

ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
KHOA ĐIỆN

ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP
CAPSTONE PROJECT
NGÀNH: KỸ THUẬT ĐIỀU KHIỂN VÀ TỰ ĐỘNG HÓA

ĐỀ TÀI:

**NGHIÊN CỨU VÀ THIẾT KẾ BĂNG TẢI ĐA
HƯỚNG OMNI-DIRECTIONAL CONVEYOR**

Giảng viên hướng dẫn: **TS. TRẦN THỊ MINH DUNG**
Cán bộ hướng dẫn: **KS. LƯU ĐỨC HOÀ**

Sinh viên thực hiện:

- 1. HOÀNG VIỆT THẮNG – MSSV: 105200384 – LỚP: 20TDHCLC1**
- 2. NGUYỄN PHÚ TOÀN – MSSV: 105200388 – LỚP: 20TDHCLC1**
- 3. NGUYỄN HỮU TRUNG – MSSV: 105200390 – LỚP: 20TDHCLC1**

Đà Nẵng, 6/2025

TÓM TẮT

Tên đề tài: Nghiên cứu và thiết kế băng tải đa hướng OMNI-DIRECTIONAL CONVEYOR.

Sinh viên thực hiện 1: Hoàng Việt Thắng

Số thẻ sinh viên: 105200384

Lớp: 20TDHCLC1

Sinh viên thực hiện 2: Nguyễn Phú Toàn

Số thẻ sinh viên: 150200388

Lớp: 20TDHCLC1

Sinh viên thực hiện 3: Nguyễn Hữu Trung

Số thẻ sinh viên: 150200390

Lớp: 20TDHCLC1

Đề tài nghiên cứu và thiết kế băng tải đa hướng OMNI-DIRECTIONAL nhằm nâng cao tính linh hoạt và khả năng cơ động trong quá trình vận chuyển hàng hoá. Hệ thống sử dụng các bánh xe Omni giúp việc di chuyển theo nhiều hướng khác nhau mà không cần thay đổi hướng quay của cơ cấu chính, từ đó tối ưu hoá không gian và nâng cao hiệu quả vận hành.

Nghiên cứu tập trung vào xây dựng động học của hệ thống, nhằm điều khiển chuyển động chính xác theo yêu cầu. Thuật toán tìm đường A* được tích hợp để xác định và tối ưu hoá lộ trình vận chuyển, đảm bảo đường đi ngắn nhất và an toàn nhất trong môi trường có nhiều vật cản, tích hợp xử lý ảnh nhằm nhận diện đầu vào của vật thể làm cơ sở đưa ra tín hiệu điều khiển phù hợp. Ngoài ra, hệ thống còn ứng dụng giao tiếp truyền thông CAN bus để trao đổi dữ liệu giữa các module điều khiển và áp dụng thuật toán thích nghi để điều khiển chính xác tốc độ và hướng di chuyển của hệ thống.

NHIỆM VỤ ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

TT	Họ tên sinh viên	Số thẻ SV	Lớp	Ngành
1	Hoàng Việt Thắng	105200384	20TDHCLC1	Kỹ thuật điều khiển và tự động hóa
2	Nguyễn Phú Toàn	105200388	20TDHCLC1	Kỹ thuật điều khiển và tự động hóa
3	Nguyễn Hữu Trung	105200390	20TDHCLC1	Kỹ thuật điều khiển và tự động hóa

1. Tên đề tài đồ án: Nghiên cứu và thiết kế băng tải đa hướng OMNI – DIRECTIONAL CONVEYOR.

2. Đề tài thuộc diện: Có ký kết thỏa thuận sở hữu trí tuệ đối với kết quả thực hiện.

3. Các số liệu và dữ liệu ban đầu:

- **Kích thước giới hạn mô hình: 120x70cm**

4. Nội dung các phần thuyết minh và tính toán:

a. Phần chung:

TT	Họ tên sinh viên	Nội dung
1	Hoàng Việt Thắng	<ul style="list-style-type: none">- Tìm hiểu tổng quan về đề tài băng tải đa hướng- Nguyên lý điều khiển phân tán- Xây dựng cấu trúc bộ điều khiển phân tán- Thi công lắp đặt phần cứng- Nhìn lại kết quả đạt được và đưa ra các định hướng phát triển trong tương lai
	Nguyễn Hữu Trung	
	Nguyễn Phú Toàn	
2	Nguyễn Hữu Trung	<ul style="list-style-type: none">- Tính chọn thiết bị
	Hoàng Việt Thắng	
3	Hoàng Việt Thắng	<ul style="list-style-type: none">- Mô phỏng thuật toán tìm đường tối ưu và mô hình hóa hệ thống trên Matlab/ Simulink
	Nguyễn Phú Toàn	
4	Nguyễn Hữu Trung	<ul style="list-style-type: none">- Thiết kế giao diện phần mềm
	Nguyễn Phú Toàn	

c. *Phần riêng:*

TT	Họ tên sinh viên	Nội dung
1	Hoàng Viết Thắng	<ul style="list-style-type: none"> - Xây dựng quy trình công nghệ, sơ đồ cấu trúc điều khiển - Mô hình hóa hệ thống, xây dựng phương trình động học thuận, động học ngược - Xây dựng thuật toán tìm đường đi tối ưu A*
2	Nguyễn Hữu Trung	<ul style="list-style-type: none"> - Tính toán và xây dựng 3D mô hình băng tải - Nghiên cứu cấu trúc của một hệ thống băng tải đa hướng - Tìm hiểu về ứng dụng xử lý ảnh bằng Python
3	Nguyễn Phú Toàn	<ul style="list-style-type: none"> - Nghiên cứu khó khăn, thách thức và giải pháp - Nghiên cứu sơ đồ công nghệ - Tìm hiểu về mạng truyền thông CAN

5. *Các bản vẽ, đồ thị:*

a. *Phần chung:*

TT	Họ tên sinh viên	Nội dung
1	Hoàng Viết Thắng	Hình 1.9 Lưu đồ kết nối công việc
	Nguyễn Phú Toàn	

b. *Phần riêng:*

TT	Họ tên sinh viên	Nội dung
1	Nguyễn Hữu Trung	Hình 2.6 Sơ đồ công nghệ Hình 2.9 Thiết kế khối lục giác Omni Hình 2.10 Mô hình tổng thể một cụm Omni Hình 2.11 Mô hình khung băng tải Hình 2.12 Khung phụ lắp bảng mạch điều khiển Hình 2.13 Khung gắn Camera Hình 2.14 Hình chiếu cạnh của băng tải Hình 2.15 Hình chiếu bằng của băng tải
2	Hoàng Viết Thắng	Hình 3.17 Phương án điều khiển phân tán Hình 3.18 Cấu trúc tổng quát bộ điều khiển Hình 5.1 Mặt cắt cạnh của hệ thống Hình 5.2 Mặt bàn băng tải Hình 5.3 Mặt phẳng định hình module Hình 5.3 Khung chứa mạch điều khiển Hình 5.4 Bảng mạch điều khiển

6. *Họ tên hướng dẫn:* TS. TRẦN THỊ MINH DUNG

7. *Ngày giao nhiệm vụ đồ án:* 12 / 03 / 2025

8. *Ngày hoàn thành đồ án:* 15 / 06 / 2025

Đà Nẵng, ngày 15 tháng 6 năm 2025

Trưởng Bộ môn Tự động hóa

Người hướng dẫn

TS. Giáp Quang Huy

TS. Trần Thị Minh Dung

PHIẾU KIỂM SOÁT TIẾN ĐỘ LÀM ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

(Phiếu dành cho người hướng dẫn/sinh viên)

Họ tên sinh viên 1: Hoàng Việt Thắng

Số thẻ SV: 105200384

Họ tên sinh viên 2: Nguyễn Phú Toàn

Số thẻ SV: 105200388

Họ tên sinh viên 3: Nguyễn Hữu Trung

Số thẻ SV: 105200390

Tên đề tài ĐATN: Nghiên cứu và thiết kế băng tải đa hướng OMNI – DIRECTIONAL CONVEYOR

Họ tên người HD: Trần Thị Minh Dung

Đơn vị: Khoa Điện

Tuần	Ngày	Khối lượng		GVHD ký tên
		đã thực hiện (%)	tiếp tục thực hiện (%)	
1	22/03/2025	5 %	95%	
2	29/03/2025	10%	90%	
3	05/04/2025	20%	80%	
4	12/04/2025	Duyệt lần 1: Đánh giá khối lượng hoàn thành 30 %: Được tiếp tục làm ĐATN <input type="checkbox"/> Không tiếp tục thực hiện ĐATN <input type="checkbox"/>		
5	19/04/2025	40%	60%	
6	26/04/2025	50%	55%	
7	03/05/2025	60%	40%	
8	10/05/2025	Duyệt lần 2: Đánh giá khối lượng hoàn thành 70 % : Được tiếp tục làm ĐATN <input type="checkbox"/> Không tiếp tục thực hiện ĐATN <input type="checkbox"/>		
9	17/05/2025	80%	20%	
10	24/05/2025	90%	10%	
11	31/05/2025	95%	5%	
12	07/06/2025	Duyệt lần 3: Đánh giá khối lượng hoàn thành 98 % : Được tiếp tục làm ĐATN <input type="checkbox"/> Không tiếp tục thực hiện ĐATN <input type="checkbox"/>		
13	14/06/2025	100%	0%	

LỜI NÓI ĐẦU

Trải qua quá trình nghiên cứu và thực hành làm đồ án tốt nghiệp, mặc dù còn nhiều hạn chế về kiến thức lẫn kỹ năng chuyên môn, nhưng nhờ vào quá trình tự tìm tòi, học hỏi và được sự giúp đỡ của rất nhiều cá nhân cuối cùng chúng tôi đã hoàn thành đồ án tốt nghiệp này.

Lời đầu tiên, chúng tôi xin phép được cảm ơn tới Ban giám hiệu Trường Đại học Bách Khoa – Đại học Đà Nẵng đã tạo điều kiện về cơ sở vật chất cũng như hệ thống thư viện với nguồn tài liệu vô cùng phong phú. Đặc biệt, chúng tôi xin cảm ơn đến quý thầy cô đang công tác tại khoa Điện đã chia sẻ những kiến thức quý báu và tận tình chỉ dạy chúng tôi trong suốt quá trình học tập tại trường.

Nhóm cũng xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến giảng viên hướng dẫn - TS. Trần Thị Minh Dung và anh Lưu Đức Hoà – cán bộ công ty TNHH Hoà Phát An, những người đã dành thời gian và công sức để hướng dẫn chúng tôi trong suốt quá trình thực hiện đồ án. Sự tận tâm và nhiệt huyết của cô và cán bộ công ty là hành trang quý báu giúp chúng tôi vượt qua những khó khăn trong quá trình thực hiện, không chỉ về mặt chuyên môn, mà còn về phong cách làm việc, tác phong làm việc của một người kỹ sư thực thụ.

Cuối cùng, chúng tôi xin chân thành cảm ơn đến gia đình và bạn bè, những người đã luôn bên cạnh và động viên tinh thần cho chúng tôi trong những lúc khó khăn, bế tắc. Chúng tôi vô cùng trân trọng và biết ơn sự đóng góp, hỗ trợ của tất cả mọi người đã giúp chúng tôi hoàn thiện đồ án này thành công.

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn!

LỜI CAM ĐOAN LIÊM CHÍNH HỌC THUẬT

Chúng tôi xin cam đoan rằng đề án tốt nghiệp với đề tài “*Nghiên cứu và thiết kế băng tải đa hướng OMNI – DIRECTIONAL CONVEYOR*” là một dự án nghiên cứu độc lập của chúng tôi với sự hỗ trợ của giảng viên hướng dẫn TS. Trần Thị Minh Dung và kỹ sư Lưu Đức Hoà. Ngoài ra không có bất kỳ sự sao chép nào trong quá trình thực hiện.

Chúng tôi xin cam đoan toàn bộ số liệu và kết quả được trình bày trong báo cáo là hoàn toàn trung thực, chúng tôi xin chịu toàn bộ trách nhiệm, kỷ luật của bộ môn và nhà trường nếu như có vấn đề về liêm chính học thuật xảy ra.

Sinh viên thực hiện

Sinh viên thực hiện

Sinh viên thực hiện

Hoàng Viết Thắng

Nguyễn Phú Toàn

Nguyễn Hữu Trung

MỤC LỤC

TÓM TẮT	i
NHIỆM VỤ ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP.....	ii
PHIẾU KIỂM SOÁT TIẾN ĐỘ LÀM ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP	v
LỜI NÓI ĐẦU.....	vi
LỜI CAM ĐOAN LIÊM CHÍNH HỌC THUẬT	vii
MỤC LỤC	viii
DANH SÁCH CÁC BẢNG, HÌNH VẼ.....	xi
DANH SÁCH CÁC KÝ HIỆU, CHỮ VIẾT TẮT	xiv
Chương 1: TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG BĂNG TẢI ĐA HƯỚNG.....	4
1.1. Giới thiệu	4
1.1.1. Lịch sử phát triển.....	4
1.1.2. Tình hình sản xuất và nhu cầu sử dụng	4
1.2. Tổng quan về hệ thống băng tải đa hướng	5
1.2.1. Phân tích các hệ thống băng tải truyền thống.....	5
1.2.2. Các hệ thống băng tải được sử dụng trong ngành sản xuất	8
1.2.3. Các loại băng tải đa hướng	9
1.2.4. Băng tải đa hướng - Celluveyor.....	10
1.3. Kết luận.....	11
Chương 2: NGHIÊN CỨU VÀ THIẾT KẾ HỆ THỐNG BĂNG TẢI ĐA HƯỚNG.....	13
2.1. Nghiên cứu hệ thống băng tải đa hướng.....	13
2.1.1. Đặt vấn đề	13
2.1.2. Những khó khăn, thách thức trong thiết kế	13
2.1.3. Đề xuất giải pháp	14
2.2. Thiết kế hệ thống băng tải đa hướng	14
2.2.1. Thiết kế sơ đồ công nghệ.....	14
2.2.2. Xây dựng quy trình công nghệ	19
2.2.3. Sơ đồ cấu trúc điều khiển	20
2.2.4. Yêu cầu đặt ra	21
2.2.5. Thiết kế khối lục giác Omni	21
2.2.6. Thiết kế khung băng tải	22
Chương 3: CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ MÔ PHỎNG.....	26

3.1. Cấu trúc hệ thống băng tải đa hướng	26
3.1.1. Tổng quan về hệ thống Celluveyor.....	26
3.1.2. Cấu tạo của một module lục giác.....	27
3.1.3. Nguyên lí hoạt động	28
3.2. Mô hình hóa hệ thống.....	32
3.2.1. Khái quát bài toán động học	32
3.2.2. Hệ tọa độ và các đại lượng điều khiển	33
3.2.3. Xây dựng mô hình toán học	33
3.2.4. Ảnh hưởng của sai lệch và phản hồi điều khiển.....	36
3.2.5. Xây dựng thuật toán điều khiển thích nghi.....	38
3.3. Thuật toán tìm đường tối ưu	40
3.3.1. Mục tiêu bài toán	40
3.3.2. Thuật toán tìm đường đi tối ưu A* (A-Star).....	40
3.4. Xử lí ảnh.....	46
3.4.1. Cơ sở lí thuyết tổng quát về xử lí ảnh.....	46
3.4.2. Mục tiêu và vai trò.....	46
3.4.3. Cấu hình phần cứng.....	46
3.4.4. Quy trình xử lí ảnh.....	47
3.5. Điều khiển phân tán.....	48
3.6. Giới thiệu về chuẩn truyền thông CAN	51
3.7. Mô phỏng	54
3.7.1. Mục tiêu mô phỏng.....	54
3.7.2. Mô phỏng động học kết hợp thuật toán tìm đường A*.....	54
3.7.3. Kết quả mô phỏng.....	55
3.7.4. Kết luận phần mô phỏng.....	56
Chương 4: TÍNH CHỌN THIẾT BỊ, THI CÔNG PHẦN CỨNG, THIẾT KẾ GIAO DIỆN VÀ KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM.....	57
4.1. Tính chọn thiết bị.....	57
4.1.1. Bộ xử lí trung tâm.....	57
4.1.2. Động cơ.....	58
4.1.3. Driver điều khiển động cơ L298.....	59
4.1.4. Vi điều khiển:.....	60
4.1.5. Module USB to CAN	61
4.1.6. Module CAN BUS MCP2515	62
4.1.7. Camera.....	63
4.1.8. Bánh xe	65

4.1.9. Nguồn	65
4.2. Thi công phần cứng	67
4.2.1. Thiết kế bản vẽ 2D.....	67
4.2.2. Thi công hệ thống băng tải	69
4.2.3. Thi công phần mạch điều khiển.....	71
4.3. Thiết kế phần mềm	72
4.3.1. Mô tả tổng thể giao diện	72
4.3.2. Phân tích các thành phần trong giao diện.....	73
4.3.3. Xử lý ảnh và tracking	74
4.3.4. Kết nối giao diện với hệ thống	75
4.3.5. Tổng hợp chức năng các khối trong giao diện	77
4.4. Kết quả thực nghiệm	80
4.4.1. Kiểm tra trạng thái của các module	80
4.4.2. Chế độ Auto	80
4.4.3. Chế độ Manual.....	83
4.4.4. Chế độ Semi-Auto	84
Chương 5: KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ ĐỊNH HƯỚNG PHÁT TRIỂN	87
5.1. Kết quả nghiên cứu.....	87
5.2. Hạn chế và định hướng phát triển	87
5.2.1. Hạn chế	87
5.2.2. Định hướng phát triển.....	87
KẾT LUẬN	89
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	90

DANH SÁCH CÁC BẢNG, HÌNH VẼ

Bảng 1.1: Đặc điểm chính, ứng dụng và hạn chế của các loại băng tải.....	7
Bảng 1.2: Đặc điểm, ưu điểm và hạn chế của các loại băng tải đa hướng.	9
Bảng 3.1: Tiêu chí so sánh bánh xe thông thường và bánh xe Omni.....	31
Bảng 3.2: Mức logic trong mạng CAN	53
Bảng 4.1: Nguyên lí điều khiển L298	59
Hình 1.1: Băng chuyền	5
Hình 1.2: Băng tải con lăn	5
Hình 1.3: (a): Băng tải xích, (b): Băng tải trục vít	6
Hình 1.4: Hệ thống băng tải quét mã vạch.....	8
Hình 1.5: Hệ thống băng tải phân loại màu	8
Hình 1.6: (a): Flexconveyor, (b): Wheel sorter, (c): Omniwheel combinations, (d): Celluveyor.....	9
Hình 1.7: Mô hình hệ thống băng tải đa hướng.....	10
Hình 1.8: Khái quát sơ bộ về Celluveyor	11
Hình 1.9: Lưu đồ kết nối công việc	12
Hình 2.1: Yêu cầu đặt ra cho đề tài.....	15
Hình 2.2: Xét kích thước của lưới lục giác	15
Hình 2.3: Tính toán kích thước module lục giác	16
Hình 2.4: Tính chọn số lượng module	16
Hình 2.5: Lưới lục giác.....	17
Hình 2.6: Sơ đồ công nghệ	18
Hình 2.7: Quy trình công nghệ cho hệ thống băng tải đa hướng.....	19
Hình 2.8: Sơ đồ cấu trúc điều khiển	20
Hình 2.9: Thiết kế khối lục giác Omni.....	22
Hình 2.10: Mô hình khung tổng một cụm Omni	22
Hình 2.11: Mô hình khung băng tải	23
Hình 2.12: Khung phụ lắp đặt băng mạch điều khiển	23
Hình 2.13: Khung gắn Camera	24
Hình 2.14: Hình chiếu cạnh của băng tải	24
Hình 2.15: Hình chiếu bằng của băng tải.....	25
Hình 3.1: Băng tải đa hướng	26

Hình 3.2: Cấu trúc chung của một tế bào module.....	27
Hình 3.3: Lưu đồ thuật toán	29
Hình 3.4: Cấu trúc bố trí bánh xe trên bề mặt lục giác	30
Hình 3.5: So sánh bánh xe thường và bánh xe Omni.....	31
Hình 3.6: Xét chiều quay của các bánh xe	33
Hình 3.7: Quy chiếu hệ tọa độ bánh xe lên hệ tọa độ gốc	34
Hình 3.8: Ảnh hưởng của ma sát gây lệch quỹ đạo	37
Hình 3.9: Sơ đồ khối cấu trúc MFAC	39
Hình 3.10: Bài toán xác định hàm chi phí.....	41
Hình 3.11: Hệ tọa độ hexagonal.....	42
Hình 3.12: Tọa độ của các module trong lưới lục giác	43
Hình 3.13: Chi phí $h(n)$	43
Hình 3.14: Lưu đồ thuật toán cho thuật toán A^*	45
Hình 3.15: Lắp đặt camera để tracking vị trí vật thể	47
Hình 3.16: Quy trình xử lý nhận diện vật thể.....	47
Hình 3.17: Phương án điều khiển phân tán	49
Hình 3.18: Cấu trúc tổng quát bộ điều khiển	49
Hình 3.19: Cấu trúc của một gói tin CAN.....	52
Hình 3.20: Nguyên lý truyền tin trong CAN.....	53
Hình 3.21: Kết nối giữa các tầng điều khiển thông qua mạng CAN	53
Hình 3.22: Phần mềm mô phỏng Matlab/ Simscape	54
Hình 3.23: Mô phỏng trên Matlab	54
Hình 3.24: Mô phỏng trường hợp 1	55
Hình 3.25: Mô phỏng trường hợp 2	55
Hình 3.26: Mô phỏng trường hợp 3	56
Hình 4.1: Ngôn ngữ và phần mềm lập trình	57
Hình 4.2: Động cơ giảm tốc	58
Hình 4.3: Driver L298N	59
Hình 4.4: Vi điều khiển STM32F103C8T6.....	60
Hình 4.5: Sơ đồ chân STM32F103C8T6	60
Hình 4.6: Module USB to CAN	61
Hình 4.7: Module CAN BUS MCP2515	62
Hình 4.8: Webcam 2K HD	63
Hình 4.9: Bánh xe Omni	65
Hình 4.10: Nguồn tổ ong 5V 5A.....	66
Hình 4.11: Mặt cắt cạnh của hệ thống	67

Hình 4.12: Mặt bàn băng tải.....	67
Hình 4.13: Mặt phẳng định hình module	68
Hình 4.14: Khung chứa mạch điều khiển.....	68
Hình 4.15: Bảng mạch điều khiển	69
Hình 4.16: Thi công gá đỡ lắp đặt camera	69
Hình 4.17: Thi công hoàn thiện hệ thống băng tải	70
Hình 4.18: Thi công hoàn thiện khung đỡ cho bộ điều khiển	70
Hình 4.19: Mạch điều khiển	71
Hình 4.20: Thiết kế một phần giao diện người dùng trên QT Designer.....	72
Hình 4.21: Giao diện điều khiển.....	72
Hình 4.22: Lưới Hexagon.....	73
Hình 4.23: Cụm camera	73
Hình 4.24: Cụm điều khiển.....	74
Hình 4.25: Tương tác trực tiếp trên khối lục giác bằng khối điều khiển	74
Hình 4.26: Khung đánh giá HSV (Sắc độ - Độ bão hoà - Độ đậm nhạt)	75
Hình 4.27: Đồng bộ giữa hệ trục vật lý và hệ trục góc mô phỏng.....	75
Hình 4.28: Hiện thị trực quan hoạt động từng ô trong lưới	76
Hình 4.29: Chọn đường đi trong chế độ Semi_Auto	77
Hình 4.30: Quá trình chọn đường đi	77
Hình 4.31: Sau khi nhấn nút Start	78
Hình 4.32: Quá trình chọn ô đầu cuối trong Semi_Auto	78
Hình 4.33: Sau khi nhấn start và đường đi hiển thị trên lưới.....	79
Hình 4.34: Chế độ Auto.....	79
Hình 4.35: Kiểm tra các module sẵn sàng.....	80
Hình 4.36: Chế độ Auto – vật thể màu đỏ	81
Hình 4.37: Quỹ đạo di chuyển cho trường hợp Auto- vật thể màu đỏ	81
Hình 4.38: Chế độ Auto – vật thể màu đen	82
Hình 4.39: Quỹ đạo di chuyển cho trường hợp Auto- vật thể màu đen	82
Hình 4.40: Chế độ Auto – vật thể màu vàng	83
Hình 4.41: Quỹ đạo di chuyển cho trường hợp Auto- vật thể màu vàng	83
Hình 4.42: Chế độ Manual.....	84
Hình 4.43: Quỹ đạo trường hợp Manual.....	84
Hình 4.44: Lựa chọn ô bắt đầu và kết thúc bằng chế độ SEMI_AUTO.....	85
Hình 4.45: Chế độ AUTO_SEMI_MODE	85
Hình 4.46: Đáp ứng quỹ đạo trường hợp AUTO_SEMI_MODE	85
Hình 5.1: Encoder.....	88

DANH SÁCH CÁC KÝ HIỆU, CHỮ VIẾT TẮT

DC: Direct Current

AC: Alternating Current

QR: Quick Response code

ID: Identification

GUI: Graphical User Interface

MFAC: Model-Free Adaptive Control

FPS: Frame Per Second

CNC: Computer Numerical Control

PCB: Printed Circuit Board

HSV: Hue Saturation Value

PWM: Pulse Width Modulation

CAN: Controller Area Network

MỞ ĐẦU

Mục đích thực hiện đề tài:

Ngày nay, với sự phát triển mạnh mẽ và cạnh tranh khốc liệt của ngành thương mại điện tử và mua sắm trực tuyến, nhu cầu phân loại và xuất hàng hoá trong lĩnh vực logistics đòi hỏi đáp ứng chính xác, nhanh chóng và hiệu quả cao. Theo các thống kê thương mại điện tử cho thấy, xu hướng thị trường mua sắm trực tuyến ngày càng tăng nhanh trong thời đại số hoá và trí tuệ nhân tạo.

Đề tài “Nghiên cứu và thiết kế băng tải đa hướng OMNI – DIRECTIONAL CONVEYOR” được thực hiện với mục đích:

- Tối ưu hoá quá trình vận chuyển hàng hoá trong các nhà máy, kho bãi.
- Nâng cao hiệu suất vận hành, giảm thời gian trung chuyển, tối ưu hoá không gian bố trí trong môi trường sản xuất hiện đại.
- Phát triển băng tải có khả năng di chuyển theo nhiều hướng khác nhau giúp đáp ứng nhu cầu đa dạng trong công nghiệp, quản lý hàng hoá dễ dàng và hiệu quả.

Mục tiêu đề tài:

Đề tài hướng đến việc đạt được các mục tiêu cụ thể sau:

- Nghiên cứu nguyên lý hoạt động của các hệ thống băng tải đa hướng sử dụng bánh xe omni, từ đó xây dựng nền tảng lý thuyết vững chắc cho quá trình thiết kế và mô phỏng.
- Thiết kế hệ thống băng tải đa hướng gồm các module độc lập, có khả năng điều khiển chuyển động theo mọi hướng trên mặt phẳng.
- Thử nghiệm mô phỏng và thực tế, đánh giá khả năng hoạt động, độ chính xác của hệ thống, từ đó đề xuất cải tiến phù hợp để tăng tính ổn định và hiệu quả vận hành.

Phạm vi và đối tượng nghiên cứu:

Đối tượng nghiên cứu:

- Cấu trúc và nguyên lý hoạt động của bánh xe omni.
- Mô hình toán học của hệ thống.
- Thuật toán điều khiển thích nghi
- Hệ thống điều khiển các bánh xe bằng vi điều khiển STM32.
- Giao tiếp truyền thông giữa các module qua mạng CAN Bus.

- Ứng dụng xử lý ảnh và thuật toán tìm đường A* trong việc điều hướng vật thể.

Phạm vi nghiên cứu:

- Thiết kế và chế tạo phần cứng hệ thống băng tải đa hướng: khung cơ khí, motor, bánh xe omni, mạch điều khiển.
- Xây dựng phần mềm điều khiển: xử lý tín hiệu điều khiển động cơ, giao tiếp CAN, giao diện điều khiển trên máy tính.
- Tích hợp xử lý ảnh theo dõi vị trí và hướng vật thể, nhằm phản hồi theo thời gian thực.

Phương pháp nghiên cứu:

Để đảm bảo đạt được các mục tiêu đề ra, nhóm thực hiện áp dụng các phương pháp nghiên cứu sau:

- Nghiên cứu tài liệu: tham khảo tài liệu lý thuyết liên quan đến chuyên ngành và các bài báo khoa học, các kiến thức liên quan đến hệ thống băng tải đa hướng, hệ thống truyền động, động học robot, thuật toán A*, xử lý ảnh và truyền thông CAN Bus.
- Thiết kế và mô phỏng: Sử dụng phần mềm Solidworks để thiết kế phần cơ khí, lắp đặt các module, động cơ, vi điều khiển và mạch điều khiển theo thiết kế đề ra. Xây dựng mô hình mô phỏng trên MATLAB để kiểm chứng tính đúng đắn của động học và thuật toán A*.
- Thử nghiệm và đánh giá: Tiến hành thử nghiệm thực tế, đánh giá khả năng hoạt động của hệ thống, so sánh giữa mô phỏng và kết quả thực tế, từ đó rút ra kết luận và đề xuất cải tiến.

