

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



**ĐỒ ÁN**  
**THIẾT KẾ HỆ THỐNG CƠ ĐIỆN TỬ**  
**Đề bài:**  
**ROBOT PHÂN PHỐI HÀNG HÓA THEO MÀU SẮC**

**GVHD:** TS. Phùng Trí Công

**SVTH:** Võ Văn Nghĩa 1911693

Trần Hoàng Phúc 1911875

Hồ Đăng Quang 1911901

Đỗ Anh Tài 1911992

**Thành phố Hồ Chí Minh – 2022**

## **LỜI CẢM ƠN**

Qua quá trình thực hiện đồ án, chúng em đã thu nhận được thêm rất nhiều kiến thức và thông tin bổ ích liên quan đến lĩnh vực mình đang học và cách để thực hiện một dự án theo quy trình “Thiết kế hệ thống Cơ điện tử”.

Nhóm chúng em xin gửi lời cảm ơn đến thầy Phùng Trí Công đã tận tình chỉ dạy, hướng dẫn để nhóm chúng em hoàn thành đồ án này trong suốt học kì vừa qua. Những kiến thức học được từ môn học này đã góp phần đem đến nhiều kinh nghiệm quý giá cho bản thân những thành viên trong nhóm để có thể tiếp tục học tập và rèn luyện trên con đường tương lai sau này. Trong quá trình tìm hiểu, nhóm đã tham khảo qua nhiều tài liệu cũng như vận dụng kiến thức của bản thân để hoàn thành được bài báo cáo này, song có thể không tránh khỏi một vài thiếu sót và hạn chế. Rất mong nhận được những lời góp ý và nhận xét từ các thầy.

Nhóm chúng em xin chân thành cảm ơn.

## MỤC LỤC

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN .....	1
1.1. Giới thiệu đề án và các mô hình nghiên cứu trong và ngoài nước .....	1
1.1.1 Phân tích Usain Volt 2.0 Robot .....	4
1.1.2. Phân tích TABAR Robot .....	5
1.1.3. Phân tích Chariot Robot .....	6
1.1.4. Phân tích Pinto Robot.....	7
1.1.5. Phân tích Robot Sunfounder Picar – S.....	8
1.1.6. Phân tích robot chở hàng TZBOT .....	11
1.1.7. Phân tích robot vận chuyển hàng cho dây chuyền lắp ráp SMT .....	12
1.1.8. Phân tích robot AGV Weasel.....	14
1.1.9. Phân tích RoboAMR 2021 .....	15
1.1.10. Phân tích robot Hellenak AGV .....	18
1.2. So sánh và nhận xét các phương án .....	19
1.2.1. Về cơ khí .....	19
1.2.2. Về điện .....	23
1.2.3. Về điều khiển.....	32
1.3. Đặt đầu bài cho bài toán thiết kế và các thông số đầu vào .....	38
CHƯƠNG 2: LỰA CHỌN PHƯƠNG ÁN .....	40
2.1. Lựa chọn phương án cơ khí .....	40
2.1.1. Lựa chọn nguyên lý xe .....	40
2.1.2. Lựa chọn bánh xe.....	41
2.2. Lựa chọn phương án điện.....	42
2.2.1. Lựa chọn vi điều khiển.....	42
2.2.2. Lựa chọn cảm biến.....	43

2.2.3. Lựa chọn loại động cơ .....	47
2.3. Lựa chọn phương án điều khiển.....	48
2.3.1. Cấu trúc điều khiển.....	48
2.3.2. Bộ điều khiển .....	48
2.4. Tổng hợp .....	49
2.4.1. Sơ đồ nguyên lý cơ khí .....	49
2.4.2. Sơ đồ khối hệ thống điện.....	49
2.4.3. Cấu trúc điều khiển.....	50
2.4.4. Bộ điều khiển .....	50
CHƯƠNG 3: THIẾT KẾ CƠ KHÍ .....	51
3.1. Các thông số mong muốn và giả định.....	51
3.2. Tính toán kích thước xe .....	51
3.3. Tính toán chọn động cơ.....	54
3.4. Tính toán dung sai cho đồ gá động cơ và mặt bích lắp đồ gá.....	56
3.4.1. Chọn mặt chuẩn đo lường và mặt chuẩn lắp ghép .....	56
3.4.2. Tính toán dung sai cho đồ gá động cơ .....	56
3.4.3. Tính toán dung sai cho tâm đế.....	58
3.4.4. Lựa chọn dung sai lắp ghép.....	59
CHƯƠNG 4: THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỆN.....	61
4.1. Cảm biến hồng ngoại .....	61
4.1.1. Nguyên lý hoạt động .....	61
4.1.2. Thông số kỹ thuật của TCRT5000 .....	61
4.1.3. Tính toán điện trở cho cảm biến TCRT5000 .....	62
4.1.4. Xác định cách lắp đặt cảm biến.....	64
4.1.5. Xác định chiều cao cảm biến .....	64

4.1.6. Xác định khoảng cách giữa các cảm biến .....	65
4.1.7. Calib cảm biến .....	67
4.1.8. Xác định vị trí tâm cảm biến so với tâm line .....	69
4.2. Cảm biến màu sắc TCS3200 .....	70
4.2.1. Nguyên lý hoạt động .....	70
4.2.2. Thông số kỹ thuật .....	71
4.2.3. Xác định giá trị trả về của cảm biến màu.....	71
4.3. Chọn driver cho động cơ.....	73
4.3.1. Yêu cầu của driver .....	73
4.3.2. Chọn driver .....	73
4.4. Tính toán bộ nguồn và chọn mạch giảm áp .....	75
4.4.1. Yêu cầu của bộ nguồn và mạch giảm áp .....	75
4.4.2. Tính chọn số lượng pin .....	75
4.4.3. Chọn mạch giảm áp .....	76
CHƯƠNG 5: MÔ HÌNH HÓA HỆ THỐNG .....	78
5.1. Lựa chọn mô hình tính toán .....	78
5.2. Xây dựng mô hình động học của robot.....	78
5.2.1. Mô hình động học .....	78
5.2.2. Động học thuận.....	80
5.2.3. Động học nghịch.....	80
5.3. Mô hình toán xác định sai số .....	81
5.4. Xây dựng hàm truyền cho động cơ .....	83
5.4.1. Xác định thời gian lấy mẫu động cơ.....	83
5.4.2. Lấy mẫu động cơ.....	84
5.4.3. Xác định hàm truyền động cơ.....	84

CHƯƠNG 6: THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN .....	86
6.1. Lưu đồ giải thuật điều khiển hệ thống .....	86
6.2. Tiêu chí lựa chọn bộ điều khiển và thiết kế bộ điều khiển .....	86
6.2.1. Bộ điều khiển bám line .....	86
6.2.2. Bộ điều khiển vận tốc cho động cơ .....	87
CHƯƠNG 7: MÔ PHỎNG HOẠT ĐỘNG CỦA ROBOT .....	90
7.1. Vẽ sa bàn .....	90
7.2. Các bước thực hiện mô phỏng điều khiển.....	93
7.2.1. Xác định sai số .....	93
7.2.2. Xác định vận tốc feedback .....	94
7.2.3. Điều khiển vận tốc robot.....	95
7.3. Kết quả mô phỏng .....	96
CHƯƠNG 8: THỰC NGHIỆM VÀ KẾT LUẬN.....	99
8.1. Kết quả thực nghiệm .....	99
8.2. Kết luận và phương hướng phát triển .....	101
8.2.1. Kết luận.....	101
8.2.2. Các vấn đề cần cải tiến, khắc phục .....	102
TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	103

## DANH MỤC HÌNH ẢNH

<b>Hình 1.1.</b> Sơ đồ sa bàn cho Robot phân phối hàng hóa theo màu sắc.....	3
<b>Hình 1.2.</b> Usian Volt 2.0 .....	4
<b>Hình 1.3.</b> Sơ đồ nguyên lý Robot Usian Volt.....	4
<b>Hình 1.4.</b> Robot dò line TABAR .....	5
<b>Hình 1.5.</b> Sơ đồ nguyên lý Robot TABAR.....	5
<b>Hình 1.6.</b> Bố trí cảm biến cho robot TABAR.....	6
<b>Hình 1.7.</b> Robot Chariot .....	6
<b>Hình 1.8.</b> Sơ đồ nguyên lý robot Chariot.....	7
<b>Hình 1.9.</b> Robot Pinto.....	7
<b>Hình 1.10.</b> Sơ đồ nguyên lý của Robot Pinto.....	8
<b>Hình 1.12.</b> Sunfounder Picar – S.....	9
<b>Hình 1.13.</b> Sơ đồ nguyên lý của Robot Sunfounder Picar – S.....	9
<b>Hình 1.14.</b> Một phương pháp điều hướng AGV.....	10
<b>Hình 1.15.</b> Sơ đồ nguyên lý sử dụng trong nghiên cứu robot AGV.....	10
<b>Hình 1.16.</b> Mô hình 3D nhà hàng và cấu trúc AGV phục vụ nhà hàng.....	11
<b>Hình 1.17.</b> TZBOT.....	11
<b>Hình 1.18.</b> Sơ đồ nguyên lý ZTBOT.....	12
<b>Hình 1.19.</b> Robot vận chuyển cho dây chuyền lắp ráp SMT.....	13
<b>Hình 1.20.</b> Sơ đồ nguyên lý robot vận chuyển cho dây chuyền lắp ráp SMT.....	13
<b>Hình 1.21.</b> AGV Weasel.....	14
<b>Hình 1.22.</b> Sơ đồ nguyên lý dẫn động của AGV Weasel.....	15
<b>Hình 1.23.</b> RoboAMR 2021.....	16
<b>Hình 1.24.</b> Sơ đồ nguyên lý dẫn động của RoboAMR 2021.....	17

<b>Hình 1.25.</b>	<b>Sơ đồ nguyên lý dẫn động của Hellenak AGV.....</b>	<b>18</b>
<b>Hình 1.26.</b>	<b>Các loại cảm biến nhận diện đường dẫn có thể sử dụng.....</b>	<b>25</b>
<b>Hình 1.27.</b>	<b>Xử lý tín hiệu bằng phương pháp sử dụng giải thuật so sánh.....</b>	<b>27</b>
<b>Hình 1.28.</b>	<b>Xử lý tín hiệu bằng phương pháp sử dụng giải thuật nội suy hàm bậc hai.....</b>	<b>28</b>
<b>Hình 1.29.</b>	<b>Xử lý tín hiệu bằng phương pháp sử dụng giải thuật trọng số trung bình....</b>	<b>29</b>
<b>Hình 1.30.</b>	<b>Cấu trúc điều khiển tập trung.....</b>	<b>33</b>
<b>Hình 1.31.</b>	<b>Cấu trúc điều khiển phân cấp.....</b>	<b>33</b>
<b>Hình 1.32.</b>	<b>Sơ đồ giải thuật PID.....</b>	<b>36</b>
<b>Hình 1.33.</b>	<b>Bộ điều khiển Fuzzy.....</b>	<b>37</b>
<b>Hình 2.1.</b>	<b>Sơ đồ nguyên lý các loại robot xe dò line 3 bánh.....</b>	<b>40</b>
<b>Hình 2.2.</b>	<b>Sơ đồ nguyên lý các loại robot xe dò line 4 bánh.....</b>	<b>40</b>
<b>Hình 2.3.</b>	<b>Phương án chọn bánh xe chủ động.....</b>	<b>41</b>
<b>Hình 2.4.</b>	<b>Cảm biến hồng ngoại TCRT5000.....</b>	<b>45</b>
<b>Hình 2.5.</b>	<b>Các phương án bố trí cảm biến.....</b>	<b>45</b>
<b>Hình 2.6.</b>	<b>Cảm biến màu sắc TCS3200.....</b>	<b>47</b>
<b>Hình 2.7.</b>	<b>Sơ đồ nguyên lý cơ khí của Robot.....</b>	<b>49</b>
<b>Hình 2.8.</b>	<b>Sơ đồ nguyên lý khối điện của Robot.....</b>	<b>49</b>
<b>Hình 2.9.</b>	<b>Sơ đồ khối cấu trúc điều khiển tập trung.....</b>	<b>50</b>
<b>Hình 2.10.</b>	<b>Sơ đồ khối hệ thống điều khiển.....</b>	<b>50</b>
<b>Hình 3.1.</b>	<b>Mô hình động lực học của xe chuyển động thẳng.....</b>	<b>51</b>
<b>Hình 3.2.</b>	<b>Sơ đồ phân tích lực của xe dò line trong điều kiện chống lật.....</b>	<b>52</b>
<b>Hình 3.3.</b>	<b>Sơ đồ phân tích lực của xe dò line trong điều kiện chống trượt.....</b>	<b>53</b>
<b>Hình 3.4.</b>	<b>Phân tích lực trên bánh xe chủ động.....</b>	<b>54</b>
<b>Hình 3.5.</b>	<b>Mặt chuẩn đồ gá động cơ.....</b>	<b>56</b>



<b>Hình 3.6.</b> Mặt chuẩn để.....	56
<b>Hình 3.7.</b> Không có sai lệch về độ song song.....	56
<b>Hình 3.8.</b> Sai lệch theo phương y.....	57
<b>Hình 3.9.</b> Sai lệch theo phương x.....	57
<b>Hình 3.10.</b> Độ vuông góc của mặt bích gá động cơ C với mặt chuẩn A.....	57
<b>Hình 3.11.</b> Độ song song của mặt bích lắp động cơ với mặt chuẩn A theo phương x và phương y.....	59
<b>Hình 4.1.</b> Sơ đồ nguyên lý cảm biến TCRT5000.....	61
<b>Hình 4.2.</b> Đồ thị thể hiện tỷ lệ biến đổi dòng với $I_F$ .....	62
<b>Hình 4.3.</b> Đồ thị thể hiện quan hệ giữa $I_F$ và $V_F$ .....	62
<b>Hình 4.4.</b> Đồ thị thể hiện quan hệ $I_C$ với $V_{CE}$ tại các giá trị $I_F$ .....	63
<b>Hình 4.5.</b> Thể hiện 2 cách đặt cảm biến.....	63
<b>Hình 4.6.</b> Thể hiện vùng phát của cảm biến.....	64
<b>Hình 4.7.</b> Đồ thị thể hiện giá trị ADC ở nền trắng và nền đen tại các khoảng cách khác nhau.....	64
<b>Hình 4.8.</b> Thể hiện vùng phát và vùng thu của cảm biến.....	65
<b>Hình 4.9.</b> Khoảng cách nhỏ nhất giữa các cảm biến.....	65
<b>Hình 4.10.</b> Mô hình biểu diễn trường hợp 2 cảm biến có vùng phát hiện trong line....	66
<b>Hình 4.11.</b> Sơ đồ nguyên lý của mạch cảm biến TCRT5000.....	67
<b>Hình 4.12.</b> Giá trị ADC sau khi calib.....	69
<b>Hình 4.13.</b> Vị trí tính toán theo giá trị analog và vị trí thực tế.....	69
<b>Hình 4.14.</b> PCB của mạch cảm biến.....	70
<b>Hình 4.15.</b> Nguyên lý hoạt động TCS3200.....	70
<b>Hình 4.16.</b> Giá trị tần số RGB của vật màu đỏ.....	72
<b>Hình 4.17.</b> Giá trị tần số RGB của vật màu xanh lá.....	72

<b>Hình 4.18.</b> Giá trị tần số RGB của vật màu xanh dương.....	73
<b>Hình 4.19.</b> Sơ đồ nguyên lý của module driver L298N.....	75
<b>Hình 4.20.</b> Module giảm áp LM2596.....	76
<b>Hình 4.21.</b> Module giảm áp ASM1117.....	77
<b>Hình 5.1.</b> Mô hình động học.....	78
<b>Hình 5.2.</b> Định nghĩa các sai số.....	82
<b>Hình 5.3.</b> Xác định $e_3$ .....	83
<b>Hình 5.4.</b> Kết quả lấy mẫu động cơ.....	84
<b>Hình 6.1.</b> Lưu đồ giải thuật điều khiển của hệ thống.....	86
<b>Hình 6.2.</b> Sơ đồ điều khiển vòng kín động cơ.....	87
<b>Hình 7.1.</b> Sa bàn.....	90
<b>Hình 7.2.</b> Xác định tâm các cung tròn trên sa bàn.....	91
<b>Hình 7.3.</b> Sa bàn được vẽ hoàn chỉnh trên MATLAB.....	93
<b>Hình 7.4.</b> Xác định sai số trong mô phỏng.....	94
<b>Hình 7.5.</b> Chạy mô phỏng lấy khối hàng đỏ.....	97
<b>Hình 7.6.</b> Vận tốc và sai số bám line của robot khi không có nhiễu.....	98
<b>Hình 7.7.</b> Vận tốc và sai số bám line của robot khi có nhiễu.....	98
<b>Hình 8.1.</b> Robot bám line tốt ở những khúc cua.....	99
<b>Hình 8.2.</b> Robot dừng tại khu vực tải hàng.....	100
<b>Hình 8.3.</b> Robot nhận diện và phân phối khối hàng màu xanh.....	100
<b>Hình 8.4.</b> Robot nhận diện và phân phối khối hàng màu đỏ.....	101

## DANH MỤC BẢNG BIỂU

<b>Bảng 1.1.</b> Bảng phân công công việc thực hiện đồ án.....	3
<b>Bảng 1.2.</b> Thông số kỹ thuật của TZBOT.....	11
<b>Bảng 1.3.</b> Thông số kỹ thuật của robot vận chuyển cho dây chuyền lắp ráp SMT.....	13
<b>Bảng 1.4.</b> Bảng so sánh ưu và nhược điểm của các mô hình Robot được trích dẫn khả thi trong việc thực hiện đồ án.....	19
<b>Bảng 1.5.</b> Bảng so sánh ưu và nhược điểm của các sơ đồ nguyên lý khác.....	21
<b>Bảng 1.6.</b> Bảng so sánh ưu và nhược điểm của dạng Mobile Robot dò line 3 và 4 bánh.....	23
<b>Bảng 1.7.</b> Bảng so sánh các đặc tính của các dòng vi điều khiển thường dùng cho Robot xe dò line.....	23
<b>Bảng 1.8.</b> Bảng so sánh các đặc tính của các dòng cảm biến nhận diện đường dẫn thường dùng cho Robot xe dò line.....	25
<b>Bảng 1.9.</b> So sánh các đặc tính của các loại động cơ dẫn động thường dùng cho Robot xe dò line.....	30
<b>Bảng 1.10.</b> So sánh các đặc tính của các loại động cơ dẫn hướng thường dùng cho Robot xe dò line.....	31
<b>Bảng 1.11.</b> So sánh dạng cấu trúc điều khiển.....	34
<b>Bảng 2.1.</b> So sánh ưu – nhược điểm của các loại bánh đa hướng.....	42

<b>Bảng 2.2.</b>	<b>Lựa chọn phương án cảm biến.....</b>	<b>44</b>
<b>Bảng 3.1.</b>	<b>Thông số động cơ DC Servo GM25-370 DC Geared Motor.....</b>	<b>55</b>
<b>Bảng 4.1.</b>	<b>Thông số kỹ thuật của cảm biến TCRT5000.....</b>	<b>61</b>
<b>Bảng 4.2.</b>	<b>Giá trị analog đọc về tại khoảng cách 13mm.....</b>	<b>67</b>
<b>Bảng 4.3.</b>	<b>Biểu thức calib cảm biến.....</b>	<b>68</b>
<b>Bảng 4.4.</b>	<b>Thông số kỹ thuật của TCS3200.....</b>	<b>71</b>
<b>Bảng 4.5.</b>	<b>Thông số kỹ thuật của L298.....</b>	<b>73</b>
<b>Bảng 4.6.</b>	<b>Chức năng các chân trên module L298N.....</b>	<b>74</b>
<b>Bảng 4.7.</b>	<b>Bảng giá trị điều khiển.....</b>	<b>74</b>
<b>Bảng 4.8.</b>	<b>Chọn số lượng pin.....</b>	<b>75</b>
<b>Bảng 4.9.</b>	<b>Thông số kỹ thuật của pin.....</b>	<b>76</b>
<b>Bảng 4.10.</b>	<b>Thông số kỹ thuật của module giảm áp LM2596.....</b>	<b>77</b>

## CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN

### 1.1. Giới thiệu đề án và các mô hình nghiên cứu trong và ngoài nước

#### ❖ *Khái niệm:*

- Robot dò line:

Robot dò line (Line Following Robot) là một dạng robot di động (Mobile Robot) di chuyển bằng các bánh xe. Robot sẽ di chuyển bám theo các đường line được kẻ/vẽ/dán trên bề mặt sa bàn. Quỹ đạo di chuyển của Robot phụ thuộc vào sa bàn của hệ thống các đường line được kẻ/vẽ/dán sẵn.

Robot dò line có thể được sử dụng cho các mục đích quân sự, dịch vụ giao hàng, hệ thống vận chuyển... Hơn nữa, có nhiều các cuộc thi về robot dò line được tổ chức khắp nơi trên thế giới: All Japan Robot Race, MCU Car Rally, LVBots, Cosmobot...

- Robot phân phối hàng hóa:

Robot phân phối hàng hóa là một khái niệm chung để chỉ tất cả các hệ thống có thể vận chuyển hàng hóa mà không cần sự can thiệp của con người. Trong công nghiệp, robot phân phối hàng hóa được hiểu là các xe chuyên chở tự động được áp dụng trong các lĩnh vực:

- Cung cấp sắp xếp linh kiện tại khu vực kho và sản xuất.
- Chuyển hàng giữa các trạm sản xuất.
- Phân phối, cung ứng sản phẩm, đặc biệt trong buôn bán.
- Cung cấp, sắp xếp trong các lĩnh vực đặc biệt như bệnh viện, siêu thị, văn phòng.

Cụ thể theo đề bài Robot phân phối hàng hóa ở dạng xe (mobile robot) trong thực tế có: AGV, AMR.

- *Automated Guided Vehicles (AGV):*

+ AGV là loại xe sử dụng các công nghệ dẫn đường để vận chuyển hàng hóa, nguyên vật liệu đến những địa điểm đã được đánh dấu sẵn mà không cần đến sự can thiệp của con người.

+ Các công nghệ dẫn đường cho xe AGV có thể kể đến như: điều hướng bằng line, điều hướng bằng từ tính gồm dây từ hay điểm từ, điều hướng bằng mã QR; điều hướng bằng laser; điều hướng bằng con quay hồi chuyển, điều hướng bằng GPS, điều hướng tổng hợp.

- *Autonomous Mobile Robot (AMR)*: Robot AMR giống với AGV là loại robot dùng để vận chuyển hàng hoá từ nơi này đến nơi khác trong nhà máy. Nhưng AMR dựa trên những công nghệ mới giúp chúng nhanh hơn, thông minh hơn và hiệu quả hơn so với AGV do khả năng di chuyển không cần chỉ dẫn. Cụ thể là khả năng tự hoạch định đường đi để né tránh, chọn đường ngắn nhất.

Như vậy, theo yêu cầu đề bài được đặt ra, có thể xác định được hoạt động của robot là một AGV được điều hướng bằng line có màu sắc tương phản nhau trên sa bàn.

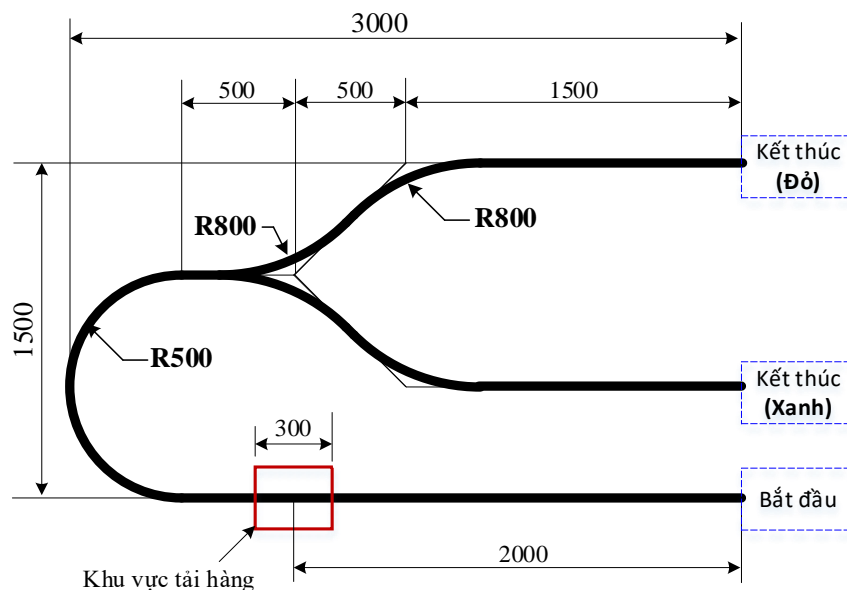
❖ ***Yêu cầu kỹ thuật robot:***

- Robot dò line phục vụ việc tải hàng và phân phối hàng hóa theo màu sắc.
- Robot có khả năng tải khối hàng có khối lượng là 2kg và có khả năng nhận biết khối hàng đã tải lên xong cũng như màu sắc của khối hàng.
- Tốc độ di chuyển của Robot: Tối thiểu 0.1 (m/s).
- Số lượng bánh xe của Robot (bao gồm bánh xe dẫn động và bánh xe bị động) được chọn tùy thuộc vào thiết kế của các nhóm.
- Trên robot được trang bị hệ thống cảm biến để giúp Robot nhận biết đường line trên bề mặt sàn/mặt đất và di chuyển bám theo đường line đó. Bên cạnh đó Robot cũng được trang bị cảm biến nhận diện màu sắc khối hàng cũng như nhận biết khối hàng đã tải lên xong. Tự chọn loại cảm biến phù hợp.

❖ ***Các điều kiện ràng buộc:***

- Số lượng bánh xe (chủ động và bị động): Tùy chọn
- Màu sắc đường line: Đen
- Màu nền sa bàn: Trắng
- Bề rộng đường line: 26 (mm)
- Vạch dừng tải hàng: dài 50 (mm) và rộng 26 (mm)
- Bề mặt địa hình di chuyển: Bề mặt phẳng

❖ ***Hệ thống sa bàn:***



**Hình 1.1.** Sơ đồ sa bàn cho Robot phân phối hàng hóa theo màu sắc

Khi bắt đầu, Robot đi từ vị trí “Bắt đầu” di chuyển đến “Khu vực tải hàng” và dừng lại chờ khối hàng được đặt lên bằng tay. Sau khi nhận biết được khối hàng đã được tải lên xong cũng như nhận biết được màu sắc của khối hàng thì Robot di chuyển đến vị trí “Kết thúc” tương ứng với màu sắc của gói hàng đó.

❖ **Thời gian thực hiện đồ án, phân công nhiệm vụ thực hiện:**

**Thời gian thực hiện:** 14 tuần.

**Bảng 1.1.** Bảng phân công công việc thực hiện đồ án

STT	Tên thành viên	Nhiệm vụ	Ghi chú
1	<b>Đỗ Anh Tài</b>	Mô hình hóa – Mô phỏng – Điều khiển – Lập trình	
2	<b>Hồ Đăng Quang</b>	Tìm hiểu lập trình – Hỗ trợ thiết kế cơ khí	
3	<b>Trần Hoàng Phúc</b>	Thiết kế hệ thống cơ khí	
4	<b>Võ Văn Nghĩa</b>	Thiết kế hệ thống điện – Lập trình	

❖ **Một số mô hình robot dò line nghiên cứu trong và ngoài nước:**

### **1.1.1 Phân tích Usian Volt 2.0 Robot**

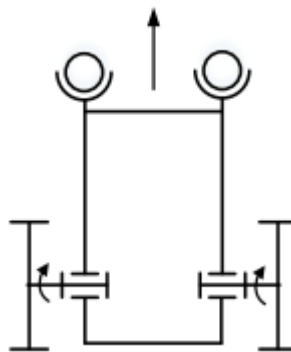
Robot Usian Volt 2.0 được chế tạo để tham gia cuộc thi LVBots Line Following Contest.



**Hình 1.2.** Usian Volt 2.0 [1]

Vận tốc tối đa: 1.1 (m/s)

Kết cấu cơ khí:



**Hình 1.3.** Sơ đồ nguyên lý Robot Usian Volt

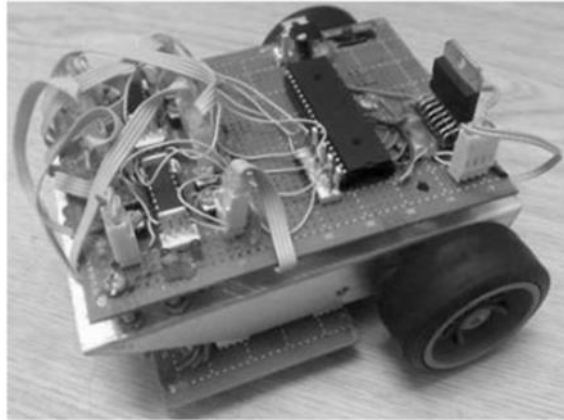
- Động cơ: Sử dụng 2 động cơ DC có gắn Encoder.
- Số bánh: Gồm 4 bánh, 2 bánh sau chủ động dẫn động và dẫn hướng, 2 bánh trước bị động.
- Cảm biến: Sử dụng cảm biến hồng ngoại QTR – 3RC.
- Khoảng cách giữa các cảm biến: 0.375 (inch).
- Vi điều khiển: Điều khiển tập trung, dùng vi điều khiển Atmega32U4 AVR.



- Driver động cơ: Sử dụng 2 driver DRV8838 cho 2 động cơ dẫn động.

### **1.1.2. Phân tích TABAR Robot**

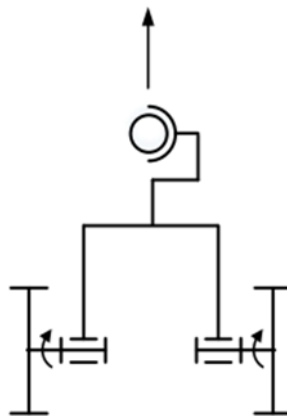
TABAR là robot dò line được thiết kế và thử nghiệm nhằm tham gia cuộc thi Robot dò line tại Tabrize.



