

PHENIKAA UNIVERSITY
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING AND
MECHATRONICS
PROJECT OF MECHATRONICS SYSTEM DESIGN



PHENIKAA
CHẾ TẠO CÁNH TAY ROBOT MINI 5DOF GẮP PHÔI
ĐIỀU KHIỂN QUA APP TRÊN ANDROID

SINH VIÊN:

NGUYỄN TIẾN MẠNH - 19010192

NGUYỄN VĂN QUÂN - 19010198

NGUYỄN MINH HIẾU - 19010188

GVHD: TS. NGUYỄN ĐỨC NAM

06/2023

PROJECT OF MECHATRONICS SYSTEM DESIGN REPORT

Team

NGUYỄN TIẾN MẠNH - 19010192

NGUYỄN VĂN QUÂN - 19010198

NGUYỄN MINH HIẾU - 19010188

Advisor

Nguyen Duc Nam, Ph.D.

Abstract – Tóm tắt nội dung

Cánh tay robot được ứng dụng rộng rãi trong rất nhiều mục đích khác nhau như xếp hàng, hàn cơ khí, gấp thả sản phẩm, kiểm tra chất lượng. Trong dự án này nhóm đề xuất một cánh tay robot mini có khả năng gấp được vật có kích thước nhỏ cùng với một số tùy chọn hoạt động từ bảng điều khiển. Cấu hình thiết kế đề xuất dưới dạng mô-đun và kích thước nhỏ gọn, sản phẩm hoàn thiện sẽ được dùng trong các môn học như môn vi điều khiển, môn robot công nghiệp hay có thể được dùng cho chương trình STEM, cấu trúc cơ học của tay máy được làm hoàn toàn bằng vật liệu nhựa in 3D, bo mạch sử dụng là Arduino uno, giao diện điều khiển từ app mobile trên hệ điều hành android, truyền thông kết nối là bluetooth. Sau khi thực hiện nhóm thu về một số kết quả tính toán bài toán động học thuật và ngược, những bảng so sánh các lựa chọn về linh kiện, vật liệu, phương pháp gia công và những thông tin cơ bản của từng liên liên hay thành phần được nêu. Trong quá trình thực hiện ban đầu số thành viên gồm có 3 người trong quá trình thực hiện bị giảm đi còn 2 thành viên, dẫn đến quá trình thực thi công việc gặp một số vấn đề, khiến cho kế hoạch không được thực hiện đúng theo dự định ban đầu.

Mục lục

1. Đặt vấn đề và xác định vấn đề	5
1.1. Đặt vấn đề	5
1.2. Xác định vấn đề	6
2. Khảo sát thông tin	7
2.1. Giải pháp/sản phẩm đang có trên thị trường	7
3. Mục tiêu	10
3.1. Mục tiêu tổng quát	10
4. Giải pháp đề xuất	10
4.1. Mô tả giải pháp/thiết kế	10
5. Phân tích tác động/ảnh hưởng	11
5.1. Tính khả thi về công nghệ	11
5.2. Tính khả thi về kinh tế	11
5.3. Tác động xã hội	11
5.4. Tác động về hoạt động	11
5.5. Tác động về môi trường	11
5.6. Tiêu chuẩn đạo đức	11
6. Kế hoạch thực hiện hàng tuần	12
6.1. Thành viên	12
6.2. Kế hoạch và tiến trình	12
7. Tiến trình dự án	13
7.1. Chủ đề 1: thiết kế chế tạo khung cơ khí	13
7.1.1. Mô hình hóa sản phẩm và bài toán động học thuận/ngược	13
7.1.2. Gia công chế tạo	17
7.1.3. Bài toán tĩnh học	18
7.1.4. Lựa chọn động cơ	20
7.1.5. So sánh vi điều khiển và PLC	22
7.1.6. Arduino	22
7.2. Giải pháp truyền thông	23
7.3. Giải pháp tương tác với người dùng	25
8. Kết quả và thảo luận	28
8.1. Kết quả	28
8.2. Thảo luận	29
9. Báo cáo về tài chính và kinh tế	30
10. Kết luận	30
11. Tiêu chuẩn	31
12. Tài liệu tham khảo	31
13. Phụ lục	31

Danh sách hình ảnh

Hình 1: Robot xếp hàng ở kho vận	6
Hình 2: Ứng dụng cánh tay robot trong sản xuất ô tô.....	6
Hình 3: Robot hỗ trợ giảng dạy	7
Hình 4: Ảnh minh họa cánh tay robot của hãng Adept	8
Hình 5: Ảnh minh họa cánh tay robot của hãng Hiwonder	9
Hình 6: sơ đồ mô tả các cụm thành phần.....	10
Hình 7: Bảng kế hoạch và tiến trình của nhóm đề tài.....	12
Hình 8: <i>Khung cơ khí của robot</i>	13
Hình 9: <i>Mô hình robot</i>	13
Hình 10: Phương pháp gia công bằng in 3D	18
Hình 11: Ảnh minh họa Arduino Uno R3	22
Hình 12: Đoạn code sử dụng thư viện softwaveSerial để kết nối với module HC05	25
Hình 13: Thiết kế giao diện trên app.....	26
Hình 14: Viết code cho app bằng cách kéo thả các khối	26
Hình 15: Mô tả khối kết nối bluetooth.....	27
Hình 16: Mô tả khối điều khiển 1 động cơ servo	27
Hình 17: Mô tả khối đảm nhiệm chức năng nút "SAVE"	2

Danh sách bảng

Bảng 1: Các thông số cánh tay robot Adept.....	9
Bảng 2: Các thông số cánh tay robot Hiwonder.....	10
Bảng 3: Bảng mô tả các cụm thành phần của sản phẩm.....	11
Bảng 4: Bảng D-H của cánh tay robot.....	15
Bảng 5: Bảng D-H mới của cánh tay robot.....	Lỗi! Thẻ đánh dấu không được xác định.

Không tìm thấy mục nhập nào của bảng hình minh họa. Bảng 7: Bảng thông số động cơ servo MG90S	22
Bảng 8: Bảng thông số động cơ servo MG995.....	22
Bảng 9: Bảng so sánh PLC và vi điều khiển.....	23
Bảng 10: Bảng các kết quả đạt được.....	29
Bảng 11: Bảng các danh mục đã chỉ tiêu.....	31

1. Đặt vấn đề và xác định vấn đề

1.1. Đặt vấn đề

Nhu cầu nâng cao năng suất và chất lượng sản phẩm ngày càng đòi hỏi ứng dụng rộng rãi các phương tiện tự động hóa sản xuất. Xu hướng tạo ra các dây chuyền về thiết bị tự động có tính linh hoạt cao đang hình thành. Các thiết bị này đang thay thế dần các máy tự động ‘cứng’ chỉ đáp ứng một việc nhất định trong khi thị trường luôn đòi hỏi thay đổi mặt hàng về chủng loại, về kích cỡ và về tính năng..v..v. Vì thế ngày càng tăng nhanh nhu cầu ứng dụng robot để tạo ra các hệ thống sản xuất tự động linh hoạt.

Chiếc robot công nghiệp được đưa vào ứng dụng đầu tiên, năm 1961, ở một nhà máy ô tô của General Motors tại Trenton, New Jersey Hoa Kỳ.

Từ khi thấy lợi ích của robot công nghiệp con người càng ngày cải tiến và phát triển robot, từ những năm 80, nhất là vào những năm 90, do áp dụng rộng rãi các tiến bộ kỹ thuật về vi xử lý và công nghệ thông tin, số lượng robot công nghiệp đã gia tăng, giá thành giảm đi rõ rệt, tính năng đã có nhiều bước tiến vượt bậc. Nhờ vậy robot công nghiệp đã có vị trí quan trọng trong các dây chuyền sản xuất hiện đại.

Ngày nay chuyên ngành khoa học về robot ‘robotics’ đã trở thành 1 lĩnh vực rộng trong khoa học, bao gồm các vấn đề cấu trúc cơ bản động học, lập trình quỹ đạo, cảm biến tín hiệu, điều khiển chuyển động..v.., trong đó có một lĩnh vực về phát triển tay máy robot.

Tay máy robot công nghiệp có khả năng linh hoạt cao, thiết bị này được ứng dụng vào nhiều lĩnh vực khác nhau, trong sản xuất: hàn, sơn, lắp ráp các bánh mỳ in, dán nhãn, hỗ trợ xử lý vật liệu, kiểm tra sản phẩm và thử nghiệm, ... ngoài những việc đó ra thì tay máy robot còn có thể được sử dụng trong các bài học về STEM, ứng dụng trong các môn học như: Kỹ thuật Robot, kỹ thuật điện tử, vi xử lý trong trường Đại học.

Trong đề tài học phần Đồ án Thiết kế Hệ thống Cơ điện tử, nhóm sinh viên tập trung chế tạo một tay máy robot mini 5DOF với mục đích gấp phơi có kích cỡ nhỏ điều khiển qua app viết trên hệ điều hành Android với một số tính năng cơ bản.

