cao: 300 mm
6	Tốc độ tối đa	0.6 m/s
7	Độ phân giải camera	640x480 pixels
8	Điện áp cung cấp	200-300V 50-60 Hz
9	Công suất động cơ	200 W

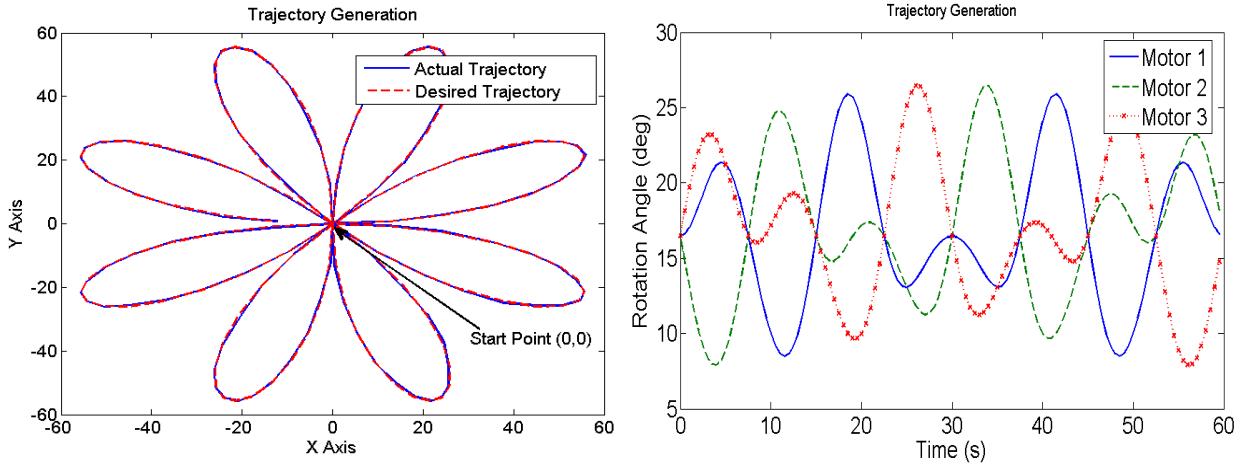
Thí nghiệm đầu tiên, nhóm thực hiện cho robot di chuyển theo một quỹ đạo có phương trình cho trước với vận tốc của bệ di chuyển tương đối chậm (1m/ph)

$$r = a \sin(n\theta) \quad (5.1)$$

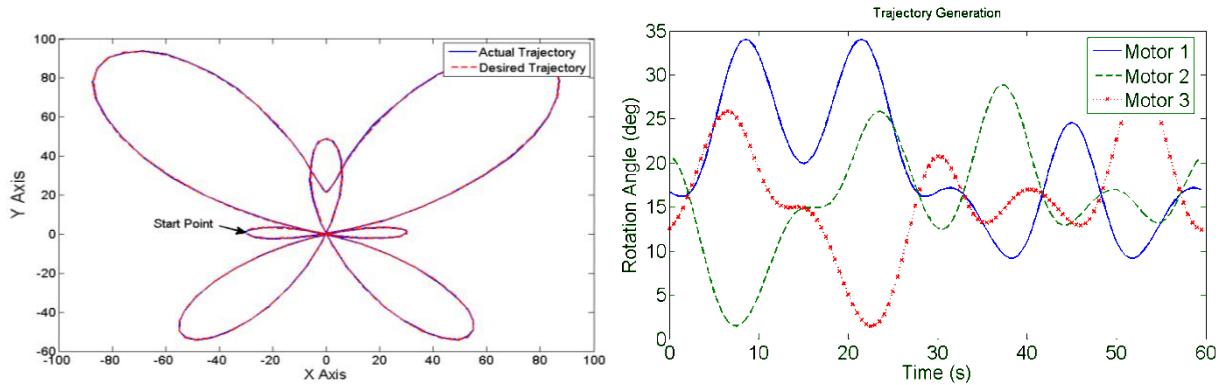
$$r = e^{\sin\theta} - 2\cos(4\theta) + \sin^5\left[\frac{(2\theta - \pi)}{24}\right] \quad (5.2)$$

$$r = 2 - 2\sin\varphi + \frac{\sin\varphi\sqrt{|\cos\varphi|}}{\sin\varphi + \frac{7}{5}} \quad (5.3)$$

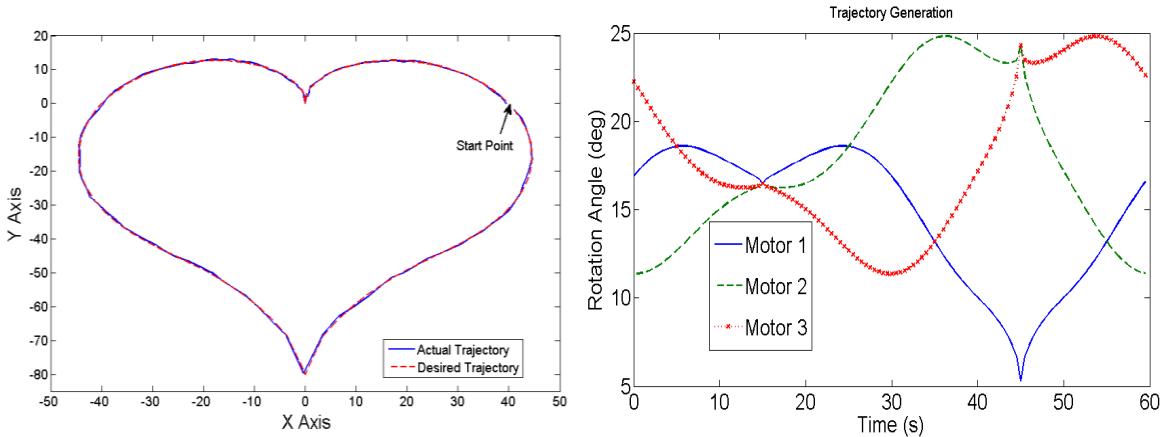
Quỹ đạo được vẽ lại trên giấy, và đáp ứng của động cơ được gửi lên máy tính. Kết quả cho thấy có một số khác biệt nhỏ giữa quỹ đạo tính toán và đáp ứng thực tế. Nguyên nhân của sai số này: Thứ nhất, sai số tích lũy qua các bộ truyền và các khớp, thứ hai là sai số do quá trình làm tròn trong tính toán bài toán động học.



Hình 5.19: Quỹ đạo của bệ di chuyển và đáp ứng của 3 động cơ theo phương trình 1

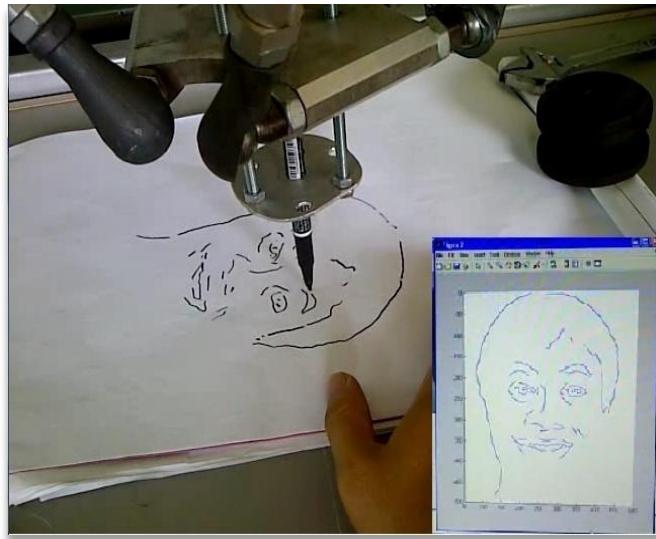


Hình 5.20: Quỹ đạo hình con bướm theo phương trình 2.



Hình 0.21: Quỹ đạo hình trái tim theo phương trình 3.

Quá trình thực nghiệm tiếp theo của robot được thực hiện bằng việc cho robot nội suy theo các quỹ đạo thông qua một hình vẽ. Với việc làm này có thể kiểm tra được quá trình nội suy và độ chính xác của robot có hiệu quả hay không. Kết quả robot có thể vẽ chính xác giống theo hình vẽ ban đầu.