**Hình 1.4.** Robot dò line TABAR [2]

Vận tốc tối đa: 0.4 (m/s)

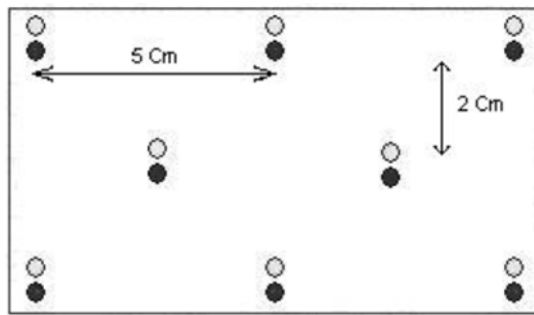
Kết cấu cơ khí:



**Hình 1.5.** Sơ đồ nguyên lý Robot TABAR

- Động cơ: Sử dụng 2 động cơ DC kèm hộp số và encoder
- Số bánh: Gồm 3 bánh, 2 bánh sau chủ động dẫn hướng và dẫn động, 1 bánh trước bị động
- Hệ thống lái: Sử dụng hệ thống lái Differential
- Cảm biến: Sử dụng cảm biến hồng ngoại TCRT5000

- Khoảng cách giữa 2 cảm biến: 5 (cm)



**Hình 1.6.** Bố trí cảm biến cho robot TABAR

- Vi điều khiển: Điều khiển tập trung, dùng vi điều khiển Atmega16
- Driver động cơ: Sử dụng 1 driver L298 cho cả 2 động cơ

### **1.1.3. Phân tích Chariot Robot**

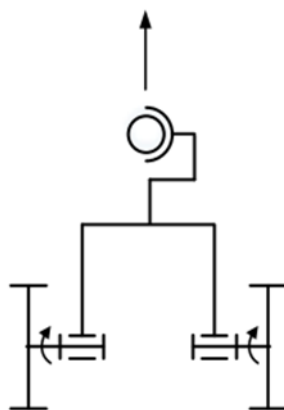
Robot Chariot là robot tham gia cuộc thi LVBots Line Following.



**Hình 1.7.** Robot Chariot [5]

Vận tốc tối đa: 1.2 (m/s)

Kết cấu cơ khí:



**Hình 1.8.** Sơ đồ nguyên lý robot Chariot

- Động cơ: Sử dụng 2 động cơ DC gắn Encoder.
- Bánh xe: Gồm 3 bánh, 2 bánh sau chủ động dẫn động và dẫn hướng, bánh trước bị động.
- Cảm biến: Sử dụng cảm biến hồng ngoại. Bố trí 6 cảm biến trên thanh đỡ có che phủ chống nhiễu.
- Vi điều khiển: điều khiển tập trung, dùng vi điều khiển A – Star 32U4 Mini LV.

#### **1.1.4. Phân tích Pinto Robot**

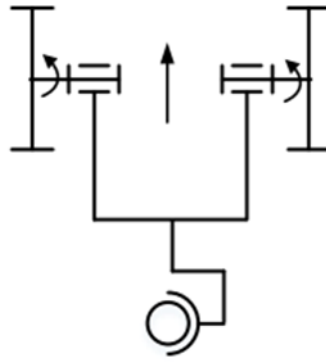
Pinto Robot là Robot của đội đua Grant tham gia cuộc thi Robot dò line LVBots Line Following năm 2015.



**Hình 1.9.** Robot Pinto [4]

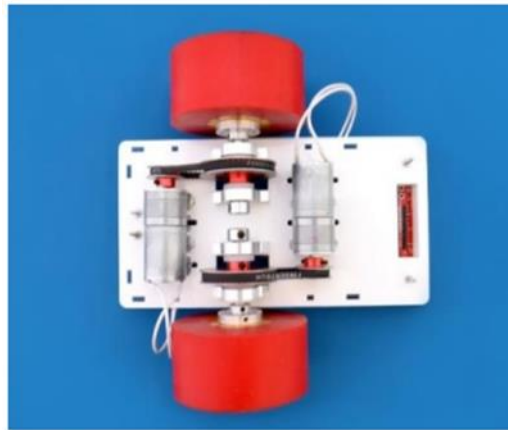
Vận tốc tối đa: 0.8 (m/s)

Kết cấu cơ khí:



**Hình 1.10.** Sơ đồ nguyên lý của Robot Pinto

- Động cơ dẫn động: Sử dụng 2 động cơ DC có gắn Encoder
- Dẫn động qua bánh đai



**Hình 1.11.** Bên trong Robot Pinto [4]

- Bánh xe: Gồm 3 bánh, 2 bánh trước chủ động dẫn động và dẫn hướng, bánh sau bị động
- Cảm biến: Sử dụng cảm biến hồng ngoại

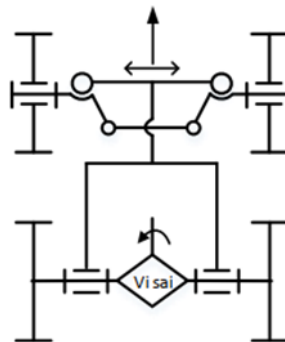
#### **1.1.5. Phân tích Robot Sunfounder Picar – S**

Robot được thiết kế cho việc giáo dục STEM



**Hình 1.12.** Sunfounder Picar – S [3]

Kết cấu cơ khí:



**Hình 1.13.** Sơ đồ nguyên lý của Robot Sunfounder Picar – S

- Động cơ dẫn động: 2 động cơ DC servo có hộp số và encoder.
- Động cơ dẫn hướng: 1 động cơ servo.
- Bánh xe: Gồm 4 bánh, 2 bánh sau chủ động dẫn động, 2 bánh trước bị động dẫn hướng.
- Cảm biến: Sử dụng cảm biến hồng ngoại TCRT5000.
- Vi điều khiển: Sử dụng Raspberry kèm board điều khiển động cơ Robot HATs
- Driver động cơ: Sử dụng 2 driver động cơ TB6612.

❖ **Tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước về robot phân phối hàng hóa:**

Sách của các tác giả Gregor Klančar, Andrej Zdešar, ... Igor Škrjanc, “Wheeled Mobile Robotics: From Fundamentals Towards Autonomous Systems”. Sách tập trung vào các vấn đề từ cơ bản đến nâng cao của một robot di động (mobile robot).

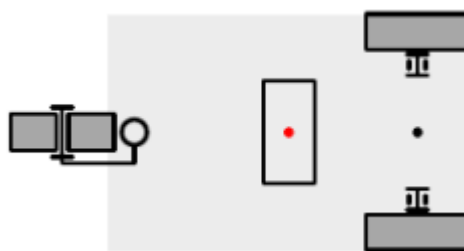
Nghiên cứu của Lero Research Centre, “Automated Ground Vehicle (AGV) and Sensor Technologies”. Nghiên cứu tập trung vào tìm hiểu, so sánh các phương pháp dẫn

hướng của các AGV. Các phương pháp mà nhóm nghiên cứu tìm hiểu và so sánh bao gồm: điều hướng bằng laser, điều hướng bằng đường từ tính, điều hướng bằng đường line, điều hướng bằng mã vạch.



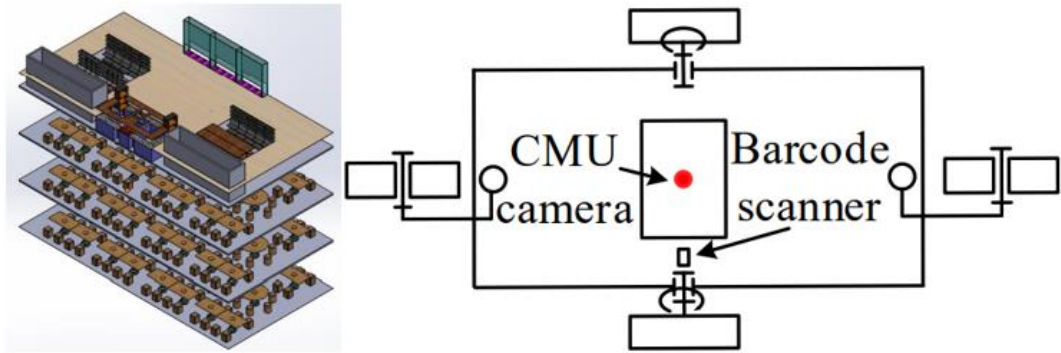
**Hình 1.14.** Một phương pháp điều hướng AGV

Nghiên cứu “Smooth Tracking Controller for AGV through Junction using CMU Camera” tại “Hội nghị Cơ điện tử Toàn quốc lần thứ 7”. Trong nghiên cứu, các tác giả đã đề xuất một dạng đường qua giao lộ cho AGV sử dụng CMU camera, sơ đồ tính toán sai số cho AGV, mô hình hóa động học của AGV, xây dựng bộ điều khiển bám đường của AGV.



**Hình 1.15.** Sơ đồ nguyên lý sử dụng trong nghiên cứu robot AGV

Nghiên cứu “Proposal of a new idea to restaurant automation system using AGV combined with CMU camera, Barcode and Encoder” tại “Hội nghị toàn quốc lần thứ 3 về Điều khiển và Tự động hóa”. Trong nghiên cứu này, các tác giả đã đề xuất ý tưởng về việc ứng dụng AGV vào việc vận chuyển các khay thức ăn trong nhà hàng.



**Hình 1.16.** Mô hình 3D nhà hàng và cấu trúc AGV phục vụ nhà hàng

#### 1.1.6. Phân tích robot chở hàng TZBOT

TZBOT là một AGV dẫn hướng bằng các đường từ được dùng để vận chuyển hàng hóa trong nhà kho hoặc trong các nhà máy sản xuất tự động.

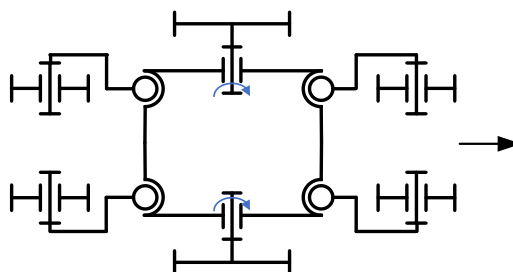


**Hình 1.17.** TZBOT

**Bảng 1.2.** Thông số kỹ thuật của TZBOT

Thông số	Giá trị	Đơn vị
Kích thước bao	$880 \times 560 \times 212$	mm
Số bánh xe chủ động	2	bánh
Số bánh xe bị động	4	bánh
Tải trọng tối đa	200	kg
Vận tốc tối đa	900	mm/s
Sai số vị trí	$\pm 5$	mm

Pin	30	Ah
Dẫn hướng	Đường từ tính	–



**Hình 1.18.** Sơ đồ nguyên lý ZTBOT

*Phương pháp rẽ hướng:* Differential drive. Đối với các sơ đồ nguyên lý này, khi tốc độ quay của các mô tơ điện gắn vào bánh xe chủ động khác nhau, robot rẽ hướng. Do đó, độ đồng tâm giữa 2 bánh xe chủ động là rất quan trọng, có ảnh hưởng trực tiếp đến bán kính cua của robot.

*Ưu điểm sơ đồ nguyên lý:*

- Kết cấu gồm 6 bánh xe làm tăng khả năng tải.
- Trọng tâm của khối hàng khi đặt lên xe thường nằm trên trục bánh dẫn động, khử quán tính khi vào cua.
- Có thể quay tại chỗ.

*Nhược điểm sơ đồ nguyên lý:*

- Gồm 6 bánh xe nên kích thước xe to hơn.
- Phải đảm bảo đồng phẳng giữa 6 bánh xe.

#### **1.1.7. Phân tích robot vận chuyển hàng hóa cho dây chuyền lắp ráp SMT**

Robot vận chuyển hàng hóa cho dây chuyền lắp ráp của Shenzhen Jaguar Automation Equipment Co. được sử dụng nhằm thay thế nhân công vận chuyển các bộ phận trong dây chuyền lắp ráp, được dẫn hướng bằng từ.

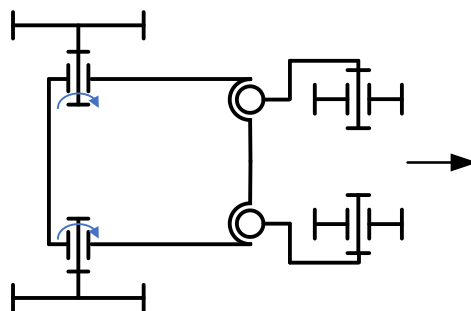




**Hình 1.19.** Robot vận chuyển cho dây chuyền lắp ráp SMT

**Bảng 1.3.** Thông số kỹ thuật của robot vận chuyển cho dây chuyền lắp ráp SMT

Thông số	Giá trị	Đơn vị
Kích thước bao	$550 \times 430 \times 550$	mm
Số bánh xe chủ động	2	bánh
Số bánh xe bị động	2	bánh
Tải trọng tối đa	40	kg
Vận tốc tối đa	400	mm/s
Sai số vị trí	$\pm 50$	mm
Pin	10	Ah
Dẫn hướng	Đường từ tính	–



**Hình 1.20.** Sơ đồ nguyên lý robot vận chuyển cho dây chuyền lắp ráp SMT

*Phương pháp rẽ hướng: Differential drive.*

*Ưu điểm của sơ đồ nguyên lý:*

- Thiết kế với 04 bánh cho phép kích thước xe nhỏ gọn hơn so với 6 bánh.

*Nhược điểm của sơ đồ nguyên lý:*

- Trọng tâm của khối hàng thường nằm khác đường tâm nối hai bánh xe làm khả năng chuyển hướng của xe bị kém đi.
- Xe dễ bị lật đầu nếu đặt khối hàng ở vị trí mà trọng tâm dồn lên trục chính.

#### **1.1.8. Phân tích robot AGV Weasel**

AGV Weasel của hãng Schaefer chuyên dùng để vận chuyển hàng hóa trong nhà kho hoặc trong các nhà máy sản xuất tự động.



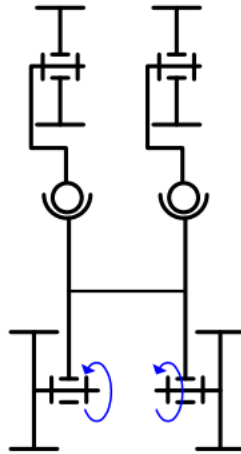
**Hình 1.21.** AGV Weasel [10]

Tốc độ tối đa: 1 (m/s).

Tải trọng tối đa: 35 (kg).

Kết cấu cơ khí:

- Động cơ: Sử dụng 2 động cơ DC có gắn có hộp giảm tốc và encoder.
- Bánh xe: Gồm 4 bánh, 2 bánh sau chủ động dẫn động và 2 bánh trước bị động.



**Hình 1.22.** Sơ đồ nguyên lý dẫn động của AGV Weasel.

Hệ thống điện:

- Cảm biến: Sử dụng cảm biến hồng ngoại.

Ưu điểm:

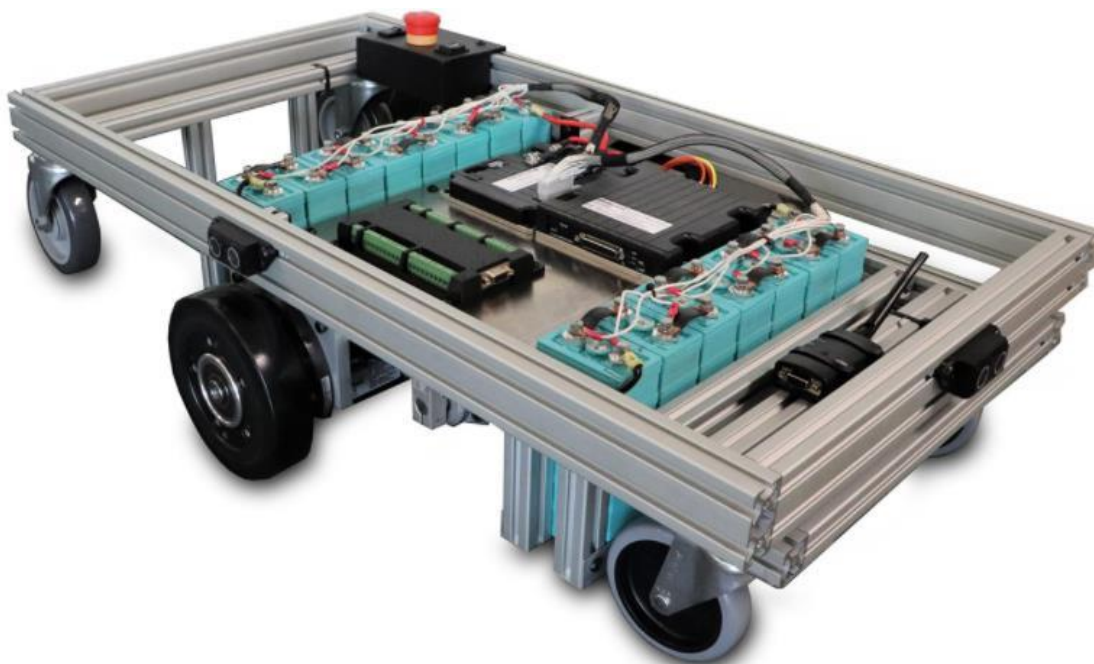
- Do 4 có bánh nên có độ cứng vững cao.
- Khả năng bám line tốt.
- Bánh xe dẫn động lớn, dày và có độ bám đường tốt nhằm đảm bảo xe không bị trượt trên đường di chuyển khi phải kéo theo trọng lượng của xe sau.

Nhược điểm:

- Góc cua tối đa bị giới hạn.
- Khi cua xảy ra hiện tượng trượt ở bánh trước.

### **1.1.9. Phân tích RoboAMR 2021**

RoboAMR 2021 là sản phẩm của RoboTeQ dùng để vận chuyển hàng hóa trong nhà kho, nhà máy.



**Hình 1.23. RoboAMR 2021 [12]**

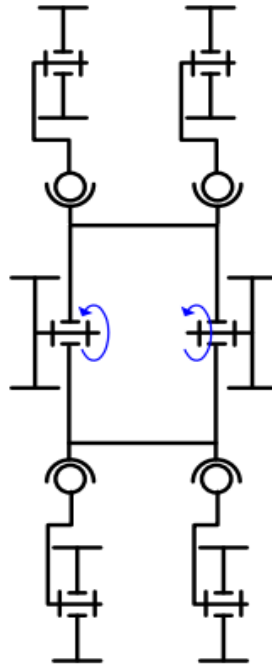
Tốc độ tối đa: 2,7 (m/s).

Momen xoắn liên tục tối đa tại mỗi bánh xe.

Tải trọng tối đa: 900 (kg).

Kết cấu cơ khí:

- Bánh xe: Gồm 6 bánh, 2 bánh giữa chủ động dẫn động, 2 bánh trước và 2 bánh sau bị động.
- Chiều dài: 935 (mm).
- Chiều rộng: 555 (mm).
- Chiều cao: 200 (mm).



**Hình 1.24.** Sơ đồ nguyên lý dẫn động của RoboAMR 2021

Hệ thống điện:

- Cảm biến: Sử dụng cảm biến theo dõi từ tính để dò theo đường line có từ tính. Cảm biến lưu lượng quang bao gồm IMU và cung cấp thông tin về chuyển động của rô-bốt cho mục đích điều hướng. Các cảm biến khoảng cách siêu âm để tránh va chạm.
- Bộ điều hợp WiFi để liên lạc với máy tính chủ.

Ưu điểm:

- Kết cấu 6 bánh giúp xe tăng khả năng tải và bánh dẫn động ít chịu tải do tải trọng được chia đều cho 4 bánh caster.
- Robot có thể quay tại chỗ ở một vị trí cố định, phù hợp với môi trường làm việc chật hẹp như trong văn phòng, nhà, nhà kho.

Nhược điểm:

- Kết cấu làm tăng kích thước xe và xe dễ bị lắc khi di chuyển từ đoạn đường thẳng vào đoạn đường cua có bán kính nhỏ.
- Phải đảm bảo đồng phẳng giữa 6 bánh xe.

### **1.1.10. Phân tích robot Hellenak AGV**

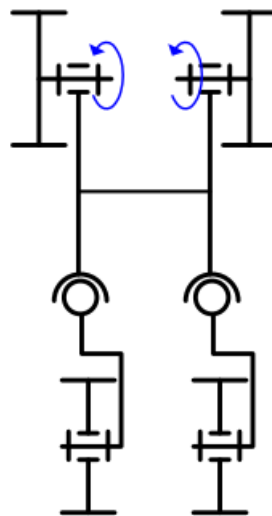
Hellenak AGV được thiết kế để đem lại một phương tiện tự hành giá rẻ chuyên dùng để vận chuyển nguyên vật liệu trong các hệ thống sản xuất.

Tốc độ tối đa: 1 (m/s).

Tải trọng tối đa: 200 (kg).

Kết cấu cơ khí:

- Động cơ: Sử dụng 2 động cơ DC có gắn có hộp giảm tốc và encoder.
- Bánh xe: Gồm 4 bánh, 2 bánh trước chủ động dẫn động và dẫn hướng, 2 bánh sau bị động.
- Chiều dài: 1200 (mm).
- Chiều rộng: 700 (mm).
- Chiều cao: 580 (mm).



**Hình 1.25.** Sơ đồ nguyên lý dẫn động của Hellenak AGV

Hệ thống điện:

- Cảm biến: Sử dụng dây 7 cảm biến hồng ngoại và 1 camera kỹ thuật số.
- Mỗi động cơ sử dụng một driver H-Bridge.

Ưu điểm:

- Do 4 có bánh nên có độ cứng vững cao.
- Khả năng bám line tốt.
- Bánh xe dẫn động lớn, dày và có độ bám đường tốt nhằm đảm bảo xe không bị trượt trên đường di chuyển khi phải kéo theo trọng lượng của xe sau.

Nhược điểm:

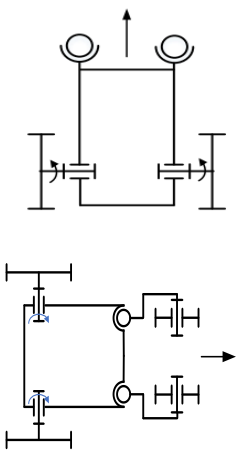
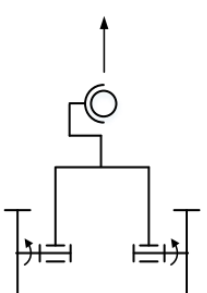
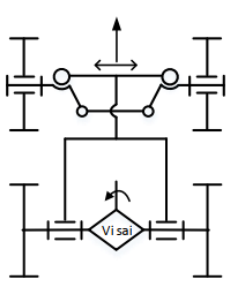
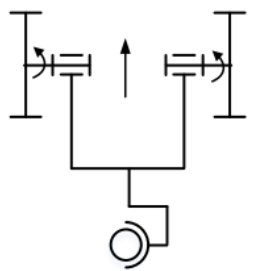
- Góc cua tối đa bị giới hạn.
- Đuôi xe dễ bị lắc khi xe di chuyển vào các đoạn cua có bán kính nhỏ.

## 1.2. So sánh và nhận xét các phương án

### 1.2.1. Về cơ khí

#### a. Nguyên lý cơ khí

**Bảng 1.4.** Bảng so sánh ưu và nhược điểm của các mô hình Robot được trích dẫn khả thi trong việc thực hiện đồ án

Sơ đồ nguyên lý				
Robot	Usian Volt 2.0; Hellenak AGV; AGV Weasel;	TABAR; Chariot	Sunfounder Picar – S	Pinto
Ưu điểm	- Có khả năng bám đường tốt hơn kết cấu dạng 3 bánh cùng kết	- Kết cấu cơ khí đơn giản	- Có khả năng bám đường tốt	- Kết cấu cơ khí đơn giản

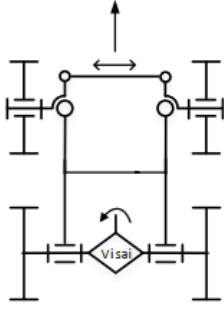
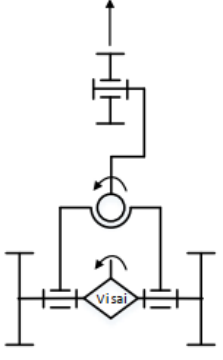
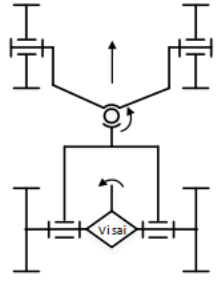
	<p>cầu (bánh bị động caster cầu)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kết cấu cơ khí đơn giản</li> <li>- Mô hình toán học đơn giản dễ điều khiển</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mô hình toán học đơn giản dễ điều khiển</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Có khả năng vào cua tốt</li> <li>- Chủ động hơn trong việc điều hướng, giảm bớt áp lực bánh sau</li> <li>- Khả năng chuyển hướng bánh xe tốt</li> <li>- Bộ vi sai đã giải quyết vấn đề đồng trục và cùng tốc độ của 2 bánh xe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mô hình toán học đơn giản dễ điều khiển</li> </ul>
<b>Nhược điểm</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 bánh trước bị động, nên hạn chế khả năng vào cua</li> <li>- Phải đảm bảo đồng phẳng cho 4 bánh xe</li> <li>- 2 bánh sau vừa dẫn hướng vừa dẫn động nên tạo áp lực cho 2 bánh sau</li> <li>- Phải đảm bảo độ đồng trục và</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Có khả năng bám đường kém, khi vào cua dễ bị lật</li> <li>- 2 bánh sau vừa dẫn hướng, vừa dẫn động, do đó, tạo áp lực lên bánh sau</li> <li>- Phải đảm bảo độ đồng trục và đồng tốc cho 2 động cơ</li> <li>- Nếu thiết kế không đảm bảo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kết cấu cơ khí phức tạp. Khó khăn trong việc thiết kế cơ cấu chuyển hướng</li> <li>- Phải đảm bảo đồng phẳng cho 4 bánh xe</li> <li>- Mô hình toán và điều khiển rất phức tạp</li> <li>- Sử dụng vi sai, do đó tỉ số truyền của vi sai sẽ ảnh hưởng rất nhiều</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Có khả năng bám đường kém, khi vào cua dễ bị lật</li> <li>- 2 bánh trước vừa dẫn hướng vừa dẫn động do đó tạo áp lực lên bánh trước</li> <li>- Phải đảm bảo độ đồng trục và đồng tốc cho 2 động cơ</li> </ul>



	đồng tốc cho 2 động cơ	phân bố tải trọng đều sẽ dẫn đến xe bị bốc đầu	trong việc lựa chọn các thiết bị - Phải giải quyết vấn đề đồng trục bánh trước	
--	------------------------	--	---	--

- Một số dạng sơ đồ nguyên lý khác:

**Bảng 1.5.** Bảng so sánh ưu và nhược điểm của các sơ đồ nguyên lý khác

Sơ đồ nguyên lý			
Ưu điểm	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Có khả năng bám đường và vào cua tốt</li> <li>- Chủ động hơn trong việc điều khiển hướng và giảm áp lực 2 bánh sau</li> <li>- Khả năng chuyển hướng xe tốt</li> <li>- Bộ vi sai đã giải quyết được vấn đề đồng trục và đồng tốc</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cải thiện được độ bám đường do bánh trước xe chủ động dẫn hướng, giảm bớt áp lực cho bánh sau</li> <li>- Khả năng chuyển hướng xe tốt</li> <li>- Bộ vi sai đã giải quyết được vấn đề đồng trục và đồng tốc</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Có khả năng bám đường và vào cua tốt</li> <li>- Chủ động hơn trong việc điều khiển hướng và giảm áp lực 2 bánh sau</li> <li>- Khả năng chuyển hướng xe tốt</li> <li>- Bộ vi sai đã giải quyết được vấn đề đồng trục và đồng tốc</li> <li>- Giải quyết được vấn đề trượt bánh khi vào</li> </ul>

			cua do 2 bánh trước nằm ở 2 trục khác nhau
<b>Nhược điểm</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kết cấu cơ khí phức tạp. Khó khăn trong việc thiết kế cơ cấu chuyển hướng</li> <li>- Phải đảm bảo đồng phẳng cho 4 bánh xe</li> <li>- Mô hình toán và điều khiển phức tạp</li> <li>- Vì đây là cơ cấu hình bình hành do đó khi chuyển hướng thì tốc độ 2 bánh xe trước như nhau gây trượt</li> <li>- Phải giải quyết được vấn đề đồng trục cho 2 bánh trước</li> <li>- Sử dụng vi sai, do đó tỉ số truyền của vi sai sẽ ảnh hưởng rất nhiều trong việc lựa chọn các thiết bị</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kết cấu cơ khí tương đối phức tạp</li> <li>- Mô hình toán và điều khiển phức tạp</li> <li>- Sử dụng vi sai, do đó tỉ số truyền của vi sai sẽ ảnh hưởng rất nhiều trong việc lựa chọn các thiết bị</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kết cấu cơ khí phức tạp. Khó khăn trong việc thiết kế cơ cấu chuyển hướng</li> <li>- Phải đảm bảo đồng phẳng cho 4 bánh xe</li> <li>- Phải giải quyết được vấn đề đồng trục cho 2 bánh trước</li> <li>- Sử dụng vi sai, do đó tỉ số truyền của vi sai sẽ ảnh hưởng rất nhiều trong việc lựa chọn các thiết bị</li> </ul>

*b) Số bánh*

**Bảng 1.6.** Bảng so sánh ưu và nhược điểm của dạng Mobile Robot dò line 3 và 4 bánh

Số bánh	3 bánh	4 bánh
<b>Ưu điểm</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vấn đề đồng phẳng 3 bánh tương đối đơn giản</li> <li>- Mô hình toán tương đối đơn giản, dễ dàng trong việc thiết kế bộ điều khiển</li> <li>- Kết cấu cơ khí đơn giản</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Khả năng bám đường tốt, dễ vào cua</li> <li>- Đối với các xe sử dụng bộ vi sai, vấn đề đồng trục của bánh sau sẽ được giải quyết và dễ dàng phân bố tốc độ cho 2 bánh sau khi vào cua</li> </ul>
<b>Nhược điểm</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Có khả năng bám đường không tốt, khi vào cua dễ bị lật</li> <li>- Khi không sử dụng bộ vi sai thì phải giải quyết vấn đề về đồng trục</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phải đảm bảo đồng phẳng cho 4 bánh</li> <li>- Phức tạp trong điều khiển và thiết kế cơ khí</li> <li>- Phải đảm bảo đồng trục cho bánh trước</li> </ul>

