

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ**



**BÁO CÁO BÀI TẬP LỚN**  
**MÔN HỌC: CƠ CẤU TRUYỀN ĐỘNG**  
**THIẾT KẾ CÁN H TAY ROBOT 5 BẬC TỰ DO**

**Nhóm 10**

**Nguyễn Huy Thắng - 22027545**

**Nguyễn Bảo Long - 22027537**

**Trần Hoàng Thắng - 22023160**

*Hà Nội, ngày 23 tháng 05 năm 2025*

# MỤC LỤC

TÓM TẮT .....	3
LỜI CẢM ƠN .....	4
CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU VỀ ĐỀ TÀI VÀ TỔNG QUAN LÝ THUYẾT .....	5
1.1. Giới thiệu đề tài .....	5
1.1.1. Lý do chọn đề tài .....	5
1.1.2. Mục tiêu nghiên cứu .....	5
1.1.3. Phạm vi và giới hạn .....	5
1.1.4. Phương pháp nghiên cứu .....	6
1.2. Tổng quan lý thuyết .....	6
1.2.1. Khái niệm tay máy công nghiệp .....	6
1.2.2. Phân loại tay máy theo bậc tự do .....	7
1.2.3. Ứng dụng tay máy trong thực tiễn .....	7
1.2.4. Các loại động cơ thường được sử dụng cho tay máy robot .....	8
CHƯƠNG 2: THIẾT KẾ CƠ KHÍ VÀ PHÂN TÍCH TRUYỀN ĐỘNG .....	10
2.1. Cấu trúc cơ khí tổng quan .....	10
2.2. Thiết kế các part của cánh tay robot .....	11
2.3. Phân tích qua kết nối cơ học giữa các khớp .....	13
CHƯƠNG 3: TÍNH TOÁN ĐỘNG HỌC VÀ ĐỘNG LỰC HỌC .....	14
3.1. Nguyên tắc chung tính chọn hệ dẫn động .....	14
3.2. Tính toán phương trình động học, động lực học .....	14
3.2.1. Bài toán động học thuận .....	14
3.2.2. Bài toán động học nghịch .....	15
3.3. Phân tích lực do trọng trường tác dụng lên trục .....	16
3.4. Chọn động cơ .....	17
3.5. Phân tích dòng và áp lựa chọn nguồn .....	19
CHƯƠNG 4: THỬ NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ .....	22
4.1. Quá trình thử nghiệm .....	22
4.2. Đánh giá kết quả .....	24
4.3. Định hướng cải tiến .....	24
CHƯƠNG 5: KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN .....	25
5.1. Kết luận .....	25
5.2. Hướng phát triển .....	25
5.3. Lời kết .....	26

## TÓM TẮT

Đề tài "Thiết kế và Chế tạo Cánh Tay Robot 5 Bậc Tự Do Gấp Vật" tập trung vào việc thiết kế, mô phỏng và xây dựng một hệ thống tay máy mô phỏng cấu trúc cánh tay người, có khả năng thực hiện các thao tác cơ bản như gấp, xoay và thả vật thể. Tay máy được thiết kế với 5 bậc tự do, bao gồm các khớp quay ở đế, vai, khuỷu tay, cổ tay và bộ gấp (end-effector). Hệ thống được thiết kế và mô phỏng bằng phần mềm SolidWorks, sau đó chế tạo bằng công nghệ in 3D nhằm đảm bảo tính khả thi và dễ lắp ráp.

Tay máy sử dụng động cơ servo để điều khiển từng khớp, kết hợp với vi điều khiển Arduino để lập trình điều khiển chuyển động. Đề tài tập trung vào việc tối ưu cấu trúc cơ khí, đánh giá khả năng hoạt động của từng khớp, và thử nghiệm thực tế chức năng gấp vật. Ngoài ra, cánh tay robot có khả năng tích hợp vào các nền tảng điều khiển cao hơn như ROS để phát triển ứng dụng trong lĩnh vực tự động hóa, giáo dục và sản xuất thông minh.

Mục tiêu của đề tài là tạo ra một hệ thống tay máy chi phí thấp, dễ chế tạo và có khả năng hoạt động linh hoạt, phù hợp với các ứng dụng thực tế như phân loại, lắp ráp đơn giản và các bài học điều khiển robot trong môi trường học thuật.

## LỜI CẢM ƠN

Lời đầu tiên, em xin được gửi lời cảm ơn chân thành và sâu sắc nhất đến thầy Đặng Anh Việt, người hướng dẫn đã tận tình hỗ trợ, định hướng và đóng góp những ý kiến quý báu trong suốt quá trình nhóm em thực hiện đề tài. Sự nhiệt tình, kiến thức chuyên môn sâu rộng cùng những lời khuyên thiết thực của các thầy đã giúp nhóm em vượt qua nhiều khó khăn, hoàn thiện đề tài một cách tốt nhất.

Bên cạnh đó, em cũng xin bày tỏ lòng biết ơn đến nhà trường, các thầy cô trong khoa và những người bạn đồng hành đã tạo điều kiện thuận lợi, chia sẻ kiến thức và động viên nhóm em trong suốt quá trình nghiên cứu.

Một lần nữa, em xin trân trọng cảm ơn tất cả những sự hỗ trợ và đồng hành quý giá đã góp phần làm nên thành công của đề tài này!

# CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU VỀ ĐỀ TÀI VÀ TỔNG QUAN LÝ THUYẾT

## 1.1. Giới thiệu đề tài

### 1.1.1. Lý do chọn đề tài

Trong thời đại công nghiệp 4.0, việc ứng dụng robot vào các quy trình sản xuất và đời sống ngày càng trở nên phổ biến. Cánh tay robot là một thành phần không thể thiếu trong dây chuyền sản xuất tự động, đặc biệt là trong các ngành như điện tử, cơ khí chính xác, và lắp ráp linh kiện. Việc thiết kế một cánh tay robot có khả năng gấp vật không những giúp sinh viên nắm bắt kiến thức chuyên môn mà còn làm chủ công nghệ điều khiển, cơ cấu chấp hành và tích hợp hệ thống.



*Ứng dụng tay máy robot trong đời sống*

Bên cạnh đó, mô hình cánh tay robot 5 bậc tự do (DOF - Degrees of Freedom) là một bài toán vừa đủ phức tạp để nghiên cứu các vấn đề như động học, điều khiển, lập trình nhúng và mô phỏng. Chính vì vậy, đề tài này mang tính thực tiễn cao, đồng thời giúp người thực hiện rèn luyện kỹ năng tích hợp kiến thức đa ngành: cơ khí, điện - điện tử và lập trình.

