

ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA

KHOA CƠ KHÍ

BỘ MÔN CƠ ĐIỆN TỬ



BÁO CÁO ĐỒ ÁN

THIẾT KẾ HỆ THỐNG CƠ ĐIỆN TỬ

Giảng viên hướng dẫn: Ths. Phạm Phương Tùng

SINH VIÊN THỰC HIỆN	MSSV
Châu Nhật Quang	1910478
Đặng Thanh Trí	1910633
Chu Thanh Tùng	1910678
Đặng Trường Vũ	1910699

Thành phố Hồ Chí Minh, tháng 12 năm 2022

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



BÁO CÁO ĐỒ ÁN
THIẾT KẾ HỆ THỐNG CƠ ĐIỆN TỬ

ĐỀ TÀI: ROBOT DÒ LINE TRÁNH VẬT CẢN

Giảng viên hướng dẫn: Ths. Phạm Phương Tùng

SINH VIÊN THỰC HIỆN	MSSV
Châu Nhật Quang	1910478
Đặng Thanh Trí	1910633
Chu Thanh Tùng	1910678
Đặng Trường Vũ	1910699

Thành phố Hồ Chí Minh, tháng 12 năm 2022

PHÂN CÔNG NHIỆM VỤ

STT	Họ và tên	Nhiệm vụ
1	Châu Nhật Quang	Xây dựng lưu đồ giải thuật Lập trình vi điều khiển Lập bản vẽ giải thuật Thực nghiệm
2	Đặng Thanh Trí	Thiết kế cơ khí Xây dựng mô hình 3D Lập bản vẽ cơ khí Thực nghiệm
3	Chu Thanh Tùng	Nhóm trưởng Tổng quan phương án Thực hiện và hiệu chỉnh mô hình thực tế Lập bản vẽ phương án Thực nghiệm
4	Đặng Trường Vũ	Thiết kế hệ thống điện Mô hình hóa hệ thống Xây dựng bộ điều khiển Mô phỏng Lập bản vẽ hệ thống điện

LỜI CẢM ƠN

Nhóm thực hiện đồ án xin gửi lời cảm ơn chân thành đến thầy Phạm Phương Tùng, người trực tiếp hướng dẫn nhóm trong suốt quá trình thực hiện đồ án này. Thầy đã hướng dẫn tận tình, tận tâm và sự chỉ bảo nhiệt tình của thầy đã giúp nhóm vượt qua được nhiều vấn đề khó khăn.

Ngoài ra, nhóm cũng muốn gửi lời cảm ơn đến các bạn bè trong tập thể lớp CK19CD1 đã cùng đồng hành và trợ giúp cho nhóm trong những lúc khó khăn, góp phần giúp nhóm hoàn thành đồ án này.

Nhóm sinh viên thực hiện

Châu Nhật Quang Đặng Thanh Trí Chu Thanh Tùng Đặng Trường Vũ

TÓM TẮT ĐỒ ÁN

Đồ án Thiết kế hệ thống Cơ điện tử cung cấp cho sinh viên cái nhìn tổng quan và quy trình thực nghiệm trong việc thiết kế hoàn chỉnh một hệ thống có điện tử trong thực tế. Sinh viên phải vận dụng toàn bộ những kiến thức đã học được trong các lĩnh vực cơ khí, điện tử, điều khiển và lập trình để phân tích, tính toán và triển khai thực nghiệm nội dung đồ án.

Việc thực hiện đồ án yêu cầu sinh viên thực hiện quá trình thiết kế theo những bước tuần tự bao gồm khảo sát thực tế, so sánh, đánh giá và lựa chọn phương án cho đề tài. Sau khi chọn được phương án thiết kế, sinh viên tiến hành thiết kế các hệ thống điện, cơ khí và giải thuật điều khiển, các công việc này được thực hiện một cách đồng thời và hỗ trợ cho nhau trong suốt quá trình thực hiện đồ án. Khi quá trình tính toán thiết kế được hoàn tất, sinh viên tiến hành mô phỏng và triển khai thực nghiệm để đánh giá, nhận xét về tính khả thi của đề tài, từ đó đưa ra phương hướng cải tiến để phù hợp với điều kiện thực tế.

Thông qua đồ án, sinh viên sẽ rèn luyện được khả năng tư duy phân tích, khả năng làm việc nhóm và khả năng triển khai thực nghiệm. Những kiến thức và kỹ năng ấy chính là nền tảng để sinh viên có thể học hỏi, rèn luyện trong môi trường công việc sau này.

MỤC LỤC

PHÂN CÔNG NHIỆM VỤ	i
LỜI CẢM ƠN	ii
TÓM TẮT ĐỒ ÁN.....	iii
DANH MỤC HÌNH ẢNH	vii
DANH MỤC BẢNG BIỂU	x
<i>Chương 1. TỔNG QUAN VỀ ĐỀ TÀI.....</i>	2
1.1. Giới thiệu về robot dò line (AGV)	2
1.2. Một số loại robot dò line phổ biến.....	3
1.2.1. Robot uXbots.....	3
1.2.2. Robot Chariot	4
1.3. Yêu cầu thiết kế	4
<i>Chương 2. PHƯƠNG ÁN THIẾT KẾ</i>	6
2.1. Kết cấu cơ khí.....	6
2.1.1. Số lượng bánh xe.....	7
2.1.2. Vị trí đặt bánh chủ động	7
2.1.3. Động cơ dẫn động.....	8
2.2. Cơ cấu cảm biến	9
2.2.1. Camera CMU.....	10
2.2.2. Cảm biến hồng ngoại.....	11
2.2.3. Cảm biến phát hiện vật cản	13
2.3. Cấu trúc điều khiển.....	15
2.4. Giải thuật điều khiển	16
<i>Chương 3. THIẾT KẾ CƠ KHÍ</i>	19
3.1. Bánh xe	19
3.1.1. Bánh chủ động.....	19
3.1.2. Bánh xe bị động.....	19

3.2. Tính toán chọn động cơ dẫn động	20
3.3. Thiết kế khung robot	24
Chương 4. THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỆN	31
4.1. Tổng quan thiết bị.....	31
4.1.1. Cảm biến dò line.....	31
4.1.2. Vi điều khiển	31
4.1.3. Driver điều khiển động cơ DC	32
4.2. Thiết kế dây cảm biến.....	33
4.2.1. Số lượng cảm biến.....	33
4.2.2. Khoảng cách đến mặt sa bàn của cảm biến	33
4.2.3. Khoảng cách giữa 2 module cảm biến	34
4.2.4. Calibrate cảm biến.....	36
4.3. Cảm biến siêu âm	36
4.4. Công suất và pin	37
Chương 5. MÔ HÌNH HÓA HỆ THỐNG	39
5.1. Phương trình động học của robot	39
5.2. Khảo sát đặc tính động cơ	40
5.2.1. Xác định thời gian lấy mẫu.....	40
5.2.2. Khảo sát khoảng tuyến tính động cơ	42
5.2.3. Khảo sát đáp ứng để tìm hàm truyền động cơ.....	42
Chương 6. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN.....	45
6.1. Thiết kế bộ điều khiển PID cho động cơ.....	45
6.1.1. Tiêu chí thiết kế bộ điều khiển	45
6.1.2. Tính toán các thông số hàm truyền cho bộ điều khiển PID	45
6.2. Thiết kế luật điều khiển	47
Chương 7. MÔ PHỎNG HOẠT ĐỘNG CỦA ROBOT VÀ THỰC NGHIỆM.....	51
7.1. Mô phỏng đường line	51
7.2. Mô phỏng robot bám line	52
7.3. Kết quả thực nghiệm.....	54

<i>Chương 8. KẾT LUẬN</i>	56
TÀI LIỆU THAM KHẢO	57

DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 1.1. AGV dò line hoạt động trong nhà kho [1].....	2
Hình 1.2. Robot dò line trong một cuộc thi học thuật	2
Hình 1.3. Robot uXbots [2]	3
Hình 1.4. Robot Chariot [3].....	4
Hình 1.5. Sa bàn	5
Hình 2.1. Cấu trúc ba bánh (a,b,c); cấu trúc bốn bánh (d,e,f); dẫn động bánh trước (b,c); dẫn động bánh sau (a,d,e,f) [4]	6
Hình 2.2. Hai dạng chính của cấu trúc khung xe ba bánh	8
Hình 2.3. Một số cơ cấu cảm biến [5]	9
Hình 2.4. Camera CMU Pixy 5 [6].....	10
Hình 2.5. Nguyên lý hoạt động của cảm biến hồng ngoại [7].....	11
Hình 2.6. Các cảm biến hồng ngoại và thanh cảm biến hồng ngoại [5]	11
Hình 2.7. Một số cách sắp xếp cảm biến thông dụng.....	12
Hình 2.8. Xử lý tín hiệu bằng phương pháp so sánh [4]	12
Hình 2.9. Xử lý tín hiệu bằng phương pháp xấp xỉ [4]	13
Hình 2.10. Cảm biến hồng ngoại [8]	14
Hình 2.11. Cảm biến siêu âm [9].....	14
Hình 2.12. Cấu trúc điều khiển của robot bám line [4]	15
Hình 2.13. Vị trí robot trong hệ tọa độ Descartes	18
Hình 3.1. Bánh xe chủ động của robo bám line	19
Hình 3.2. Bánh mắt trâu	20
Hình 3.3. Mô hình động lực học của bánh xe dẫn động.....	21

Hình 3.4. Các lực tác động lên thân robot.....	22
Hình 3.5. Sơ đồ phân tích động lực học robot.....	27
Hình 3.6. Các kích thước cơ sở	27
Hình 3.7. Thiết kế 3D theo hướng nhìn từ trước của robot.....	28
Hình 3.8. Thiết kế 3D theo hướng nhìn từ cạnh của robot.....	29
Hình 3.9. Thiết kế 3D theo hướng nhìn từ trên của robot	29
Hình 3.10. Thiết kế 3D của robot	30
Hình 4.1. Module cảm biến hồng ngoại TCRT5000 [11]	31
Hình 4.2. Arduino Nano [12]	32
Hình 4.3. Driver L298N [14].....	33
Hình 4.4. Ngưỡng hoạt động của cảm biến.....	33
Hình 4.5. Khoảng cách tối thiểu giữa 2 cảm biến kề nhau.....	34
Hình 4.6. Trường hợp vùng phát hiện của 2 cảm biến nằm trong line.....	35
Hình 4.7. Module giảm áp LM2596 [16]	38
Hình 4.8. Module giảm áp Buck XL4015 [17]	38
Hình 5.1. Mô hình động học robot	39
Hình 5.2. Mối quan hệ giữa độ rộng xung và tốc độ.....	42
Hình 5.3. Tín hiệu đầu vào 2 động cơ	43
Hình 5.4. Hàm truyền xấp xỉ của hai động cơ.....	43
Hình 5.5. Mức độ chính xác của hàm truyền so với thực nghiệm	44
Hình 6.1. Sơ đồ điều khiển vòng kín.....	45
Hình 6.2. Mô hình động học của robot.....	47
Hình 7.1. Sa bàn dò line	51

Hình 7.2. Mô phỏng sa bàn	51
Hình 7.3. Quá trình chuyển động của robot	52
Hình 7.4. Tốc độ 2 bánh	53
Hình 7.5. Sai số bám line.....	53
Hình 7.6. Mô hình robot thực tế	55

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 3.1. Thông số động cơ DC Servo GM25 – 370	24
Bảng 3.2. Tỷ lệ chiều dài của các xe ô tô	25
Bảng 3.3. Tỷ lệ kích thước theo đường kính bánh xe của các xe ô tô	25
Bảng 3.4. Các kích thước tổng quát của robot	28
Bảng 4.1. Thông số kỹ thuật cảm biến hồng ngoại TCRT5000 [10]	31
Bảng 4.2. Thông số kỹ thuật driver L298N [13]	32
Bảng 4.3. Thông số kỹ thuật module cảm biến siêu âm HC-SRF04 [15]	36
Bảng 4.4. Năng lượng tiêu thụ của các thiết bị điện	37
Bảng 7.1. Thông số mô phỏng.....	52

Chương 1. TỔNG QUAN VỀ ĐỀ TÀI

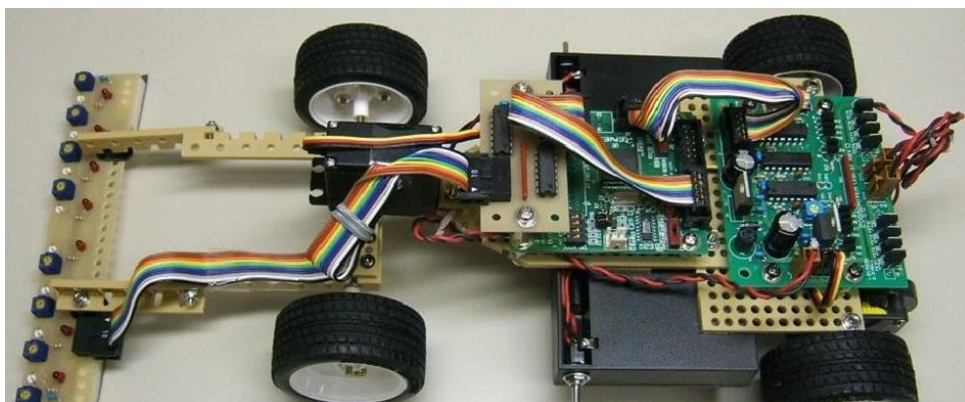
1.1. Giới thiệu về robot dò line (AGV)

Robot dò line là một dạng của robot di động và được thiết kế để bám theo một quỹ đạo cho trước. Hiện nay, robot dò line đã được ứng dụng rất nhiều trong cả lĩnh vực công nghiệp lẫn giáo dục. Trong công nghiệp, robot dò line thường được biết đến với tên gọi AGV (Automated Guided Vehicle) (hình 1.1) và việc ứng dụng nó đã thay đổi cách mà các kho hàng được sắp xếp và vận hành trên toàn thế giới.

Trong lĩnh vực giáo dục, robot dò line (hình 1.2) được sử dụng để dạy cho các sinh viên đặc biệt là các sinh viên chuyên ngành cơ điện tử cách thức thiết kế, chế tạo và vận hành một hệ thống cơ điện tử.



Hình 1.1. AGV dò line hoạt động trong nhà kho [1]



Hình 1.2. Robot dò line trong một cuộc thi học thuật

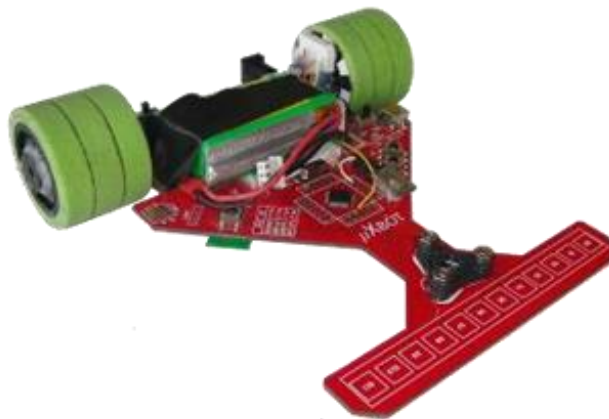
Hiện nay, các cuộc thi về robot dò line đã được tổ chức với số lượng và chất lượng ngày càng tăng nhằm mục đích khuyến khích sinh viên vận dụng những gì đã được học áp dụng vào giải quyết các vấn đề của cuộc thi đặt ra. Phương châm “Learn by doing” đã được chứng minh là giúp sinh viên hiểu sâu và có khả năng áp dụng linh hoạt những gì mình được học. Các cuộc thi nổi tiếng về robot dò line có thể kể đến như: cuộc thi LVBots Line following được tổ chức bởi Pololu, cuộc thi Robotchallenge 2015 Line Follower & Line Follower Enhanced và nhiều cuộc thi khác.