### 1.2.2. Về điện

#### a. Vi điều khiển

**Bảng 1.7.** Bảng so sánh các đặc tính của các dòng vi điều khiển thường dùng cho Robot xe dò line

Loại vi điều khiển	STM	MicroChip PIC	AT Mega
<b>Điện áp hoạt động</b>	2V – 3.6V	4V – 5.5V	Khuyến khích 5V
<b>Đầu ra Digital</b>	Có	Có	Có
<b>Đọc Analog</b>	Có các cổng vào đọc analog	Có các cổng vào đọc analog	Có các cổng vào đọc analog

<b>Giao tiếp</b>	Hỗ trợ các chuẩn giao tiếp I2C, SPI, UART, ...	Hỗ trợ các chuẩn giao tiếp I2C, SPI, UART, ...	Hỗ trợ các chuẩn giao tiếp I2C, SPI, UART, ...
<b>Ngắt</b>	Hỗ trợ các module ngắt ngoài, timer, ...	Hỗ trợ các module ngắt ngoài, timer, ...	Hỗ trợ các module ngắt ngoài, timer, ...
<b>Ưu điểm</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tốc độ xử lý nhanh nhỏ gọn, dễ bố trí lắp đặt</li> <li>- Giá thành rẻ</li> <li>- Mạch nạp cũng như IDE đa dạng và dễ sử dụng</li> <li>- Thích hợp cho điều khiển phân cấp</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nhỏ gọn, dễ bố trí lắp đặt</li> <li>- Giá thành rẻ, dễ sử dụng</li> <li>- Mạch nạp cũng như IDE dễ sử dụng</li> <li>- Thích hợp cho điều khiển phân cấp</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tốc độ xử lý nhanh, IDE dễ sử dụng</li> <li>- Thư viện trong IDE hỗ trợ đầy đủ</li> </ul>
<b>Nhược điểm</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Điện áp đọc Analog là 3.3V</li> <li>- Số kênh Analog tương đối hạn chế, ảnh hưởng đến việc lựa chọn số cảm biến</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tốc độ xử lý chậm hơn STM32</li> <li>- Số kênh Analog tương đối hạn chế, ảnh hưởng đến việc lựa chọn số cảm biến</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Giá thành tương đối cao</li> <li>- Chỉ thích hợp cho điều khiển tập trung</li> </ul>

*b. Loại cảm biến*

❖ Một số dòng cảm biến thường dùng để dò line:



**Hình 1.26.** Các loại cảm biến nhận diện đường dẫn có thể sử dụng

Như đã tìm hiểu, AGV là những robot sử dụng các đường dẫn để di chuyển. Đối với đề tài này, phương pháp dẫn hướng mà bộ môn đặt ra là sử dụng đường dẫn là line có màu tương phản với sa bàn (trắng, đen). Màu trắng là màu có thể phản xạ toàn bộ ánh sáng chiếu vào nó. Ngược lại, màu đen hấp thụ toàn bộ ánh sáng chiếu vào nó. Chính nhờ đặc tính này, ta có thể sử dụng các loại cảm biến được so sánh trong bảng sau để xác định đường dẫn:

**Bảng 1.8.** Bảng so sánh các đặc tính của các dòng cảm biến nhận diện đường dẫn thường dùng cho Robot xe dò line

Loại cảm biến	Camera	Cảm biến hồng ngoại	Cảm biến quang trở
Dạng tín hiệu	Hình ảnh line	Analog và Digital	Digital
Độ phức tạp điều khiển	Phức tạp	Đơn giản	Đơn giản
Xử lý nhiễu	Xử lý bằng chương trình	Có thể xử lý bằng kết cấu cơ khí	Có thể xử lý bằng kết cấu cơ khí
Ưu điểm	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dễ nhận dạng được đường line</li> <li>- Dễ bố trí</li> <li>- Độ chính xác cao</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nhỏ gọn, dễ bố trí lắp đặt</li> <li>- Giá thành rẻ, dễ dàng sử dụng</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nhỏ gọn, dễ bố trí lắp đặt</li> <li>- Giá thành rẻ, dễ dàng sử dụng</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Độ chính xác cao, ít chịu ảnh hưởng bởi việc tăng giảm áp đầu vào.</li> <li>- Nhận diện được line có độ tương phản cao</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nhận diện được line có độ tương phản cao</li> </ul>
<b>Nhược điểm</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Giá thành cao</li> <li>- Đòi hỏi giải thuật phức tạp trong việc phân tích và xử lý dữ liệu đầu vào</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chỉ nhận biết được trong khoảng cách ngắn (tối đa 15mm)</li> <li>- Rất nhạy, do đó có thể dễ bị nhiễu do hiện tượng cross-over</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nhạy với cường độ ánh sáng môi trường, do đó dễ bị nhiễu bởi môi trường xung quanh</li> </ul>

- Phương pháp xử lý tín hiệu dò đường:

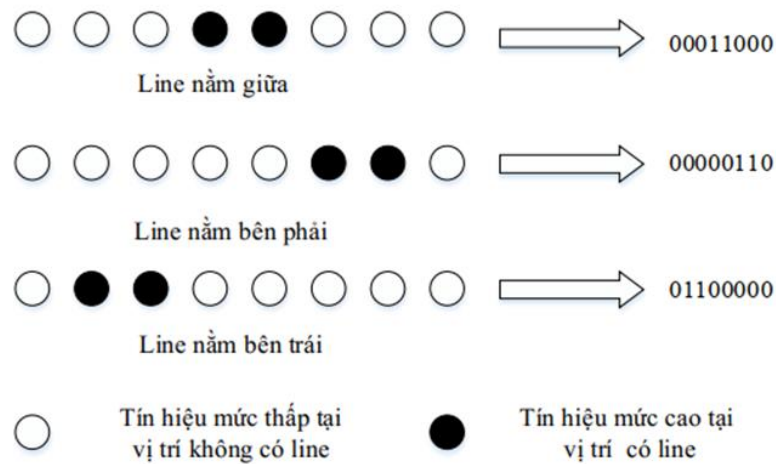
**- Phương pháp thứ nhất:** Sử dụng giải thuật so sánh

*Đặc điểm:*

+ Trạng thái đầu ra của tín hiệu là ON/OFF để suy ra vị trí của xe dựa theo bảng trạng thái đã được định sẵn (Hình 1.14).

+ Sai số dò line phụ thuộc vào giá trị ngưỡng so sánh, thông số và khoảng cách giữa các cảm biến.

+ Tốc độ xử lý rất nhanh, tuy nhiên độ chính xác và ổn định thấp.



**Hình 1.27.** Xử lý tín hiệu bằng phương pháp sử dụng giải thuật so sánh

- **Phương pháp thứ hai:** Sử dụng giải thuật nội suy hàm bậc hai

*Đặc điểm:*

- + Giả sử có 7 cảm biến, vị trí cảm biến ở phía ngoài cùng bên trái lấy giá trị là -3.
- + Khoảng cách liên tiếp của hai cảm biến lấy giá trị là 1 (theo tỷ lệ).
- + Giá trị đầu ra của cảm biến cao hơn khi nó gần đường màu đen hơn, do vậy luôn xác định được 3 cảm biến liên tiếp với đầu ra cao hơn các cảm biến còn lại.

*Mối quan hệ giữa tọa độ và đầu ra của cảm biến:*

$$y_1 = ax_i^2 + bx_i + c$$

$$y_2 = a(x_i + 1)^2 + b(x_i + 1) + c$$

$$y_3 = a(x_i + 2)^2 + b(x_i + 2) + c$$

*Tính được giá trị tọa độ và  $a$ ,  $b$  là:*

$$x = \frac{-b}{2a}$$

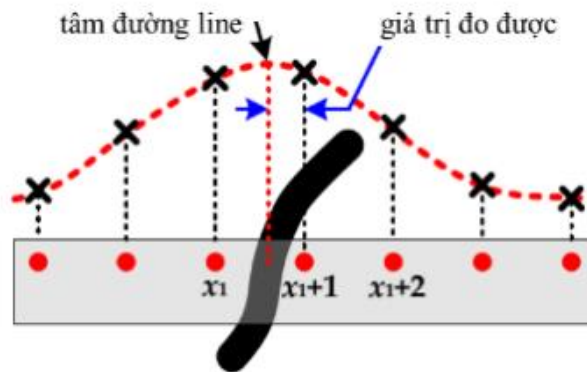
$$a = \frac{y_1 - 2y_2 + y_3}{2}$$

$$b = y_2 - y_1 - 2ax_i - a$$

*Các bước thực hiện giải thuật:*

- + Đọc tín hiệu từ các cảm biến.

- + Chọn 3 vị trí có output cao nhất trong các vị trí.
- + Tính giá trị a và b.
- + Tính tọa độ vị trí.



**Hình 1.28.** Xử lý tín hiệu bằng phương pháp sử dụng giải thuật nội suy hàm bậc hai

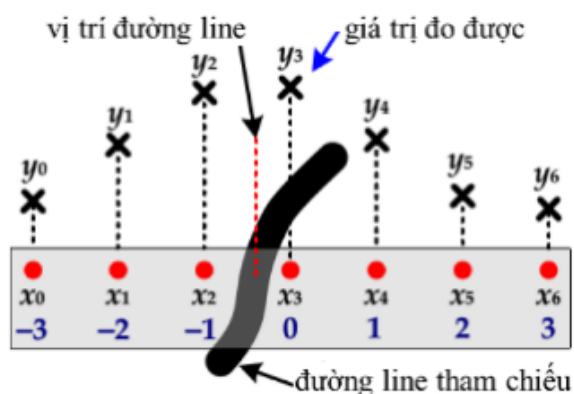
- **Phương pháp thứ ba:** Sử dụng giải thuật trọng số trung bình

Giả sử tọa độ của 7 cảm biến lần lượt là  $x_0, x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$  và các giá trị analog đầu ra tương ứng là  $y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6$ . Vị trí đường line được tính xấp xỉ theo công thức sau:

$$x = \frac{\sum_{i=0}^6 x_i y_i}{\sum_{i=0}^6 y_i} = \frac{3(y_6 - y_0) + 2(y_5 - y_1) + (y_4 - y_2)}{y_0 + y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6}$$

Các bước thực hiện giải thuật:

- + Đọc các giá trị từ cảm biến.
- + Tính toán giá trị vị trí đường line x.



**Hình 1.29.** Xử lý tín hiệu bằng phương pháp sử dụng giải thuật trọng số trung bình



❖ Một số dòng cảm biến thường dùng để nhận diện màu sắc:

- Cảm biến màu:

Cảm biến màu sắc được sử dụng để nhận biết màu sắc bằng cách đo phản xạ 3 màu sắc cơ bản từ vật thể là đỏ, xanh lá và xanh dương từ đó xuất ra tần số xung tương ứng với 3 màu này qua các chân tín hiệu, đo 3 tần số xung này và qua một vài bước chuyển đổi nhất định sẽ có được thông tin về màu sắc của vật thể cần đo.

Ưu điểm:

- Giá thành rẻ.
- Xử lý tín hiệu trả về đơn giản.

Nhược điểm:

- Số màu nhận diện được tương đối ít hơn camera.
- Khó xử lý các vùng màu chồng lấn.
- Dễ bị nhiễu bởi ánh sáng môi trường.

Một số cảm biến màu sắc thông dụng: TCS3200, TCS34725...

- Cảm biến cường độ ánh sáng:

Cảm biến cường độ ánh sáng tuy có thể được sử dụng để nhận diện màu sắc nhưng ít khi được sử dụng cho tác vụ này. Cảm biến ánh sáng thường được sử dụng để đo cường độ ánh sáng của môi trường xung quanh với độ chính xác và ổn định cao, thích hợp cho các ứng dụng trong nông nghiệp, nhà thông minh, điện thoại thông minh, đo cường độ sáng...

Ưu điểm:

- Đo được cường độ ánh sáng của môi trường xung quanh với độ chính xác và ổn định cao hơn so với cảm biến màu.
- Có thể được ứng dụng cho nhiều mục đích khác nhau.

Nhược điểm:

- Giá thành tương đối cao hơn so với cảm biến màu.
- Xử lý tín hiệu phức tạp hơn cảm biến màu.

Một số cảm biến cường độ ánh sáng thông dụng: BH1750, MAX44009, TEMT6000...

- Camera:

Camera ngoài nhiều chức năng khác, nó cũng có thể được sử dụng để nhận diện màu sắc với độ chính xác cao với dải màu rộng.

Ưu điểm:

- Số màu nhận diện lớn.
- Có nhiều thuật toán xử lý các vùng màu chồng lấn.
- Độ chính xác cao.

Nhược điểm:

- Giá thành cao.
- Cần vi điều khiển đủ mạnh để xử lý tín hiệu.

*c. Động cơ dẫn động*

**Bảng 1.9.** So sánh các đặc tính của các loại động cơ dẫn động thường dùng cho Robot xe dò line

Loại động cơ	Động cơ bước	Động cơ DC kèm encoder	Động cơ DC kèm encoder và hộp số
<b>Dạng điều khiển</b>	Điều khiển vòng hở.	Điều khiển vòng kín.	Điều khiển vòng kín.
<b>Độ chính xác</b>	Độ chính xác cao.	Độ chính xác cao.	Độ chính xác cao.
<b>Ưu điểm</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Có thể điều chỉnh chính xác góc quay.</li> <li>- Có giá thành thấp.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Có feedback về, dễ cho việc điều khiển.</li> <li>- Thích hợp cho ứng dụng di chuyển với tốc độ cao.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Có feedback về, dễ cho việc điều khiển.</li> <li>- Thích hợp cho ứng dụng di chuyển với tốc độ cao.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dễ dàng lắp đặt và thay thế.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hoạt động tương đối ổn định.</li> <li>- Có khả năng định vị chính xác.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hoạt động tương đối ổn định.</li> <li>- Có khả năng định vị chính xác.</li> <li>- Do có hộp số nên đảm giúp tăng lực kéo khi xe có tải nặng.</li> </ul>
<b>Nhược điểm</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dễ bị trượt bước khi hoạt động mà dòng điện từ driver cấp cho động cơ không đủ</li> <li>- Điều khiển vòng hở nên không có giá trị trả về, khó khăn trong việc điều khiển</li> <li>- Không thích hợp cho các ứng dụng cần tốc độ cao.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nếu sử dụng DC chổi than thì sẽ ồn và tạo nhiệt độ cao khi hoạt động. Do đó khuyến khích sử dụng DC không chổi than.</li> <li>- Giá thành tương đối cao.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nếu sử dụng DC chổi than thì sẽ ồn và tạo nhiệt độ cao khi hoạt động. Do đó khuyến khích sử dụng DC không chổi than.</li> <li>- Giá thành tương đối cao.</li> </ul>

*d. Động cơ dẫn hướng*

**Bảng 1.10.** So sánh các đặc tính của các loại động cơ dẫn hướng thường dùng cho Robot xe dò line

Loại động cơ	Động cơ bước	Động cơ RC Servo
<b>Dạng điều khiển</b>	Điều khiển vòng hở	Điều khiển vòng hở

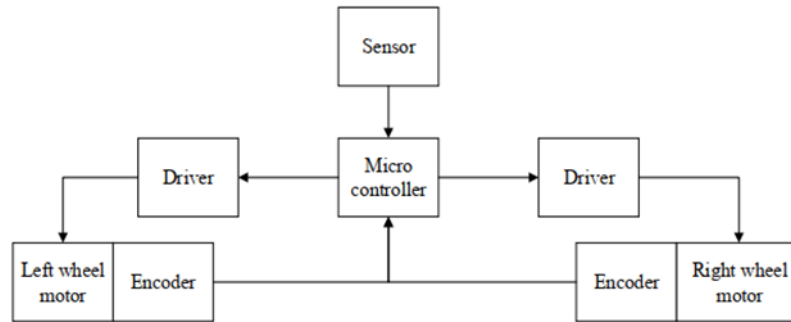
<b>Độ chính xác</b>	Cao	Cao
<b>Ưu điểm</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Có thể điều chỉnh chính xác góc quay</li> <li>- Giá thành thấp</li> <li>- Dễ dàng lắp đặt và thay thế</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Thích hợp cho ứng dụng di chuyển với tốc độ cao</li> <li>- Hoạt động chính xác vì có driver điều khiển bên trong động cơ</li> <li>- Moment xoắn tương đối lớn</li> </ul>
<b>Nhược điểm</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dễ bị trượt bước khi hoạt động trong dòng điện từ driver cấp cho động cơ không đủ cũng như tải lớn</li> <li>- Điều khiển vòng hở nên không có giá trị trả về, khó khăn trong việc điều khiển</li> <li>- Không thích hợp cho các ứng dụng cần tốc độ cao</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Điều khiển vòng hở nên không có giá trị trả về, khó khăn trong việc điều khiển</li> <li>- Giá thành tương đối cao</li> <li>- Do hoạt động bằng bánh răng nên có hiện tượng rơ phải bù góc</li> </ul>

### **1.2.3. Về điều khiển**

#### **a. Cấu trúc điều khiển:**

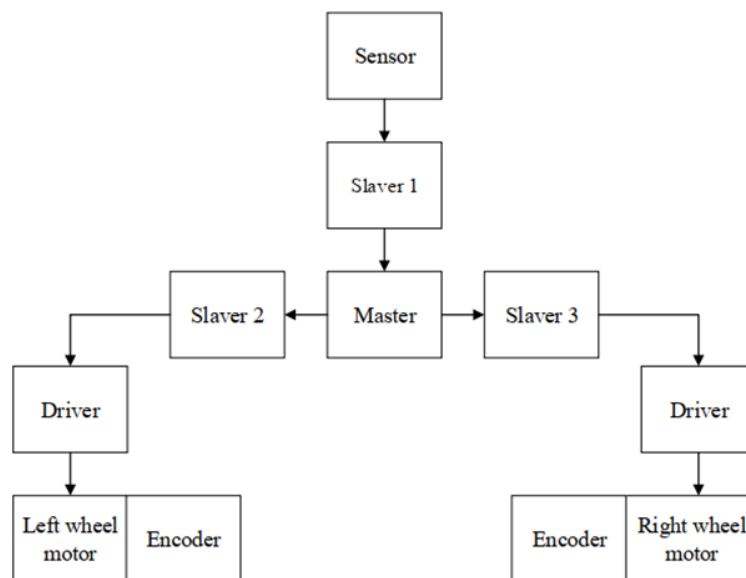
Mạch điện xe dò line gồm các thành phần cơ bản chính bao gồm mạch cảm biến, mạch điều khiển và mạch lái động cơ. Có hai cấu trúc điều khiển phổ biến dùng để kết nối các phần trên lại với nhau là: điều khiển tập trung và điều khiển phân cấp.

- Điều khiển tập trung (Hình 1.15): một MCU duy nhất đồng thời nhận và xử lý tín hiệu từ các cảm biến, nhận và xử lý tín hiệu từ hai encoder, thực hiện chương trình chính, tính giá trị điều khiển và truyền cho hai động cơ. Đây là cấu trúc được sử dụng khá nhiều trong các xe đua dò line thực tế như xe CartisX04, Pika...



**Hình 1.30.** Cấu trúc điều khiển tập trung

- Điều khiển phân cấp (Hình 1.16): một MCU được sử dụng như một master dùng tính toán cho chương trình điều khiển chính. Các slave còn lại sử dụng các MCU khác, thực hiện các tác vụ riêng biệt như: thu và xử lý tín hiệu từ cảm biến, tính toán vị trí tương đối của xe so với line và truyền về cho master; thu nhận tín hiệu từ encoder, tính toán điều khiển cho động cơ, đảm bảo cho động cơ hoạt động theo đúng yêu cầu của master... Tín hiệu trao đổi giữa các MCU có thể theo nhiều chuẩn khác nhau: SPI, I2C, CAN.... Cấu trúc này giúp giảm nhẹ khối lượng tính toán cho master và cho phép robot thực hiện nhiều tác vụ cùng lúc.



**Hình 1.31.** Cấu trúc điều khiển phân cấp

**Bảng 1.11.** So sánh dạng cấu trúc điều khiển

	Điều khiển tập trung	Điều khiển phân cấp
--	----------------------	---------------------

<b>Đặc điểm:</b> <b>- Số MCU</b> <b>- Nguyên lý làm việc</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sử dụng 1 MCU</li> <li>- MCU nhận và xử lý tín hiệu từ cảm biến, tính toán vận tốc và điều khiển động cơ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sử dụng từ 2 MCU trở lên</li> <li>- 1 MCU đóng vai trò master, tính toán điều khiển. Các MCU còn lại là slave, thực hiện các tác vụ như: Đọc cảm biến và xử lý vị trí truyền về cho Master; điều khiển động cơ,...</li> </ul>
<b>Ưu điểm</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Do sử dụng 1 MCU nên giá thành rẻ</li> <li>- Tối đa hóa khả năng của vi điều khiển.</li> <li>- Tiêu tốn ít tài nguyên.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dễ quản lý chương trình, dễ debug và phát triển sản phẩm.</li> <li>- Có khả năng xử lý nhiều tác vụ cùng lúc.</li> <li>- Tránh được các xung đột khi thực hiện nhiều tác vụ.</li> </ul>
<b>Nhược điểm</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chương trình khó quản lý, quá trình debug và phát triển code tốn thời gian và khó khăn hơn.</li> <li>- Chương trình thực hiện chậm hơn và dễ xung đột khi thực hiện nhiều tác vụ.</li> <li>- Trong nhiều trường hợp 1 MCU không thể đáp ứng đủ yêu cầu về số lượng chân Analog/Digital.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tốn nhiều tài nguyên, chiếm nhiều không gian do phải thiết kế thêm mạch cho các MCU.</li> <li>- Đòi hỏi sự giao tiếp giữa các vi điều khiển.</li> </ul>

*b. Bộ điều khiển – Phương pháp điều khiển:*

Yêu cầu cần có bộ điều khiển vòng kín để hồi tiếp tín hiệu sai số vị trí từ line do cảm biến đọc về để điều khiển vận tốc cho động cơ. Nhiều bộ điều khiển có thể được sử dụng cho bài toán xe đua bám line như: PID, Fuzzy, Following tracking, ...

Ngoài ra, một số xe có áp dụng thêm khả năng ghi nhớ đường đi nhằm thay đổi các thông số điều khiển ứng với từng cung đường, giúp tăng khả năng đáp ứng của xe sau mỗi lần chạy như: xe Silvestre và CartisX04. Tuy nhiên để áp dụng các giải thuật này, robot cần sử dụng thêm cảm biến gia tốc để nắm được trạng thái gia tốc của xe trong suốt quá trình chuyển động.

- Bộ điều khiển ON/OFF:

Phương pháp điều khiển AGV dò line truyền thống là phương pháp ON/OFF, nghĩa là khi robot di chuyển lệch sang trái của đường đi thì robot thực hiện lái về bên phải, 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 lái về bên trái. Phương pháp lái của robot phụ thuộc vào cấu trúc của từng loại khác nhau. Đây là phương pháp điều khiển robot rất đơn giản. Tuy nhiên, hạn chế của phương pháp này là robot di chuyển không mịn màng, robot luôn dao động sang phải và sang trái của đường đi.

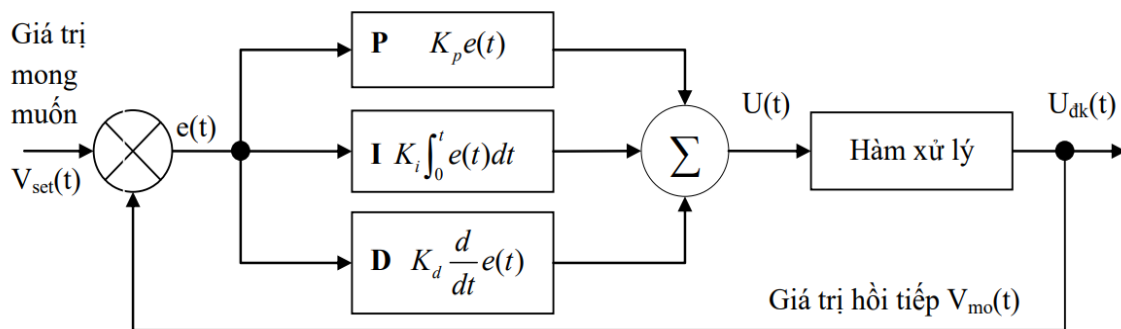
- Bộ điều khiển PID:

Bộ điều khiển vi tích phân tỉ lệ là giải thuật điều khiển phản hồi vòng kín, còn gọi là giải thuật PID, được ứng dụng rất rộng rãi trong các hệ thống điều khiển tự động. Giải thuật này cố gắng chỉnh sửa các sai số giữa những giá trị đo đạc thực tế và giá trị mong muốn bằng việc tính toán và xuất ra giá trị sửa lỗi từ đó hiệu chỉnh hệ thống vận hành theo yêu cầu đặt ra.

Việc sử dụng giải thuật PID giúp cho việc điều khiển đạt được hiệu quả như mong muốn với thời gian đáp ứng nhanh và độ ổn định cao.

Giải thuật PID là một chuỗi các phép toán để xác định các giá trị của khâu điều khiển tỉ lệ, khâu điều khiển vi phân và khâu điều khiển tích phân. Sau đó, kết hợp các giá trị lại với nhau và xuất ra giá trị điều rộng xung PWM để điều khiển 2 động cơ bánh dẫn động của robot. Bộ điều khiển PID gồm ba phần chính P, I, D đặc trưng bởi hệ số  $K_P, K_I, K_D$ .

- $K_P$ : Khâu điều khiển tỷ lệ tính toán độ lệch của robot, xác định được robot đang lệch phải hay lệch trái đường và xuất ra các giá trị PWM để điều khiển hai động cơ. Giúp xe bám theo đường thẳng để làm giảm sai số.
- $K_I$ : Khâu điều khiển tích phân tính toán dựa trên sai số tích lũy theo thời gian. Robot càng lệch xa đường thì sai số tích lũy càng lớn. Khâu này thể hiện rằng trong quá khứ robot có bám đường đi tốt hay không. Giúp xe chuyển động mượt mà hơn.
- $K_D$ : Khâu vi phân tính toán dựa trên sai số hiện tại. Khâu này cho biết tốc độ robot dao động qua lại của đường đi. Hạn chế rung lắc, tăng độ ổn định cho xe.



**Hình 1.32.** Sơ đồ giải thuật PID

Bộ điều khiển PID hoạt động theo cơ chế phản hồi vòng điều khiển sẽ tính toán giá trị “sai số” là hiệu số giữa giá trị đo tín hiệu biến đổi và giá trị mong muốn. Sau đó, bộ điều khiển sẽ thực hiện giảm tối đa sai số bằng cách điều chỉnh giá trị điều khiển đầu vào bằng các hệ số ( $K_P$ ,  $K_I$ ,  $K_D$ ).

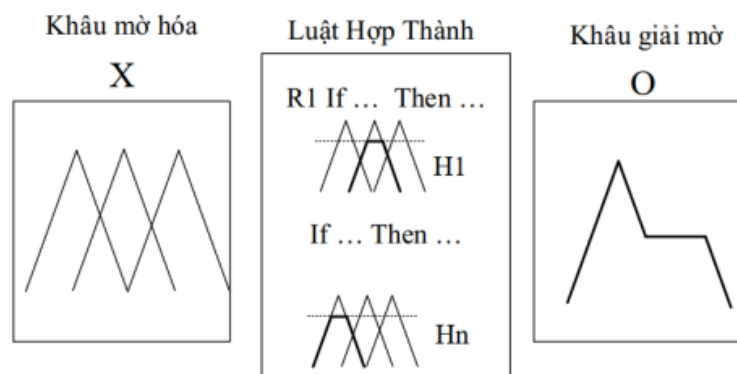
$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt}$$

- Bộ điều khiển Fuzzy (bộ điều khiển mờ):

Đặc điểm của bộ điều khiển: bộ điều khiển fuzzy hoạt động dựa trên logic mờ, ứng dụng cho đối tượng phức tạp đặc biệt là hệ phi tuyến mà chưa biết rõ hàm truyền, logic mờ có thể giải quyết các vấn đề mà điều khiển kinh điển không làm được mà phụ thuộc vào kinh nghiệm người vận hành. Bộ điều khiển Fuzzy thì hầu hết đều sử dụng dữ liệu mà cảm biến trả về. Từ đó robot sẽ biết được nó lệch đường line nhiều hay ít và từ đó



đưa ra giá trị vận tốc của các động cơ tương ứng để bám đường line. Có thể dùng kết hợp với bộ điều khiển PID, PI.



**Hình 1.33.** Bộ điều khiển Fuzzy

Cấu trúc của bộ điều khiển Fuzzy (Hình 1.17):

- Khâu mờ hóa: Chuyển các điều kiện có giá trị cụ thể thành những khoảng phù hợp với thao tác kinh nghiệm và sự hiểu biết hệ thống của người lập trình ứng với kết quả mong muốn tương ứng.

- Thực hiện luật hợp thành: hình thành luật mờ theo dạng IF...THEN.

- Khâu giải mờ: từ luật hợp thành tính toán ra giá trị kết quả trong những trường hợp cụ thể. Sử dụng phương pháp cực đại, phương pháp trọng tâm...

• Bộ điều khiển Following tracking:

Bộ điều khiển Following tracking được phát triển cho các mô hình robot bám line hiện nay, bộ điều khiển này vận hành dựa trên 3 sai số giữa xe và đường line theo phương tiếp tuyến  $e_1$ , theo phương pháp tuyến  $e_2$ , và theo góc lệch giữa xe với line  $e_3$ , dựa vào các sai số này để điều khiển xe thông qua các biến điều khiển là vận tốc góc  $\omega$  và vận tốc dài  $v$  theo phương trình sau:

$$\begin{cases} v = v_r \cos(e_3) + k_1 e_1 \\ \omega = k_2 v_r e_2 + \omega_r + k_3 \sin(e_3) \end{cases}$$

Trong đó  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  là các hệ số của bộ điều khiển.