Cấu trúc đồ án tốt nghiệp:

- NHẬN XÉT CỦA NGƯỜI HƯỚNG DẪN
- NHẬN XÉT CỦA NGƯỜI PHẢN BIỆN
- TÓM TẮT
- NHIỆM VỤ ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP
- PHIẾU KIỂM SOÁT TIẾN ĐỘ LÀM ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP
- LỜI NÓI ĐẦU
- LỜI CAM ĐOAN
- MỤC LỤC
- DANH SÁCH CÁC BẢNG, HÌNH VẼ
- DANH SÁCH CÁC KỸ HIỆU, CHỮ VIẾT TẮT
- MỞ ĐẦU

- CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG BĂNG TẢI ĐA HƯỚNG
- CHƯƠNG 2: NGHIÊN CỨU VÀ THIẾT KẾ HỆ THỐNG BĂNG TẢI ĐA HƯỚNG
- CHƯƠNG 3: CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ MÔ PHỎNG
- CHƯƠNG 4: TÍNH CHỌN THIẾT BỊ, THI CÔNG PHẦN CỨNG, THIẾT KẾ GIAO DIỆN VÀ KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM
- CHƯƠNG 5: KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ ĐỊNH HƯỚNG PHÁT TRIỂN
- KẾT LUẬN
- TÀI LIỆU THAM KHẢO

Chương 1: TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG BĂNG TẢI ĐA HƯỚNG

1.1. Giới thiệu

1.1.1. Lịch sử phát triển

Hệ thống băng tải truyền thống đã xuất hiện từ thế kỷ 18 trong các ngành công nghiệp như khai khoáng, nông nghiệp và sản xuất để vận chuyển vật liệu một cách liên tục. Tuy nhiên các loại băng tải này chỉ cho phép chuyển động theo một hướng hoặc hai hướng tuyến tính (tiền/ lùi, trái/ phải) và thường hạn chế khi cần thay đổi hướng hoặc vị trí của vật thể trên băng tải. Ngày nay, trong bối cảnh công nghiệp hoá – hiện đại hoá ngày càng phát triển, nhu cầu tối ưu hoá quá trình vận chuyển hàng hoá trong các nhà máy, kho bãi, trung tâm logistics ngày càng trở nên cấp thiết.

Nhằm đáp ứng nhu cầu vận chuyển linh hoạt hơn trong các nhà máy hiện đại, hay các hệ trạm trung chuyển logistics, các nhà nghiên cứu và kỹ sư đã phát triển hệ thống băng tải đa hướng (Omni – directional conveyor). Hệ thống sử dụng bánh xe Omni, loại bánh có khả năng tạo ra chuyển động đa chiều trên mặt phẳng để điều hướng di chuyển của vật thể một cách linh hoạt mà không cần xoay cả khung hệ thống.

1.1.2. Tình hình sản xuất và nhu cầu sử dụng

Trong bối cảnh công nghiệp hoá – hiện đại hoá đang diễn ra mạnh mẽ trên toàn cầu, các hệ thống vận chuyển thông minh và linh hoạt ngày càng đóng vai trò then chốt trong chuỗi sản xuất và vận chuyển. Trong đó, hệ thống băng tải đa hướng được đánh giá là một giải pháp tiên tiến, phù hợp với xu hướng tự động hoá và tối ưu không gian trong nhà máy. Tại các quốc gia phát triển như Nhật Bản, Đức, Hoa Kỳ, Hàn Quốc, các hệ thống băng tải đa hướng đã được ứng dụng rộng rãi trong:

- Trung tâm phân loại hàng hoá như như Amazon, DHL, FedEx, nơi yêu cầu xử lý hàng nghìn đơn vị hàng hoá mỗi giờ với tốc độ cao và điều hướng linh hoạt.
- Nhà máy lắp ráp tự động trong ngành ô tô, điện tử.
- Phân loại hàng hoá của hành khách tại sân bay.

Tại Việt Nam, các hệ thống băng tải truyền thống vẫn chiếm phần lớn trong các dây chuyền sản xuất thực phẩm, đóng gói hàng hoá, logistics. Tuy nhiên, trong vài năm gần đây, nhu cầu về tự động hoá dây chuyền và tối ưu hoá mặt bằng đã khiến các doanh nghiệp trong nước bắt đầu quan tâm và đầu tư vào các hệ thống băng tải linh hoạt hơn, trong đó có băng tải đa hướng.

1.2. Tổng quan về hệ thống băng tải đa hướng

1.2.1. Phân tích các hệ thống băng tải truyền thống

Hệ thống băng tải truyền thống là thành phần cơ bản không thể thiếu trong nhiều ngành công nghiệp, đóng vai trò là công cụ thiết yếu để vận chuyển hiệu quả vật liệu từ nơi này đến nơi khác. Trong nhiều năm qua, với sự phát triển không ngừng trong thời đại công nghiệp hoá – hiện đại hoá, các hệ thống băng tải cũng dần được nâng cấp để đáp ứng nhu cầu ngày càng tăng trong việc rút ngắn thời gian vận chuyển hàng hoá và tối ưu hoá không gian trong nhà máy.

Băng chuyền là loại băng tải được sử dụng phổ biến và gần gũi nhất trong việc vận chuyển hàng hoá một cách nhanh chóng trong một khu vực cố định và tuyến tính.



Hình 1.1: Băng chuyền

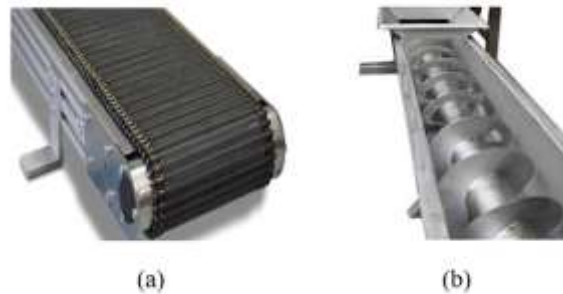
Băng tải con lăn có nguồn gốc từ cuộc cách mạng công nghiệp vào thế kỷ 18 và 19. Một trong những băng tải con lăn đầu tiên sử dụng con lăn gỗ để tạo điều kiện thuận lợi cho việc di chuyển vật liệu trong nhà máy. Theo thời gian, những con lăn gỗ này đã được thay thế bằng con lăn kim loại, giúp cải thiện độ bền và khả năng chịu tải.



Hình 1.2: Băng tải con lăn

Ngoài các hệ thống băng chuyền và băng tải con lăn, trong công nghiệp hiện nay còn có một số loại băng tải khác cũng được sử dụng rộng rãi nhằm đáp ứng các yêu cầu vận chuyển đặc thù, cụ thể như sau:

- Băng tải xích: Đây là loại băng tải sử dụng các dây xích (chain) để kéo vật thể di chuyển. Băng tải xích có khả năng chịu tải lớn, bền bỉ và thích hợp cho môi trường làm việc khắc nghiệt như có dầu mỡ, bụi bẩn hoặc nhiệt độ cao.
- Băng tải trục vít (screw conveyor): Băng tải trục vít sử dụng một trục xoắn quay trong một ống hoặc máng kín để đẩy vật liệu dạng bột hoặc hạt (ngũ cốc, xi măng, bột than, ...) theo phương ngang, nghiêng hoặc thẳng đứng. Ưu điểm của hệ thống này là khả năng vận chuyển vật liệu dạng rời với tốc độ ổn định và môi trường kín, hạn chế thất thoát và ô nhiễm.



Hình 1.3: (a): Băng tải xích, (b): Băng tải trục vít

Bảng 1.1: Đặc điểm chính, ứng dụng và hạn chế của các loại băng tải

Loại băng tải	Các tính năng chính	Ứng dụng	Hạn chế
Băng chuyền	<ul style="list-style-type: none"> - Được làm từ cao su, vải hoặc kim loại. - Được cung cấp năng lượng bởi động cơ điện, hộp số và khớp nối. 	<ul style="list-style-type: none"> - Khai thác (Vận chuyển vật liệu rời như quặng, than). - Sản xuất (Nguyên liệu, thành phẩm). - Kho bãi. - Sân bay 	<ul style="list-style-type: none"> - Chỉ vận chuyển được theo tuyến tính tiến hoặc lùi. - Cần bảo trì thường xuyên.
Băng tải con lăn	<ul style="list-style-type: none"> - Gồm các con lăn hình trụ xoay. - Có thể bao gồm tự động hoá bằng cảm biến và PLC 	<ul style="list-style-type: none"> - Nhà máy. - Kho hàng. - Xử lý hành lý tại sân bay. 	<ul style="list-style-type: none"> - Chỉ giới hạn ở bề mặt phẳng, nhẵn. - Cần có không gian cho con lăn và khung đỡ.
Băng tải xích	<ul style="list-style-type: none"> - Sử dụng xích thép hoặc thép không gỉ. - Có hệ thống căng và xích dẫn hướng đảm bảo độ ổn định. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sản xuất ô tô (dây chuyền lắp ráp). - Ngành công nghiệp đóng gói, đóng chai. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cồng kềnh, chiếm nhiều không gian hơn hệ thống khác.
Băng tải trục vít	<ul style="list-style-type: none"> - Có vít xoắn quay (vít xoắn). - Có thể tùy chỉnh về đường kính vít, bước vít và chiều dài 	<ul style="list-style-type: none"> - Nông nghiệp (hạt ngũ cốc, thức ăn chăn nuôi). - Chế biến thực phẩm. 	<ul style="list-style-type: none"> - Không phù hợp cho việc vận chuyển đường dài. - Có thể bị tắc nghẽn do một số vật liệu nhất định.

Mỗi loại băng tải đều có những ưu điểm riêng biệt phù hợp với các ứng dụng công nghiệp khác nhau. Tuy nhiên, tính ứng dụng về việc tối ưu hoá không gian vận chuyển trong nhà máy hay kho bãi, tiết kiệm thời gian trong quá trình vận chuyển hàng hoá, nguyên vật liệu. Băng tải đa hướng đáp ứng hầu hết các hạn chế mà các loại băng tải trên gặp phải, có khả năng di chuyển linh hoạt mọi hướng, điều khiển chính xác bằng vi điều khiển và dễ tích hợp với các hệ thống tự động hoá.

1.2.2. Các hệ thống băng tải truyền thống được sử dụng trong ngành sản xuất

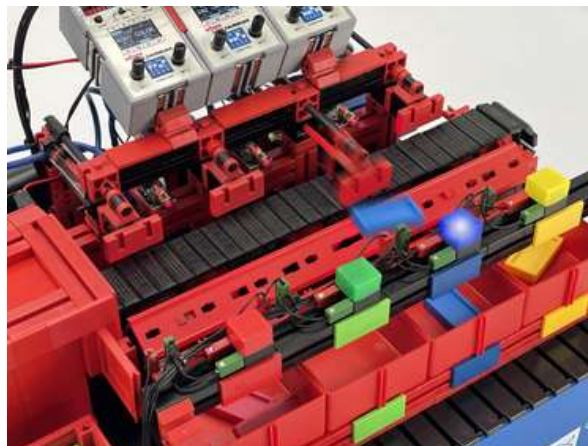
Hệ thống băng tải được sử dụng trong nhiều ngành công nghiệp khác nhau như ô tô, đóng gói, chế biến thực phẩm và nhiều ứng dụng khác. Bên cạnh đó, hệ thống thường được kết hợp với công nghệ phân loại trong các ứng dụng công nghiệp. Các mặt hàng được phân loại và phân phối bằng cách phát hiện mã vạch hoặc màu sắc của chúng.

Hệ thống băng tải quét mã vạch đang được sử dụng rộng rãi trong môi trường công nghiệp và thương mại vì phản ứng nhanh và phát hiện chính xác. Các hệ thống băng tải thường được lắp đặt máy quét mã vạch để có thể phát hiện mã vạch được in trên bao bì.



Hình 1.4: Hệ thống băng tải quét mã vạch

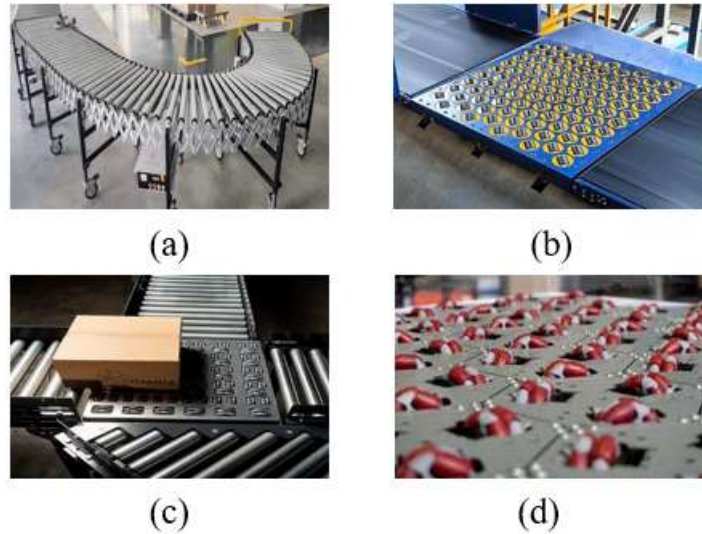
Hệ thống băng tải phân loại màu ngày càng được sử dụng rộng rãi trong quy trình tự động hoá để phân loại và sắp xếp các mặt hàng theo màu sắc, nhằm mục đích kiểm tra tính nhất quán của sản phẩm, giúp việc phân loại và đóng gói trở nên dễ dàng hơn.



Hình 1.5: Hệ thống băng tải phân loại màu

1.2.3. Các loại băng tải đa hướng

Hiện nay, trên thị trường và trong nghiên cứu công nghiệp, một số loại băng tải đa hướng phổ biến được ứng dụng nhằm nâng cao hiệu quả vận chuyển và phân loại hàng hoá như: Flexconveyor, Wheel sorter, Omniwheel combinations, Celluveyor (cụ thể hơn là Omni – Directional Conveyor, từ đây trở đi để cho ngắn gọn nhóm tác giả sẽ viết là Celluveyor thay cho Omni – Directional Conveyor). Mỗi loại băng tải đều có các đặc điểm riêng biệt và tính ứng dụng khác nhau trong thực tế.



Hình 1.6: (a): Flexconveyor, (b): Wheel sorter, (c): Omniwheel combinations, (d): Celluveyor

Bảng 1.2: Đặc điểm, ưu điểm và hạn chế của các loại băng tải đa hướng.

Loại băng tải	Đặc điểm	Ưu điểm	Hạn chế
Flexconveyor	- Sử dụng cơ cấu truyền động linh hoạt có thể điều chỉnh hướng đi của con lăn trên bề mặt.	- Điều chỉnh được hướng di chuyển liên tục. - Có thể kết hợp với cảm biến để điều hướng theo lộ trình.	- Cấu trúc phức tạp, khó bảo trì. - Độ linh hoạt không cao bằng bánh xe omni.
Wheel sorter	- Có bánh xe nhỏ xoay 90° để đẩy vật sang trái hoặc phải.	- Cấu tạo đơn giản. - Giá thành thấp.	- Chỉ hỗ trợ theo 2 hướng. - Không phù hợp cho hệ thống cần chuyển hướng đa chiều.

Loại băng tải	Đặc điểm	Ưu điểm	Hạn chế
Omniwheel combinations	<ul style="list-style-type: none"> Sử dụng bánh xe omni nhỏ và lớn kết hợp để đạt được khả năng xoay vật thể trên trục và đẩy theo các hướng khác nhau. 	<ul style="list-style-type: none"> Cho phép vật thể xoay và di chuyển kết hợp. Linh hoạt hơn so với wheel sorter. 	<ul style="list-style-type: none"> Yêu cầu nhiều motor điều khiển. Khó lắp ráp theo mô-đun chuẩn.
Celluveyor	<ul style="list-style-type: none"> Gồm nhiều module lục giác kết hợp. Mỗi module gồm 3 bánh xe omni đặt lệch nhau 120°, cho phép di chuyển đa hướng. 	<ul style="list-style-type: none"> Khả năng điều hướng vật thể theo mọi hướng 2D. Thiết kế mô-đun, dễ mở rộng và thay thế. 	<ul style="list-style-type: none"> Cần hệ thống điều khiển đồng bộ và tinh vi.

1.2.4. Băng tải đa hướng - Celluveyor

Celluveyor là hệ thống băng tải đa hướng tiên tiến được thiết kế theo cấu trúc module gồm nhiều ô lục giác, mỗi ô tích hợp 3 bánh xe omni giúp vật thể di chuyển theo hướng bất kỳ trên mặt phẳng. Nhờ vào cấu trúc module các ô có thể được ghép nối với nhau một cách dễ dàng, tạo thành một bề mặt băng tải lớn phù hợp với nhiều kích thước khác nhau, mỗi ô hoạt động độc lập nhưng đồng bộ với nhau giúp hệ thống linh hoạt.



Hình 1.7: Mô hình hệ thống băng tải đa hướng

Hệ thống celluveyor tiếp nhận các gói hàng đến và phân loại chúng theo bất kỳ hướng nào tới với tốc độ đáp ứng và khoảng cách tối thiểu. Ngoài ra, băng tải có nhiều tùy chọn cấu hình bao gồm hai chiều hoặc đa chiều trong khoảng từ 30° đến

360°, có thể hoạt động trong các khu vực chuyển hướng nhỏ và xử lý các loại bao bì khác nhau với nhiều vật liệu khác nhau.



Hình 1.8: Khái quát sơ bộ về Celluveyor

Với khả năng di chuyển vật thể theo mọi hướng, tính linh hoạt cao và thiết kế module dễ mở rộng, hệ thống Celluveyor được lựa chọn là đề tài nghiên cứu nhằm đáp ứng xu hướng tự động hoá thông minh trong công nghiệp hiện đại. So với các hệ thống băng tải truyền thống chỉ hỗ trợ chuyển động tịnh tiến, Celluveyor vượt trội nhờ khả năng xoay tại chỗ, chuyển hướng tức thời, và phân loại chính xác trong không gian hẹp. Trên thực tế, hệ thống này đã được triển khai tại các trung tâm logistics lớn trên thế giới, với tốc độ xử lý lên đến 20 nghìn kiện hàng/ giờ, sử dụng với hàng chục module lục giác đồng bộ. Những ưu điểm vượt trội về cả cơ khí và điều khiển của Celluveyor là một giải pháp băng tải tiên tiến, đầy tiềm năng nghiên cứu và ứng dụng trong tương lai.

1.3. Kết luận

Kết thúc chương, chúng ta đã có cái nhìn tổng quan và đầy đủ hơn về hệ thống băng tải đa hướng, từ lịch sử hình thành, tình hình ứng dụng thực tiễn trong và ngoài nước cho đến cấu tạo, nguyên lý hoạt động, và ưu điểm vượt trội so với các hệ thống băng tải truyền thống. Bên cạnh đó, chương cũng đã phân tích các loại băng tải phổ biến hiện nay, qua đó làm nổi bật vai trò, tiềm năng và tính đột phá của hệ thống băng tải đa hướng trong bối cảnh công nghiệp hóa – hiện đại hóa. Trong đó, lựa chọn Celluveyor là một phương án tối ưu nhất, bù đắp lại các hạn chế của các loại băng tải đa hướng khác.

Trên cơ sở đó, các chương tiếp theo sẽ tập trung vào quá trình phân tích yêu cầu kỹ thuật và thiết kế chi tiết hệ thống băng tải đa hướng, bao gồm các nội dung về thiết kế cơ khí, bố trí động cơ và bánh xe, lựa chọn phần cứng điều khiển, cũng như xây dựng thuật toán điều hướng phù hợp, nhằm từng bước hiện thực hóa ý tưởng đề tài thành một mô hình hoàn chỉnh, hoạt động ổn định trong thực tế.

Chương 2: NGHIÊN CỨU VÀ THIẾT KẾ HỆ THỐNG BĂNG TẢI ĐA HƯỚNG

2.1. Nghiên cứu hệ thống băng tải đa hướng

2.1.1. Đặt vấn đề

Trong xu thế công nghiệp hoá – hiện đại hoá hiện nay, các hệ thống sản xuất và logistics yêu cầu ngày càng cao về tốc độ, độ chính xác và khả năng tùy biến. Trong đó, việc phân loại và vận chuyển hàng hóa không chỉ đơn thuần theo một tuyến cố định như các hệ thống băng tải truyền thống, mà cần có khả năng điều hướng linh hoạt trong không gian hai chiều, tối ưu hóa luồng vận chuyển và tiết kiệm diện tích bố trí mặt bằng.

Hệ thống băng tải đa hướng (Omni-directional conveyor) được định hướng thiết kế nhằm phục vụ cho:

- **Doanh nghiệp logistics và kho vận:** Cần xử lý đồng thời nhiều đơn hàng với tốc độ cao và chuyển hướng vật thể theo các tuyến linh hoạt.
- **Nhà máy sản xuất quy mô vừa và nhỏ:** Yêu cầu chuyển vật liệu giữa các công đoạn trên cùng một mặt phẳng mà không cần tái cấu trúc dây chuyền.
- **Hệ thống phân loại tự động:** Trong các trung tâm xử lý hàng hóa, hệ thống này cho phép phân luồng chính xác theo mã màu hoặc mã vạch.

Phạm vi ứng dụng hướng đến các vật thể nhỏ và trung bình (trọng lượng dưới 1kg), kích thước khối hàng 30x25cm. Di chuyển trên mặt phẳng kích thước giới hạn chiều dài 1.2m, chiều rộng 0.7m, yêu cầu điều hướng chính xác và tốc độ đáp ứng nhanh với 1 ngõ vào và 3 ngõ ra được phân loại theo màu sắc. Đặc biệt, với mô hình module Celluveyor, hệ thống có thể dễ dàng mở rộng quy mô bằng cách ghép thêm các ô lục giác mà không thay đổi cấu trúc điều khiển tổng thể.

2.1.2. Những khó khăn, thách thức trong thiết kế

Từ thực tiễn đặt ra ở trên, việc triển khai hệ thống băng tải đa hướng gặp nhiều thách thức kỹ thuật và tổ chức, bao gồm:

- **Đồng bộ chuyển động giữa nhiều module:** Khi nhiều ô hoạt động cùng lúc, việc phối hợp chính xác vận tốc bánh xe giữa các module là rất quan trọng để vật thể không bị lệch hướng hoặc xoay sai.
- **Hạn chế tài nguyên phần cứng:** Mỗi module cần 3 động cơ và các driver điều khiển tương ứng, gây áp lực lên số lượng chân điều khiển I/O, nguồn cấp và quản lý nhiệt.
- **Độ trễ trong điều khiển tập trung:** Việc xử lý hình ảnh và điều khiển động cơ có thể gây trễ nếu khối lượng dữ liệu lớn hoặc kết nối không ổn định.

- **Độ bám và ma sát thấp:** Do sử dụng bánh xe omni có con lăn nhỏ, hệ thống dễ trượt nếu mặt sàn không đồng đều hoặc vật thể quá nhẹ.

Ngoài ra, một thách thức quan trọng khác là bảo trì module: mỗi module nếu gặp lỗi phân cứng (hồng motor, driver hoặc kết nối) cần có giải pháp thay thế nhanh để không ảnh hưởng đến toàn hệ thống.

2.1.3. Đề xuất giải pháp

Để giải quyết các thách thức trên, nhóm đề xuất các giải pháp kỹ thuật tổng thể như sau:

- **Thiết kế module Celluveyor:** Mỗi ô lục giác tích hợp 3 bánh xe omni đặt lệch nhau 120° , truyền động bằng động cơ DC, sử dụng driver cầu H để tối ưu chi phí và khả năng điều khiển.
- **Xây dựng thuật toán động học:** Từ vận tốc mong muốn, hệ thống tính toán tốc độ từng bánh xe để đạt được chuyển động chính xác. Từ đó đưa ra các lệnh điều khiển lên các module một cách logic.
- **Điều khiển phân tán:** Máy tính trung tâm thực hiện xử lý hình ảnh và lên kế hoạch đường đi bằng thuật toán A*, sau đó gửi lệnh vận tốc đến từng vi điều khiển qua mạng truyền thông giao tiếp.
- **Mạng truyền thông CAN:** Mỗi module sử dụng vi điều khiển kết nối với một module giao tiếp truyền thông CAN, đảm bảo giao tiếp ổn định, tốc độ truyền nhanh và dễ mở rộng số lượng module.
- **Thuật toán điều khiển thích nghi kết hợp camera làm cảm biến:** Dùng camera đặt trên cao, hệ thống theo dõi vật thể theo màu sắc và xác định vị trí của vật theo thời gian thực, qua đó truyền dữ liệu về bộ điều khiển trung tâm để thực hiện điều chỉnh vận tốc các bánh xe theo thuật toán thích nghi.

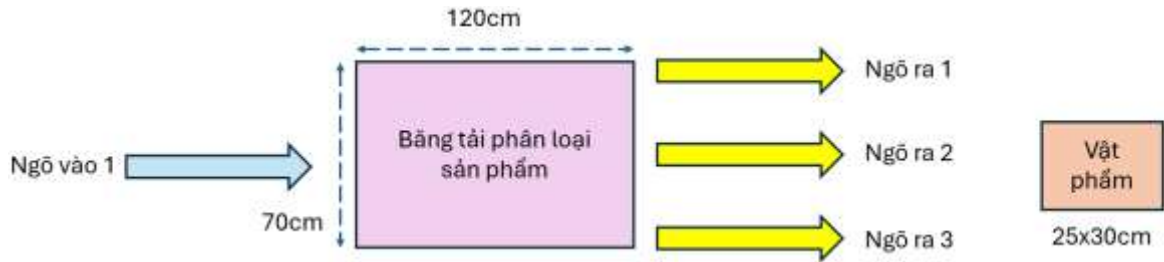
Những giải pháp trên nhằm xây dựng một hệ thống băng tải đa hướng hiệu quả, ổn định và có khả năng thực nghiệm cao trong môi trường thực tế sản xuất, đào tạo và nghiên cứu.

2.2. Thiết kế hệ thống băng tải đa hướng

2.2.1. Thiết kế sơ đồ công nghệ

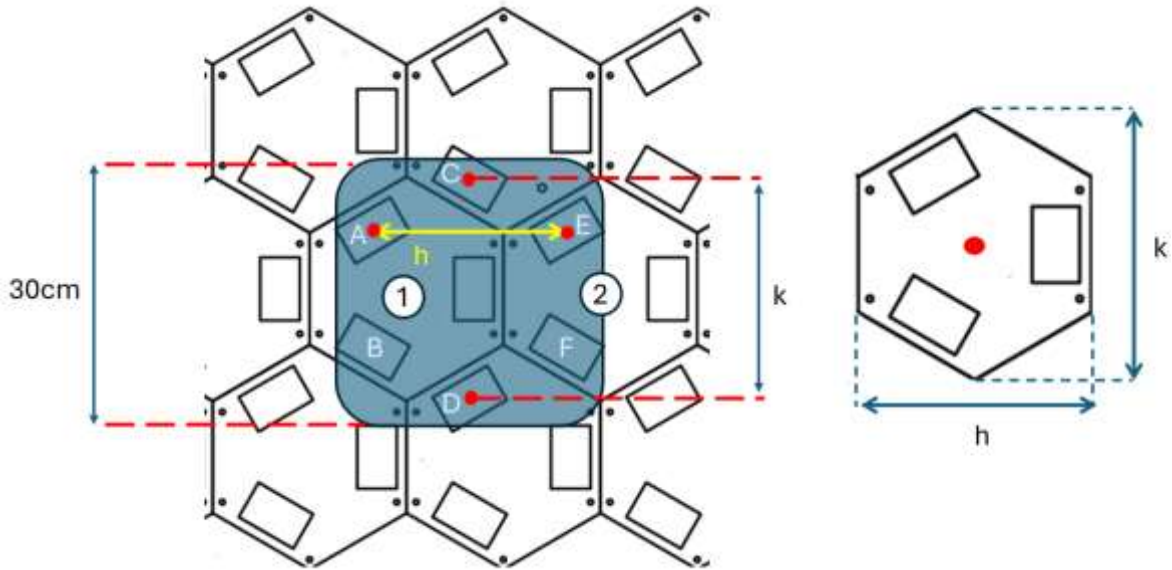
a) Tính toán kích thước mô hình

Như đã nêu ở mục 2.1.1, yêu cầu được đặt ra cho bài toán là công đoạn phân loại vật phẩm có kích thước tối đa là $120 \times 70 \text{ cm}$, với 1 ngõ vào và 3 ngõ ra tương ứng được phân loại theo màu của vật thể.



Hình 2.1: Yêu cầu đặt ra cho đề tài

Xét một lưới module lục giác được biểu diễn như Hình 2.2 :



Hình 2.2: Xét kích thước của lưới lục giác

Khi vật thể (được biểu diễn màu xanh nhạt) nằm trên lưới lục giác, ta có thể nhận thấy rằng khoảng cách giữa 2 bánh trong cùng 1 module, tức là bánh **A** và bánh **B** phải nhỏ hơn kích thước của vật thể (nhỏ hơn 30cm).

Ngoài ra, khi vật thể di chuyển từ module số **1** sang module số **2**, không chỉ có các bánh xe trên mỗi module ấy hoạt động, mà còn bao gồm sự hỗ trợ từ các module xung quanh, đó là các bánh **C** và **D**.

Vì vậy, kích thước của vật thể không chỉ lớn hơn khoảng cách từ bánh **A** tới bánh **B**, mà nó phải lớn hơn khoảng cách bánh **C** tới bánh **D**. Trong đó, khoảng cách **CD** bằng k (với k là khoảng cách giữa 2 đỉnh đối nhau). Từ đây, ta xác định được $k \leq 30cm$, áp dụng tính chất của hình lục giác đều:

$$h \leq \sqrt{3} \cdot \frac{k}{2} = \sqrt{3} \cdot \frac{30}{2} \approx 26(cm) \quad (2.1)$$

Với h là khoảng cách giữa 2 cạnh đối nhau.