### 1.1.2. Mục tiêu nghiên cứu

- Thiết kế và mô phỏng một mô hình cánh tay robot có 5 bậc tự do.
- Tìm hiểu nguyên lý hoạt động và động học của tay máy.
- Lựa chọn động cơ phù hợp với từng khớp của cánh tay.
- Lập trình điều khiển tay robot bằng vi điều khiển (Arduino).
- Ứng dụng robot để thực hiện thao tác gấp và di chuyển vật thể trong không gian làm việc.

### 1.1.3. Phạm vi và giới hạn

- Phạm vi:

- + Thiết kế cơ cấu cánh tay robot 5DOF bằng phần mềm Solidworks.
- + Sử dụng servo hoặc stepper motor điều khiển từng khớp.
- + Lập trình điều khiển tay máy thực hiện các thao tác gấp, di chuyển và thả vật thể.
- Giới hạn:
  - + Chỉ điều khiển tay máy gấp vật có khối lượng nhẹ, đơn giản.
  - + Không thực hiện các thao tác phức tạp yêu cầu xử lý hình ảnh nâng cao.
  - + Không có cảm biến lực hoặc phản hồi lực từ môi trường.
  - + Không tích hợp AI hoặc học máy trong điều khiển.

#### **1.1.4. Phương pháp nghiên cứu**

- Nghiên cứu lý thuyết liên quan đến cấu tạo, hoạt động và điều khiển tay máy.
- Tham khảo các mô hình tay robot có sẵn để phân tích thiết kế và lựa chọn phương án tối ưu.
- Thiết kế cơ khí bằng phần mềm Solidworks.
- Tính toán động học thuận và nghịch, momen kích thước của từng khớp tay máy để lựa chọn động cơ.
- Lập trình điều khiển bằng Arduino.
- Thử nghiệm và đánh giá để hiệu chỉnh phần cứng và phần mềm.

### **1.2. Tổng quan lý thuyết**

#### **1.2.1. Khái niệm tay máy công nghiệp**



*Tay máy robot trong công nghiệp*

Tay máy công nghiệp là một thiết bị cơ điện tử có khả năng thực hiện các chuyển động mô phỏng cánh tay con người. Tay máy thường được trang bị các khớp quay hoặc trượt, cho phép di chuyển và định vị chính xác đầu gấp hoặc công cụ ở các vị trí khác

nhau trong không gian. Các tay máy công nghiệp có thể hoạt động tự động, được điều khiển theo chương trình để thực hiện các thao tác như hàn, lắp ráp, sơn, và gấp - đặt vật thể.

### 1.2.2. Phân loại tay máy theo bậc tự do

Bậc tự do (DOF) là số chuyển động độc lập mà tay máy có thể thực hiện. Mỗi khớp quay hoặc khớp tịnh tiến tương ứng với một bậc tự do.

Tay máy được phân loại như sau:

- 2-3 DOF: Chỉ thực hiện chuyển động cơ bản, giới hạn vùng làm việc.
- 4-5 DOF: Đủ khả năng thực hiện các thao tác gấp và định vị vật thể với độ chính xác cao.
- 6 DOF trở lên: Có thể thao tác trong không gian 3D phức tạp, mô phỏng chính xác chuyển động tay người.

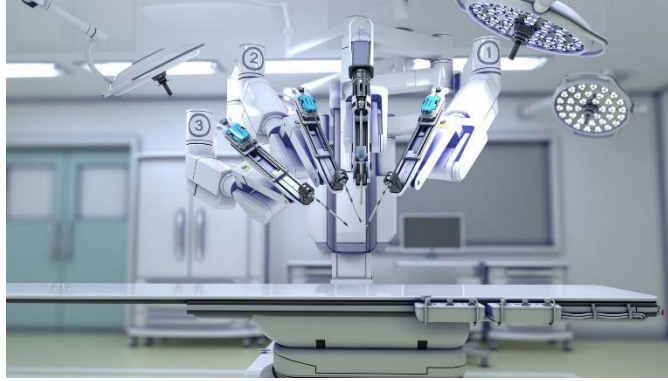
### 1.2.3. Ứng dụng tay máy trong thực tiễn

- Ngành sản xuất: Hàn, sơn, lắp ráp, kiểm tra chất lượng sản phẩm



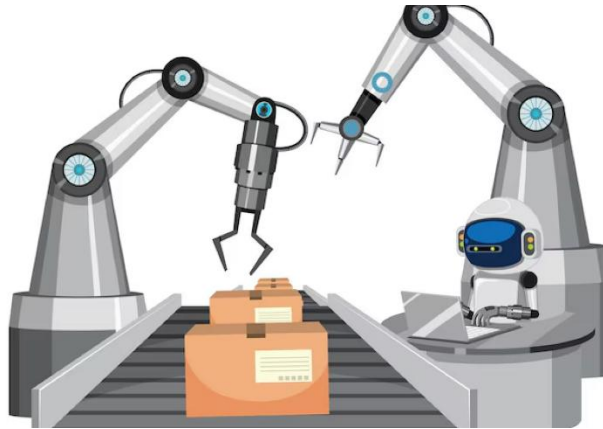
*Dây chuyền tay máy trong lắp ráp*

- Y tế: Phẫu thuật từ xa, hỗ trợ phục hồi chức năng.



*Tay máy phẫu thuật trong y tế*


- Dịch vụ: Tay robot phục vụ quán cà phê, nhà hàng, lấy hàng kho tự động.



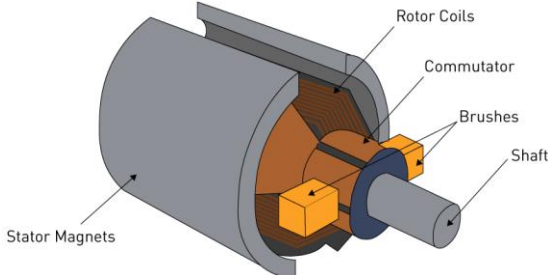

*Tay máy vận chuyển hàng hoá*

- Giáo dục: Mô hình đào tạo kỹ thuật điều khiển, lập trình và tự động hóa.

