

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA**  
**TRUNG TÂM ĐÀO TẠO BẢO DƯỠNG CÔNG NGHIỆP**



**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP**

**TÌM HIỂU CẤU TẠO, NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG**  
**VÀ LẬP KẾ HOẠCH BẢO DƯỠNG MÔ HÌNH**  
**CÁNH TAY ROBOT 6 BẬC TỰ DO**

**SVTH : PHẠM DUY HÒA**

**MSSV : 1913472**

**GVHD : Th.S NGUYỄN TRÍ DŨNG**

**TP. HỒ CHÍ MINH, 06/2023**

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA**  
**TRUNG TÂM ĐÀO TẠO BẢO DƯỠNG CÔNG NGHIỆP**



**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP**

**TÌM HIỂU CẤU TẠO, NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG**  
**VÀ LẬP KẾ HOẠCH BẢO DƯỠNG MÔ HÌNH**  
**CÁNH TAY ROBOT 6 BẬC TỰ DO**

**SVTH : PHẠM DUY HÒA**

**MSSV : 1913472**

**GVHD : Th.S NGUYỄN TRÍ DŨNG**

**TP. HỒ CHÍ MINH, 06/2023**

## LỜI CẢM ƠN

Trên thực tế không có sự thành công nào mà không gắn liền với những sự hỗ trợ, giúp đỡ dù ít hay nhiều, dù trực tiếp hay gián tiếp của người khác. Trong suốt thời gian từ khi bắt đầu học tập ở giảng đường đại học đến nay, em đã nhận được rất nhiều sự quan tâm, giúp đỡ rất nhiều từ quý Thầy Cô, gia đình và bạn bè.

Trước tiên, em xin được gửi lời cảm ơn và tri ân đến ba mẹ, người đã sinh và nuôi lớn em, nhờ có ba mẹ là niềm phấn đấu vươn lên của em. Em xin gửi lời cảm ơn đến các quý thầy cô trong trường Đại học Bách Khoa Tp. Hồ Chí Minh cũng như các thầy cô ở Trung tâm Đào tạo Bảo dưỡng Công nghiệp, đã nhiệt tình dạy dỗ và truyền đạt cho em nhiều kiến thức nền tảng để em có được hành trang tốt chuẩn bị bước vào đời.

Đặc biệt là em muốn tỏ lòng cảm ơn thật nhiều đến thầy Nguyễn Trí Dũng, người thầy đã ân cần, tận tụy hướng dẫn em trong suốt thời gian thực hiện đồ án tốt nghiệp này. Nhờ sự hướng dẫn tận tình của thầy mà em đã hoàn thành tốt, một lần nữa cho em gửi lời cảm ơn sâu sắc đến thầy, người lái đò sống mãi với sự nghiệp giáo dục, điều dắt những thế hệ trẻ trên con đường học tập và nghiên cứu khoa học.

Sau cùng, em xin kính chúc quý Thầy Cô trong Trung tâm Đào tạo Bảo dưỡng Công Nghiệp và Thầy Nguyễn Trí Dũng thật dồi dào sức khỏe, niềm tin để tiếp tục thực hiện sứ mệnh cao đẹp của mình là truyền đạt kiến thức cho thế hệ mai sau.

## TÓM TẮT ĐỒ ÁN

Với tính linh hoạt trong vận hành, tự động hóa cao, nhanh và chuẩn xác; khả năng thay thế con người làm việc trong môi trường độc hại và không an toàn..., robot công nghiệp đang là lựa chọn hàng đầu trong các ngành công nghiệp mũi nhọn hiện nay.

Robot công nghiệp là sản phẩm đặc trưng của ngành công nghiệp tự động hóa. Trên thế giới, robot được sử dụng nhiều nhất trong các ngành chế tạo ô tô, công nghiệp điện và điện tử, chế tạo máy và công nghiệp chế biến thực phẩm. Robot hàn, lắp ráp, vận chuyển sản phẩm và cấp phôi trong các dây chuyền tự động.

Trong đồ án này chủ yếu tập trung nghiên cứu, chế tạo và lập kế hoạch bảo dưỡng cánh tay robot 6 bậc tự do. Do thời lượng làm luận văn có hạn và robot có rất nhiều bộ phận chi tiết cần nghiên cứu và rất nhiều chương trình cần lập trình điều khiển, nên trong nội dung luận văn này chỉ giới hạn trong 2 phần trọng tâm là:

- Phân tích động học thuận và động học nghịch cho cánh tay robot 6 bậc tự do.
- Chế tạo mô hình cánh tay robot sử dụng vi điều khiển Arduino Mega 2560.
- Lập kế hoạch bảo dưỡng cho cánh tay robot.

Ngoài ra, trong đồ án còn trình bày thêm cái nhìn tổng quan về robot công nghiệp, các ứng dụng của nó và tình hình sản xuất trên thế giới,...

# MỤC LỤC

CHƯƠNG 1 : TỔNG QUAN VỀ ROBOT CÔNG NGHIỆP .....	1
1. Lịch sử phát triển.....	1
2. Ứng dụng của robot công nghiệp .....	2
3. Cấu trúc chung của robot công nghiệp.....	3
4. Phân loại .....	4
4.1. Phân loại theo dạng hình học của 3 bậc định vị .....	5
4.1.1. SCARA Robot ( $R \parallel R \parallel P$ ).....	6
4.1.2. Robot khớp nối ( $R \vdash R \perp R$ ).....	6
4.1.3. Robot tọa độ cầu ( $R \vdash R \perp P$ ).....	7
4.1.4. Robot tọa độ trụ ( $R \parallel P \vdash P$ ) .....	7
4.1.5. Robot tọa độ Descartes ( $P \vdash P \vdash P$ ).....	8
4.2. Phân loại theo kiểu truyền động :.....	9
4.3. Phân loại theo hệ điều khiển :.....	9
CHƯƠNG 2: XÂY DỰNG HỆ THỐNG CƠ KHÍ .....	10
1. Lựa chọn mô hình.....	10
1.1. Phương án lựa chọn mô hình.....	10
1.2. Xây dựng mô hình trên Solidworks.....	10
2. Chọn vật liệu : .....	12
2.1. Lựa chọn phương pháp chế tạo.....	12
2.2. Lựa chọn và tính toán động cơ .....	13
2.2.1. Lựa chọn động cơ.....	13
2.2.2. Tính toán lựa chọn động cơ.....	15
2.3. Chọn bộ truyền động .....	16
2.4. Chọn bộ vòng bi .....	18
CHƯƠNG 3: XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐIỆN .....	21
1. Lựa chọn bộ điều khiển .....	21
2. Lựa chọn Driver điều khiển động cơ bước: .....	23

3. Module Bluetooth HC-05 .....	26
4. Lựa chọn nguồn:.....	27
5. Sơ đồ nối mạch:.....	27
CHƯƠNG 4: TÍNH TOÁN ĐỘNG HỌC .....	30
1. Bài toán.....	30
2. Tính toán động học thuận.....	32
3. Tính toán động học nghịch.....	35
3.1. Tính toán $\theta_1$ .....	37
3.2. Tính toán $\theta_3$ .....	37
3.3. Tính toán $\theta_2$ .....	39
3.4. Tính toán $\theta_5$ .....	40
3.5. Tính toán $\theta_4$ và $\theta_6$ .....	41
CHƯƠNG 5: XÂY DỰNG CHƯƠNG TRÌNH ĐIỀU KHIỂN.....	42
1. Điều khiển Robot.....	42
2. Lập trình điều khiển robot: .....	43
2.1. Lập trình điều khiển trên Arduino IDE .....	43
2.2. Lập trình giao diện trên MIT App Inventor.....	43
3. Thuật toán điều khiển .....	49
CHƯƠNG 6: THỰC NGHIỆM.....	52
1. Mô hình thực nghiệm .....	52
2. Kiểm nghiệm độ chính xác.....	53
CHƯƠNG 7: KẾ HOẠCH BẢO TRÌ .....	55
1. Tổng quan về bảo trì.....	55
1.1. Khái niệm về bảo trì .....	55
1.2. Vai trò của bảo trì .....	55
1.3. Mục tiêu của bảo trì .....	55
1.4. Lợi ích của bảo trì:.....	56
2. Các hình thức bảo dưỡng trong công nghiệp .....	56
2.1. Bảo trì không kế hoạch.....	57
2.2. Bảo trì có kế hoạch .....	57

2.3.	Bảo trì cải tiến.....	59
2.4.	Bảo trì chính xác.....	59
2.5.	Bảo trì dự phòng (Redundacy, RED) .....	60
2.6.	Bảo trì năng suất toàn bộ ( Total Productive Mantainance – TPM).....	60
2.7.	Bảo trì tập trung và độ tin cậy ( Reliablity – Centred Maintennace ) .....	60
3.	Phân tích hư hỏng dựa trên sơ đồ xương cá Ishikawa.....	60
3.1.	Tổng quan về biểu đồ xương cá Ishikawa .....	60
3.2.	Phân tích lỗi của cánh tay Robot ( biểu đồ Ishikawa ).....	61
4.	Ứng dụng công cụ L’AMDEC trong bảo trì cánh tay robot .....	63
4.1.	Tổng quan về L’AMDEC .....	63
4.2.	Phương pháp tối ưu bảo trì .....	64
4.3.	Phương pháp tiếp cận thực tế của L’AMDEC.....	64
4.4.	Thang đánh giá .....	65
4.5.	Ứng dụng L’AMDEC cho cánh tay robot .....	67
5.	Lập kế hoạch bảo trì cánh tay robot .....	70

## DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 1. 1 Robot công nghiệp trong sản xuất ô tô .....	2
Hình 1. 2 Sơ đồ cấu trúc chung của robot công nghiệp .....	4
Hình 1. 3 Robot SCARA và sơ đồ động của robot SCARA .....	6
Hình 1. 4 Robot khớp nối và sơ đồ động của robot khớp nối .....	7
Hình 1. 5 Robot tọa độ cầu và sơ đồ động của robot tọa độ cầu .....	7
Hình 1. 6 Robot tọa độ trụ và sơ đồ động của robot tọa độ trụ .....	8
Hình 1. 7 Robot tọa độ Descartes và sơ đồ động của robot tọa độ Descartes .....	8
Hình 1. 8 Robot truyền động bằng động cơ Servo .....	9
Hình 2. 1 Robot Stanford ( RRTRRR ) và Robot KUKA ( RRRRRR ) .....	10
Hình 2. 2 Mô hình robot được xây dựng trên Solidwork .....	10
Hình 2. 3 Mô hình 3D của robot.....	11
Hình 2. 4 Thông số kỹ thuật của nhựa PLA .....	13
Hình 2. 5 Cấu tạo của động cơ bước .....	14
Hình 2. 6 Cấu tạo bộ truyền đai.....	17
Hình 3. 1 Cấu trúc cơ bản của Arduino Mega 2560.....	23
Hình 3. 2 Driver điều khiển động cơ bước A4988 và TB6600 .....	24
Hình 3. 3 Module Bluetooth HC-05 .....	26
Hình 3. 4 Sơ đồ chọn nguồn .....	27
Hình 3. 5 Sơ đồ tổng quan hệ thống sử dụng động cơ bước .....	28
Hình 3. 6 Sơ đồ nối mạch .....	29
Hình 4. 1 Hệ trục tọa độ của robot trong mô hình hình học.....	30
Hình 4. 2 Chiều dài và góc xoắn của một khâu.....	31
Hình 4. 3 Các thông số của khâu: $\theta$ , $d$ , $a$ và $\alpha$ . .....	31
Hình 4. 4 Sơ đồ 2D với các kích thước chính .....	36



Hình 4. 5 Hình vẽ tính toán $\theta_1$ .....	37
Hình 4. 6 Định lý Cosin.....	37
Hình 4. 7 Hình vẽ tính toán $\theta_3$ .....	38
Hình 4. 8 Hình vẽ tính toán $\theta_2$ .....	39
Hình 4. 9 Hình vẽ tính toán $\theta_5$ .....	40
Hình 5. 1 Sơ đồ điều khiển vòng hở cho robot.....	42
Hình 5. 2 Giao diện phần mềm Arduino IDE.....	43
Hình 5. 3 Giao diện tổng quát .....	44
Hình 5. 4 Khối Block kết nối giữa module bluetooth HC-05 với App .....	45
Hình 5. 5 Khối Block điều khiển các động cơ bước .....	46
Hình 5. 6 Khối Block thực hiện chức năng Save .....	47
Hình 5. 7 Khối Block thực hiện chức năng RUN.....	48
Hình 5. 8 Khối Block thực hiện chức năng điều khiển tốc độ .....	48
Hình 5. 9 Khối Block reset các điểm đã lưu.....	49
Hình 5. 10 Sơ đồ thuật toán tổng quát hệ thống điều khiển .....	49
Hình 5. 11 Sơ đồ thuật toán hàm con khối thực thi lệnh.....	50
Hình 5. 12 Sơ đồ thuật toán kết nối giữa App và Arduino.....	51
Hình 6. 1 Mô hình robot sau khi được lắp ráp hoàn chỉnh.....	52
Hình 6. 2 Cơ cấu truyền động khớp 1 và 2.....	52
Hình 6. 3 Cơ cấu truyền động các khớp còn lại .....	53
Hình 7. 1 Các hình thức bảo dưỡng trong công nghiệp .....	56
Hình 7. 2 Biểu đồ xương cá robot di chuyển đến sai tọa độ điểm .....	61
Hình 7. 3 Biểu đồ xương cá các chi tiết gãy, vỡ khi lắp ráp và hoạt động.....	62
Hình 7. 4 Ảnh hưởng của L'AMDEC trong chi phí bảo trì .....	64
Hình 7. 5 Phân tách hệ thống truyền động .....	67

## DANH MỤC BẢNG

Bảng 2. 1 Chiều dài của từng khâu.....	15
Bảng 2. 2 Khối lượng của từng khâu.....	15
Bảng 2. 3 Giá trị Moment và động cơ được lựa chọn .....	15
Bảng 2. 4 Thông số từng loại động cơ .....	15
Bảng 2. 5 Tỷ số truyền của bộ truyền động.....	18
Bảng 2. 6 Loại vòng bi sử dụng cho từng khớp .....	19
Bảng 3. 1 Thông số Driver của từng khớp .....	25
Bảng 4. 1 Bảng giá trị Denavit – Hartenberg .....	32
Bảng 6. 1 Kiểm nghiệm độ chính xác .....	53
Bảng 7. 1 Thang đánh giá xác suất xảy ra.....	65
Bảng 7. 2 Thang đánh giá mức độ nghiêm trọng .....	66
Bảng 7. 3 Thang đánh giá xác suất phát hiện .....	66
Bảng 7. 4 Bảng giá trị C .....	67
Bảng 7. 5 Phân tích các dạng lỗi, hư hỏng và ảnh hưởng tới robot .....	68
Bảng 7. 6 Các hành động khắc phục cần thực hiện.....	70
Bảng 7. 7 Kế hoạch bảo trì .....	70

## CHƯƠNG 1 : TỔNG QUAN VỀ ROBOT CÔNG NGHIỆP

### 1. Lịch sử phát triển

Thiết bị điều khiển vị trí đầu tiên được phát minh vào khoảng năm 1938 để phun sơn những bức tranh. Tuy nhiên, các robot công nghiệp đầu tiên tên là Unimates, được thực hiện bởi J. Engelberger vào đầu những năm 60 của thế kỉ XX. Unimation chính là công ty đầu tiên đưa các Unimates ra thị trường robot. Do đó, Engelberger đã được gọi là cha đẻ của robot. Trong những năm 80, ngành công nghiệp robot phát triển rất nhanh chủ yếu là do các khoản đầu tư khổng lồ vào ngành công nghiệp ô tô.

Trong cộng đồng nghiên cứu, thiết bị tự động đầu tiên có lẽ là máy công cụ của Grey Walter vào những năm 1940. Tác giả của robot tự hành đầu tiên chính là John's Hopkin vào đầu năm 1960 và robot có thể lập trình đầu tiên được thiết kế bởi Geogre Devol vào năm 1954. Năm 1959, robot thương mại đầu tiên xuất hiện trên thị trường sau đó đã được sử dụng trong các ngành công nghiệp sau năm 1960 và ghi nhận sự trưởng thành trong những năm 80.

Robot xuất hiện là kết quả của sự kết hợp hai công nghệ: hệ thống điều khiển từ xa và máy tính điều khiển số (CNC). Hệ thống điều khiển từ xa đã được phát triển trong Thế chiến II để xử lý các vật liệu phóng xạ, và CNC đã được phát triển để tăng độ chính xác cần thiết trong gia công cho bộ phận công nghệ mới. Do đó, những robot đầu tiên chính là việc điều khiển số các liên kết cơ học cơ bản được thiết kế để di chuyển vật liệu từ điểm A đến B.

Ngày nay, các ứng dụng phức tạp hơn, chẳng hạn như hàn, sơn, và lắp ráp,.. đòi hỏi nhiều khả năng chuyển động và cảm biến hơn. Do đó, một robot là một thiết bị kỹ thuật đa ngành:

- Kỹ thuật cơ khí : Liên quan đến việc thiết kế các bộ phận cơ khí, cánh tay, bộ phận công tác và cũng chịu trách nhiệm phân tích động học, động lực học và điều khiển của robot
- Kỹ thuật điện : Chịu trách nhiệm các công việc liên quan bộ truyền động, cảm biến, nguồn điện và hệ thống điều khiển.
- Kỹ thuật thiết kế hệ thống: Liên quan đến nhận thức, cảm nhận, và các phương pháp điều khiển robot.
- Lập trình hay công nghệ phần mềm: chịu trách nhiệm về logic, trí thông minh, giao tiếp và kết nối mạng.

Ngày nay, có hơn 1000 tổ chức, hiệp hội và câu lạc bộ liên quan đến robot; hơn 500 tạp chí, tạp chí liên quan đến robot, hơn 100 hội nghị và cuộc thi về robot mỗi năm; và hơn 50 khóa học liên quan đến người máy ở các trường đại học. Robot ngày càng được ứng dụng rộng rãi công nghiệp và được sử dụng cho các hoạt động công nghệ khác nhau. Robot nâng cao năng suất lao động và giải thoát con người khỏi những công việc mệt mỏi, đơn điệu hoặc nguy hiểm. Hơn thế nữa, robot thực hiện nhiều thao tác tốt hơn con người và chúng cung cấp độ chính xác và độ lặp lại cao hơn. Trong nhiều lĩnh vực, khó có thể đạt được các tiêu chuẩn công nghệ cao nếu không có robot. Ngoài công nghiệp, robot được sử dụng trong môi trường khắc nghiệt. Chúng có thể hoạt động ở nhiệt độ thấp và cao; họ thậm chí không cần ánh sáng, nghỉ ngơi, không khí. Robot là những cỗ máy có phạm vi ứng dụng ngày càng được mở rộng và cấu trúc của chúng trở nên phức tạp hơn.

### 2. Ứng dụng của robot công nghiệp

Mục tiêu ứng dụng của robot công nghiệp là để thay thế từng phần hoặc toàn bộ lao động nặng nhọc của con người hoặc thay thế con người khi phải làm việc trong những điều kiện kỹ thuật, môi trường đặc biệt, đồng thời mang lại năng suất, chất lượng, hiệu quả kinh tế cao.

Robot được ứng dụng vào nhiều hoạt động trong công nghiệp như :

- Lắp đặt vật liệu, hàn điểm, phun sơn
- Đúc, lắp ráp, đóng gói
- Đảm nhận thực hiện cấp phối phục vụ các nguyên công trong dây chuyền sản xuất tự động
- Dùng trong công nghệ ép nhựa
- Dùng trong những khu vực nguy hiểm ( nhiễm xạ,... )
- Dùng bốc dỡ hàng hóa, vật liệu, phôi có trọng lượng lớn, cồng kềnh trong các ngành công nghiệp nặng
- Đúc rót kim loại nóng chảy ...



*Hình 1. 1 Robot công nghiệp trong sản xuất ô tô*

### 3. Cấu trúc chung của robot công nghiệp

Robot cấu tạo bởi các liên kết được kết nối bởi các khớp để tạo thành một chuỗi động học. Tuy nhiên, một robot cũng như một hệ thống, bao gồm: người điều khiển hoặc máy tự hành, cổ tay, bộ phận tác động cuối, bộ truyền động, cảm biến, bộ điều khiển, bộ xử lý và phần mềm.

Mọi robot công nghiệp được cấu thành bởi các hệ thống chính sau:

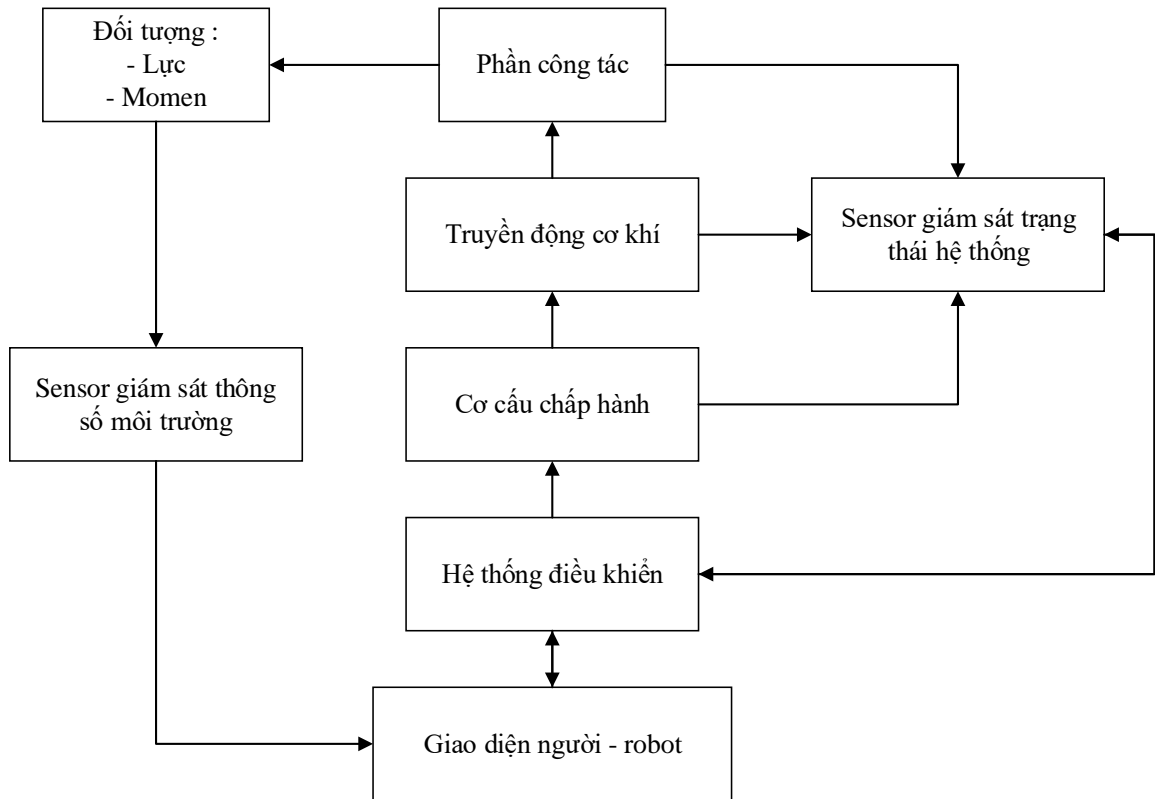
- Tay máy (manipulator) là cơ cấu cơ khí gồm các khâu, khớp. Chúng hình thành cánh tay để tạo các chuyển động cơ bản, cổ tay tạo nên sự khéo léo, linh hoạt và bộ phận công tác (end effector) để trực tiếp hoàn thành các thao tác trên đối tượng.
- Cơ cấu chấp hành ( actuators ) tạo chuyển động cho các khâu của tay máy. Nguồn động lực của các cơ cấu chấp hành là động cơ các loại: điện, thủy lực, khí nén hoặc kết hợp giữa chúng.
- Hệ thống cảm biến gồm các sensor và thiết bị chuyển đổi tín hiệu cần thiết khác. Các Robot cần hệ thống sensor trong để nhận biết trạng thái của bản thân các cơ cấu của Robot và các sensor ngoài để nhận biết trạng thái của môi trường.
- Hệ thống điều khiển (controller) và giao diện người dùng hiện nay thường là máy tính hoặc thiết bị di động để giám sát và điều khiển hoạt động của Robot.

Tay máy là phần cơ sở, quyết định khả năng làm việc của robot công nghiệp. Đó là thiết bị cơ khí đảm bảo cho robot khả năng chuyển động trong không gian và khả năng làm việc như nâng hạ vật, lắp ráp,...Ban đầu,việc thiết kế và chế tạo tay máy là phỏng tác cấu tạo và chức năng của tay người. Về sau, đây không còn là điều bắt buộc nữa. Tay máy hiện nay rất đa dạng và có nhiều loại có dáng vẻ khác rất xa với tay người. Tuy nhiên, trong kỹ thuật robot người ta vẫn dùng các thuật ngữ quen thuộc như: vai, cánh tay, cổ tay, bàn tay và các khớp... để chỉ tay máy và các bộ phận của nó.

