

ĐẠI HỌC BÁCH KHOA TP. HỒ CHÍ MINH
KHOA ĐIỆN – ĐIỆN TỬ
BỘ MÔN ĐIỀU KHIỂN & TỰ ĐỘNG HÓA

TRẦN GIA TUẤN

ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP
XÂY DỰNG BỘ ĐIỀU KHIỂN CHO CÁNH TAY ROBOT
5 BẬC TỰ DO
BUILDING CONTROL SYSTEM FOR 5 DOFS ROBOTIC
MANIPULATOR

CỬ NHÂN NGÀNH KỸ THUẬT ĐIỀU KHIỂN & TỰ ĐỘNG HÓA

TP. HỒ CHÍ MINH, 2024

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA TP. HỒ CHÍ MINH
KHOA ĐIỆN – ĐIỆN TỬ
BỘ MÔN ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG

TRẦN GIA TUẤN – 2012357

ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP
XÂY DỰNG BỘ ĐIỀU KHIỂN CHO CÁNH TAY ROBOT
5 BẬC TỰ DO
BUILDING CONTROL SYSTEM FOR 5 DOFS ROBOTIC
MANIPULATOR

CỬ NHÂN NGÀNH KỸ THUẬT ĐIỀU KHIỂN & TỰ ĐỘNG HÓA

GIẢNG VIÊN HƯỚNG DẪN
GS. TS. Hồ Phạm Huy Ánh

TP. HỒ CHÍ MINH, 2024

CÔNG TRÌNH ĐƯỢC HOÀN THÀNH TẠI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA –ĐHQG -HCM

Cán bộ hướng dẫn Khóa luận tốt nghiệp :
(Ghi rõ họ, tên, học hàm, học vị và chữ ký)

Cán bộ chấm nhận xét 1 :
(Ghi rõ họ, tên, học hàm, học vị và chữ ký)

Cán bộ chấm nhận xét 2 :
(Ghi rõ họ, tên, học hàm, học vị và chữ ký)

Khóa luận tốt nghiệp được bảo vệ tại Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG
Tp.HCM ngày tháng năm

Thành phần Hội đồng đánh giá khoá luận tốt nghiệp gồm:
(Ghi rõ họ, tên, học hàm, học vị của Hội đồng chấm bảo vệ khóa luận tốt nghiệp)

1.
2.
3.
4.
5.

Xác nhận của Chủ tịch Hội đồng đánh giá khóa luận tốt nghiệp và Chủ nhiệm Bộ
môn sau khi luận văn đã được sửa chữa (nếu có).

CHỦ TỊCH HỘI ĐỒNG

CHỦ NHIỆM BỘ MÔN.....

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA TP. HỒ CHÍ
MINH

KHOA ĐIỆN – ĐIỆN TỬ

BỘ MÔN: ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM

Độc lập - Tự do - Hạnh phúc

TP. HCM, ngày....tháng.....năm.....

NHẬN XÉT LUẬN VĂN TỐT NGHIỆP CỦA CÁN BỘ HƯỚNG DẪN

Tên luận văn:

Xây dựng bộ điều khiển cho cánh tay robot 5 bậc tự do

Nhóm Sinh viên thực hiện:

Trần Gia Tuấn

2012357

Cán bộ hướng dẫn:

GS. TS. Hồ Phạm Huy Ánh

Đánh giá Luận văn

1. Về cuốn báo cáo:

Số trang

Số chương

Số bảng số liệu

Số hình vẽ

Số tài liệu tham khảo

Sản phẩm

Một số nhận xét về hình thức cuốn báo cáo:

<nhận xét về định dạng, cách thức viết báo cáo, phân bố nội dung, chương mục có hợp lý không, ...>

2. Về nội dung luận văn:

<nhận xét về kiến thức, phương pháp mà sinh viên đã tìm hiểu, nghiên cứu, nhận xét ưu điểm và hạn chế>

3. Về tính ứng dụng:

<nhận xét về việc xây dựng ứng dụng demo, nhận xét ưu điểm và hạn chế>

4. Về thái độ làm việc của sinh viên:

<nhận xét về thái độ, ưu khuyết điểm của từng sinh viên tham gia>

Đánh giá chung: Luận văn đạt/không đạt yêu cầu của một luận văn tốt nghiệp kỹ sư, xếp loại Giỏi/ Khá/ Trung bình

Điểm từng sinh viên:

Trần Gia Tuấn /10

Cán bộ hướng dẫn
(Ký tên và ghi rõ họ tên)

TP. HCM, ngày....tháng.....năm.....

NHẬN XÉT LUẬN VĂN TỐT NGHIỆP
CỦA CÁN BỘ PHẢN BIỆN

Tên luận văn:

Xây dựng bộ điều khiển cho cánh tay robot 5 bậc tự do

Nhóm Sinh viên thực hiện:

Trần Gia Tuấn

Cán bộ phản biện:

2012357

Đánh giá Luận văn

5. Về cuốn báo cáo:

Số trang _____ Số chương _____

Số bảng số liệu _____ Số hình vẽ _____

Số tài liệu tham khảo _____ Sản phẩm _____

Một số nhận xét về hình thức cuốn báo cáo:

<nhận xét về định dạng, cách thức viết báo cáo, phân bố nội dung, chương mục có hợp lý không, ...>

6. Về nội dung luận văn:

<nhận xét về kiến thức, phương pháp mà sinh viên đã tìm hiểu, nghiên cứu, nhận xét ưu điểm và hạn chế>