Ta chọn hệ số dự trữ là 0.75, khi đó:

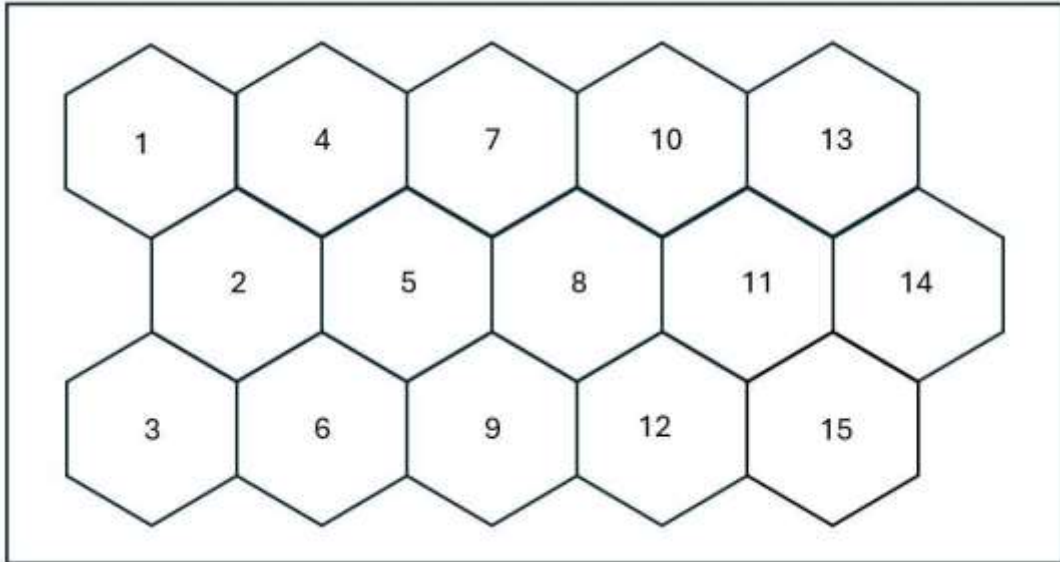
$$h = 0,75 \cdot 26 \approx 20(cm) \rightarrow k = 23,1 \quad (2.2)$$

Theo **Hình 2.4**, giới hạn của $x \leq 120$ và $y \leq 70$, với m là số hàng, n là số cột, ta có biểu thức sau:

$$x = m.h + \frac{h}{2} \leq 120 \rightarrow m \leq 5 \quad (2.5)$$

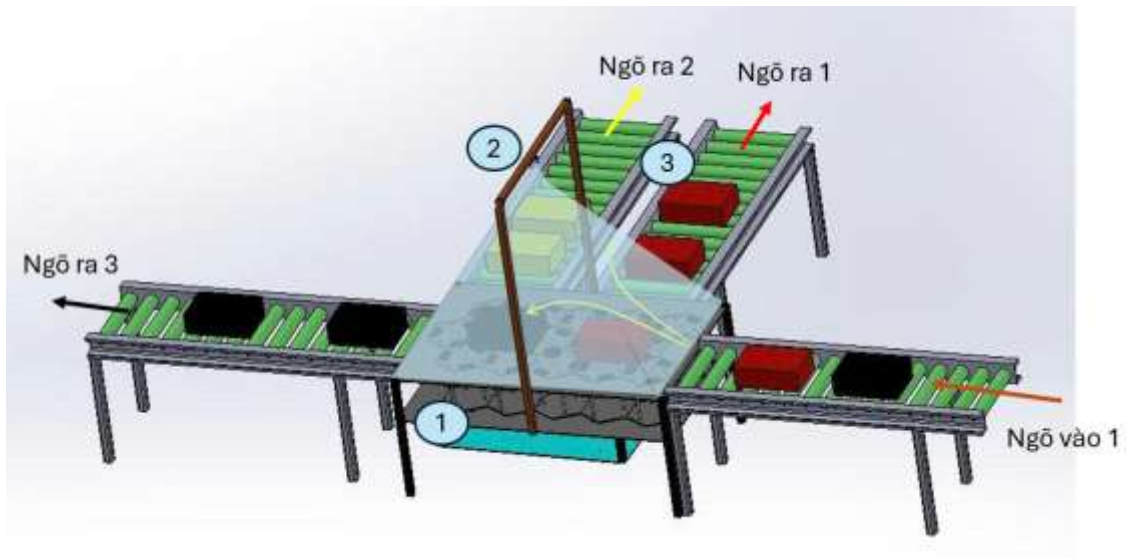
$$y = n.k - (n-1).l \leq 70 \rightarrow n \leq 3 \quad (2.6)$$

Vậy ta kết luận chọn lưới lục giác với kích thước 5 hàng, 3 cột, tương ứng với 15 module lục giác.



Hình 2.5: Lưới lục giác

b) Thiết kế sơ đồ công nghệ



Hình 2.6: Sơ đồ công nghệ

Cấu tạo tổng quan của hệ thống gồm có 3 phần chính như sau:

- 1: Hệ thống băng tải phân loại
- 2: Camera
- 3: Hệ thống băng tải vận chuyển

Quy trình hoạt động được mô tả theo trình tự các bước:

Bước 1: Vật thể đi vào hệ thống.

- Vật phẩm được băng tải truyền thống vận chuyển vào hệ thống phân loại.

Bước 2: Phát hiện vật thể & xử lý ảnh.

- Khi vật phẩm đi vào vùng quét của Camera được đặt trên cao, hệ thống sẽ nhận diện vật thể.
- Dựa trên màu sắc của vật thể, phần mềm xử lý ảnh sẽ xác định đích đến của từng vật.

Màu đỏ: Ngõ ra 1

Màu vàng: Ngõ ra 2

Màu đen: Ngõ ra 3

Bước 3: Tính toán đường đi và vận tốc các bánh xe.

- Bộ điều khiển trung tâm sẽ dựa vào ngõ vào và ngõ ra của vật thể, qua đó tính toán đường đi tối ưu của vật thông qua thuật toán A*.
- Sau khi có quỹ đạo mong muốn, thông qua mô hình động học ngược sẽ tính toán được vận tốc của các bánh xe tương ứng.

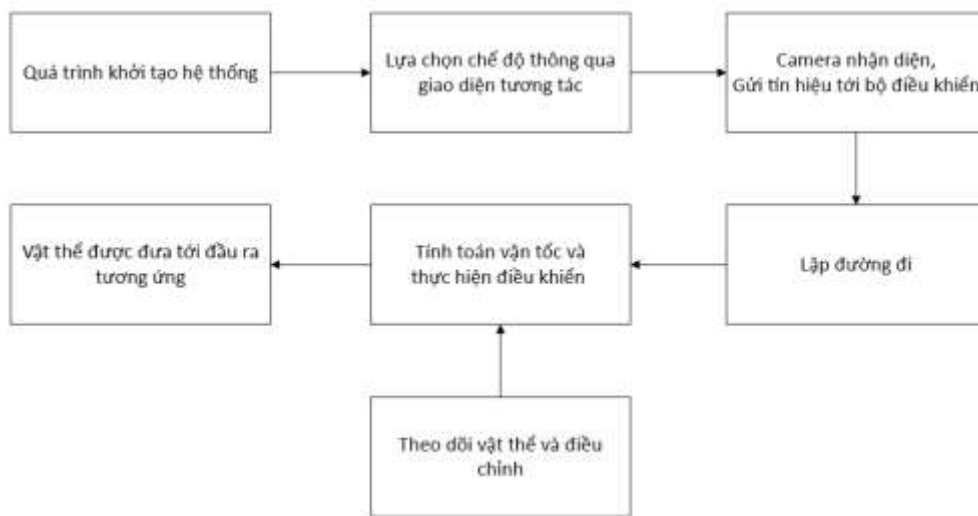
Bước 4: Di chuyển bằng các module lục giác

- Các bộ điều khiển cục bộ nhận tín hiệu từ bộ điều khiển trung tâm, thực hiện điều khiển các cơ cấu bánh xe tương ứng.
- Các module bánh xe điều khiển độc lập, điều hướng vật phẩm di chuyển chính xác theo quỹ đạo mong muốn.

Bước 5: Rời hệ thống

- Vật thể được các module bánh xe điều hướng tới ngõ ra tương ứng.
- Cuối cùng vật thể được đưa ra phân loại bằng các băng tải vận chuyển tương ứng.

2.2.2. Xây dựng quy trình công nghệ



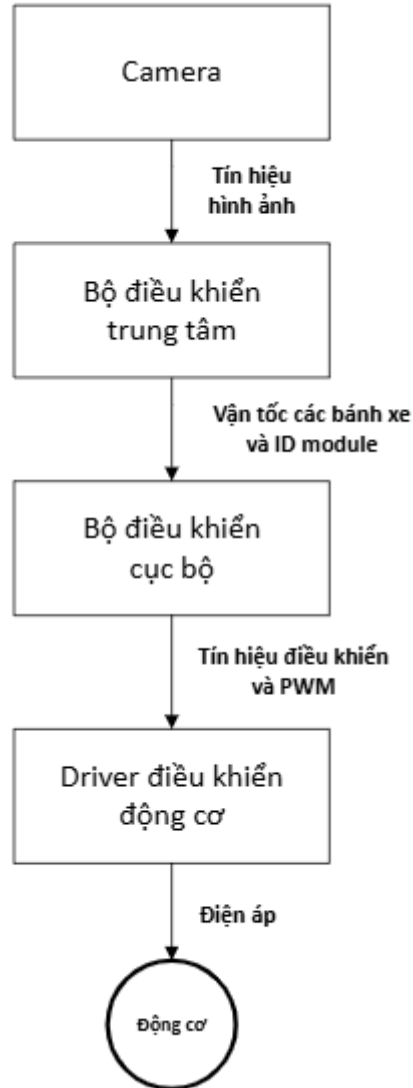
Hình 2.7: Quy trình công nghệ cho hệ thống băng tải đa hướng

Quy trình công nghệ vận hành hệ thống băng tải đa hướng bao gồm các bước sau:

- **Quá trình khởi tạo hệ thống:** Khởi động các máy tính trung tâm, các cơ cấu chấp hành, bộ điều khiển, mạng truyền thông giao tiếp.
- **Lựa chọn chế độ:** Người dùng thực hiện thao tác với màn hình để chọn chế độ (gồm 3 chế độ: Manual, Semi_Auto và Auto) và các chức năng tương ứng.
- **Camera phát hiện vật thể:** Camera ghi nhận hình ảnh theo thời gian thực, phân loại vật thể theo màu sắc.
- **Lập đường đi:** Từ tín hiệu vật thể được phân loại, thuật toán A* được áp dụng để tìm đường đi tối ưu.
- **Tính toán và điều khiển:** Thực hiện tính toán động học ngược để chuyển từ quỹ đạo di chuyển thành vận tốc các bánh xe, sau đó truyền thông qua mạng tới các cơ cấu chấp hành.

- **Theo dõi và điều chỉnh:** Camera tracking vị trí vật thể theo thời gian thực, thực hiện điều chỉnh nếu có sai lệch trong quỹ đạo
- **Vật thể được phân loại:** Kết thúc mỗi chu trình, vật thể được đưa ra khỏi băng tải đa hướng và phân loại tới từng vùng.

2.2.3. Sơ đồ cấu trúc điều khiển



Hình 2.8: Sơ đồ cấu trúc điều khiển

Hệ thống được phân tầng rõ ràng với luồng điều khiển diễn ra từ **Camera** → **Bộ điều khiển trung tâm** → **Bộ điều khiển cục bộ** → **Driver điều khiển động cơ** → **Động cơ**, mỗi khối trong sơ đồ đảm nhận một chức năng cụ thể:

- **Camera:** Ghi lại toàn cảnh hệ thống từ trên cao, giúp xác định màu sắc nhằm phân loại và vị trí của vật thể theo thời gian thực.
- **Bộ điều khiển trung tâm:** Có chức năng xử lý hình ảnh từ Camera, qua đó xác định lộ trình di chuyển bằng thuật toán tối ưu A*. Thực hiện các phép

toán động học ngược, tính toán vận tốc các bánh xe cần thiết và thuật toán điều khiển thông minh.

- **Bộ điều khiển cục bộ:** Nhận dữ liệu vận tốc từ bộ điều khiển trung tâm, giải mã khung tin và thực hiện tính toán tạo xung PWM điều khiển động cơ.
- **Driver điều khiển động cơ:** Nhận xung PWM và chiều quay từ bộ điều khiển cục bộ, chuyển thành tín hiệu điện áp tương ứng cấp cho động cơ.
- **Động cơ:** Nhận điện áp từ Driver điều khiển, tạo chuyển động mong muốn.

2.2.4. Yêu cầu đặt ra

Hệ thống băng tải đa hướng Celluveyor phải có các tiêu chí đáp ứng về tính ứng dụng của hệ thống, yếu tố về kết cấu, độ chính xác, cũng như khả năng di chuyển linh hoạt, cần đáp ứng được các yêu cầu sau:

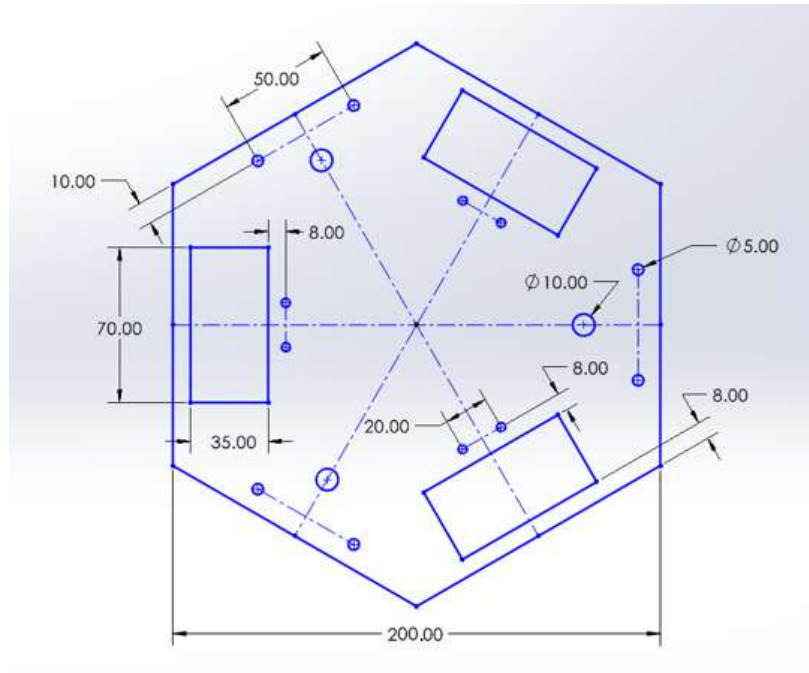
- Kích thước hệ thống đủ rộng để cho phép ghép 15 cụm Omni thành một hệ thống.
- Cụm lục giác Omni phải đủ rộng để gắn động cơ và bánh xe.
- Băng tải phải có khả năng di chuyển vật thể theo nhiều hướng khác nhau, phù hợp với quỹ đạo được thiết kế trước.
- Tốc độ di chuyển ổn định để đảm bảo gói hàng không bị lật hoặc văng khỏi băng tải trong quá trình vận hành.
- Vật liệu vận chuyển: gói hàng, hộp, thùng carton và các loại sản phẩm có kích thước khác nhau.

Dựa theo các tiêu chí đặt ra ở trên ở đề tài này, nhóm hướng tới việc tạo ra một mô hình băng tải đa hướng gồm 15 module hộp Omni, mỗi module gồm 3 cơ cấu truyền động gồm động cơ và bánh xe đa hướng Omni với kết cấu đường kính ngoài 58mm và đường kính trục 13mm.

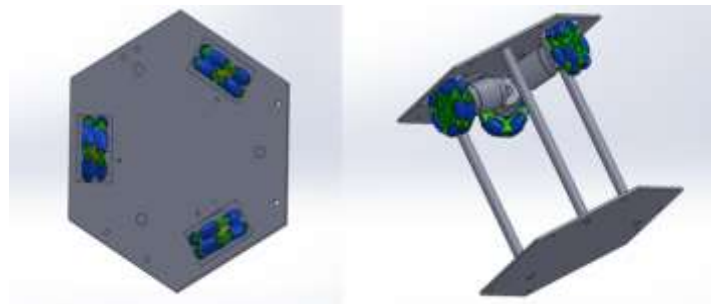
2.2.5. Thiết kế khối lục giác Omni

Hộp Omni có nhiệm vụ làm khung của module được thiết kế để nối các linh kiện với nhau, với kích thước của động cơ 1 chiều với chiều dài tổng 70mm (bao gồm trục) và đường kính ngoài bánh xe Omni 58mm, yêu cầu về khoảng cách mà ta có thể thiết kế ra được mặt trên hộp có chiều cao 220mm và các thông số có kích thước như hình dưới.

Khung lục giác Omni có chiều cao 220mm, bao gồm mặt trên và mặt dưới. Mặt trên bao gồm 3 bánh xe đặt cách nhau 120° , phía dưới mặt trên là giá đỡ các động cơ điện dẫn động các bánh xe, được cố định bằng trục vít. Các bánh xe Omni có thể di chuyển độc lập ở mọi hướng, giúp tăng độ chính xác và tính linh hoạt của băng tải.



Hình 2.9: Thiết kế khối lục giác Omni



Hình 2.10: Mô hình khung tổng một cụm Omni

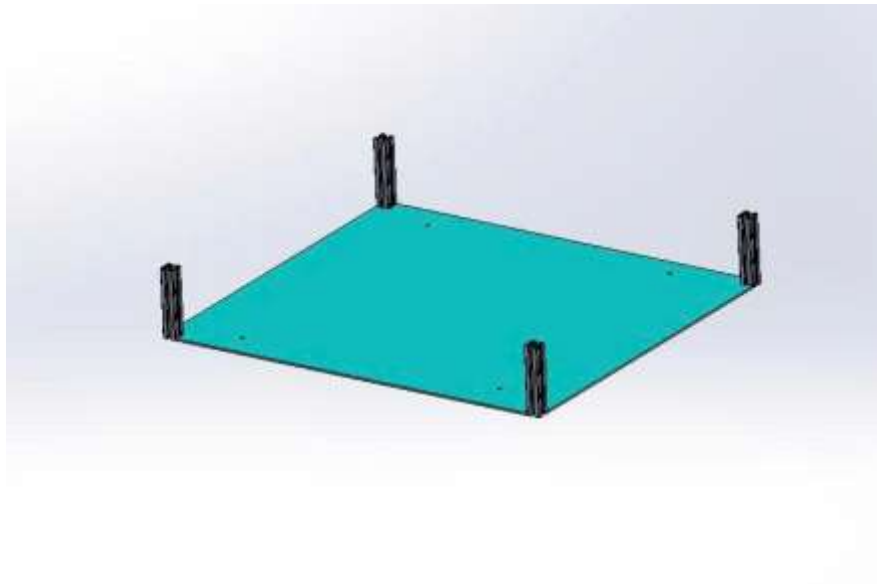
2.2.6. Thiết kế khung băng tải

Khung băng tải đa hướng được thiết kế theo dạng ma trận module, gồm 15 cụm omni bố trí dạng lưới phẳng, mỗi cụm được lắp vào một khung lục giác độc lập, có chiều cao 220mm, đảm bảo đủ không gian lắp đặt động cơ và linh kiện điều khiển phía dưới.



Hình 2.11: Mô hình khung băng tải

Dưới phần mặt dưới của hệ thống được lắp đặt thêm phần khung đỡ phụ để lắp đặt các bo mạch điều khiển các động cơ. Với chiều dài 64cm, chiều rộng 54cm và chiều cao 15cm, đủ rộng để gắn các bo mạch và nguồn điện cung cấp, đủ cao để thuận tiện cho việc tháo lắp để sửa chữa.



Hình 2.12: Khung phụ lắp đặt bảng mạch điều khiển

Các cụm module omni được cố định bởi các trục vít, mỗi cụm lục giác được thiết kế có lỗ bắt vít tiêu chuẩn và rãnh căn chỉnh, giúp ghép nối dễ dàng với nhau thành một mặt băng tải lớn, đảm bảo độ phẳng đồng đều và cân bằng giữa các bánh

Sinh viên thực hiện:

Hoàng Việt Thắng - Nguyễn Phú Toàn - Nguyễn Hữu Trung

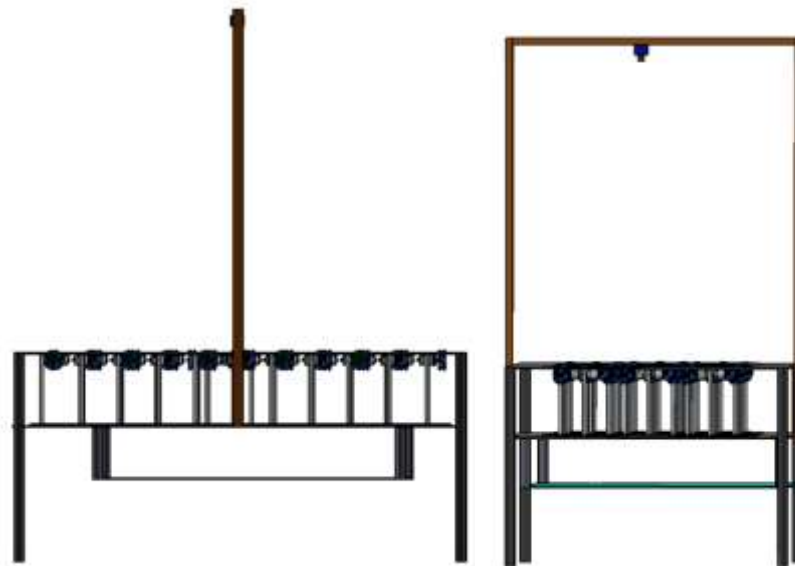
GVHD: Trần Thị Minh Dung

xe. Khung tổng thể của băng tải được lắp đặt trên hệ giá đỡ bằng nhôm định hình, thuận tiện cho việc căn chỉnh hoặc tháo rời.

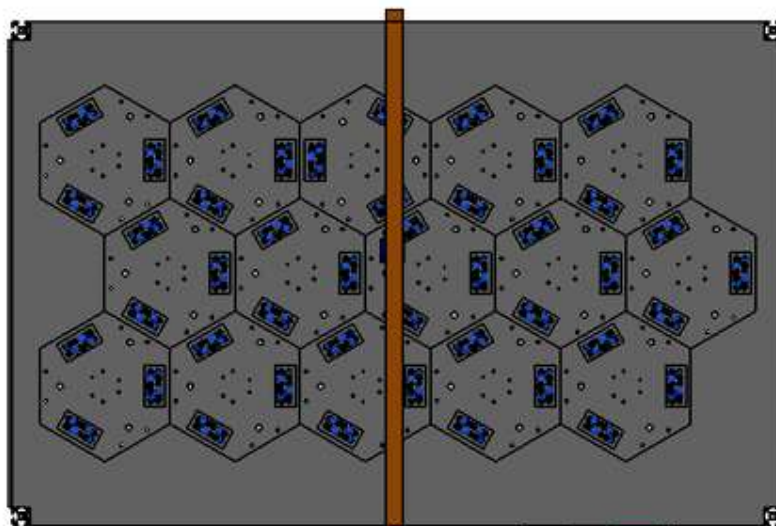


Hình 2.13: Khung gắn Camera

Ngoài ra, còn có khung gắn camera được lắp đặt trên cao nhằm bao quát hết toàn bộ bề mặt hoạt động của băng tải, đảm bảo không có điểm mù nào.



Hình 2.14: Hình chiếu cạnh của băng tải



Hình 2.15: Hình chiếu bằng của băng tải

Chương 3: CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ MÔ PHỎNG

3.1. Cấu trúc hệ thống băng tải đa hướng

3.1.1. Tổng quan về hệ thống Celluveyor



Hình 3.1: Băng tải đa hướng

Hệ thống băng tải đa hướng (Celluveyor) là một mô hình băng tải thông minh được thiết kế nhằm mục tiêu vận chuyển vật thể một cách linh hoạt, chính xác theo nhiều hướng khác nhau trên một mặt phẳng hai chiều. Khác với các băng tải tuyến tính thông thường chỉ cho phép vật thể di chuyển theo một trục duy nhất, Celluveyor cung cấp khả năng điều hướng toàn diện, giúp vật thể có thể tiến, lùi, rẽ trái, rẽ phải hoặc thậm chí xoay tròn tại chỗ một cách linh hoạt.

Những đặc điểm nổi bật của một hệ thống Celluveyor:

- **Tính linh hoạt:** Hệ thống cho phép vận chuyển vật thể theo nhiều quỹ đạo khác nhau, kể cả chuyển động thẳng, rẽ, xoay tại chỗ hoặc kết hợp các hướng đáp ứng linh hoạt với yêu cầu vận hành đa dạng trong không gian hai chiều.
- **Tính thích ứng cao:** Khi một module trong hệ thống gặp sự cố, tuyến đường di chuyển của vật thể có thể được điều chỉnh tức thì, đảm bảo quá trình vận chuyển không bị gián đoạn. Đây là điểm mạnh trong môi trường sản xuất cần tính liên tục cao.
- **Tính mở rộng dễ dàng:** Với thiết kế theo mô hình module đồng nhất, hệ thống có thể được mở rộng quy mô bằng cách lắp thêm các module mới mà không cần thay đổi kiến trúc tổng thể. Điều này mang lại khả năng mở rộng không gian hoạt động một cách linh hoạt và tiết kiệm chi phí.
- **Tính cơ động trong bảo trì:** Cấu trúc rời rạc theo module giúp việc bảo trì, thay thế trở nên đơn giản và nhanh chóng. Khi một module hỏng, người vận

hành chỉ cần tháo và thay thế bằng một module mới mà không ảnh hưởng đến toàn bộ hệ thống.

3.1.2. Cấu tạo của một module lục giác

Mỗi module cơ bản trong hệ thống Celluveyor được thiết kế dưới dạng khối lục giác đều và bao gồm bốn thành phần cấu trúc chính, phối hợp chặt chẽ để đảm bảo khả năng vận hành độc lập và tích hợp đồng bộ trong toàn hệ thống.



Hình 3.2: Cấu trúc chung của một tế bào module

Cấu trúc của một cụm module omni gồm:

- **Mặt bàn lục giác:** Đây là bề mặt thao tác chính của module, được thiết kế dạng tám phẳng hình lục giác đều, làm từ vật liệu cứng và nhẹ như nhôm hoặc composite. Bề mặt này có vai trò là nền đỡ cho vật thể di chuyển và đồng thời chứa đựng ba bánh xe omni bố trí đều nhau theo chu vi. Cấu trúc hình học đảm bảo khả năng khớp nối liền mạch với các module lân cận, tạo thành lưới tổ ong liên kết.
- **Hệ thống bánh xe omni:** Mỗi module trang bị ba bánh xe omni đặt lệch nhau 120° , là cơ cấu tạo chuyển động chính. Bánh xe omni sử dụng các con lăn nhỏ gắn quanh vành bánh, cho phép tạo lực đẩy đồng thời theo hướng tiếp tuyến và phương vuông góc. Sự phối hợp vận tốc ba bánh cho phép tạo ra mọi chuyển động trong mặt phẳng hai chiều, kể cả quay tại chỗ.
- **Cơ cấu truyền động độc lập:** Mỗi bánh xe được kết nối với một động cơ DC thông qua bộ truyền động riêng biệt. Hệ thống này bao gồm động cơ, mạch điều khiển L298 và bộ phân phối nguồn, cho phép điều khiển độc lập từng bánh xe về cả tốc độ lẫn hướng quay. Việc truyền động tách biệt giúp nâng

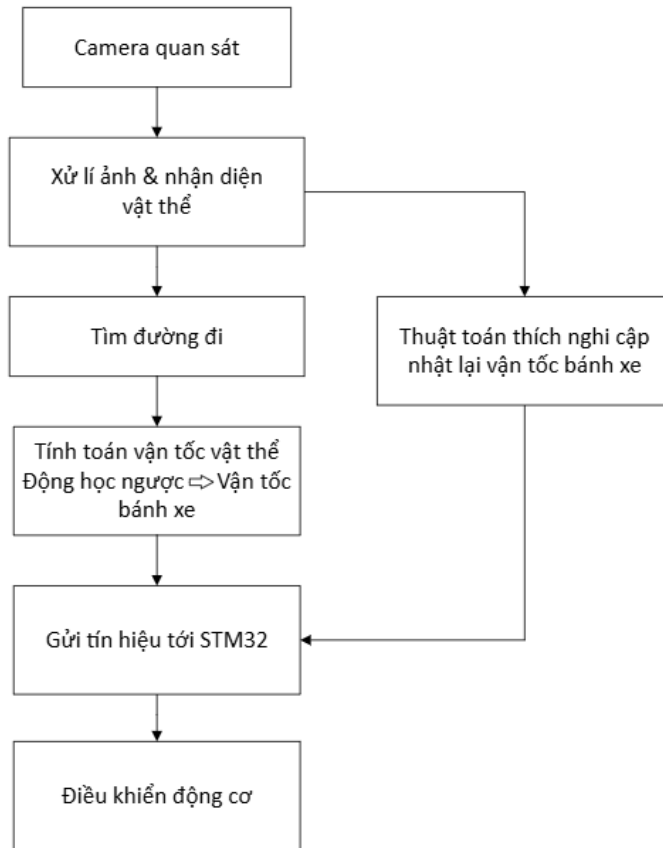
cao độ chính xác và phản hồi nhanh cho từng hành vi chuyển động của vật thể.

- **Khung kết cấu liên kết module:** Cơ cấu cơ khí của module được thiết kế để hỗ trợ liên kết nhiều module với nhau thành mạng lưới lục giác liên tục. Khung thép hoặc hợp kim nhẹ được bố trí các điểm bắt vít, khớp nối cơ khí, đảm bảo sự ổn định khi ghép nối, đồng thời vẫn hỗ trợ tháo lắp nhanh trong các tình huống bảo trì hoặc thay thế. Cấu trúc này cũng được tính toán để chịu được rung động, tải trọng và điều kiện môi trường công nghiệp.