Tay máy Robot mini 5DOF được sử dụng trong môi trường nhà máy sản xuất bánh kẹo, gấp phơi dạng hình hộp/hình trụ tròn từ vị trí cố định và thả tới vị trí cố định khác với yêu cầu lật mặt phơi với vùng không gian nhỏ ($\leq 500\text{mm}$). Quỹ đạo di chuyển là đường thẳng, hoặc đường cong bậc nhỏ 4.



Hình 1: Robot xếp hàng trong kho vận

1.2. Xác định vấn đề

Những ứng dụng mà cánh tay robot có thể sử dụng:

Ứng dụng trong công nghiệp:

Lắp đặt vật liệu, hàn điểm và phun sơn.

Dùng trong những khu vực nguy hiểm

Dùng để bốc dỡ hàng hóa, vật liệu, phôi có trọng lượng lớn công kền trong các ngành công nghiệp nặng

Dùng để thực hiện các công việc thủ công, các công việc mang tính lắp đi lắp lại, nhiều thao tác đòi hỏi sự phối hợp tay nghề cao và sự lạnh lợi của đôi mắt gây nhầm chán với công nhân nhưng với robot luôn có thể giữ vững tiến độ và độ chính xác cao.



Hình 2: Ứng dụng cánh tay robot trong sản xuất ô tô

Ứng dụng trong giáo dục:

Robot được sử dụng làm các phương tiện hỗ trợ trong quá trình giảng dạy trong các trường trình học.

Robot được sử dụng kết hợp với ngôn ngữ LOGO để giảng dạy và nhận thức về máy tính.



Hình 3: robot hỗ trợ giảng dạy tại Đại học Phenikaa

2. Khảo sát thông tin

2.1. Giải pháp/sản phẩm đang có trên thị trường

Trên thế giới có một số hãng công nghệ đã phát triển các sản phẩm Robot mini có cấu hình tương tự và tính năng đặc biệt. Ví dụ như hãng Adept cung cấp cánh tay Robot 5 DOF với giá thành 69.99\$. Các tiêu điểm đáng nhắc tới của Cánh tay Robot Adept như sau:

- o Tương thích với arduino IDE
- o Dễ dàng lắp ráp với các hướng dẫn chi tiết và được cung cấp code sẵn có
- o Có các cách thức điều khiển khác nhau
- o Nhiều cách hoạt động: self-learning, action memory, drawing, imitating, ect
- o Pin không được trang bị sẵn và cần phải mua thêm pin (2x18650), cũng có thể dùng dây micro USB để tiếp năng lượng (điền hình máy tính hay thiết pin có nguồn tương tự)
- o Để hoạt động cần có thêm bộ điều khiển (Arduino IDE) – bạn cần mua thêm

Bảng 1: Các thông số cánh tay robot Adept

<i>Thông số</i>	<i>Giá trị</i>	<i>Miêu tả</i>
<i>Kích thước</i>	Chưa xác định	
<i>Khối lượng</i>	Chưa xác định	
<i>Bộ điều khiển</i>	Chưa có	
<i>Công dụng</i>	Gắp vật có kích thước nhỏ	
<i>Giá thành</i>	1.600.000	



Hình 4: ảnh minh họa cánh tay Robot của hãng Adept

Ngoài ra có cũng có một sản phẩm đáng chú ý Hiwonder ArmPi AI Vision Robotic Arm 5DOF Robot Arm

Các thông số Hiwonder ArmPi AI Vision Robotic Arm 5DOF Robot Arm:



Hình 5: Hiwonder ArmPi AI Vision Robotic Arm 5DOF Robot Arm

Bảng 2: Các thông số cánh tay robot Hiwonder

Kích thước	291x159x430 mm
Cân nặng	1.2 kg
Chất liệu	Khung kim loại
Độ phân giải camera	480p
Bậc tự do	5
Nguồn	7.5 V 6A DC
Phần cứng	For Raspberry Pi 4B and Raspberry Pi extension board
Phần mềm	PC VNC software + for iOS/Android mobile phone App
Thông số servo	single shaft/LX-15D/LX-225 intelligent bus servo
Hệ thống điều khiển	Máy tính, điện thoại thông qua app điều khiển

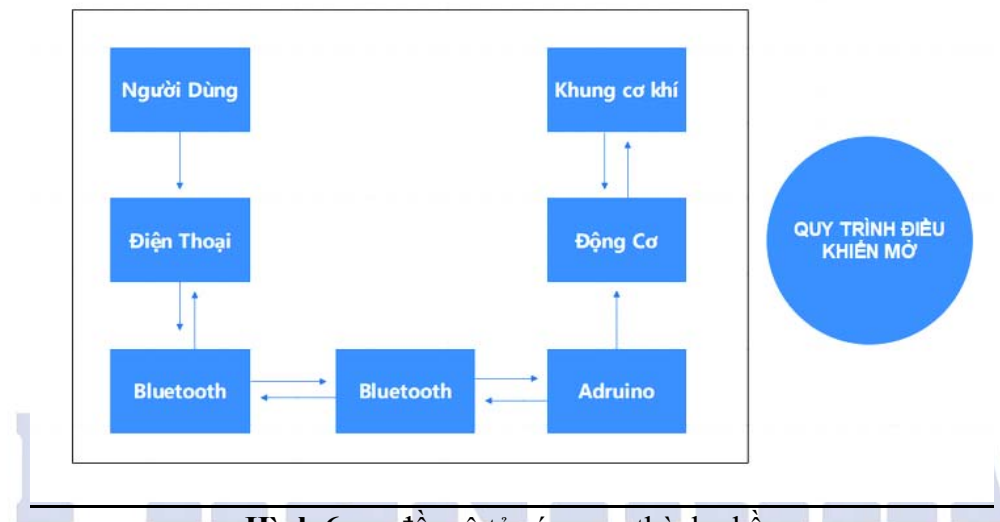
3. Mục tiêu

3.1. Mục tiêu tổng quát

- Áp dụng kiến thức của các học phần trong việc xây dựng giải pháp. Các học phần gồm có:
- Kỹ năng thực hành thiết kế cơ khí
- Kỹ năng gia công cơ khí
- Kỹ năng làm việc nhóm
- Kỹ năng tìm kiếm thông tin và chọn lọc thông tin về lĩnh vực nghiên cứu

4. Giải pháp đề xuất

4.1. Mô tả giải pháp/thiết kế



Hình 6: sơ đồ mô tả các cụm thành phần

Bảng 3: Bảng mô tả các cụm thành phần của sản phẩm

STT	Tên cụm	Chức năng
1	Khung cơ khí	Nâng đỡ và gá lắp thiết bị
2	Động cơ	Cung cấp mô-men
3	Vi điều khiển	Điều khiển hệ thống
4	Giao tiếp	Giải pháp giao tiếp, truyền tin
5	Điện thoại	Công cụ tương tác với người dùng

5. Phân tích các tác động/ảnh hưởng

5.1. Tính khả thi về công nghệ

Giảng viên hướng dẫn là TS. Nguyễn Đức Nam – có nhiều kinh nghiệm trong việc phát triển các sản phẩm cơ điện tử, tự động hóa. Nhóm đề tài có thể triển khai tại phòng lab Cơ điện tử ứng dụng (Applied Mechatronics Lab) với các dụng cụ, thiết bị đầy đủ để thực hiện đề tài.

5.2. Tính khả thi về kinh tế

Giải pháp nhóm đưa ra có yêu cầu về tài chính không cao (dưới 2,000,000VND) và hoàn toàn có tính khả thi về tài chính.

5.3. Tác động xã hội

Thiết kế sản phẩm là mô tả giải pháp vận chuyển hàng hóa trong nhà máy, từ đó nâng cao năng suất lao động, cải thiện hiệu quả.

Tác dụng của sản phẩm còn thể hiện ở khả năng ứng dụng đa dạng trong các lĩnh vực như đào tạo về công nghệ, học cụ, ... Sản phẩm có tác động quan trọng trong việc hình thành ý tưởng về cánh tay robot.

5.4. Tác động về hoạt động

5.5. Tác động về môi trường

Sản phẩm được chế tạo từ nhựa PLA được chế tạo từ bột sinh học như bột ngô. Do đó, sản phẩm hoàn toàn thân thiện với môi trường, có khả năng tự phân hủy sau một thời gian.

5.6. Tiêu chuẩn đạo đức

Đạo đức kỹ thuật là một phần quan trọng trong giáo dục kỹ thuật và cũng như trong các hoạt động nghề chuyên nghiệp khác. Để trở thành kỹ sư Cơ điện tử với kiến thức chuyên môn cũng như thỏa mãn tiêu chuẩn nghề nghiệp về đạo đức, nhóm đề tài đã tham khảo các tiêu chuẩn đạo đức theo Hiệp hội Kỹ sư Cơ khí Hoa Kỳ (The American Society of Mechanical Engineers). Theo đó, nhóm đề tài bước đầu thực hiện các quy trình cụ thể trong tiêu chuẩn đạo đức kỹ thuật như trích dẫn bài viết đầy đủ (Phần 13), quan tâm và có đánh giá tới các yếu tố tác động về kỹ thuật và kinh tế (mục 5.2), xã hội (mục 5.3), hoạt động khi vận hành (mục 5.4) và ảnh hưởng của sản phẩm tới môi trường (mục 5.5).