7. Về tính ứng dụng:

<nhận xét về việc xây dựng ứng dụng demo, nhận xét ưu điểm và hạn chế>

8. Về thái độ làm việc của sinh viên:

<nhận xét về thái độ, ưu khuyết điểm của từng sinh viên tham gia>

Đánh giá chung: Luận văn đạt/không đạt yêu cầu của một luận văn tốt nghiệp kỹ sư, xếp loại Giỏi/ Khá/ Trung bình

Điểm từng sinh viên:

Trần Gia Tuấn /10

Người nhận xét
(Ký tên và ghi rõ họ tên)

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA TP. HỒ CHÍ
MINH

KHOA ĐIỆN – ĐIỆN TỬ

BỘ MÔN: ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM

Độc lập - Tự do - Hạnh phúc

TP. HCM, ngày.....tháng.....năm.....

ĐỀ CƯƠNG CHI TIẾT

TÊN LUẬN VĂN: Xây dựng bộ điều khiển cho cánh tay robot 5 bậc tự do
Cán bộ hướng dẫn: GS. TS. Hồ Phạm Huy Ánh
Thời gian thực hiện: Từ ngày 01/09/2024 đến ngày
Sinh viên thực hiện: Trần Gia Tuấn – 2012357
Nội dung đề tài: <ul style="list-style-type: none">Mục tiêu:Đối tượng và phạm vi nghiên cứu:

[illegible][illegible]

<p>Xác nhận của Cán bộ hướng dẫn</p> <p>(Ký tên và ghi rõ họ tên)</p>	<p>TP. HCM, ngày....thángnăm.....</p> <p>Sinh viên</p> <p>(Ký tên và ghi rõ họ tên)</p>
--	--

DANH SÁCH HỘI ĐỒNG BẢO VỆ LUẬN VĂN

Hội đồng chấm luận văn tốt nghiệp, thành lập theo Quyết định số ngày
... của Hiệu trưởng Trường Đại học Bách khoa TP.HCM.

1. Chủ tịch.
2. Thư ký.
3. Ủy viên.
4. Ủy viên.
5. Ủy viên.

LỜI CẢM ƠN

TPHCM, ngày tháng năm

Sinh viên

MỤC LỤC

DANH MỤC HÌNH VẼ

DANH MỤC BẢNG BIỂU

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

DH: Denavit – Hartenberg

DMA: Direct Memory Access

DOF: Degree Of Freedom

PID: Proportional Integral Derivative

PWM: Pulse Width Modulation

ROI: Regions of Interest

SoC: System on Chip

SP: Set Point

TTL: Transistor – transistor logic

UART: Universal Asynchronous Receiver - Transmitter

TÓM TẮT LUẬN VĂN BẰNG TIẾNG VIỆT

Trong thời đại hiện nay, với sự phát triển vượt bậc của khoa học và công nghệ, mọi ngành công nghiệp đang chuyển dịch theo xu hướng tự động hóa. Chính vì vậy, các doanh nghiệp đã và đang thay thế các nhân công bằng các robot công nghiệp nhằm mục đích hỗ trợ thực thi các nhiệm vụ để tăng năng suất doanh nghiệp. Phần lớn các robot công nghiệp được đề cập trong các dây chuyền sản xuất thường là sự kết hợp của cánh tay robot và thị giác máy. Cánh tay robot có khả năng làm việc ổn định và chính xác cao bởi chúng sẽ không bị ảnh hưởng bởi cảm xúc như con người, hơn thế nữa, những cánh tay này có thể làm việc được dưới những môi trường khắc nghiệt và độc hại với sức khỏe con người như là phân loại hạt trong buồng UV,... Việc nghiên cứu và phát triển cánh tay robot ứng dụng thị giác máy trở thành một trong những vấn đề thiết yếu trong các nhà máy thông minh nhằm cải thiện tính đa dạng của lĩnh vực ứng dụng đồng thời tăng hiệu suất cũng như độ chính xác cho cánh tay robot

Cấu trúc của đề tài gồm có:

- Giới thiệu đề tài: Nhấn mạnh sự cần thiết của cánh tay robot trong công nghiệp.
- Tổng quan về mô hình cánh tay robot: Thiết kế và lắp đặt hệ thống mô hình cánh tay.
- Thiết kế bộ điều khiển cho cánh tay robot: Điều khiển cánh tay robot và lập trình cho cơ cấu thị giác đọc tọa độ vật.
- Kết quả thực hiện: Tóm tắt kết quả nghiên cứu và đề xuất những cải tiến và ứng dụng tiềm năng trong tương lai của cánh tay robot.

ABSTRACT

In the current era, with the rapid advancement of science and technology, all industries are shifting towards automation. As a result, businesses are replacing human labor with industrial robots to enhance productivity. Most industrial robots mentioned in production lines are often a combination of robotic manipulators and machine vision systems. Robotic manipulators are capable of working stably with high precision as they are unaffected by emotions like humans. Moreover, these arms can operate in harsh and hazardous environments that are detrimental to human health, such as sorting grains in UV chambers. Research and development of robotic arms integrated with machine vision have become essential in smart factories to improve the versatility of application fields, while also increasing the efficiency and precision of robotic arms.

The thesis is organized as follows:

- Introducing the document: Emphasizing the need for robotic manipulator in all industries
- Overview of robotic manipulator model: Designing and setting up a robotic manipulator model.
- Designing a controller for robotic manipulator: Controlling the robotic arm and programming the vision system to read object's coordinates.
- Implementation results: Summary of research and production results for improvements and potential future applications of robotic manipulator.

CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU ĐỀ TÀI

1.1 Đặt vấn đề

1.2. Tình hình nghiên cứu

1.3. Lý do chọn đề tài

1.4. Mục tiêu của đề tài

1.5. Cấu trúc của đề tài

Cấu trúc của đề tài gồm có:

- **Chương 1:** Giới thiệu đề tài.
- **Chương 2:** Tổng quan về mô hình cánh tay robot.
- **Chương 3:** Thiết kế bộ điều khiển cho cánh tay robot.
- **Chương 4:** Kết quả thực hiện.

CHƯƠNG 2: TỔNG QUAN VỀ MÔ HÌNH CÁNH TAY ROBOT

2.1. Mô hình cánh tay robot

Yêu cầu của bài toán đặt ra là thiết kế hệ thống điều khiển cánh tay robot có khả năng di chuyển đến vị trí tương ứng của vật và gấp vật.

2.1.1. Khỏi nguồn

Để vận hành các động cơ servo cũng như các mạch điều khiển, ta cần một nguồn cấp 5V và dòng đủ lớn để điều khiển các servo, vì thế nguồn tổ ong 5V – 20A sẽ được sử dụng trong đồ án này để cấp nguồn cho các thành phần liên quan đến cánh tay robot.



Hình 2.8. Nguồn tổ ong 5V – 20A.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật của nguồn tổ ong.

Điện áp đầu vào	180 VAC – 240 VAC
Công suất	100W
Dòng đầu ra tối đa	20A
Nhiệt độ làm việc	10 ~ 60 độ C
Kích thước	198 x 48 x 42 mm

Đối với máy tính nhúng Raspberry Pi 4B, cần sử dụng nguồn riêng của hãng để tránh gây ra hư hỏng.

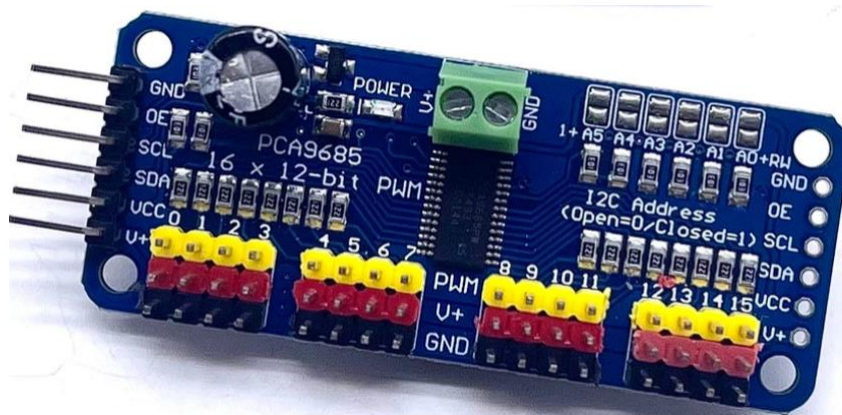


Hình 2.9. Nguồn Raspberry Pi 4 -5.1 V – 3 A.

Bảng 2. Thông số kỹ thuật của nguồn Raspberry Pi 4.

Điện áp đầu ra	5.1 VDC
Dòng tối thiểu	0A
Dòng tối đa	3A
Công suất tối đa	15.3 W
Điều tiết tải	$\pm 5\%$
Quy định dòng	$\pm 2\%$
Bảo vệ	<ul style="list-style-type: none"> • Bảo vệ ngắn mạch • Bảo vệ quá dòng • Bảo vệ quá nhiệt
Hiệu quả	Tối thiểu 81% (dòng đầu ra từ 100% 75% 50% 25%) tối thiểu 72% ở 10% tải
Chuẩn kết nối đầu ra	USB Type - C

Để thuận tiện cho việc thiết kế hệ thống cũng như trong quá trình điều khiển, các động cơ servo được điều khiển thông qua PCA9685. Mạch điều khiển 16 Chanel PWM PCA9685 được sử dụng để có thể xuất ra đồng thời 16 xung PWM từ 16 cổng khác nhau thông qua giao tiếp I2C sử dụng IC PCA9685.



Hình 2.10. Mạch điều khiển 16 kênh PWM PCA9685.

Bảng 3. Thông số kỹ thuật của PCA 9685.

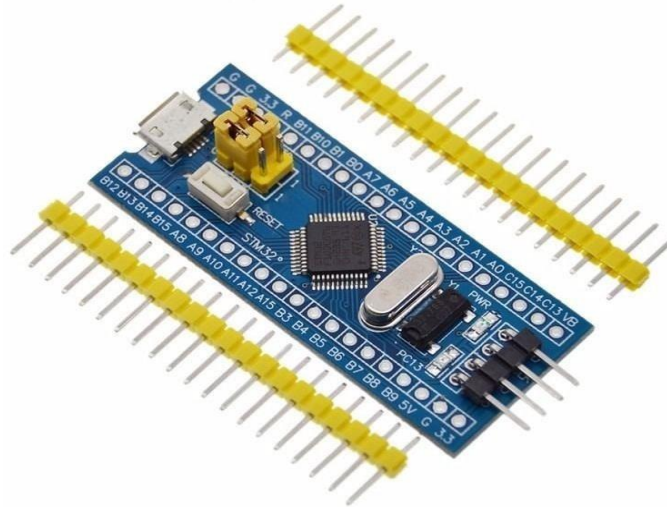
IC chính	PCA 9685
Điện áp sử dụng	2.3 ~ 5.5 VDC
Số kênh PWM	16 kênh
Tần số	40 ~ 1000 Hz
Độ phân giải PWM	12 bit
Giao tiếp	I2C (chấp nhận mức Logic TTL 3 ~ 5 VDC)
Kích thước	62.5 x 25.4 x 3 mm

2.1.2. Khối điều khiển

Đối với khối điều khiển, ta cần các tác vụ giao tiếp I2C với PCA 9685 và giao tiếp UART với Raspberry Pi, vì thế đề xuất được đưa ra ở dự án này là mạch STM32F103C8T6 Blue Pill dùng làm bộ não chính của cánh tay robot.

