

ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA  
KHOA CƠ KHÍ – BỘ MÔN CƠ ĐIỆN TỬ



LUẬN VĂN TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC

# THIẾT KẾ ROBOT TỰ HÀNH THEO VẾT HOẠT ĐỘNG TRONG NHÀ XƯỞNG

SVTH: Võ Phong Thiện

MSSV: 21303868

GVHD: TS. Nguyễn Quốc Chí

TPHCM, 2017

## **LỜI CẢM ƠN**

Trong quá trình thực hiện và hoàn thành luận văn tốt nghiệp, em đã nhận được sự hỗ trợ và động viên rất lớn của nhiều người. Trước hết, con xin cảm ơn ba mẹ đã luôn quan tâm, tạo điều kiện cho con học tập.

Em xin gửi lời cảm ơn chân thành đến quý Thầy Cô bộ môn Cơ Điện Tử và khoa Cơ Khí, Trường Đại Học Bách Khoa TP HCM đã nhiệt tình giảng dạy, truyền đạt những kiến thức quý báu cho em trong suốt thời gian học tập tại trường. Em xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến TS. Nguyễn Quốc Chí đã nhiệt tình hướng dẫn và chỉ bảo cho em trong quá trình làm đề tài này.

Em xin chân thành cảm ơn các anh trong CaLab và bạn bè đã động viên, khích lệ và giúp đỡ em trong suốt quá trình làm đề tài này.

Sau cùng, em xin kính chúc quý Thầy Cô bộ môn Cơ Điện Tử, Thầy TS. Nguyễn Quốc Chí và các anh trong CaLab dồi dào sức khỏe, đạt được nhiều thành công tốt đẹp trong cuộc sống.

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 24 tháng 12 năm 2017

Võ Phong Thiện

## **TÓM TẮT LUẬN VĂN**

Vận chuyển hàng hóa tự động trong sản xuất, lưu trữ là điểm mấu chốt để tối ưu hóa chuỗi cung ứng sản phẩm. Hệ thống robot tự hành (AGVS) là một trong những giải pháp để cải tiến quá trình vận chuyển.

Đề tài đưa ra tổng quan, phân tích và thiết kế một robot tự hành trong nhà xưởng, đồng thời xây dựng một giải thuật tính toán đường đi cho robot tự hành trong nhà xưởng.

Nội dung đề tài gồm: tổng quan, phân tích mô hình toán, thiết kế cơ khí, xây dựng hệ thống điện, xây dựng và lập trình giải thuật cho hệ thống robot.

## MỤC LỤC

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN .....	1
1.1. Giới thiệu robot tự hành trong nhà xưởng .....	1
1.2. Một số nghiên cứu trong và ngoài nước về robot tự hành trong nhà xưởng .....	6
1.3. Mục tiêu, nhiệm vụ và phạm vi luận văn.....	7
1.3.1. Mục tiêu luận văn .....	7
1.3.2. Nhiệm vụ luận văn.....	7
1.3.3. Giới hạn và phạm vi luận văn.....	9
1.4. Tổ chức luận văn .....	9
CHƯƠNG 2: LỰA CHỌN PHƯƠNG ÁN THIẾT KẾ ROBOT .....	10
2.1. Phương án cơ khí .....	10
2.1.1. Lựa chọn cơ cấu lái .....	10
2.1.2. Lựa chọn bộ truyền .....	13
2.2. Phương án điện – điện tử .....	16
2.2.1. Lựa chọn động cơ .....	16
2.2.2. Lựa chọn phương pháp dẫn đường .....	19
2.2.3. Lựa chọn phương án bộ điều khiển .....	21
CHƯƠNG 3: THIẾT KẾ HỆ THỐNG CƠ KHÍ .....	23
3.1. Yêu cầu thiết kế .....	23
3.2. Phân tích mô hình động học của robot .....	24
3.3. Tính toán lựa chọn công suất động cơ.....	27
3.4. Tính toán thiết kế trục dẫn động.....	30
3.4.1. Phân tích lực và chọn đường kính trục dẫn động.....	30
3.4.2. Chọn và kiểm nghiệm then.....	34
CHƯƠNG 4: THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỆN – ĐIỆN TỬ.....	35
4.1. Sơ đồ khối chung của hệ thống điện.....	35
4.2. Lựa chọn thông số các thiết bị.....	35
4.2.1. Vi điều khiển .....	35
4.2.2. Mạch công suất động cơ .....	36
4.3. Sử dụng cảm biến từ .....	38

4.3.1. Các thông số của cảm biến:.....	38
1.1.1. Mô hình thí nghiệm cảm biến từ .....	39
4.3.2. Kết quả thí nghiệm cảm biến.....	41
4.4. Điều khiển động cơ DC encoder .....	42
4.5. Thiết kế bộ điều khiển bám đường.....	45
CHƯƠNG 5: XÂY DỰNG GIẢI THUẬT DI CHUYỂN .....	46
5.1. Giải thuật trên máy tính .....	46
5.2. Giải thuật trên robot.....	49
CHƯƠNG 6: THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ.....	53
6.1. Phương pháp thực nghiệm .....	53
6.2. Thực nghiệm điều khiển động cơ .....	54
6.3. Thực nghiệm điều khiển bám line .....	56
6.4. Thực nghiệm giải thuật di chuyển trong kho hàng.....	60
CHƯƠNG 7: TỔNG KẾT VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN ĐỀ TÀI .....	65
7.1. Đánh giá kết quả đề tài.....	65
7.1.1. Những công việc đã đạt được.....	65
7.1.2. Những hạn chế trong thực hiện đề tài.....	65
7.2. Các hướng phát triển của đề tài.....	66
TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	67

## DANH MỤC CÁC HÌNH ẢNH

Hình 1.1: Cấu trúc cơ bản của một hệ thống AGV.....	2
Hình 1.2: Sơ đồ hệ thống kho hàng của Kiva [4]. ....	3
Hình 1.3: AGV kiểu kéo hàng. ....	4
Hình 1.4: AGV kiểu chở hàng. ....	5
Hình 1.5: AGV kiểu xe nâng. ....	5
Hình 1.6: Kiva Robot nâng kệ hàng.....	6
Hình 1.7: Smart AGV trong công ty Changsing Việt Nam. ....	7
Hình 2.1: Robot Pioneer 3DX [3]. ....	10
Hình 2.2: Robot Athena sử dụng cơ cấu lái xe 3 bánh [7]. ....	11
Hình 2.3: DEWBOT XIII sử dụng cơ cấu lái đồng bộ 4 bánh [8]. ....	12
Hình 2.4: Bộ truyền đai. ....	13
Hình 2.5: Bộ truyền đai răng. ....	14
Hình 2.6: Bộ truyền xích. ....	14
Hình 2.7: Bộ truyền bánh răng. ....	15
Hình 2.8: Động cơ bước. ....	17
Hình 2.9: Động cơ DC servo. ....	18
Hình 2.10: Đường dẫn màu đen trên nền trắng. ....	19
Hình 2.11: Đường dẫn từ và cảm biến từ. ....	20
Hình 2.12: Nguyên lý dẫn đường bằng cảm ứng điện. ....	20
Hình 2.13: Anten dò đường dẫn cảm ứng điện. ....	21
Hình 2.14: PLC Miubishi. ....	21
Hình 2.15: Vi điều khiển Arduino Mega 2560.....	22
Hình 3.1: Sơ đồ nguyên lý mô hình xe tự hành.....	23

Hình 3.2: Hệ trục tọa độ cho phương trình chuyển động của hệ thống với.....	24
Hình 3.3: Xe di chuyển đoạn $ds$ trong thời gian lấy mẫu.....	27
Hình 3.4: Bánh xe dẫn động.....	28
Hình 3.5: Sơ đồ phân tích lực.....	28
Hình 3.6: Động cơ 57BL03A DC servo có giảm tốc.....	30
Hình 3.7: Sơ đồ phân tích lực trục dẫn động.....	31
Hình 3.8: Biểu đồ momen trục dẫn động.....	33
Hình 4.1: Sơ đồ khối hệ thống điều khiển.....	35
Hình 4.2: Vi điều khiển Arduino Mega 2560.....	36
Hình 4.3: Mạch công suất động cơ DC Hbr-M công suất 200(W). ....	37
Hình 4.4: Cảm biến từ trường MACOME GS-2744B.....	38
Hình 4.5: Sơ đồ nguyên lý hoạt động cảm biến từ.....	38
Hình 4.6: Nguyên lý mạch phân áp.....	39
Hình 4.7: Mô hình thí nghiệm cảm biến.....	40
Hình 4.8: Sơ đồ mô hình thí nghiệm cảm biến.....	41
Hình 4.9: Đồ thị giá trị đọc được từ cảm biến.....	41
Hình 4.10: Sơ đồ bộ điều khiển PID cho động cơ.....	42
Hình 4.11: Chương trình PID điều khiển tốc độ động cơ.....	43
Hình 4.12: Chương trình đọc giá trị encoder.....	44
Hình 4.13: Lưu đồ giải thuật chương trình bám line.....	45
Hình 5.1: Sơ đồ bố trí hàng trong nhà xưởng.....	46
Hình 5.2: Lưu đồ giải thuật tạo đường đi đến vị trí một món hàng.....	48
Hình 5.3: Lưu đồ giải thuật đi từ kệ hàng về lại vị trí xuất phát.....	49
Hình 5.4: Lưu đồ giải thuật hàm sự kiện nhận dữ liệu.....	50

Hình 5.5: Lưu đồ giải thuật chương trình ngắt gặp giao điểm. ....	50
Hình 5.6: Lưu đồ giải thuật chương trình xử lý giao điểm. ....	51
Hình 5.7: Lưu đồ giải thuật chương trình chính. ....	52
Hình 6.1: Mạch bluetooth HC-05. ....	53
Hình 6.2: Đồ thị vận tốc động cơ trái khi đạt độ lợi $Kp$ tới hạn. ....	54
Hình 6.3: Đồ thị vận tốc động cơ phải khi đạt độ lợi $Kp$ tới hạn. ....	55
Hình 6.4: Đồ thị đáp ứng của động cơ bên trái. ....	55
Hình 6.5: Đồ thị đáp ứng của động cơ bên phải. ....	56
Hình 6.6: Đồ thị dao động của vị trí tâm line đọc từ cảm biến. ....	57
Hình 6.7: Xử lý bức ảnh vuông góc với camera. ....	58
Hình 6.8: Xoay bức ảnh để line từ song song trục tọa độ bức ảnh. ....	58
Hình 6.9: Đo khoảng lệch lớn nhất. ....	59
Hình 6.10: Khoảng lệch giảm xuống sau nhiều lần chỉnh. ....	59
Hình 6.11: Sơ đồ kho hàng thực nghiệm. ....	60
Hình 6.12: Sơ đồ lắp đặt line từ thực nghiệm. ....	61
Hình 6.13: Hệ thống line từ thực nghiệm. ....	61
Hình 6.14: Giao diện điều khiển trên máy tính và kết quả vị trí tính được. ....	62
Hình 6.15: Giao diện chọn vị trí B1. ....	63
Hình 6.16: Đồ thị sai số bám line thực nghiệm. ....	63



## **DANH MỤC CÁC BẢNG**

Bảng 2.1: So sánh động cơ bước và động cơ DC servo.....	18
Bảng 4.1: Công thức tính thông số các bộ điều khiển. ....	44

### CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN

Chương này trình bày tổng quan về đề tài: “Robot tự hành hoạt động trong nhà xưởng”. Nội dung chương này gồm những dạng robot tự hành, những nghiên cứu và thực nghiệm về robot sử dụng cho nhà xưởng. Từ đó, rút ra được mục tiêu, cơ sở và định hướng thực hiện đề tài.

#### 1.1. Giới thiệu robot tự hành trong nhà xưởng

Nhà xưởng là khu vực tập trung nhân lực, trang thiết bị, nguyên vật liệu phục vụ cho quá trình sản xuất, bảo quản, di chuyển hàng hóa. Di chuyển hàng hóa trong nhà xưởng theo cách truyền thống là sử dụng xe đẩy, xe nâng con người vận hành. Hơn nữa, công việc di chuyển hàng hóa thường nặng nhọc, nguy hiểm và lặp lại. Trên thế giới, robot tự hành đã và đang ứng dụng rộng rãi trong công đoạn di chuyển đó, mang lại hiệu quả to lớn trong nhà máy, kho bãi.

Robot tự hành trong nhà xưởng (AGV) là dạng mobile robot tự di chuyển theo tín hiệu dẫn đường như laser, hình ảnh, từ trường, đường ray.... Từ cuối thế kỷ XX, robot tự hành ngày càng phổ biến hơn nhờ tiến bộ của khoa học – kỹ thuật. Những cải tiến quan trọng trong công nghệ cảm biến và dẫn đường, bộ xử lý và truyền thông, thiết bị truyền động, nguồn năng lượng giúp tạo ra hệ thống robot tự hành (AGVS) có năng suất hoạt động cao, ổn định và chi phí vận hành thấp.

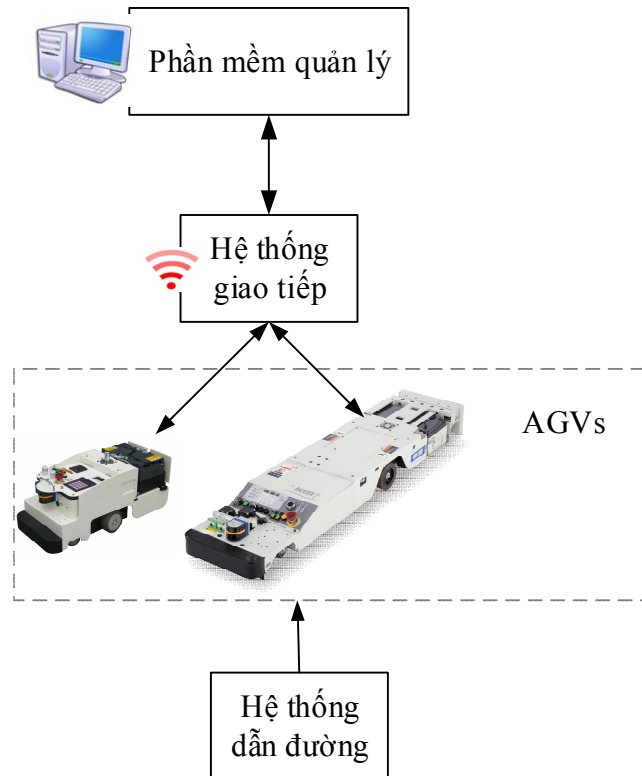
Việc áp dụng AGVS vào kho hàng, nhà xưởng có lợi ích sau:

- Hoạt động liên tục: cả ngày và đêm.
- Thay thế con người vận chuyển hàng hóa nặng nhọc, có tính lặp lại.
- Giảm chi phí vận hành, đặc biệt là chi phí đào tạo, sử dụng nhân công.
- Tính chính xác và độ ổn định cao giúp quá trình sản xuất được liên tục.
- Giảm thời gian vận chuyển.

Do đó, các công ty sản xuất, thương mại đã và đang đẩy mạnh phát triển hệ thống nhà xưởng, kho hàng tự động dùng AGV.

## CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN

Trong nhà xưởng, AGVS sử dụng để vận chuyển hàng tự động từ nơi cấp hàng đến các vị trí sản xuất. AGVS thông thường bao gồm phương tiện (xe), bộ điều khiển tích hợp trên AGV, phần mềm quản lý, hệ thống giao tiếp và dẫn đường.



**Hình 1.1:** Cấu trúc cơ bản của một hệ thống AGV.

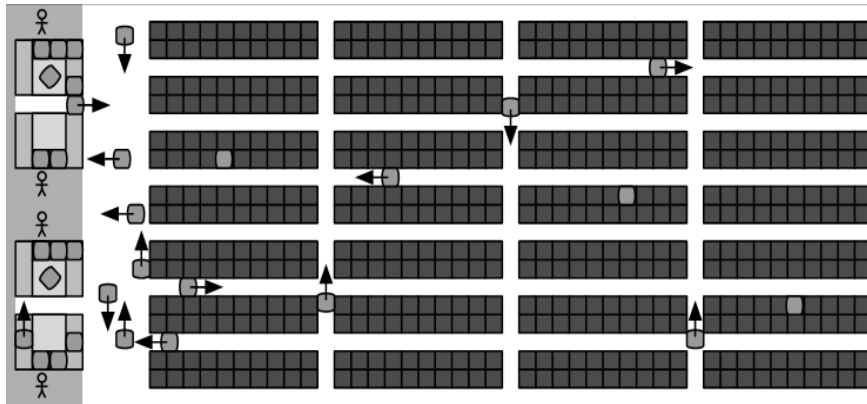
- Phần mềm quản lý

Phần mềm trên máy tính cần giải quyết việc quản lý tất cả AGV. Những nhiệm vụ máy chủ là: tối ưu việc sử dụng AGV, nhận yêu cầu và quản lý hàng, theo dõi và thống kê hàng hóa trong kho.... Như vậy, một hệ thống AGV có năng suất cao hay thấp phụ thuộc rất nhiều vào phần mềm quản lý. Tùy vào ứng dụng của hệ thống AGV mà phần mềm quản lý sẽ đóng vai trò và cách thức quản lý cũng khác nhau.

Hệ thống AGV sử dụng trong dây chuyền lắp ráp sử dụng phần mềm quản lý chỉ thu nhận thông tin loại hàng, vì các bước di chuyển có thể lập trình sẵn trên từng AGV. Đường đi từ khu sản xuất, lưu trữ đến khu lắp ráp cố định, theo trình tự không cần nhiều tính toán của máy chủ. Tốc độ di chuyển của AGV phụ thuộc tốc độ lắp ráp

của dây chuyền. Dây chuyền lắp ráp sử dụng nhân công có thể yêu cầu điều khiển robot bằng tay.

Đối với một kho hàng, trung tâm xử lý phải thu nhận tất cả thông tin về vị trí, hàng hóa trên AGV để điều khiển toàn bộ hệ thống. Đó có thể là chọn robot vị trí nào, tính toán đường đi hiệu quả, vận tốc phù hợp để tránh gặp các robot khác, giảm thời gian di chuyển khi sắp xếp hàng trong kho hàng.



**Hình 1.2:** Sơ đồ hệ thống kho hàng của Kiva [4].

- Hệ thống giao tiếp

Bao gồm giao tiếp giữa máy chủ với robot và giữa robot với nhau. Do robot di động nên các sử dụng phương thức giao tiếp không dây. Công nghệ sóng vô tuyến áp dụng trong công nghiệp thông dụng như Wireless LAN (IEEE 802.11), IEEE 802.15.4 và Bluetooth (IEEE802.15.1) [2]. Những yêu cầu về công nghệ không dây của hệ thống AGV là:

- Kết nối ổn định.
- Có tính năng bảo mật cao.
- Cấu hình và phương thức giao tiếp đơn giản.

Công nghệ Bluetooth thích hợp cho thiết bị tự động yêu cầu sử dụng năng lượng thấp, chi phí thấp. Tầm hoạt động của Bluetooth khoảng 10 (m), tuy nhiên một vài module đặc biệt có thể bao phủ vùng 200 ÷ 400 (m).

## CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN

---

Công nghệ Wireless LAN (IEEE 802.11) rất thích hợp cho các hệ thống AGV thường xuyên mở rộng quy mô, theo dõi và phân tích dữ liệu tốc độ cao. Tầm hoạt động thông thường của băng thông 2.4 GHz là 200 (m), băng thông 5 GHz là 50 (m).

- Các loại phương pháp vận chuyển

Mỗi loại hàng hóa có yêu cầu khi lưu trữ và vận chuyển khác nhau, do đó có nhiều phương pháp vận chuyển hàng. Trong nhà xưởng thường có 3 kiểu AGV, các loại AGV này đáp ứng hầu hết công việc vận chuyển.

- Kiểu kéo hàng: AGV có móc, nâng kéo các khay hàng. Kiểu AGV kéo hàng thích hợp sử dụng di chuyển hàng có khoảng cách xa với số lượng, kích thước hàng tùy theo khay hàng. Tuy nhiên, đường đi cần rộng rãi, những đoạn cua có bán kính lớn để tránh va chạm.