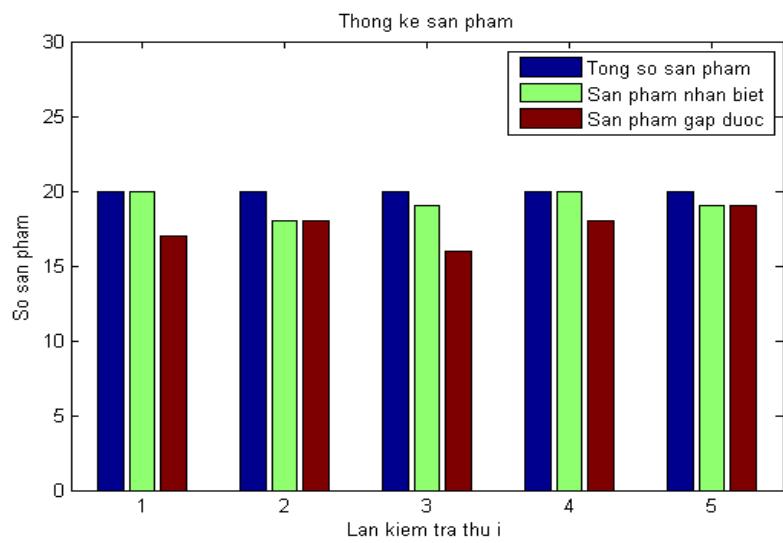


Hình 5.22: Quá trình nội suy hình ảnh.

Tiếp theo nhóm tiếp tục thực nghiệm bằng quá trình gấp sản phẩm của robot. Ở đây sản phẩm được thử là các hũ thạch rau câu. Tại một bên băng chuyền các sản phẩm đang ở vị trí ngẫu nhiên, các sản phẩm sẽ được băng chuyền di chuyển theo hướng đi tới trước, và hệ thống sẽ xử lý phân tích và robot gấp từng sản phẩm này qua một bên băng chuyền khác di chuyển ngược lại và sắp xếp các sản phẩm này theo một trật tự nhất định. Sau đây là kết quả thực nghiệm robot đã thực hiện gấp sản phẩm như **bảng 5.3**.

Bảng 5.3: Kết quả thực nghiệm robot gấp sản phẩm.

STT	Số sản phẩm kiểm tra	Số sản phẩm hệ thống phát hiện được	Số sản phẩm gấp được	Tỉ lệ thành công
1	20	20	17	85%
2	20	18	18	100%
3	20	19	16	84.2%
4	20	20	18	90%
5	20	19	19	100%



Hình 5.23: Kết quả thực nghiệm qua 5 lần.



Hình 5.24: Quá trình robot gấp sản phẩm.

Mặc dù quá trình robot thực hiện gấp vẫn còn bỏ sót một vài sản phẩm, nguyên nhân là do robot vẫn chưa hoạt động với tốc độ cao nhất, sai số trong tính toán tọa độ vật, hệ thống camera nhận dạng sản phẩm chưa thật sự hoàn chỉnh nhưng robot đã hoạt động tốt với sự chuyển động linh hoạt, di chuyển tới các điểm vị trí gấp một cách chính xác.

Hệ thống robot song song Delta gấp sản phẩm trên băng chuyền gồm nhiều thành phần kết hợp với nhau. Đó là việc tính toán thiết kế các chi tiết cho robot, phân tích các thành phần lực cho việc chọn động cơ, nghiên cứu tìm ra giải thuật quỹ đạo đi cho robot thông qua các bộ điều khiển và các mạch động lực, ngoài ra hệ thống camera phân tích và bám vật trên băng chuyền chuyển động cũng là một phần rất quan trọng. Qua quá trình thực nghiệm chúng ta thấy robot có thể nội suy theo các quỹ đạo như mong muốn, dịch chuyển đầu công tác một cách linh hoạt nhẹ nhàng, có thể gấp các sản phẩm đang dịch chuyển trên băng chuyền, như vậy có thể nói các nhiệm vụ đặt ra ban đầu đã được thực hiện tốt qua quá trình kiểm tra, thực nghiệm.

PHẦN 3 : KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

I. KẾT QUẢ ĐẠT ĐƯỢC:

I.1 Tính khoa học:

Hoàn thiện khả năng thiết kế và chế tạo robot song song 4 bậc tự do cấu hình Delta.

Thiết kế cơ cấu chấp hành cuối cho việc gấp nhặt sản phẩm phân loại.

Phần mềm xử lý ảnh và phần mềm điều khiển tích hợp đáp ứng nhanh.

I.2 Khả năng triển khai ứng dụng vào thực tế:

Robot cấu hình song song dạng Delta được đánh giá là robot song song có cấu hình tốt nhất, phù hợp với những việc đòi hỏi việc di chuyển song phẳng nhanh và chính xác.

Việc ứng dụng khả năng xử lý ảnh vào việc phân loại màu sắc và phát hiện vị trí của các sản phẩm trên băng chuyền giúp cho robot có thể hoạt động linh hoạt và tự động hoàn toàn có khả năng áp dụng vào thực tế.

I.3 Hiệu quả kinh tế - xã hội:

Hiện nay robot đã được sử dụng nhiều trong các lĩnh vực công nghiệp cũng như đời sống xã hội nên việc giảng dạy môn học robot ở trường nên cần được đầu tư giảng dạy. Đặc biệt là ngành Cơ Điện Tử, một ngành học gần như là tổng hợp của các lĩnh vực cơ khí, điện điều khiển, lập trình rất phù hợp cho sự phát triển của ngành robot.

II. KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN ĐỀ TÀI

II.1 Kết luận:

Đã chế tạo thành công, nhóm nghiên cứu đã hoàn thành đề tài Thiết kế và chế tạo robot song song dạng Delta sử dụng trong việc phân loại sản phẩm

II.2 Hướng Phát triển:

Tối ưu hóa chương trình điều khiển robot để có thể ứng dụng robot cấu hình song song dạng Delta vào nhiều mục đích cụ thể hơn nữa.

Phát triển ứng dụng Robot Delta trong giảng dạy, phù hợp với chuyên ngành Cơ Điện Tử và xu hướng phát triển robot của thế giới.

Nâng cao tốc độ và tính ổn định của robot để triển khai thử nghiệm trong môi trường thực tế, từ đó chuyển giao robot cho các doanh nghiệp ứng dụng.

Đè suất các phương án tiết kiệm điện năng để từ đó làm cơ sở tính toán các mạch điều khiển và mạch công suất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] **PGS.TS Đào Văn Hiệp.** *Kỹ thuật ROBOT*. Nhà Xuất Bản Khoa Học Kỹ Thuật, Hà Nội, 2006.
- [2] URL <http://www.doko.vn/luan-van/tong-quan-ve-robot-cau-truc-song-song-va-phan-loai-155435>
- [3] **PGS.TS. Lê Hoài Quốc.** *Đề tài KC.03.16/06-10*. Trung tâm NEPTECH, Sở KH&CN TP. HCM, 2010.
- [4] URL <http://automation.net.vn/Robot-Robotics/Xu-the-pha-t-trie-n-Robot-tren-the-gio-i-va-ti-nh-hi-nh-nghien-cu-u-Robot-o-Vie-t-Nam-hie-n-nay.html>
- [5] **Trịnh Chất – Lê Văn Uyễn**, *Tính toán thiết kế hệ dẫn động cơ khí*, Nhà xuất bản giáo dục.
- [6] **Bonev, I.** *Delta parallel robot – the story of success*, 2001, available from <http://www.paralemic.org/Reviews/Review002.html>.
- [7] **Nguyễn Quang Hoan**, *Giáo trình xử lý ảnh*. Học viện Công Nghệ Bưu Chính Viễn Thông
- [8] **Dwayne Phillips**, *Image processing in C*, R&D Publication.
- [9] URL <http://www.codeproject.com/Articles/336915/Connected-Component-Labeling-Algorithm>
- [10] **Wenchang Zhang, Jiangping Mei, Yabin Ding**, *Design and Development of a Hight Speed Sorting System Based on Machine Vision Guiding*, School of Mechanical Engineering Tianjin University.
- [11] **Nguyễn Quốc Uy**, *Tìm kiếm ảnh dựa vào nội dung*, Trường đại học Khoa Học Tự Nhiên.
- [12] **Linda Shapiro**, *Computer Vision*, The University of Washington, Seattle, Washington.
- [13] **André Olsson**, *Modeling and control of a Delta-3 robot*, 2009.
- [14] <http://www.paralemic.org/Reviews/Review007.html>