Trong thiết kế và sử dụng tay máy, người ta quan tâm đến các thông số có ảnh hưởng lớn đến khả năng làm việc của chúng như:

- Sức nâng, độ cứng vững, lực kẹp của tay,...
- Tầm với hay vùng làm việc: kích thước và hình dạng vùng mà phần công tác có thể với tới.
- Sự khéo léo, nghĩa là khả năng định vị và định hướng phần công tác trong vùng làm việc. Thông số này liên quan đến số bậc tự do của phần công tác.

Ngoài ra để định vị và định hướng phần công tác một cách tùy ý trong không gian 3 chiều cần có 6 bậc tự do, trong đó 3 bậc tự do để định vị trí, 3 bậc tự do để định hướng.



Hình 1. 2 Sơ đồ cấu trúc chung của robot công nghiệp

#### 4. Phân loại

Hiệp hội Robot công nghiệp Nhật Bản chia robot trong 6 nhóm khác nhau:

- Nhóm 1: Robot điều khiển thủ công: Thiết bị có nhiều bậc tự do được điều khiển bởi một nhà điều hành.
- Nhóm 2: Robot trình tự cố định: Là thiết bị thực hiện các bước liên tiếp của một nhiệm vụ theo một chương trình định trước và cố định.
- Nhóm 3: Robot biến đổi tuần tự: Là thiết bị thực hiện các bước liên tiếp của một nhiệm vụ theo một phương pháp được xác định trước nhưng có thể lập trình được.
- Nhóm 4: Robot phát lại: Người điều khiển thực hiện tác vụ theo cách thủ công bằng cách điều khiển robot và ghi lại các chuyển động để phát lại sau này. Các robot lặp lại các chuyển động tương tự theo thông tin đã được ghi lại.

- Nhóm 5: Robot điều khiển số: Người điều khiển cung cấp cho robot một chương trình chuyển động hơn là dạy nó nhiệm vụ theo cách thủ công.
- Nhóm 6: Robot thông minh: Robot có khả năng hiểu rõ môi trường và khả năng hoàn thành xuất sắc nhiệm vụ bất chấp những thay đổi trong các điều kiện xung quanh.

Khác với các phân loại chính thức này, robot có thể được phân loại theo các cách khác các tiêu chí như hình học, không gian làm việc, truyền động, điều khiển và ứng dụng.

### 4.1. Phân loại theo dạng hình học của 3 bậc định vị

Một robot được gọi là:

- Bộ điều khiển nối tiếp hoặc vòng hở nếu cấu trúc động học của nó không tạo thành chuỗi vòng lặp.
- Bộ điều khiển song song hoặc vòng kín nếu cấu trúc của nó tạo nên một chuỗi vòng kín.
- Một tay máy kết hợp nếu nó có cấu trúc bao gồm cả chuỗi vòng hở và vòng kín.

Hầu hết các tay máy công nghiệp đều có 6 bậc tự do, trong đó có 3 bậc tự do để định vị và 3 bậc tự do để định hướng. Các robot có thể được phân loại dựa trên 3 bậc định vị. Sử dụng hai loại khớp nguyên thủy làm chuẩn bao gồm:

- Khớp tịnh tiến được kí hiệu là P ( Prismatic ).
  - Khớp xoay được kí hiệu là R ( Rotation ).
- Hai khớp liên kề có thể có 3 mối quan hệ với nhau:

- Vuông góc ( $\perp$ )
- Song song ( $\parallel$ )
- Trục giao ( $\vdash$ )

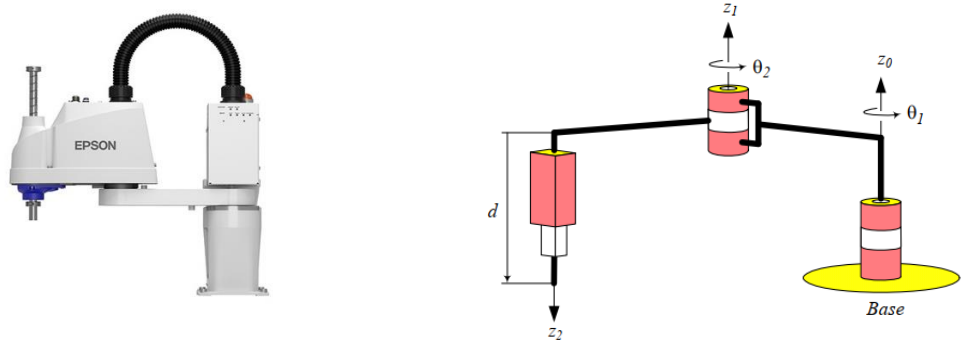
Về mặt toán học, có thể có tới 72 cấu hình tay máy công nghiệp khác nhau, vì mỗi khớp có thể là P hoặc R và trục của hai khớp liên kề có thể song song ( $\parallel$ ), trục giao ( $\vdash$ ) hoặc vuông góc ( $\perp$ ). Trong số 72 cấu hình robot công nghiệp, có 5 cấu hình quan trọng là:

- $R \parallel R \parallel P$  ( SCARA )
- $R \vdash R \perp R$  ( Robot khớp nối )
- $R \vdash R \perp P$  ( Robot tọa độ cầu )
- $R \parallel P \vdash P$  ( Robot tọa độ trụ )
- $P \vdash P \vdash P$  ( Robot tọa độ Descartes )

#### 4.1.1. SCARA Robot ( $R \parallel R \parallel P$ )

Đây là một kiểu tay máy có cấu tạo đặc biệt gồm 2 khớp quay và 1 khớp tịnh tiến, nhưng cả 3 khớp đều có trục song song với nhau. Kết cấu này làm tay máy đứng vững hơn theo phương đứng nhưng kém cứng vững theo phương ngang. Loại này chuyên dùng cho công việc lắp ráp với tải trọng nhỏ theo phương đứng.

SCARA Robot được ứng dụng trong các công việc đòi hỏi sự linh hoạt, tốc độ cao, có tính lặp lại đồng thời có tải trọng nhẹ như: Lắp đặt các chi tiết nhỏ, gấp, đặt các vật liệu, linh kiện, sử dụng trong khắc Laser, in 3D, lắp ráp linh kiện điện tử, vi mạch, linh kiện máy tính...



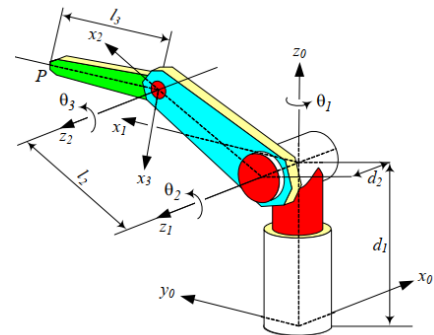
Hình 1.3 Robot SCARA và sơ đồ động của robot SCARA

#### 4.1.2. Robot khớp nối ( $R \perp R \perp R$ )

Một robot khớp nối là một robot với các khớp quay. Các robot khớp nối có thể bao gồm từ cấu trúc hai khớp đơn giản đến các hệ thống có 10 khớp hoặc nhiều khớp hơn tương tác với nhau. Ba bậc chuyển động cơ bản gồm ba trục quay. Mặc dù chiếm diện tích làm việc ít song tầm vươn khá lớn. Tỷ lệ kích thước/tầm vươn được đánh giá cao. Về mặt hình học, cấu hình dạng khớp nối bản lề với ba trục quay bố trí theo phương thẳng đứng là dạng đơn giản và có hiệu quả nhất trong trường hợp yêu cầu gấp và đặt chi tiết theo phương thẳng đứng.

Đây là loại cấu hình robot được sử dụng rộng rãi nhất trong công nghiệp hơn 15% robot sử dụng cấu hình này. Được ứng dụng rộng rãi trong hầu hết các ngành công nghiệp với tất cả các tác vụ như: lắp ráp ô tô, phun sơn, hàn, cấp phôi,... ngay cả trong các ngành công nghiệp nặng như luyện kim, sắt, thép, khai thác khoáng sản, hóa chất...

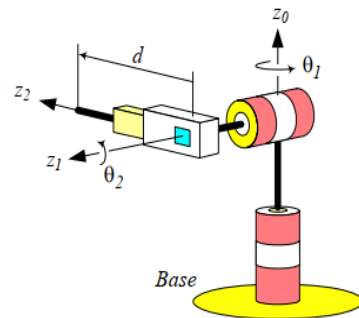




Hình 1. 4 Robot khớp nối và sơ đồ động của robot khớp nối

#### 4.1.3. Robot tọa độ cầu ( $R \vdash R \perp P$ )

Robot tọa độ cầu là một robot có hai khớp quay và một khớp tịnh tiến. Nói cách khác, nó gồm có hai trục quay và một trục tuyến tính. Robot hình cầu có một cánh tay có không gian hoạt động theo tọa độ hình cầu. Sử dụng các khớp lồng vào nhau, giúp Robot có khả năng chuyển động lên hoặc xuống theo chiều ngang trục quay. Dạng đa khớp nối cho phép Robot mở rộng không gian làm việc theo hình cầu.

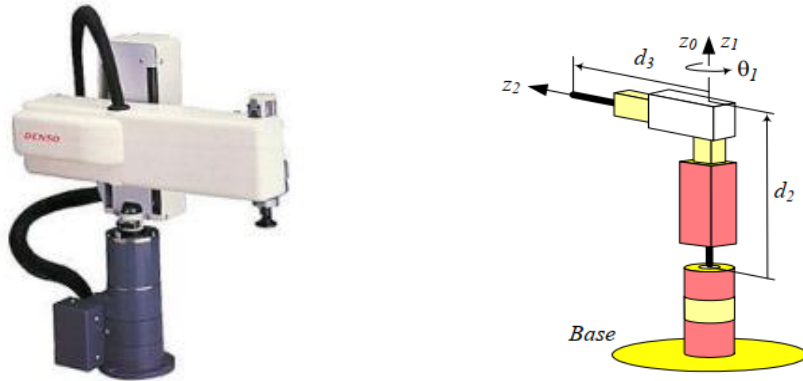


Hình 1. 5 Robot tọa độ cầu và sơ đồ động của robot tọa độ cầu

#### 4.1.4. Robot tọa độ trụ ( $R \parallel P \vdash P$ )

Robot có ba bậc chuyển động cơ bản gồm hai trục chuyển động tịnh tiến và một trục quay. Trục cơ bản là trục dọc, Robot di chuyển lên và xuống dọc theo trục, quay quanh trục. Phạm vi làm việc của Robot được mở rộng theo 1 hình trụ quanh trục cơ bản.

Độ cứng vững cơ học của tay máy trụ tốt thích hợp với tải nặng, nhưng độ chính xác định vị góc trong mặt phẳng nằm ngang giảm khi tầm với tăng. Phù hợp với các tác vụ như bốc vác, phân loại hàng hóa có tải trọng nặng, công kênh như xi măng, phân bón,...

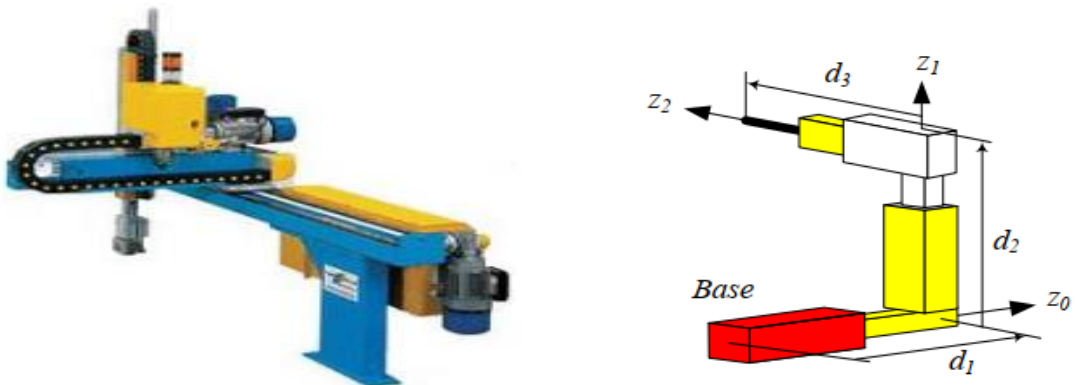


Hình 1. 6 Robot tọa độ trụ và sơ đồ động của robot tọa độ trụ

#### 4.1.5. Robot tọa độ Descartes ( $P \vdash P \vdash P$ )

Sử dụng 3 đường trượt vuông góc nhau trong không gian 3 trục tọa độ x, y, z. Robot sử dụng các khớp tịnh tiến chuyển động theo 3 trục tọa độ, phạm vi làm việc của Robot mở rộng theo hình chữ nhật. Do sự đơn giản về kết cấu, tay máy kiểu này có độ cứng vững cao, độ chính xác được đảm bảo đồng đều trong toàn bộ vùng làm việc nhưng ít khéo léo. Vì vậy, tay máy kiểu tọa độ góc được dùng để vận chuyển lắp ráp.

Một ứng dụng phổ biến cho loại robot này là máy tính điều khiển số (máy CNC) và in 3D. Ứng dụng đơn giản nhất được sử dụng trong máy phay và máy vẽ, nơi bút hoặc bộ định tuyến dịch qua một mặt phẳng x-y trong khi công cụ được nâng lên và hạ xuống bề mặt để tạo ra thiết kế chính xác. Các máy gấp và đặt và máy vẽ cũng dựa trên nguyên lý cơ bản của robot tọa độ Descartes.



Hình 1. 7 Robot tọa độ Descartes và sơ đồ động của robot tọa độ Descartes

#### 4.2. Phân loại theo kiểu truyền động :

Robot truyền động điều khiển bằng điện:

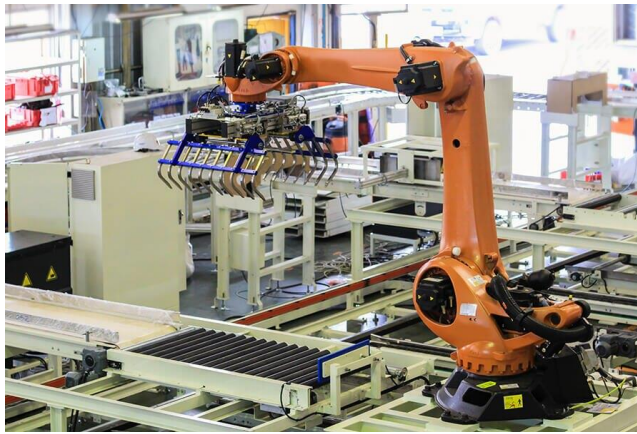
- Sử dụng động cơ AC hoặc DC.
- Chính xác, sạch và êm ái hơn so với thủy lực và khí nén.

Robot truyền động điều khiển bằng thủy lực:

- Tỷ lệ momen xoắn/ khối lượng hoặc công suất/ khối lượng cao
- Được sử dụng chủ yếu để nâng vật nặng. Ổn ào và dễ bị rò rỉ

Robot truyền động điều khiển bằng khí nén:

- Ít tốn chi phí, đơn giản nhưng khó để kiểm soát chính xác
- Tốc độ cao, sử dụng để nâng vật nhẹ. Ổn ào và dễ bị rò rỉ



*Hình 1. 8 Robot truyền động bằng động cơ Servo*

#### 4.3. Phân loại theo hệ điều khiển :

Robot có thể được phân loại theo phương pháp điều khiển:

- Servo (điều khiển vòng kín)
- Không Servo (điều khiển vòng hở).

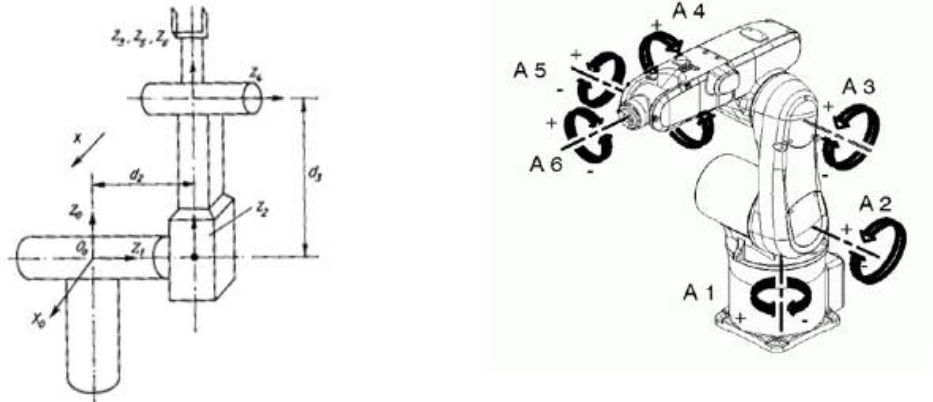
Robot Servo sử dụng vòng kín điều khiển bằng máy tính để xác định chuyển động của chúng và do đó có khả năng các thiết bị này có thể lập trình lại đa chức năng. Robot điều khiển servo được phân loại thêm theo phương pháp mà bộ điều khiển sử dụng để điều khiển bộ phận công tác.

Robot không Servo về cơ bản là thiết bị vòng hở có chuyển động giới hạn ở các điểm dừng cơ học được xác định trước và chúng chủ yếu được sử dụng cho chuyển vật tư.

## CHƯƠNG 2: XÂY DỰNG HỆ THỐNG CƠ KHÍ

### 1. Lựa chọn mô hình

#### 1.1. Phương án lựa chọn mô hình

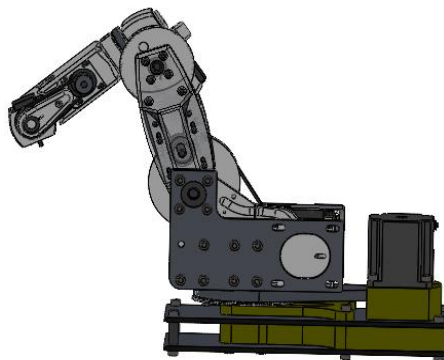


Hình 2.1 Robot Stanford ( RRTRRR ) và Robot KUKA ( RRRRRR )

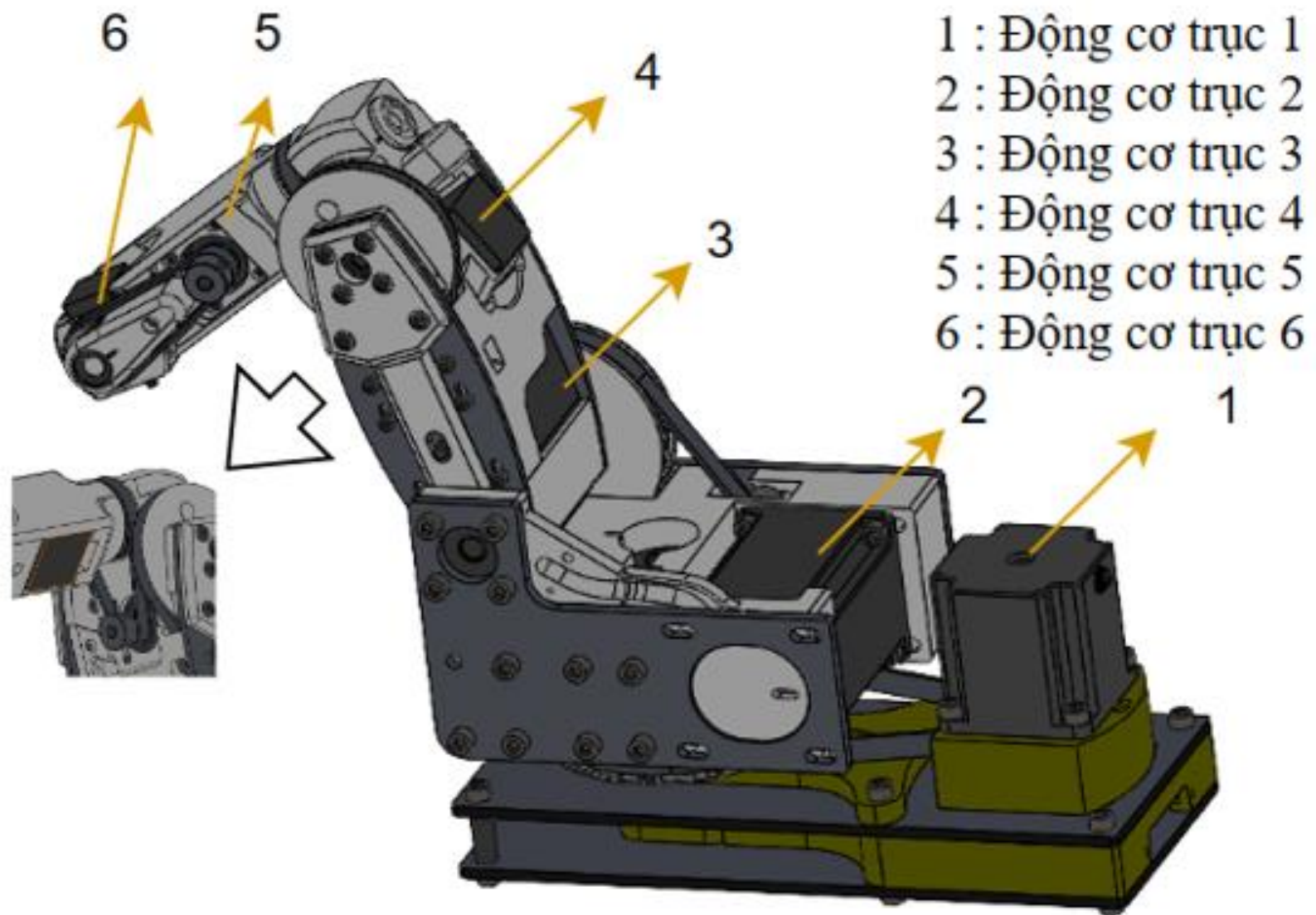
Với mục tiêu là triển khai loại robot 6 bậc tự do sao cho việc chế tạo không quá khó khăn, phức tạp và giá thành hợp lý, trong phạm vi đề án tốt nghiệp chúng em sẽ chọn tham khảo Robot KUKA theo thiết kế của tác giả Skyentific để phân tích, tính toán, chế tạo, điều khiển và lập trình.

#### 1.2. Xây dựng mô hình trên Solidworks

Robot gồm 6 khớp quay được mô phỏng theo thiết kế robot KUKA sử dụng bộ truyền đai răng nhiều cấp làm tăng tỷ số truyền từ động cơ để có thể đáp ứng được các yêu cầu khi thực hiện.



Hình 2.2 Mô hình robot được xây dựng trên Solidwork



Hình 2. 3 Mô hình 3D của robot

Robot được hình thành bởi 6 khâu quay. Các khâu được kết nối truyền động với nhau qua hệ thống động cơ – dây đai, mỗi khớp quay sẽ là một bậc tự do của robot.

Khâu 1 Sử dụng bộ truyền động đai răng đặt trên mặt phẳng nằm ngang với động cơ đặt ở đằng sau.

Khâu 2 và Khâu 3 sử dụng bộ truyền đai trên mặt phẳng thẳng đứng

Tất cả các khâu được lắp vào với nhau thành 1 tay máy hoàn chỉnh. Tại các khớp động có ổ bi để chuyển ma sát trượt thành ma sát lăn giúp các khâu chuyển động mượt mà hơn.

## 2. Chọn vật liệu :

### 2.1. Lựa chọn phương pháp chế tạo

Thay vì sử dụng nhôm tấm, thanh nhôm định hình, nhựa mica cùng với phương pháp gia công cắt gọt thường được sử dụng để chế tạo các mô hình robot. Cánh tay robot 6 bậc của bọn em sử dụng phương pháp in 3D với nhựa PLA để in các chi tiết cho cánh tay robot.

Bằng phương pháp in 3D có thể thực hiện được ở tất cả các loại mẫu thiết kế, không bị hạn chế bởi độ phức tạp của bề mặt hay độ khó về cấu trúc thiết kế. Chỉ cần 1 lần thao tác là có thể in ra được toàn bộ sản phẩm dù có cấu trúc phức tạp đến đâu.

Có 2 loại nhựa phổ biến được sử dụng rộng rãi trong in 3D vì đặc tính và giá thành hợp lý là nhựa ABS và nhựa PLA.

Ưu điểm của nhựa PLA :

- Nhựa PLA dễ in, hầu hết những máy in 3D đều có thể thực hiện được với loại vật liệu này, thậm chí là không cần bàn nhiệt. PLA yêu cầu nhiệt độ khá thấp so với những loại khác, có thể in với tốc độ nhanh và không yêu cầu máy đóng kín.
- Nhiều màu sắc và tùy chọn: PLA có dạng khác nhau. Những sợi Pla tổng hợp và mục đích đặc biệt như Pla Silk, Pla sợi carbon hay Pla có mùi thơm.
- Không độc hại: Nhựa in 3D pla không độc hại khi nó có thể được giữ không bị ô nhiễm. Ứng dụng của nhựa này sang các lĩnh vực như y tế, công nghiệp thực phẩm thương hiệu creality.
- Không khói: Không thể tránh khỏi khói thoát ra khi nhựa nhiệt dẻo bị nóng chảy. Nhất là từ các vật liệu độc hại như ABS, có thể chứa chất hít hại và thậm chí là gây ung thư. Trong khi nhựa in 3D PLA dùng lại giải phóng một số khói, hầu như không mùi và rủi ro ít.