**Hình 1.3:** AGV kiểu kéo hàng.

- Kiểu chở hàng: AGV có bộ phận chứa hàng, nâng hàng hoặc băng tải để lấy hàng. Kiểu AGV chở hàng có thể kết hợp với băng tải trong dây chuyền sản xuất, lắp ráp. AGV chở hàng di chuyển linh hoạt hơn so với kiểu kéo hàng, đặc biệt là trong hệ thống kho hàng có đường đi hẹp, góc cua nhỏ.



**Hình 1.4:** AGV kiểu chở hàng.

- Kiểu xe nâng (Forklift): AGV có bộ phận nâng hàng (các pallet) tự động. Ưu điểm của AGV nâng hàng là đưa được hàng hóa lên nhiều độ cao. AGV kiểu xe nâng yêu cầu không gian rộng để xoay khi nâng hàng.



**Hình 1.5:** AGV kiểu xe nâng.

Dạng robot tự hành kiểu chở hàng có những ưu điểm về cách vận chuyển hàng linh hoạt, làm việc được trong không gian giới hạn. Vì vậy, nó được sử dụng khá phổ biến trong các nhà xưởng có mật độ hàng hóa cao và sẽ là dạng robot lựa chọn để nghiên cứu trong đề tài.

- Các loại phương pháp tìm đường

- Loại dò theo đường dẫn cố định: AGV có quỹ đạo di chuyển theo đường dẫn lắp đặt sẵn. Đường dẫn có thể là đường ray, từ trường, dây điện... Đường dẫn cố định

có lợi khi quỹ đạo xác định rõ, đơn giản và tồn tại lâu dài. Bộ điều khiển tích hợp trên robot đơn giản.

- Loại di chuyển tự do: Có thể di chuyển đến các vị trí bất kỳ trong không gian hoạt động. AGV xác định vị trí nhờ các cảm biến như laser, camera sau đó robot tự tính toán đường đi. Do vậy quỹ đạo của robot rất linh hoạt và phương pháp này có lợi khi môi trường thường xuyên thay đổi. Tuy nhiên, trong không gian hạn chế, nhiều vật cản có thể gây định vị khó khăn hơn. Bộ điều khiển cần xử lý các thuật toán phức tạp nên yêu cầu tốc độ xử lý cao.

Dựa vào những so sánh trên và điều kiện kho hàng tồn tại lâu dài, không thay đổi vị trí lưu trữ thì phương pháp dẫn đường cố định là phù hợp. Do đó trong đề tài này sử dụng phương pháp dẫn đường cố định.

### 1.2. Một số nghiên cứu trong và ngoài nước về robot tự hành trong nhà xưởng

Trên thế giới, robot tự hành trong nhà xưởng đã được nghiên cứu phát triển từ lâu và ngày càng có nhiều ứng dụng đa dạng do tích hợp các công nghệ mới nhất, điển hình là Kiva Robot. Đây là robot vận chuyển trong kho hàng được nghiên cứu và sản xuất bởi Amazon Robotics (USA). Nó được lập trình các tính năng: nhận và thực hiện đơn hàng, hoàn thành nhiệm vụ và tiếp tục công việc mới, tự động nhận nhiệm vụ khi sạc pin xong. Khối lượng robot khoảng 150 (kg), nâng được kệ hàng lên đến 320 (kg). Vận tốc di chuyển của robot trong kho hàng tối đa 1 (m/s).

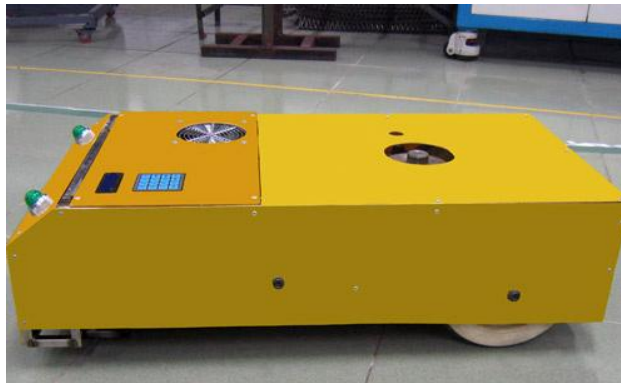


**Hình 1.6:** Kiva Robot nâng kệ hàng.

## CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN

---

Các công ty trong nước cũng có những nghiên cứu, ứng dụng robot tự hành vào các nhà máy. Mục đích nghiên cứu trong nước là giảm giá thành của robot, nắm bắt được các công nghệ mới. Những hạn chế về công nghệ sản xuất cũng ảnh hưởng ít nhiều đến quy mô và chất lượng của sản phẩm robot trong nước. Năm 2013, công ty Changsing Việt Nam đã sử dụng AGV vận chuyển hàng tự động giữa các công đoạn sản xuất giày. Dự án AGV được thực hiện bởi nhóm AZauto của trường Đại học Lạc Hồng. Công nghệ dẫn đường của AGV là hệ thống line từ trường và sử dụng RFID để nhận biết khúc cua, vị trí sạc bình. AGV có khối lượng 150 (kg) kéo được xe hàng lên đến 400 (kg). Tốc độ di chuyển khi hoạt động khoảng 0,5 (m/s).



**Hình 1.7:** Smart AGV trong công ty Changsing Việt Nam.

### 1.3. Mục tiêu, nhiệm vụ và phạm vi luận văn

#### 1.3.1. Mục tiêu luận văn

Ở Việt Nam hiện nay, nhu cầu sản xuất, mua bán hàng hoá ngày càng cao. Các nhà máy luôn đòi hỏi cải tiến trong quá trình vận chuyển hàng hoá để nâng cao năng suất. Chính vì vậy mà xe tự hành được nghiên cứu phát triển và ứng dụng. Mục tiêu của đề tài như sau: phân tích và thiết kế robot tự hành hoạt động trong nhà xưởng.

#### 1.3.2. Nhiệm vụ luận văn

a) Phân tích và lựa chọn phương án

Đây là bước đầu tiên của quá trình thiết kế nhằm đưa ra hướng giải quyết vấn đề:

- Đề xuất phương án khả thi: cơ khí, điện, điều khiển.



## CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN

---

- Đánh giá và lựa chọn phương án thiết kế.

- Tìm hiểu và đánh giá các thiết bị trên thị trường để thực hiện phương án: động cơ, vi điều khiển....

### b) Thiết kế hệ thống cơ khí

Với kết cấu cơ khí đã chọn, tiến hành tính toán thiết kế. Các công việc bao gồm:

- Thiết lập các phương trình động học, quan hệ giữa vận tốc góc của động cơ và vận tốc của robot.

- Tính toán công suất để lựa chọn động cơ.

- Tính toán thiết kế các chi tiết cơ khí của robot.

### c) Thiết kế hệ thống điện – điện tử

Với các phương án điện đã chọn, tiến hành lựa chọn thông số và sử dụng các thiết bị, kết hợp các thiết bị thành một khối hoàn chỉnh. Công việc bao gồm:

- Lựa chọn thông số vi điều khiển, các mô đun công suất và cảm biến.

- Sử dụng được các cảm biến của robot, thiết kế bộ điều khiển sử dụng hồi tiếp vận tốc để điều khiển động cơ.

### d) Xây dựng giải thuật điều khiển

Tiến hành thiết kế các giải thuật điều khiển cho robot với các công việc sau:

- Thiết kế giải thuật tìm đường trên máy tính cho một hệ thống kho hàng cụ thể.

- Thiết kế giải thuật điều khiển robot tự hành để đáp ứng các yêu cầu.

### e) Lập trình

Lập trình trên máy tính và vi điều khiển, các công việc gồm:

- Lập trình giao diện chọn hàng hóa trên máy tính

- Lập trình giải thuật tìm đường đi đến tất cả vị trí hàng hóa.

- Gửi dữ liệu đã xử lý cho robot.

- Lập trình vi điều khiển trên robot

- Nhận dữ liệu từ máy tính, thực hiện di chuyển.
- Gửi về máy tính những thông số về trạng thái của robot.

f) Thực nghiệm và đánh giá kết quả

- Tiến hành thực nghiệm.
- Đánh giá kết quả thực nghiệm, nêu lên những hạn chế của giải thuật và mô hình.

### 1.3.3. Giới hạn và phạm vi luận văn

Robot tự hành trong điều kiện địa hình bằng phẳng, với các thông số sau:

- Khối lượng robot ước tính: 50 (kg).
- Khối lượng vận chuyển: tối đa 50 (kg).
- Vận tốc di chuyển tối đa: 0,5 (m/s).
- Thời gian làm việc ước tính: 8 (giờ).

### 1.4. Tổ chức luận văn

- Chương 2: lựa chọn phương án thiết kế cơ khí cho robot bao gồm cơ cấu lái, bộ truyền, lựa chọn phương án điện – điện tử cho robot bao gồm động cơ, cảm biến dẫn đường, bộ điều khiển.

- Chương 3: phân tích phương trình động học, các biểu thức về vận tốc của robot, tiến hành tính toán và thiết kế cơ khí gồm: tính toán công suất cần thiết cho động cơ, tính toán các trục chịu tải của robot.

- Chương 4: xây dựng hệ thống điện bao gồm: lập sơ đồ kết nối các mô đun trong hệ thống điện, sử dụng và điều khiển các thiết bị trên robot.

- Chương 5: thiết kế giải thuật chương trình tìm đường trên máy tính, chương trình điều khiển trên robot.

- Chương 6: thực nghiệm và đánh giá kết quả.

- Chương 7: tổng kết và nêu phương hướng phát triển đề tài.

### CHƯƠNG 2: LỰA CHỌN PHƯƠNG ÁN THIẾT KẾ ROBOT

Chương này trình bày các phân tích, lựa chọn phương án thiết kế, bao gồm: phương án cơ khí, phương án điện, phương án điều khiển. Mục đích của chương này là đưa ra lựa chọn phù hợp để xây dựng mô hình robot thực nghiệm.

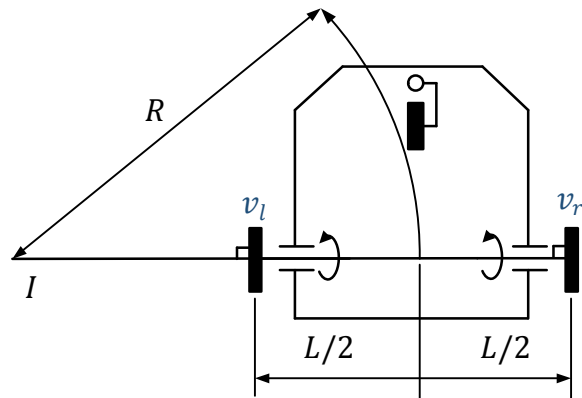
#### 2.1. Phương án cơ khí

##### 2.1.1. Lựa chọn cơ cấu lái

Để có phương án di chuyển phù hợp, ta cần phân tích các dạng cơ cấu lái thường được sử dụng cho robot trong nhà xưởng như sau:

- Cơ cấu lái vi sai (differential drive)

Cơ cấu này điều khiển với hai bánh dẫn động phía sau để đạt được vận tốc và góc xoay mong muốn. Xe cần có bánh tự lựa để giữ cân bằng.



Hình 2.1: Robot Pioneer 3DX [3].

+ Ưu điểm:

- Đơn giản về cơ khí và dễ dàng áp dụng.
- Không cần cơ cấu bẻ lái.
- Bán kính quay xe bằng không.
- Điều khiển đồng thời vận tốc và hướng của xe bằng hai động cơ.

## CHƯƠNG 2: LỰA CHỌN PHƯƠNG ÁN THIẾT KẾ

---

+ Nhược điểm:

- Khó điều khiển chạy thẳng do hai động cơ độc lập.
- Dễ lật đối với xe chỉ có một bánh tự lùa trên địa hình gồ ghề.

• Cơ cấu lái xe ba bánh (tricycle)

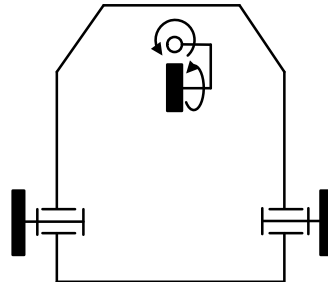
Cơ cấu này sử dụng một động cơ dẫn động cho hai bánh sau (có bộ vi sai) và một động cơ lái bánh trước hoặc bánh trước vừa dẫn động vừa lái.

+ Ưu điểm:

- Điều khiển dẫn động và bẻ lái độc lập.
- Cơ cấu lái đơn giản (nếu bánh dẫn động phía sau).
- Di chuyển qua đoạn đường cong ổn định.

+ Nhược điểm:

- Dẫn động bánh sau cần có bộ vi sai (nếu không có sẽ bị trượt bánh lái).
- Dễ lật trên địa hình gồ ghề.

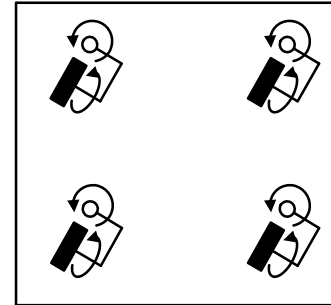
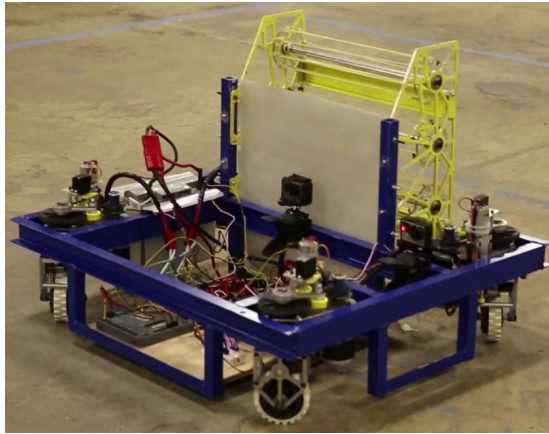


**Hình 2.2:** Robot Athena sử dụng cơ cấu lái xe 3 bánh [7].

## CHƯƠNG 2: LỰA CHỌN PHƯƠNG ÁN THIẾT KẾ

- Cơ cấu lái đồng bộ (Synchronous drive, swerve drive)

Tất cả các bánh xe đều gắn động cơ dẫn động và bẻ lái.



**Hình 2.3:** DEWBOT XIII sử dụng cơ cấu lái đồng bộ 4 bánh [8].

+ Ưu điểm:

- Bán kính quay xe bằng không.
- Di chuyển tốt trên địa hình gồ ghề (đối với xe bốn bánh trở lên).
- Di chuyển về mọi hướng mà không cần quay xe.

+ Nhược điểm:

- Hệ thống cơ khí phức tạp vì mỗi bánh phải có động cơ dẫn động và bẻ lái.
- Điều khiển phức tạp do có nhiều động cơ.

Mô hình robot cần một cơ cấu lái đơn giản, linh hoạt khi xoay trở trong kho hàng, do vậy bán kính góc quay xe bằng không là ưu điểm rất lớn. Điều kiện di chuyển trong nhà xưởng là bằng phẳng, do đó phương án cơ cấu lái vi sai là phù hợp cho mô hình robot. Chọn cơ cấu lái vi sai đơn giản gồm hai bánh dẫn động phía sau và một bánh tự lùa phía trước.

### 2.1.2. Lựa chọn bộ truyền

- Bộ truyền đai

Bộ truyền đai gồm bánh dẫn lắp trên trục động cơ, bánh bị dẫn lắp trên tải. Momen truyền đi nhờ vào lực ma sát sinh ra giữa dây đai và các bánh đai.



**Hình 2.4:** Bộ truyền đai.

+ Ưu điểm:

- Không gây ồn ào, làm việc êm.
- Khi động cơ bị quá tải sẽ không gây thiệt hại do sự trượt của đai.
- Có thể truyền động giữa các trục cách xa nhau.

+ Nhược điểm:

- Tỷ số truyền khi làm việc thay đổi do đai bị trượt.
- Kích thước bộ truyền, cơ cấu căng đai lớn, cồng kềnh.
- Tuổi thọ thấp.

- Bộ truyền đai răng

Bộ truyền đai răng có cơ cấu tương tự bộ truyền đai nhưng momen truyền đi nhờ ăn khớp giữa dây đai và các bánh đai.



**Hình 2.5:** Bộ truyền đai răng.

+ Ưu điểm:

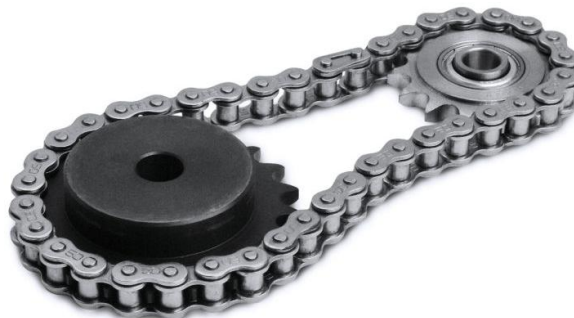
- Kích thước bánh đai nhỏ.
- Không có hiện tượng trượt giữa đai và bánh đai.
- Hiệu suất cao.

+ Nhược điểm:

- Kích thước bộ truyền, cơ cấu căng đai lớn, cồng kềnh.
- Tuổi thọ thấp.

- Bộ truyền xích

Bộ truyền xích bao gồm xích và các đĩa xích dẫn, bị dẫn. Xích truyền chuyển động và tải trọng từ trục dẫn động sang trục bị dẫn nhờ vào sự ăn khớp giữa các mắt xích với răng của đĩa xích.



**Hình 2.6:** Bộ truyền xích.

## CHƯƠNG 2: LỰA CHỌN PHƯƠNG ÁN THIẾT KẾ

---

+ Ưu điểm:

- Không có hiện tượng trượt.
- Lực tác dụng lên trục nhỏ hơn bộ truyền đai.
- Có thể truyền động giữa các trục cách xa nhau.

+ Nhược điểm:

- Kích thước bộ truyền lớn, công kênh, tốc độ chậm.
- Gây ra tiếng ồn, không thích hợp khi làm việc ở vận tốc cao.
- Dễ bị ăn mòn, biến dạng xích, phải thường xuyên thay thế.

- Bộ truyền bánh răng

Bộ truyền bánh răng truyền chuyển động và momen nhờ sự ăn khớp giữa các bánh răng. Trục dẫn động và bị dẫn của bộ truyền có thể song song, giao nhau, chéo nhau hoặc biến chuyển động quay thành chuyển động tịnh tiến.



**Hình 2.7:** Bộ truyền bánh răng.

+ Ưu điểm:

- Kích thước bộ truyền nhỏ, khả năng tải lớn.
- Tỷ số truyền không đổi, hiệu suất cao.
- Vận tốc làm việc và tỉ số truyền lớn nhờ lắp nhiều bánh răng ăn khớp.
- Tuổi thọ và độ bền cao.



+ Nhược điểm:

- Chế tạo tương đối phức tạp, đòi hỏi độ chính xác cao.
- Khi làm việc ở vận tốc lớn gây ra tiếng ồn.

Đối với đề tài này, robot chế tạo có kích thước và khối lượng không quá lớn. Như vậy, phương án sử dụng bộ truyền đai và bộ truyền xích được bỏ qua. Kích thước bộ truyền đai răng nhỏ hơn so với bộ truyền đai thường. Nhưng đai răng có độ bền và tuổi thọ không bằng các bánh răng, hơn nữa bộ truyền bánh răng có các ưu điểm đáp ứng yêu cầu làm việc của robot như hiệu suất, khả năng tải, kích thước. Vì vậy, bộ truyền bánh răng được lựa chọn là phương án cho đề tài này.

### 2.2. Phương án điện – điện tử

#### 2.2.1. Lựa chọn động cơ

Robot tự hành di động nên thông thường sử dụng động cơ dùng dòng điện DC. Một số loại động cơ dùng dòng điện DC như: động cơ bước, động cơ DC, động cơ DC servo. Robot tự hành cần điều khiển vận tốc nên động cơ DC phải có hồi tiếp vận tốc (mặc dù một số động cơ DC điều khiển được chính xác vận tốc, không cần hồi tiếp nhưng giá sẽ rất cao). Do đó chọn động cơ bước hoặc động cơ DC servo là phương án khả thi. Sau đây là những phân tích về ưu, nhược điểm của hai loại động cơ này, từ đó có thể xác định được loại động cơ cần dùng để phù hợp với yêu cầu đặt ra.