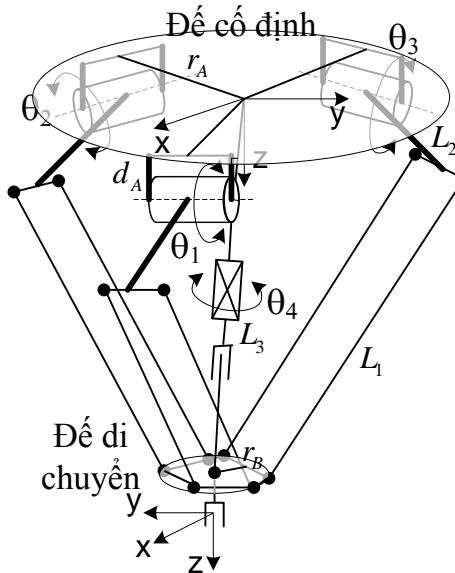
Phụ lục 1

Bài báo khoa học

Phụ lục 2
Bản sao thuyết minh đã được phê duyệt

Phụ lục 3:

Tính số bậc tự do của cơ cấu



Hình P2.1: Sơ đồ robot song song dạng Delta sẽ được thiết kế.

có 3 bậc tự do tịnh tiến và 1 bậc tự do xoay

Theo tài liệu tham khảo [1], trong chuỗi động học kín, hình thành các vòng (Loop). Người ta đã chứng minh được rằng quan hệ giữa số vòng độc lập L , số khâu N và số khớp J , số chuyển động trùng giữa hai khớp kề nhau như sau:

$$L = j - n + 1 - \sum f_p \quad (1)$$

Với :

L : số vòng độc lập

n : số khâu.

j : số khớp

$$\sum f_i = Dof + \lambda L \quad (2)$$

Với:

f_i : số khớp có khả năng di chuyển được.

Dof : số bậc tự do của cơ cấu.

λ : thông số động học của cơ cấu ($\lambda = 3$ với cơ cấu phẳng, $\lambda = 6$ với cơ cấu không gian).

Thay (1) vào (2) ta có:

$$Dof = \lambda(n - j - 1) + \sum f_i - f_p \quad (3)$$

Xét cơ cấu robot song song trong đồ án theo dạng tay máy Maryland ta có các số liệu như sau:

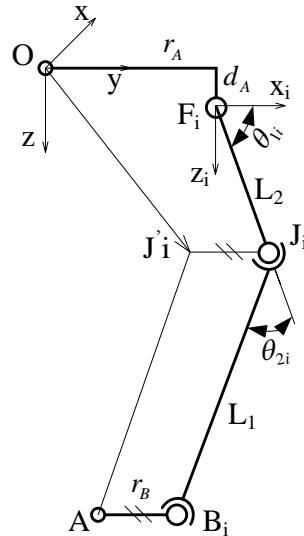
- Là cơ cấu không gian nên $\lambda = 6$.
- Có 13 chuyển động trùng nhau giữa hai khớp liền kề nhau (giữa 2 khớp cầu trên tay dưới, giữa mỗi khớp cầu với khớp trụ ở tay trên, giữa khớp tịnh tiến và khớp xoay của trực xoay) nên $\sum f_p = 13$.
- Có tổng cộng 19 khâu (4 khâu bình hành cho mỗi cánh tay dưới x3 cánh tay, mỗi khâu cho một cánh tay trên x3 cánh tay, 1 khâu đế dưới di động, 1 khâu đế trên cố định, 2 khâu tịnh tiến cầu trực xoay) nên $n=19$.
- Có tổng số 23 khớp (4 khâu bình hành cho mỗi cánh tay dưới có 4 khớp x3 cánh tay, mỗi cánh tay trên có 2 khớp x3 cánh tay, đế dưới di động có 3 khớp xoay, 1 khớp tịnh tiến và 1 khớp xoay của trực xoay) nên $j=23$.
- Có tổng số khớp có thể di chuyển được là 47 (mỗi khớp cầu có 3 khả năng chuyển động x12 khớp cầu, đế dưới chuyển động có 3 khớp trụ, tay trên có 2 khớp trụ x3 tay trên) nên $\sum f_i = 47$.

$$Dof = 6(19 - 23 - 1) + 47 - 13 = 4$$

Vậy cơ cấu có 4 bậc tự do.

Phụ lục 4: Động học thuận

Theo một số tài liệu tham khảo [1], [2].....từ đó ta giải được bài toán động học thuận của robot song song cấu hình Delta như sau:



Hình P3.1

Từ (hình P3.1) ta đặt các thông số như sau:

Các góc quay của 3 cánh tay trên lần lượt là $\theta_{1i}, \theta_{2i}, \theta_{3i}$.

d_A : khoảng cách từ tâm đế trên (góc tọa độ) tới trục quay của hộp số.

F_1, F_2, F_3 : các tâm của trục quay gắn với hộp số.

J_1, J_2, J_3 : tâm các khớp quay tương tự như J trên hình vẽ tương ứng với các cánh tay 1, 2 và 3.

J'_1, J'_2, J'_3 : hình chiếu của J_1, J_2, J_3 tương tự như J' trên hình vẽ tương ứng với các cánh tay 1, 2 và 3.

r_A : khoảng cách từ tâm đế trên so với hình chiếu trực quay của cánh tay lên đế trên.

r_B : là khoảng cách từ tâm đế dưới so với hình chiếu tâm khớp cầu dưới.

Dùng phương pháp dời vector theo trục **X** ta có:

$$\overrightarrow{OJ_1} = \overrightarrow{OF_1} + \overrightarrow{F_1J_1} + \overrightarrow{J_1J_1} \quad (I)$$

Với độ dài các vecto như sau:

Khoảng cách từ góc tọa độ gốc tới điểm các khớp quay của hộp số là:

$$OF_1 = OF_2 = OF_3 = \sqrt{r_A^2 + d_A^2}. \quad (II)$$

Bán kính của ba hình cầu giao nhau tại tâm đế dưới là L_1 .

$$J_2 J_2' = J_2 J_2' = J_3 J_3' = r_B$$

$$F_1 J_1 = L_2 \cos \theta_{11}$$

$$F_2 J_2 = L_2 \cos \theta_{12}$$

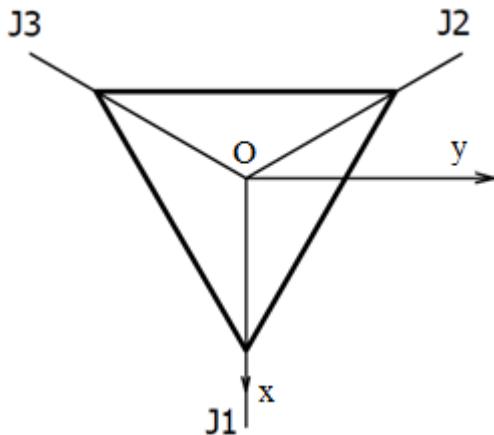
$$F_3 J_3 = L_2 \cos \theta_{13}$$

$$\text{Gọi } r = \sqrt{r_A^2 + d_A^2} - r_B$$

Chiếu (I) lên hệ trục tọa độ ta được:

$$\Rightarrow OJ_1' = OF_1 + F_1 J_1 - J_1 J_1'$$

Để tìm được vị trí của tọa độ điểm A khi biết các góc quay $\theta_{11}, \theta_{12}, \theta_{13}$ ta thực hiện giải bài toán giao nhau của ba hình cầu tâm J_i' ($i=1, 2, 3$) với bán kính L_1 .