6. Kế hoạch thực hiện hàng tuần

6.1. Thành viên

STT	Tên thành viên	Lớp + MSSV	Nhiệm vụ (Ghi rõ Mục phụ trách)
1	Nguyễn Văn Quân	Kỹ thuật Cơ điện tử 19010198	1.1; 2.1; 7.1.1; 7.2.1; 7.2.2; 7.3;
2	Nguyễn Tiến Mạnh	Kỹ thuật cơ điện tử 19010192	1.2; 4.1; 7.1; 7.1.3; 7.3.1; 7.5; 10;

3 Nguyễn Minh
Hiếu

Không thực hiện

6.2. Kế hoạch và tiến trình

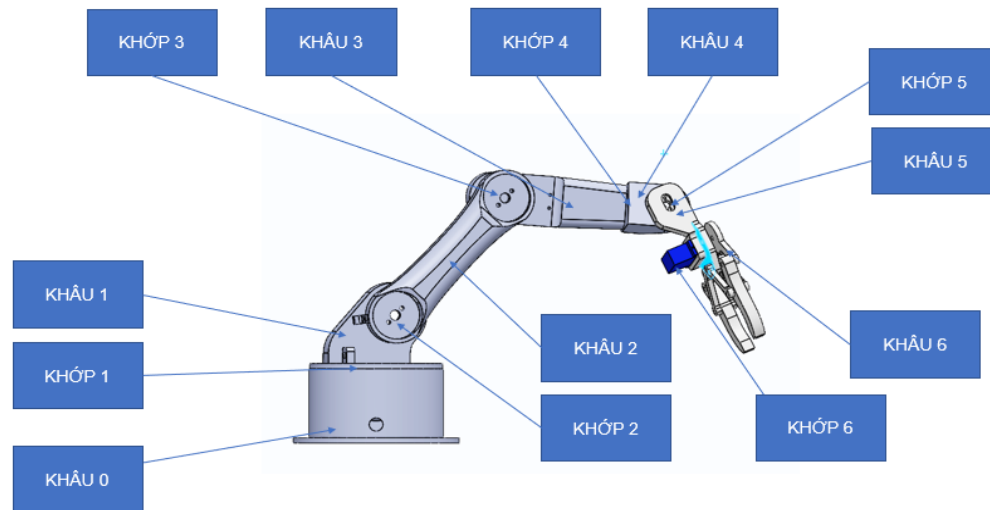
PROJECT ROADMAP/SCHEDULE																		
			February				March				April				May			
Task	Kết quả đầu ra	Người thực hiện	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4
Lên ý tưởng và bảo vệ proposal	Đề cương chi tiết đồ án	Cả nhóm																
Thiết kế solidworks	Bản vẽ 3D chi tiết	Hiếu																
Bài toán động học	- Xây dựng hệ trục tọa độ - Bảng D-H - Giải bài toán thuận - Giải bài toán ngược	Cả nhóm																
Điều khiển qua Android	- App điều khiển	Mạnh																
Lập trình Arduino	- Code chương trình điều khiển	Quản																
Chế tạo và tích hợp	- Hoàn thành gia công - Hoàn thành tích hợp	Hiếu																
Đo lường và xây dựng bài đo	- Bài đo - Kết quả đo	Quản																
Hoàn thiện	Sản phẩm	Cả nhóm																
Báo cáo + thuyết trình	Báo cáo	Quản																
Bổ sung báo cáo	Các phần 6,7,8	Mạnh + Hiếu																

Hình 7: Bảng kế hoạch và tiến trình của nhóm đề tài

PHENIKAA
UNIVERSITY

7. Tiến trình dự án

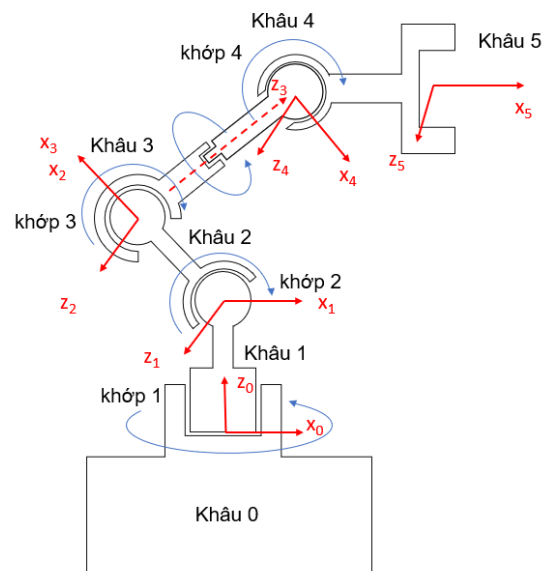
7.1. Chủ đề 1: Thiết kế chế tạo khung cơ khí



Hình 8: khung cơ khí của robot

7.1.1. Mô hình hóa sản phẩm và bài toán động học thuận/ngược

Mô hình hóa sản phẩm:



Hình 9: mô hình robot

Bài toán động học:

Động học thuận:

Bảng 4: Bảng D-H của cánh tay robot

Khâu	Θ	d	α	a
1	q_1	l_1	$\pi/2$	0
2	q_2	0	0	l_2
3	q_3	l_3	$\pi/2$	0
4	q_4	l_4	$-\pi/2$	0
5	q_5	0	0	l_5

Xác định ma trận biến đổi thuần nhất

Ma trận tổng quát:

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

d_i : dịch chuyển tịnh tiến gốc O_{i-1} dọc theo trục z_{i-1} để đưa nó về giao điểm của trục x_i và z_{i-1} (bước biến đổi 1)

q_i : góc quay của trục x_{i-1} (nhận được sau bước 1) quay trục z_{i-1} để đưa nó về trùng với x_i

a_i : khoảng dịch chuyển giữa 2 trục z_{i-1} và z dọc theo đường vuông góc của 2 trục này

α_i : góc lệch giữa 2 trục z_{i-1} và z , sao cho trục z_{i-1} chuyển đến trục z_i theo quy tắc bàn tay phải

thay thông số từ bảng D-H vào ma trận tổng quát ta có các ma trận sau:

$${}^0A_1 = \begin{bmatrix} \cos(q_1) & 0 & \sin(q_1) & 0 \\ \sin(q_1) & 0 & -\cos(q_1) & 0 \\ 0 & 1 & \cos(\alpha) & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^1A_2 = \begin{bmatrix} \cos(q_2) & -\sin(q_2) & 0 & l_2 \cos(q_2) \\ \sin(q_2) & \cos(q_2) & 0 & l_2 \sin(q_2) \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^2A_3 = \begin{bmatrix} \cos(q_3) & 0 & \sin(q_3) & 0 \\ \sin(q_3) & 0 & -\cos(q_3) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^3A_4 = \begin{bmatrix} \cos(q_4) & 0 & \sin(q_4) & 0 \\ \sin(q_4) & 0 & \cos(q_4) & 0 \\ 0 & -1 & \cos(\alpha) & l_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^4A_5 = \begin{bmatrix} \cos(q_5) & -\sin(q_5) & 0 & l_5 \cos(q_5) \\ \sin(q_5) & \cos(q_5) & 0 & l_5 \sin(q_5) \\ 0 & \sin(\alpha) & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$D = {}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot {}^2A_3 \cdot {}^3A_4 \cdot {}^4A_5$$

Ta dùng matlab để thực hiện phép tính các ma trận từ đó ta xác định được phương trình tọa độ điểm tác động cuối:

$$x = l_3 \sin(q_1) + l_4 \sin(q_2 + q_3) \cos(q_1) + l_2 \cos(q_1) \cos(q_2) + l_5 \cos(q_5) (\sin(q_1) \sin(q_4) + \cos(q_1) \cos(q_2) \cos(q_3) \cos(q_4) - \cos(q_1) \cos(q_4) \sin(q_2) \sin(q_3)) - l_5 \sin(q_2 + q_3) \cos(q_1) \sin(q_5))$$

$$y = l_4 \sin(q_2 + q_3) \sin(q_1) - l_3 \cos(q_1) + l_2 \cos(q_2) \sin(q_1) - l_5 \cos(q_5) (\sin(q_1) \cos(q_4) \sin(q_2) \sin(q_3) + \cos(q_4) \sin(q_1) \sin(q_2) \sin(q_3)) - l_5 \sin(q_2 + q_3) \sin(q_1) \sin(q_5))$$

$$z = l_1 - l_4 \cos(q_2 + q_3) + l_2 \sin(q_2) + l_5 \cos(q_4 + q_5) \sin(q_2 + q_3) / 2 + l_5 \cos(q_2 + q_3) \sin(q_5) + l_5 \cos(q_4 - q_5) \sin(q_2 + q_3) / 2$$

Động học ngược:

Do 5 bậc tự do khó giải nên đơn giản hóa thành 3 bậc tự do

Ta có bảng D-H mới:

Bảng 5: Bảng D-H mới của cánh tay robot

Khâu	Θ	d	α	a
1	q_1	l_1	$\pi/2$	0
2	q_2	0	0	l_2
3	q_3	0	0	l_3

Thay thông số ở bảng D-H vào phương trình tổng quát:

$$H_1 = \begin{bmatrix} \cos(q_1) & 0 & \sin(q_1) & 0 \\ \sin(q_1) & 0 & -\cos(q_1) & 0 \\ 0 & 1 & \cos(\alpha) & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H_2 = \begin{bmatrix} \cos(q_2) & -\sin(q_2) & 0 & l_2 \cos(q_2) \\ \sin(q_2) & \cos(q_2) & 0 & l_2 \sin(q_2) \\ 0 & 0 & 1 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H_3 = \begin{bmatrix} \cos(q_3) & -\sin(q_3) & 0 & l_3 \cos(q_3) \\ \sin(q_3) & \cos(q_3) & 0 & l_3 \sin(q_3) \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H = H_1 \cdot H_2 \cdot H_3$$

Dùng matlab để tính toán, thu được ma trận:

$$H_2 \cdot H_3 =$$

$$\begin{bmatrix} \cos(q_2 + q_3) & -\sin(q_2 + q_3) & 0 & l_3 \cos(q_2 + q_3) + l_2 \cos(q_2) \\ \sin(q_2 + q_3) & \cos(q_2 + q_3) & 0 & l_3 \sin(q_2 + q_3) + l_2 \sin(q_2) \\ 0 & 0 & 1 & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$(H_1)^{-1} \cdot H = \begin{bmatrix} \dots & \dots & \dots & x \cdot \cos(q_1) + y \cdot \sin(q_1) \\ \dots & \dots & \dots & z - l_1 \\ \dots & \dots & \dots & x \cdot \sin(q_1) - y \cdot \cos(q_1) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Cân bằng phương trình ở cột cuối của hai ma trận H23 và HH, ta có hệ phương trình

$$x \cdot \cos(q_1) + y \cdot \sin(q_1) = l_3 \cos(q_2 + q_3) + l_2 \cos(q_2)$$

$$z - l_1 = l_3 \sin(q_2 + q_3) + l_2 \sin(q_2)$$

$$x \cdot \sin(q_1) - y \cdot \cos(q_1) = l_3 \sin(q_2 + q_3) + l_2 \sin(q_2)$$

Giải hệ phương trình, ta thu được:

$$q_1 = \arctan(y/x)$$

7.1.2. Gia công chế tạo

Sau khi hoàn thành bản thiết kế trên solidwork nhóm đề tài đã thảo luận giữa 2 phương án CNC và in 3D. Sau đó nhóm đề tài đã chọn phương án in 3D vì có chi phí rẻ hơn.

Bảng 6: Bảng so sánh gia công CNC và gia công 3D

	CNC	3D
Độ chính xác	Có độ chính xác cao	Độ chính xác thấp hơn
Vật liệu	Nhựa Mica	PLA
Giá thành	Giá thành cao	Giá thành thấp
Máy gia công	Máy cắt CNC	Máy in 3D Ender 3 pro

Máy in Ender-3 pro có bộ khung được làm hoàn toàn từ nhôm, không dung Mica.

Sử dụng thanh nhôm định hình để chống trượt mới

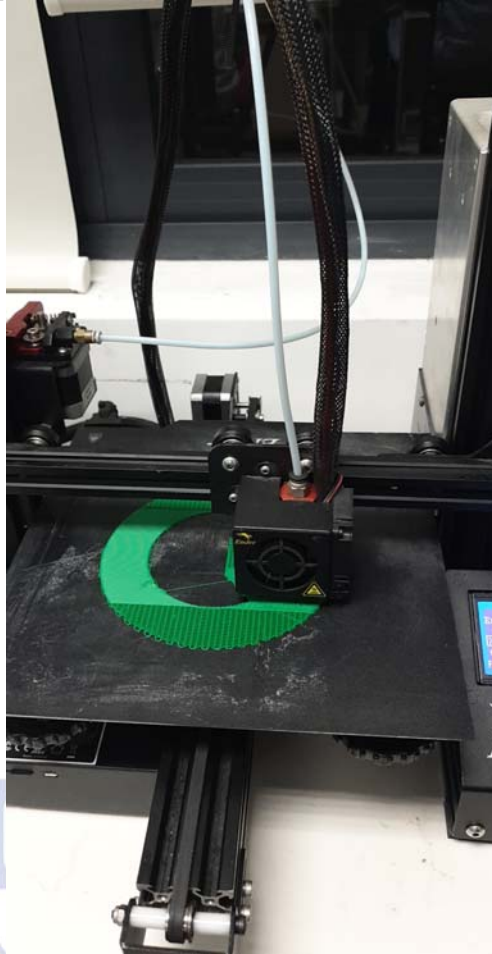
Chức năng in tiếp tục khi sự cố mất điện xảy ra, tạm dừng để thay nhựa in hay tạm dừng khi không muốn máy hoạt động mà không có người giám sát. Có thể tắt máy và hôm sau tiếp tục in.

Khổ mô hình lớn: 220x220x250mm

Sử dụng mực in: PLA, PLU hoặc PETG, ABS...

Đầu phun tiêu chuẩn: 0.4mm

Màn hình LCD: khe cắm thẻ nhớ SD và cáp kết nối máy tính để điều khiển
Quá trình in 3D đầu phun sẽ làm nóng chảy vật liệu và liên tục di chuyển theo 2 trục X và Y để bồi đắp từng lớp một cho đến khi hoàn thành sẽ được một chi tiết của robot.



Hình 10: Phương pháp gia công bằng in 3D

7.1.3. Bài toán tĩnh học

Các thông số của các khâu:

Khâu 1:

cân nặng: 13.14 gram = 0.01314 kg

kích thước: 31 mm

khâu 2:

cân nặng: 75.3 gram = 0.0753 kg

kích thước: 112 mm

khâu 3:

cân nặng: 124.5 gram = 0.01245 kg
kích thước: 86 mm

khâu 4:
cân nặng: 30.7 gram = 0.0307 kg
kích thước: 28 mm

khâu 5:
cân nặng: 60.1 gram = 0.0601 kg
kích thước: 120 mm

từ thông số kích thước và khối lượng các khâu, ta xét từng khớp phải chịu lực mô men cân lớn nhất khi hoạt động.

Khớp 1: chúng ta không xét

$$\text{Khớp 2: } 0.0753 * 112/2 + 0.1245 * (112+86/2) + 0.0307 * (112+86+28/2) + 0.0601 * (112+86+28+120/2) = 47.2113 \text{ Nmm}$$

$$\text{Khớp 3: } 0.1245 * 86/2 + 0.0307 * (86+28/2) + 0.0601 * (86+28+120/2) = 18.8809 \text{ Nmm}$$

$$\text{Khớp 4: } 0.0307 * 28/2 + 0.0601 * (28+120/2) = 5.7186 \text{ Nmm}$$

$$\text{Khớp 5: } 0.0601 * 120/2 = 3.606 \text{ Nmm}$$

Theo kết cấu của cánh tay robot khớp 1, khớp 2, khớp 3

7.1.4. Lựa chọn động cơ

Arduino Uno là một nền tảng phát triển phần cứng mã nguồn mở, được sử dụng để điều khiển các thiết bị thông qua các động cơ. Dưới đây là một số loại động cơ phổ biến được sử dụng với Arduino Uno:

- Động cơ Servo: Động cơ Servo được sử dụng để kiểm soát các chuyển động góc của các thiết bị như cánh tay robot, cửa tự động và các thiết bị khác.
- Động cơ bước: Động cơ bước là loại động cơ được sử dụng để kiểm soát chuyển động theo bước, phù hợp với các ứng dụng như máy in 3D hoặc các thiết bị di chuyển.
- Động cơ DC: Động cơ DC được sử dụng để kiểm soát tốc độ quay của các thiết bị, chẳng hạn như quạt hay bộ phận đánh lửa.
- Động cơ đồng trục: Động cơ đồng trục được sử dụng để kiểm soát chuyển động của các thiết bị như máy cắt cỏ hoặc máy giặt.
- Động cơ khác: Ngoài các loại động cơ trên, còn có các loại động cơ khác được sử dụng với Arduino Uno như Động cơ động lực học và động cơ động lượng.

Với Arduino Uno có thể sử dụng các loại động cơ trên bằng cách kết nối chúng với board đúng cách và sử dụng thư viện phù hợp để điều khiển các động cơ đó. Theo bài toán đề ra động cơ phù hợp nhất là động cơ Servo nên chọn động cơ Servo cho Cánh tay robot.