- Có thể phân hủy sinh học: Do PLA có nguồn gốc từ thực vật nên có khả năng phân hủy, không giống như những nhựa khác được làm từ tinh chế dầu thô, gây hại cho môi trường.

Nhược điểm của nhựa PLA :

- Dòn, khá yếu: Độ bền uốn khá thấp, những bộ phận in 3D yếu hơn đáng kể so với đúc phun. Các bộ phận của Pla không thường bị uốn cong, dễ vỡ nhanh sau khi tác dụng đủ lực có nghĩa là giòn.
- Nhiệt độ thấp, kháng hóa chất: Pla cũng không chịu nhiệt tốt, những bộ phận được in bằng vật liệu này có xu hướng biến dạng trong điều kiện nóng.

Thuộc tính chung	Giá trị
Trọng lượng riêng	1.05 g/cm
Mô-đun kéo (73°F)	0.3 Mpi
Độ bền kéo (biến dạng)	5.0 Kpsi
Độ dai va đập (73°F)	2.5 – 12.0 ft – lb / in
Giới hạn nhiệt độ làm việc	167 – 185 ° F
Độ co ngót	0.4 - 0.7 %
Nhiệt độ hóa mềm Vicat	137 °F
Nhiệt độ hóa thủy tinh	185 – 240 ° F
Nhiệt độ chu trình	410 – 518 °F
Nhiệt độ khuôn	122 – 176 °F
Nhiệt độ sấy	176 – 185 °F
Thời gian sấy	2.0 – 4.0 h

Hình 2. 4 Thông số kỹ thuật của nhựa PLA

## 2.2. Lựa chọn và tính toán động cơ

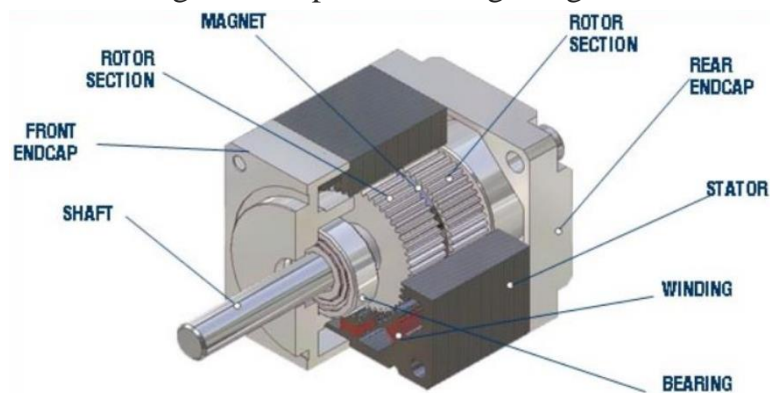
### 2.2.1. Lựa chọn động cơ

Trong đồ án này em sử dụng động cơ step để dẫn động cho robot.

Trong đồ án này chúng em sử dụng bộ truyền đai răng để làm bộ truyền dẫn động từ động cơ đến các khớp quay của robot. Bộ truyền đai răng - pulley được bọn em sử dụng cho các khớp.

Ưu, nhược điểm của động cơ bước:

- Ưu điểm :
  - + Không chổi than : Không xảy ra hiện tượng đánh lửa chổi than làm tổn hao năng lượng, tại một số môi trường đặc biệt (hầm lò...) có thể gây nguy hiểm.
  - + Tạo được mô men giữ : Động cơ bước là thiết bị làm việc tốt trong vùng tốc độ nhỏ. Nó có thể giữ được mômen thậm chí cả vị trí như vào tác dụng hãm lại của từ trường rotor.
  - + Điều khiển vị trí theo vòng hở : Một lợi thế rất lớn của động cơ bước là ta có thể điều chỉnh vị trí quay của roto theo ý muốn mà không cần đến phản hồi vị trí như các động cơ khác, không phải dùng đến encoder hay máy phát tốc (khác với servo).
  - + Độc lập với tải : Với các loại động cơ khác, đặc tính của tải rất ảnh hưởng tới chất lượng điều khiển. Với động cơ bước, tốc độ quay của rotor không phụ thuộc vào tải (khi vẫn nằm trong vùng momen có thể kéo được). Khi momen tải quá lớn gây ra hiện tượng trượt, do đó không thể kiểm soát được góc quay.
  - + Giá thành thấp.
- Nhược điểm :
  - + Về cơ bản dòng từ driver tới cuộn dây động cơ không thể tăng hoặc giảm trong lúc hoạt động. Do đó , nếu bị quá tải động cơ sẽ bị trượt bước gây sai lệch điều khiển.
  - + Động cơ bước gây ra nhiều nhiễu và rung động hơn động cơ servo.
  - + Động cơ bước không thích hợp cho các ứng dụng cần tốc độ cao.



Hình 2. 5 Cấu tạo của động cơ bước



### 2.2.2. Tính toán lựa chọn động cơ

Sử dụng phần mềm solidworks tiến hành mô phỏng mô hình cánh tay robot, xác định được khối lượng và chiều dài từng khâu như sau :

*Bảng 2. 1 Chiều dài của từng khâu*

Khâu	6	5	4	3	2	1
Chiều dài	30mm	28mm	117mm	26mm	110 mm	47 mm

Khối lượng từng thanh ( Sử dụng vật liệu nhựa PLA in 3D với infill từ 80%)

*Bảng 2. 2 Khối lượng của từng khâu*

Khâu	6	5	4	3	2	1
Khối lượng	50g	70.4g	100g	135g	453g	769.5g

Ta giả sử lực tác động vào khâu cuối bằng 0.


Sử dụng phương pháp cánh tay đòn, xác định moment xoắn để chọn động cơ

*Bảng 2. 3 Giá trị Moment và động cơ được lựa chọn*

Khâu	6	5	4	3	2	1
Momen	1,5 Ncm	5,37 Ncm	11 Ncm	37 Ncm	98,6 Ncm	0
Động cơ	Nema 8	Nema 11	Nema 11	Nema 17	Nema 23	Nema 23

Dưới đây là danh sách các động cơ được sử dụng :

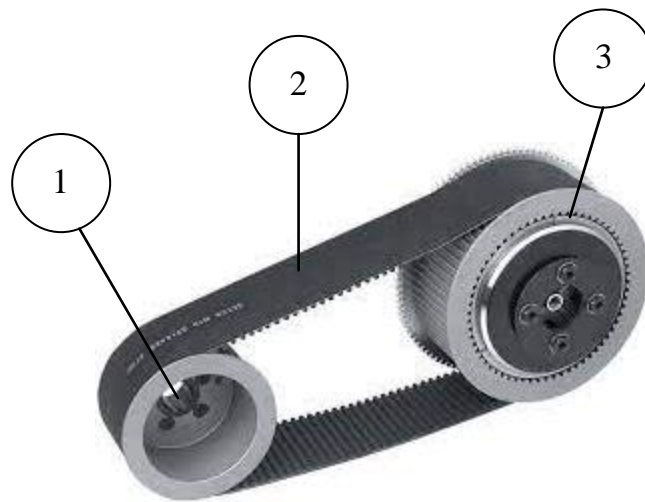
*Bảng 2. 4 Thông số từng loại động cơ*

Khớp	Hình ảnh	Thông số kỹ thuật	Thông số kích thước
6		Góc/ bước: $1,8^{\circ}$ Momen xoắn giữ: 1,8 Ncm Số pha: 2 Dòng tối đa / pha: 0,6 A Điện trở pha: 6,5 ohms Hiệu điện thế: 3,9 V	Kích thước : 20x20 mm Chiều dài : 33 mm Đường kính trục : 4 mm Chiều dài trục : 20 mm Khối lượng : 0,08 kg

5		Góc/ bước: $1.8^{\circ}$ Momen xoắn giữ: 7 N.cm Số pha : 2 Dòng / pha: 0,67 A Điện trở pha: 5,8 ohms Hiệu điện thế: 3,9 V	Kích thước : 28x28 mm Chiều dài : 34 mm Đường kính trục : 5 mm Chiều dài trục : 20 mm Khối lượng : 0,11 kg
4		Góc/ bước: $1.8^{\circ}$ Momen xoắn giữ: 11 N.cm Số pha : 2 Dòng / pha: 0,6 A Điện trở pha: 3,3 ohms Hiệu điện thế: 2,16 V	Kích thước : 28x28 mm Chiều dài : 40 mm Đường kính trục : 5 mm Chiều dài trục : 20 mm Khối lượng : 0,15 kg
3		Góc/ bước: $1.8^{\circ}$ Momen xoắn giữ: 40 Ncm Số pha : 2 Dòng / pha: 1,5 A Điện trở pha: 2,2 ohms Hiệu điện thế: 3,3 V	Kích thước : 42x42 mm Chiều dài : 40 mm Đường kính trục : 5 mm Chiều dài trục : 24 mm Khối lượng : 0,35 kg
2		Góc/ bước: $1.8^{\circ}$ Momen xoắn giữ: 1.8 Ncm Số pha : 2 Dòng / pha: 3 A Điện trở pha: 1,1 ohms Hiệu điện thế: 3,3 V	Kích thước : 57x57 mm Chiều dài : 76 mm Đường kính trục : 6mm Chiều dài trục : 21 mm Khối lượng : 1,05 kg
1		Góc/ bước: $1.8^{\circ}$ Moment xoắn dữ: 1.8 Ncm Số pha : 2 Dòng / pha: 3 A Điện trở pha: 1,1 ohms Hiệu điện thế: 3 V	Kích thước : 57x57 mm Chiều dài : 76 mm Đường kính trục : 6mm Chiều dài trục : 21 mm Khối lượng : 1,05 kg

### 2.3. Chọn bộ truyền động

Trong đồ án này chúng em sử dụng bộ truyền đai răng để làm bộ truyền dẫn động từ động cơ đến các khớp quay của robot. Bộ truyền đai răng - pulley được bọn em sử dụng cho các khớp.



1. Bánh chủ động    2. Bánh bị động    3. Dây đai

*Hình 2. 6 Cấu tạo bộ truyền đai*

Ưu, nhược điểm của bộ truyền đai răng:

- Ưu điểm :

- + Có khả năng truyền chuyển động giữa các trục xa nhau.
- + Làm việc êm và không ồn.
- + Giữ an toàn cho chi tiết và động cơ khi bị quá tải nhờ hiện tượng trượt đai.
- + Kết cấu đơn giản, dễ dàng lắp ráp và thay thế, không yêu cầu bôi trơn định.
- + Tốc độ không đổi. Không trượt, lệch hay xộc xệch.
- + Đai có hệ số đàn hồi lớn sẽ không bị kéo dẫn.
- + Độ ồn thấp, tránh được hiện tượng chạm răng.
- + Một tỷ lệ xác định trước luôn được duy trì

- Ưu điểm :

- + Hiệu suất thấp do trượt đàn hồi.
- + Tuổi thọ của dây đai thấp.
- + Lực tác dụng lên trục và ổ bi lớn do phải căng đai.
- + Chi phí lớn hơn do với các dạng truyền động đai khác.

*Bảng 2. 5 Tỷ số truyền của bộ truyền động*

Khớp	Số răng	Tỷ số truyền thực tế
5	Số răng bánh chủ động: $Z_1 = 20$ răng Số răng bánh bị động: $Z_2 = 42$ răng Bước răng: 2 mm	$u = 2,1$
4	Số răng bánh chủ động: $Z_1 = 20$ răng Số răng bánh bị động: $Z_2 = 56$ răng Bước răng: 2 mm	$u = 2,8$
3	Số răng bánh chủ động: $Z_1 = 20$ răng Số răng bánh bị động: $Z_2 = 100$ răng Bước răng: 2 mm	$u = 5$
2	Số răng bánh chủ động: $Z_1 = 20$ răng Số răng bánh bị động: $Z_2 = 80$ răng Bước răng: 3 mm	$u = 4$
1	Số răng bánh chủ động: $Z_1 = 20$ răng Số răng bánh bị động: $Z_2 = 96$ răng Bước răng: 3 mm	$u = 4.8$






#### 2.4. Chọn bộ vòng bi


Tại các khớp động của cánh tay robot, bọn em sử dụng ổ vòng bi để chuyển ma sát trượt giữa 2 khâu thành ma sát lăn, giúp giảm lực cản giữa các khâu, làm các khâu chuyển động linh hoạt hơn.

Tại các vị trí yêu cầu có khả năng chịu tải trọng hướng kính tốt và có thể làm việc ở tốc độ cao, nhưng lại chịu độ tải trọng dọc trục ở mức độ thấp em lựa chọn sử dụng vòng bi cầu. Ngoài ra vòng bi này còn cho phép đưa vào sử dụng nhanh và an toàn vì đã được bôi trơn sẵn và làm kín bằng phốt ở hai mặt.

Ngoài ra, tại vị trí liên kết giữa khâu 1 và khâu 2, ổ bi tại vị trí này cần chịu tải trọng dọc trục ở mức cao nhưng lại chịu tải trọng hướng kính thấp, vì vậy tại vị trí này, em lựa chọn sử dụng vòng bi chặn ( Roller Thrust Bearing ).

*Bảng 2. 6 Loại vòng bi sử dụng cho từng khớp*

Khớp	Mã vòng bi	Hình ảnh	Thông số kỹ thuật
5	6702 (1pcs)		<p>Chủng loại : vòng bi cầu</p> <p>Đường kính trong : 21 mm</p> <p>Đường kính ngoài : 15 mm</p> <p>Chiều cao : 4mm</p> <p>Chất liệu : thép</p>
	688 (1pcs)		<p>Chủng loại : vòng bi cầu</p> <p>Đường kính trong : 8 mm</p> <p>Đường kính ngoài : 16 mm</p> <p>Chiều cao : 5 mm</p> <p>Chất liệu : thép</p>
4	6702 (2pcs)		<p>Chủng loại : vòng bi cầu</p> <p>Đường kính trong : 21 mm</p> <p>Đường kính ngoài : 15 mm</p> <p>Chiều cao : 4mm</p> <p>Chất liệu : thép</p>
3	688 (2pcs)		<p>Chủng loại : vòng bi cầu</p> <p>Đường kính trong : 8 mm</p> <p>Đường kính ngoài : 16 mm</p> <p>Chiều cao : 5 mm</p> <p>Chất liệu : thép</p>
2	6000 (2pcs)		<p>Chủng loại : vòng bi cầu</p> <p>Đường kính trong : 10 mm</p> <p>Đường kính ngoài : 26 mm</p> <p>Chiều cao : 8 mm</p> <p>Chất liệu : thép</p>

1	6001 (2pcs)		Chủng loại : vòng bi cầu Đường kính trong : 12 mm Đường kính ngoài : 28 mm Chiều cao : 8 mm Chất liệu : thép
	51102 (2pcs)		Chủng loại : vòng bi chặn Đường kính trong : 15 mm Đường kính ngoài : 28 mm Chiều cao : 9 mm Chất liệu : thép

## CHƯƠNG 3: XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐIỆN

### 1. Lựa chọn bộ điều khiển

Bộ điều khiển là một thiết bị giám sát và tác động vào các điều kiện làm việc của một hệ động học cho trước. Các điều kiện làm việc đặc trưng cho các biến đầu ra của hệ thống được tác động bởi việc điều chỉnh các biến đầu vào đã biết.

Một số loại bộ điều khiển thông dụng :

Vi điều khiển : Vi điều khiển là một máy tính được tích hợp trên một chip, nó thường được sử dụng để điều khiển các thiết bị điện tử. Vi điều khiển, thực chất, là một hệ thống bao gồm một vi xử lý có hiệu suất đủ dùng và giá thành thấp (khác với các bộ vi xử lý đa năng dùng trong máy tính) kết hợp với các khối ngoại vi như bộ nhớ, các module vào/ra, các module biến đổi số sang tương tự và tương tự sang số,...

- Ưu điểm
  - + Tích hợp bên trong vi điều khiển làm giảm chi phí và kích thước của hệ thống.
  - + Vi điều khiển hoạt động như một máy vi tính không có bộ phận kỹ thuật số nào.
  - + Việc sử dụng vi điều khiển rất đơn giản, dễ khắc phục sự cố và bảo trì hệ thống.
  - + Hầu hết các chân được lập trình bởi người dùng để thực hiện các chức năng.
  - + Dễ dàng kết nối thêm các cổng RAM, ROM, I/O.
  - + Cần ít thời gian để thực hiện các hoạt động.
- Nhược điểm :
  - + Vi điều khiển có kiến trúc phức tạp hơn so với vi xử lý.
  - + Chỉ thực hiện đồng thời một số lệnh thực thi giới hạn.
  - + Chủ yếu được sử dụng trong các thiết bị với quy mô giới hạn.
  - + Không thể trực tiếp giao tiếp các thiết bị công suất cao.

PLC (chương trình kiểm soát logic) : đây là thiết bị điều khiển lập trình cho phép thực hiện linh hoạt các thuật toán điều khiển logic thông qua một ngôn ngữ lập trình. Người sử dụng có thể lập trình để thực hiện một loạt trình tự các sự kiện. PLC hoạt động theo phương thức quét các trạng thái trên đầu ra và đầu vào. Khi có sự thay đổi ở đầu vào thì đầu ra sẽ thay đổi theo.

- Ưu điểm:
  - + Dễ dàng thay đổi chương trình theo ý muốn
  - + Thực hiện được các thuật toán phức tạp và độ chính xác cao.
  - + Mạch điện gọn nhẹ, dễ dàng trong việc bảo quản và sửa chữa.

- + Cấu trúc dạng module, cho phép dễ dàng thay thế, mở rộng đầu vào/ra, mở rộng chức năng khác
- + Khả năng chống nhiễu tốt, làm việc tin cậy trong môi trường công nghiệp.
- + Giao tiếp được với các thiết bị thông minh khác như: Máy tính, nối mạng truyền thông với các thiết bị khác.
- Nhược điểm:
  - + Giá thành phần cứng cao, một số hãng phải mua thêm phần mềm để lập trình.
  - + Đòi hỏi người sử dụng phải có trình độ chuyên môn cao.

Máy tính nhúng : là máy tính được vận hành trên hệ thống nhúng, được thiết kế để phục vụ một yêu cầu, ứng dụng hay một chức năng nào đó. Một hệ thống nhúng không thể sử dụng với mục đích khác mục đích nó được thiết kế ban đầu. Chính vì sự đa dạng của hệ thống nhúng mà máy tính nhúng cũng đa dạng về chủng loại, hình dáng.:

- Ưu điểm:
  - + Tính linh hoạt cao: có thể kết nối với nhiều loại giao thức khác nhau, phù hợp với nhu cầu của các nhà xưởng sản xuất công nghiệp
  - + Có thể hoạt động trong môi trường khắc nghiệt, dải nhiệt rộng: Nhiệt độ có thể dao động từ -35 độ C đến 70 độ
  - + Dễ dàng trong việc tìm hiểu và sử dụng: Máy tính nhúng thường kết nối được với nhiều thiết bị không thường xuyên sử dụng cùng giao thức truyền thông
  - + Chi phí thấp, kích thước nhỏ gọn
- Nhược điểm:
  - + Máy tính nhúng được tạo ra để thực hiện một chức năng chuyên biệt
  - + Trái ngược với máy tính thường có thể hỗ trợ nhiều thiết bị ngoại vi thì ở đây, máy tính nhúng chỉ có khả năng hỗ trợ một thiết bị giới hạn.

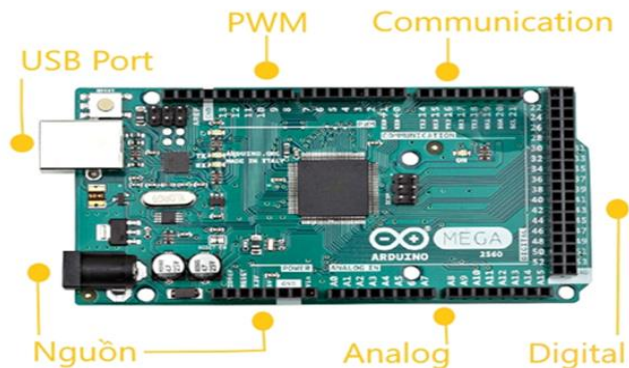
Dựa vào ưu, nhược điểm của từng loại bộ điều khiển, trong phạm vi của đồ án chúng em lựa chọn sử dụng Vi điều khiển làm bộ điều khiển trung tâm do :

- Với phạm vi đồ án nhỏ sử dụng nguồn điện DC để cấp cho các động cơ bước thì để tiết kiệm tối đa chi phí, lựa chọn vi điều khiển là giải pháp tối ưu nhất.
- Vi xử lý có tính di động cao thích hợp với nhưng ứng dụng cần tính linh hoạt.
- Có sẵn và phổ biến rộng khắp trên thị trường, dễ dàng tìm kiếm.



- Vi điều khiển đa số đều sử dụng ngôn ngữ lập trình C thông dụng, dễ tiếp cận sau đó mới sử dụng công cụ biên dịch thành ngôn ngữ máy để đổ vào và hoạt động.
- Các loại PLC và máy tính nhúng được sử dụng trong công nghiệp với các hệ thống lớn và phức tạp còn vi điều khiển chủ yếu được sử dụng trong thiết bị vi mô.

Trong phạm vi đồ án cần điều khiển 6 động cơ bước nên cần bộ nhớ chương trình lớn để viết nhiều chương trình phức tạp và điều khiển nhiều thiết bị phức tạp, đồng thời cần số lượng chân lớn mới có thể đáp ứng được. Vì vậy chúng em lựa chọn Board Arduino Mega 2560 làm bộ xử lý trung tâm sử dụng chip ATmega2560 của ATmel với bộ nhớ chương trình lên đến 256 KB ( Trong khi đó Board Arduino Uno và Nano chỉ có 32 KB ), dung lượng RAM là 8KB và EEPROM là 4KB. Đồng thời Arduino Mega 2560 còn có số lượng chân lớn với 54 chân đầu vào Digital ( Còn Arduino và Nano chỉ có 14 chân đầu vào Digital). Đồng thời vi điều khiển có thể lập trình dễ dàng bằng phần mềm Arduino IDE hoặc lập trình trực tiếp trên Visual Studio.



Hình 3. 1 Cấu trúc cơ bản của Arduino Mega 2560

## 2. Lựa chọn Driver điều khiển động cơ bước:

Động cơ bước có nhiều cách điều khiển. Có thể điều khiển các dây trực tiếp qua 4 cổng qua MCU thông qua driver đệm công suất. Cách này hơi phức tạp một chút, cần phải hiểu rõ bên trong động cơ và thường chỉ điều khiển được full bước.

Cách thông dụng nhất là dùng các IC chuyên dụng điều khiển động cơ bước. Các IC hay gặp nhất là TB6560, TB6600, L297, L298, A4988, DRV8825, MA860H... Việc lựa chọn dùng loại driver nào phụ thuộc vào loại động cơ và công suất động cơ định điều khiển. Ví dụ như A4988, DRV8825 dùng để điều khiển các loại động cơ nhỏ có công suất bé ví dụ như trong máy photo hoặc máy in 3D, TB6560 hoặc TB6600 thì lại dùng để điều khiển các loại động cơ lớn hơn một chút ví dụ như trong các loại máy CNC mini.

Trong đồ án này với 3 động cơ công suất nhỏ Nema11 và Nema8 ta chọn sử dụng Driver A4988 với giá thành rẻ, phù hợp với công suất nhỏ nhưng lại phát sinh một vấn đề trên board mạch Arduino 2560 sử dụng điện thế, công suất rất nhỏ chỉ 20mA không thể điều khiển cho các động cơ bước Nema 11 và Nema 8, để giải quyết vấn đề này ta cần sử dụng các bộ chuyển tiếp hay còn gọi là bộ khuếch đại tín hiệu điều khiển công suất lớn hơn nhiều lần để điều khiển động cơ bước gọi là board trung gian. Để kết nối các thiết bị ngoại vi như driver ta có thể nối dây trực tiếp vào board vi điều khiển, tuy nhiên với số lượng driver nhiều số lượng dây nhiều sẽ dễ kết nối sai dây dẫn đến mạch điện ko điều khiển được và nặng hơn có thể dẫn đến cháy board arduino. Một điều nữa là khi số lượng dây nối quá lớn thì tính thẩm mỹ không cao. Sử dụng board trung gian kết nối trực tiếp lên trên board Arduino Mega 2560 là một lựa chọn hợp lý.

