

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



HCMUTE

**BÁO CÁO TÓM TẮT
ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP**

**NGHIÊN CỨU, THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO
ROBOT DELTA CHO ỨNG DỤNG
ĐÓNG GÓI THỰC PHẨM
SỬ DỤNG TRÍ TUỆ NHÂN TẠO**

Giảng viên hướng dẫn:

T.S. Võ Lâm Chương

Sinh viên thực hiện:

Nguyễn Minh Khoa	21146112
Lê Nhật Duy	21146441
Lê Lý Tam	21146145

TP HCM, Tháng 07 năm 2025

MỤC LỤC

MỤC LỤC	2
DANH MỤC BẢNG BIỂU VÀ HÌNH ẢNH	4
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ ĐỀ TÀI	6
1.1 Tổng quan về đề tài nghiên cứu.....	6
1.2 Mục tiêu, nhiệm vụ của đề tài.....	6
1.3 Giới hạn của đề tài.....	7
1.4 Nội dung nghiên cứu	7
CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT	8
2.1 Tổng quan về Robot Delta.....	8
2.2 Động học thuận.....	9
2.3 Động học nghịch.....	10
2.4 Mô phỏng không gian làm việc	11
2.5 Hệ thống gán nhãn tự động.....	13
2.6 Quy trình triển khai hệ thống gán nhãn tự động	13
2.7 Hệ thống Object Tracking.	14
2.8 Các phương pháp đánh giá mô hình Object Detection	14
2.8.1 Intersection Over Union (IoU)	14
2.8.2 Confusion Matrix và Accuracy	15
2.9 Thuật toán Tracking	16
2.9.1 Sơ lược về Tracking bằng Byte Track	16
2.9.2 Tiêu chí đánh giá Object Tracking	16
CHƯƠNG 3: TÍNH TOÁN THIẾT KẾ CƠ KHÍ.....	17
3.1 Chọn động cơ và hộp số	17
3.3 Cấu tạo và nguyên lý tay gấp mềm.....	19
CHƯƠNG 4: THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỆN	20
4.1 Sơ đồ hệ thống điện.....	20
4.2 Các chuẩn giao tiếp hệ thống.....	20

4.2.1 Giao tiếp SSCNET III	20
4.2.2 Giao tiếp Ethernet.....	21
4.3 Hệ thống điện thực tế.....	21
CHƯƠNG 5: ĐIỀU KHIỂN CHUYÊN ĐỘNG ROBOT	22
5.1 Tổng quan về quỹ đạo	22
5.2 Lập trình điều khiển robot trên GX Work 2	23
CHƯƠNG 6: HỆ THỐNG TRÍ TUỆ NHÂN TẠO	25
6.1 Hệ thống gắn nhãn tự động.....	25
6.2 Đánh giá kết quả hệ thống	26
6.2 Hệ thống theo dõi và truy xuất dữ liệu	26
6.3 Phương pháp chuyển đổi tọa độ	27
6.4 Quy trình hoạt động và lưu đồ giải thuật của hệ thống.....	29
CHƯƠNG 7: KẾT QUẢ KIỂM NGHIỆM	31
7.1 Kết quả thực nghiệm Robot Delta	31
7.2 Kiểm nghiệm động học trên Robot Delta thực tế	31
7.2 Kết quả thực nghiệm Hệ thống trí tuệ nhân tạo	33
7.3 Kết quả thực nghiệm phương pháp chuyển đổi tọa độ	34
7.4 Kết quả thực nghiệm Mô hình Object Tracking	36
CHƯƠNG 8: KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN.....	38
8.1 Kết luận	38
8.2 Hướng phát triển.....	38

DANH MỤC BẢNG BIỂU VÀ HÌNH ẢNH

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 2.1 Kích thước vật lý Delta Robot	11
Bảng 2.2 bộ số liệu thực tế	12
Bảng 2.3 Bảng so sánh các mô hình YOLO	14
Bảng 2.4 So sánh thuật toán Tracking	16
Bảng 3.1 Các chi tiết cơ khí hoàn thiện	17
Bảng 4.1 Thông số kỹ thuật kết nối chuẩn SSCNET III	21
Bảng 7.1 Sai Số Quy Hoạch - Thực Tế	32
Bảng 7.2 Kết quả sai số kiểm nghiệm thực tế động học nghịch	33
Bảng 7.3 Độ chính xác mô hình gán nhãn tự động	34
Bảng 7.4 Tính toán IoU trung bình trên các loại dữ liệu	34
Bảng 7.5 Chuyển đổi tọa độ trong bàn cờ	35
Bảng 7.6 Kết quả kiểm nghiệm thực tế	37

DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 2.1 Robot song song Delta không gian 3 RUS	8
Hình 2.2 Biểu diễn khớp, đỉnh của Robot Delta	9
Hình 2.3 Minh họa động học của cánh tay đòn robot	10
Hình 2.4 Mặt phẳng YZ của mô hình động học nghịch Robot Delta	10
Hình 2.5 Mô hình Robot với các thông số hình học	12
Hình 2.6 Không gian làm việc của Robot Delta	12
Hình 2.7 Moment dẫn động	13
Hình 2.8 Quy trình xây dựng hệ thống gán nhãn tự động	13
Hình 2.9 Công thức tính toán IoU	15
Hình 2.10 Confusion Matrix cho hai đối tượng	15
Hình 3.1 Cấu tạo tay gắp mềm	19

Hình 4.1 Sơ đồ hệ thống điện	20
Hình 4.2 Hệ thống điện thực tế.....	21
Hình 5.1 Đường đi của Robot.....	22
Hình 5.2 Quỹ đạo Robot.....	22
Hình 5.3 Lưu đồ điều khiển.....	24
Hình 6.1 Lưu đồ giải thuật hệ thống tự động gán nhãn	25
Hình 6.2 Chạy kiểm nghiệm trên các loại dữ liệu khác nhau	26
Hình 6.3 Sơ đồ khối quy trình áp dụng thuật toán Tracking	27
Hình 6.4 Trục tọa độ Camera	28
Hình 6.5 Lưu đồ tổng quan hệ thống.....	29
Hình 6.6 Lưu đồ khối xử lý tín hiệu và khối điều khiển.....	30
Hình 7.1 Hệ thống cơ khí Robot Delta	31
Hình 7.2 Đáp ứng của các góc theta	32
Hình 7.3 So sánh sai số quỹ đạo	32
Hình 7.4 Bàn cờ xác định tọa độ	35
Hình 7.5 Kết quả thực nghiệm Hệ thống Tracking.....	36

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ ĐỀ TÀI

1.1 Tổng quan về đề tài nghiên cứu

Trong lĩnh vực thực phẩm, việc đóng gói đòi hỏi độ chính xác và linh hoạt rất cao, đặc biệt là với những sản phẩm có hình dạng, kích thước đa dạng hay những sản phẩm dễ hư hỏng, biến dạng. Các hệ thống robot truyền thống đôi khi gặp hạn chế trong khả năng thích ứng và sự linh động cần thiết để xử lý nhiều loại sản phẩm khác nhau. Do đó, việc ứng dụng Robot Delta kết hợp trí tuệ nhân tạo (AI) trở nên cần thiết và là hướng đi đầy hứa hẹn trong ngành công nghiệp đóng gói thực phẩm.

Nhận thấy những lợi ích và tiềm năng vượt trội từ việc kết hợp công nghệ robot Delta với trí tuệ nhân tạo, nhóm quyết định lựa chọn đề tài: “Nghiên cứu, thiết kế và chế tạo Robot Delta cho ứng dụng đóng gói thực phẩm sử dụng trí tuệ nhân tạo”.

Đề tài không chỉ nhằm đáp ứng nhu cầu ngày càng cao trong các ứng dụng gấp và thả mà còn hướng đến khả năng linh hoạt tối đa trong sản xuất. Với sự hỗ trợ từ công nghệ AI, Robot Delta có thể nhận dạng và xử lý chính xác các sản phẩm có sự đa dạng cao về hình dáng, kích cỡ, khối lượng và độ cứng khác nhau.

1.2 Mục tiêu, nhiệm vụ của đề tài

Với lý do trên, nhóm sẽ nghiên cứu và phát triển một giải pháp Robot Delta thông minh, vừa đảm bảo tính hiệu quả và độ tin cậy cao, vừa mở ra tiềm năng ứng dụng rộng rãi trong tương lai góp phần thúc đẩy mạnh mẽ sự phát triển và tiến bộ trong ngành công nghiệp thực phẩm nói riêng và ngành sản xuất công nghiệp nói chung.

Đề tài có nhiệm vụ nghiên cứu chi tiết nguyên lý hoạt động và cấu trúc của Robot Delta, từ đó tiến hành thiết kế cơ khí phù hợp, đảm bảo sự vững chắc và chính xác trong quá trình vận hành. Đề tài cũng tập trung vào việc xây dựng hệ thống điều khiển chuyển động sử dụng PLC Mitsubishi Q nhằm điều khiển chính xác các chuyển động của Robot trong ứng dụng gấp và thả thực phẩm.

Ứng dụng của Trí tuệ nhân tạo sẽ là cốt lõi cho tín hiệu điều khiển, xây dựng hệ thống gắn nhãn tự động giúp gắn nhãn cho bất kì loại dữ liệu nào. Hệ thống AI trích xuất vị trí vật thể từ đó hỗ trợ việc truy xuất giá trị vị trí thực cho Robot Delta chạy trên máy tính Server của nhóm.

Với yêu cầu đặt ra từ 20 đến 25 sản phẩm trong vòng 1 phút, mô hình phải có khả năng phát hiện chính xác vị trí tọa độ của thực phẩm trên băng tải với tốc độ camera trong khoảng 30 FPS, tiến hành gấp và đặt sản phẩm vào hộp ở băng tải khác.