Là một phiên bản nhỏ gọn trong các dòng chip phổ biến của ST nhưng vẫn giữ được các chức năng cơ bản, tương tự và cần thiết so với các loại vi điều khiển khác. STM32F103 thuộc họ F1 với lõi ARM 32-bit COTEX-M3 RISC cùng bộ dao động bên trong 4-16MHz, là một chip công nghệ flash CMOS.

Với số lượng các Timers, USART, và DMA được tích hợp trong vi điều khiển này cho phép nhận và truyền dữ liệu giữa lớp trên và lớp dưới một cách hợp lý.



Hình 2.11. Mạch vi điều khiển STM32F103C8T6.

Bảng 4. Thông số kỹ thuật của STM32F103C8T6.

Vi điều khiển	ARM 32-bit COTEX-M3 RISC
Điện áp hoạt động	2.0 → 3.6V
Dòng điện nguồn	6mA
Số lượng chân	47
Bộ nhớ flash	64/128 KB
Bộ dao động bên trong	4 → 16 MHz
Tốc độ CPU	72 MHz (tối đa)
Số Timer	3 Timers 16 bit hỗ trợ mode Input Capture/Output Compare/PWM, 1 Timer 16 bit hỗ trợ điều khiển động cơ, 2 Watchdog Timer, 1 Systick Timer 24 bit.
Số bộ I2C	2
Số bộ USART	3
Số kênh DMA	7

2.1.3. Khối thị giác máy

Camera đóng vai trò là đôi mắt cho cánh tay robot hoạt động. Đối với dự án này, thị giác sẽ thực hiện tác vụ đọc được tọa độ thực của vật trên bề mặt phẳng, từ đó sẽ truyền thông tin về khối điều khiển để xử lý.

Camera sẽ đóng vai trò vô cùng quan trọng trong việc điều hướng robot sao cho đi đúng đến vị trí vật, vì lẽ đó lựa chọn camera nào cần được cân nhắc trước khi đưa ra quyết định. Camera được lựa chọn ở đây sẽ là Raspberry Pi Camera module V3 75°.

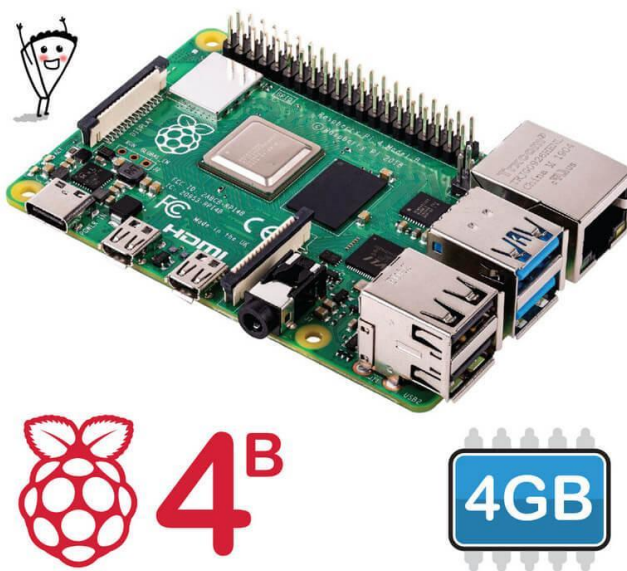


Hình 2.12. Cảm biến USB Camera.

Bảng 4. Thông số kỹ thuật của USB Camera

Độ phân giải	12 MP
Độ phân giải ảnh	4608 x 2592
Độ phân giải video	1080p@50fps
Cảm biến hình ảnh	IMX708
Góc nhìn	75°
Kích thước	25 x 23.862 mm

Để có thể thu nhận hình ảnh từ camera về xử lý để cho ra tọa độ vật, máy tính nhúng lựa chọn được đưa ra vì mạch điều khiển STM32F103C8T6 sẽ không đủ khả năng để xử lý công việc giao tiếp với camera. Máy tính nhúng lựa chọn sẽ là Raspberry Pi model 4B phiên bản 4GB.



Hình 2.13. Raspberry Pi 4 Model B – 4GB RAM.

Bảng 5. Thông số kỹ thuật của Raspberry Pi 4 Model B

RAM	4GB
SoC	Broadcom BCM2711, Quad core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit @ 1.5GHz
Nguồn điện	DC 5V – 3A DC chuẩn USB – C
Wifi	Chuẩn 2.4 GHz và 5.0 GHz IEE 802.11ac
Kích thước	85 x 56 mm

2.1.4. Khối động cơ

Động cơ RC Servo TowerPro MG996R

Động cơ RC Servo MG996R là loại động cơ servo đến từ hãng TowerPro với lực kéo, độ bền, độ chính xác và độ ổn định cao, động cơ có cấu tạo hộp số hoàn toàn bằng kim loại với trục chính bằng nhôm hợp kim có độ cứng cao 6061-T6 (màu bạc) giúp giảm trọng lượng, ngoài ra trục chính và các trục quay trong hộp số còn được hỗ trợ bạc đạn và các vòng đệm kim loại giúp tăng độ bền và độ chính xác của động cơ khi hoạt động.