Có nhiều board trung gian được phát triển hiện nay như RAMPS, Melzi, Generation ... Dựa vào các yếu tố như yếu tố như giá thành, khả năng hỗ trợ của board mạch, khả năng mở rộng, sự tiện lợi đơn giản khi lắp đặt, sự phổ biến của board mạch So sánh giữa những board thì board RAMPS là board mạch có thể đáp ứng những yêu cầu trên đối với Arduino Mega 2560. Hiện tại trên thị trường có nhiều phiên bản của RAMPS như 1.3, 1.4, 1.5, 1.6 Ta lựa chọn phiên bản RAMPS 1.4 do độ phổ biến dễ dàng tìm kiếm trên thị trường cũng như giá thành thấp nhất mà vẫn đáp ứng đầy đủ và mạnh mẽ các yêu cầu đề ra

Còn với 3 động cơ công suất lớn Nema17 và Nema23 ta sử dụng driver TB6600 chuyên dụng để điều khiển Động cơ Nema 17, 23, 34 sử dụng điều khiển trực tiếp từ Arduino Mega 2560 mà không cần thông qua các board trung gian.



*Hình 3. 2 Driver điều khiển động cơ bước A4988 và TB6600*

Nhìn chung cách giao tiếp với các module Driver này tương đối giống nhau. Chúng đều có 3 port cơ bản là DIR ( để điều khiển hướng quay động cơ), EN ( để điều khiển bật tắt

động cơ), STEP ( xuất xung để dịch chuyển từng step). Khác với A4988 mỗi port chỉ có 1 pin thì module như TB6600 thì mỗi port đều có 2 pin. Ví dụ như EN+ EN- DIR+ DIR- PUL+ PUL-. Vì thế người dùng có thể tùy chọn điều khiển theo mức 0 hoặc mức 1. Chúng ta lựa chọn kéo 3 chân xuống thấp và điều khiển bằng 3 chân còn lại

Bảng lựa chọn driver cho từng động cơ:

*Bảng 3. 1 Thông số Driver của từng khớp*

Khớp	động cơ sử dụng	Thông số kỹ thuật của động cơ	Driver lựa chọn	Thông số kỹ thuật của driver
6	Nema8	Góc/ bước : 1.8° Momen xoắn: 1.4 N.cm Số pha : 2 Dòng tối/ pha: 0,2 A Điện trở pha: 6,5 ohms Hiệu điện thế: 3,9 V	A4988	Điện áp hoạt động: 8–35 V Điện áp logic: 3–5.5V Dòng liên tục trên mỗi pha : 1 ~ 2 A
5	Nema 11	Góc/ bước: 1.8° Momen xoắn: 6 N.cm Số pha : 2 Dòng / pha: 0,67 A Điện trở pha: 5,8 ohms Hiệu điện thế: 3,9 V	A4988	Điện áp hoạt động: 8–35 V Điện áp logic: 3–5.5V Dòng liên tục trên mỗi pha : 1 ~ 2 A
4	Nema 11	Góc/ bước: 1.8° Momen xoắn: 11 N.cm Số pha : 2 Dòng / pha: 0,6 A Điện trở pha: 3,3 ohms Hiệu điện thế: 2,16 V	A4988	Điện áp hoạt động: 8–35 V Điện áp logic: 3–5.5V Dòng liên tục trên mỗi pha : 1 ~ 2 A
3	Nema 17	Góc/ bước: 1.8° Momen xoắn: 48 Ncm Số pha : 2 Dòng / pha: 1.5 A Điện trở pha: 2,2 ohms Hiệu điện thế: 3,3 V	TB6600	Điện áp hoạt động: 9–40 V Dòng liên tục trên mỗi pha : 4 A

2	Nema 23	Góc/ bước: 1.8° Momen xoắn: 1.8 Ncm Số pha : 2 Dòng / pha: 3 A Điện trở pha: 1,1 ohms Hiệu điện thế: 3,3 V	TB6600	Điện áp hoạt động: 9–40 V Dòng liên tục trên mỗi pha : 4 A
1	Nema 23	Góc/ bước: 1.8° Moment xoắn: 1.8Ncm Số pha : 2 Dòng / pha: 3 A Điện trở pha: 1,1 ohms Hiệu điện thế: 3,3 V	TB6600	Điện áp hoạt động: 9–40 V Dòng liên tục trên mỗi pha : 4 A

### 3. Module Bluetooth HC-05

Ưu điểm của công nghệ bluetooth:

- Không cần dùng dây cáp nên rất gọn gàng-
- Không làm ảnh hưởng sức khỏe con người.
- Các thiết bị có thể kết nối với nhau trong vòng 10m (ở điều kiện hoàn hảo) mà không cần tiếp xúc trực diện (hiện nay có loại Bluetooth kết nối lên đến 100m)
- Chi phí thấp
- Tốn ít năng lượng

Nhược điểm :

- Tốc độ thấp (tối đa chỉ khoảng (720kbps)
- Kết nối có khi bị yếu nếu có nhiều vật cản.

Mạch thu phát Bluetooth HC-05 có thiết kế nhỏ gọn với khả năng cấu hình để có thể sử dụng ở cả hai chế độ là Master / Slave, mạch có thể kết nối với máy tính hoặc Smartphone hỗ trợ chuẩn Bluetooth 2.0 + EDR, thích hợp cho nhiều ứng dụng khác nhau như: Robot Bluetooth, điều khiển thiết bị qua Bluetooth,....

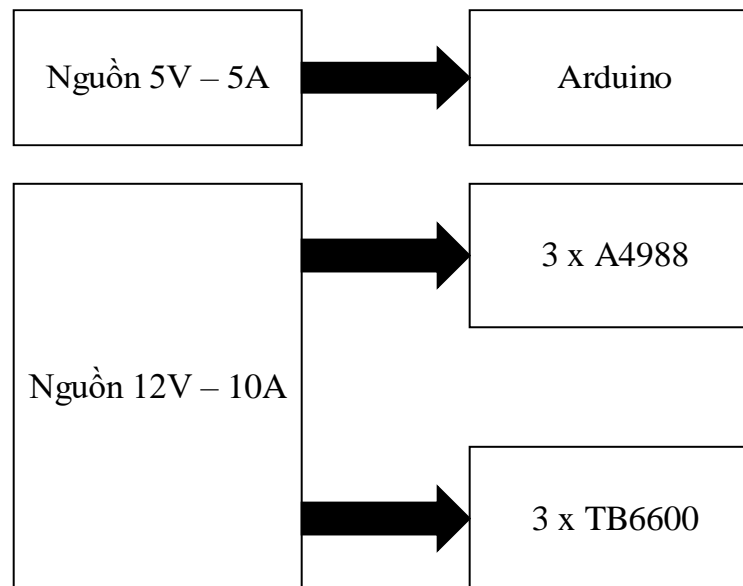


Hình 3. 3 Module Bluetooth HC-05

#### 4. Lựa chọn nguồn:

Dựa vào thông số kỹ thuật của Arduino Mega 2560, các Driver điều khiển động cơ và các động cơ bước ở mục, ta lựa chọn :

- Một nguồn 5V DC – 5 A để cấp nguồn cho Arduino ( Sử dụng trực tiếp qua cổng COM của máy tính.
- Một nguồn tổ ong 12V –10 A để cấp cho các Driver điều khiển động cơ bước A4988 và TB6600.



Hình 3. 4 Sơ đồ chọn nguồn

#### 5. Sơ đồ nối mạch:

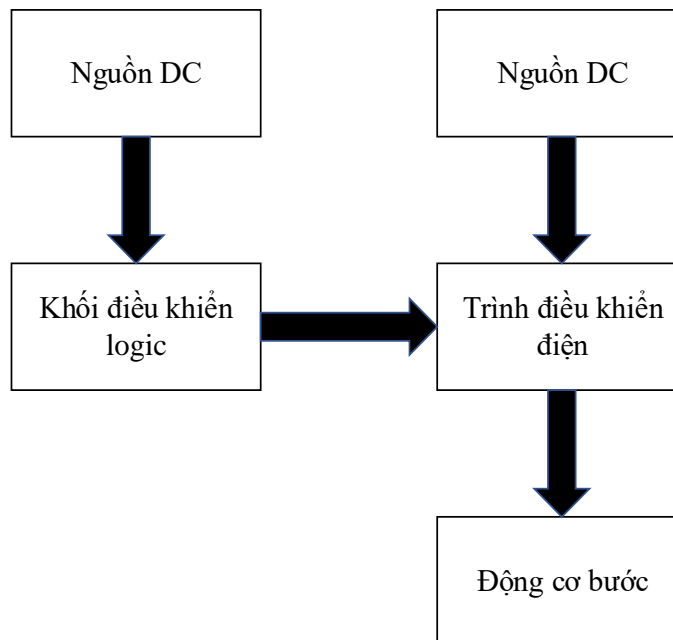
Sơ đồ tổng quan hệ thống sử dụng động cơ bước :

Nguồn DC: Có nhiệm vụ cung cấp nguồn một chiều cho hệ thống. Với các động cơ có công suất lớn có thể dùng nguồn điện được chỉnh lưu từ nguồn xoay chiều

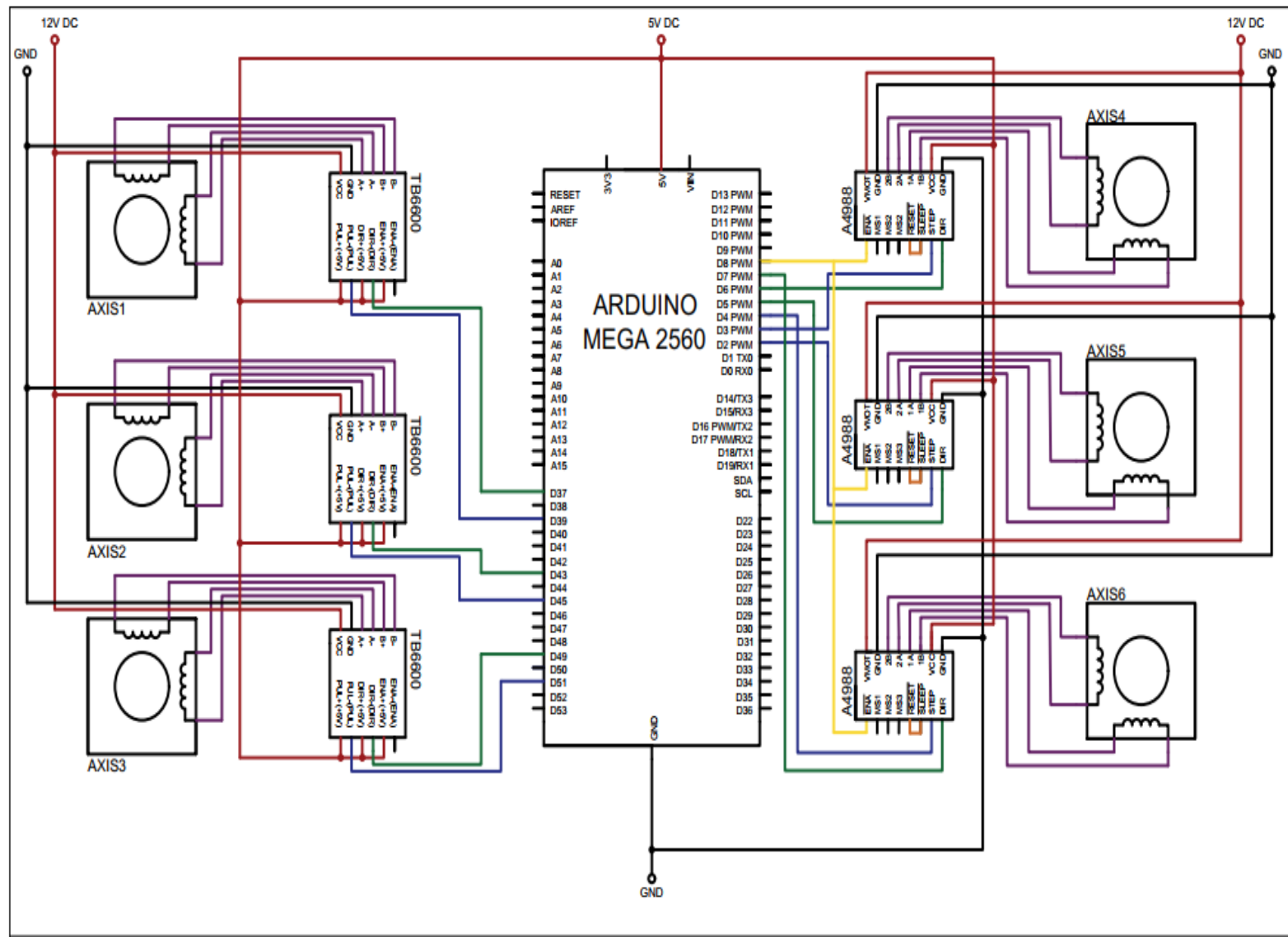
Khởi điều khiển Logic : Đây là khởi điều khiển logic. Có nhiệm vụ tạo ra tín hiệu điều khiển động cơ. Khởi logic này có thể là một nguồn xung, hoặc có thể là một hệ thống mạch điện tử. Nó tạo ra các xung điều khiển. Động cơ bước có thể điều khiển theo cả bước hoặc theo nửa bước.

Trình điều khiển điện: Có nhiệm vụ cấp nguồn điện đã được điều chỉnh để đưa vào động cơ. Nó lấy điện từ nguồn cung cấp và xung điều khiển từ khởi điều khiển để tạo ra dòng điện cấp cho động cơ hoạt động.

Động cơ bước: Các thông số của động cơ gồm có: Bước góc, sai số bước góc, momen kéo, momen hãm, momen làm việc. Đối với hệ điều khiển động cơ bước, ta thấy đó là một hệ thống khá đơn giản vì không hề có phần tử phản hồi. Điều này có được vì động cơ bước trong quá trình hoạt động không gây ra sai số tích lũy, sai số của động cơ do sai số trong khi chế tạo. Việc sử dụng động cơ bước tuy đem lại độ chính xác chưa cao nhưng ngày càng được sử dụng phổ biến. Vì công suất và độ chính xác của bước góc đang ngày càng được cải thiện.



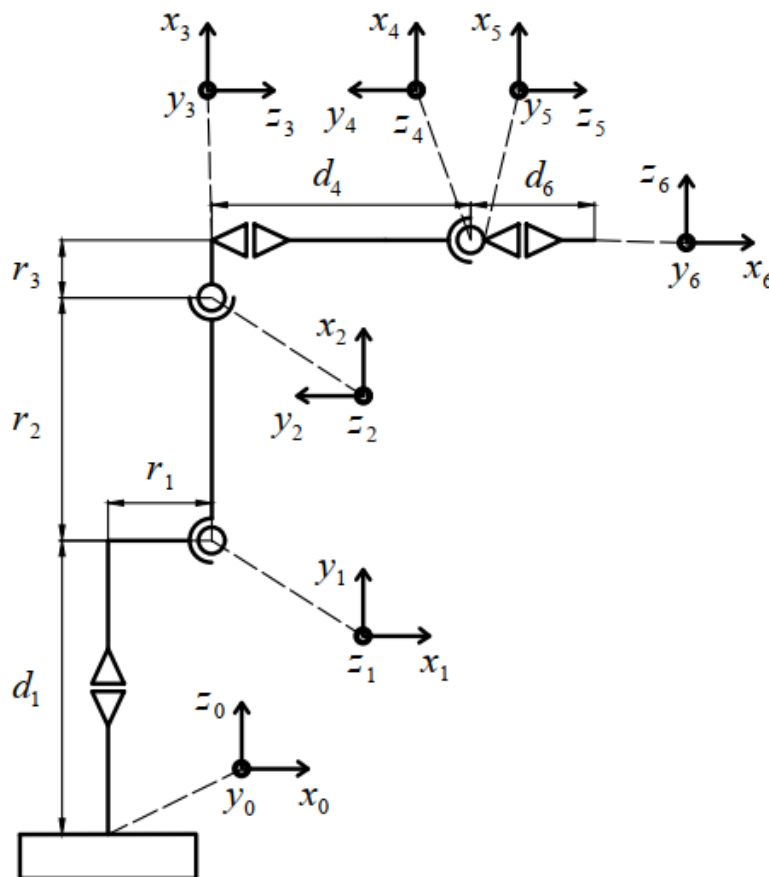
*Hình 3. 5 Sơ đồ tổng quan hệ thống sử dụng động cơ bước*



Hình 3. 6 Sơ đồ nối mạch

## CHƯƠNG 4: TÍNH TOÁN ĐỘNG HỌC

### 1. Bài toán



Hình 4. 1 Hệ trục tọa độ của robot trong mô hình hình học

Cánh tay robot bao gồm 6 bậc tự do quay. Phân tích động học để điểm cuối của cánh tay di chuyển theo một quỹ đạo cho sẵn. Số liệu các khâu được cho như trong hình trên.

Một Robot nhiều khâu cấu thành từ các khâu nối tiếp nhau thông qua các khớp động. Góc chuẩn (Base) của một Robot là khâu số 0 và không tính vào số các khâu. Khâu 1 nối với khâu chuẩn bởi khớp 1 và không có khớp ở đầu mút của khâu cuối cùng. Bất kỳ khâu nào cũng được đặc trưng bởi hai kích thước:

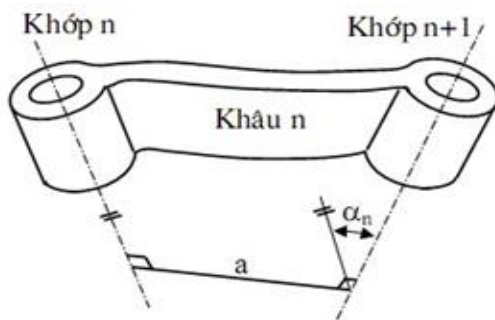
Độ dài pháp tuyến chung:  $a_n$ .

Góc giữa các trục trong mặt phẳng vuông góc với  $a_n$ :  $\alpha_n$ .

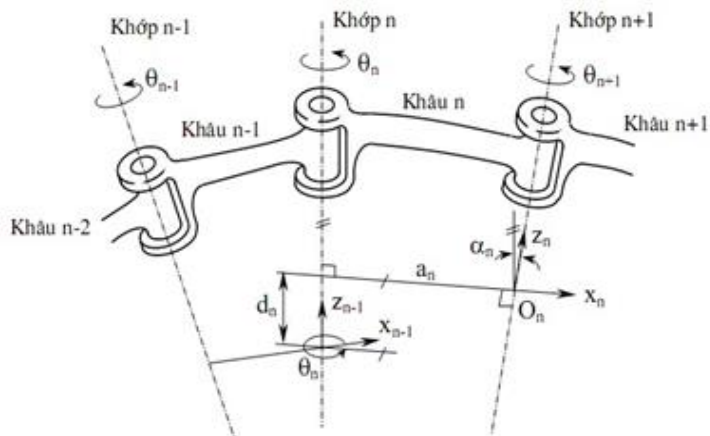
Thông thường, người ta gọi  $a_n$  là chiều dài và  $\alpha_n$  là góc xoắn của khâu. Phổ biến là hai khâu liên kết với nhau ở chính trục của khớp.



Mỗi trục sẽ có hai pháp tuyến với nó, mỗi pháp tuyến dùng cho mỗi khâu (trước và sau một khớp). Vị trí tương đối của hai khâu liên tiếp như thế được xác định bởi  $d_n$  là khoảng cách giữa các pháp tuyến đo dọc theo trục khớp  $n$  và  $\theta_n$  là góc giữa các pháp tuyến đo trong mặt phẳng vuông góc với trục.  $d_n$  và  $\theta_n$  thường được gọi là khoảng cách và góc giữa các khâu.



Hình 4. 2 Chiều dài và góc xoắn của một khâu



Hình 4. 3 Các thông số của khâu:  $\theta$ ,  $d$ ,  $a$  và  $\alpha$ .

Để mô tả mối quan hệ giữa các khâu ta gắn vào mỗi khâu một hệ tọa độ. Nguyên tắc chung để gắn hệ tọa độ lên các khâu như sau:

Góc của hệ tọa độ gắn lên khâu thứ  $n$  đặt tại giao điểm của pháp tuyến  $a_n$  với khớp thứ  $n+1$ . Trường hợp hai trục khớp cắt nhau, góc tọa độ sẽ đặt tại chính điểm cắt đó.

Nếu các trục khớp song song với nhau, góc tọa độ được chọn trên trục khớp của khâu kế tiếp, tại điểm thích hợp.

Trục  $z$  của hệ tọa độ gắn lên khâu thứ  $n$  đặt dọc theo trục khớp thứ  $n+1$ .

Nếu các trục khớp song song với nhau, gốc tọa độ được chọn trên trục khớp của khâu kế tiếp, tại điểm thích hợp.

Trường hợp khớp quay thì  $\theta_n$  là các biến khớp, trong trường hợp khớp tịnh tiến thì  $d_n$  là biến khớp và  $a_n$  bằng 0.

$\Rightarrow$  Các thông số  $a_n$ ,  $\alpha_n$ ,  $d_n$  và  $\theta_n$  được gọi là bộ thông số DH.

## 2. Tính toán động học thuận

Bảng DH:

*Bảng 4. 1 Bảng giá trị Denavit – Hartenberg*

Khâu	$\theta_i$	$d_i$	$a_i$	$\alpha_i$
1	$\theta_1$	$d_1$	$a_1$	$\pi/2$
2	$\theta_2 + \pi/2$	0	$a_2$	0
3	$\theta_3$	0	$a_3$	$\pi/2$
4	$\theta_4$	$d_4$	0	$-\pi/2$
5	$\theta_5$	0	0	$\pi/2$
6	$\theta_6$	$d_6$	0	0

Trong đó  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6$  là các biến khớp,  $d_1, d_4, d_6, a_1, a_2, a_3$  là các hằng số.

Các ma trận biến đổi :

Dạng tổng quát của ma trận truyền biến đổi tọa độ thuần nhất Denavit – Hartenberg cho các khâu:

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i.\cos\alpha_i & \sin\theta_i.\sin\alpha_i & a_i.\cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i.\cos\alpha_i & -\cos\theta_i.\sin\alpha_i & a_i.\sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Ma trận truyền biến đổi tọa độ thuần nhất Denavit – Hartenberg của hệ tọa độ  $Ox_0y_0z_0$  đối với hệ tọa độ cố định  $Ox_1y_1z_1$  (hệ 0):

$$A_1 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & 0 & \sin\theta_1 & a_1\cos\theta_1 \\ \sin\theta_1 & 0 & -\cos\theta_1 & a_1\sin\theta_1 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Ma trận truyền biến đổi tọa độ thuần nhất Denavit – Hartenberg của hệ tọa độ  $Ox_1y_1z_1$  đối với hệ tọa độ cố định  $Ox_2y_2z_2$  (hệ 0):

$$A_2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & a_2\cos\theta_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & a_2\sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Ma trận truyền biến đổi tọa độ thuần nhất Denavit – Hartenberg của hệ tọa độ  $Ox_2y_2z_2$  đối với hệ tọa độ cố định  $Ox_3y_3z_3$  (hệ 0):

$$A_3 = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & 0 & \sin\theta_3 & a_3\cos\theta_3 \\ \sin\theta_3 & 0 & -\cos\theta_3 & a_3\sin\theta_3 \\ 0 & 1 & 0 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Ma trận truyền biến đổi tọa độ thuần nhất Denavit – Hartenberg của hệ tọa độ  $Ox_3y_3z_3$  đối với hệ tọa độ cố định  $Ox_4y_4z_4$  (hệ 0):

$$A_4 = \begin{bmatrix} \cos\theta_4 & 0 & -\sin\theta_4 & 0 \\ \sin\theta_4 & 0 & \cos\theta_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Ma trận truyền biến đổi tọa độ thuần nhất Denavit – Hartenberg của hệ tọa độ  $Ox_4y_4z_4$  đối với hệ tọa độ cố định  $Ox_5y_5z_5$  (hệ 0):

$$A_5 = \begin{bmatrix} \cos\theta_5 & 0 & \sin\theta_5 & 0 \\ \sin\theta_5 & 0 & -\cos\theta_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Ma trận truyền biến đổi tọa độ thuần nhất Denavit – Hartenberg của hệ tọa độ  $Ox_5y_5z_5$  đối với hệ tọa độ cố định  $Ox_6y_6z_6$  (hệ 0):

$$A_6 = \begin{bmatrix} \cos\theta_6 & -\sin\theta_6 & 0 & 0 \\ \sin\theta_6 & \cos\theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Từ các ma trận (2.2) đến (2.7) ta xác định được ma trận biến đổi tọa độ thuần nhất  ${}^0A_6$  biểu diễn trạng thái khâu thao tác:

$$T_f = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5 \cdot A_6 \quad (2.8)$$

$$T_f = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Ma trận  $T_f$  cho ta biết hướng và vị trí của khâu thao tác trong hệ tọa độ cố định hay nói cách khác là vị trí của điểm tác động cuối và hướng của hệ tọa độ động gắn vào khâu tại điểm tác động cuối trong hệ tọa độ cố định. Vì thế nó còn được biểu diễn qua thông số các biến khớp  $\theta_i$  với  $i = 1 \div 6$ .