#### 1.2.4. Các loại động cơ thường được sử dụng cho tay máy robot

Loại servo	Ưu điểm	Nhược điểm
 <p>Servo motor</p>	<p>Điều khiển vị trí chính xác</p> <p>Có phản hồi encoder</p> <p>Nhỏ gọn, dễ lắp đặt</p>	<p>Giá thành cao hơn DC motor</p> <p>Mô-men xoắn hạn chế tùy loại</p>



 <p>DC motor</p>	<p>           Dễ điều khiển            Giá rẻ            Dùng cho chuyển            động liên tục         </p>	<p>           Không chính xác            nếu không có            encoder            Cần mạch điều            tốc riêng         </p>
 <p>Stepper motor</p>	<p>           Điều khiển dễ            bằng xung tín            hiệu            Chi phí thấp            Độ phân giải cao         </p>	<p>           Không có phản            hồi vị trí            Dễ mất bước khi            tải nặng         </p>

=> Tùy vào yêu cầu cụ thể của từng khớp, có thể kết hợp và lựa chọn động cơ trong cùng một tay máy.

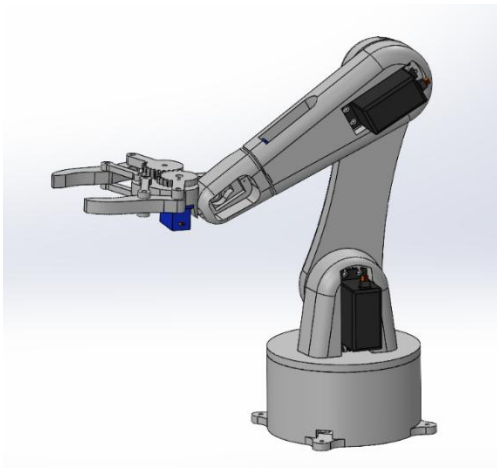
## CHƯƠNG 2: THIẾT KẾ CƠ KHÍ VÀ PHÂN TÍCH TRUYỀN ĐỘNG

### 2.1. Cấu trúc cơ khí tổng quan

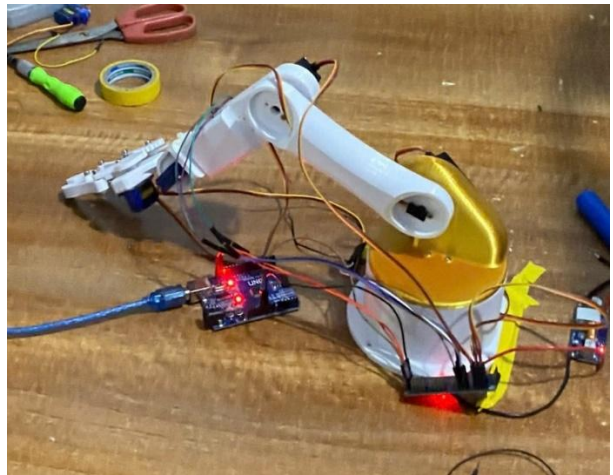
Cánh tay robot được thiết kế mô phỏng theo cấu trúc cánh tay người với các khớp nối chuyển động linh hoạt. Tổng thể tay máy bao gồm 5 bậc tự do, chia thành các phần: đế quay, khớp vai, khớp khuỷu tay, khớp cổ tay, xoay đầu gắp và bộ phận gắp vật (end-effector).

Cấu trúc được thiết kế bằng phần mềm SolidWorks với các khối chính được lắp ghép từ nhiều part rời, cho phép dễ dàng bảo trì và mở rộng chức năng. Tay máy gồm các phần chính:

- Đế quay.
- Khớp vai (shoulder joint).
- Khớp khuỷu tay (elbow joint).
- Khớp cổ tay (wrist joint).
- Cơ cấu xoay đầu gắp.
- Bộ phận gắp (Gripper).



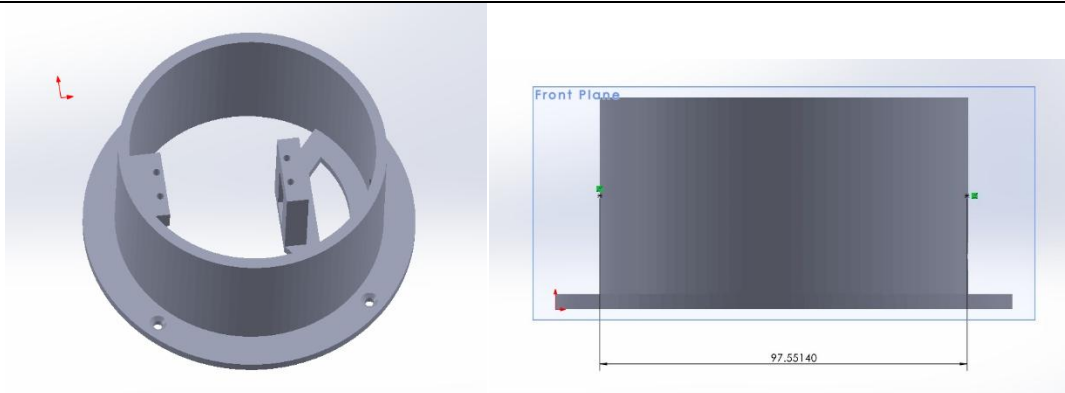
*Cấu trúc tổng thể của cánh tay robot trên phần mềm Solidworks.*



*Cấu trúc tổng thể của cánh tay robot sau khi sửa và in 3D lại*

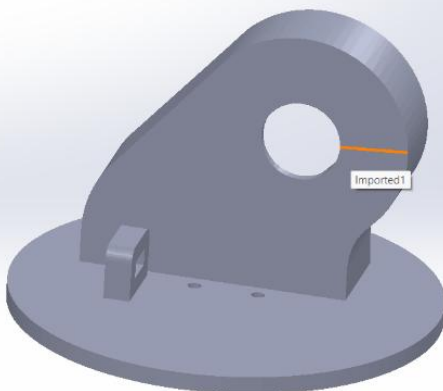
## 2.2. Thiết kế các part của cánh tay robot

### Đế quay



Là phần chân đế cố định, xoay toàn bộ cánh tay theo trục Z.