Theo tìm hiểu một số tài liệu trên trực tuyến nhóm quyết định chọn hai loại động cơ chính cho Cánh tay robot là: Servo MG90S và Servo MG995

Thông số của hai động cơ đã chọn:

Bảng 7: Bảng thông số động cơ servo MG90S

Điện áp hoạt động	4.8-6 VDC
Tốc độ tải trọng	0.10 giây/ 60 độ (4.8V) ; 0.08 giây/ 60 độ (6V)
Nhiệt độ hoạt động	-30 tới 55 độ C
Lực kéo	1.8 kg/ cm (4.8V); 2.2 kg/ cm(6V)
Kích thước	22.8x12.2x28.5 mm
Trọng lượng	13.4 gram

Bảng 8: Bảng thông số động cơ servo MG995

Điện áp hoạt động	4.8-7.2 VDC
Góc quay	180 độ
Kích thước	40x19x43 mm
Tốc độ hoạt động	0.17 giây/ 60 độ; 0.14 giây/ 60 độ (6V)
Mô men xoắn	9,4 kg/ cm(4.8V); 11 kg/cm(6V)
Nhiệt độ hoạt động	0-50 độ C
Chiều dài dây	300 mm

7.1.5. So sánh Vi điều khiển và PLC

Bảng 9: Bảng so sánh PLC và vi điều khiển

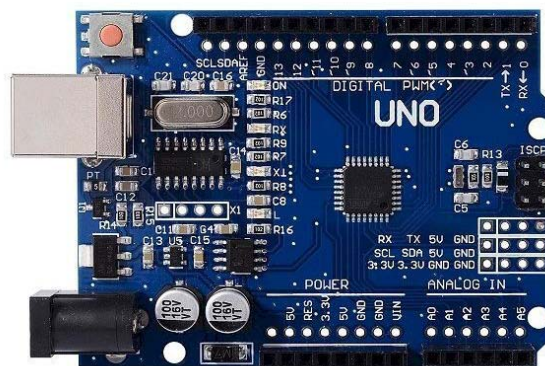
	PLC	Vi điều khiển
Giá thành	Cao	Thấp
Tốc độ	Cao	Thấp
Ổn định	Cao	Thấp

7.1.6. Arduino

Arduino là một platform hỗ trợ cho việc chế tạo các ứng dụng IoT, robot và các thiết bị nhúng. Arduino cung cấp board phát triển sản xuất bởi Arduino.cc với nhiều phiên bản khác nhau như Arduino Uno, Mega, Nano và Mini. Arduino Uno được xem là phiên bản board phổ biến nhất, đi kèm với một loạt các giao diện phần cứng và phần mềm linh hoạt.

Arduino Uno sử dụng chip Atmega328p có tốc độ xử lý 16MHz và 32kB flash memory, trong đó 2kB được dành riêng cho bootloader. Board tích hợp các chân I/O số và chân analog, cùng với các giao tiếp UART, I2C và SPI. Với những tính năng này, Arduino Uno có thể được sử dụng để điều khiển các thiết bị sensor, điều khiển động cơ và thiết bị đơn giản khác.

Arduino Uno đã trở thành một công cụ nổi tiếng và phổ biến trong cộng đồng DIY, được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng như khóa thông minh, thiết bị giám sát và điều khiển. Arduino Uno được ưa chuộng bởi tính tiện dụng và dễ dàng sử dụng, khi cho phép người dùng phát triển và thiết kế các ứng dụng IoT theo ý muốn, cùng với việc kết hợp với các loại module và phụ kiện ngoại vi khác nhau.



Hình 11: Ảnh minh họa Aduino Uno R3

thông số của mạch điều khiển Arduino Uno:

- Chip điều khiển chính: ATmega328
- Chip nạp và giao tiếp UART: ATmega16U2
- Nguồn nuôi mạch: 5VDC từ cổng USB hoặc nguồn ngoài cắm từ giắc tròn DC (khuyến dùng 7-9VDC để đảm bảo mạch hoạt động tốt. Nếu bạn cắm 12V thì IC ổn áp rất dễ chết và gây hư hỏng mạch).
- Số chân Digital: 14 (hỗ trợ 6 chân PWM)
- Số chân Analog: 6
- Dòng ra tối đa trên GPIO: 40mA
- Dòng ra tối đa trên chân cấp nguồn 3.3VDC: 150 mA
- Dung lượng bộ nhớ Flash: 32 KB, 0.5 KB used by bootloader.
- SRAM: 2 KB
- EEPROM: 1 KB
- Tốc độ thạch anh: 16 MHz

7.2. Giải pháp truyền thông

Công nghệ Bluetooth là một công nghệ không dây cho phép truyền tải dữ liệu giữa các thiết bị điện tử như điện thoại di động, máy tính, loa, tai nghe, đồng hồ thông minh, máy ảnh, bàn phím, chuột, và nhiều thiết bị khác.

Công nghệ Bluetooth được phát triển bởi tập đoàn công nghệ người Thụy Điển vào năm 1994 và chính thức ra mắt vào năm 1999. Bluetooth có thể truyền tải dữ liệu giữa các thiết bị cách nhau khoảng 10 mét. Tuy nhiên, trong thời gian gần đây, các phiên bản Bluetooth mới có thể truyền tải dữ liệu từ xa hơn, tùy thuộc vào tính năng của thiết bị và công nghệ được sử dụng.

Bluetooth thường được sử dụng để truyền tải âm thanh có chất lượng cao, dữ liệu và hình ảnh giữa các thiết bị mà không cần sử dụng cáp kết nối truyền thống. Ngoài ra, Bluetooth cũng được sử dụng phổ biến trong gia đình hoặc nơi làm việc để kết nối nhiều thiết bị với nhau như truyền tải nhạc cho loa, hoặc để kết nối với các thiết bị đo đạc y tế trong lĩnh vực chẩn đoán y tế.

Hiện nay, các phiên bản Bluetooth trong những năm gần đây đã được cải tiến để tăng tốc độ truyền tải dữ liệu, giảm thiểu khả năng xảy ra lỗi kết nối và tiêu tốn ít năng lượng hơn cho các thiết bị di động, đồng thời tích hợp tính năng an toàn phục vụ cho việc truyền tải dữ liệu nhạy cảm.

Module HC-05 là một module Bluetooth thuộc loại Bluetooth Serial Port Profile (SPP Bluetooth). Nó được sử dụng để thực hiện kết nối không dây giữa các thiết bị điện tử như Arduino, Raspberry Pi, máy tính hoặc điện thoại thông minh với các thiết bị sử dụng Bluetooth.

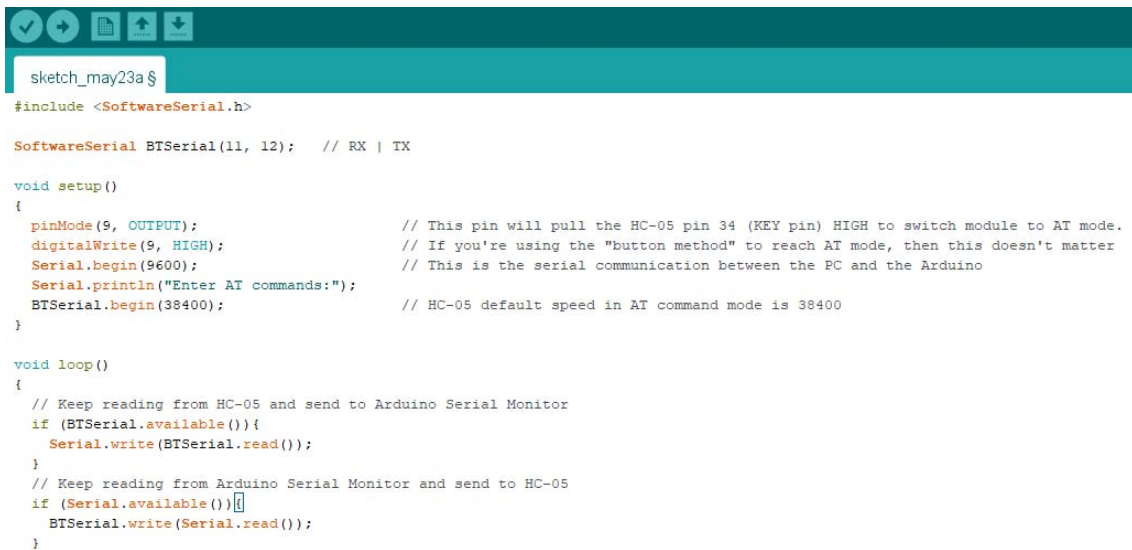
Module HC-05 được thiết kế với kích thước nhỏ gọn và dễ dàng để lắp đặt. Nó cũng có khả năng hoạt động trong phạm vi từ 10 mét đến 100 mét, phụ thuộc vào vật cản. Thông thường, module này được sử dụng để điều khiển các thiết bị robot, đo lường các thông số trong các hệ thống cảm biến không dây hoặc truyền tải dữ liệu không dây.

Module HC-05 có các chân kết nối đơn giản, bao gồm chân nguồn, chân đất, chân RX và chân TX. Nó cũng có các chân đặc biệt cho việc chức năng kết nối Bluetooth. Module HC-05 có thể kết nối và truyền dữ liệu với tốc độ tối đa 2,1 Mbps.