- Động cơ bước

Động cơ bước thông thường là loại động cơ điều khiển vòng hở, biến đổi các xung điện rời rạc kế tiếp nhau thành chuyển động quay của rotor. Giá trị góc quay phụ thuộc và số xung điện cấp vào động cơ. Mỗi vòng quay có số bước cố định, thay đổi tốc độ quay bằng cách thay đổi tốc độ tín hiệu điện cấp cho động cơ.



**Hình 2.8:** Động cơ bước.

+ Ưu điểm:

- Không cần hồi tiếp tín hiệu.
- Điều khiển chính xác, không có vọt lố và có momen giữ tại một vị trí.

+ Nhược điểm:

- Dễ bị trượt bước khi mang tải lớn.
- Tốc độ của động cơ không cao, tối đa từ 1000 ÷ 2000 (rpm).
- Gây rung động.

- Động cơ DC servo

Động cơ DC servo là động cơ DC có thêm bộ phận đo thông số đầu ra của động cơ thông thường là góc quay, vận tốc quay. Từ các sai số góc quay, vận tốc quay thì bộ điều khiển sẽ tăng hay giảm dòng cấp cho động cơ để đạt góc quay, vận tốc mong muốn.



**Hình 2.9:** Động cơ DC servo.

+ Ưu điểm:

- Momen khởi động và vận tốc lớn.
- Động cơ chạy êm khi đạt vận tốc cố định.
- Có tín hiệu hồi tiếp nên có thể điều khiển được góc quay và vận tốc.

+ Nhược điểm:

- Khi dừng lại, tùy theo chất lượng của bộ điều khiển ảnh hưởng đến đáp ứng nên có thể gây dao động, rung lắc.
- Tín hiệu hồi tiếp có thể bị nhiễu.

Dưới đây là bảng tổng kết các đặc điểm của hai loại động cơ đã được phân tích.

**Bảng 2.1:** So sánh động cơ bước và động cơ DC servo.

Loại động cơ	Đặc điểm	Điều khiển góc quay, vận tốc	Tốc độ tối đa	Hồi tiếp
Động cơ bước		Có	Thấp	Không
Động cơ DC servo		Có	Cao	Có

## CHƯƠNG 2: LỰA CHỌN PHƯƠNG ÁN THIẾT KẾ

---

Dựa vào phân tích và điều kiện hoạt động của robot, động cơ DC servo sẽ là phương án được lựa chọn để thiết kế robot.

Từ những so sánh trên, lựa chọn phương án sử dụng động cơ DC servo và bộ truyền bánh răng. Kết hợp với những yêu cầu thiết kế robot như linh hoạt, nhỏ gọn nên chọn loại động cơ DC servo có tích hợp sẵn hộp giảm tốc.

### 2.2.2. Lựa chọn phương pháp dẫn đường

Từ chương tổng quan chúng ta có thể thấy được các loại đường dẫn cố định phù hợp cho đề tài này. Sau đây sẽ phân tích đặc điểm các loại đường dẫn thông dụng là: màu sắc, từ trường, dây cảm ứng điện.

- Đường dẫn màu: Dán đường dẫn có màu sắc tương phản với mặt sàn, robot sử dụng các loại cảm biến quang học để nhận biết. Đường dẫn màu có các ưu điểm là việc lắp đặt, thay đổi đường dẫn màu không ảnh hưởng đến mặt sàn. Tuy nhiên, các loại cảm biến quang dễ bị nhiễu bởi ánh sáng đèn điện, mặt trời. Bề mặt đường dẫn dễ bám bẩn, mài mòn gây ra sai lệch khi robot di chuyển.



**Hình 2.10:** Đường dẫn màu đen trên nền trắng.

- Đường dẫn từ trường: Có 2 cách lắp đặt đường dẫn từ trường là dán trực tiếp lên mặt sàn hoặc thi công âm sàn. Đường dẫn từ trường âm sàn cần máy móc để lắp đặt. Cách dán băng từ lên mặt sàn có ưu điểm là dễ lắp đặt, điều chỉnh đường dẫn. Tuy nhiên, tuổi thọ đường dẫn giảm khi có nhiều phương tiện hoạt động với tải trọng

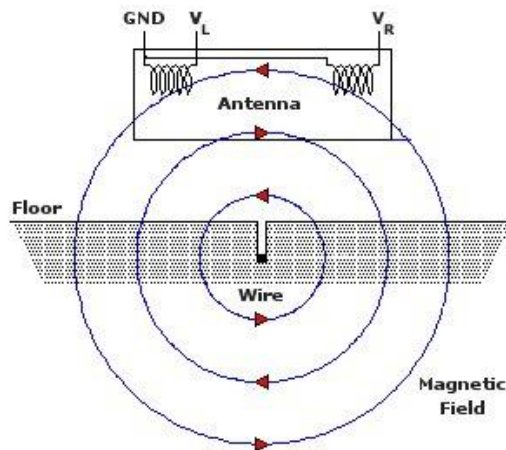
## CHƯƠNG 2: LỰA CHỌN PHƯƠNG ÁN THIẾT KẾ

nặng. Ưu điểm của đường dẫn từ là không ảnh hưởng bởi ánh sáng, bụi bẩn. Nhược điểm của đường dẫn là nhiễu do từ trường.



**Hình 2.11:** Đường dẫn từ và cảm biến từ.

- Đường dẫn cảm ứng điện: Sử dụng dòng điện thay đổi để tạo ra từ trường quanh dây dẫn. Đường dẫn được chôn dưới bề mặt sàn, robot được lắp Anten gồm các cuộn dây quấn để nhận biết đường đi. Ưu điểm của loại này là nhiều đường dẫn có thể phân biệt bằng tần số khác nhau. Nhược điểm của đường dẫn là: phải có bộ nguồn điều khiển dòng điện qua dây dẫn, khi lắp đặt cần cắt xuống bề mặt sàn dẫn đến chi phí cao. Ngoài ra, những thiết bị dẫn đường này rất hiếm trên thị trường trong nước.



**Hình 2.12:** Nguyên lý dẫn đường bằng cảm ứng điện.



**Hình 2.13:** Anten dò đường dẫn cảm ứng điện.

Từ những phân tích trên và điều kiện thiết kế hệ thống robot cũng như giá thành, đường dẫn từ trường được chọn cho đề tài này.

### 2.2.3. Lựa chọn phương án bộ điều khiển

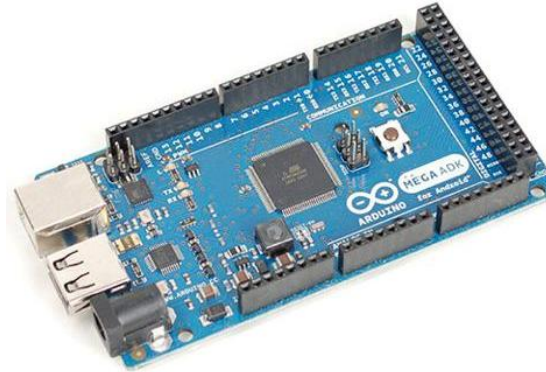
Có ba phương án điều khiển có thể sử dụng cho robot đó là:

- Sử dụng PLC: Bộ điều khiển PLC được sử dụng nhiều trong công nghiệp bởi độ bền và tính tin cậy cao. Các thành phần trong hệ thống PLC đã được chuẩn hóa và dễ dàng tìm mua trên thị trường. Tuy vậy, hệ thống điều khiển dùng PLC có kích thước khá lớn và giá thành cao.



**Hình 2.14:** PLC Mitsubishi.

- Sử dụng vi điều khiển: Phương án này rất phổ biến cho cách dạng robot di chuyển. Ưu điểm là kích thước nhỏ gọn, giá thành rẻ. Tuy nhiên chỉ sử dụng được cho những hệ thống vừa và nhỏ, thời gian hoạt động không dài.



**Hình 2.15:** Vi điều khiển Arduino Mega 2560.

Khi hoạt động thực tế cần sử dụng bộ điều khiển có độ tin cậy cao là PLC. Tuy nhiên, phương án lựa chọn là vi điều khiển giúp tiết kiệm chi phí đối với những mô hình thử nghiệm.

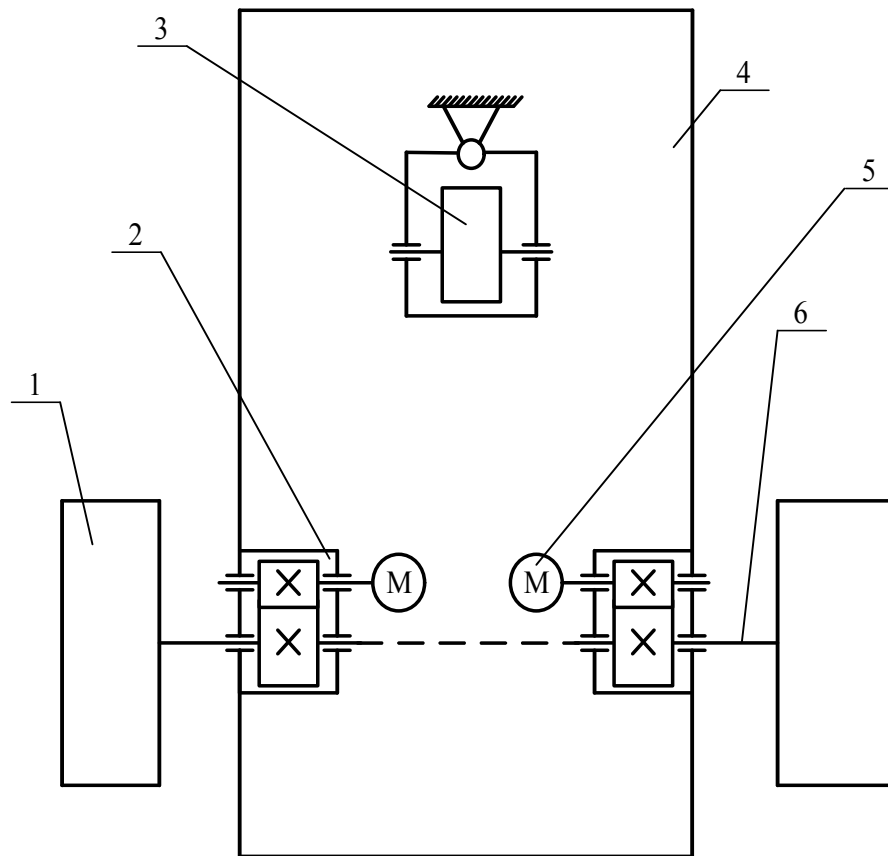
Chương này đã hoàn thành việc phân tích và lựa chọn phương án cơ cấu cơ khí cũng như phương án điện – điện tử cho robot.

### CHƯƠNG 3: THIẾT KẾ HỆ THỐNG CƠ KHÍ

Nội dung chương này gồm: phân tích động học cho robot, tính toán lựa chọn động cơ, tính toán và thiết kế trục bánh dẫn động. Cấu hình được chọn của robot là cơ cấu lái vi sai, sử dụng hai bánh sau dẫn động phía sau và một bánh tự lựa phía trước.

#### 3.1. Yêu cầu thiết kế

Dựa trên các phương án đã lựa chọn sơ đồ cho mô hình cơ khí được thiết kế như sau:



1. Bánh xe dẫn động

4. Khung robot

2. Cơ cấu truyền động

5. Động cơ DC encoder

3. Bánh xe tự lựa

6. Trục dẫn động

**Hình 3.1:** Sơ đồ nguyên lý mô hình xe tự hành.



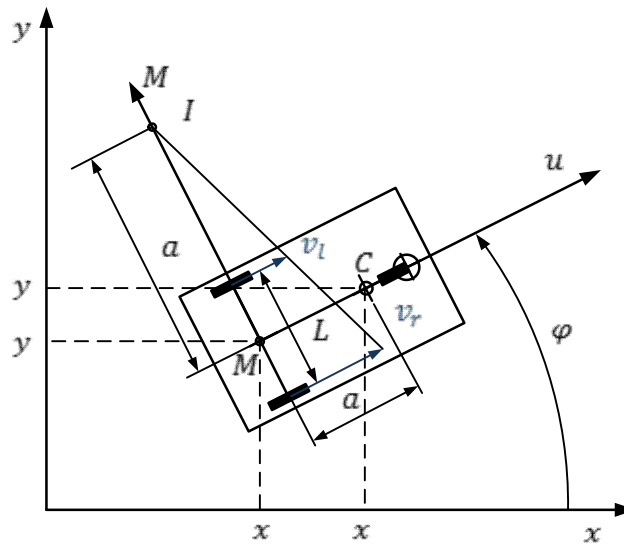
### CHƯƠNG 3: THIẾT KẾ HỆ THỐNG CƠ KHÍ

Các thông số của robot cho trước:

- $r$  là bán kính bánh xe dẫn động.
- $d$  là khoảng cách trung điểm trục xe đến điểm bám line.
- $L$  là khoảng cách giữa hai bánh chủ động .

#### 3.2. Phân tích mô hình động học của robot

Để bộ điều khiển bám theo một điểm mong muốn, hệ tọa độ của xe được xác định như hình bên dưới. Chọn hệ trục tọa độ tuyệt đối là  $Oxy$ , hệ trục tọa độ tương đối là  $Muv$  gắn với xe.



**Hình 3.2:** Hệ trục tọa độ cho phương trình chuyển động của hệ thống với.

Với:

- $v_l, v_r$  là vận tốc dài tức thời bánh trái và bánh phải.
- $d$  là khoảng cách trung điểm trục xe đến điểm bám line  $C$ .
- $a$  là khoảng cách trung điểm trục xe với tâm vận tốc tức thời  $I$ .
- $M$  là trung điểm của tâm 2 bánh xe.
- $\varphi$  là hướng của xe tại điểm bám line  $C$ .
- $L$  là khoảng cách giữa 2 bánh chủ động.

### CHƯƠNG 3: THIẾT KẾ HỆ THỐNG CƠ KHÍ

---

Tọa độ tâm vận tốc tức thời  $I$  trên hệ tọa độ  $Oxy$  là:

$$\begin{cases} x_I = x - d \sin \varphi \\ y_I = y + d \cos \varphi \end{cases} \quad (3.1)$$

Với bán kính quay tức thời là:

$$a = \frac{L(v_r + v_l)}{2(v_r - v_l)} = \frac{L(\omega_r + \omega_l)}{2(\omega_r - \omega_l)} \quad (3.2)$$

Phương trình động học của xe tại điểm  $M$  là:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_M \\ \dot{y}_M \\ \dot{\varphi}_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 \\ \sin \varphi & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Phương trình động học của xe quy về điểm bám line C là:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_C \\ \dot{y}_C \\ \dot{\varphi}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -d \times \sin \varphi \\ \sin \varphi & d \times \cos \varphi \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Trong đó:  $v, \omega$  là vận tốc dài, vận tốc góc của xe được tính như sau:

$$v = \frac{v_r + v_l}{2} = \frac{(\omega_r + \omega_l)r}{2} \quad (3.5)$$

$$\omega = \frac{v_r - v_l}{L} = \frac{(\omega_r - \omega_l)r}{L} \quad (3.6)$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{r}{2} & \frac{r}{2} \\ \frac{r}{L} & -\frac{r}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_r \\ \omega_l \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Với:

- $r$  là bán kính bánh xe.
- $\omega_r, \omega_l$  là tốc độ quay của bánh phải và bánh trái.

### CHƯƠNG 3: THIẾT KẾ HỆ THỐNG CƠ KHÍ

Phương trình động học của điểm tham chiếu R nằm trên đường line là:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_R \\ \dot{y}_R \\ \dot{\varphi}_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\varphi_R & 0 \\ \sin\varphi_R & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_R \\ \omega_R \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Với  $v_R, \omega_R$  là vận tốc dài, vận tốc góc mong muốn thiết kế cho xe.

Bộ điều khiển được thiết kế để đưa điểm bám đường C đến vị trí mong muốn R với vận tốc mong muốn  $v_R$ . Để điều khiển được, ta cần xác định các sai số bám line trong hệ tọa độ  $Muv$  như sau:

$$\begin{bmatrix} x_e \\ y_e \\ \varphi_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi & 0 \\ -\sin\varphi & \cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_R - x_C \\ y_R - y_C \\ \varphi_R - \varphi_C \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_e = (x_R - x_C)\cos\varphi + (y_R - y_C)\sin\varphi \\ y_e = (x_R - x_C)(-\sin\varphi) + (y_R - y_C)\cos\varphi \\ \varphi_e = \varphi_R - \varphi_C \end{cases} \quad (3.10)$$

Sau khi có giá trị sai số vị trí, ta đạo hàm chúng để có được sai số về vận tốc như sau:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_e \\ \dot{y}_e \\ \dot{\varphi}_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_R \cos\varphi_e \\ v_R \sin\varphi_e \\ \omega_R \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & y_e \\ 0 & -d - x_e \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

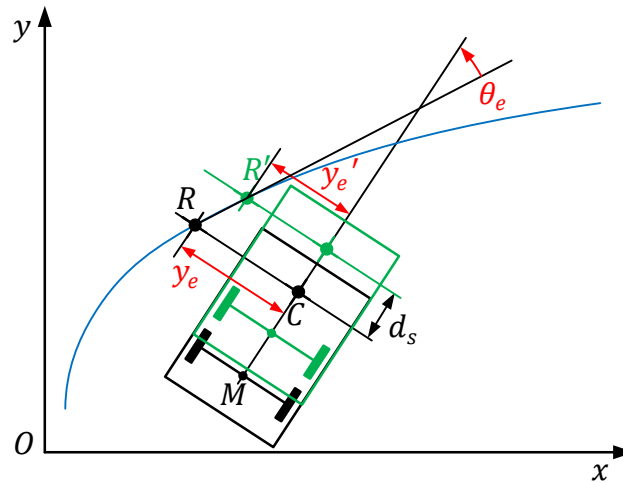
Thay (3.7) vào (3.11) ta được sai số về vận tốc:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_e \\ \dot{y}_e \\ \dot{\varphi}_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_R \cos\varphi_e \\ v_R \sin\varphi_e \\ \omega_R \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{r}{2} + \frac{y_e r}{L} & -\frac{r}{2} - \frac{y_e r}{L} \\ -\frac{(d+x_e)r}{L} & \frac{(d+x_e)r}{L} \\ -\frac{r^2}{L^2} & \frac{r^2}{L^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_r \\ \omega_l \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

Mục đích của giải thuật điều khiển là làm cho điểm C bám theo điểm tham chiếu R. Để làm điều này ta phải xác định các sai số  $x_e, y_e, \theta_e$ . Trên thực tế, vận tốc thực của xe xấp xỉ với vận tốc mong muốn nên sai số  $x_e = 0$ , sai số  $y_e$  được đo từ cảm biến và

ta cần tính toán sai số  $\theta_e$ . Để tính sai số này ta cho xe di chuyển theo phương trước đó của xe một đoạn  $d_s$  sao cho  $d_s$  đủ nhỏ để khi nối hai điểm  $RR'$  ta được tiếp tuyến đường cong. Khi đó, ta có công thức xác định  $\theta_e$ :

$$\theta_e = \arctan\left(\frac{y_e - y_e'}{d_s}\right) = \arctan\left(\frac{\Delta y_e}{d_s}\right)$$



**Hình 3.3:** Xe di chuyển đoạn  $d_s$  trong thời gian lấy mẫu.

#### 3.3. Tính toán lựa chọn công suất động cơ

Địa hình làm việc của robot là địa hình phẳng, giả thiết bỏ qua sự biến dạng của bánh xe, bỏ qua lực cản của không khí trong quá trình robot di chuyển.

Các thông số của robot:

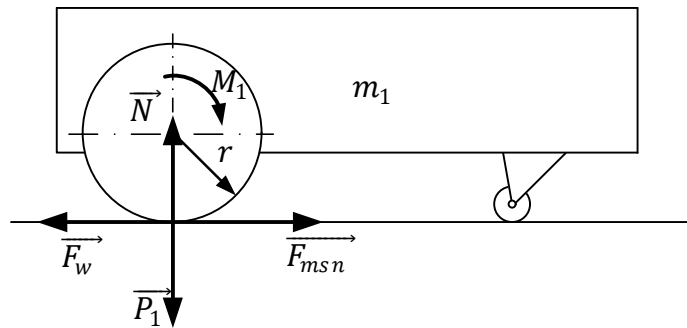
- Khối lượng robot ước tính:  $M = 50$  (kg).
- Khối lượng hàng tối đa: 50 (kg).
- Chọn bánh xe có đường kính:  $2r = 100$  (mm).
- Tốc độ tối đa là: 0,5 (m/s).