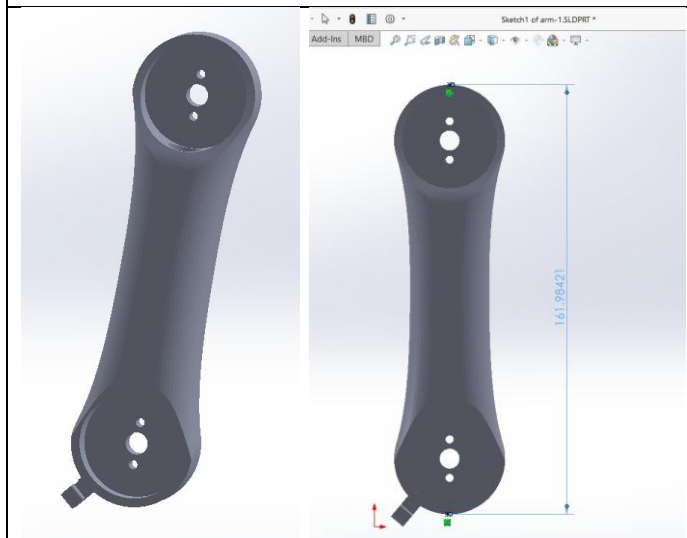
### Khớp vai (shoulder joint)



Gập / nâng phần cánh tay trên, tạo chuyển động lên xuống chính của tay máy

Đây là khớp chịu tải lớn nhất, cần động cơ công suất lớn nhất

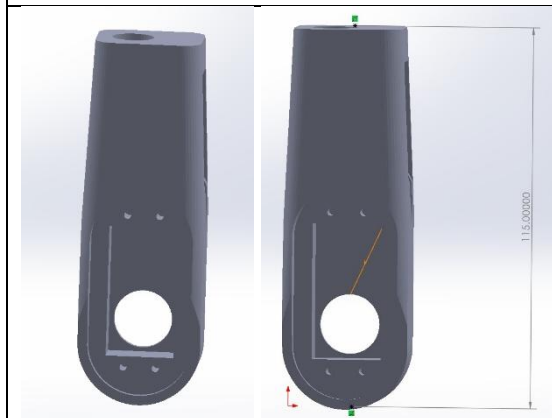
### Khớp khuỷu tay (Elbow)



Điều chỉnh độ dài cánh tay, giúp mở rộng hay thu ngắn tầm với của tay máy.

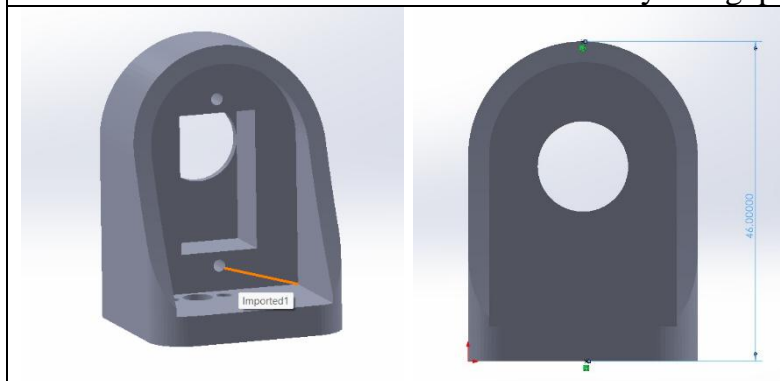
Kết nối trực tiếp cánh tay trên và dưới bằng trục xoay.

### Cổ tay (Wrist joint)

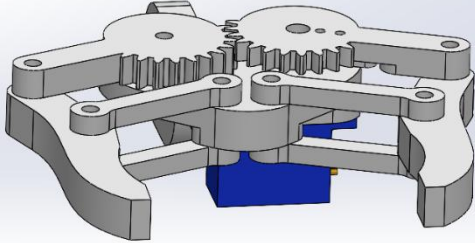


Điều chỉnh góc gấp và độ nghiêng

### Cơ cấu xoay đầu gấp



Cho phép đầu gấp quay linh hoạt mà không cần xoay cả tay máy.

End-effector	
	<p>Dùng để gấp và thả vật thể Được sử dụng bởi 1 servo riêng, đóng vai trò như công cụ đầu cuối.</p>

### 2.3. Phân tích qua kết nối cơ học giữa các khớp

Hệ thống tay máy được thiết kế theo dạng robot nối tiếp (serial manipulator), trong đó các khớp được kết nối lần lượt từ đế đến end-effector. Mỗi khớp đảm nhận một bậc tự do (DOF), tạo nên khả năng linh hoạt trong việc điều hướng và thao tác trong không gian ba chiều.

- Cấu trúc liên kết cơ học:

Khớp nối giữa các part sử dụng kết cấu vít, trục quay để đảm bảo sự chắc chắn và độ chính xác khi hoạt động.

Mỗi khớp quay được điều khiển bởi một động cơ, gắn cố định vào một part và truyền truyền động quay cho part kế tiếp.

Kết cấu dễ tháo lắp, sửa chữa và thay thế linh kiện.

- Phân bố tải trọng:

Tải trọng gấp và đầu cánh tay được truyền ngược về phần đế, vì vậy các khớp thấp hơn (đặc biệt là khớp vai và đế) chịu tải lớn hơn so với các khớp trên.

Các động cơ ở khớp dưới cần có mô-men xoắn lớn hơn để đảm bảo nâng được toàn bộ trọng lượng các phần phía trên và vật thể được gấp.

Vật liệu và phương pháp kết nối.

Các part được in 3D, đảm bảo trọng lượng nhẹ và đủ độ bền cho mô hình thử nghiệm.

Ta có ma trận đặc trưng của các khâu như sau:

$$A_1^0 = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & s_1 & 0 \\ s_1 & 0 & -c_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 58 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; A_2^1 = \begin{bmatrix} c_2 & -s_2 & 0 & 160c_2 \\ s_2 & c_2 & 0 & 160s_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; A_3^2 = \begin{bmatrix} c_3 & 0 & -s_3 & 115c_3 \\ s_3 & 0 & c_3 & 115s_3 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_4^3 = \begin{bmatrix} c_4 & 0 & -s_4 & 0 \\ s_4 & 0 & c_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 46 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; A_5^4 = \begin{bmatrix} c_5 & -s_5 & 0 & 0 \\ s_5 & c_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ma trận chuyển vị như sau:

$$T_6^0 = A_1^0 A_2^1 A_3^2 A_4^3 A_5^4 A_6^5 = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & p_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & p_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Trong đó:

$$r_{11} = s_5(c_1 c_2 s_3 + c_1 c_3 s_2) - c_5(s_1 s_4 - c_4(c_1 c_2 c_3 - c_1 s_2 s_3))$$

$$r_{12} = c_5(c_1 c_2 s_3 + c_1 c_3 s_2) + s_5(s_1 s_4 - c_4(c_1 c_2 c_3 - c_1 s_2 s_3))$$

$$r_{13} = -c_4 s_1 - s_4(c_1 c_2 c_3 - c_1 s_2 s_3)$$

$$r_{21} = s_5(c_2 s_1 s_3 + c_3 s_1 s_2) + c_5(c_1 s_4 + c_4(c_2 c_3 s_1 - s_1 s_2 s_3))$$