### 1.3. Đặt đầu bài cho bài toán thiết kế và các thông số đầu vào

Với mục tiêu thiết kế, chế tạo robot xe dò line có tác vụ tải hàng và phân loại hàng theo màu sắc, chạy và bám được sa bàn, các thông số cần được quan tâm: Vận tốc của robot trên sa bàn, khả năng đổi hướng của robot, sai số tối đa của robot trong quá trình bám theo đường line và tại vị trí dừng cuối đường dẫn, màu sắc, khối lượng và kích thước của khối hàng.

Về vận tốc của robot, vận tốc cực đại trung bình của các robot dò line trong các cuộc thi đều đạt  $1.5 \div 3$  m/s. Tuy nhiên với robot dò line kèm tác vụ tải hàng trong đề án này thì không yêu cầu về vận tốc cao và thỏa yêu cầu về vận tốc tối thiểu (0.1 m/s). Về khả năng đổi hướng, robot có thể bám được bán kính cong lớn nhất là 800 mm và bán kính cong nhỏ nhất là 500 mm. Về sai số tối đa của robot trong suốt quá trình, phụ thuộc vào sai số xác định vị trí của xe do hệ thống cảm biến và sai số do bộ điều khiển. Về màu sắc, khối lượng và kích thước của khối hàng, màu sắc của khối hàng là xanh và đỏ, hình dạng và kích thước khối hàng nhóm tự thiết kế với yêu cầu về khối lượng là 2 kg, kích thước tối đa của khối hàng phụ thuộc vào vật liệu tạo nên khối hàng đó.

***Từ các phân tích trên, đầu bài cụ thể được đặt ra như sau:***

Thiết kế robot xe dò line tải và phân loại hàng theo màu sắc với sa bàn cho trước, các yêu cầu sơ bộ như sau:

- Bán kính cong nhỏ nhất và lớn nhất lần lượt là:  $\rho_{\min} = 500$  mm,  $\rho_{\max} = 800$  mm.

- Sai số bám line lớn nhất:  $e_{\text{line}} = \pm 3$  mm

- Sai số vị trí dừng cuối đường dẫn lớn nhất:  $e_{\text{stop}} = \pm 5$  mm

- Tốc độ di chuyển thấp nhất:  $v_{\min} = 0.1$  m/s

- Tốc độ di chuyển tối đa:  $v = 0.5$  m/s

- Robot có khả năng di chuyển bám theo đường line trên sa bàn, đi từ vị trí “Bắt đầu” đến “Khu vực tải hàng” thì dừng lại chờ hàng được đặt lên, robot nhận biết được hàng đã tải lên xong và nhận diện màu sắc khối hàng (xanh hoặc đỏ) sau đó di chuyển đến vị trí “Kết thúc” tương ứng với màu sắc khối hàng đó.

- Khối hàng có thể tích không quá  $150 \times 150 \times 100 \text{ mm}^3$  và diện tích đặt hàng trên Robot không quá  $150 \times 150 \text{ mm}^2$ .

- Kích thước robot dự kiến nằm trong khoảng giới hạn:

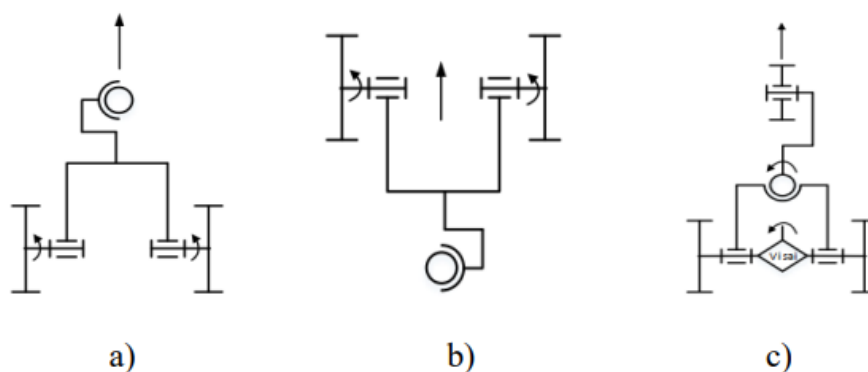
350 (mm) x 300 (mm) x 350 (mm)

## CHƯƠNG 2: LỰA CHỌN PHƯƠNG ÁN

### 2.1. Lựa chọn phương án cơ khí

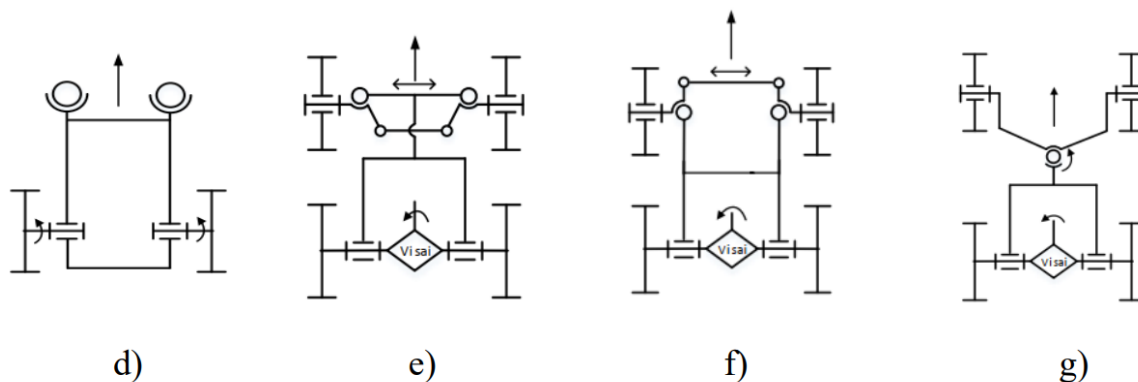
#### 2.1.1. Lựa chọn nguyên lý xe

Các kết cấu xe 3 bánh được đưa ra ở phần Tổng quan:



**Hình 2.1.** Sơ đồ nguyên lý các loại robot xe dò line 3 bánh

Các kết cấu xe 4 bánh được đưa ra ở phần Tổng quan:



**Hình 2.2.** Sơ đồ nguyên lý các loại robot xe dò line 4 bánh

Các tiêu chí để lựa chọn nguyên lý xe cho đồ án:

- Dễ dàng cho việc thiết kế cơ khí, mô hình hóa và điều khiển.
- Có khả năng bám được line tốt, không bị trượt và bị lật khi vào cua có bán kính cong không quá nhỏ (theo yêu cầu của đồ án là bán kính cong 500 mm) trong trường hợp xe đi với vận tốc tối thiểu cho phép là 0.1 m/s.
- Kết cấu xe đảm bảo vững khi có yêu cầu đặt tải.

**Kết luận:** Dựa vào bảng so sánh các ưu – nhược điểm của các sơ đồ nguyên lý xe ở Bảng 1.4, Bảng 1.5 và Bảng 1.6, kết hợp với tiêu chí đã đặt ra như trên: chọn kết cấu xe d), 2 bánh sau chủ động dẫn hướng và dẫn động, 2 bánh trước bị động tùy hướng. Vì:

- So với kết cấu xe 3 bánh thì kết cấu xe 4 bánh đảm bảo vững hơn khi có yêu cầu đặt tải (số điểm tiếp xúc mặt đất nhiều hơn).

- Kết cấu xe d) tương đối đơn giản, dễ mô hình hóa và điều khiển hơn nhiều so với những kết cấu xe 4 bánh phức tạp khác.

- Kết cấu xe 4 bánh dễ bám đường và khó bị lật khi vào cua hơn so với những kết cấu xe 3 bánh, đặc biệt trong bài toán không có yêu cầu cao về vận tốc xe (tối thiểu 0.1 m/s) và những khúc cua có bán kính cong nhỏ nhất chỉ 500 mm nên việc lựa chọn kết cấu xe 4 bánh như trong hình d) là chấp nhận được.

### **2.1.2. Lựa chọn bánh xe**

#### **a. Bánh chủ động phía sau**

- Các loại bánh xe hay dùng cho robot xe dò line thông thường có khung bằng nhựa, lớp bằng cao su (có gai hoặc không gai) như trong Hình 2.3.



**Hình 2.3.** Phương án chọn bánh xe chủ động

- Với địa hình di chuyển phẳng thì thường dùng bánh xe không gai. Với địa hình dốc, không bằng phẳng hoặc nhấp nhô sẽ thường dùng bánh xe có gai để tăng độ bám đường.

**Kết luận:** Với điều kiện đặt ra là di chuyển trong mặt phẳng nên lựa chọn Bánh xe cao su không gai.

#### **b. Bánh bị động phía trước**

**Bảng 2.1.** So sánh ưu – nhược điểm của các loại bánh đa hướng

Loại bánh xe	Bánh đa hướng bi cầu	Bánh đa hướng V1
Hình ảnh		
Ưu điểm	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Toàn bộ bánh xe làm bằng sắt và bi thép nên rất bền.</li> <li>- Bánh xe đơn giản, kích thước nhỏ gọn, dễ lắp đặt.</li> <li>- Bánh xe di chuyển và điều hướng tương đối tốt.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kích thước tương đối nhỏ gọn.</li> <li>- Bánh có chất lượng tốt.</li> <li>- Chuyển hướng nhanh, di chuyển êm.</li> <li>- Phù hợp với nhiều loại robot xe.</li> <li>- Khả năng tải hàng tốt.</li> </ul>
Nhược điểm	Khi chạy trên mặt sàn có cát hay các sợi tóc dễ bị kẹt bánh xe.	Bánh có độ cao tương đối lớn so với xe làm cảm biến dễ bị nhiễu, có thể dẫn đến việc xe không bám được line.

**Kết luận:** Với những ưu – nhược điểm đã được phân tích ở trên, chọn bánh đa hướng V1 (bánh caster) làm bánh bị động vì sẽ giúp cho robot di chuyển ổn định hơn khi tải hàng so với bánh bi cầu, việc thiết kế cơ khí để điều chỉnh độ cao của cảm biến cũng không quá phức tạp khi sử dụng bánh V1.

## 2.2. Lựa chọn phương án điện

### 2.2.1. Lựa chọn vi điều khiển

Vi điều khiển được lựa chọn thỏa các yêu cầu:

- Có đủ các cổng để đọc giá trị digital.
- Có đủ các cổng đọc các giá trị analog.

- Có đủ các loại ngắt (Interrupt), bộ định thời (Timer), bộ đếm (Counter) để thực hiện trong đồ án.
- Tốc độ xử lý nhanh.
- Nhỏ gọn, giá thành rẻ.
- Dễ điều khiển.

Các dòng vi điều khiển đã được phân tích ở phần Tổng quan (Bảng 1.7):

- MicroChip PIC.
- STM.
- AT mega.

**Kết luận:** Lựa chọn vi điều khiển STM, cụ thể là vi điều khiển ARM STM32F103C8T6, vì:

- Là dòng vi điều khiển mạnh hơn so với MicroChip PIC.
- Nhỏ gọn, dễ dàng tìm mua và lắp đặt.
- Dễ tiếp cận và điều khiển (giao diện IDE thân thiện, dễ sử dụng, có nhiều nguồn tài liệu để tham khảo).
- Đảm bảo đủ số lượng Port digital, analog, ngắt, timer... trong 1 vi điều khiển để thực hiện các yêu cầu trong đồ án này mà không cần phải giao tiếp giữa nhiều vi điều khiển.

### **2.2.2. Lựa chọn cảm biến**

#### *a. Lựa chọn cảm biến dùng để dò line*

❖ Loại cảm biến:

Các yêu cầu lựa chọn cảm biến dùng để dò line cho robot xe:

- Khả năng đáp ứng nhanh sự thay đổi màu sắc giữa trắng và đen.
- Tín hiệu cảm biến trả về nhanh để giúp xe có khả năng nhận biết những đoạn line gấp khúc đột ngột.
- Tín hiệu đọc về dạng analog.
- Ít nhiễu.
- Dễ tìm trên thị trường và giá cả hợp lý.

Các loại cảm biến được phân tích ở phần Tổng quan:

- Camera.
- Cảm biến hồng ngoại: Gồm 1 đầu thu, 1 đầu phát (Ví dụ: TCRT5000).
- Cảm biến quang trở.

**Bảng 2.2.** *Lựa chọn phương án cảm biến*

<b>Loại cảm biến</b>	<b>Camera</b>	<b>Cảm biến hồng ngoại</b>	<b>Cảm biến quang trở</b>
<b>Khả năng nhận diện đường line</b>	Nhận diện chính xác được line.	Nhận diện được line vì có độ tương phản cao (đen – trắng).	Nhận diện được line vì có độ tương phản cao (đen – trắng).
<b>Nhiều</b>	Ít chịu nhiều từ môi trường đặc biệt là ánh sáng.	Ít chịu ảnh hưởng bởi cường độ ánh sáng nhưng dễ gặp hiện tượng gross over (cảm biến này phát, cảm biến kia thu).	Nhạy bởi cường độ ánh sáng của môi trường. Do đó hạn chế hoạt động trong môi trường thiếu ánh sáng.
<b>Độ phức tạp</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Thuật toán giải quyết phức tạp.</li> <li>- Độ phức tạp của chương trình ảnh hưởng nhiều đến tốc độ xử lý của robot.</li> </ul>	Độ phức tạp thấp vì dễ dàng thiết kế mạch đọc và trả về tín hiệu Analog hoặc Digital.	Độ phức tạp thấp.
<b>Giá thành</b>	Giá thành cao.	Giá thành thấp.	Giá thành thấp.



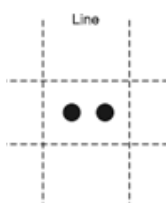
**Kết luận:** Lựa chọn cảm biến hồng ngoại TCRT5000 có cặp bóng thu-phát hồng ngoại do thuật toán đơn giản, có tín hiệu analog đọc về, dễ dàng thiết kế mạch cảm biến. Tuy bị ảnh hưởng bởi nhiễu sẽ nhiều hơn so với camera nhưng cảm biến hồng ngoại TCRT5000 có giá thành rẻ hơn rất nhiều và có thể xử lý được nhiễu để cải thiện kết quả bám line.



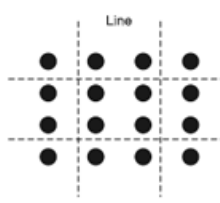
**Hình 2.4.** Cảm biến hồng ngoại TCRT5000

❖ Phương án bố trí cảm biến:

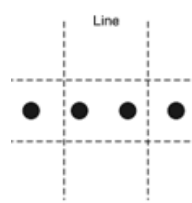
Để có thể phát hiện được đường line cần sử dụng ít nhất là hai cảm biến. Tuy nhiên, việc sử dụng 2 cảm biến là không đủ để robot có thể phân biệt được giữa đường thẳng và khúc cua. Hiện nay có 3 loại phân bố cảm biến thường thấy như là: bố trí ma trận, bố trí đường ngang và bố trí chữ “V”.



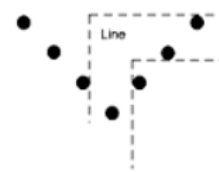
a) Bố trí 2 cảm biến



b) Bố trí ma trận



c) Bố trí đường ngang



d) Bố trí chữ “V”

**Hình 2.5.** Các phương án bố trí cảm biến

- Bố trí 2 cảm biến: Phù hợp với sa bàn chỉ gồm đường thẳng và những đoạn đường cua có bán kính lớn.

- Bố trí ma trận: Phù hợp với sa bàn phức tạp có bề rộng line thay đổi, line bị đứt quãng... Kiểu bố trí này có độ chính xác cao nhưng cần phải sử dụng nhiều cảm biến, cách bố trí phức tạp.

- Bố trí đường ngang: Phù hợp với sa bàn chỉ gồm đường thẳng, đường cong và giao lộ đơn giản.

- Bố trí chữ “V”: Phù hợp với sa bàn có nhiều khúc cua liên tục hoặc có bán kính cong nhỏ, tăng khả năng phát hiện line, đặc biệt giúp xe có thời gian xử lý khi vào những đoạn cua.

Với sa bàn của đề bài đặt ra, bề rộng line là không đổi (26 mm), các khúc cua đơn giản không phức tạp và bán kính cong nhỏ nhất của khúc cua chỉ là 500 mm.

**Kết luận:** Lựa chọn bố trí cảm biến theo dạng đường ngang.

❖ Số lượng cảm biến:

Số lượng cảm biến được lựa chọn sẽ ảnh hưởng đến độ chính xác bám line của Robot. Sơ bộ số lượng cảm biến nên lựa chọn là số lẻ, vì cảm biến chính giữa sẽ đảm nhận việc xác định đường tâm của đường line và điều chỉnh lại vị trí Robot khi Robot bị lệch ra khỏi đường line. Khi tham khảo các tài liệu về Robot dò line, đa phần các sản phẩm Robot dò line đều sử dụng ít nhất 5 cảm biến để đạt độ chính xác tối thiểu được yêu cầu.

**Kết luận:** Lựa chọn số lượng cảm biến sẽ là 5.

❖ Lựa chọn phương pháp xác định tọa độ line:

Tiêu chí lựa chọn phương pháp xác định tọa độ line:

- Giải thuật trực quan, dễ hiểu.
- Đảm bảo được độ chính xác cao.

Các phương pháp xác định tọa độ đường line đã được đề cập ở phần Tổng quan:

- Sử dụng giải thuật so sánh.
- Sử dụng giải thuật nội suy hàm bậc hai.
- Sử dụng giải thuật trọng số trung bình.

**Kết luận:** Lựa chọn phương pháp sử dụng giải thuật trọng số trung bình, vì phương pháp này tương đối dễ hiểu và đạt được độ chính xác cao hơn so với giải thuật so sánh.

*b. Lựa chọn cảm biến dùng để nhận diện màu sắc*

Với tác vụ nhận diện màu sắc, lựa chọn cảm biến màu sắc TCS3200 vì cảm biến màu sắc này dễ dàng tìm kiếm và đặt mua, thích hợp cho yêu cầu nhận diện màu sắc của khối hàng (màu xanh hoặc đỏ), dễ dàng lập trình điều khiển.



**Hình 2.6.** Cảm biến màu sắc TCS3200

**2.2.3. Lựa chọn loại động cơ**

Lựa chọn động cơ dẫn động (dẫn động cho 2 bánh xe chủ động phía sau) phải thỏa các yêu cầu sau:

- Đảm bảo sau khi tính toán có thể đạt được vận tốc mong muốn.
- Giá trị Torque đầu ra động cơ đủ lớn để dẫn động cũng như giúp xe di chuyển được khi tải hàng.
- Có khả năng đọc và trả về giá trị vận tốc vòng của động cơ để có thể điều khiển vận tốc.
- Nhỏ gọn.

**Kết luận:** Dựa vào phân tích ưu – nhược điểm trong Bảng 1.9 ở phần Tổng quan, kết hợp với các yêu cầu được đặt ra như trên, lựa chọn loại động cơ dẫn động là động cơ DC có encoder và hộp số.

## 2.3. Lựa chọn phương án điều khiển

### 2.3.1. Cấu trúc điều khiển

Hai cấu trúc điều khiển đã được phân tích ở phần Tổng quan:

- Điều khiển tập trung.
- Điều khiển phân cấp.

Các yêu cầu để lựa chọn cấu trúc điều khiển:

- Đảm bảo đầy đủ các Port I/O, Analog, Digital, Timer...
- Có khả năng thực hiện các tác vụ theo yêu cầu của đầu bài đặt ra một cách ít phức tạp nhất có thể.
- Tốn ít tài nguyên.

**Kết luận:** Dựa vào phân tích ưu – nhược điểm trong Bảng 1.11 ở phần Tổng quan, kết hợp với yêu cầu lựa chọn ở trên, chọn cấu trúc điều khiển tập trung. Vì tuy robot cần phải xử lý tín hiệu từ nhiều cảm biến như dây cảm biến hồng ngoại TCRT5000 dò line, cảm biến nhận diện màu sắc, điều khiển các động cơ... nhưng với vi điều khiển STM32F103C8T6 đã chọn đã có thể đáp ứng đầy đủ các yêu cầu đã đặt ra. Do đó việc lựa chọn cấu trúc điều khiển tập trung là hợp lý.

### 2.3.2. Bộ điều khiển

#### a. Lựa chọn bộ đối với thuật toán điều khiển động cơ

Yêu cầu đặt ra:

- Điều khiển được chính xác được tốc độ động cơ mong muốn.
- Dễ dàng tiếp cận.

**Kết luận:** sử dụng thuật toán điều khiển P, PI, PD hoặc PID. Vì:

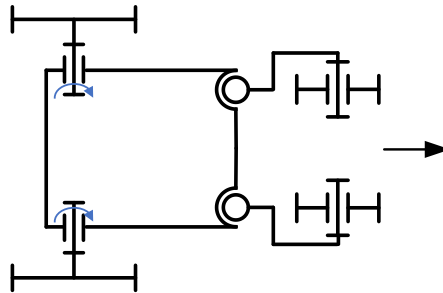
- Sử dụng bộ điều khiển vòng kín làm tăng độ chính xác khi điều khiển tốc độ động cơ.
- Bộ điều khiển P, PI, PD, PID làm hạn chế quán tính của đại lượng điều khiển.

#### b. Lựa chọn bộ điều khiển đối với bài toán dò line

Lựa chọn bộ điều khiển Following tracking, vì đây là bộ điều khiển phổ biến trong các nghiên cứu về khả năng bám theo quỹ đạo cho trước đối với mobile robot, có thể đáp ứng được các sai số và vận tốc được đặt ra.

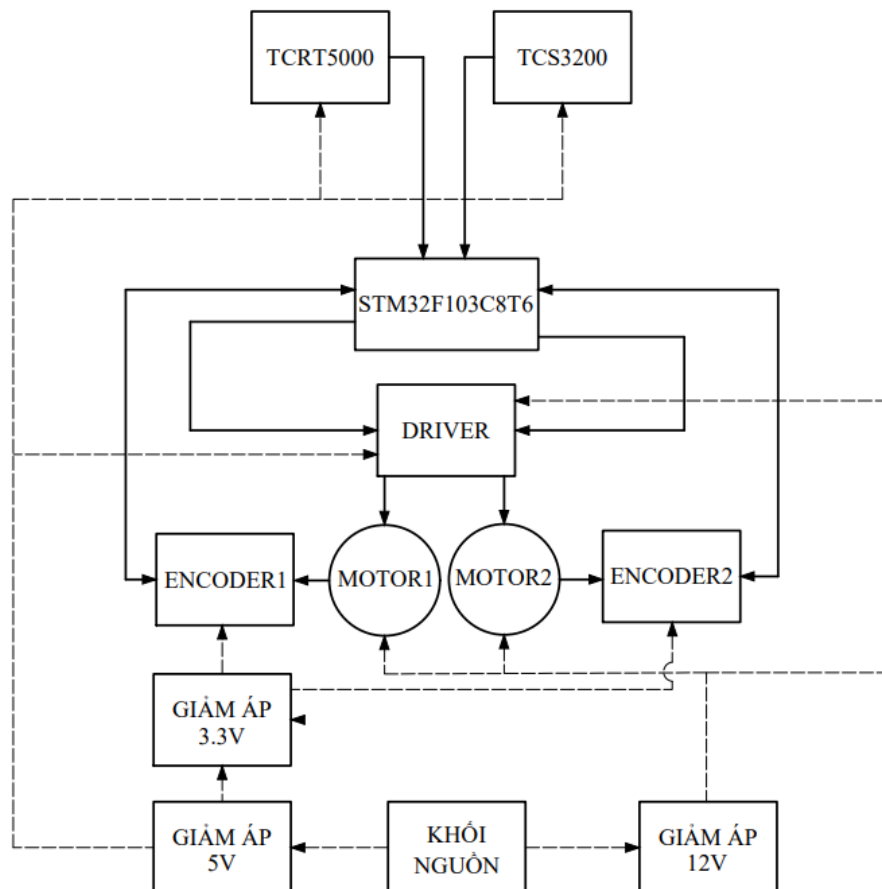
## 2.4. Tổng hợp

### 2.4.1. Sơ đồ nguyên lý cơ khí



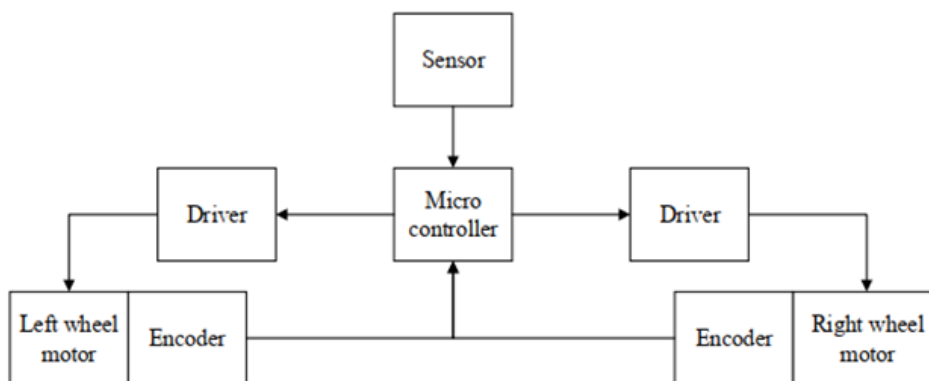
**Hình 2.7.** Sơ đồ nguyên lý cơ khí của Robot

### 2.4.2. Sơ đồ khối hệ thống điện



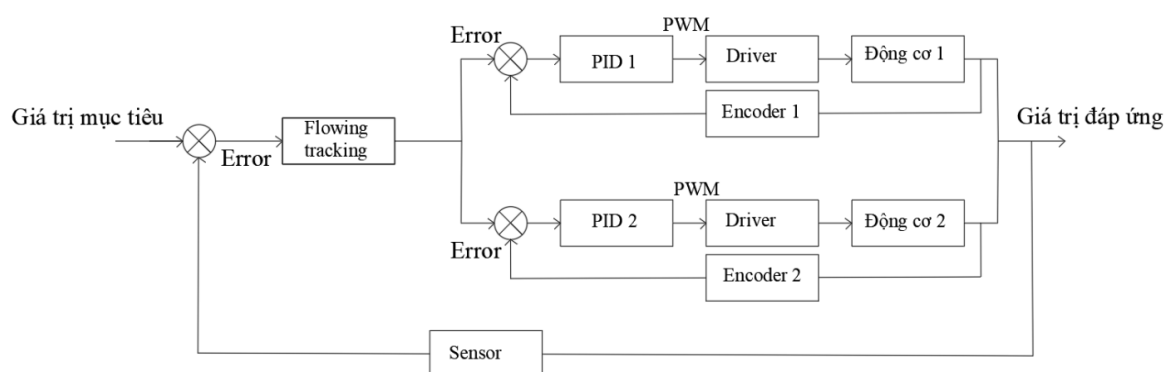
**Hình 2.8.** Sơ đồ nguyên lý khối điện của Robot

### 2.4.3. Cấu trúc điều khiển



**Hình 2.9.** Sơ đồ khối cấu trúc điều khiển tập trung

### 2.4.4. Bộ điều khiển



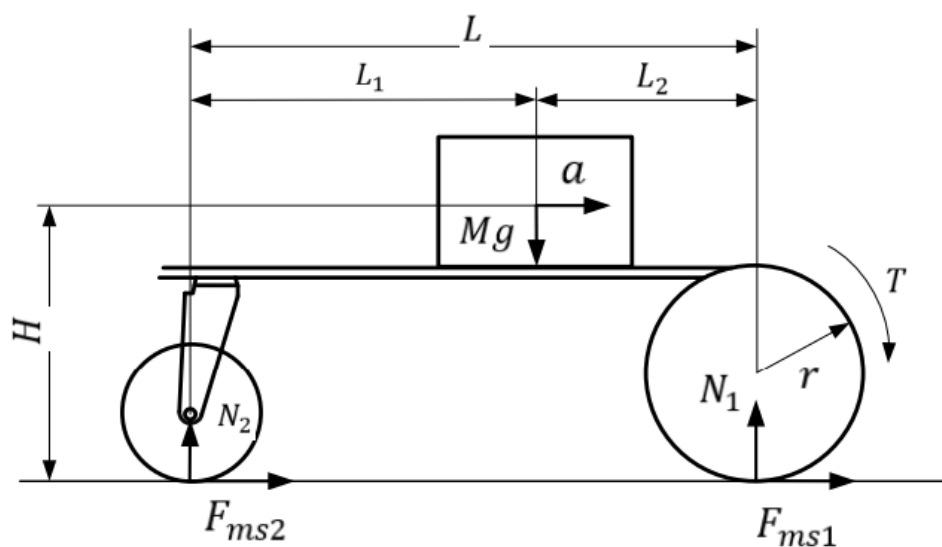
**Hình 2.10.** Sơ đồ khối hệ thống điều khiển

## CHƯƠNG 3: THIẾT KẾ CƠ KHÍ

### 3.1. Các thông số mong muốn và giả định

- Tốc độ trung bình:  $v = 0.5 \text{ m/s}$
- Gia tốc tối đa:  $a = 0.5 \text{ m/s}^2$
- Kích thước tối đa của xe:  $d \times r \times c = 350 \times 350 \times 300 \text{ (mm} \times \text{mm} \times \text{mm)}$
- Sai số bám line lớn nhất mong muốn:  $e = 50 \text{ mm}$
- Khối lượng xe không có hàng:  $M1 = 5 \text{ kg}$
- Khối lượng xe có hàng:  $M2 = 7 \text{ kg}$
- Khối lượng hàng:  $M = 2 \text{ kg}$
- Khối lượng bánh xe:  $m = 0.5 \text{ kg}$
- Bán kính bánh xe:  $r = 48 \text{ mm}$
- Gia tốc trọng trường:  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

### 3.2. Tính toán kích thước xe



**Hình 3.1.** Mô hình động lực học của xe chuyển động thẳng

Các thành phần phân tích từ Hình 3.1:

- $N1$ : phản lực tại bánh trước
- $N2$ : phản lực tại bánh sau
- $L = L1 + L2$ : khoảng cách trục bánh trước và bánh sau
- $H$ : chiều cao trọng tâm xe

- $r$ : bán kính bánh xe
- $F_{ms1}$ : lực ma sát giữa bánh chủ động và mặt sa bàn
- $F_{ms2}$ : lực ma sát giữa bánh bị động và mặt sa bàn
- $T$ : momen xoắn do động cơ gây ra

Ta có hệ phương trình:

$$\begin{cases} \sum F_x = M * a \\ \sum F_y = 0 \\ \sum M_{z/c} = 0 \end{cases}$$

$$\rightarrow \begin{cases} 2 * F_{ms1} + 2 * F_{ms2} = M * a \\ 2 * N1 + 2 * N2 = M * g \\ 2 * N2 * L2 - 2 * F_{ms2} * H - 2 * N1 * L1 - 2 * F_{ms1} * H = 0 \end{cases}$$

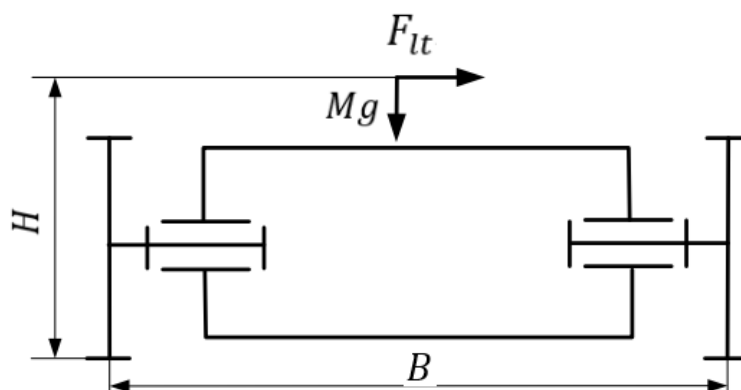
Từ hệ ta có:

$$\rightarrow \begin{cases} 2 * F_{ms1} + 2 * F_{ms2} = M * a \\ N1 = \frac{M * g * L2}{2 * L} - \frac{M * a * H}{2 * L} \\ N2 = \frac{M * g * L1}{2 * L} + \frac{M * a * H}{2 * L} \end{cases}$$

- Điều kiện để các bánh xe luôn bám mặt đường:

$$\begin{cases} N1 > 0 \\ N2 > 0 \end{cases} \rightarrow L2 * g > a * H$$

- Điều kiện để xe không lật khi vào cua:



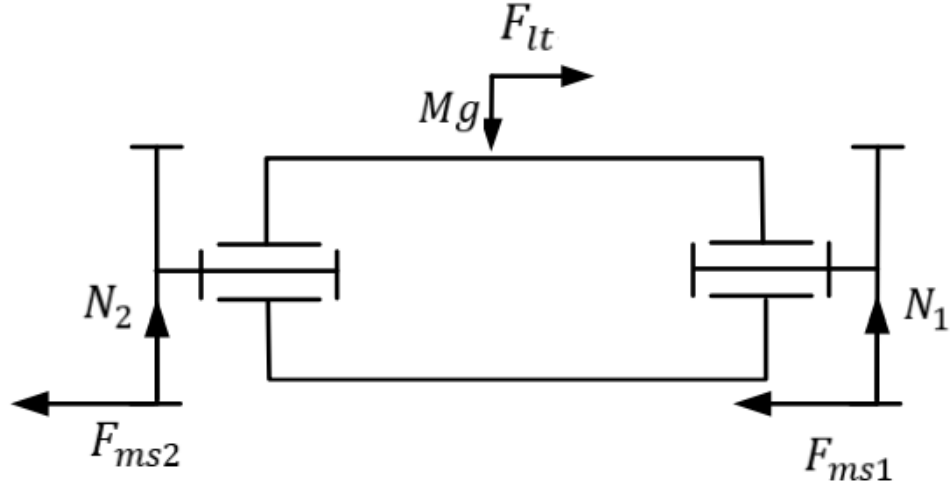
**Hình 3.2.** Sơ đồ phân tích lực của xe dè line trong điều kiện chống lật



Để xe không lật thì momen do lực li tâm gây ra không lớn hơn momen do trọng lực gây ra:

$$F_{lt} * H \leq P * \frac{B}{2} \rightarrow \frac{B}{H} \geq \frac{2 * F_{lt}}{M * g} \rightarrow \frac{B}{H} \geq \frac{2 * M * v^2}{R * M * g} \rightarrow \frac{B}{H} \geq 0.1$$

- Điều kiện để xe không trượt khi vào cua:



**Hình 3.3.** Sơ đồ phân tích lực của xe đạp trong điều kiện chống trượt

Để xe không trượt khi vào cua thì lực hướng tâm, trong trường hợp này là tổng hợp lực ma sát tác dụng lên xe lớn hơn lực li tâm:

$$\sum F_{ms} \geq M * a_n \rightarrow \mu * M * g \geq \frac{M * v^2}{R} \rightarrow v \leq \sqrt{\mu * g * R}$$

Từ các điều kiện trên, ta phân tích được các ràng buộc sau:

$$\begin{cases} L2 * g > a * H \\ \frac{B}{H} \geq 0.1 \\ v \leq \sqrt{\mu * g * R} \end{cases} (*)$$

Chọn sơ bộ

$$L = 250 \text{ mm}; L1 = 50 \text{ mm}; L2 = 200 \text{ mm}; B = 250 \text{ mm}; H = 80 \text{ mm}$$

Thế vào (\*) ta được:

$$\begin{cases} 1.962 \geq 0.075 \\ 3.125 \geq 0.1 \\ 0.5 \leq 1.566 \end{cases} \Rightarrow \text{thỏa}$$

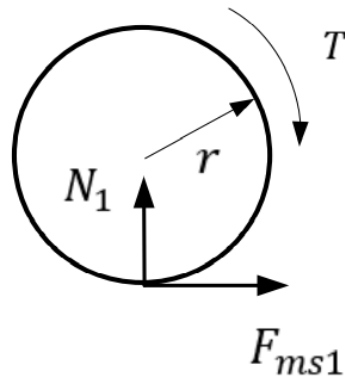
### 3.3. Tính toán chọn động cơ

Vận tốc bánh xe:

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{0.5}{0.048} = 10.42 \text{ (rad/s)}$$

Gia tốc góc

$$\varepsilon = \frac{a}{r} = \frac{0.5}{0.048} = 10.42 \text{ (rad/s}^2\text{)}$$



**Hình 3.4.** Phân tích lực trên bánh xe chủ động

Phương trình cân bằng momen tại tâm bánh xe:

$$T - F_{ms1} * r = \frac{1}{2} * m * r^2 * \varepsilon$$

$$\begin{aligned} \rightarrow T &= \frac{1}{2} * m * r^2 * \varepsilon + F_{ms1} * r = \frac{1}{2} * m * r^2 * \varepsilon + \mu * \left( \frac{1}{2} * M + m \right) * g * r \\ &= 0.2414 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Momen động cơ:

$$\tau = T * \frac{4}{3} = 0.3155 \text{ Nm}$$

Công suất mỗi động cơ:

$$Plt = \tau * \omega = 3.2867 \text{ W}$$

Số vòng quay của động cơ:

$$n = \frac{60 * v}{2 * \pi * r} * \frac{4}{3} = 132.633 \text{ rpm}$$

Thực tế hiệu suất truyền và chuyển đổi năng lượng giữa các chi tiết không thể đạt tối đa 100% như lý thuyết, do đó cần tính toán lại để chọn được động cơ phù hợp với yêu cầu thực tế, chọn:

- Hệ số an toàn:  $K = 1.3$

Như vậy công suất thực tế tối thiểu mà động cơ cần có là:

$$P = K * Plt = 4.2727 \text{ W}$$

Các thông số tính toán cho động cơ:

$$P = 4.2727 \text{ W}$$

$$\tau = 0.3155 \text{ Nm}$$

$$n = 132.633 \text{ rpm}$$

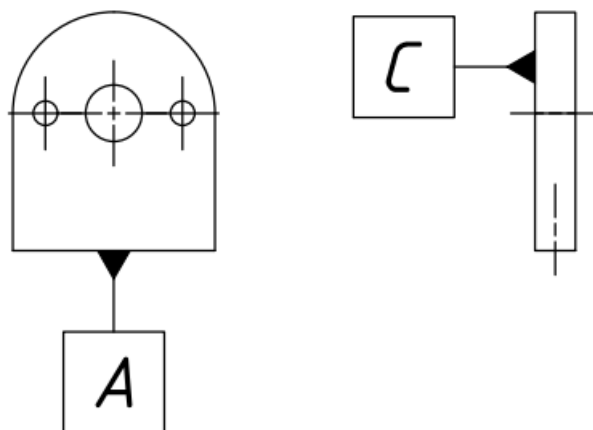
→ **Chọn động cơ:** Động cơ DC Servo GM25-370 DC Geared Motor

**Bảng 3.1.** Thông số động cơ DC Servo GM25-370 DC Geared Motor

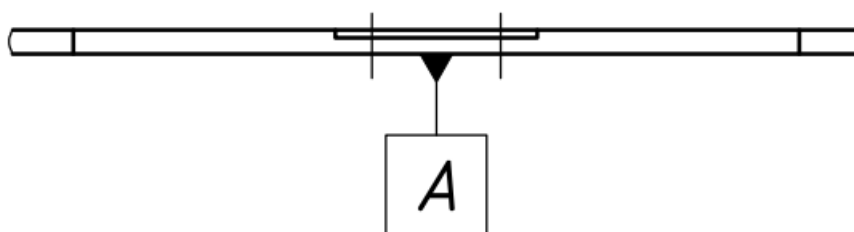
Tỉ số truyền	34:1
Dòng không tải	150 mA
Dòng chịu đựng tối đa khi có tải	750 mA
Tốc độ không tải	250 rpm
Tốc độ chịu đựng tối đa khi có tải	140 rpm
Lực kéo Moment định mức	4.3 kg.cm
Lực kéo Moment tối đa	5.2 kg.cm
Số xung Encoder	374 xung

### 3.4. Tính toán dung sai cho đồ gá động cơ và mặt bích lắp đồ gá

#### 3.4.1. Chọn mặt chuẩn đo lường và mặt chuẩn lắp ghép



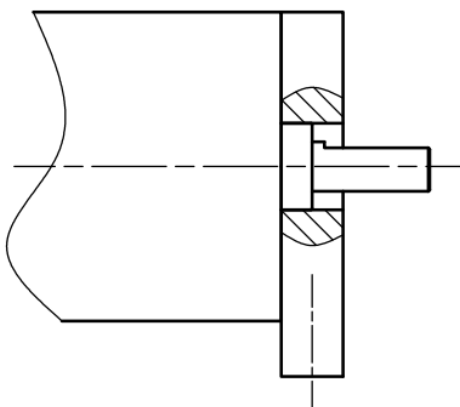
*Hình 3.5. Mặt chuẩn đồ gá động cơ*



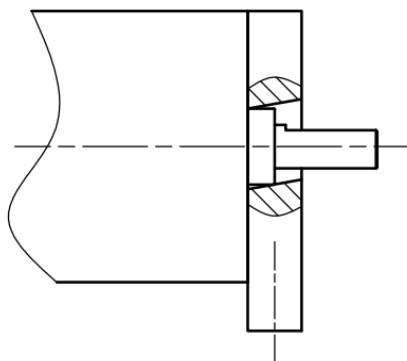
*Hình 3.6. Mặt chuẩn đế*

#### 3.4.2. Tính toán dung sai cho đồ gá động cơ

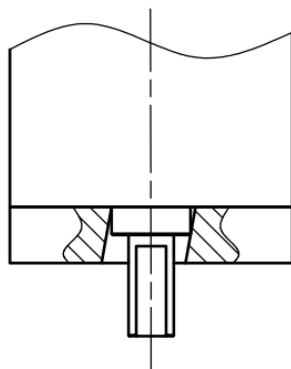
Ví dụ về sai lệch theo phương x và phương y về độ song song



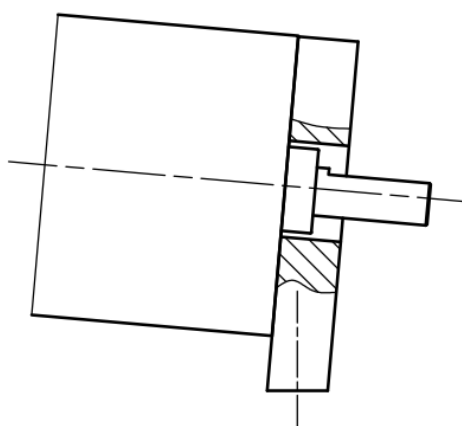
**Hình 3.7.** Không có sai lệch về độ song song



**Hình 3.8.** Sai lệch theo phương y



**Hình 3.9.** Sai lệch theo phương x



**Hình 3.10.** Độ vuông góc của mặt bích gá động cơ C với mặt chuẩn A

Xét ảnh hưởng độ vuông góc của lỗ gá mặt trụ định vị của động cơ so với mặt chuẩn C của đồ gá động cơ

Để đảm bảo sai lệch theo phương y, ta xét đến dung sai độ vuông góc với mặt chuẩn C. Tra bảng 8 trang 191 giáo trình Dung sai lắp ghép và kỹ thuật đo lường của PGS. TS. Ninh Đức Tồn với chiều dài tiêu chuẩn là 1.5 mm, cấp chính xác là 8

➔ Dung sai độ vuông góc của trục lỗ so với mặt chuẩn C là 0.01 mm

Xét ảnh hưởng độ vuông góc của lỗ gá mặt trụ định vị của động cơ so với mặt chuẩn C của đồ gá động cơ

Để đảm bảo sai lệch theo phương x, ta xét đến dung sai độ vuông góc với mặt chuẩn C. Tra bảng 8 trang 191 giáo trình Dung sai lắp ghép và kỹ thuật đo lường của PGS. TS. Ninh Đức Tồn với chiều dài tiêu chuẩn là 1.5 mm, cấp chính xác là 8

➔ Dung sai độ vuông góc của trục lỗ so với mặt chuẩn C là 0.01 mm

Xét ảnh hưởng độ vuông góc của mặt bích gá động cơ C so với mặt chuẩn A của đồ gá động cơ

Để đảm bảo sai lệch theo phương y, ta xét đến dung sai độ vuông góc với mặt chuẩn C. Tra bảng 8 trang 191 giáo trình Dung sai lắp ghép và kỹ thuật đo lường của PGS. TS. Ninh Đức Tồn với chiều dài tiêu chuẩn là 20 mm (khoảng cách từ tâm lỗ trục gá động cơ đến mặt bích gá động cơ C), cấp chính xác là 8

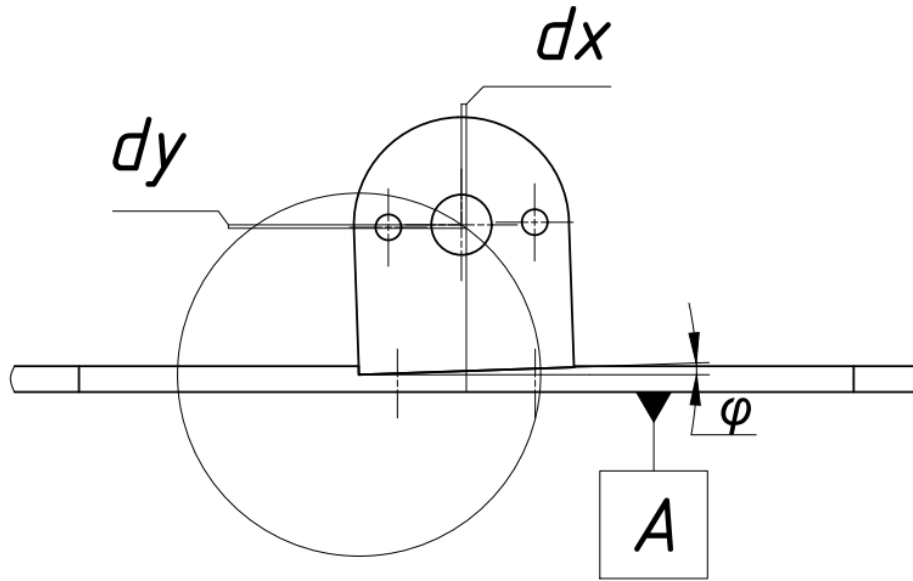
➔ Dung sai độ vuông góc của mặt bích gá động cơ C so với mặt chuẩn A là 0.16 mm

Tương tự như ở trên, ta lựa chọn độ vuông góc mặt bên hông so với mặt chuẩn A

➔ Dung sai độ vuông góc của mặt bên hông so với mặt chuẩn A là 0.16 mm

### ***3.4.3. Tính toán dung sai cho tấm đế***

Xét dung sai độ song song của mặt bích lắp động cơ với mặt chuẩn A theo phương x và phương y



**Hình 3.11.** Độ song song của mặt bích lắp động cơ với mặt chuẩn A theo phương x và phương y

Ta lựa chọn  $dx = 0.016 \text{ mm}$ ,  $dy = 0.012 \text{ mm}$ ,  $dx > dy \rightarrow$  chọn tính theo  $dy$

$$\rightarrow \varphi = \cos^{-1} \left( \frac{13 - 0.012}{\sqrt{\left(\frac{26}{2} - 0.012\right)^2 + 20^2}} \right) - \cos^{-1} \left( \frac{13}{\sqrt{\left(\frac{26}{2}\right)^2 + 20^2}} \right) = 0.034^\circ$$

$$\Delta = \tan(0.034) \times 13 = 0.0077 \text{ (mm)}$$

Ta có  $d_z = 0.02$ ,  $d_y = 0.012$ ,  $d_z > d_y \rightarrow$  tính theo  $dy$

$$\rightarrow \varphi = \cos^{-1} \left( \frac{20 - 0.012}{\sqrt{31^2 + (20 - 0.012)^2}} \right) - \cos^{-1} \left( \frac{20}{\sqrt{31^2 + 20^2}} \right) = 0.016^\circ$$

$\rightarrow$  Tính theo  $d_z$ :

$$\Delta = \tan(0.016) \times 20 = 0.0055 \text{ (mm)}$$

$\rightarrow$  lựa chọn dung sai độ song song so với mặt chuẩn A là  $\Delta = 0.006 \text{ (mm)}$

#### 3.4.4. Lựa chọn dung sai lắp ghép

Do không biết cấp chính xác và dung sai của mặt trụ định vị động cơ, giả thiết mặt trụ có cấp chính xác 7, dung sai h  $\rightarrow$  kích thước trục  $\phi 8h7 = 8_{-0.015}^0 \text{ mm}$

Vì đây là nối ghép cố định nhưng đôi khi cần tháo lắp dễ dàng và đảm bảo độ định tâm tốt nên sử dụng mối ghép trung gian  $\rightarrow$  kích thước lỗ  $\phi 8_{j_8} = 8_{-0.011}^{+0.011}mm$

Lựa chọn dung sai lắp ghép của gá động cơ với tấm đế, ở đây ta chọn dung sai lắp ghép theo hệ trục cơ bản có xê dịch là 0.02 mm, với cấp chính xác là 8. Đồng thời đây là mối ghép cố định nhưng đôi khi cần tháo lắp dễ dàng và đảm bảo độ định tâm tốt nên chọn mối ghép trung gian.  $\rightarrow \frac{K8}{h7}$



## CHƯƠNG 4: THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỆN

### 4.1. Cảm biến hồng ngoại

#### 4.1.1. Nguyên lý hoạt động

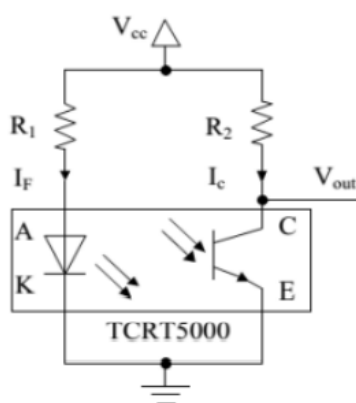
Cảm biến hồng ngoại TCRT5000 gồm hai bộ phận phát và thu. Bằng cách sử dụng đèn Led bộ phát tạo ra ánh sáng hồng ngoại có cùng bước sóng với cảm biến đang tìm kiếm, cường độ ánh sáng nhận được xác định. Dựa vào thuyết lượng tử và hiện tượng phản xạ ánh sáng: Đối với nền line trắng và đen lượng ánh sáng phản xạ có sự chênh lệch cao (line trắng phản xạ tốt hơn line đen).

#### 4.1.2. Thông số kỹ thuật của TCRT5000

**Bảng 4.1.** Thông số kỹ thuật của cảm biến TCRT5000

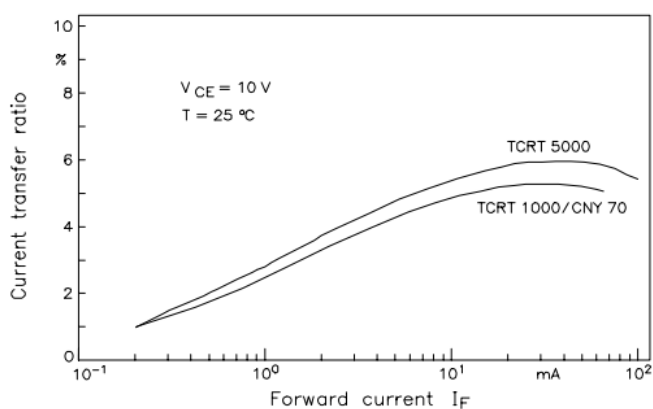
Phạm vi hoạt động	0.2 – 15 (mm)
Bước sóng phát	950 (nm)
Góc phát	16 độ
Góc thu	30 độ
Dòng $I_{cmax}$	100 (mA)
Dòng $I_{Fmax}$	60 (mA)
Kích thước bao	10.2 x 5.8 x 7 (mm)

### 4.1.3. Tính toán điện trở cho cảm biến TCRT5000



**Hình 4.1.** Sơ đồ nguyên lý cảm biến TCRT5000

Theo datasheet, để hệ số truyền  $k = I_c / I_F$  tối ưu thì  $I_F$  sẽ nằm trong khoảng từ 20mA – 40mA. Ta chọn  $I_F = 20\text{mA}$ .



**Hình 4.2.** Đồ thị thể hiện tỷ lệ biến đổi dòng với  $I_F$

Dựa vào hình dưới, với  $I_F = 20\text{mA}$  thì  $V_F$  tương đương với  $V_{AK}$  trên sơ đồ mạch sẽ là 1,1V.

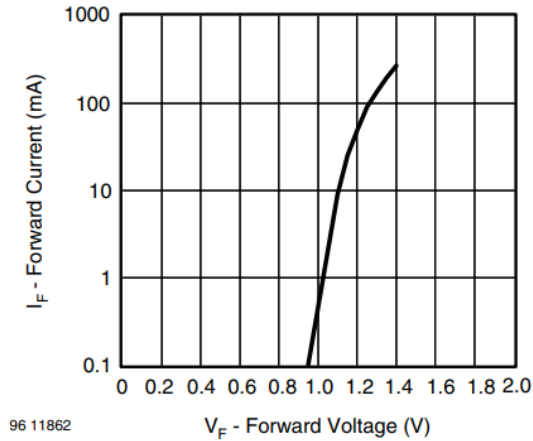
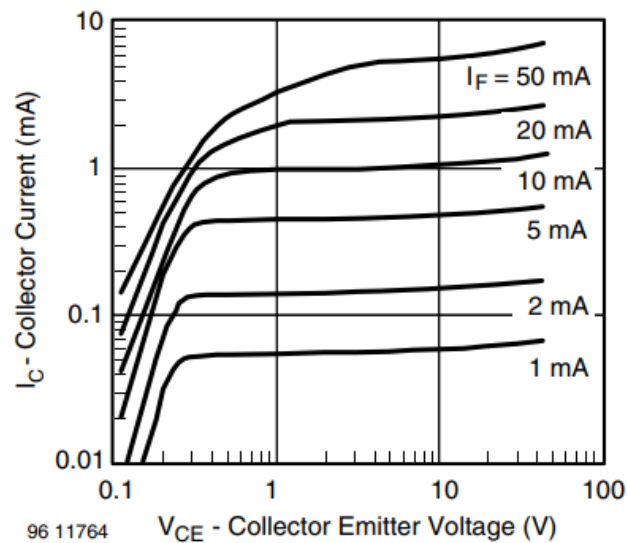


Fig. 4 - Forward Current vs. Forward Voltage

**Hình 4.3.** Đồ thị thể hiện quan hệ giữa  $I_F$  và  $V_F$

Từ đó, ta có:  $R_1 = \frac{V_{CC} - V_{AK}}{I_F} = \frac{5 - 1.1}{20 \times 10^{-3}} = 195 \Omega$

Ta chọn,  $R_1 = 220 \Omega$



**Hình 4.4.** Đồ thị thể hiện quan hệ  $I_C$  với  $V_{CE}$  tại các giá trị  $I_F$

Từ hình trên, với  $I_F = 20\text{mA}$  thì dòng  $I_C = 1\text{mA}$  và  $V_{CE} = 1\text{V}$ .

Vậy ta có:  $R_2 = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C} = \frac{5 - 1}{1 \times 10^{-3}} = 4000 \Omega$

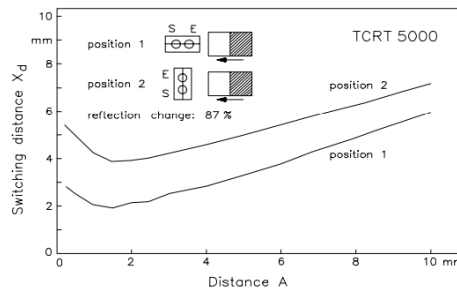
Kết hợp với thực nghiệm chọn  $R_2 = 4700 \Omega$

#### 4.1.4. Xác định cách lắp đặt cảm biến

Cảm biến TCRT5000, có 2 cách lắp đặt:

- Đèn phát và thu vuông góc với line (position 1).
- Đèn phát và thu song song với line (position 2).

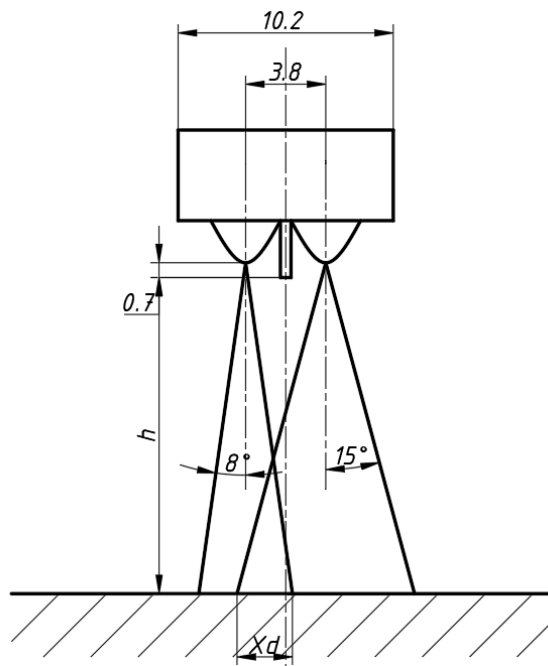
Từ hình dưới, ta thấy cách lắp đặt theo position 1 cho độ rộng vùng chuyển đổi nhỏ hơn, tương đương với độ phân giải cao hơn. Cho nên chọn cách lắp đặt position 1.



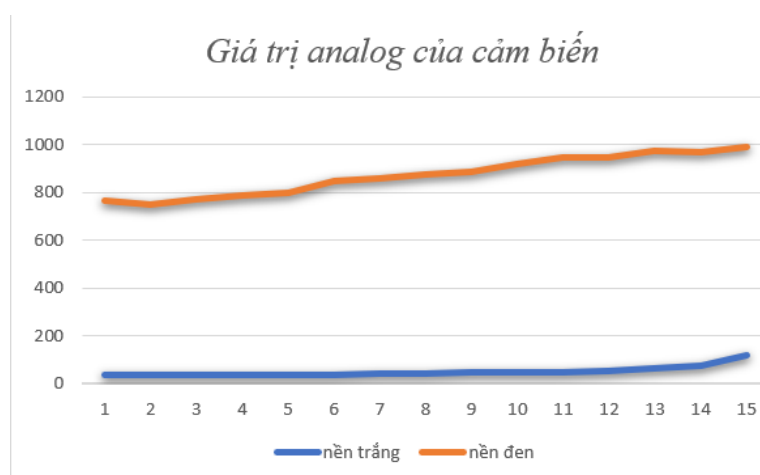
Hình 4.5. Thể hiện 2 cách đặt cảm biến

#### 4.1.5. Xác định chiều cao cảm biến

Theo datasheet của cảm biến TCRT5000, khoảng làm việc tốt nhất của cảm biến nằm trong khoảng 0.2 – 15 (mm). Do đó, chúng em tiến hành thực hiện đo giá trị analog đọc về của cảm biến với  $h$  nằm trong khoảng 1 – 15 (mm).



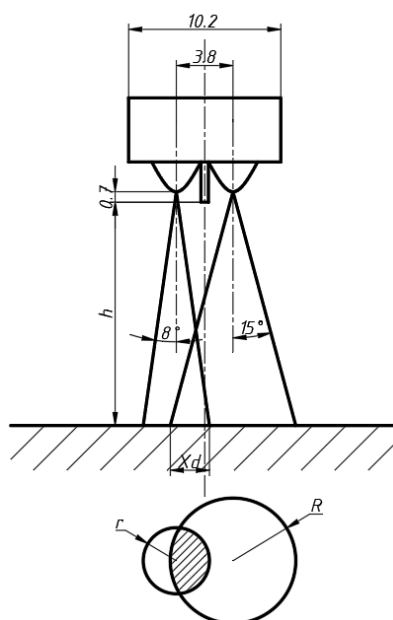
**Hình 4.6.** Thể hiện vùng phát của cảm biến



**Hình 4.7.** Đồ thị thể hiện giá trị ADC ở nền trắng và nền đen tại các khoảng cách khác nhau

Dựa vào đồ thị trên, ta thấy ở khoảng  $h = 13 \text{ mm}$ , giá trị đọc về ở nền trắng và nền đen có sự chênh lệch lớn nhất. Vậy chúng em chọn chiều cao của cảm biến với nền sa bàn là  $13 \text{ mm}$ .