**Hình 3.4:** Bánh xe dẫn động.

Thông số cơ bản của bánh xe là: đường kính là 100 (mm), bề rộng của bánh xe là 40 (mm), tải trọng tối đa 350 (kg).

Phân tích lực tác dụng lên một bánh xe chủ động gồm 4 lực tác dụng như sau:



**Hình 3.5:** Sơ đồ phân tích lực.

Với:

- $\overrightarrow{F_{msn}}$  là lực ma sát nghỉ giữa bánh xe và bề mặt sàn bê tông.
- $\overrightarrow{F_w}$  là lực kéo sinh ra do momen của động cơ.
- $\vec{N}$  là phản lực của mặt sàn.
- $\vec{P_1}$  là một nửa trọng lực của xe,  $P_1 = P/2$ .
- $\vec{M_1}$  là momen xoắn của động cơ.
- $m_1$  là một nửa tổng trọng lượng của robot và hàng,  $m_1 = m/2$ .

### CHƯƠNG 3: THIẾT KẾ HỆ THỐNG CƠ KHÍ

---

Chọn phương án chuyển động của robot là chuyển động thẳng. Hai bánh dẫn động di chuyển cùng tốc độ về phía trước với vận tốc  $v = 0,5$  (m/s). Tốc độ quay của bánh xe là:

$$n = \frac{60.1000.v}{2\pi r} = \frac{60.1000.0,5}{\pi.100} = 95,5 \text{ (rpm)} \quad (3.13)$$

Phương trình cân bằng lực:

$$\overrightarrow{F_{msn}} + \overrightarrow{F_w} + \overrightarrow{N} + \overrightarrow{P_1} = m_1 \vec{a}$$

Với  $a$  là gia tốc của xe.

- Khi xe chuyển động đều

Vận tốc không đổi là  $v = 0,5$  (m/s), nên gia tốc  $a = 0$  (m/s<sup>2</sup>). Khi đó:

$$N = \frac{P_1}{2} = \frac{m_1 g}{2} = \frac{50.9,8}{2} = 245 \text{ (N)}$$

Lực kéo sinh ra do momen của động cơ là:

$$F_w = F_{msn} = \mu_l \cdot N = 0,015 \times 245 = 3,7 \text{ (N)}$$

Với: hệ số ma sát lăn  $\mu_l = 0,015$  khi di chuyển trên sàn bê tông.

Công suất cần thiết để xe di chuyển ổn định với vận tốc 0,5 (m/s) là:

$$P_1 = F_w \cdot v = 3,7 \times 0,5 = 1,85 \text{ (W)} \quad (3.14)$$

- Khi xe tăng tốc

Xe tăng tốc với gia tốc  $a = 0,5$  (m/s<sup>2</sup>) để hàng không rơi.

Lực kéo sinh ra do momen của động cơ là:

$$F_w = F_{msn} + m_1 \cdot a = \mu_n \cdot N + m_1 \cdot a = 1 \times 245 + 50 \times 0,5 = 270 \text{ (N)}$$

Với hệ số ma sát tĩnh là  $\mu_n = 1$ .

Momen xoắn cần thiết để xe tăng tốc là:

$$M_1 = F_w \cdot r = 270 \times 0,05 = 13,5 \text{ (Nm)}$$

### CHƯƠNG 3: THIẾT KẾ HỆ THỐNG CƠ KHÍ

---

Công suất cần thiết để xe tăng tốc lên 0,5 (m/s) là:

$$P_1 = F_w \cdot v = 270 \times 0,5 = 135 \text{ (W)} \quad (3.15)$$

Từ kết quả (3.14) và (3.15) suy ra công suất động cơ cần thiết là 135 (W) và tốc độ vòng yêu cầu là 95,5 (rpm). Chọn động cơ 57BL03A DC servo, sử dụng điện áp 12V có công suất 135 (W) có hộp giảm tốc, tốc độ không tải là 95 (rpm).



**Hình 3.6:** Động cơ 57BL03A DC servo có giảm tốc.

#### 3.4. Tính toán thiết kế trục dẫn động

##### 3.4.1. Phân tích lực và chọn đường kính trục dẫn động

Các thông số ban đầu như sau:

- Momen xoắn là:  $M_1 = 13,5 \text{ (Nm)}$ .
- Số vòng quay là:  $n = 95,5 \text{ (rpm)}$ .
- Đường kính vòng lăn bánh răng bị động là:  $d_w = 30 \text{ (mm)}$ .

Phản lực từ bánh xe là:  $F_n = m_1 g = 50 \times 9,8 = 490 \text{ (N)}$

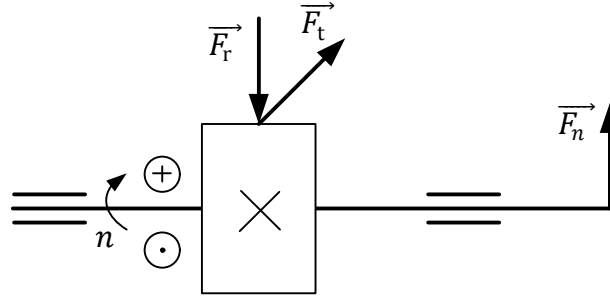
Lực vòng tác dụng lên bánh răng là:

$$F_t = \frac{M_1}{d_w} = 450 \text{ (N)}$$

Lực hướng tâm tác dụng lên bánh răng là:

$$F_r = \frac{F_t \tan \alpha_{nw}}{\cos \beta} = \frac{450 \cdot \tan(20^\circ)}{\cos(18,19^\circ)} = 172,4 \text{ (N)}$$

Sơ đồ phân tích lực:



**Hình 3.7:** Sơ đồ phân tích lực trục dẫn động.

Phương trình cân bằng lực và momen là:

$$\sum F_x = 0 \Leftrightarrow R_{Ax} - F_t + R_{Cx} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \Leftrightarrow -R_{Ay} + R_{Cy} + F_r - F_n = 0$$

$$\sum M_{A/x} = 0 \Leftrightarrow F_r \cdot 12 - R_{Cy} \cdot 24 + F_n \cdot 38 = 0$$

$$\sum M_{A/y} = 0 \Leftrightarrow F_t \cdot 12 - R_{Cx} \cdot 24 = 0$$

Suy ra phản lực tại các gối tựa là:

$$R_{Ax} = 225 \text{ (N)}$$

$$R_{Ay} = 371,4 \text{ (N)}$$

$$R_{Cx} = 225 \text{ (N)}$$

$$R_{Cy} = 689 \text{ (N)}$$

Moment tương đương tại các tiết diện là:

$$M_0 = \sqrt{M_{Ax}^2 + M_{Ay}^2 + 0,75T_A^2} = 0 \text{ (Nmm)}$$



$$M_1 = \sqrt{M_{Bx}^2 + M_{By}^2 + 0,75T_B^2} = 12800 \text{ (Nmm)}$$

$$M_2 = \sqrt{M_{Cx}^2 + M_{Cy}^2 + 0,75T_C^2} = 13555 \text{ (Nmm)}$$

$$M_3 = \sqrt{M_{Dx}^2 + M_{Dy}^2 + 0,75T_D^2} = 11691 \text{ (Nmm)}$$

Tính toán đường kính các đoạn trục tại các tiết diện với  $[\sigma] = 63 \text{ (MPa)}$  là ứng suất cho phép của thép CT6 theo bảng 10.5 [6].

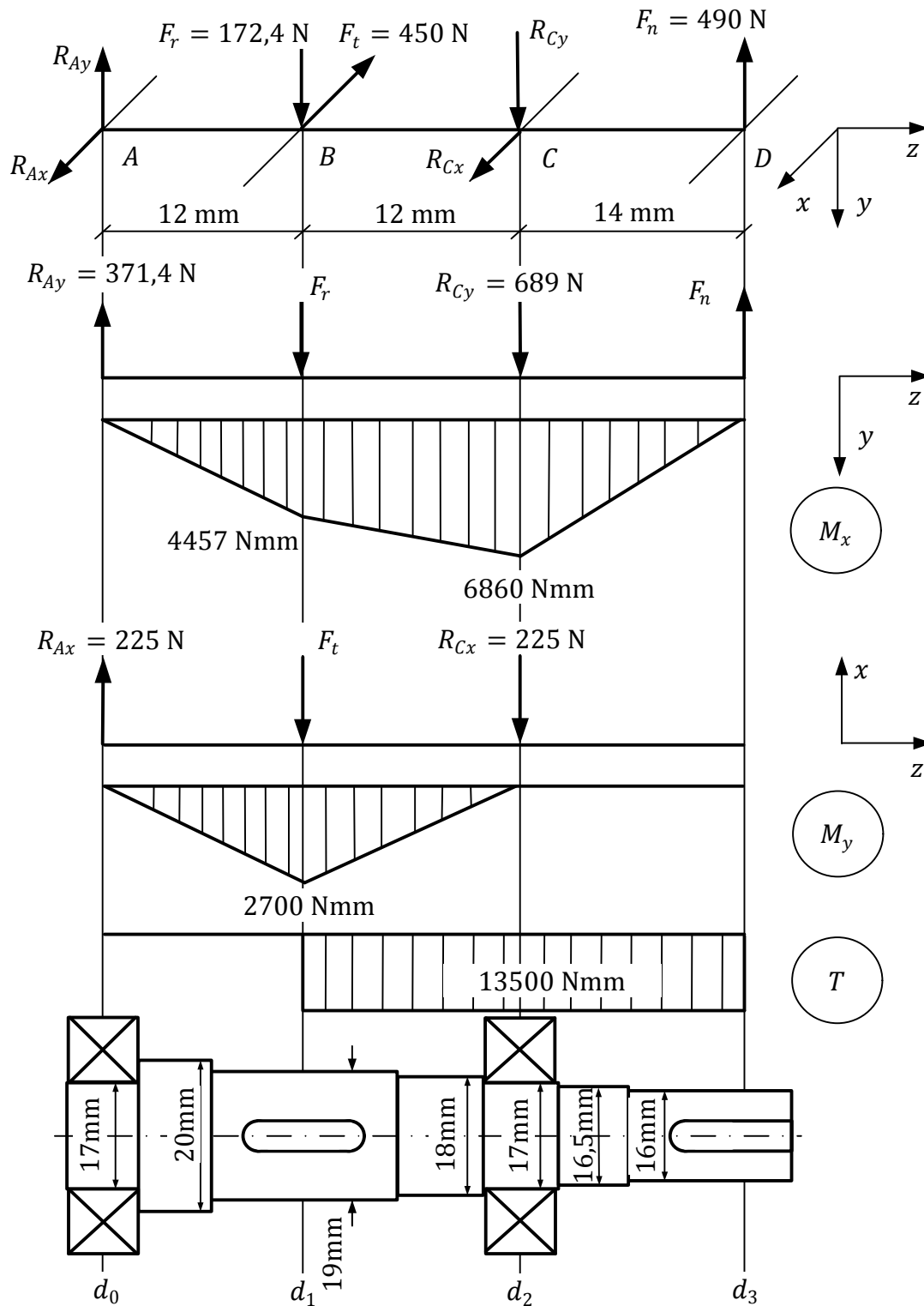
$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{M_0}{0,1[\sigma]}} = 0 \text{ (mm)}$$

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{M_1}{0,1[\sigma]}} = 12,7 \text{ (mm)}$$

$$d_2 = \sqrt[3]{\frac{M_3}{0,1[\sigma]}} = 12,9 \text{ (mm)}$$

$$d_3 = \sqrt[3]{\frac{M_3}{0,1[\sigma]}} = 12,3 \text{ (mm)}$$

Chọn đường kính trục tại vị trí lắp ổ lăn là:  $d_0 = d_2 = 17 \text{ (mm)}$  theo kích thước vòng trong ổ lăn tiêu chuẩn bảng 6.5 [5]. Đường kính tại vị trí lắp bánh răng chọn  $d_1 = 18 \text{ (mm)}$ . Vị trí lắp với bánh xe chọn đường kính là  $d_3 = 16 \text{ (mm)}$ .



Hình 3.8: Biểu đồ momen trục dẫn động.

#### 3.4.2. Chọn và kiểm nghiệm then

Chọn mối ghép then bằng với vật liệu là thép C45.

Dựa vào bảng 9.1a [6], chọn kích thước then  $b \times h$  theo tiết diện lớn nhất của trục. Chọn chiều dài  $l_t$  của then theo tiêu chuẩn, nhỏ hơn chiều dài mayeu  $l_m$  từ  $5 \div 10 \text{ mm}$ . Kiểm nghiệm then theo độ bền dập và độ bền cắt.

$$\sigma_d = \frac{2T}{dl_t(h - t_1)} \leq [\sigma_d] = 100 \text{ (MPa)}$$

$$\tau_c = \frac{2T}{dl_{lv}b} \leq [\tau_c] = 40 \div 60 \text{ (MPa)}$$

$l_{lv} = l_t - b$  là chiều dài làm việc của then bằng 2 đầu tròn.

Đường kính d (mm)	Mặt cắt	$l_m$ (mm)	$l_t$ (mm)	$l_{lv}$ (mm)	$b$ (mm)	$h$ (mm)	$t_1$ (mm)	$\sigma_d$ (MPa)	$\tau_c$ (MPa)	$T$ (Nmm)
19	$d_1$	12	10	4	6	6	3,5	57	59	13500
16	$d_3$	35	30	25	5	5	3	28	13,5	13500

Các mặt cắt trên có độ bền cắt  $\tau_c$  và độ bền dập  $\sigma_d$  nhỏ hơn độ bền giới hạn của then. Do đó hai then đều thỏa độ bền cắt và độ bền dập.

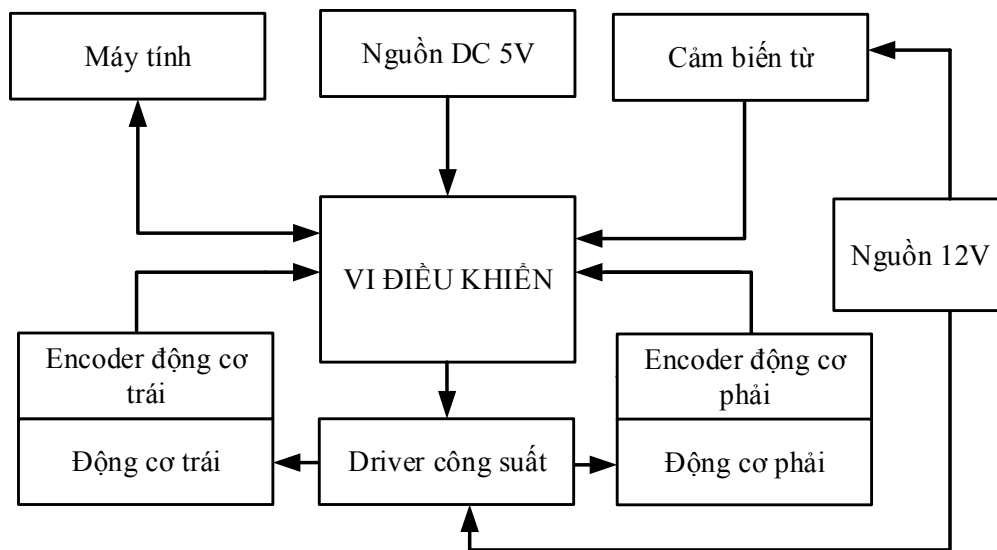
Chương này đã hoàn thành phân tích, tính toán thiết kế cơ khí cho mô hình robot thử nghiệm.

### CHƯƠNG 4: THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỆN – ĐIỆN TỬ

Chương này phân tích phân tích và lựa chọn thông số cho các thiết bị điện, thử nghiệm và điều khiển các thiết bị. Mục đích của chương này đưa ra các thông số, kết quả đo đạc và giải thuật điều khiển thiết bị điện cho robot.

#### 4.1. Sơ đồ khối chung của hệ thống điện

Mô hình robot gồm bộ điều khiển trung tâm là vi điều khiển. Mỗi động cơ có gắn encoder hồi tiếp góc quay và vận tốc về vi điều khiển. Động cơ được điều khiển qua driver công suất bằng xung PWM cấp từ vi điều khiển. Cảm biến từ đo giá trị độ lệch của xe và hồi tiếp về vi điều khiển. Tín hiệu trả về của cảm biến từ là tín hiệu analog. Máy tính truyền lệnh xuống vi điều khiển qua cổng COM của mô đun bluetooth. Vi điều khiển nhận chỉ dẫn đường đi qua kết nối với mô đun bluetooth.



**Hình 4.1:** Sơ đồ khối hệ thống điều khiển.

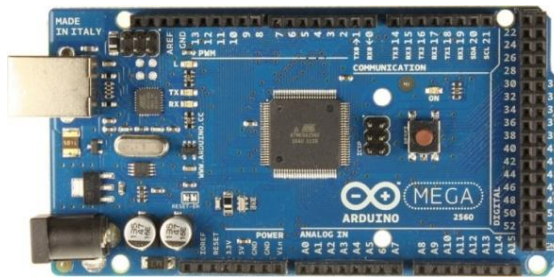
#### 4.2. Lựa chọn thông số các thiết bị

##### 4.2.1. Vi điều khiển

Arduino là loại vi điều khiển phổ biến trên thị trường do có những ưu điểm như: dễ sử dụng, có nhiều nguồn tài liệu hỗ trợ. Phần mềm biên dịch Arduino IDE sử dụng ngôn ngữ C++. Do đó sử dụng Arduino sẽ thuận lợi khi lập trình.

Board mạch được sử dụng ở đây là Arduino Mega 2560 có các thông số sau:

- Chip vi xử lý: ATmega2560.
- Xung clock: 16 (Mhz).
- Điện áp đầu vào:  $6 \div 12$  (V).
- Điện áp làm việc: 5 (V).
- Số chân digital: 54 (chân), 15 chân có thể xuất xung PWM.
- Số chân analog: 16 (chân).
- Các bộ giao tiếp: 4 bộ UART, 1 bộ SPI, 1 bộ I2C.
- Có 6 chân ngắt ngoài là: 2, 3, 18, 19, 20, 21.



**Hình 4.2:** Vi điều khiển Arduino Mega 2560.

### 4.2.2. Mạch công suất động cơ

Các yêu cầu của mạch công suất:

- Dòng ngõ ra đủ đáp ứng cho động cơ.
- Điều khiển được bằng xung PWM.
- Hoạt động ổn định trong thời gian dài.
- Có thể lắp đặt trên robot thường xuyên di chuyển.

Thông số động cơ 57BL03A DC servo như sau:

- Điện áp hoạt động 12 (V).
- Dòng không tải: 1,5 (A).
- Dòng định mức: 8.5 (A).

- Công suất 135 (W).
- Encoder có hai kênh A, B.

Từ những thông số động cơ, có thể chọn mạch Hbr-M công suất 200 (W) có thông số như sau:

- Điện áp hoạt động:  $10 \div 28$  (VDC).
- Dòng điện liên tục lên đến: 10 (A).
- Điện áp tín hiệu điều khiển:  $3,3 \div 5$  (V).
- Tần số PWM tối đa: 100 (KHz).
- Có bảo vệ quá nhiệt.



**Hình 4.3:** Mạch công suất động cơ DC Hbr-M công suất 200(W).

Các chân của mạch công suất là:

- $P_0$ , GND: nguồn cấp cho phần công suất.
- VCC, GND: nguồn điều khiển.
- PWM: cấp xung PWM cho mạch cầu H.
- DIR: đảo chiều động cơ.
- R, L: cấp vào động cơ.