$$r_{22} = c_5(c_2 s_1 s_3 + c_3 s_1 s_2) - s_5(c_1 s_4 + c_4(c_2 c_3 s_1 - s_1 s_2 s_3))$$

$$r_{23} = c_1 c_4 - s_4(c_2 c_3 s_1 - s_1 s_2 s_3)$$

$$r_{31} = c_4 c_5(c_2 s_3 + c_3 s_2) - s_5(c_2 c_3 - s_2 s_3)$$

$$r_{32} = -c_5(c_2 c_3 - s_2 s_3) - c_4 s_5(c_2 s_3 + c_3 s_2)$$

$$r_{33} = -s_4(c_2 s_3 + c_3 s_2)$$

$$p_x = -c_1(46 c_2 s_3 - 115 c_2 c_3 - 160 c_2 + 46 c_3 s_2 + 115 s_2 s_3)$$

$$p_y = -s_1(46 c_2 s_3 - 115 c_2 c_3 - 160 c_2 + 46 c_3 s_2 + 115 s_2 s_3)$$

$$p_z = 160 s_2 + 46 c_2 c_3 + 115 c_2 s_3 + 115 c_3 s_2 - 46 s_2 s_3 + 58$$

Ma trận 3x3 là ma trận hướng của EF còn ma trận 3x1 là ma trận vị trí.

### 3.2.2. Bài toán động học nghịch

$$A_1^{-1} = \begin{bmatrix} c_1 & s_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -58 \\ s_1 & c_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; A_2^{-1} = \begin{bmatrix} c_2 & s_2 & 0 & -160 \\ -s_2 & c_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3^{-1} = \begin{bmatrix} c_3 & s_3 & 0 & -115 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ -s_3 & c_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_4^{-1} = \begin{bmatrix} c_4 & s_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -46 \\ -s_4 & c_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; A_5^{-1} = \begin{bmatrix} c_5 & s_5 & 0 & -160 \\ -s_5 & c_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Giả sử ta đã có vị trí và hướng cho trước ta sẽ tìm ngược lại các góc quay của khâu. Ta có:

$$A_1^{-1} \cdot \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & p_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & p_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = A_1^{-1} \cdot A_1^0 A_2^1 A_3^2 A_4^3 A_5^4 A_6^5$$

Tới đây ta tiến hành đồng nhất hệ số hai ma trận thu được và làm tương tự bằng cách nhân ma trận vị trí hướng lần lượt với các ma trận nghịch đảo trên và đồng nhất hệ số ta sẽ được hệ phương trình với biến là các góc. Giải hệ phương trình ta thu được bài toán động học nghịch.

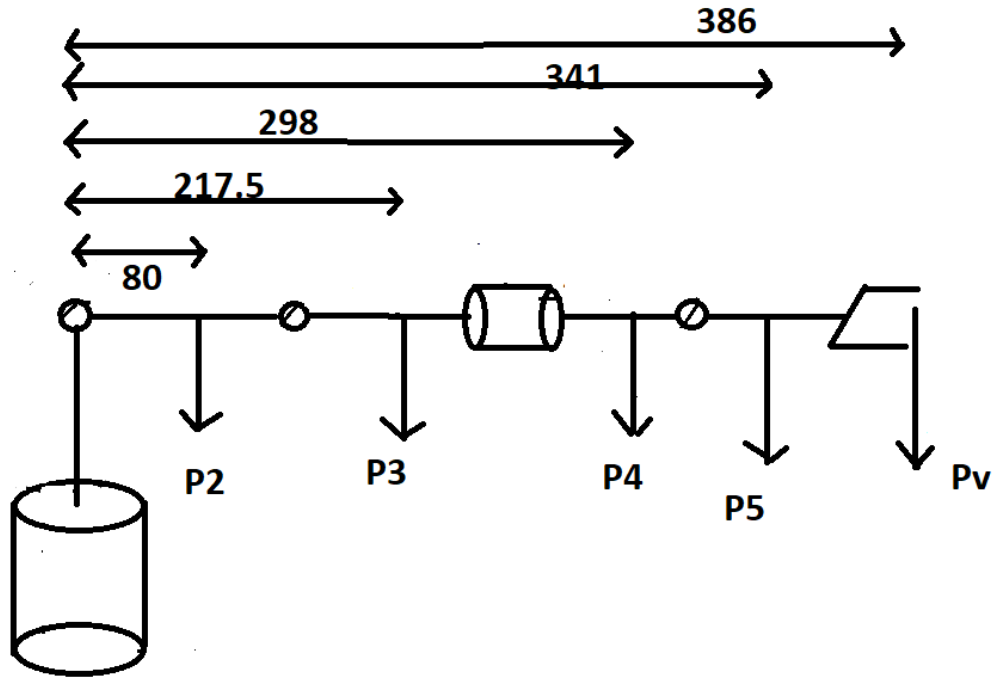
### 3.3. Phân tích lực do trọng trường tác dụng lên trục

STT	Tên chi tiết	Vật liệu	Khối lượng (grams)	Chú thích
1	base	Nhựa pla	96	Servo mg996
2	waist	Nhựa pla	68	Servo mg996
3	arm-1	Nhựa pla	64.37	
4	arm-2	Nhựa pla	50.25	Servo mg996
5	arm-3	Nhựa pla	16.5	Servo sg90
6	fripper-base	Nhựa pla	15.72	Servo sg90
7	gripper	Nhựa pla	45.24	Servo sg90
8	Servo mg996		55	
9	Servo sg90		9	

*Bảng khối lượng sơ bộ các khâu*

Chọn vị trí nguy hiểm nhất chính là khi các khâu duỗi thẳng ở vị trí nằm ngang, lúc này momen tĩnh do trọng trường gây ra lớn nhất.





Sơ đồ lực đặt vào đầu ra trục ở trạng thái giữ

Trong đó:

$P_2, P_3, P_4, P_5$  là trọng lượng lần lượt các khâu tương ứng.  $P_v$  là trọng lượng vật nâng

$$P_2 = m_2 g = \frac{(96 + 68 + 64.37 + 55)}{1000} \cdot 9.8 = 2.7N$$

$$P_3 = m_3 g = \frac{(50.25 + 55 + 9)}{1000} \cdot 9.8 = 1.1N$$

$$P_4 = m_4 g = \frac{(16.5 + 15.72 + 9)}{1000} \cdot 9.8 = 0.4N$$

$$P_5 = m_5 g = \frac{(45.24 + 50)}{1000} \cdot 9.8 = 0.9N$$

$$P_v = m_v g = \frac{50}{1000} \cdot 9.8 = 0.48N$$

### 3.4. Chọn động cơ

Tính momen tĩnh tác dụng lên trục 2

- Tổng momen tĩnh do trọng lực gây ra trên trục nằm ngang

$$M_T = P_2 \cdot 0.08 + P_3 \cdot 0.217 + P_4 \cdot 0.298 + P_5 \cdot 0.341 + P_v \cdot 0.386 = 1.06Nm$$

Ngoài ra khi làm việc từ trạng thái ban đầu là đứng yên, lực quán tính sinh ra kết hợp với tải trọng tĩnh sẽ gây ra lực cản lớn nhất đặt lên trục.