3.1.3. Nguyên lý hoạt động

Hệ thống Celluveyor hoạt động dựa trên nguyên lý tổng hợp chuyển động từ ba bánh xe omni được bố trí lệch nhau 120° trong mỗi module. Mỗi bánh xe có khả năng sinh ra một vectơ vận tốc theo phương xác định, và thông qua sự kết hợp có kiểm soát các vectơ này, hệ thống có thể điều khiển vật thể di chuyển theo bất kỳ hướng nào trên mặt phẳng hai chiều. Ngoài ra, khi cả ba bánh đồng thời tạo ra lực lệch tâm với cường độ thích hợp, vật thể có thể xoay quanh chính tâm của nó mà không cần dịch chuyển vị trí.

Hệ thống Celluveyor hoạt động dựa trên sự tích hợp của nhiều tầng xử lý – từ thu thập thông tin, xử lý ảnh, tính toán quỹ đạo, lập kế hoạch điều khiển đến việc truyền lệnh và kích hoạt các cơ cấu truyền động tại mỗi module. Cốt lõi của chuyển động vật thể là quá trình điều khiển ba bánh xe omni trong mỗi module, kết hợp tạo ra vectơ lực dẫn hướng vật di chuyển theo mong muốn.



Hình 3.3: Lưu đồ thuật toán

Quy trình hoạt động của hệ thống được mô tả theo các bước sau:

- *Bước 1:* nhận diện vật thể thông qua xử lý ảnh.

Một camera được đặt trên cao để quan sát toàn bộ khu vực Celluveyor. Dữ liệu hình ảnh được xử lý liên tục theo thời gian thực bởi phần mềm trên máy tính trung tâm. Vật thể được phát hiện dựa trên màu sắc, hình dạng hoặc mã QR. Sau khi nhận diện thành công, hệ thống trích xuất:

- Vị trí vật thể trên hệ trục vật lý.
- Loại vật thể (qua màu).

- *Bước 2:* Xác định đường đi bằng thuật toán tìm đường.

Từ vị trí hiện tại đến vị trí mục tiêu, hệ thống sử dụng thuật toán A* trên lưới lục giác để lập kế hoạch di chuyển tối ưu. Đường đi được biểu diễn dưới dạng danh sách các module cần đi qua. Mỗi bước tương ứng với một hướng di chuyển cụ thể (trong 6 hướng lưới hex).

- *Bước 3:* Tính toán vectơ chuyển động tại mỗi bước.

Dựa trên hướng giữa hai module liên tiếp, hệ thống tính toán vectơ vận tốc mong muốn của vật thể (V_x, V_y). Nếu cần quay vật thể, hệ thống cũng bổ sung thành phần vận tốc góc ω . Vectơ tổng hợp này được chuyển đổi thành vận tốc từng bánh (V_a, V_b, V_c) thông qua công thức nghịch đảo động học:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = J^{-1} * \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix}$$

- *Bước 4:* Gửi lệnh điều khiển qua mạng CAN bus.

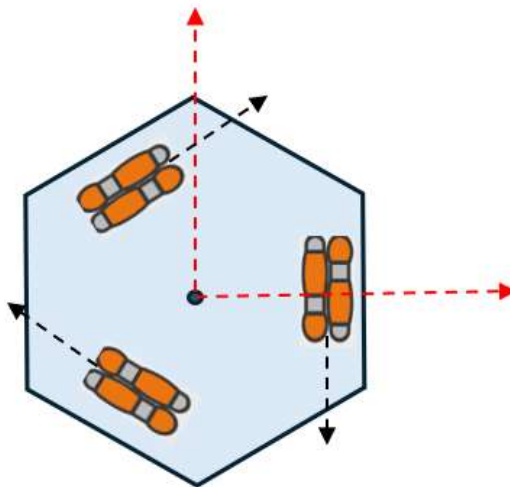
Các thông số vận tốc, mã module và ID bước hiện tại được đóng gói vào gói tin CAN. Máy tính gửi các gói tin này theo chu kỳ xuống các STM32 tương ứng với module đang cần kích hoạt. Tại STM32, gói tin được phân tích và chuyển thành tín hiệu PWM để điều khiển mạch L298 làm quay động cơ.

- *Bước 5:* Vận hành cơ cấu truyền động.

mỗi bánh xe omni nhận lệnh điều khiển riêng thông qua bộ truyền động độc lập. Khi ba bánh cùng quay theo vận tốc và hướng đã định, lực tổng hợp tiếp xúc giữa bánh và vật thể tạo ra chuyển động tương ứng. Nếu hệ thống yêu cầu quay tại chỗ, các bánh sẽ cùng tạo ra mô-men xoắn lệch tâm.

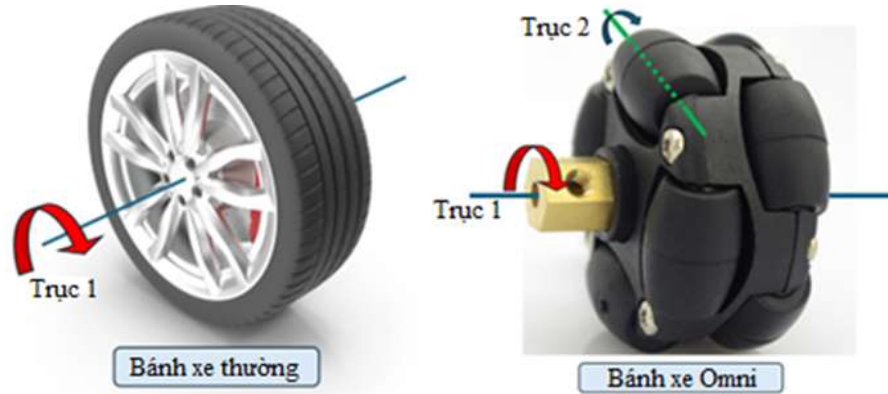
- *Bước 6:* Điều chỉnh theo phản hồi thực tế.

Trong suốt quá trình di chuyển, hệ thống tiếp tục theo dõi vị trí thực tế của vật thể qua camera. Nếu phát hiện sai lệch vị trí hoặc hướng, hệ thống sẽ tự động điều chỉnh lại vận tốc các bánh trong bước tiếp theo để đưa vật thể trở lại quỹ đạo trung tâm.



Hình 3.4: Cấu trúc bố trí bánh xe trên bề mặt lục giác

Khả năng vượt trội của bánh xe Omni: Bánh xe omni là lựa chọn then chốt trong hệ thống này nhờ khả năng tạo ra chuyển động không giới hạn về hướng mà không cần xoay module hay thay đổi cấu trúc cơ khí. Khác với bánh xe truyền thống (bánh xe thường chỉ cho phép di chuyển tiến/lùi theo một trục), bánh xe omni được trang bị các con lăn nhỏ bố trí quanh viền, cho phép trượt ngang trong khi vẫn duy trì lực kéo chính.



Hình 3.5: So sánh bánh xe thường và bánh xe Omni

Cụ thể, đặc điểm nổi bật bao gồm:

- Chuyển động hai chiều đồng thời: Bánh xe omni có thể tạo ra lực kéo theo phương chính của bánh, đồng thời cho phép trượt tự do theo phương vuông góc – điều mà bánh xe thông thường không thực hiện được.
- Không cần thay đổi hướng module: Không giống các robot hoặc băng tải phải xoay cả hệ thống để đổi hướng, hệ thống sử dụng bánh xe omni có thể đổi hướng tức thì bằng cách thay đổi tốc độ và chiều quay của từng bánh.
- Tăng độ chính xác và phản ứng nhanh: Khi cần hiệu chỉnh vị trí nhỏ hoặc xoay góc, bánh xe omni giúp thực hiện thao tác tinh chỉnh mượt và nhanh hơn nhiều so với các phương pháp dùng bánh truyền thống.
- Tính linh hoạt trong thiết kế module: Do không yêu cầu chuyển hướng module, các module có thể được sắp xếp cố định nhưng vẫn đảm bảo khả năng điều hướng vật thể theo mọi chiều.

Bảng 3.1: Tiêu chí so sánh bánh xe thông thường và bánh xe Omni

Tiêu chí	Bánh xe thông thường	Bánh xe Omni
Cấu tạo	Một bánh xe tròn, đặc/ruột rỗng, chỉ lăn theo trục chính.	Có các con lăn nhỏ gắn xung quanh và nghiêng 45° hoặc 90° so với trục chính.
Hướng di chuyển chính	Chỉ di chuyển thuận theo trục quay chính (tiến hoặc lùi).	Có thể di chuyển cả tiến/lùi và trượt ngang nhờ các con lăn phụ.

Tiêu chí	Bánh xe thông thường	Bánh xe Omni
Khả năng xoay hoặc chuyển hướng tại chỗ	Phải xoay toàn bộ hệ thống hoặc sử dụng hệ thống lái (steering).	Có thể trượt ngang, quay vòng tại chỗ mà không cần xoay toàn bộ hệ thống.
Tính linh hoạt	Thấp – chỉ điều khiển đơn giản (tiến/lùi, rẽ).	Rất cao – có thể thực hiện các chuyển động phức tạp (diagonal, xoay tròn, side-slip).
Khả năng điều khiển chính xác	Khó thực hiện điều hướng mượt trong không gian hẹp.	Điều hướng chính xác cao trong không gian nhỏ, chuyển động mượt.
Chi phí	Rẻ, dễ sản xuất, phổ biến.	Đắt hơn, yêu cầu chế tạo chính xác.
Độ ma sát	Tốt hơn vì không có con lăn phụ.	Có thể giảm độ bám trong một số ứng dụng do con lăn nhỏ.

Sự vượt trội của bánh xe omni về tính linh hoạt, cơ động và chính xác là lý do chủ chốt khiến chúng được chọn làm thành phần cốt lõi trong thiết kế của từng tế bào module Celluveyor. Đây cũng là yếu tố cho phép hệ thống thực hiện các chuyển động phức tạp trong không gian hẹp với yêu cầu thời gian thực.

3.2. Mô hình hóa hệ thống

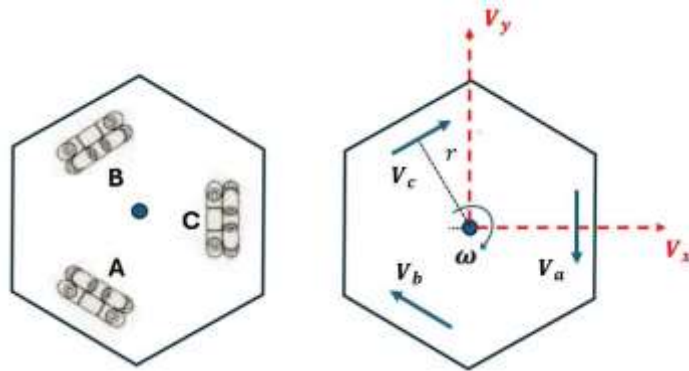
3.2.1. Khái quát bài toán động học

Động học trong hệ thống Celluveyor là cơ sở then chốt giúp chuyển đổi mục tiêu điều khiển (điểm đến và hướng quay mong muốn của vật thể) thành vận tốc điều khiển cụ thể cho từng bánh xe omni. Mỗi module của hệ thống bao gồm ba bánh xe omni được bố trí lệch nhau 120° và các bánh này khi hoạt động đồng bộ sẽ tạo ra lực tổng hợp điều khiển vật thể di chuyển theo hướng xác định. Bài toán đặt ra là làm sao từ một yêu cầu chuyển động mong muốn (di chuyển từ điểm A đến B) tính toán được vận tốc cho từng bánh xe sao cho đạt được chuyển động chính xác đó.

3.2.2. Hệ tọa độ và các đại lượng điều khiển

Để mô tả chuyển động vật thể trên mặt phẳng, ta sử dụng hệ tọa độ Descartes 2D (x, y) với gốc tại góc dưới cùng của hệ thống lưới. Các đại lượng động học chính bao gồm:

- V_x : Vận tốc tịnh tiến theo trục Ox.
- V_y : Vận tốc tịnh tiến theo trục Oy.
- ω : vận tốc góc quay của vật thể quanh trục z đi qua tâm của nó (đơn vị: rad/s)



Hình 3.6: Xét chiều quay của các bánh xe

Trong đó, ba bánh xe A, B, C trên mỗi module được đặt tại các góc tương ứng 150° , 30° , và -90° so với trục Ox, và chiều dương được tính theo chiều quay kim đồng hồ. Khoảng cách từ tâm mỗi bánh xe tới tâm module lục giác có chiều dài r . Các bánh xe này khi được cấp tốc độ khác nhau sẽ tạo ra tổ hợp lực tổng hợp theo phương pháp cộng véc-tơ, điều khiển vật thể theo một hướng mong muốn.

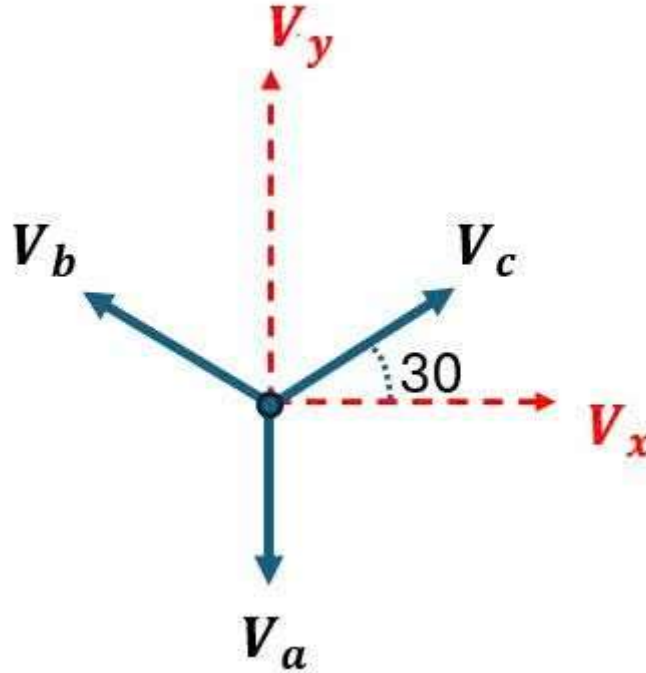
3.2.3. Xây dựng mô hình toán học

a) Động học thuận

Dựa trên nguyên lý cơ học, chuyển động của vật thể được xác định bởi tổng hợp các lực do ba bánh xe sinh ra. Quan hệ giữa các đại lượng điều khiển vật thể và vận tốc bánh xe có thể viết dưới dạng:

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ \omega \end{bmatrix} = J \cdot \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Với J là ma trận động học thuận 3×3 phụ thuộc vào góc đặt các bánh xe. Như đã nêu ở mục trước, mỗi cụm omni bao gồm 3 bánh xe omni ghép nối đối xứng với nhau, mỗi bánh tạo với nhau một góc 120° , khoảng cách từ tâm lục giác tới mỗi bánh có độ dài r . Quy chiếu hệ tọa độ của mỗi bánh xe lên hệ tọa độ Oxy, ta được hệ tọa độ sau:



Hình 3.7: Quy chiếu hệ tọa độ bánh xe lên hệ tọa độ góc

Từ Hình 3.7, ta có thể xác định được quỹ đạo chuyển động của vật theo trục Oxy được tổng hợp từ các vectơ V_a, V_b, V_c như sau:

$$V_x = -\frac{\sqrt{3}}{2}V_a + \frac{\sqrt{3}}{2}V_b \quad (3.2)$$

$$V_y = \frac{1}{2}V_a + \frac{1}{2}V_b - V_c \quad (3.3)$$

Bên cạnh đó, vận tốc góc của vật quay tại tâm được tính theo công thức:

$$\omega = \frac{V_a + V_b + V_c}{r} \quad (3.4)$$

Với r là khoảng cách từ tâm tới mỗi bánh xe.

Từ (3.2), (3.3) và (3.4), ta có ma trận động học thuận được biểu diễn như sau:

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ \omega \end{bmatrix} = J \cdot \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & -1 \\ \frac{1}{r} & \frac{1}{r} & \frac{1}{r} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

b) Động học nghịch

Từ phương trình động học thuận (3.4), ta có thể tính chuyển động tổng thể của vật thể (vận tốc V_x, V_y , và tốc độ quay ω) nếu biết trước vận tốc các bánh xe V_a, V_b và V_c . Tuy nhiên, trong thực tế điều khiển, yêu cầu ngược lại thường xảy ra, hệ

thống cần xác định vận tốc từng bánh xe dựa trên quỹ đạo chuyển động mong muốn của vật thể.

Do đó, ta cần xây dựng mô hình động học ngược, tức là biến đổi phương trình động học thuận (3.4) thành dạng:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = J^{-1} \cdot \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ \omega \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Trong đó, J^{-1} là ma trận nghịch đảo của ma trận động học thuận J đã thiết lập trước đó.

Từ (3.4), ta có:

$$V_c = \omega.r - V_a + V_b \quad (3.7)$$

Thay (3.7) vào (3.3):

$$\begin{aligned} V_y &= \frac{1}{2}V_a + \frac{1}{2}V_b - \omega.r + V_a + V_b \\ &= \frac{3}{2}V_a + \frac{3}{2}V_b - \omega.r \end{aligned} \quad (3.8)$$

Từ (3.2), ta có:

$$\sqrt{3}V_x = -\frac{3}{2}V_a + \frac{3}{2}V_b \quad (3.9)$$

Lấy (3.8) + (3.9), ta được:

$$\begin{aligned} \sqrt{3}V_x + V_y &= \frac{3}{2}V_a + \frac{3}{2}V_b - \omega.r - \frac{3}{2}V_a + \frac{3}{2}V_b \\ \Rightarrow V_b &= \frac{\sqrt{3}V_x + V_y + \omega.r}{3} = \frac{1}{\sqrt{3}}V_x + \frac{V_y}{3} + \frac{\omega.r}{3} \end{aligned} \quad (3.10)$$

Thay (3.10) vào (3.2), ta được:

$$\begin{aligned} V_x &= -\frac{\sqrt{3}}{2}V_a + \frac{\sqrt{3}}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{3}}V_x + \frac{V_y}{3} + \frac{\omega.r}{3} \right) \\ \Leftrightarrow V_x &= -\frac{\sqrt{3}}{2}V_a + \frac{1}{2}V_x + \frac{V_y}{2\sqrt{3}} + \frac{\omega.r}{2\sqrt{3}} \\ \Rightarrow V_a &= -\frac{1}{\sqrt{3}}V_x + \frac{V_y}{3} + \frac{\omega.r}{3} \end{aligned} \quad (3.11)$$

Thay (3.10), (3.11) vào (3.7):

$$\begin{aligned} V_c &= \omega.r - \left(-\frac{1}{\sqrt{3}}V_x + \frac{V_y}{3} + \frac{\omega.r}{3}\right) + \left(\frac{1}{\sqrt{3}}V_x + \frac{V_y}{3} + \frac{\omega.r}{3}\right) \\ &= -\frac{2}{3}V_y + \frac{1}{3}\omega.r \end{aligned} \quad (3.12)$$

Từ (3.10), (3.11) và (3.12), ta có được hệ phương trình biểu diễn V_a, V_b, V_c theo V_x, V_y và ω như sau:

$$V_a = -\frac{1}{\sqrt{3}}V_x + \frac{1}{3}V_y + \frac{\omega.r}{3} \quad (3.13)$$

$$V_b = \frac{1}{\sqrt{3}}V_x + \frac{1}{3}V_y + \frac{\omega.r}{3} \quad (3.14)$$

$$V_c = -\frac{2}{3}V_y + \frac{\omega.r}{3} \quad (3.15)$$

Ta có ma trận động học ngược:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{3} & \frac{r}{3} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{3} & \frac{r}{3} \\ 0 & -\frac{2}{3} & \frac{r}{3} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ \omega \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

Với ma trận:

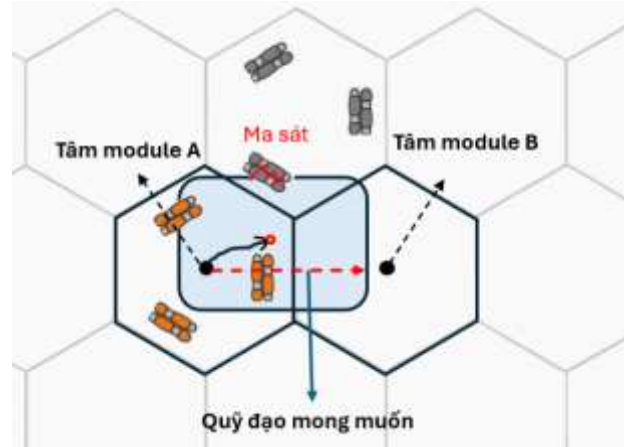
$$J^{-1} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{3} & \frac{r}{3} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{3} & \frac{r}{3} \\ 0 & -\frac{2}{3} & \frac{r}{3} \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

Thông qua phép biến đổi này cho phép hệ thống xác định chính xác vận tốc từng bánh xe cần thiết để đạt được chuyển động theo yêu cầu tại mỗi bước điều khiển. Đây là bước quan trọng để truyền lệnh điều khiển từ bộ điều khiển trung tâm xuống từng module trong mạng lưới Cellveyor.

3.2.4. Ảnh hưởng của sai lệch và phản hồi điều khiển

Trong môi trường thực tế, mặc dù động học lý tưởng giúp xác định vận tốc cần thiết cho từng bánh xe, nhưng các yếu tố vật lý như ma sát không đồng đều, sai số vị trí, độ trễ truyền thông hoặc biến đổi khối lượng vật thể sẽ gây ra hiện tượng sai lệch

trong chuyển động. Khi đó, vật thể có thể không còn di chuyển đúng quỹ đạo đã tính, thậm chí lệch khỏi tâm module hoặc không xoay đúng hướng.



Hình 3.8: Ảnh hưởng của ma sát gây lệch quỹ đạo

Giả sử vật có quỹ đạo mong muốn đi từ module A tới module B, tuy nhiên trong quá trình di chuyển, có thể xảy ra hiện tượng ma sát không đối xứng với các bánh xe thuộc các module liền kề. Lực cản không mong muốn này làm cho quỹ đạo thực tế của vật bị đẩy lệch khỏi tuyến đường lý tưởng, dẫn đến sai số vị trí hoặc góc quay khi vật đến đích.

Để khắc phục, hệ thống Celluveyor tích hợp cơ chế **phản hồi điều khiển** dựa trên cảm biến gián tiếp – cụ thể là hệ thống xử lý ảnh từ camera gắn trên cao. Qua từng khung hình, hệ thống xác định:

- Vị trí thực tế của vật thể so với vị trí trung tâm module đang hoạt động.

Từ thông tin trên, độ lệch được xác định như sau:

- Lệch vị trí (deviation): là khoảng cách vuông góc từ vị trí thực tế đến trục trung tâm quỹ đạo chuyển động (đo bằng đơn vị cm).

Sau khi có độ lệch, hệ thống sử dụng quy tắc điều chỉnh vận tốc bánh xe như sau:

Xác định bánh xe đứng yên (tốc độ gần 0), hai bánh còn lại được xem là đang đẩy vật.

- Nếu vật lệch về bên trái quỹ đạo → tăng vận tốc bánh phải.
- Nếu vật lệch về bên phải → tăng vận tốc bánh trái.

Việc hiệu chỉnh này diễn ra liên tục theo thời gian thực (~30 Hz), giúp duy trì độ ổn định và chính xác cao ngay cả khi hệ thống vận hành trên địa hình phức tạp hoặc có nhiễu cơ học. Đây là một phần quan trọng trong đảm bảo tính tin cậy và khả năng tự thích ứng của hệ thống Celluveyor trong môi trường công nghiệp hiện đại.

3.2.5. Xây dựng thuật toán điều khiển thích nghi

3.2.5.1 Tổng quan về điều khiển thích nghi

a) Tổng quan

Trong các hệ thống điều khiển truyền thống, người thiết kế cần có mô hình toán học chính xác của đối tượng điều khiển (plant). Tuy nhiên, trong nhiều trường hợp thực tế, việc xây dựng mô hình là khó khăn hoặc không khả thi do hệ thống phi tuyến, có nhiễu, hoặc thay đổi theo thời gian.

MFAC (Model-Free Adaptive Control) là một phương pháp điều khiển thích nghi không cần mô hình. Thay vì sử dụng mô hình toán học chính xác, MFAC ước lượng trực tiếp mối quan hệ giữa đầu vào và sai lệch để tự động điều chỉnh bộ điều khiển.

b) Cấu trúc thuật toán điều khiển thích nghi MFAC

Giả sử hệ thống có sai số:

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (3.18)$$

Trong đó:

$r(t)$ là đầu ra mong muốn.

$y(t)$ là đáp ứng thực tế của hệ thống.

Luật điều khiển:

$$u(t) = v(t) + k(t).e(t) \quad (3.19)$$

Với:

$v(t)$ là vận tốc tại thời điểm t .

$k(t)$ là hệ số thích nghi.

$$\rightarrow \Delta u(t) = u(t) - u(t-1) \approx \Delta(k.e) \quad (3.20)$$

Ta định nghĩa hàm mất mát:

$$J(t) = \frac{1}{2} e(t)^2 \quad (3.21)$$

Luật cập nhật tham số bằng Gradient Descent:

$$k(t+1) = k(t) - \gamma \frac{\partial J(t)}{\partial t} \quad (3.22)$$

Với:

$$\frac{\partial J(t)}{\partial t} = e(t) \cdot \frac{\partial e(t)}{\partial t} \approx e(t) \cdot \frac{\Delta e(t)}{\Delta u(t)} \cdot \frac{\partial u(t)}{\partial t} \quad (3.23)$$

Tuy nhiên, $e(t)$ không phụ thuộc vào $k(t)$, do đó ta xấp xỉ Gradient.

Nếu $u(t)$ tăng $\rightarrow e(t)$ sẽ giảm, ta có đạo hàm âm:

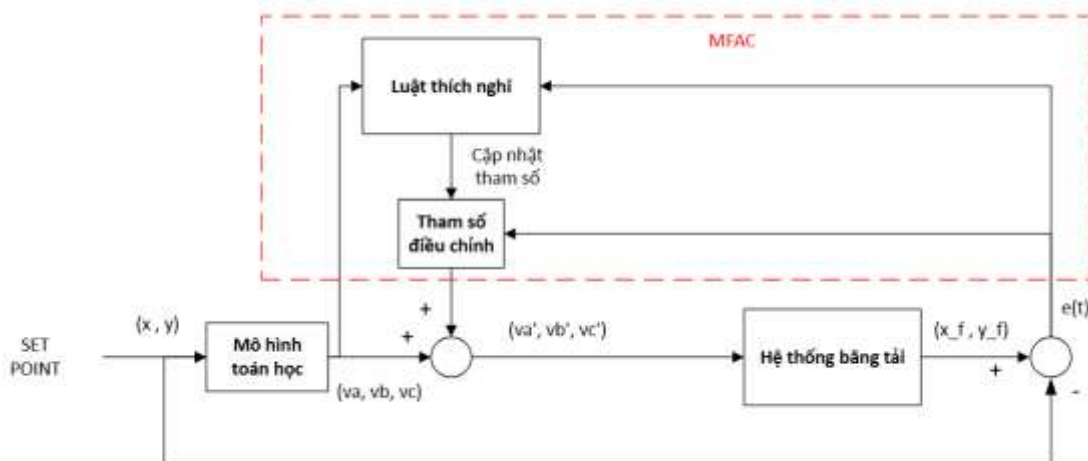
$$\frac{\partial e(t)}{\partial u(t)} \approx -e(t-1) \quad (3.24)$$

$$\frac{\partial e(t)}{\partial t} \approx -e(t-1) \square u(t) \quad (3.25)$$

Khi đó, ta có luật cập nhật $k(t)$:

$$k(t+1) = k(t) + \gamma.e(t-1) \square u(t)$$

$$\Leftrightarrow \frac{\partial k(t)}{\partial t} = \gamma.e(t-1) \square u(t) \quad (3.26)$$



Hình 3.9: Sơ đồ khối cấu trúc MFAC

3.2.5.2 Ứng dụng thuật toán điều khiển thích nghi trong hệ thống Cellveyor

Trong đề tài này, hệ thống Cellveyor có cấu trúc gồm nhiều module lục giác, mỗi module sử dụng 3 động cơ bánh xe đặt lệch nhau 120° . Mỗi khi vật thể di chuyển trên băng tải, vị trí thực tế của nó có thể bị lệch so với đường trung tâm giữa 2 module mục tiêu.

Việc tích hợp thuật toán MFAC vào hệ thống Cellveyor cho phép hệ thống tự động bù lệch trái/phải của vật thể một cách thông minh, không cần thiết lập lại tham số điều khiển thủ công. Điều này giúp tăng độ chính xác, tính linh hoạt và tự động hóa cho toàn hệ thống.

Pseudocode:

function: AdaptiveBeltAdjustmentMFAC(va, vb, vc, deviation, max_scale)

input:

va, vb, vc: Tốc độ hiện tại của các bánh A, B, C.

deviation: Độ lệch vật thể so với đường mục tiêu

max_scale: Giới hạn giá trị điều chỉnh tốc độ.

output:

(**va_new, vb_new, vc_new**): Tốc độ đã điều chỉnh của các bánh.

global:

k_gain: Hệ số khuếch đại được điều chỉnh theo thời gian.

gama: Hệ số học (learning rate).

prev_deviation: Độ lệch tại bước trước.

prev_scale: Hệ số điều chỉnh tại bước trước.

```
belt_speeds ← [va, vb, vc]
delta_deviation ← deviation - prev_deviation
delta_u ← prev_scale
k_gain ← k_gain + gama × deviation × delta_u
k_gain ← clamp(k_gain, -max_scale, max_scale)
scale ← k_gain × deviation
prev_scale ← scale
prev_deviation ← deviation
adjust ← [0.0, 0.0, 0.0]
  if deviation > 0 then
    adjust[right] ← adjust[right] + scale
  else if deviation < 0 then
    adjust[left] ← adjust[left] + |scale|
  end-if
va_new ← va + adjust[0]
vb_new ← vb + adjust[1]
vc_new ← vc + adjust[2]
return (va_new, vb_new, vc_new)
```

3.3. Thuật toán tìm đường tối ưu

3.3.1. Mục tiêu bài toán

Trong hệ thống Celluveyor, mục tiêu chính của thuật toán tìm đường là xác định một lộ trình tối ưu để vật thể di chuyển từ vị trí xuất phát đến vị trí đích thông qua mạng lưới các module lục giác. Đường đi này không chỉ cần ngắn nhất mà còn phải tránh các module bị lỗi hoặc đang bảo trì, đồng thời đảm bảo điều kiện định hướng và an toàn khi vận chuyển.

3.3.2. Thuật toán tìm đường đi tối ưu A^* (*A-Star*)

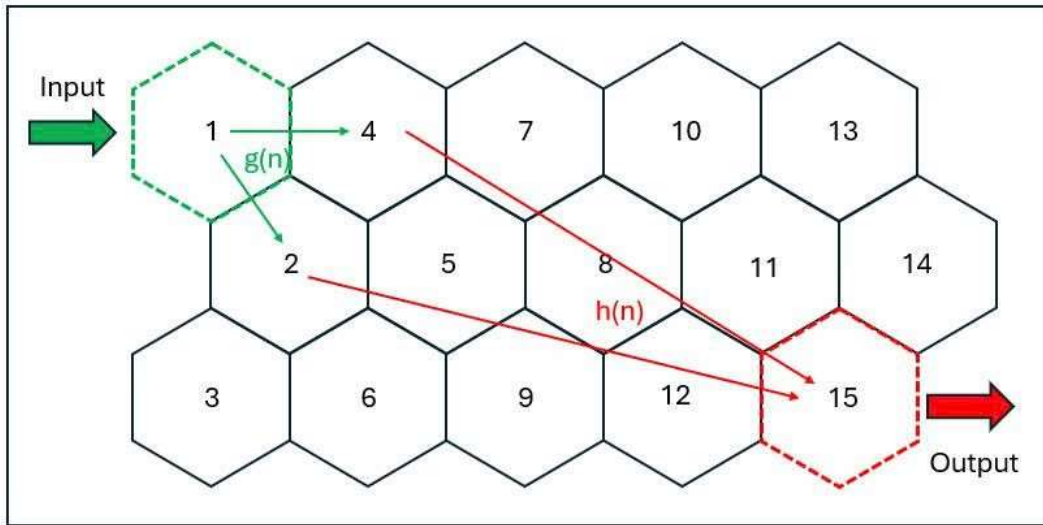
Thuật toán A^* là một trong những thuật toán lập kế hoạch đường đi theo cơ chế heuristic, tức là nó sử dụng thông tin dự đoán để hướng dẫn quá trình tìm kiếm, thuật

toán này kết hợp giữa tìm kiếm theo chi phí thấp nhất (like Dijkstra) và tìm kiếm theo chiều sâu (depth-first search), giúp tìm ra đường đi ngắn nhất một cách nhanh chóng. A* hoạt động bằng cách mở rộng các nút (điểm) từ điểm bắt đầu đến điểm kết thúc dựa trên hàm đánh giá $f(n)$. Hàm này kết hợp giữa chi phí đi từ điểm bắt đầu đến điểm hiện tại $g(n)$ và ước lượng chi phí từ điểm hiện tại đến điểm đích $h(n)$.

$$f(n) = g(n) + h(n) \quad (3.27)$$

- $g(n)$: Chi phí từ điểm bắt đầu đến điểm hiện tại.
- $h(n)$: Hàm heuristic ước lượng chi phí từ điểm hiện tại đến điểm đích

Xây dựng thuật toán:



Hình 3.10: Bài toán xác định hàm chi phí

Băng tải đa hướng gồm có 15 cụm Omni được ghép lại như hình, được đánh số thứ tự từ 1 đến 15.

Mỗi module lục giác trong hệ thống Celluveyor được biểu diễn dưới dạng một nút trong đồ thị. Các module liền kề có liên kết vật lý sẽ tạo thành cạnh nối giữa các nút. Mỗi nút được định danh duy nhất, và có tối đa 6 cạnh (tương ứng 6 hướng kết nối module).

Để hỗ trợ thuật toán A*, các thông tin sau được gán cho mỗi nút:

- Trạng thái hoạt động (hoạt động, lỗi, bảo trì).
- Tọa độ hàng-cột trong lưới lục giác.
- Trạng thái đã thăm, chi phí $g(n)$, và giá trị heuristic $h(n)$

Heuristic $h(n)$ thường được tính bằng **khoảng cách Euclid** hoặc **Manhattan** giữa module hiện tại và module đích.

a) Xác định hàm chi phí $g(n)$

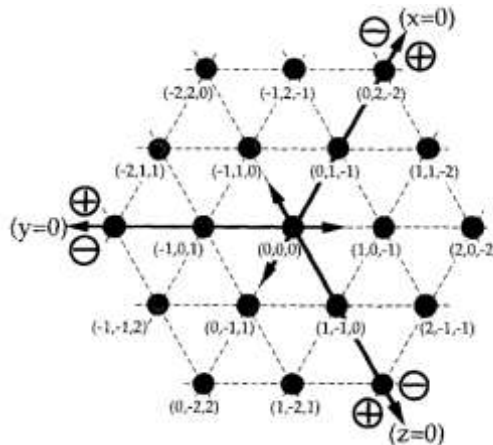
Giả sử trường hợp tìm đường đi cho vật từ ô 1 tới ô 15, khi đó $g(n)$ là chi phí đi từ điểm đầu tiên đến điểm hiện tại, $h(n)$ là chi phí ước tính từ điểm hiện tại tới điểm đầu ra.

Trong trường hợp vật đang ở ô 1, có 2 sự lựa chọn tới ô số 2 hoặc ô số 6, chi phí $g(n)$ ước tính như sau:

- Từ ô số 1 sang ô số 2 vật sẽ di chuyển theo phương ngang, không cần phải xoay vật, ưu tiên trường hợp này nên đặt $g(n) = 1$.
- Từ ô số 1 sang ô số 6, vật sẽ di chuyển theo phương chéo, do đó cần phải xoay vật, điều này khiến cho các bước tính toán phức tạp hơn, đặt $g(n) = 1.2$.

b) Xác định hàm heuristic $h(n)$

Vì cấu trúc của hệ băng tải đa hướng là ghép nối từ các khối hình lục giác lại với nhau, trong trường hợp này, việc sử dụng hệ tọa độ Descartes là không khả thi. Do đó, lưới lục giác (hexagonal grid) được sử dụng nhằm đáp ứng các tính chất đối xứng của hệ lục giác.

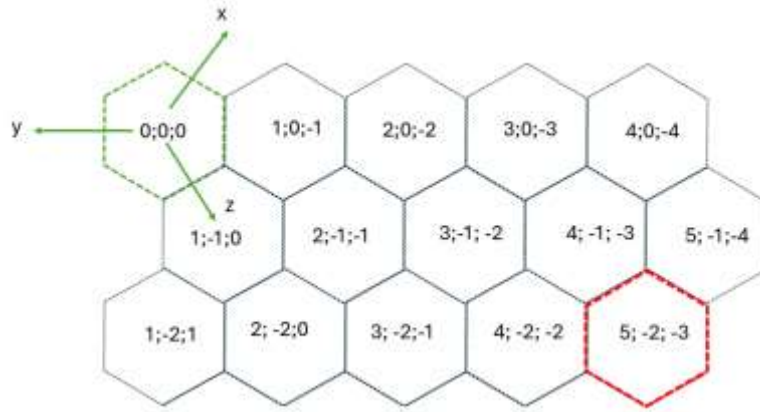


Hình 3.11: Hệ tọa độ hexagonal

Tọa độ biểu diễn trong lưới lục giác phải thỏa mãn điều kiện:

$$x + y + z = 0 \quad (3.28)$$

Ta có được tọa độ của các lục giác trong hệ tọa độ lưới như sau:

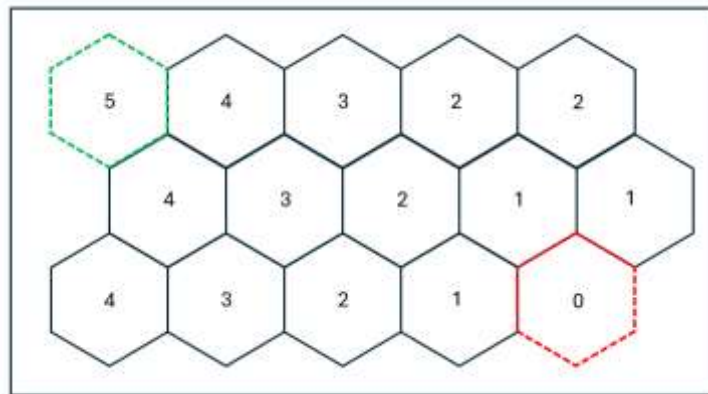


Hình 3.12: Tọa độ của các module trong lưới lục giác

Hàm Heuristic $h(n)$ có thể được xác định bằng khoảng cách giữa các hexagonal theo công thức:

$$h(n) = \max(|x_{goal} - x_n|, |y_{goal} - y_n|, |z_{goal} - z_n|) \quad (3.29)$$

Xét điểm đích là ô 15, ta được chi phí $h(n)$ như sau:



Hình 3.13: Chi phí $h(n)$

c) Xây dựng Pseudo code cho bài toán tìm đường đi tối ưu:

Input:

- *Start_name*: tên ô bắt đầu
- *Goal_name*: tên ô kết thúc
- *Cell_names*: Ánh xạ tên ô \rightarrow tọa độ
- *Neighbor_map*: ánh xạ ô \rightarrow danh sách các ô hàng xóm
- *Blocked_cells*: các ô bị chặn

Output:

- *Path*: Danh sách các ô trên quỹ đạo theo trình tự

Hàm heuristic (a, b):

Trả về $\max(|a.x - b.x|, |a.y - b.y|, |a.z - b.z|)$

Hàm A_STAR_NAMED(start_name, goal_name, cell_names, neighbor_map, blocked_cells):

Nếu blocked_cells không được truyền vào:

blocked_cells ← tập rỗng

start ← cell_names[start_name]

goal ← cell_names[goal_name]

Khởi tạo frontier là hàng đợi ưu tiên rỗng

Thêm (0, start_name) vào frontier

came_from[start_name] ← None

cost_so_far[start_name] ← 0

Trong khi frontier không rỗng:

Lấy ô có chi phí thấp nhất từ frontier → current

Nếu current == goal_name:

Thoát khỏi vòng lặp

raw_neighbors ← neighbor_map[current]

current_y ← cell_names[current].y

sorted_neighbors ← sắp xếp raw_neighbors theo |neighbor.y - current_y|

Với mỗi neighbor trong sorted_neighbors:

Nếu neighbor ∈ blocked_cells:

Bỏ qua

new_cost ← cost_so_far[current] + 1

Nếu neighbor chưa có trong cost_so_far hoặc new_cost < cost_so_far[neighbor]:

cost_so_far[neighbor] ← new_cost

priority ← new_cost + heuristic(cell_names[neighbor], goal)

Thêm (priority, neighbor) vào frontier

came_from[neighbor] ← current

Nếu goal_name không nằm trong came_from:

Trả về [], False

path ← []

current ← goal_name

Trong khi current ≠ start_name:

Thêm current vào path

current ← came_from[current]

Thêm start_name vào path

Đảo ngược path

Trả về path, True

d) Xây dựng lưu đồ thuật toán



Hình 3.14: Lưu đồ thuật toán cho thuật toán A*

Thuật toán được vận hành dựa trên hai danh sách chính:

- OPEN LIST: Danh sách các ô (module) đang chờ xét.
- CLOSE LIST: Danh sách các ô đã được duyệt xong.

Các bước cụ thể trong lưu đồ như sau:

- Bước 1: Khởi tạo, bắt đầu thuật toán bằng cách đưa ô xuất phát vào OPEN LIST và đặt chi phí $g(n) = 0$ (do chi phí đi từ chính nó đến nó là 0).
- Bước 2: Kiểm tra OPEN LIST, nếu OPEN LIST rỗng, đồng nghĩa với việc không còn ô nào để duyệt → không tồn tại đường đi đến đích.

- Bước 3: Chọn ô có $f(n)$ nhỏ nhất, xóa ô có giá trị $f(n)$ nhỏ nhất khỏi OPEN LIST và thêm nó vào CLOSE LIST. Đây là bước đánh giá node “tốt nhất” tại thời điểm hiện tại.
- Bước 4: Duyệt các ô hàng xóm (6 hướng), với mỗi ô lân cận (hàng xóm), thuật toán sẽ kiểm tra lần lượt:
 - Nếu ô hàng xóm đã nằm trong CLOSE LIST → bỏ qua.
 - Nếu chưa nằm trong OPEN LIST → tính toán chi phí $g(n)$, $f(n)$, rồi thêm vào OPEN LIST.
 - Nếu đã nằm trong OPEN LIST → so sánh $g(n)$ mới với $g(n)$ hiện tại; nếu $g(n)$ mới nhỏ hơn → cập nhật lại node (gọi là “relaxation”).
- Bước 5: Lặp lại, tiếp tục duyệt OPEN LIST cho đến khi tìm thấy ô đích hoặc không còn ô nào để xét.

3.4. Xử lý ảnh

3.4.1. Cơ sở lý thuyết tổng quát về xử lý ảnh

Xử lý ảnh (image processing) là lĩnh vực thuộc ngành thị giác máy tính (computer vision), nghiên cứu và ứng dụng các kỹ thuật để phân tích, biến đổi và trích xuất thông tin từ hình ảnh số. Mục tiêu của xử lý ảnh có thể là cải thiện chất lượng hình ảnh (enhancement), phát hiện đối tượng (object detection), phân đoạn (segmentation), hoặc trích xuất đặc trưng (feature extraction).

Trong bối cảnh hệ thống Celluveyor, xử lý ảnh đóng vai trò là "cảm biến ảo" dùng để theo dõi vị trí và hướng của vật thể trên mặt phẳng làm việc. Thay vì sử dụng nhiều cảm biến vật lý như encoder hay lidar, hệ thống chỉ cần một camera gắn trên cao kết hợp với thuật toán xử lý ảnh là đủ để theo dõi chính xác vị trí và hướng của vật thể theo thời gian thực.

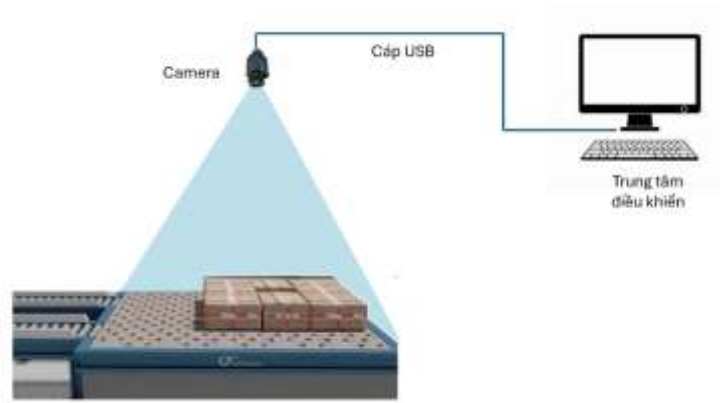
Một quy trình xử lý ảnh thường bao gồm các bước: thu nhận hình ảnh, tiền xử lý, tách đối tượng, phân tích hình dạng, trích xuất đặc trưng, và đưa ra kết quả phục vụ cho điều khiển, giám sát hoặc lưu trữ.

3.4.2. Mục tiêu và vai trò

Hệ thống xử lý ảnh đóng vai trò là cảm biến trực quan cho toàn bộ Celluveyor, giúp nhận biết trạng thái vật thể trên mặt phẳng làm việc. Nhiệm vụ của xử lý ảnh là xác định liên tục vị trí tọa độ (x, y) và nhận dạng vật thể nếu cần thiết, từ đó cung cấp thông tin đầu vào cho các khối tính toán điều khiển và phản hồi.

3.4.3. Cấu hình phần cứng

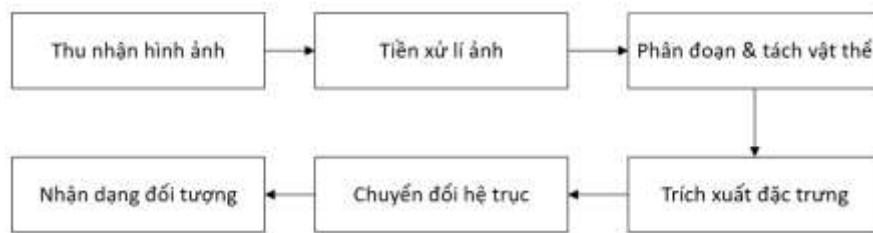
Một camera được gắn cố định trên trục Z, hướng thẳng xuống vùng làm việc để thu nhận toàn cảnh hệ thống. Camera kết nối với máy tính xử lý trung tâm thông qua giao tiếp USB, truyền hình ảnh với tốc độ khoảng 30 khung hình/giây (30fps).



Hình 3.15: Lắp đặt camera để tracking vị trí vật thể

3.4.4. Quy trình xử lý ảnh

Quá trình xử lý ảnh trong hệ thống Celluveyor được xây dựng theo một chuỗi các bước rõ ràng và liên kết chặt chẽ nhằm đảm bảo việc nhận diện vật thể một cách chính xác, nhanh chóng và phù hợp với yêu cầu thời gian thực. Cụ thể gồm các bước sau:



Hình 3.16: Quy trình xử lý nhận diện vật thể

- Thu nhận hình ảnh: Hình ảnh được lấy từ camera giám sát gắn phía trên hệ thống, đảm bảo trường nhìn bao phủ toàn bộ vùng làm việc. Việc thu nhận hình ảnh chất lượng cao là yếu tố quan trọng để đảm bảo độ chính xác xử lý ở các bước tiếp theo.
- Tiền xử lý ảnh: Mục đích của bước này là chuẩn hóa ảnh đầu vào để tăng cường khả năng nhận diện vật thể. Các thao tác điển hình gồm thay đổi không gian màu, điều chỉnh độ tương phản, loại nhiễu, làm mịn ảnh và cân bằng sáng.
- Phân đoạn ảnh: Giai đoạn này tách vật thể ra khỏi nền dựa trên các đặc điểm như màu sắc hoặc hình học. Phân đoạn có thể thực hiện bằng kỹ thuật ngưỡng, phân đoạn theo vùng, hoặc phát hiện biên. Kết quả là một ảnh nhị phân làm nổi bật vật thể cần theo dõi.
- Trích xuất đặc trưng: Sau khi đã tách được vật thể, hệ thống phân tích để trích ra các đặc điểm như vị trí trọng tâm, hình dạng, kích thước và hướng quay. Các đặc trưng này đóng vai trò là dữ liệu đầu vào cho các thuật toán điều khiển.

- Chuyển đổi hệ trục: Tọa độ pixel được chuyển đổi về hệ tọa độ vật lý để đồng bộ với hệ điều khiển. Quá trình này bao gồm chuyển đổi đơn vị (pixel → cm), đồng bộ hệ trục (toán học ↔ hình ảnh), và định vị tuyệt đối vật thể trên bàn.
- Nhận dạng đối tượng: Nếu vật thể mang thông tin nhận diện (màu đặc trưng hoặc mã định danh), hệ thống sẽ trích xuất dữ liệu để xác định loại hàng, điểm đến hoặc trạng thái vận chuyển. Điều này cho phép điều khiển thông minh theo từng loại vật thể khác nhau.

Toàn bộ pipeline trên được thực hiện theo thời gian thực với tốc độ khung hình cao (~30fps), cho phép hệ thống liên tục cập nhật trạng thái vật thể và phản ứng nhanh với các thay đổi trong môi trường hoạt động. Thông tin đầu ra từ xử lý ảnh bao gồm vị trí (x, y) và mã nhận dạng được truyền đến bộ điều khiển trung tâm. Bộ điều khiển sẽ tính toán độ lệch (deviation), so sánh với quỹ đạo mục tiêu, và đưa ra lệnh điều chỉnh tốc độ bánh xe.

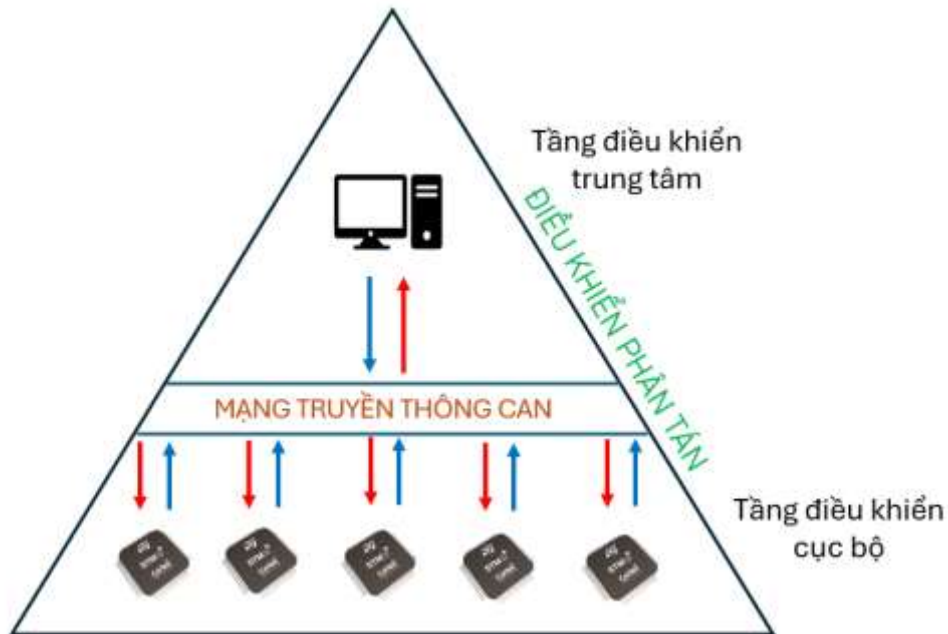
Việc cập nhật này diễn ra liên tục, mỗi khung hình ảnh mới sẽ kích hoạt một chu kỳ tính toán điều khiển mới, đảm bảo vật thể luôn nằm trong vùng kiểm soát của các module.

3.5. Điều khiển phân tán

a) Phương án điều khiển phân tán

Hệ thống điều khiển trong băng tải đa hướng đóng vai trò then chốt trong việc đảm bảo vật thể di chuyển chính xác trên lưới module. Bởi vì hệ thống băng tải gồm có 15 module, tương đương với 45 bánh xe Omni, do đó phương án thiết kế tập trung vào tính phân tán và khả năng mở rộng, sử dụng kiến trúc điều khiển hai tầng:

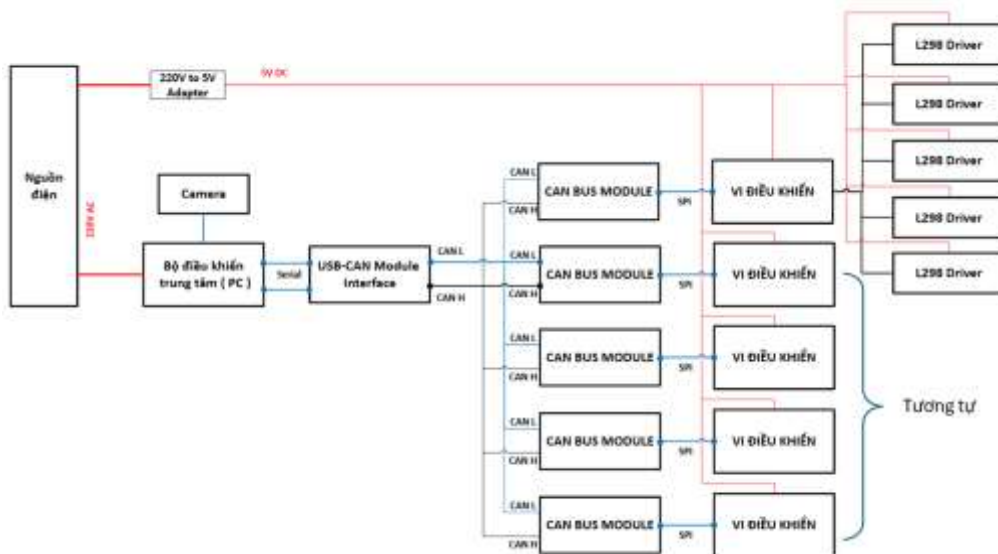
- **Tầng điều khiển trung tâm (máy tính/laptop):** nhờ có khả năng tính toán mạnh mẽ, dễ dàng triển khai các thuật toán xử lý ảnh, thuật toán tìm đường A*, động học ngược và giao diện điều khiển. Ngoài ra, máy tính còn dễ dàng kết nối với các thiết bị ngoại vi như camera và USB-CAN thông qua nhiều chuẩn kết nối linh hoạt.
- **Tầng điều khiển cục bộ (vi điều khiển):** mỗi vi điều khiển đảm nhận điều khiển 3 module, tức 9 động cơ. Do đó, tổng cộng sử dụng 5 vi điều khiển cho hệ thống cục bộ. Bộ xử lý này nhận gói CAN từ trung tâm, giải mã, và điều khiển động cơ thông qua module L298.



Hình 3.17: Phương án điều khiển phân tán

Ngoài ra, việc liên kết giữa tầng điều khiển trung tâm với tầng điều khiển cục bộ cần phải thông qua một giao thức truyền thông. Do đó, CAN là chuẩn truyền thông công nghiệp có tính ổn định cao, chịu nhiễu tốt, truyền đa điểm và hỗ trợ ưu tiên ID tin nhắn. Điều này rất phù hợp với hệ thống gồm nhiều node điều khiển riêng lẻ nhưng cần phối hợp chặt chẽ với nhau. Hệ thống giao tiếp sử dụng giao thức CAN để kết nối máy tính trung tâm với nhiều vi điều khiển. CAN cho phép truyền thông song song, ổn định và dễ mở rộng với khả năng phân biệt ID gói tin theo từng module.

b) Cấu trúc bộ điều khiển



Hình 3.18: Cấu trúc tổng quát bộ điều khiển

Hệ thống điều khiển băng tải đa hướng được thiết kế theo kiến trúc phân tán, chia thành các khối chức năng riêng biệt, phối hợp thông qua mạng truyền thông CAN. Cấu trúc gồm các phần như sau:

1. Nguồn cấp:

- Sử dụng bộ nguồn 5V DC để cung cấp năng lượng cho toàn bộ hệ thống, bao gồm: vi điều khiển STM32, các module CAN, mạch điều khiển L298N và động cơ DC, nguồn 220V AC để cung cấp cho bộ điều khiển trung tâm.
- Nguồn được phân phối qua các BUS điện DC đến từng cụm module điều khiển.

2. Khối cảm biến (Camera):

- Một camera (webcam HD) được bố trí trên cao, nhìn toàn cảnh mặt bàn lưới hexagon.
- Hình ảnh thu được sẽ truyền về PC qua cổng USB để xử lý theo thời gian thực.
- Camera không chỉ dùng để xác định vị trí vật thể, mà còn đóng vai trò như bộ cảm biến phản hồi sai lệch cho hệ thống.

3. Khối xử lý trung tâm (Laptop):

- PC đảm nhiệm vai trò là tầng điều khiển trung tâm, thực hiện các chức năng:
 - Xử lý ảnh (tracking vật thể, xác định tọa độ và góc).
 - Tính toán thuật toán tìm đường A*.
 - Giải bài toán động học ngược để tính vận tốc từng bánh.
 - Tạo gói lệnh điều khiển theo chuẩn CAN và gửi xuống mạng.
- Giao tiếp với mạng CAN thông qua module USB-CAN (cắm trực tiếp qua cổng USB).

4. Khối truyền thông CAN:

- Trên máy tính: Sử dụng USB-CAN để chuyển đổi dữ liệu từ máy tính thành tín hiệu CAN vật lý.
- Trên mỗi vi điều khiển: Sử dụng module **MCP2551** để nhận và giải mã lệnh CAN.
- Mạng CAN có cấu trúc bus, các module vi điều khiển gắn vào cùng một đường truyền CAN_H và CAN_L, phân biệt nhau qua CAN ID.

5. Vi điều khiển cục bộ:

- Sau khi nhận được gói lệnh CAN, vi điều khiển sẽ:
 - Giải mã dữ liệu vận tốc cho từng động cơ.
 - Tính toán và tạo tín hiệu PWM phù hợp.
 - Điều khiển L298N để điều hướng và tốc độ từng bánh.

- Việc chọn vi điều khiển phải đảm bảo khả năng xử lý thời gian thực, nhiều ngắt/timer, và giao tiếp SPI với MCP2515.

6. Khởi chạy hành:

- Gồm:
 - L298N: Mạch cầu H điều khiển hướng và tốc độ 2 động cơ.
 - Động cơ DC 5V: Không có encoder, điều khiển mở (open-loop).
- Các động cơ được bố trí trên từng mô-đun để quay bánh xe omni.

7. Bánh xe Omni:

- Gắn trực tiếp với trục động cơ.
- Cho phép vật thể di chuyển linh hoạt theo nhiều hướng nhờ cấu trúc con lăn nghiêng 45°.
- Là cơ cấu cuối cùng truyền lực để đẩy vật thể theo hướng điều khiển.