1.3 Giới hạn của đề tài

Giới hạn của đề tài “Nghiên cứu, thiết kế và chế tạo Robot Delta cho ứng dụng đóng gói thực phẩm sử dụng trí tuệ nhân tạo” trong khuôn khổ đồ án môn học bao gồm việc tập trung vào thiết kế và xây dựng một mô hình Robot Delta cơ bản, bao gồm cả tay gấp mềm có khả năng thao tác với nhiều loại thực phẩm khác nhau, có thể thao tác từ 20 – 25 sản phẩm một phút, có tiềm năng phát triển mô hình thành các hệ thống quy mô lớn. Tuy nhiên, đồ án không mở rộng ra các bản thể quá phức tạp của thực phẩm hoặc không triển khai vào sản xuất thực tế. Đề tài cũng không xét đến các yếu tố như tối ưu hóa chi phí vận hành, bảo trì lâu dài hoặc có thể ứng dụng được với tất cả các loại vật thể. Các kết quả thu được trong đồ án còn sai lệch và sẽ cần được tiếp tục nghiên cứu và phát triển.

1.4 Nội dung nghiên cứu

Trong quá trình thực hiện đề tài “Nghiên cứu, thiết kế và chế tạo Robot Delta cho ứng dụng đóng gói thực phẩm sử dụng trí tuệ nhân tạo”, nhóm đã tiến hành nghiên cứu và giải quyết những nội dung sau:

+ NỘI DUNG 1: Khảo sát các hệ thống chuyển động đã được sử dụng trong các nghiên cứu trước về Robot Delta và thu thập, tổng quan tài liệu, số liệu liên quan. Nghiên cứu các thuật toán, ứng dụng và phương pháp xây dựng mô hình trí tuệ nhân tạo đã được áp dụng.

+ NỘI DUNG 2: Tính toán, xây dựng các phương trình động học, không gian hoạt động và mô phỏng các quỹ đạo di chuyển của Robot. Lựa chọn và xây dựng mô hình trí tuệ nhân tạo phù hợp.

+ NỘI DUNG 3: Thiết kế bản vẽ cơ khí, tìm hiểu vật liệu, gia công và lắp đặt các cơ cấu Robot Delta.

+ NỘI DUNG 4: Xác định thiết bị điện cần thiết, thiết kế sơ đồ đấu nối và lắp đặt hệ thống dây điện, camera và băng tải.

+ NỘI DUNG 5: Thiết kế thuật toán điều khiển chuyển động tích hợp trí tuệ nhân tạo, lập trình điều khiển PLC và Driver MR-J3.

+ NỘI DUNG 6: Thử nghiệm, tinh chỉnh và đánh giá kết quả toàn bộ hệ thống.

+ NỘI DUNG 7: Viết báo cáo và bảo vệ đề tài.

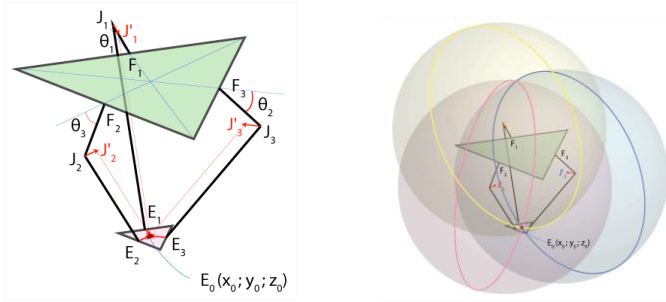
2.2 Động học thuận

Bài toán động học thuận là bài toán đi tính tọa độ điểm cuối cùng của Robot $E_0(x_0, y_0, z_0)$ khi đã biết được các góc θ .

Như đã trình bày ở trên các khớp hình bình hành J_1E_1, J_2E_2, J_3E_3 có thể xoay tự do quanh các điểm J_1, J_2, J_3 , (có thể tính được nếu biết góc θ) tạo thành các mặt cầu có bán kính r_e . Nếu tịnh tiến lần lượt các điểm J_1, J_2, J_3 , theo các vector $\overrightarrow{EE_1E_0}, \overrightarrow{E_2E_0}, \overrightarrow{E_3E_0}$ thì các mặt cầu sẽ cắt nhau tại điểm E_0 như Hình 2.2.

Lúc này chỉ cần giải 3 phương trình mặt cầu có tâm lần lượt là J_1', J_2', J_3' và bán kính r_e để tìm giao điểm E_0 .

$$(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2 + (z - z_j)^2 = r_e^2 \quad (2.1)$$



a) Tịnh tiến 3 điểm J_1, J_2, J_3 b) Giao điểm 3 mặt cầu

Hình 2.2 Biểu diễn khớp, đỉnh của Robot Delta

Sau khi giải hệ ba phương trình mặt cầu đồng thời để tìm giao điểm chung $E_0(x_0, y_0, z_0)$, Các bước bao gồm khai triển và trừ các phương trình để loại bỏ các biến, đưa chúng về dạng tổng quát:

$$x = a_1 * z + b_1 \quad (2.2)$$

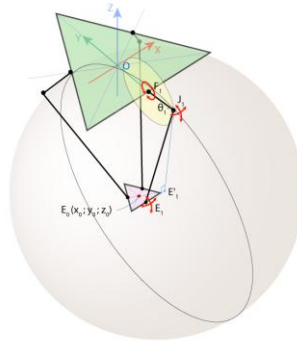
$$y = a_2 * z + b_2 \quad (2.3)$$

Thay x và y vào phương trình 2.1, sau đó giải phương trình bậc 2 được z_0 và tiếp tục ta sẽ tìm được x_0 và y_0 từ (2.2) và (2.3). Tuy nhiên ta chỉ lấy nghiệm z_0 nhỏ hơn, vì điểm cuối cùng của robot luôn luôn ở vị trí âm của trục z .

2.3 Động học nghịch

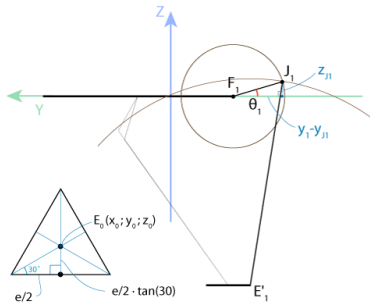
Phương trình động học nghịch của Robot Delta là một phương trình quan trọng để xác định góc quay của robot khi biết được tọa độ chính xác của vật, mô hình động học nghịch này được biểu diễn như (Hình 2.3) bên dưới.

Do khớp nối của robot F_1J_1 chỉ có thể xoay trong mặt phẳng YZ, tạo thành hình tròn với tâm tại điểm F_1 và bán kính r_f . Với việc J_1 và E_1 được gọi là khớp nối phổ quát, có nghĩa là E_1J_1 có thể xoay tự do tương đối với E_1 , tạo thành hình cầu với tâm tại điểm E_1 và bán kính r_e .



Hình 2.3 Minh họa động học của cánh tay đòn robot

Giao điểm của hình cầu này và mặt phẳng YZ là một đường tròn có tâm tại điểm E_1' và bán kính $E_1'J_1$ như Hình 2.4 (trong đó E_1' là phép chiếu của điểm E_1 trên mặt phẳng YZ). Điểm J_1 có thể được tìm thấy bây giờ như là giao điểm của các đường tròn bán kính đã biết với tâm là E_1' và F_1 và nếu biết được J_1 thì ta có thể tính được góc θ_1 .



Hình 2.4 Mặt phẳng YZ của mô hình động học nghịch Robot Delta

Như đã trình bày phía trên, để tìm được điểm J_1 , nhóm xét phương trình đường tròn tâm F_1 bán kính r_f và, phương trình đường tròn tâm E_1' bán kính $E_1' J_1$:

$$\begin{cases} (Y_{J_1} - Y_{F_1})^2 + (Z_{J_1} - Z_{F_1})^2 = r_f^2 \\ (Y_{J_1} - Y_{E_1'})^2 + (Z_{J_1} - Z_{E_1'})^2 = r_e^2 - x_0^2 \end{cases} \quad (2.4)$$

Khai triển phương trình trên, nhóm quy về được dạng

$$z = a + b * y \quad (2.5)$$

Sau đó, thế phương trình (2.5) vào (2.4), nhóm giải được phương trình bậc 2 theo Y_{J_1} (lấy nghiệm bé), nhóm ra được phương trình tính θ_1

$$\theta_1 = \arctan \frac{Z_{J_1}}{Y_{F_1} - Y_{J_1}} \quad (2.6)$$

Khi đã tính được góc θ_1 nhóm lợi dụng tính đối xứng của Robot Delta để tính toán góc θ_2 và θ_3 . Bằng cách xoay hệ trục xyz 120° với tọa độ điểm cuối cùng của $E'_0 (x'_0 y'_0 z'_0)$ và sử dụng cùng những cách tính ở trên để tìm góc θ_2 . Và để tìm góc θ_3 chỉ cần xoay hệ trục xyz 1 góc -120° .

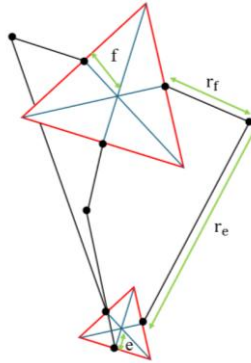
2.4 Mô phỏng không gian làm việc

Với không gian làm việc được đặt ra, nhóm đã thử một số phương pháp cũng như là mô phỏng động lực học để đưa ra thông số phù hợp nhất. Các thông số này được trình bày trong Bảng 2.1.

Bảng 2.1 Kích thước vật lý Delta Robot

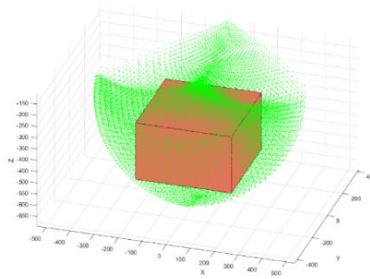
Ký hiệu – [đơn vị]	Ý nghĩa	Giá trị (mm)
f – [mm]	Chiều dài từ tâm đế cố định đến tâm trục động cơ	150
e - [mm]	Chiều dài từ tâm đế di động đến tâm trục cánh tay	50
r_f - [mm]	Chiều dài cánh tay chủ động	250
r_e - [mm]	Chiều dài cánh tay bị động	450

Các thông số được tính tương thích với mô hình trong Hình 2.5 với góc θ được giới hạn trong khoảng -45 đến 80 độ.



Hình 2.5 Mô hình Robot với các thông số hình học

Với thông số trên, có thể tính toán không gian làm việc Robot Delta Hình 2.6.