Tính momen cản do quán tính của các bộ phận chuyển động

- Ta xem các khâu là các thanh thẳng và vật nặng là chất điểm
- Momen quán tính các khâu đối với trục:

$$I_2 = \frac{1}{3}mL^2 = \frac{1}{3} \cdot 0.16^2 \cdot 0.338 = 0.002Nm^2$$

$$I_3 = \frac{1}{12}mL^2 + md^2 = \frac{1}{12} \cdot \frac{50.25+55+9}{1000} \cdot \left(\frac{0.217}{2}\right)^2 + \frac{50.25+55+9}{1000} \cdot 0.217^2 = 5.5 \cdot 10^{-3}Nm^2$$

(định lý dời trục Steiner-Huygens)

$$I_4 = 0.004Nm^2$$

$$I_5 = 0.011Nm^2$$

- Cho động cơ đạt yêu cầu có thể tăng tốc từ 0-600v/ph trong 1s ta có gia tốc góc cần đạt:  $\frac{600\pi}{60 \cdot 1 \cdot 180} = 0.17 rad/s^2$
- Momen sinh ra do quán tính:

$$M_{qt} = (I_2 + I_3 + I_4 + I_5) \cdot 0.17 = 3.825 \cdot 10^{-3}Nm$$

- Momen cản trên trục

$$M_c = M_T + M_{qt} = 1.063Nm = 1063Nmm$$

$$\text{Suy ra momen yêu cầu trên trục động cơ } M_{dcyc} = 1063Nmm = 10.83 kgcm$$

Ta chọn servo MG996R với momen tối đa 11kgcm có thể tải đủ

Với tính toán tương tự ta cũng tính chọn được động cơ các khâu tiếp theo



Khâu thứ 3:  $M_{c3} = 0.898Nm = 898Nmm$  có thể chọn động cơ MG996R

Khâu thứ 4:  $M_{c4} = \frac{16.5}{1000} \cdot P_4 = 8.085 \cdot 10^{-3}Nm = 8.085Nmm$  chọn động cơ SG90

Khâu thứ 5:  $M_{c5} = \frac{15.72}{1000} \cdot P_5 = 0.0146Nm = 14.66Nmm$  chọn động cơ SG90

Tay gấp:  $M_{c6} = \frac{45.24}{1000} \cdot P_v = 0.022Nm = 22.21Nmm$  chọn động cơ SG90

Thông số kỹ thuật như sau:

<p>Điện áp hoạt động thường là + 5V  Hiện tại: 2.5A (6V)  Mô-men xoắn gian hàng: 9,4 kg / cm (ở 4,8V)  Mô-men xoắn cực đại của gian hàng: 11 kg / cm (6V)  Tốc độ hoạt động là 0,17 s / 60 ° Loại bánh răng: Kim loại  Xoay: 0 ° -180 °  Trọng lượng của động cơ: 55gm</p>	 <p><i>Động cơ servo MG996R</i></p>
<p>Khối lượng: 9g  Kích thước: 22.2x11.8.32 mm  Momen xoắn: 1.8kg/cm  Tốc độ hoạt động: 60 độ trong 0.1 giây  Điện áp hoạt động: 4.8V(~5V)  Nhiệt độ hoạt động: 0°C – 55 °C</p>	 <p><i>Động cơ servo SG90</i></p>

### 3.5. Phân tích dòng và áp lựa chọn nguồn

Loại Servo	Điện áp hoạt động	Dòng không tải	Dòng khi tải	Dòng tối đa
MG996R	4.8-7.2V	200mA	500mA	2.5A
SG90	4.8-6V	100mA	250mA	600-800mA

*Bảng phân tích dòng áp của hai loại servo*

Tổng dòng thực tế của 6 servo = 2.25A

=> Không thể sử dụng nguồn Arduino vì arduino uno R3 chỉ có thể cấp tối đa 1A.

Sử dụng 2 pin 18650 3.7V và mạch hạ áp

Linh kiện sử dụng	Thông số kỹ thuật
-------------------	-------------------

 <p>Pin 3.7 V</p>	<p>Điện áp: 3.7V</p> <p>Điện áp đầy(max): 4.2V</p> <p>Điện áp cạn (min): 2.5V</p> <p>Dung lượng: 2000-3500 mAh</p> <p>Trọng lượng: 45-50g</p> <p>Chu kỳ sạc-xả: 300-500 lần</p>
 <p>Mạch hạ áp</p>	<p>Điện áp đầu vào: 3.2-40V DC</p> <p>Điện áp đầu ra: 1.25-35V DC</p> <p>Dòng đầu ra: 2A ổn định</p> <p>Hiệu suất chuyển đổi: 92%</p> <p>Tần số chuyển mạch 150kHz</p> <p>Có bảo vệ quá dòng</p>

Tổng điện áp đầu vào khi mắc nối tiếp là 7.4V

Điện áp đầu ra sau khi dùng hạ áp là 5V

Ước tính dòng tiêu thụ:

Loại servo	Số lượng	Dòng cực đại	Dòng ước tính hoạt động
MG996R	3	2.5A	1.5A
SG90	3	0.8A	0.4A
Tổng cộng	6	9.9A khi cực đại	2.5-3A trung bình

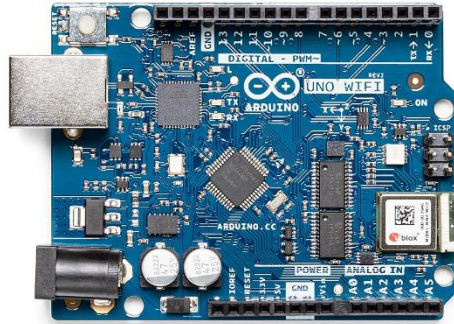
=> Dòng xả ngắn hạn của 2 viên pin 18650 khi sạc đầy lên tới 12-15A, đáp ứng tốt về cả dòng trung bình lẫn xung

