

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
MÔN: THIẾT KẾ HỆ THỐNG CƠ ĐIỆN TỬ

GVHD: TS. Phạm Công Bằng

DANH SÁCH THÀNH VIÊN

STT	Họ và tên	MSSV
1	Nguyễn Ngọc Gia Hân	1711237
2	Nguyễn Văn Hậu	1711256
3	Phạm Đoàn Minh Duy	1710044
4	Lê Cảnh Hoàng	1710095

TP.HCM, THÁNG 01/2021

LỜI CẢM ƠN

Nhóm thực hiện đồ án xin gửi lời cảm ơn chân thành đến thầy TS. Phạm Công Bằng, 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 CK17KSCD 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

Nguyễn Ngọc Gia Hân

Nguyễn Văn Hậu

Phạm Đoàn Minh Duy

Lê Cảnh Hoàng

MỤC LỤC

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VÀ LỰA CHỌN PHƯƠNG ÁN	1
1.1. Giới thiệu về robot dò line (AGV):	1
1.2. Một số robot dò line ở các cuộc thi quốc tế.....	2
1.2.1. Robot uXbots	2
1.2.2. Robot Chariot.....	2
1.3. Đầu bài thiết kế.....	3
1.4. Lựa chọn cấu trúc cơ khí	3
1.4.1. Số lượng bánh xe	4
1.4.2. Vị trí đặt các bánh chủ động	5
1.4.3. Loại động cơ dẫn động	6
1.5. Lựa chọn cảm biến.....	7
1.5.1. Camera CMU	7
1.5.2. Cảm biến hồng ngoại	8
1.6. Lựa chọn cấu trúc điều khiển.....	11
1.7. Lựa chọn giải thuật dò line	12
CHƯƠNG 2. THIẾT KẾ CƠ KHÍ	14
2.1. Lựa chọn bánh xe.....	14
2.1.1. Bánh chủ động	14
2.1.2. Bánh bị động.....	14
2.2. Tính toán chọn động cơ dẫn động	15
2.3. Tính toán thiết kế khung xe	18
2.4. Mô hình 3D.....	20
CHƯƠNG 3. THIẾT KẾ ĐIỆN.....	20
3.1. Lựa chọn linh kiện	20
3.1.1. Cảm biến dò line	20
3.1.2. Vi điều khiển.....	20

3.1.3. Driver	21
3.2. Lựa chọn chuẩn giao tiếp.....	21
3.3. Thiết kế mạch cảm biến.....	22
3.3.1. Thông số kỹ thuật của cảm biến TCRT5000.....	22
3.3.2. Chọn số lượng cảm biến	22
3.3.3. Tính toán các điện trở trên mạch cảm biến.....	22
3.3.4. Khảo sát khoảng cách đến mặt sa bàn của cảm biến	24
3.3.5. Khảo sát khoảng cách giữa hai cảm biến phù hợp	25
3.3.6. Thiết kế và chế tạo cảm biến	26
3.3.7. Calib cảm biến	27
3.4. Tính toán mạch công suất.....	29
CHƯƠNG 4. MÔ HÌNH HÓA HỆ THỐNG.....	31
4.1. Phương trình động học của robot	31
4.2. Khảo sát đặc tính động cơ	32
4.2.1. Xác định tần số lấy mẫu và số mẫu cần lấy.....	32
4.2.2. Khảo sát khoảng tuyến tính động cơ	32
4.2.3. Khảo sát đáp ứng để tìm hàm truyền động cơ	33
CHƯƠNG 5. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN.....	37
5.1. Thiết kế bộ điều khiển PID cho động cơ	37
5.1.1. Tiêu chí thiết kế bộ điều khiển	37
5.1.2. Tính toán hàm truyền bộ điều khiển	37
5.1.3. Áp dụng bộ điều khiển cho động cơ	39
5.2. Thiết kế luật điều khiển	40
CHƯƠNG 6. MÔ PHỎNG HOẠT ĐỘNG ROBOT	43
6.1. Mô phỏng đường line	43
6.2. Mô phỏng robot dò line theo đề bài yêu cầu	45
CHƯƠNG 7. THỰC NGHIỆM VÀ KẾT LUẬN	48

7.1. Chế tạo robot dò line.....	48
7.2. Kết quả thực nghiệm.....	48
7.3. Kết luận và đề xuất	50
TÀI LIỆU THAM KHẢO	51

DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 1.1. AGV dò line hoạt động trong nhà kho.....	1
Hình 1.2. Robot dò line trong một cuộc thi học thuật	1
Hình 1.3. robot uXbots	2
Hình 1.4. Robot Chariot.....	3
Hình 1.5. 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
Hình 1.6. Hai dạng chính của cấu trúc khung xe ba bánh	5
Hình 1.7. Các loại cảm biến dùng cho robot dò line	7
Hình 1.8. Camera CMU	8
Hình 1.9. Nguyên lý hoạt động và sơ đồ mạch của cảm biến hồng ngoại TCRT5000	8
Hình 1.10. Các cảm biến hồng ngoại và thanh cảm biến hồng ngoại	9
Hình 1.11. Một số cách sắp xếp cảm biến thông dụng	9
Hình 1.12. Vị trí của line thông qua kỹ thuật xử lý digital.....	10
Hình 1.13. Giải thuật để tính toán vị trí của line trong kỹ thuật analog	10
Hình 1.14. Hai dạng cấu trúc điều khiển	11
Hình 1.15. Vị trí robot trong hệ tọa độ Descartes.....	12
Hình 2.1. Bánh xe chủ động của robot dò line	14
Hình 2.2. Kích thước bánh mắt trâu	14
Hình 2.3. Mô hình động lực học của bánh xe chủ động.....	15
Hình 2.4. Các lực tác động lên thân robot	16
Hình 2.5. Kích thước động cơ GA25.....	18
Hình 2.6. Sơ đồ phân tích động lực học của xe	18
Hình 2.7. Mô hình 3D của xe	20
Hình 3.1. Sơ đồ nguyên lý của một module cảm biến.....	22
Hình 3.2. Đồ thị mối quan hệ giữa IC và IF	23
Hình 3.3. Đồ thị mối quan hệ giữa VCE và IC [18]	23
Hình 3.4. Mô hình cao độ từ cảm biến đến sa bàn	24
Hình 3.5. Kết quả khảo sát cao độ phù hợp.....	25

Hình 3.6. Kết quả khảo sát khoảng cách giữa 2 cảm biến.....	26
Hình 3.7. Sơ đồ nguyên lý của dây cảm biến	26
Hình 3.8. Mô hình 3D của cảm biến.....	27
Hình 3.9. Kết quả các giá trị cảm biến trước và sau khi calib.....	28
Hình 3.10. Đồ thị quan hệ giữa vị trí thực và vị trí tính toán của tâm đường line so với tâm cảm biến	29
Hình 4.1. Trạng thái của robot trong hệ tọa độ Oxy.....	31
Hình 4.2. Đồ thị khảo sát khối driver + động cơ	33
Hình 4.3. Đáp ứng động cơ với đầu vào 100% PWM.....	33
Hình 4.4. Hàm truyền tìm được bằng “System Identification Toolbox”	34
Hình 4.5. Mức độ chính xác của hàm truyền vừa tìm so với giá trị đáp ứng đầu ra của động cơ.....	34
Hình 5.1. Mô hình của hệ điều khiển.....	37
Hình 5.2. Đáp ứng của hệ kín với các setpoint khác nhau	39
Hình 5.3. Mô hình động học của robot.....	40
Hình 6.1. Đường đi của robot	43
Hình 6.2. Xây dựng mô hình đường đua trên MATLAB	43
Hình 6.3. Giá trị φR của xe khi bám theo đường đua	44
Hình 6.4. Giá trị ωR của xe khi bám theo đường đua	44
Hình 6.5. Kết quả robot bám theo line.....	45
Hình 6.6. Sai số track.....	46
Hình 6.7. Góc định hướng của robot	46
Hình 6.8. Vận tốc góc của robot	46
Hình 6.9. Vận tốc góc của hai động cơ.....	47
Hình 7.1. Robot dò line do nhóm chế tạo	48
Hình 7.2. Xe ở trạng thái ổn định, chuẩn bị qua nút giao.....	49
Hình 7.3. Xe qua điểm chuyển giữa đường thẳng và đường cong	49

DANH MỤC BẢNG

Bảng 1.1. Ví dụ đơn giản cho luật điều khiển Fuzzy	13
Bảng 3.1. So sánh đặc tính kỹ thuật của TCRT5000 và TCRT1000.....	20
Bảng 3.2. Thông số kỹ thuật của driver L298N và TB6612	21
Bảng 3.3. Thông số kỹ thuật của cảm biến RCRT5000	22
Bảng 3.4. Công thức calib cho từng cảm biến.....	27
Bảng 3.5. Dòng và áp cần thiết cho mạch công suất	29
Bảng 4.1. Hàm truyền tìm được với giá trị cố định 60% PWM.....	34
Bảng 6.1. Bảng thông số mô phỏng.....	45

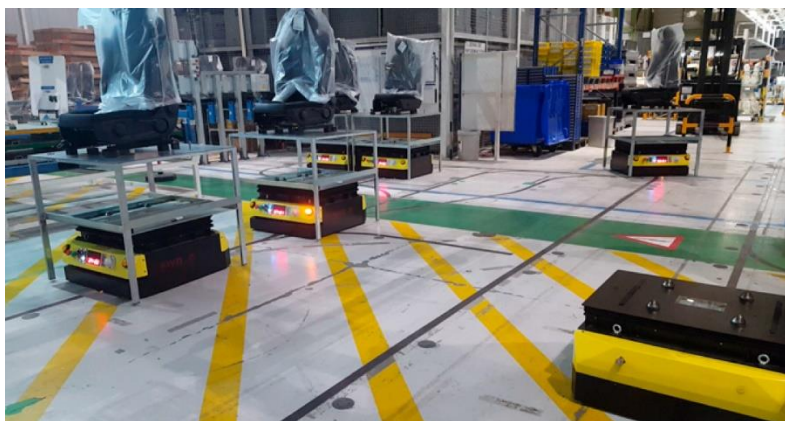
DANH SÁCH PHÂN CÔNG NHIỆM VỤ

STT	Họ tên	Nhiệm vụ
1	Nguyễn Ngọc Gia Hân	<ul style="list-style-type: none">- Nhóm trưởng- Thiết kế luật điều khiển dò line, mô phỏng- Xây dựng hàm truyền động cơ- Xây dựng bộ điều khiển cho hệ thống- Xây dựng sơ đồ khối cho hệ thống điều khiển
2	Nguyễn Văn Hậu	<ul style="list-style-type: none">- Tính toán lựa chọn động cơ- Lựa chọn vi điều khiển và xây dựng lưu đồ giải thuật- Mô hình hóa hệ thống- Lập trình các vi điều khiển- Vẽ bản vẽ giải thuật và bản vẽ điện
3	Phạm Đoàn Minh Duy	<ul style="list-style-type: none">- Đọc và test cảm biến- Thiết kế mạch cảm biến và mạch điện điều khiển- Thiết kế giải thuật cho xe đi qua ngã ba- Soạn thuyết minh
4	Lê Cảnh Hoàng	<ul style="list-style-type: none">- Thiết kế cơ khí, tính bền và dung sai- Vẽ phác thảo và hiệu chỉnh- Vẽ 3D và hiệu chỉnh- Soạn bản vẽ lắp và bản vẽ phương án

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VÀ LỰA CHỌN PHƯƠNG ÁN

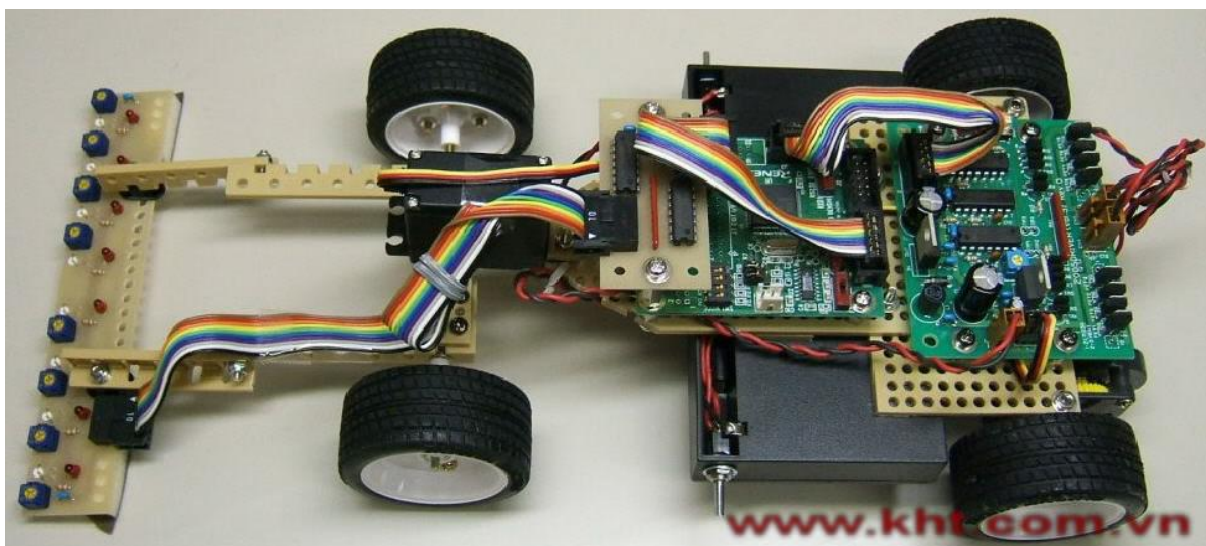
1.1. Giới thiệu về robot dò line (AGV):

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) và việc ứng dụng nó đã thay đổi cách mà các kho hàng được sắp xếp và vận hành trên toàn thế giới.



Hình 1.1. AGV dò line hoạt động trong nhà kho

Trong lĩnh vực giáo dục, robot dò line 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 1.2. Robot dò line trong một cuộc thi học thuật

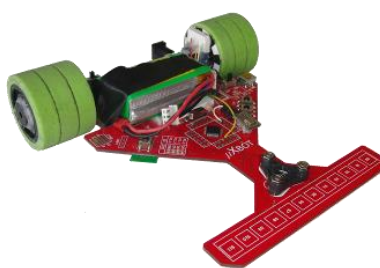
Hiện nay, các cuộc thi về robot dò line đã được tổ chức với số lượng và chất lượng ngày càng tăng nhằm mục đích khuyến khích sinh viên vận dụng những gì đã được học áp dụng vào giải quyết các vấn đề của cuộc thi đặt ra. Phương châm “*Learn by doing*” đã được chứng minh là giúp sinh viên hiểu sâu và có 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 robot dò line ở các cuộc thi quốc tế

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
- Cảm biến: cảm biến hồng ngoại và cảm biến quán tính IMU
- Giải thuật dò line: Giải thuật học đường đi và giải thuật thích nghi
- Giao tiếp: Bluetooth



Hình 1.3. robot uXbots

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 ky binh” đạt tốc độ lớn nhất là $1,17m/s$ 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: $1,17 m/s$
- Cảm biến: thanh cảm biến hồng ngoại QTR – 8RC
- Giải thuật điều khiển: PID để điều khiển hai động cơ



Hình 1.4. Robot Chariot

1.3. Đầu bài thiết kế

Mục tiêu của đầu bài thiết kế là thiết kế robot có khả năng bám theo quỹ đạo đề cho một cách ổn định và có thời gian hoàn thành đường đi ngắn nhất có thể. Dựa theo quy định của đề bài về tốc độ di chuyển của robot ($v_{min} = 0,2 m/s$) cũng như tham khảo về tốc độ của một số mô hình robot dò line trong và ngoài nước, nhóm đặt ra yêu cầu về vận tốc của xe:

Vận tốc tối đa của xe khi chạy: $v_{max} = 0,6 m/s$

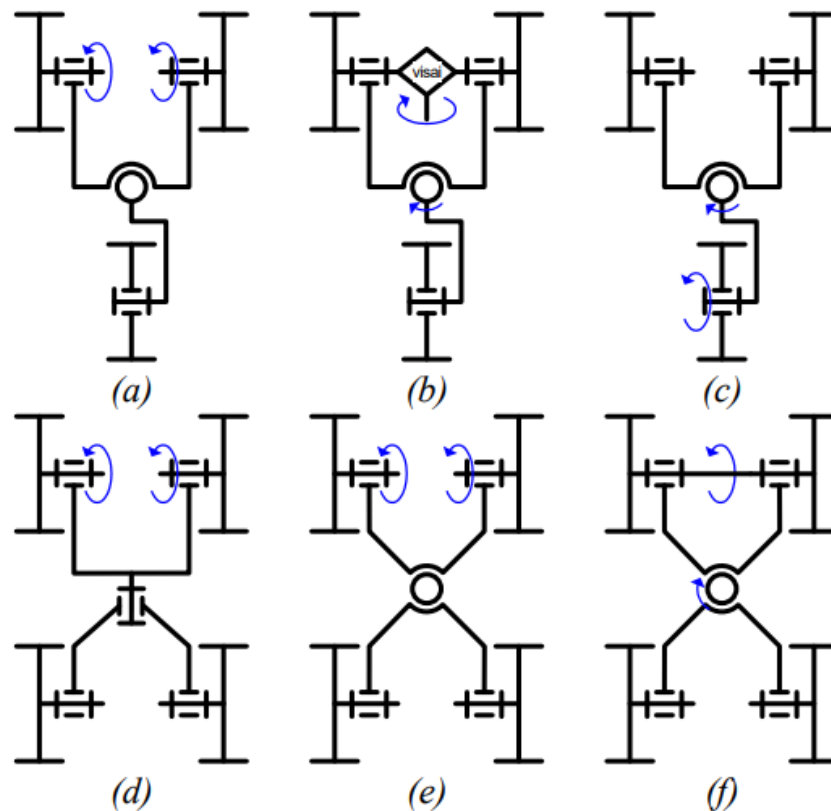
1.4. Lựa chọn cấu trúc cơ khí

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 2 nhóm cấu trúc ba bánh và cấu trúc bốn bánh.