1.2. Một số loại robot dò line phổ biến

1.2.1. Robot uXbots

Robot uXbots là robot có cấu trúc ba bánh vì sai với hai bánh dẫn động được đặt phía sau. Nó được tạo ra với mục đích giáo dục và đã tham gia cuộc thi Hispabots Competition và Robolid Competition được tổ chức ở Tây Ban Nha. uXbots có những đặc điểm như:

- Dẫn động bằng hai động cơ DC Maxon
- Vận tốc tối đa: 3 m/s
- Sử dụng cảm biến hồng ngoại và cảm biến quán tính IMU
- Giải thuật học đường đi và giải thuật thích nghi



Hình 1.3. Robot uXbots [2]

1.2.2. Robot Chariot

Robot đã tham gia cuộc thi LVBots Line Following Competition được tổ chức bởi Pololu vào tháng 4 năm 2015. Chariot có hình dáng như tên gọi của nó, là “một chiếc xe kỵ binh” (hình 1.4) đạt tốc độ lớn nhất là $1,17\text{ m/s}$ và giành được giải nhì trong cuộc thi đó. Một số đặc điểm của Robot Chariot như:

- Dẫn động bằng hai động cơ DC Pololu 15,5D
- Vận tốc tối đa: $1,17\text{ m/s}$
- Sử dụng thanh cảm biến hồng ngoại QTR – 8RC
- Giải thuật điều khiển PID

1.3. Yêu cầu thiết kế

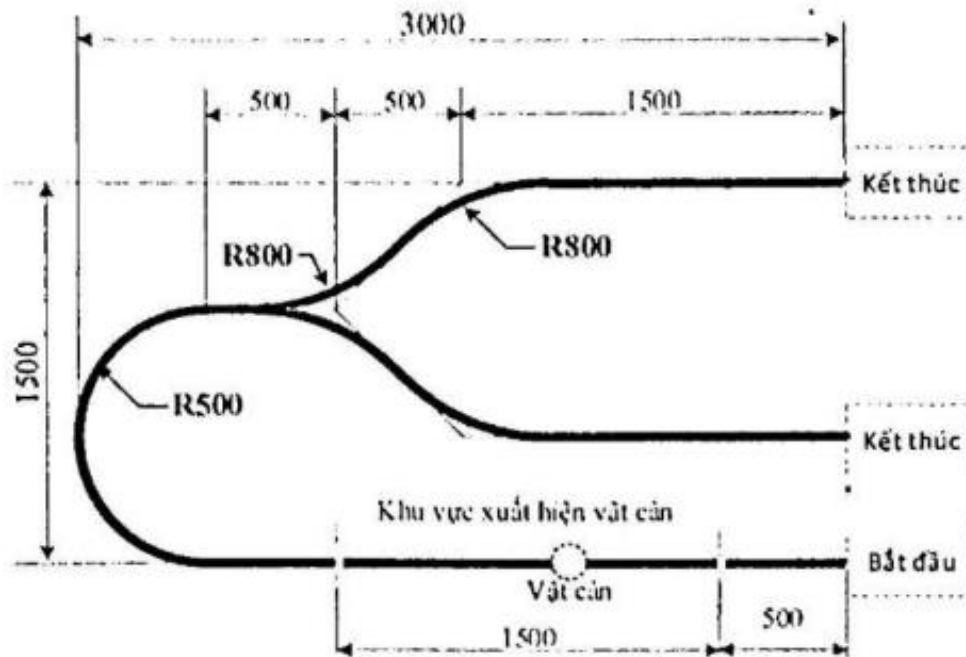
Thiết kế robot di chuyển bám line trên sa bàn, phát hiện vật cản trên đường đi và di chuyển vòng qua vật cản với các đặc tính:

- Nền sa bàn có màu trắng
- Đường dẫn có màu đen
- Bề rộng đường dẫn: 26 mm
- Di chuyển trong mặt phẳng



Hình 1.4. Robot Chariot [3]

- Tốc độ di chuyển thấp nhất: $0,1 \text{ m/s}$
- Sai số bám đường dẫn (tính từ mép trái hoặc mép phải của đường line): $\pm 3 \text{ mm}$
- Sai số vị trí dừng cuối đường dẫn là $\pm 5 \text{ mm}$
- Vật cản là khối trụ có đường kính tiết diện 50 mm



Hình 1.5. Sơ đồ

Chương 2. PHƯƠNG ÁN THIẾT KẾ

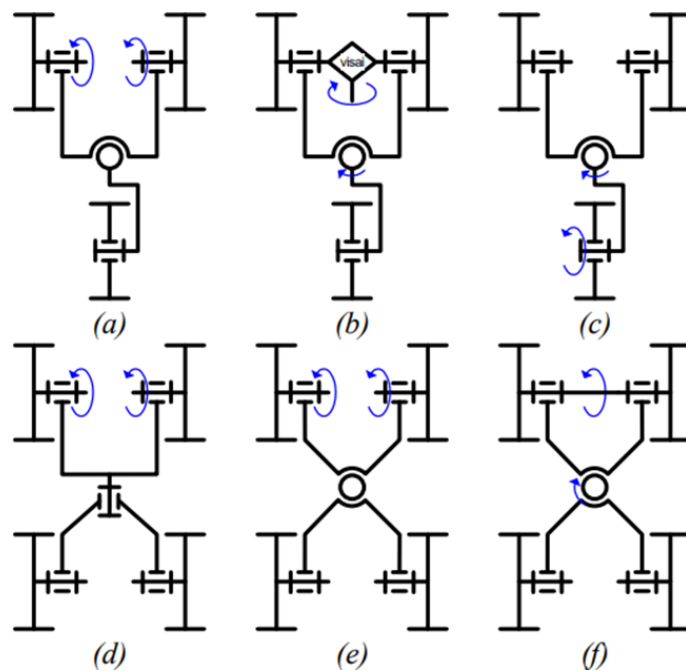
2.1. Kết cấu cơ khí

Robot dò line có rất nhiều cấu trúc cơ khí: cấu trúc hai bánh, cấu trúc ba bánh, cấu trúc bốn bánh hay thậm chí cấu trúc sử dụng bánh xích hay bánh omni. Đối với mục tiêu về tốc độ mà đầu bài thiết kế đã đặt ra thì chỉ có cấu trúc ba bánh và bốn bánh là khả thi nhất để có thể chế tạo cũng như là có thể đạt được vận tốc như mong muốn. Chính vì vậy, nhóm chỉ liệt kê các cấu trúc cơ khí khả thi thuộc hai nhóm cấu trúc ba bánh và cấu trúc bốn bánh.

Cấu trúc cơ khí được lựa chọn dựa trên ba đặc điểm chính:

- Số lượng bánh xe
- Vị trí đặt các bánh dẫn động
- Loại động cơ dẫn động

Dựa theo số lượng bánh xe và vị trí đặt các bánh dẫn động, ta có các cơ cấu sau khả thi như hình 2.1:



Hình 2.1. Cấu trúc ba bánh (a,b,c); cấu trúc bốn bánh (d,e,f); dẫn động bánh trước (b,c); dẫn động bánh sau (a,d,e,f) [4]

2.1.1. Số lượng bánh xe

Ở đây, nhóm tập trung phân tích hai loại cấu trúc là cấu trúc khung xe ba bánh và cấu trúc khung xe bốn bánh.

Đặc điểm của cấu trúc khung xe ba bánh

Ưu điểm

- Ba bánh luôn đồng phẳng
- Cấu trúc xe đơn giản và gọn nhẹ

Nhược điểm

- Thiếu ổn định khi vào cua

Đặc điểm của cấu trúc khung xe bốn bánh

Ưu điểm

- Phân phối lực kéo đồng đều giữa các động cơ
- Giúp robot ổn định hơn khi vào cua
- Có thể chạy ở nhiều dạng địa hình

Nhược điểm

- Cần có cơ cấu đồng phẳng để giúp robot chạy ổn định

Do đề bài không yêu cầu tải và robot chỉ chạy trên sa bàn phẳng nên lựa chọn phương án cấu trúc khung xe ba bánh. Ngoài ra, cấu trúc ba bánh giúp tối ưu kết cấu cơ khí, từ đó giảm khối lượng của robot, phù hợp với yêu cầu thời gian chạy phải đạt mức ngắn nhất có thể mà đầu bài thiết kế đã đặt ra. Việc cấu trúc ba bánh làm cho xe thiếu ổn định khi vào cua có thể được cải thiện thông qua bộ điều khiển.

2.1.2. Vị trí đặt bánh chủ động

Cấu trúc khung xe ba bánh của robot dò line được phân ra làm hai dạng phụ thuộc vào vị trí các bánh dẫn động: hai bánh dẫn động đặt phía sau và hai bánh dẫn động đặt phía trước (hình 2.2).

Nhóm chọn phương án đặt phía sau vì khi hai bánh dẫn động ở phía sau sẽ giúp kiểm soát trọng tâm xe tốt hơn. Ngoài ra, khi đặt hai bánh ở phía sau thì thời gian truyền dữ liệu từ cảm biến đến động cơ sẽ dài hơn, cho phép động cơ có thời gian xử lý dữ liệu, tránh xảy ra hiện tượng rung lắc do động cơ không đáp ứng được.

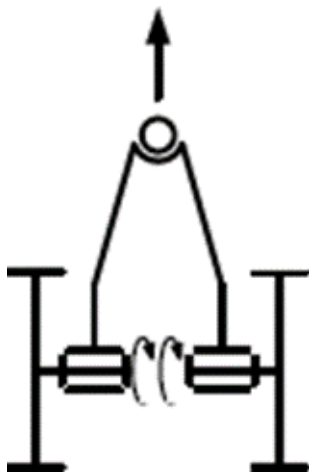
2.1.3. Động cơ dẫn động

Có rất nhiều loại động cơ có sẵn trên thị trường hiện nay có thể dùng để dẫn động cho robot dò line. Dựa vào một số tiêu chí như giá cả, khả năng hoạt động, tần suất sử dụng trong các robot dò line hiện hành, ... nhóm phân tích đặc điểm của một số loại động cơ và tiêu chí lựa chọn.

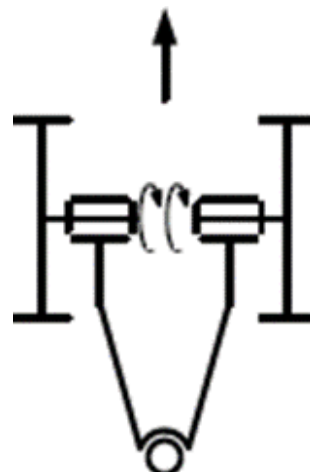
Động cơ bước

Ưu điểm

- Điều khiển vị trí chính xác
- Tốc độ cao
- Tích hợp sẵn driver điều khiển



Bánh dẫn động đặt phía sau



Bánh dẫn động đặt phía trước

Hình 2.2. Hai dạng chính của cấu trúc khung xe ba bánh

Nhược điểm

- Giá thành cao

- Kích thước tương đối lớn

Động cơ DC

Ưu điểm

- Momen xoắn lớn
- Tốc độ quay lớn
- Giá rẻ
- Kích thước đa dạng
- Điều khiển linh hoạt

Nhược điểm

- Có khả năng xảy ra vọt lố
- Khó điều khiển vị trí chính xác

Do mục đích thiết kế của robot là bám đường dẫn với tốc độ không cao nên các giải thuật điều khiển đều là điều khiển tốc độ, do đó tiêu chí lựa chọn chủ yếu là khả năng điều khiển vòng kín và giá thành. Vì vậy, nhóm lựa chọn động cơ DC kết hợp với encoder để hồi tiếp vận tốc.

2.2. Cơ cấu cảm biến

Đối với robot dò line, có rất nhiều loại cảm biến để đo độ lệch của robot so với line như: cảm biến hồng ngoại, cảm biến từ, camera, ...



Camera Pixy5



Thanh cảm biến hồng ngoại



Cảm biến từ

Hình 2.3. Một số cơ cấu cảm biến [5]

Cảm biến được chọn dựa trên loại line được sử dụng. Đối với đồ án thiết kế là line đen kẻ trên nền trắng nên phần này chỉ tập trung phân tích cảm biến hồng ngoại và camera. Còn loại cảm biến từ thường được sử dụng trong các nhà kho hiện đại như nhà kho của Amazon, cảm biến từ ít bị ảnh hưởng bởi nhiễu nhưng đòi hỏi chi phí đầu tư ban đầu lớn.

Với tác vụ né vật cản, các phương án có thể dùng bao gồm camera CMU với giải thuật xử lý ảnh hoặc các loại cảm biến phát hiện vật cản như cảm biến quang, cảm biến siêu âm, ...

2.2.1. Camera CMU

Camera sẽ chụp một số các bức ảnh trong đơn vị thời gian và các bức ảnh sẽ được tách thành các Pixel để xử lý. Đối với robot dò line, các bức ảnh do camera chụp sẽ là thông tin cho bộ xử lý tìm ra độ tương phản của line đen và nền trắng (hoặc ngược lại) từ đó tính độ lệch của robot so với line. Độ chính xác của camera dựa vào ba yếu tố chính: độ phân giải, số khung hình trên giây (fps) và tốc độ của bộ xử lý. Phương pháp này có độ chính xác cao với công nghệ xử lý ảnh nhưng so với các loại cảm biến thì giá thành sẽ đắt hơn và đồng thời phức tạp hóa giải thuật lập trình sai số. Với yêu cầu thiết kế không cần mức độ chính xác quá cao thì giá thành của camera là một trở ngại lớn trong việc lựa chọn.



Hình 2.4. Camera CMU Pixy 5 [6]

2.2.2. Cảm biến hồng ngoại

Cảm biến hồng ngoại có hai LED hồng ngoại: LED phát và LED thu (hình 2.5). Khi cảm biến hoạt động, LED phát sẽ phát ra một tia hồng ngoại và tia hồng ngoại này khi đập vào vật có màu trắng sẽ phản xạ lại LED thu. Khi tia hồng ngoại này gặp vật đen, tia đó sẽ bị hấp thụ và LED thu không thể nhận được tia phản xạ.

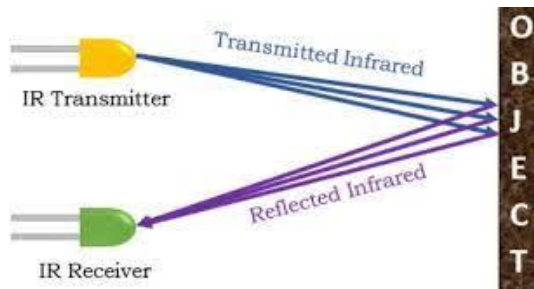
Điện thế ở đầu ra được tính theo công thức sau:

$$V_{out} = \frac{R_C}{R_C + R_E} V_{cc} \quad (2.1)$$

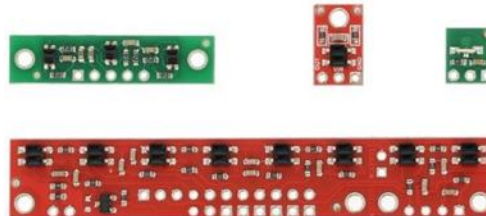
Với R_C là điện trở nội của LED thu.

Khi LED thu không nhận được tia phản xạ thì giá trị của R_C rất lớn (xấp xỉ hàng trăm $k\Omega$) nên công thức 2.1 có thể xấp xỉ thành $V_{out} \approx V_{cc}$.

Bằng cách kết hợp nhiều cảm biến hồng ngoại với nhau thành một thanh cảm biến và đo các hiệu điện thế đầu ra của cảm biến, bộ xử lý có thể tính toán độ lệch của robot so với line. Một số cách sắp xếp cảm biến thông dụng như: xếp theo dãy, xếp theo ma trận, xếp theo hình mũi tên, ... như hình 2.7.



Hình 2.5. Nguyên lý hoạt động của cảm biến hồng ngoại [7]

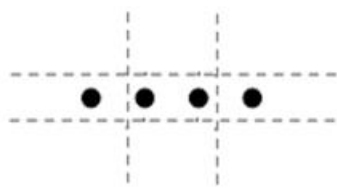


Hình 2.6. Các cảm biến hồng ngoại và thanh cảm biến hồng ngoại [5]

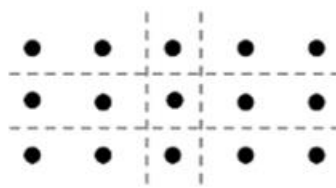
Tín hiệu từ cảm biến hồng ngoại được xử lý bằng 2 phương pháp xử lý tín hiệu là phương pháp so sánh và phương pháp xấp xỉ.

Kỹ thuật xử lý tín hiệu bằng phương pháp so sánh

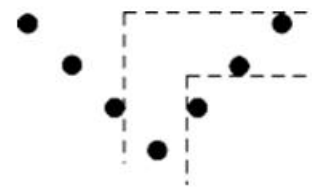
Phương pháp này dùng bộ so sánh để xác định vị trí xe thông qua hai trạng thái đóng ngắt của cảm biến ở mức cao và mức thấp. Sau khi phân tích xong, bộ xử lý sẽ dựa vào bảng mã hóa đã xây dựng sẵn để tìm ra vị trí của line (hình 2.8). Kỹ thuật này cho tốc độ xử lý nhanh, độ chính xác và sai số chủ yếu phụ thuộc vào khoảng cách giữa các cảm biến.



Sắp xếp theo dãy



Sắp xếp theo ma trận



Sắp xếp hình mũi tên

Hình 2.7. Một số cách sắp xếp cảm biến thông dụng



Line nằm giữa



Line nằm lệch bên phải



Line nằm lệch bên trái



Hình 2.8. Xử lý tín hiệu bằng phương pháp so sánh [4]

Kỹ thuật xử lý tín hiệu bằng phương pháp xấp xỉ

Phương pháp thứ hai xấp xỉ vị trí cảm biến so với đường tâm line từ các tín hiệu tương tự từ cảm biến. Các giải thuật xấp xỉ theo bậc 2, tuyến tính, theo trọng số (hình 2.9) cho các sai số bám line khác nhau. Thời gian xử lý phụ thuộc vào thời gian đọc ADC tất cả các cảm biến của vi điều khiển, do đó sẽ lâu hơn phương pháp thứ nhất, tuy nhiên độ chính xác cao hơn.

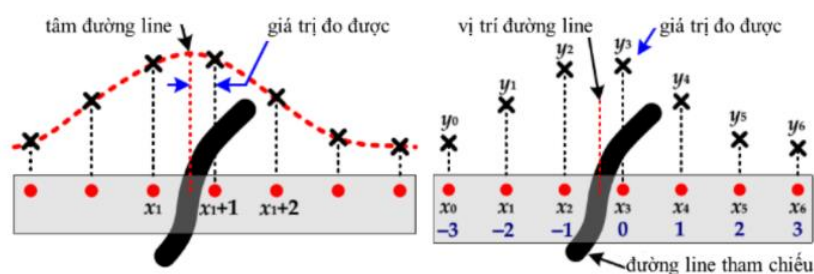
Nhóm lựa chọn cảm biến hồng ngoại cùng với kỹ thuật xử lý so sánh vì cảm biến hồng ngoại có tốc độ đáp ứng nhanh, phù hợp với mục tiêu thiết kế. Ngoài ra, chi phí chế tạo một mạch cảm biến hồng ngoại cũng rẻ hơn so với chi phí mua và chế tạo mạch cảm biến có gắn camera.

2.2.3. Cảm biến phát hiện vật cản

Đối với tác vụ né vật cản, yêu cầu chủ yếu là robot phát hiện vật cản và đi vòng qua vật cản. Vì vậy tín hiệu trả về bộ điều khiển bao gồm các thông tin có vật cản và khoảng cách từ robot đến vật cản đó. Các loại cảm biến phát hiện vật cản thông dụng như cảm biến tiệm cận, cảm biến quang và cảm biến siêu âm đều có thể thực hiện tốt tác vụ này.