### 4.3. Sử dụng cảm biến từ

#### 4.3.1. Các thông số của cảm biến:

Cảm biến từ trường dẫn đường được chọn là module MACOME GS-2744B. Điện áp hoạt động từ  $10,8 \div 30$  (VDC) và đường dẫn từ bề rộng 25 (mm). Cảm biến từ có các thông số như sau:

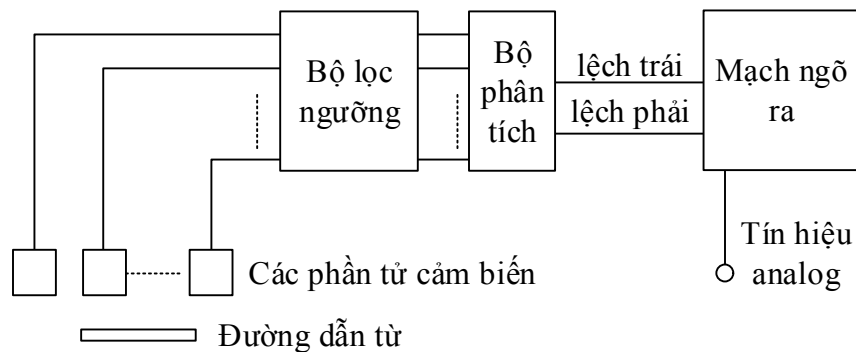
- Điện áp hoạt động: từ  $10,8 \div 30$  (VDC).
- Dòng tiêu thụ: 30 (mA).
- Điện áp đầu ra: analog  $2 \div 8$  (V), trả về 5 (V) khi không lệch tâm line.
- Khoảng nhận biết: 150 (mm).
- Chiều cao lắp đặt: từ  $5 \div 40$  (mm).



**Hình 4.4:** Cảm biến từ trường MACOME GS-2744B.

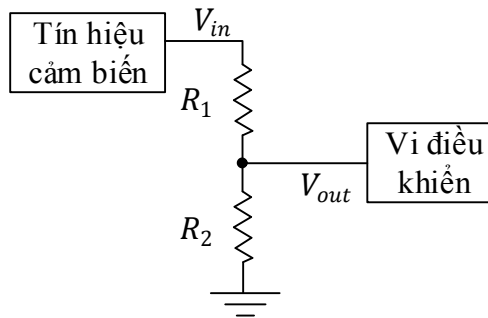
- Sử dụng vi điều khiển đọc cảm biến từ

Sơ đồ nguyên lý hoạt động của cảm biến từ GS-2744B như sau:



**Hình 4.5:** Sơ đồ nguyên lý hoạt động cảm biến từ.

Tín hiệu ngõ ra của cảm biến từ  $2 \div 8$  (V), tuy nhiên vi điều khiển chỉ đọc được khoản giá trị từ  $0 \div 5$  (V). Do vậy cần sử dụng mạch chuyển đổi giá trị điện cho áp phù hợp với vi điều khiển. Theo datasheet của cảm biến từ GS-2744B, đầu ra analog có thể chịu tải với điện trở tải nhỏ nhất là 2 (k $\Omega$ ). Như vậy, có thể sử dụng mạch phân áp để đọc được giá trị bằng vi điều khiển. Các thông số của điện trở là:  $R_1 = 1,2$  (k $\Omega$ ) và  $R_2 = 2$  (k $\Omega$ ).



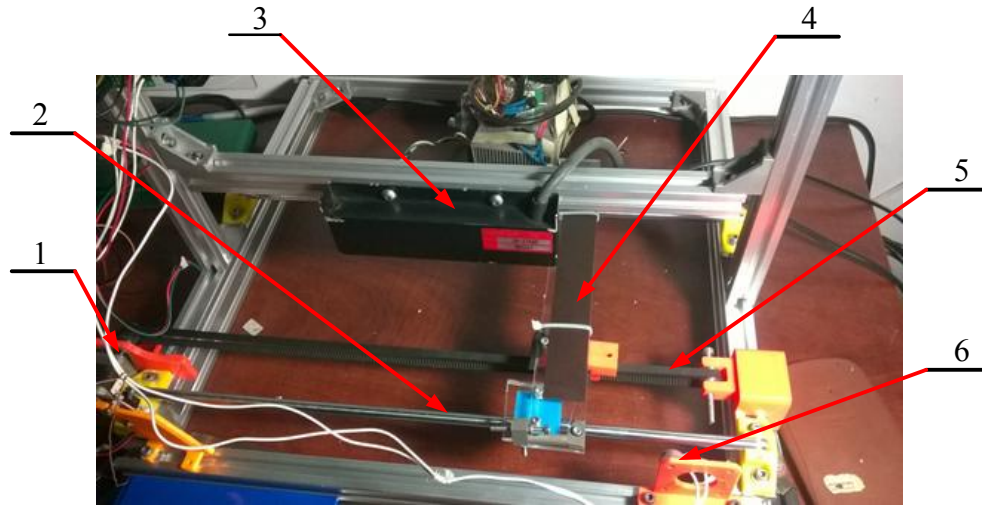
**Hình 4.6:** Nguyên lý mạch phân áp.

Tín hiệu qua cầu chia áp cần xác định giá trị điện áp tương ứng với độ lệch thực của cảm biến. Có thể sử dụng công thức tính điện áp. Tuy nhiên, khi mắc điện trở tại đầu ra, tín hiệu có thể suy giảm và giá trị đọc được không chính xác. Do đó, tiến hành thí nghiệm để có kết quả chính xác hơn.

### 1.1.1. Mô hình thí nghiệm cảm biến từ

Sử dụng mô hình cho đường dẫn từ tịnh tiến từ cạnh trái đến cạnh phải của cảm biến. Vi điều khiển đọc giá trị cảm biến sau mỗi lần dịch chuyển 0,1 (mm). Trước khi đọc giá trị cảm biến, cho dừng dịch chuyển một giây để không còn rung lắc. Các giá trị điện áp của vị trí cần xác định là: lệch phải lớn nhất, lệch trái lớn nhất, không lệch.





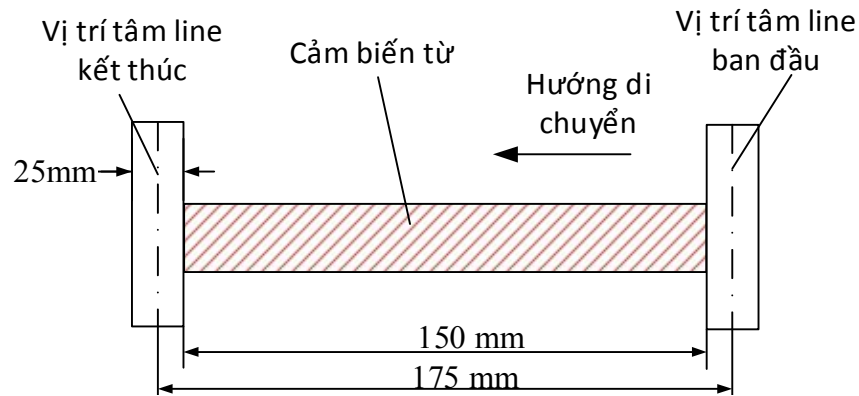
- |                          |                         |
|--------------------------|-------------------------|
| 1. Động cơ bước.         | 2. Cơ cấu tịnh tiến.    |
| 3. Cảm biến từ trường.   | 4. Đường dẫn từ.        |
| 5. Đai răng truyền động. | 6. Công tắc hành trình. |

**Hình 4.7:** Mô hình thí nghiệm cảm biến.

Các bước tiến hành thí nghiệm là:

- Gá đường dẫn từ lên bề mặt cơ cấu tịnh tiến.
- Cho đường dẫn chạy đến chạm công tắc hành trình. Chọn vị trí này là vị trí ban đầu.
- Gá cảm biến từ song song với mặt phẳng tịnh tiến. Chiều cao so với mặt tịnh tiến là 20 (mm), trong khoảng hoạt động của cảm biến từ là  $5 \div 40$  (mm).
- Di chuyển cảm biến đến sát cạnh bên đường dẫn nhưng vẫn nằm ngoài đường dẫn. Dùng ê-ke canh cho cạnh cảm biến chạm cạnh đường dẫn và gá chặt cảm biến.
- Dùng vi điều khiển để đọc giá trị đồng thời điều khiển động cơ bước dịch chuyển. Khoảng cách di chuyển là 175 (mm) rồi dừng lại.
- Xử lý tín hiệu thu được: Đọc toàn bộ giá trị thu được. Các giá trị đọc được từ  $0 \div 12,5$ (mm) và từ  $162,5 \div 175$  (mm) bị loại, thu kết quả thí nghiệm trong khoảng  $12,5 \div 162,5$ (mm).

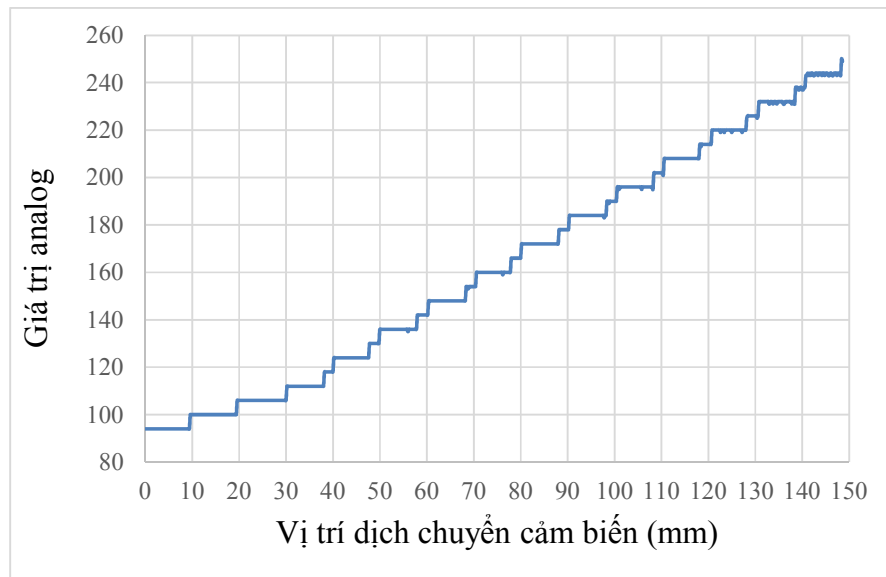
Giải thích cách lấy giá trị cảm biến: Tâm đường dẫn là tâm ảo, nên chỉ có thể suy ra được từ một cạnh đường dẫn. Theo cách gá cảm biến, ban đầu tâm đường dẫn tại vị trí  $-12,5$  (mm). Có thể nhìn thấy rõ theo sơ đồ sau:



**Hình 4.8:** Sơ đồ mô hình thí nghiệm cảm biến.

### 4.3.2. Kết quả thí nghiệm cảm biến

Kết quả thu được từ mô hình thực nghiệm là giá trị điện áp của cảm biến ứng với mỗi vị trí từ phải qua trái.



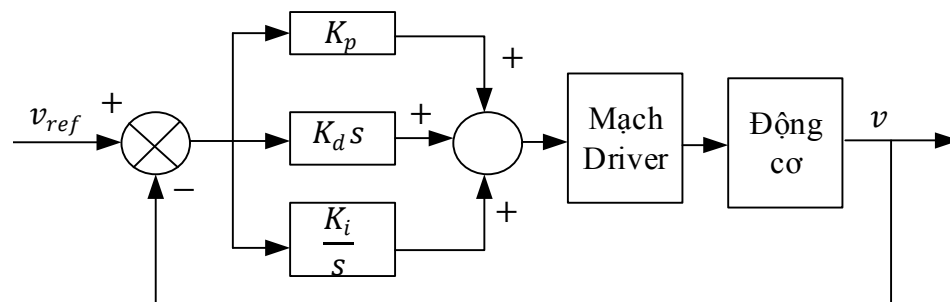
**Hình 4.9:** Đồ thị giá trị đọc được từ cảm biến.

Vị trí tâm line đo được nằm giữa cảm biến theo lý thuyết là 75 (mm). Theo đồ thị, khoảng nhận biết tâm line nằm giữa cảm biến là từ 70,6 ÷ 76,2 (mm). Như vậy, khi tín hiệu cảm biến báo về vị trí là 75 (mm), thì khoảng sai lệch là  $\pm 5,6$  (mm).

Các giá trị thu được là:  $V_{min} = 1,92$  (V),  $V_{max} = 4,72$  (V). Giá trị điện áp khi không lệch line từ là 3,32 (V). Từ những giá trị trên, có thể thiết lập quan hệ giá trị giữa điện áp và độ lệch line từ của cảm biến. Các thông số trên được sử dụng trong lập trình và hiệu chỉnh robot khi vận hành.

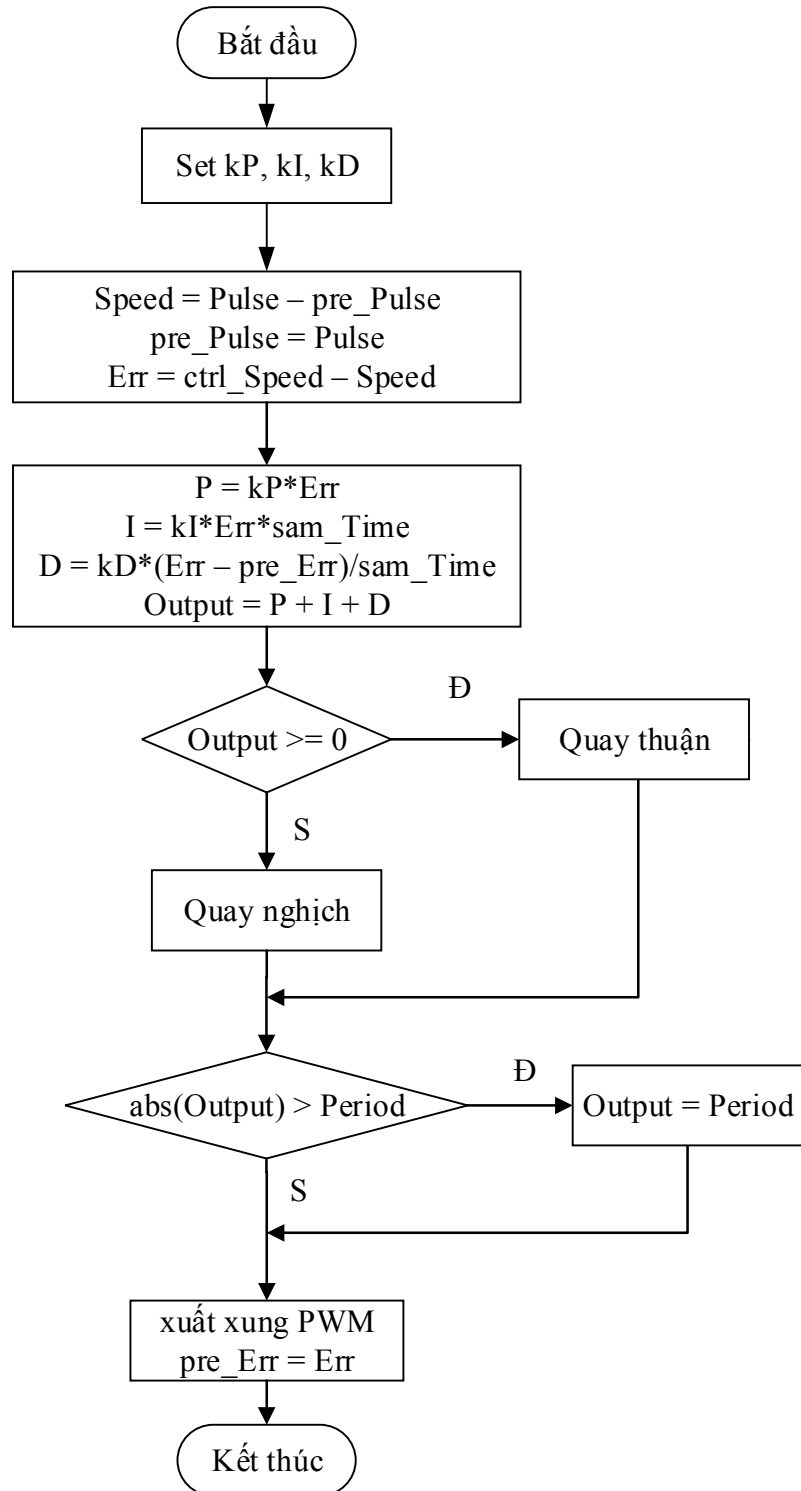
#### 4.4. Điều khiển động cơ DC encoder

Sử dụng bộ điều khiển PID cho từng động cơ để điều khiển vận tốc. Bộ điều khiển PID sử dụng ngõ vào là số xung từ encoder, cho ra giá trị độ rộng xung cấp cho mạch công suất của động cơ.

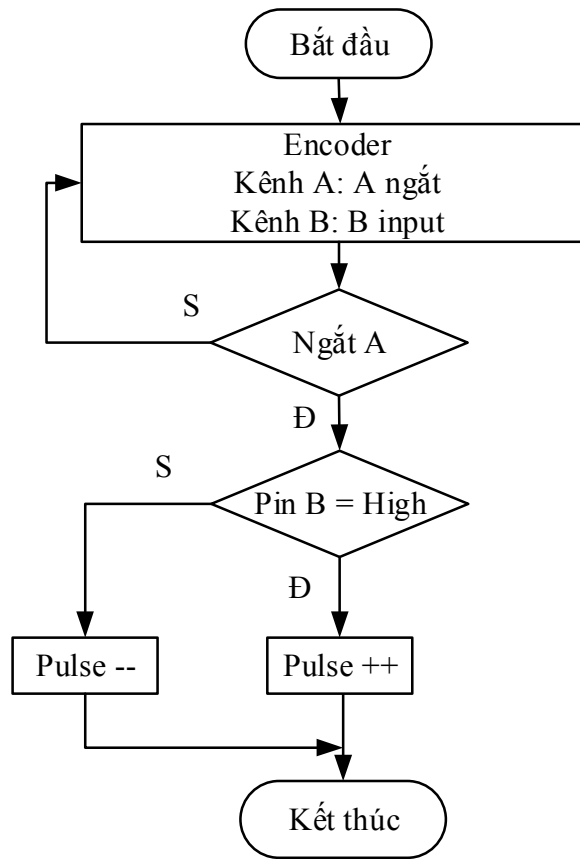


**Hình 4.10:** Sơ đồ bộ điều khiển PID cho động cơ.

Áp dụng sơ đồ và các công thức toán để xây dựng giải thuật điều khiển cho động cơ.



**Hình 4.11:** Chương trình PID điều khiển tốc độ động cơ.



**Hình 4.12:** Chương trình đọc giá trị encoder.

Sử dụng phương pháp Ziegler-Nichols để tìm các thông số cho bộ điều khiển PID. Ban đầu  $K_i$  và  $K_d$  được gán bằng không. Độ lợi  $K_p$  được tăng từ 0 đến khi tín hiệu trả về bắt đầu dao động. Khi đó ta đạt được độ lợi tới hạn  $K_{cr}$ , tín hiệu dao động với chu kỳ  $P_u$ . Từ đó suy ra được độ lợi cho các bộ điều khiển nhờ bảng sau:

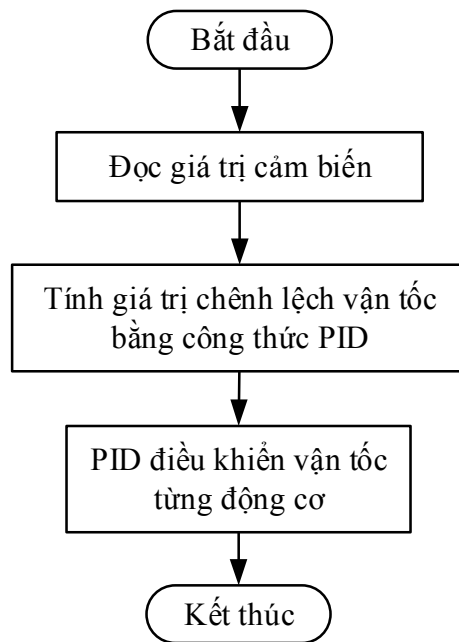
**Bảng 4.1:** Công thức tính thông số các bộ điều khiển.