Sử dụng nguồn pin 7.4V và mạch hạ áp cố định 5V vì

- Có thể cấp riêng cho servo -> tránh sụt áp Arduino
- Đáp ứng đầy đủ dòng và áp yêu cầu
- Giải pháp di động, dễ thay pin

Vì điều khiển: Arduino uno

- Có tác dụng điều khiển các lệnh logic, gửi tín hiệu PWM đến driver

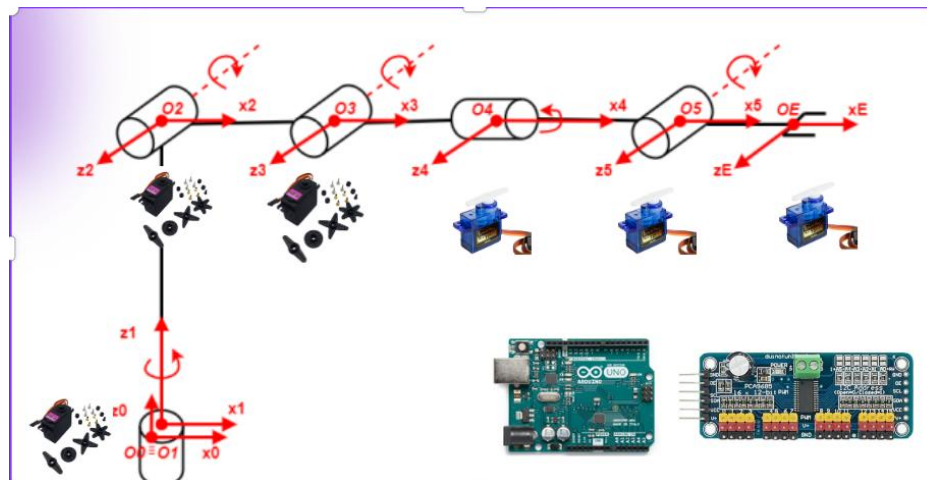


Driver điều khiển: PCA9685 16-channel PWM

- Mạch 16 xung sử dụng giao tiếp I2C để điều khiển nhiều servo cùng một lúc



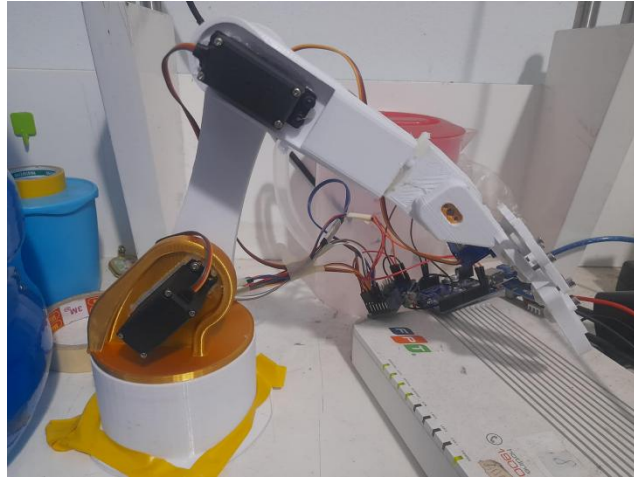
Sơ đồ kết nối phần cứng



*Sơ đồ nối phần cứng của mạch*

## CHƯƠNG 4: THỬ NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

Sau khi lựa chọn động cơ, nhóm tiến hành lắp ráp cơ khí



*Sản phẩm sau khi lắp ráp*

### 4.1. Quá trình thử nghiệm

Kiểm tra cơ khí: Xoay và kiểm tra thủ công từng khớp để đảm bảo không bị kẹt, không lệch trục và hoạt động mượt mà

Cấp nguồn và kiểm tra từng khớp servo: Sử dụng vi điều khiển Arduino Uno kết hợp với thư viện điều khiển servo để điều khiển từng khớp riêng lẻ

[video từng khớp](#)

Sau khi thử nghiệm quay từng góc khớp ta có nhận xét như sau:

- Khớp đế xoay: Quay tự do linh hoạt, không nhất thiết phải quay về góc 0, không bị giới hạn góc quay
- Khớp vai: Chịu tải nặng nhất, hầu như toàn bộ cánh tay đòn. Servo khi quay có xu hướng đi xuống => Góc quay bị giới hạn chỉ gập xuống tối đa 40 độ
- Khớp khuỷu tay: Servo khi quay có xu hướng đi xuống => Góc quay cũng bị giới hạn gập xuống tối đa 40 độ
- Khớp cơ cấu xoay EF: Servo có xu hướng đi lên => Góc quay không bị giới hạn có thể quay từ 0-180 độ tuy nhiên mục tiêu gấp vật ở dưới => Góc quay < 30 độ
- Khớp EF: Servo quay góc nhỏ < 20 độ để có thể gấp chặt vật có khối lượng nhỏ

KHỚP	ĐÁNH GIÁ CHUYÊN ĐỘNG	GIỚI HẠN GÓC QUAY	GHI CHÚ
Khớp đế	Quay tự do, linh hoạt	Không giới hạn	Do không chịu tải trực tiếp
Khớp vai	Chịu tải toàn bộ tay đòn, quay xuống bị giới hạn	Quay tối đa 40 độ	Tải trọng lớn, servo cần mạnh
Khớp khuỷu tay	Tương tự khớp vai, bị hạn chế khi quay xuống	Quay tối đa 40 độ	Momen lớn gây trễ
Khớp xoay EF	Quay mượt ít bị tải, xu hướng quay lên	0-180 độ	Thường dùng góc <30 độ do vị trí gấp ở dưới
Bộ phận EF	Quay góc nhỏ để kẹp vật chắc	0-40 độ	Đủ để gấp vật nhẹ

Với các thiết lập góc quay nhỏ và cố định thuận lợi cho điều khiển đơn giản nhưng có những hạn chế.