Cấu trúc cơ khí được lựa chọn dựa trên 3 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:



Hình 1.5. 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)

1.4.1. Số lượng bánh xe

Như đã nói ở trên, nhóm chỉ tập trung phân tích 2 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
- Lực cản nhỏ

❖ Nhược điểm:

- Không ổn định khi vào cua

Đặc điểm của cấu trúc khung xe bốn bánh:

❖ Ưu điểm:

- Giúp xe ổn định hơn khi vào cua
- Giúp phân phối đều lực kéo của động cơ
- Có thể chạy ở nhiều dạng địa hình

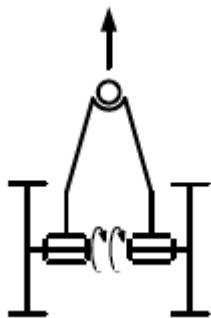
❖ Nhược điểm:

- Cần có cơ cấu đồng phẳng để giúp xe chạy ổn định
- Lực cản lớn hơn so với cấu trúc xe ba bánh

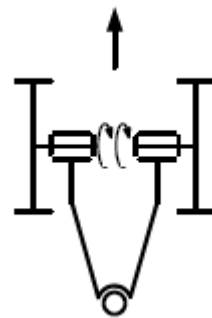
Do đề bài không yêu cầu tải và xe chỉ chạy trên sa bàn phẳng nên lựa chọn phương án cấu trúc khung xe ba bánh. Ngoài ra, cấu trúc ba bánh cũng giúp xe chạy nhanh hơn, phù hợp với yêu cầu thời gian chạy phải đạt mức ngắn nhất có thể mà đầu bài thiết kế đã đặt ra.

1.4.2. Vị trí đặt các 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.



Bánh dẫn động đặt phía sau



Bánh dẫn động đặt phía trước

Hình 1.6. Hai dạng chính của cấu trúc khung xe ba bánh

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.

1.4.3. Loại 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 lọc ra một số loại động cơ để phân tích cụ thể ưu nhược điểm của từng loại.

a. Động cơ step:

❖ Ưu điểm:

- Điều khiển vị trí chính xác
- Moment xoắn là hằng số
- Không có vọt lố
- Dễ điều khiển

❖ Nhược điểm:

- Vận tốc nhỏ và không liên tục
- Moment xoắn nhỏ nếu so với động cơ DC cùng kích thước

b. Động cơ DC servo

❖ Ưu điểm

- Điều khiển vị trí chính xác
- Moment xoắn lớn
- Tốc độ quay cao
- Dễ điều khiển nhờ vào bộ driver

❖ Nhược điểm

- Giá cao
- Kích thước tương đối lớn

c. Động cơ DC

❖ Ưu điểm

- Moment xoắn lớn
- Tốc độ quay lớn
- Giá rẻ
- Có nhiều kích cỡ

❖ Nhược điểm

- Có vọt lô
- Rất khó để điều khiển chính xác vị trí !

Do mục đích của xe là chạy nhanh nên các giải thuật điều khiển đều là điều khiển tốc độ. Vì vậy, nhóm lựa chọn động cơ DC kết hợp với encoder để hồi tiếp vận tốc.

1.5. Lựa chọn 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
QTR – 8RC



Cảm biến từ
MGS1600C

Hình 1.7. Các loại cảm biến dùng cho robot dò line

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.

1.5.1. Camera CMU

Camera CMU là một cảm biến giá rẻ và tiêu thụ năng lượng thấp dùng cho ứng dụng robot di động. 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.

Các thông số của camera CMU:

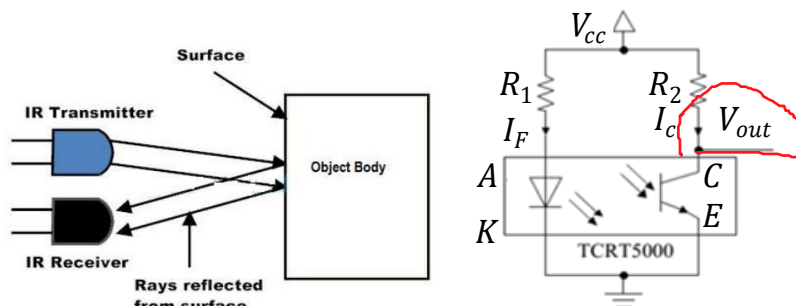
- Số khung hình trên giây: $26fps$
- Độ phân giải: 176×255
- Tốc độ truyền: $115200 - 1200$

Từ các thông số trên ta thấy rằng camera CMU có số khung hình trên giây rất thấp, mặc dù có tốc độ truyền dữ liệu rất cao. Điều này có nghĩa là đối với xe muốn chạy với tốc độ cao thì CMU không thể xử lý kịp so với tốc độ chạy của robot. Thông thường camera chỉ phù hợp với các ứng dụng AGV có tốc độ vận hành khá chậm. Do đó nên phương án sử dụng cảm biến là camera không phù hợp với đầu bài thiết kế.



Hình 1.8. Camera CMU

1.5.2. Cảm biến hồng ngoại



Hình 1.9. Nguyên lý hoạt động và sơ đồ mạch của cảm biến hồng ngoại TCRT5000

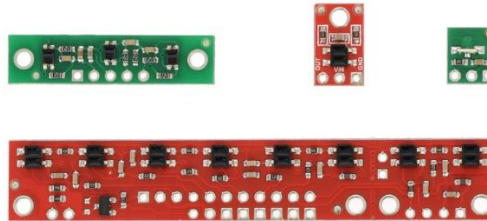
Cảm biến hồng ngoại có hai LED hồng ngoại: LED phát và LED thu. Khi cảm biến hoạt động, LED phát sẽ phát ra một tia hồng ngoại và tia hồng ngoại này khi đập vào vật có màu trắng sẽ phản xạ lại LED thu. Khi tia hồng ngoại này gặp vật đen, tia đó sẽ bị hấp thụ và LED thu không thể nhận được tia phản xạ.

Điện thế ở đầu ra trên hình 1.9 được tính theo công thức sau:

$$V_{out} = \frac{R_C}{R_C + R_E} \cdot V_{cc} \quad (1.1)$$

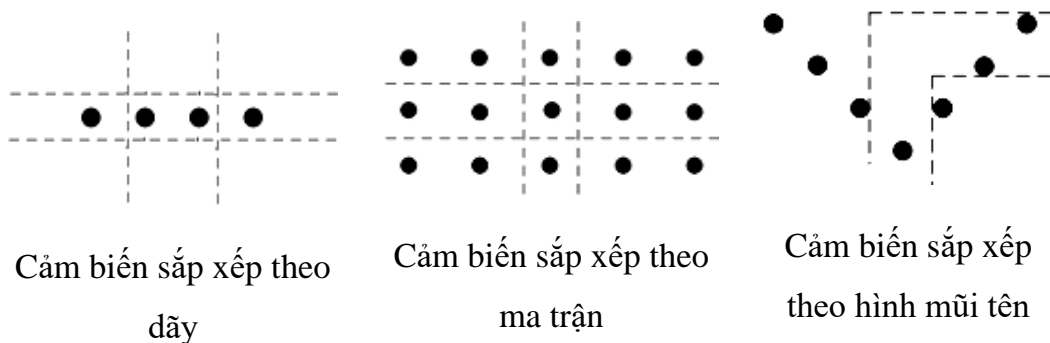
Với R_C là điện trở nội của LED thu.

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 (1.1) có thể xấp xỉ thành $V_{out} \approx V_{cc}$.



Hình 1.10. Các cảm biến hồng ngoại và thanh cảm biến hồng ngoại

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,...



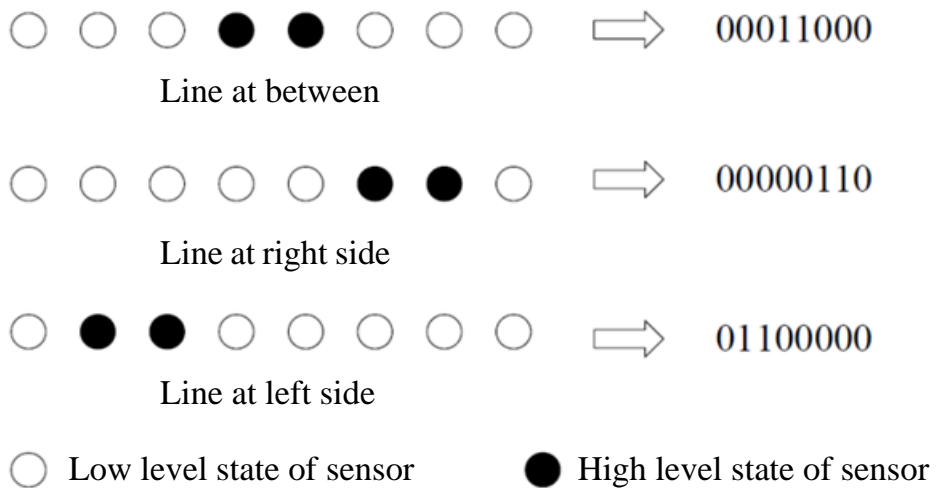
Hình 1.11. Một số cách sắp xếp cảm biến thông dụng

Cảm biến hồng ngoại bao gồm 2 kỹ xử lý thông tin là kỹ thuật xử lý thông tin cảm biến dạng digital và kỹ thuật xử lý thông tin cảm biến dạng analog.

❖ Kỹ thuật xử lý thông tin cảm biến dạng digital

Phần này trình bày một kỹ thuật để xử lý thông tin thu thập từ cảm biến. Kỹ thuật này phân biệt mức điện áp ra thành hai mức là mức cao và mức thấp (ví dụ: điện áp từ $0V - 2V$ là mức 0 còn từ $3V - 5V$ là mức 1). Sau khi phân tích xong, bộ xử lý sẽ dựa vào một thư viện đã xây dựng sẵn để tìm ra vị trí của line. Kỹ thuật này cho tốc độ xử

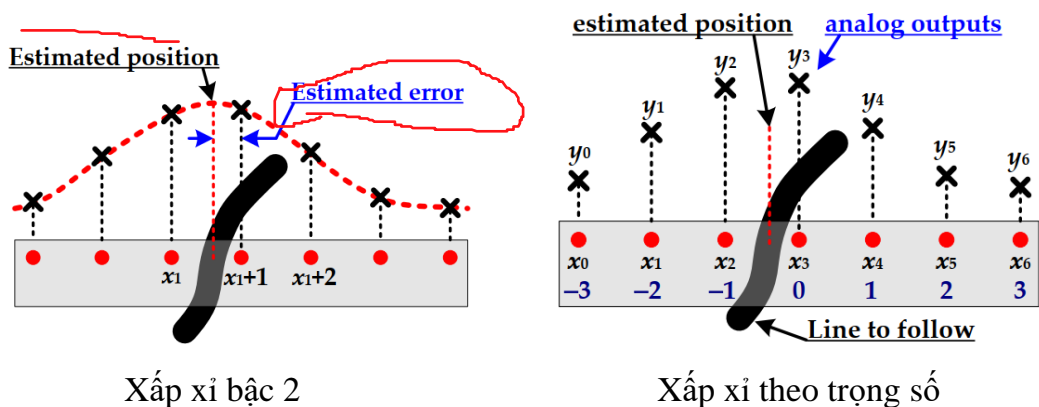
lý nhanh nhưng kém chính xác.



Hình 1.12. Vị trí của line thông qua kỹ thuật xử lý digital

❖ Kỹ thuật xử lý thông tin cảm biến dạng analog

Không giống như kỹ thuật digital, kỹ thuật analog sử dụng trực tiếp giá trị ADC để tính vị trí của line. Có hai dạng xử lý của kỹ thuật này: dạng xấp xỉ bậc hai và xấp xỉ theo trọng số. Tuy tốc độ xử lý chậm hơn kỹ thuật digital nhưng bù lại kỹ thuật analog cho độ chính xác cao hơn rất nhiều.

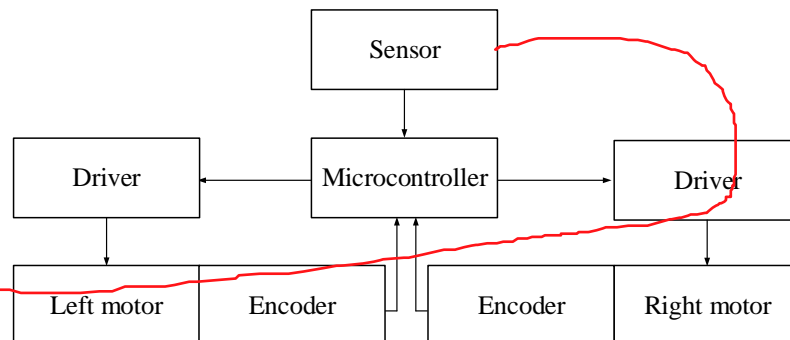


Hình 1.13. Giải thuật để tính toán vị trí của line trong kỹ thuật analog

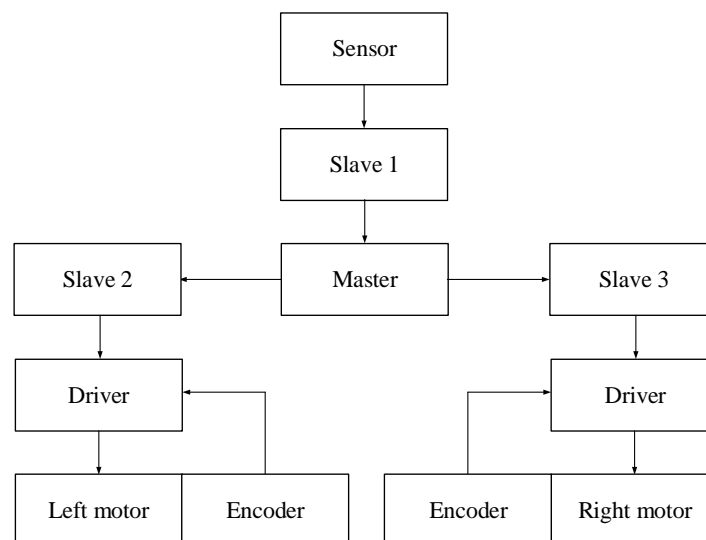
Nhóm lựa chọn cảm biến hồng ngoại cùng với kỹ thuật xử lý thông tin cảm biến dạng analog vì cảm biến hồng ngoại có tốc độ đáp ứng nhanh, phù hợp với mục tiêu thiết kế. Ngoài ra, chi phí chế tạo một mạch cảm biến hồng ngoại cũng rẻ hơn so với chi phí mua và chế tạo mạch cảm biến có gắn camera.

1.6. Lựa chọn cấu trúc điều khiển

Có hai cấu trúc chính cho bộ điều khiển: cấu trúc điều khiển phân cấp và cấu trúc điều khiển tập trung.



Cấu trúc điều khiển tập trung



Cấu trúc điều khiển phân cấp

Hình 1.14. Hai dạng cấu trúc điều khiển

Ở cấu trúc điều khiển tập trung, vi điều khiển trung tâm sẽ nhận dữ liệu từ cảm biến, xử lý nó và xuất tín hiệu điều khiển các động cơ. Cấu trúc này dùng ít tài nguyên và đơn giản nhưng nó đòi hỏi khả năng tính toán rất lớn của vi điều khiển chính và rất khó để nâng cấp.