#### 4.1.6. Xác định khoảng cách giữa các cảm biến

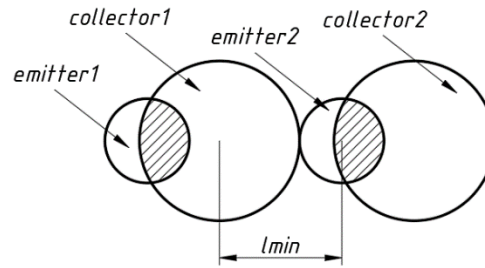


**Hình 4.8.** Thể hiện vùng phát và vùng thu của cảm biến

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 không bị giao thoa với nhau.

$$l_{min} = r + R = (h + 0.7) \times (\tan(8^\circ) + \tan(15^\circ))$$

$$l_{min} = (13 + 0,7) \times (\tan(8^\circ) + \tan(15^\circ)) \approx 5,6 \text{ mm}$$

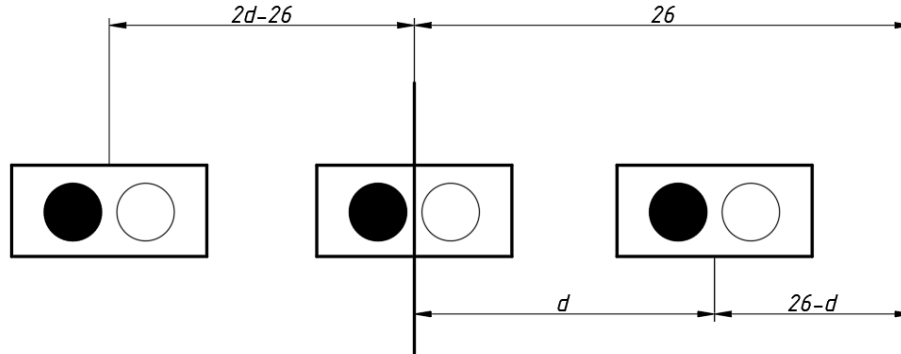


**Hình 4.9.** Khoảng cách nhỏ nhất giữa các cảm biến

Do khoảng cách giữa cực thu và phát là  $d = 3,8 \text{ mm}$ , cho nên khoảng cách tối thiểu giữa các cảm biến là:

$$l = l_m + d = 5,6 + 3,8 = 9,4 \text{ mm}$$

Với kích thước bao của cảm biến, chiều dài của cảm biến  $L = 10,2 \text{ mm} > l = 9,4 \text{ mm}$ , vậy ta chọn khoảng cách tối thiểu giữa các cảm biến là  $10,2 \text{ mm}$ .

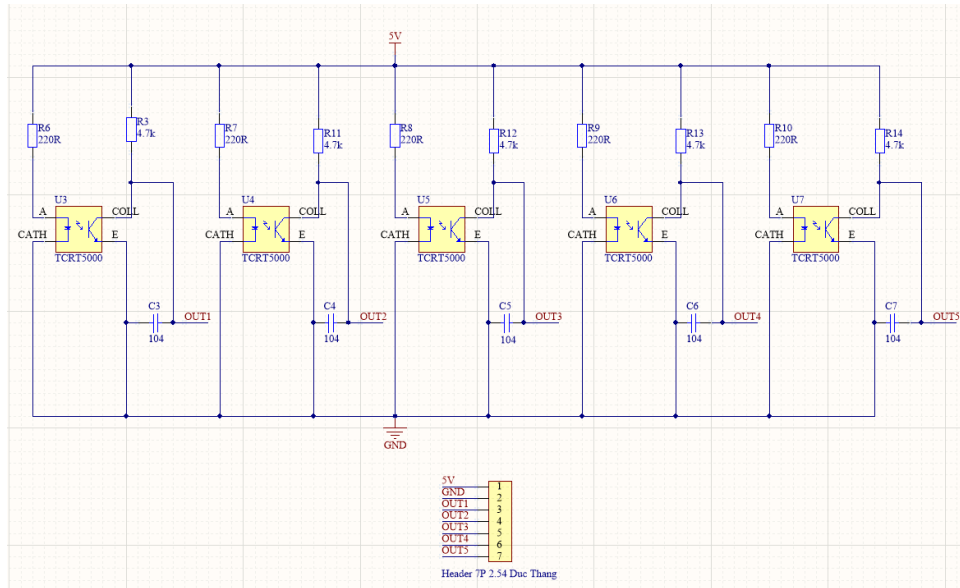


**Hình 4.10.** Mô hình biểu diễn trường hợp 2 cảm biến có vùng phát hiện trong line

Trên hình, ta thấy khi cảm biến dịch sang phải 1 đoạn  $26-d$  thì luôn có 2 led nằm trong line, do đó tín hiệu tại chỗ đó đo được sẽ là như nhau, tương tự, khi cảm biến di chuyển sang trái 1 đoạn  $2d-26$  thì chỉ có 1 led nằm trong đường line. Ta phải chọn giá trị  $d$  sao cho các khoảng cách này là nhỏ nhất với:

$$26 - d = 2d - 26 \Rightarrow d \approx 17 \text{ mm}$$

Vậy khoảng cách giữa các cảm biến là  $17 \text{ mm}$ .



**Hình 4.11.** Sơ đồ nguyên lý của mạch cảm biến TCRT5000

#### 4.1.7. Calib cảm biến

Do trong cùng một điều kiện, các cảm biến khác nhau cho về giá trị analog khác nhau cho nên việc calib cảm biến để đồng bộ giá trị analog trả về của cảm biến trong một khoảng giá trị.

Công thức calib cảm biến:

$$y_i = y_{min} + \frac{y_{max} - y_{min}}{x_{max,i} - x_{min,i}} \times (x_i - x_{min,i})$$

Trong đó:

$y_i$  là giá trị analog của cảm biến thứ  $i$  sau calib.

$y_{min}$ ,  $y_{max}$  là giá trị analog nhỏ nhất và lớn nhất mà ta mong muốn cho tất cả cảm biến.

$x_{max,i}$ ,  $x_{min,i}$  là giá trị analog lớn nhất và nhỏ nhất thực tế mà cảm biến thứ  $i$  đọc về được.

$x_i$  là giá trị analog thực tế của cảm biến thứ  $i$ .

**Bảng 4.2.** Giá trị analog đọc về tại khoảng cách 13mm

Cảm biến thứ $i$	Giá trị analog lớn nhất	Giá trị analog nhỏ nhất
------------------	-------------------------	-------------------------

1	923	59
2	862	41
3	856	41
4	892	45
5	879	44
Trung bình	882.4	46

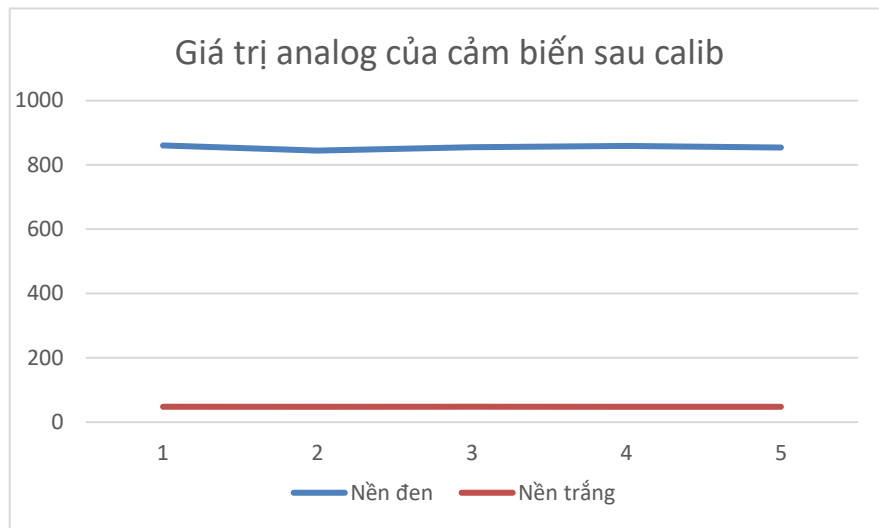
Chọn giá trị  $y_{min}$ ,  $y_{max}$  lần lượt là 46 và 885.

Giá trị analog của các cảm biến sau khi calib được cho trong bảng sau:

**Bảng 4.3. Biểu thức calib cảm biến**

Cảm biến thứ i	Biểu thức calib cảm biến
1	$y_1 = 46 + 0,9711 \times (x_1 - 59)$
2	$y_2 = 46 + 1,022 \times (x_1 - 41)$
3	$y_3 = 46 + 1,0294 \times (x_1 - 41)$
4	$y_4 = 46 + 0,9906 \times (x_1 - 45)$
5	$y_5 = 46 + 1,0048 \times (x_1 - 44)$





**Hình 4.12.** Giá trị ADC sau khi calib

#### 4.1.8. Xác định vị trí tâm cảm biến so với tâm line

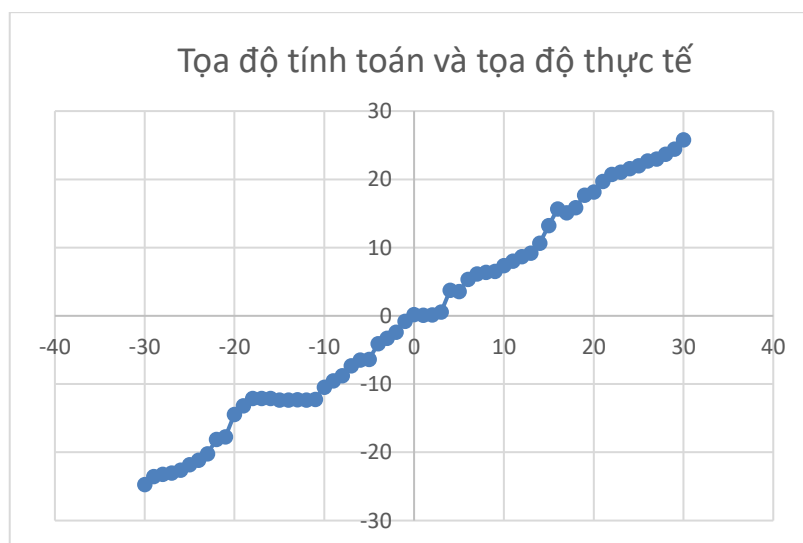
Theo công thức:

$$x = \frac{\sum_1^5 x_i \times y_i}{\sum_1^5 y_i}$$

Trong đó:  $x$  là tọa độ vị trí tâm cảm biến với tâm line theo tính toán.

$x_i$  là tọa độ của từng cảm biến.

$y_i$  là giá trị analog đọc về của từng cảm biến.

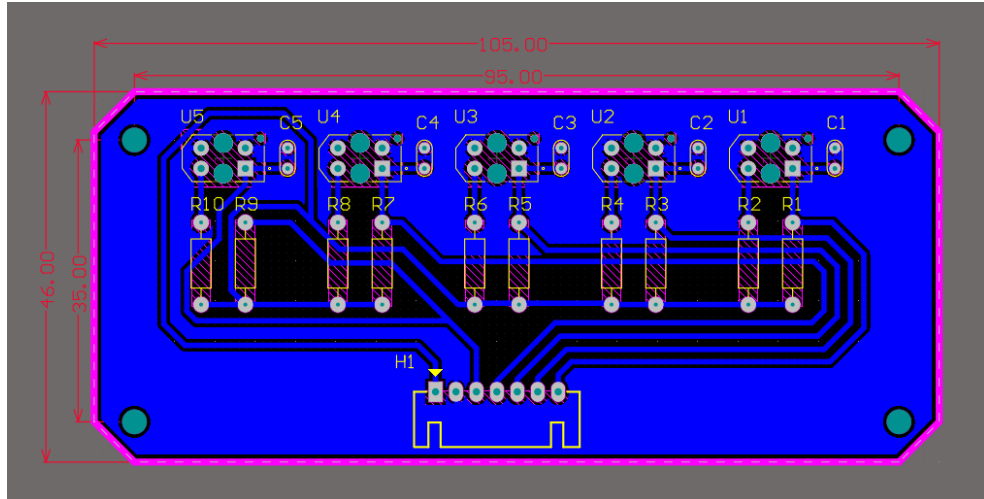


**Hình 4.13.** Vị trí tính toán theo giá trị analog và vị trí thực tế.

Phương trình tuyến tính thể hiện vị trí xấp xỉ theo trọng và vị trí thực tế:

$$y = 0,85381x - 0,048$$

Từ biểu đồ trên, sai số lớn nhất  $e = -5,92433$ .



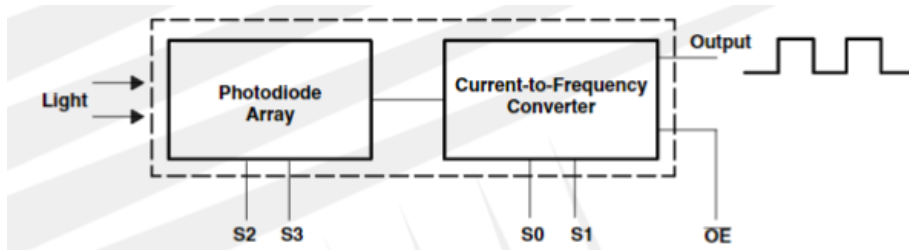
Hình

4.14.

PCB của mạch cảm biến

## 4.2. Cảm biến màu sắc TCS3200

### 4.2.1. Nguyên lý hoạt động



Hình 4.15. Nguyên lý hoạt động TCS3200

Khởi đầu tiên là mảng ma trận 8x8 gồm các photodiode. Bao gồm 16 photodiode có thể lọc màu sắc xanh dương (Blue), 16 photodiode có thể lọc màu đỏ (Red), 16 photodiode có thể lọc màu xanh lá (Green) và 16 photodiode trắng không lọc (Clear). Tất cả photodiode cùng màu được kết nối song song với nhau, và được đặt xen kẽ nhau nhằm mục đích chống nhiễu.

Bản chất của 4 loại photodiode trên như là các bộ lọc ánh sáng có màu sắc khác nhau. Có nghĩa nó chỉ tiếp nhận các ánh sáng có cùng màu với loại photodiode tương ứng và không tiếp nhận các ánh sáng có màu sắc khác.

#### 4.2.2. Thông số kỹ thuật

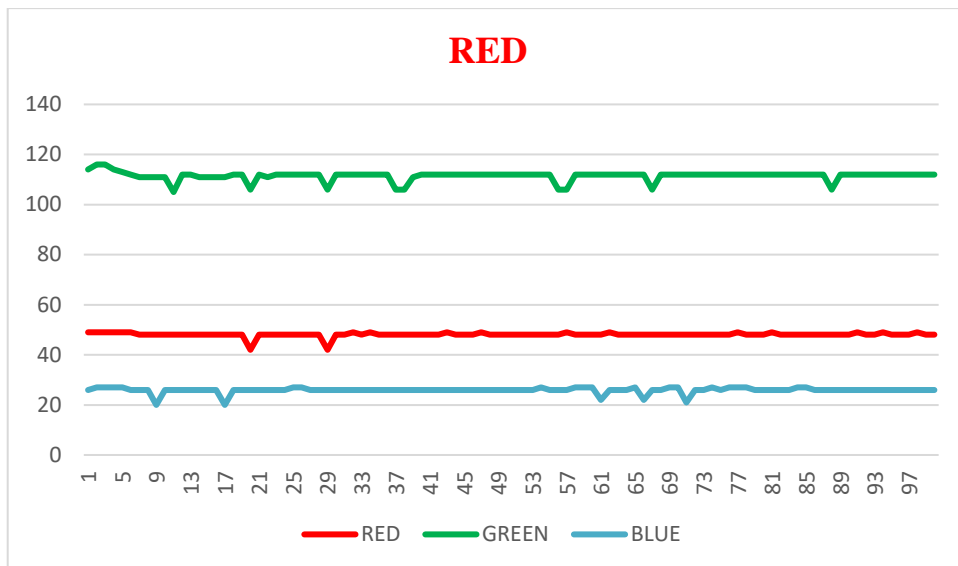
**Bảng 4.4.** Thông số kỹ thuật của TCS3200

	I/O	Chức năng
GND		Chân nối đất
VDD		Chân cấp nguồn (2,7 -5,5 V)
S1, S0	I	Chọn tỉ lệ tần số ngõ ra
S2, S3	I	Chọn loại photodiode
OE	I	Cho phép xuất tần số ở chân OUT (tích cực mức thấp)
OUT	O	Tần số thay đổi phụ thuộc cường độ và màu sắc.

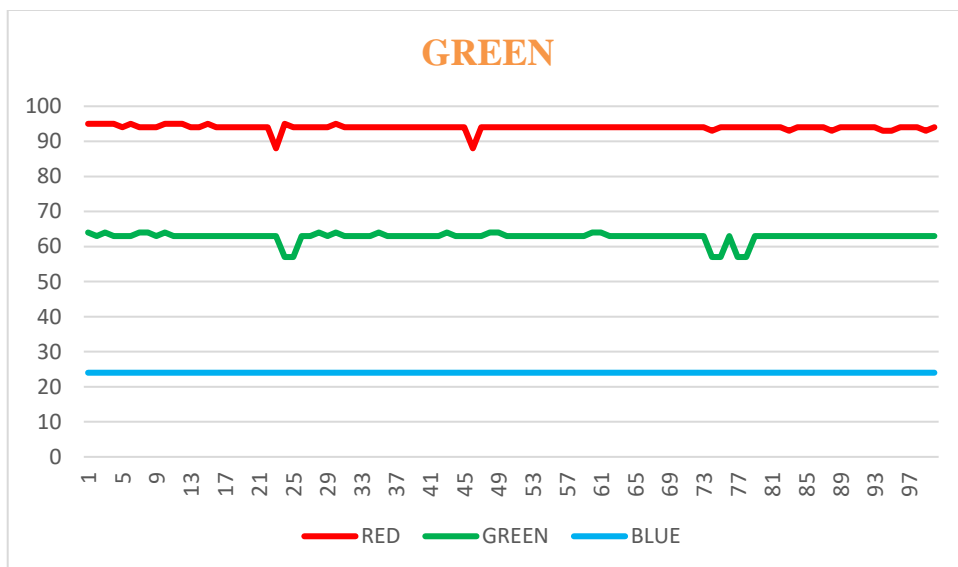
S0	S1	Tỉ lệ tần số ngõ ra	S2	S3	Loại photodiode
L	L	Power down	L	L	Màu đỏ
L	H	2%	L	H	Màu xanh lam
H	L	20%	H	L	Không có
H	H	100%	H	H	Màu xanh

#### 4.2.3. Xác định giá trị trả về của cảm biến màu

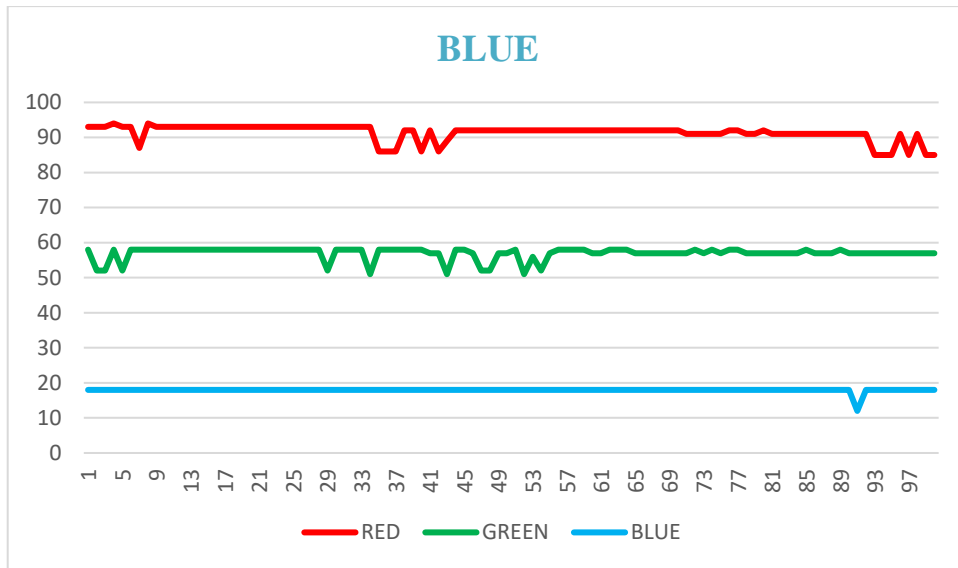
Khi chiếu ánh sáng trắng vào một vật thể bất kỳ, màu sắc của vật đó sẽ phản xạ tới bộ lọc màu của cảm biến. Như vậy để xác định vật có màu gì ta cần xác định được các giá trị tần số của các màu đỏ, xanh dương, xanh lá đọc về của cảm biến ở từng vật có màu đỏ, xanh lá, xanh dương. Tiến hành đặt lần lượt các vật có màu đỏ, xanh lá, xanh dương cách các đèn led của cảm biến 10 mm, để đọc giá trị nhận về.



**Hình 4.16.** Giá trị tần số RGB của vật màu đỏ



**Hình 4.17.** Giá trị tần số RGB của vật màu xanh lá



**Hình 4.18.** Giá trị tần số RGB của vật màu xanh dương

### 4.3. Chọn driver cho động cơ

#### 4.3.1. Yêu cầu của driver

- Dòng điện đầu ra cung cấp cho động cơ tối thiểu phải lớn dòng điện cực đại của động cơ: 0,75A.
- Đầu vào điều khiển tốc độ, chiều quay của động cơ.

#### 4.3.2. Chọn driver

Từ các yêu cầu trên nhóm chọn module driver L298N có 2 mạch cầu H riêng biệt, có thể điều khiển tốc độ, chiều quay của 2 động cơ.

**Bảng 4.5.** Thông số kỹ thuật của L298

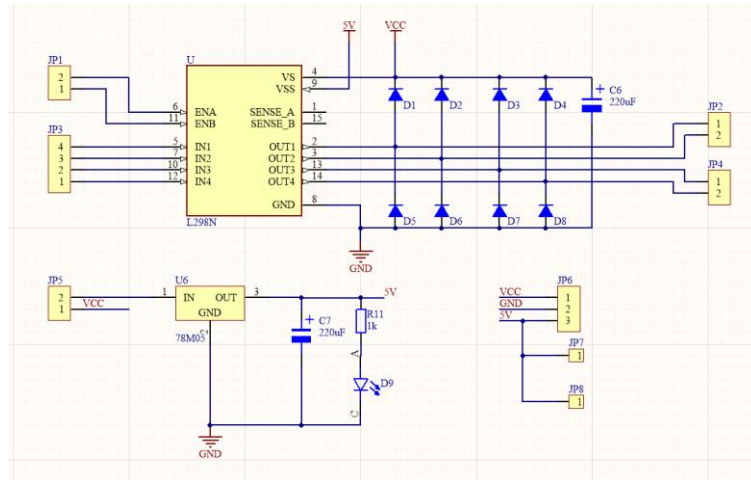
Thông số	Giá trị
Điện áp đầu vào	5 – 12 (V)
Dòng điện đầu ra	2 (A)
Điện áp tín hiệu điều khiển	5 – 7 (V)
Công suất	25 (W)

**Bảng 4.6.** Chức năng các chân trên module L298N

Tên chân	Chức năng
ENA	Điều khiển mạch cầu H, điều khiển tốc độ động cơ 1
ENB	Điều khiển mạch cầu H, điều khiển tốc độ động cơ 2
IN1	Nhận tín hiệu điều khiển từ vi điều khiển, điều khiển động cơ 1 quay chiều thuận.
IN2	Nhận tín hiệu điều khiển từ vi điều khiển, điều khiển động cơ 1 quay chiều nghịch.
IN3	Nhận tín hiệu điều khiển từ vi điều khiển, điều khiển động cơ 2 quay chiều thuận.
IN4	Nhận tín hiệu điều khiển từ vi điều khiển, điều khiển động cơ 2 quay chiều nghịch.

**Bảng 4.7.** Bảng giá trị điều khiển

INPUT		OUTPUT
ENA = 1	IN1 = 1, IN2 = 0	Động cơ 1 quay chiều thuận
	IN1 = 0, IN2 = 1	Động cơ 1 quay chiều nghịch
	IN1 = IN2	Động cơ 1 dừng
ENA = 0		Không kích hoạt cầu H.



**Hình 4.19.** Sơ đồ nguyên lý của module driver L298N

#### 4.4. Tính toán bộ nguồn và chọn mạch giảm áp

##### 4.4.1. Yêu cầu của bộ nguồn và mạch giảm áp

Bộ nguồn đáp ứng được điện áp và dòng điện cho các thiết bị của mạch điện.

Đảm bảo thời gian hoạt động của xe tối thiểu hoàn thành quá trình chạy trên sa bàn.

Pin có thể sạc.

Mạch giảm áp đáp ứng đúng điện áp và dòng điện mà thiết bị cần.

##### 4.4.2. Tính chọn số lượng pin

**Bảng 4.8.** Chọn số lượng pin

Thiết bị	Số lượng	Dòng điện	Điện áp
TCRT5000	5	20mA	5V
TCS3200	1	1,4mA	5V
PIC16F877A	3	200mA	5V
Encoder	2	100mA	5V
Động cơ 2	2	750mA	12V

Driver L298N	1	70mA	12V
Tổng		2,5A	

Từ bảng trên, nguồn pin của xe cần đáp ứng điện áp và dòng điện tiêu thụ là 12V và 2,5A. Sử dụng 4 pin Litium 18650 2500mAh mắc nối tiếp để có bộ nguồn điện áp 14,8V.

**Bảng 4.9.** Thông số kỹ thuật của pin

Thông số	Giá trị
Điện áp trung bình	3,7V
Điện áp khi sạc đầy	4,2V
Dung lượng	2500mAh
Kích thước	18x16 mm
Trọng lượng	44g

#### 4.4.3. Chọn mạch giảm áp

Chọn module LM2596 có thể giảm áp về 5V, 12V cung cấp nguồn cho module STM32F103C8T6 và hai cảm biến TCRT5000, TCS3200, Driver L298N.



**Hình 4.20.** Module giảm áp LM2596



**Bảng 4.10.** Thông số kỹ thuật của module giảm áp LM2596

Điện áp đầu vào	3V – 30V
Điện áp đầu ra	1.5V – 30V
Dòng đáp ứng tối đa	3A
Hiệu suất	92%
Công suất	15W
Kích thước	45x20x14 (mm)

Chọn module ASM1117 để giảm áp 5V về 3,3V cấp nguồn cho encoder của động cơ.



**Hình 4.21.** Module giảm áp ASM1117

## CHƯƠNG 5: MÔ HÌNH HÓA HỆ THỐNG

### 5.1. Lựa chọn mô hình tính toán

Yêu cầu đặt ra là điều khiển robot di chuyển bám line với vận tốc cho trước, tải cố định. Do đó, ta tiến hành phân tích động học để điều khiển vận tốc động cơ.

### 5.2. Xây dựng mô hình động học của robot

#### 5.2.1. Mô hình động học

Robot sử dụng 2 động cơ dẫn động nối với 2 bánh xe hai bên thân xe. Vận tốc của mỗi bánh xe được điều khiển bằng một motor độc lập.

Trong hình bên dưới:

$v_R(t)$ : vận tốc bánh xe phải

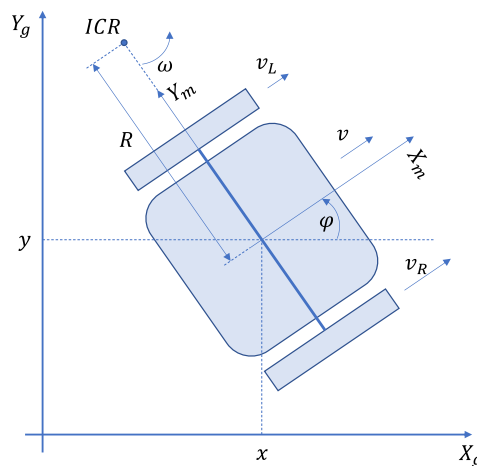
$v_L(t)$ : vận tốc bánh xe trái

$r$ : bán kính bánh xe

$L$ : khoảng cách giữa hai bánh xe

$R(t)$ : bán kính quay tức thời của robot (khoảng cách từ điểm chính giữa hai bánh xe đến tâm quay tức thời của robot)

$\omega$ : vận tốc góc robot quanh tâm quay tức thời



**Hình 5.1.** Mô hình động học

Ta có

$$\omega = \frac{v_L(t)}{R(t) - \frac{L}{2}}$$

$$\omega = \frac{v_R(t)}{R(t) + \frac{L}{2}}$$

Suy ra:

$$\omega(t) = \frac{v_R(t) - v_L(t)}{L}$$

$$R(t) = \frac{L}{2} \frac{v_R(t) + v_L(t)}{v_R(t) - v_L(t)}$$

Vận tốc tiếp tuyến của robot:

$$v(t) = \omega(t)R(t) = \frac{v_R(t) + v_L(t)}{2}$$

Vận tốc tiếp tuyến của các bánh xe:  $v_L(t) = r\omega_L(t)$  và  $v_R(t) = r\omega_R(t)$ . Trong đó  $\omega_L(t)$  và  $\omega_R(t)$  lần lượt là vận tốc góc của bánh xe trái và bánh xe phải quanh trục quay của nó.

Xét trên hệ tọa độ gắn với robot, động học robot có thể được biểu diễn như sau:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_m(t) \\ \dot{y}_m(t) \\ \dot{\varphi}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{X_m}(t) \\ v_{Y_m}(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{r}{2} & \frac{r}{2} \\ 0 & 0 \\ -\frac{r}{L} & \frac{r}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_L(t) \\ \omega_R(t) \end{bmatrix}$$

Xét trên hệ tọa độ toàn cục, động học robot có thể biểu diễn bởi:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ \dot{y}(t) \\ \dot{\varphi}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\varphi(t)) & 0 \\ \sin(\varphi(t)) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Trong đó  $v_t(t)$  và  $\omega(t)$  là biến điều khiển.