Hình P3.2: Hệ tọa độ đế cố định.

$$\Rightarrow \text{tọa độ } J_1' \text{ là: } (r + L_2 \cos \theta_{11}, 0; L_2 \sin \theta_{11} + d_A) = (x_1; y_1; z_1)$$

Tương tự ta có tọa độ các điểm J_1' và J_2' như sau:

$$J_2' = (-(r + L_2 \cos \theta_{12}) \sin 30^\circ; (r + L_2 \cos \theta_{12}) \cos 30^\circ; L_2 \sin \theta_{12} + d_A) = (x_2; y_2; z_2)$$

$$J_3' = (-(r + L_2 \cos \theta_{13}) \sin 30^\circ; -(r + L_2 \cos \theta_{13}) \cos 30^\circ; L_2 \sin \theta_{13} + d_A) = (x_3; y_3; z_3)$$

Gọi $(x; y; z)$ là tọa độ điểm A (tâm đế dưới)

Giao điểm của 3 hình cầu là nghiệm của hệ phương trình sau:

$$\begin{cases} (x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2 = L_1^2 \\ (x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_2)^2 = L_1^2 \\ (x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 + (z-z_3)^2 = L_1^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} x^2 + y^2 + z^2 - 2y_1y - 2z_1z = L_1^2 - y_1^2 - z_1^2 & (1) \\ x^2 + y^2 + z^2 - 2x_2x - 2y_2y - 2z_2z = L_1^2 - x_2^2 - y_2^2 - z_2^2 & (2) \\ x^2 + y^2 + z^2 - 2x_3x - 2y_3y - 2z_3z = L_1^2 - x_3^2 - y_3^2 - z_3^2 & (3) \end{cases}$$

$$\text{Đặt } w_i = x_i^2 + y_i^2 + z_i^2$$

$$\begin{cases} (4) = (1) - (2) \\ (5) = (1) - (3) \\ (6) = (2) - (3) \end{cases} \rightarrow \begin{cases} x_2x + (y_1 - y_2)y + (z_1 - z_2)z = (w_1 - w_2)/2 \\ x_3x + (y_1 - y_3)y + (z_1 - z_3)z = (w_1 - w_3)/2 \\ (x_2 - x_3)x + (y_2 - y_3)y + (z_2 - z_3)z = (w_2 - w_3)/2 \end{cases}$$

$$\text{Với: } w_1 = y_1^2 + z_1^2$$

$$w_2 = x_2^2 + y_2^2 + z_2^2$$

$$w_3 = x_3^2 + y_3^2 + z_3^2$$

Từ pt(4) và pt(5)

$$\Rightarrow x = \frac{a_1z + b_1}{d}$$

$$\text{Với: } a_1 = (z_2 - z_1)(y_3 - y_1) - (z_3 - z_1)(y_2 - y_1)$$

$$b_1 = -\frac{1}{2}((w_2 - w_1)(y_3 - y_1) - (w_3 - w_1)(y_2 - y_1))$$

$$d = (y_2 - y_1)x_3 - (y_3 - y_1)x_2$$

$$\Rightarrow y = \frac{a_2z + b_2}{d}$$

$$\text{Với: } a_2 = -(z_2 - z_1)x_3 + (z_3 - z_1)x_2$$

$$b_2 = \frac{1}{2}((w_2 - w_1)x_3 - (w_3 - w_1)x_2)$$

$$d = (y_2 - y_1)x_3 - (y_3 - y_1)x_2$$

Thay x, y ở trên vào pt(1):

$$\Rightarrow a^*z^2 + b^*z + c = 0$$

$$\text{Với: } a = a_1^2 + a_2^2 + d^2$$

$$b = 2(a_1 b_1 + a_2 (b_2 - y_1 d) - z_1 d^2)$$

$$c = (b_2 - y_1 d)(b_2 - y_1 d) + b_1^2 + d^2(z_1^2 - L_1^2)$$

$$\Delta = b^2 - 4ac$$

$$\Rightarrow z = \frac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2a}$$

Thay z_0 vào x, y ở trên ta được:

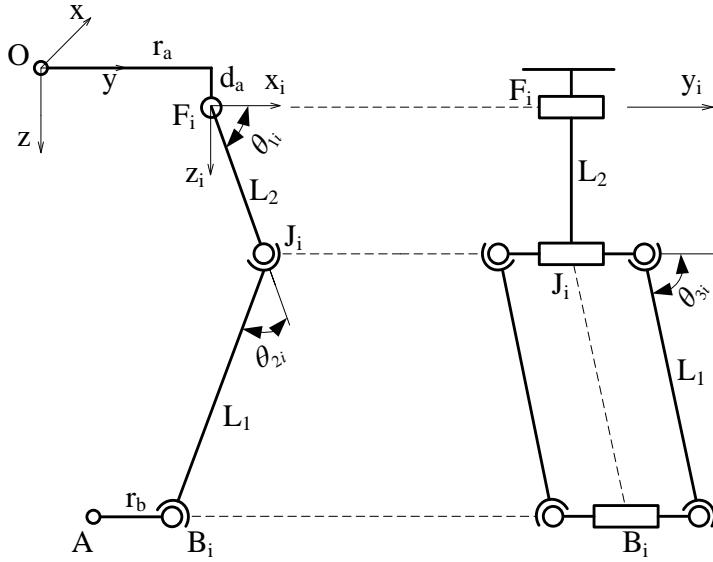
$$x = \frac{a_1 z + b_1}{d}$$

$$y = \frac{a_2 z + b_2}{d}$$

Phụ lục 5:

Động học nghịch

Theo một số tài liệu tham khảo [1], [2].....từ đó ta giải được bài toán động học nghịch của robot song song cấu hình Delta như sau:



Hình P4.1: Mô hình cánh tay robot (cánh tay 1).

Từ các ký hiệu và thông số ở (hình P4.1) ta sẽ tính toán bài toán động học nghịch của robot như sau:

Đặt $r = r_a - r_b$

Giá trị của góc quay của động cơ thứ 1(cánh tay 1) phụ thuộc vào hệ phương trình sau:

$$\begin{cases} X_A = L_2 \cos \theta_1 + L_1 \sin \theta_3 \cos(\theta_1 + \theta_2) + r \\ Y_A = L_1 \cos \theta_3 \\ Z_A = L_2 \sin \theta_1 + L_1 \sin \theta_3 \sin(\theta_1 + \theta_2) + d_A \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} X_A - L_2 \cos \theta_1 - r = L_1 \sin \theta_3 \cos(\theta_1 + \theta_2) & (1) \\ Y_A = L_1 \cos \theta_3 & (2) \\ Z_A - L_2 \sin \theta_1 - d_A = L_1 \sin \theta_3 \sin(\theta_1 + \theta_2) & (3) \end{cases} \quad (I)$$

Bình phương hai vế của hệ phương trình (I) ta được phương trình sau:

$$\Rightarrow (X_A - L_2 \cos \theta_1 - r)^2 + Y_A^2 + (Z_A - L_2 \sin \theta_1 - d_A)^2 = L_1^2 \quad (4)$$

$$\Leftrightarrow X_A^2 + (L_2 \cos \theta_1)^2 + r^2 - 2X_A L_2 \cos \theta_1 - 2X_A r + 2L_2 r \cos \theta_1 + Y_A^2 + Z_A^2 + (L_2 \sin \theta_1)^2 + d_A^2 - 2Z_A L_2 \sin \theta_1 - 2Z_A d_A + 2d_A L_2 \sin \theta_1 - L_1^2 = 0$$

$$\Leftrightarrow X_A^2 + Y_A^2 + Z_A^2 + L_2^2 - L_1^2 + r^2 + d_A^2 - 2X_A r - 2Z_A d_A - 2X_A L_2 \cos \theta_1 + 2L_2 r \cos \theta_1 - 2Z_A L_2 \sin \theta_1 + 2d_A L_2 \sin \theta_1 = 0$$

$$\Leftrightarrow X_A^2 + Y_A^2 + Z_A^2 + L_2^2 - L_1^2 + r^2 + d_A^2 - 2X_A r - 2Z_A d_A - (2X_A - 2r)L_2 \cos \theta_1 - 2(Z_A - d_A)L_2 \sin \theta_1 = 0 \quad (5)$$

Đặt: $f_1 = X_A^2 + Y_A^2 + Z_A^2 + L_2^2 - L_1^2 + r^2 + d_A^2 - 2X_A r - 2Z_A d_A$

$$f_2 = -(2X_A - 2r)L_2$$

$$f_3 = -2(Z_A - d_A)L_2$$

$$t = \tan \frac{\theta_1}{2} \quad \cos \theta_1 = \frac{1-t^2}{1+t^2} \quad \sin \theta_1 = \frac{2t}{1+t^2}$$

Thay tất cả các biến ta vừa đặt ở trên vào phương trình (5) ta sẽ được phương trình mới như sau:

$$\begin{aligned} & \Rightarrow f_1 + f_2 \frac{1-t^2}{1+t^2} + f_3 \frac{2t}{1+t^2} = 0 \\ & \Leftrightarrow f_1 + f_1 t^2 + f_2 - f_2 t^2 + 2f_3 t = 0 \\ & \Leftrightarrow (f_1 - f_2)t^2 + 2f_3 t + f_1 + f_2 = 0 \\ & \Rightarrow \Delta = f_3^2 - (f_1 - f_2)(f_1 + f_2) \\ & \quad = f_3^2 + f_2^2 - f_1^2 \end{aligned} \tag{6}$$

Sau khi quy đồng và giải phương trình (6) ta sẽ có được nghiệm là:

$$t = \frac{-f_3 \pm \sqrt{f_3^2 + f_2^2 - f_1^2}}{f_1 - f_2}$$

Sau khi thay các thông số đã được đặt vào trong nghiệm đã tìm được thì ta có góc quay của động cơ như sau:

$$\Rightarrow \frac{\theta_1}{2} = \arctan(t) \quad \Rightarrow \theta_1 = 2 \arctan(t)$$

Từ hệ phương trình (I) ta có:

$$\theta_3 = \arccos \left(\frac{Y_A}{L_1} \right)$$

Thay θ_1, θ_3 vào phương trình (2) của hệ phương trình (I) ta có được góc θ_2 .