Để sử dụng HC-05, ta có thể sử dụng một số thư viện như SoftwareSerial hoặc thư viện BluetoothSerial của Arduino và các IDE khác. Nó cũng có thể được cấu hình bằng cách sử dụng các lệnh AT để thay đổi các thông số như tên thiết bị, tốc độ truyền và mã định danh.

Thông số kỹ thuật của module HC05

- Điện áp hoạt động: 3.3 - 5V
- Dòng tải: khi ghép đôi 30 A, khi truyền tải 8mA
- Baudrate UART tùy chỉnh: 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200
- Dải tần sóng: 2.4GHz
- Bluetooth protocol: Bluetooth Specification v2.0+EDRo
- Kích thước: 26.9 x 13 x 2.2mm



```
sketch_may23a$  
#include <SoftwareSerial.h>  
  
SoftwareSerial BTSerial(11, 12); // RX | TX  
  
void setup()  
{  
  pinMode(9, OUTPUT); // This pin will pull the HC-05 pin 34 (KEY pin) HIGH to switch module to AT mode.  
  digitalWrite(9, HIGH); // If you're using the "button method" to reach AT mode, then this doesn't matter  
  Serial.begin(9600); // This is the serial communication between the PC and the Arduino  
  Serial.println("Enter AT commands:");  
  BTSerial.begin(38400); // HC-05 default speed in AT command mode is 38400  
}  
  
void loop()  
{  
  // Keep reading from HC-05 and send to Arduino Serial Monitor  
  if (BTSerial.available()) {  
    Serial.write(BTSerial.read());  
  }  
  // Keep reading from Arduino Serial Monitor and send to HC-05  
  if (Serial.available()) {  
    BTSerial.write(Serial.read());  
  }  
}
```

Hình 12: Đoạn code sử dụng thư viện softwareSerial để kết nối với module HC05

7.3. Giải pháp tương tác với người dùng

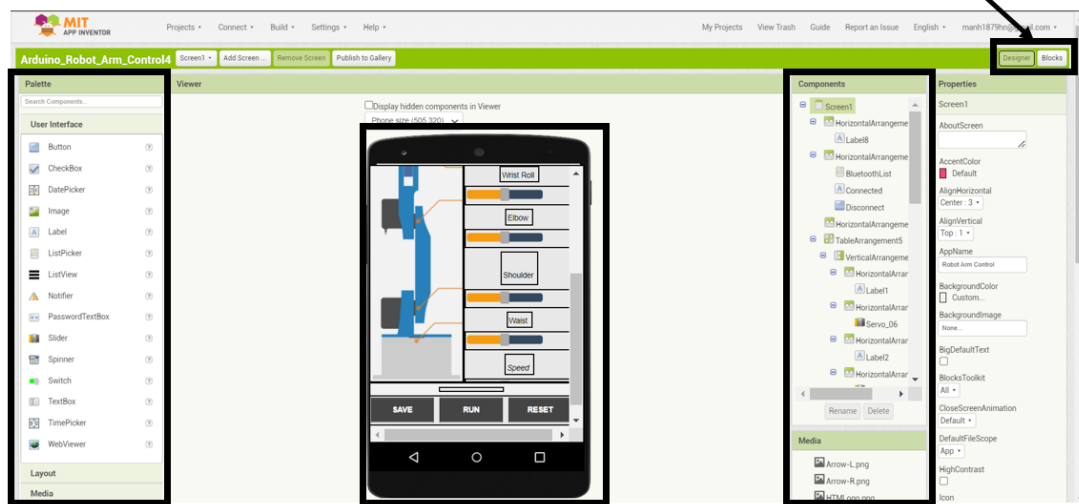
Những giải pháp tương tác với người dùng thường có:

- Qua tay điều khiển
- Qua phần mềm điều khiển qua máy tính
- Nhóm đề tài thực hiện giải pháp tương tác với người dùng thông qua smartphone (android) và giải pháp giao tiếp là Bluetooth (phần 7.4). phần mềm chạy trên android được viết thông qua app inventor

App inventor là một ứng dụng web mã nguồn mở được cung cấp bởi google từ tháng 7 năm 2010. Sau này App Inventor được quản lý bởi Viện Công Nghệ Massachusetts hay còn gọi là MIT. Đó cũng là lý do tại sao nó hay được gọi là MIT App Inventor.

Về cơ bản App Inventor sẽ hoạt động dựa trên nền tảng smartphone (android). Tức là các thành phẩm được tạo ra App Inventor sẽ chỉ hoạt động được trên Android. Giao diện của App Inventor bao gồm các khối hộp, bên trong là các đoạn mã. Khi sử dụng, người dùng sẽ kéo thả các khối này vào trong bảng mã để tiến hành lắp ghép thành một ứng dụng hoàn chỉnh. Cách sử dụng của App Inventor rất đơn giản, tất cả chỉ xoay quanh thao tác kéo và thả.

Chế độ thiết kế giao diện



Icon giao diện kéo thả

Giao diện được tạo ra

Cấu hình icon

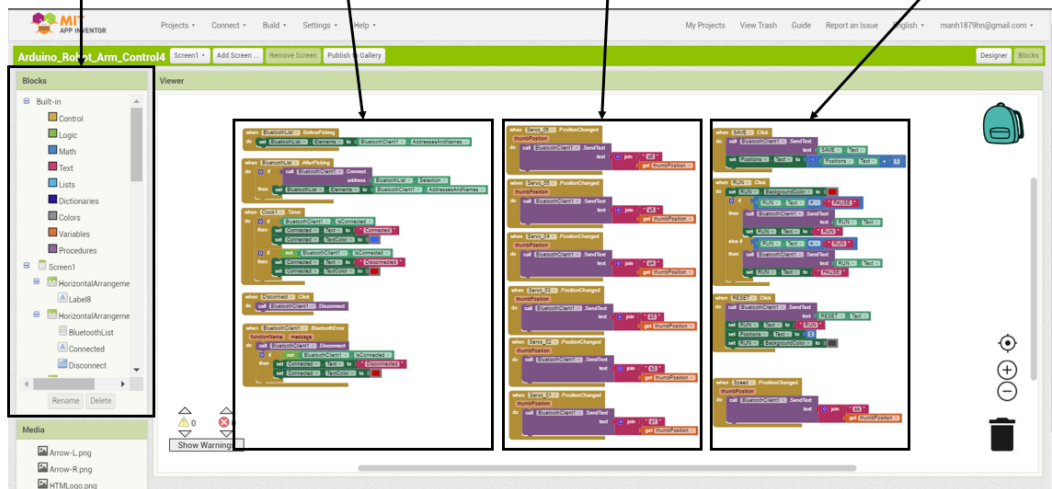
Hình 13: Thiết kế giao diện trên app

Icon câu lệnh kéo thả

Khối giao tiếp bluetooth

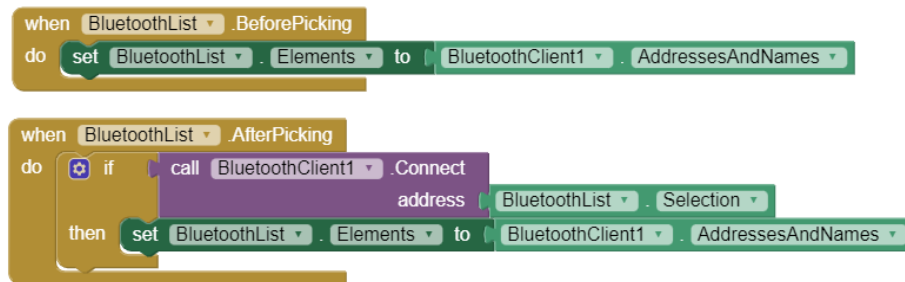
Khối vận hành servo

Khối các nút chức năng



Hình 14: Viết code cho app bằng cách kéo thả các khối

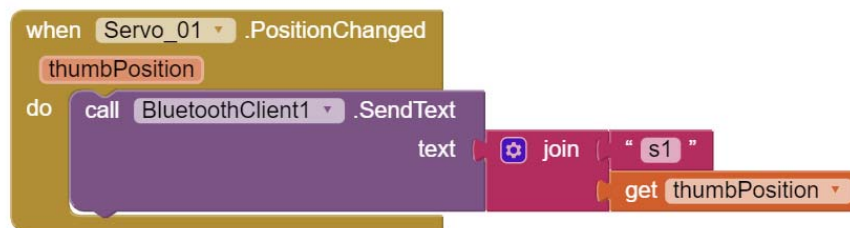
Khởi giao tiếp:



Hình 15: Mô tả khối kết nối bluetooth

Khi bấm vào nút **bluetoothList** sẽ hiện lên một danh sách tên các bluetooth có thể kết nối. sau khi chọn địa chỉ kết nối **bluetoothClient1** sẽ kết nối và ghi nhớ địa chỉ đó.

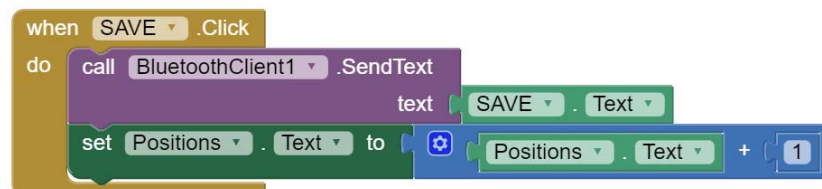
Khởi điều khiển



Hình 16: Mô tả khối điều khiển 1 động cơ servo

Khi thanh trượt của servo thay đổi vị trí lập tức gọi bluetooth gửi dữ liệu dạng văn bản đến s1. S1 nhận dữ liệu và di chuyển servo đến góc đã chọn.

Khởi nút chức năng



Hình 17: Mô tả khối đảm nhiệm chức năng nút “SAVE”

Khi nút **SAVE** được nhấn, bluetooth thực thi lệnh gửi văn bản “SAVE”. Thay đổi dữ liệu Positions cộng thêm 1.

8. Kết quả và thảo luận

8.1. Kết quả

STT	Thông số	Đơn vị tính	Kết quả	Kết quả
1	Kích thước	Mm	≤ 500 (tầm với tối đa)	Đạt
2	Khối lượng tay máy	Kg	≤ 1	Đạt
3	Phương thức điều khiển		Điều khiển qua giao thức Bluetooth	Chưa hoàn thành
4	Bộ điều khiển		Arduino + Android	Hoàn thành
5	Khối lượng vật nâng/phôi	gram	< 100	Đạt
6	Nguồn điện	VDC	≤ 24	Đạt
7	Giá thành	VND	$\leq 1.000.000$	Đạt
8	Bậc tự do		≤ 4	Chưa đạt
9	Kích thước phôi dạng hình trụ	mm	$\leq \varnothing 40 \times 50$	Đạt
10	Kích thước phôi dạng hình hộp	Mm	$\leq 40 \times 40 \times 40$	Chưa cập nhật

Bảng 10: Bảng các kết quả đạt được

8.2. Thảo luận

Trong quá trình thực hiện các công việc nhóm đã gặp một số vấn đề, những hạn chế và vấn đề điển hình đã gặp phải:

Tổ chức: Trong quá trình thực hiện công việc, ban đầu có ba thành viên nhưng hiện chỉ còn hai người thực hiện. Với sự thiếu vắng của một thành viên, sẽ dẫn đến việc phân chia công việc không cân đối, gây ra sự căng thẳng trong tổ chức và tăng áp lực cho những thành viên còn lại.

Kiến thức: Vẫn còn hạn chế về kiến thức, chưa thành thạo một số kỹ năng và kiến thức về các thiết bị dẫn tới các vấn đề sau:

Kết nối bluetooth chưa hoàn thiện.

Phản lập trình vẫn còn bất cập.

Gia Công: Thiết bị in 3D có cấu hình trung bình nên kết quả cho ra không được cao, sản phẩm xuất hiện một số tình trạng như sau:

Các khớp nối còn lỏng lẻo.
Kích thước các chi tiết còn sai số đáng kể.

Các vấn đề nêu trên đều là các thách thức trong quá trình sản xuất và cải tiến sản phẩm. Để có thể giải quyết được các vấn đề này, có thể thực hiện các giải pháp đề xuất như:

Tổ chức lại phân công công việc: các thành viên cần tìm cách phân chia công việc hợp lý và công bằng giữa các thành viên còn lại để đảm bảo sự hiệu quả trong việc thực hiện các nhiệm vụ, đồng thời tăng cường sự chủ động trong công việc.

Nâng cao kiến thức và kỹ năng cho từng cá nhân: thành viên cần cải thiện kiến thức của mình để tránh các sai sót trong quá trình thực hiện công việc. Có thể tìm kiếm nguồn tài liệu hay tham gia các khóa học để nâng cao kỹ năng và kiến thức.

Sử dụng thiết bị và công nghệ tốt hơn: đầu tư vào các thiết bị và công nghệ chất lượng cao có thể để tối ưu hóa hiệu quả của sản phẩm. Chất lượng sản phẩm sẽ được tăng lên đáng kể khi sử dụng thiết bị và công nghệ đúng cách, thông minh.

Tăng cường sự sáng tạo và tìm kiếm giải pháp khác: Ngoài các giải pháp trên, các thành viên còn có thể tăng cường sự sáng tạo và đổi mới để giải quyết các vấn đề trong công việc. Các giải pháp độc đáo và sáng tạo sẽ giúp cho đội ngũ giải quyết các thách thức trong công việc một cách tốt nhất.

9. Báo cáo về tài chính và kinh tế

Bảng 11: Bảng các danh mục đã chi tiêu

STT	Tên vật liệu, vật tư	Đơn giá	Số lượng	Thành giá	Link
1	MG996	85.000VNĐ	3	215.000VNĐ	https://nshopvn.com/product/dong-co-servo-mg996-360-do/
2	MG90s	70.000VNĐ	3	210.000VNĐ	https://nshopvn.com/product/servo-mg90s-banh-rang-kim-loai/
3	HC-05	143.00VNĐ	1	143.000VNĐ	https://nshopvn.com/product/module-thu-phat-bluetooth-hc-05/

4	Adruino UNO R3	240.000VNĐ	1	240.000VNĐ	https://nshopvn.com/product/arduino-uno-r3-dip-kem-cap/?variant=100977
5	Test board	20.000VND	1	20.000VNĐ	https://ampeshop.com/products/board-cam-testboard-breadboard-nho-85x55mm-400-lo
6	Dây cắm test board	450VNĐ	50	22.500VNĐ	https://ampeshop.com/products/board-cam-testboard-breadboard-nho-85x55mm-400-lo

10. Kết luận

Trong quá trình nhóm đề tài thực hiện Đồ án cơ khí cơ điện tử đã gặp nhiều khó khăn từ nhân lực. Dưới tình trạng nhóm thiếu một thành viên, khối lượng công việc của mỗi thành viên còn lại đều phải sắp xếp lại để có thể hoàn thành đúng với thời gian đã đặt ra. Dưới sự hướng dẫn giúp đỡ của giảng viên TS. Nguyễn Đức Nam, nhóm đề tài đã hoàn thành công việc vẽ SolidWorks và tiến hành gia công sản phẩm bằng phương pháp in 3D và tiến hành lắp ráp.

11. Tiêu chuẩn

Tiêu chuẩn ISO ASTM, ANSI, ASME, ASHRAE, TS-EN hoặc TCVN
TCVN 12669-1:2020: Tiêu chuẩn quốc gia về an toàn máy – thiết bị bị máy

12. Tài liệu tham khảo

// Tài liệu tham khảo. Tham khảo quy tắc viết tài liệu tham khảo ở dưới

[1] Khổng Minh, Robot công nghiệp, NXB Khoa học và công nghệ, 2019

[2] Robert J. Schilling, Fundamental of Robotics: Analysis and control, Prentice Hall, 2003

13. Phụ lục

Code

```
#include <SoftwareSerial.h> // Thư viện truyền thông giao tiếp nối tiếp
#include <Servo.h> // Thư viện của điều khiển servo: gồm các hàm điều khiển cho động cơ servo

Servo servo01; // Class để điều khiển servo 1
Servo servo02;
Servo servo03;
Servo servo04;
```

```
Servo servo05;
Servo servo06;

SoftwareSerial Bluetooth(3, 4); // Arduino(RX, TX) - HC-05 Bluetooth (TX, RX): kết nối
với chân RX, TX của Bluetooth qua chân 3 và chân 4 của Arduino

int servo1Pos, servo2Pos, servo3Pos, servo4Pos, servo5Pos, servo6Pos; // current
position - vị trí hiện tại của Servo
int servo1PPos, servo2PPos, servo3PPos, servo4PPos, servo5PPos, servo6PPos; //
previous position - vị trí phía trước của Servo
int servo01SP[50], servo02SP[50], servo03SP[50], servo04SP[50], servo05SP[50],
servo06SP[50]; // for storing positions/steps - mảng thành phần lưu trữ các giá trị góc
của servo trong quá trình hoạt động
int speedDelay = 20; // Độ trễ của tốc độ
int index = 0; // biến chạy
String dataIn = ""; // dữ liệu nhận (Data IN)

void setup() {
  servo01.attach(5);
  servo02.attach(6);
  servo03.attach(7);
  servo04.attach(8);
  servo05.attach(9);
  servo06.attach(10);
  Bluetooth.begin(38400); // Default baud rate of the Bluetooth module - tốc độ truyền
của giao thức Bluetooth
  Bluetooth.setTimeout(1); // Thời gian mất kết nối sau 1 ms
  delay(20);
  // Robot arm initial position
  servo1PPos = 90;
  servo01.write(servo1PPos);
  servo2PPos = 150;
  servo02.write(servo2PPos);
  servo3PPos = 35;
  servo03.write(servo3PPos);
  servo4PPos = 140;
  servo04.write(servo4PPos);
  servo5PPos = 85;
  servo05.write(servo5PPos);
  servo6PPos = 80;
  servo06.write(servo6PPos);
}

void loop() {
  // Check for incoming data
  if (Bluetooth.available() > 0) {
    dataIn = Bluetooth.readString(); // Read the data as string

    // If "Waist" slider has changed value - Move Servo 1 to position
    if (dataIn.startsWith("s1")) {
      String dataInS = dataIn.substring(2, dataIn.length()); // Extract only the number. E.g.
from "s1120" to "120"
    }
  }
}
```

```
servo1Pos = dataInS.toInt(); // Convert the string into integer
// We use for loops so we can control the speed of the servo
// If previous position is bigger then current position
if (servo1PPos > servo1Pos) {
  for ( int j = servo1PPos; j >= servo1Pos; j--) { // Run servo down
    servo01.write(j);
    delay(20); // defines the speed at which the servo rotates
  }
}
// If previous position is smaller then current position
if (servo1PPos < servo1Pos) {
  for ( int j = servo1PPos; j <= servo1Pos; j++) { // Run servo up
    servo01.write(j);
    delay(20);
  }
}
servo1PPos = servo1Pos; // set current position as previous position
}

// Move Servo 2
if (dataIn.startsWith("s2")) {
  String dataInS = dataIn.substring(2, dataIn.length());
  servo2Pos = dataInS.toInt();

  if (servo2PPos > servo2Pos) {
    for ( int j = servo2PPos; j >= servo2Pos; j--) {
      servo02.write(j);
      delay(50);
    }
  }
  if (servo2PPos < servo2Pos) {
    for ( int j = servo2PPos; j <= servo2Pos; j++) {
      servo02.write(j);
      delay(50);
    }
  }
  servo2PPos = servo2Pos;
}

// Move Servo 3
if (dataIn.startsWith("s3")) {
  String dataInS = dataIn.substring(2, dataIn.length());
  servo3Pos = dataInS.toInt();
  if (servo3PPos > servo3Pos) {
    for ( int j = servo3PPos; j >= servo3Pos; j--) {
      servo03.write(j);
      delay(30);
    }
  }
  if (servo3PPos < servo3Pos) {
    for ( int j = servo3PPos; j <= servo3Pos; j++) {
      servo03.write(j);
      delay(30);
    }
  }
}
```

```
}  
}  
servo3PPos = servo3Pos;  
}  
// Move Servo 4  
if (dataIn.startsWith("s4")) {  
    String dataInS = dataIn.substring(2, dataIn.length());  
    servo4Pos = dataInS.toInt();  
    if (servo4PPos > servo4Pos) {  
        for ( int j = servo4PPos; j >= servo4Pos; j--) {  
            servo04.write(j);  
            delay(30);  
        }  
    }  
    if (servo4PPos < servo4Pos) {  
        for ( int j = servo4PPos; j <= servo4Pos; j++) {  
            servo04.write(j);  
            delay(30);  
        }  
    }  
    servo4PPos = servo4Pos;  
}  
// Move Servo 5  
if (dataIn.startsWith("s5")) {  
    String dataInS = dataIn.substring(2, dataIn.length());  
    servo5Pos = dataInS.toInt();  
    if (servo5PPos > servo5Pos) {  
        for ( int j = servo5PPos; j >= servo5Pos; j--) {  
            servo05.write(j);  
            delay(30);  
        }  
    }  
    if (servo5PPos < servo5Pos) {  
        for ( int j = servo5PPos; j <= servo5Pos; j++) {  
            servo05.write(j);  
            delay(30);  
        }  
    }  
    servo5PPos = servo5Pos;  
}  
// Move Servo 6  
if (dataIn.startsWith("s6")) {  
    String dataInS = dataIn.substring(2, dataIn.length());  
    servo6Pos = dataInS.toInt();  
    if (servo6PPos > servo6Pos) {  
        for ( int j = servo6PPos; j >= servo6Pos; j--) {  
            servo06.write(j);  
            delay(30);  
        }  
    }  
    if (servo6PPos < servo6Pos) {  
        for ( int j = servo6PPos; j <= servo6Pos; j++) {
```

```
servo06.write(j);
delay(30);
}
}
servo6PPos = servo6Pos;
}
// If button "SAVE" is pressed
if (dataIn.startsWith("SAVE")) {
    servo01SP[index] = servo1PPos; // save position into the array
    servo02SP[index] = servo2PPos;
    servo03SP[index] = servo3PPos;
    servo04SP[index] = servo4PPos;
    servo05SP[index] = servo5PPos;
    servo06SP[index] = servo6PPos;
    index++; // Increase the array index
}
// If button "RUN" is pressed
if (dataIn.startsWith("RUN")) {
    runservo(); // Automatic mode - run the saved steps
}
// If button "RESET" is pressed
if (dataIn == "RESET") {
    memset(servo01SP, 0, sizeof(servo01SP)); // Clear the array data to 0
    memset(servo02SP, 0, sizeof(servo02SP));
    memset(servo03SP, 0, sizeof(servo03SP));
    memset(servo04SP, 0, sizeof(servo04SP));
    memset(servo05SP, 0, sizeof(servo05SP));
    memset(servo06SP, 0, sizeof(servo06SP));
    index = 0; // Index to 0
}
}
}

// Automatic mode custom function - run the saved steps
void runservo() {
    while (dataIn != "RESET") { // Run the steps over and over again until "RESET" button
    is pressed
        for (int i = 0; i <= index - 2; i++) { // Run through all steps(index)
            if (Bluetooth.available() > 0) { // Check for incoming data
                dataIn = Bluetooth.readString();
                if (dataIn == "PAUSE") { // If button "PAUSE" is pressed
                    while (dataIn != "RUN") { // Wait until "RUN" is pressed again
                        if (Bluetooth.available() > 0) {
                            dataIn = Bluetooth.readString();
                            if (dataIn == "RESET") {
                                break;
                            }
                        }
                    }
                }
            }
        }
    }
}

// If speed slider is changed
if (dataIn.startsWith("ss")) {
```

```
String dataInS = dataIn.substring(2, dataIn.length());
speedDelay = dataInS.toInt(); // Change servo speed (delay time)
}
}
// Servo 1
if (servo01SP[i] == servo01SP[i + 1]) {
}
if (servo01SP[i] > servo01SP[i + 1]) {
  for ( int j = servo01SP[i]; j >= servo01SP[i + 1]; j--) {
    servo01.write(j);
    delay(speedDelay);
  }
}
if (servo01SP[i] < servo01SP[i + 1]) {
  for ( int j = servo01SP[i]; j <= servo01SP[i + 1]; j++) {
    servo01.write(j);
    delay(speedDelay);
  }
}

// Servo 2
if (servo02SP[i] == servo02SP[i + 1]) {
}
if (servo02SP[i] > servo02SP[i + 1]) {
  for ( int j = servo02SP[i]; j >= servo02SP[i + 1]; j--) {
    servo02.write(j);
    delay(speedDelay);
  }
}
if (servo02SP[i] < servo02SP[i + 1]) {
  for ( int j = servo02SP[i]; j <= servo02SP[i + 1]; j++) {
    servo02.write(j);
    delay(speedDelay);
  }
}

// Servo 3
if (servo03SP[i] == servo03SP[i + 1]) {
}
if (servo03SP[i] > servo03SP[i + 1]) {
  for ( int j = servo03SP[i]; j >= servo03SP[i + 1]; j--) {
    servo03.write(j);
    delay(speedDelay);
  }
}
if (servo03SP[i] < servo03SP[i + 1]) {
  for ( int j = servo03SP[i]; j <= servo03SP[i + 1]; j++) {
    servo03.write(j);
    delay(speedDelay);
  }
}
```



```
// Servo 4
if (servo04SP[i] == servo04SP[i + 1]) {
}
if (servo04SP[i] > servo04SP[i + 1]) {
    for ( int j = servo04SP[i]; j >= servo04SP[i + 1]; j--) {
        servo04.write(j);
        delay(speedDelay);
    }
}
if (servo04SP[i] < servo04SP[i + 1]) {
    for ( int j = servo04SP[i]; j <= servo04SP[i + 1]; j++) {
        servo04.write(j);
        delay(speedDelay);
    }
}

// Servo 5
if (servo05SP[i] == servo05SP[i + 1]) {
}
if (servo05SP[i] > servo05SP[i + 1]) {
    for ( int j = servo05SP[i]; j >= servo05SP[i + 1]; j--) {
        servo05.write(j);
        delay(speedDelay);
    }
}
if (servo05SP[i] < servo05SP[i + 1]) {
    for ( int j = servo05SP[i]; j <= servo05SP[i + 1]; j++) {
        servo05.write(j);
        delay(speedDelay);
    }
}

// Servo 6
if (servo06SP[i] == servo06SP[i + 1]) {
}
if (servo06SP[i] > servo06SP[i + 1]) {
    for ( int j = servo06SP[i]; j >= servo06SP[i + 1]; j--) {
        servo06.write(j);
        delay(speedDelay);
    }
}
if (servo06SP[i] < servo06SP[i + 1]) {
    for ( int j = servo06SP[i]; j <= servo06SP[i + 1]; j++) {
        servo06.write(j);
        delay(speedDelay);
    }
}
}
}
}
}
```