### 5.2.2. Động học thuận

Phương trình động học thuận vị trí theo thời gian của robot được biểu diễn như sau:

$$x(t) = \int_0^t v(t) \cos(\varphi(t)) dt$$

$$y(t) = \int_0^t v(t) \sin(\varphi(t)) dt$$

$$\varphi(t) = \int_0^t \omega(t) dt$$

Với thời gian lấy mẫu  $T_s$  nhỏ, thực tế có thể xem vận tốc  $v$  và  $\omega$  là hằng số trong thời gian  $T_s$ . Phương trình trên có thể biểu diễn dưới dạng phương pháp số Euler. Tại các thời điểm tức thời  $t = kT_s$ ,  $k = 0, 1, 2 \dots$

$$x(k+1) = x(k) + v(k)T_s \cos(\varphi(k))$$

$$y(k+1) = y(k) + v(k)T_s \sin(\varphi(k))$$

$$\varphi(k+1) = \varphi(k) + \omega(k)T_s$$

### 5.2.3. Động học nghịch

Chuyển động cơ bản của robot bao gồm chuyển động tịnh tiến và chuyển động quay tại chỗ. Những chuyển động phức tạp hơn ta có thể đưa về hai chuyển động này.

Đối với chuyển động quay tại chỗ, với  $v_R(k) = -v_L(k)$  ta có:

$$x(k+1) = x(k)$$

$$y(k+1) = y(k)$$

$$\varphi(k+1) = \varphi(k) + \frac{2v_R(k)T_s}{L}$$

Đối với chuyển động tịnh tiến, với  $v_R(k) = v_L(k)$  ta có:

$$x(k+1) = x(k) + v_R(k) \cos(\varphi(k))T_s$$

$$y(k+1) = y(k) + v_R(k) \sin(\varphi(k)) T_s$$

$$\varphi(k+1) = \varphi(k)$$

Giả sử ban đầu robot ở trên quỹ đạo đường đi, mô hình động học chính xác và không có các yếu tố gây nhiễu, ta có thể tính được vận tốc như sau:

$$v(t) = \pm \sqrt{\dot{x}^2(t) + \dot{y}^2(t)}$$

Dấu của vận tốc xác định dựa vào chiều quy ước trước đó.

Góc lái được xác định dựa vào biểu thức:

$$\varphi(t) = \arctan2(\dot{y}(t), \dot{x}(t)) + l\pi \quad (2.13)$$

Trong đó  $l \in \{0, 1\}$  định nghĩa hướng di chuyển (0 cho trường hợp tiến và 1 cho trường hợp lùi).

Đạo hàm biểu thức 2.13 thu được vận tốc góc  $\omega(t)$ :

$$\omega(t) = \frac{\dot{x}(t)\ddot{y}(t) - \dot{y}(t)\ddot{x}(t)}{\dot{x}^2(t) + \dot{y}^2(t)} = v(t)\kappa(t)$$

Trong đó  $\kappa(t)$  là độ cong của quỹ đạo.

Từ các biểu thức trên, khi đã có quỹ đạo mong muốn  $x(t)$  và  $y(t)$ , thông số đầu vào điều khiển robot  $v(t)$  và  $\omega(t)$  được xác định. Điều kiện là tồn tại đạo hàm cấp hai của quỹ đạo và vận tốc tiếp tuyến khác không.

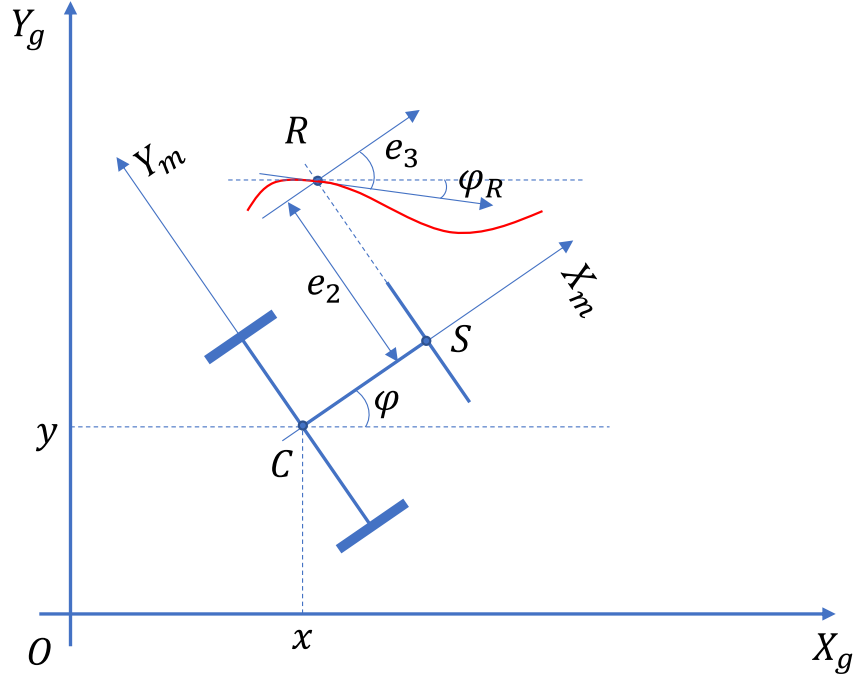
**Thực tế**, nếu bánh xe robot lăn không trượt, có thể xác định  $v, \omega$  của robot dựa vào vận tốc góc động cơ (tính toán từ số xung encoder gắn với trục động cơ trả về).

### 5.3. Mô hình toán xác định sai số

Trong hệ tọa độ toàn cục:

- Tọa độ tâm dây cảm biến  $S(x_S, y_S)$ , điểm này chính là điểm bám line.
- Điểm chính giữa hai bánh xe  $C(x_C, y_C)$ .
- Hướng di chuyển của robot hợp với trục  $OX_g$  góc lượng giác  $\varphi$
- Điểm reference  $R(x_R, y_R)$ , là giao điểm của đường thẳng đi qua dây cảm biến và đường line.

- Hướng di chuyển reference có phương tiếp tuyến với đường line tại điểm reference, hợp với trục  $OX_g$  góc lượng giác  $\varphi_R$ .
- Định nghĩa các sai số, dựa vào điểm bám line  $S$  và điểm reference  $R$ :
  - +  $e_1$ : sai số theo phương  $X_m$ , với cách định nghĩa này  $e_1 = 0$
  - +  $e_2$ : sai số theo phương  $Y_m$ , bằng độ dài đại số  $SR$  khi chiếu lên trục  $CY_m$
  - +  $e_3$ : sai số góc, được xác định bằng biểu thức  $e_3 = \varphi_R - \varphi$ .

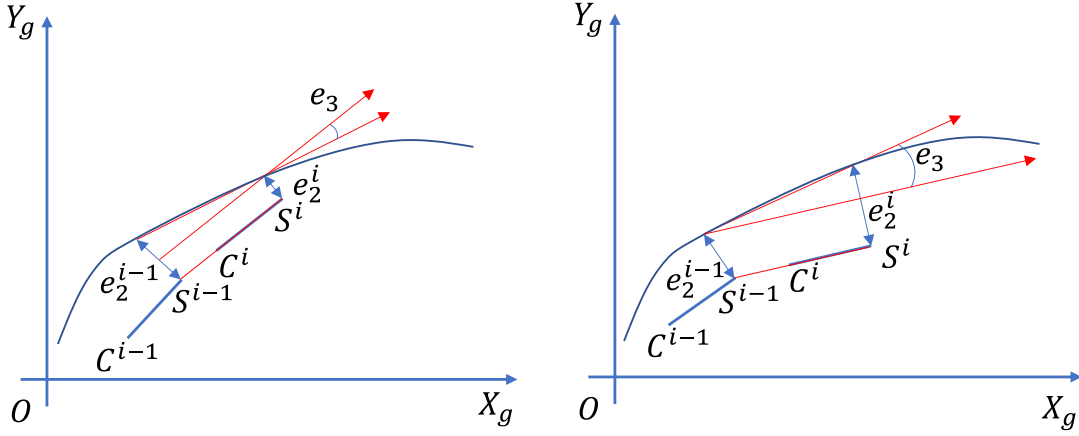


**Hình 5.2.** Định nghĩa các sai số

*Phương pháp xác định  $e_3$ :*

Với vận tốc tối đa là 400 mm/s, thời gian lấy mẫu 0.05 s, quãng đường di chuyển lớn nhất giữa hai lần lấy mẫu là 20 mm. Bán kính cong nhỏ nhất của line là 500 mm. Ta có  $20 \ll 500$ , do đó có thể xem khoảng line giữa hai điểm reference liên tiếp là đoạn thẳng.

Gọi  $e_2^{i-1}, S^{i-1}, C^{i-1}$  và  $e_2^i, S^i, C^i$  lần lượt là các giá trị của robot tại thời điểm  $i - 1$  và thời điểm  $i$ . Giả sử vận tốc  $v$  của robot giữa hai thời điểm trên không đổi và bằng  $v_{i-1}$ , khoảng thời gian giữa hai thời điểm là  $T_s$ . Khi đó khoảng cách giữa  $S^i$  và  $S^{i-1}$  là  $d(S^{i-1}, S^i) = v_{i-1}T_s$



**Hình 5.3. Xác định  $e_3$**

Có thể xấp xỉ  $e_3$  như sau

$$\tan e_3 \approx \frac{e_2^i - e_2^{i-1}}{d(S^{i-1}, S^i)} = \frac{e_2^i - e_2^{i-1}}{v_{i-1} T_s}$$

Giả định rằng robot di chuyển ổn định, chênh lệch giữa  $e_2^i$  và  $e_2^{i-1}$  không lớn, do đó  $\tan e_3 \approx e_3$ .

Suy ra:

$$e_3 \approx \frac{e_2^i - e_2^{i-1}}{v_{i-1} T_s}$$

#### 5.4. Xây dựng hàm truyền cho động cơ

Robot sử dụng hai động cơ giảm tốc GM25 Encoder 250rpm. Tỷ số truyền hộp số 1:34, đĩa encoder 11 xung / vòng.

##### 5.4.1. Xác định thời gian lấy mẫu động cơ

Yêu cầu đặt ra là sai số vận tốc trực đầu ra động cơ đọc được là  $\pm 2$  rpm. Gọi  $T_s$  (s) là thời gian lấy mẫu, vận tốc động cơ ở trực đầu ra là  $v_o$  rpm

Số xung encoder trả về trong khoảng thời gian  $T_s$  là:

$$x = \frac{v_o \times 34 \times T_s \times 11}{60}$$

Sử dụng chế độ 4x của vi điều khiển STM32, 1 xung encoder sẽ được counter của vi điều khiển đếm là 4. Do đó, counter vi điều khiển đọc được là  $4x$ .

$$c = 4 \times \frac{v_o \times 34 \times T_s \times 11}{60}$$

Để vi điều khiển nhận ra sự thay đổi vận tốc của động cơ, thì counter phải thay đổi ít nhất 1 đơn vị.

$$\Delta c = \frac{1496 \times \Delta v_o \times T_s}{60}$$

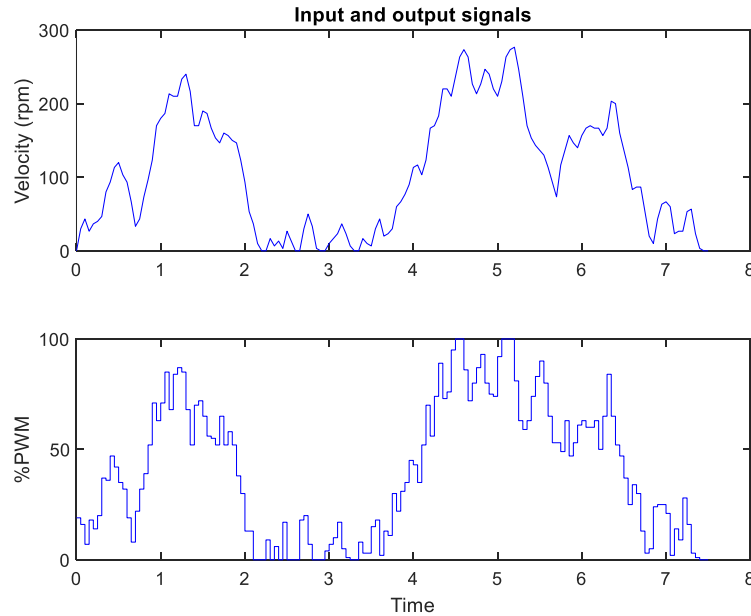
Nếu  $\Delta v_o = 2$  rpm,

$$\Delta c = \frac{1496 \times T_s}{30} \geq 1 \rightarrow T_s \geq \frac{30 \times 1}{1490} = 0.02 \text{ s}$$

Cần tính đến thời gian giao tiếp, gửi dữ liệu vận tốc các động cơ về máy tính trong quá trình hoạt động của robot. Do đó, chọn thời gian lấy mẫu động cơ là  $T_s = 0.05$  s.

#### 5.4.2. Lấy mẫu động cơ

Cấp tín hiệu PWM ngẫu nhiên cách nhau 0.05s và thay đổi trong phạm vi  $\pm 20\%$  so với giá trị trước đó, đồng thời ghi nhận vận tốc động cơ. Dữ liệu thu thập có 150 mẫu.



**Hình 5.4.** Kết quả lấy mẫu động cơ

#### 5.4.3. Xác định hàm truyền động cơ

Dựa vào đồ thị thu được, có thể dự đoán tồn tại mối quan hệ tuyến tính giữa PWM cấp vào và vận tốc động cơ thu được.



Khi đó hàm truyền có dạng:

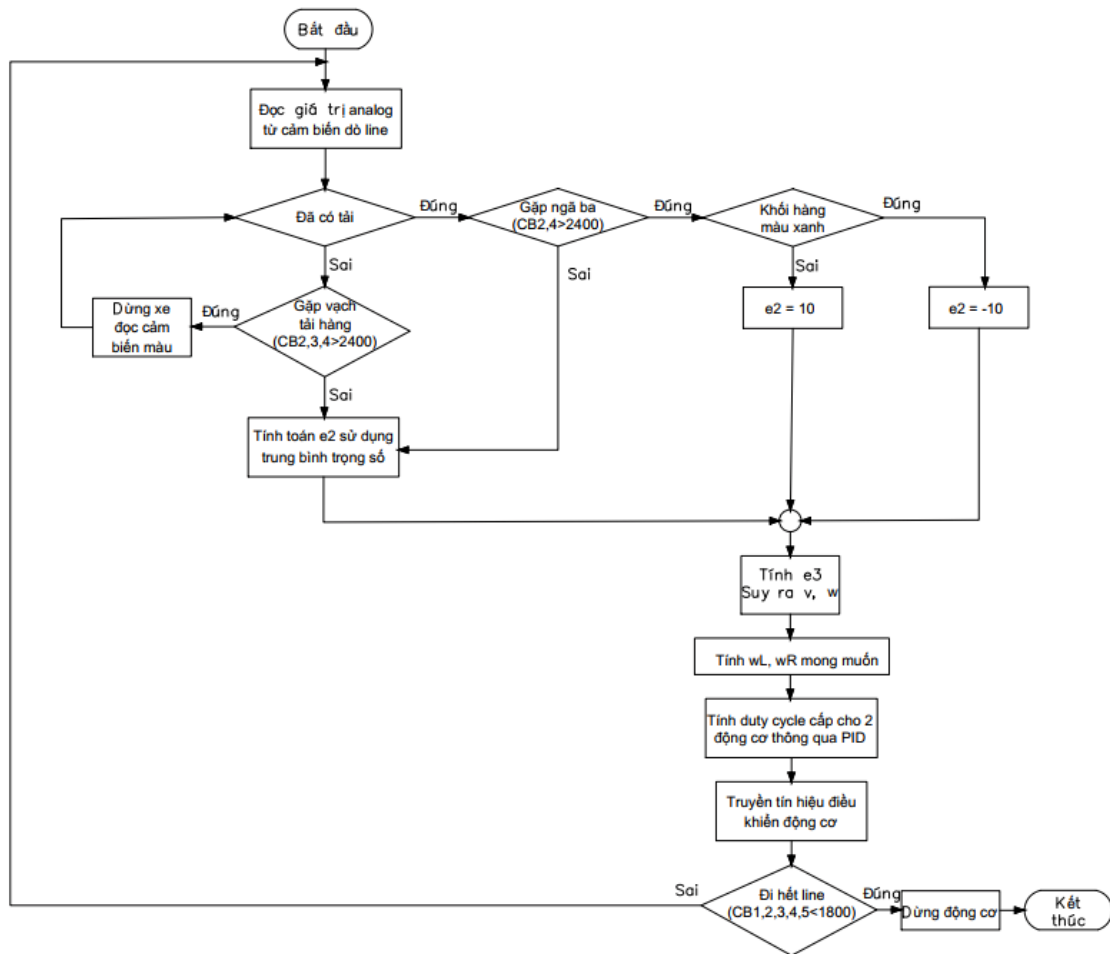
$$G(s) = \frac{a}{s + b}$$

Sử dụng công cụ System Identification của MATLAB để ước lượng hàm truyền, với dữ liệu thu được, hàm truyền tìm được là:

$$G(s) = \frac{56.39}{s + 21.32}$$

## CHƯƠNG 6: THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN

### 6.1. Lưu đồ giải thuật điều khiển hệ thống



Hình 6.1. Lưu đồ giải thuật điều khiển của hệ thống

### 6.2. Tiêu chí lựa chọn bộ điều khiển và thiết kế bộ điều khiển

#### 6.2.1. Bộ điều khiển bám line

Với yêu cầu đặt ra, robot di chuyển theo line với sai số  $|e| \leq 3 \text{ mm}$ .

Bộ điều khiển có các thông số sau:

Thông số đầu vào:  $e_1$ ,  $e_2$  và  $e_3$ , đã được định nghĩa ở mô hình toán học xác định sai số

Thông số đầu ra: vận tốc dài  $v$  và vận tốc góc  $\omega$  của robot, đây cũng chính là biến điều khiển.

Tiêu chí thiết kế bộ điều khiển bám line:

Sử dụng bộ điều khiển bám line theo tiêu chuẩn ổn định Lyapunov.

$$\begin{cases} v = v_R \cos e_3 + k_1 e_1 \\ \omega = k_2 v_R e_2 + \omega_R + k_3 \sin e_3 \end{cases}$$

Từ giá trị  $v$  và  $\omega$  tính toán được có thể suy ra vận tốc cần thiết để đưa vào điều khiển hai động cơ:

$$\omega_R = \frac{0.5(2v + \omega L)}{2\pi R} \times 60 \text{ (rpm)}$$

$$\omega_L = \frac{0.5(2v - \omega L)}{2\pi R} \times 60 \text{ (rpm)}$$

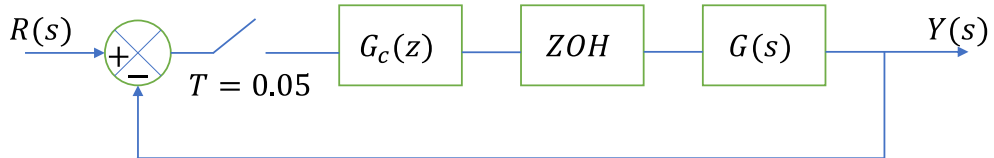
Với  $L$  là khoảng cách giữa hai bánh xe,  $R$  là bán kính của bánh xe.

### 6.2.2. Bộ điều khiển vận tốc cho động cơ

Hàm truyền động cơ là

$$G(s) = \frac{56.39}{s + 21.32}$$

Hệ điều khiển động cơ có thể xem là hệ điều khiển tuyến tính. Do đó sử dụng bộ điều khiển PID để điều khiển vận tốc.



**Hình 6.2.** Sơ đồ điều khiển vòng kín động cơ

Sơ đồ điều khiển vòng kín động cơ như hình trên, tín hiệu đầu vào  $R(s)$  là vận tốc mong muốn,  $Y(s)$  là giá trị vận tốc đáp ứng của động cơ.

Sai số trả về được đưa vào khối điều khiển  $G_c(z)$ , với thời gian  $T_s = 0.05s$ , tín hiệu sau khối  $G_c(z)$  đưa vào khâu giữ bậc một  $ZOH$ , đầu ra của khối  $ZOH$  là %PWM cấp cho động cơ.

Bộ điều khiển PID rời rạc

$$G_c(z) = P + I \times T_s \times \frac{1}{z-1} + \frac{D}{T_s} \times \frac{z-1}{z} = P + \frac{0.05I}{z-1} + 20D \times \frac{z-1}{z}$$

Phương trình đặc trưng của hệ là:

$$1 + G_c(z)G(z) = 0$$

Với

$$G(z) = (1 - z^{-1})Z \left\{ \frac{G(s)}{s} \right\}$$

$$G(z) = (1 - z^{-1})Z \left\{ \frac{56.39}{s(s + 21.32)} \right\}$$

$$G(z) = (1 - z^{-1}) \times \frac{56.39}{21.32} \times \frac{z(1 - e^{-21.32 \times 0.05})}{(z - 1)(z - e^{-21.32 \times 0.05})}$$

$$G(z) = \frac{1.73}{z - 0.34}$$

Suy ra phương trình đặc trưng

$$1 + \left( P + \frac{0.05I}{z - 1} + 20D \times \frac{z - 1}{z} \right) \frac{1.73}{z - 0.34} = 0$$

$$\Rightarrow z(z - 1)(z - 0.34) + 1.73Pz(z - 1) + 0.0865Iz + 34.6D(z - 1)^2 = 0$$

$$\Leftrightarrow z^3 + (-1.34 + 1.73P + 34.6D)z^2$$

$$+ z(0.34 - 1.73P + 0.0865I - 69.2D) + 34.6D = 0 (*)$$

Phương trình (\*) viết lại thành:

$$(z - a)(z - z_1)(z - z_2) = 0 (**)$$

Vận tốc góc bánh xe khi robot chạy ổn định nằm trong ở khoảng 80 – 120 rpm. Do đó, cần thời gian để động cơ đáp ứng khi tăng vận tốc từ 0 lên khoảng giá trị trên.

Bộ điều khiển với độ vọt lố  $POT = 20\%$  và thời gian quá độ (tiêu chuẩn 5%) là  $t_{qd} = 0.15s$ .

Ta có:

$$POT = \exp \left( - \frac{\xi \pi}{\sqrt{1 - \xi^2}} \right) \times 100\%$$

$$t_{qd} = \frac{3}{\xi \omega_n}$$

Suy ra:

$$\xi = -\frac{\ln 0.2}{\sqrt{\pi^2 + \ln^2 0.2}} = 0.456$$

$$\omega_n = \frac{3}{\xi \times t_{qd}} = 43.86$$

Cặp nghiệm phức phương trình (\*) có dạng:

$$z_{1,2} = r e^{\pm j\varphi}$$

$$\text{Với } r = e^{-T\xi\omega_n} = 0.368; \varphi = T\omega_n\sqrt{1 - \xi^2} = 1.952$$

Suy ra

$$z_{1,2} = 0.368 e^{\pm j1.952} = -0.137 \pm 0.342j$$

Phương trình (\*\*) trở thành:

$$(z - a)(z^2 + 0.274z + 0.1357) = 0$$

$$z^3 + (0.274 - a)z^2 + (0.1357 - 0.274a)z - 0.1357a = 0 (***)$$

Kết hợp (\*) và (\*\*\*) ta có :

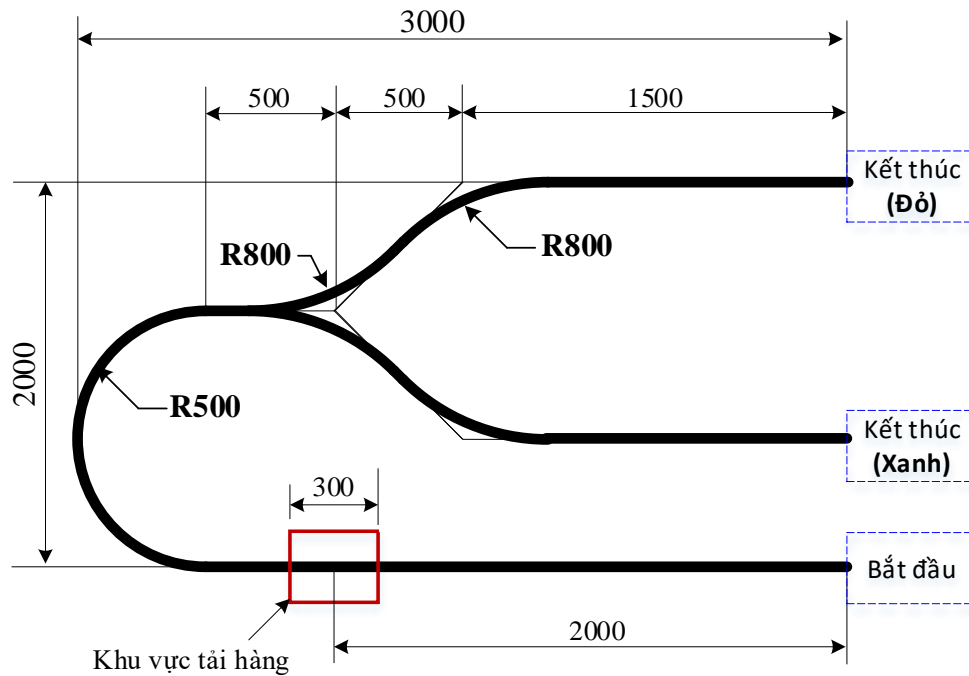
$$\begin{cases} 0.274 - a = -1.34 + 1.73P + 34.6D \\ 0.1357 - 0.274a = 0.34 - 1.73P + 0.0865I - 69.2D \\ -0.1357a = 34.6D \end{cases}$$

Cho  $I = 5$ , giải hệ trên ta thu được  $P = 0.587, D = -0.003$ .

## CHƯƠNG 7: MÔ PHỎNG HOẠT ĐỘNG CỦA ROBOT

### 7.1. Vẽ sa bàn

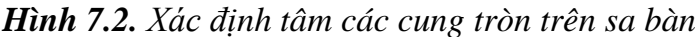
Sa bàn đề cho như hình bên dưới:



**Hình 7.1.** Sa bàn

Để vẽ sa bàn trong matlab, cần xác định được điểm bắt đầu và kết thúc của các đoạn thẳng, cung tròn. Đặt hệ tọa độ như hình bên dưới, gốc tọa độ là điểm “Bắt đầu”.