Sử dụng phần mềm Matlab tiến hành tìm các số hạng ở ma trận (2.9) (Phụ lục)

Với :

$$C_i = \cos\theta_i; S_i = \sin\theta_i$$

$$C_{ab} = C_a C_b - S_a S_b; S_{ab} = C_a S_b + S_a C_b$$

Ta có:

$$\begin{aligned} n_x &= C_6(C_5(C_1 C_{23} C_4 + S_1 S_4) - C_1 S_{23} S_5) + S_6(S_1 C_4 - C_1 C_{23} S_4) \\ n_y &= C_6(C_5(S_1 C_{23} C_4 + C_1 S_4) - S_1 S_{23} S_5) - S_6(C_1 C_4 + S_1 C_{23} S_4) \\ n_z &= C_6(C_{23} S_5 + S_{23} C_4 C_5) - S_{23} S_4 S_6 \\ o_x &= S_6(C_1 S_{23} S_5 - C_5(S_1 C_{23} C_4 + S_1 S_4)) + C_6(S_1 C_4 - C_1 C_{23} S_4) \\ o_y &= S_6(S_1 S_{23} S_5 - C_5(S_1 C_{23} C_4 + C_1 S_4)) - C_6(C_1 C_4 + S_1 C_{23} S_4) \\ o_z &= -S_6(C_{23} S_5 + S_{23} C_4 C_5) - S_{23} S_4 C_6 \\ a_x &= S_5(C_1 C_{23} C_4 + S_1 S_4) + C_1 S_{23} C_5 \\ a_y &= S_5(S_1 C_{23} C_4 - C_1 S_4) + S_1 S_{23} C_5 \\ a_z &= S_{23} C_4 S_5 - C_{23} C_5 \\ p_x &= d_6(S_5(C_1 C_{23} C_4 + S_1 S_4) + C_1 S_{23} C_5) + C_1(a_1 + a_2 C_2 + a_3 C_{23} + d_4 S_{23}) \\ p_y &= d_6(S_5(S_1 C_{23} C_4 + C_1 S_4) + S_1 S_{23} C_5) + S_1(a_1 + a_2 C_2 + a_3 C_{23} + d_4 S_{23}) \\ p_z &= a_2 S_2 + d_1 + a_3 S_{23} - d_4 C_{23} + d_6(S_{23} C_4 S_5 - C_{23} C_5) \end{aligned}$$

Sử dụng các góc Euler xác định hướng của vật rắn, gọi  $p_E = [p_x, p_y, p_z, \alpha, \beta, \gamma]^T$  là giá trị mô tả trực tiếp vị trí và hướng của  $E_{x_6 y_6 z_6}$  so với hệ tọa độ  $O_{x_0 y_0 z_0}$ . Trong đó:  $[p_x, p_y, p_z]$

là các tọa độ điểm tác động cuối E và  $[\alpha, \beta, \gamma]$  là các góc quay Euler của  $E_{x_6y_6z_6}$  so với hệ tọa độ gốc  $O_{x_0y_0z_0}$ .

Các góc Euler thích hợp của phép quay  $ZY'Z''$  được tính toán dựa trên công thức:

$$\begin{aligned}\alpha &= \arctan\left(\frac{a_y}{a_x}\right) \\ \beta &= \arctan\left(\frac{\sqrt{1 - a_z^2}}{a_z}\right) \\ \gamma &= \arctan\left(\frac{o_z}{-n_z}\right)\end{aligned}$$

### 3. Tính toán động học nghịch

Trong phần tính toán động học thuận, chúng ta đã tìm vị trí của điểm cuối bằng cách nhập các góc quay của các khớp. Trong thực tế, robot hoạt động hoàn toàn ngược lại, bộ điều khiển robot cần biết các góc khớp cho vị trí của điểm chấp hành cuối cho trước.

Điều này được thực hiện bằng tính toán động học nghịch đảo sẽ được thực hiện trong phần này. Các biến đầu vào của phép tính nghịch đảo sẽ là các giá trị ô của ma trận  $p_E$  được lấy trong phần tính toán động học thuận.

Trong tài liệu tham khảo [13] đã có tính toán ma trận xoay tương ứng cho các góc Euler  $ZY'Z''$  đã nêu.

Gọi:

$$\begin{aligned}c_1 &= \cos(\alpha) ; s_1 = \sin(\alpha) \\ c_2 &= \cos(\beta) ; s_2 = \sin(\beta) \\ c_3 &= \cos(\gamma) ; s_3 = \sin(\gamma)\end{aligned}$$

Sử dụng các kí hiệu viết trên trong phần ma trận xoay của ma trận biến đổi:

$$T_i = \begin{bmatrix} c_1c_2c_3 - s_1s_3 & -c_3s_1 - c_1c_2s_3 & c_1s_2 & p_x \\ c_1s_3 - c_2c_3s_1 & c_1c_3 - c_2s_1s_3 & s_1s_2 & p_y \\ -c_3s_2 & s_2s_3 & c_2 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Khi được thể hiện trong phép toán động học thuận, kí hiệu của nó thay đổi như sau:

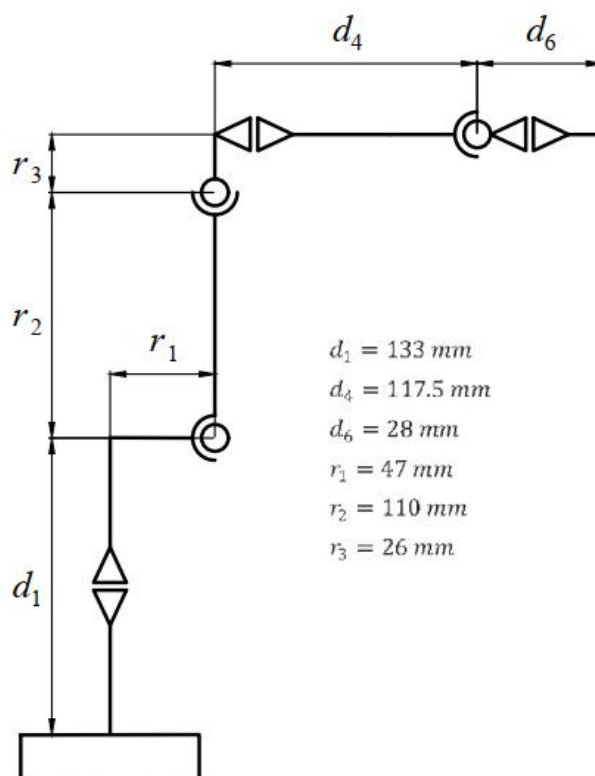
$$T_f = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5 \cdot A_6$$

Trong ma trận  $T_f$  trên, các giá trị của ma trận tịnh tiến đã được cho trước, các giá trị của ma trận xoay được xác định như sau:

$$\begin{aligned} n_x &= c_1 c_2 c_3 - s_1 s_3 & o_x &= -c_3 s_1 - c_1 c_2 s_3 & a_x &= c_1 s_2 \\ n_y &= c_1 s_3 - c_2 c_3 s_1 & o_y &= c_1 c_3 - c_2 s_1 s_3 & a_y &= s_1 s_2 \\ n_z &= -c_3 s_2 & o_z &= s_2 s_3 & a_z &= c_2 \end{aligned}$$

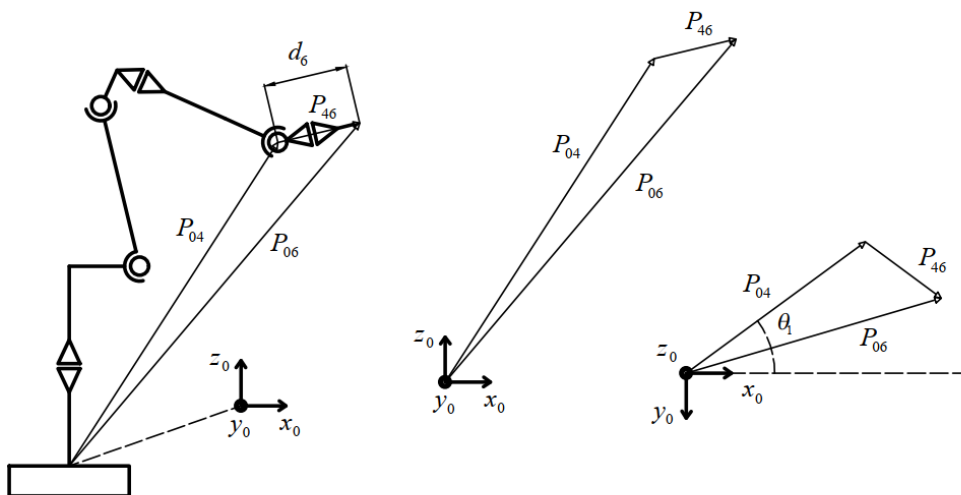
Quá trình tìm các góc của từng khớp có thể được chia thành hai bước:

- tìm ba góc định vị đầu tiên.
- tìm ba góc định hướng tiếp theo tiếp theo .



Hình 4. 4 Sơ đồ 2D với các kích thước chính

### 3.1. Tính toán $\theta_1$



Hình 4. 5 Hình vẽ tính toán  $\theta_1$

Ta có :

$$P_{04} = P_{06} - P_{46}$$

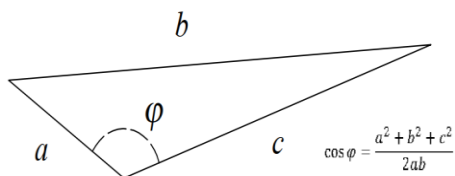
$$P_{06} = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix}, \quad P_{46} = d_6 \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix}$$

Suy ra :

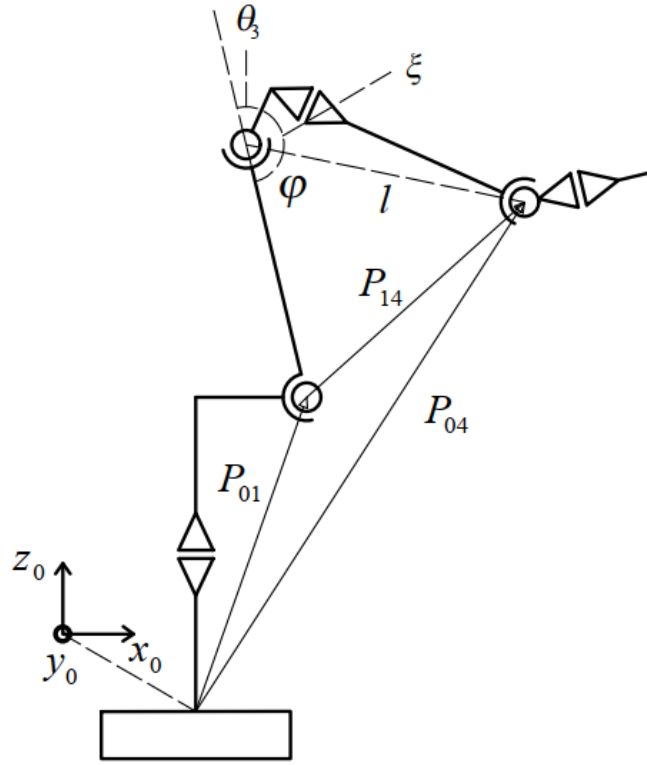
$$P_{04} = \begin{bmatrix} x_{05} \\ y_{05} \\ z_{05} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} - d_6 \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_x - d_6 a_x \\ p_y - d_6 a_y \\ p_z - d_6 a_z \end{bmatrix}$$

$$\theta_1 = \arctan2\left(\frac{p_y - d_6 a_y}{p_x - d_6 a_x}\right)$$

### 3.2. Tính toán $\theta_3$



Hình 4. 6 Định lý Cosin



Hình 4. 7 Hình vẽ tính toán  $\theta_3$

$$P_{01} = \begin{bmatrix} x_{01} \\ y_{01} \\ z_{01} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 \cos \theta_1 \\ r_1 \sin \theta_1 \\ d_1 \end{bmatrix}, P_{04} = \begin{bmatrix} x_{04} \\ y_{04} \\ z_{04} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_x - d_6 a_x \\ p_y - d_6 a_y \\ p_z - d_6 a_z \end{bmatrix}$$

$$P_{14} = \begin{bmatrix} x_{14} \\ y_{14} \\ z_{14} \end{bmatrix} = P_{04} - P_{01} = \begin{bmatrix} p_x - d_6 a_x - r_1 \cos \theta_1 \\ p_y - d_6 a_y - r_1 \sin \theta_1 \\ p_z - d_6 a_z - d_1 \end{bmatrix}$$

$$P_{14L} = |\overrightarrow{P_{14}}| = \sqrt{x_{14}^2 + y_{14}^2 + z_{14}^2}, \quad l = \sqrt{r_3^2 + d_4^2} \quad (2.10)$$

Từ (2.10) suy ra:

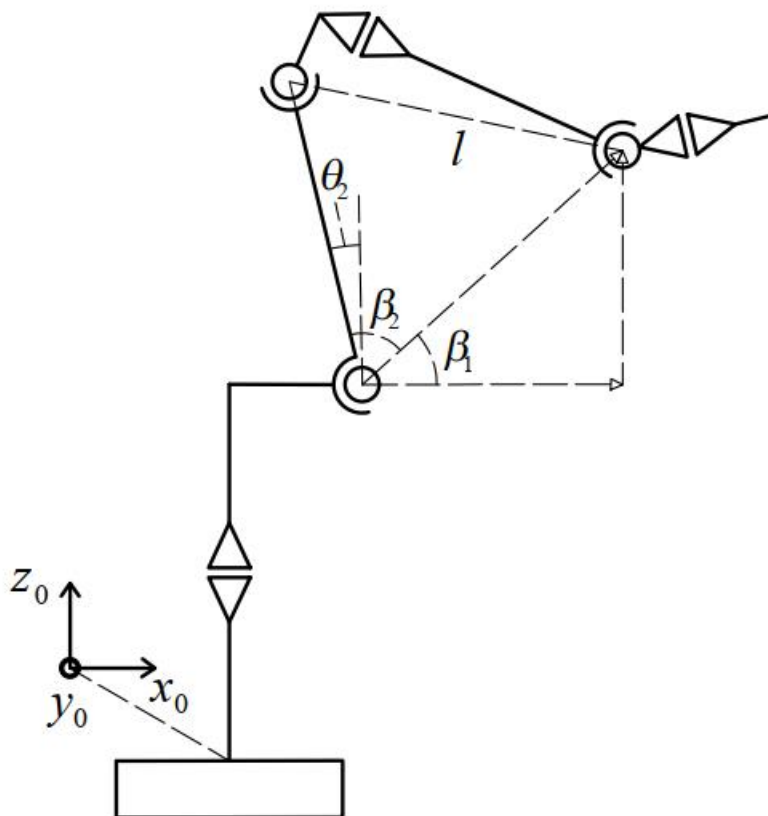
$$\varphi = \arccos \left( \frac{l^2 + r_2^2 - P_{14L}^2}{2 \cdot l \cdot r_2} \right)$$

$$\xi = \arctan \left( \frac{d_4}{r_3} \right)$$

$$\theta_3 = \pi - \varphi - \xi$$



### 3.3. Tính toán $\theta_2$



Hình 4. 8 Hình vẽ tính toán  $\theta_2$

$$\beta_1 = \arctan2\left(\frac{z_{14}}{\sqrt{x_{14}^2 + y_{14}^2}}\right)$$

$$\beta_1 = \arccos\left(\frac{r_2^2 + P_{14L}^2 - l^2}{2 \cdot r_2 \cdot P_{14L}}\right)$$

Suy ra:

$$\theta_2 + \pi = \beta_1 + \beta_2$$

### 3.4. Tính toán $\theta_5$

Sử dụng ma trận biến đổi thuần nhất ở phần tính toán động học thuận với:

$$A_1 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & 0 & \sin\theta_1 & a_1\cos\theta_1 \\ \sin\theta_1 & 0 & -\cos\theta_1 & a_1\sin\theta_1 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & a_2\cos\theta_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & a_2\sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & 0 & \sin\theta_3 & a_3\cos\theta_3 \\ \sin\theta_3 & 0 & -\cos\theta_3 & a_3\sin\theta_3 \\ 0 & 1 & 0 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

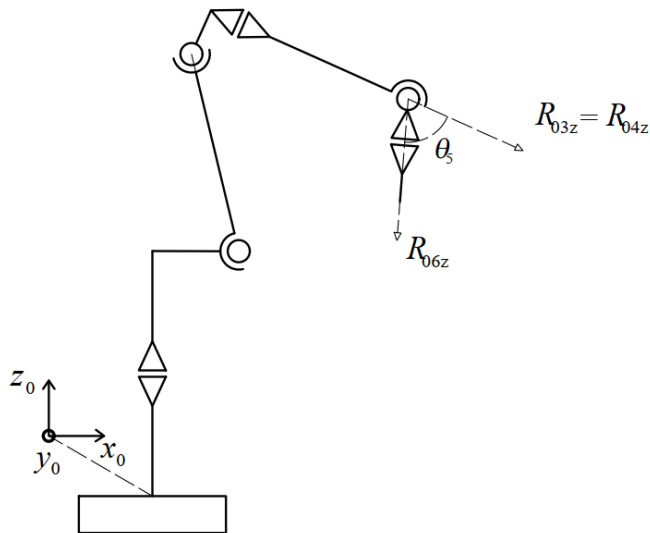
Gọi:

$$C_1 = \cos\theta_1; C_2 = \cos\theta_2; C_3 = \cos\theta_3$$

$$S_1 = \sin\theta_1; S_2 = \sin\theta_2; S_3 = \sin\theta_3$$

$$C_{12} = C_1C_2 - S_1S_2; S_{12} = C_1S_2 + S_1C_2$$

Để tính toán  $\theta_5$ , giả sử  $\theta_4 = 0$ :



Hình 4. 9 Hình vẽ tính toán  $\theta_5$

$$A_{14} = A_{13} = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 = \begin{bmatrix} C_1 C_{23} & S_1 & C_1 S_{23} & C_1(a_1 + a_2 C_2 + a_3 C_{23}) \\ S_1 C_{23} & -C_1 & S_1 S_{23} & S_1(a_1 + a_2 C_2 + a_3 C_{23}) \\ S_{23} & 1 & -C_{23} & a_2 S_2 + d_1 + a_3 S_{23} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ta có:

$$R_{06z} = \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix}; R_{04z} = R_{03z} = \begin{bmatrix} C_1 S_{23} \\ S_1 S_{23} \\ -C_{23} \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Từ (2.11) suy ra:

$$\theta_2 = \arccos(R_{06z} \cdot R_{04z}) = \frac{\overrightarrow{R_{06z}} \cdot \overrightarrow{R_{04z}}}{|\overrightarrow{R_{06z}}| \cdot |\overrightarrow{R_{04z}}|}$$

### 3.5. Tính toán $\theta_4$ và $\theta_6$

Ta có:

$$A_{46} = A_{13}^{-1} A_{16} = A_4 \cdot A_5 \cdot A_6 = \begin{bmatrix} I_x & J_x & K_x & L_x \\ I_y & J_y & K_y & L_y \\ I_z & J_z & K_z & L_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Trong đó:

$$\begin{aligned} I_x &= C_4 C_5 C_6 - S_4 S_6 & J_x &= -(C_4 C_5 C_6 + S_4 C_6) & K_x &= C_4 S_5 & L_x &= C_4 S_5 d_6 \\ I_y &= S_4 C_5 C_6 - C_4 S_6 & J_y &= -S_4 C_5 S_6 + C_4 C_6 & K_y &= S_4 S_5 & L_y &= S_4 S_5 d_6 \\ I_z &= -S_5 C_6 & J_z &= S_5 S_6 & K_z &= C_5 & L_z &= C_5 d_6 + d_4 \end{aligned}$$

Với:

$$C_4 = \cos\theta_4; C_5 = \cos\theta_5; C_6 = \cos\theta_6$$

$$S_4 = \sin\theta_4; S_5 = \sin\theta_5; S_6 = \sin\theta_6$$

Suy ra:

$$\theta_4 = \arctan2\left(\frac{L_y}{L_x}\right)$$

$$\theta_6 = \arctan2\left(\frac{J_z}{I_z}\right)$$

## CHƯƠNG 5: XÂY DỰNG CHƯƠNG TRÌNH ĐIỀU KHIỂN

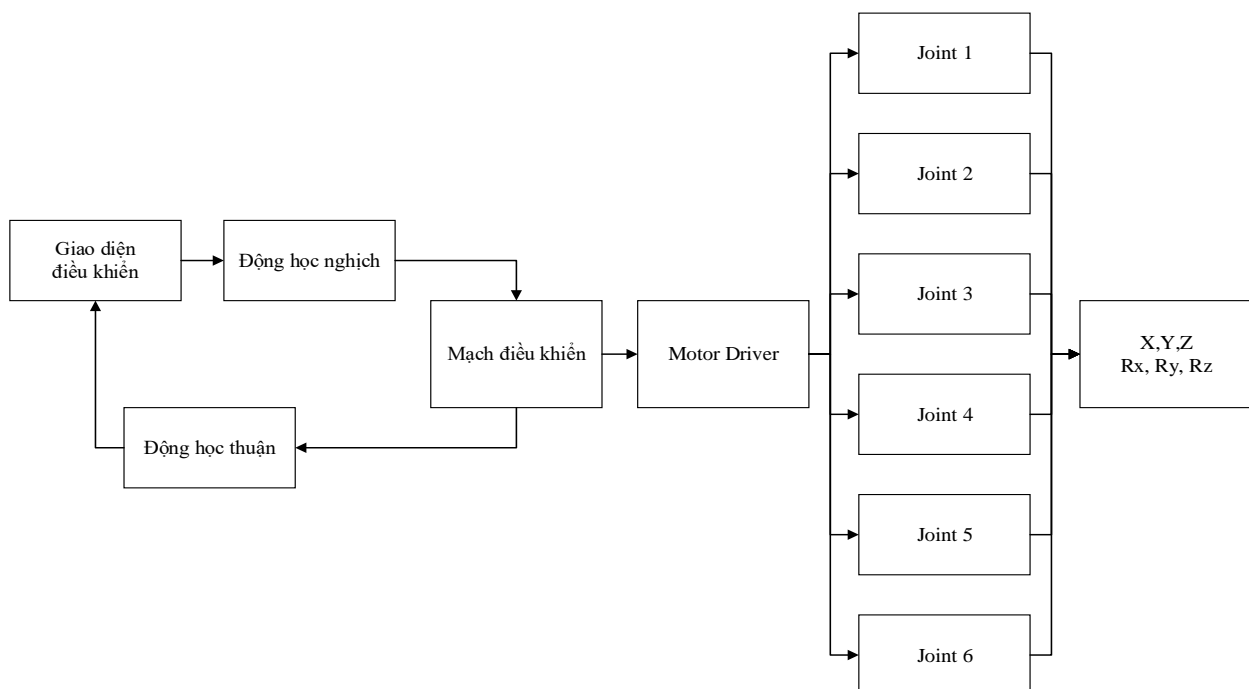
### 1. Điều khiển Robot

Các bước thực hiện điều khiển robot

1. Tính toán động học : động học thuận, ngược.
2. Điểm cần điều khiển cho robot.
3. Áp dụng bài toán động học ngược để xây dựng chuyển động cho các biên khớp.
4. Xây dựng luật điều khiển các khớp theo quỹ đạo.

Dựa vào thuật đã xây dựng được cho robot, ta điều khiển chuyển động của các biên khớp của robot đúng theo quy luật cần chuyển động để robot đạt được chuyển động mong muốn.. Các khớp lại được nguồn động lực từ các động cơ, từ đó bài toán điều khiển robot sẽ được quy về bài toán điều khiển các động cơ (động cơ step).