- Giới hạn góc quay thực tế nhỏ hơn lý thuyết
- Không phù hợp gấp vật quá cao hoặc quá nặng

Sau khi kiểm tra các khớp đều hoạt động, viết chương trình điều khiển tay máy gấp vật

```

1 #include <Wire.h>
2 #include <Adafruit_PWMServoDriver.h>
3 Adafruit_PWMServoDriver pwm = Adafruit_PWMServoDriver();
4 // Cấu hình giới hạn xung cho servo MG996R
5 #define SERVOMIN 100 // Xung tương ứng 0 độ
6 #define SERVOMAX 500 // Xung tương ứng 180 độ
7 // Gán chân theo mô tả
8 #define BASE_SERVO 0 // Khớp đế (1)
9 #define SHOULDER_SERVO 1 // Khớp vai (2)
10 #define ELBOW_SERVO 2 // Khớp khuỷu (3)
11 // Servo số 3 không dùng
12 #define WRIST_SERVO 4 // Khớp cổ (5)
13 #define GRIPPER_SERVO 5 // Tay kẹp (6)
14 int angleToPulse(int angle) {
15     return map(angle, 0, 180, SERVOMIN, SERVOMAX);
16 }
17 void moveServoSmooth(int channel, int fromDeg, int toDeg, int delayTime = 30) {
18     if (fromDeg < toDeg) {
19         for (int angle = fromDeg; angle <= toDeg; angle++) {
20             pwm.setPWM(channel, 0, angleToPulse(angle));
21             delay(delayTime);
22         }
23     } else {
24         for (int angle = fromDeg; angle >= toDeg; angle--) {
25             pwm.setPWM(channel, 0, angleToPulse(angle));
26             delay(delayTime);
27         }
28     }
29 }

30 void setup() {
31     pwm.begin();
32     pwm.setPWMFreq(50); // Tần số PWM cho servo
33     delay(500);
34
35     // 1. Quay đế 0 -> 30 độ
36     moveServoSmooth(BASE_SERVO, 0, 30);
37     delay(1000);
38
39     // 2. Khớp vai (xuống) từ 0 -> 10 độ
40     moveServoSmooth(SHOULDER_SERVO, 0, 28);
41     delay(1000);
42
43     // 5. Tay kẹp mở ra từ 0 -> 30 độ
44     moveServoSmooth(GRIPPER_SERVO, 0, 30);
45     delay(1000);
46
47     // 6. Tay kẹp đóng lại từ 30 -> 0 độ
48     moveServoSmooth(GRIPPER_SERVO, 30, 0);
49     delay(1000);
50     // 9. Khớp vai về 0 độ
51     moveServoSmooth(SHOULDER_SERVO, 28, 0);
52     delay(1000);
53     // 4. Khớp cổ (lên) từ 0 -> 10 độ
54     moveServoSmooth(WRIST_SERVO, 0, 20);
55     delay(1000);
56
57     // 10. Khớp đế quay ngược từ 30 -> 0 độ
58     moveServoSmooth(BASE_SERVO, 30, 0);

```

## VIDEO KẾT QUẢ:

[video final](#)

=> Kết quả cho thấy tay máy hoạt động ổn định ở các chuyển động đơn giản, đặc biệt là có thể gấp vật nhẹ (nắp chai). Các khớp ổn định và không có hiện tượng rung lắc mạnh

### 4.2. Đánh giá kết quả

Ưu điểm:

- Thiết kế dễ lắp ráp, sửa chữa và nâng cấp
- Khả năng gấp vật chính xác trong phạm vi kích thước và tải trọng nhỏ
- Cơ cấu điều khiển đơn giản, phù hợp với sinh viên

Hạn chế:

Một số video hạn chế mà nhóm em gặp phải

[video hạn chế](#)

- Độ cứng kết cấu chưa cao do các part in 3D nên một số khớp có độ cong nhẹ hoặc rung khi vận hành
- Giới hạn góc quay
- Cần tối ưu dây điện hơn và quản lý dây

### 4.3. Định hướng cải tiến

Gia cố kết cấu cơ khí để tăng độ cứng và giảm rung

Tích hợp encoder và cảm biến góc để điều khiển chính xác

Tối ưu hệ thống dây và hộp điện để đảm bảo an toàn và tính thẩm mỹ khi hoạt động lâu dài.



## **CHƯƠNG 5: KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN**

### **5.1. Kết luận**

Sau khi quá trình nghiên cứu, thiết kế, lắp ráp và thử nghiệm, đề tài “Thiết kế cánh tay robot 5 bậc tự do để gấp vật” đã đạt được những kết quả chính sau:

Gia công, lắp ráp tay máy thực tế bằng phương pháp in 3D, giúp tiết kiệm chi phí và dễ dàng thử nghiệm.

Thực hiện điều khiển cơ bản các khớp của tay máy thông qua Arduino, với khả năng gấp và thả các vật nhỏ nhẹ.

Đánh giá hiệu năng ban đầu, xác định các ưu điểm và hạn chế để làm cơ sở cho việc cải tiến trong tương lai.

=> Tay máy hoạt động ổn định trong phạm vi tải trọng nhẹ, độ chính xác ở mức chấp nhận được, phù hợp với mô hình ứng dụng giáo dục và thử nghiệm cơ bản. Đây là nền tảng vững chắc để phát triển các ứng dụng cao hơn như tự động hóa dây chuyền nhỏ, robot học tập, hoặc tích hợp vào hệ thống robot thông minh.

### **5.2. Hướng phát triển**

Để nâng cao chất lượng và ứng dụng thực tiễn của tay máy, nhóm đề xuất một số hướng phát triển như sau:

- Tối ưu thiết kế cơ khí:
  - + Sử dụng vật liệu chắc chắn hơn để tăng độ bền.
  - + Thiết kế lại hình học các khớp để tránh va chạm và mở rộng góc hoạt động.
- Nâng cấp hệ truyền động:
  - + Tích hợp hộp số giảm tốc nhằm tăng mô-men xoắn cho các khớp chính.
- Phát triển điều khiển nâng cao:
  - + Tích hợp điều khiển bằng ROS để mô phỏng, lập trình đường đi và gán nhiệm vụ tự động.
  - + Thêm chức năng điều khiển qua giao diện GUI hoặc kết nối với camera để nhận dạng vật thể.
- Ứng dụng thực tế:

- + Làm robot gấp phân loại vật theo màu
- + Tích hợp băng chuyền và thực hiện thao tác lắp ráp đơn giản.
- + Ứng dụng trong các bài học lập trình và điều khiển robot.

### **5.3. Lời kết**

Đề tài không chỉ giúp nhóm hiểu sâu hơn về cấu trúc, nguyên lý hoạt động và điều khiển tay máy công nghiệp mà còn rèn luyện kỹ năng thực hành thiết kế, mô phỏng và chế tạo mô hình thực tế. Trong quá trình thực hiện, nhóm cũng gặp nhiều thách thức từ kỹ thuật in 3D, truyền động đến điều khiển, nhưng nhờ đó tích lũy được nhiều kinh nghiệm thực tế quý báu.

Đề tài còn nhiều tiềm năng để phát triển trong tương lai, đặc biệt nếu được kết hợp với các công nghệ mới như trí tuệ nhân tạo, thị giác máy và điều khiển phản hồi.