Cảm biến hồng ngoại

Cảm biến vật cản hồng ngoại sử dụng một cặp truyền và nhận tia hồng ngoại. Tia hồng ngoại phát một tần số nhất định khi gặp vật cản sẽ phản xạ vào đèn thu hồng ngoại, sau khi qua IC so sánh cho tín hiệu số đầu ra. Cảm biến hồng ngoại có cấu tạo khá đơn giản, giá thành rẻ nhưng tồn tại một số nhược điểm như dễ bị nhiễu với ánh sáng môi trường, độ chính xác còn phụ thuộc vào bề mặt và màu sắc của vật cản.



Hình 2.9. Xử lý tín hiệu bằng phương pháp xấp xỉ [4]

Cảm biến siêu âm

Cảm biến siêu âm là một thiết bị cảm biến hoạt động dựa trên sóng siêu âm. Cũng giống như các loại cảm biến áp suất hay cảm biến nhiệt độ, cảm biến siêu âm được dùng chủ yếu là để đo khoảng cách hoặc vận tốc. Ngoài ra thì còn được sử dụng trong các ứng dụng như làm sạch bằng sóng siêu âm hoặc dùng trong siêu âm y khoa (siêu âm chẩn đoán hình ảnh).



Hình 2.10. Cảm biến hồng ngoại [8]



Hình 2.11. Cảm biến siêu âm [9]

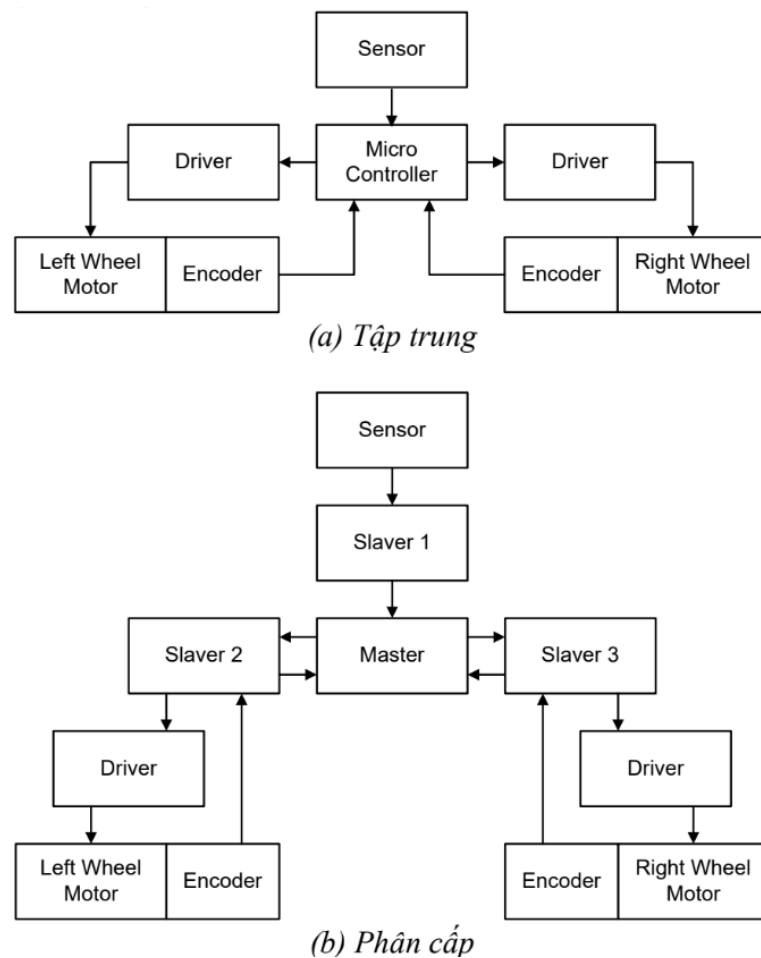
Đầu tiên, đầu cảm biến sẽ phát ra 1 chùm sóng siêu âm xuống bề mặt cần đo khoảng cách. Khi sóng siêu âm gặp bề mặt vật cần sẽ phản xạ ngược lại. Khi đó cảm biến sẽ thu lại các chùm sóng siêu âm này. Dựa vào thời gian phản xạ và vận tốc của sóng, cảm biến sẽ

tính ra được khoảng cách từ cảm biến đến bề mặt vật cản. Sóng siêu âm là một loại âm thanh có tần số cao nên độ nhạy của cảm biến rất cao, thời gian đáp ứng nhanh. Độ chính xác của cảm biến siêu âm gần như là tuyệt đối, sai số trung bình khoảng 0,15% đối với khoảng cách 2 m trở lại.

Nhóm lựa chọn cảm biến siêu âm cho tác vụ đo vật cản bởi yêu cầu độ chính xác cao về khoảng cách, nguyên lý đo không phụ thuộc vào màu sắc và bề mặt vật cản.

2.3. Cấu trúc điều khiển

Mạch điện robot dò line gồm các thành phần cơ bản chính bao gồm mạch cảm biến, mạch điều khiển và mạch lái động cơ. Hai phương pháp chính dùng để kết nối các thành phần với nhau là điều khiển tập trung và điều khiển phân cấp (hình 2.12).



Hình 2.12. Cấu trúc điều khiển của robot bám line [4]

Trong *cấu trúc điều khiển tập trung*, mọi quá trình tính toán và thực hiện điều khiển sẽ tập trung vào vi xử lý trung tâm. Vi xử lý trung tâm sẽ chịu trách nhiệm đọc tín hiệu từ các cảm biến và trực tiếp xuất tín hiệu điều khiển các thiết bị ngoại vi.

Ưu điểm của cấu trúc này là tiết kiệm tài nguyên, quá trình xử lý và điều khiển được diễn ra đồng nhất. Tuy nhiên, nhược điểm của nó là khối lượng thông tin xử lý tập trung vào vi xử lý trung tâm là rất lớn và khó nâng cấp. Vì vậy, cấu trúc điều khiển tập trung phù hợp cho các hệ thống nhỏ, đơn giản và không yêu cầu quá nhiều tác vụ.

Trong *cấu trúc điều khiển phân cấp*, nhiều thiết bị vi điều khiển sẽ đóng vai trò slaver, truyền và nhận tín hiệu từ vi điều khiển master. Mỗi slaver sẽ chịu trách nhiệm cho mỗi chức năng riêng biệt, bao gồm đọc tín hiệu cảm biến, xử lý và xuất tín hiệu điều khiển đến thiết bị ngoại vi phù hợp. Vi điều khiển Master sẽ nhận dữ liệu từ các slaver, sau đó tiến hành xử lý tính toán tổng quan hệ thống, kết hợp với các giải thuật để đưa ra chỉ thị điều khiển, cụ thể là các thông số dữ liệu thích hợp đến các slaver tương ứng. Master và slavers sẽ giao tiếp với nhau thông qua các cổng giao tiếp như UART, CAN, I2C, ...

Ưu điểm của cấu trúc này là giảm áp lực xử lý trên vi điều khiển chính; ngoài ra, nhờ cấu trúc phân cấp mà mỗi chức năng sẽ được 1 bộ phận riêng biệt quản lý, từ đó đảm bảo khả năng hoạt động, tránh nhiễu và tránh sự cố lên toàn hệ thống. Tuy nhiên, nhược điểm của hệ thống này là tốn nhiều tài nguyên, do đó chỉ phù hợp với các hệ thống lớn, đòi hỏi nhiều chức năng.

Với yêu cầu thiết kế robot dò line đơn giản, không đòi hỏi quá nhiều tác vụ xử lý, đề tối ưu chi phí và tài nguyên nên nhóm lựa chọn cấu trúc điều khiển tập trung.

2.4. Giải thuật điều khiển

Đối với robot dò line, cách thông dụng nhất để điều khiển robot bám theo line là tách riêng bộ điều khiển thành hai tầng điều khiển: tầng điều khiển cao là giải thuật để robot bám line và tầng điều khiển thấp là giải thuật điều khiển các động cơ.

Động cơ DC là hệ SISO (Single Input – Single Output). Điều này có thể giải thích rằng đầu vào của động cơ là điện áp cấp (hay *pwm*) còn đầu ra của động cơ là vận tốc quay (*RPM*). Đối với hệ SISO, bộ điều khiển PID là thích hợp để sử dụng.

Đối với hệ robot bám line hoặc xét là robot di động, đây là một hệ MIMO (Multiple Input – Multiple Output) với đầu vào của hệ là hai vận tốc góc của hai động cơ (*RPM1*, *RPM2*) còn đầu ra của hệ là ba thông số trong hệ tọa độ Descartes: x_A , y_A , φ (hình 2.13).

Đối với hệ MIMO, có các giải thuật để điều khiển là ON/OFF, Fuzzy, hoặc bộ điều khiển PID dựa theo thuật toán Linearization feedback.

Bộ điều khiển ON/OFF là phương pháp điều khiển robot dò đường truyền thống, nghĩa là khi robot di chuyển lệch sang trái của đường đi thì robot sẽ tắt động cơ phải trong khi động cơ trái vẫn hoạt động bình thường, điều này sẽ giúp cho robot quay lại đường đi ban đầu; ngược lại, khi robot di chuyển lệch sang phải của đường đi thì robot sẽ tắt động cơ trái trong khi động cơ phải vẫn hoạt động bình thường để giúp robot quay trở lại đường đi ban đầu. Phương pháp điều khiển robot rất đơn giản. Tuy nhiên xe điều khiển ON/OFF lại di chuyển không mượt khi động cơ đổi pha liên tục, robot luôn dao động sang phải và sang trái của đường đi. Điều này ảnh hưởng đến sai số và tốc độ di chuyển của robot và độ bền của động cơ.

Bộ điều khiển mờ (Fuzzy) hoạt động dựa trên logic mờ, ứng dụng cho đối tượng phức tạp mà chưa biết rõ hàm truyền. Logic mờ có thể giải quyết các vấn đề mà điều khiển kinh điển không làm được, phụ thuộc vào kinh nghiệm người vận hành. Cấu trúc của bộ điều khiển mờ gồm khâu mờ hóa để chuyển các điều kiện có giá trị cụ thể thành những khoảng phù hợp theo kinh nghiệm và sự hiểu biết hệ thống của người thiết kế ứng với kết quả mong muốn tương ứng, khâu hợp thành luật mờ theo dạng IF ... THEN và khâu giải mờ từ luật hợp thành, tính toán ra giá trị kết quả trong những trường hợp cụ thể bằng phương pháp cực đại, phương pháp trọng tâm, ...

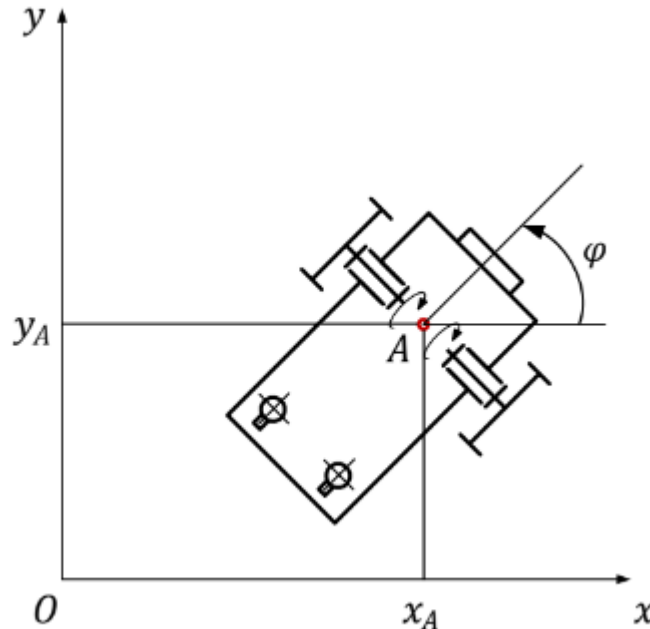
Bộ điều khiển PID (Proportional Integral Derivative) là một cơ chế phản hồi vòng điều khiển tổng quát được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống điều khiển công nghiệp. Bộ

điều khiển PID sẽ tính toán giá trị “sai số” là hiệu số giữa giá trị đo thông số biến đổi và giá trị đặt mong muốn. Bộ điều khiển sẽ thực hiện giảm tối đa sai số bằng cách điều chỉnh giá trị điều khiển đầu vào. Trong trường hợp không có kiến thức cơ bản (mô hình toán học) về hệ thống điều khiển thì bộ điều khiển PID là sẽ bộ điều khiển tốt nhất. Tuy nhiên, để đạt được kết quả tốt nhất, các thông số PID sử dụng trong tính toán phải điều chỉnh theo tính chất của hệ thống.

Các bộ điều khiển đều có ưu và nhược điểm nhưng chúng đều phục vụ một trong hai mục đích điều khiển:

- Điều khiển cả v và ω để robot bám theo line
- Cố định vận tốc $v = v_{max}$

Nhóm lựa chọn bộ điều khiển PID vì nó phù hợp với động cơ DC đã chọn trong phần cấu trúc cơ khí. Ngoài ra, bộ điều khiển PID cũng là bộ điều khiển có công dụng rất rộng cùng với thuật toán điều khiển tương đối dễ hiểu và dễ lập trình.



Hình 2.13. Vị trí robot trong hệ tọa độ Descartes

Chương 3. THIẾT KẾ CƠ KHÍ

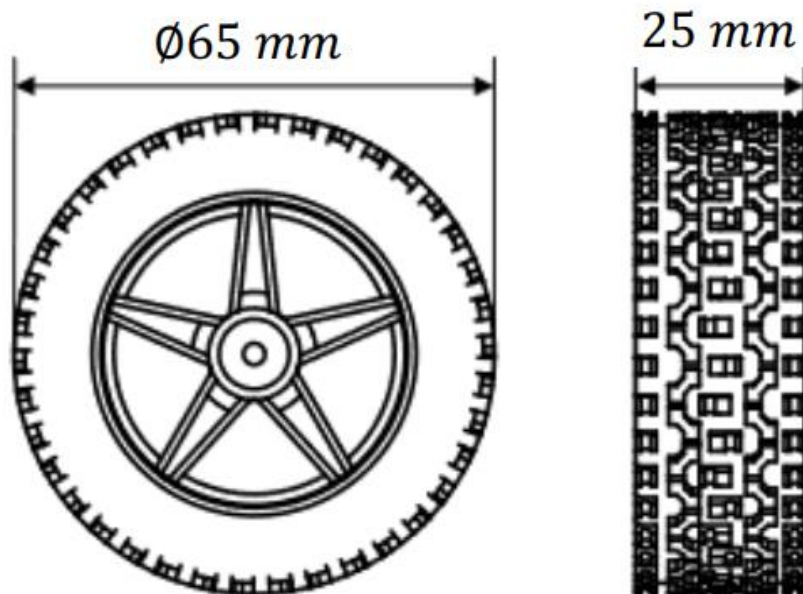
3.1. Bánh xe

3.1.1. Bánh chủ động

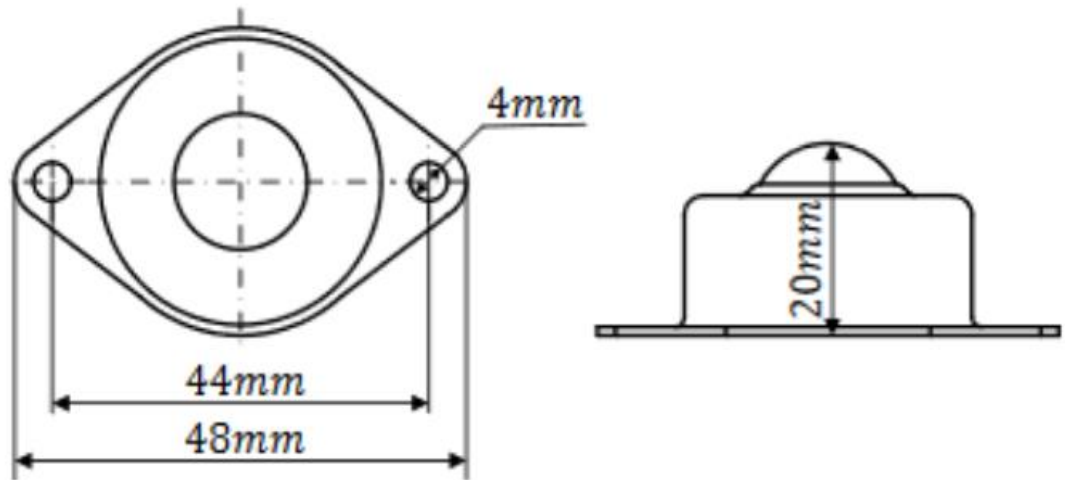
Khi lựa chọn bánh xe chủ động cần quan tâm đường kính và bề dày của bánh xe. Đường kính và bề dày lớn sẽ giúp robot di chuyển nhanh hơn nhưng sẽ làm khối lượng robot tăng. Tham khảo các mẫu bánh xe có sẵn trên thị trường, nhóm tác giả quyết định chọn bánh xe cao su V65 có đường kính là 65 mm và bề dày 25 mm (hình 3.1).

3.1.2. Bánh xe bị động

Hai loại bánh bị động thường được sử dụng cho robot dò line là bánh tự lựa (bánh mắt trâu) và bánh caster. Nhóm tác giả lựa chọn bánh mắt trâu (hình 3.2) vì có khối lượng nhẹ hơn các loại bánh tự lựa khác.