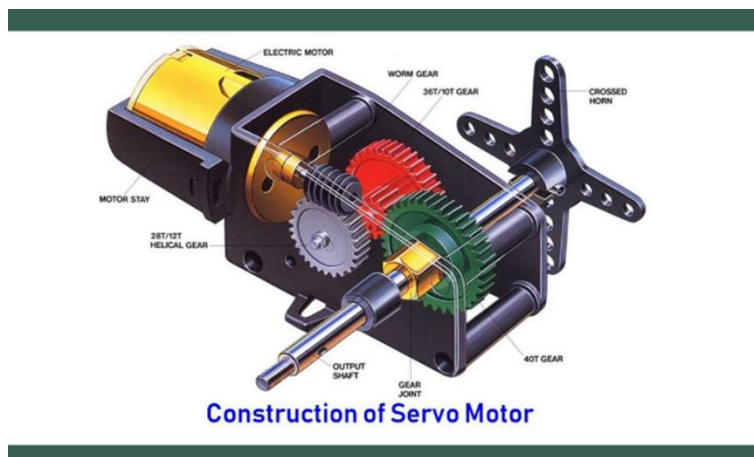
Động cơ Digital RC Servo TowerPro MG996R là dạng Digital RC Servo với các đặc tính vượt trội và độ chính xác cao, thích hợp với các mô hình robot phức tạp.



Hình 2.13. Động cơ RC Servo MG996R.

Bảng 6. Thông số kỹ thuật của Động cơ RC Servo MG966

Điện áp hoạt động	4.8 → 6.6V
Lực kéo	9.4 kg/cm ở mức 4.8VDC 11 kg/cm ở mức 6VDC
Tốc độ quay	0.19s/60° (4.8VDC không tải) 0.15s/60° (6VDC không tải)
Kích thước	40 x 19.7 x 42.9 mm
Trọng lượng	55g

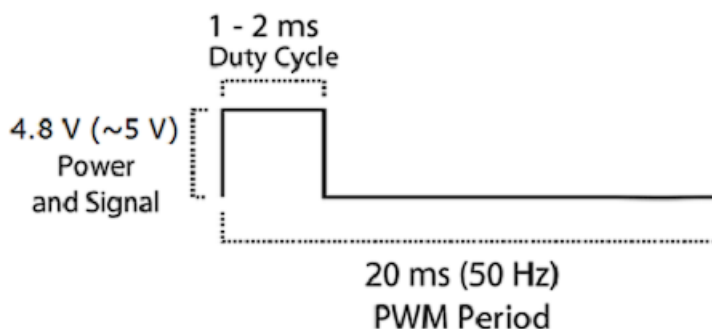


Hình 2.14. Cấu tạo của 1 động cơ servo.

Để điều khiển được động cơ servo, ta cần nắm rõ những điều sau:
 Động cơ servo được điều khiển bằng cách gửi một xung điện có độ rộng thay đổi hoặc điều chế độ rộng xung (PWM), thông qua dây điều khiển. Có một xung tối thiểu, một

xung tối đa và tốc độ lặp lại. Một động cơ servo thường chỉ có thể quay 90 độ theo một trong hai hướng cho tổng chuyển động là 180 độ. Vị trí trung tính của động cơ được xác định là vị trí mà servo có cùng số vòng quay tiềm năng theo cả chiều kim đồng hồ hoặc ngược chiều kim đồng hồ. PWM được gửi đến động cơ xác định vị trí của trục và dựa trên thời gian của xung gửi qua dây điều khiển, motor sẽ chuyển sang vị trí mong muốn của người điều khiển.

Tín hiệu điều khiển servo là dạng tín hiệu như sau:



Hình 2.15. Dạng tín hiệu điều khiển góc quay động cơ MG996R tại 50 Hz.

Ta có :

- Ứng với 1ms sẽ là 0°.
- Ứng với 2ms sẽ là 180°.

$$\text{Pulse Width (ms)} = \text{Min Pulse Width} + \left(\frac{\text{Max Pulse Width} - \text{Min Pulse Width}}{180} \times \text{Góc} \right)$$

Hình 2.16. Công thức độ rộng xung cần cho 1 góc cụ thể.

2.2. Mô hình cánh tay và hệ thống

Hình 2.17. Mô hình cánh tay robot 5 bậc tự do.

Hình 2.18. Giá đỡ camera.

Hình 2.19. Bộ đỡ của cánh tay robot.

2.3. Sơ đồ giao tiếp giữa các khối với nhau trong mô hình

Hình 2.20. Sơ đồ nối dây tổng thể của hệ thống.

Hình 2.21. Minh họa cơ chế hoạt động của DMA.