Hình 2.6 Không gian làm việc của Robot Delta

Bảng 2.2 là bộ số liệu thực tế mà nhóm đang thực hiện, với mục đích tìm ra moment cần thiết cho mục tiêu đáp ứng tốc độ dao động ở $1m/s$

Bảng 2.2 bộ số liệu thực tế

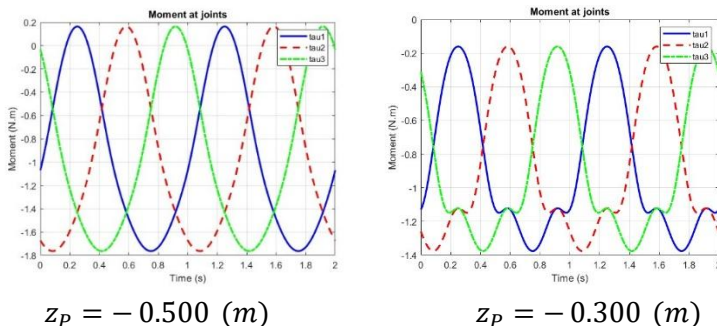
L1	L2	R	r	α_1	α_1	α_1	m_1	m_2	m_3
0.25 (m)	0.45 (m)	0.15 (m)	0.05 (m)	$-\pi/2$ rad	$\pi/6$ (m)	$5\pi/6$ (m)	0.3 (kg)	0.12 (kg)	0.4 (kg)

Quy luật chuyển động khâu thao tác (tâm P của đế di động):

$$x_p = -0.22 \sin(2\pi t); y_p = 0.22 \cos(2\pi t); z_p = -0.500 \text{ (m)}$$

Sử dụng matlab để mô phỏng quy luật chuyển động, và để xác định được khoảng moment cần thiết với nhu cầu, thì nhóm mô phỏng quy luật

chuyển động (quỹ đạo tròn) với nhiều độ cao z_p khác nhau. Hình 2.7 là một số kết quả thu được.



Hình 2.7 Moment dẫn động

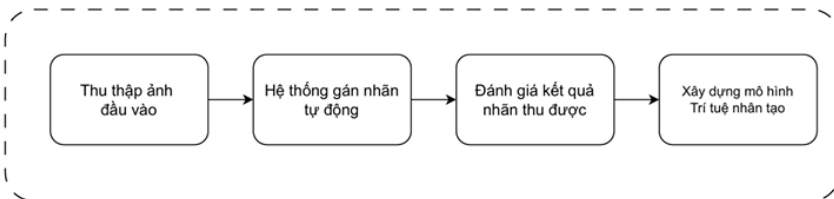
Cùng một đường tròn nhưng khác nhau về z_p , nếu z_p càng bé thì độ lớn của moment dẫn động càng lớn, so sánh về 3 z_p khác nhau đều thỏa mãn điều kiện về không gian làm việc. Nhóm thấy ở mức $z_p = 0,500 \text{ (m)}$ cho ra moment lớn nhất $= 1,8 \text{ N.m}$ nên nhóm lấy giá trị đó làm moment cần thiết cho yêu cầu của nhóm đề ra.

2.5 Hệ thống gán nhãn tự động

Với bối cảnh đề tài hướng tới việc ứng dụng khả thi cho bất kỳ thực phẩm nào mà không giới hạn ở vài loại cụ thể nhóm lựa chọn sử dụng mô hình phân đoạn bất kỳ (Segment Anything Model - SAM). Mô hình SAM có ưu điểm nổi bật về khả năng tổng quát hóa mạnh mẽ, không giới hạn trong các tập dữ liệu cụ thể và có thể nhanh chóng thích ứng với sự đa dạng của các loại ảnh và môi trường làm việc khác nhau.

2.6 Quy trình triển khai hệ thống gán nhãn tự động

Thông qua Hình 2.8 mô tả cách thức hoạt động của hệ thống gán nhãn tự động. Trước tiên cần thu thập một số lượng ảnh đầu vào đủ cho ứng dụng xây dựng mô hình AI và SAM giải quyết phần gán nhãn dữ liệu.



Hình 2.8 Quy trình xây dựng hệ thống gán nhãn tự động

2.7 Hệ thống Object Tracking.

Đối với mô hình SAM được kể trên, mặc dù đã có những nghiên cứu về việc ứng dụng SAM vào chạy thời gian thực (real-time) và có độ chính xác tương đối, tuy nhiên việc triển khai một mô hình segment trên một ứng dụng yêu cầu real-time với thời gian đáp ứng nhanh chóng và độ chính xác cao như đồ án hiện tại lại trở thành một lựa chọn không tối ưu.

Do đó, toàn bộ quy trình gán nhãn tự động trong hệ thống được triển khai như một bước tiền xử lý quan trọng, nhằm phục vụ cho việc huấn luyện mô hình nhận diện. Sau khi dữ liệu đã được xử lý và gán nhãn đầy đủ thông qua SAM, hệ thống tiếp tục được phát triển và mở rộng sang các chức năng quan trọng hơn như giám sát, theo dõi đối tượng bằng Object Tracking và truy xuất dữ liệu vị trí nhằm phục vụ cho yêu cầu của đồ án.

Nhóm chọn sử dụng Mô hình YOLO cho phương pháp Object Detection của đồ án hiện tại, các lựa chọn sẽ được giới hạn và cân nhắc dựa theo Bảng 2.3.

Bảng 2.3 Bảng so sánh các mô hình YOLO

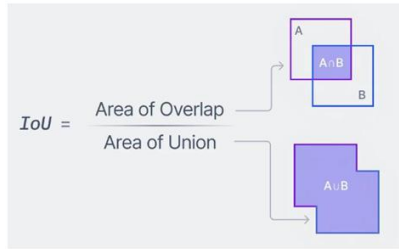
Phiên bản YOLO	Độ chính xác (mAP ^{val} 50)	Latency (ms)
YOLOv5	34.3	2.6
YOLOv8	52.6	1.77
YOLOv11	55.3	1.5
YOLOv12	56.7	1.64

Nhóm đã đề xuất được bốn loại phiên bản chính thức có thể sử dụng cho đồ án. Tất cả các thông số đều được lấy theo loại nhỏ nhất của mỗi phiên bản với trung bình gần 2.6 triệu trọng số. Trong bối cảnh đồ án yêu cầu độ chính xác cao và tốc độ phản hồi nhanh chóng, nhóm quyết định chọn mô hình YOLOv11 nano cho công việc Object Detection.

2.8 Các phương pháp đánh giá mô hình Object Detection

2.8.1 Intersection Over Union (IoU)

Trong bài toán Object Detection, giá trị đo độ chính xác được quan tâm nhiều nhất chính là IoU. Đây là giá trị được tính bởi tỉ lệ giữa giao và hợp của phần diện tích giao nhau của Ground truth box hay bounding box thực tế và Detected box hay bounding box dự đoán



Hình 2.9 Công thức tính toán IoU

Hình 2.9 mô tả công thức tính toán IoU:

- + A và B: Detected box và Ground truth box.
- + Area of Overlap: Phần diện tích giao nhau giữa Detected box và Ground truth box.
- + Area of Union: Phần diện tích tổng hợp giữa Detected box và Ground truth box.

2.8.2 Confusion Matrix và Accuracy

Trong các mô hình AI phân loại, Confusion matrix là một phương pháp đơn giản và hiệu quả trong việc đánh giá độ chính xác của mô hình. Bằng cách đánh giá các giá trị dự đoán khi mô hình phân loại, việc tạo bảng Confusion matrix tạo nên một cơ sở đánh giá mô hình chuẩn xác và có tính tổng quát hóa.

		True Class	
		Positive	Negative
Predicted Class	Positive	TP	FP
	Negative	FN	TN

Hình 2.10 Confusion Matrix cho hai đối tượng

Hình 2.10 mô tả Confusion Matrix gồm 4 thành phần:

- + True Positive (TP): các điểm Positive được dự đoán đúng là Positive
- + False Positive (FP): các điểm Negative thực dự đoán thành Positive

- + False Negative (FN): các điểm Positive được dự đoán thành Negative
- + True Negative (TN): các điểm Negative được dự đoán là Negative

2.9 Thuật toán Tracking

2.9.1 Sơ lược về Tracking bằng Byte Track

Theo dõi đối tượng là một phương pháp được mở rộng từ nền tảng Object Detection. Trong khi các đối tượng mà Object Detection tương tác là ảnh tĩnh hoặc các video được chia thành từng frame đơn lẻ, Object Tracking liên kết dự đoán giữa các frame trong một video lại với nhau và xem nó như một đối tượng (ID) cần được quan sát và theo dõi.

Bảng 2.4 So sánh thuật toán Tracking

Phương pháp	Tốc độ	Kết quả benchmark (MOTA)	Hỗ trợ bởi Ultralytics
Deep SORT	~ 13 FPS	61.4	Không
ByteTrack	~ 71 FPS	80.3	Có
BoT-SORT	~ 60 FPS	80.5	Có
BoostTrack++	~ 30 FPS	80.7	Không

Bảng 2.4 mô tả so sánh giữa các phương pháp Tracking nổi bật hiện tại. Từ bảng trên, nhóm lựa chọn sử dụng ByteTrack làm thuật toán Tracking chính, do sự cân bằng hợp lý giữa tốc độ, độ chính xác cao và khả năng tích hợp dễ dàng vào hệ thống đã được tối ưu hóa

2.9.2 Tiêu chí đánh giá Object Tracking

Tương tự như Object Detection, Object Tracking có thể đánh giá bằng nhiều thông số khác nhau. Trong đề án hiện tại, nhóm sử dụng thông số MOTA (Multiple Object Tracking Accuracy) để đánh giá khả năng nhận diện và theo dấu của model Tracking.

$$MOTA = 1 - \frac{\sum_t FN_t + FP_t + IDS_t}{\sum_t GT_t} \quad (2.7)$$

Công thức tính MOTA có:

- + FN_t : số lượng False Negatives (bỏ sót đối tượng) ở thời điểm t
- + FP_t : số lượng False Positives (phát hiện sai) ở thời điểm t
- + IDS_t : số ID switch (đổi nhãn sai cho cùng đối tượng) ở thời điểm t
- + GT_t : số Ground Truth (đối tượng cần theo dõi) ở thời điểm t

CHƯƠNG 3: TÍNH TOÁN THIẾT KẾ CƠ KHÍ

3.1 Chọn động cơ và hộp số

Dựa vào phương pháp thiết kế chi tiết cho Robot Delta khi cho trước không gian làm việc, nhóm đã giới hạn được góc chuyển động của từng động cơ để tạo ra một không gian làm việc của robot Delta phù hợp với không gian làm việc cho trước. Và với mục tiêu đề ra là quy trình gấp thả xấp xỉ 2s và thể hiện độ chính xác trên không gian làm việc.

$$\Rightarrow v = \frac{2 * \Delta\theta}{360 * t} * 60 = \frac{2 * (80 + 45)}{360 * 2} * 60 \approx 21 \text{ RPM} \quad (3.1)$$

Vì vậy, động cơ phải có mô-men xoắn tối thiểu $\approx 1.8N.m$ và tốc độ tối thiểu 21 RPM và có công suất tối thiểu:

$$P = M * \omega = M * \frac{v}{60} * 2\pi = 1,8 * \frac{21}{60} * 2\pi = 3,95 \text{ W} \quad (3.2)$$

Qua tìm hiểu về các loại động cơ AC Servo trên thị trường thì động cơ AC Servo Mitsubishi HF_KP13 có công suất 100W, mô men xoắn 0,32 N.m và tốc độ 3000 RPM là loại nhỏ nhất và đảm bảo đáp ứng được các thông số động cơ theo tính toán.


Với mô men xoắn của động cơ là 0,32 N.m và mô men xoắn tính toán là 1,8 N.m, chúng ta cần hộp số có tỷ số truyền nhỏ nhất là:


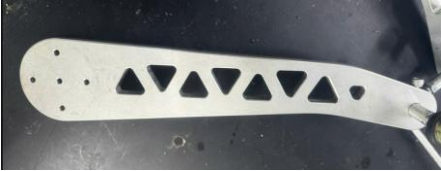




$$n = \frac{1,8}{0,32} = 5,625 \quad (3.3)$$

Qua khảo sát các hộp số, nhóm chọn hộp số có tỷ số truyền là 1: 7.

3.2 Thiết kế các chi tiết cơ khí

Bảng 3.1 Các chi tiết cơ khí hoàn thiện

Chi tiết cơ khí	Sản phẩm hoàn thiện
Đế cố định gia công bằng thép C45, cắt laser và uốn chấn	

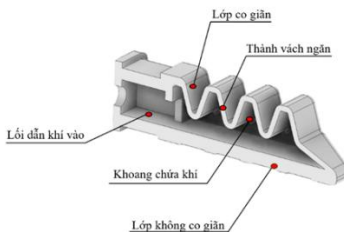
<p>Khớp nối mặt bích, được tạo từ thép C45, gia công cnc</p>	
<p>Cánh tay chủ động được gia công cnc với vật liệu nhôm A6061</p>	
<p>Ống dẫn ren trong, gia công cnc với vật liệu thép cacbon</p>	
<p>Cánh tay bị động làm từ inox, cấu trúc hai đầu kết nối với hai vòng bi mắt trâu</p>	
<p>Đế di động. Được gia công bằng phương pháp in 3D với vật liệu nhựa abs</p>	
<p>Đế công cụ, được gia công in 3D với vật liệu nhựa abs</p>	

<p>Khối dẫn khí có vai trò giúp khí từ bên ngoài đi vào bên trong tay gấp, gia công in 3D với vật liệu nhựa abs</p>	
<p>Khối gá tay gấp 1 và 2 giúp cố định tay gấp mềm và liên kết nó với đế công cụ, gia công in 3D với vật liệu nhựa abs</p>	
<p>Tay gấp mềm để gấp vật thể, gia công bằng phương pháp đúc khuôn với vật liệu silicon</p>	

Các chi tiết cơ khí được nhóm xây dựng thông qua Bảng 3.1

3.3 Cấu tạo và nguyên lý tay gấp mềm

Tay gấp mềm trong đề tài này được lấy cảm hứng từ hoạt động co và duỗi chân của con sao biển khi di chuyển Hình 3.1 minh họa cấu tạo của thiết kế tay gấp mềm điển hình. Khi cấp khí nén (áp suất dương) vào lõi dẫn, tay gấp làm bằng vật liệu silicon đàn hồi sẽ phồng lên do các lớp co giãn giãn nở. Ngược lại, khi tạo áp suất âm (hút chân không), các lớp này co lại. Sự biến dạng đàn hồi của vật liệu dưới tác động của áp suất tạo ra chuyển động linh hoạt.



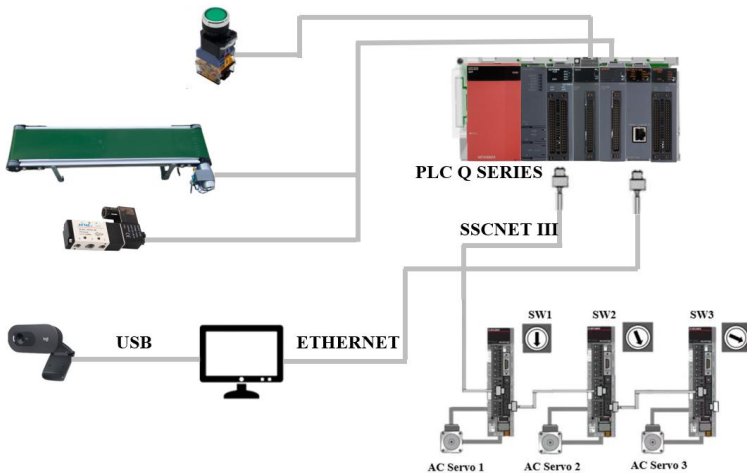
Hình 3.1 Cấu tạo tay gấp mềm

CHƯƠNG 4: THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỆN

4.1 Sơ đồ hệ thống điện

Sơ đồ khối theo Hình 4.1 gồm 5 hoạt động chính:

- + Khối nguồn PLC: cung cấp điện cho bộ điều khiển trung tâm (PLC) và các module mở rộng.
- + Khối điều khiển động cơ: gồm ba driver dùng để điều khiển động cơ servo.
- + Khối điều khiển trung tâm: sử dụng PLC Mitsubishi Q series và các module mở rộng.
- + Khối thu nhận tín hiệu: nhận tín hiệu nút nhấn, băng tải, van điện từ và camera.
- + Khối các động cơ: các động cơ servo gắn với cơ cấu truyền động Robot Delta.



Hình 4.1 Sơ đồ hệ thống điện

4.2 Các chuẩn giao tiếp hệ thống

4.2.1 Giao tiếp SSCNET III

SSCNET III sử dụng cáp quang để truyền tín hiệu, giúp tăng cường khả năng chống nhiễu và đảm bảo độ ổn định khi điều khiển đồng thời và đồng bộ nhiều trục. Bên dưới là Bảng 4.1 thông số kỹ thuật của tiêu chuẩn kết nối SSCNET III.

Bảng 4.1 Thông số kỹ thuật kết nối chuẩn SSCNET III

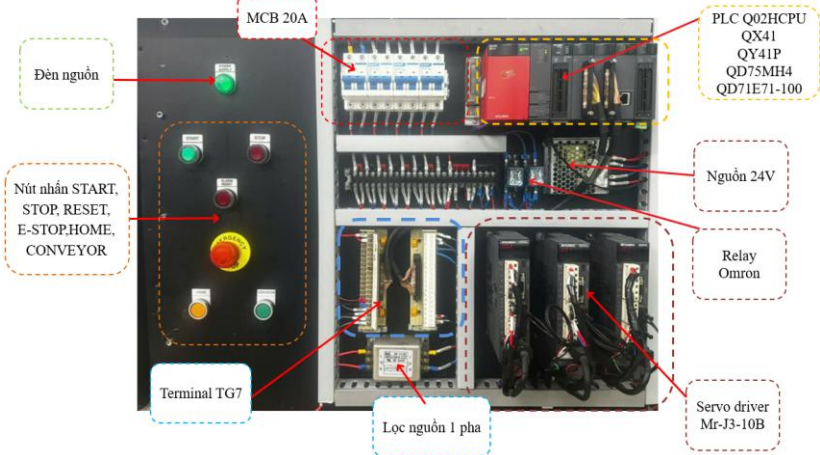
Mục		Thông số kỹ thuật
Phương tiện truyền thông		Cáp quang
Tốc độ giao tiếp		50Mbps
Chu kỳ giao tiếp	Gửi	0.44ms/0.88ms
	Nhận	0.44ms/0.88ms
Số trục điều khiển tối đa		Chu kỳ truyền thông 0.44ms: 8 trục/hệ thống Chu kỳ truyền thông 0.88ms: 16 trục/hệ thống

4.2.2 Giao tiếp Ethernet

Trong bối cảnh đồ án, máy tính được kết nối với module truyền thông QJ71E71-100 của PLC Mitsubishi thông qua cáp mạng Ethernet, sử dụng giao thức TCP/IP. Giao thức này cho phép máy dễ dàng gửi và nhận dữ liệu điều khiển đến PLC với độ chính xác cao, góp phần nâng cao hiệu quả cho việc giám sát và vận hành hệ thống từ máy tính trung tâm.

4.3 Hệ thống điện thực tế

Hệ thống bảng điện (Hình 4.2) gồm các linh kiện điện tử được bố trí hợp lý theo khu vực chức năng, đảm bảo kết nối chuẩn xác và dễ dàng bảo dưỡng khi có sự cố.



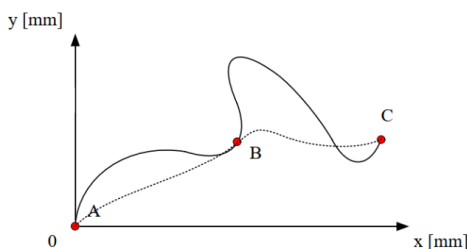
Hình 4.2 Hệ thống điện thực tế

CHƯƠNG 5: ĐIỀU KHIỂN CHUYỂN ĐỘNG ROBOT

5.1 Tổng quan về quỹ đạo

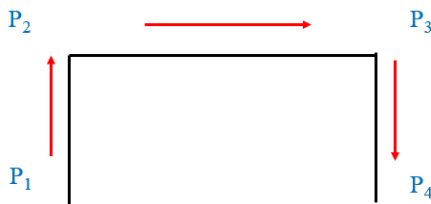
Đường đi được định nghĩa là một chu trình quỹ đạo tuần tự của robot độc lập với biến thời gian. Vì thế, nếu robot di chuyển từ điểm A sang điểm B sang điểm C như Hình 5.1. Thì đoạn đường di chuyển từ A đến B và đến C là một đường đi. Ngược lại, quỹ đạo lại liên đến con đường di chuyển của robot nhưng có kèm theo biến thời gian.

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



Hình 5.1 Đường đi của Robot

Trong những ứng dụng robot công nghiệp, robot gặp đặt với tốc độ cao thường được sử dụng quỹ đạo như Hình 5.2. Bao gồm 3 đoạn: $P_1 P_2$ (S1), $P_2 P_3$ (S2) và $P_3 P_4$ (S3).



Hình 5.2 Quỹ đạo Robot

5.2 Lập trình điều khiển robot trên GX Work 2

Phần này trình bày quá trình cài đặt và cấu hình hệ thống trên GX Works2, bao gồm thiết lập phần cứng, kết nối PLC với Servo. Do chương trình dài, chi tiết mã nguồn sẽ được cung cấp trong tài liệu bổ sung.

- Khai báo module: Tạo một dự án mới → Truy cập vào PLC Parameter → I/O Assignment để thêm các module cần sử dụng, đảm bảo vị trí của chúng trùng khớp với sơ đồ phần cứng → Sau khi khai báo xong, nhấn nút Check để kiểm tra lỗi cấu hình → Nếu không có lỗi, nhấn End để hoàn tất việc cài đặt các module.

- Cấu hình thông số module QD75MH4: Để điều khiển servo bằng module QD75MH4, truy cập Intelligent Function Module, chọn QD75MH4, sau đó lần lượt cấu hình các mục Parameter và Servo_Parameter. Tại mỗi mục, thiết lập các thông số cần thiết theo yêu cầu hệ thống, kiểm tra và lưu lại để áp dụng.

- + Unit setting: Cài đặt đơn vị đo lường (mm, inch, degree, pulse).
- + No. of pulses per rotation: Độ phân giải encoder (262144 pulse).
- + Movement amount per rotation: Số xung cần di chuyển mỗi vòng quay để điều chỉnh hộp số điện tử.
- + Speed limit value: Xác định tốc độ tối đa của động cơ (13107200 pulse/s).
- + OPR method: Phương pháp sử dụng là Data Set Method.

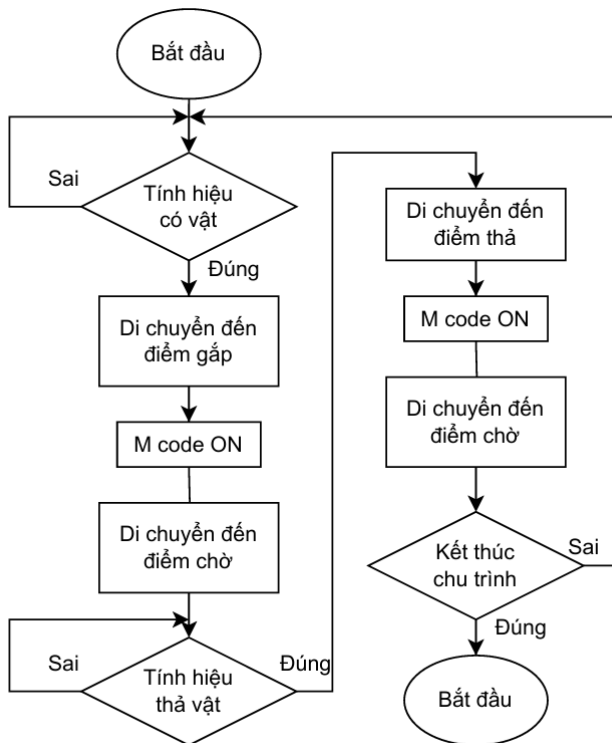
- Cấu hình chuyển động:

Dựa vào lý thuyết đã trình bày ở phần 5.1, quỹ đạo di chuyển của robot sẽ được tính toán thông qua quá trình nội suy. Vậy nhóm sẽ cấu hình cho quỹ đạo di chuyển trong QD75MH4 là nội suy 3 trục.

Nhóm cấu hình cho chuyển động từ điểm P1 đến P4 và ngược lại “continuous path control”. Khi “continuous path control” được thực hiện bằng điều khiển nội suy, “near pass Function” sẽ được thực hiện. Trong trường hợp robot đã gấp được vật nhưng chưa có vị trí thả và ngược lại, thì cần 1 điểm dừng để chờ khi có vị trí mới xuất hiện. Vậy nên nhóm cấu hình cho quỹ đạo chuyển động từ P1 đến P2 và P4 đến P3 là “Positioning complete”. Tại điểm gấp (P1) và điểm thả (P4), là 2 điểm mà để cơ cấu tay gấp mềm hoạt động, vậy nên nhóm cấu hình M code ở 2 điểm này để cơ cấu tay gấp mềm có thể tối ưu thời gian gấp thả. Khi thực hiện nội suy tuyến tính/nội suy tròn, thiết lập chỉ định tốc độ tổng hợp hay tốc độ trục tham chiếu vì mục tiêu của đề tài là tốc độ nên nhóm chọn tốc độ trục

tham chiếu. Để chuyển động được ổn định phải cần các bước auto tune hệ thống.

Nhóm đã cấu hình xong về quỹ đạo chuyển động của robot, sau đây là lưu đồ tóm tắt lại quy trình điều khiển như Hình 5.3.

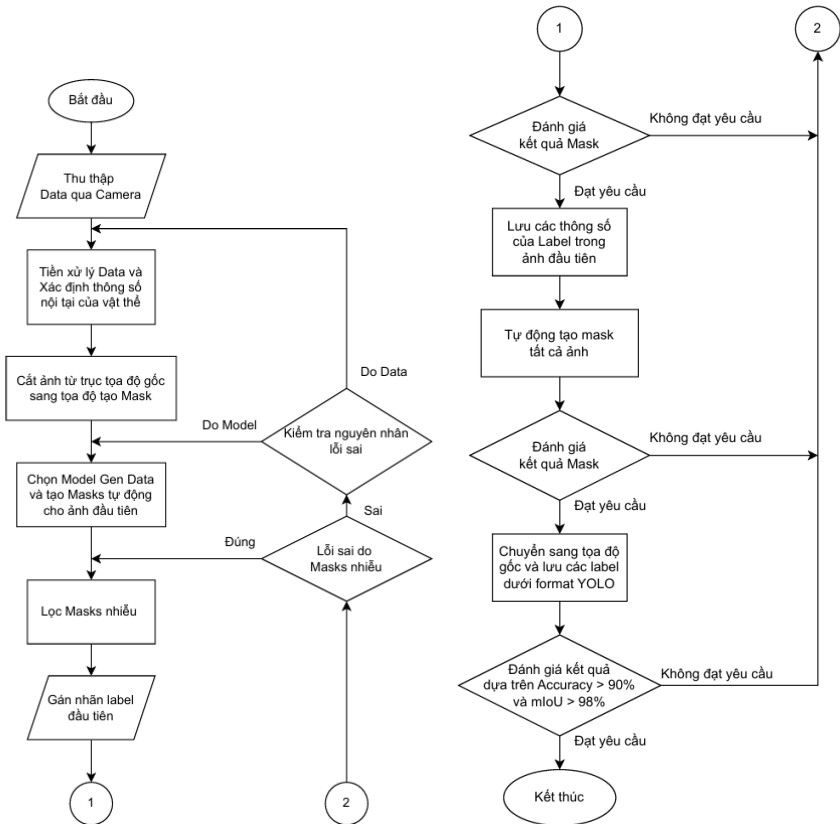


Hình 5.3 Lưu đồ điều khiển

CHƯƠNG 6: HỆ THỐNG TRÍ TUỆ NHÂN TẠO

6.1 Hệ thống gán nhãn tự động

Hệ thống gán nhãn hoạt động dựa trên ảnh đầu vào mà người dùng cung cấp.

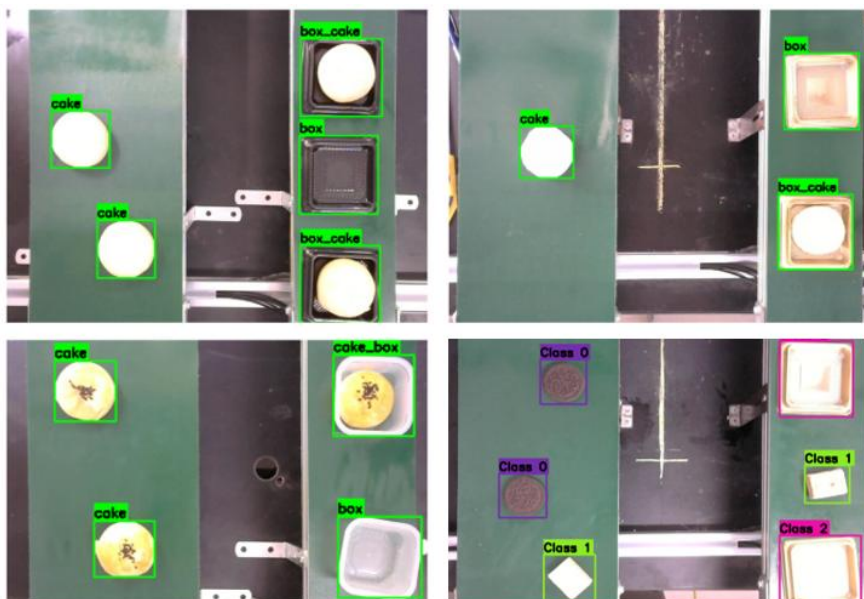


Hình 6.1 Lưu đồ giải thuật hệ thống tự động gán nhãn

Hình 6.1 mô tả lưu đồ giải thuật các bước xây dựng hệ thống tự động gán nhãn từ bước thu thập dữ liệu đến đánh giá và tinh chỉnh mô hình. Ảnh đầu vào được chuyển đổi từ ảnh thô sang ảnh được gán nhãn theo format YOLO.

6.2 Đánh giá kết quả hệ thống

Nhóm đã kiểm nghiệm cái loại bánh và thực phẩm có hình dạng khác nhau cho việc kiểm tra khả năng tổng quát hóa của mô hình và các loại hộp được sử dụng chung cho việc đóng gói thực phẩm.



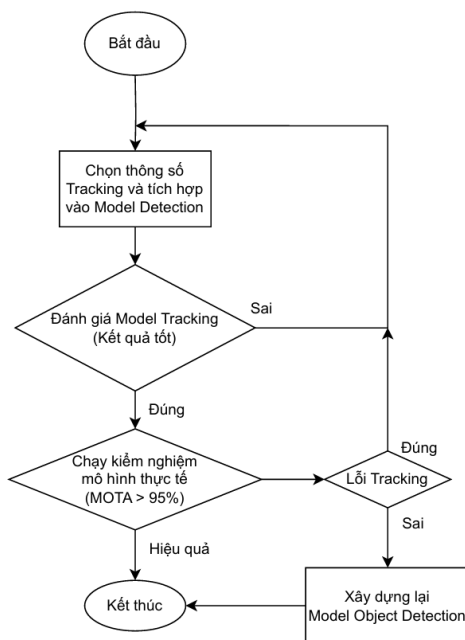
Hình 6.2 Chạy kiểm nghiệm trên các loại dữ liệu khác nhau

Hình 6.2 minh họa kết quả của hệ thống khi thực hiện nhận diện và phân loại đối tượng trên băng chuyền tự động. Mỗi vật thể được phát hiện sẽ được gán nhãn tương ứng: “cake” (bánh), “box” (hộp rỗng), “box_cake” (bánh nằm trong hộp). Kết quả cho thấy hệ thống có thể xử lý tốt các tình huống biến thiên vị trí và phối hợp giữa các đối tượng.

6.2 Hệ thống theo dõi và truy xuất dữ liệu

Sau khi có được bộ dữ liệu cụ thể từ hình ảnh tự xây dựng và gán nhãn. Có thể tiến hành xây dựng mô hình YOLO v11 với nhiệm vụ phát hiện và gán bounding box cho bánh pía và hộp đựng với loại thực phẩm bánh pía.

Sau khi thu được mô hình Object Detection, nhóm tiến hành triển khai hệ thống Tracking cho mô hình. Cụ thể, hệ thống tracking được tích hợp dựa trên đầu ra của mô hình phát hiện đối tượng, cho phép theo dõi chính xác vị trí và danh tính của từng đối tượng trong chuỗi ảnh liên tiếp.



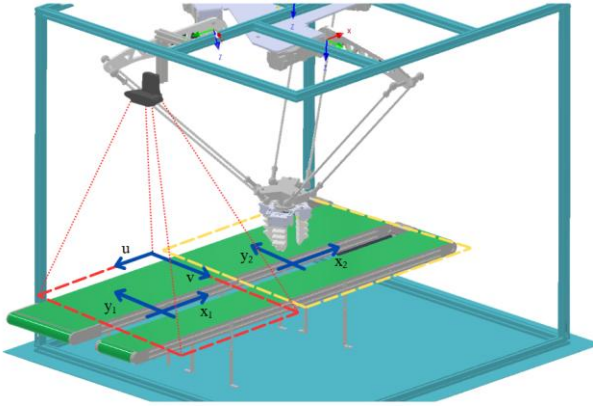
Hình 6.3 Sơ đồ khối quy trình áp dụng thuật toán Tracking

Hình 6.3 mô tả sơ đồ khối quy trình áp dụng thuật toán ByteTrack vào mô hình Object Detection. Quy trình bắt đầu bằng việc chọn các thông số tracking phù hợp (như tốc độ cập nhật, khoảng cách IoU, độ trễ xác nhận, v.v.) và tích hợp trực tiếp vào đầu ra của mô hình Model Detection.

6.3 Phương pháp chuyển đổi tọa độ

Sau khi dự đoán vị trí và biết được điểm Robot cần di chuyển, giá trị trả về lúc này có dạng (x, y) đơn vị pixel. Đây là vị trí vật thể được nhận diện và quan sát từ camera, cần một thuật toán chuyển đổi tọa độ từ image coordinate sang tọa độ world coordinate cho Robot làm việc.

Hình 6.4 mô tả không gian quan sát của camera và không gian làm việc của Robot Delta trên mặt phẳng 2D. Đối với bài toán có độ cao không đổi như băng tải thì trục z được xem là hằng số, điều này mang lại hiệu quả cao và đơn giản hóa bài toán. Camera của nhóm có độ phân giải 640×480 , nghĩa là trong tấm ảnh có 640×480 điểm ảnh (pixel). Mô hình có thể nhìn và đoán vị trí chính xác các vật thể trong tọa độ pixel (u, v) đó và chuyển sang tọa độ quan sát (x_1, y_1) .



Hình 6.4 Trục tọa độ Camera

Nhóm sử dụng phương pháp tính toán Homography matrix cho việc chuyển đổi tọa độ, bằng cách này có thể linh hoạt tính toán tọa độ với nhau và áp dụng nhiều phép biến đổi phi tuyến mà không gây ra sai lệch.

Công thức tính toán thông qua Homography matrix có dạng:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6.1)$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6.2)$$

Trong đó:

u, v : Tọa độ điểm trong không gian ảnh (pixel)

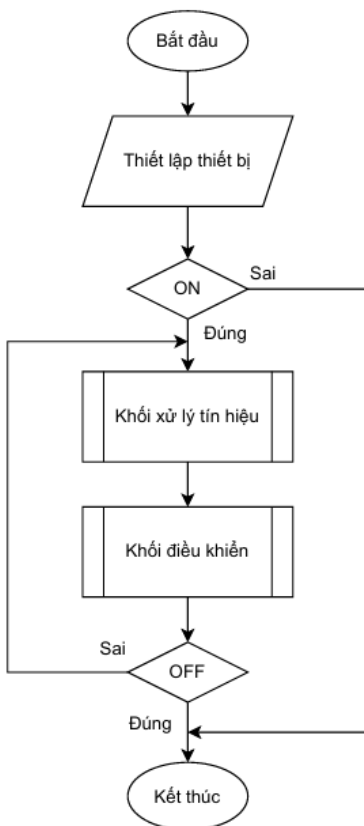
X, Y : Tọa độ điểm trong không gian quan sát (mm)

$h_{11}, h_{12}, \dots, h_{32}, h_{33}$: Hệ số ma trận chuyển đổi Homography (3x3 matrix).

Công thức Homography mô tả cách thức chuyển đổi tọa độ giữa Image coordinate và Destination coordinate thông qua ma trận Homography và ma trận nghịch đảo. Bằng cách tăng chiều cả Image coordinate và Destination coordinate từ Euclidean coordinate (2x1 matrix) sang Homogeneous Coordinates (3x1 matrix), có thể xây dựng ma trận chuyển đổi Homography trong không gian Homogeneous.

6.4 Quy trình hoạt động và lưu đồ giải thuật của hệ thống

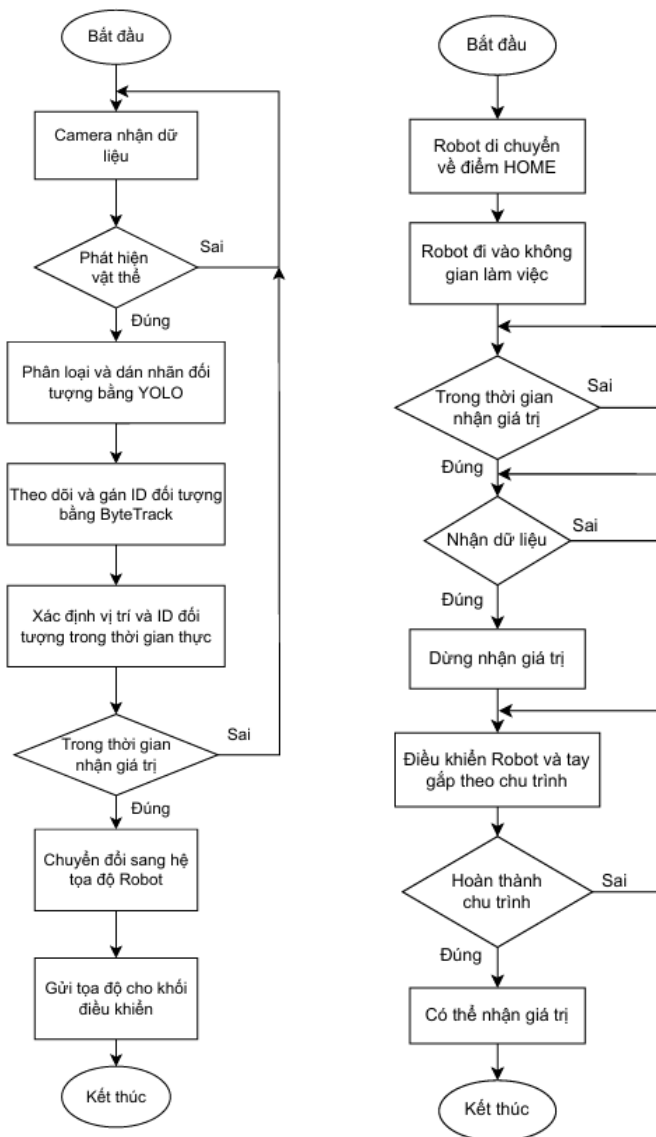
Hình 6.5 mô tả lưu đồ tổng quan hệ thống. Hệ thống đóng gói tự động sử dụng thuật toán điều khiển cho ứng dụng gấp và thả vật thể. Được thao tác thông qua tay gấp mềm được nhóm thiết kế. Hệ thống gồm hai phần chính là Khối xử lý tín hiệu và Khối điều khiển Robot Delta



Hình 6.5 Lưu đồ tổng quan hệ thống

Khối tín hiệu được mô tả trong Hình 6.6 có nhiệm vụ xác định vị trí và gửi giá trị thích hợp cho Robot Delta tương tác và thực hiện quá trình đóng gói theo một chu trình tự động.

Khối thu nhận tín hiệu được mô tả trong Hình 6.6 có nhiệm vụ quyết định tiếp nhận, thực hiện chuyển động và điều khiển quy trình hoạt động của Robot Delta

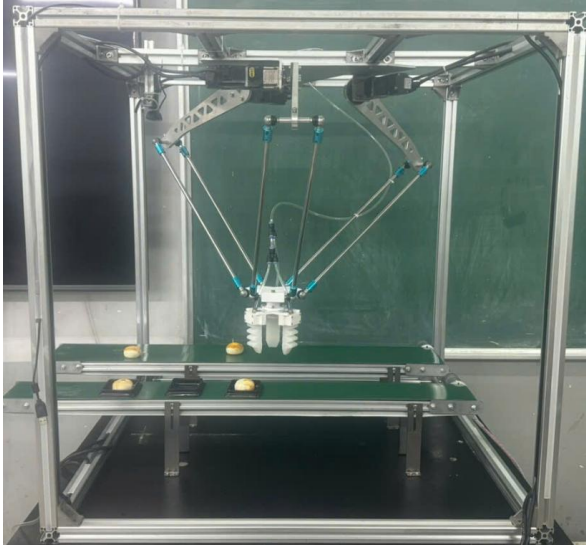


Hình 6.6 Lưu đồ khối xử lý tín hiệu và khối điều khiển

CHƯƠNG 7: KẾT QUẢ KIỂM NGHIỆM

7.1 Kết quả thực nghiệm Robot Delta

Sau khi nghiên cứu và xác định phương pháp thiết kế phù hợp, nhóm đã tiến hành gia công và lắp ráp hoàn chỉnh. Kết quả được thể hiện thông qua Hình 7.1.

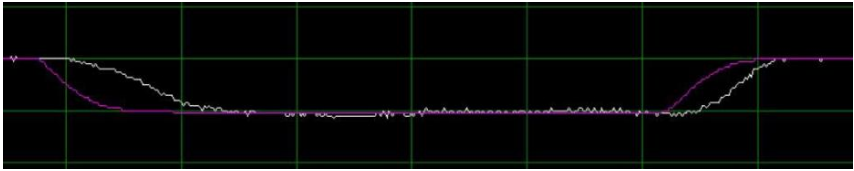


Hình 7.1 Hệ thống cơ khí Robot Delta

7.2 Kiểm nghiệm động học trên Robot Delta thực tế

Trong phần thực nghiệm này, nhóm điều khiển robot Delta chạy theo quỹ đạo đã được quy hoạch với vận tốc hình thang. Xác định quỹ đạo là một đường thẳng với vận tốc hình thang, điểm A (0,0, -450) đến điểm B (100,100, -450) trong 4 giây, với việc trục z không thay đổi nhóm có thể quy hoạch quỹ đạo trên mặt phẳng XY. Sau đó thực hiện quy hoạch quỹ đạo với tần số lấy mẫu là 0.1 giây, vậy suy ra quỹ đạo sẽ được chia nhỏ thành 41 điểm, sau đó ta thực hiện nội suy các điểm này với gia tốc max là 100mm/s, vận tốc ban đầu và kết thúc đều là 0mm/s.

Trong quá trình nội suy nhóm có thực hiện Monitor feedback position output trên MR configurator 2, để xem đáp ứng vị trí của các $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ như Hình 7.2 mô tả.



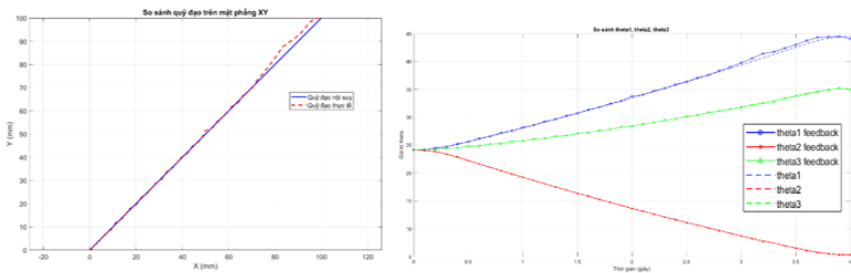
Hình 7.2 Đáp ứng của các góc theta

Vì không có chức năng Monitor sai số giữa Position Command và Feedback position output, nên nhóm lấy dữ liệu vị trí mỗi 0.1 giây để tính sai số với dữ liệu vị trí đã được quy hoạch như Bảng 7.1.

Bảng 7.1 Sai Số Quy Hoạch - Thực Tế

Time (s)	Theta1 (°)	Theta1' (°)	e (%)	Theta2 (°)	Theta2' (°)	e (%)	Theta3 (°)	Theta3' (°)	e (%)
0	24.172	24.172	0.00	24.172	24.172	0.00	24.172	24.172	0.00
0.1	24.231	24.141	0.37	24.092	24.019	0.30	24.194	24.217	0.10
0.2	24.408	24.492	0.34	23.851	23.809	0.17	24.259	24.218	0.17
....
3.9	44.450	44.506	0.13	5.399	5.288	2.09	35.131	35.223	0.26
4	44.534	44.104	0.97	5.349	5.279	1.32	35.187	34.967	0.63

Sau khi đã có 2 dữ liệu vị trí của quy hoạch và thực tế, nhóm thực hiện biến đổi các góc $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ thành các vị trí end-effector động học ngược.



Hình 7.3 So sánh sai số quỹ đạo

Qua kết quả thực nghiệm Hình trên cho thấy hệ thống Robot Delta hoạt động ổn định với sai số nhỏ (Hình 7.3), điều này có thể do ảnh hưởng của các yếu tố như độ chính xác của các cơ cấu truyền động, ma sát hoặc thiết bị ngoại vi. Tuy nhiên sai số vẫn nằm trong phạm vi cho phép.

Nhằm đánh giá độ chính xác thực tế và tính ổn định của robot, nhóm tiến hành thử nghiệm 10 lần liên tiếp cho chuyển động từ vị trí góc HOME (0,0,0) đến điểm C (50, 80, -450), được xác định trước trên mặt phẳng làm việc theo hệ tọa độ xyz. Bảng 7.2 trình bày kết quả 10 lần thử nghiệm liên tiếp theo động học nghịch của Robot Delta.

Bảng 7.2 Kết quả sai số kiểm nghiệm thực tế động học nghịch

STT	Vị trí mong muốn	Vị trí thực tế	Sai số theo X	Sai số theo Y	Sai số theo Z
1	(50;80;-450)	(50.5;78.2;-455)	1.7 %	2.2 %	1.1 %
2	(50;80;-450)	(49;82.7;-457)	2.4 %	3.3 %	1.5 %
3	(50;80;-450)	(52;81.8;-440)	4.5 %	2.2 %	2.2 %
4	(50;80;-450)	(51.5;81.2;-465)	3.5 %	1.5 %	3.3 %
5	(50;80;-450)	(48.8;83;-438)	2.4 %	3.7 %	2.6 %
6	(50;80;-450)	(48.5;79;-446)	3.2 %	1.2 %	0.8 %

Sai số trung bình:

+ Theo trục X: 2.34 %

+ Theo trục Y: 2.22 %

+ Theo trục Z: 2.45 %

Qua kết quả thực nghiệm trên cho thấy hệ thống Robot Delta hoạt động ổn định với sai số thực tế và có thể tiến hành điều khiển chuyển động.

7.2 Kết quả thực nghiệm Hệ thống trí tuệ nhân tạo

Sau khi gán nhãn hàng loạt thành công và có được data cũng như nhãn bounding box, độ chính xác của các nhãn được gán bằng các thông số:

+ Accuracy: Đây là thông số đánh giá đơn giản được tính dựa trên tổng tỉ lệ giữa ảnh sai và ảnh đúng. Đối với mô hình tự động gán nhãn có thể xảy ra các lỗi sai ngoài ý muốn trong khi triển khai thực tế như Hình 6.9 mô tả các lỗi sai.

+ IoU: Thông số này được tính bằng trung bình các sai số IoU của tất cả các tập ảnh được xác định là đã gán nhãn chính xác.

Bảng 7.3 Độ chính xác mô hình gán nhãn tự động

Loại class	Tổng dữ liệu	Nhãn đúng	Nhãn sai	Accuracy (%)
Bánh in, hộp vàng, bánh trong hộp	1548	1463	85	94,51
Bánh pía, hộp đen	1579	1520	59	96,26
Bánh Oreo, lương khô, hộp đen	1524	1423	101	93,37

Bảng 7.3 mô tả độ chính xác tổng thể của mô hình dựa trên việc tính toán sai số trong quá trình tạo bounding box tự động. Với độ chính xác tổng thể tương đối cao (~95%), các tấm ảnh hoàn toàn có thể dùng xây dựng mô hình YOLO.

Bảng 7.4 Tính toán IoU trung bình trên các loại dữ liệu.

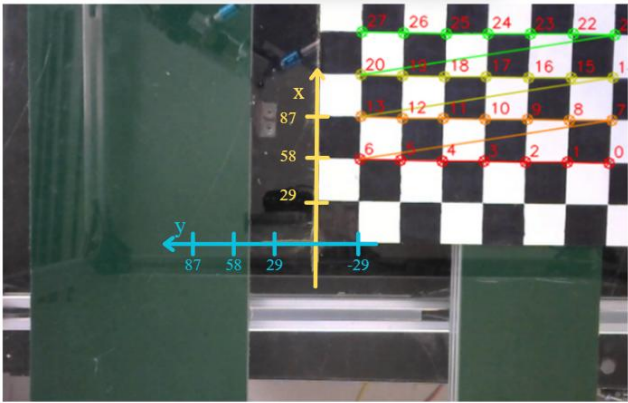
Loại class	Số lượng bounding box đánh giá	IoU trung bình (%)
Bánh in, hộp vàng, bánh trong hộp	326	99,12
Bánh pía, hộp đen, bánh trong hộp	348	99,67
Bánh Oreo, lương khô, hộp đen	315	98,43

Bảng 7.4 trình bày kết quả tính toán IoU trung bình cho từng loại dữ liệu được sử dụng trong quá trình kiểm thử hệ thống. Các kết quả được tổng hợp từ hàng trăm vùng bounding box đã được gán nhãn đúng, phản ánh độ chính xác không gian của mô hình segmentation.

7.3 Kết quả thực nghiệm phương pháp chuyển đổi tọa độ

Để kiểm tra và đánh giá độ chính xác của phương pháp chuyển đổi tọa độ giữa hệ trục ảnh và hệ trục thực, nhóm đã tiến hành thực nghiệm sử dụng bàn cờ hiệu chuẩn như minh họa trong. Trong thí nghiệm này, một

bàn cờ với hoa văn caro được đặt cố định, đồng thời một hệ trục tọa độ được thiết lập với trục x theo chiều thẳng đứng và trục y theo chiều ngang. Trục z cố định ngang mặt phẳng bằng tải.



Hình 7.4 Bàn cờ xác định tọa độ

Bằng cách dùng thuật toán tự động tìm giao điểm bàn cờ trong opencv, từ đó biết được vị trí pixel của góc bàn cờ và tọa độ thực tương ứng như Hình 7.4. Nhóm sử dụng 28 vị trí được xác định cho việc tính toán Homography matrix và đánh giá độ chính xác của ma trận chuyển đổi

Bảng 7.5 Chuyển đổi tọa độ trong bàn cờ

Tọa độ điểm	Vị trí trong ảnh (pixel)	Vị trí thực tế (mm)
0	616.4, 160.5	58, -204,4
1	573.8, 160	58, -175,2
2	531.6, 159.7	58, -145
3	489.7, 159.26	58, -116,8
...

Có thể thấy kết quả chuyển đổi là chính xác mặc dù hai tọa độ không song song với nhau trong không gian. Ma trận Homography hoàn toàn có thể thực hiện các phép biến đổi phi tuyến và đáp ứng tốt những sự khác biệt giữa hai tọa độ. Từ các vị trí biết trước đó và ma trận Homography có thể tính toán được độ chính xác của ma trận chuyển đổi.

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{(X_i - X'_i)^2 + (Y_i - Y'_i)^2} = 0,416 \text{ (mm)} \quad (6.4)$$

Trong đó:

ME: Sai số trung bình của phương pháp chuyển đổi.

N: Số đơn vị được sử dụng cho tính toán.

i: Giá trị thứ i được tính toán.

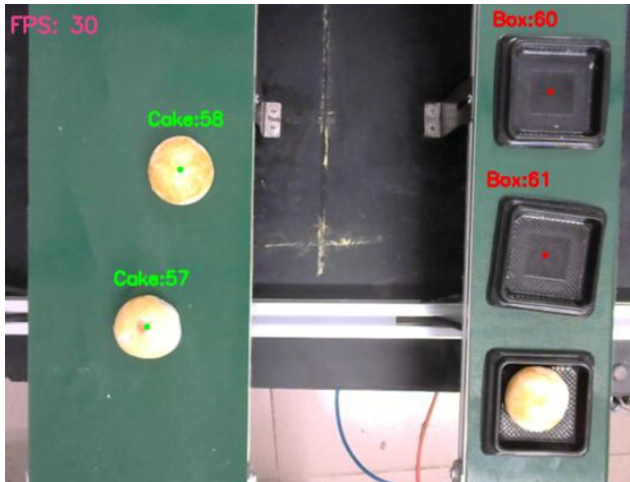
X'_i, Y'_i : Giá trị vị trí thực được tính toán bởi Homography matrix.

X_i, Y_i : Giá trị thực tế tìm được từ bàn cờ.

Dựa trên công thức trên và tính ra được sai số trung bình của phương pháp chuyển đổi là 0,416 mm. Với kết quả kiểm nghiệm trên cho thấy độ chính xác cao của ma trận Homography.

7.4 Kết quả thực nghiệm Mô hình Object Tracking

Sau khi tiến hành áp dụng thuật toán Tracking vào trong mô hình, cần có phương pháp đánh giá độ hiệu quả của thuật toán và làm cơ sở cho những sự tinh chỉnh cần thiết.



Hình 7.5 Kết quả thực nghiệm Hệ thống Tracking

Hình 7.5 cho thấy mô hình có khả năng phát hiện và theo dõi vị trí của bánh và hộp với độ chính xác cao. Trong suốt quá trình chuyển động, hệ thống hoàn toàn có thể theo dõi chặt chẽ và đưa ra được giá trị vị trí trung tâm của vật thể với độ chính xác cao.

Sau khi xây dựng hoàn tất hệ thống, nhóm tiến hành chạy kiểm nghiệm trên bánh pía và đánh giá độ chính xác của hệ thống thông qua các thông số và điều kiện đã được thiết lập.

Bảng 7.6 Kết quả kiểm nghiệm thực tế

Lần thử	Số lượng thao tác	Số lượng gấp chính xác	Số lượng thao tác sai	Sai số giữa các thao tác	Độ chính xác
1	57	55	2	8 mm	96,5 %
2	65	62	3	7 mm	95,3 %
3	52	49	3	11 mm	94,2 %
4	74	70	4	9 mm	94,5 %

Kết quả thực nghiệm thực tế được nhóm đo đạt dựa trên nhiều lần chạy và đánh giá vào Bảng 7.6. Số lượng thao tác được miêu tả là tổng số lượng bánh Robot được thao tác gấp và thả vào hộp. Số lượng thao tác sai đại diện cho việc Robot đã gấp hoặc thả không đúng chính xác. Giữa các lần thao tác đúng với nhau, sai số thao tác được tính toán dựa trên sai số trung bình của vị trí mà Robot Delta gấp hoặc thả khi thao tác với vật thể. Với độ chính xác trung bình 95,1% và sai số thao tác trung bình 13mm. Robot đã đạt được độ chính xác cần thiết và có thể thao tác với tốc độ trung bình 25 sản phẩm một phút trên băng chuyền di chuyển liên tục. Từ đó cho thấy Hệ thống Delta Robot đã đạt được yêu cầu đề án.

CHƯƠNG 8: KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

8.1 Kết luận

Sau quá trình thực hiện đề tài: Nghiên cứu, thiết kế và chế tạo Robot Delta cho ứng dụng đóng gói thực phẩm sử dụng trí tuệ nhân tạo. Nhóm đã hoàn thành được yêu cầu đặt ra. Cụ thể, nhóm đã tiến hành khảo sát và phân tích Robot Delta, sau đó lựa chọn phần cứng và hệ thống phù hợp nhất để triển khai xây dựng. Tiếp theo, nhóm thực hiện thiết kế chi tiết về cơ khí và hệ thống điện, đồng thời đảm bảo tính phù hợp của các chi tiết như tay gắp mềm chuyên dùng trong các ứng dụng thao tác với vật phẩm mềm.

Hệ thống điều khiển được nhóm xây dựng dựa trên bộ PLC Q-Series cùng các module mở rộng, cho phép đáp ứng tốt yêu cầu điều khiển hệ thống. Đề tài được áp dụng nhiều phương pháp tiên xử lý và được cải thiện qua nhiều điều chỉnh cũng như thực nghiệm.

Hệ thống trí tuệ nhân tạo được nhóm xây dựng gồm hai phần đều đáp ứng được yêu cầu đặt ra và có thể hoạt động tốt đối với đồ án. Từ các kết quả đạt được có thể trở thành tiền đề cho việc phát triển mở rộng tính năng và áp dụng vào môi trường trong các ứng dụng tự động hóa. Mô hình hoàn toàn có thể mở rộng, thay đổi đơn giản và có thể thích ứng tốt đối với các loại nhiệm vụ gấp và thả vật thể.

Tuy nhiên, đề tài vẫn còn nhiều hạn chế do thời gian và nguồn lực hữu hạn. Những hạn chế này khiến mô hình chỉ phản ánh một phần hệ thống và chưa đạt được sự hoàn thiện tuyệt đối. Dù vậy mô hình đã cho thấy nhiều kết quả tích cực, đặc biệt là khả năng hoạt động tốt đối với ứng dụng gấp và thả vật thể.

8.2 Hướng phát triển

Sau khi hoàn thành đề tài, nhóm nhận thấy tiềm năng và hướng phát triển rộng lớn của đồ án:

- + Tối ưu hóa độ tốc độ: Việc cải thiện độ tốc độ sẽ giúp cho Robot có thể hoạt động một cách hoàn hảo và có khả năng xử lý tốc độ cao đúng với khả năng vốn có của Robot Delta.

- + Xây dựng thêm các hệ thống trí tuệ nhân tạo: Đồ án hiện tại dù đã thực hiện từ tạo dữ liệu đến thuật toán Tracking, tuy nhiên trước khi có thể hoạt động cũng yêu cầu một khả năng xây dựng mô hình hợp lý. Việc xây dựng thêm các hệ thống tự động xây dựng Model hoặc một hệ thống

Agentic AI tích hợp bên trong Robot Delta có thể tăng độ chính xác, tính linh hoạt và thích nghi tốt với bối cảnh phát triển công nghệ ngày càng vượt bậc hiện tại.

- + Mở rộng ứng dụng thực tế: Mô hình Robot Delta hiện tại có thể được nâng cấp để đáp ứng các yêu cầu phức tạp hơn trong công nghiệp, có thể mở rộng ra thành một dây chuyền với nhiều Robot nối tiếp nhau hoạt động nhằm tăng hiệu suất và khả năng ứng dụng trong công nghiệp.

- + Tự động hiệu chỉnh và học hỏi: Phát triển thêm các thuật toán học máy (Reinforcement Learning) để Robot có thể tự động hiệu chỉnh các tham số điều khiển phù hợp với từng điều kiện làm việc khác nhau, từ đó giảm thiểu sự can thiệp thủ công và tăng khả năng tự thích nghi.

Từ những phân tích và định hướng trên, có thể thấy rằng hệ thống Robot Delta của đồ án vẫn còn nhiều tiềm năng cải tiến và ứng dụng rộng rãi hơn trong thực tiễn. Đây sẽ là nền tảng vững chắc để tiếp tục nghiên cứu và ứng dụng sâu hơn vào các giải pháp công nghiệp thông minh trong tương lai.