Hình 3.1. Bánh xe chủ động của robo bám line



Hình 3.2. Bánh mắt trâu

3.2. Tính toán chọn động cơ dẫn động

Giả sử các thông số thiết kế của robot dò line như sau:

- Vận tốc tối đa robot có thể đạt được là $0,6 \text{ m/s}$
- Khối lượng của robot là $m = 2 \text{ kg}$
- Robot tăng tốc từ 0 đến $0,6 \text{ m/s}$ trong 1 s. Do đó gia tốc của robot là $a = 0,6 \text{ m/s}^2$

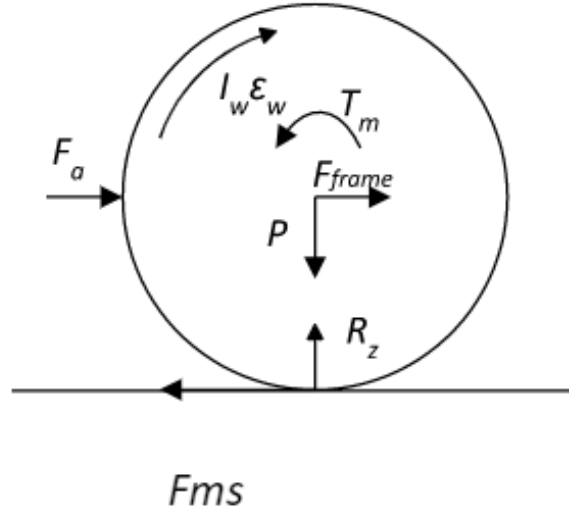
Lấy gia tốc trọng trường $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Ta có $v_{\max} = \omega_{\max} \times r_w = 0,6 \text{ m/s}$

Với $r_w = 32,5 \text{ mm} = 0,0325 \text{ m}$ là bán kính bánh dẫn.

$$\text{Suy ra } \omega_{\max} = \frac{v_{\max}}{r_w} = \frac{0,6}{32,5 \times 10^{-3}} = 18,46 \text{ (rad/s)} = 176,29 \text{ (rpm)}$$

Áp dụng mô hình động học lên bánh xe dẫn động:



Hình 3.3. Mô hình động lực học của bánh xe dẫn động

T_m là momen xoắn của động cơ

W_w là trọng lực của bánh xe và phần trọng lực của khung robot tác dụng lên bánh chủ động

F_{frame} là phản lực theo phương ngang do khung robot tác động lên bánh chủ động

F_a là lực quán tính riêng của bánh xe

R_z là phản lực do mặt đất tác dụng lên bánh xe

F_w là lực ma sát sinh ra do chuyển động của bánh xe

$I_w \omega_w$ là thành phần quán tính xoay của riêng bánh xe

Dựa theo yêu cầu thiết kế, vận tốc robot trong suốt quá trình di chuyển chỉ đạt tối đa là $0,6 \text{ m/s}$ nên xem như robot không bị lật trong suốt quá trình chuyển động.

Do khối lượng robot nhỏ, bánh xe xem như không biến dạng khi robot di chuyển. Ta có phương trình cân bằng động lực học cho bánh xe chủ động:

$$\begin{cases} F_w = F_a + F_{frame} \\ P = R_z \\ T_m = I_w \omega_w + F_w R_w \end{cases} \quad (3.1)$$

Sử dụng phương trình cân bằng momen trong hệ phương trình (3.1), ta có:

$$T_m = \frac{1}{2} m_w (r_w^2 - h_w^2) \varepsilon_w + (F_{frame} + m_w a_w) r_w \quad (3.2)$$

Trong đó:

m_w là khối lượng bánh xe chủ động

a_w là gia tốc bánh xe chủ động

ε_w là gia tốc góc bánh xe chủ động

r_h là bán kính lỗ lắp trục bánh xe vào trục động cơ

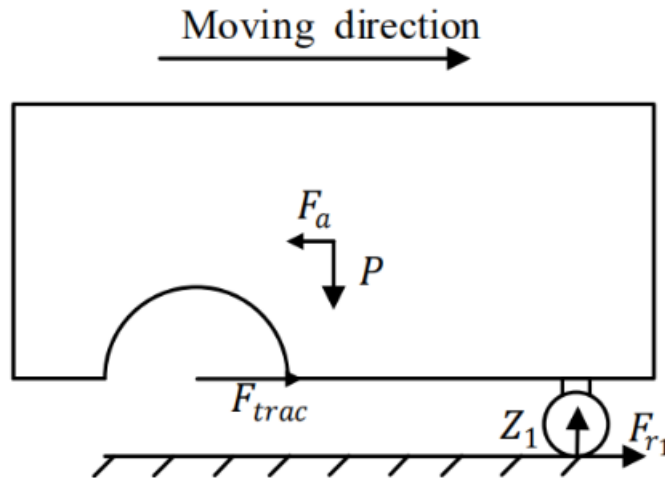
Do tâm bánh xe chủ động gắn chặt với trục động cơ, bánh xe chuyển động song phẳng nên gia tốc của xe cũng chính là gia tốc dài của bánh xe chủ động.

$$a_w = \frac{v_{\max}}{t} = \frac{0,6}{1} = 0,6 \text{ m/s}^2$$

Gia tốc góc bánh xe chủ động:

$$\varepsilon_w = \frac{a_w}{r_w} = \frac{0,6}{32,5 \times 10^{-3}} = 18,61 \text{ (rad/s}^2\text{)}$$

Lực do khung xe tác động lên bánh xe chủ động được tính bằng cách tháo rời bánh:



Hình 3.4. Các lực tác động lên thân robot

Chương 3. THIẾT KẾ CƠ KHÍ

Các ngoại lực tác động lên robot ở hình 2.4 bao gồm:

F_a là lực quán tính của cả robot

$$F_a = M_{robot} a_w$$

G là trọng lượng của robot

F_{trac} là lực kéo tổng hợp do hai bánh chủ động sinh ra. Khi robot chuyển động trên đường thẳng thì $F_{trac} = 2F_{frame}$

F_{ri} là lực ma sát tác dụng lên bánh xe thứ i , giả thiết khối lượng phân bố đều trên các bánh, $F_{ri} = Z_i C$

Z_i là phản lực do nền tác dụng lên bánh xe thứ i , giả thiết khối lượng phân bố đều trên các bánh, $Z_i = \frac{1}{3} M_{robot} g$

Xét cân bằng lực theo phương ngang:

$$F_{trac} = M_{robot} a_w + \frac{1}{3} M_{robot} g C \quad (3.3)$$

Với các thông số thiết kế:

$$M_{robot} = 2 \text{ kg}$$

$$a_w = 0,6 \text{ m/s}^2$$

Hệ số ma sát lăn $C = 0,015$

$$F_{trac} = 2 \times 0,6 + \frac{1}{3} \times 2 \times 9,81 \times 0,015 = 1,298 \text{ (N)}$$

Suy ra:

$$F_{frame} = \frac{1}{2} f_{trac} = \frac{1}{2} \times 1,298 = 0,65 \text{ (N)}$$

Thay các thông số vào phương trình (3.2) ta có:

$$\begin{aligned}T_m &= \frac{1}{2} \times 0,05 \times (32,5^2 - 5,5^2) \times 10^{-6} \times 18,61 + (0,65 + 0,05 \times 0,6) \times 0,0325 \\&= 0,0226 \text{ (Nm)}\end{aligned}$$

Khi robot vào cua, vận tốc góc động cơ có thể tăng lên, và momen xoắn có thể thay đổi nên ta chọn hệ số an toàn = 1,3. Do đó, vận tốc góc và momen xoắn động cơ cần có là:

$$\begin{aligned}\omega &\geq 176,29 \times 1,3 = 229,81 \text{ (rpm)} \\T_m &\geq 0,0226 \times 1,3 = 0,0294 \text{ (Nm)}\end{aligned}$$

Với các thông số đã tính toán, nhóm tác giả lựa chọn động cơ DC Servo GM25 - 370 DC Geared Motor.

Tỷ số truyền	1:34
Dòng không tải	80 mA
Dòng tối đa khi có tải	600 mA
Tốc độ không tải	320 rpm
Tốc độ tối đa khi có tải	284 rpm
Momen xoắn tối đa	1,8 kgf.cm
Số xung encoder	374 xung
Điện áp hoạt động	3 – 12 VDC

Bảng 3.1. Thông số động cơ DC Servo GM25 – 370

3.3. Thiết kế khung robot

3.3.1. Khảo sát kích thước xe trên thị trường

Thông số	Audi A4	Hyundai Grand i10	Audi R8
Tỷ lệ chiều dài cơ sở	59,22%	60,70%	59,83%
Tỷ lệ khoảng cách từ tâm bánh sau đến đuôi xe	21,90%	21,65%	17,74%

Chương 3. THIẾT KẾ CƠ KHÍ

Tỷ lệ khoảng cách từ tâm bánh trước đến đầu xe	18,88%	17,64%	22,42%
Tỷ lệ khoảng cách 2 bánh cầu trước	85%	89,09%	84,79%
Tỷ lệ khoảng cách 2 bánh cầu sau	84%	89,93%	82,42%
Tỷ lệ chiều rộng tổng thể trên chiều dài tổng thể	39%	41%	82,42%

Bảng 3.2. Tỷ lệ chiều dài của các xe ô tô

Kết luận:

Khoảng cách từ tâm bánh trước đến đầu xe khoảng: 20% – 25%

Khoảng cách từ tâm bánh sau đến đầu xe khoảng: 20% – 25%

Khoảng cách chiều dài cơ sở xe chiếm khoảng 50% – 65% chiều dài tổng thể xe

Khoảng cách chiều rộng cơ sở khoảng 80% – 90% chiều rộng xe

Tỷ lệ chiều rộng tổng trên chiều dài tổng của xe trong khoảng từ 38% đến 45 %

3.3.2. Khảo sát tỷ lệ kích thước xe theo đường kính bánh xe

Thông số	BWM 7 Series	Ferrari 458 Italia	Range Rover
Phần dư ra phía trước	0,5 bánh xe	0,7 bánh xe	0,5 bánh xe
Phần dư phía sau	1 bánh xe	0,5 bánh xe	0,5 bánh xe

Bảng 3.3. Tỷ lệ kích thước theo đường kính bánh xe của các xe ô tô

Kết luận:

Từ các thiết kế của các hãng xe lớn trên thế giới, đa số các xe có:

Phần dư phía sau khoảng 1/2 bánh xe đến 1 bánh xe

Phần dư phía trước khoảng 1/2 bánh xe đến 2/3 bánh xe

Chiều dài cơ sở của xe khoảng 3 đến 4 bánh xe

3.3.3. Cơ sở thiết kế

Đặt giả thiết trọng tâm của cả khung robot sẽ nằm trên mặt phẳng đi qua trục bánh xe và song song với mặt đất như hình 3.5.

Dựa vào định luật II Newton và các phương trình cân bằng, ta có hệ phương trình động lực học của robot như sau:

$$\begin{cases} \sum F_x = ma \\ \sum F_y = 0 \\ \sum M_G = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} F_{ms1} + F_{ms2} = ma \\ N_1 + N_2 = mg \\ N_1 l_1 - N_2 l_2 - F_{ms1} h - F_{ms2} h = 0 \end{cases} \quad (3.4)$$

Ta lại có:

$$N_1 l_1 - N_2 l_2 = mah \Rightarrow a = \frac{(mg - N_2)l_1 - N_2 l_2}{mh} \quad (3.5)$$

Trong quá trình xe tăng tốc thì quan hệ giữa độ lớn gia tốc và các kích thước xe phải đảm bảo giữ bánh trước của robot tiếp xúc với mặt đường. Do đó ta đó điều kiện:

$$N_2 \geq 0$$

Từ phương trình trên, suy ra:

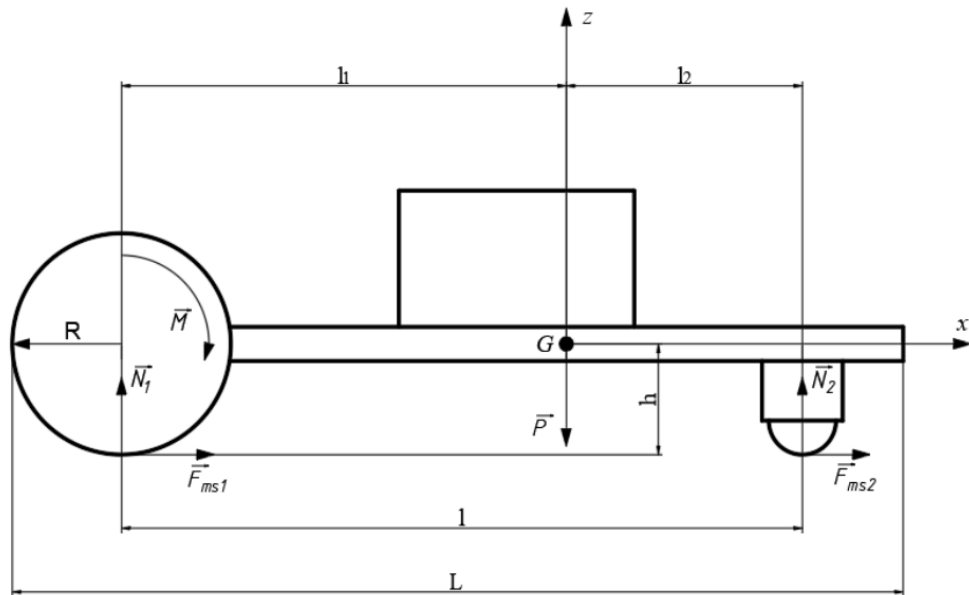
$$N_2 = \frac{mgl_1 - mah}{l_1 + l_2} \geq 0 \quad (3.6)$$

Để thỏa điều kiện trên khi thiết kế khung robot phải đảm bảo chiều cao khung robot thỏa mãn tỉ số $\frac{h}{l_1} \leq \frac{9,81}{0,6} = 16,35$.

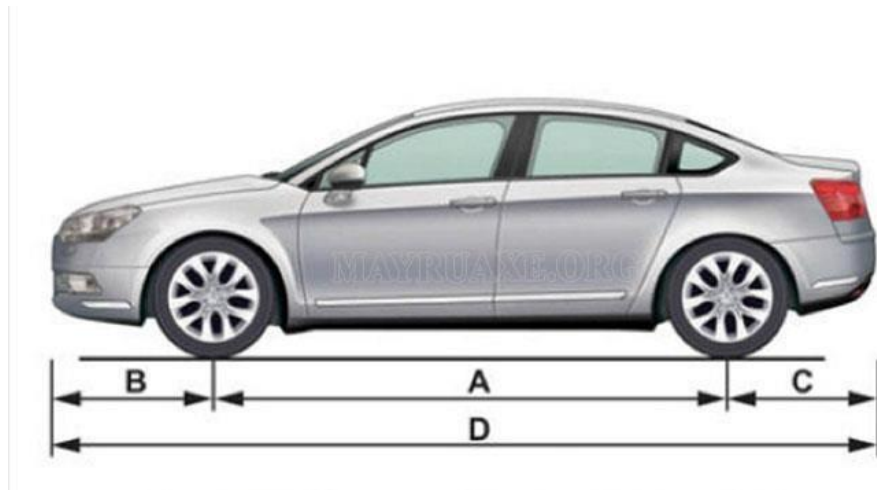
Do nhỏ hơn chiều dài của khung robot nên và giả sử trọng tâm robot nằm trong khoảng từ $(0,1 \div 0,4)L$ (do khối lượng của robot có xu hướng dồn về phía sau) thì khi thiết kế phải chọn tỉ số giữa chiều cao và chiều dài khung xe nằm trong khoảng từ $(0,1 \div 0,4)L = 1,65 \div 6,54$

Chương 3. THIẾT KẾ CƠ KHÍ

Chiều cao h là tổng của chiều dài gá động cơ và bán kính bánh xe. Ta có chiều dài gá động cơ mà nhóm sử dụng là 18,5mm, do đó $h = 22,5 + 32,5 = 50 \text{ mm}$.