Quay hệ trực tọa độ ban đầu quanh trục Z 120^0 ta được phương trình xác định điểm A(của tâm đế dưới) theo cánh tay thứ 2 là như hệ phương trình sau:

$$\begin{cases}
X_A = -\frac{1}{2}r - \frac{1}{2}L_2 \cos \theta_1 - \frac{1}{2}L_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}L_1 \cos \theta_3 \\
Y_A = \frac{\sqrt{3}}{2}r + \frac{\sqrt{3}}{2}L_2 \cos \theta_1 - \frac{1}{2}L_1 \cos \theta_3 + \frac{\sqrt{3}}{2}L_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 \\
Z_A = L_2 \sin \theta_1 + L_1 \sin(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 + d_A
\end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases}
X_A + \frac{1}{2}r + \frac{1}{2}L_2 \cos \theta_1 = -\frac{1}{2}L_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}L_1 \cos \theta_3 \\
Y_A - \frac{\sqrt{3}}{2}r - \frac{\sqrt{3}}{2}L_2 \cos \theta_1 = -\frac{1}{2}L_1 \cos \theta_3 + \frac{\sqrt{3}}{2}L_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 \\
Z_A - L_2 \sin \theta_1 - d_A = L_1 \sin(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3
\end{cases}$$

$$\Rightarrow (X_A + \frac{1}{2}r + \frac{1}{2}L_2 \cos \theta_1)^2 + (Y_A - \frac{\sqrt{3}}{2}r - \frac{\sqrt{3}}{2}L_2 \cos \theta_1)^2 + (Z_A - L_2 \sin \theta_1 - d_A)^2 = L_1^2$$

$$\Rightarrow X_A^2 + \frac{1}{4}r^2 + \frac{1}{4}(L_2 \cos \theta_1)^2 + X_A r + X_A L_2 \cos \theta_1 + \frac{1}{2}r L_2 \cos \theta_1$$

$$+ Y_A^2 + \frac{3}{4}r^2 + \frac{3}{4}(L_2 \cos \theta_1)^2 - \sqrt{3}Y_A r - \sqrt{3}Y_A L_2 \cos \theta_1 + \frac{3}{2}L_2 r \cos \theta_1$$

$$+ Z_A^2 + (L_2 \sin \theta_1)^2 + d_A^2 - 2Z_A L_2 \sin \theta_1 - 2Z_A d_A + 2d_A L_2 \sin \theta_1 - L_1^2 = 0$$

$$\Rightarrow X_A^2 + Y_A^2 + Z_A^2 + L_2^2 - L_1^2 + r^2 + d_A^2 + X_A r - \sqrt{3}Y_A r - 2Z_A d_A$$

$$+ (X_A L_2 + 2L_2 r - \sqrt{3}Y_A L_2) \cos \theta_1 - 2(Z_A - d_A) L_2 \sin \theta_1 = 0$$

$$\text{Đặt: } f_1' = X_A^2 + Y_A^2 + Z_A^2 + L_2^2 - L_1^2 + r^2 + d_A^2 + X_A r - \sqrt{3}Y_A r - 2Z_A d_A$$

$$f_2' = X_A L_2 + 2L_2 r - \sqrt{3}Y_A L_2$$

$$f_3' = -2(Z_A - d_A) L_2$$

$$t = \tan \frac{\theta_1}{2} \quad \cos \theta_1 = \frac{1-t^2}{1+t^2} \quad \sin \theta_1 = \frac{2t}{1+t^2}$$

$$\Rightarrow f_1' + f_2' \frac{1-t^2}{1+t^2} + f_3' \frac{2t}{1+t^2} = 0$$

$$\Leftrightarrow f_1' + f_1' t^2 + f_2' - f_2' t^2 + 2f_3' t = 0$$

$$\Leftrightarrow (f_1' - f_2') t^2 + 2f_3' t + f_1' + f_2' = 0$$

$$\Rightarrow \Delta = (f_3')^2 - (f_1' - f_2')(f_1' + f_2')$$

$$\begin{aligned}
&= (f_3')^2 + (f_2')^2 - (f_1')^2 \\
\Rightarrow t &= \frac{-f_3' \pm \sqrt{(f_3')^2 + (f_2')^2 - (f_1')^2}}{f_1' - f_2'} \\
\Rightarrow \frac{\theta_1}{2} &= \arctan(t) \\
\Rightarrow \theta_1 &= 2 \arctan(t)
\end{aligned}$$

=> Giá trị của góc quay của cánh tay thứ 2.

Quay hệ trục tọa độ ban đầu quanh trục Z 240^0 ta được phương trình xác định điểm A(của tâm đé dưới) theo cánh tay thứ 3 là như hệ phương trình sau:

$$\begin{aligned}
&\left\{ \begin{array}{l} X_A = -\frac{1}{2}r - \frac{1}{2}L_2 \cos \theta_1 - \frac{1}{2}L_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 + \frac{\sqrt{3}}{2}L_1 \cos \theta_3 \\ Y_A = -\frac{\sqrt{3}}{2}r - \frac{\sqrt{3}}{2}L_2 \cos \theta_1 - \frac{1}{2}L_1 \cos \theta_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}L_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 \\ Z_A = L_2 \sin \theta_1 + L_1 \sin(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 + d_A \end{array} \right. \\
&\left\{ \begin{array}{l} X_A + \frac{1}{2}r + \frac{1}{2}L_2 \cos \theta_1 = -\frac{1}{2}L_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 + \frac{\sqrt{3}}{2}L_1 \cos \theta_3 \\ Y_A + \frac{\sqrt{3}}{2}r + \frac{\sqrt{3}}{2}L_2 \cos \theta_1 = -\frac{1}{2}L_1 \cos \theta_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}L_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 \\ Z_A - L_2 \sin \theta_1 - d_A = L_1 \sin(\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_3 \end{array} \right. \\
\Rightarrow & (X_A + \frac{1}{2}r + \frac{1}{2}L_2 \cos \theta_1)^2 + (Y_A + \frac{\sqrt{3}}{2}r + \frac{\sqrt{3}}{2}L_2 \cos \theta_1)^2 + (Z_A - L_2 \sin \theta_1 - d_A)^2 = L_1^2 \\
\Leftrightarrow & X_A^2 + \frac{1}{4}r^2 + \frac{1}{4}(L_2 \cos \theta_1)^2 + X_A r + X_A L_2 \cos \theta_1 + \frac{1}{2}rL_2 \cos \theta_1 \\
& + Y_A^2 + \frac{3}{4}r^2 + \frac{3}{4}(L_2 \cos \theta_1)^2 + \sqrt{3}Y_A r + \sqrt{3}Y_A L_2 \cos \theta_1 + \frac{3}{2}rL_2 \cos \theta_1 \\
& + Z_A^2 + (L_2 \sin \theta_1)^2 + d_A^2 - 2Z_A L_2 \sin \theta_1 - 2Z_A d_A + 2d_A L_2 \sin \theta_1 = L_1^2 \\
\Leftrightarrow & X_A^2 + Y_A^2 + Z_A^2 + r^2 + d_A^2 + L_2^2 - L_1^2 + X_A r + \sqrt{3}Y_A r - 2Z_A d_A + \sqrt{3}Y_A L_2 \cos \theta_1 \\
& + \frac{3}{2}rL_2 \cos \theta_1 + X_A L_2 \cos \theta_1 + \frac{1}{2}rL_2 \cos \theta_1 - 2Z_A L_2 \sin \theta_1 + 2d_A L_2 \sin \theta_1 = 0
\end{aligned}$$

Đặt:

$$f_1'' = X_A^2 + Y_A^2 + Z_A^2 + r^2 + d_A^2 + L_2^2 - L_1^2 + X_A r + \sqrt{3}Y_A r - 2Z_A d_A$$

$$f_2'' = X_A L_2 + 2L_2 r + \sqrt{3} Y_A L_2$$

$$f_3'' = -2(Z_A - d_A)L_2$$

$$t = \tan \frac{\theta_1}{2} \quad \cos \theta_1 = \frac{1-t^2}{1+t^2} \quad \sin \theta_1 = \frac{2t}{1+t^2}$$

$$\Rightarrow f_1'' + f_2'' \frac{1-t^2}{1+t^2} + f_3'' \frac{2t}{1+t^2} = 0$$

Giải tương tự như trên ta có:

$$\Rightarrow t = \frac{\theta_1}{2} = \frac{-f_3'' \pm \sqrt{(f_3'')^2 + (f_2'')^2 - (f_1'')^2}}{f_1'' - f_2''}$$

$$\Rightarrow \theta_1 = 2 \arctan(t)$$

=> Giá trị của góc quay của cánh tay thứ 3.