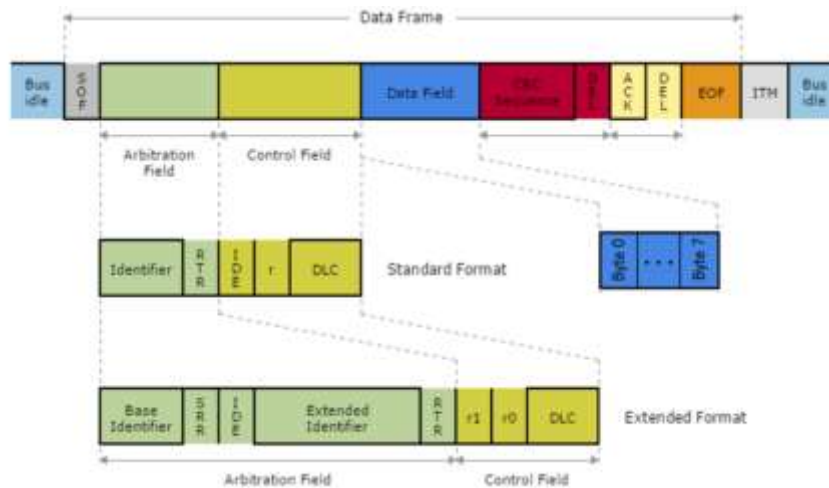
3.6. Giới thiệu về chuẩn truyền thông CAN

CAN (Controller Area Network) là một chuẩn truyền thông nối tiếp tốc độ cao, được phát triển bởi Bosch vào những năm 1980, ban đầu dành cho ngành công nghiệp ô tô nhằm kết nối các thiết bị điện tử trên xe. Tuy nhiên, với các ưu điểm vượt trội, CAN đã trở thành một trong những giao thức truyền thông phổ biến nhất trong công nghiệp điều khiển và tự động hóa.

Một số đặc điểm nổi bật của giao thức CAN:

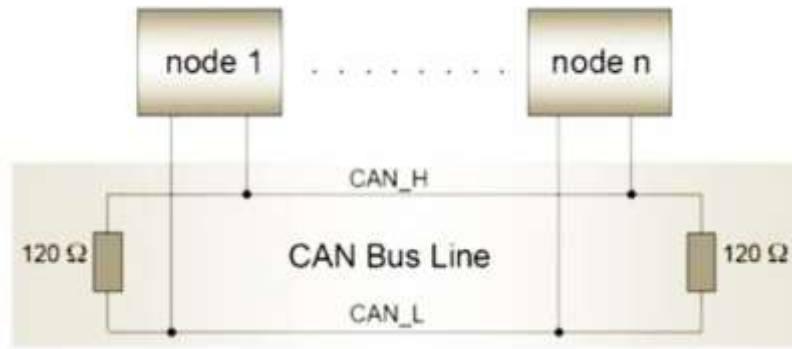
- **Kiến trúc dạng bus:** Cho phép nhiều thiết bị (node) cùng kết nối trên một đường truyền chung.
- **Định danh ưu tiên (Arbitration):** Gói tin có ID thấp hơn sẽ có quyền ưu tiên gửi trước khi xảy ra xung đột.
- **Kiểm tra lỗi mạnh mẽ:** Mỗi gói tin đều có CRC để kiểm tra tính toàn vẹn dữ liệu.
- **Khả năng chống nhiễu cao:** CAN sử dụng truyền vi sai (differential), phù hợp với môi trường có nhiễu cao.
- **Tốc độ truyền:** Có thể đạt tới 1 Mbps với khoảng cách ngắn, và có thể giảm xuống 20–50 Kbps cho mạng dài hơn.
- **Chi phí thấp:** Hệ thống CAN không yêu cầu bộ xử lý mạnh tại mỗi node, tiết kiệm chi phí.

Cấu trúc gói tin trong CAN gồm các thành phần chính:



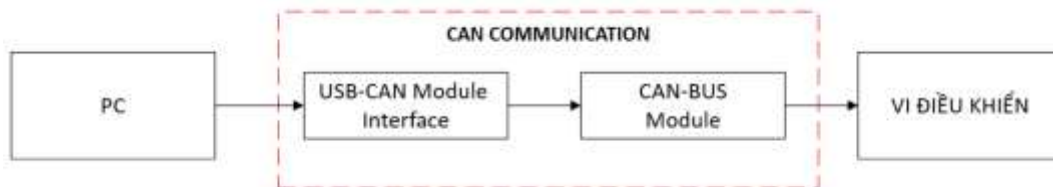
Hình 3.19: Cấu trúc của một gói tin CAN

- **Start of Frame:** Là một bit duy nhất báo hiệu bắt đầu của một gói tin mới. Giúp đồng bộ hóa các node trên mạng.
- **Arbitration Field:** Chứa ID của gói tin, xác định mức độ ưu tiên. ID nhỏ hơn có độ ưu tiên cao hơn và được truyền trước nếu có tranh chấp.
- **Control Field:** Bao gồm các bit điều khiển như Remote Transmission Request (RTR) và Data Length Code (DLC), xác định số lượng byte dữ liệu trong trường dữ liệu.
- **Data Field:** Trường chứa dữ liệu thực tế, có độ dài từ 0 đến tối đa 8 byte. Đây là nội dung chính được truyền giữa các node.
- **CRC Field:** Trường kiểm tra lỗi bằng mã CRC 15-bit, giúp phát hiện lỗi trong quá trình truyền.
- **ACK Field:** Gồm một bit ACK và một bit delimiter. Các node nhận sẽ kéo bit này xuống mức thấp nếu gói tin được nhận đúng.
- **End of Frame:** Kết thúc gói tin, bao gồm 7bit mức cao liên tiếp, báo hiệu cho tất cả các node biết gói tin đã hoàn thành.
- **Start of Frame:** Bắt đầu gói tin.
- **Arbitration Field:** ID của gói tin, dùng để xác định mức ưu tiên.
- **Control Field:** Chứa thông tin về độ dài dữ liệu.
- **Data Field:** Tối đa 8byte dữ liệu chính.
- **CRC Field:** Mã kiểm lỗi.
- **ACK Field:** Tín hiệu xác nhận.
- **End of Frame:** Kết thúc gói tin.



Hình 3.20: Nguyên lý truyền tin trong CAN

Trong hệ thống này, giao tiếp CAN giúp máy tính trung tâm giao tiếp đồng thời với nhiều vi điều khiển thông qua các gói lệnh điều khiển được mã hóa theo ID của từng module. Dữ liệu truyền từ máy tính được gửi qua bộ chuyển đổi USB-CAN, đi vào mạng bus CAN và được các module cục bộ nhận diện và xử lý dựa theo ID phù hợp.



Hình 3.21: Kết nối giữa các tầng điều khiển thông qua mạng CAN

Giao tiếp vật lý trong mạng CAN sử dụng hai dây: CAN_H (CAN High) và CAN_L (CAN Low). CAN hoạt động dựa trên truyền vi sai, nghĩa là thay vì đo điện áp giữa dây tín hiệu và GND (như UART), CAN đo hiệu điện thế giữa hai dây CAN_H và CAN_L. Điều này giúp hệ thống chống nhiễu tốt và tin cậy khi được sử dụng ở môi trường công nghiệp nhiễu cao. Có 2 mức tín hiệu logic là DOMINANT và RECESSIVE.

Bảng 3.2: Mức logic trong mạng CAN

Mức logic	CAN_H	CAN_L	Hiệu điện thế CAN_H – CAN_L	Trạng thái
DOMINANT	~3.5V	~1.5V	~2.0V	0 (logic thấp)
RECESSIVE	~2.5V	~2.5V	~0V	1 (logic cao)

Nhờ ưu điểm của CAN như khả năng mở rộng, phân biệt ưu tiên và truyền tin ổn định, hệ thống băng tải đa hướng vận hành hiệu quả ngay cả khi mở rộng nhiều module cùng lúc.

3.7. Mô phỏng

3.7.1. Mục tiêu mô phỏng

Mô phỏng là một bước trung gian quan trọng giữa thiết kế lý thuyết và thử nghiệm thực tế. Việc xây dựng mô hình mô phỏng giúp kiểm chứng các thuật toán động học, điều khiển và hành vi toàn hệ thống trước khi triển khai trên phần cứng thực.



Hình 3.22: Phần mềm mô phỏng Matlab/ Simscape

MATLAB được lựa chọn là công cụ mô phỏng chính do khả năng tính toán ma trận mạnh mẽ, thư viện mô phỏng đồ họa phong phú (Simulink, Robotics Toolbox), và hỗ trợ trực quan hóa dữ liệu theo thời gian thực.

3.7.2. Mô phỏng động học kết hợp thuật toán tìm đường A*

Trong MATLAB, mỗi module được mô hình hóa là một khối lục giác, chứa 3 bánh xe omni được bố trí đối xứng 120° . Dựa vào phương trình động học thuận và nghịch đã xây dựng, vận tốc của từng bánh được tính toán dựa trên vận tốc và hướng của vật thể.



Hình 3.23: Mô phỏng trên Matlab

Các đầu vào cho mô hình gồm:

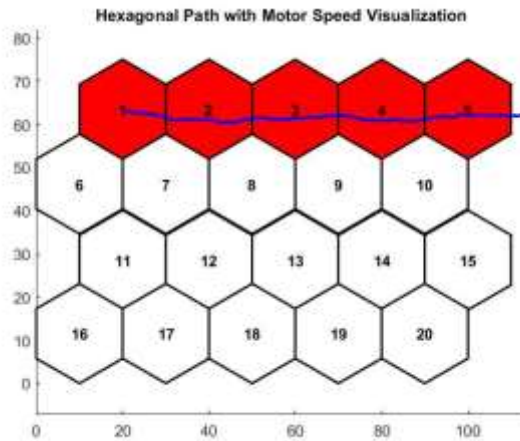
- Tọa độ ban đầu và hướng của vật thể.
- Vận tốc mong muốn (V_x, V_y, ω).
- Đường đi qua các module

Lưới module được biểu diễn thành ma trận logic trong MATLAB, trong đó các ô có thể đi được được đánh dấu là 1, ô bị lỗi là 0. Thuật toán A* được mô phỏng để tìm đường đi tối ưu từ điểm đầu đến đích, sau đó thể hiện trên đồ thị bằng đường đi

màu đỏ. Nhờ mô phỏng này, toàn bộ hệ thống được kiểm nghiệm cả về mặt logic, thuật toán và hiệu suất điều khiển trước khi thử nghiệm phần cứng thực tế.

3.7.3. Kết quả mô phỏng

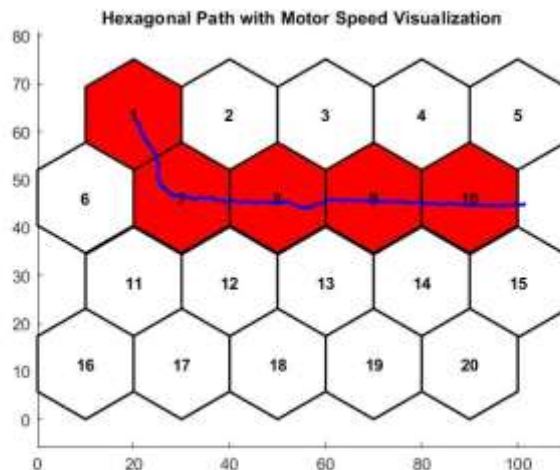
Trường hợp 1: Xét trường hợp điểm đầu là 1 – điểm đích là 5.



Hình 3.24: Mô phỏng trường hợp 1

Đáp ứng quỹ đạo di chuyển của vật (đường màu xanh) bám tương đối tốt so với quỹ đạo mong muốn (đường đi qua tâm các module trên đường di chuyển)

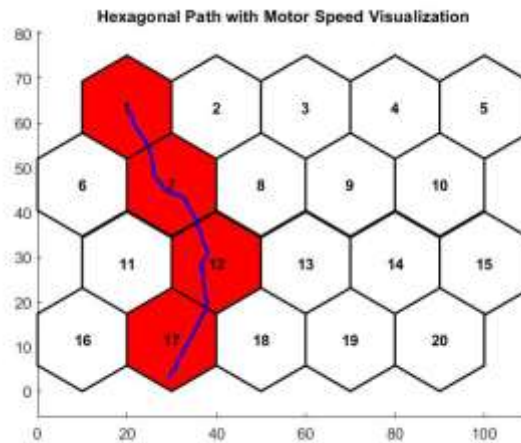
Trường hợp 2: Xét trường hợp điểm đầu là 1 – điểm đích là 10.



Hình 3.25: Mô phỏng trường hợp 2

Đáp ứng quỹ đạo di chuyển của vật bám sát so với quỹ đạo mong muốn.

Trường hợp 3: Xét trường hợp điểm đầu là 1 – điểm đích là 17.



Hình 3.26: Mô phỏng trường hợp 3

Đáp ứng quỹ đạo di chuyển của vật bám sát so với quỹ đạo mong muốn.

3.7.4. Kết luận phần mô phỏng

Qua quá trình mô phỏng, hai kết quả nổi bật được ghi nhận:

- Quỹ đạo di chuyển của vật thể mô phỏng bám khá sát so với quỹ đạo lý tưởng do thuật toán tìm đường A* tạo ra, cho thấy tính chính xác và hiệu quả của thuật toán.
- Vận tốc bánh xe tính toán theo phương trình động học đã cho ra kết quả hợp lý, đồng bộ với hướng di chuyển của vật thể trên lưới, chứng minh tính đúng đắn của mô hình động học đã xây dựng.

Tuy nhiên, cần lưu ý rằng mô phỏng không phản ánh hoàn toàn các yếu tố vật lý trong thực tế như ma sát không đồng đều giữa bánh xe và mặt bàn, rung lắc cơ học, hay sai số do camera. Do đó, kết quả mô phỏng chỉ mang tính chất tham khảo ban đầu và cần được hiệu chỉnh thêm trong giai đoạn thử nghiệm thực tế để đảm bảo độ tin cậy và tính ứng dụng cao.

Chương 4: TÍNH CHỌN THIẾT BỊ, THI CÔNG PHẦN CỨNG, THIẾT KẾ GIAO DIỆN VÀ KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

4.1. Tính chọn thiết bị

Trong hệ thống, việc lựa chọn phần cứng cần đảm bảo các yếu tố:

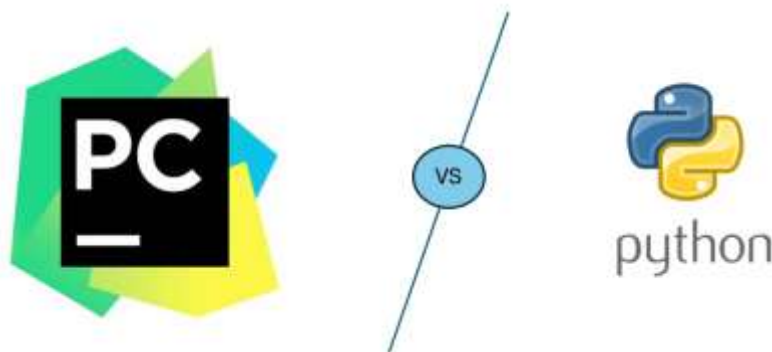
- Tính tương thích giữa các tầng (trung tâm – truyền thông – cục bộ – chấp hành).
- Đáp ứng yêu cầu kỹ thuật về hiệu năng, thời gian thực, độ bền tin cậy.
- Tối ưu chi phí, dễ lắp ráp và bảo trì.

4.1.1. Bộ xử lý trung tâm

Trong hệ thống băng tải đa hướng, bộ xử lý trung tâm đóng vai trò then chốt, chịu trách nhiệm xử lý đồng thời nhiều tác vụ quan trọng như: nhận và phân tích hình ảnh từ camera, thực hiện thuật toán tìm đường (A*), tính toán động học ngược và giao tiếp thời gian thực với các module điều khiển cục bộ thông qua giao thức CAN.

Với các yêu cầu cao về hiệu năng xử lý, khả năng đa nhiệm và tính ổn định, Laptop là lựa chọn tối ưu. Thiết bị này không chỉ cung cấp hiệu năng xử lý mạnh mẽ, đủ để xử lý ảnh và lập kế hoạch quỹ đạo trong thời gian thực, mà còn có ưu điểm về khả năng tương tác linh hoạt với người dùng, dễ dàng giám sát và điều khiển toàn bộ hệ thống thông qua giao diện đồ họa.

Ngoài ra, việc lựa chọn laptop với hệ điều hành Windows hoặc Linux cho phép tích hợp các thư viện mã nguồn mở mạnh mẽ như OpenCV, NumPy, PyQt, và đặc biệt là giao tiếp phần cứng thông qua module USB-CAN.



Hình 4.1: Ngôn ngữ và phần mềm lập trình

Ngôn ngữ lập trình được sử dụng là Python, nhờ vào tính trực quan, dễ viết, dễ kiểm thử và hệ sinh thái phong phú. Phần mềm được phát triển trong môi trường

PyCharm Community, mang lại trải nghiệm lập trình thân thiện, gợi ý mã thông minh, giúp tiết kiệm thời gian và nâng cao hiệu suất phát triển hệ thống điều khiển.

4.1.2. Động cơ

- Trong quy mô của đồ án này, đáp ứng đầu ra kết quả là đồ vật được di chuyển trên đúng quỹ đạo được đặt ra, tuy nhiên, độ chính xác không cần phải đạt tuyệt đối. Do đó, với số lượng lớn bánh xe cần phải được lắp đặt (45 bánh xe), việc sử dụng một bánh xe với chi phí tốt, điều khiển đơn giản, dễ tiếp cận sẽ được nhóm ưu tiên lựa chọn.
- Động cơ DC giảm tốc vàng là mẫu động cơ được sử dụng rộng rãi trong các dự án thiết kế robot, xe tự hành, mô hình DIY.

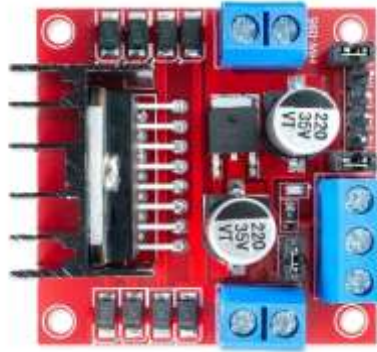


Hình 4.2: Động cơ giảm tốc

- Thông số kỹ thuật:
 - Điện áp: 3-12VDC.
 - Dòng: 70mA (250mA Max) ở 3V.
 - Mô men xoắn: 800gfcm.
 - Tỷ số truyền: 1:48.
 - Tốc độ: 208 rpm.
 - Kích thước: 64 * 19 * 22.6mm (L * W * H)
- Mỗi động cơ DC màu vàng này được nối trực tiếp với một bánh xe omni, và cụm này tạo thành một “chân” trong mỗi module. Với mỗi module có 3 động cơ tương ứng với 3 bánh xe, tổng cộng hệ thống cần 9 động cơ cho 3 module chính hoạt động đồng thời.
- Động cơ này không có encoder phản hồi, tuy nhiên điều đó được bù lại bằng hệ thống camera trung tâm đảm nhiệm việc theo dõi vị trí, từ đó cung cấp phản hồi điều khiển từ xa. Nhờ vậy, hệ thống vẫn giữ được tính chính xác định hướng và điều chỉnh sai lệch quỹ đạo.

4.1.3. Driver điều khiển động cơ L298

- Mỗi bánh xe omni được điều khiển bằng một động cơ DC riêng biệt. Để điều khiển chiều quay và tốc độ của các động cơ này một cách linh hoạt, cần sử dụng mạch cầu H – cụ thể là driver L298N. L298N là một IC điều khiển động cơ cầu H kép, cho phép điều khiển độc lập hai động cơ DC (hoặc một động cơ bước hai pha) cả về chiều quay và tốc độ thông qua tín hiệu PWM.



Hình 4.3: Driver L298N

- Thông số kỹ thuật chính:
 - Chip điều khiển: L298N.
 - Điện áp tối đa cấp cho động cơ: 5-46V.
 - Dòng điện tối đa cấp cho động cơ: 2A.
 - Điện áp logic: 5V.
 - Điện áp hoạt động cấp cho IC: 5-35V.
 - Công suất tối đa: 25W.
 - Đầu ra trực: Dạng chữ D
- Mỗi Driver L298N điều khiển 2 động cơ DC, mỗi động cơ sử dụng điện áp 5V với dòng tiêu thụ 100mA/5V. Do đó, L298N đủ điều kiện để đáp ứng 2 động cơ cùng một lúc.

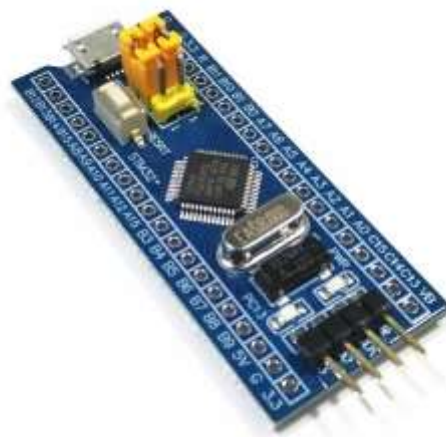
Mỗi động cơ DC được điều khiển qua 3 chân: In1, In2, EnA hoặc In3, In4, EnB. Trong đó, EnA và EnB là 2 chân điều khiển tốc độ thông qua xung PWM, In1-In4 dùng để xác định chiều quay.

Bảng 4.1: Nguyên lý điều khiển L298

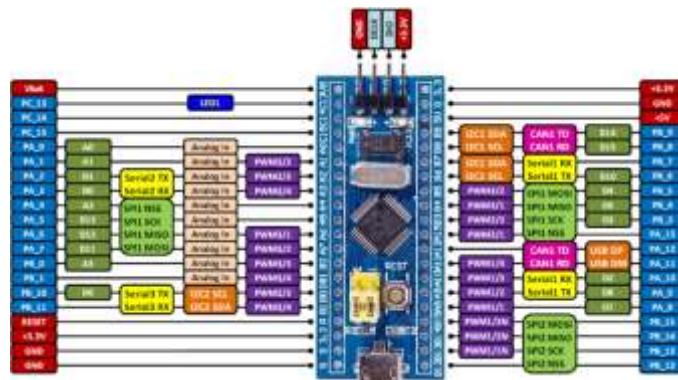
IN1	IN2	EnA	Trạng thái động cơ
1	0	Có xung	Quay thuận
0	1	Có xung	Quay nghịch
0	0	Có / Không	Dừng tự do (Free run)
1	1	Có / Không	Dừng hãm (brake)

4.1.4. Vi điều khiển:

- Vi điều khiển đóng vai trò là tầng điều khiển cục bộ, trực tiếp tiếp nhận lệnh từ khối xử lý trung tâm (PC) thông qua mạng truyền thông CAN, sau đó giải mã và điều khiển chính xác các động cơ DC gắn với từng bánh xe omni.
- Trong hệ thống băng tải đa hướng này, nhóm lựa chọn STM32F103C8T6 làm bộ vi điều khiển cho từng cụm điều khiển cục bộ. Mỗi cụm STM32 đảm nhiệm điều khiển 3 module, tương đương với 15 động cơ DC. Việc sử dụng điều khiển phân tán giúp giảm tải cho máy tính trung tâm, đồng thời tăng khả năng phản hồi, đảm bảo điều khiển thời gian thực.



Hình 4.4: Vi điều khiển STM32F103C8T6



Hình 4.5: Sơ đồ chân STM32F103C8T6

- Vi điều khiển **STM32F103C8T6** (dòng STM32F1 của STMicroelectronics) có nhiều ưu điểm nổi bật phù hợp với yêu cầu của hệ thống:
 - **Số lượng chân GPIO lớn:** Với hơn 35 chân I/O khả dụng, STM32F103C8T6 hoàn toàn đủ khả năng điều khiển 15 động cơ — tương đương 45 tín hiệu điều khiển (mỗi động cơ sử dụng 3 tín hiệu: PWM, IN1, IN2). Tuy nhiên, trong thực tế, nhóm sử dụng tối ưu tài nguyên bằng cách chia PWM theo

timer và gom IN1/IN2 qua các port hợp lý, đảm bảo khả năng điều khiển đủ 15 động cơ.

- **Tích hợp nhiều timer:** Có tới 4 bộ timer (TIM1–TIM4), cho phép tạo nhiều kênh PWM điều khiển tốc độ các động cơ một cách độc lập.
- **Giao tiếp SPI và CAN:** STM32F103 hỗ trợ giao tiếp SPI để kết nối với module **MCP2515** (bộ điều khiển CAN rời), rất phù hợp với cấu trúc truyền thông hiện tại của hệ thống.
- **Giá thành hợp lý, dễ lập trình:** Đây là vi điều khiển phổ biến, được hỗ trợ rộng rãi qua các IDE như Keil C, STM32CubeIDE, hoặc PlatformIO.

4.1.5. Module USB to CAN

- Module USB-CAN là thiết bị trung gian giúp máy tính trung tâm (Laptop) có thể kết nối vào mạng truyền thông CAN Bus, điều mà bản thân máy tính không được trang bị sẵn. Thiết bị này đóng vai trò chuyển đổi dữ liệu từ giao tiếp USB sang các gói tin CAN, giúp máy tính giao tiếp hiệu quả với các vi điều khiển STM32 trong hệ thống.
- Trong hệ thống băng tải đa hướng, module USB-CAN đảm bảo việc truyền nhận lệnh điều khiển từ máy tính đến các cụm điều khiển cục bộ thông qua **mạng CAN** diễn ra chính xác, nhanh chóng và ổn định. Đây là một phần không thể thiếu trong kiến trúc điều khiển phân tán.



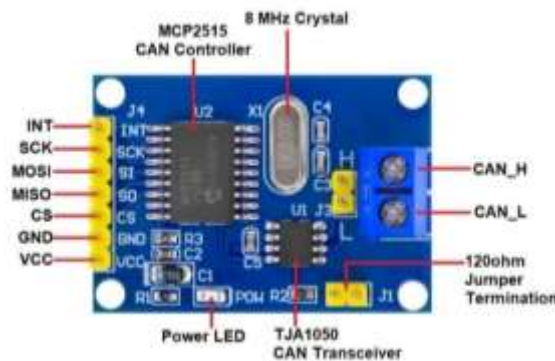
Hình 4.6: Module USB to CAN

- Các tính năng:
 - Sử dụng vi điều khiển dòng STM32G4 hiệu suất cao, với tần số chạy lên đến 170M.

- Hỗ trợ CAN2. Các giao thức OA, CAN2.0B và CAN-FD cho tốc độ nhanh hơn.
- Dễ sử dụng và dữ liệu nguồn mở.

4.1.6. Module CAN BUS MCP2515

- Module MCP2515 là thành phần chính đảm nhiệm việc giao tiếp truyền thông CAN trên các node vi điều khiển STM32. Đây là một CAN Controller độc lập, giao tiếp với vi điều khiển thông qua SPI, và phối hợp cùng transceiver MCP2551 để truyền và nhận dữ liệu CAN trên bus vật lý.
- Trong hệ thống băng tải, mỗi vi điều khiển STM32 sử dụng một module MCP2515 để nhận các gói lệnh điều khiển từ máy tính trung tâm và gửi phản hồi (nếu cần thiết). MCP2515 chịu trách nhiệm định dạng lại dữ liệu thành các frame CAN chuẩn và xử lý các chức năng như arbitration (tranh quyền bus), buffer, error flag, và điều khiển luồng dữ liệu.



Hình 4.7: Module CAN BUS MCP2515

- Mỗi module MCP2515 bao gồm:
 - **MCP2515** (CAN Controller): IC chính thực hiện định dạng gói tin, xử lý arbitration, truyền và nhận dữ liệu CAN qua SPI với vi điều khiển.
 - **TJA1050** (CAN Transceiver): Chuyển đổi tín hiệu logic từ MCP2515 thành tín hiệu vi sai CAN_H và CAN_L truyền ra môi trường vật lý.
 - **Thạch anh 8 MHz**: Tạo xung nhịp hoạt động cho MCP2515, giúp đảm bảo đồng bộ hóa dữ liệu và điều khiển thời gian.
 - **Cụm chân giao tiếp SPI**:
 - **SCK (Serial Clock)**: Tín hiệu đồng bộ SPI.
 - **MISO (Master In Slave Out)**: Dữ liệu từ module → STM32.
 - **MOSI (Master Out Slave In)**: Dữ liệu từ STM32 → module.

- **CS (Chip Select):** Chân chọn thiết bị SPI.
- **Chân INT (Interrupt):** Phát xung ngắt cho vi điều khiển khi có gói tin đến hoặc sự kiện cần xử lý.
- **CAN_H / CAN_L:** 2 đầu ra truyền dữ liệu CAN vật lý.
- **120Ω Jumper Termination:** Cầu nối điện trở kết thúc đường truyền CAN (khi module nằm ở đầu/cuối mạng).

4.1.7. Camera

- Camera là thành phần cảm biến hình ảnh đóng vai trò then chốt trong việc theo dõi vị trí và hướng của vật thể trên bề mặt lưới băng tải. Khác với các hệ thống truyền thống dùng encoder hoặc cảm biến vật lý tại chỗ, hệ thống này sử dụng camera đặt trên cao để thu nhận toàn bộ hình ảnh mặt bàn theo thời gian thực.
- Thông tin thu được từ camera được sử dụng để:
 - Xác định vị trí (tọa độ) và góc quay của vật thể.
 - Phát hiện sai lệch so với quỹ đạo lý tưởng.
 - Tính toán đầu vào cho thuật toán điều khiển.
- Camera được sử dụng là loại Webcam 2K HD, có hỗ trợ tự động lấy nét. Đầu nối linh hoạt xoay 360 độ và cổng kết nối USB phù hợp cho Laptop.