CHƯƠNG 3: THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN CHO CÁNH TAY ROBOT

3.1. Cơ sở lý thuyết về cánh tay robot 5 bậc tự do

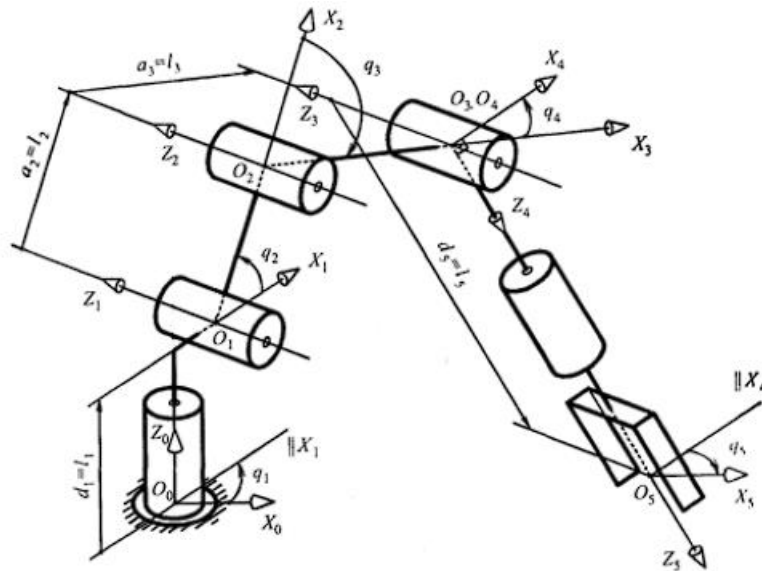
3.1.1. Đặt hệ trục tọa độ lên cánh tay robot

Để có thể đặt được trục, ta cần tuân thủ vài nguyên tắc cơ bản về đặt trục của phương pháp DH như sau:

- Trục z sẽ nằm trùng với trục xoay của động cơ
- Trục x sẽ song song với pháp tuyến chung của z_n và z_{n-1} như sau

$$x_n = z_n \times z_{n-1}.$$

- Hướng của x_n sẽ hướng từ z_{n-1} đến z_n
- Trục y được xác định bằng quy tắc bàn tay phải



Hình 3.1. Hệ trục tọa độ từng khớp của cánh tay robot dưới dạng hình 3 chiều

Hình 3.2. Hệ trục tọa độ từng khớp của cánh tay dưới dạng hình 2 chiều

3.1.2. Thiết lập bảng DH

Các thông số DH tương ứng với các khớp sẽ được xác định dựa trên quy tắc sau:

- θ_i là góc quay quanh trục z_{i-1} từ x_{i-1} sang x_i
- d_i là khoảng cách từ điểm giao nhau của trục z_{i-1} với trục x_i đến gốc O_{i-1}
- α_i là góc xoắn quay quanh trục x_i từ z_{i-1} sang z_i
- a_i là khoảng cách dọc theo pháp tuyến chung giữa trục z_{i-1} và trục z_i

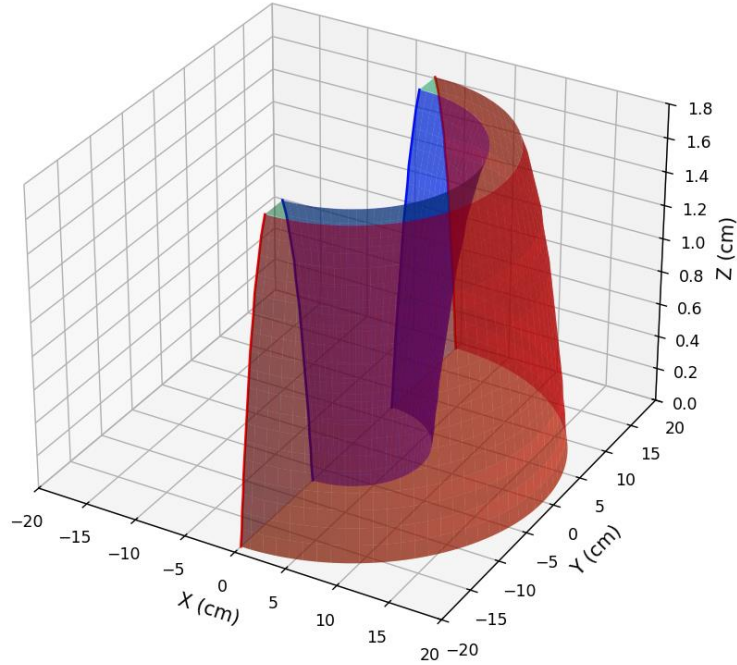
Bảng 7. Bảng DH

Khâu	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	0	$-\frac{\pi}{2}$	d_1	θ_1^*
2	a_2	0	0	θ_2^*
3	a_3	0	0	θ_3^*
4	0	$\frac{\pi}{2}$	0	θ_4^*
5	0	0	d_5	θ_5^*

3.1.3. Không gian làm việc của cánh tay robot

Không gian làm việc của cánh tay robot được định nghĩa là một tập hợp các điểm nằm trong đó mà cánh tay robot có thể vươn tới được.

Trong dự án này, cánh tay robot được thiết lập để gấp theo chiều vuông góc với mặt sàn, vì vậy không gian sẽ khác với khi robot hoạt động tự do.



Hình 3.3. Không gian làm việc của robot khi gấp thẳng đứng.