Phụ lục 6:

Động Lực Học Robot

Theo trang 388 sách “cơ sở nghiên cứu và sáng tạo robot” – NXB Thống Kê.

Phương pháp lagrange dựa trên sự cân bằng năng lượng của hệ thống trong trạng thái chuyển động. Trong quá trình làm việc, năng lượng của hệ thống gồm: động năng, thế năng và năng lượng của ngoại lực tác dụng phải cân bằng. Hơn nữa, trong tay máy song song cũng tồn tại các tọa độ thừa, nghĩa là số tọa độ n lớn hơn số bậc tự do của cơ cấu. Với những yếu tố trên, phương trình Lagrange có dạng:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_j} = Q_j + \sum_{i=1}^k \lambda_i \frac{\partial \Gamma_i}{\partial q_j} \text{ với } j = 1 \div n \quad (1)$$

Trong đó:

$L = T - U$ - L - hàm Lagrange, T – tổng động năng, U – tổng thế năng của hệ

$q = [q_1, q_2, \dots, q_n]^T$ - vecto các tọa độ tổng quát

$Q = [Q_1, Q_2, \dots, Q_n]^T$ - vecto các ngoại lực tác động lên tám di động

Γ_i - hàm liên kết thứ i.

k - số hàm liên kết, bằng hiệu giữa số tọa độ n và số bậc tự do của cơ cấu.

λ_i - nhân tử Lagrange.

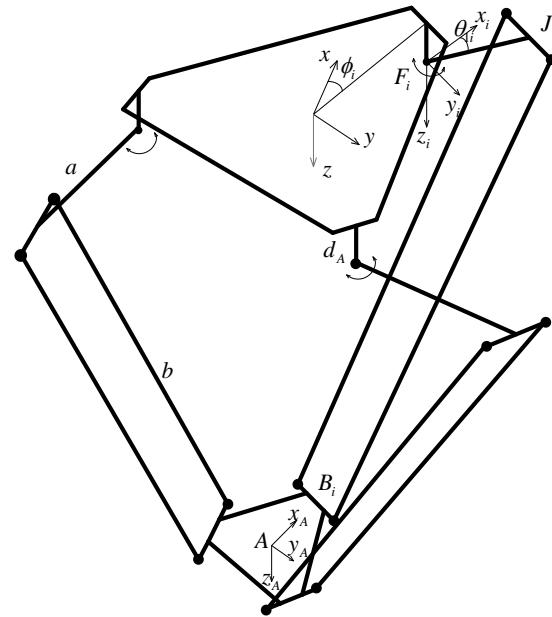
Để thuận tiện cho quá trình giải, các phương trình trong hệ (1) được chia thành hai nhóm. Nhóm 1 chứa các ẩn là các nhân tử Lagrange. Nhóm 2 chứa các ẩn là các lực tổng quát do các cơ cấu phát động sinh ra. Giả thiết k phương trình đầu tiên liên quan đến các tọa độ thừa và $n - k$ phương trình còn lại liên quan đến các biến khớp. Nhóm phương trình đầu có dạng:

$$\sum_{i=1}^k \lambda_i \frac{\partial \Gamma_i}{\partial q_j} = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_j} - \hat{Q}_j \quad (2)$$

Trong đó \hat{Q}_j - lực tổng quát sinh ra bởi các ngoại lực (nếu có).

Đối với bài toán ngược, \hat{Q}_j đã biết, nên vé phải của hệ (2) đã biết. Hệ này có k phương trình với k ẩn là các nhân tử Lagrange λ_i . Sau khi đã biết các nhân tử Lagrange, các lực phát động được xác định nhờ nhóm phương trình thứ hai:

$$Q_j = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_j} - \sum_{i=1}^k \lambda_i \frac{\partial \Gamma_i}{\partial q_j} \text{ với } j = k + 1 \div n \quad (3)$$



Hình P5.1: Cơ cấu robot song song dạng Delta chỉ có 3 bậc tự do tịnh tiến.

Phương trình (1) đại diện cho hệ 6 phương trình có 6 ẩn: 3 ẩn là các nhân tử Lagrange: λ_i ($i = 1, 2, 3$) và 3 ẩn là các lực phát động Q_j với ($j = 4, 5, 6$). Chú ý rằng các lực Q_j với $j = 1, 2, 3$ là 3 thành phần x, y, z của ngoại lực tác động tại trọng tâm A của tám di động. Có thể nhận được các hàm liên kết Γ_i với chú ý rằng khoảng cách giữa các khớp J_i và B_i đúng bằng chiều dài b của cánh tay dưới:

$$\Gamma_i = \overline{J_i B_i}^2 - b^2 = 0 \quad (4)$$

Hay

$$\Gamma_i = (A_x + hc\phi_i - rc\phi_i - ac\phi_i c\theta_{li})^2 + (A_y + hs\phi_i - rs\phi_i - as\phi_i c\theta_{li})^2 + (A_z - as\theta_{li})^2 - b^2 = 0$$

với $i = 1, 2, 3$.

Để đơn giản, giả thiết trọng tâm của thân cánh tay dưới nằm trên trục đối xứng và chính giữa 2 đầu J, B . Chúng ta sẽ xây dựng hàm Lagrange như sau:

Tổng động năng của tay máy bằng:

$$T = T_A + \sum_{i=1}^3 (T_{ai} + T_{bi}) \quad (5)$$

Trong đó:

T_A - động năng của tám di động.

T_{ai} - rotor động cơ và khâu phát động.

T_{bi} - động năng của 2 phần của cánh tay dưới thứ i .

$$T_A = \frac{1}{2}m_A(\dot{A}_x^2 + \dot{A}_y^2 + \dot{A}_z^2)$$

$$T_{ai} = \frac{1}{2}(I_m + \frac{1}{3}m_a a^2)\dot{\theta}_{li}^2$$

$$T_{bi} = \frac{1}{2}m_b(\dot{A}_x^2 + \dot{A}_y^2 + \dot{A}_z^2) + \frac{1}{2}m_b a^2 \dot{\theta}_{li}^2$$

Với:

m_A, m_a, m_b - lần lượt là khối lượng của đế dưới di động, cánh tay trên, 2 phần của cánh tay dưới.

I_m - momen quán tính hướng trực của rotor gắn trên mỗi cánh tay trên.