Dạng điều khiển	$K_p$	$K_i$	$K_d$
P	$0,5K_{cr}$	$\infty$	0
PI	$0,45K_{cr}$	$1,2K_p/P_u$	0
PID	$0,6K_{cr}$	$2K_p/P_u$	$K_p P_u/8$

Tiến hành lập trình tăng độ lợi  $K_p$  của từng động cơ quan sát qua Serial Plotter của Arduino IDE. Khi vận tốc bắt đầu dao động đều thì ghi nhận lại giá trị  $K_{cr}$ . Cho động cơ chạy với độ lợi vừa tìm được và lưu lại kết quả vận tốc. Từ kết quả, tính toán và đưa ra thông số của bộ điều khiển PID cho động cơ.

### 4.5. Thiết kế bộ điều khiển bám đường

Nhiệm vụ của bộ điều khiển là đưa sai lệch đường đi về không. Khi di chuyển, robot cần tính toán vận tốc phù hợp cho cả hai động cơ. Để đơn giản hóa bộ điều khiển, sử dụng chênh lệch vận tốc của hai động cơ là đầu ra của bộ điều khiển. Khi đó bộ điều khiển chỉ có một ngõ vào và một đầu ra. Như vậy, có thể áp dụng luật điều khiển PID cho bộ điều khiển robot bám đường.



**Hình 4.13:** Lưu đồ giải thuật chương trình bám line.

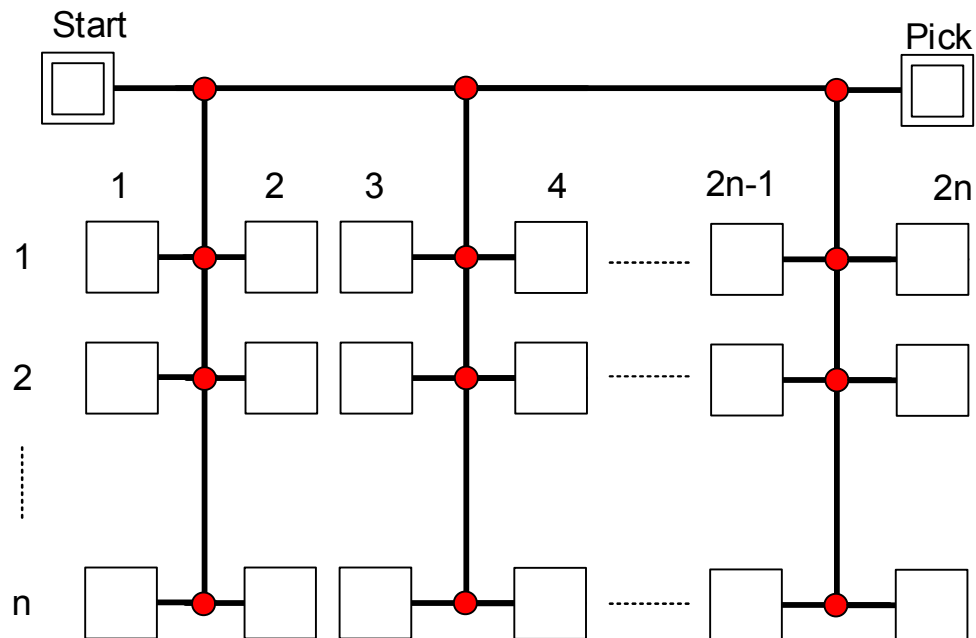
Chương này đã hoàn thành lựa chọn thông số cho các thiết bị điện. Cũng như sử dụng và thiết kế giải thuật điều khiển các thiết bị.

### CHƯƠNG 5: XÂY DỰNG GIẢI THUẬT DI CHUYỂN

Giải thuật điều khiển cho một hệ thống robot tự hành rất quan trọng. Chương này phân tích và thiết kế giải thuật điều khiển cho robot vận hành trên hệ thống

#### 5.1. Giải thuật trên máy tính

Sơ đồ nhà xưởng thử nghiệm gồm: khu vực xuất phát của robot, các vị trí đặt hàng và nơi giao hàng. Quá trình vận chuyển hàng của robot là: nhận tín hiệu yêu cầu món hàng (thông tin vị trí kệ hàng), di chuyển đến đúng kệ hàng, nhận hàng chuyển đến điểm giao hàng.



**Hình 5.1:** Sơ đồ bố trí hàng trong nhà xưởng.

Với một nhánh rẽ robot có thể đến được hai dãy hàng. Cách bố trí rẽ nhánh như vậy sẽ giảm được chiều đường dẫn, tiết kiệm chi phí. Các ký hiệu chữ là các cột, các số là thứ tự hàng. Ô vuông là vị trí kệ hàng, các đường nối và rẽ nhánh là đường dẫn từ trường.

## CHƯƠNG 5: XÂY DỰNG GIẢI THUẬT DI CHUYỂN

---

Giao diện điều khiển được lập trình trên máy tính, khi có người chọn một món hàng thì đường đi đến vị trí hàng sẽ được gửi đến robot. Robot di chuyển theo đường đi đó để lấy hàng và đem đến điểm giao hàng.

Chương trình tính toán đường đi dựa vào thứ tự các cột và hàng. Cột A tương ứng với thứ tự cột là 1, tương tự cho các chữ tiếp sau. Từ đường đi chính (đường thẳng từ Bắt đầu đến Kết thúc) các nhánh rẽ có thứ tự từ trái qua phải, bắt đầu là số 1. Giải thuật yêu cầu phải chỉ rõ hướng đi khi gặp một giao điểm.

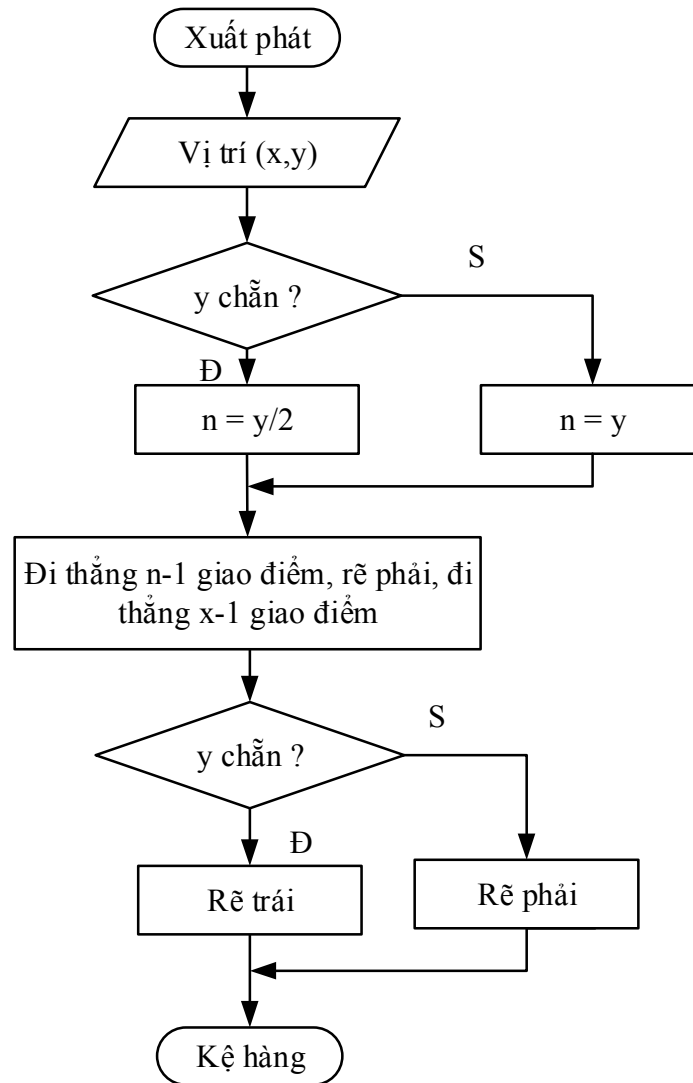
Gọi các biến thứ tự cột là  $x$ , hàng là  $y$ , nhánh rẽ là  $n$  thì mỗi kệ hàng có vị trí là  $(x,y)$ . Ban đầu robot di chuyển từ vị trí xuất phát đến kệ hàng để lấy hàng. Sau đó robot di chuyển hàng đến vị trí kết thúc. Cuối cùng robot quay về lại vị trí bắt đầu chờ lệnh tiếp theo. Giữa ba giai đoạn di chuyển trên là quay xe  $180^\circ$ .

Quy định hướng đi bằng các kí hiệu như sau:  $s$  là đi thẳng,  $b$  là quay  $180^\circ$ ,  $l$  là rẽ trái,  $r$  là rẽ phải,  $e$  là kết thúc.



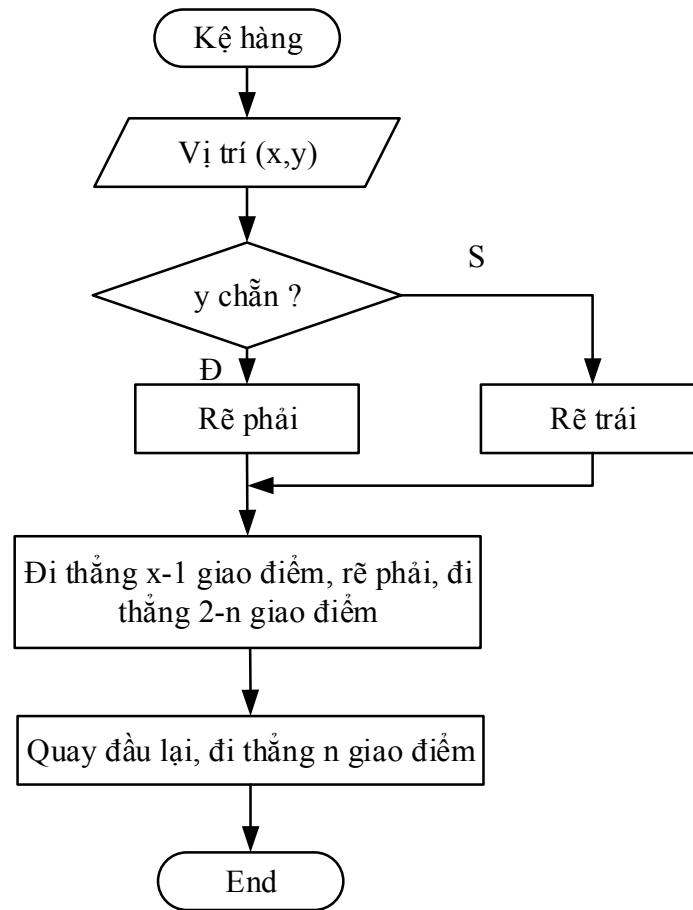
## CHƯƠNG 5: XÂY DỰNG GIẢI THUẬT DI CHUYỂN

Ban đầu, robot sẽ di chuyển từ vị trí xuất phát đến vị trí hàng. Giải thuật giúp robot có thể thực hiện đúng các bước di chuyển đó.



**Hình 5.2:** Lưu đồ giải thuật tạo đường đi đến vị trí một món hàng.

Khi nhận được hàng, robot sẽ di chuyển đến điểm giao hàng và quay về vị trí đợi lệnh tiếp theo. Trình tự di chuyển được điều khiển theo giải thuật sau:

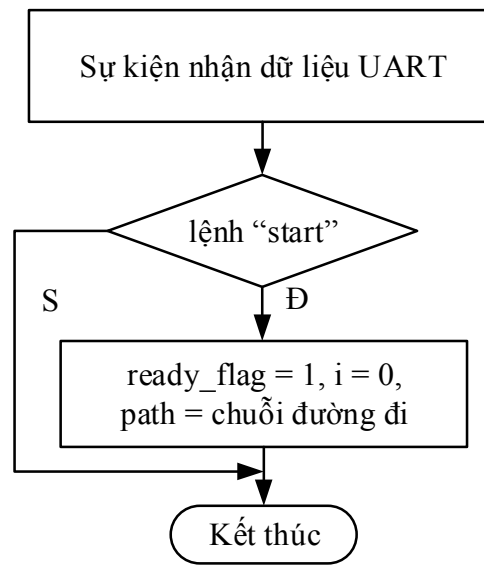


**Hình 5.3:** Lưu đồ giải thuật đi từ kệ hàng về lại vị trí xuất phát.

### 5.2. Giải thuật trên robot

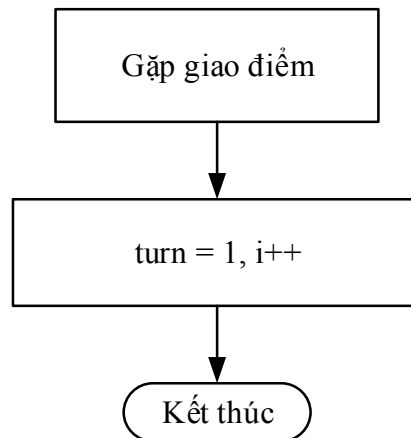
Robot cần thực hiện đúng các lệnh mà máy tính gửi xuống. Các lệnh đó gồm:  $s$  là đi thẳng,  $b$  là quay  $180^\circ$ ,  $l$  là rẽ trái,  $r$  là rẽ phải,  $e$  là kết thúc. Vi điều khiển lưu lệnh với biến chuỗi, thực hiện đến hết độ dài của chuỗi lệnh. Cần thiết lập sẵn các thông số cho chế độ rẽ phải, trái, quay  $180^\circ$  bằng tính toán và thực nghiệm.

Vi điều khiển nhận lệnh di chuyển qua UART. Trong Arduino, có thể sử dụng hàm `serialEvent()` trên arduino để đọc dữ liệu ngay khi nhận. Hàm này không gây ra độ trễ cho hệ thống.



**Hình 5.4:** Lưu đồ giải thuật hàm sự kiện nhận dữ liệu.

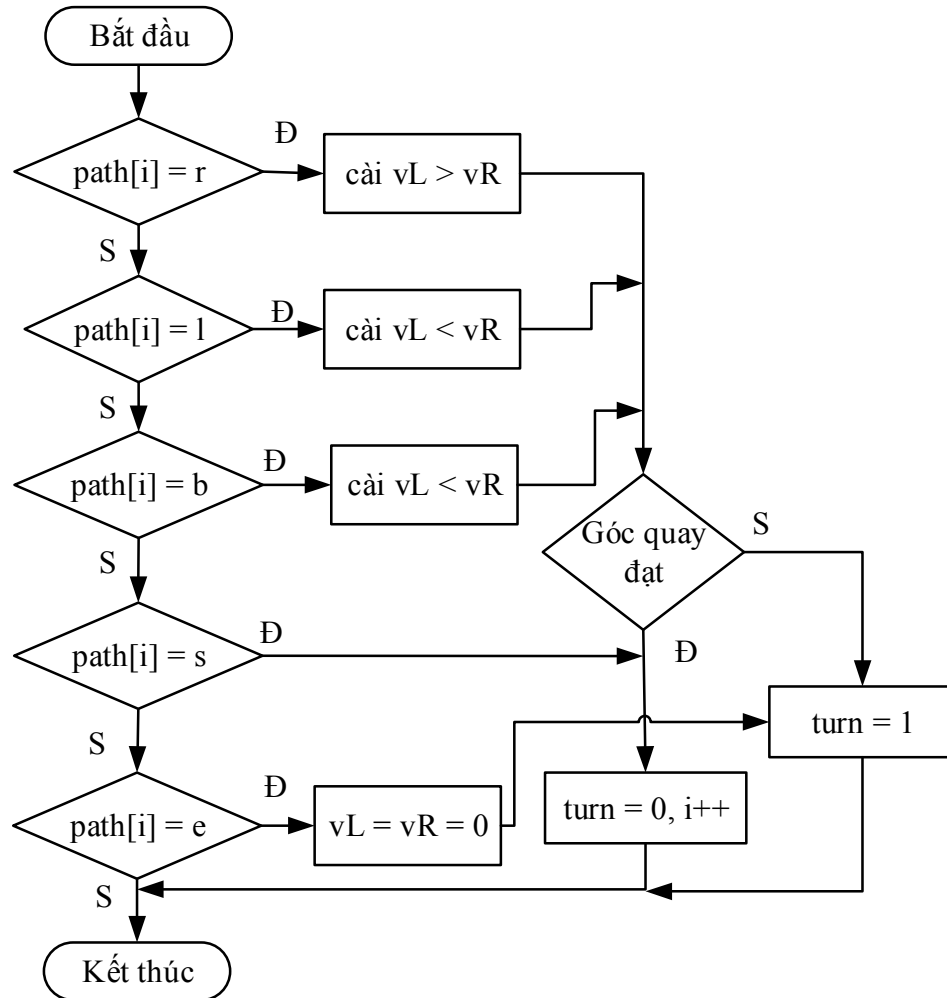
Robot cần phát hiện được giao điểm và thực hiện ngay lựa chọn đường đi. Do đó, sử dụng một chương trình ngắt cho cảm biến khi gặp giao điểm.



**Hình 5.5:** Lưu đồ giải thuật chương trình ngắt gặp giao điểm.

## CHƯƠNG 5: XÂY DỰNG GIẢI THUẬT DI CHUYỂN

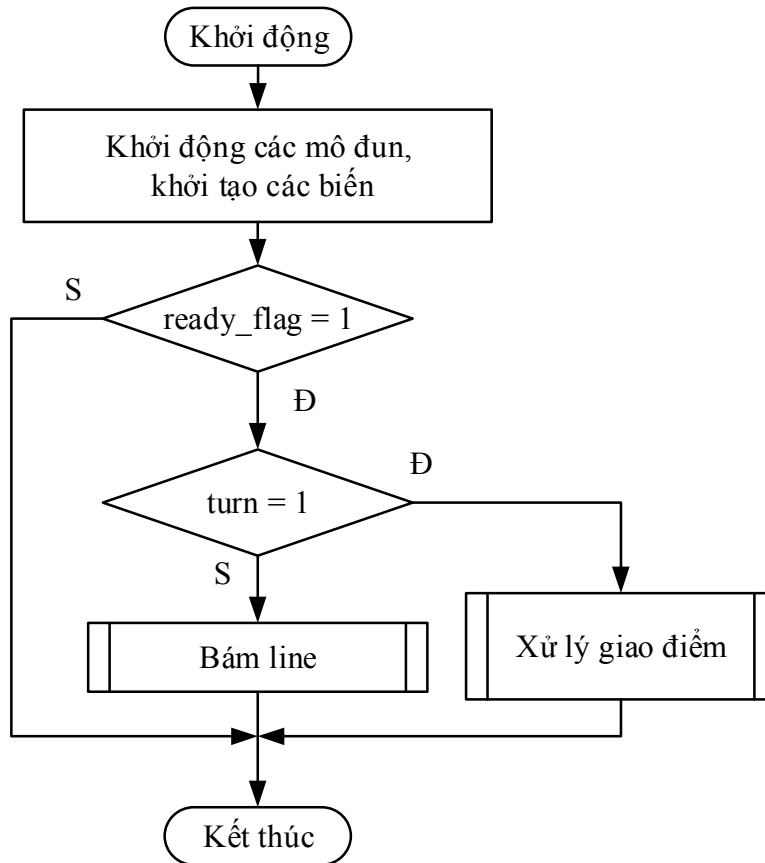
Khi đã phát hiện giao điểm, robot cần xử lý để đi đúng đường. Các bước xử lý gồm chuyển lệnh thành lựa chọn đường đi và thực hiện lựa chọn đó. Giải thuật xử lý giao điểm giúp robot thực hiện các công việc trên.



**Hình 5.6:** Lưu đồ giải thuật chương trình xử lý giao điểm.

## CHƯƠNG 5: XÂY DỰNG GIẢI THUẬT DI CHUYỂN

Giải thuật chương trình chính trên robot sẽ tổng hợp các giải thuật con. Sử dụng các giải thuật con đúng thời điểm giúp robot thực hiện được nhiệm vụ. Chương trình chính kết hợp các nhiệm vụ nhỏ như: nhận và lưu vị trí điểm đến, ra lệnh di chuyển, nhận kết quả từ cảm biến để lựa chọn đường đi.



**Hình 5.7:** Lưu đồ giải thuật chương trình chính.

Chương này đã thiết kế được giải thuật điều khiển gồm: giải thuật chương trình điều khiển trên máy tính và giải thuật thực hiện lệnh của robot.

### CHƯƠNG 6: THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

Chương này sẽ áp dụng các giải thuật đã thiết kế vào mô hình robot thử nghiệm. Từ đó có thể rút ra nhận xét về việc áp dụng hệ thống robot vào thực tế.