3.1.4. Tính toán động học thuận của cánh tay robot

Để tính toán động học thuận của cánh tay robot, ta cần nhớ công thức để tính ma trận chuyển tiếp như sau

$$A_i = \begin{vmatrix} c_i & -c_{\alpha_i} \cdot s_i & s_{\alpha_i} \cdot s_i & a_i \cdot c_i \\ s_i & c_{\alpha_i} \cdot c_i & -s_{\alpha_i} \cdot c_i & a_i \cdot s_i \\ 0 & s_{\alpha_i} & c_{\alpha_i} & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Hình 3.4. Ma trận chuyển tiếp

Trong đó: $c_i = \cos(\theta_i)$, $s_i = \sin(\theta_i)$, $c_{\alpha_i} = \cos(\alpha_i)$, $s_{\alpha_i} = \sin(\alpha_i)$.

Dựa vào các thông số trên bảng DH cho cánh tay robot 5 bậc tự do:

$$A_1 = \begin{vmatrix} c_1 & 0 & -s_1 & 0 \\ s_1 & 0 & c_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix},$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} c_2 & -s_2 & 0 & a_2 \cdot c_2 \\ s_2 & c_2 & 0 & a_2 \cdot s_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} c_3 & -s_3 & 0 & a_3 \cdot c_3 \\ s_3 & c_3 & 0 & a_3 \cdot s_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$A_4 = \begin{bmatrix} c_4 & 0 & -s_4 & 0 \\ s_4 & 0 & c_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$A_5 = \begin{bmatrix} c_5 & -s_5 & 0 & 0 \\ s_5 & c_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

$$T_5 = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5$$

$$T_5 = \begin{bmatrix} c_1 \cdot c_{234} \cdot c_5 + s_1 \cdot s_5 & -c_1 \cdot c_{234} \cdot s_5 + s_1 \cdot c_5 & -c_1 \cdot s_{234} & c_1 \cdot (-d_5 \cdot s_{234} + a_3 \cdot c_{23} + a_2 \cdot c_2) \\ c_1 \cdot c_{234} \cdot c_5 - s_1 \cdot s_5 & -s_1 \cdot c_{234} \cdot s_5 - c_1 \cdot s_5 & -s_1 \cdot s_{234} & s_1 \cdot (-d_5 \cdot s_{234} + a_3 \cdot c_{23} + a_2 \cdot c_2) \\ -s_{234} \cdot c_5 & s_{234} \cdot s_5 & -c_{234} & d_1 - a_2 \cdot s_2 - a_3 \cdot s_{23} - d_5 \cdot c_{234} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

Trong đó: $c_{ijk} = \cos(q_i + q_j + q_k)$, $s_{ijk} = \sin(q_i + q_j + q_k)$.

3.1.5. Tính toán động học nghịch của cánh tay robot

Đối với bài toán động học nghịch (vấn đề cần quan tâm trong dự án này), yêu cầu đặt ra sẽ là ta cần tìm góc của các khớp sao để thỏa mãn với vị trí và hướng xoay được cho bởi ma trận

$$H = \begin{bmatrix} n_x & O_x & a_x & p_x \\ n_y & O_y & a_y & p_y \\ n_z & O_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

Để giải quyết vấn đề trên ta sẽ có hai hướng tiếp cận: phương pháp đại số và phương pháp hình học.

Phương pháp đại số

Phương pháp này sẽ chủ yếu là đồng nhất hệ số khi ta cho hai ma trận bằng nhau để giải:

$$T_5 = H$$

Có thể thấy để giải được ra các góc, ta phải giải 1 hệ 5 phương trình 5 ẩn vô cùng phức tạp. Điều này dẫn đến 1 giải pháp hay hơn là giải bằng hình học.

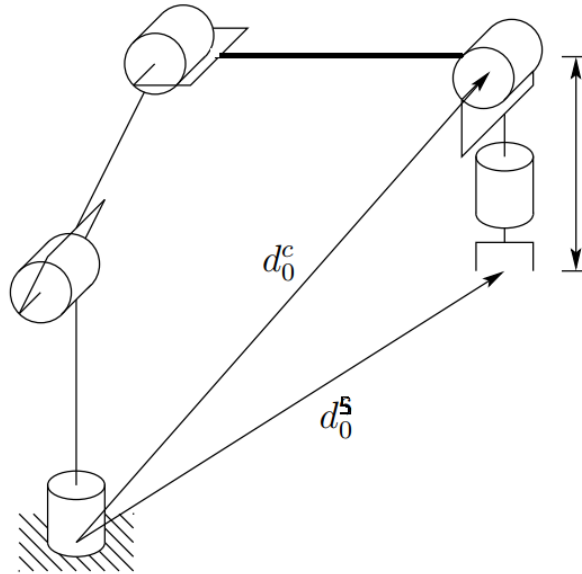
Phương pháp hình học

Trước tiên ta cần biết 1 điều, chỉ có 3 khớp đầu tiên sẽ có trách nhiệm với tọa độ vị trí điểm cuối, còn 2 khớp còn lại sẽ ảnh hưởng đến hướng xoay. Vì thế ta sẽ áp dụng phương pháp Kinematic Decoupling để tách ra làm 2 phần để giải.

- Giải động học ngược cho vị trí (tìm góc của 3 khớp đầu tiên)

Từ ma trận H ta có được các tọa độ x, y, z của vật tương ứng là p_x, p_y, p_z .