Trong đồ án này, chúng em sử dụng động cơ bước và không sử dụng encoder để phản hồi vị trí nên hệ thống điều khiển sẽ là hệ thống điều khiển hở (open-loop system) và không có bù tác động ngoài (không có bù nhiễu). Sơ đồ điều khiển có dạng như sau :



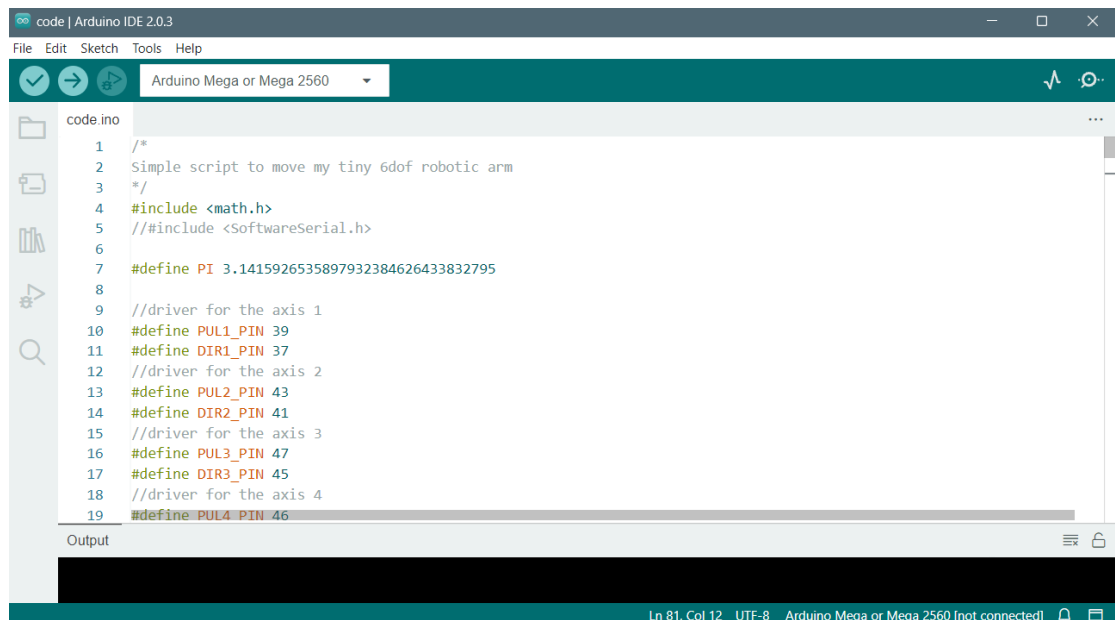
Hình 5. 1 Sơ đồ điều khiển vòng hở cho robot

## 2. Lập trình điều khiển robot:

### 2.1. Lập trình điều khiển trên Arduino IDE

Chức năng của vi điều khiển Arduino ATmega trong hệ thống là tiếp nhận những tín hiệu điều khiển từ chương trình điều khiển từ chương trình chính và tín hiệu điều khiển thông qua module Bluetooth HC-05 và chuyển những tín hiệu đó thành xung để điều khiển các drivers A4988 và TB6600.

Để lập trình trên arduino ta sử dụng chương trình Arduino IDE



Hình 5. 2 Giao diện phần mềm Arduino IDE

Để lập trình cũng như gửi lệnh và nhận tín hiệu từ mạch Arduino, tham khảo dự án của Skyentific chương trình này dùng cho robot 6 trục, được liên kết với ứng dụng app trên điện thoại. Arduino giao tiếp với máy thông qua SerialPort trong chương trình, dữ liệu truyền từ App xuống arduino là string. Dựa vào đó, ta có thể viết 1 giao diện app android trên MIT app inventor để giao tiếp trên điện thoại, gửi lệnh xuống cho robot

1 số đoạn code được nạp vào Arduino thông qua Arduino IDE

### 2.2. Lập trình giao diện trên MIT App Inventor

Để gửi tín hiệu điều khiển xuống Arduino, em dùng phần mềm app android thiết kế trên web MIT App Inventor để thiết kế giao diện điều khiển và gửi tín hiệu xuống arduino. Ngôn ngữ lập trình dạng kéo thả các khối block được xây dựng sẵn xây dựng các app rất đơn giản và tiện dụng.

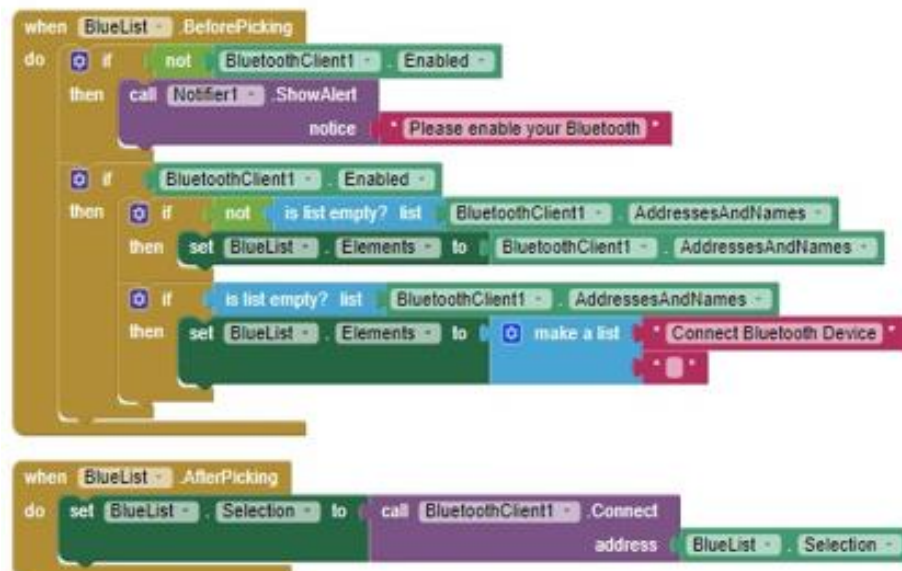


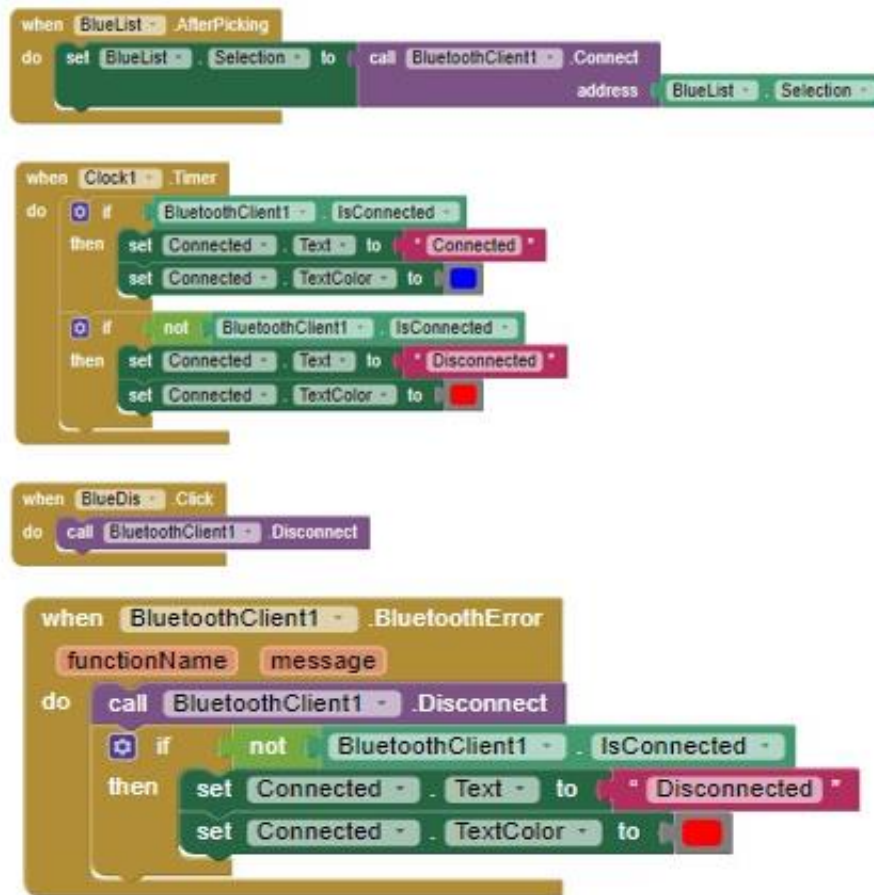
Hình 5. 3 Giao diện tổng quát

Giao diện app điều khiển robot gồm có các chức năng sau:

- Chức năng kết nối với bluetooth HC05, on off động cơ
- Chức năng điều khiển góc quay của các khớp
- Chạy đến tọa độ các điểm đã lưu

Khởi Block kết nối app trên smart phone với Bluetooth HC05:





Hình 5. 4 Khối Block kết nối giữa module bluetooth HC-05 với App

Khối lệnh này cho phép ta kết nối app với bluetooth để đưa ra các lệnh điều khiển cho robot.



Liên kết với nút ấn connect khi ta ấn, thì sẽ hiện lên 1 bảng danh sách các địa chỉ bluetooth, sau khi kết nối thành công ô Disconnected màu đỏ sẽ chuyển thành ô connected với phông chữ màu xanh. Nếu không kết nối thành công, trên màn hình giao diện app sẽ hiện ra 1 thông báo “Please enable your Bluetooth” ,lúc này ô vị trí ô Disconnected màu đỏ vẫn không thay đổi. Để không xảy ra lỗi khi kết nối cần đảm bảo rằng ta đã bật Bluetooth trên điện thoại và kiểm tra các chân kết nối bluetooth vs arduino theo đúng như sơ đồ mạch điện. Bên cạnh chức năng kết nối, ta cũng có 1 chức năng hủy bỏ kết nối với Bluetooth khi không cần thiết

Khối Block điều khiển các động cơ bước:



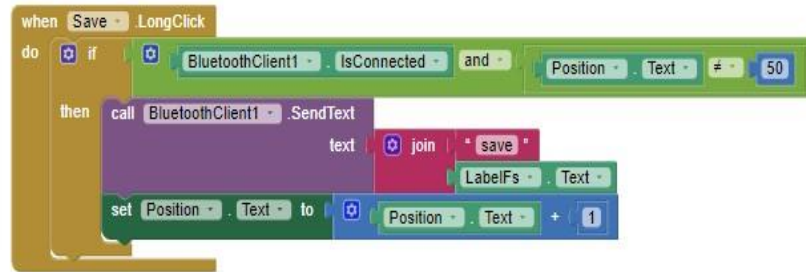
Hình 5. 5 Khối Block điều khiển các động cơ bước

Với khối lệnh này, khi bluetooth đã được kết nối và bật enable các xung tín hiệu điều khiển động cơ, ta kéo thả con chạy slider đến 1 vị trí bất kỳ, các vị trí đó sẽ được hiển thị dưới dạng text. Sau đó để di chuyển khớp đến vị trí đó, ta ấn nút Go trên giao diện điều khiển, app sẽ gửi 1 dạng tín hiệu text xuống arduino và arduino sẽ nhận tín

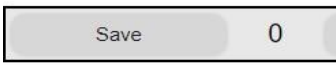


hiệu đó qua hàm `dataIn.startsWith("")`, sau đó chuyển về dạng dữ liệu qua hàm `String dataInS = dataIn.substring(2, dataIn.length()); FutPos= dataInS.toFloat();` để tính toán đưa ra các xung tín hiệu điều khiển cho stepper hoạt động.

Khởi block lưu trữ tọa độ điểm.



Hình 5. 6 Khởi Block thực hiện chức năng Save

Khởi này tương ứng với nút  trên giao diện app. Nguyên lý là khi ta đưa robot tới 1 tọa độ mong muốn và ấn phím Save thì đồng loạt các tọa độ khớp từ khâu 1 đến khâu 5 sẽ được gửi qua dạng text xuống arduino, lúc này arduino sẽ lưu các giá trị này vào 1 mảng và đánh số thứ tự cho nó. Và khi ta tiếp tục đưa robot đến vị trí tiếp theo rồi ấn Save thì lúc này tất cả các giá trị của biến khớp sẽ lại được lưu vào 1 mảng với số thứ tự tăng thêm 1. Như vậy với quá trình này người sử dụng có thể nhớ tất cả các điểm mà mình muốn robot chạy tới theo thứ tự các mảng dữ liệu đã được lưu sẵn từ trước. Đây là 1 chức năng rất hữu dụng khi ta hoàn toàn có thể chủ động kiểm soát được các tọa độ điểm cuối của Robot mà không cần đến bài toán động học thuận.

```

if (dataIn.startsWith("save")) {
  String dataInS = dataIn.substring(4, dataIn.length());
  InSpeed[index] = curFinalSpeed;
  curFinalSpeed = (dataInS.toFloat()/100)*0.5e-4;
  Joint1[index] = curPos1;
  Joint2[index] = curPos2;
  Joint3[index] = curPos3;
  Joint4[index] = curPos4;
  Joint5[index] = curPos5;
}

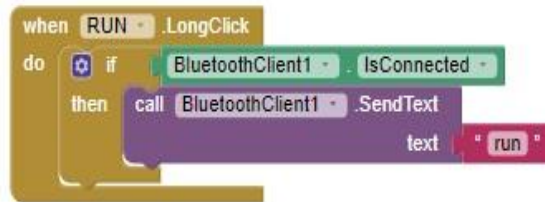
```

$MaxSpeed[index] = curSpeed;$


$FinSpeed[index] = curFinalSpeed;$

$index++;$

Khối Block Run chạy đến các tọa độ điểm đã lưu:



Hình 5. 7 Khối Block thực hiện chức năng RUN

Tiếp theo đến khối block Run, sau khi đã lưu được các tọa độ ( các mảng giá trị biến khớp) nhờ vào khối chức năng Save, muốn Robot di chuyển theo những tọa độ đã vạch trước đó ta  ấn phím Run trên giao diện app . Lúc này text “run” sẽ được gửi xuống cho arduino kích hoạt chuyển động của các stepper qua các giá trị biến khớp được lưu trong các mảng giá trị với số thứ tự tăng dần.

$InSpeed[index] = curFinalSpeed;$

$curFinalSpeed = (dataInS.toFloat()/100)*0.5e-4;$

$goStrightLine(Jinitial, Jfinal, MaxSpeed[i+1], 0.75e-10, InSpeed[i+1], FinSpeed[i+1]);$

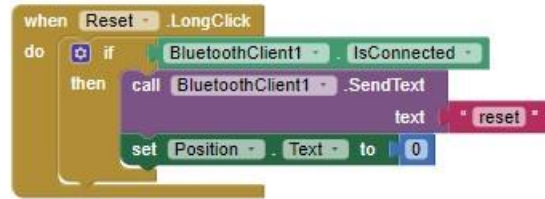
Khối điều khiển tốc độ:

Khối này tạo ra nhằm mục đích điều chỉnh tốc độ của các động cơ. Với cơ chế hoạt động giống như các khối block điều khiển stepper, khi ta kéo con chạy về 1 mức tốc độ bất kì và ấn phím Set trên giao diện app, tự động sẽ có 1 dạng tín hiệu text gửi về arduino.



Hình 5. 8 Khối Block thực hiện chức năng điều khiển tốc độ

Khởi reset các tọa độ đã lưu:



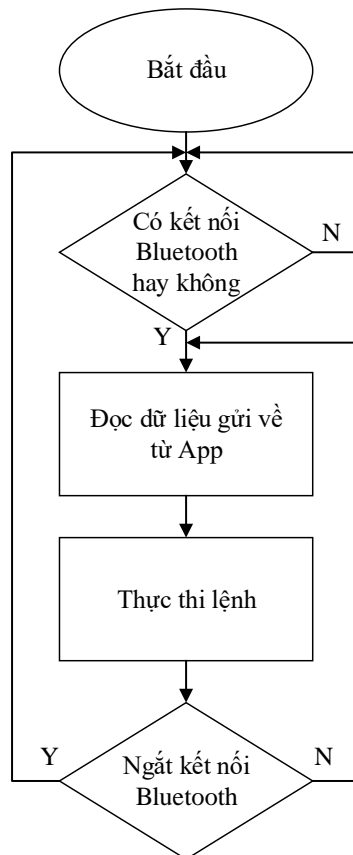
Hình 5. 9 Khối Block reset các điểm đã lưu

Khởi này được lập nên để xóa các tọa độ đã lưu. Khi ấn giữ nút Reset trên giao diện app, 1 tín hiệu “reset” dạng text sẽ được gửi xuống arduino, khi đó số thứ tự của mảng sẽ được đưa về 0. Lúc này ta có thể thêm các tọa độ điểm mới vào bằng chức năng Save.

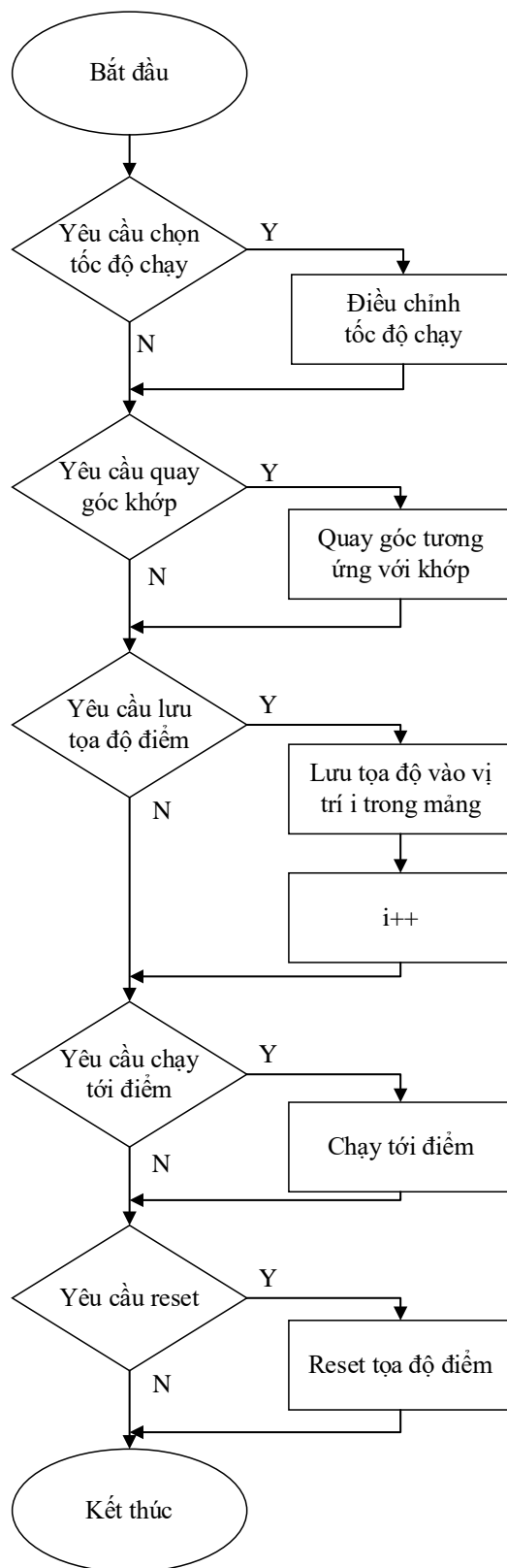
```
if ( dataIn == "reset") { index = 0; }
```

### 3. Thuật toán điều khiển

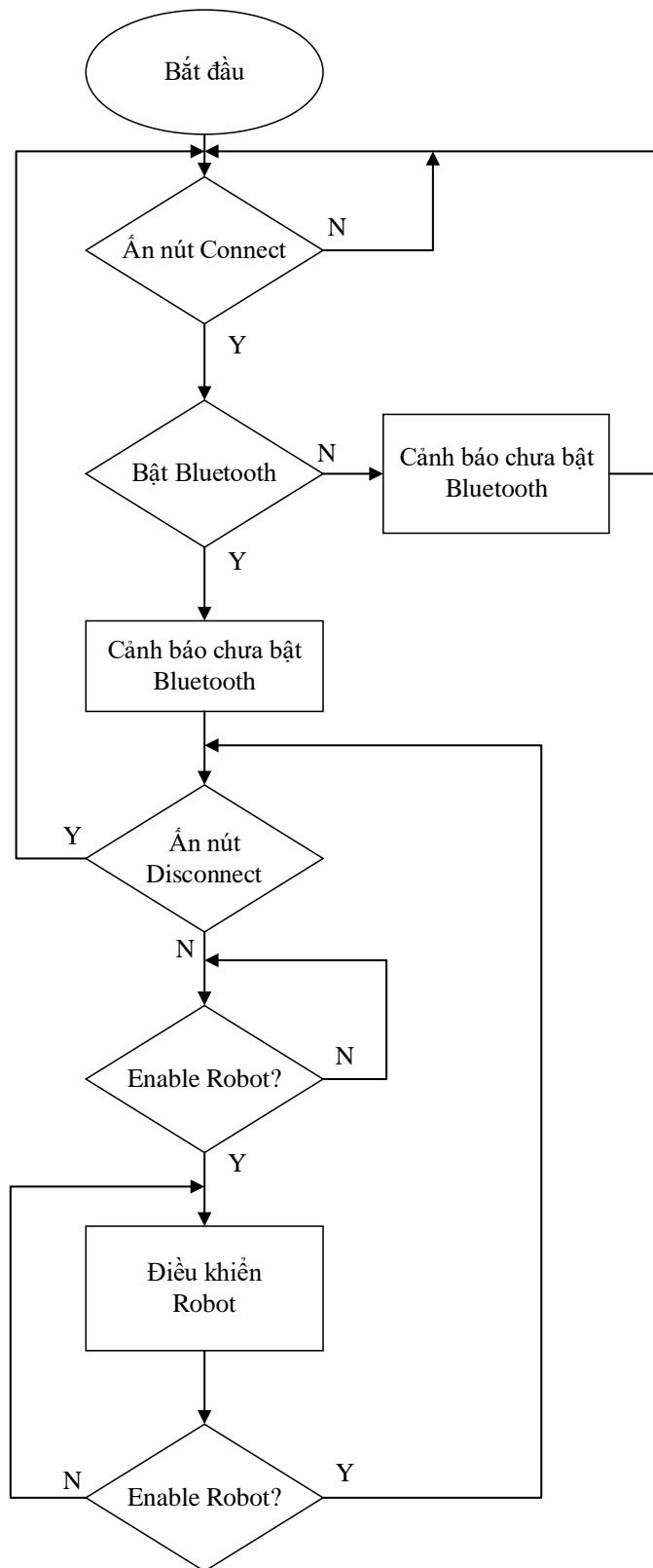
Sơ đồ tổng quát của hệ thống robot



Hình 5. 10 Sơ đồ thuật toán tổng quát hệ thống điều khiển



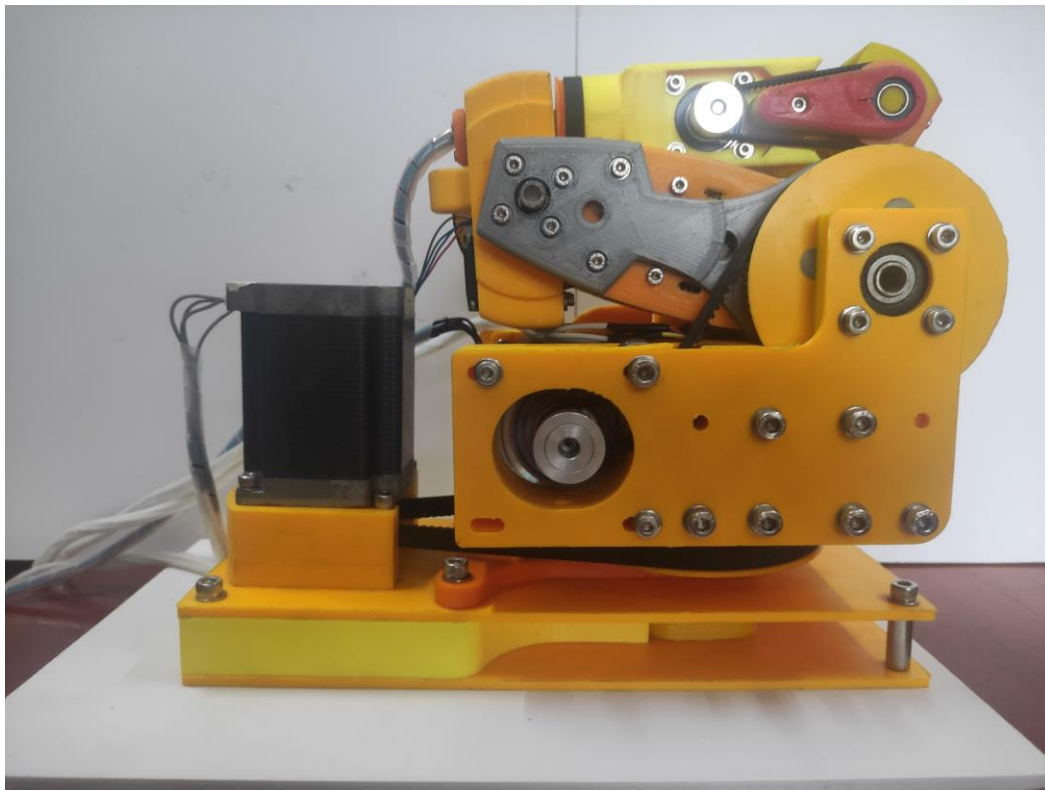
Hình 5. 11 Sơ đồ thuật toán hàm con khởi thực thi lệnh



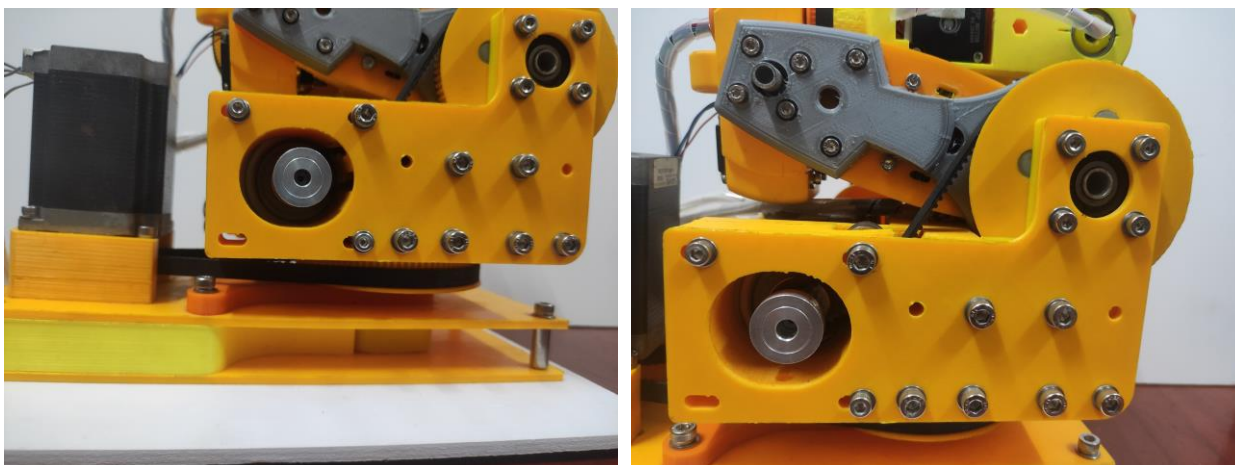
Hình 5. 12 Sơ đồ thuật toán kết nối giữa App và Arduino

## CHƯƠNG 6: THỰC NGHIỆM

### 1. Mô hình thực nghiệm



*Hình 6.1 Mô hình robot sau khi được lắp ráp hoàn chỉnh*



*Hình 6.2 Cơ cấu truyền động khớp 1 và 2*



Hình 6.3 Cơ cấu truyền động các khớp còn lại

## 2. Kiểm nghiệm độ chính xác

Các Sau khi hoàn thiện mô hình, em đã tiến hành kiểm tra độ chính xác của cánh tay robot thông qua đánh giá sai số lặp bằng cách cho robot di chuyển từng trục đến một vị trí cho trước trong 10 lần với kết quả thu được ở bảng 6.1.