Hình 3.5. Sơ đồ phân tích động lực học robot



Hình 3.6. Các kích thước cơ sở

Chọn khoảng cách dư phía trước là $\frac{1}{3}$ bánh xe: $65 \times \frac{1}{3} \approx 20 \text{ mm}$

Khoảng cách phía trước $B = 20 + 20 = 40 \text{ mm}$

Chương 3. THIẾT KẾ CƠ KHÍ

Chọn khoảng cách dư phía sau là $\frac{1}{2}$ bánh xe: $60 \times \frac{1}{2} \approx 30 \text{ mm}$

Khoảng cách phía sau $C = 30 + 20 = 50 \text{ mm}$

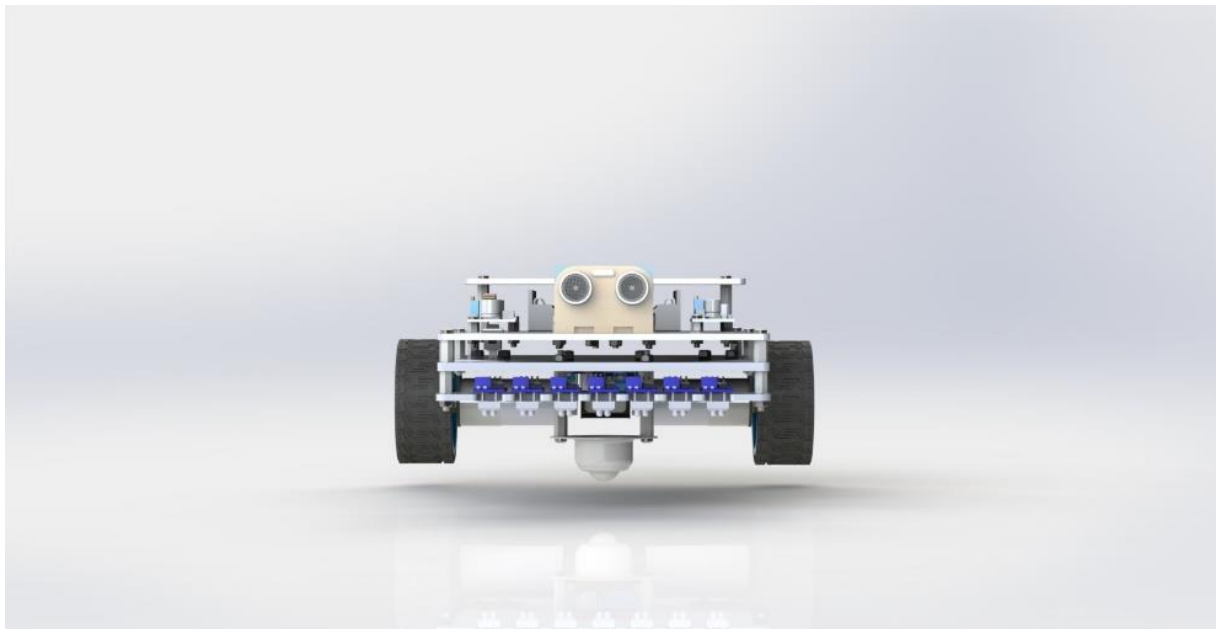
Khoảng cách giữa $A = 65 \times 2 + 65 \times \frac{2}{3} = 170 \text{ mm}$

Chiều dài tổng thể $D = A + B + C = 170 + 40 + 50 = 260 \text{ mm}$

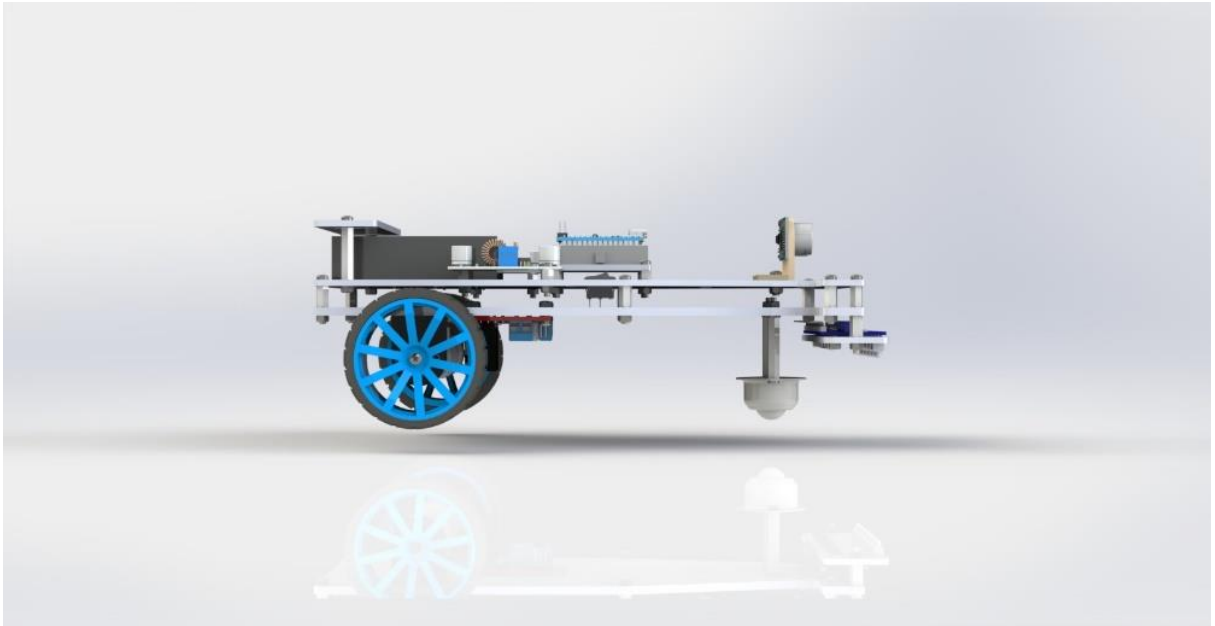
Kiểm nghiệm lại điều kiện giữa chiều cao và khoảng cách, ta thấy $\frac{260}{50} = 5,2$ thỏa mãn điều kiện đặt ra.

Chiều dài tổng thể	260	mm
Khoảng cách tâm bánh trước đến đầu xe	40	mm
Khoảng cách từ tâm bánh sau đến đuôi xe	50	mm
Chiều rộng tổng	192	mm

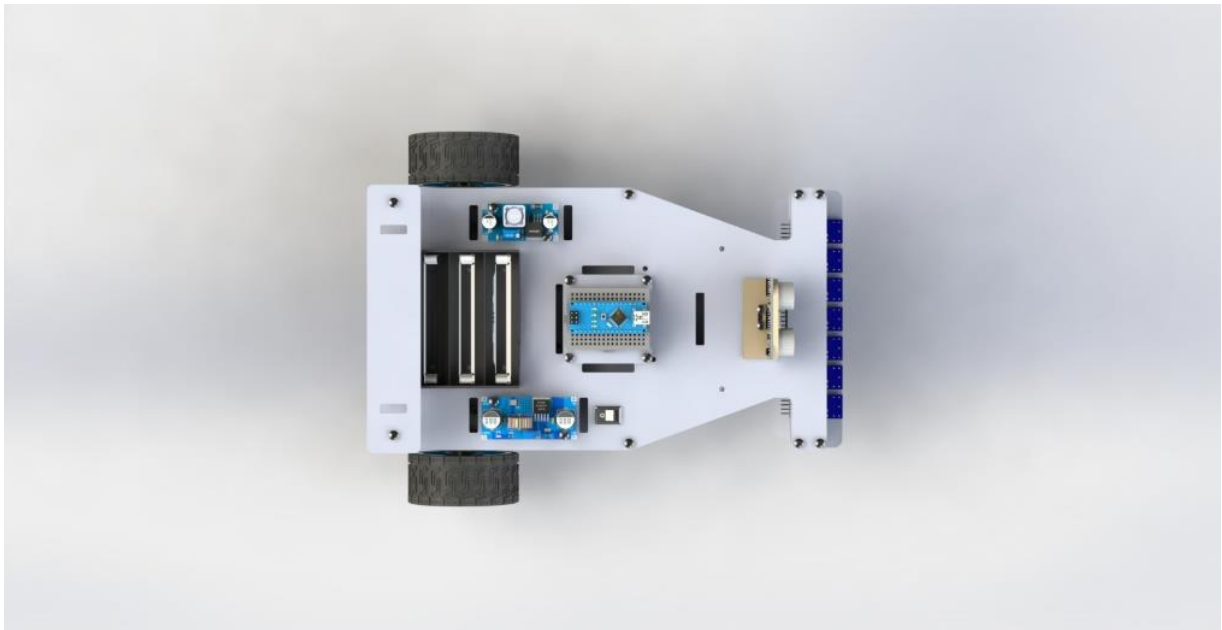
Bảng 3.4. Các kích thước tổng quát của robot



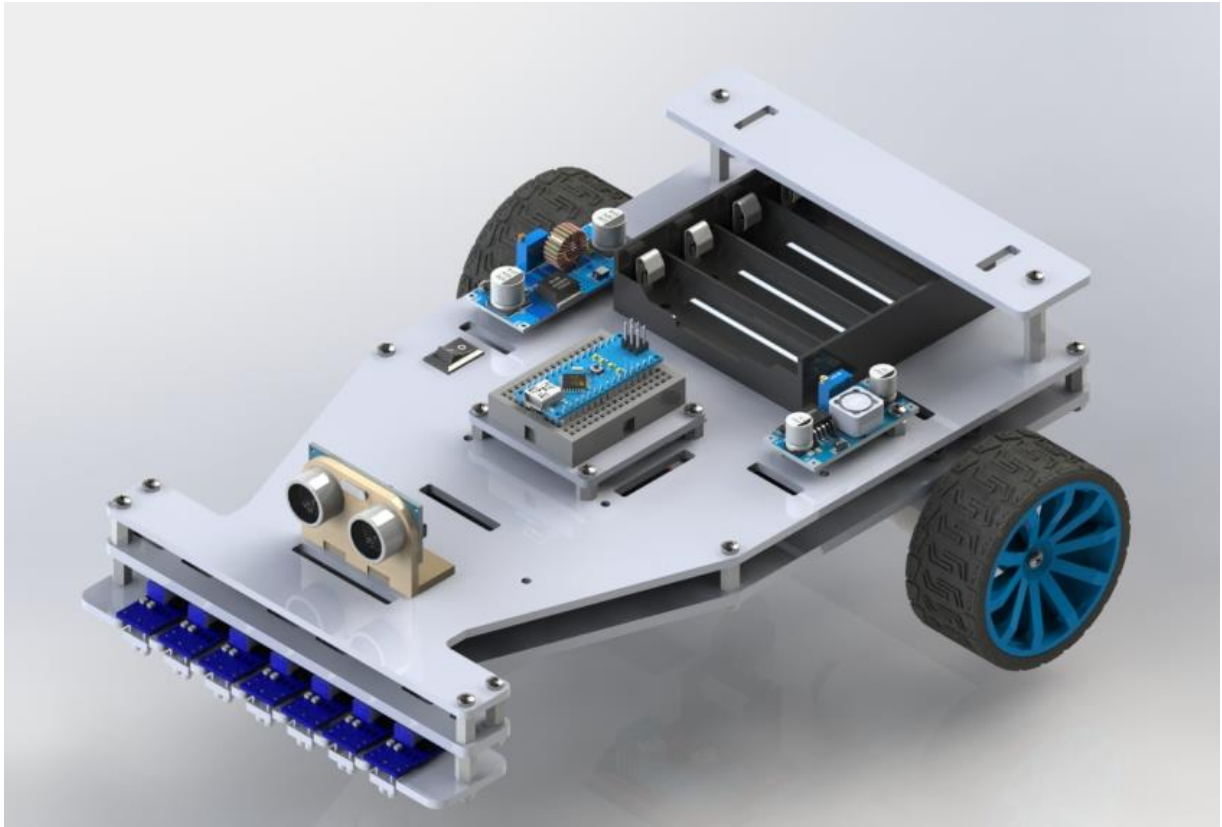
Hình 3.7. Thiết kế 3D theo hướng nhìn từ trước của robot



Hình 3.8. Thiết kế 3D theo hướng nhìn từ cạnh của robot



Hình 3.9. Thiết kế 3D theo hướng nhìn từ trên của robot



Hình 3.10. Thiết kế 3D của robot

Chương 4. THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỆN

4.1. Tổng quan thiết bị

4.1.1. Cảm biến dò line

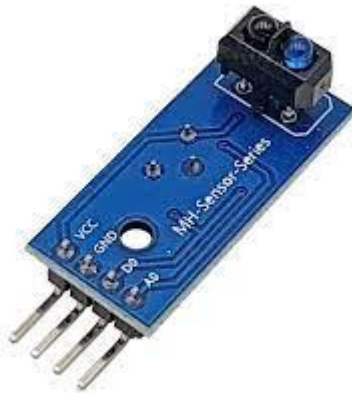
Thông số	TCRT5000	Đơn vị
Kích thước (D x R x C)	10,2 x 5,8 x 7	mm
Phạm vi hoạt động	0,2 - 15	mm
Khoảng cách hoạt động hiệu quả	2,5	mm
Dòng đầu ra	10	mA

Bảng 4.1. Thông số kỹ thuật cảm biến hồng ngoại TCRT5000 [10]

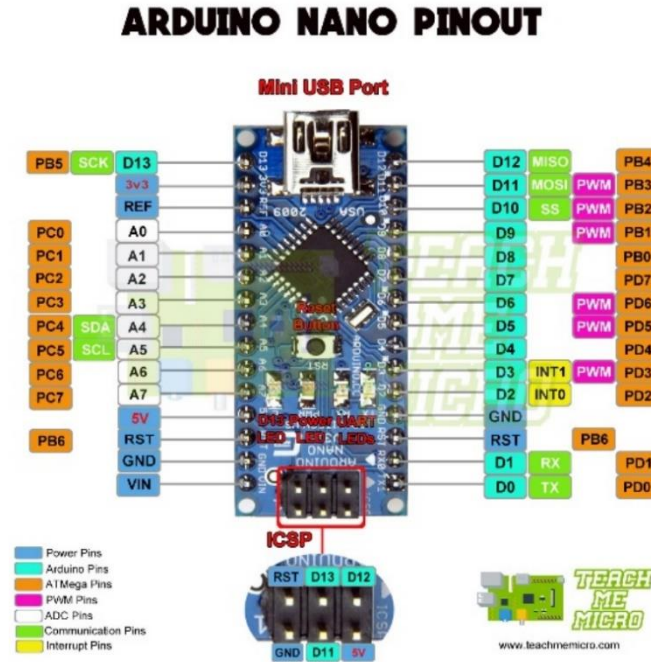
4.1.2. Vi điều khiển

Dựa vào phương án điều khiển tập trung mà nhóm đã chọn, yêu cầu một vi điều khiển để thực hiện các tác vụ tracking line và điều khiển động cơ DC.

Sau khi tìm hiểu, nhóm nhận thấy có các dòng vi điều khiển như Arduino, PIC16F, STM32 thỏa các yêu cầu trên. Nhóm lựa chọn dòng Arduino Nano (hình 4.2) vì giá thành rẻ, thư viện hỗ trợ rộng và kỹ thuật lập trình đơn giản.



Hình 4.1. Module cảm biến hồng ngoại TCRT5000 [11]



Hình 4.2. Arduino Nano [12]

4.1.3. Driver điều khiển động cơ DC

Driver phải đáp ứng được các thông số hoạt động của động cơ bao gồm:

$$V_{out} \geq 12 \text{ VDC}$$

$$I_{max} \geq 1,3 \text{ A}$$

Đồng thời driver phải đáp ứng được tốc độ phát xung PWM từ vi điều khiển với tần số $> 500 \text{ Hz}$

Nhóm sử dụng driver L298N với các thông số được thể hiện ở bảng 4.2

Đặc tính kỹ thuật	L298N	Đơn vị
Điện áp đầu ra	6 - 35	VDC
Dòng đầu ra	2	A
Tần số hoạt động	40	kHz
Số cổng điều khiển	2	

Bảng 4.2. Thông số kỹ thuật driver L298N [13]



Hình 4.3. Driver L298N [14]

4.2. Thiết kế dây cảm biến

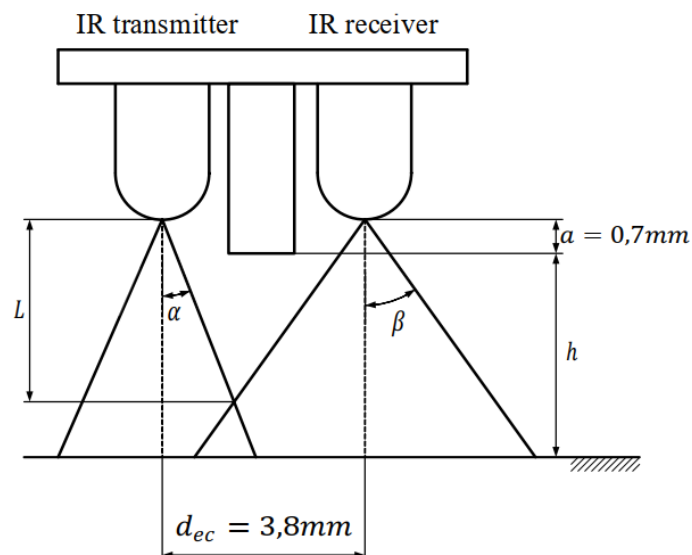
4.2.1. Số lượng cảm biến

Số lượng cảm biến phải vừa đủ để vừa đảm bảo độ phân giải cao, phạm vi phát hiện rộng, vừa đảm bảo khối lượng xử lý không quá nhiều.

Số lượng cảm biến phải là số lẻ để thuận lợi cho việc điều khiển.

Nhóm tác giả lựa chọn số lượng cảm biến là 7.

4.2.2. Khoảng cách đến mặt sa bàn của cảm biến



Hình 4.4. Ngưỡng hoạt động của cảm biến

Độ cao L được tính toán:

$$L = \frac{d_{ec}}{\tan \alpha + \tan \beta} = \frac{3,8}{\tan 16^\circ + \tan 30^\circ} = 4,4 \text{ mm}$$

Vậy độ cao nhỏ nhất từ cảm biến đến mặt sa bàn là:

$$h_{\min} = L - 0,7 = 4,4 - 0,7 = 3,7 \text{ mm}$$

Kết hợp với kết cấu cơ khí, độ cao cảm biến so với sa bàn được chọn là 13 mm

4.2.3. Khoảng cách giữa 2 module cảm biến

Với $h = 13 \text{ mm}$, ta tính được khoảng cách giữa vùng phát và vùng thu của 2 cảm biến liền kề nhau tối thiểu sao cho không bị nhiễu giữa 2 cảm biến kế nhau là:

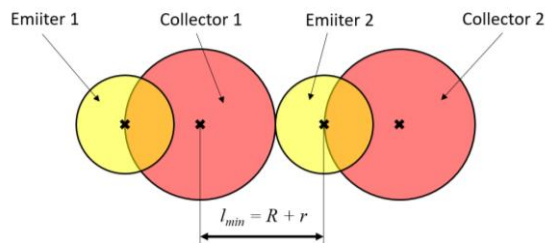
$$l_{\min} = R + r = (h + 0,7) \times \tan 15^\circ + \tan 8^\circ \approx 3,8 \text{ mm}$$

Do khoảng cách giữa cực thu và cực phát trên TCRT5000 theo datasheet là $d = 3,5 \text{ mm}$, do đó để an toàn thì khoảng cách ta nên lấy là:

$$l = l_{\min} + d = 3,8 + 3,5 = 7,3 \text{ mm}$$

Theo datasheet, chiều dài mỗi cảm biến là $L = 10,2 \text{ mm} > l = 7,3 \text{ mm}$, do đó ta chọn khoảng cách tối thiểu giữa 2 cảm biến là $d_{\min} = L = 10,2 \text{ mm}$.