Ở bộ điều khiển phân cấp, nhiều vi điều khiển đóng vai trò trợ để xử lý các công việc như xử lý dữ liệu cảm biến, điều khiển động cơ,... và giao tiếp hoặc nhận chỉ thị từ một vi điều khiển trung tâm đóng vai trò là chủ. Các giao tiếp có thể sử dụng là giao tiếp UART, I2C hoặc CAN,... Cấu trúc này giúp giảm khối lượng tính toán cho vi điều khiển

trung tâm và mỗi vi điều khiển chỉ tập trung tính toán cho nhiệm vụ của nó. Cấu trúc này dễ nâng cấp, nhưng tốn nhiều tài nguyên và dễ bị nhiễu hay mất dữ liệu khi truyền.

Nhóm lựa chọn cấu trúc điều khiển phân cấp vì:

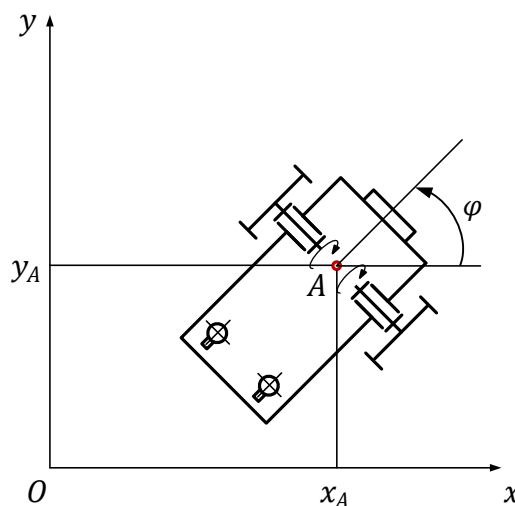
- Giảm khối lượng công việc cho các vi điều khiển
- Dễ kiểm soát và sửa chữa cũng như nâng cấp chương trình điều khiển
- Các công việc thiết kế có thể được thực hiện song song

1.7. Lựa chọn giải thuật dò line

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 dò 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 1.15. Vị trí robot trong hệ tọa độ Descartes

Đối với hệ MIMO, có các giải thuật để điều khiển là Fuzzy, Lyapunov hoặc bộ điều khiển PD dựa theo thuật toán Linearization feedback.

Bảng 1.1. Ví dụ đơn giản cho luật điều khiển Fuzzy

Left LED	Mid LED	Right LED	State	Control output	
0	1	0	Middle	$v = v_r$	$\omega = 0$
1	0	0	Left	$v = v_r$	$\omega = -\delta\omega$
0	0	1	Right	$v = v_r$	$\omega = \delta\omega$
Different state			N/A	$v = 0$	$\omega = 0$

Giá trị của δ có thể được tìm qua mô phỏng.

Các luật 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 $v = v_{max}$, điều khiển ω để robot bám line

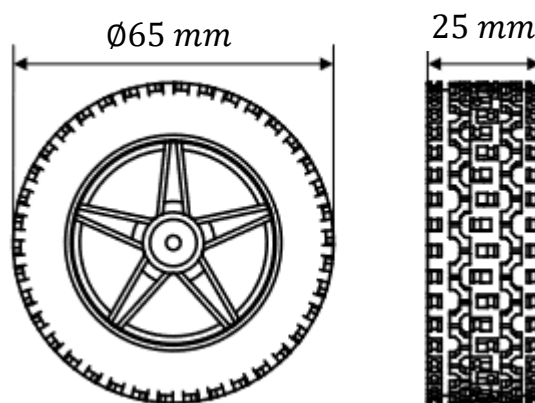
Nhóm lựa chọn bộ điều khiển PID vì nó phù hợp với động cơ DC đã chọn trong phần cấu trúc cơ khí. Ngoài ra, bộ điều khiển PID cũng là bộ điều khiển có công dụng rất rộng cùng với thuật toán điều khiển tương đối dễ hiểu và dễ lập trình.

CHƯƠNG 2. THIẾT KẾ CƠ KHÍ

2.1. Lựa chọn bánh xe

2.1.1. Bánh chủ động

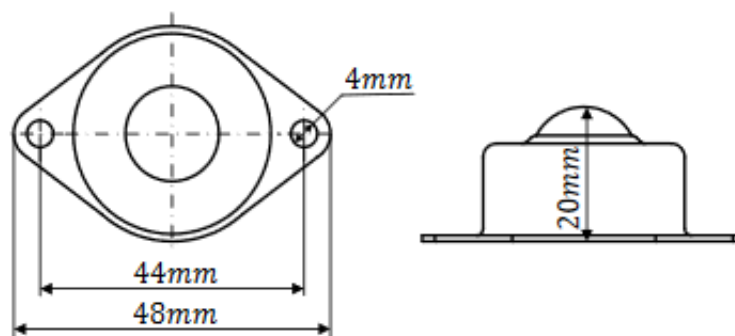
Khi lựa chọn bánh xe chủ động cần quan tâm đường kính và bề dày của bánh xe. Đường kính và bề dày lớn sẽ giúp xe chạy nhanh hơn nhưng sẽ làm khối lượng xe tăng. Tham khảo các mẫu bánh xe có sẵn trên thị trường, nhóm tác giả quyết định chọn bánh xe cao su V65 có đường kính là 65mm và bề dày 25mm. **cách chọn ảnh cho xe?**



Hình 2.1. Bánh xe chủ động của robot dò line

2.1.2. Bánh 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 vì có khối lượng nhẹ hơn các loại bánh tự lựa khác.



Hình 2.2. Kích thước bánh mắt trâu

2.2. Tính toán chọn động cơ dẫn động

Giả sử các thông số 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 $a = 0,6 \text{ m/s}^2$

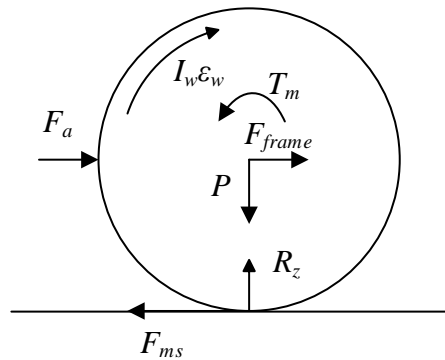
Lấy gia tốc trọng trường $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

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

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

Suy ra: $\omega_{max} = \frac{v_{max}}{r_w} = \frac{0,6}{0,0325} = 18,46 \text{ (rad/s)} = 176,29 \text{ (rpm)}$

Áp dụng các phương trình động học lên bánh xe dẫn động:



Hình 2.3. Mô hình động lực học của bánh xe chủ động

Trong đó:

- T_m là moment xoắn của động cơ
 - W_w là trọng lực của bánh xe và phần trọng lực của khung xe tác dụng lên bánh chủ động
 - F_{frame} là phản lực theo phương ngang do khung xe 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
 - $I_w \varepsilon_w$ là thành phần quán tính xoay của riêng bánh xe
-

CHƯƠNG 2: THIẾT KẾ CƠ KHÍ

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

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

$$\begin{cases} F_w = F_a + F_{frame} \\ P = R_z \\ T_m = I_w \varepsilon_w + F_w r_w \end{cases} \quad (2.1)$$

Sử dụng phương trình cân bằng moment trong hệ phương trình (2.1), ta có:

$$T_m = \frac{1}{2} m_w (r_w^2 - r_h^2) \varepsilon_w + (F_{frame} + m_w a_w) r_w \quad (2.2)$$

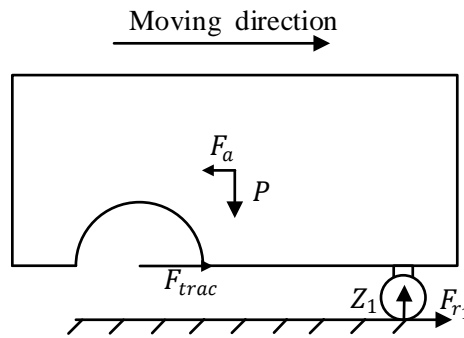
Trong đó:

- m_w : khối lượng bánh xe chủ động
- a_w : gia tốc dài bánh xe chủ động
- r_w : bán kính bánh xe chủ động
- ε_w : gia tốc góc bánh xe chủ động
- r_h : 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, $a_w = \frac{v_{max}}{t} = \frac{0,6}{1} = 0,6 \text{ m/s}^2$. Suy ra, gia tốc góc bánh xe chủ động:

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

Lực do khung xe tác động lên bánh xe chủ động được tính bằng cách tháo rời bánh xe chủ động khỏi trục và thay thế bằng các phản lực tác động lên robot.



Hình 2.4. Các lực tác động lên thân robot

Các ngoại lực tác động lên robot ở hình 2.4 là:

- F_a : lực quán tính của cả robot, $F_a = M_{robot}a_w$
- G : trọng lượng của robot.
- F_{trac} : lực kéo tổng hợp do hai bánh chủ động sinh ra. khi robot di chuyển trên đường thẳng thì $F_{trac} = 2F_{frame}$.
- F_{r_i} : lực ma sát tác dụng lên bánh xe thứ i , giả thiết khối lượng phân bố đều trên các bánh, $F_{r_i} = Z_i C$
- Z_i : 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 ta có:

$$F_{trac} = M_{robot} \cdot a_w + \frac{1}{3}M_{robot} \cdot g \cdot C \quad (2.3)$$

Với các thông số đầu bài: $M_{robot} = 2kg$, $a_w = 0,6 m/s^2$, theo [10] hệ số ma sát lăn $C = 0.015$, ta có:

$$\begin{aligned} F_{trac} &= 2 \cdot 0,6 + \frac{1}{3} \cdot 2,9,81 \cdot 0,015 \\ &= 1,298 (N) \end{aligned}$$

Suy ra:

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

Thay các thông số vào phương trình (2.2) ta có:

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

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 $= 1,5$. Do đó, vận tốc góc và momen xoắn động cơ cần có là:

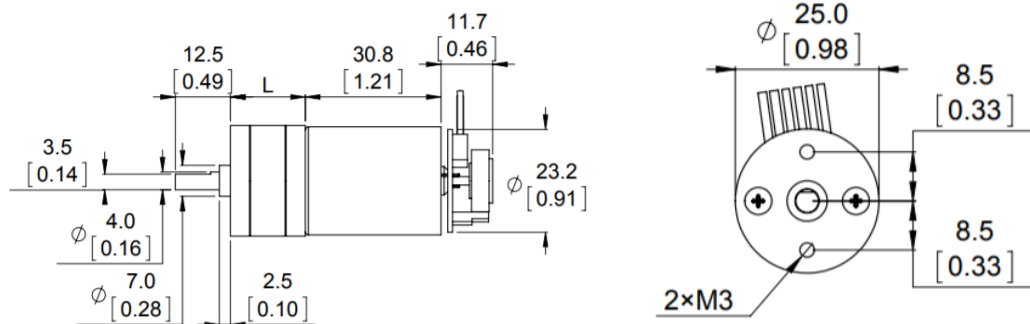
$$\omega \geq 176,29 \cdot 1,5 = 264,45 (rpm)$$

$$T_m \geq 0,0226 \cdot 1,5 = 0,0339 (Nm) = 0,339 (kgf \cdot cm)$$

Với các thông số đã tính toán, nhóm tác giả lựa chọn động cơ GA25.

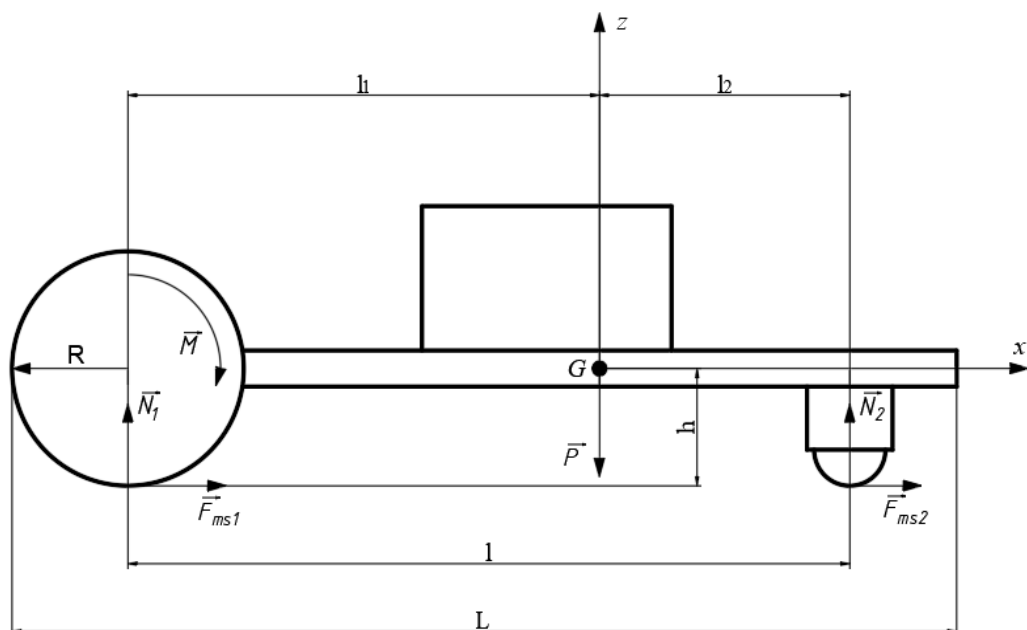
Thông số kỹ thuật của động cơ GA25:

- Tỷ số truyền: 1: 34
- Điện áp hoạt động: 3 – 12 VDC
- Tốc độ không tải: 320 rpm
- Dòng không tải: 80 mA
- Vận tốc có tải: 284 rpm
- Dòng có tải: 600 mA
- Momen hoạt động: 1,8 kgf.cm
- Độ phân giải encoder: 374 ppr



Hình 2.5. Kích thước động cơ GA25

2.3. Tính toán thiết kế khung xe



Hình 2.6. Sơ đồ phân tích động lực học của xe

CHƯƠNG 2: THIẾT KẾ CƠ KHÍ

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

Dựa vào định luật 2 Newton và các phương trình cân bằng, ta có hệ phương trình động lực học của xe như sau:

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

Ta lại có:

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

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 xe tiếp xúc với mặt đường. Do đó ta đó điều kiện:

$$N_2 \geq 0$$

$$\text{Từ phương trình trên, suy ra } N_2 = \frac{mgl_1 - mah}{l_1 + l_2} \geq 0$$

Với các thông số $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, $a = 0,6 \text{ m/s}^2$ thì để thỏa điều kiện trên khi thiết kế khung xe phải đảm bảo chiều cao khung xe thỏa mãn tỉ số $\frac{h}{l_1} \leq \frac{9,81}{0,6} = 16,35$

Do l_1 nhỏ hơn chiều dài của khung xe nên và giả sử trọng tâm xem nằm trong khoảng từ $(0,1 \div 0,4)L$ (do khối lượng xe 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 $(0,1 \div 0,4)L = 1,65 \div 6,54$

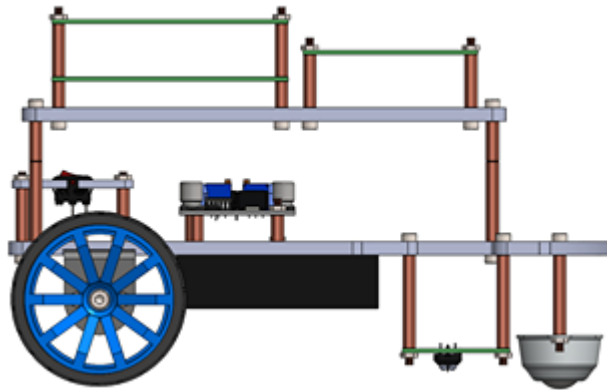
Chiều cao h là tổng của chiều dài giá động cơ và bán kính bánh xe. Ta có chiều dài giá động cơ mà nhóm sử dụng là $18,5 \text{ mm}$, do đó $h = 22,5 + 32,5 = 50 \text{ mm}$

Sau khi ước lượng bố trí mạch điện và các linh kiện điện tử trên khung xe, nhóm chọn chiều dài khung xe là 225 mm .