Bảng 6.1 Kiểm nghiệm độ chính xác

Lần đo	Khớp 1 (°)	Khớp 2 (°)	Khớp 3 (°)	Khớp 4 (°)	Khớp 5 (°)
1	0	0	0	5	10
2	0	5	0	0	0
3	5	3	0	5	5
4	0	5	10	0	5
5	0	0	5	0	2
6	0	0	3	3	0
7	10	5	0	2	0
8	5	10	0	0	0
9	0	3	5	10	5
10	10	0	0	5	3

Kết quả thu được có độ chính xác như sau:

- Khớp 1: Sai số trung bình 2°, Sai số lớn nhất 10°
- Khớp 2: Sai số trung bình 3,1°, Sai số lớn nhất 10°

- Khớp 3: Sai số trung bình  $2,3^{\circ}$ , Sai số lớn nhất  $10^{\circ}$
- Khớp 4: Sai số trung bình  $2,5^{\circ}$ , Sai số lớn nhất  $10^{\circ}$
- Khớp 5: Sai số trung bình  $3^{\circ}$ , Sai số lớn nhất  $10^{\circ}$

Như vậy kết quả về sai số và độ chính xác có ảnh hưởng không lớn đến khả năng vận hành của mô hình. Tuy nhiên trong thời gian tới, em sẽ cải thiện và hoàn chỉnh mô hình chính xác hơn.

Robot đã đáp ứng được các yêu cầu đưa ra, có thể điều khiển đầy đủ qua app với các tính năng như di chuyển từng khớp quay, lưu tọa độ điểm, di chuyển đến điểm đã lưu, reset các tọa độ điểm, điều khiển tốc độ.



## CHƯƠNG 7: KẾ HOẠCH BẢO TRÌ

### 1. Tổng quan về bảo trì

#### 1.1. Khái niệm về bảo trì

Bảo trì và bảo dưỡng là hoạt động chăm sóc kỹ thuật, điều chỉnh, sửa chữa hoặc thay thế một vài chi tiết của máy móc, thiết bị nhằm duy trì hoặc khôi phục thông số hoạt động, đảm bảo sự hoạt động bình thường của máy móc, thiết bị.

#### 1.2. Vai trò của bảo trì

Bảo trì làm cho máy móc hoạt động đạt được năng suất cao nhất: Nhờ đảm bảo hoạt động đúng yêu cầu và liên tục tương ứng với tuổi thọ của máy lâu hơn. Nhờ chỉ số khả năng sẵn sàng của máy cao nhất và thời gian ngừng máy để bảo trì nhỏ nhất. Nhờ cải tiến liên tục quá trình sản xuất.

Tối ưu hóa hiệu suất của máy: Máy móc vận hành có hiệu quả, an toàn và ổn định hơn, chi phí vận hành ít hơn, đồng thời làm ra sản phẩm đạt chất lượng hơn.

Tạo ra môi trường làm việc an toàn hơn.

Đánh giá về tính trạng hoạt động của máy, tìm kiếm những nguyên nhân gây ra những hư hỏng thường xuất hiện trong khi máy làm việc.

Vai trò lớn nhất là phòng ngừa nhằm tránh cho máy móc, thiết bị không bị hư hỏng chứ không phải sửa chữa nhanh chóng nhưng sau đó máy móc bị hư hỏng trở lại.

Đưa ra những biện pháp sửa chữa, khắc phục sự cố.

Đưa ra những kế hoạch bảo trì phòng ngừa hợp lý và hạn chế ít rủi ro nhất.

#### 1.3. Mục tiêu của bảo trì

Xác định độ tin cậy và khả năng bảo trì tối ưu.

Thời gian kiểm tra chạy rà soát và thời gian làm nóng máy tối ưu.

Thu nhận dữ liệu thời gian vận hành đến khi hư hỏng.

Thời gian hay thể phòng ngừa tối ưu của bộ phận quan trọng.

Thời gian bảo hành tối ưu và chi phí tương ứng.

Các nhu cầu phụ tùng tối ưu.

Nghiên cứu các kiểu hư hỏng nhằm cực tiểu hóa hư hỏng.

Nghiên cứu hậu quả các hư hỏng để xác định thiệt hại của các bộ phận.

Xác định sự phân bố thời gian thiết bị hư hỏng.

Xác định sự phân bố thời gian vận hành đến khi hư hỏng để tính toán tỉ lệ hư hỏng.

Giảm số bộ phận trong thiết kế của thiết bị.

Xác định nhu cầu dự phòng để đạt mục tiêu độ tin cậy mong muốn

#### 1.4. Lợi ích của bảo trì:

Tăng khả năng sẵn sàng của máy móc, thiết bị.

Giảm thời gian ngừng máy.

Giảm chi phí sản xuất.

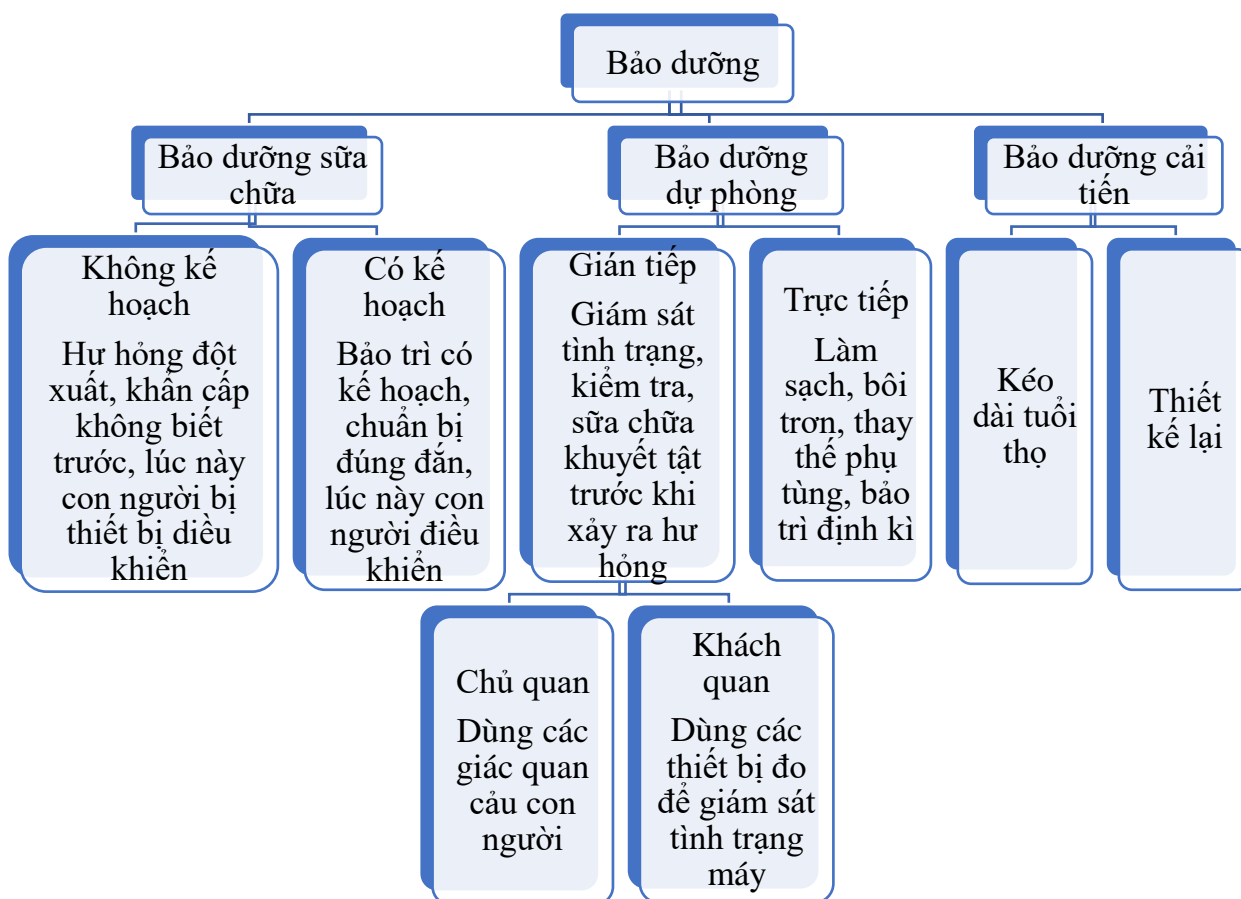
Nâng cao năng suất.

Tăng độ tin cậy và khả năng bảo trì.

Giảm chi phí bảo trì.

Tăng độ an toàn.

## 2. Các hình thức bảo dưỡng trong công nghiệp



Hình 7. 1 Các hình thức bảo dưỡng trong công nghiệp

Các loại chiến lược, kỹ thuật, giải pháp bảo trì được phân loại như sau:

### 2.1. Bảo trì không kế hoạch

Chiến lược bảo trì ngày nay được xem như là “Vận hành đến khi hư hỏng”. Nghĩa là không hề có bất kỳ một kế hoạch hay hoạt động bảo trì nào trong khi thiết bị đang hoạt động đến khi hư hỏng. Bảo trì không kế hoạch được hiểu là công tác bảo trì được thực hiện không có kế hoạch hoặc không có thông tin trong lúc thiết bị đang hoạt động cho đến khi hư hỏng. Nếu có một hư hỏng nào đó xảy ra thì thiết bị đó sẽ được sửa chữa hoặc thay thế. Hai loại giải pháp phổ biến trong chiến lược bảo trì này là

**Bảo trì phục hồi:** Bảo trì phục hồi không kế hoạch là loại bảo trì không thể lập được kế hoạch. Một công việc được sắp xếp vào loại bảo trì phục hồi không kế hoạch khi mà thời gian dùng cho công việc ít hơn 8 giờ. Trong trường hợp này không thể lập kế hoạch làm việc một cách hợp lý. Nhân lực, phụ tùng và các tài liệu kỹ thuật cần thiết đối với công việc bảo trì này là không lập kế hoạch và chuẩn bị trước khi công việc bắt đầu mà phải thực hiện đồng thời với công việc.

Bảo trì phục hồi không có kế hoạch là tất cả các hoạt động bảo trì được thực hiện sau khi xảy ra một hư hỏng nào đó để phục hồi thiết bị về tình trạng hoạt động bình thường nhằm thực hiện các chức năng yêu cầu

**Bảo trì khẩn cấp:** Bảo trì khẩn cấp là bảo trì cần được thực hiện ngay sau khi có hư hỏng xảy ra để tránh những hậu quả nghiêm trọng tiếp theo.

Trong thực tế do thiếu tính linh hoạt và không thể kiểm soát chi phí được nên bảo trì khẩn cấp là phương án bất đắc dĩ và ít được chấp nhận. Thay vào đó có thể sử dụng các giải pháp hiệu quả và linh hoạt hơn.

Bảo trì phục hồi không kế hoạch thường chi phí cao và các lần ngừng sản xuất không biết trước được, do đó sẽ làm cho chi phí bảo trì trực tiếp và chi phí bảo trì gián tiếp cao. Vì vậy bảo trì không kế hoạch chỉ thích hợp trong những trường hợp ngừng máy đột xuất chỉ gây ra thiệt hại tối thiểu. Đối với những thiết bị quan trọng trong các dây chuyền sản xuất, những lần ngừng máy đột xuất có thể gây ra tổn thất lớn cho nhà máy đặc biệt là tổn thất sản lượng và doanh thu do đó giải pháp bảo trì này cần được giảm đến mức tối thiểu trong bất kỳ một tổ chức bảo trì nào.

### 2.2. Bảo trì có kế hoạch

Bảo trì có kế hoạch là bảo trì được tổ chức và thực hiện theo một chương trình đã được định sẵn và kiểm soát.

**Bảo trì phòng ngừa:** Bảo trì phòng ngừa là hoạt động bảo trì được lập kế hoạch trước và thực hiện theo một trình tự nhất định để ngăn ngừa các hư hỏng xảy ra hoặc phát hiện các hư hỏng trước khi chúng phát triển đến mức làm ngừng máy và gián đoạn sản xuất.

Như đã thấy từ định nghĩa, bảo trì phòng ngừa được chia thành hai bộ phận khác nhau: bảo trì phòng ngừa được thực hiện để ngăn ngừa các hư hỏng trước khi chúng phát triển đến mức làm ngừng máy ảnh hưởng đến sản xuất

Có hai giải pháp thực hiện chiến lược bảo trì phòng ngừa:

**Bảo trì phòng ngừa trực tiếp:**

Bảo trì phòng ngừa trực tiếp được thực hiện định kỳ nhằm ngăn ngừa hư hỏng xảy ra bằng cách tác động và cải thiện một cách trực tiếp trạng thái vật lý của máy móc, thiết bị.

Những công việc bảo trì phòng ngừa trực tiếp thường là thay thế các chi tiết, phụ tùng, kiểm tra các bộ phận, bôi trơn, thay dầu, lau chùi, làm sạch máy móc,... theo kế hoạch hoặc chương trình định sẵn.

Các hoạt động phòng ngừa trực tiếp thường mang tính định kỳ theo thời gian hoạt động, theo số kilomet di chuyển,... nên còn gọi là bảo trì định kỳ (Fixed – Time Maintenance – FTM).

**Bảo trì phòng ngừa gián tiếp**

Bảo trì phòng ngừa gián tiếp được thực hiện để tìm ra các hư hỏng ngay trong giai đoạn đầu trước khi các hư hỏng có thể xảy ra. Trong giải pháp này, các công việc bảo trì không tác động đến trạng thái vật lý của thiết bị mà thay vào đó là những kỹ thuật giám sát tình trạng như giám sát tình trạng khách quan và giám sát tình trạng chủ quan được áp dụng để tìm ra hoặc dự đoán các hư hỏng của máy móc, thiết bị nên còn được gọi là bảo trì cơ sở tình trạng (CBM – Condition Based Maintenance) hay bảo trì dự đoán (Predictive Maintenance) hoặc bảo trì tích cực (Proactive Maintenance). Bảo trì trên cơ sở tình trạng máy đã khắc phục các nhược điểm của bảo trì phòng ngừa và bảo trì định kỳ bằng cách giám sát liên tục tình trạng máy. Để xác định chính xác tình trạng và linh kiện hoạt động của thiết bị ở mọi thời điểm người ta sử dụng những kỹ thuật giám sát tình trạng

**Kỹ thuật giám sát tình trạng:** Nếu trong quá trình hoạt động máy móc, thiết bị có vấn đề thì thiết bị giám sát tình trạng sẽ cung cấp thông tin để xác định xem đó là vấn đề gì và quan trọng hơn là nguyên nhân đã gây ra vấn đề đó. Nhờ vậy có thể lập trình sửa chữa có hiệu quả từng vấn đề cụ thể trước khi máy móc bị hư hỏng. Giám sát tình trạng có thể được chia thành:

**Giám sát tình trạng chủ quan:** Là giám sát được thực hiện bằng các giác quan như: nghe, sờ, ngửi, nhìn để đánh giá tình trạng của thiết bị.

**Giám sát tình trạng khách quan:** Được thực hiện khi mà tình trạng của thiết bị trong một số trường hợp không thể nhận biết bằng các giác quan của con người. Nó được thực hiện thông qua việc đo đạc và giám sát bằng nhiều thiết bị khác nhau, từ những thiết bị đơn giản cho đến thiết bị chẩn đoán hiện đại nhất.

Giám sát tình trạng khách quan có thể được thực hiện bằng hai cách:

**Giám sát tình trạng không liên tục:** Là giám sát trong đó một người đi quanh các máy và đo những thông số cần thiết bằng một dụng cụ cầm tay. Các số liệu hiển thị được ghi lại hoặc lưu trữ trong dụng cụ để phân tích về sau. Phương pháp này đòi hỏi một người có tay nghề cao để thực hiện việc đo lường bởi vì người đó phải có kiến thức vận hành dụng cụ, có thể diễn đạt thông tin từ dụng cụ và phân tích tình trạng máy hiện tại tốt hay xấu.

**Giám sát liên tục:** Được thực hiện khi thời gian phát triển hư hỏng quá ngắn. Phương pháp này cần ít người hơn nhưng thiết bị thì đắt tiền hơn và bản thân thiết bị cũng cần được bảo trì. Trong hệ thống bảo trì phòng ngừa dựa trên giám sát tình trạng thường 70% các hoạt động là chủ quan và 30% là khách quan lý do là vì có những hư hỏng xảy ra và không thể phát hiện bằng dụng cụ.

### 2.3. Bảo trì cải tiến

Bảo trì cải tiến được tiến hành khi cần thay đổi thiết bị cũng như cải tiến tình trạng bảo trì. Mục tiêu của bảo trì cải tiến là thiết kế lại một số chi tiết, bộ phận để khắc phục hư hỏng hoặc kéo dài thời gian sử dụng của các chi tiết, bộ phận và toàn bộ thiết bị.

Chiến lược bảo trì cải tiến được thực hiện bởi hai giải pháp sau:

- Bảo trì thiết kế lại (Design – Out Maintenance, DOM): Giải pháp này thường là đưa ra những thiết kế cải tiến nhằm khắc phục hoàn toàn những hư hỏng, khuyết tật hiện có của máy móc, thiết bị.
- Bảo trì kéo dài tuổi thọ (Life – Time Extension, LTE): Là một giải pháp nhằm kéo dài tuổi thọ của máy móc, thiết bị bằng cách đổi mới vật liệu hoặc kết cấu.

### 2.4. Bảo trì chính xác

Bảo trì chính xác được thực hiện bằng cách thu thập dữ liệu của bảo trì dự đoán để hiệu chỉnh môi trường và các thông số vận hành của máy từ đó cực đại hóa năng suất, hiệu suất và tuổi thọ của máy.

Tốt nhất nên coi bảo trì chính xác như một mô hình văn hóa của tổ chức (cultural framework) để duy trì kết quả thiết bị đáng tin cậy, nhất quán và hiệu quả. Không giống như bảo trì phòng ngừa, bảo trì chính xác không phải là một phương pháp lập kế hoạch mà là một triết lý tổ chức về “các thực hành tốt nhất (best practices) hay các phương pháp hay nhất”.

Vì lý do này, điều quan trọng là phải nhận ra rằng những gì có thể được coi là chính xác đối với một tổ chức cũng có thể hoàn toàn khác đối với tổ chức khác. Tùy thuộc vào ngành và loại thiết bị liên quan cùng với khả năng tài chính, các quy trình bảo trì lý tưởng sẽ khác nhau.

Nền tảng của một chương trình bảo trì chính xác thành công là các quy trình thực hiện tiêu chuẩn (SOP) được lập thành văn bản không để lại sai sót. Với các SOP được trình bày rõ ràng và nhóm làm việc được đào tạo phù hợp, thì sẽ đảm bảo kết quả công việc là nhất quán (tương tự nhau) dù với bất kể ai sẽ thực hiện công việc đó. Các SOP

bảo trì chính xác phải chi tiết, dễ tiếp cận và được cập nhật mới nhất (up-to-date) theo thời gian thực.

### **2.5. Bảo trì dự phòng (Redundacy, RED)**

Bảo trì dự phòng được thực hiện bằng cách bố trí máy hoặc chi tiết, phụ tùng thay thế song song với cái hiện có. Phương pháp này có nghĩa là máy hoặc chi tiết, phụ tùng thay thế có thể được khởi động và liên kết với dây chuyền sản xuất nếu cái đang được sử dụng bị ngừng bất ngờ.

### **2.6. Bảo trì năng suất toàn bộ ( Total Productive Mantainance – TPM)**

Bảo trì năng suất toàn bộ được thực hiện bởi các nhân viên thông qua các nhóm hoạt động nhỏ nhằm đạt tối đa hiệu suất sử dụng máy móc, thiết bị. TPM tạo ra những hệ thống ngăn ngừa tổn thất xảy ra trong quá trình sản xuất nhằm đạt được mục tiêu “không tai nạn, không khuyết tật, không hư hỏng”. TPM được áp dụng trong toàn bộ phòng ban và toàn bộ các thành viên từ người lãnh đạo cao nhất đến những nhân viên trực tiếp sản xuất.

### **2.7. Bảo trì tập trung và độ tin cậy ( Reliability – Centred Maintennace )**

Bảo trì tập trung vào độ tin cậy là một quá trình mang tính hệ thống được áp dụng để đạt được các yêu cầu về bảo trì và khả năng sẵn sàng của máy móc, thiết bị nhằm đánh giá một cách định lượng nhu cầu thực hiện hoặc xem xét lại các công việc và kế hoạch bảo trì phòng ngừa.

## **3. Phân tích hư hỏng dựa trên sơ đồ xương cá Ishikawa**

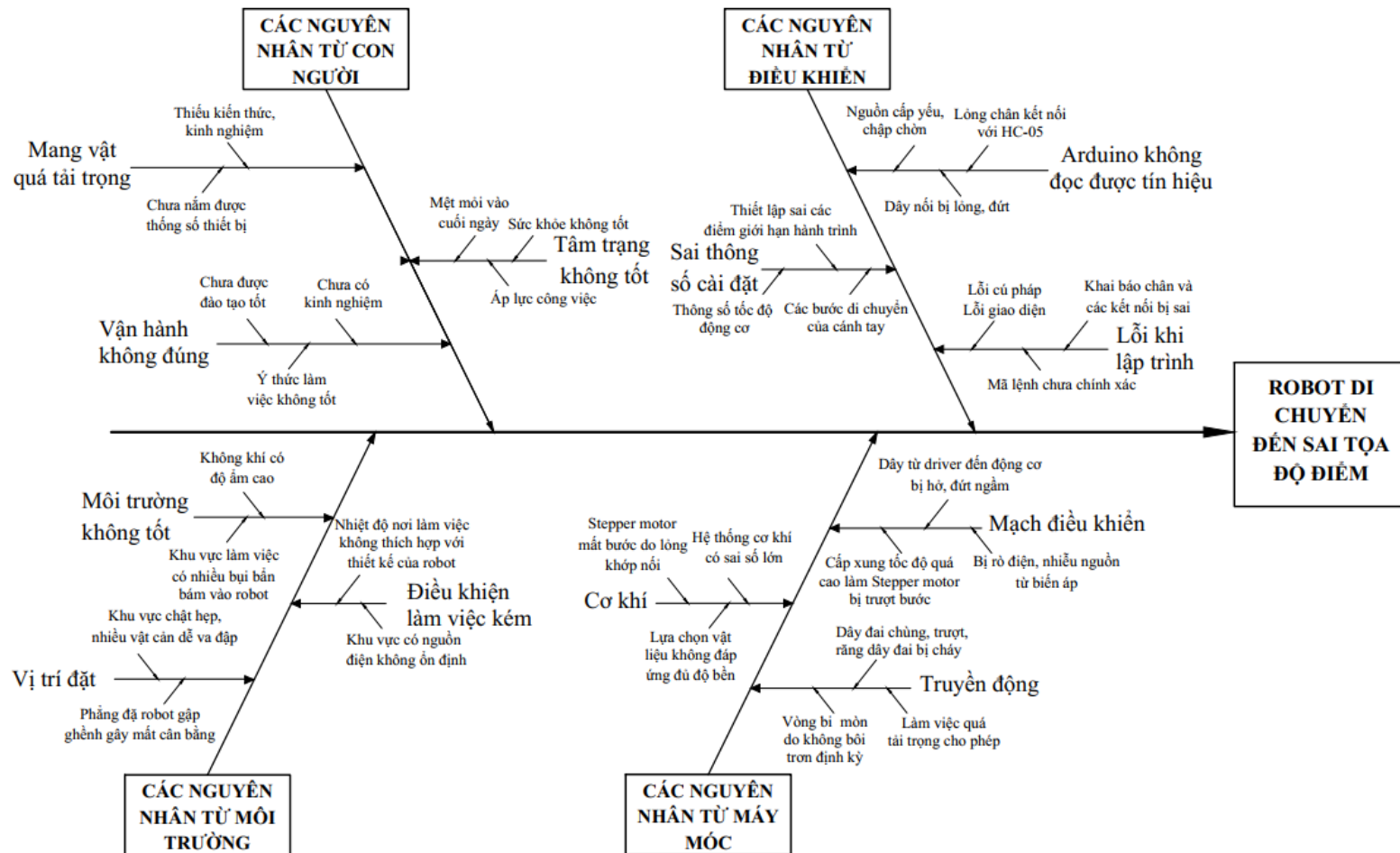
### **3.1. Tổng quan về biểu đồ xương cá Ishikawa**

Biểu đồ xương cá (Ishikawa diagram, Fishbone diagram) được sử dụng lần đầu tiên vào những thập niên 1960 do Ishikawa Kaoru thực hiện tại nhà máy đóng tàu Kawasaki.. Bên cạnh Flowchart, Pareto chart, Flowchart, Scatter diagram, đây là một trong các công cụ để quản lý chất lượng. Biểu đồ này thể thể hiện mối liên hệ giữa các nhóm nguyên nhân tác động hay ảnh hưởng trực tiếp đến vấn đề. Biểu đồ xương cá có thể ứng dụng trong đa dạng các nhu cầu: sản xuất, dịch vụ, cải tiến chất lượng, giải quyết vấn đề, v.v...