Nhóm sử dụng module dò line đơn TCRT5000 có kích thước dài x rộng là $3,2 \text{ cm} \times 1,4 \text{ cm}$. Do đó, việc sử dụng module đảm bảo 2 cảm biến sẽ không nhiễu lẫn nhau do khoảng cách thực tế giữa 2 cảm biến lớn hơn khoảng cách tối thiểu ($14 \text{ mm} > 10,2 \text{ mm}$) [11].



Hình 4.5. Khoảng cách tối thiểu giữa 2 cảm biến kế nhau

Vì phương pháp xác định độ lệch giữa tâm xe và tâm line là phương pháp xấp xỉ trung bình trọng số, nhóm đặt ra yêu cầu luôn có tối thiểu 2 cảm biến nằm trên line trong cùng một thời điểm để xác định chính xác độ lệch.

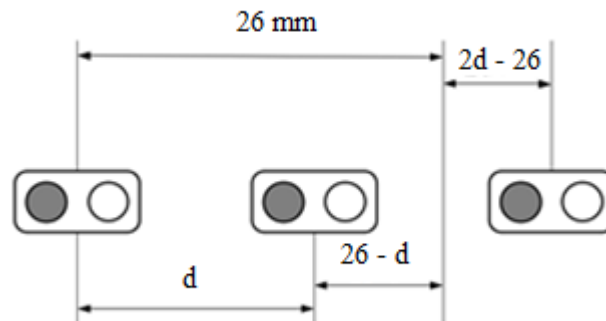
Vì chiều rộng module cảm biến theo datasheet là 14 mm nên khoảng cách tối thiểu giữa 2 cảm biến (đặt 2 module nằm cạnh nhau) là 14 mm . Với chiều rộng line $W_{line} = 26\text{ mm}$, tối đa trong cùng một thời điểm sẽ chỉ có 2 cảm biến cùng nằm trên line.

Hình 4.6 mô tả rõ ràng hơn vị trí tương đối của các cảm biến và line trong trường hợp này:

Ta thấy, khi di chuyển cảm biến sang phải trong khoảng $26 - d$ thì luôn có 2 cảm biến nằm trong đường line và giá trị analog thu được sẽ là như nhau nên rơi vào vùng bất định. Hoặc khi di chuyển sang trái trong khoảng $2d - 26$ thì chỉ có 1 cảm biến phát hiện đường line và cũng chỉ thu được một giá trị, có nghĩa là rơi vào vùng bất định. Do đó, để hạn chế việc cảm biến rơi vào vùng bất định thì ta lựa chọn khoảng cách d giữa hai cảm biến sao cho $f_1 = 26 - d$ và $f_2 = 2d - 26$ đồng thời đạt giá trị nhỏ nhất.

Vì f_1 là hàm đơn điệu giảm và f_2 là hàm đơn điệu tăng nên để thỏa mãn yêu cầu đã đặt ra ở trên thì $f_1 = f_2$. Khi đó, ta tính được $d \approx 17\text{ mm}$.

Vậy ta chọn khoảng cách giữa hai cảm biến là 17 mm



Hình 4.6. Trường hợp vùng phát hiện của 2 cảm biến nằm trong line

4.2.4. Calibrate cảm biến

Vì nhóm sử dụng module cảm biến có biến trở để điều chỉnh tín hiệu Digital, nhóm quyết định sẽ calib cảm biến bằng cách xoay biến trở theo các bước như sau:

Bước 1: Đặt cảm biến lên nền trắng và xoay biến trở để đèn Digital sáng lên

Bước 2: Di chuyển dần cảm biến về phía nền đen, chú ý khi đi qua giao điểm giữa nền đen và nền trắng

Bước 3: Khi cảm biến đến gần giao điểm giữa nền đen và nền trắng, dịch chuyển cảm biến đoạn nhỏ và chậm hơn, cùng lúc đó quan sát đèn Digital. Khi tâm cảm biến vừa vượt qua giao điểm và đi vào nền đen, đèn Digital lúc này cần phải tắt. Nếu đèn Digital chưa tắt, vặn nhẹ biến trở đến khi đèn vừa tắt.

Bước 4: Di chuyển cảm biến ngược lại sang nền trắng. Khi tâm cảm biến vừa vượt qua giao điểm và đi vào nền trắng, đèn Digital lúc này cần phải sáng. Nếu đèn Digital chưa sáng, vặn nhẹ biến trở đến khi đèn vừa sáng.

Bước 5: Lặp lại bước 3 và bước 4 đến khi đèn thay đổi trạng thái ổn định khi đi qua giao điểm nền đen và nền trắng

4.3. Cảm biến siêu âm

Nhóm sử dụng cảm biến siêu âm HC-SRF04 với các thông số kỹ thuật được thể hiện ở bảng 4.3

Đặc tính kỹ thuật	HC-SRF04	Đơn vị
Nguồn cung cấp	5	VDC
Dòng tiêu thụ	2	mA
Tín hiệu đầu ra	xung HIGH (5V) và LOW (0V)	
Khoảng cách đo	2 - 300	cm
Độ chính xác	0.5	cm

Bảng 4.3. Thông số kỹ thuật module cảm biến siêu âm HC-SRF04 [15]

4.4. Công suất và pin

Khu vực	Thiết bị	Số lượng	Điện áp	Dòng tiêu thụ
Mạch động lực	L298N	1	12 VDC	36 mA
	DC motor	2	12 VDC	100 mA
Mạch điều khiển	Arduino Nano	1	5 VDC	19 mA
	Cảm biến TCRT5000	7	5 VDC	10 mA
	Encoder	2	3.3 VDC	-
	Cảm biến siêu âm	1	5 VDC	2 mA

Bảng 4.4. Năng lượng tiêu thụ của các thiết bị điện

Tổng công suất ước tính của các thiết bị điện tiêu thụ trong 1 giờ được tính theo công thức:

$$\begin{aligned} Q &= \sum UI \times t \\ &= (12 \times 0.036 + 2 \times 12 \times 0.1 + 5 \times 0.019 + 7 \times 5 \times 0.01 + 5 \times 0.002) \times 1 \\ &= 3.287 \text{ Wh} \end{aligned}$$

Nhóm sử dụng pin 18650 có điện áp ngưỡng là 3,7 V, khi sạc đầy có thể đạt 4 V, dung lượng 2500 mAh, dòng xả tối đa 20 A.

Để tạo nguồn 12 V, nhóm sử dụng 4 pin (có thể đạt 16 V) kết hợp với mạch giảm áp Buck XL4015 giảm xuống 12 V để cấp nguồn cho mạch động lực và module LM2596 để giảm xuống 5 V cấp cho mạch điều khiển.



Hình 4.7. Module giảm áp LM2596 [16]



Hình 4.8. Module giảm áp Buck XL4015 [17]

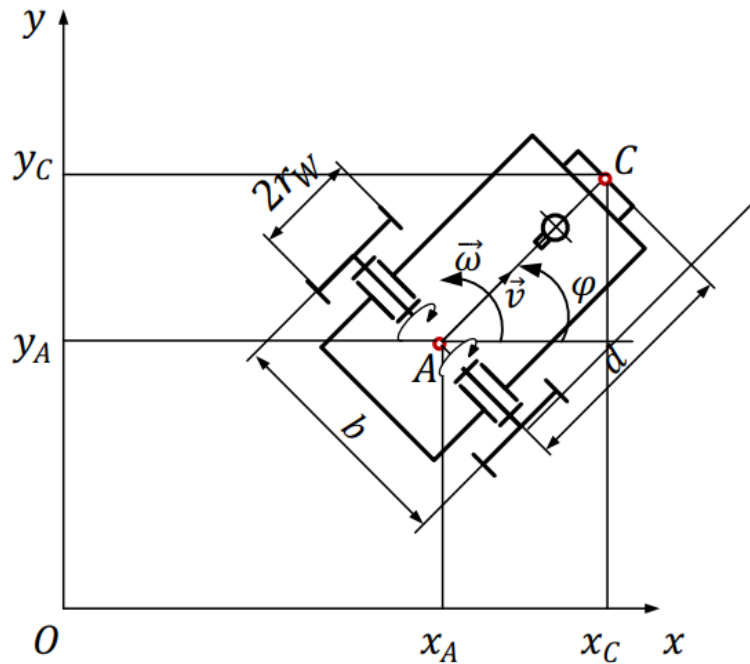
Chương 5. MÔ HÌNH HÓA HỆ THỐNG

Dựa theo yêu cầu đề bài, ta thấy robot dò line chỉ chạy trên bề mặt phẳng, nghĩa là những ngoại lực gần như không thay đổi trong quá trình chuyển động. Mặt khác, theo đầu bài thiết kế, ta chỉ quan tâm đến vận tốc của robot khi đi trên sa bàn và vị trí của robot so với đường line. Do đó, nhóm lựa chọn phân tích động học cho robot.

5.1. Phương trình động học của robot

Gọi A là trung điểm của đoạn thẳng nối hai tâm bánh xe, điểm C là tâm của cảm biến và là điểm track của robot. Các thông số về kích thước b, d, rw được định nghĩa trên hình 5.1, v, ω lần lượt là vận tốc dài và vận tốc góc của robot trong hệ tọa độ Oxy . Phương trình động học của robot viết tại điểm A là:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_A \\ \dot{y}_A \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 \\ \sin \varphi & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad (5.1)$$



Hình 5.1. Mô hình động học robot

Từ các quan hệ hình học:

$$\begin{cases} x_C = x_A + d \cos \varphi \\ y_C = y_A + d \sin \varphi \\ \varphi_C = \varphi \end{cases} \quad (5.2)$$

Ta có được phương trình động học viết tại điểm track C là:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_C \\ \dot{y}_C \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x}_A - \dot{\varphi}.d.\sin \varphi \\ \dot{y}_A + \dot{\varphi}.d.\cos \varphi \\ \omega \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

5.2. Khảo sát đặc tính động cơ

Đối với động cơ DC thông thường, hàm truyền biểu diễn mối quan hệ giữa điện áp cấp vào stato và tốc độ quay tại trục rotor là dạng hàm truyền bậc 2. Việc xác định chính xác hàm truyền cho động cơ DC gặp phải một số khó khăn sau đây:

Thứ nhất, khó khăn trong việc xác định các thông số nội của động cơ như R_{dc} , L_{dc} , hệ số giảm chấn b_{dc} .

Thứ hai, mối quan hệ giữa đầu vào và đầu ra cho mục đích điều khiển vận tốc là bậc hai gây khó khăn cho việc điều khiển.

Để giải quyết khó khăn đó, phương pháp khảo sát hộp đen được sử dụng với cách làm như sau:

Kết hợp động cơ và một mạch driver để giúp tuyến tính hóa hàm truyền của động cơ.

Xem hệ động cơ và driver là một hộp đen để khảo sát đáp ứng với các tín hiệu cấp từ đó xấp xỉ hàm truyền của hệ đó.

5.2.1. Xác định thời gian lấy mẫu

Tốc độ lớn nhất của động cơ qua hộp số khi không tải: $\omega_{\max} = 320 \text{ (rpm)}$

Với hộp giảm tốc được gắn với trục động cơ có tỷ số truyền $u = \frac{1}{34}$

Tốc độ trục động cơ không qua hộp giảm tốc: $\omega_{\max} = \frac{320}{u} = 320 \times 34 = 10880 \text{ (rpm)}$

Chọn sai số điều khiển tốc độ động cơ là 5% $\rightarrow 544 \text{ (rpm)}$

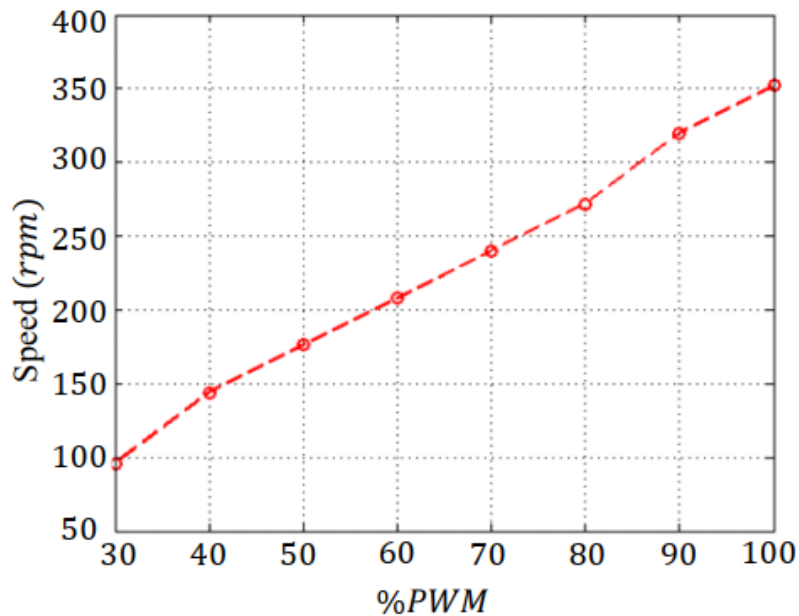
Chọn thời gian lấy mẫu $T_s = 0.35 \text{ (s)}$

Số lượng mẫu cần lấy là 600 mẫu.

5.2.2. Khảo sát khoảng tuyến tính động cơ

Sử dụng vi điều khiển Atmega328P cấp xung cho driver L298N theo phương pháp PWM và đếm xung trả về từ encoder của động cơ, từ đó ta thể hiện được mối quan hệ giữa tốc độ và độ rộng xung (%PWM) theo đồ thị như hình 5.2.

Dựa vào đồ thị biểu diễn, ta thấy mối liên hệ giữa đầu vào (%PWM) và đầu ra (rpm) gần như tuyến tính.



Hình 5.2. Mối quan hệ giữa độ rộng xung và tốc độ

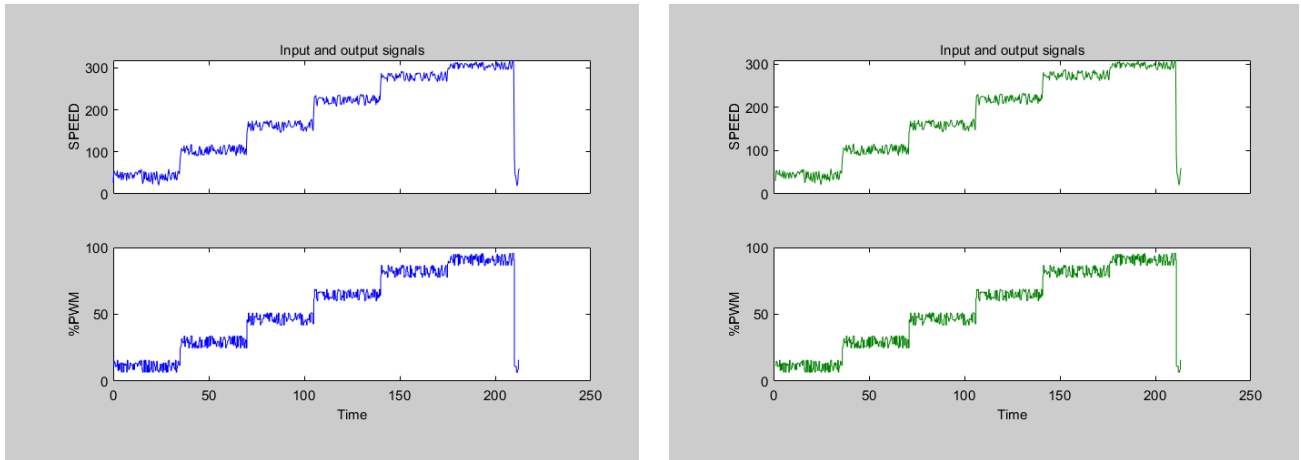
5.2.3. Khảo sát đáp ứng để tìm hàm truyền động cơ

Hàm truyền của động cơ có thể được ước lượng bằng System Identification Toolbox trong phần mềm Matlab thông qua giá trị đầu vào và giá trị đáp ứng đầu ra của động cơ.