#### 6.1. Phương pháp thực nghiệm

Sử dụng mô hình thí nghiệm không giống hoàn toàn nhưng vẫn đảm bảo đúng các yêu cầu về:

- Cơ cấu lái của robot.
- Phương án điều khiển: sử dụng vi điều khiển.
- Đáp ứng được một số tín hiệu để điều khiển robot như động cơ có encoder, sử dụng cảm biến từ trường, sử dụng giao tiếp với máy tính.

Mạch giao tiếp được sử dụng là mô đun bluetooth HC-05 để truyền dữ liệu từ vi điều khiển lên máy tính có bluetooth. Sau khi kết nối bluetooth, trên máy tính có một cổng COM giao tiếp với mạch. Arduino truyền dữ liệu cho mạch bluetooth bằng cổng UART. Các thông số mạch bluetooth HC-05 như sau:

- Điện áp hoạt động: 3,3 – 5 (V).
- Giao tiếp với vi điều khiển bằng UART.
- Tầm hoạt động: 10 (m).

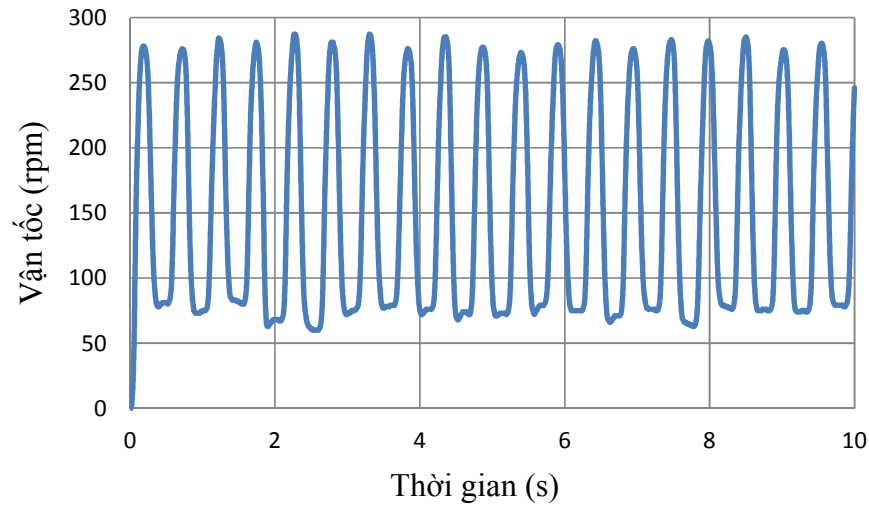


**Hình 6.1:** Mạch bluetooth HC-05.

### 6.2. Thực nghiệm điều khiển động cơ

Kết quả thực nghiệm tìm hai thông số là độ lợi  $K_{cr}$  và chu kỳ dao động  $P_u$  của hai động cơ như sau:

- Động cơ bên trái dao động khi  $K_{cr} = 4,1$  và  $P_u = 0,525$  (s)



**Hình 6.2:** Đồ thị vận tốc động cơ trái khi đạt độ lợi  $K_p$  tới hạn.

Theo bảng 4.1, tính được các hệ số bộ điều khiển PID động cơ bên trái:

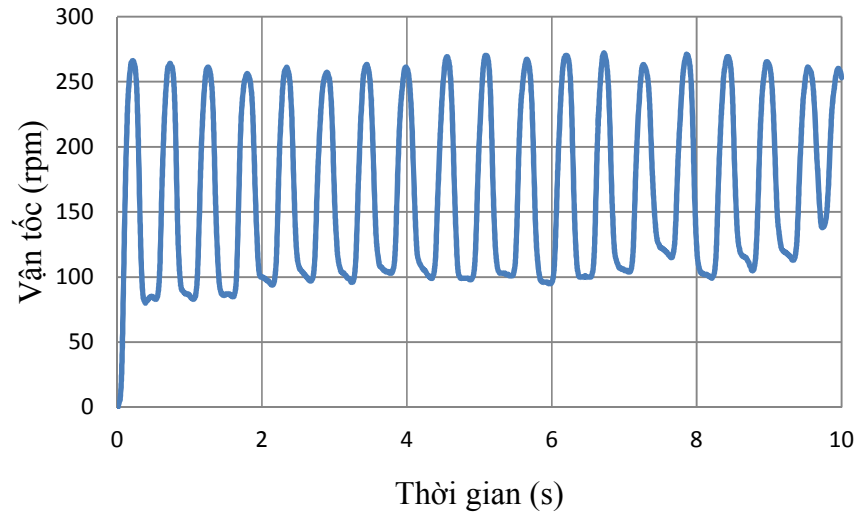
$$K_p = 0,6K_{cr} = 0,6 \times 4,1 = 2,46$$

$$K_i = \frac{2K_p}{P_u} = \frac{2 \times 2,46}{0,525} = 9,37$$

$$K_d = \frac{K_p P_u}{8} = \frac{2,46 \times 0,525}{8} = 0,16$$

## CHƯƠNG 6: THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

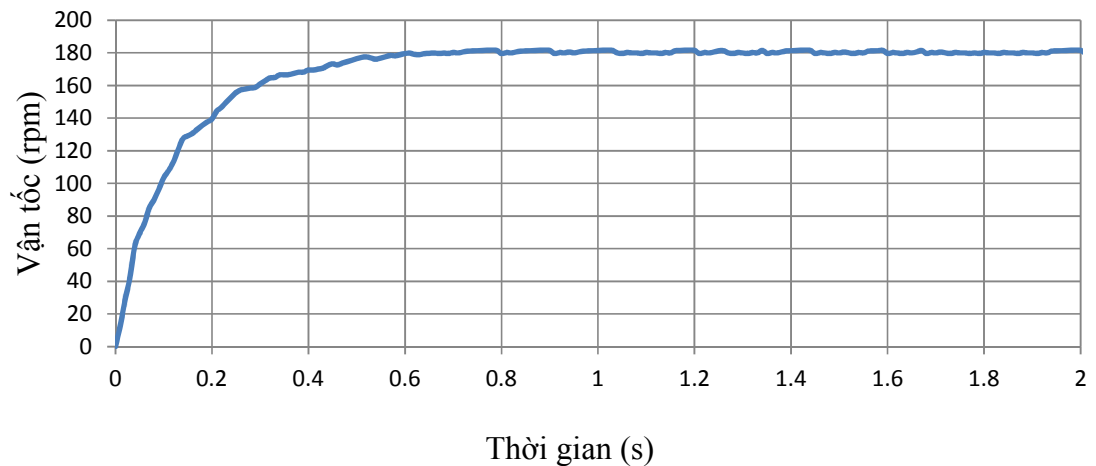
- Động cơ bên phải dao động khi  $K_{cr} = 4,1$  và  $P_u = 0,525$  (s)



**Hình 6.3:** Đồ thị vận tốc động cơ phải khi đạt độ lợi  $K_p$  tới hạn.

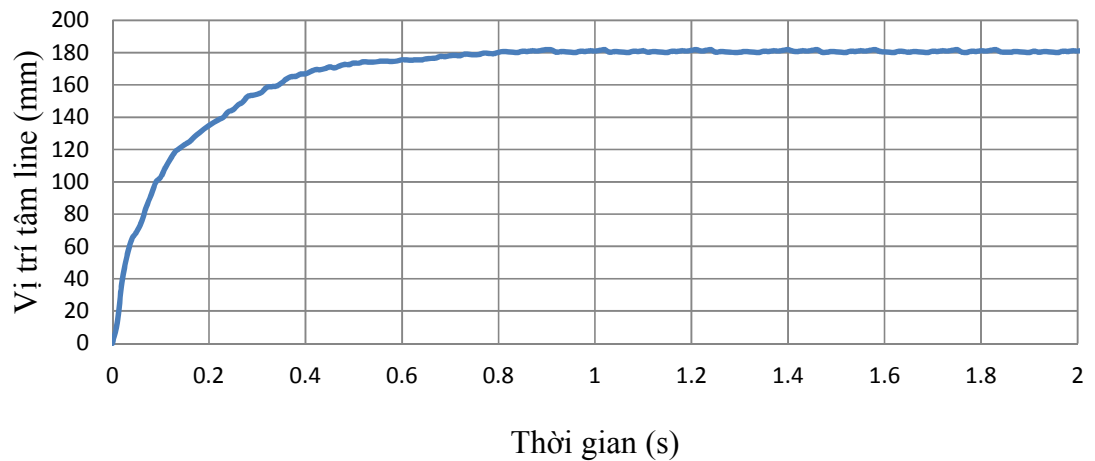
Suy ra thông số bộ điều khiển PID động cơ bên phải là  $K_p = 2,46$ ;  $K_i = 9,37$ ;  $K_d = 0,16$ .

Đưa các thông số vào bộ điều khiển, thử nghiệm lại với tốc độ mong muốn là 180 (rpm) tương đương khoảng 0,6 (m/s) qua bánh xe thử nghiệm. Đáp ứng động cơ trái là 0,6 (s) và động cơ phải khoảng 0,8 (s). Như vậy đáp ứng vận tốc của động cơ thỏa điều kiện tăng tốc lớn hơn 0,5 ( $\text{m/s}^2$ ).



**Hình 6.4:** Đồ thị đáp ứng của động cơ bên trái.





**Hình 6.5:** Đồ thị đáp ứng của động cơ bên phải.

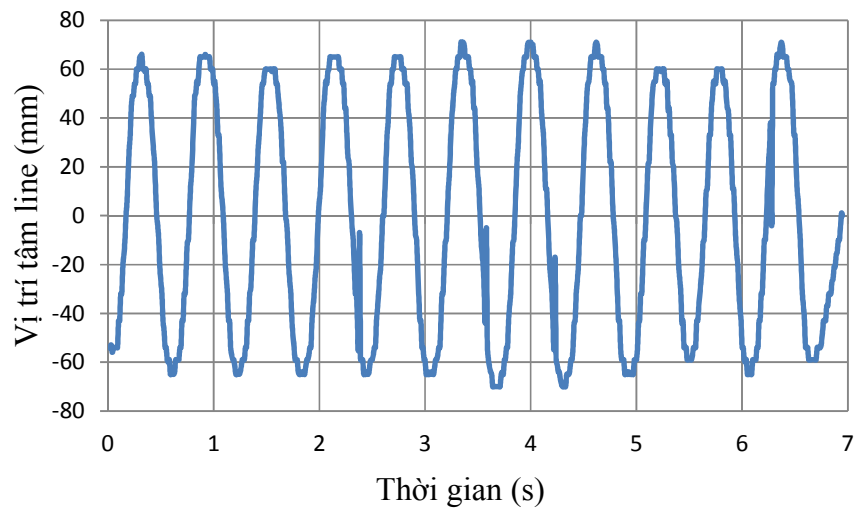
### 6.3. Thực nghiệm điều khiển bám line

Sử dụng phương pháp Ziegler-Nichols để tìm thông số cho luật điều khiển PID của bộ điều khiển bám line. Tăng độ lợi  $K_p$  lên đến mức xe bắt đầu dao động, thu được thông số  $K_{cr} = 0,26$  và dựa vào đồ thị dao động xác định  $P_u = 0,62$  (s). Từ bảng 4.1, tính được các hệ số:

$$K_p = 0,6K_{cr} = 0,6 \times 0,26 = 0,156$$

$$K_i = \frac{2K_p}{P_u} = \frac{2 \times 0,156}{0,62} = 0,5$$

$$K_d = \frac{K_p P_u}{8} = \frac{0,156 \times 0,62}{8} = 0,01$$

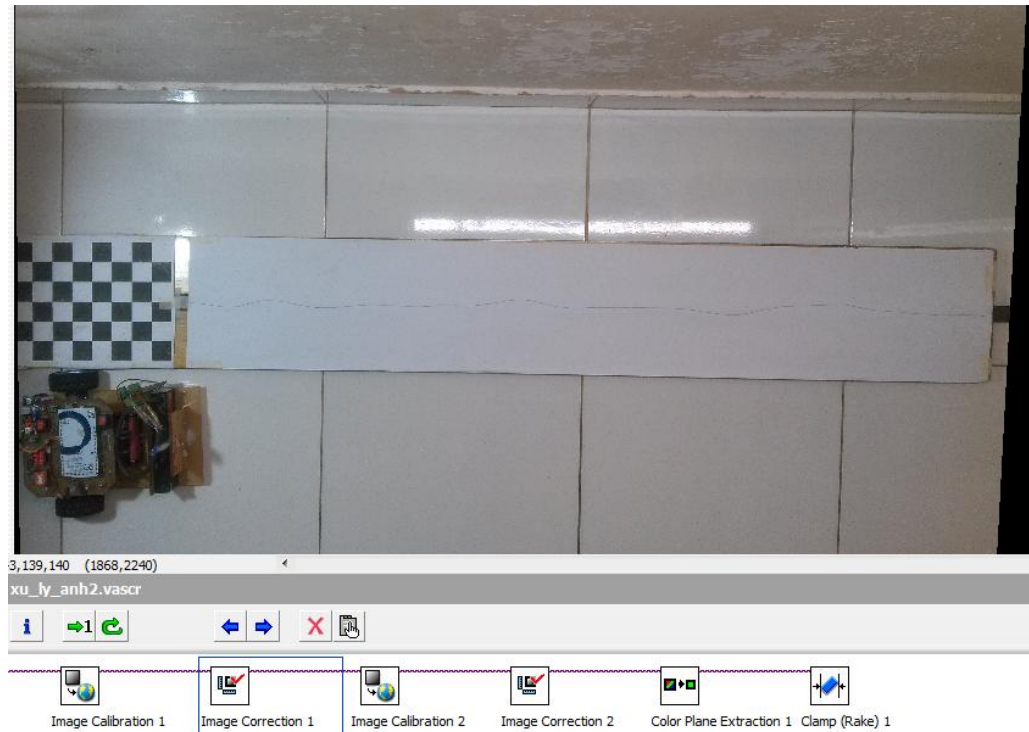


**Hình 6.6:** Đồ thị dao động của vị trí tâm line đọc từ cảm biến.

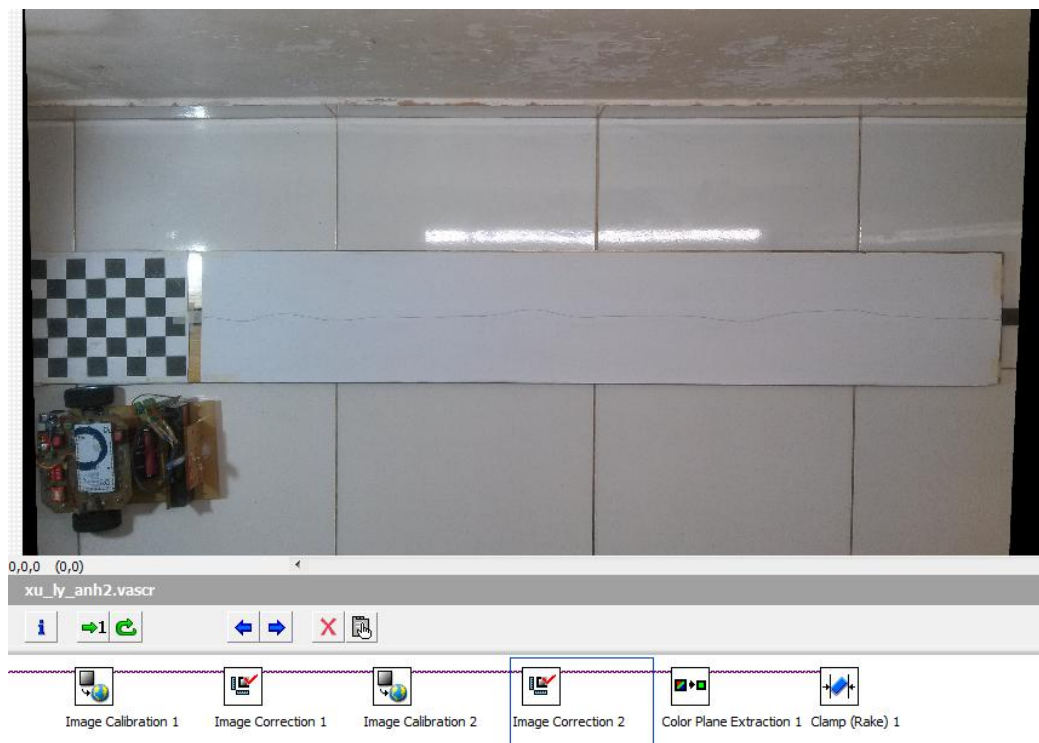
Thay các giá trị tìm được vào bộ điều khiển, cho xe chạy bám theo line thẳng để kiểm tra sai số. Gắn thêm ngòi bút 0,1mm tại trung điểm cảm biến để vẽ lại đường chạy. Dùng camera chụp lại đường chạy, sau đó xử lý ảnh bằng LabView lấy sai số lớn nhất. Các bước xử lý ảnh sử dụng công cụ Image Calibration trên NI Vision Assistant như sau:

- Chỉnh bức ảnh về mặt phẳng vuông góc với camera
- Chỉnh đường dẫn từ song song với trục tọa độ của bức ảnh
- Đo độ lệch lớn nhất bằng công cụ Clamp (Rack)

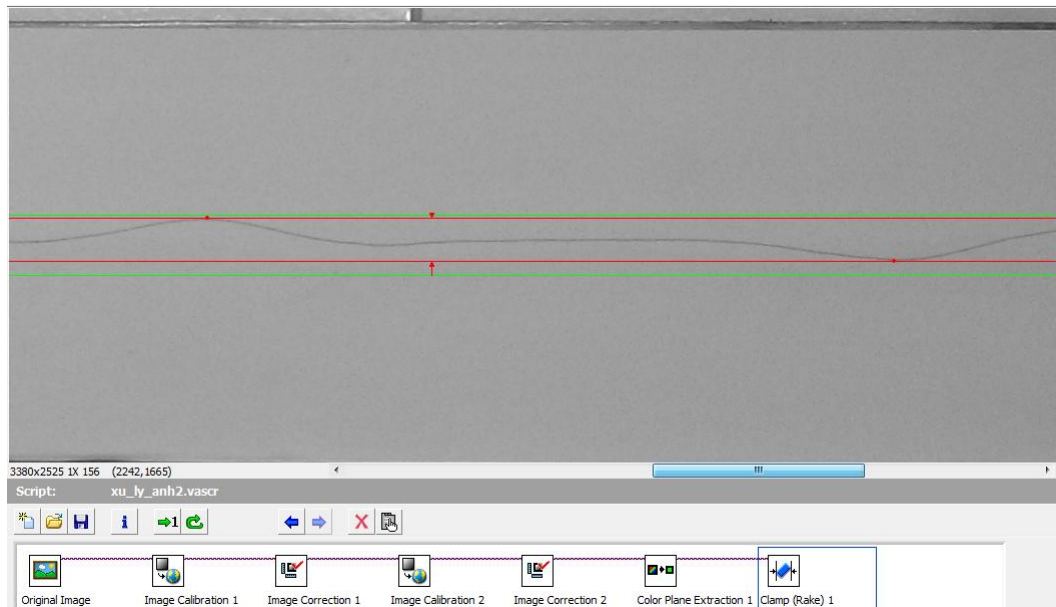
## CHƯƠNG 6: THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ



Hình 6.7: Xử lý bức ảnh vuông góc với camera.



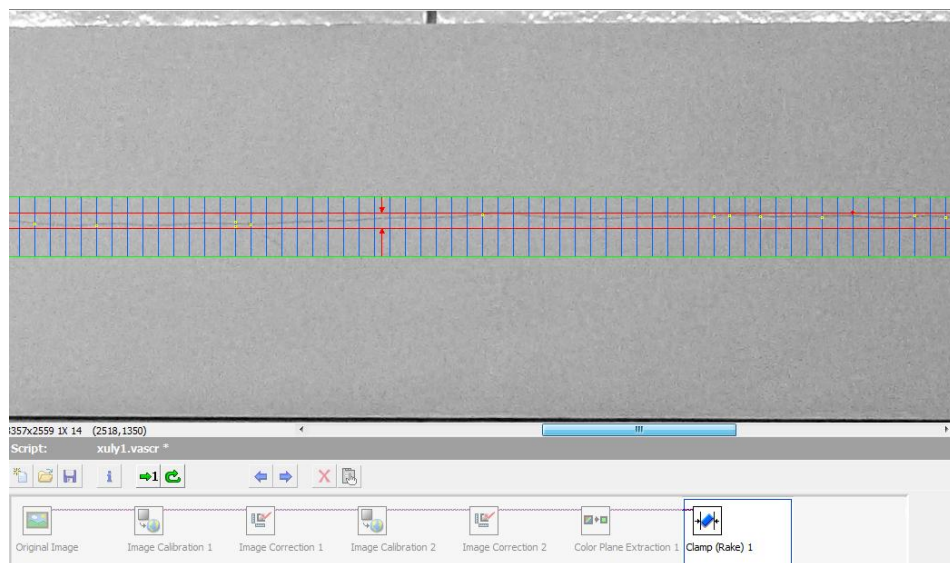
Hình 6.8: Xoay bức ảnh để line từ song song trục tọa độ bức ảnh.