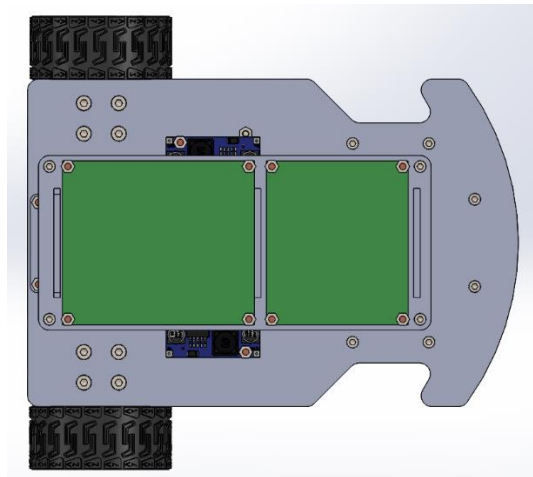
Kiểm nghiệm lại điều kiện giữa chiều cao và khoảng cách, ta thấy $\frac{225}{50} = 4,5$ nên

thỏa điều kiện đã đặt ra.

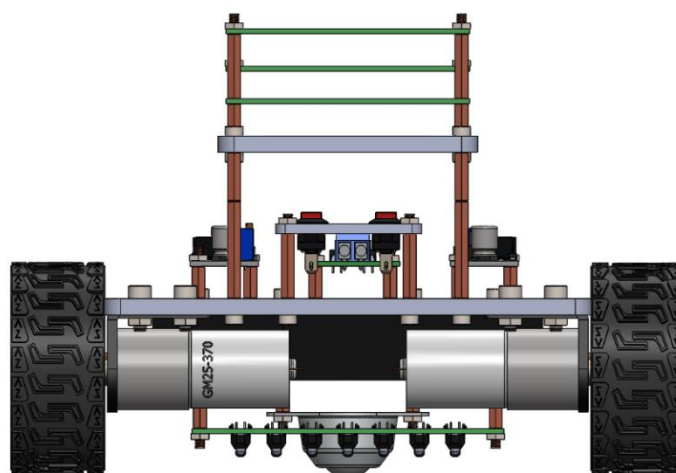
2.4. Mô hình 3D



Hình chiếu đứng



Hình chiếu bằng



Hình chiếu cạnh

Hình 2.7. Mô hình 3D của xe

CHƯƠNG 3. THIẾT KẾ ĐIỆN

3.1. Lựa chọn linh kiện

3.1.1. Cảm biến dò line

Yêu cầu: cảm biến có đầu phát LED hồng ngoại và đầu thu là phototransistor

So sánh:

Bảng 3.1. So sánh đặc tính kỹ thuật của TCRT5000 và TCRT1000

Tên cảm biến	TCRT5000	TCRT1000	Đơn vị
Kích thước (D x R x C)	10,2 x 5,8 x 7	7 x 4 x 2,5	mm
Phạm vi hoạt động	0,2 - 15	0,2 - 4	mm
Khoảng cách hoạt động tốt nhất	2,5	1	mm
Dòng điện đầu ra thông thường	1	0,5	mA

Kết luận: chọn cảm biến TCRT5000

3.1.2. Vi điều khiển

Dựa vào phương án điều khiển phân cấp mà nhóm đã chọn, yêu cầu 1 master và 2 slave để điều khiển 2 động cơ.

Yêu cầu:

- Master có timer để phục vụ việc điều phối giao tiếp giữa các vi điều khiển
- Master và Slave phải hỗ trợ các chuẩn giao tiếp thông dụng như UART, I²C, SPI
- Slave phải có bộ ngắt dùng cho việc đếm sự kiện để đọc encoder

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 PIC vì nhóm đã quen sử dụng vi điều khiển dòng này. Cụ thể nhóm lựa chọn Master là vi điều khiển PIC16F877A, 2

Slave là vi điều khiển PIC16F73 do đây là các vi điều khiển mà nhóm có sẵn.

3.1.3. Driver

Yêu cầu:

- $V_{out, max} > 12 \text{ V}$
- $I_{out, max} > 1,3 \text{ A}$
- Tần số hoạt động của driver phải đủ lớn để hoạt động được với tần số của xung PWM từ vi điều khiển (500 Hz)

Nhóm cân nhắc giữa driver L298N và driver TB6612

So sánh:

Bảng 3.2. Thông số kỹ thuật của driver L298N và TB6612

Đặc tính kỹ thuật	L298N	TB6612	Đơn vị
Điện áp đầu ra, V_{out}	6 – 35	15	V
Dòng đầu ra, I_{out}	2	3,2	A
Tần số hoạt động, f	40	100	KHz

Kết luận: Nhóm lựa chọn driver cho động cơ là TB6612.

3.2. Lựa chọn chuẩn giao tiếp

Yêu cầu:

- Hỗ trợ giao tiếp giữa 1 Master và 2 Slave
- Tốc độ truyền tối thiểu là 8 kbps
- Hoạt động ổn định ở khoảng cách gần

Nhóm cân nhắc giữa 2 loại chuẩn giao tiếp là I²C và SPI. Chuẩn SPI có tốc độ truyền cao hơn chuẩn I²C nhưng lại bị ảnh hưởng bởi nhiễu nhiều hơn.

- **Kết luận:** Chọn chuẩn giao tiếp là I²C

3.3. Thiết kế mạch cảm biến

3.3.1. Thông số kỹ thuật của cảm biến TCRT5000

Bảng 3.3. Thông số kỹ thuật của cảm biến RCRT5000

➤ Kích thước ($L \times W \times H - mm$)	$10,2 \times 5,8 \times 7$
➤ Cao độ hoạt động (mm)	0,2 – 15
➤ Dòng chịu lớn nhất	$I_C = 1mA, I_{Fmax} = 60mA$
➤ Góc phát	16^0
➤ Góc thu	30^0
➤ Chức năng lọc nhiễu ánh sáng ban ngày	Có
➤ Bước sóng tia hồng ngoại	950nm

3.3.2. Chọn số lượng cảm biến

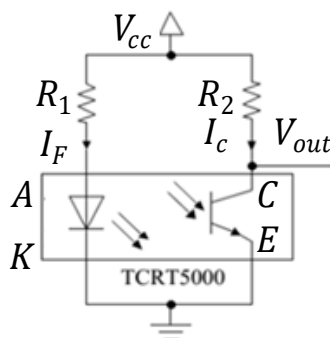
Yêu cầu:

- 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.

Kết luận:

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

3.3.3. Tính toán các điện trở trên mạch cảm biến

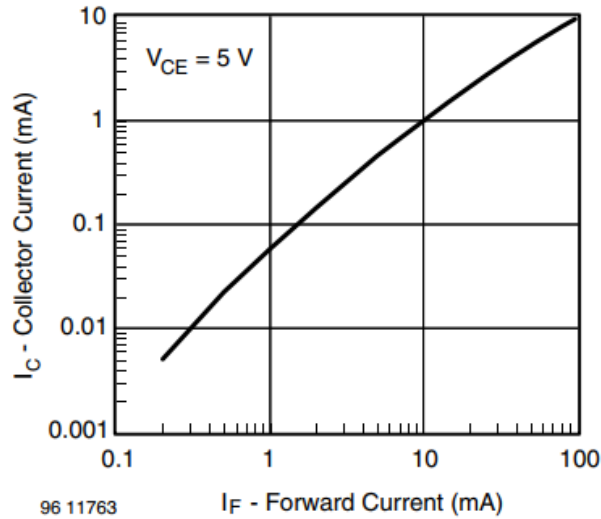


Hình 3.1. Sơ đồ nguyên lý của một module cảm biến

Gọi V_F là điện áp giữa hai điểm A, K . Theo tài liệu [5], $V_F = 1,25 V$, kết hợp với điều kiện về dòng của cảm biến $I_F < 60 mA$, ta tính được điện trở R_1 là:

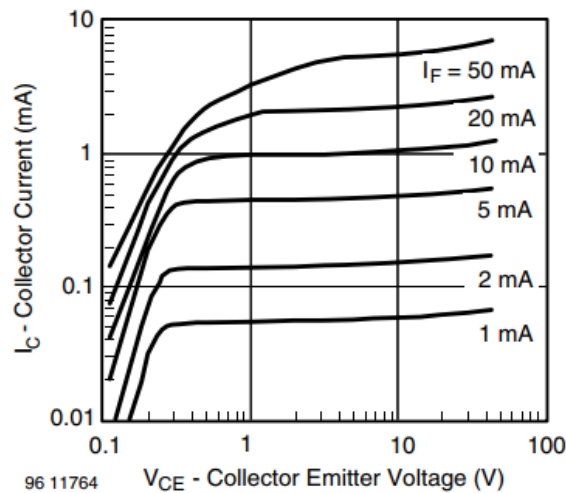
$$R_1 = \frac{V_{cc} - V_F}{I_F} > \frac{5 - 1,25}{60 \cdot 10^{-3}} = 62,5 \Omega \quad (3.1)$$

Chọn $R_1 = 330 \Omega$, suy ra $I_F = 11,4 mA$.



Hình 3.2. Đồ thị mối quan hệ giữa I_C và I_F [5]

Dựa vào hình 3.2, suy ra $I_C = 1,1 mA$.



Hình 3.3. Đồ thị mối quan hệ giữa V_{CE} và I_C [5]

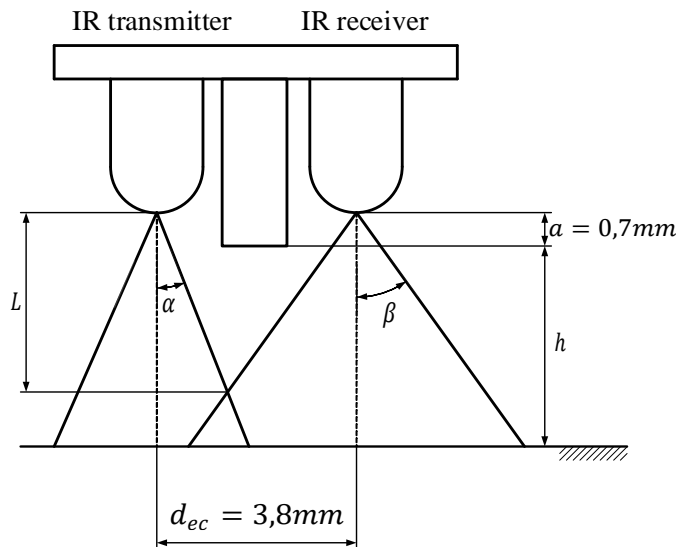
Với $I_C = 1,1 mA$ và $I_F = 11,4 mA$, dựa vào hình 3.3, ta suy được $V_{CE} = 1 V$ (điện áp giữa hai điểm C, E).

Với $V_{CE} = 1 V$, điện trở R_2 được tính theo công thức:

$$R_2 = \frac{V_{cc} - V_{CE}}{I_C} > \frac{5 - 1}{1,1 \cdot 10^{-3}} = 3636,7 \, \Omega \quad (3.2)$$

Chọn $R_2 = 3,9 \, k\Omega$.

3.3.4. Khảo sát khoảng cách đến mặt sa bàn của cảm biến



Hình 3.4. Mô hình cao độ từ cảm biến đến sa bàn

Dựa vào hình 3.4, cao độ L được tính toán:

$$L = \frac{d_{ec}}{\tan \alpha + \tan \beta} = \frac{3,8}{\tan 16^\circ + \tan 30^\circ} = 4,4 \, mm \quad (3.3)$$

Vậy cao độ nhỏ nhất của cảm biến tới sa bàn là:

$$h_{min} = L - 0,7 = 4,4 - 0,7 = 3,7 \, mm \quad (3.4)$$

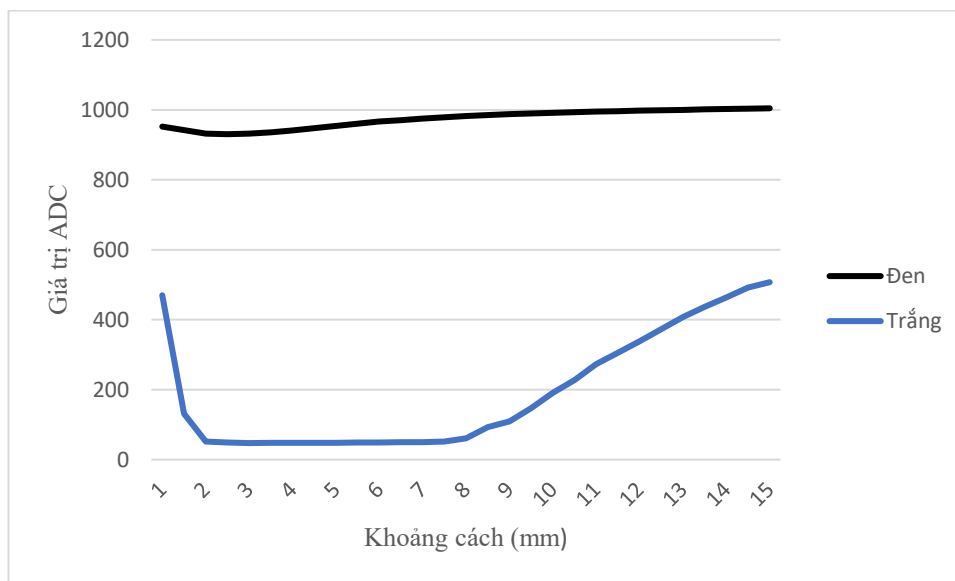
Dựa vào cao độ nhỏ nhất h_{min} , cao độ phù hợp được khảo sát qua thực nghiệm. Trong thí nghiệm, module cảm biến được gá thẳng đứng và di chuyển cao dần so với nền sa bàn. Nền sa bàn được sử dụng là nền trắng và nền đen.

Thí nghiệm được thực hiện như sau:

- Bước 1: Gá cảm biến ở độ cao phù hợp so với nền sa bàn
- Bước 2: Di chuyển cảm biến dọc theo nền đen rồi nền trắng để đọc kết quả analog trả về
- Bước 3: Thay đổi độ cao của cảm biến so với sa bàn, sau đó lặp lại bước 2

- Bước 4: Sau khi thử hết các độ cao trong khoảng hoạt động của cảm biến, thay bằng cảm biến khác và lặp lại từ bước 1 cho đến khi đủ số cảm biến.

Kết quả khảo sát được trình bày trong hình dưới đây:



Hình 3.5. Kết quả khảo sát cao độ phù hợp

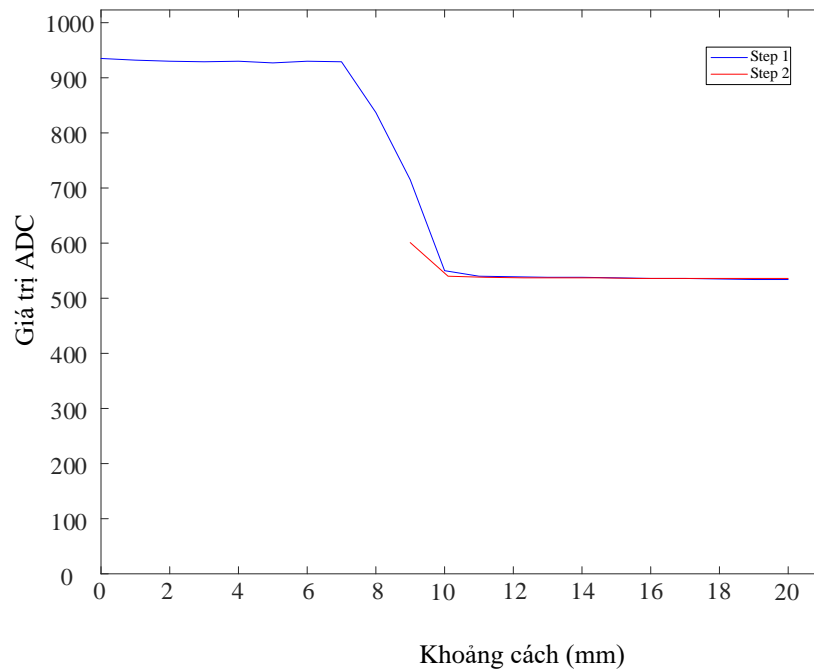
Dựa vào hình 3.5, tại cao độ 8 mm, độ chênh lệch về giá trị ADC của cảm biến đọc về tại nền trắng và nền đen là cao nhất nên cao độ phù hợp để lắp cảm biến là 8 mm.

3.3.5. Khảo sát khoảng cách giữa hai cảm biến phù hợp

Khoảng cách giữa hai cảm biến cần được chọn để hai cảm biến không giao thoa với nhau và trả về kết quả phù hợp.

Thí nghiệm được thực hiện như sau:

- Bước 1: gá hai cảm biến ở cùng cao độ 8 mm so với nền sa bàn.
- Bước 2: dịch chuyển cảm biến thứ nhất từ tâm line ra xa 20 mm, đọc giá trị ADC.
- Bước 3: cố định cảm biến thứ nhất, dịch chuyển cảm biến thứ hai ra xa 20 mm, đọc giá trị ADC cảm biến thứ hai.
- Bước 4: thay đổi cảm biến và lặp lại các bước như trên.