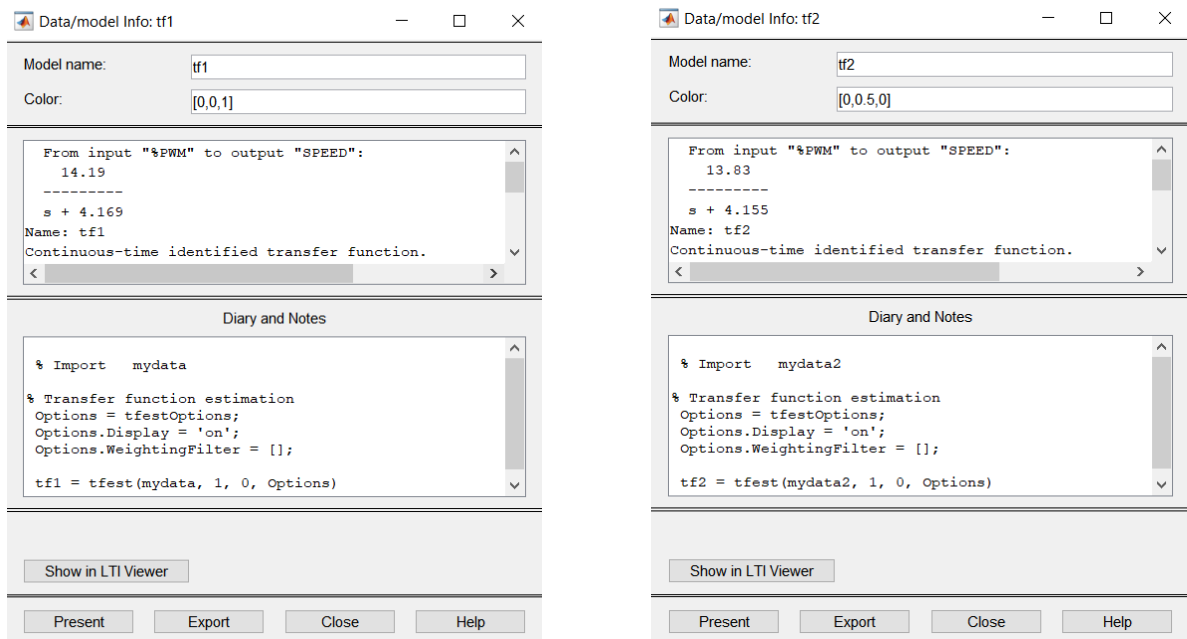
Chương 5. MÔ HÌNH HÓA HỆ THỐNG

Với các tín hiệu đầu vào (%PWM) được cấp một cách ngẫu nhiên, đáp ứng tốc độ đầu ra của động cơ được biểu thị như hình 5.3

Sử dụng Tool System Identification của Matlab, ta được kết quả hai hàm truyền như hình 5.4



Hình 5.3. Tín hiệu đầu vào 2 động cơ



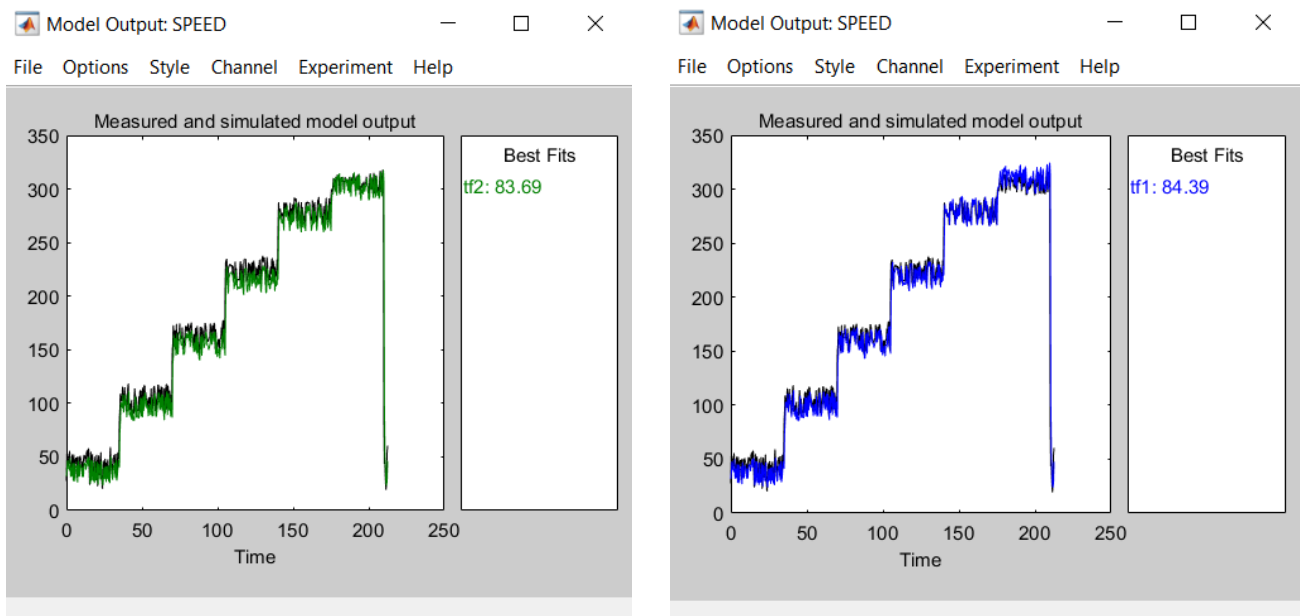
Hình 5.4. Hàm truyền xấp xỉ của hai động cơ

Chương 5. MÔ HÌNH HÓA HỆ THỐNG

Thông qua kết quả tính toán trên phần mềm (hình 5.5), mức độ phù hợp của hàm truyền vừa tìm được so với dữ liệu đầu vào thực tế lần lượt là 83.69% và 84.39% đều trên 80% nên hàm truyền có thể sử dụng được.

$$\text{Hàm truyền động cơ 1: } tf_1 = \frac{14.19}{s + 4.169} = \frac{3.4035}{1 + 0.2361s}$$

$$\text{Hàm truyền động cơ 2: } tf_2 = \frac{13.83}{s + 4.155} = \frac{3.3297}{1 + 0.2365s}$$



Hình 5.5. Mức độ chính xác của hàm truyền so với thực nghiệm

Chương 6. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN

6.1. Thiết kế bộ điều khiển PID cho động cơ

Mục đích thiết kế của robot là bám theo quỹ đạo cho trước với một vận tốc nhất định. Vì vậy đối với động cơ dẫn động, bài toán điều khiển chủ yếu là điều khiển tốc độ. Do đó, nhóm sử dụng bộ điều khiển PID cho hai động cơ với những ưu điểm như đơn giản, lượng thông tin xử lý tương đối ít, dễ điều khiển và lập trình.

6.1.1. Tiêu chí thiết kế bộ điều khiển

Các tiêu chí mong muốn cho bộ điều khiển như sau:

Độ vọt lố $POT \leq 10\%$

Thời gian xác lập $t_s = 0.3$ (s)

6.1.2. Tính toán các thông số hàm truyền cho bộ điều khiển PID

Mô hình điều khiển vòng kín tốc độ động cơ DC có dạng:



Hình 6.1. Sơ đồ điều khiển vòng kín

Hàm truyền bộ điều khiển PID:

$$G_{PID} = K_P + \frac{K_I}{s} + K_D s \quad (6.1)$$

Hàm truyền động cơ dạng bậc nhất:

$$G_{dc} = \frac{K}{Ts + 1} \quad (6.2)$$

Phương trình đặc trưng của hệ closed - loop system:

$$1 + G_{PID} G_{dc} = 0 \quad (6.3)$$

$$1 + \left(K_P + \frac{K_I}{s} + K_D s \right) \left(\frac{K}{Ts + 1} \right) = 0$$
$$s^2 + \frac{1 + KK_P}{T + KK_D} s + \frac{KK_I}{T + KK_D} = 0$$

Phương trình đặc trưng của hệ là dạng bậc hai, vì vậy đáp ứng của hệ sẽ có dạng giống với đáp ứng của hệ dao động bậc hai.

Tính toán cho hàm truyền tf_I :

$$G_{dc} = tf_1 = \frac{3.4035}{0.2361s + 1}$$

Từ tiêu chí về độ vọt lố:

$$POT = e^{-\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}} = 0.1 \Rightarrow \xi = 0.59 \quad (6.4)$$

Từ tiêu chí về thời gian xác lập:

$$t_s = \frac{4}{\xi\omega_n} = 0.3 \Rightarrow \omega_n = 22,60 \quad (6.5)$$

Dạng phương trình đặc trưng của hệ bậc 2:

$$s^2 + 2s\xi\omega_n + \omega_n^2 = 0 \quad (6.6)$$

Đồng nhất hệ số ta được:

$$\begin{cases} \frac{1 + KK_P}{T + KK_D} = 2\xi\omega_n \\ \frac{KK_I}{T + KK_D} = \omega_n^2 \end{cases} \quad (6.7)$$

Hệ phương trình tồn tại 3 ẩn nên ta chọn khảo sát 1 ẩn để tìm 2 ẩn còn lại. Nhóm nhận thấy $K_P = 1.8$ là thích hợp cho động cơ nên chọn giá trị $K_P = 0,4$. Với các hệ số $K = 3.4035$ và $T = 0.2361$ ta tìm được:

$$\begin{cases} K_D = 0.009144 \\ K_I = 40.10169 \end{cases}$$

Hàm truyền PID cho động cơ thứ nhất có dạng: $G_{PID1} = 1.8 + \frac{40.10169}{s} + 0.009144s$

Tương tự với hàm truyền động cơ 2, ta tính được bộ điều khiển PID với các thông số:

$$\begin{cases} K_P = 1.8 \\ K_I = 40.22661 \\ K_D = 0.0077309 \end{cases}$$

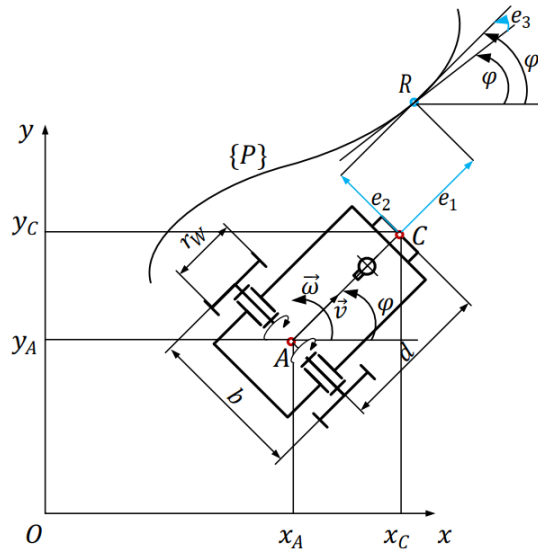
Hàm truyền PID cho động cơ thứ nhất có dạng: $G_{PID2} = 1.8 + \frac{40.22661}{s} + 0.0077309s$

6.2. Thiết kế luật điều khiển

Đối với bài toán tracking của mobile robot, luật điều khiển được thiết kế để robot có thể bám theo một quỹ đạo được robot tham khảo vạch ra trong hệ tọa độ. Ở trong đồ án này, nhóm sử dụng luật điều khiển dạng hồi tiếp tuyến tính vì các lý do sau:

Cảm biến sử dụng chỉ có thể đo độ lệch theo phương ngang của robot.

Tốc độ chạy lớn, đòi hỏi thời gian xử lý nhanh.



Hình 6.2. Mô hình động học của robot

Giả sử, có một robot tham khảo P với điểm R là điểm tham chiếu về nên trong mặt phẳng quỹ đạo $\{P\}$ là quỹ đạo cần track. Robot tham khảo sẽ di chuyển với vận tốc không đổi là $v_r = v_{max}$ (v_{max} là vận tốc cực đại của robot đang thiết kế), tạo ra các vận tốc góc tham chiếu là $\omega_r(t)$ và hướng tham chiếu là φ_r . Để robot track được theo quỹ đạo thì các sai số về vị trí và hướng e_1, e_2, e_3 được tạo ra và được trình bày trên hình 6.2.

Luật điều khiển được thiết kế nhằm 2 mục đích chính sau:

- Luật điều khiển tác động vào robot để làm cho $e_i \rightarrow 0, i = 1, 3$ khi $t \rightarrow \infty$.
- Luật điều khiển giúp robot đạt được vận tốc v_r

Phương trình động học của điểm tham chiếu R của robot tham khảo là:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_A \\ \dot{y}_A \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 \\ \sin \varphi & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad (6.8)$$

Phương trình các sai số viết trong hệ tọa độ robot là:

$$\begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_R - x_C \\ y_R - y_C \\ \varphi_R - \varphi \end{bmatrix} \quad (6.9)$$

Đạo hàm hai vế phương trình, ta được:

$$\begin{bmatrix} \dot{e}_1 \\ \dot{e}_2 \\ \dot{e}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_R \cos e_3 \\ v_R \sin e_3 \\ \omega_R \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & e_2 \\ 0 & -d - e_1 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad (6.10)$$

Đầu vào sơ khởi $u_{sk} = [v \ \omega]^T$. Điểm cân bằng của hệ phi tuyến là $X_0 = [e_{10} \ e_{20} \ e_{30}]^T = [0 \ 0 \ 0]^T$ khi đầu vào là $u_{sk0} = [v_R \ \omega_R]^T$. Giả sử $e_1 \approx 0$, thu gọn lại luật điều khiển chỉ điều khiển ω là $u = \omega$ ta được:

$$\begin{bmatrix} \dot{e}_2 \\ \dot{e}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & v_R \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_2 \\ e_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -d \\ -1 \end{bmatrix} u \quad (6.11)$$

Chương 6. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN

Phương trình trên là phương trình không gian biến trạng thái dạng $\dot{x} = A\dot{x} + Bu$, bài toán trở thành thiết kế luật điều khiển hồi tiếp $u = -Kx$ cho hệ.

Kiểm tra tính điều khiển được cho hệ:

$$M = [B \quad AB] = \begin{bmatrix} 0 & v_R \\ v_R & 0 \end{bmatrix} \rightarrow \text{rank}(M) = 2 \neq 0 \quad (6.12)$$

Vậy hệ điều khiển được.

Đặt $K = [K_1 \ K_2]$

Phương trình đặc trưng của hệ:

$$|sI - A + BK| = 0 \Rightarrow s^2 - k_2 v_r s - k_1 v_r = 0 \quad (6.13)$$

Đưa phương trình 6.13 về dạng $s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2 = 0$ bằng phương pháp đồng nhất thức, ta được:

$$\begin{cases} 2\xi\omega_n = -k_2 v_r \\ \omega_n^2 = -k_1 v_r \end{cases} \quad (6.14)$$

Từ luật điều khiển $u = -Kx = -k_1 x_1 - k_2 x_2$, với $\dot{x}_1 = x_2$ ta được:

$$u = -k_1 x_1 - k_2 \dot{x}_1 = -\frac{k_1}{a} e - \frac{k_2}{a} \dot{e} \quad (6.15)$$

Đặt $K_p = -\frac{k_1}{a}$, $K_D = -\frac{k_2}{a}$, phương trình 6.15 trở thành $u = K_p e + K_D \dot{e}$

Từ hệ phương trình 6.14, ta có:

$$\begin{cases} k_2 = \frac{-2\xi\omega_n}{v_r} = -66,67 \\ k_1 = \frac{-\omega_n^2}{v_r} = -1276,9 \end{cases} \quad (6.16)$$

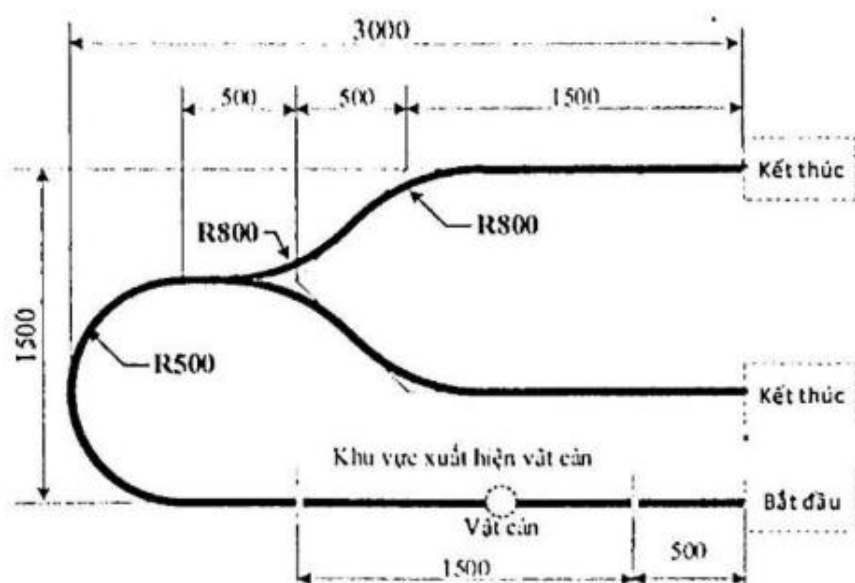
Chương 6. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN

Với $a = d = 221$, từ kết quả của hệ phương trình 6.16 ta tính được $K_p = 5,78$ và $K_d = 0,3$. Vậy luật điều khiển PD cho robot dò line là $u = \omega = 5,78e + 0,3\dot{e}$.

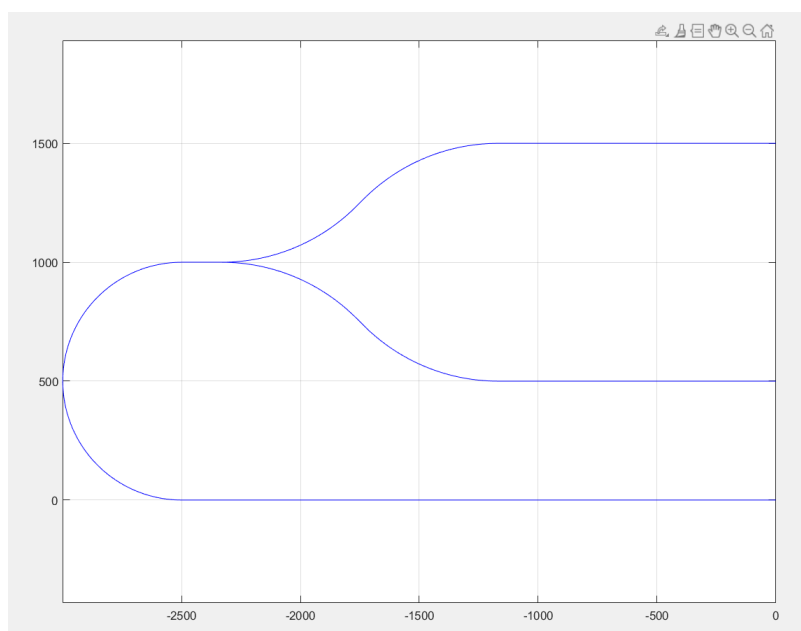
Chương 7. MÔ PHỎNG HOẠT ĐỘNG CỦA ROBOT VÀ THỰC NGHIỆM

7.1. Mô phỏng đường line

Robot bắt đầu xuất phát tại điểm xuất phát và kết thúc tại 1 trong 2 điểm đích trên sa bàn.