Vậy ta có T bằng:

$$\begin{aligned} T &= \frac{1}{2}m_A(\dot{A}_x^2 + \dot{A}_y^2 + \dot{A}_z^2) + \frac{1}{2}(I_m + \frac{1}{3}m_a a^2)(\dot{\theta}_{11}^2 + \dot{\theta}_{12}^2 + \dot{\theta}_{13}^2) \\ &\quad + \frac{3}{2}m_b(\dot{A}_x^2 + \dot{A}_y^2 + \dot{A}_z^2) + \frac{1}{2}m_b a^2(\dot{\theta}_{11}^2 + \dot{\theta}_{12}^2 + \dot{\theta}_{13}^2) \\ T &= \frac{1}{2}(m_A + 3m_b)(\dot{A}_x^2 + \dot{A}_y^2 + \dot{A}_z^2) + \frac{1}{2}(I_m + \frac{1}{3}m_a a^2 + m_b a^2)(\dot{\theta}_{11}^2 + \dot{\theta}_{12}^2 + \dot{\theta}_{13}^2) \end{aligned}$$

Giả thiết gia tốc trọng trường hướng theo trực z . Tương tự như trên thế năng của tay máy đổi với mặt phẳng cố định xOy như sau:

$$U = U_A + \sum_{i=1}^3 (U_{ai} + U_{bi}) \quad (6)$$

Trong đó:

$$U_A = m_A g_c A_z$$

$$U_{ai} = \frac{1}{2}m_a g_c a s \theta_{li} \quad (\text{tính dựa vào trọng tâm của cánh tay trên})$$

$$U_{bi} = m_b g_c (A_z + a s \theta_{li})$$

Thay vào phương trình (6) ta có U bằng:

$$U = m_A g_c A_z + \frac{1}{2}m_a g_c a (s \theta_{11} + s \theta_{12} + s \theta_{13}) + 3m_b g_c A_z + m_b g_c a (s \theta_{11} + s \theta_{12} + s \theta_{13})$$

$$U = (m_A + 3m_b) g_c A_z + (\frac{1}{2}m_a + m_b) g_c a (s \theta_{11} + s \theta_{12} + s \theta_{13})$$

Thay các biểu thức (5) và (6) với $i = 1, 2, 3$ vào hàm Lagrange L ta nhận được:

$$L = \frac{1}{2}(m_A + 3m_b)(\dot{A}_x^2 + \dot{A}_y^2 + \dot{A}_z^2) + \frac{1}{2}(I_m + \frac{1}{3}m_a a^2 + m_b a^2)(\dot{\theta}_{11}^2 + \dot{\theta}_{12}^2 + \dot{\theta}_{13}^2) - (m_A + 3m_b)g_c A_z - (\frac{1}{2}m_a + m_b)g_c a(s\theta_{11} + s\theta_{12} + s\theta_{13}) \quad (7)$$

Lấy đạo hàm Lagrange tương ứng với 6 tọa độ tổng quát, ta nhận được:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{A}_x} \right) &= (m_A + 3m_b) \ddot{A}_x, & \frac{\partial L}{\partial \dot{A}_x} &= 0 \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{A}_y} \right) &= (m_p + 3m_b) \ddot{A}_y, & \frac{\partial L}{\partial \dot{A}_y} &= 0 \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{A}_z} \right) &= (m_p + 3m_b) \ddot{A}_z, & \frac{\partial L}{\partial \dot{A}_z} &= -(m_A + 3m_b)g_c \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_{11}} \right) &= (I_m + \frac{1}{3}m_a a^2 + m_b a^2) \ddot{\theta}_{11}, & \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_{11}} &= -(\frac{1}{2}m_a + m_b)g_c a c \theta_{11} \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_{12}} \right) &= (I_m + \frac{1}{3}m_a a^2 + m_b a^2) \ddot{\theta}_{12}, & \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_{12}} &= -(\frac{1}{2}m_a + m_b)g_c a c \theta_{12} \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_{13}} \right) &= (I_m + \frac{1}{3}m_a a^2 + m_b a^2) \ddot{\theta}_{13}, & \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_{13}} &= -(\frac{1}{2}m_a + m_b)g_c a c \theta_{13} \end{aligned}$$

Lấy đạo hàm riêng của hàm liên kết Γ_i theo các tọa độ tổng quát, ta được:

$$\frac{\partial \Gamma_i}{\partial A_x} = 2(A_x + hc\phi_i - rc\phi_i - ac\phi_i c\theta_{1i}) \quad \text{với } i = 1, 2, 3$$

$$\frac{\partial \Gamma_i}{\partial A_y} = 2(A_y + hs\phi_i - rs\phi_i - as\phi_i c\theta_{1i}) \quad \text{với } i = 1, 2, 3$$

$$\frac{\partial \Gamma_i}{\partial A_z} = 2(A_z - as\theta_{1i}) \quad \text{với } i = 1, 2, 3$$

$$\frac{\partial \Gamma_1}{\partial \theta_{11}} = 2a(s\theta_{11}(A_x c\phi_1 + A_y s\phi_1 + h - r) - A_z c\theta_{11})$$

$$\frac{\partial \Gamma_i}{\partial \theta_{11}} = 0 \quad \text{với } i = 2, 3$$

$$\frac{\partial \Gamma_2}{\partial \theta_{12}} = 2a(s\theta_{12}(A_x c\phi_2 + A_y s\phi_2 + h - r) - A_z c\theta_{12})$$

$$\frac{\partial \Gamma_i}{\partial \theta_{12}} = 0 \quad \text{với } i = 1, 3$$

$$\frac{\partial \Gamma_3}{\partial \theta_{13}} = 2a(s\theta_{13}(A_x c\phi_3 + A_y s\phi_3 + h - r) - A_z c\theta_{13})$$

$$\frac{\partial \Gamma_i}{\partial \theta_{13}} = 0 \quad \text{với } i = 1, 2$$

Thay tất cả đạo hàm trên vào phương trình (2) và (3), ta nhận được hệ phương trình động lực học.

Với $j = 1, 2, 3$ ta có:

$$2 \sum_{i=1}^3 \lambda_i (A_x + hc\phi_i - rc\phi_i - ac\phi_i c\theta_{1i}) = (m_A + 3m_b) \ddot{A}_x - f_{Ax} \quad (8)$$

$$2 \sum_{i=1}^3 \lambda_i (A_y + hc\phi_i - rc\phi_i - ac\phi_i c\theta_{1i}) = (m_A + 3m_b) \ddot{A}_y - f_{Ay} \quad (9)$$

$$2 \sum_{i=1}^3 \lambda_i (A_z - as\theta_{1i}) = (m_A + 3m_b) \ddot{A}_z + (m_A + 3m_b) g_c - f_{Az} \quad (10)$$

Trong đó f_{Ax}, f_{Ay}, f_{Az} là các thành phần x, y, z của ngoại lực đặt lên để dưới di động.

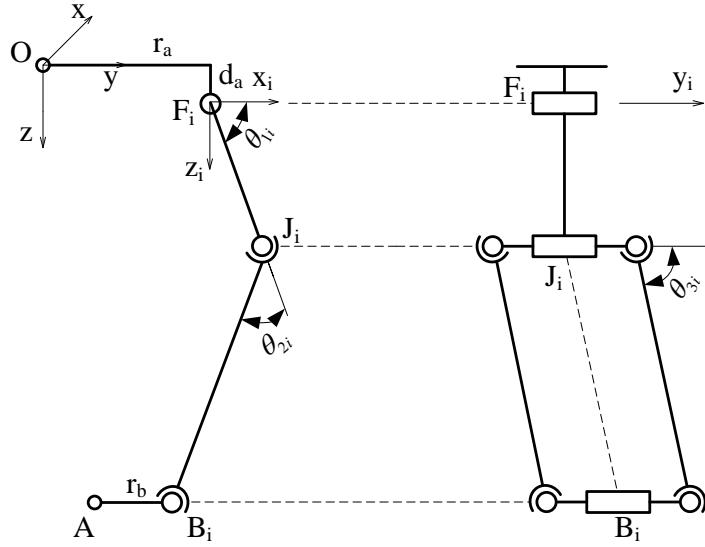
Với $j = 4, 5, 6$ ta có:

$$\tau_1 = (I_m + \frac{1}{3}a^2 + m_b a^2) \ddot{\theta}_{11} + (\frac{1}{2}m_a + m_b) g_c ac\theta_{11} - 2a\lambda_1 [(A_x c\phi_1 + A_y s\phi_1 + h - r) s\theta_{11} - A_z c\theta_{11}] \quad (11)$$

$$\tau_2 = (I_m + \frac{1}{3}a^2 + m_b a^2) \ddot{\theta}_{12} + (\frac{1}{2}m_a + m_b) g_c ac\theta_{12} - 2a\lambda_2 [(A_x c\phi_2 + A_y s\phi_2 + h - r) s\theta_{12} - A_z c\theta_{12}] \quad (12)$$

$$\tau_3 = (I_m + \frac{1}{3}a^2 + m_b a^2) \ddot{\theta}_{13} + (\frac{1}{2}m_a + m_b) g_c ac\theta_{13} - 2a\lambda_3 [(A_x c\phi_3 + A_y s\phi_3 + h - r) s\theta_{13} - A_z c\theta_{13}] \quad (13)$$

Phụ lục 7: Chuyển động vi phân (chuyển động Jacobi)



Hình P6.1

$$\text{Với: } a_i = L_{2i} = F_i J_i, \quad b_i = L_{1i} = J_i B_i,$$

Từ cơ cấu chấp hành của robot song song cầu (cơ cấu chấp hành Maryland) sẽ khai triển ma trận Jacobi và khảo sát một số cấu hình đặc biệt. Cơ cấu này chỉ có 3 bậc tự do tịnh tiến. Ta có phương trình vòng kín nhánh i là:

$$\overline{OA} + \overline{AB}_i = \overline{OF}_i + \overline{F_i J_i} + \overline{J_i B_i} \quad (1)$$

Lấy vi phân pt (1) theo thời gian:

$$v_A = \omega_{li} \times a_i + \omega_{2i} \times b_i \quad (2)$$

Với v_A là vận tốc tuyến tính của bệ di động, ω_{ji} là vận tốc góc khâu j của nhánh thứ i .