**Hình 6.9:** Đo khoảng lệch lớn nhất.

Sau các bước trên đo được sai số bám line là  $\pm 10$  (mm). Nguyên nhân là do các hệ số PID còn sai lệch so với đáp ứng của hệ thống robot. Để cải thiện sai số bám line cần thực nghiệm lại phương pháp Ziegler-Nichols nhiều lần.

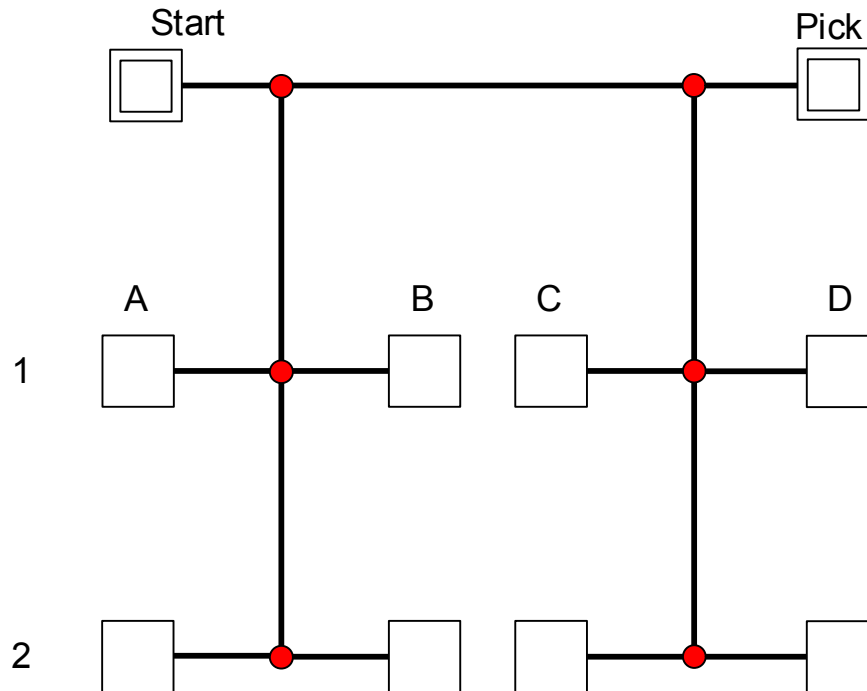
Tiến hành nhiều lần thực nghiệm lại nhiều lần và đạt được sai số là  $\pm 6$  (mm), đủ điều kiện để robot di chuyển ổn định.



**Hình 6.10:** Khoảng lệch giảm xuống sau nhiều lần chỉnh.

### 6.4. Thực nghiệm giải thuật di chuyển trong kho hàng

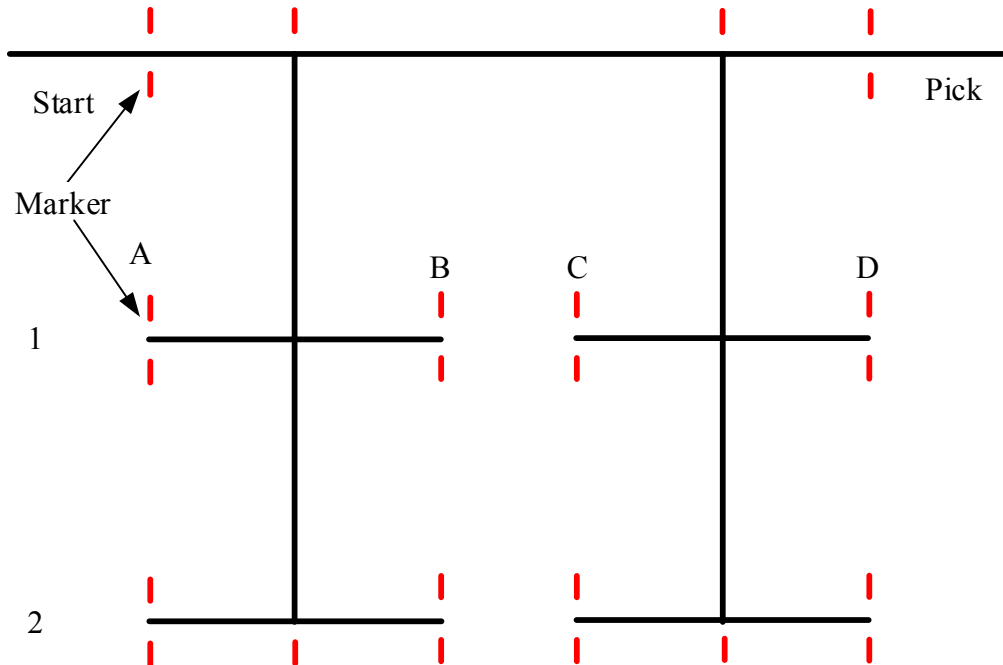
Sơ đồ thử nghiệm phải đảm bảo có đủ các trường hợp của giải thuật đã thiết kế. Sơ đồ line sau dùng để kiểm nghiệm giải thuật.



**Hình 6.11:** Sơ đồ kho hàng thực nghiệm.

Sơ đồ có hai nhánh rẽ ra bốn cột đủ để kiểm tra giải thuật theo cột khác nhau. Tương tự chỉ cần hai hàng để phân biệt giải thuật theo hàng khác nhau. Để thuận tiện cho phân biệt ký hiệu, số cột được đánh theo chữ cái A, B, C, D.

Tiến hành lắp đặt một hệ thống line thực nghiệm có kích thước:  $1,2 \times 1,6$  (m). Trong quá trình thực nghiệm, các vị trí giao điểm cần đánh dấu để robot dễ dàng nhận biết.



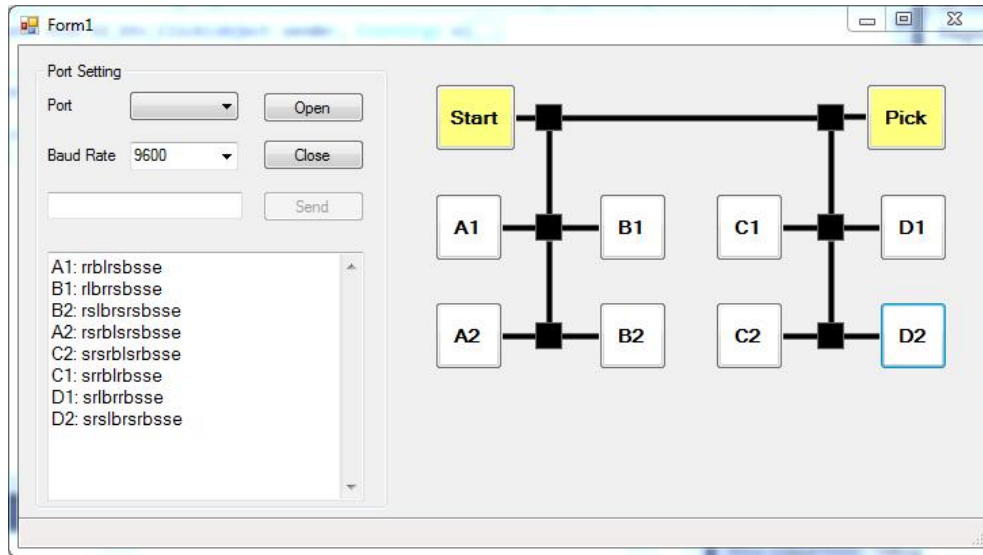
**Hình 6.12:** Sơ đồ lắp đặt line từ thực nghiệm.



**Hình 6.13:** Hệ thống line từ thực nghiệm.

Giao diện trên máy tính lập trình bằng ngôn ngữ C# có các vị trí tương ứng trên sơ đồ để chọn.

Lập trình trên giao diện và tạo ra lệnh dẫn đường để gửi xuống vi điều khiển.



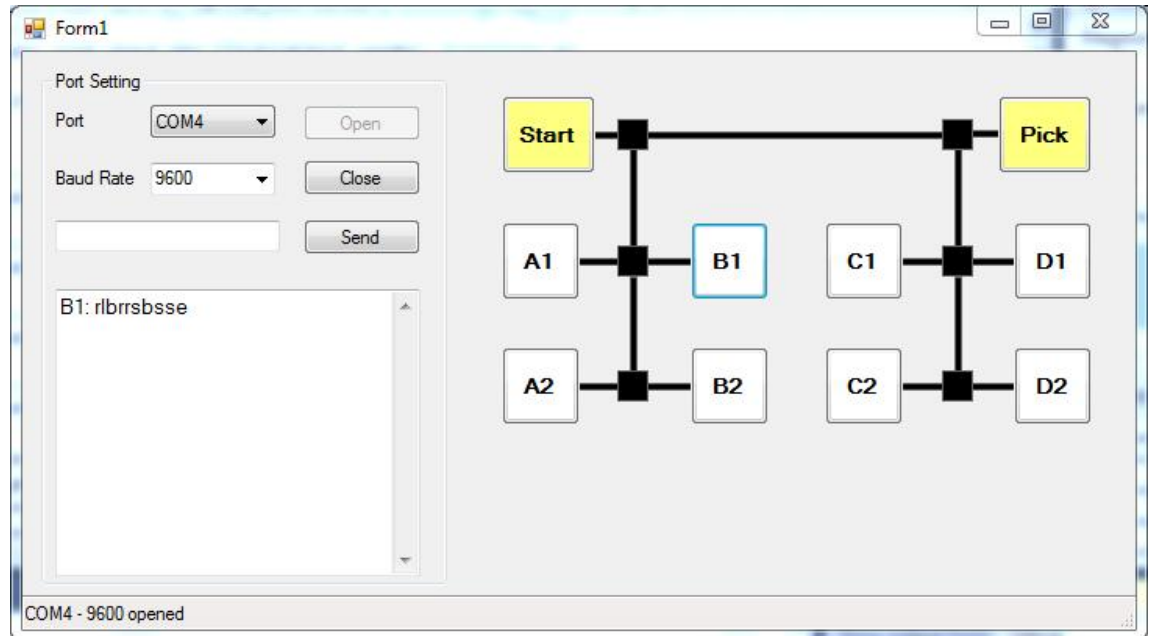
**Hình 6.14:** Giao diện điều khiển trên máy tính và kết quả vị trí tính được.

Thử nghiệm cho robot thực hiện lệnh điều khiển từ máy tính. Sau khoảng thời gian 0,2 (s) gửi về giá trị sai số tám line một lần sau khi đã nhận lệnh.

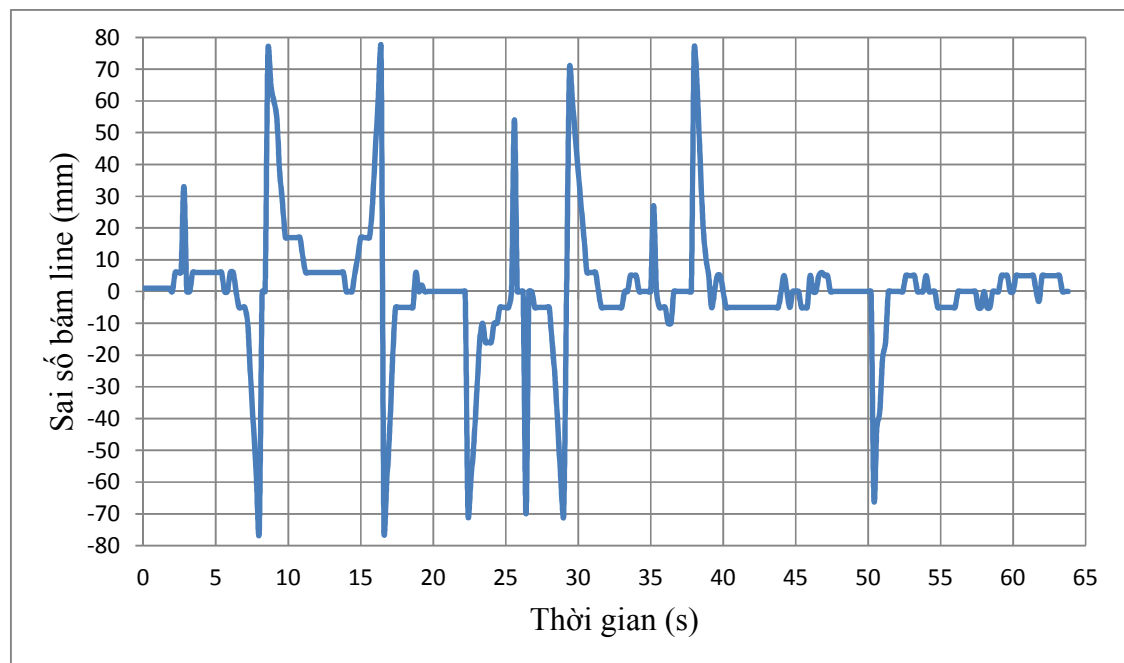
Các bước thực hiện:

- Tiến hành đặt robot vào vị trí bắt đầu, bật nguồn cho robot.
- Kết nối máy tính với cổng giao tiếp, gửi xuống dữ liệu đường đi là điểm B1 có hành trình tính toán trên máy tính là: rlbrsbsse.
- Chờ robot di chuyển hết quãng đường.
- Lưu dữ liệu nhận được, vẽ lại đồ thị.

## CHƯƠNG 6: THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ



**Hình 6.15:** Giao diện chọn vị trí B1.



**Hình 6.16:** Đồ thị sai số bám line thực nghiệm.

- Phân tích đồ thị, với giá trị sai số lệch phải là âm, lệch trái là dương:
  - Khoảng thời gian từ 0 đến 6 giây: di chuyển trên đoạn đường thẳng, có một thời điểm bị nhiễu là do đánh dấu giao điểm tại vị trí xuất phát.



## CHƯƠNG 6: THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

---

- Khoảng 6 đến 12 giây: này robot đã nhận biết giao điểm đầu tiên và rẽ phải đúng theo lệnh đầu tiên. Đồ thị cho thấy robot xoay qua phải và gặp nhánh rẽ bên phải nên giá trị thay đổi nhanh chóng từ lệch phải sang trái.

- Khoảng 14 đến 18 giây: là đoạn robot rẽ trái

- Khoảng 18 đến 26 giây: là đoạn xoay  $180^\circ$  ngược chiều kim đồng hồ, tại vị trí này robot nhận biết giao điểm là kệ hàng và thực hiện lện quay lại.

- Khoảng 26 đến 30 giây: robot rẽ phải.

- Khoảng 38 đến 40 giây: robot rẽ phải, tuy nhiên không có line phía trước nên không có tín hiệu lệch phải (âm).

- Khoảng 50 đến 54 giây: robot đã đến vị trí Pick nên quay lại ngược chiều kim đồng hồ.

- Robot di chuyển trên các đoạn thẳng có sai số nhỏ hơn 10 (mm).

### • Nhận xét

- Robot đã hoạt động đúng với tín hiệu điều khiển, cho thấy giải thuật trên vi điều khiển hoạt động tốt, các cảm biến phát hiện giao điểm tốt.

- Hệ thống line thực nghiệm khá nhỏ nên robot di chuyển chưa liên tục, bị rẽ nhiều nhánh.

- Thời gian di chuyển để lấy một món hàng trong hệ thống kho hàng tương đối ngắn. Nên khi áp dụng thực tế với quy mô lớn hơn, robot có thể đáp ứng thời gian vận chuyển.

Chương này đã hoàn thành việc thực nghiệm điều khiển hệ thống robot, phân tích kết quả và đưa ra nhận xét về hệ thống robot thử nghiệm.

### CHƯƠNG 7: TỔNG KẾT VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN ĐỀ TÀI

#### 7.1. Đánh giá kết quả đề tài

##### 7.1.1. Những công việc đã đạt được

Đề tài này đã hoàn thành được các công việc như sau:

- Phân tích mô hình động học, tìm ra mối qua hệ giữa vận tốc hai bánh và góc lệch của mô hình robot.
- Thiết kế cơ khí cho mô hình robot tự hành trong nhà xưởng thử nghiệm.
- Xây dựng được hệ thống điện, cảm biến, điều khiển và hoàn thiện kết nối các mô đun điện.
- Thực nghiệm sử dụng cảm biến, điều khiển động cơ, tìm sai số bám đường cho robot.
- Xây dựng được giải thuật chương trình tìm đường, thực nghiệm giải thuật cho robot trong một hệ thống kho hàng. Kết quả thực nghiệm cho thấy robot đã thực hiện được nhiệm vụ di chuyển trong kho hàng.

##### 7.1.2. Những hạn chế trong thực hiện đề tài

- Giải thuật trên máy tính chưa đáp ứng được cho tất cả các dạng bố trí kho hàng, chỉ sử dụng cho một mô hình kho hàng nhất định.
- Giải thuật điều khiển robot chỉ có thể đáp ứng một số điều kiện môi trường nhất định. Điều kiện thực tế của kho hàng rất đa dạng, có rất nhiều yếu tố bên ngoài ảnh hưởng đến robot trong khi di chuyển.
- Mô hình thí nghiệm vẫn còn hạn chế về cơ khí: chưa đảm bảo độ đồng tâm của trục động cơ nên khi robot chạy thẳng cần điều chỉnh bằng lập trình. Mô hình chỉ đáp ứng nhu cầu chở hàng và di chuyển trong nhà xưởng.
- Robot trong quá trình thực hiện di chuyển chưa thực sự ổn định do môi trường bên ngoài có nhiều tác động mà không thể kiểm soát được.

### 7.2. Các hướng phát triển của đề tài

Để nghiên cứu phát triển và mở rộng đề tài, tận dụng được những ưu điểm của robot tự hành trong nhà xưởng, một số hướng nghiên cứu và phát triển dựa trên đề tài như sau:

- Sử dụng các phương pháp dẫn đường khác có thể đáp ứng được yêu cầu hoạt động trong nhà xưởng như dẫn đường bằng laser.
- Thay đổi giải thuật điều khiển trên máy tính cho những mô hình nhà xưởng có cách bố trí khác. Hoặc tìm giải thuật giảm thời gian chờ từ lúc lấy hàng đến lúc giao hàng.
- Thiết kế cơ cấu lấy hàng tự động trên robot. Khi di chuyển đến một vị trí hàng hóa, robot tự động lấy hàng và đem đến nơi nhận hàng.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Wurman, P. R., D'Andrea, R., & Mountz, M. (2008). Coordinating hundreds of cooperative, autonomous vehicles in warehouses. *AI magazine*, 29(1), 9.
- [2] Dr. Mats Andersson (2012). *Wireless Technologies for Industrial Applications*. connectBlue AB , Sweden.
- [3] Adept Technology, Inc. *Pioneer3DX-P3DX Catalog*.
- [4] Schulze, L., Behling, S., & Buhrs, S. (2008, May). Automated Guided Vehicle Systems: a driver for increased business performance. In *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists* (Vol. 2).
- [5] Lê Khánh Điền (2013). *Vẽ kỹ thuật cơ khí*. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Tp.HCM.
- [6] Trịnh Chất – Lê Văn Uyển (2003). *Tính toán thiết kế hệ dẫn động cơ khí*, tập 1, Nhà xuất bản giáo dục.
- [7] <https://www.ecnmag.com/blog/2010/10/creating-autonomous-robot-igvc-autonomous-challenge>
- [8] [http://team1640.com/wiki/index.php?title=DEWBOT\\_XIII](http://team1640.com/wiki/index.php?title=DEWBOT_XIII)