Tác dụng của biểu đồ xương cá:

- Đưa ra một cấu trúc, định hướng cho việc xác định nguyên nhân. Giúp cho việc xác định nguyên nhân nhanh chóng và hiệu quả.
- Khi áp dụng biểu đồ này, người dùng sẽ có khả năng tìm ra các nguyên nhân tiềm tàng và nguyên nhân cốt lõi gây nên vấn đề.
- Nhìn vào biểu đồ xương cá này, người đọc sẽ có hình dung đầy đủ nguyên nhân của một vấn đề . Việc lập biểu đồ sẽ chỉ rõ từng nguyên nhân, từ đó có thể đưa ra hướng giải pháp cụ thể cho từng nguyên nhân mộ

### 3.2. Phân tích lỗi của cánh tay Robot ( biểu đồ Ishikawa )



Hình 7. 2 Biểu đồ xương cá robot di chuyển đến sai tọa độ điểm





#### 4. Ứng dụng công cụ L'AMDEC trong bảo trì cánh tay robot

Trong phần này xử lý vấn đề tối ưu hóa chức năng bảo trì. Thực tế, chi phí bảo trì được chia thành 2 loại: chi phí bảo trì trực tiếp và chi phí bảo trì gián tiếp. Trong đó, chi phí ngừng hoạt động của thiết bị nằm trong chi phí bảo trì gián tiếp. Mục đích của công cụ L'AMDEC là giảm thời gian ngừng hoạt động này và cải thiện độ tin cậy của thiết bị ngay từ giai đoạn thiết kế.

##### 4.1. Tổng quan về L'AMDEC

Độ tin cậy là khả năng của một thực thể đáp ứng một hoặc nhiều chức năng được yêu cầu trong các điều kiện nhất định. Độ tin cậy được đặc trưng bởi các thông số:

- Độ tin cậy: khả năng của một thực thể thực hiện một chức năng được yêu cầu trong các điều kiện nhất định, trong một khoảng thời gian nhất định.
- Khả năng bảo trì: khả năng của một hạng mục được bảo trì hoặc khôi phục về trạng thái mà nó có thể thực hiện một chức năng cần thiết, khi việc bảo trì được thực hiện trong các điều kiện nhất định, với các thủ tục và phương tiện quy định.
- Tính sẵn sàng: khả năng có thể thực hiện một chức năng được yêu cầu trong các điều kiện nhất định và tại một thời điểm nhất định; -An ninh: khả năng của một thực thể tránh gây ra các sự kiện nghiêm trọng hoặc thảm họa xuất hiện trong các điều kiện nhất định.

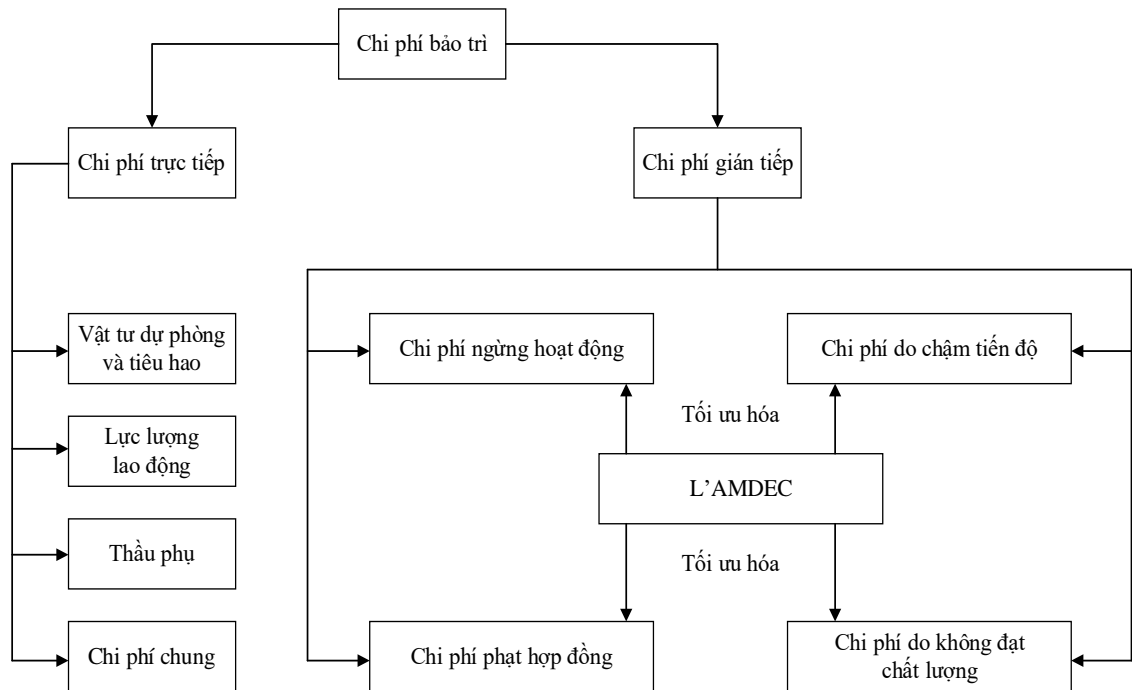
Phân tích chế độ lỗi nghiêm trọng và ảnh hưởng (L'AMDEC) là một phương pháp định tính cho các nghiên cứu an toàn trong các lĩnh vực khác nhau. Thật vậy, kỹ thuật này cung cấp kiến thức chuyên sâu về hoạt động và tương tác của một hệ thống, thông qua phân tích có hệ thống các mối quan hệ nhân quả. Thông tin thu được được sử dụng trong bối cảnh quản lý rủi ro, với mối quan tâm chính là đạt được mức độ an toàn vận hành tốt cho hệ thống vận hành. Nó cho phép:

- Biết các yếu tố quan trọng nhất (chức năng và thành phần);
- Phát hiện, đánh giá và phân loại các điểm yếu, bất thường và trục trặc hệ thống;
- Quản lý các điểm quan trọng và thậm chí đặt câu hỏi về thiết kế của hệ thống.
- kiến nghị các biện pháp khắc phục; đánh giá tác động của các biện pháp này để đảm bảo hiệu quả của chúng, và để so sánh và quyết định.

Với suy nghĩ này và trong ánh sáng của những điểm này, L'AMDEC chiếm một vị trí quan trọng trong việc tối ưu hóa chức năng bảo trì. Nó làm cho hệ thống trở nên đáng tin cậy trong khi giảm số lượng lỗi, dễ bảo trì vì nó cho phép kiểm soát các phần tử và chức năng của chúng, khả dụng vì nó cho phép hành động trên các phần tử quan trọng, yên tâm vì nó cho phép chế ngự các lỗi.

## 4.2. Phương pháp tối ưu bảo trì

Khái niệm hợp tác giữa người và máy ra đời sau sự xuất hiện của các công cụ hỗ trợ ra quyết định với tư cách là trợ lý cho người ra quyết định là con người và do đó khả năng chia sẻ nhiệm vụ giữa họ trong những trường hợp này. Nhóm sử dụng công cụ L'AMDEC để xin lời khuyên mà nó sử dụng trong việc ra quyết định. Nó hướng dẫn nhóm cách tiếp cận giải quyết vấn đề và dẫn dắt nhóm tự khám phá ra giải pháp.



Hình 7. 4 Ảnh hưởng của L'AMDEC trong chi phí bảo trì

Mặc dù chi phí bảo trì phụ thuộc vào đặc điểm của thiết bị, có ba dạng: đặc điểm do nhà cung cấp cung cấp, đặc điểm dành riêng cho người vận hành và đặc điểm chung của người vận hành và nhà cung cấp, chi phí bảo trì về cơ bản bao gồm của hai thành phần: chi phí trực tiếp và chi phí gián tiếp.

Nghiên cứu L'AMDEC chủ yếu cho phép tối ưu hóa chi phí gián tiếp (Hình 5.2). Nó tạo thành một phương pháp chẩn đoán thông minh ở mức độ có thể dự đoán một số điểm yếu, khiếm khuyết, bất thường và hỏng hóc nhất định ở cấp độ của tất cả các yếu tố góp phần tạo nên sản phẩm.

## 4.3. Phương pháp tiếp cận thực tế của L'AMDEC

Việc sử dụng FMECA tạo ra một khuôn khổ cần được hoàn thiện và trang bị. Đối với điều này, một phân tích chi tiết hơn về mức độ liên quan của thông tin là cần thiết. Nhóm FMECA được yêu cầu làm chủ máy, cập nhật và đảm bảo tính hợp lệ của tất cả các thông tin hữu ích cho nghiên cứu. Nhóm này phụ thuộc vào phản hồi từ tất cả các nhà điều hành của tất cả các bộ phận chu trình sản xuất sản phẩm, những người có thể mang lại giá trị gia tăng cho phân tích.

Cách tiếp cận thực tế của FMECA được chia thành 4 bước sau:

Bước 1: Khởi tạo nghiên cứu bao gồm:

- Định nghĩa của máy được phân tích
- Định nghĩa các giai đoạn hoạt động
- Xác định các mục tiêu cần đạt được
- Thành lập một nhóm làm việc,
- Định nghĩa về lịch trình cuộc họp,
- Sự phát triển của công cụ hỗ trợ làm việc

Bước 2: mô tả chức năng của máy bao gồm:

- Kiểm kê các chức năng dịch vụ,
- Kiểm kê các chức năng kỹ thuật.

Bước 3: Phân tích FMECA bao gồm:

- Phân tích các cơ chế các lỗi
- Đánh giá mức độ quan trọng thông qua :  $C = F.G.D$ 
  - + Xác suất xảy ra : F
  - + Mức độ nghiêm trọng của hậu quả: G
  - + Xác suất không phát hiện : D
- Đề xuất các biện pháp khắc phục

Bước 4: Tổng hợp nghiên cứu/quyết định bao gồm:

- Báo cáo công việc
- Quyết định các hành động cần thực hiện

#### 4.4. Thang đánh giá

*Bảng 7. 1 Thang đánh giá xác suất xảy ra*

Xác suất xảy ra: F	Định nghĩa các cấp độ
Tần số rất thấp	Hư hỏng hiếm gặp: Ít hơn 1 lỗi hư hỏng trên mỗi năm
Tần số thấp	Hư hỏng có thể xảy ra: Ít hơn 1 lỗi hư hỏng trên mỗi quý
Tần số trung bình	Hư hỏng thường xuyên: Ít hơn 1 lỗi hư hỏng trên mỗi tuần
Tần số cao	Hư hỏng rất thường xuyên: Một vài lỗi hư hỏng mỗi tuần

*Bảng 7. 2 Thang đánh giá mức độ nghiêm trọng*

Mức độ nghiêm trọng: G	Định nghĩa các cấp độ
Mức độ nghiêm trọng nhỏ	Lỗi nhỏ: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ngừng sản xuất dưới 2 phút</li> <li>- Không có thiệt hại nào đáng kể đến thiết bị</li> </ul>
Mức độ nghiêm trọng đáng kể	Lỗi đáng kể: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ngừng sản xuất từ 2 đến 20 phút</li> <li>- Cần sửa chữa ngắn hạn hoặc sửa chữa nhỏ tại chỗ</li> </ul>
Mức độ nghiêm trọng trung bình	Lỗi trung bình: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ngừng sản xuất 20 phút đến 1 giờ</li> <li>- Thay thế các bộ phận, chi tiết bị hư hỏng cần thiết</li> </ul>
Mức độ nghiêm trọng lớn	Lỗi lớn: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ngừng sản xuất từ 1 đến 2 giờ</li> <li>- Can thiệp lớn vào máy móc</li> <li>- Sản xuất, gia công các bộ phận bị hư hỏng chưa có sẵn</li> </ul>
Mức độ nghiêm trọng thảm khốc	Lỗi rất lớn: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ngừng sản xuất trên 2 giờ</li> <li>- Sửa chữa đòi hỏi kỹ thuật khó và đòi hỏi các phương tiện tốn kém</li> </ul>

*Bảng 7. 3 Thang đánh giá xác suất phát hiện*

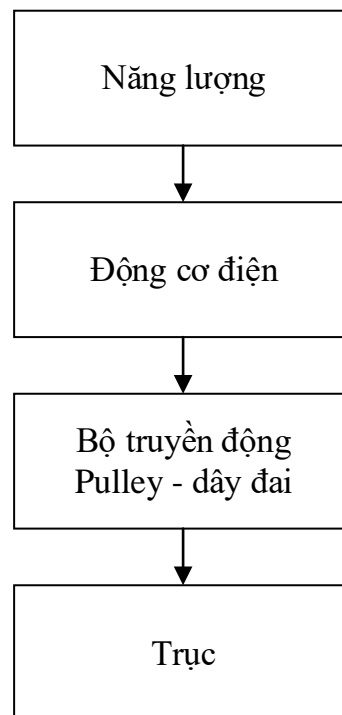
Xác suất phát hiện: D	Định nghĩa các cấp độ
Phát hiện rõ ràng	Hư hỏng dễ dàng được phát hiện sớm
Có thể phát hiện	Hư hỏng có thể được phát hiện trong 1 không thời gian ngắn
Khó phát hiện	Hư hỏng khó phát hiện, cần một khoảng thời gian dài
Không thể phát hiện	Hư hỏng không thể được phát hiện

*Bảng 7. 4 Bảng giá trị C*

Giá trị C	Mức độ	Giải pháp
$C < 8$	Không đáng kể	Bảo trì sửa chữa
$8 \leq C < 16$	Trung bình	Bảo trì phòng ngừa trực tiếp
$16 \leq C < 36$	Cao	Bảo trì dự đoán
$36 \leq C < 48$	Rất cao	Bảo trì cải tiến
$48 \leq C < 64$	Không cho phép xảy ra	Thiết kế lại hệ thống

#### 4.5. Ứng dụng L'AMDEC cho cánh tay robot

Trước tiên, phân tách hệ thống truyền động theo chức năng:



*Hình 7. 5 Phân tách hệ thống truyền động*

L'AMDEC là phương pháp tư duy cơ bản dựa trên sự phân chia chức năng của hệ thống thành các thành phần cơ bản nhất. Mỗi hệ thống lại bao gồm các thành phần khác nhau cấu tạo nên chúng:

- Động cơ điện: Rotor, stator, vòng bi
- Bộ truyền động chính: Các pulley và dây đai
- Trục truyền động : trục, vòng bi cầu, vòng bi chặn

*Bảng 7. 5 Phân tích các dạng lỗi, hư hỏng và ảnh hưởng tới robot*

Phân tích các dạng lỗi, hư hỏng và ảnh hưởng của chúng									
Hệ thống: truyền động trực chính các khớp					Ngày:				
Bộ phận / Chi tiết	Chức năng	Dạng hư hỏng	Nguyên nhân	Phát hiện	Tầm quan trọng				Khắc phục
					F	G	D	C	
Động cơ bước	Cung cấp chuyển động quay	Động cơ bước nóng bất thường khi hoạt động ở thời gian dài	Dòng cung cấp lớn hơn giá trị cho phép	Xúc giác	1	2	2	4	Thực hiện điều chỉnh dòng cấp vào động cơ theo định mức trong Catalogue
		Động cơ bước bị kẹt trục	Hư vòng bi cầu tại gối đỡ trục động cơ	Thị giác	2	2	2	8	Thay thế ổ bi của động cơ. Mua động cơ mới dự phòng
		Động cơ quay chập chờn, không đúng bước	Dây dẫn cấp nguồn vào các pha của động cơ bị lỏng	Thị giác	1	2	2	4	Sử dụng đầu cos đúng tiêu chuẩn Siết chặt tại các vị trí tiếp xúc
Dây đai	Truyền chuyển động	Dây đai chùng	Giãn dây đai sau một thời gian dài sử dụng	Thính giác, Xúc giác	2	1	2	4	Hiệu chỉnh dây đai
		Gãy răng dây đai	Gãy răng dây đai sau một thời gian dài sử dụng	Thị giác	2	2	2	8	Thay thế dây đai hư hỏng. Sử dụng dây đai có độ bền cao hơn

Vòng bi	Giảm ma sát lên trục Truyền chuyển động êm ái	Kẹt bi vòng bi	Bề bi sau một thời gian dài sử dụng Không bôi trơn định kì	Thị giác, Thính giác	2	4	2	16	Thay thế ổ bi sau 1 khoảng thời gian hoạt động
Trục chính của các khớp	Nhận chuyển động quay	Bị lỏng tại vị trí tiếp xúc với ổ bi	Mòn do lực ma sát sau một thời gian dài sử dụng	Thị giác	3	4	2	24	Thiết kế sử dụng vật liệu bền hơn cho trục chính Thay thế trục chính sau thời gian sử dụng
Pulley	Truyền chuyển động	Gãy răng pulley	Vật liệu nhựa PLA kém bền dễ hư hỏng sau một thời gian	Thị giác	2	4	2	16	Thay thế pulley dự phòng. Sử dụng các loại vật liệu có độ bền cao hơn
		Trượt pulley so với trục chính động cơ	Lòng pulley bị mòn sau 1 thời gian sử dụng Lực giác khóa trục bị lỏng	Thị giác	1	2	2	4	Siết chặt lực giác khóa trục Sử dụng loại pulley có dung sai phù hợp

#### 4.6. Phân loại các yếu tố theo mức độ nghiêm trọng:

Giá trị C = 8 được chọn làm ngưỡng tối hạn. Các chi tiết/bộ phận có giá trị C vượt quá 8 được nhóm thành 1 nhóm. Chính nhóm này là những yếu tố ưu tiên phải được thực hiện bằng các hành động thích hợp.

*Bảng 7. 6 Các hành động khắc phục cần thực hiện*

Chi tiết/ bộ phận	Lỗi, hư hỏng	Mức độ nghiêm trọng và hành động khắc phục	
Trục chính	Mòn trục chính	24	Bảo trì phòng ngừa trực tiếp Bảo trì dự đoán
Pulley	Gãy răng	16	
Vòng bi	Kẹt vòng bi	16	
Động cơ bước	Kẹt trục	8	Kiểm tra, bảo trì sửa chữa Đặt hàng linh kiện thay thế dự phòng
	Nóng bất thường	4	
	Quay chậm chèn	4	
Dây đai	Gãy răng	8	
	Chùng	4	
Pulley	Trượt	4	

#### 5. Lập kế hoạch bảo trì cánh tay robot

Dựa trên tài liệu do nhà sản xuất cung cấp cùng với những số liệu theo dõi được ghi nhận trong quá trình sử dụng máy ta lập được bảng kế hoạch bảo trì máy cùng với các phương pháp bảo trì phù hợp:

*Bảng 7. 7 Kế hoạch bảo trì*

STT	Tên công việc	Chu kỳ				Dụng cụ	Chuẩn so sánh	Người TH
		N	T	Th	Na			
1	Kiểm tra quỹ đạo làm việc	1				Thị giác, Thước	Đúng tọa độ đã lập trình	NVVH
2	Vệ sinh cơ cấu chấp hành		1			Dụng cụ vệ sinh	Sạch sẽ	NVVH
3	Kiểm tra tiếng ồn	1				Máy đo độ ồn	< 85 dB	NVVH
4	Kiểm tra rung động	1				Máy đo rung động	< 2mm/s	NVVH
5	Kiểm tra nhiệt độ khu vực làm việc	1				Camera nhiệt	5°C- 45°C	NVBT



6	Kiểm tra nhiệt độ động cơ	1				Camera nhiệt	5°C- 45°C	NVBT
7	Kiểm tra rò rỉ điện		1			VOM, Bút thử điện		NVBT
8	Vệ sinh thân robot		1			Dụng cụ vệ sinh	Sạch sẽ	NVVH
9	Kiểm tra các khớp nối		1			Thị giác, Tay	Chắc chắn	NVVH
10	Vệ sinh tủ điện			1		Khí nén	Sạch sẽ	NVBT
11	Tra dầu các vòng bi			3		Thiết bị tra dầu, Dầu	Dầu bôi trơn theo tiêu chuẩn	NVBT
12	Kiểm tra các kết nối điện			3		VOM	Chắc chắn, Dẫn điện tốt	NVBT
13	Kiểm tra lỏng chân			3		Thị giác, Thiết bị kiểm tra	Đảm bảo chắc chắn, không xô dịch	NVBT
14	Kiểm tra độ ẩm, dầu và các chất cặn bám			6		Dụng cụ tháo, Khăn lau	Đảm bảo khô ráo	NVBT
15	Kiểm tra dây đai			6		Thiết bị kiểm tra	Không bị chùng, gãy răng	NVBT
16	Kiểm tra hoạt động chính xác của các thông số vận hành			6		Thiết bị kiểm tra	Đảm bảo hoạt động chính xác theo như cài đặt	NVBT
17	Kiểm tra độ kín, khả năng đóng mở của cuộn dây, nút nhấn của các đường điều khiển				1	Thiết bị kiểm tra	Đảm bảo hoạt động chính xác theo yêu cầu	NVBT
18	Kiểm tra cách điện động cơ				1	Máy đo điện trở cách điện	Đảm bảo không rò rỉ	NVBT

## KẾT QUẢ VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

### 1. Kết quả

- Xây dựng thành công mô hình cánh tay robot 6 bậc tự do.
- Kết nối thành công giữa bộ điều khiển và cánh tay robot.
- Có thể điều khiển cánh tay robot hoạt động theo ý muốn.
- Xây dựng được sơ đồ xương cá để xác định nguyên nhân hư hỏng
- Lập được kế hoạch bảo dưỡng cho mô hình cánh tay robot

### 2. Phương hướng phát triển

- Thiết kế bộ điều khiển kín có bù tác động ngoài
- Tích hợp camera để xử lý hình ảnh, scan 3D
- Tăng độ chính xác của hệ thống

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bài giảng “*Công Nghệ Cơ Khí I*”, Th.S Nguyễn Trí Dũng
2. Bài giảng “*Cơ kĩ thuật*”, PGS.TS. Phạm Huy Hoàng
3. Bài giảng “*Kỹ thuật robot*”, TS. Phùng Trí Công
4. GS.TSKH Nguyễn Thiện Phúc, *Robot công nghiệp*, Nhà xuất bản Khoa học & Kỹ thuật Tp. HCM, 2015
5. Stepper motor, <https://www.omc-stepperonline.com>
6. GUI controller, <https://github.com/Chris-Annin/AR2>
7. Kinematical and Dynamical Models of 6DOF KUKA robot, <https://cdn.intechweb.org/pdfs/10640.pdf>
8. Wikipedia The Free Encyclopedia, *Euler Angles* , *Wikipedia The Free Encyclopedia* , [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Euler\\_angles](https://en.wikipedia.org/wiki/Euler_angles)
9. S. Dikmenli, *Forward & Inverse Kinematics Solution of 6-DOF Robots Those Have Offset & Spherical Wrists - Supplementary Data, Mendeley Data*, Available: <http://dx.doi.org/10.17632>
10. Nguyễn Thanh Hải & Nguyễn Văn Chinh, *Thiết kế chế tạo robot 6 bậc tự do sử dụng in 3D*, Đồ án tốt nghiệp đại học, Đại học Bách Khoa Hà Nội, 2018