Khâu $F_i J_i$ là nhánh thứ nhất, Khâu $J_i B_i$ là nhánh thứ hai.

Trong đó vector đầu vào là $\dot{q} = [\dot{\theta}_{1i}, \dot{\theta}_{12}, \dot{\theta}_{13}]^T$ và vector đầu ra là $v_A = [v_{Ax}, v_{Ay}, v_{Az}]^T$. Tất cả các tý suất khớp khác đều là biến thụ động. Để khử chúng, cần nhân hai vế pt(2) với b_i :

$$b_i \cdot v_A = \omega_{li} \cdot (a_i \times b_i) \quad (3)$$

Biểu diễn các vector trong phương trình (3) theo hệ tọa độ (x_i, y_i, z_i) :

$${}^i a_i = a \begin{bmatrix} c\theta_{li} \\ 0 \\ s\theta_{li} \end{bmatrix}, \quad {}^i b_i = b \begin{bmatrix} s\theta_{3i}c(\theta_{li} + \theta_{2i}) \\ 0 \\ s\theta_{3i}s(\theta_{li} + \theta_{2i}) \end{bmatrix}, \quad {}^i \omega_{li} = a \begin{bmatrix} 0 \\ -\dot{\theta}_{li} \\ 0 \end{bmatrix}$$

$${}^i v_A = \begin{bmatrix} v_{Ax} c\phi_i + v_{Ay} s\phi_i \\ -v_{Ax} s\phi_i + v_{Ay} c\phi_i \\ v_{Ax} \end{bmatrix}$$

Thay các biểu thức trên vào pt(3) và rút gọn:

$$J_{ix} v_{Ax} + J_{iy} v_{Ay} + J_{iz} v_{Az} = a s\theta_{2i} s\theta_{3i} \dot{\theta}_{li} \quad (4)$$

Với

$$J_{ix} = c(\theta_{li} + \theta_{2i}) s\theta_{3i} c\phi_i - c\theta_{3i} s\phi_i$$

$$J_{iy} = c(\theta_{li} + \theta_{2i}) s\theta_{3i} s\phi_i - c\theta_{3i} c\phi_i$$

$$J_{iz} = s(\theta_{li} + \theta_{2i}) s\theta_{3i}$$

Với $j_i = [j_{ix}, j_{iy}, j_{iz}]^T$ là vector đơn vị có hướng từ J_i đến B_i và được tính trong hệ tọa độ cố định (x, y, z) .

Phương trình (4) được viết ba lần theo $i = 1, 2, 3$ sẽ có 3 phương trình vô hướng, được tổ hợp theo ma trận:

$$J_x v_A = J_q \dot{q} \quad (5)$$

Với

$$J_x = \begin{bmatrix} j_{1x} & j_{1y} & j_{1z} \\ j_{2x} & j_{2y} & j_{2z} \\ j_{3x} & j_{3y} & j_{3z} \end{bmatrix}$$

$$J_x = a \begin{bmatrix} s\theta_{21} s\theta_{31} & 0 & 0 \\ 0 & s\theta_{22} s\theta_{32} & 0 \\ 0 & 0 & s\theta_{23} s\theta_{33} \end{bmatrix}$$

Trạng thái đặc biệt động học nghịch, từ pt (5), trạng thái đặc biệt động học nghịch xảy ra khi thỏa một trong các điều kiện sau:

$$\theta_{2i} = 0 \text{ hoặc } \pi \quad (6)$$

$$\theta_{3i} = 0 \text{ hoặc } \pi \quad (7)$$

Trong đó $i = 1, 2, 3$. Về mặt vật lý, trạng thái thỏa pt (6) khi khớp nối nhánh trên và khâu vào ở trên một mặt phẳng. trạng thái (7) xảy ra khi tất cả các khâu của cơ cấu bốn khâu bắn lè chúa nhánh trên là đồng tuyén tính.

Trạng thái đặc biệt động học thuận. trạng thái này xảy ra khi $\det(J_x) = 0$. Tuy khó giải tất cả các trạng thái đặc biệt khả dĩ, nhưng nhiều trạng thái cơ cấu thỏa đúng điều kiện này được nhận diện theo cách sau. Mỗi hàng của J_x đều biểu thị một vector đơn vị.

j_i có chiều theo hướng khâu kép $J_i B_i$ của cơ cấu bốn khâu bắn lề.

J_x có trạng thái đặc biệt khi ba vector đơn vị trở nên phụ thuộc tuyến tính, nghĩa là:

$$\mu_1 j_1 + \mu_2 j_2 + \mu_3 j_3 = 0 \quad (8)$$

Đối với vài giá trị thực μ_1, μ_2, μ_3 không phải tất cả các giá trị μ đều bằng 0.

Cấu hình thứ nhất thỏa pt(8) là khi cả 3 vector đơn vị j_i với $i = 1, 2, 3$ đều nằm trên mặt phẳng. Ví dụ, khi ba cơ cấu bốn khâu bắn lề cùng trên mặt phẳng song song với mặt phẳng Oxy, thành phần z của phương trình (8) bằng 0. Do đó luôn luôn tìm được các giá trị μ_1, μ_2, μ_3 khác 0.

Trạng thái này là:

$$s(\theta_{11} + \theta_{21})s\theta_{31} = s(\theta_{12} + \theta_{22})s\theta_{32} = s(\theta_{13} + \theta_{23})s\theta_{33} = 0 \quad (9)$$

Phương trình (9) cho thấy cơ cấu chấp hành ở trạng thái đặc biệt động học thuận khi tất cả các nhánh bô trí theo điều kiện:

$$\theta_{1i} + \theta_{2i} = 0 \text{ hoặc } \pi$$

$$\text{Hoặc } \theta_{3i} = 0 \text{ hoặc } \pi$$

Với mọi $i = 1, 2, 3$, điều kiện $\theta_{3i} = 0$ hoặc π là trạng thái động học đặc biệt hỗn hợp.

Sự diễn dịch hình học của điều kiện này là cơ cấu chấp hành có trạng thái đặc biệt động học thuận khi các cơ cấu bốn khâu bắn lề của ba nhánh có cùng mặt phẳng bệ di động. khi đó các bộ tác động không thể chịu lực bất kì tác dụng lên bệ di động theo chiều z. Kiểu cấu hình đó chỉ xảy ra nếu $a + r_a = b + r_b$.

Cấu hình thứ 2 thỏa pt(8) là khi hai liên kết bất kỳ ở nhánh trên song song với nhau, nghĩa là:

$$j_i = \pm j_k \quad \text{với } i \neq k \quad (10)$$

Cơ cấu chấp hành không thể chịu lực bất kỳ tác dụng lên mặt phẳng để di động. với cả ba liên kết nhánh phía trên song song với nhau, nhưng chỉ cần hai trong ba liên kết này song song.

Trạng thái đặc biệt hỗn hợp. trạng thái này xảy ra khi đồng thời thỏa hai điều kiện sau:

(1) Dạng hình học để di động đồng nhất với đế cố định.

(2) Cả ba khâu ngo枉 đều vuông góc với đế cố định ($A_i B_i \perp O_i A_i$) với $i = 1, 2, 3$.

Bệ di động lúc đó nhận thêm 2 bậc tự do trong khi các khâu đầu vào hoàn toàn bị khóa, điểm P có thể được định vị bất kì trên bề mặt cầu có tâm cách phía trên tâm đế cố định một đoạn a. mặt khác bệ di động đứng yên, trong khi các khâu đầu vào có thể quay vi phân.