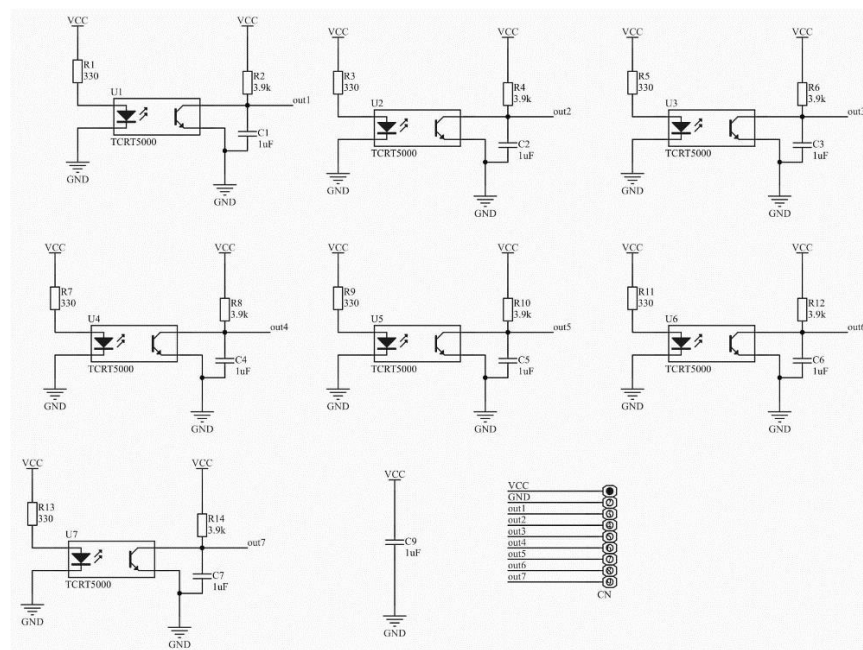


Hình 3.6. Kết quả khảo sát khoảng cách giữa 2 cảm biến

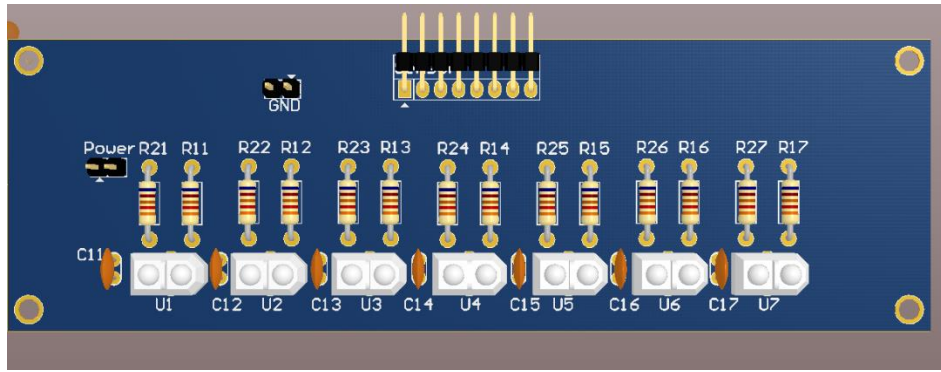
Dựa vào kết quả khảo sát ở hình 3.6, khoảng cách phù hợp giữa hai cảm biến là từ 13 – 18 mm, chọn 13 mm.

3.3.6. Thiết kế và chế tạo cảm biến

Sau khi xác định được các thông số về kích thước của mạch cảm biến, sơ đồ nguyên lý mạch cảm biến và mô hình 3D được dựng lên sau đây.



Hình 3.7. Sơ đồ nguyên lý của dãy cảm biến



Hình 3.8. Mô hình 3D của cảm biến

3.3.7. Calib cảm biến

Vì các giá trị ADC của từng cảm biến khi hoạt động là khác nhau, phụ thuộc vào áp cấp và điều kiện test nên cần calib để đưa các giá trị đó về cùng một khoảng.

Phương trình calib như sau:

$$y_{j_i} = y_{min} + \frac{y_{max} - y_{min}}{x_{max_i} - x_{min_i}} \cdot (x_{j_i} - x_{min_i}) \quad (3.5)$$

Trong đó:

- x_{max_i}, x_{min_i} – giá trị ADC lớn nhất và nhỏ nhất của cảm biến thứ i .
- y_{max}, y_{min} – giá trị ADC ngưỡng trên và ngưỡng dưới của khoảng đo.
- x_{j_i} – giá trị ADC của cảm biến thứ i ngay tại thời điểm đọc.
- y_{j_i} – giá trị sau khi calib.

Giá trị ADC ngưỡng trên và ngưỡng dưới được quy ước là $y_{max} = 900, y_{min} = 50$. Công thức calib cho từng cảm biến được trình bày dưới bảng sau đây:

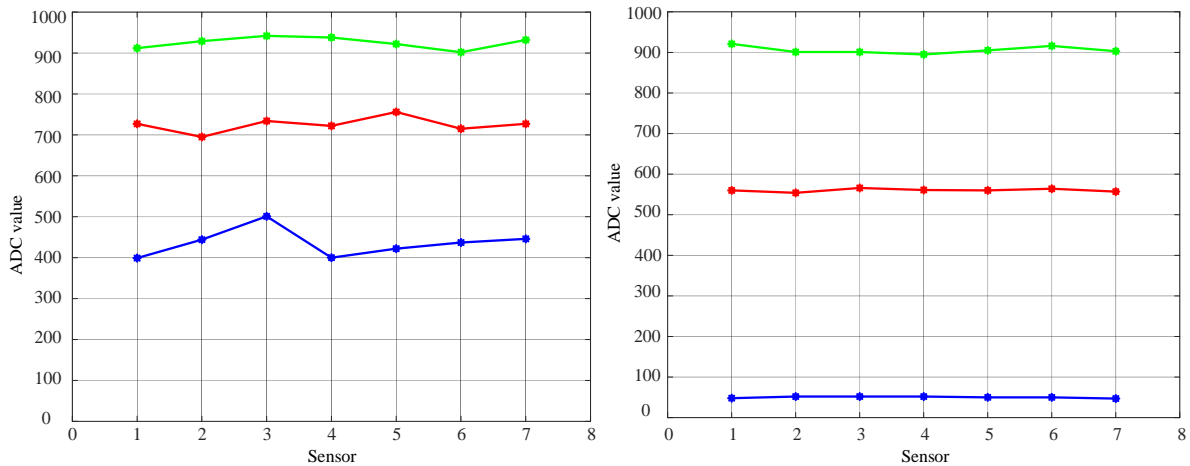
Bảng 3.4. Công thức calib cho từng cảm biến

Sensor	x_{min_i}	x_{max_i}	y_{j_0}
x_1	399	912	$y_{j_0} = 50 + 1.6569(x_{j_1} - 399)$
x_2	444	929	$y_{j_0} = 50 + 1.7525(x_{j_2} - 444)$
x_3	501	942	$y_{j_0} = 50 + 1.9274(x_{j_3} - 501)$
x_4	400	938	$y_{j_0} = 50 + 1.9274(x_{j_4} - 501)$

CHƯƠNG 3: THIẾT KẾ ĐIỆN

x_5	422	922	$y_{j_0} = 50 + 1.7(x_{j_5} - 422)$
x_6	437	902	$y_{j_0} = 50 + 1.828(x_{j_6} - 437)$
x_7	446	932	$y_{j_0} = 50 + 1.749(x_{j_7} - 446)$

Đặt cảm biến tại 3 vị trí so với đường line: nền trắng, nền đen, vùng giao giữa nền trắng và nền đen, đọc giá trị ADC trả về của từng cảm biến tại 3 vị trí



Hình 3.9. Kết quả các giá trị cảm biến trước và sau khi calib

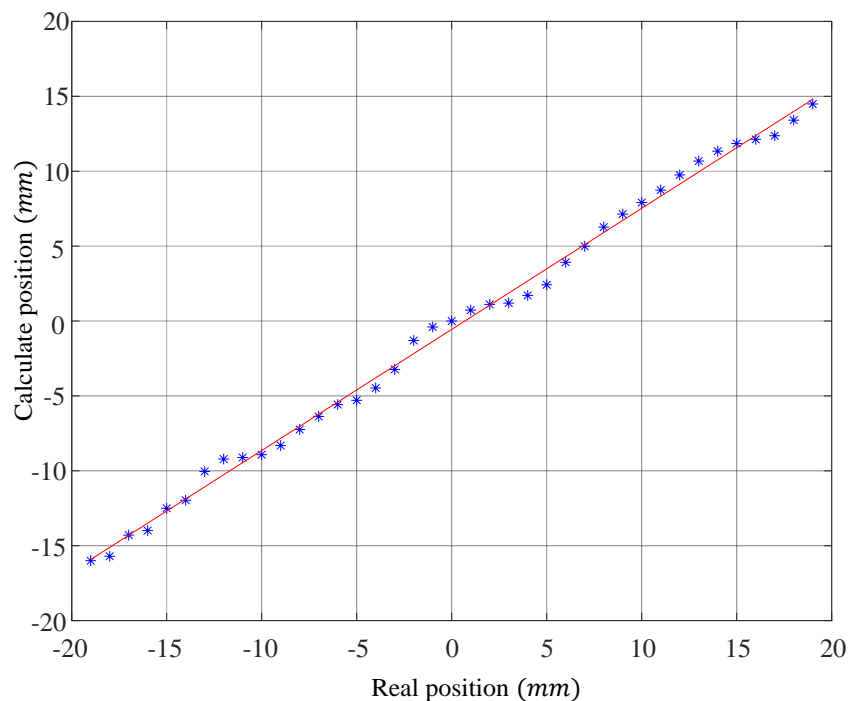
Giải thuật dùng để xử lý dữ liệu từ cảm biến là giải thuật xấp xỉ trọng số. Phương trình tính ra khoảng cách tâm cảm biến và tâm line như sau:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n y_i} d \quad (3.6)$$

Trong đó:

- x_i là trọng số của cảm biến so với line
- y_i là giá trị ADC đọc về của cảm biến thứ i
- x là tọa độ tâm cảm biến so với tâm line
- d là khoảng cách giữa 2 cảm biến

Kết quả test cảm biến được trình bày trong hình dưới đây:



Hình 3.10. Đồ thị quan hệ giữa vị trí thực và vị trí tính toán của tâm đường line so với tâm cảm biến

Ta tìm được hàm nội suy bậc nhất mối quan hệ giữa vị trí thực của line và vị trí đo cảm biến tính toán là:

$$y = 0,8084x - 0,5577 \quad (3.7)$$

Tuy nhiên, trong quá trình thực nghiệm thì với mỗi địa điểm thực nghiệm sẽ có điều kiện ánh sáng khác nhau nên mỗi lần thực nghiệm phải calib lại cảm biến lại vị trí đó. Ta thấy trong hình 3.10 sai lệch lớn nhất của tâm line có giá trị gần 5 mm. Thực hiện che chắn cảm biến khi chạy thực nghiệm sẽ làm giảm sai lệch này.

3.4. Tính toán mạch công suất

Bảng 3.5. Dòng và áp cần thiết cho mạch công suất

Cấp cho	Thiết bị	Dòng (A)	Số lượng	Dòng tổng (A)	Điện áp làm việc (V)	Dòng yêu cầu (A)	Điện áp yêu cầu (V)
---------	----------	----------	----------	---------------	----------------------	------------------	---------------------

CHƯƠNG 3: THIẾT KẾ ĐIỆN

Mạch động lực	DC motor + driver L298N	1,3	2	1,3	12	2,6	12
Mạch điều khiển	Cảm biến TCRT5000	0,02	7	0,14	5	0,2	5
	PIC16F73	---	2	---	5		
	Encoder	---	2	---	3.3		
	PIC16F887	---	1	---	5		

Đối với mạch động lực, ta cấp nguồn 12 V và dòng cần thiết là 2,6 A. Đối với mạch điều khiển, ta cấp nguồn 5 V, còn dòng cần thiết không đáng kể.

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.

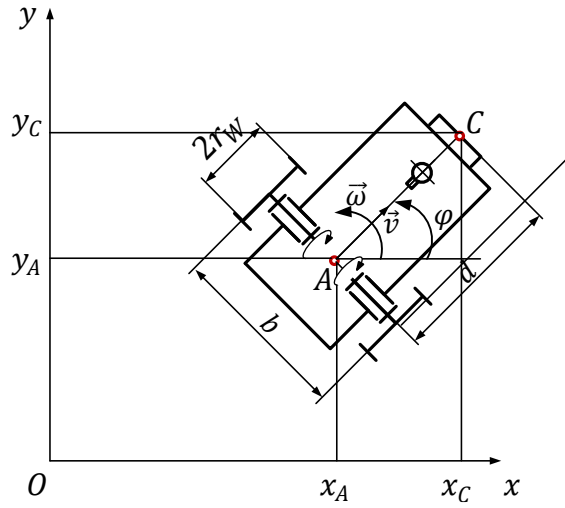
Để tạo nguồn 12 V, nhóm sử dụng 4 pin (có thể đạt 16 V) kết hợp với mạch giảm áp LM2596 giảm xuống 12 V để cấp nguồn cho mạch động lực.

Để tạo nguồn 5 V, nhóm sử dụng 2 pin (có thể đạt 8 V) kết hợp với mạch giảm áp LM2596 giảm xuống 5 V để cấp nguồn cho mạch điều khiển.

CHƯƠNG 4. 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.

4.1. Phương trình động học của robot



Hình 4.1. Trạng thái của robot trong hệ tọa độ Oxy

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, r_w được định nghĩa trên hình 4.1. $\vec{v}, \vec{\omega}$ 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:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_A \\ \dot{y}_A \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 \\ \sin \varphi & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Từ các quan hệ hình học $x_C = x_A + d \cdot \cos \varphi, y_C = y_A + d \cdot \sin \varphi$ và $\varphi_C = \varphi$ ta có phương trình động học viết tại điểm track C là:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_C \\ \dot{y}_C \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x}_A - \dot{\varphi} \cdot d \cdot \sin \varphi \\ \dot{y}_A + \dot{\varphi} \cdot d \cdot \cos \varphi \\ \omega \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

4.2. Khảo sát đặc tính động cơ

Đối với động cơ DC thông thường, hàm truyền biểu diễn mối quan hệ giữa tín hiệu điện áp cấp cho động cơ và tốc độ góc của trục là một hàm bậc hai. Điều này có hai khó khăn chính trong việc mô hình hóa động cơ:

- Khó khăn trong việc đo các thông số nội của động cơ như R_{dc} , L_{dc} , hệ số giảm chấn b_{dc}
- 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 + driver là một hộp đen để khảo sát đáp ứng với các tín hiệu cấp từ đó xấp xỉ hàm truyền của hệ đó

4.2.1. Xác định tần số lấy mẫu và số mẫu cần lấy

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

\Rightarrow Tốc độ lớn nhất của động cơ khi không tải: $\omega_{max} = 320.34 = 10880 \text{ (rpm)}$

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

Do đó cần phải chọn thời gian lấy mẫu sao cho trong khoảng thời gian lấy mẫu này số xung đọc được lớn nhất là 9 xung.

\Rightarrow Chu kỳ nhỏ nhất của tín hiệu gốc là $T_h = 0,11 \text{ (s)}$

Để khôi phục được tín hiệu thì thời gian lấy mẫu $T_s \leq \frac{T_h}{2} = 0,055 \text{ (s)}$

\Rightarrow Chọn $T_s = 0,01 \text{ (s)}$

Xác định số mẫu cần lấy (dựa theo tiêu chuẩn Nyquist) là:

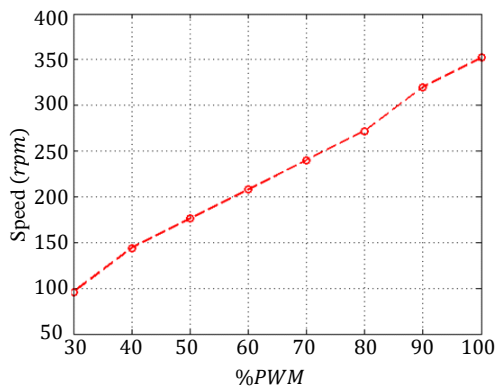
$$n\omega T = mT \rightarrow n = \frac{m.0,05}{0,01} = 5m \text{ (Với } m \text{ là số nguyên).}$$

\Rightarrow Chọn: $n = 20 \Rightarrow m = 100$ mẫu.

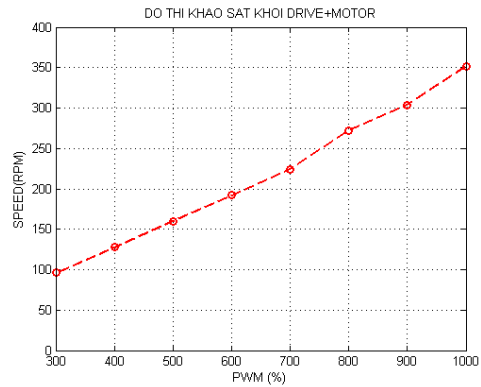
4.2.2. Khảo sát khoảng tuyến tính động cơ

CHƯƠNG 4: MÔ HÌNH HÓA HỆ THỐNG

Sử dụng vi điều khiển PIC16F73 cấp xung cho driver và đếm xung trả về từ kênh A của động cơ, ta vẽ được đồ thị sau:



a. Khối driver + động cơ 1



b. Khối driver + động cơ 2

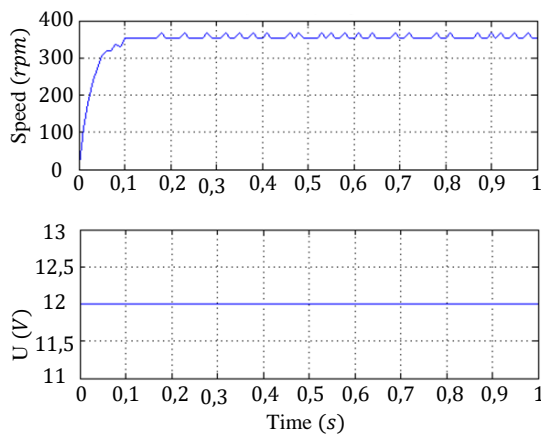
Hình 4.2. Đồ thị khảo sát khối driver + động cơ

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

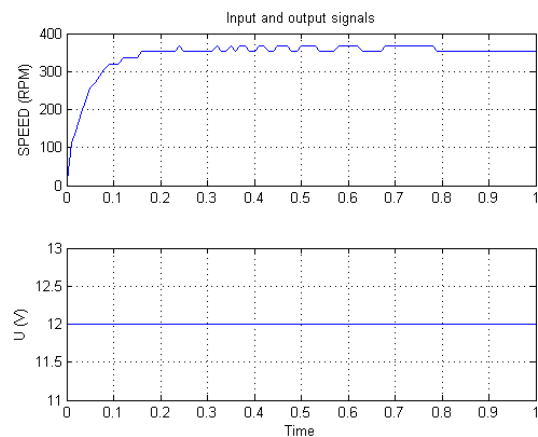
4.2.3. Khảo sát đáp ứng để tìm hàm truyền động cơ

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.

Miêu tả quy trình: Đầu vào là một giá trị cố định. Để tăng tính thuyết phục, ta sẽ khảo sát với những giá trị cố định khác nhau. Đầu tiên, nhóm cho đầu vào là 100%PWM



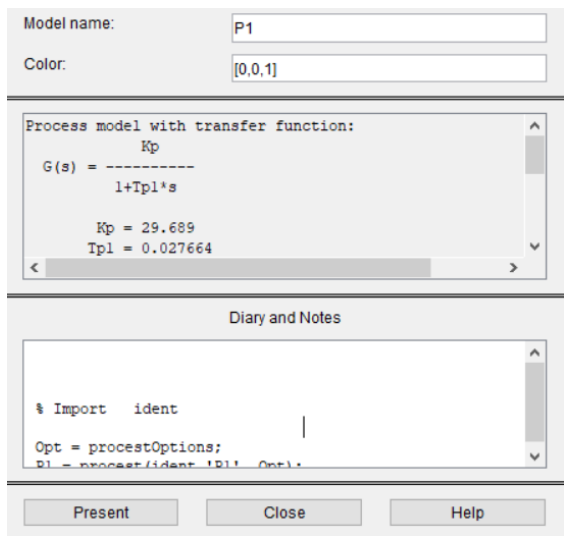
a. Động cơ 1



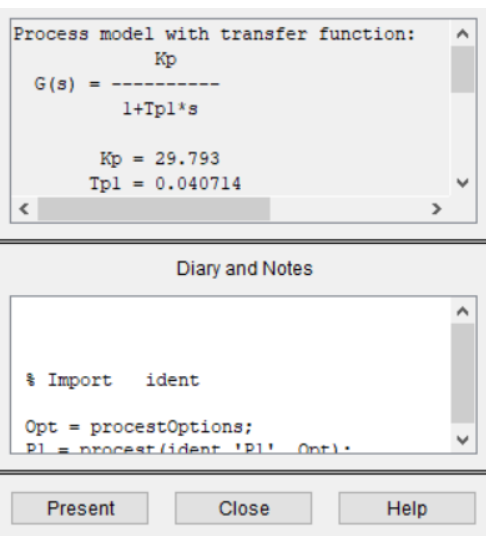
b. Động cơ 2

Hình 4.3. Đáp ứng động cơ với đầu vào 100% PWM

Sử dụng Tool System Identification của MATLAB:

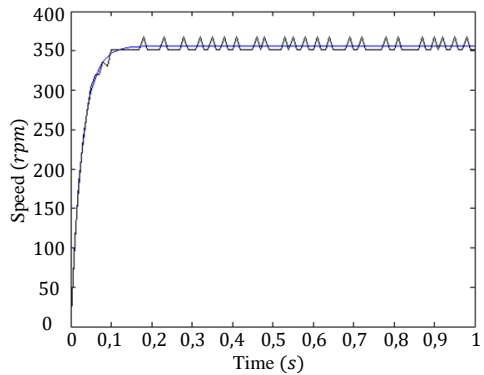


a. Động cơ 1

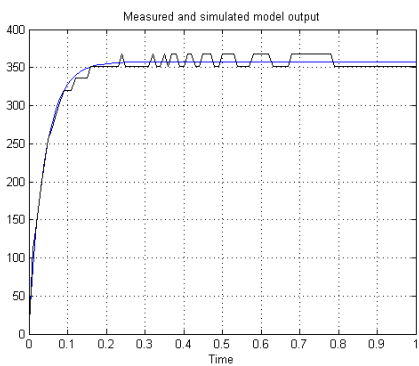


b. Động cơ 2

Hình 4.4. Hàm truyền tìm được bằng “System Identification Toolbox”



a. Động cơ 1



b. Động cơ 2

Hình 4.5. Mức độ chính xác của hàm truyền vừa tìm so với giá trị đáp ứng đầu ra của động cơ

Lặp lại các bước trên với giá trị đầu vào 60% PWM (là vận tốc động cơ chạy), ta được:

Bảng 4.1. Hàm truyền tìm được với giá trị cố định 60% PWM

Giá trị đầu vào (%PWM)	Hàm truyền động cơ 1 tìm được	Hàm truyền động cơ 2 tìm được

CHƯƠNG 4: MÔ HÌNH HÓA HỆ THỐNG

$60\% PWM$	$\frac{30,184}{0,026848s + 1}$	$\frac{29,141}{0,044255s + 1}$
------------	--------------------------------	--------------------------------

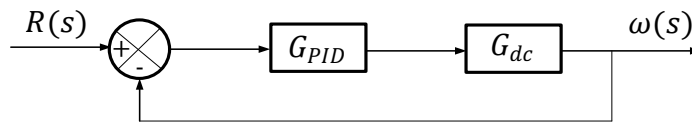
CHƯƠNG 5. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN**5.1. Thiết kế bộ điều khiển PID cho động cơ****5.1.1. Tiêu chí thiết kế bộ điều khiển**

Với các hàm truyền tìm được, nhóm sử dụng hàm truyền động cơ $G_{dc}(s) = \frac{29.141}{0,044255s+1}$ để thiết kế bộ điều khiển PID. Các chỉ tiêu cho bộ điều khiển như sau:

- Độ vọt lố $POT \leq 10\%$
- Thời gian xác lập $t_s \leq 0,1 s$
- Sai số xác lập $\leq 5\%$

5.1.2. Tính toán hàm truyền bộ điều khiển

Mô hình của hệ gồm bộ điều khiển PID và động cơ như sau:



Hình 5.1. Mô hình của hệ điều khiển

Hàm truyền của bộ điều khiển PID:

$$G_{PID} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (5.1)$$

Hàm truyền của động cơ có dạng:

$$G_{dc} = \frac{K}{T_s s + 1} \quad (5.2)$$

Phương trình đặc trưng của hệ kín:

$$1 + G_{PID} \cdot G_{dc} = 0 \quad (5.3)$$

$$1 + \left(K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \right) \cdot \left(\frac{K}{T_s s + 1} \right) = 0$$

$$s^2 + \frac{1 + KK_p}{T + KK_d} \cdot s + \frac{KK_i}{T + KK_d} = 0$$

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.

Từ chỉ tiêu độ vọt lô, ta có:

$$POT = e^{-\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}} \cdot 100\% = 10\% \quad (5.4)$$

Suy ra: $\xi = 0,59$.

Từ chỉ tiêu thời gian xác lập, tính theo tiêu chuẩn 2%, ta có:

$$t_s = \frac{3}{\xi \cdot \omega_n} = 0,1s \quad (5.5)$$

Suy ra: $\omega_n = 50,85$.

Với $\xi = 0,59$; $\omega_n = 50,85$ thì dạng của phương trình đặc trưng của hệ là:

$$s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2 = 0 \quad (5.6)$$

Đồng nhất hệ số với (4.3) ta được hệ phương trình sau:

$$\begin{cases} \frac{1 + KK_p}{T + KK_d} = 2\xi\omega_n \\ \frac{KK_i}{T + KK_d} = \omega_n^2 \end{cases} \quad (5.7)$$

Ta nhận thấy hệ (5.7) là hệ phương trình 3 ẩn – 2 phương trình nên cần chọn trước một nghiệm để giải. Qua khảo sát, nhóm nhận thấy $K_p = 0,4$ là phù hợp với động cơ nên chọn $K_p = 0,4$. Thế $K = 29.141$; $T = 0,044255$

Với $K_p = 0,4$; giải hệ (5.7) ta được: $K_i = 18,7174$, $K_d = 0,00572$.

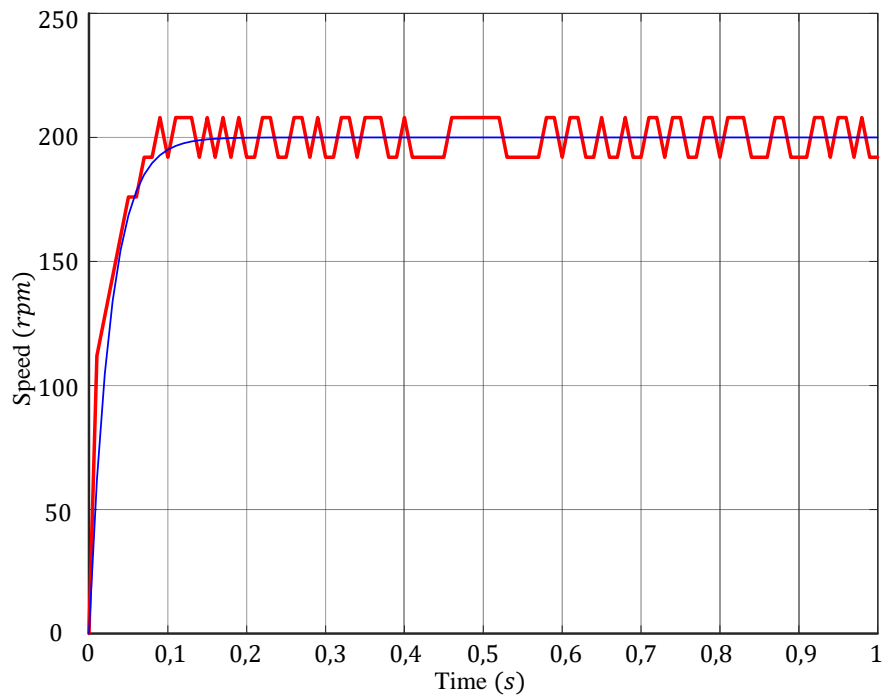
Vậy, bộ điều khiển PID có hàm truyền là:

$$G_{PID} = 0,4 + \frac{18,7174}{s} + 0,00572 \cdot s \quad (5.8)$$

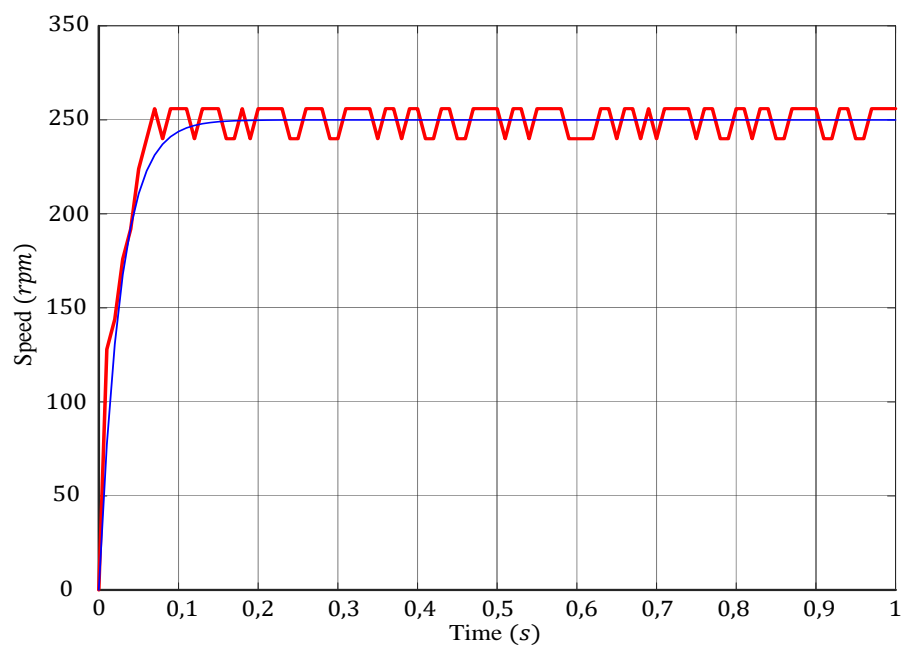
Thực hiện tương tự cho động cơ 2, các hệ số của bộ điều khiển PID của động cơ 2 là: $K_p = 0,4$, $K_i = 18,7174$, $K_d = 0,00572$.

5.1.3. Áp dụng bộ điều khiển cho động cơ

Bộ PID sau khi thiết kế được áp dụng cho động cơ thật với setpoint khác nhau và kết quả như sau:



a. Setpoint 200 rpm



b. Setpoint 250 rpm

Hình 5.2. Đáp ứng của hệ kín với các setpoint khác nhau

Nhận xét:

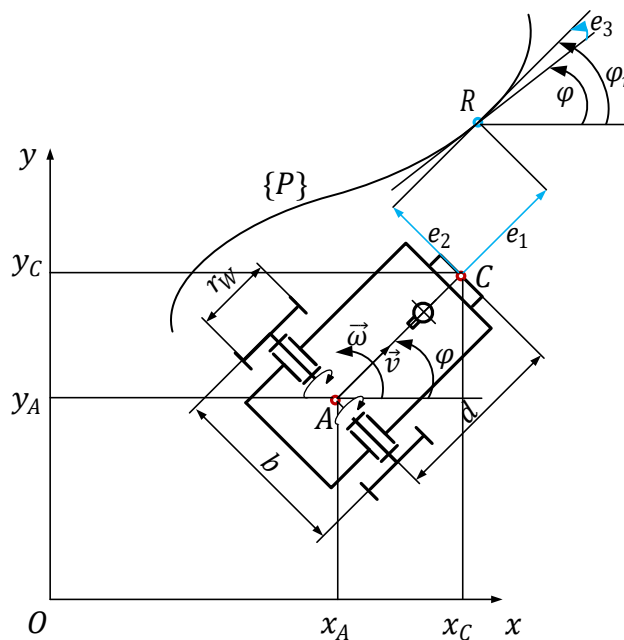
- Setpoint càng lớn ($200 \div 300 \text{ rpm}$) thì độ vọt lố càng nhỏ ($5 \div 8\%$); Với dải tốc độ thấp $100 \text{ rpm} \div 150 \text{ rpm}$ thì vọt lố cao.
- Thời gian đáp ứng của động cơ nằm trong khoảng $0,08s \div 0,1 \text{ s}$.
- Sai số xác lập $2\% - 5\%$

Kết luận: Bộ điều khiển PID đã thiết kế phù hợp với các yêu cầu đặt ra.

5.2. 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 đề 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 5.3. Mô hình động học của robot

Giả sử, có một robot tham khảo P với điểm R là điểm tham chiếu vẽ 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 đưa 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

5.3, luật điều khiển được thiết kế nhằm 2 mục đích chính sau:

- Luật điều khiển tác động vào robot để làm cho $e_i \rightarrow 0, i = \overline{1, 3}$ 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:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_r \\ \dot{y}_r \\ \dot{\varphi}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_r & 0 \\ \sin \varphi_r & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_r \\ \omega_r \end{bmatrix} \quad (5.9)$$

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

$$\begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_r - x_c \\ y_r - y_c \\ \varphi_r - \varphi \end{bmatrix} \quad (5.10)$$

Đạo hàm hai vế phương trình (4.4), ta được:

$$\begin{bmatrix} \dot{e}_1 \\ \dot{e}_2 \\ \dot{e}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_r \cdot \cos e_3 \\ v_r \cdot \sin e_3 \\ \omega_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & e_2 \\ 0 & -d - e_1 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad (5.11)$$

Đặt đầu vào sơ khởi $u_{sk} = [v \ \omega]^T$. Dựa vào hình 4.2 và phương trình (5.11), ta có điểm cân bằng của hệ phi tuyến (5.11) là: $X_0 = [e_{10} \ e_{20} \ e_{30}]^T = [0 \ 0 \ 0]^T$ khi đầu vào là $U_{sk0} = [v_r \ \omega_r]^T$. Tuyến tính hóa hệ (5.11) xung quanh điểm cân bằng X_0 với đầu vào U_{sk0} ta được:

$$\begin{bmatrix} \dot{e}_1 \\ \dot{e}_2 \\ \dot{e}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_r & -v_r \\ -\omega_r & 0 & v_r \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -d \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad (5.12)$$

Trong thực tế, việc đo đạt e_1 là không cần thiết nhờ giả sử robot chuyển động với vận tốc $v = v_r$. Do đó giả sử $e_1 \approx 0$. Thu gọn (5.12) và đặt lại luật điều khiển chỉ điều khiển ω là $u = \omega$ ta được:

$$\begin{bmatrix} \dot{e}_2 \\ \dot{e}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & v_r \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_2 \\ e_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -d \\ -1 \end{bmatrix} u \quad (5.13)$$

Phương trình (5.13) là phương trình không gian trạng thái dạng $\dot{x} = Ax + Bu$, bài toán trở thành thiết kế luật điều khiển hồi tiếp $u = -Kx$ cho hệ.

Kiểm tra tính điều khiển được của hệ:

$$M = [B \ AB] = \begin{bmatrix} 0 & v_r \\ v_r & 0 \end{bmatrix} \rightarrow \text{rank}(M) = 2 \neq 0 \quad (5.14)$$

Vậy hệ điều khiển được.

Đặt $K = [K_1 \ K_2]$

Phương trình đặc trưng của hệ:

$$|sI - A + BK| = 0 \rightarrow s^2 - k_2 v_r s - k_1 v_r = 0 \quad (5.15)$$

Phân tích phương trình (5.15) về dạng $s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2 = 0$, đồng nhất thức ta có

$$\begin{cases} 2\xi\omega_n = -k_2 v_r \\ \omega_n^2 = -k_1 v_r \end{cases} \quad (5.16)$$

Độ vọt lồ mong muốn là 10% nên $\xi = 0,59$

Thời gian xác lập $t_s = 0,1$ s nên theo tiêu chuẩn 2% $\omega_n = \frac{4}{\xi t_s} = 67,8$

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

$$u = -k_1 x_1 - k_2 \dot{x}_1 \rightarrow u = -\frac{k_1}{a} e - \frac{k_2}{a} \dot{e} \quad (5.17)$$

Đặt $K_P = -\frac{k_1}{a}$, $K_D = -\frac{k_2}{a}$, phương trình (5.17) trở thành $u = K_P e + K_D \dot{e}$

Từ công thức (5.16), ta có

$$\begin{cases} k_2 = -\frac{2\xi\omega_n}{v_r} = -80,004 \\ k_1 = -\frac{\omega_n^2}{v_r} = -4596,84 \end{cases} \quad (5.18)$$

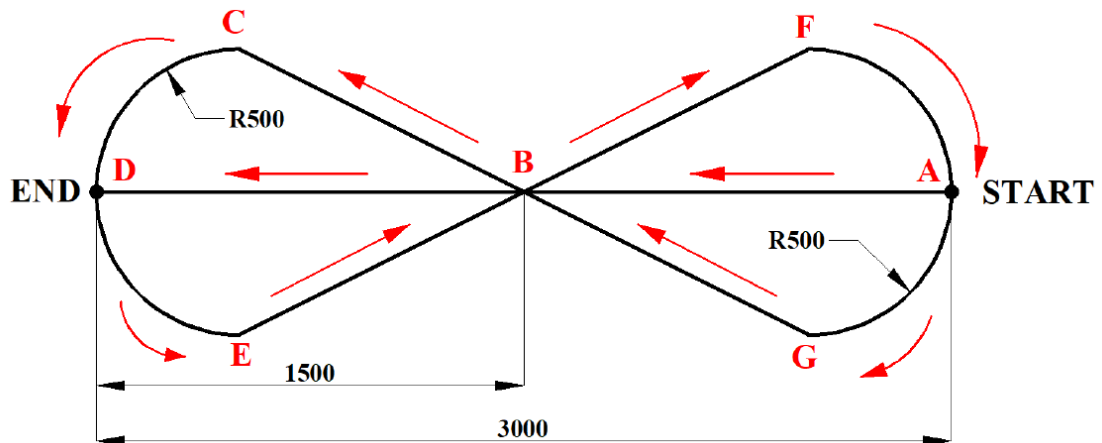
Với $a = d = 225$, từ (5.18) ta suy ra $K_P = 20,43$, $K_D = 0,355$, vậy luật điều khiển PD cho robot dò theo line là $u = \omega = 20,43e + 0,355\dot{e}$

CHƯƠNG 6. MÔ PHỎNG HOẠT ĐỘNG ROBOT

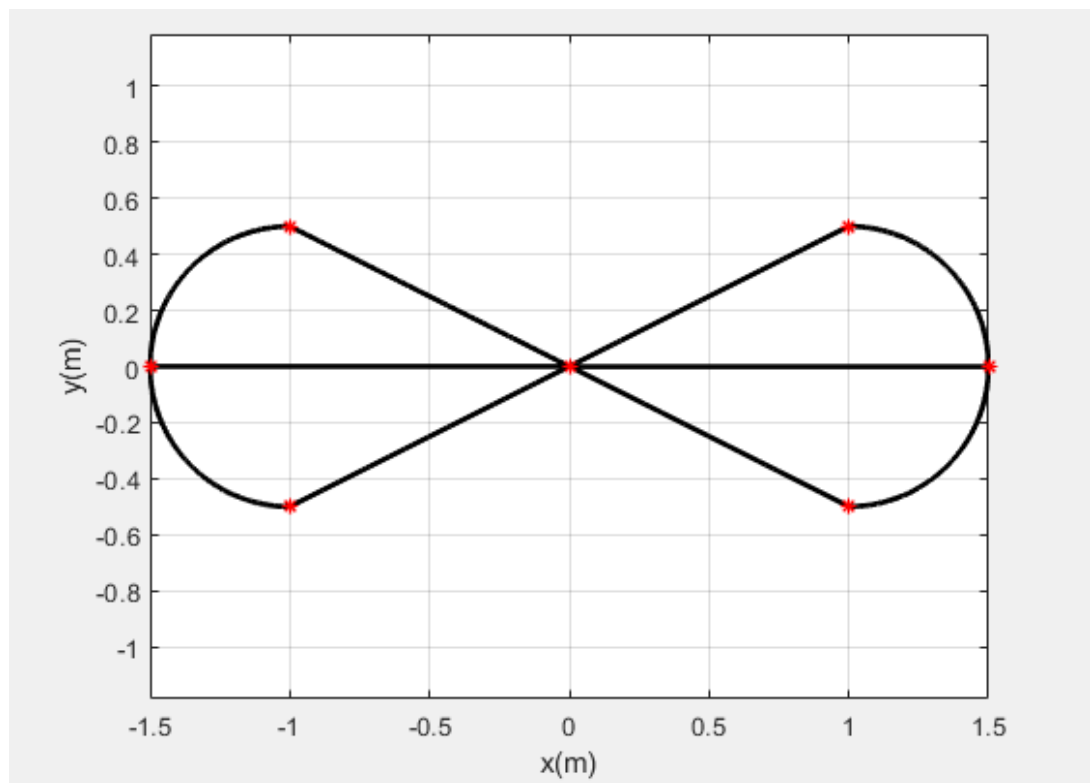
6.1. Mô phỏng đường line

Khi bắt đầu, robot được đặt tại vị trí START (điểm A), sau đó robot chạy theo thứ tự đi qua các điểm nút quy định lần lượt như sau:

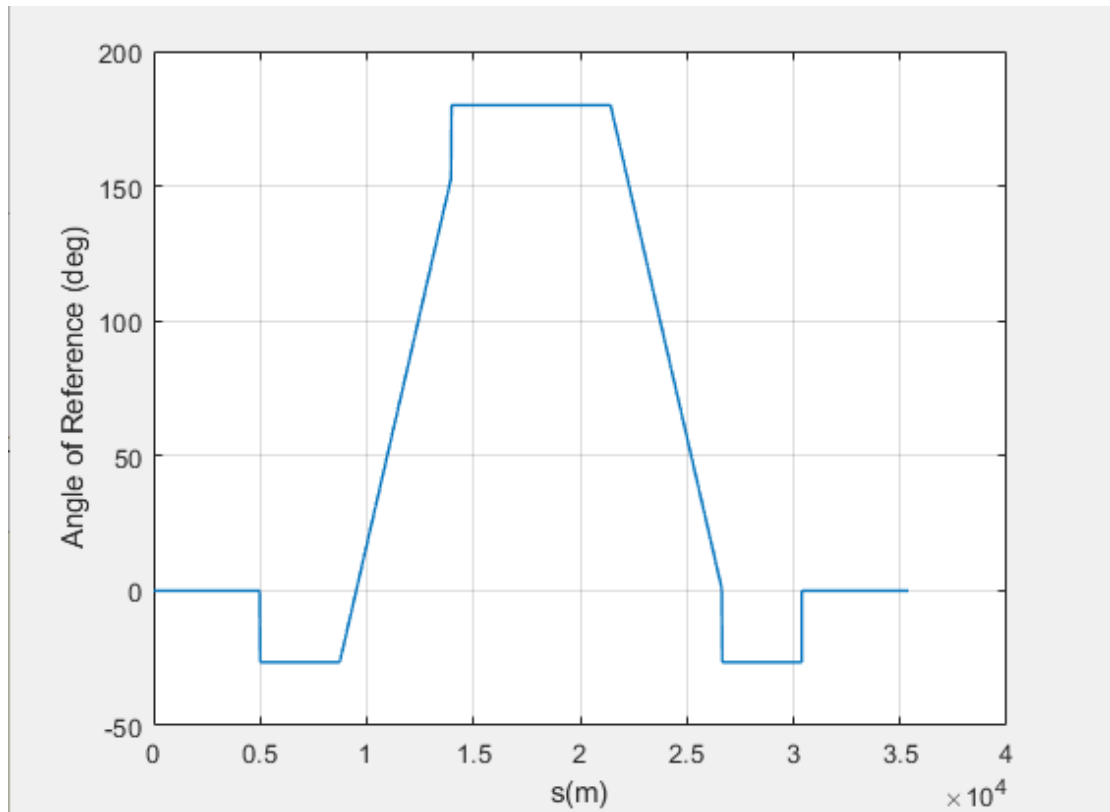
(START) A → B → C → D → E → B → F → A → G → B → D (END)



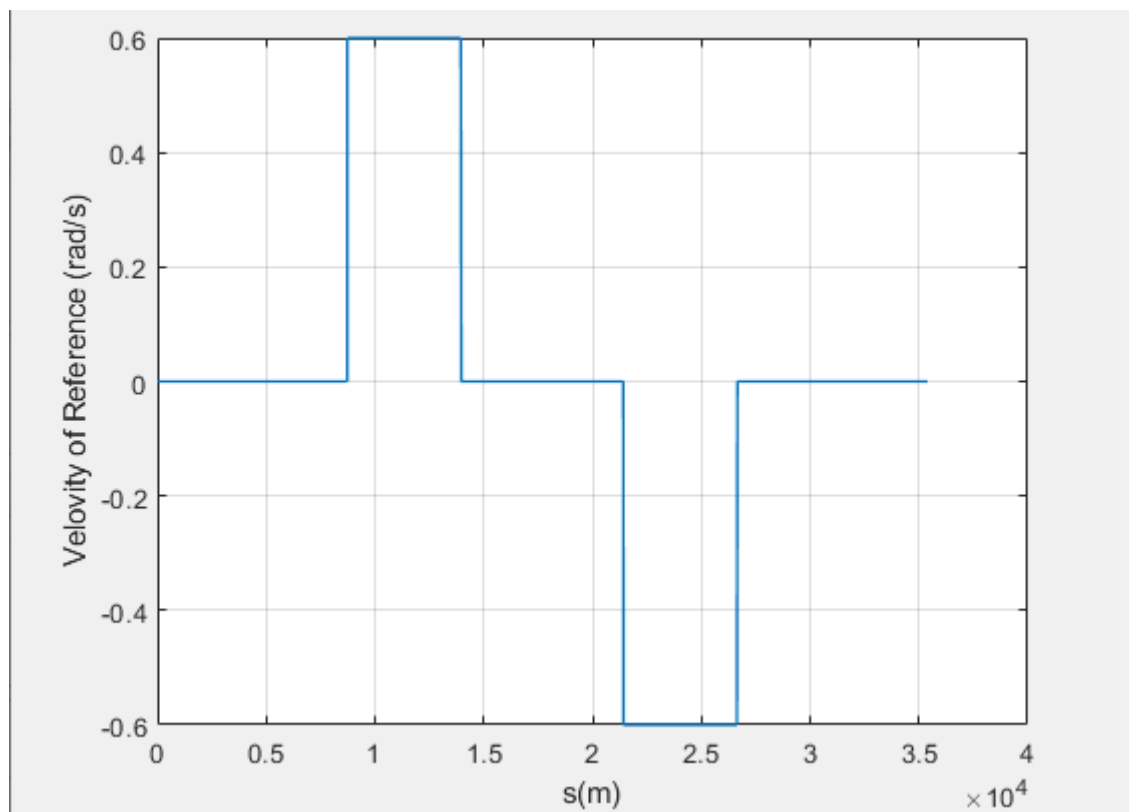
Hình 6.1. Đường đi của robot



Hình 6.2. Xây dựng mô hình đường đua trên MATLAB



Hình 6.3. Giá trị φ_R của xe khi bám theo đường đua



Hình 6.4. Giá trị ω_R của xe khi bám theo đường đua

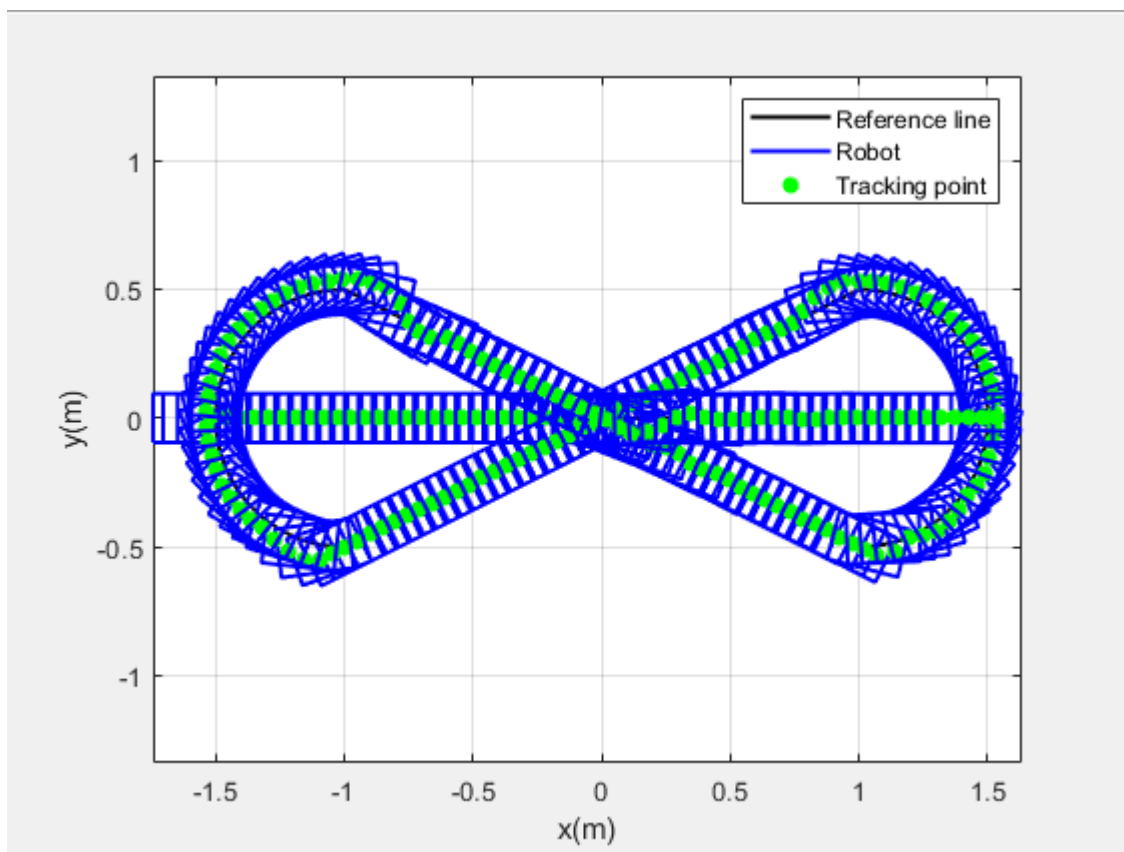
6.2. Mô phỏng robot dò line theo đề bài yêu cầu

Các thông số được sử dụng để mô phỏng hoạt động của robot dò line đi theo yêu cầu đề bài:

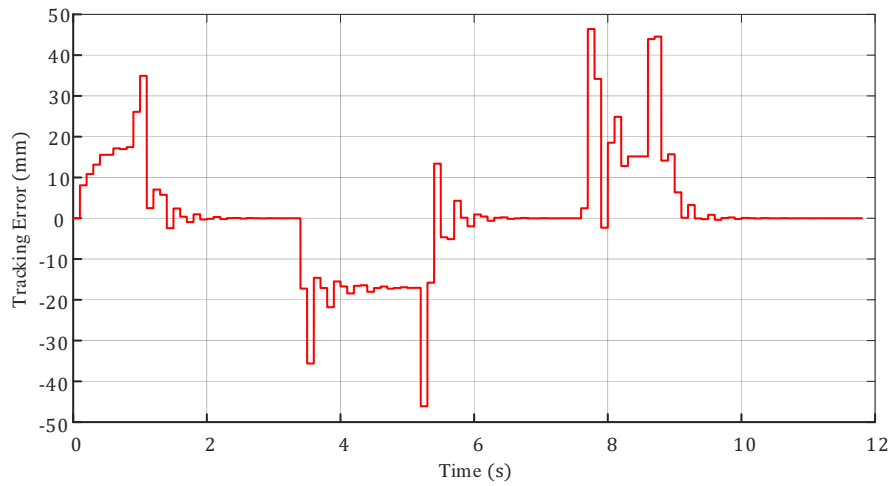
Bảng 6.1. Bảng thông số mô phỏng

Vận tốc xe v_r	0,6	m/s
Thời gian lấy mẫu	0,001	s
Thời gian lấy mẫu cảm biến	0,1	s
Thời gian lấy mẫu động cơ	0,01	s

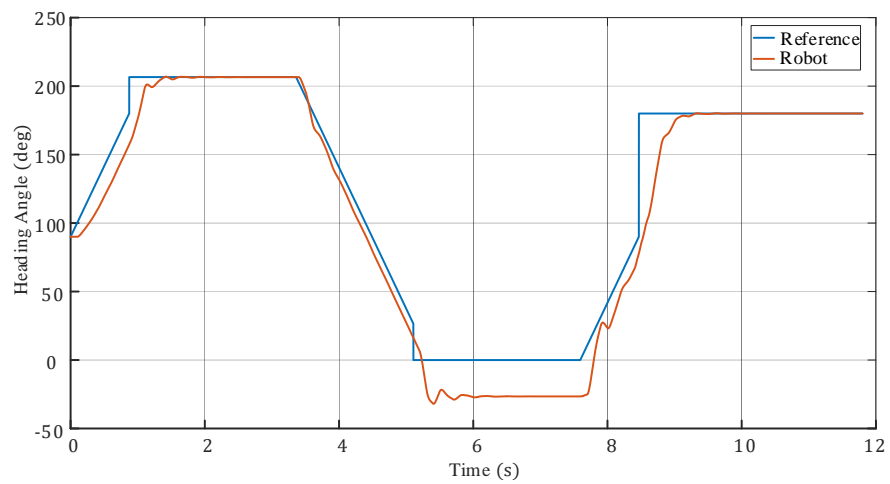
Phần này trình bày kết quả mô phỏng robot dò line theo luật điều khiển và giải thuật điều khiển đã thiết kế. Phần mềm mô phỏng được sử dụng là MATLAB.



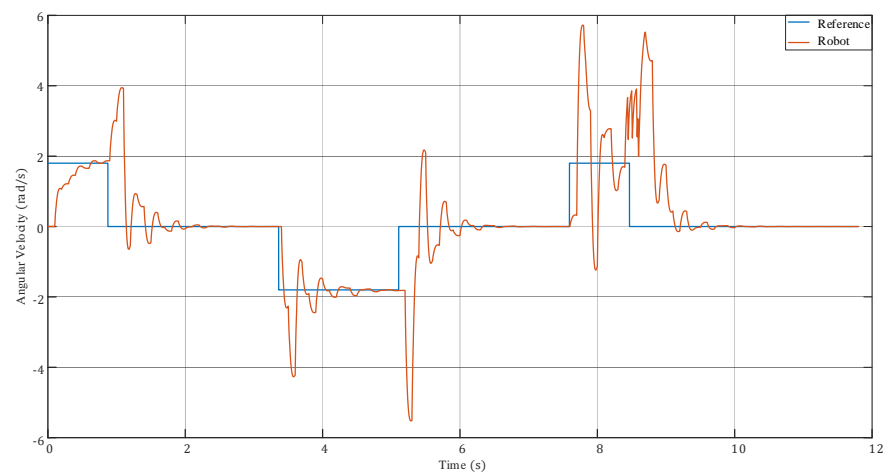
Hình 6.5. Kết quả robot bám theo line



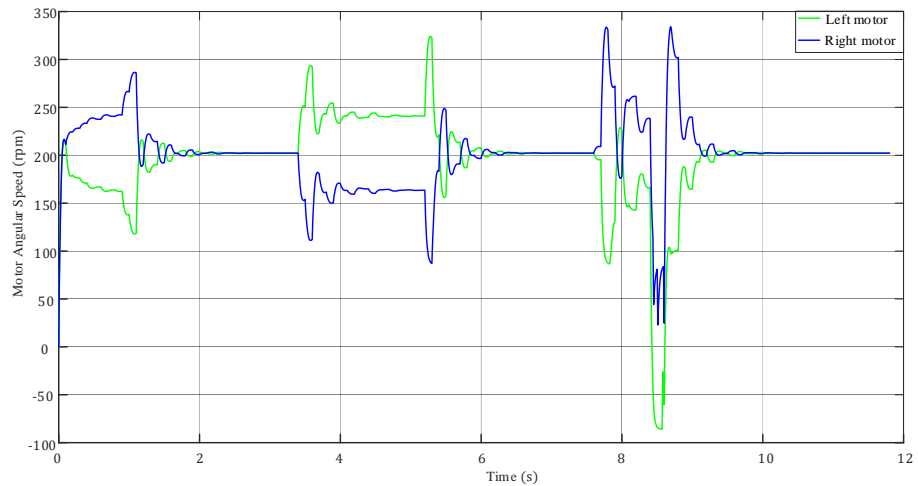
Hình 6.6. Sai số track



Hình 6.7. Góc định hướng của robot



Hình 6.8. Vận tốc góc của robot



Hình 6.9. Vận tốc góc của hai động cơ

Nhận xét:

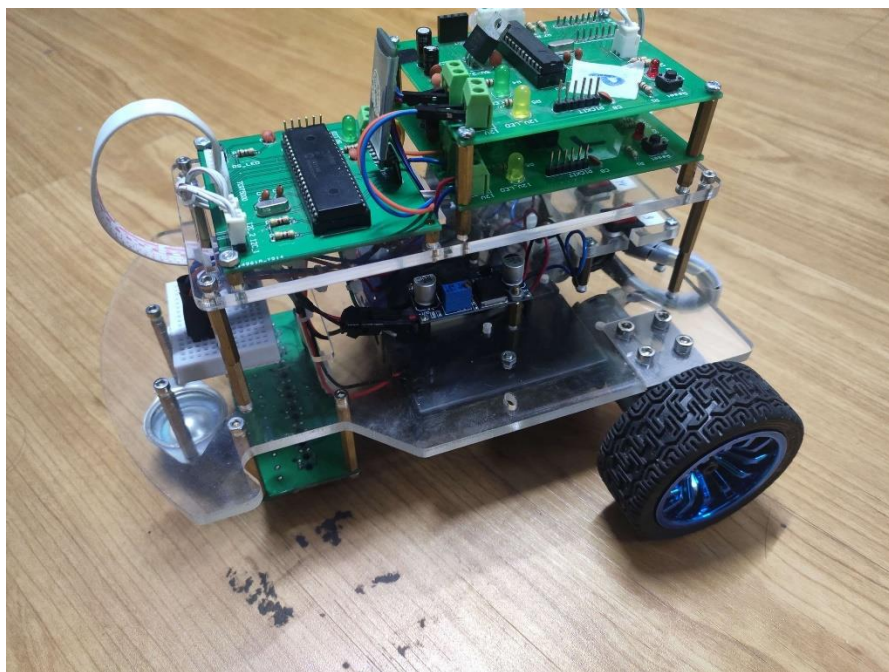
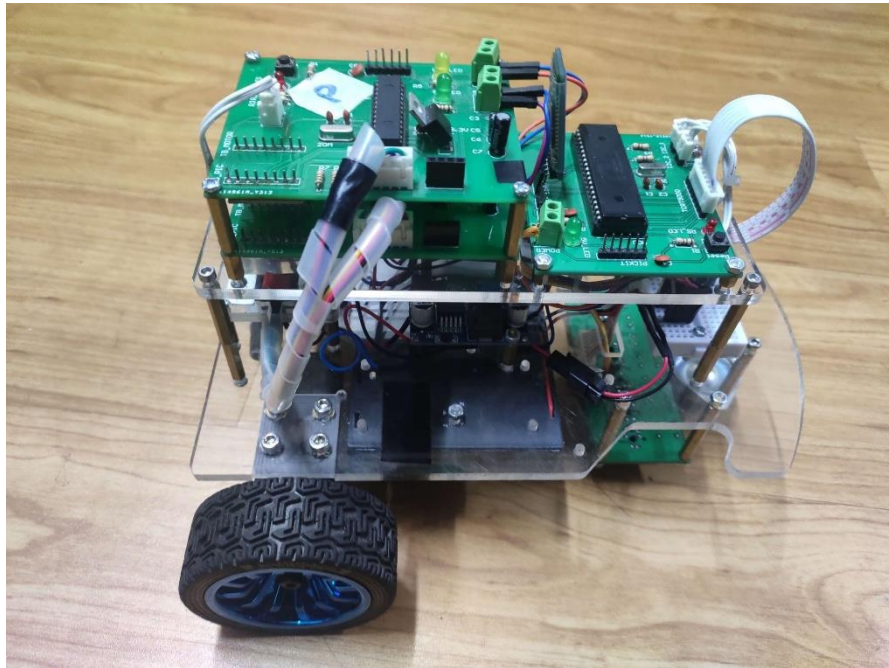
- Đồ thị sai số track có dạng bậc thang vì được biểu diễn theo dạng rời rạc với thời gian lấy mẫu là thời gian lấy mẫu của cả robot T_{sys} , giữa hai khoảng lấy mẫu thì hệ thống không đo sai số.
- Sai số track lớn nhất trong cả quá trình bám line là $46,4\text{ mm}$
- Trong quá trình chạy trên đường thẳng, sai số track dao động rất nhỏ $\pm 2\text{ mm}$ và bằng 0 sau khi ổn định. Trong quá trình chạy trên đường cong, sai số xác lập ổn định $\pm 15\text{ mm}$ (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 lớn 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.

CHƯƠNG 7. THỰC NGHIỆM VÀ KẾT LUẬN

7.1. Chế tạo robot dò line



Hình 7.1. Robot dò line do nhóm chế tạo

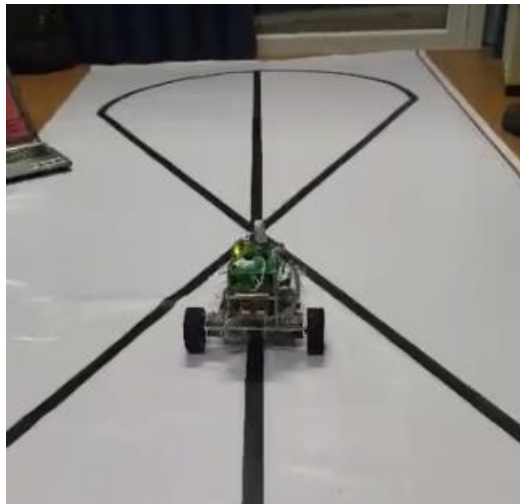
7.2. Kết quả thực nghiệm

Nhóm cho xe chạy ở nhiều địa điểm với các điều kiện ánh sáng khác nhau. Từ đó

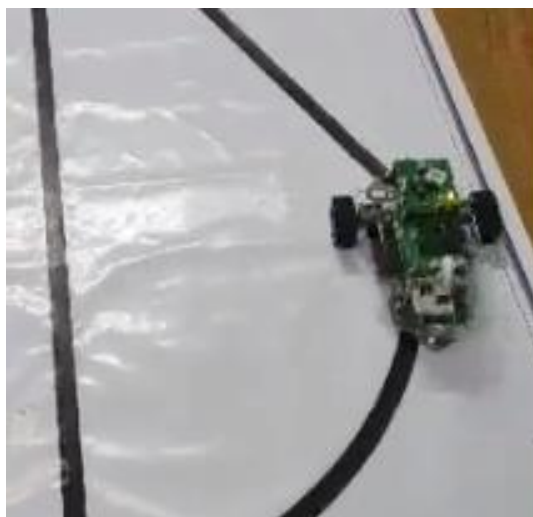
CHƯƠNG 7: THỰC NGHIỆM VÀ KẾT LUẬN

nhóm ghi nhận một số kết quả như sau:

- Vận tốc nhanh nhất robot di chuyển trên sa bàn là $0,4 \text{ m/s}$
- Thời gian robot hoàn thành sa bàn nhanh nhất mà nhóm ghi nhận lại được là 28 s , với tổng chiều dài di chuyển trên sa bàn là $10,614 \text{ m}$ thì tốc độ trung bình của xe trong quá trình di chuyển là $v_{tb} = \frac{10,614}{28} = 0,379 \text{ (m/s)}$, so với yêu cầu đề bài vận tốc tối thiểu là $0,2 \text{ m/s}$ thì quá trình thực nghiệm cho thấy xe đã đạt yêu cầu về vận tốc của đề bài
- Trong quá trình xe chạy trên sa bàn, xe vẫn còn bị rung lắc, đặc biệt là ở các đoạn cua từ đường thẳng sang đường cong



Hình 7.2. Xe ở trạng thái ổn định, chuẩn bị qua nút giao



Hình 7.3. Xe qua điểm chuyển giữa đường thẳng và đường cong

Nhận xét kết quả thực nghiệm:

- Vận tốc khi thực nghiệm thấp hơn so với vận tốc mô phỏng, sai số cũng 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,...
- Nhóm nhận thấy do chiều dài của mạch cảm biến thiết kế còn ngắn nên dẫn đến những đoạn chuyển trạng thái xe bị mất ổn định, có khả năng vượt ra khỏi đường line
- 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.

7.3. Kết luận và đề xuất

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:

- Tăng chiều dài mạch cảm biến để bắt line tốt hơn
- 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] Tan Tien Nguyen, Thanh Tung Tran, Sang Bong Kim, *Mechatronics System Design through Project – A Case Study*, VCM 2016
- [2] Trần Thanh Tùng, “*Nghiên cứu, thiết kế robot dò line theo phương pháp thiết kế hệ thống cơ điện tử*”, Trường Đại học Bách Khoa
- [3] Website: <http://dani.foroselectronica.es/silvestre-uxbot-line-following-champions-148/>
- [4] Website: <https://www.pololu.com/blog/487/brandons-line-following-robot-the-chariot>
- [5] *TCRT5000 datasheet*
- [6] *PIC16F877A datasheet*
- [7] *PIC16F73 datasheet*
- [8] Nguyễn Thị Phương Hà, *Lý thuyết điều khiển hiện đại*