Hình 4.8: Webcam 2K HD

- Với các thông số chính:
 - Thấu kính: Thấu kính HD 2K.
 - Tốc độ khung hình: 30FPS.
 - Loại kết nối: USB2.0.
 - Thiết bị hỗ trợ: Hỗ trợ các hệ điều hành phổ biến như Windows 2000, XP, Vista, Win7, Win8, Win10, Mac OS, Linux và các hệ điều hành khác.
- Camera được gắn ở phía trên, trung tâm của lưới module, góc nhìn đảm bảo bao phủ toàn bộ khu vực hoạt động và không có điểm mù.

4.1.8. Bánh xe

- Bánh xe omni là bộ phận truyền động cuối cùng trong hệ thống, đóng vai trò quyết định khả năng di chuyển đa hướng của vật thể trên bề mặt lưới. Đây là loại bánh xe đặc biệt được thiết kế để có thể trượt ngang, cho phép kết hợp nhiều bánh xoay cùng lúc để tạo nên các quỹ đạo chuyển động linh hoạt mà không cần quay hướng toàn bộ module.
- Trong một module, ba bánh xe omni được bố trí cách nhau 120 độ, mỗi bánh được điều khiển bởi một động cơ độc lập, cho phép tạo ra bất kỳ vector chuyển động nào trong mặt phẳng XY thông qua tổng hợp vận tốc từng bánh.



Hình 4.9: Bánh xe Omni

- Bánh xe omni bao gồm:
 - **Bánh chính:** Là bánh xe lớn, thường có đường kính từ 48–60mm.
 - **Các con lăn nhỏ (rollers):** Gắn quanh chu vi bánh chính, được bố trí theo phương vuông góc với mặt lăn chính. Các con lăn này có khả năng quay độc lập, giúp bánh lăn tự do theo phương ngang.
 - **Trục bánh:** Kết nối trực tiếp với trục động cơ DC giảm tốc.
- Cấu trúc này giúp bánh xe vừa có thể quay theo hướng chủ đạo, vừa cho phép vật thể trượt theo phương vuông góc mà không bị cản trở.

4.1.9. Nguồn

- Nguồn cấp là thành phần quan trọng bảo đảm hệ thống hoạt động ổn định. Nguồn cần cung cấp điện áp và dòng đủ lớn cho các thành phần chính gồm: STM32, động cơ, module điều khiển L298N, và các module CAN.



Hình 4.10: Nguồn tổ ong 5V 5A

- Toàn hệ thống sử dụng nguồn một chiều **5V**, phù hợp với:
 - Động cơ DC 5V màu vàng (giảm tốc).
 - Vi điều khiển STM32F103C8T6.
 - Module L298N
- Giả sử hệ thống điều khiển tối đa 10 động cơ hoạt động đồng thời, mỗi động cơ có:
 - **Dòng không tải:** ~70 mA.
 - **Dòng tải lớn nhất:** ~300 mA.
 - Tổng dòng tiêu thụ cho 10 động cơ: $10 \times 0.3\text{mA} = 3\text{A}$

Cộng thêm dòng tiêu thụ của các vi điều khiển, module điều khiển và sai số dự phòng:

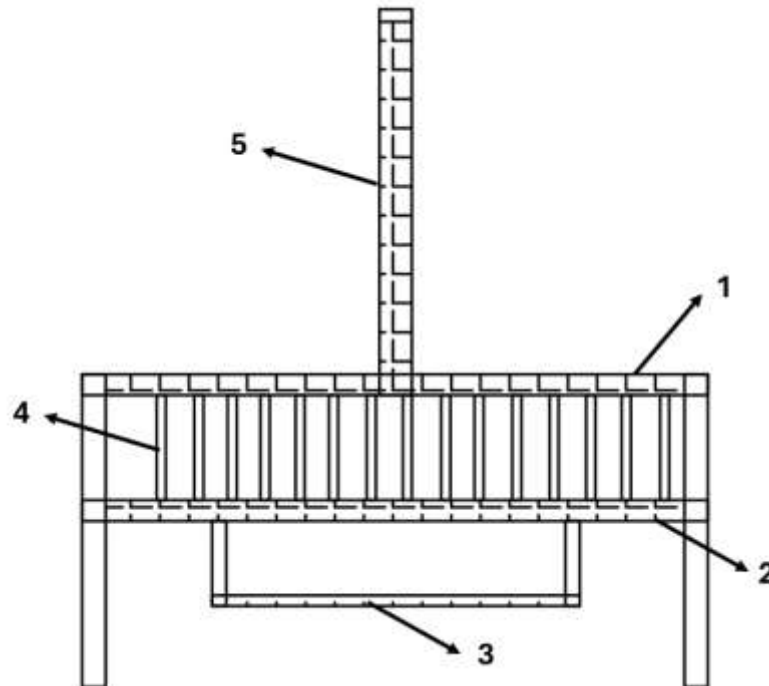
STM32 + CAN + L298N: 1 A

- Nguồn tổ ong 5V – 5A được lựa chọn là phù hợp cho hệ thống.

4.2. Thi công phần cứng

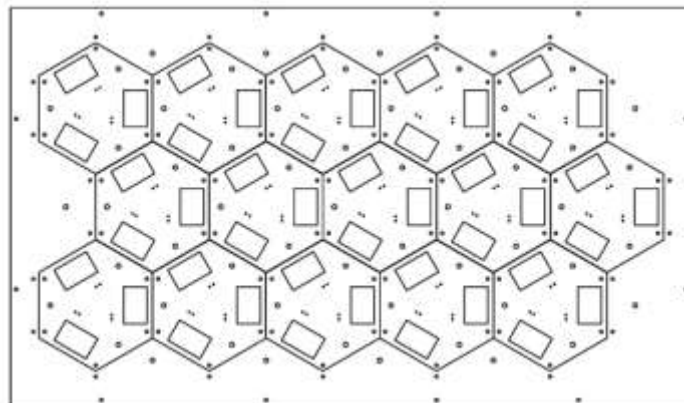
4.2.1. Thiết kế bản vẽ 2D

Cấu trúc tổng thể của hệ thống được phân chia thành 5 phần chính, mỗi phần đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo tính ổn định, gọn gàng và thuận tiện khi lắp đặt, vận hành và bảo trì:



Hình 4.11: Mặt cắt cạnh của hệ thống

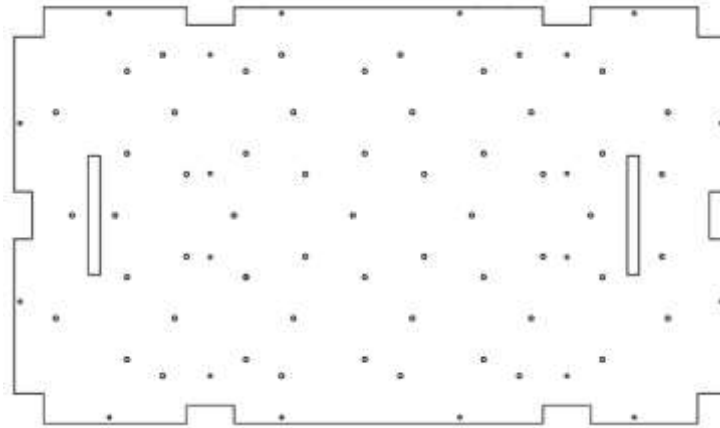
1. Mặt bàn băng tải.
 2. Mặt phẳng định hình các module lục giác.
 3. Khung chứa mạch điều khiển.
 4. Thanh cố định module lục giác với mặt phẳng định hình.
 5. Khung gắn camera.
- a) Mặt bàn băng tải



Hình 4.12: Mặt bàn băng tải

Đây là mặt phẳng chính nơi bố trí các mô-đun Celluveyor. Mặt bàn được thiết kế chắc chắn, có kích thước phù hợp với số lượng mô-đun cần sử dụng, đồng thời có bề mặt phẳng và ma sát thấp để đảm bảo chuyển động của vật thể không bị cản trở. Các dây nguồn và dây tín hiệu được đi âm dưới mặt bàn để tăng tính thẩm mỹ và an toàn.

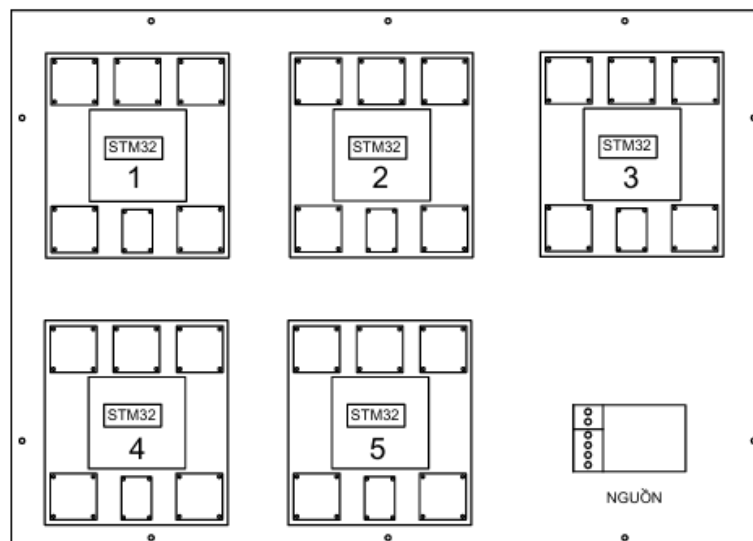
b) Mặt phẳng định hình các module



Hình 4.13: Mặt phẳng định hình module

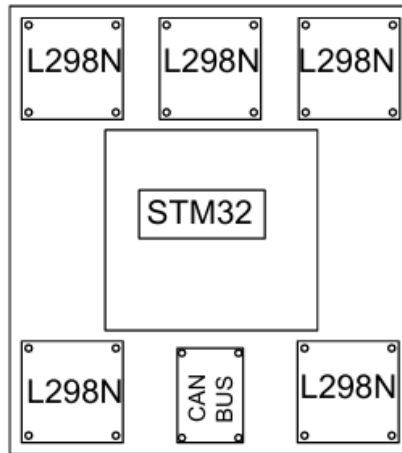
Khung định hình giúp cố định vị trí của các mô-đun Celluveyor theo dạng lưới tổ ong (hexagon). Mỗi mô-đun được gắn chính xác vào khung để đảm bảo không bị lệch vị trí trong quá trình hoạt động. Khung sử dụng chất liệu mica cắt CNC để đảm bảo độ chính xác, dễ gia công và tháo lắp.

c) Khung chứa mạch điều khiển



Hình 4.14: Khung chứa mạch điều khiển

Bên dưới mặt bàn là khung đế dùng để đặt các mạch điều khiển, nguồn và module CAN. Có tổng cộng 5 bộ điều khiển và 1 bộ nguồn. Mỗi bộ điều khiển gồm 1 STM32, 6 module L298N và 1 module truyền thông CAN BUS



Hình 4.15: Bảng mạch điều khiển

4.2.2. Thi công hệ thống băng tải

Sau quá trình thiết kế và tham khảo các loại vật liệu, cuối cùng, nhóm đã chốt phương án sử dụng nhôm định hình kích thước 20x20 làm khung đỡ chính cho băng tải, các tấm meca được gia công cắt laser chính xác làm mặt phẳng cho lưới lọc giác, và khung trụ gắn camera được làm bằng gỗ chắc chắn, đảm bảo không bị rung lắc trong quá trình vận hành.



Hình 4.16: Thi công giá đỡ lắp đặt camera



Hình 4.17: Thi công hoàn thiện hệ thống băng tải



Hình 4.18: Thi công hoàn thiện khung đỡ cho bộ điều khiển

4.2.3. Thi công phần mạch điều khiển

Sau khi thiết kế, nhóm thực hiện gia công mạch in PCB và thực hiện lắp đặt các module vào bảng mạch.



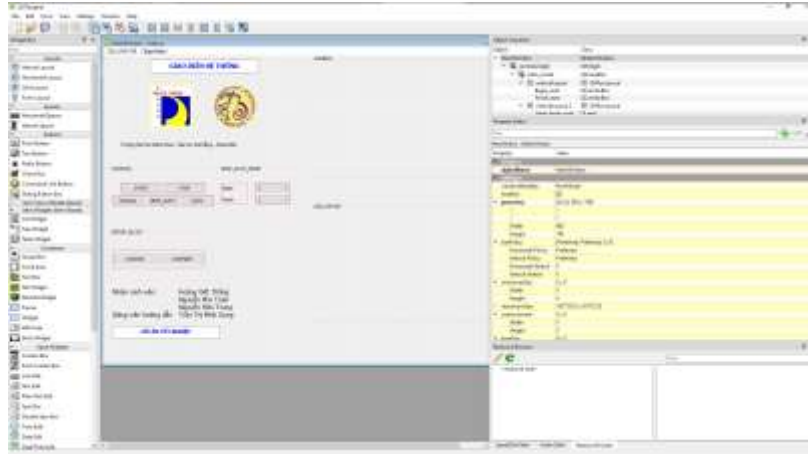
Hình 4.19: Mạch điều khiển

4.3. Thiết kế phần mềm

4.3.1. Mô tả tổng thể giao diện

a) Công cụ sử dụng

Hệ thống giao diện điều khiển được phát triển bằng ngôn ngữ lập trình Python, sử dụng QT Designer để xây dựng giao diện người dùng. Bên cạnh đó, tích hợp OpenCV để xử lý hình ảnh và nhận diện vật thể từ camera.



Hình 4.20: Thiết kế một phần giao diện người dùng trên QT Designer

b) Các thành phần hiển thị

Giao diện điều khiển gồm 3 thành phần chính: Hệ thống lưới lục giác, Camera và cụm điều khiển gồm các nút nhấn.

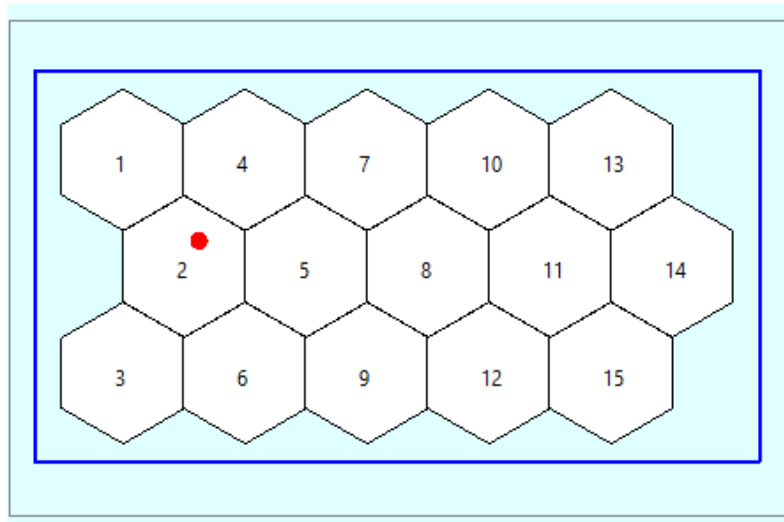


Hình 4.21: Giao diện điều khiển

4.3.2. Phân tích các thành phần trong giao diện

a) Hệ thống lưới lục giác

Hệ thống lưới lục giác gồm cụm 15 khối lục giác, đại diện cho 15 module riêng biệt. Các ô này có thể được tương tác trực tiếp bằng chuột để thiết lập đường đi, chọn điểm bắt đầu, kết thúc hoặc đánh dấu các ô bị lỗi. Ngoài ra, trên hệ thống lưới lục giác còn hiển thị vị trí tương đối của vật thể - dữ liệu được lấy từ cụm camera và phản ánh nó trên lưới lục giác. Trạng thái các ô và đường đi cũng được cập nhật trực quan trên lưới.



Hình 4.22: Lưới Hexagon

b) Camera

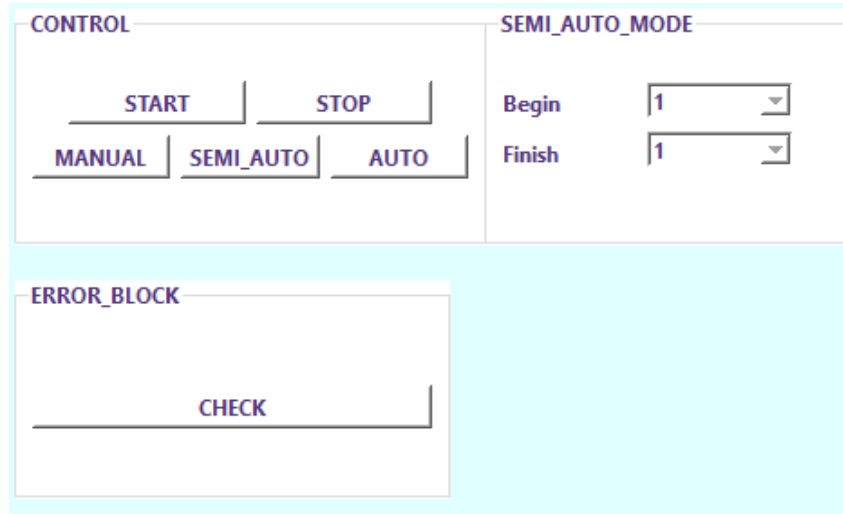
Giao diện hiển thị hình ảnh từ camera được cập nhật liên tục 30ms/lần. Hình ảnh được xử lý liên tục để phát hiện vật thể và nhận dạng màu sắc, vị trí, góc xoay của vật thể. Việc xử lý ảnh cơ bản sẽ bao gồm lọc màu HSV, nhận dạng vị trí, góc xoay và đồng bộ hệ trục ảnh với hệ thống lưới lục giác nêu ở trên.



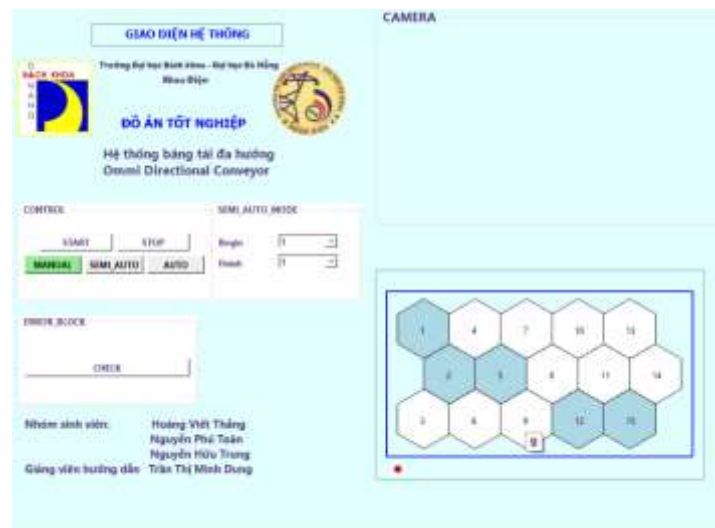
Hình 4.23: Cụm camera

c) **Cụm điều khiển**

Các nút chức năng cho phép người dùng chuyển đổi giữa các chế độ hoạt động (Manual, Semi_Auto, Auto), khởi động hoặc dừng quá trình vận hành, chọn trực quan các ô bị lỗi hoặc chọn đường đi cho các khối thông qua nút nhấn.



Hình 4.24: Cụm điều khiển



Hình 4.25: Tương tác trực tiếp trên khối lục giác bằng khối điều khiển

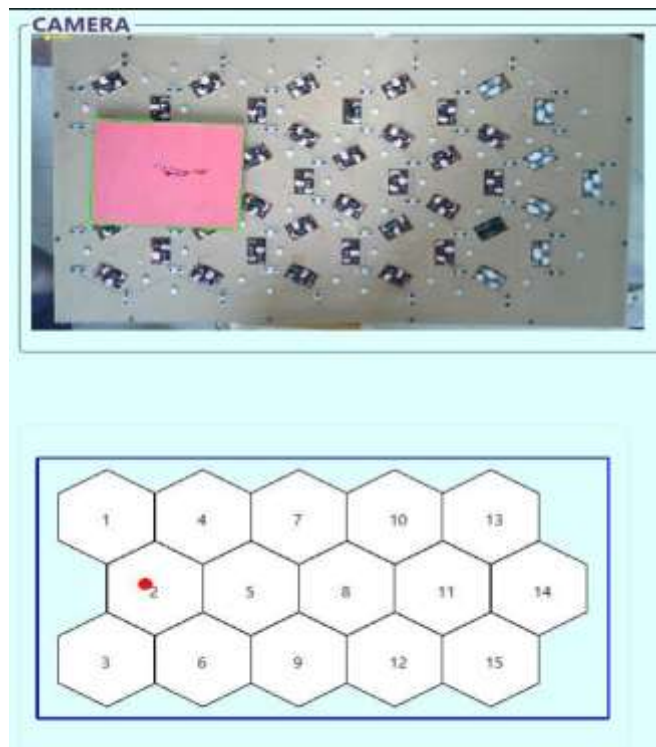
4.3.3. **Xử lý ảnh và tracking**

Hình ảnh từ camera được chuyển sang không gian màu **HSV (Hue – Saturation – Value)** để lọc và phát hiện màu sắc một cách ổn định trước sự thay đổi ánh sáng. Các vùng màu (đỏ, xanh lá, trắng...) được nhận dạng để phân loại vật thể.



Hình 4.26: Khung đánh giá HSV (Sắc độ - Độ bão hoà - Độ đậm nhạt)

Do góc nhìn của camera và mặt phẳng Celluveyor có thể lệch nhau, quá trình đồng bộ (calibration) hệ trục tọa độ ảnh (pixel) với hệ trục vật lý (lưới các ô) được thực hiện để đảm bảo dữ liệu nhận diện chính xác khi chuyển đổi sang điều khiển vật lý.



Hình 4.27: Đồng bộ giữa hệ trục vật lý và hệ trục góc mô phỏng

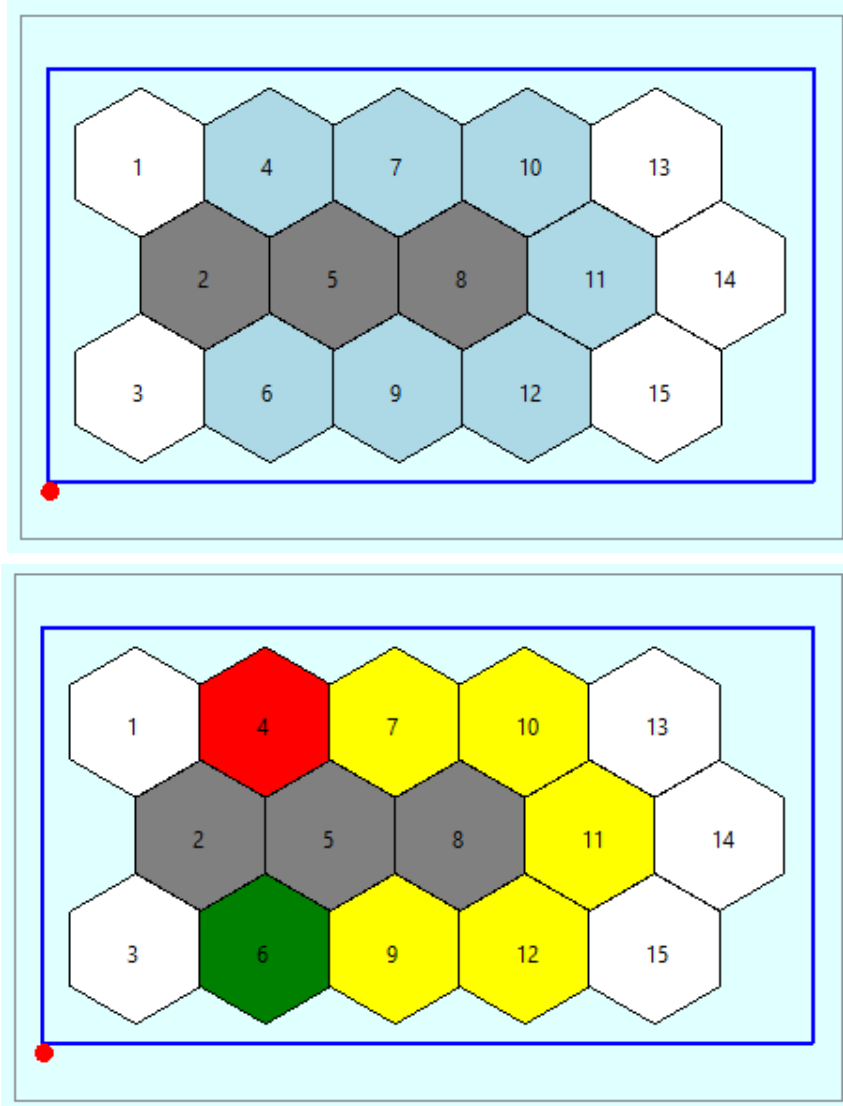
4.3.4. Kết nối giao diện với hệ thống

Sau khi xác định đường đi và hướng di chuyển của vật thể, hệ thống sẽ gửi dữ liệu điều khiển qua giao tiếp **CAN Bus** đến từng module Celluveyor. Lệnh bao gồm ID của từng cell và trạng thái điều khiển tương ứng.

Giao diện sẽ hiển thị trực quan trạng thái hoạt động của từng ô trong lưới:

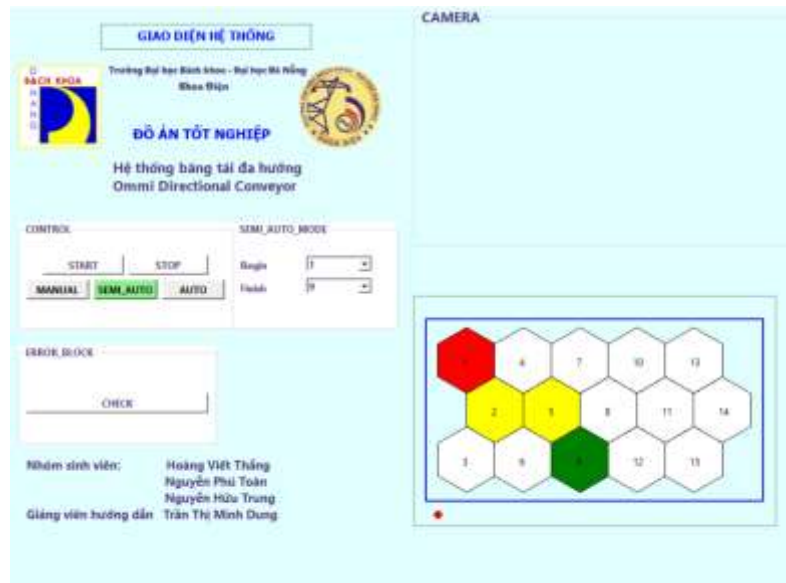
- Màu đỏ: Ô bắt đầu.

- Màu xanh lá: Ô kết thúc.
- Màu vàng: Đường đi trung gian.
- Màu xám: Ô bị lỗi (block).
- Màu xanh dương: Ô được chọn bằng cách thủ công



Hình 4.28: Hiển thị trực quan hoạt động từng ô trong lưới

Trong chế độ Manual, người dùng có thể chọn trực tiếp đường đi bằng chuột. Trong các chế độ Semi_Auto và Auto, hệ thống sử dụng thuật toán tìm đường (A*) để tính toán lộ trình tối ưu. Đường đi sẽ được mô phỏng trực quan trước khi thực hiện thực tế.

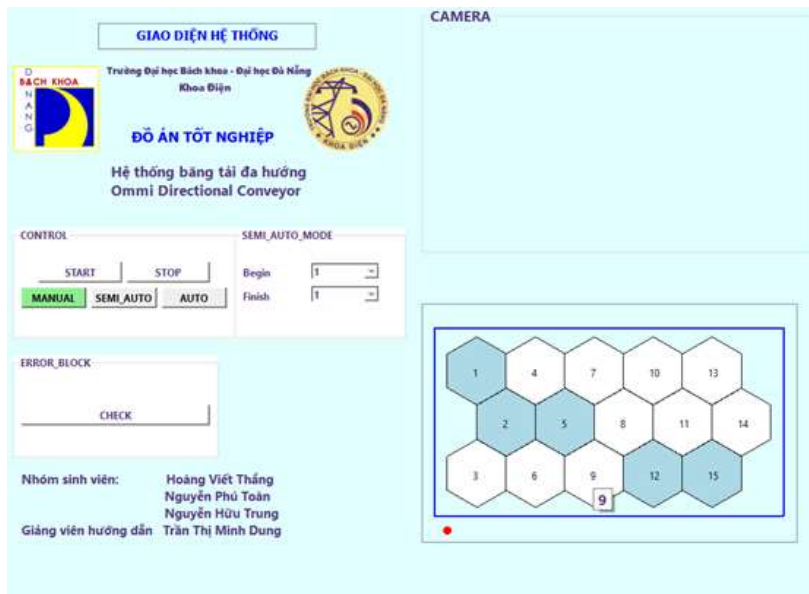


Hình 4.29: Chọn đường đi trong chế độ Semi_Auto

4.3.5. Tổng hợp chức năng các khối trong giao diện

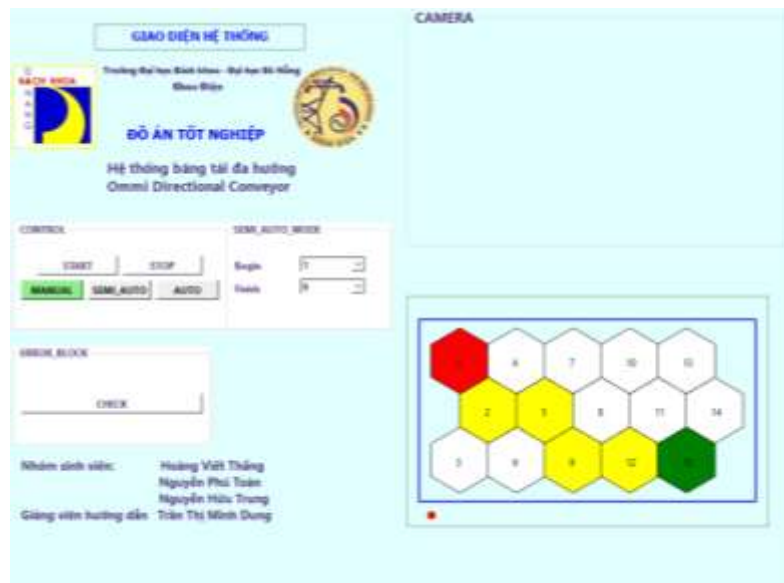
a) Chế độ Manual

- Cho phép người dùng chọn trực tiếp các ô di chuyển bằng chuột.
- Các ô được chọn sẽ đổi màu xanh dương (lightblue).