Hình 7.1. Sa bàn dò line



Hình 7.2. Mô phỏng sa bàn

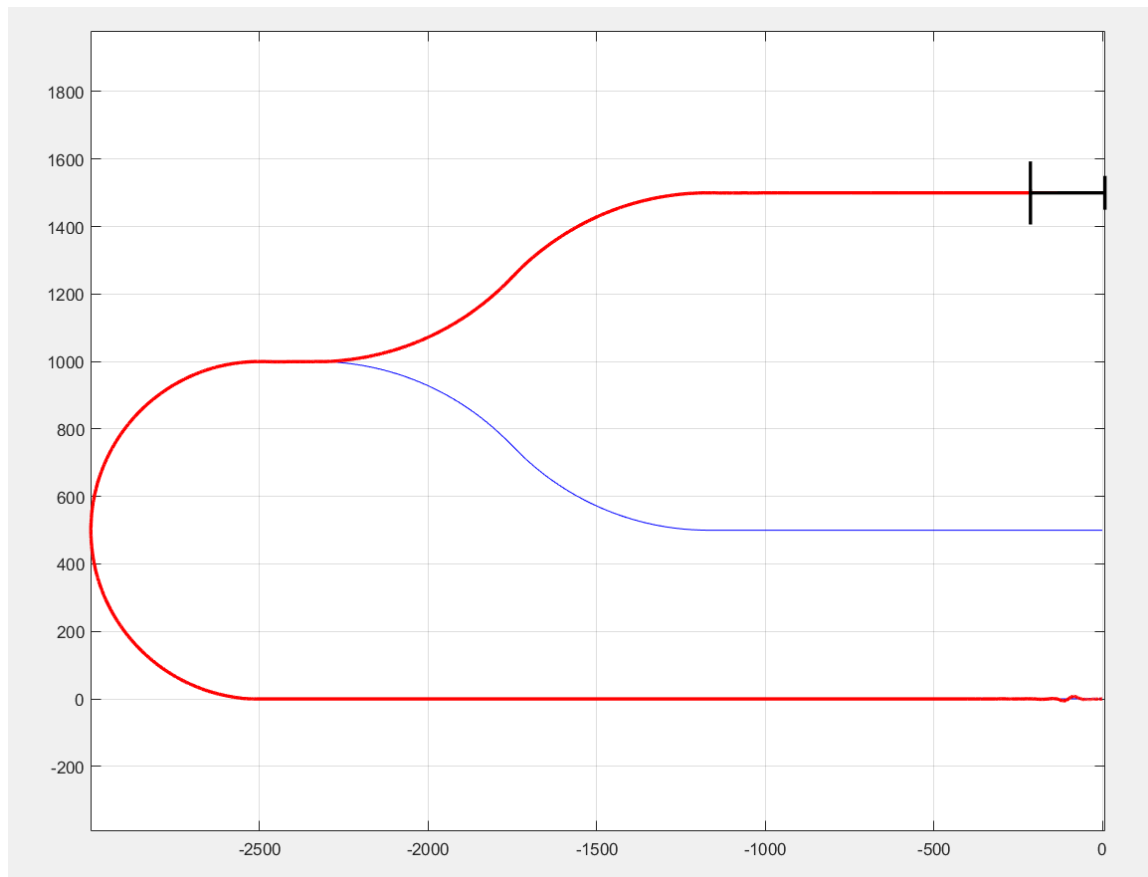
7.2. Mô phỏng robot bám line

Quá trình mô phỏng được thực hiện bằng phần mềm Matlab R2019a, các thông số mô phỏng theo đề bài được thể hiện ở bảng 7.1.

Khoảng cách tâm 2 bánh xe	b	187	mm
Khoảng cách từ tâm bánh xe đến tâm cảm biến	d	221	mm
Đường kính bánh xe	D	65	mm
Thời gian lấy mẫu	tsamp	0.1	s

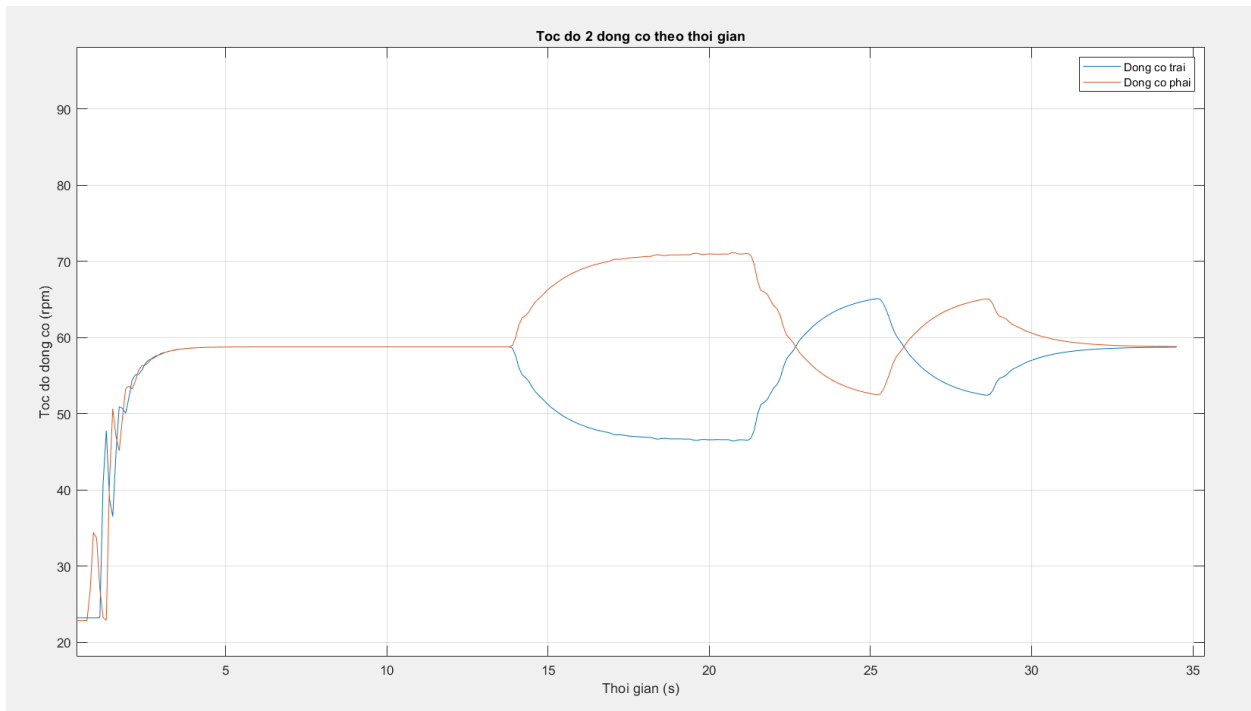
Bảng 7.1. Thông số mô phỏng

Kết quả mô phỏng robot dò line theo luật điều khiển và giải thuật điều khiển đã thiết kế được trình bày ở các hình từ 7.3 đến 7.5.

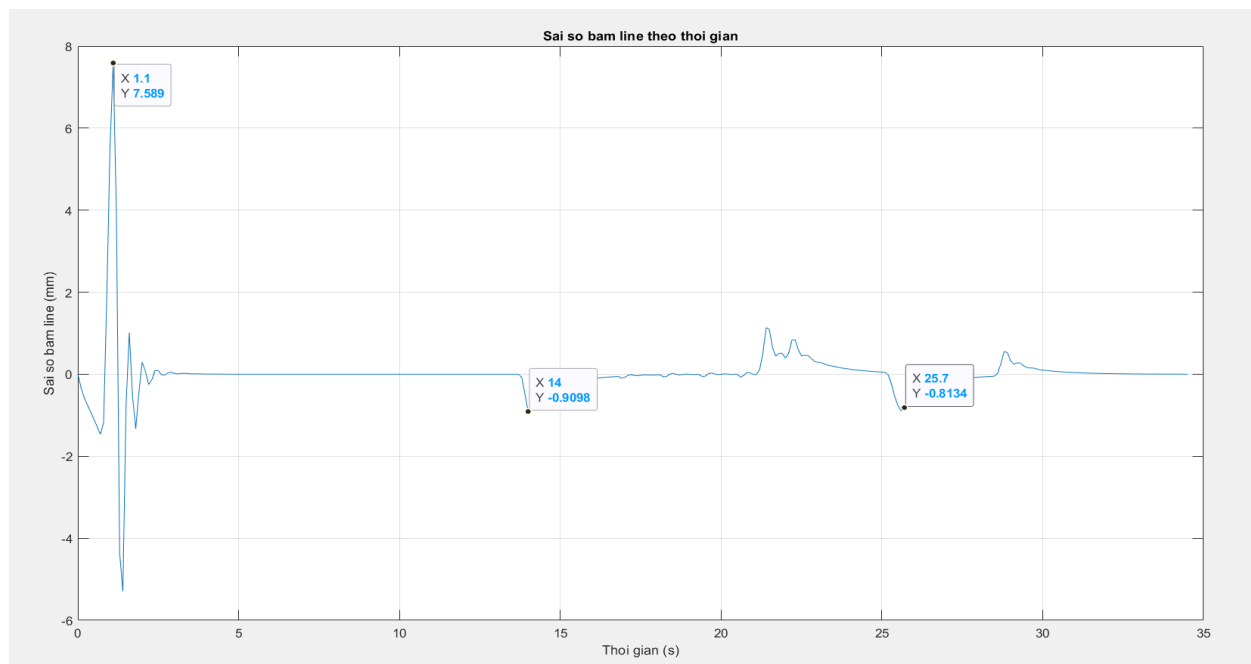


Hình 7.3. Quá trình chuyển động của robot

Chương 7. MÔ PHỎNG HOẠT ĐỘNG CỦA ROBOT VÀ THỰC NGHIỆM



Hình 7.4. Tốc độ 2 bánh



Hình 7.5. Sai số bám line

Nhận xét:

Sai số track lớn nhất trong cả quá trình bám line là 7.589 mm .

Chương 7. MÔ PHỎNG HOẠT ĐỘNG CỦA ROBOT VÀ THỰC NGHIỆM

Trong quá trình chạy trên đường thẳng, sai số track dao động rất nhỏ và bằng 0 sau khi ổn định. Trong quá trình chạy trên đường cong, sai số xác lập ổn định $\pm 1 \text{ mm}$ (khi chạy trên đường cong thì sai số xác lập cần khác 0 để duy trì tốc độ góc giúp robot đổi hướng). Sai số bị vọt lên tại các điểm đổi hướng bất ngờ từ khúc cua vào đường thẳng, từ đường thẳng vào cua nhưng sai số vọt lố đó nhanh chóng giảm xuống mức độ ổn định.

Kết luận:

Vậy bộ điều khiển và giải thuật điều khiển đã thiết kế cho kết quả tốt và đạt yêu cầu thiết kế.

7.3. Kết quả thực nghiệm

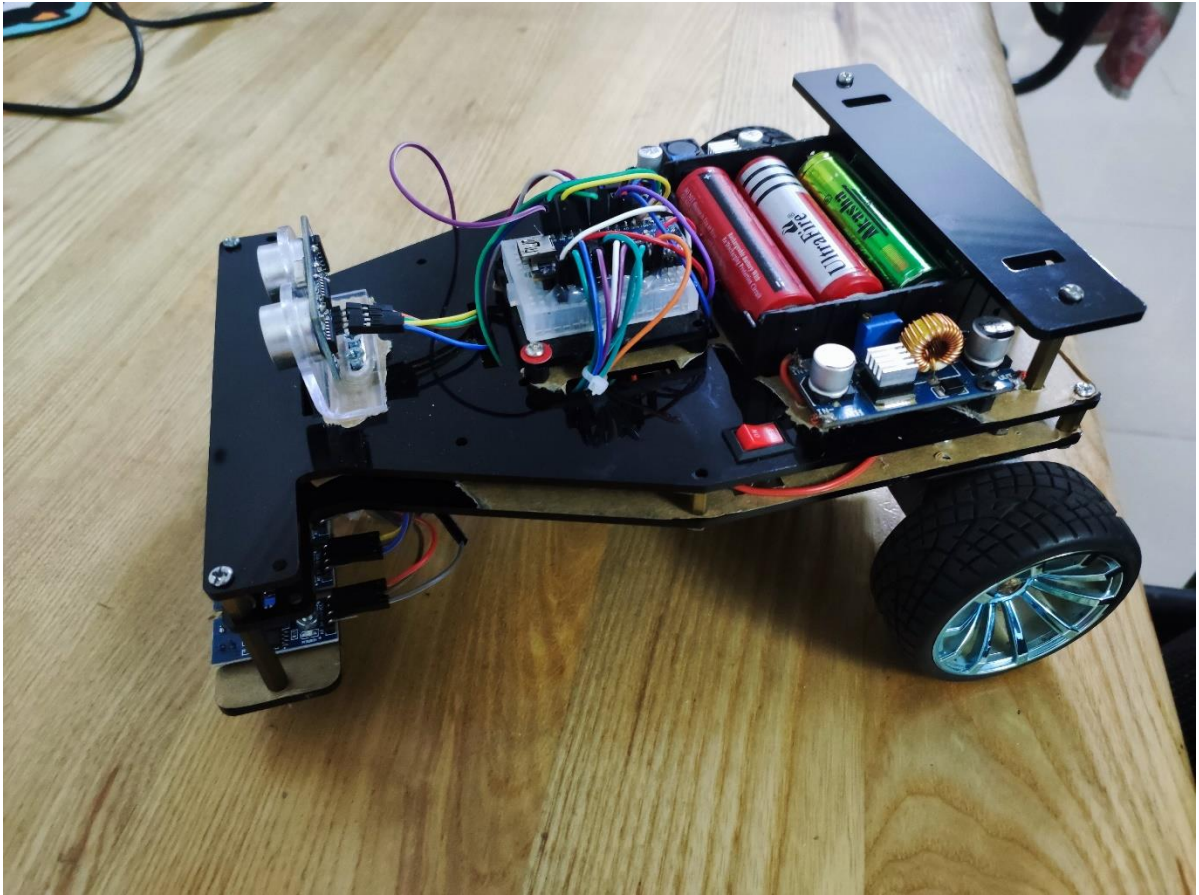
Qua quá trình chạy thực nghiệm ở các điều kiện khác nhau, nhóm rút ra được một số kết luận như sau:

Thời gian robot hoàn thành sa bàn nhanh nhất mà nhóm ghi nhận lại được là 15 giây, với tổng chiều dài di chuyển là 6188 mm thì tốc độ trung bình của xe trong quá trình di chuyển là $0,41 \text{ m/s}$, so với yêu cầu đề bài về vận tốc tối thiểu là 0.1 m/s thì kết quả thực nghiệm cho thấy xe đã đạt được yêu cầu về vận tốc tối thiểu.

Trong quá trình bám line và thực hiện tác vụ né vật cản, xe vẫn còn bị rung lắc, đặc biệt ở các đoạn cua chuyển từ đường thẳng sang đường cong do độ phân giải hệ thống cảm biến chưa được cao.

Sai số khi thực nghiệm cao hơn so với sai số khi mô phỏng. Nguyên nhân do khi mô phỏng đã bỏ qua các yếu tố như: khối lượng của xe, ma sát giữa bánh xe và sa bàn, sai số đồng trục của hai bánh xe, nhiễu từ môi trường ảnh hưởng đến ánh sáng và độ phẳng của động cơ, ...

Với mỗi địa điểm thực nghiệm cần calib lại cảm biến. Việc calib chưa hiệu quả làm xe chạy không ổn định và dễ vượt khỏi line.



Hình 7.6. Mô hình robot thực tế

Chương 8. KẾT LUẬN

Thông qua Đồ án môn học Thiết kế hệ thống Cơ Điện Tử, nhóm đã hiểu được nguyên lý hoạt động của robot dò line cũng như chế tạo thành công mô hình robot dò line. Tuy nhiên, kết quả thực nghiệm có nhiều sai lệch so với lý thuyết và kết quả mô phỏng. Do đó, nhóm đưa ra một số đề xuất để cải thiện hoạt động của robot dò line:

Thiết kế bộ phận che chắn cảm biến tốt hơn để hạn chế tối đa ảnh hưởng từ môi trường.

Phát triển thuật toán để cảm biến tự calib ứng với các điều kiện ánh sáng khác nhau khi hoạt động.

Tối ưu giải thuật dò line, đặc biệt là ở nút giao và các điểm chuyển giữa đường thẳng và đường cong.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] <https://haophuong.net/cong-nghe-slam-su-dung-tren-xe-tu-hanh-agv/>
- [2] <http://dani.foroselectronica.es/silvestre-uxbot-line-following-champions-148/>
- [3] <https://www.pololu.com/blog/487/brandons-line-following-robot-the-chariot>
- [4] Tan Tien Nguyen, Thanh Tung Tran, Sang Bong Kim (2016), Mechatronics System Design through Project – A Case Study, VCM 2016.
- [5] <https://dientunettech.com/cam-bien-do-line-8-kenh-id75.html>
- [6] <https://www.espruino.com/Pixy>
- [7] <https://thietbihienthi.com/cam-bien-hong-ngoai-la-gi/>
- [8] <https://nshopvn.com/product/cam-bien-vat-can-hong-ngoai-e3f-ds30c4-npn-6-36v/>
- [9] <https://cambiendo.vn/cam-bien-sieu-am-la-gi/>
- [10] <https://www.vishay.com/docs/83760/tcrt5000.pdf>
- [11] <https://nshopvn.com/product/module-cam-bien-do-line-don-tcrt5000-4-chan/>
- [12] <https://www.teachmemicro.com/arduino-nano-pinout-diagram/>
- [13] https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/L298_H_Bridge.pdf
- [14] <https://www.makerstore.vn/product/69910042/>
- [15] <https://datasheet4u.com/datasheet-pdf/ETC1/HC-SR04/pdf.php?id=1380138>
- [16] <https://nshopvn.com/product/mach-giam-ap-dc-lm2596-3a/>
- [17] <https://mualinhkien.vn/mach-ha-ap-giam-ap-buck-dc-5a-xl4015-adj-4-35vdc>