Vì tọa độ mà 3 khớp đầu tiên khi xoay mang lại sẽ là tọa độ của khớp thứ 4 nên khi giải ta sẽ lấy tọa độ thực biến đổi để về tọa độ khớp thứ 4 rồi mới giải



Hình 3.5. Kinematic Decoupling

$$x = p_x - (d_5 + \Delta)r_{13},$$

$$y = p_y - (d_5 + \Delta)r_{23},$$

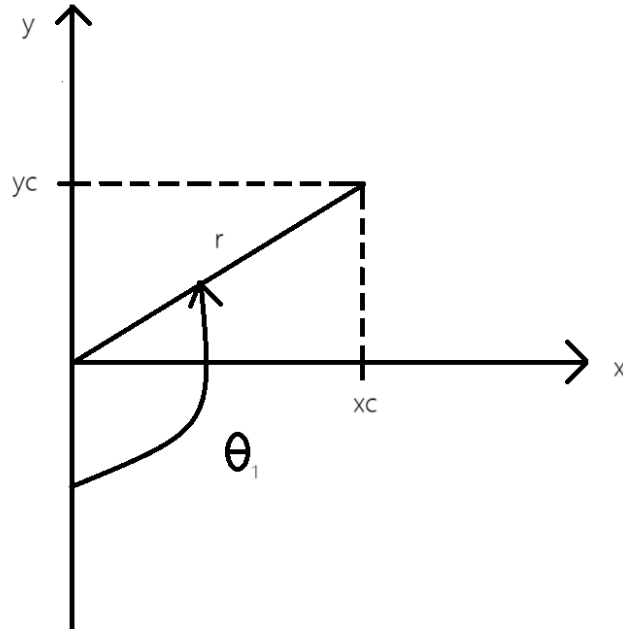
$$z = p_z - (d_5 + \Delta)r_{33}.$$

Trong đó: r_{ij} là phần tử hàng i cột j trong ma trận xoay.

Tuy nhiên đối với dự án này, vì là gấp thẳng đứng nên x và y của vật cũng chính là x và y của khớp thứ 4 và z được tìm như sau

$$z = p_z + (d_5 + \Delta).$$

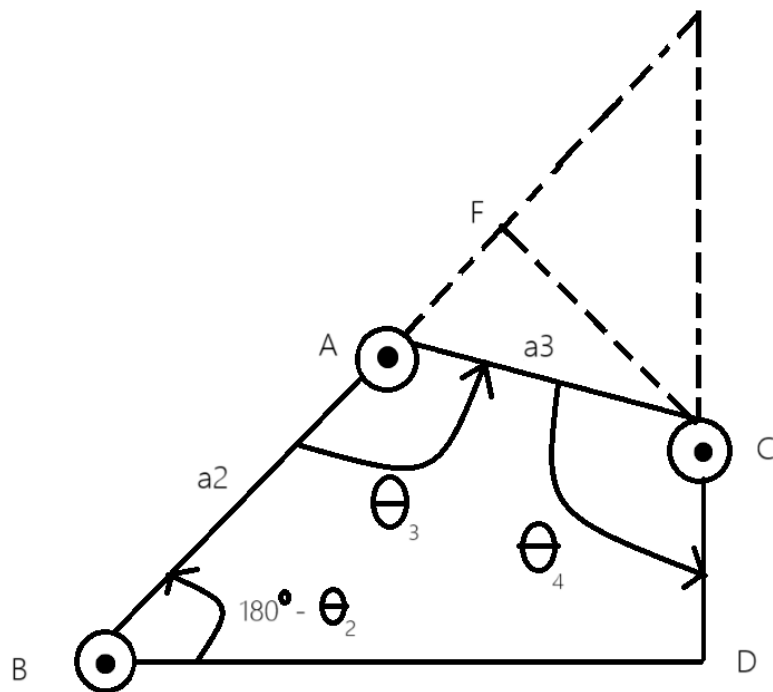
Dấu “+” được giải thích vì khi gấp vuông góc với mặt sàn, trục z của end-effector sẽ hướng ngược chiều cùng phương với trục z của gốc nên $r_{33} = -1$.



Hình 3.6. Góc chiếu thẳng đứng từ trên xuống của cánh tay robot

Từ hình trên ta tìm được góc thứ nhất của cánh tay robot bằng phương trình

$$\theta_1 = \arctan2(y, x),$$



Hình 3.7. Góc nhìn ngang của cánh tay robot

Từ hình trên

$$r = \sqrt{x^2 + y^2},$$

$$s = z - d_1,$$

$$\cos(\widehat{ABC}) = \frac{r^2 + s^2 - a_2^2 - a_3^2}{-2.a_2.a_3} := D,$$

$$\rightarrow \theta_3 = \arctan2(\sqrt{1 - D^2}, D),$$

$$\widehat{BAD} = \pi - \theta_2,$$

$$\widehat{BAD} = \arctan2(s, r) + \arctan2(a_3 \cdot \sin(\pi - \theta_3), a_2 + a_3 \cdot \cos(\pi - \theta_3)),$$

$$\rightarrow \theta_2 = \pi - \arctan2(s, r) - \arctan2(a_3 \cdot \sin(\pi - \theta_3), a_2 + a_3 \cdot \cos(\pi - \theta_3)),$$

$$\theta_4 = 2\pi - \frac{\pi}{2} - \theta_3 - \widehat{BAD},$$

$$\theta_4 = \frac{\pi}{2} - \theta_3 + \theta_2,$$

$$\theta_5 = 0 + \frac{\pi}{2}. \text{ (vì các servo khi mới mua về đều phải preset 1 góc } 90^\circ \text{ rồi mới lắp đặt, các}$$

góc bên trên đã được công thêm khi vẽ hình)

CHƯƠNG 4: KẾT QUẢ THỰC HIỆN