Hình 4.30: Quá trình chọn đường đi

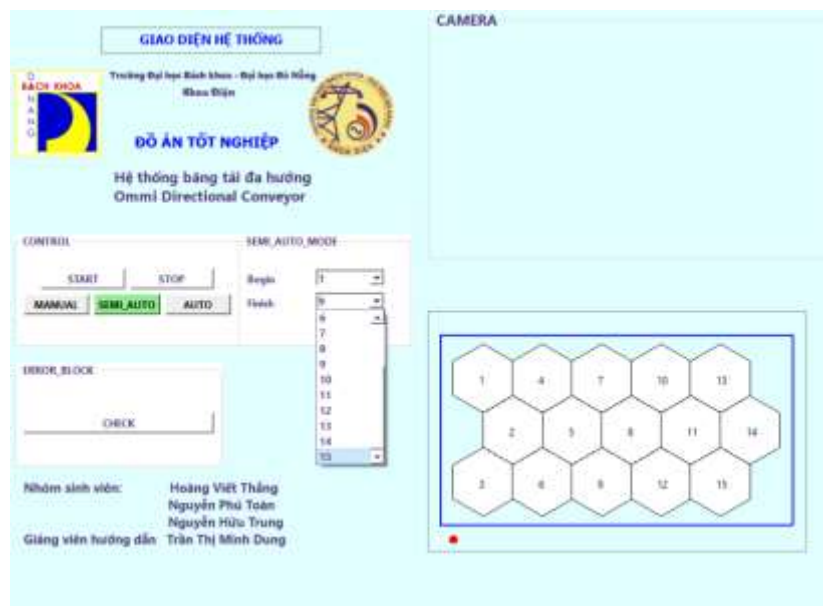
- Sau khi nhấn "Start", đường đi sẽ được gửi đến hệ thống điều khiển.



Hình 4.31: Sau khi nhấn nút Start

b) **Chế độ Semi_Auto**

- Người dùng chọn ô bắt đầu và kết thúc từ hai ComboBox: Begin và Finish.



Hình 4.32: Quá trình chọn ô đầu cuối trong Semi_Auto

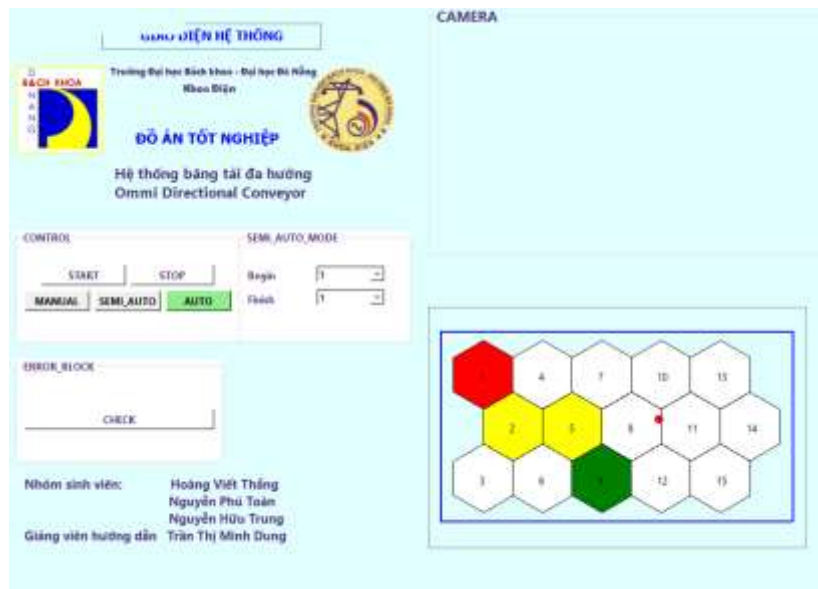
- Hệ thống sử dụng thuật toán A* để tìm đường đi tối ưu, tránh các ô bị chặn.
- Đường đi được hiển thị trên lưới.



Hình 4.33: Sau khi nhấn start và đường đi hiển thị trên lưới

c) **Chế độ Auto**

- Người dùng chọn ô bắt đầu.
- Hệ thống sử dụng camera để nhận diện màu vật thể (đỏ, đen vàng)
- Dựa trên màu sắc, hệ thống tự chọn ô kết thúc tương ứng:
 - Đỏ → 6
 - Đen → 14
 - Vàng → 15
- Đường đi được tính bằng A* như trong chế độ Auto.



Hình 4.34: Chế độ Auto

4.4. Kết quả thực nghiệm

Tại đây, nhóm sẽ thử nghiệm hệ thống hoạt động với 3 chức năng: AUTO, MANUAL và SEMI_AUTO. Và cơ chế tránh ô lỗi nếu phát hiện 1 module không hoạt động.

Ở chế độ AUTO, dựa vào màu của vật thể sẽ ánh xạ tới đầu ra mong muốn, hệ thống tự động tính toán đường đi tối ưu nhất.

Ở chế độ MANUAL, người dùng sẽ lựa chọn đường đi thủ công thông qua giao diện tương tác.

Ở chế độ SEMI_AUTO, người dùng có thể lựa chọn ngõ ra tùy ý, sau đó hệ thống sẽ tự tìm đường đi tối ưu nhất cho ngõ ra đó.

Ngoài ra, cơ chế kiểm tra trạng thái của các module sẽ giúp phát hiện nếu có trạng thái module nào không hoạt động sẽ tự động đánh dấu và tránh đi qua module đó.

4.4.1. Kiểm tra trạng thái của các module

Trong thực tế, ta phải luôn kiểm tra tất cả module trước khi bắt đầu hệ thống. Ta thiết kế trong giao diện thêm nút nhấn để kiểm tra xem những module nào đang sẵn sàng và module nào không, các module không sẵn sàng (block) sẽ hiện màu xám khi nhấn nút “CHECK”



Hình 4.35: Kiểm tra các module sẵn sàng

4.4.2. Chế độ Auto

Trong hệ thống này, băng tải phân loại sản phẩm dựa theo màu sắc được tracking từ vật thể, với mỗi màu sắc tương ứng cho các Output khác nhau:

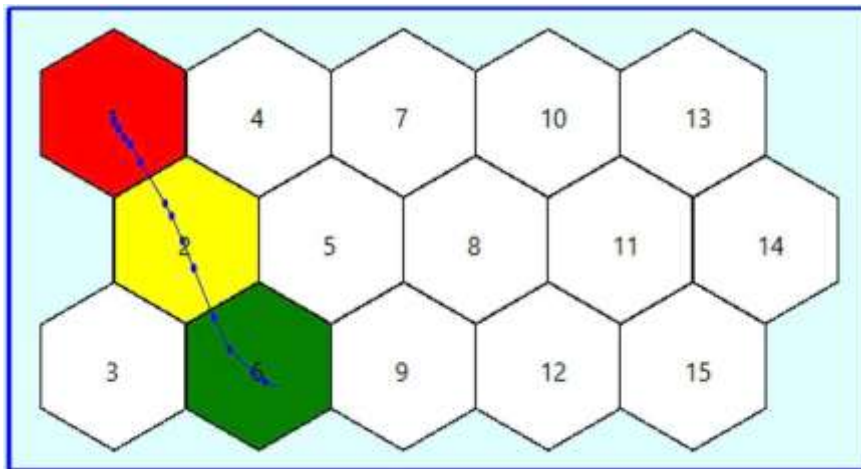
- Vật thể có màu đỏ tương ứng Output là module số 6.

- Vật thể có màu đen tương ứng Output là module số 14.
- Vật thể có màu vàng tương ứng Output là module số 15.
- Trường hợp 1: Vật thể màu đỏ, Output là module 6



Hình 4.36: Chế độ Auto – vật thể màu đỏ

Sau khi chọn chế độ Auto, ấn START thì camera sẽ nhận diện màu của vật thể, từ đó gửi tín hiệu cho bộ xử lý trung tâm để đưa ra đường đi phù hợp và thực hiện điều khiển. Đáp ứng quỹ đạo của vật được hiển thị trong **Hình 4.37**.



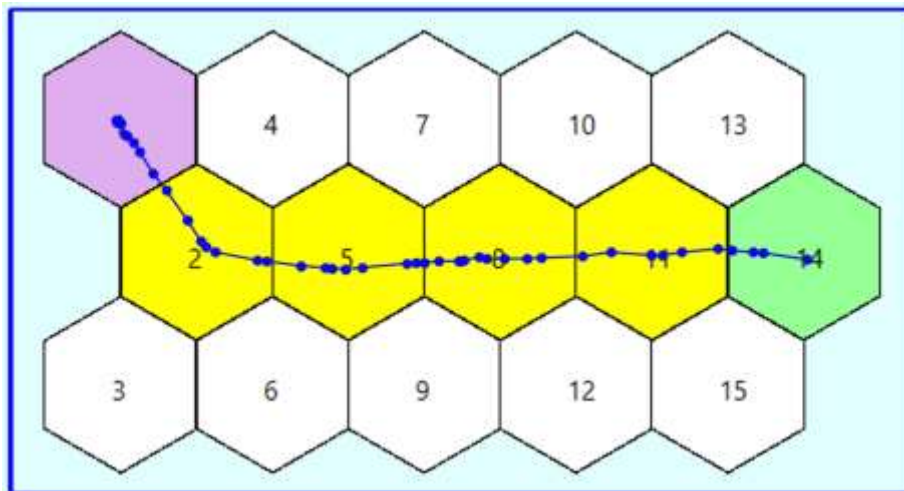
Hình 4.37: Quỹ đạo di chuyển cho trường hợp Auto- vật thể màu đỏ

- Trường hợp 2: Vật thể màu đen, Output là module 14



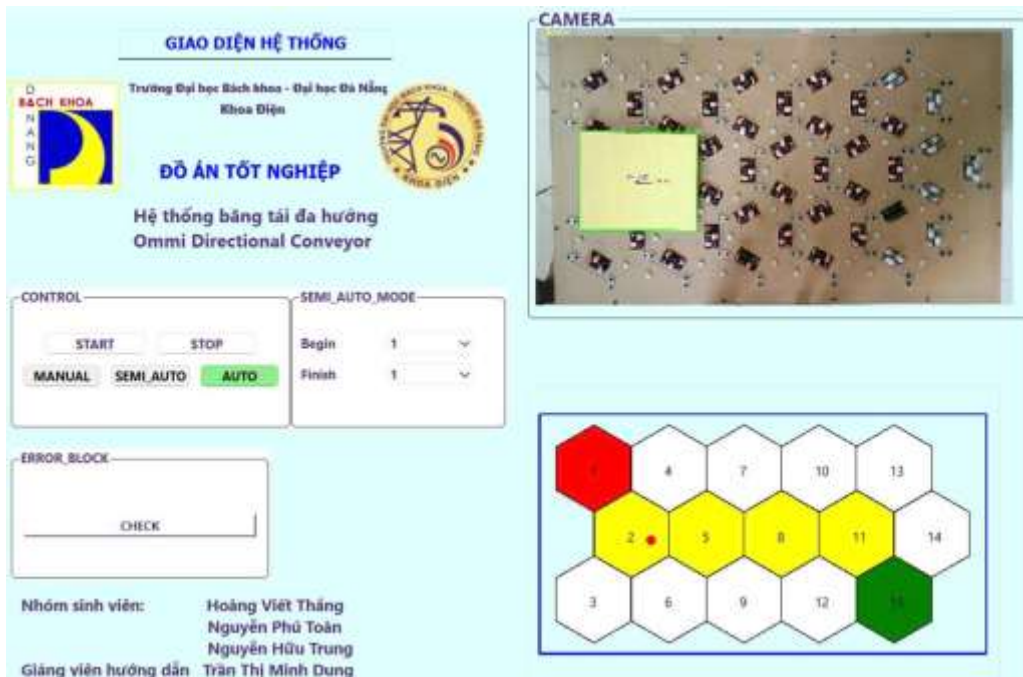
Hình 4.38: Chế độ Auto – vật thể màu đen

Quỹ đạo di chuyển được hiển thị trong Hình 4.39:

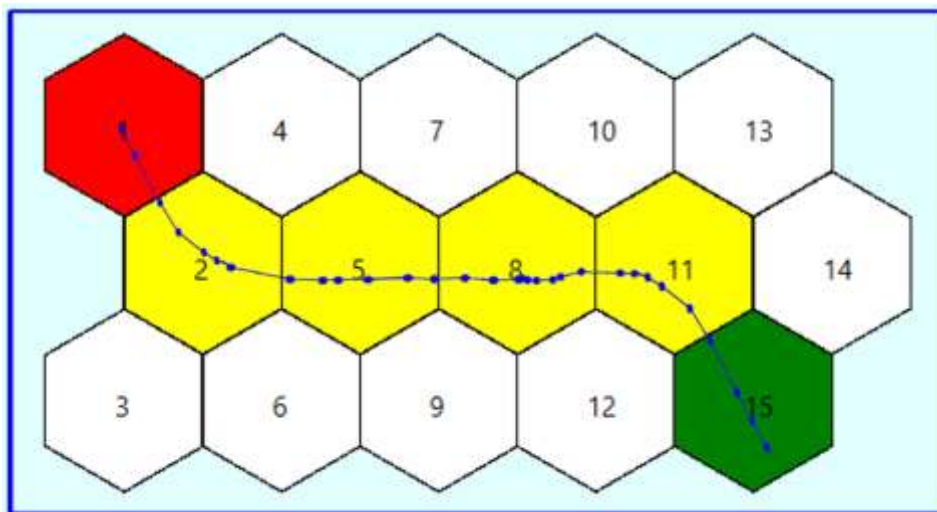


Hình 4.39: Quỹ đạo di chuyển cho trường hợp Auto- vật thể màu đen

- Trường hợp 3: Vật thể màu vàng, Output là module 15



Hình 4.40: Chế độ Auto – vật thể màu vàng
 Quỹ đạo di chuyển được hiển thị trong hình 6.4:



Hình 4.41: Quỹ đạo di chuyển cho trường hợp Auto- vật thể màu vàng
4.4.3. Chế độ Manual

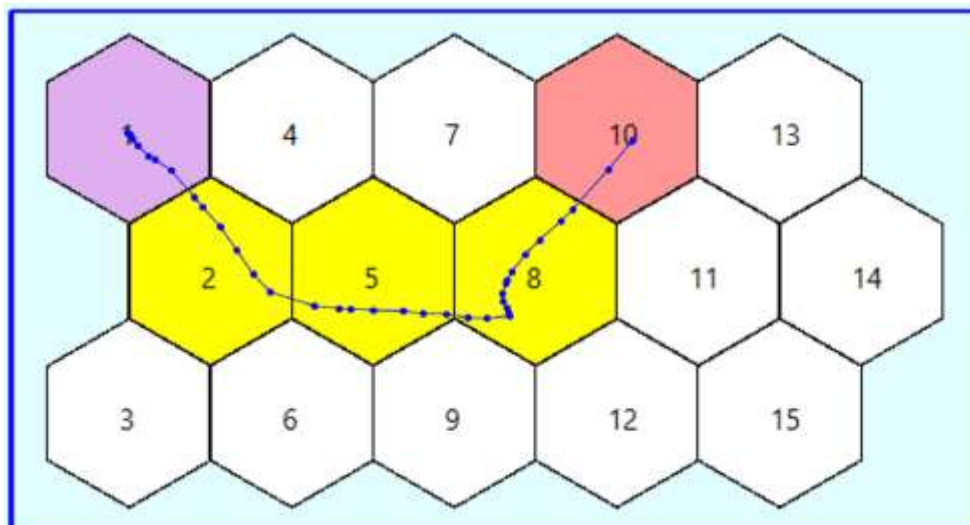
Trong chế độ Manual, đường đi của vật thể được tùy ý lựa chọn thông qua việc chọn thủ công từng ô trong lưới lục giác. Ví dụ, ta có quỹ đạo được chọn như sau:

$$1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 8 \rightarrow 10$$



Hình 4.42: Chế độ Manual

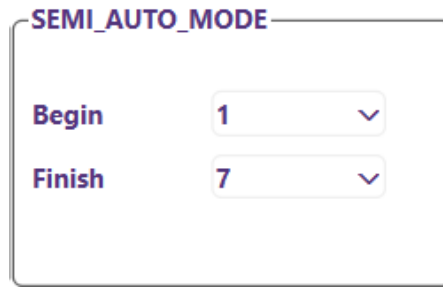
Quỹ đạo di chuyển được hiển thị trong **Hình 4.43**:



Hình 4.43: Quỹ đạo trường hợp Manual

4.4.4. Chế độ Semi-Auto

Ở chế độ SEMI_AUTO, chúng ta chỉ cần chọn ô Begin và ô Finish. Quỹ đạo di chuyển sẽ được tự động tính toán bằng thuật toán A*. Chức năng này phù hợp cho các trường hợp vật thể không có màu đỏ hoặc đen, tức là muốn mở rộng khả năng phân loại vật thể trong thời gian ngắn.



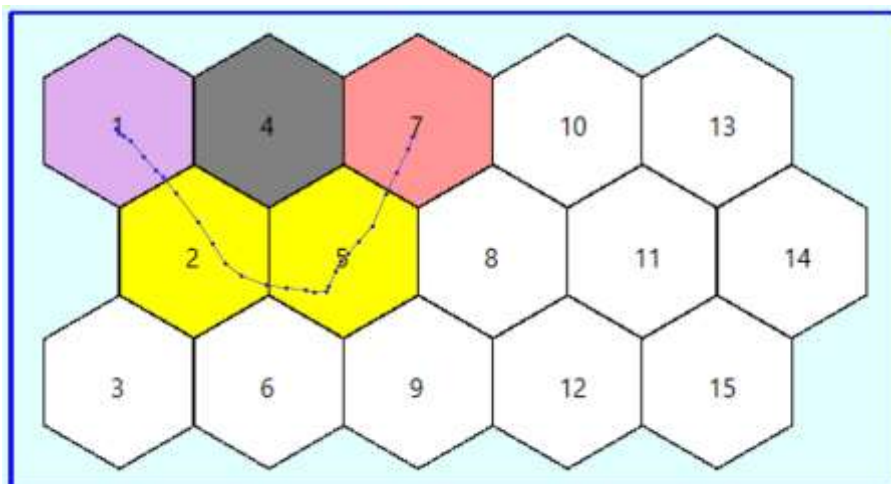
Hình 4.44: Lựa chọn ô bắt đầu và kết thúc băng chế độ SEMI_AUTO

Chọn ô Finish là 7, thông thường, quãng đường di chuyển sẽ là $1 \rightarrow 4 \rightarrow 7$, tuy nhiên, do module 4 đang trong trạng thái lỗi, do đó quãng đường sẽ được đặt lại như sau:



Hình 4.45: Chế độ AUTO_SEMI_MODE

Quãng đường thực tế sẽ là $1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 7$, đáp ứng quỹ đạo của vật được biểu diễn theo **Hình 4.46**:



Hình 4.46: Đáp ứng quỹ đạo trường hợp AUTO_SEMI_MODE

Nhận xét: Thông qua kết quả thực nghiệm trong các trường hợp, có thể kết luận rằng đáp ứng của vật thể theo đường đi được thiết lập tương đối là chính xác. Tuy nhiên, vẫn có sự sai lệch trên quãng đường di chuyển, song điều này không phải là vấn đề lớn, bởi vì mục đích chính của hệ thống là đưa vật tới ô cuối cùng để phân loại, bài toán này đã được hệ thống xử lý tương đối tốt.

Chương 5: KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ ĐỊNH HƯỚNG PHÁT TRIỂN

5.1. Kết quả nghiên cứu

Trong suốt quá trình thực hiện đề tài, nhóm đã hoàn thành một loạt các nghiên cứu nền tảng và xây dựng được hệ thống nguyên mẫu hoạt động theo đúng mục tiêu đề ra. Cụ thể:

- Xây dựng thành công mô hình lý thuyết và động học cho hệ thống băng tải đa hướng, bao gồm cả động học thuận và nghịch, kết hợp với thuật toán điều khiển thích nghi nhằm cập nhật lại tham số điều khiển, giúp giảm thiểu sự sai số trong quá trình hoạt động gây ra bởi các yếu tố ngoại cảnh.
- Tích hợp thuật toán tìm đường A* nhằm định hướng tối ưu di chuyển của vật thể trên mạng lưới module lục giác.
- Ứng dụng xử lý ảnh trong việc xác định chính xác vị trí của vật thể thông qua camera đặt trên cao.
- Phát triển hệ thống điều khiển phân tán, trong đó PC đảm nhiệm xử lý trung tâm và mỗi cụm STM32 điều khiển độc lập các module được giao.
- Lập trình giao tiếp CAN để đảm bảo kết nối nhanh, ổn định và chống nhiễu giữa các phần tử điều khiển.
- Xây dựng giao diện điều khiển người dùng trực quan bằng ngôn ngữ Python.

5.2. Hạn chế và định hướng phát triển

5.2.1. Hạn chế

Dù hệ thống đã đạt được các mục tiêu cốt lõi, vẫn tồn tại một số điểm hạn chế cần được cải thiện trong các giai đoạn tiếp theo:

- Hệ thống chỉ sử dụng camera làm nguồn phản hồi duy nhất, không có các cảm biến hồi tiếp tại bánh xe như encoder nên phản ứng còn phụ thuộc vào tốc độ xử lý ảnh.
- Mô hình hiện tại mới xử lý được một vật thể duy nhất, chưa tối ưu cho việc phân loại hoặc di chuyển nhiều vật thể đồng thời.
- Thiết kế cơ khí của các module còn đơn giản, chưa đáp ứng được các điều kiện khắc nghiệt trong môi trường công nghiệp.
- Hệ thống cơ khí chưa có sự chính xác hoàn hảo, do đó, trong quá trình vận hành vẫn còn xảy ra hiện tượng trượt do ma sát.

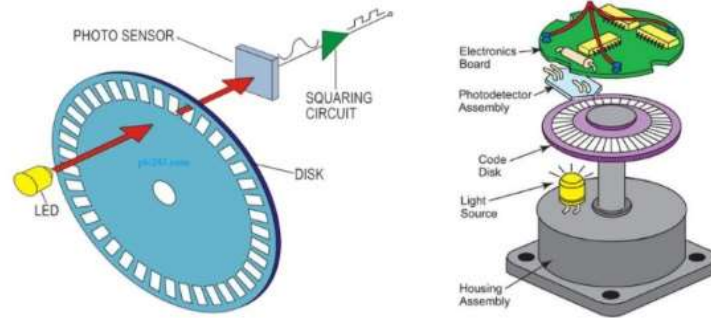
5.2.2. Định hướng phát triển

Sinh viên thực hiện:
Hoàng Việt Thắng - Nguyễn Phú Toàn - Nguyễn Hữu Trung

GVHD: Trần Thị Minh Dung

Nhằm nâng cao hiệu quả và mở rộng quy mô ứng dụng của hệ thống trong tương lai, các hướng phát triển tiếp theo được xác định như sau:

- Tích hợp thêm cảm biến phản hồi vị trí như encoder để cải thiện độ chính xác di chuyển và giảm phụ thuộc vào xử lý ảnh.



Hình 5.1: Encoder

- Nâng cấp hệ thống xử lý ảnh để nhận diện nhiều vật thể, đọc mã QR, phân loại theo hình dạng hoặc màu sắc.
- Thiết kế lại các khối module với kết cấu cơ khí cứng cáp hơn, đảm bảo khả năng hoạt động trong môi trường công nghiệp thực tế.
- Phát triển thêm các thuật toán tối ưu điều khiển phân tán, tính toán theo nhóm module và đồng bộ hoá điều khiển theo từng vùng.
- Mở rộng hệ thống lên quy mô lớn hơn, thí nghiệm với 20–30 module và nhiều vật thể đồng thời để kiểm tra tính ổn định mạng truyền thông và điều phối.

KẾT LUẬN

Tổng kết lại, hệ thống băng tải đa hướng do nhóm thực hiện trong khuôn khổ đồ án tốt nghiệp đại học đã đạt được nhiều thành tựu quan trọng cả về lý thuyết lẫn thực tiễn. Đề tài là sự tổng hợp và ứng dụng xuyên suốt các kiến thức chuyên ngành đã được học tại trường như: kỹ thuật robot, vi điều khiển, hệ thống nhúng, xử lý ảnh, truyền thông công nghiệp, điều khiển động cơ và lập trình máy tính. Việc kết hợp xử lý ảnh, thuật toán tìm đường và động học ngược trong một hệ thống điều khiển phân tán là hướng đi phù hợp với xu thế hiện đại và mang tính ứng dụng cao. Ngoài ra, bằng việc ứng dụng thuật toán điều khiển thích nghi nhằm giảm thiểu sai số trong quá trình phân loại vật phẩm cũng đem lại một hiệu quả tích cực cho hệ thống.

Qua quá trình thực hiện, nhóm không chỉ củng cố kiến thức lý thuyết mà còn rèn luyện kỹ năng thực hành, tư duy thiết kế hệ thống và khả năng giải quyết vấn đề thực tiễn. Đề tài “ Nghiên cứu và thiết kế băng tải đa hướng Omni-Directional Conveyor” có tính tự động hóa cao, dễ dàng tiếp cận và tính ứng dụng thực tiễn cực kì phổ biến. Do đó, trong tương lai gần, nhóm sẽ tiếp tục nghiên cứu và ứng dụng các cải tiến cho hệ thống được ổn định hơn, tốc độ nhanh hơn và khả năng linh hoạt nhiều hơn nữa. Bằng các phương pháp cải tiến như: Cải tiến bộ phận cơ khí của hệ thống, sử dụng cơ khí chính xác để thay thế cho loại vật liệu Mica hiện tại. Ngoài ra, nhóm sẽ đề xuất sử dụng Camera công nghiệp, có độ phân giải và tốc độ xử lý cao hơn, làm tiền đề cho thuật toán điều khiển thông minh xử lý một cách chính xác tức thời. Cuối cùng, một hệ thống mới với kích thước lớn hơn, nhiều ngõ vào và ngõ ra cùng một thời điểm sẽ là chiến lược mà nhóm hướng đến trong tương lai.

Mặc dù còn một số hạn chế do giới hạn phần cứng và thời gian thực hiện, hệ thống đã chứng minh được tiềm năng ứng dụng cao trong các lĩnh vực như logistics, phân loại hàng hóa, robot di động, ... Những kết quả nghiên cứu đạt được là nền tảng vững chắc để tiếp tục cải tiến và thương mại hóa hệ thống trong tương lai, đồng thời là bước đệm quý báu cho hành trình học tập và nghiên cứu sau này của nhóm sinh viên.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] R. Deka *et al.*, "A comprehensive review on mechanical conveyor systems: evolution, types, and applications."
- [2] T. Sun *et al.*, "Three-wheel driven omnidirectional reconfigurable conveyor belt design," in *Proc. 2019 Chinese Automation Congress (CAC)*, IEEE, 2019.
- [3] W. Zaher *et al.*, "Omnidirectional-wheel conveyor path planning and sorting using reinforcement learning algorithms," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 27945–27959, 2022.
- [4] Z. Zhou *et al.*, "Design of a two-dimensional conveyor platform with cargo pose recognition and adjustment capabilities," *Sensors*, vol. 23, no. 21, Art. no. 8754, 2023.
- [5] K. Liu, H. Zhang, Z. Zhou *et al.*, "Computer vision based cargo boxes pose adjustment system for two-dimensional conveyor platform," *Sci. Rep.*, vol. 14, Art. no. 19997, 2024.
- [6] K. Abe *et al.*, "Development of the omnidirectional transporting table based on omnidirectional driving gear," *Adv. Robot.*, vol. 34, no. 6, pp. 358–374, 2020.
- [7] C. Uriarte *et al.*, "Control strategies for small-scaled conveyor modules enabling highly flexible material flow systems," *Procedia CIRP*, vol. 79, pp. 433–438, 2019.
- [8] J. S. Keek, S. L. Loh, and S. H. Chong, "Design and control system setup of an E-pattern omniwheeled cellular conveyor," *Machines*, vol. 9, no. 2, Art. no. 43, 2021.
- [9] P. Q. Huy, *Giáo trình thiết kế cơ khí với SolidWorks*, Hà Nội, Việt Nam: NXB Thanh Niên, 2014.
- [10] P. Đ. Phước, *Giáo trình Robot công nghiệp*, Hà Nội, Việt Nam: NXB Xây Dựng, 2007.
- [11] J. M. Willman, *Creating GUIs with QT Designer*, in *Beginning PyQt: A Hands-on Approach to GUI Programming with PyQt6*, Berkeley, CA: Apress, 2022, pp. 217–258.
- [12] B. Nabijonovich and N. G'iyosiddinov, "Optimizing PyQt5 development with Qt Designer," *Web of Teachers: Inderscience Research*, vol. 2, no. 4, pp. 254–259, 2024.

- [13] L. Z. Eng and R. Rischpater, *Application Development with Qt Creator: Build Cross-Platform Applications and GUIs Using Qt 5 and C++*, Birmingham, UK: Packt Publishing Ltd, 2020.
- [14] K. J. Åström, “Adaptive Control,” in **Mathematical System Theory**, A. C. Antoulas, Ed., Berlin/Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, 1991, pp. 437–450.
- [15] Z. Hou and S. Jin, **Model Free Adaptive Control**. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2013.