Đối với cung tròn cần xác định được tâm và bán kính.


$$AB = \frac{C_1 A}{\tan \frac{135^\circ}{2}} = \frac{800}{\tan \frac{135^\circ}{2}}$$
$$\begin{cases} x_{C_1} = -2000 - AB = -2000 - \frac{800}{\tan 67.5^\circ} \\ y_{C_1} = 1000 + C_1A = 1000 + 800 = 1800 \end{cases}$$
$$\begin{cases} x = x_{c_1} + 800 \cos \alpha \\ y = y_{c_1} + 800 \sin \alpha \end{cases}, -90^\circ \leq \alpha \leq -45^\circ$$
$$\begin{cases} x_{C_2} = -1500 + \frac{800}{\tan 67.5^\circ} \\ y_{C_2} = 1500 - 800 = 700 \end{cases}$$

Phương trình tham số cung tròn EG là

$$\begin{cases} x = x_{C_2} + 800 \cos \alpha \\ y = y_{C_2} + 800 \sin \alpha \end{cases}, 90^\circ \leq \alpha \leq 135^\circ$$

Như vậy, ta xác định được phương trình tham số của toàn bộ sa bàn.

$$\begin{cases} x = t \\ y = 0 \end{cases}, -2500 \leq t \leq 0$$

$$\begin{cases} x = -2500 + 500 \cos \varphi \\ y = 500 + 500 \sin \varphi \end{cases}, 90^\circ \leq \varphi \leq 270^\circ$$

$$\begin{cases} x = t \\ y = 1000 \end{cases}, -2500 \leq t \leq -2000 - \frac{800}{\tan 67.5^\circ}$$

*Đường hàng màu đỏ*

$$\begin{cases} x = x_{C_1} + 800 \cos \alpha \\ y = y_{C_1} + 800 \sin \alpha \end{cases}, -90^\circ \leq \alpha \leq -45^\circ$$

$$\begin{cases} x = t \\ y = 3000 + t \end{cases}, x_{C_1} + 800 \cos(-45^\circ) \leq t \leq x_{C_2} + 800 \cos 135^\circ$$

$$\begin{cases} x = x_{C_2} + 800 \cos \alpha \\ y = y_{C_2} + 800 \sin \alpha \end{cases}, 90^\circ \leq \alpha \leq 135^\circ$$

$$\begin{cases} x = t \\ y = 1500 \end{cases}, x_{C_2} \leq t \leq 0$$

*Đường hàng màu xanh*

$$\begin{cases} x = x_{C_1} + 800 \cos \alpha \\ y = 200 + 800 \sin \alpha \end{cases}, 45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$$

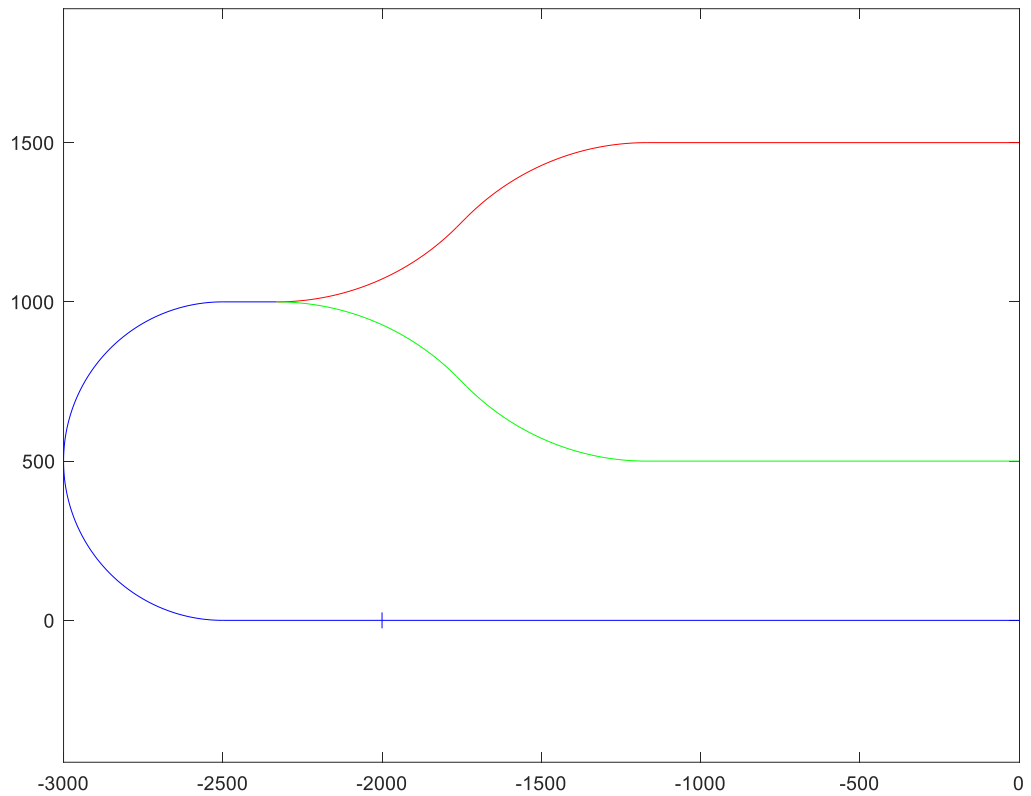
$$\begin{cases} x = t \\ y = -1000 - t \end{cases}, x_{C_1} + 800 \cos(-45^\circ) \leq t \leq x_{C_2} + 800 \cos 135^\circ$$

$$\begin{cases} x = x_{C_2} + 800 \cos \alpha \\ y = 1300 + 800 \sin \alpha \end{cases}, -135^\circ \leq \alpha \leq -90^\circ$$

$$\begin{cases} x = t \\ y = 500 \end{cases}, x_{C_2} \leq t \leq 0$$

Kết quả sau khi vẽ trên matlab ta được:



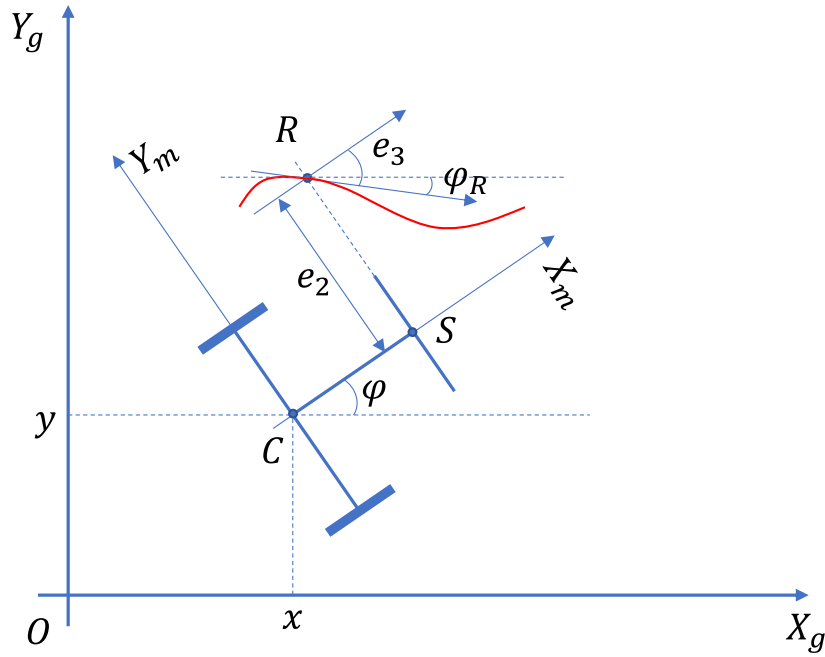


**Hình 7.3.** *Sa bàn được vẽ hoàn chỉnh trên MATLAB*

## 7.2. Các bước thực hiện mô phỏng điều khiển

### 7.2.1. Xác định sai số

Đối với mô phỏng trên matlab, sai số  $e_2$  được xác định bằng cách như hình vẽ bên dưới



**Hình 7.4.** Xác định sai số trong mô phỏng

Khi khởi tạo ban đầu, ta có tọa độ  $C$  và  $S$  của robot, từ đó viết được phương trình đường thẳng chứa dây cảm biến.

$$\begin{cases} x = x_s + (x_c - x_s)t \\ y = y_s + (y_c - y_s)t \end{cases}, t \in \mathbb{R}$$

Giải phương trình giao điểm đường thẳng chứa dây cảm biến với đường line, tìm được tọa độ điểm  $R$ . Từ đó tính được  $e_2$ , suy ra  $e_3$ .

### 7.2.2. Xác định vận tốc feedback

Thay vì xác định vận tốc bằng cách tính toán từ số xung encoder động cơ trả về, trong mô phỏng ta xác định thông qua output của hàm truyền động cơ.

Hàm truyền động cơ:

$$G(s) = \frac{V(s)}{U(s)} = \frac{56.39}{s + 21.32}$$

Giá trị  $v(t)$  bằng tổng giá trị đáp ứng của zero-state  $v_{zs}(t)$  và zero-input  $v_{zi}(t)$

*Xác định đáp ứng zero-input*

Với zero-input, ta có phương trình

$$V(s) \times (s + 21.32) = 0$$

Phương trình vi phân là:

$$\begin{aligned} \dot{v}_{zi} + 21.32v_{zi} &= 0 \\ \Rightarrow sV_{zi}(s) - v(0^-) + 21.32V_{zi}(s) &= 0 \\ V_{zi}(s) &= \frac{v(0^-)}{s + 21.32} \\ v_{zi}(t) &= v(0^-)e^{-21.32t} \end{aligned}$$

Xác định đáp ứng zero-state

$$V_{zs}(s) = U(s) \times \frac{56.39}{s + 21.32}$$

Với  $U(s) = k/s$ , với  $k$  là %PWM cấp cho động cơ

Suy ra

$$\begin{aligned} V_{zs}(s) &= \frac{56.39k}{s(s + 21.32)} \\ v_{zs}(t) &= \frac{56.39k}{21.32} \times (1 - e^{-21.32t}) \end{aligned}$$

Vậy,

$$v(t) = v_{zi}(t) + v_{zs}(t) = v(0^-)e^{-21.32t} + \frac{56.39k}{21.32} \times (1 - e^{-21.32t})$$

Ta đã có thể xác định vận tốc hiện tại của động cơ thông qua biểu thức trên, với các thông số cần biết là  $k$  – %PWM cấp cho động cơ,  $v(0^-)$  – vận tốc trước đó của động cơ,  $t$  – thời gian cần đọc vận tốc, là thời gian feedback khi đọc encoder động cơ thực tế.

### 7.2.3. Điều khiển vận tốc robot

Từ  $e_2, e_3$  thông qua biểu thức bên dưới để tính  $v$  và  $\omega$

$$\begin{cases} v = v_R \cos e_3 + k_1 e_1 \\ \omega = k_2 v_R e_2 + \omega_R + k_3 \sin e_3 \end{cases}$$

Suy ra vận tốc cần ở mỗi động cơ:

$$\omega_R = \frac{0.5(2v + \omega L)}{2\pi R} \times 60 \text{ (rpm)}$$

$$\omega_L = \frac{0.5(2v - \omega L)}{2\pi R} \times 60 \text{ (rpm)}$$

### Điều khiển PID động cơ

Xác định sai số vận tốc động cơ được xác định bằng hiệu vận tốc cần ở động cơ và vận tốc feedback động cơ.

$$\omega_e = \omega_{ref} - \omega_{fb}$$

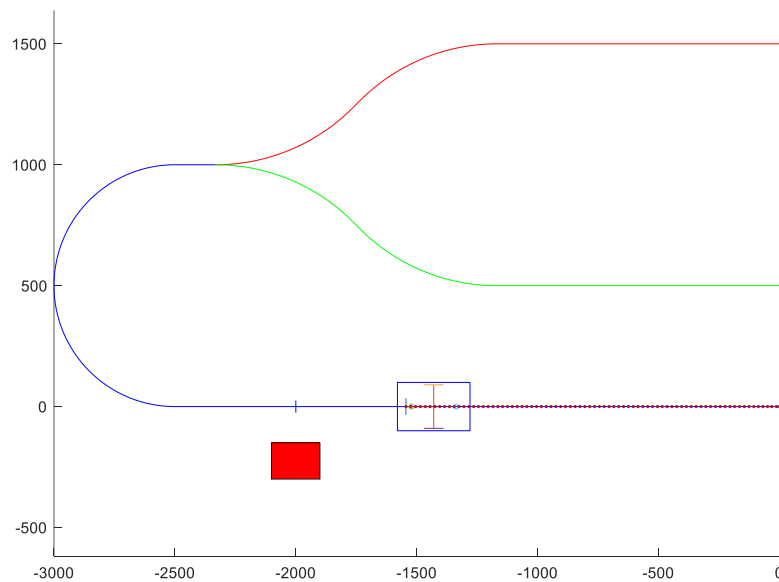
Biểu thức PID rời rạc cho động cơ, với output là %PWM cần cấp,  $T$  là thời gian giữa hai lần tính toán.

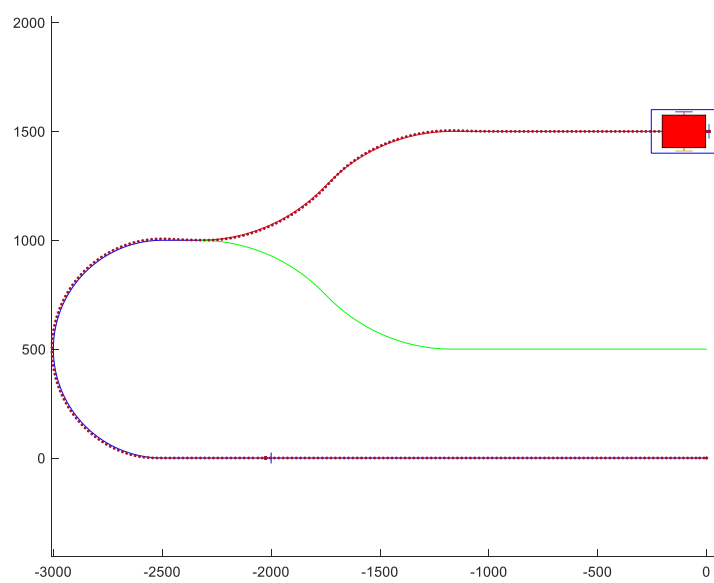
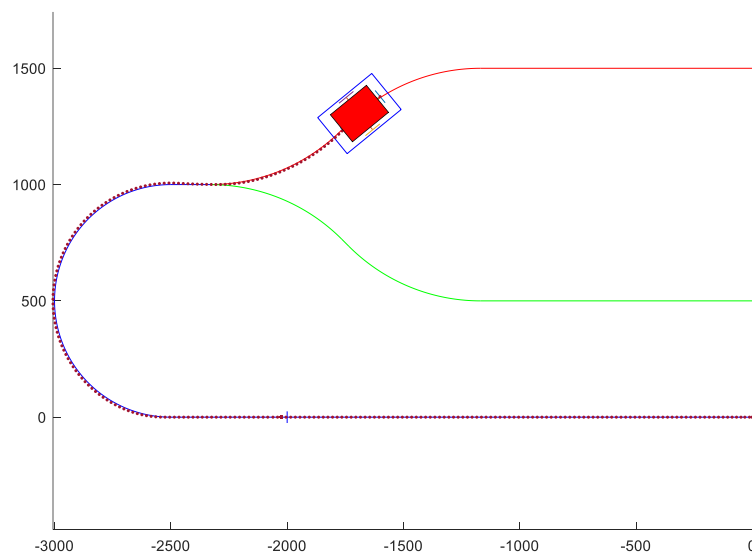
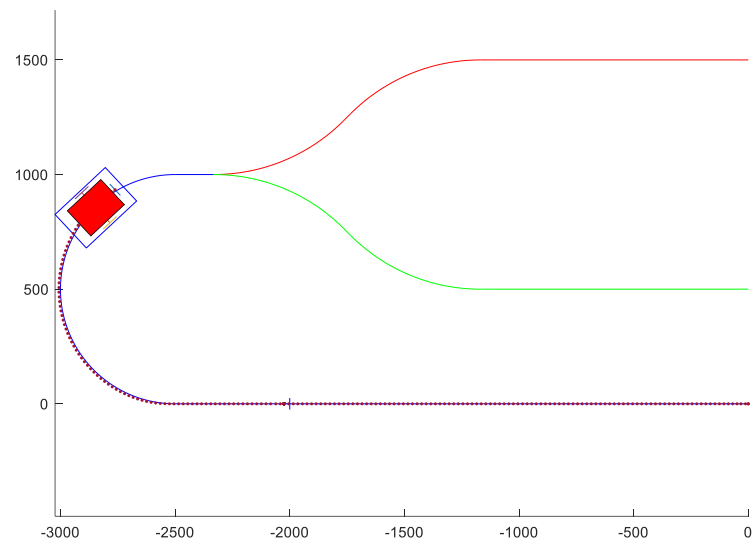
$$PWM(i) = k_P \omega_e(i) + k_I \times \sum_{j=1}^i \omega_e(j) + k_D \times \frac{\omega_e(i) - \omega_e(i-1)}{T}$$

Giá trị output được giới hạn trong đoạn -100 đến 100. Khi  $PWM < 0$ , động cơ quay ngược lại.

### 7.3. Kết quả mô phỏng

❖ Giả sử cho robot chạy lấy khối hàng màu đỏ

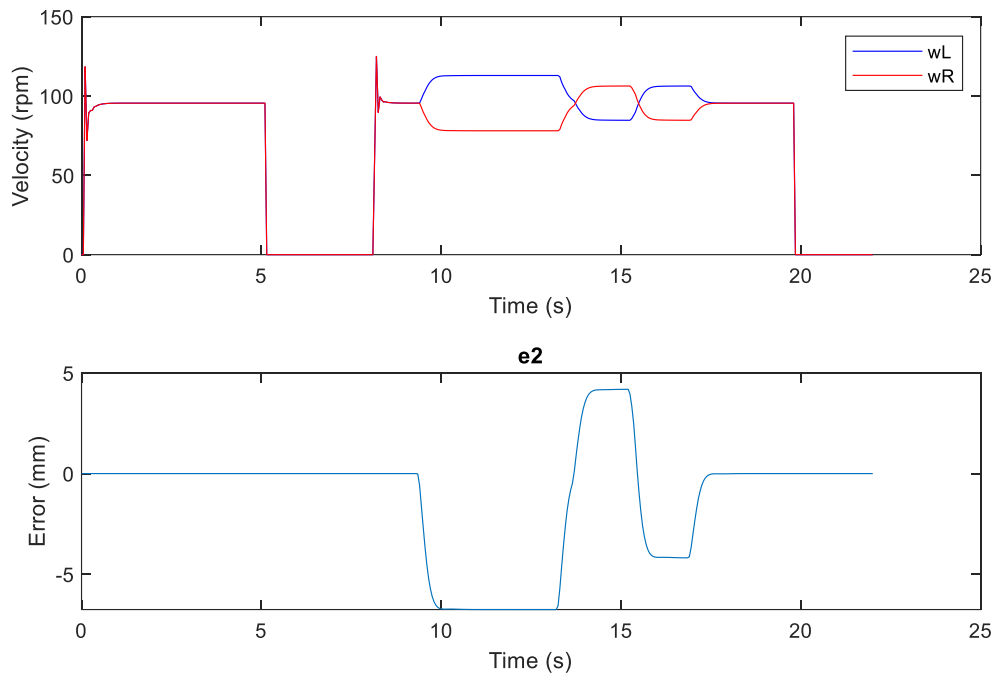




**Hình 7.5.** Chạy mô phỏng lấy khối hàng đỡ

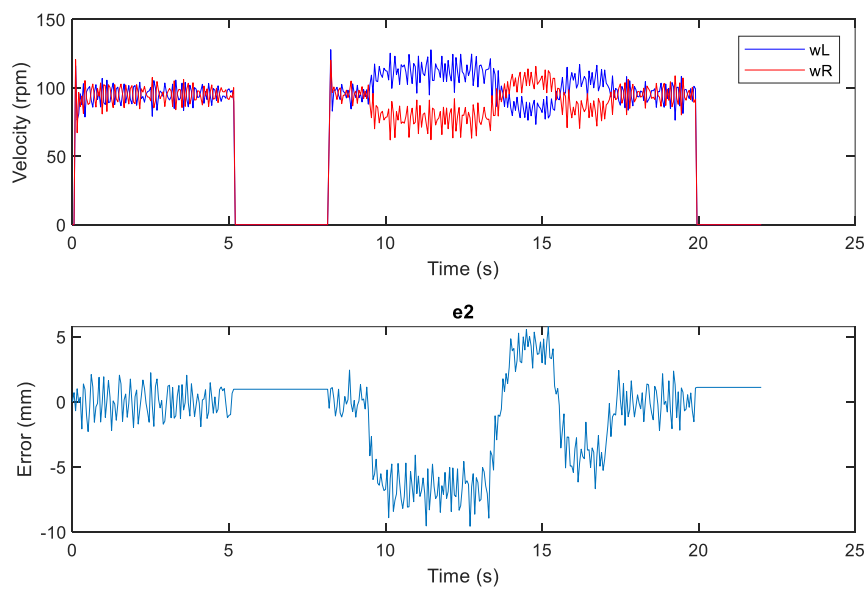
❖ Đồ thị vận tốc và sai số:

• Trường hợp không nhiễu



**Hình 7.6.** Vận tốc và sai số bám line của robot khi không có nhiễu

• Trường hợp có nhiễu



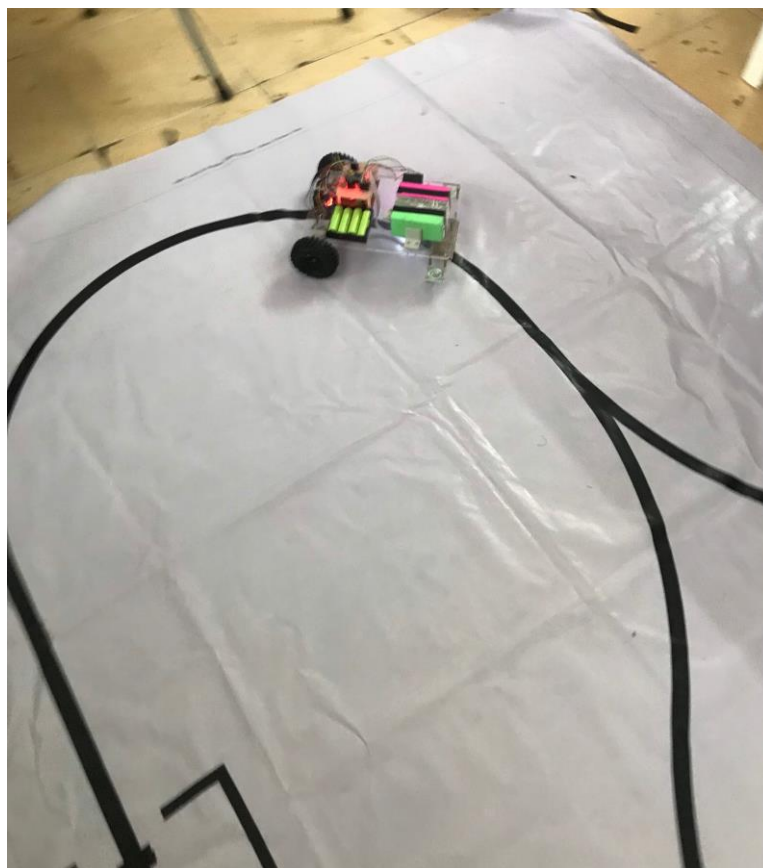
**Hình 7.7.** Vận tốc và sai số bám line của robot khi có nhiễu

## CHƯƠNG 8: THỰC NGHIỆM VÀ KẾT LUẬN

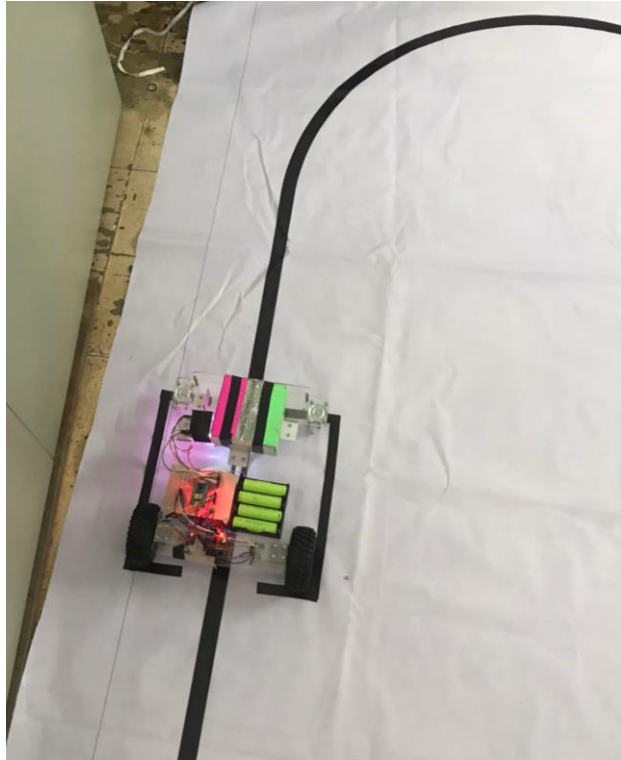
### 8.1. Kết quả thực nghiệm

Sau thời gian nghiên cứu, thiết kế và chế tạo, nhóm đã hoàn thành được robot xe dò line thực hiện được tác vụ tải hàng mà yêu cầu đề án đã đặt ra. Nhóm đã cho chạy thử và thu được các kết quả sau:

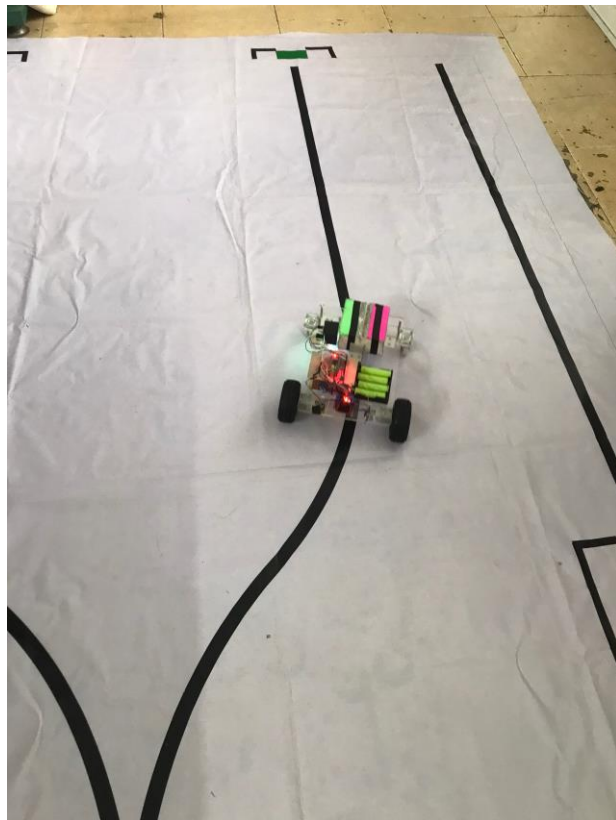
- Xe bám line tương đối tốt ngay cả ở những khúc cua có bán kính nhỏ nhất là 500 mm.
- Có thể dừng tải khu vực tải hàng, tải được khối hàng 2kg cũng như phân loại được hàng theo màu sắc.



*Hình 8.1. Robot bám line tốt ở những khúc cua*

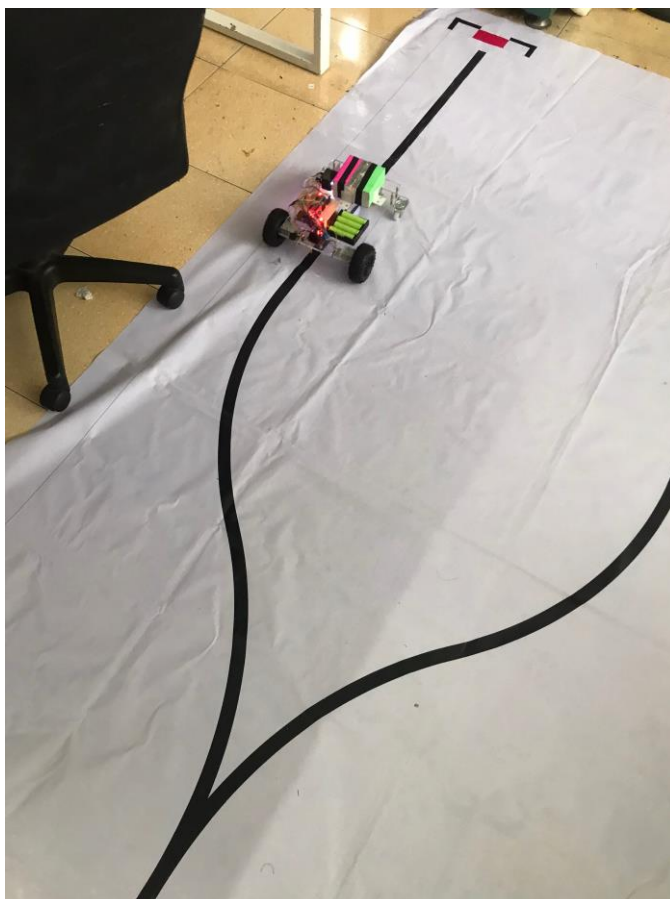


**Hình 8.2.** Robot dừng tại khu vực tải hàng



**Hình 8.3.** Robot nhận diện và phân phối khối hàng màu xanh





**Hình 8.4.** Robot nhận diện và phân phối khối hàng màu đỏ

## **8.2. Kết luận và phương hướng phát triển**

### **8.2.1. Kết luận**

Qua đề tài thiết kế robot dò line phân phối hàng hóa (AGV bám line), những mục tiêu mà nhóm đã đạt được như sau:

- Tìm hiểu được tổng quan về các mô hình xe dò line nói chung cũng như các mô hình về xe vận chuyển, phân phối hàng hóa nói riêng.
- Biết được cách thực hiện một dự án theo hướng thiết kế hệ thống cơ điện tử.
- Tự thiết kế, gia công và lắp ráp cơ khí.
- Tự thiết kế và lắp đặt các mạch cảm biến, driver, giảm áp...
- Xây dựng và mô phỏng được giải thuật điều khiển bám line và phân phối hàng hóa theo màu sắc.

Một số vấn đề nhóm vẫn còn thiếu sót:

- Chưa đánh giá chính xác được sai số bám line khi xe chạy trong thực tế.

- Chưa tối ưu hóa được bộ điều khiển trong thực tế nên sai số bám line vẫn còn tương đối lớn tại các khúc cua và ngã ba dù xe bám line tốt.
- Trong quá trình thực nghiệm nhiều lần xe vẫn chạy không đúng với yêu cầu.
- Thiết kế cơ khí chưa được tốt ảnh hưởng đến kết quả trong quá trình xe chạy thực nghiệm.

### ***8.2.2. Các vấn đề cần cải tiến, khắc phục***

Thiết kế cơ khí đơn giản hơn để tránh các lỗi dễ phát sinh trong quá trình gia công và lắp đặt.

Trước khi thiết kế mạch PCB cần tìm hiểu kỹ và test mạch cẩn thận, tránh trường hợp chỉnh sửa trên mạch sau khi in.

Phần mô hình hóa cần điều chỉnh cho phù hợp hơn với khả năng xử lý của vi điều khiển, và điều chỉnh thuật toán cho động cơ đáp ứng tốt hơn.

Lập trình thêm việc đánh giá sai số bám line trong thực tế.

Sản phẩm hoàn chỉnh cần phải gọn gàng, tối ưu về phần cứng và thẩm mỹ.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Jon. (04/05/2015). *Jon's line following robot: Usain Volt 2.0*. Truy cập từ: <https://www.pololu.com/blog/485/jons-line-following-robot-usain-volt-2.0>
- [2] Mehran pakdaman, M. Mehdi Sanaatiyan, Mahdi Rezaei Ghahroudi. (03/2010). *A line follower robot from design to implementation: Technical issues and problems*. Babol, Iran.
- [3] Brandon. (06/05/2015). *Brandon's line following robot: The Chariot*. Truy cập từ: <https://www.pololu.com/blog/487/brandons-line-following-robot-the-chariot>
- [4] Grant. (27/05/2015). *Grant's line following robot: Pinto*. Truy cập từ: <https://www.pololu.com/blog/494/grants-line-following-robot-pinto>
- [5] *SunFounder PiCar-S Smart Car Kit for Raspberry Pi*. Truy cập từ: <https://docs.sunfounder.com/projects/picar-s/en/latest/>
- [6] S. SCHHAEFER. (2021). *Automated Guided Vehicle for Flexible, Internal Transport of Goods*. SSI SCHHAEFER, Charlotte. North Carolina.
- [7] RoboTeQ. (23/02/2021). *RoboTeQ*. Truy cập từ: <https://www.roboteq.com/roboamr-2021>.
- [8] Vishay Semiconductors. *Application of Optical Reflex Sensors TCRT1000, TCRT5000, CNY70*.
- [9] Vishay Semiconductors. *Reflective Optical Sensor with Transistor Output TCRT5000(L)*.
- [10] Juing-Huei Su, et al (2010). *An intelligent line-following robot project for introductory robot courses*, *World Transactions on Engineering and Technology Education*, Vol.8, No.4, 455 – 461.
- [11] Huu Danh Lam, Tran Duc Hieu Le, Tan Tung Phan, Tan Tien Nguyen and Hoai Quoc Le, "*Smooth Tracking Controller for AGV through Junction using CMU Camera*", in Hội nghị Cơ điện tử Toàn quốc lần thứ 7, Đồng Nai, 2014.
- [12] T. Chắt and L. V. Uyển. *Tính toán thiết kế hệ dẫn động cơ khí - Tập 1*.
- [13] N. Đ. Tôn. *Dung sai và Lắp ghép*. Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam.