

BỘ GIÁO DỤC & ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP. HỒ CHÍ MINH
KHOA ĐIỆN – ĐIỆN TỬ
BỘ MÔN TỰ ĐỘNG ĐIỀU KHIỂN

-----◊Δ◊-----



ĐỒ ÁN MÔN HỌC

**ĐỀ TÀI: THIẾT KẾ MÔ HÌNH VÀ BỘ ĐIỀU KHIỂN CÂN
BẰNG CHO XE HAI BÁNH CÂN BẰNG**

Ngành: Công nghệ Kỹ thuật Điều khiển và Tự động hóa

GVHD: TS. Trần Đức Thiện

Sinh viên thực hiện:

Nguyễn Minh Hoàng 19151127

Phạm Quang Minh 15151052

Tp. Hồ Chí Minh tháng 12 năm 2022.

NHIỆM VỤ ĐỒ ÁN

Đồ án Robot HK1 - 20222023

Tên SV 1: Nguyễn Minh Hoàng

MSSV:19151127

Tên SV 2: Phạm Quang Minh

MSSV:15151052

Lớp: Đồ án kỹ thuật Robot -10CLC

GVHD: TS. Trần Đức Thiện

Tên đề tài: Thiết kế mô hình và bộ điều khiển LQR cho robot di động hai bánh cân bằng.

Nội dung thực hiện

1. Tìm hiểu tổng quan về robot hai bánh cân bằng và các giải thuật cân bằng.
2. Thiết kế mô hình.
3. Cơ sở lý thuyết.
4. Thi công mô hình.
5. Đánh giá kết quả.

Mô tả về đề tài: (200 – 300 từ)

Đề tài làm về robot di động hai bánh cân bằng di chuyển các quỹ đạo mong muốn. Hệ sẽ áp dụng giải thuật LQG để giữ cân bằng cho hệ thống. Giải thuật bao gồm bộ điều khiển LQR giúp cho hệ thống giữ cân bằng và bộ lọc Kalman để ước lượng và giảm nhiễu từ cảm biến. Sau đó sẽ áp dụng quy hoạch quỹ đạo sử dụng đa thức bậc ba cho robot để di chuyển theo quỹ đạo cho trước. Hệ thống sẽ được điều khiển trên giao diện điều khiển và có thể giám sát hệ thống theo thời gian thực. Mô hình sử dụng một vi điều khiển Arduino Mega dùng để khiển các động cơ, cảm biến góc nghiêng giúp phát hiện các chuyển động góc nghiêng và góc quay giúp giữ cân bằng cho robot và di chuyển trong địa hình bằng phẳng.

Sản phẩm dự kiến

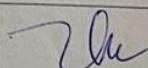
- 1.Mô hình robot hai bánh cân bằng.
- 2.Bản thiết kế robot.
- 3.Chương trình điều khiển robot.
- 4.File báo cáo.

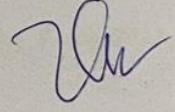
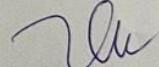
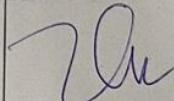
Thời gian nhận đề tài: 17/09/2022

Thời gian hoàn thành: 20/12/2022

Kết hoạch thực hiện đề tài:

Bảng 1: Kế hoạch thực hiện đề tài

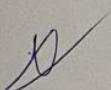
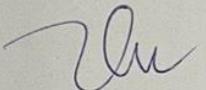
S	Ngày bắt đầu (tuần)	Nội dung	Xác nhận GVHD
1	Tuần 1→2 (17/09/2022-05/10/2022)	1. Tổng quan.	

		<p>1.1 Ứng dụng về robot hai bánh cân bằng.</p> <p>1.2 Tổng quan về các giải thuật cân bằng.</p>	
2	Tuần 3→ 6 (05/10/2022-27/10/2022)	<p>2. Thiết kế</p> <p>2.1 Thiết kế chi tiết mô hình trên Solidworks.</p> <p>3. Cơ sở lý thuyết</p> <p>3.1 Phân tích động lực học của robot hai bánh cân bằng.</p> <p>3.2 Thiết kế bộ điều khiển LQG cân bằng cho Robot trên địa hình bằng phẳng (mô phỏng).</p> <p>3.3 Quy hoạch quỹ đạo cho robot.</p> <p>3.4 Tính toán và lựa chọn thiết bị.</p> <p>3.5 Thiết kế giao diện điều khiển.</p>	
3	Tuần 6→ 9 (28/10/2022-11/11/2022)	<p>4. Thi công mô hình.</p> <p>4.1 Xây dựng mô hình thí nghiệm.</p> <p>4.2 Lắp ráp mô hình.</p> <p>4.3 Xử lý cảm biến góc nghiêng.</p>	
4	Tuần 10→ 14 (12/11/2022-17/12/2022)	<p>5 Đánh giá</p> <p>5.1 Đánh giá và kiểm chứng lí thuyết.</p> <p>5.1.1 Đánh giá giải thuật cân bằng.</p> <p>5.1.2 Đánh giá quy hoạch quỹ đạo.</p> <p>5.2 Đánh giá mô hình.</p> <p>5.2.1 Đánh giá giải thuật khi áp dụng vào mô hình.</p> <p>5.2.2 Đánh giá quỹ đạo của robot khi áp dụng bộ điều khiển.</p> <p>5.2.3 Đánh giá toàn bộ hệ thống so với các mục tiêu đã đề ra.</p>	

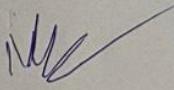
	5.2.4 Đánh giá chất lượng điều khiển giữa lí thuyết và thực nghiệm.	
5 Tuần 15 (7/12/2022-22/12/2022)	6 Viết báo cáo	

Kích thước dự kiến 170 mm (chiều dài) * 120mm (chiều rộng) * 250mm (chiều cao) $\pm 10\%$.

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 19 tháng 9 năm 2022

Sinh viên thực hiện  GVHD 

Nguyễn Minh Hoàng TS. Trần Đức Thiện

 Phạm Quang Minh

HÌ

CÂN

LỜI CẢM ƠN

Trong thời đại công nghệ 4.0 với sự phát triển vượt bậc của nền khoa học và công nghệ thế giới nói chung và Việt Nam nói riêng. Việc nghiên cứu khoa học kĩ thuật đóng một vai trò quan trọng trong việc sáng tạo ra những phương pháp nâng cao giúp phát hiện và giải quyết vấn đề một cách tốt nhất. Vì vậy, việc áp dụng khoa học kĩ thuật chính là việc tạo ra công nghệ mới với nhiều đặc điểm tối ưu làm nâng cao năng suất lao động, làm việc một cách có hiệu quả nhất và bảo đảm an toàn cho người lao động trong quá trình làm việc. Để tạo nền tảng cho bước phát triển trong tương lai, chúng ta cần kế thừa và phát huy hiệu quả những thành tựu của thế hệ trước, mạnh dạn nhìn nhận vấn đề, đề tài chưa có ai thực hiện nghiên cứu hay những đề tài mang tính mới mẻ.

Với điều kiện thời gian cũng như kinh nghiệm còn hạn chế, việc tiếp cận vào nghiên cứu khoa học, nghiên cứu đề tài thực tế, chúng em gặp không ít khó khăn bởi vốn kiến thức, kĩ năng. Chính vì thế không thể tránh được những thiếu sót. Để đồ án tốt nghiệp này đạt kết quả tốt đẹp, chúng em đã nhận được sự hỗ trợ, giúp đỡ của các Thầy/Cô của trường Đại học Sư Phạm Kỹ Thuật Thành phố Hồ Chí Minh, đặc biệt là Thầy TS. Trần Đức Thiện đã nhiệt tình hướng dẫn chúng em hoàn thành đồ án Robot. Với tình cảm sâu sắc, chân thành, cho phép chúng em được bày tỏ lòng biết ơn đến tất cả các quý Thầy/Cô đã tạo điều kiện giúp đỡ trong quá trình học tập và nghiên cứu đề tài.

Sau cùng, em xin kính chúc quý Thầy/Cô thật dồi dào sức khỏe, niềm tin để tiếp tục thực hiện sứ mệnh cao đẹp của mình là truyền đạt kiến thức cho thế hệ mai sau.

Chúng em xin chân thành cảm ơn!

Tp.HCM, ngày tháng năm 2022

Người nhận xét

Nguyễn Minh Hoàng

Phạm Quang Minh

Mục Lục

NHIỆM VỤ ĐỒ ÁN	i
LỜI CẢM ƠN	i
Danh Sách Hình Ảnh	Error! Bookmark not defined.
Danh Sách Bảng	Error! Bookmark not defined.
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN	1
1.1 Đặt vấn đề	1
1.1.1 Các nghiên cứu ngoài nước	1
1.1.2 Các nghiên cứu trong nước	2
1.2 Mục tiêu đề tài	3
1.2.1 Mục đích	3
1.2.2 Mục tiêu	3
1.3 Nội dung nghiên cứu	3
1.4 Giới hạn đề tài	4
1.5 Công cụ đánh giá	4
1.6 Dự trù kinh phí	4
CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÍ THUYẾT	6
2.1 Tổng quan về Robot di động hai bánh	6
2.1.1 Khái niệm về robot di động hai bánh	6
2.1.2 Ứng dụng của robot hai bánh cân bằng	6
2.2 Lý thuyết bộ điều khiển LQR	8
2.3 Lý thuyết bộ lọc Kalman	9
2.4 Lý thuyết giao tiếp UART	11
2.4.1 Khái niệm	11
2.4.2 Nguyên lí hoạt động	11

2.4.3	Ưu nhược điểm.....	12
2.5	Lý thuyết giao tiếp bằng chuẩn Zigbee sử dụng sóng RF	13
2.5.1	Khái niệm	13
2.5.2	Cách thức hoạt động.....	14
2.5.3	So sánh	14
2.5.4	Ưu nhược điểm.....	15
2.6	Quy hoạch quỹ đạo.....	15
2.7	Tính toán lý thuyết	17
2.7.1	Tính toán động học của robot di động hai bánh.....	17
2.7.2	Phân tích và tính toán động lực học	22
2.7.3	Tuyên tính hóa hệ thống.....	26
	CHƯƠNG 3: THIẾT KẾ MÔ HÌNH	29
3.1	Thiết kế mô hình robot hai bánh di động	29
3.1.1	Phần cơ của mô hình	30
3.1.2	Phần điện của mô hình	33
	CHƯƠNG 4: THI CÔNG MÔ HÌNH	35
4.1	Kiểm chứng bộ điều khiển LQR	35
4.2	Thi công mô hình	41
4.2.1	Lựa chọn động cơ.....	41
4.2.2	Lựa chọn thiết bị	43
4.2.3	Sơ đồ kết nối mạch.....	47
4.3	Chương trình điều khiển.....	48
4.3.1	Chương trình chính	48
4.3.2	Chương trình đọc giá trị cảm biến góc nghiêng.....	51
4.3.3	Chương trình ngắt nhận sử dụng trong hệ thống	52

4.4	Truyền nhận dữ liệu trong hệ thống	52
4.4.1	Sơ đồ truyền nhận dữ liệu	52
4.4.2	Tính toán thời gian thực thi chương trình trong hệ thống.....	53
4.5	Xây dựng giao diện người dùng trên C#	57
4.6	Thực nghiệm hệ thống.....	59
CHƯƠNG 5: KẾT QUẢ THỰC HIỆN.....		61
5.1	Kết quả thực hiện	61
5.2	Hạn chế đề tài	61
5.3	Hướng phát triển.....	61
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....		62
PHỤ LỤC.....		64
	Phụ lục A: Chương trình code Arduino.	64
	Phụ lục B: Chương trình code GUI trên C#.....	64

DANH SÁCH HÌNH ẢNH

Hình 2- 1: Mô tả cách giữ cân bằng của Robot	6
Hình 2- 2: Robot hai bánh gấp hàng hóa vào kho	7
Hình 2- 3: Robot hai bánh giao bánh pizza.....	7
Hình 2- 4: Robot hai bánh cân bằng có cấu trúc đặc biệt	8
Hình 2- 5: Lưu đồ quy trình thực hiện bộ lọc Kalman	10
Hình 2- 6: Giao tiếp UART	11
Hình 2- 7: Cách thức hoạt động của giao tiếp UART.....	12
Hình 2- 8: Gói dữ liệu trong UART.....	12
Hình 2- 9: Các kênh của Zigbee	13
Hình 2- 10 Cách thức hoạt động của sóng RF	14
Hình 2- 11: Mô tả cấu hình robot.....	18
Hình 2- 12. Mô tả động học robot.....	18
Hình 3- 1. Mô hình 3D của robot hai bánh di động; a) góc nhìn theo hướng trực diện; (b) Góc nhìn từ ngoài vào; (c) Góc nhìn từ dưới lên trên; (d). Góc nhìn từ phải sang trái.....	29
Hình 3- 2:Khung 3D của robot	30
Hình 3- 3: Bản vẽ chi tiết của tầng thứ nhất	31
Hình 3- 4: Bản vẽ chi tiết của tầng thứ hai	31
Hình 3- 5: Bản vẽ chi tiết của tầng thứ 3	32
Hình 3- 6: Mô hình 3D gá đỡ động cơ.....	32
Hình 3- 7: Mô hình 3D của trụ đồng.....	33
Hình 3- 8: mô hình 3D của mạch cầu L298 V2.....	33

Hình 3- 9:Mô hình 3D cảm biến MPU6050	34
Hình 4- 1: Sơ đồ khối bộ điều khiển LQR	35
Hình 4- 2: Sơ đồ mô phỏng trên MATLAB Simulink.....	37
Hình 4- 3: Đáp ứng ngõ ra của hệ thống ở trường hợp 1	38
Hình 4- 4: Sai số giữa tín hiệu đặt và đáp ứng ngõ ra của hệ thống ở trường hợp 1.....	38
Hình 4- 5: Tín hiệu điều khiển của hệ thống ở trường hợp 1	38
Hình 4- 6 Đáp ứng ngõ ra của hệ thống ở trường hợp 2	39
Hình 4- 7: Sai số của hệ thống ở trường hợp 2	39
Hình 4- 8: Tín hiệu điều khiển của hệ thống ở trường hợp 2	40
Hình 4- 9: Đáp ứng ngõ ra của hệ thống ở trường hợp 3.....	40
Hình 4- 10: Sai số của hệ thống ở trường hợp 3	41
Hình 4- 11: Tín hiệu điều khiển của hệ thống ở trường hợp 3	41
Hình 4- 12: Sơ đồ mô phỏng trên Matlab Simulink của robot	42
Hình 4- 13: Thu thập dữ liệu lực tác động lên cả hai bánh xe	42
Hình 4- 14:a)Động cơ JGB 37-520 333rpm, b) Bản vẽ kích thước của động cơ	42
Hình 4- 15: Pin Lipo 12.6V 2200mAh	43
Hình 4- 16: Mạch cầu L298N V2	44
Hình 4- 17: Arduino mega 2560	45
Hình 4- 18: Cảm biến MPU6050	46
Hình 4- 19: Mô hình robot hai bánh cân bằng hoàn thiện	47
Hình 4- 20: Sơ đồ tổng quát của hệ thống	47
Hình 4- 21: Sơ đồ kết nối dây ở module Master.....	47

Hình 4- 22: Sơ đồ kết nối dây ở module Slave	48
Hình 4- 23: Lưu đồ giải thuật chương trình chính của hệ thống	49
Hình 4- 24: Lưu đồ giải thuật ở module Master	50
Hình 4- 25: Lưu đồ giải thuật đọc giá trị cảm biến MPU6050	51
Hình 4- 26: Chương trình ngắn ngoại đọc tín hiệu encoder từ hai bánh xe ...	52
Hình 4- 27: Trang Home của giao diện điều khiển.....	58
Hình 4- 28: Trang Kinematics của giao diện điều khiển	58
Hình 4- 29: Trang Visualize của giao diện điều khiển	59
Hình 4- 30: Robot khi ở vị trí cân bằng.	59
Hình 4- 31: Robot di chuyển tiến lùi	60
Hình 4- 32: Robot di chuyển lùi và quay trái góc 45 và quay phải góc 45 ...	60

DANH SÁCH BẢNG

Bảng 1. Dự trù kinh phí thiết bị (đơn vị: VND).	4
Bảng 2: Bảng so sánh ưu nhược điểm của giao tiếp UART	12
Bảng 3: So sánh các chuẩn truyền thông không dây	15
Bảng 4: Ưu nhược điểm của chuẩn giao tiếp Zigbee.....	15
Bảng 5: Ký hiệu và mô tả trong hệ thống.	18
Bảng 6: Thông số của mô hình thực tế	35
Bảng 7: Thông số kĩ thuật động cơ JGB37	43
Bảng 8: thông số kĩ thuật của pin lipo	44
Bảng 9: Thông số kĩ thuật của mạch cầu L298N.....	44
Bảng 10: Bảng thông số kĩ thuật của mega 2560.....	45
Bảng 11: Thông số kĩ thuật cảm biến MPU6050.....	46

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN

1.1 Đặt vấn đề

1.1.1 Các nghiên cứu ngoài nước

Ngày nay, với sự phát triển vượt bậc về khoa học công nghệ, cùng với sự hỗ trợ của máy tính đã giúp cho robot đáp ứng được độ chính xác cao, thời gian xử lý tín hiệu nhanh chóng làm tăng năng suất lao động và giảm thiệt hại cho con người,... Tuy nhiên các loại robot công nghiệp lại cho thấy những hạn chế về tính linh hoạt thấp, không gian làm việc còn bị hạn chế,... Vì vậy, để khắc phục các nhược điểm trên, các nhà nghiên cứu trên thế giới đã giới thiệu và định nghĩa về robot di động.

Robot di động đang là một trong những lĩnh vực nghiên cứu khoa học phát triển rộng rãi và nhanh chóng. Nhờ các tính năng của chúng, robot di động có thể hỗ trợ cho con người ở nhiều lĩnh vực. Các ứng dụng của robot di động bao gồm như tuần tra, khám phá địa hình, quân sự, cấp cứu, ... [1] Hiện nay, nhờ sự phát triển vượt bậc về lĩnh vực điều khiển học, đã góp phần thúc đẩy sự phát triển của các loại robot di động có cấu hình khá nhau chẳng hạn như: robot hai bánh cân bằng, xe đạp hai bánh tự cân bằng, robot một bánh cân bằng. Về robot hai bánh di động cân bằng đang nhận được sự thu hút và quan tâm lớn đến sinh viên cũng như những nhà nghiên cứu sinh trong và ngoài nước. Xe hai bánh cân bằng có nhiều ưu điểm hơn các loại robot di động truyền thống như: vì là loại xe hai bánh nên chúng cấu hình đơn giản, kết cấu chắc chắn, di chuyển linh hoạt và cơ động, giảm giá thành thiết kế, áp dụng bộ điều khiển bền vững giúp chúng có thể nâng tải và giữ thăng bằng và di chuyển linh hoạt trên địa hình phẳng, nhờ thiết kế kiểu lái vi sai nên chúng có thể dễ dàng thay đổi hướng của robot và di chuyển mượt mà hơn [2, 3]. Các ứng dụng của robot hai bánh cân bằng như: trong công nghiệp công nghiệp dùng để giao hàng, nâng tải, lau dọn, kết hợp với cánh tay máy để di chuyển và gấp vật,... [4]. Song đó, ngoài những ưu điểm trên chúng còn có những nhược điểm làm hạn chế đi khả năng di chuyển như khi chúng chỉ có thể di chuyển trên mặt phẳng có độ dốc nhỏ, và việc di chuyển ở những nơi có địa hình không bằng phẳng hoặc chúng không thể tự thay đổi chiều cao

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN

của khớp chân để di chuyển qua các vật cản cao. Vì thế, vấn đề điều khiển robot hai bánh cân bằng di chuyển theo quỹ đạo đặt trước ngày càng được các nhà nghiên cứu trong và ngoài nước quan tâm nhằm đẩy mạnh sự quan trọng của robot di động. Một số công trình liên quan đã được công bố. Năm 1998, Nhật Bản đã phát triển một loại robot kết hợp 2 chân với bánh xe có khả năng di chuyển cầu thang một cách linh hoạt [7]. Năm 2002, phòng thí nghiệm tại Thụy Sĩ đã tạo ra robot hai bánh cân bằng -JOE có cấu trúc dựa trên con lắc ngược có thể di chuyển theo hình chữ U. Năm 2003 các nhà khoa học tại Mỹ đã giới thiệu Nbot tại NASA's Cool Robot of the Week', Nbot là bản nâng cấp của JOE. Năm 2010, Viện Công nghệ Cáp nhĩ Tân Trung Quốc đã áp dụng thành công bộ điều khiển ADRC cho robot hai bánh cân bằng trong trường hợp có tải thay đổi và tác động của nhiễu động[6]. Năm 2014 áp dụng bộ điều khiển FuzzyPD cho robot hai bánh cân bằng[7]. Năm 2017 bộ điều khiển thích nghi cho robot trong với các thực nghiệm thay đổi tải trọng đã được công bố[8]. Năm 2019, nhóm nghiên cứu ở Thụy Sĩ đã thiết kế, chế tạo và điều khiển robot hai bánh có thêm khớp chân giống với con người, khớp chân là một lò xo đàn hồi giúp chân của robot có thể co lại để di chuyển cân bằng [9]. Các mô hình đã và đang được phát triển rất nhiều, cùng với đó, bộ điều khiển được trình bày ở trên có các ưu điểm là đơn giản và dễ thực hiện.

1.1.2 Các nghiên cứu trong nước

Trong những năm gần đây ở Việt Nam có khá nhiều các nghiên cứu về robot hai bánh cân bằng sử dụng các bộ điều khiển tối ưu, bộ điều khiển bền vững có thể kể đến là:Năm 2005, Mai Tấn Đạt thuộc trường trường Đại Học Bách Khoa Thành Phố Hồ Chí Minh đã làm đề tài “Xe hai bánh tự cân bằng di chuyển trên địa hình bằng phẳng” do KS Võ Tường Quân hướng dẫn, đề tài đã thành công trong việc tiếp cận từ mô hình con lắc ngược đến mô hình thật của xe, thiết kế mô hình thực tế, board mạch điện và lập trình vi điều khiển, thiết lập module lọc Kalman cho cảm biến đo góc. Năm 2010, Nhóm tác giả thuộc trường Đại Học Bách Khoa Thành Phố Hồ Chí Minh đã thực hiện thành công việc mô phỏng và thử nghiệm bộ điều khiển PID Backstepping cho hệ xe hai bánh cân bằng với khả năng cân bằng và ổn định trước tác động bên ngoài. Năm 2013, nhóm nghiên cứu tại Đại Học Thái Nguyên sử dụng

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN

giải thuật H_∞ cho hệ xe hai bánh cân bằng, Năm 2015, Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật Thành Phố Hồ Chí Minh đã áp dụng bộ điều khiển tối ưu LQR cho hệ xe hai bánh cân. Năm 2019, Đại Học Vinh đã áp dụng bộ Fuzzy PID cho hệ xe cân bằng dựa trên vi điều khiển STM32. Cũng với năm 2019 trường Đại học Hàng Hải đã sử dụng bộ điều khiển phi tuyến để điều khiển xe hai bánh cân bằng trong địa hình mặt phẳng nghiêng.

Từ những phân tích trên, cho thấy các nghiên cứu trong nước đã áp dụng thành công các bộ điều khiển từ cơ bản cho đến nâng cao, đồng thời thiết kế các mô hình trọn vẹn nhất. Cho nên, dựa vào các kiến thức của nhóm sinh viên và tình hình nghiên cứu ở Việt Nam, đây chính là động lực to lớn để nhóm thực hiện đề tài “Thiết kế mô hình và bộ điều khiển cân bằng cho robot hai bánh”

1.2 Mục tiêu đề tài

1.2.1 Mục đích

Thiết kế mô hình và bộ điều khiển cân bằng cho robot di động hai bánh.

1.2.2 Mục tiêu

Tính toán được các phương trình mô tả động lực học và động học của robot di động hai bánh.

Xây dựng được giải thuật cân bằng cho robot di động hai bánh.

Áp dụng được giải thuật cân bằng vào mô hình thực tế.

1.3 Nội dung nghiên cứu

Chương 1 đã trình bày tính cấp thiết, đối tượng và phạm vi nghiên cứu, cùng với mục đích thực hiện của đề tài. Tiếp theo, những cơ sở lý thuyết về robot di động hai bánh và các kiến thức sử dụng để thực hiện đề tài được trình bày trong chương 2. Nội dung chương 3 sẽ trình bày công việc thiết kế các chi tiết của mô hình robot bằng phần mềm Solidworks 2020. Đến, mô hình động học và động lực học và kiểm chứng của robot được trình bày ở chương 4. Cuối cùng, chương 5 trình bày các kết quả đạt được.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN

1.4 Giới hạn đề tài

Đề tài này chỉ tập trung vào việc xây dựng mô hình động lực học và thiết kế bộ điều khiển cân bằng cho hệ thống, đánh giá mô hình trên mô phỏng và thực nghiệm, xây dựng màn hình giám sát cho hệ thống.

Robot sẽ có khả năng mang tải tối đa 0.1(kg).

Xe chủ yếu di chuyển trên địa hình bằng phẳng, ít gồ ghề, mặt đường có độ dốc nhỏ hơn 15° .

1.5 Công cụ đánh giá

Phân tích dữ liệu: Sử dụng các công cụ tìm kiếm như Google, Google Scholar,...

Phân tích toán học: Tính toán động học của robot dựa vào cách đặt trực hệ tọa độ trong không gian và tính toán động lực học của robot dựa vào phương pháp Newton-Euler.

Phân tích mô phỏng: Sử dụng phần mềm MATLAB để xây dựng chương trình toán học của robot sát với thực tiễn nhất, mô phỏng và kiểm chứng lại động lực học của robot.

Phân tích thí nghiệm: Thiết kế thuật toán điều khiển và áp dụng trên mô hình thực tế.

1.6 Dự trù kinh phí

Bảng 1. Dự trù kinh phí thiết bị (đơn vị: VND).

STT	Tên thiết bị	Số lượng	Giá thành	Tổng
1	Arduino Mega 2560 R3	2	300k	600k
2	Module Zigbee	2	183k	366k
3	Động cơ encoder JGB37-370 333rpm 2 kênh	2	255k	510k

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN

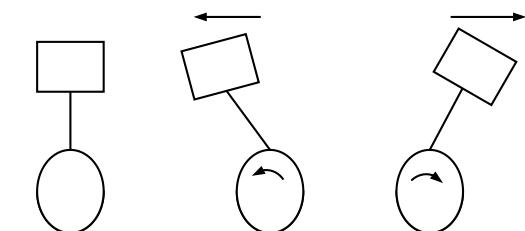
4	Cặp bánh xe 65mm	1	65k	65k
5	Gá đở động cơ JGB37	2	25k	50k
6	Khớp nối bánh xe 6mm	2	15k	30k
7	Trụ đồng đực cái 40mm	20	4.2k	84k
8	Trụ đồng 5mm	10	600đ	6k
9	Mạch câu H L289N V2	2	65k	118k
10	MPU6050 GY-521	1	45k	45k
11	Dây bus đực – cái 20cm (10 sợi)	30	2k	60k
12	Cắt laser (tính theo 1 tờ A4)	3 tấm	59k	59k
13	Công tắc on/off	1	3k	3k
14	Pin lipo 2200mAh 3Cell	1	300k	300k
15	Jack nguồn đực – cái	2	1.5k	3k
16	Kính phí tự phát (Vít, óc, lông đèn, ..)		20k	20k
	Tổng giá thành dự kiến:			2332k

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÍ THUYẾT

2.1 Tổng quan về Robot di động hai bánh

2.1.1 Khái niệm về robot di động hai bánh

Mô hình robot di động hai bánh là một chiếc xe hai bánh có trục đặt dọc với nhau (khác với xe đạp thông thường). Trên mô hình sử dụng các cảm biến để đo góc nghiêng của thân xe, vận tốc quay của hai bánh và vận tốc di chuyển của xe so với mặt đất, góc quay của toàn bộ xe. Để cho xe có thể cân bằng, trọng tâm của xe cần được giữ sao cho nằm ngay giữa các bánh xe. Ta có thể xác định góc giữa mặt phẳng di chuyển với bánh xe và chiều trọng lực. Do vậy, thay vì tìm cách xác định trọng tâm nằm của xe, ta có thể xác định được góc nghiêng của xe. Nếu góc nghiêng của xe hướng về phía trước, ta có thể cho xe chạy về phía trước để giữ cân bằng cho xe và ngược lại.



Hình 2- 1: Mô tả cách giữ cân bằng của Robot.

2.1.2 Ứng dụng của robot hai bánh cân bằng

Robot được thiết kế và chế tạo ra nhằm các đáp ứng được nhu cầu cơ bản của con người chính là thực hiện các công việc mà con người đặt ra. Để có thể làm được điều đó, các nhà khoa học đã rất nỗ lực trong việc nghiên cứu và chế tạo để robot có thể linh hoạt hơn, mạnh mẽ hơn, thông minh hơn và giống con người hơn.

Chính vì lí do đó, robot đã có nhiều sự cải tiến vượt bậc nói chung và robot hai bánh di động nói riêng. Cho tới ngày nay, robot hai bánh đã được ứng dụng rất rộng rãi, đã lĩnh vực trong cuộc sống. Một số ứng dụng có thể kể đến là:

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÍ THUYẾT

2.1.2.1 Ứng dụng trong công nghiệp

Với ưu điểm là khả năng linh hoạt, di chuyển nhanh chóng, không gian làm việc không giới hạn, chúng trở thành lực lượng chính trong các nhà kho công nghiệp, giúp vận chuyển hàng hóa nhanh chóng,...



Hình 2- 2: Robot hai bánh gấp hàng hóa vào kho

2.1.2.2 Ứng dụng dịch vụ

Robot ngày nay cũng có thể hoạt động độc lập như trong các dịch vụ giao hàng, chăm sóc, mang phát thuốc cho bệnh nhân trong các bệnh viện,...là các ứng dụng chính của robot hai bánh,



Hình 2- 3: Robot hai bánh giao bánh pizza

Một số robot hai bánh cân bằng có cấu trúc đặc biệt, chẳng hạn như Diablo, được phát triển bởi nhóm nghiên cứu Direct Drive vào năm 2022 với ý tưởng chính dựa trên robot di động hai bánh cân bằng kết hợp với cấu trúc chân song song, giúp cho robot có thể di chuyển trong các địa hình phức tạp, có thể nhảy, chạm đất.



Hình 2- 4: Robot hai bánh cân bằng có cấu trúc đặc biệt

2.2 Lý thuyết bộ điều khiển LQR

LQR là bộ điều khiển tối ưu tuyến tính toàn phương được áp dụng cho các bài toán về hệ phi tuyến. Để áp dụng được thì ta cần phải mô hình hóa hệ thống và tuyến tính hóa nó quanh điểm làm việc.

Ta có hệ thống sau khi tuyến tính:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu \\ y = Cx \end{cases} \quad (2.1)$$

Bài toán đặt ra để tìm $u(t)$ điều khiển sao cho thỏa mãn chỉ tiêu tối thiểu chỉ tiêu chất lượng hàm chỉ tiêu chất lượng:

$$J(u) = \frac{1}{2} x^T(t_f) M x(t_f) + \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_f} [x^T(t) Q x(t) + u^T(t) R u(t)] dt \quad (2.2)$$

Trong đó: Q và M là ma trận xác định bán dương và R là ma trận xác định dương.

Tín hiệu điều khiển tối ưu:

$$u(t) = -Kx(t) \quad (2.3)$$

Trong đó:

$$K(t) = R^{-1} B^T P(t) \quad (2.4)$$

Trong đó: $P(t)$ là ma trận xác định dương của phương trình Riccati.:

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÍ THUYẾT

$$-\dot{P} = PA + A^T P + Q - PBR^{-1}B^T P = 0, P(t_f) = M. \quad (2.5)$$

Giá trị cực tiểu của chỉ tiêu chất lượng (2.2):

$$J_{\min} = x^T(0)Px(0) \quad (2.6)$$

Ta có thể giải nghiệm phương trình (2.5) với công cụ trên MATLAB là lqr(A,B,Q,R) hoặc dare(A,B,Q,R) cho phương trình (2.5) rồi rạc.

Với A, B là ma trận sau tuyến tính hóa từ phương trình (2.1) và Q, R là ma trận ta lựa chọn từ phương trình (2.5) để tìm K cho tín hiệu điều khiển u (2.3).

Ưu điểm: Hệ thống thiết kế dựa trên việc tối ưu hóa năng lượng sinh ra và tối ưu trong việc điều khiển giá trị quanh điểm cân bằng. Linh hoạt với các hệ thống phi tuyến. Có thể dùng công cụ của MATLAB để tìm K sao cho phù hợp với hệ thống. Có thể áp dụng GA để tìm ma trận Q và R. Kết hợp với bộ lọc Kalman rạc để ước lượng giá trị cảm biến.

Nhược điểm: Với việc ta phải lựa chọn ma trận Q và R từ phương trình (2.5) mà u điều khiển ta tính được cho các giá trị khác nhau nếu ta chọn ma trận không đều cho 2 bánh. Cần phải có phương trình tuyến tính hóa hệ thống thì mới thiết kế bộ điều khiển LQR. Vì là hệ thống phi tuyến nên trong hệ thống có thể sinh ra nhiều hệ thống và nhiều đo lường từ hệ thống, điều này dẫn đến việc tính toán sau giá trị u điều khiển.

2.3 Lý thuyết bộ lọc Kalman

Bộ lọc kalman là thuật toán được sử dụng để dự đoán hoặc ước lượng kết quả tiếp theo dựa trên dữ liệu trước đó. Kết quả của việc ước tính tương tự với việc loại bỏ nhiễu khỏi tín hiệu. Các hệ thống trong bộ lọc Kalman được giả định là hệ thống tuyến tính.

Bộ lọc Kalman có 2 phần chính: phần dự đoán và phần cập nhật. Bộ lọc Kalman tiêu chuẩn thể hiện qua phương trình:

Phần dự đoán:

$$\hat{x}_{t|t-1} = F_t \hat{x}_{t-1|t-1} + B_t u_t \quad (2.7)$$

$$P_{t|t-1} = F_t P_{t-1|t-1} F_t^T + Q_t \quad (2.8)$$

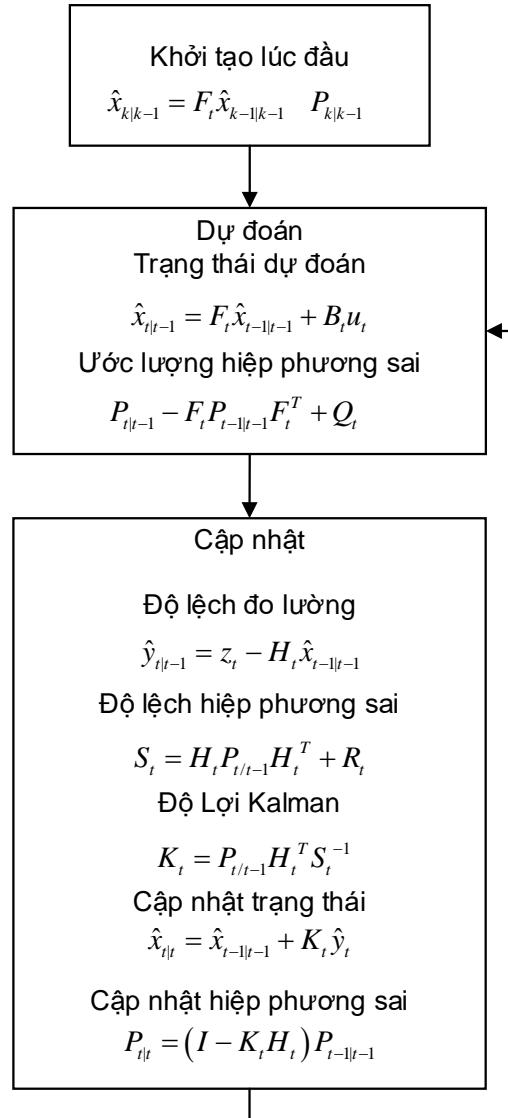
CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÍ THUYẾT

Phản cập nhật:

$$\hat{x}_{t|t} = \hat{x}_{t|t-1} + K_t (y_t - H_t \hat{x}_{t|t-1}) \quad (2.9)$$

$$K_t = P_{t|t-1} H_t^T (H_t P_{t|t-1} H_t^T + R_t)^{-1} \quad (2.10)$$

$$P_{t|t} = (I - K_t H_t) P_{t|t-1} \quad (2.11)$$



Hình 2- 5: Lưu đồ quy trình thực hiện bộ lọc Kalman

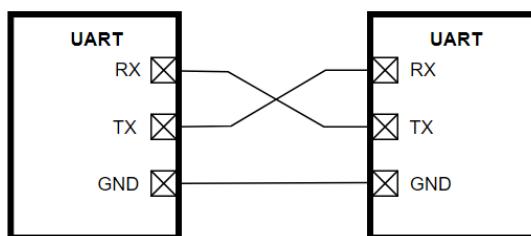
Trong đó:x là trạng thái ước lượng của hệ thống, u là biến điều khiển ,B là ma trận điều khiển ,P là ma trận phương sai , H là ma trận đo lường,K là độ lợi Kalman.

2.4 Lý thuyết giao tiếp UART

2.4.1 Khái niệm

UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) là giao thức truyền nhận dữ liệu nối tiếp bất đồng bộ. Bất đồng bộ có nghĩa là không có tín hiệu để đồng bộ hóa đầu ra của các bit từ UART truyền đến việc lấy mẫu các bit ở UART nhận. Nó là giao thức truyền thông giữa thiết bị và thiết bị được sử dụng nhiều nhất.

Giao tiếp UART truyền nhận thông qua hai đường dây được thể hiện trong Hình 2- 6. Trong đó Tx là truyền và Rx là nhận. Tốc độ truyền (Baudrate) là thước đo tốc độ truyền dữ liệu, được biểu thị bằng bit trên giây (bps). Các baudrate tiêu chuẩn như 4800 bps, 9600 bps, 115200 bps,.

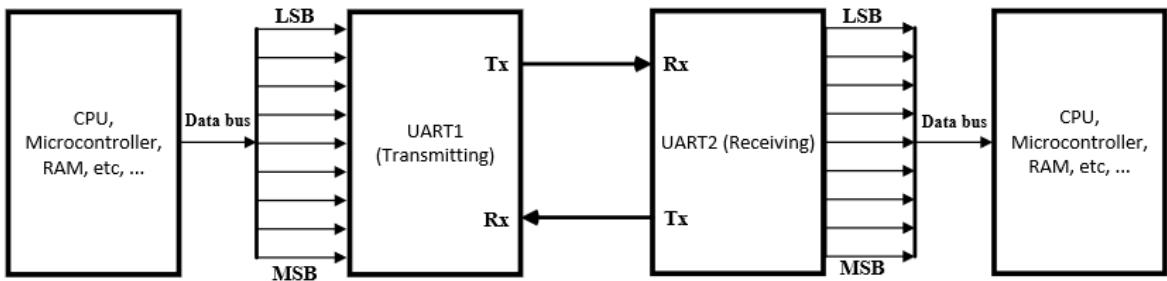


Hình 2- 6: Giao tiếp UART

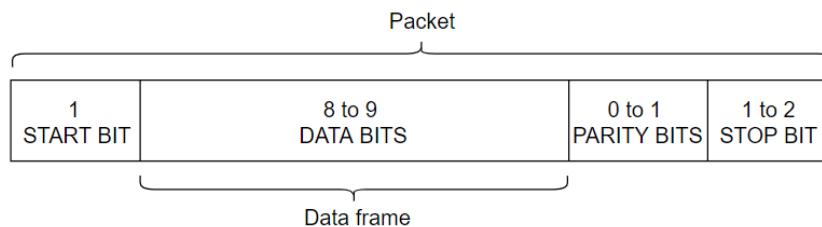
2.4.2 Nguyên lý hoạt động

Giao tiếp UART là giao tiếp nối tiếp được chuyển đổi từ giao tiếp song song. Dữ liệu được truyền từ vi điều khiển dưới dạng giao tiếp song song thông qua bus dữ liệu đến UART 1. Sau khi dữ liệu đến với UART 1, một bit Start, một bit Stop và một bit chẵn lẻ sẽ được thêm vào tạo ra gói dữ liệu. Gói dữ liệu sẽ được chuyển và xuất ra từng bit ở chân Tx để truyền đi dưới dạng nối tiếp. Chân Rx của UART 2 sẽ nhận dữ liệu theo từng bit từ gói dữ liệu. Sau đó dữ liệu sẽ được loại bỏ các bit Start, Stop, chẵn lẻ và chuyển đổi thành dạng dữ liệu song song. Cuối cùng dữ liệu song song được chuyển qua bus dữ liệu đến với vi điều khiển.

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÍ THUYẾT



Hình 2- 7: Cách thức hoạt động của giao tiếp UART



Hình 2- 8: Gói dữ liệu trong UART

Gói dữ liệu trong UART được trình bày trong Hình 2- 8 bao gồm:

- Start Bit: Bit bắt đầu dữ liệu, thường khi bắt đầu UART kéo đường dữ liệu xuống mức thấp.
- Stop Bit: Thường là 1 hoặc 2 bit được đặt ở cuối gói dữ liệu, thường khi kết thúc UART sẽ giữ đường dữ liệu mức cao.
- Parity Bit: Bit kiểm tra dữ liệu truyền xem chính xác hay không.
- Data bit: 8-9 bit, đây là các bit dữ liệu.

2.4.3 Ưu nhược điểm

Bảng 2: Bảng so sánh ưu nhược điểm của giao tiếp UART

Ưu điểm	Nhược điểm
Chỉ sử dụng hai dây để truyền nhận dữ liệu	Khung dữ liệu bị giới hạn, tối đa là 9 bit dữ liệu
Có bit chẵn lẻ để kiểm tra lỗi	Không phù hợp với các hệ thống đòi hỏi nhiều chủ, từ
Cấu trúc của gói dữ liệu có thể thay đổi	Tốc độ truyền nhận của mỗi UART phải nằm trong khoảng 10% của nhau

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÍ THUYẾT

Phương pháp truyền đơn giản, giá thành thấp	Khung dữ liệu bị giới hạn, tối đa là 9 bit dữ liệu
---	--

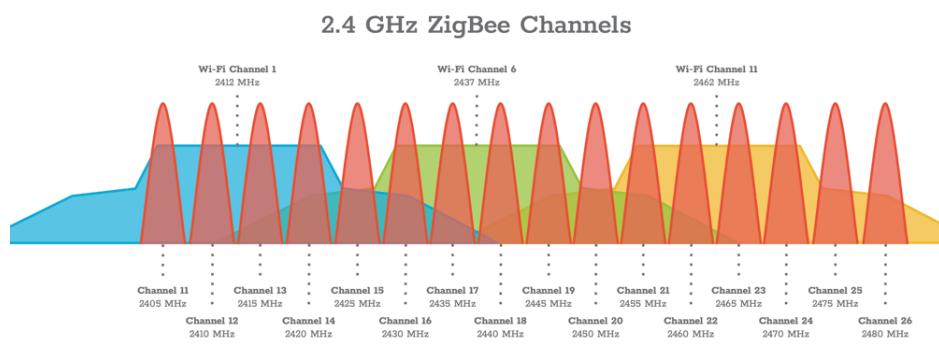
2.5 Lý thuyết giao tiếp bằng chuẩn Zigbee sử dụng sóng RF

2.5.1 Khái niệm

Zigbee là công nghệ không dây được phát triển như một tiêu chuẩn toàn cầu sử dụng tín hiệu vô tuyến kỹ thuật số năng lượng thấp cho các mạng khu vực cá nhân. Zigbee là một dạng truyền thông zigzag kiểu như tổ ong, cho phép thiết lập các lớp khác nhau mà từ đó thiết bị của các hằng có thể nhận biết ra nhau và tự kết nối với nhau dễ dàng.

Zigbee hoạt động ở một trong ba dải tần số:

- + Dải 868 – 868.8 MHz (châu Âu): chỉ một kênh tín hiệu, trong dải này tốc độ truyền là 20kb/s.
- + Dải 902 – 928 MHz (Mỹ, Canada, Úc): có 10 kênh tín hiệu từ 1 – 10 với tốc độ truyền thường là 40kb/s.
- + Dải 2.4 – 2.4835 GHz (hầu hết các nước khác trên thế giới): 16 kênh tín hiệu từ 11 – 26 với tốc độ truyền 250 kb/s.



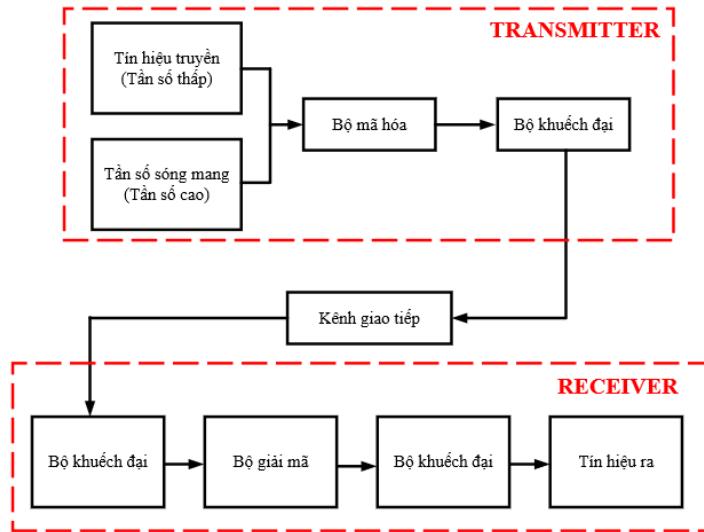
Hình 2- 9: Các kênh của Zigbee

Sóng RF (Radio Frequency) hay còn được gọi là sóng siêu âm vô tuyến điện là loại sóng được ứng dụng nhiều trong radio, truyền thanh, truyền hình để truyền tải

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÍ THUYẾT

phát sóng hình ảnh, âm thanh. Sóng RF lan truyền trong không gian, không khí như một làn sóng điện từ, có tần số trong khoảng từ 3kHz đến 300GHz.

2.5.2 Cách thức hoạt động



Hình 2- 10 Cách thức hoạt động của sóng RF

Sóng RF (Radio Frequency) hay còn được gọi là sóng siêu âm vô tuyến điện là loại sóng được ứng dụng nhiều trong radio, truyền thanh, truyền hình để truyền tải phát sóng hình ảnh, âm thanh. Sóng RF lan truyền trong không gian, không khí như một làn sóng điện từ, có tần số trong khoảng từ 3kHz đến 300GHz.

Cách thức hoạt động được minh họa ở Hình 2- 10. Ở khói phát tín hiệu thông tin ở tần số thấp là tín hiệu cần truyền đi được đưa đến mã hóa kết hợp với tín hiệu sóng mang tần số cao. Sau khi mã hóa tín hiệu sẽ được khuếch đại để bức xạ ra không gian. Tín hiệu truyền trong không gian theo một tần số nhất định, sau đó sẽ được khói thu tín hiệu thu được nhờ cộng hưởng. Tín hiệu khi đó đã bị suy giảm do khoảng cách truyền, vì vậy sẽ đưa qua bộ khuếch đại để đạt được tần số mong muốn. Tín hiệu tiếp tục đưa qua bộ giải mã để loại bỏ tín hiệu sóng mang tần số cao. Tín hiệu thông tin thu được tiếp tục được khuếch đại lên đủ mức giao tiếp để đến đầu ra.

2.5.3 So sánh

So sánh chuẩn Zigbee với các chuẩn truyền thông không dây khác được trình bày ở Bảng 3. Từ những đặc tính nêu trên, nhóm đã chọn chuẩn truyền Zigbee vì có

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÍ THUYẾT

những đặc tính phù hợp với đề tài như khoảng cách truyền đủ lớn, tốc độ truyền vừa phải, tần số phù hợp với dải tần số ở Việt Nam.

Bảng 3: So sánh các chuẩn truyền thông không dây

Nội dung so sánh	ZigBee	Bluetooth	Wi-Fi
Khoảng cách	10-100m	2-10m	30-100m
Thời gian sử dụng Pin	Vài tháng tới vài năm	Vài ngày	Vài giờ
Tốc độ truyền tải	20-250kbps	1Mbps	1-54Mbps
Dải tần	868MHz, 916MHz, 2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz
Số nút mạng	65535	8	50
Thời gian liên kết	30ms	Lớn hơn 10s	Lớn hơn 3s
Bảo mật	128bit AES	64bit, 128bit	SSID

2.5.4 Ưu nhược điểm

Bảng 4: Ưu nhược điểm của chuẩn giao tiếp Zigbee

Ưu điểm	Nhược điểm
Cấu trúc mạng linh hoạt	Phạm vi tần số có thể truy cập bằng công nghệ hiện có bị hạn chế
Số lượng nút lớn khoảng 65000 nút	Bảo mật không an toàn như wifi
Mức tiêu thụ điện năng thấp	Có số lượng kênh khá ít
Thiết lập đơn giản và dễ dàng	

2.6 Quy hoạch quỹ đạo

Bài toán quy hoạch quỹ đạo là một trong các lĩnh vực quan trọng nhất trong việc nghiên cứu robot. Nhằm tạo ra những quỹ đạo theo ý muốn của con người và các quỹ đạo được lập trình sẵn để giúp cho robot di chuyển theo các hình khác nhau.: Phương trình bậc 3 và 5 trong việc quy hoạch, hoặc áp dụng phương pháp Bspline, áp dụng

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÍ THUYẾT

các thuật toán về tối ưu hóa tìm đường đi để quy hoạch quỹ đạo đường đi cho robot v.v. Để áp thiết kế quỹ đạo robot, người ta thường sử dụng phương pháp xấp xỉ các đa thức bậc n, các quỹ đạo thường gấp là:

- + Quỹ đạo CS (Cubic Segment): Tương đương với đa thức bậc 3
- + Quỹ đạo LS (Linear Segment): Tương đương với đa thức bậc 1
- + Quỹ đạo BBPB (Bang Bang Parabolic Blend): Là trường hợp đặc biệt của quỹ đạo LSPB khi đoạn tuyến tính thu về bằng 0 và xuất hiện điểm uốn.

Ở phần này, nhóm áp dụng phương pháp quy hoạch quỹ đạo từ điểm đến điểm với phương trình bậc 3 như sau:

Ta có phương trình bậc 3 được mô tả bên dưới:

$$q(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 \quad (2.12)$$

Phương trình mô tả vận tốc:

$$v(t) = a_1 + 2a_2 t + 3a_3 t^2 \quad (2.13)$$

Các điều kiện ban đầu:

$$q_0 = a_0 + a_1 t_0 + a_2 t_0^2 + a_3 t_0^3 \quad (2.14)$$

$$v_0 = a_1 + 2a_2 t_0 + 3a_3 t_0^2 \quad (2.15)$$

$$q_f = a_0 + a_1 t_f + a_2 t_f^2 + a_3 t_f^3 \quad (2.16)$$

$$v_f = a_1 + 2a_2 t_f + 3a_3 t_f^2 \quad (2.17)$$

Trong đó: a_0, a_1, a_2, a_3 là các hệ số của phương trình bậc 3, $q(t)$ là vị trí của vật đang xét, $\dot{q}(t)$ là vận tốc của điểm đang xét, $\ddot{q}(t)$ là gia tốc của điểm đang xét, t_0 là thời điểm bắt đầu, t_f là thời điểm sau khi di chuyển đến điểm mong muốn.

Các phương trình ràng buộc được mô tả ở dạng ma trận:

$$\begin{bmatrix} q_0 \\ v_0 \\ q_f \\ v_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & t_0 & t_0^2 & t_0^3 \\ 0 & 1 & 2t_0 & 3t_0^2 \\ 1 & t_f & t_f^2 & t_f^3 \\ 0 & 1 & 2t_f & 3t_f^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÍ THUYẾT

Đặt: $\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} q_0 & v_0 & q_f & v_f \end{bmatrix}^T$, $\mathbf{X} = \begin{bmatrix} a_0 & a_1 & a_2 & a_3 \end{bmatrix}^T$, $\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & t_0 & t_0^2 & t_0^3 \\ 0 & 1 & 2t_0 & 3t_0^2 \\ 1 & t_f & t_f^2 & t_f^3 \\ 0 & 1 & 2t_f & 3t_f^2 \end{bmatrix}$

Ta có:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{AX} \quad (2.19)$$

Do đó các công thức bậc 3 được tính như sau:

$$\mathbf{X} = \mathbf{A}^{-1}\mathbf{Y} \quad (2.20)$$

Các nghiệm có thể được tính như sau:

$$a_0 = \mathbf{X}(1), a_1 = \mathbf{X}(2), a_2 = \mathbf{X}(3), a_3 = \mathbf{X}(4). \quad (2.21)$$

2.7 Tính toán lý thuyết

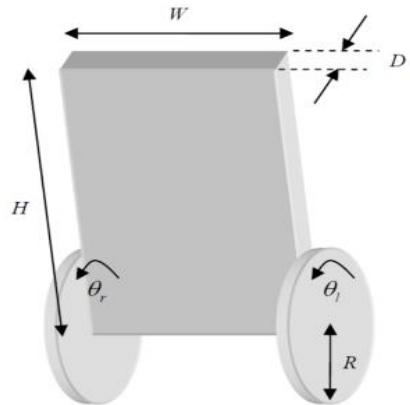
2.7.1 Tính toán động học của robot di động hai bánh

Động học robot đề cập đến cấu hình của robot trong không gian làm việc, mối quan hệ giữa các thông số hình học và các ràng buộc áp đặt trong quỹ đạo của chúng. Tính toán động học cho robot phụ thuộc vào cấu trúc hình học của robot đó, điển hình trong robot di động là mối quan hệ giữa các bánh xe có hoặc không có các ràng buộc. Tính toán động học làm tiền đề cho việc tính toán động lực học trong robot. Bài toán động học thuận và nghịch tính toán sự chuyển đổi giữa các biến trong không gian khớp của robot đến các biến trong không gian làm việc và ngược lại [10].

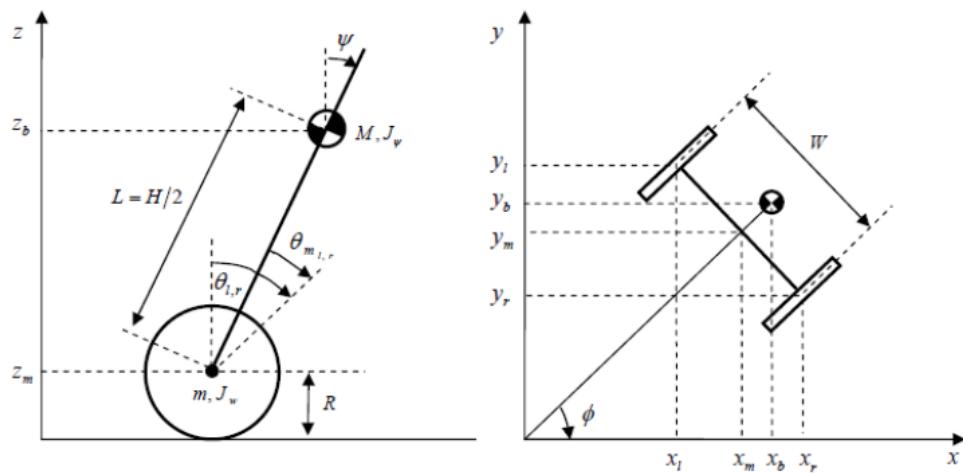
Ở phần này, nhóm xin được trình bày về các phương trình động học và mô hình hệ thống như Bảng 5.

Cấu hình hệ thống và các phương trình động học được mô như Hình 2- 11 và Hình 2- 12.

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÍ THUYẾT



Hình 2- 11: Mô tả cấu hình robot.



Hình 2- 12. Mô tả động học robot

Bảng 5: Ký hiệu và mô tả trong hệ thống.

Ký hiệu	Ý nghĩa
$W - [m]$	Chiều rộng thân.
$D - [m]$	Chiều sau thân
$H - [m]$	Chiều cao thân
$L - [m]$	Khoảng cách vị trí trọng tâm robot so với trục bánh.
$R - [m]$	Bán kính bánh xe.
$m - [kg]$	Khối lượng bánh xe.
$M - [kg]$	Khối lượng thân xe..

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÍ THUYẾT

$\theta_{l,r} - [rad]$	Góc quay bánh trái, phải.
$v_{l,r} - [V]$	Nguồn cấp bánh trái, phải.
n	Hộp số động cơ.
$J_m - [kg.m^2]$	Mô men quá trình của động cơ.
$J_w - [kg.m^2]$	Mô men quan tính của bánh xe.
$J_\psi - [kg.m^2]$	Mô men quán tính của robot theo pitch
$J_\phi - [kg.m^2]$	Mô men quán tính của robot theo yaw
$K_b - [V.s/rad]$	Hệ số EMF
$K_t - [Nm/A]$	Mô men xoắn của động cơ
$g - [m/s^2]$	Gia tốc trọng trường.
$i_{l,r} - [A]$	Dòng qua bánh trái, phải.
$R_m - [\Omega]$	Điện trở trong của động cơ.
$\theta - [rad]$	Góc trung bình..
$\phi - [rad]$	Góc Yaw của robot
$\psi - [rad]$	Góc Pitch của robot
f_m	Hệ số ma sát giữa bánh xe và mặt đường.
f_w	Hệ số ma sát giữa bánh xe và trực động cơ.
$F_{l,r} - [Nm]$	Lực tác động bánh trái, phải

Phương trình động học được tìm từ việc phân tích các đặc tính hệ thống như sau:

$$\begin{bmatrix} \theta \\ \phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2}(\theta_l + \theta_r) \\ \frac{R}{W}(\theta_r - \theta_l) \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

$$v_r = v_m + \frac{W}{2} \dot{\phi} \quad (2.23)$$

$$v_l = v_m - \frac{W}{2} \dot{\phi} \quad (2.24)$$

Từ (2.23) và (2.24) ta có thể rút ra được:

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÍ THUYẾT

$$v_m = \frac{1}{2}(v_l + v_r) \quad (2.25)$$

Trong đó:

Trong đó tọa độ trung bình của Robot trong hệ qui chiếu:

$$\begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \int \dot{x}_m \\ \int \dot{y}_m \\ R \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

$$\text{và} \quad \begin{bmatrix} \dot{x}_m \\ \dot{y}_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R\dot{\theta}\cos\phi \\ R\dot{\theta}\sin\phi \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

Tọa độ bánh trái trong hệ qui chiếu:

$$\begin{bmatrix} x_l \\ y_l \\ z_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_m - \frac{W}{2}\sin\phi \\ y_m + \frac{W}{2}\cos\phi \\ z_m \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

Tọa độ bánh phải trong hệ qui chiếu:

$$\begin{bmatrix} x_r \\ y_r \\ z_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_m + \frac{W}{2}\sin\phi \\ y_m - \frac{W}{2}\cos\phi \\ z_m \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

Tọa độ trọng tâm của robot trong hệ qui chiếu:

$$\begin{bmatrix} x_b \\ y_b \\ z_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_m + L\sin\psi\cos\phi \\ y_m + L\sin\psi\sin\phi \\ z_m + L\cos\psi \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

Từ công thức (2.27) và (2.22) suy ra được:

$$\dot{x}_m = \frac{R}{2}\cos(\phi)(\dot{\theta}_r + \dot{\theta}_l) \quad (2.31)$$

$$\dot{y}_m = \frac{R}{2}\sin(\phi)(\dot{\theta}_r + \dot{\theta}_l) \quad (2.32)$$

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÍ THUYẾT

$$\dot{\phi} = \frac{R}{W} (\dot{\theta}_r - \dot{\theta}_l) \quad (2.33)$$

Từ các phương trình (2.31),(2.32),(2.33) ta có thể viết lại dưới dạng:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_m \\ \dot{y}_m \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{R}{2} \cos(\phi) & \frac{R}{2} \cos(\phi) \\ \frac{R}{2} \sin(\phi) & \frac{R}{2} \sin(\phi) \\ \frac{R}{W} & -\frac{R}{W} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_r \\ \dot{\theta}_l \end{bmatrix} \quad (2.34)$$

Trong đó: R là bán kính của bánh xe, θ_r, θ_l là góc quay của bánh trái và bánh phải, $\dot{\theta}_r, \dot{\theta}_l$ là vận tốc quay của bánh trái và bánh phải, W là chiều rộng của thân Robot., x_m, y_m, z_m được gọi là vị trí trung bình giữa vị trí bánh trái và bánh phải. $x_l, y_l, z_l; x_r, y_r, z_r$ là tọa độ của bánh trái và bánh phải.

Từ công thức (2.34), động học thuận của robot được giải quyết với vi phân của tọa độ điểm \dot{P}_m phụ thuộc vào vận tốc góc của bánh trái và bánh phải.

Trong việc tính toán động học nghịch cho Robot, ta có nhiều phương pháp để giải bài toán động học nghịch như: Phương pháp đại số, hình học, Jacobian và hiện nay nhiều phương pháp thông minh ra đời nhằm giải mã những bài toán có số bậc cao, hoặc nhưng cánh tay máy có dư bậc tự do.

Dựa vào công thức (2.26)và (2.27) nhóm rút ra được vận tốc tại vị trí trung bình của robot:

$$v_m = \dot{x}_m \cos(\phi) + \dot{y}_m \sin(\phi) \quad (2.35)$$

Thay (2.35) vào (2.23) và (2.24) thu được:

$$\dot{\theta}_r = \frac{\dot{x}_m \cos(\phi) + \dot{y}_m \sin(\phi) + \frac{W}{2} \dot{\phi}}{R} \quad (2.36)$$

$$\dot{\theta}_l = \frac{\dot{x}_m \cos(\phi) + \dot{y}_m \sin(\phi) - \frac{W}{2} \dot{\phi}}{R} \quad (2.37)$$

Viết lại hai phương trình (2.36) và (2.37) dưới dạng ma trận ta được:

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÍ THUYẾT

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta}_r \\ \dot{\theta}_l \end{bmatrix} = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} \cos(\phi) & \sin(\phi) & \frac{W}{2} \\ \cos(\phi) & \sin(\phi) & -\frac{W}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_m \\ \dot{y}_m \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} \quad (2.38)$$

Vì robot hai bánh cân bằng là hệ vi sai nên ở đây tồn tại một ràng buộc không chắc chắn của robot:

$$-\dot{x}_m \sin(\phi) + \dot{y}_m \cos(\phi) = 0 \quad (2.39)$$

2.7.2 Phân tích và tính toán động lực học

Có rất nhiều phương pháp tiếp cận đến động lực học của robot di động có thể kể đến như: Jacobian, New Ton -Euler, Euler- Lagrange, Kane,..và còn rất nhiều phương pháp khác đã được trình bày trên thế giới. Ở đây, để đơn giản hóa bài toán động lực học, nhóm sử dụng phương pháp Euler- Lagrange.

Bước 1: Tính toán động năng của hệ thống.

Ta có phương trình động năng chuyển động tịnh tiến của hệ được mô tả như sau:

$$T_1 = \frac{1}{2} m (\dot{x}_l^2 + \dot{y}_l^2 + \dot{z}_l^2 + \dot{x}_r^2 + \dot{y}_r^2 + \dot{z}_r^2) + \frac{1}{2} M (\dot{x}_b^2 + \dot{y}_b^2 + \dot{z}_b^2) \quad (2.40)$$

Phương trình động năng chuyển động xoay của hệ được mô tả như sau:

$$T_2 = \frac{1}{2} \left(J_w (\dot{\theta}_l^2 + \dot{\theta}_r^2) + J_\psi \dot{\psi}^2 + J_\phi \dot{\phi}^2 + n^2 J_m \left((\dot{\theta}_l - \dot{\psi})^2 + (\dot{\theta}_r - \dot{\psi})^2 \right) \right) \quad (2.41)$$

Động năng phản ứng của động cơ bánh trái và bánh phải là:

$$\frac{1}{2} n^2 J_m (\dot{\theta}_l - \dot{\psi})^2, \frac{1}{2} n^2 J_m (\dot{\theta}_r - \dot{\psi})^2 \quad (2.42)$$

Với $\dot{x}_b, \dot{y}_b, \dot{z}_b$ là đạo hàm vị trí chính giữa của robot theo thời gian, $\dot{x}_r, \dot{y}_r, \dot{z}_r$ là đạo hàm vị trí của bánh phải theo thời gian, $\dot{x}_l, \dot{y}_l, \dot{z}_l$ là đạo hàm vị trí của bánh trái theo thời gian, M, n, J_m đã được trình bày ở trên.

Lấy 2 phương trình (2.40),(2.41) ta được tổng động năng của hệ:

$$T = T_1 + T_2 \quad (2.43)$$

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÍ THUYẾT

Bước 2: Tính toán thế năng của hệ thống.

Thế năng của hệ (bao gồm bánh trái, bánh phải, và trọng tâm của robot):

$$U = mg(z_l + z_r) + Mgz_b \quad (2.44)$$

Trong đó: z_l, z_r, z_b là tọa độ theo trục z của bánh trái và bánh phải tọa độ theo trục z, m là khối lượng của bánh xe, M là khối lượng của thân xe

Bước 3: Tìm phương trình Lagrange của hệ thống:

Phương trình Lagrange được biểu diễn dưới đây:

$$L = T - U \quad (2.45)$$

Bước 4:

Áp dụng Euler-Lagrange vào phương trình (2.45), ta thu được:

$$\tau_\theta = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta} \quad (2.46)$$

$$\tau_\psi = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\psi}} \right) - \frac{\partial L}{\partial \psi} \quad (2.47)$$

$$\tau_\phi = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\phi}} \right) - \frac{\partial L}{\partial \phi} \quad (2.48)$$

Phương trình động lực học của robot xe hai bánh về dạng tổng quát:

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{M}(\boldsymbol{\theta}) \ddot{\boldsymbol{\theta}} + \mathbf{C}(\boldsymbol{\theta}, \dot{\boldsymbol{\theta}}) \dot{\boldsymbol{\theta}} + \mathbf{G}(\boldsymbol{\theta}) \quad (2.49)$$

Trong đó: $\mathbf{M}(\boldsymbol{\theta}) \in \mathfrak{R}^{3 \times 3}$ là ma trận quán tính, $\mathbf{C}(\boldsymbol{\theta}, \dot{\boldsymbol{\theta}}) \in \mathfrak{R}^{3 \times 3}$ là ma trận Coriolis/centrifugal, $\mathbf{G}(\boldsymbol{\theta}) \in \mathfrak{R}^{3 \times 1}$ là vector trọng trường, $\boldsymbol{\tau} \in \mathfrak{R}^{3 \times 1} = [\tau_\theta \quad \tau_\psi \quad \tau_\phi]^T$.

Bước 5: Xác định ma trận quán tính $\mathbf{M}(\boldsymbol{\theta})$.

$$\mathbf{M}(\boldsymbol{\theta}) = \frac{\partial \boldsymbol{\tau}}{\partial \ddot{\boldsymbol{\theta}}} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{bmatrix} \quad (2.50)$$

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÍ THUYẾT

Trong đó: $M_{11}, M_{12}, M_{13}, M_{21}, M_{22}, M_{23}, M_{31}, M_{32}, M_{33}$ được trình bày ở phần phụ lục

Bước 6: Xác định ma trận Coriolis/centrifugal $\mathbf{C}(\theta, \dot{\theta})$

Xác định ma trận Coriolis/centrifugal $\mathbf{C}(\theta, \dot{\theta})$:

$$\mathbf{C}(\theta, \dot{\theta}) = \sum_{k=1}^n \Gamma_{ijk}(\theta) \dot{\theta}_k \quad (2.51)$$

Trong đó:

$$\Gamma_{ijk}(\theta) = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \mathbf{M}_{ij}}{\partial \theta_k} + \frac{\partial \mathbf{M}_{ik}}{\partial \theta_j} - \frac{\partial \mathbf{M}_{jk}}{\partial \theta_i} \right) \quad (2.52)$$

Với: $i, j, k = 1, 2, 3..n$ tương ứng với số biến của hệ thống.

Bước 7: Xác định vector trọng trường $\mathbf{G}(\theta)$

$$\mathbf{G}(\theta) = \frac{\partial U}{\partial \theta} \quad (2.53)$$

Bước 8:

Kiểm tra phương trình động lực học, sử dụng tính chất $\dot{\mathbf{M}}(\theta) - 2\mathbf{C}(\theta, \dot{\theta})$ là ma trận đối xứng xiên trong đó $\mathbf{M}(\theta) \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$ là ma trận quán tính, $\mathbf{C}(\theta, \dot{\theta}) \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$ là ma trận Coriolis/centrifugal và $\dot{\mathbf{M}}(\theta)$ là đạo hàm của ma trận quán tính theo thời gian.

$$\dot{\mathbf{M}}(\theta) = \begin{bmatrix} 0 & -MLR \sin(\psi) \dot{\psi} & 0 \\ -MLR \sin(\psi) \dot{\psi} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & ML^2 \sin(2\psi) \dot{\psi} \end{bmatrix} \quad (2.54)$$

$$2\mathbf{C}(\theta, \dot{\theta}) = \begin{bmatrix} 0 & -2MLR \dot{\psi} \sin \psi & 0 \\ 0 & 0 & -2ML^2 \dot{\phi} \sin \psi \cos \psi \\ 0 & 2ML^2 \dot{\phi} \sin \psi \cos \psi & 2ML^2 \dot{\psi} \sin \psi \cos \psi \end{bmatrix} \quad (2.55)$$

$$(\dot{\mathbf{M}} - 2\mathbf{C})^T = \begin{bmatrix} 0 & MLR \dot{\psi} \sin \psi & 0 \\ -MLR \dot{\psi} \sin \psi & 0 & ML^2 \dot{\phi} \sin(2\psi) \\ 0 & -ML^2 \dot{\phi} \sin(2\psi) & 0 \end{bmatrix} \quad (2.56)$$

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÍ THUYẾT

$$-(\dot{\mathbf{M}} - 2\mathbf{C}) = \begin{bmatrix} 0 & MLR\dot{\psi}\sin\psi & 0 \\ -MLR\dot{\psi}\sin\psi & 0 & ML^2\dot{\phi}\sin(2\psi) \\ 0 & -ML^2\dot{\phi}\sin(2\psi) & 0 \end{bmatrix} \quad (2.57)$$

Như vậy là ma trận Coriolis/centrifugal thỏa mãn tính chất ma trận đối xứng xiên.

Xét tới phương trình động lực học động cơ DC ta có:

$$\begin{bmatrix} \tau_\theta \\ \tau_\psi \\ \tau_\phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha(v_l + v_r) - 2(\beta + f_w)\dot{\theta} + 2\beta\dot{\psi} \\ -\alpha(v_l + v_r) + 2\beta\dot{\theta} - 2\beta\dot{\psi} \\ \frac{W}{2R}\alpha(v_l - v_r) - \frac{W^2}{2R^2}(\beta + f_w)\dot{\phi} \end{bmatrix} \quad (2.58)$$

$$\alpha = \frac{nK_t}{R_m} \quad (2.59)$$

$$\beta = \frac{nK_t K_b}{R_m} + f_m \quad (2.60)$$

Trong đó: α , β là các hệ số mà nhóm quy định để làm gọn các phương trình.

Thay các công thức (2.46), (2.47), (2.48) vào (2.58) nhóm thu được:

Đối với τ_θ :

$$\begin{aligned} \alpha(v_l + v_r) - 2(\beta + f_w)\dot{\theta} + 2\beta\dot{\psi} &= [(2m + M)R^2 + 2J_w + 2n^2J_m]\ddot{\theta} \\ &+ (MLR\cos\psi - 2n^2J_m)\ddot{\psi} - MLR\dot{\psi}^2 \sin\psi \end{aligned} \quad (2.61)$$

Đối với τ_ψ :

$$\begin{aligned} -\alpha(v_l + v_r) + 2\beta\dot{\theta} - 2\beta\dot{\psi} &= (MLR\cos\psi - 2n^2J_m)\ddot{\theta} + (ML^2 + J_\psi + 2n^2J_m)\ddot{\psi} \\ &- MgL\sin\psi - ML^2\dot{\phi}^2 \sin\psi - ML^2\dot{\phi}^2 \sin\psi \cos\psi \end{aligned} \quad (2.62)$$

Đối với τ_ϕ :

$$\begin{aligned} \frac{W}{2R}\alpha(v_r - v_l) - \frac{W^2}{2R^2}(\beta + f_w)\dot{\phi} &= [\frac{1}{2}mW^2 + J_\phi + \frac{W^2}{2R^2}(J_w + n^2J_m) \\ &+ ML^2\sin^2\psi]\ddot{\phi} + ML^2\dot{\psi}\dot{\phi} \sin 2\psi \end{aligned} \quad (2.63)$$

2.7.3 Tuyến tính hóa hệ thống

Từ phương trình động lực học đã tìm được ở mục 2.7.2, ta tuyến tính hóa hệ thống quanh điểm cân bằng theo điện áp cấp vào:

Bước 1: Đặt các biến trạng thái

Ở đây nhóm đặt các biến trạng thái như sau:

$$\begin{cases} x_1 = \theta, x_2 = \dot{\theta}, x_3 = \ddot{\theta} \\ x_4 = \psi, x_5 = \dot{\psi}, x_6 = \ddot{\psi} \\ x_7 = \phi, x_8 = \dot{\phi}, x_9 = \ddot{\phi} \end{cases} \quad (2.64)$$

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = h_1(x_1, x_2, x_4, x_5, x_7, x_8, v_l, v_r) \\ \dot{x}_4 = x_5 \\ \dot{x}_5 = h_2(x_1, x_2, x_4, x_5, x_7, x_8, v_l, v_r) \\ \dot{x}_7 = x_8 \\ \dot{x}_8 = h_3(x_1, x_2, x_4, x_5, x_7, x_8, v_l, v_r) \end{cases} \quad (2.65)$$

Nhóm có thể tuyến tính hóa hệ thống xe hai bánh cân bằng về dạng hệ phương trình biến trạng thái như sau:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu \\ y = Cx + D \end{cases} \quad (2.66)$$

Trong đó A là ma trận $\mathbf{A} \in \mathfrak{R}^{6 \times 6}$ được mô tả ở (2.67), $\mathbf{B} \in \mathfrak{R}^{6 \times 1}$ được mô tả ở(2.77):

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÍ THUYẾT

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \frac{\partial f_1}{\partial x_3} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \frac{\partial f_1}{\partial x_4} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \frac{\partial f_1}{\partial x_5} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \frac{\partial f_1}{\partial x_6} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \frac{\partial f_2}{\partial x_3} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \frac{\partial f_2}{\partial x_4} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \frac{\partial f_2}{\partial x_5} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \frac{\partial f_2}{\partial x_6} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} \\ \frac{\partial f_3}{\partial x_1} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \frac{\partial f_3}{\partial x_2} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \frac{\partial f_3}{\partial x_3} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \frac{\partial f_3}{\partial x_4} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \frac{\partial f_3}{\partial x_5} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \frac{\partial f_3}{\partial x_6} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} \\ \frac{\partial f_4}{\partial x_1} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \frac{\partial f_4}{\partial x_2} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \frac{\partial f_4}{\partial x_3} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \frac{\partial f_4}{\partial x_4} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \frac{\partial f_4}{\partial x_5} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \frac{\partial f_4}{\partial x_6} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} \\ \frac{\partial f_5}{\partial x_1} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \frac{\partial f_5}{\partial x_2} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \frac{\partial f_5}{\partial x_3} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \frac{\partial f_5}{\partial x_4} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \frac{\partial f_5}{\partial x_5} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \frac{\partial f_5}{\partial x_6} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} \\ \frac{\partial f_6}{\partial x_1} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \frac{\partial f_6}{\partial x_2} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \frac{\partial f_6}{\partial x_3} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \frac{\partial f_6}{\partial x_4} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \frac{\partial f_6}{\partial x_5} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \frac{\partial f_6}{\partial x_6} \Big|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} \end{bmatrix} \quad (2.67)$$

Ma trận A có thể được viết lại như sau đây:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & A_1 & A_2 & A_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & A_4 & A_5 & A_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & A_7 \end{bmatrix} \quad (2.68)$$

Với các biến như sau trong đó:

$$\begin{aligned} A_m = & 2J_\psi J_w + 2J_w L^2 M + J_\psi M R^2 + 2J_\psi J_m n^2 + 4J_m J_w n^2 \\ & + 2J_\psi R^2 m + 2J_m L^2 M n^2 + 2J_m M R^2 n^2 + 2L^2 M R^2 m + 4J_m R^2 m n^2 + 4J_m L M R n^2 \end{aligned} \quad (2.69)$$

$$A_1 = -\frac{2J_\psi \beta + 2J_\psi f_w + 2L^2 M \beta + 2L^2 M f_w + 4J_m f_w n^2 + 2LMR \beta}{A_m} \quad (2.70)$$

$$A_2 = -\frac{Rg L^2 M^2 - 2J_m g L M n^2}{A_m} \quad (2.71)$$

$$A_3 = \frac{2M \beta L^2 + 2MR \beta L + 2J_\psi \beta}{A_m} \quad (2.72)$$

$$A_4 = \frac{4J_w \beta + 2MR^2 \beta - 4J_m f_w n^2 + 4R^2 \beta m + 2LMR \beta + 2LMR f_w}{A_m} \quad (2.73)$$

$$A_5 = \frac{Lg M^2 R^2 + 2Lgm M R^2 + 2J_m Lg M n^2 + 2J_w Lg M}{A_m} \quad (2.74)$$

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÍ THUYẾT

$$A_6 = -\frac{4J_w\beta + 2MR^2\beta + 4R^2\beta m + 2LMR\beta}{A_m} \quad (2.75)$$

$$A_7 = -\frac{W^2\beta + W^2f_w}{mR^2W^2 + 2J_\phi R^2 + J_m W^2 n^2 + J_w W^2} \quad (2.76)$$

Ma trận B được xác định như sau:

$$B = \begin{bmatrix} \left. \frac{\partial f_1}{\partial v_l} \right|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \left. \frac{\partial f_2}{\partial v_l} \right|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \left. \frac{\partial f_3}{\partial v_l} \right|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \left. \frac{\partial f_4}{\partial v_l} \right|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \left. \frac{\partial f_5}{\partial v_l} \right|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \left. \frac{\partial f_6}{\partial v_l} \right|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} \\ \left. \frac{\partial f_1}{\partial v_r} \right|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \left. \frac{\partial f_2}{\partial v_r} \right|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \left. \frac{\partial f_3}{\partial v_r} \right|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \left. \frac{\partial f_4}{\partial v_r} \right|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \left. \frac{\partial f_5}{\partial v_r} \right|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} & \left. \frac{\partial f_6}{\partial v_r} \right|_{\substack{x=x_0 \\ u=u_0}} \end{bmatrix}^T \quad (2.77)$$

Công thức (2.77) có thể viết lại như sau:

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ B_1 & B_1 \\ 0 & 0 \\ B_2 & B_2 \\ 0 & 0 \\ -B_3 & B_3 \end{bmatrix} \quad (2.78)$$

Trong đó các biến

$$\begin{aligned} B_m &= 2J_\psi J_w + 2J_w L^2 M + J_\psi MR^2 + 2J_\psi J_m n^2 + 4J_m J_w n^2 + 2J_\psi R^2 m \\ &+ 2J_m L^2 M n^2 + 2J_m M R^2 n^2 + 2L^2 M R^2 m + 4J_m R^2 m n^2 + 4J_m L M R n^2 \end{aligned} \quad (2.79)$$

$$B_1 = \frac{\alpha(ML^2 + MRL + J_\psi)}{B_m} \quad (2.80)$$

$$B_2 = \frac{-\alpha(2J_w + MR^2 + 2R^2 m + LMR)}{B_m} \quad (2.81)$$

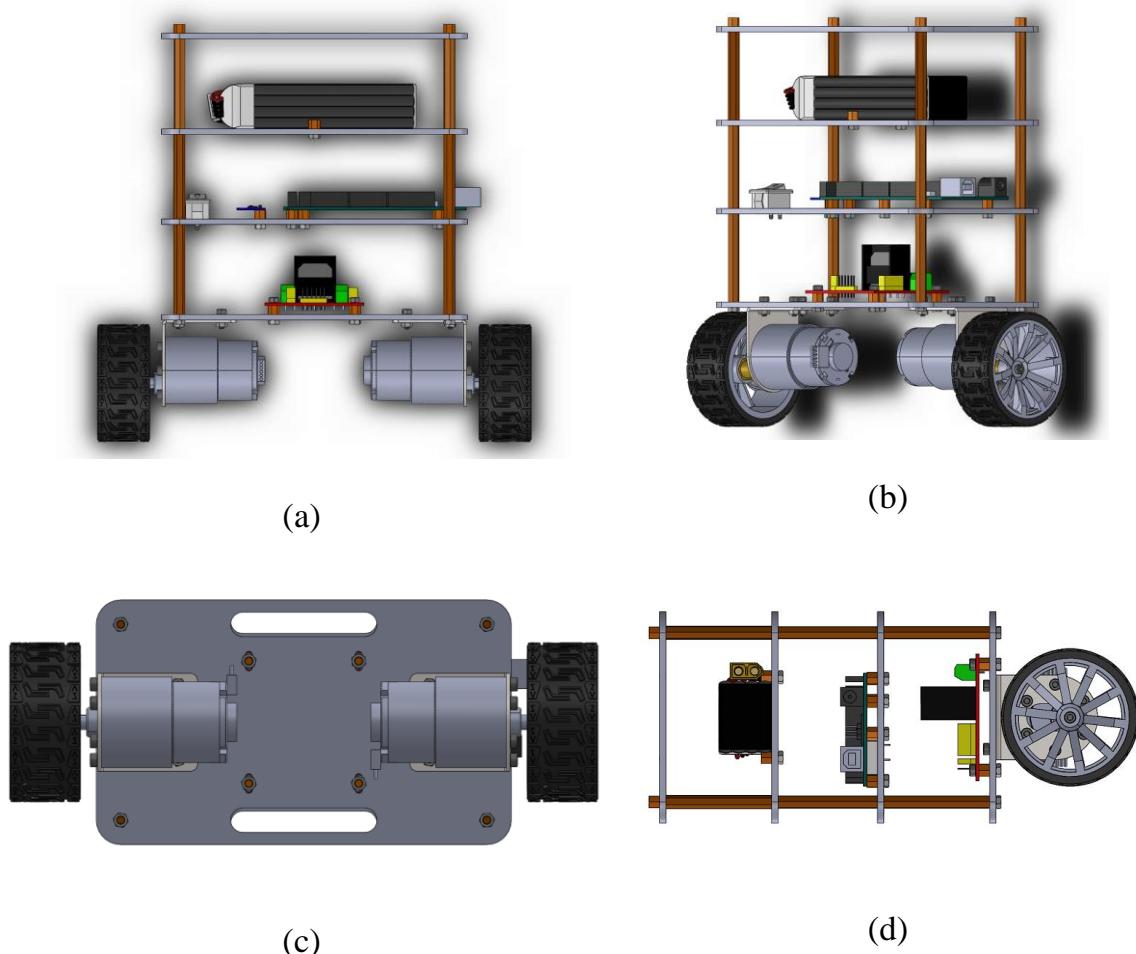
$$B_3 = \frac{RW\alpha}{mR^2W^2 + 2J_\phi R^2 + J_m W^2 n^2 + J_w W^2} \quad (2.82)$$

CHƯƠNG 3: THIẾT KẾ MÔ HÌNH

Chương này trình bày các chi tiết của mô hình robot di động hai bánh được thiết kế trên phần mềm Solidworks phiên bản 2020. Sau khi các chi tiết đã được thiết kế, tiếp theo ta tiến hành lắp ghép chúng lại với nhau và cuối cùng tạo nên một mô hình 3D của robot một cách hoàn chỉnh.

3.1 Thiết kế mô hình robot hai bánh di động

Mô hình 3D của robot được thiết kế trên phần mềm Solidworks 2020. Ở đây, nhóm chia mô hình gồm hai phần: Phần cơ và phần điện của hệ thống. Toàn bộ mô hình được trình bày ở Hình 3- 1.



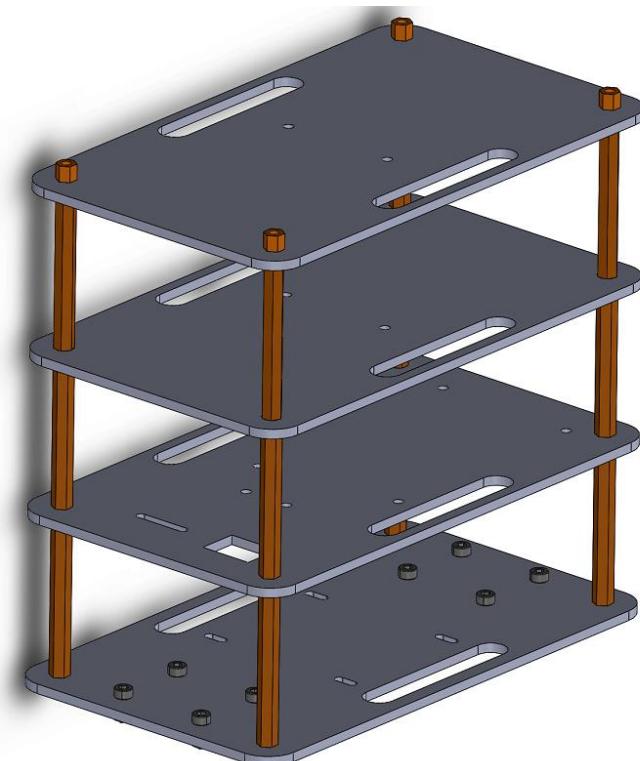
Hình 3- 1. Mô hình 3D của robot hai bánh di động; a) góc nhìn theo hướng trực diện; (b) Góc nhìn từ ngoài vào; (c) Góc nhìn từ dưới lên trên; (d). Góc nhìn từ phải sang trái.

CHƯƠNG 3. THIẾT KẾ MÔ HÌNH

3.1.1 Phân cơ của mô hình

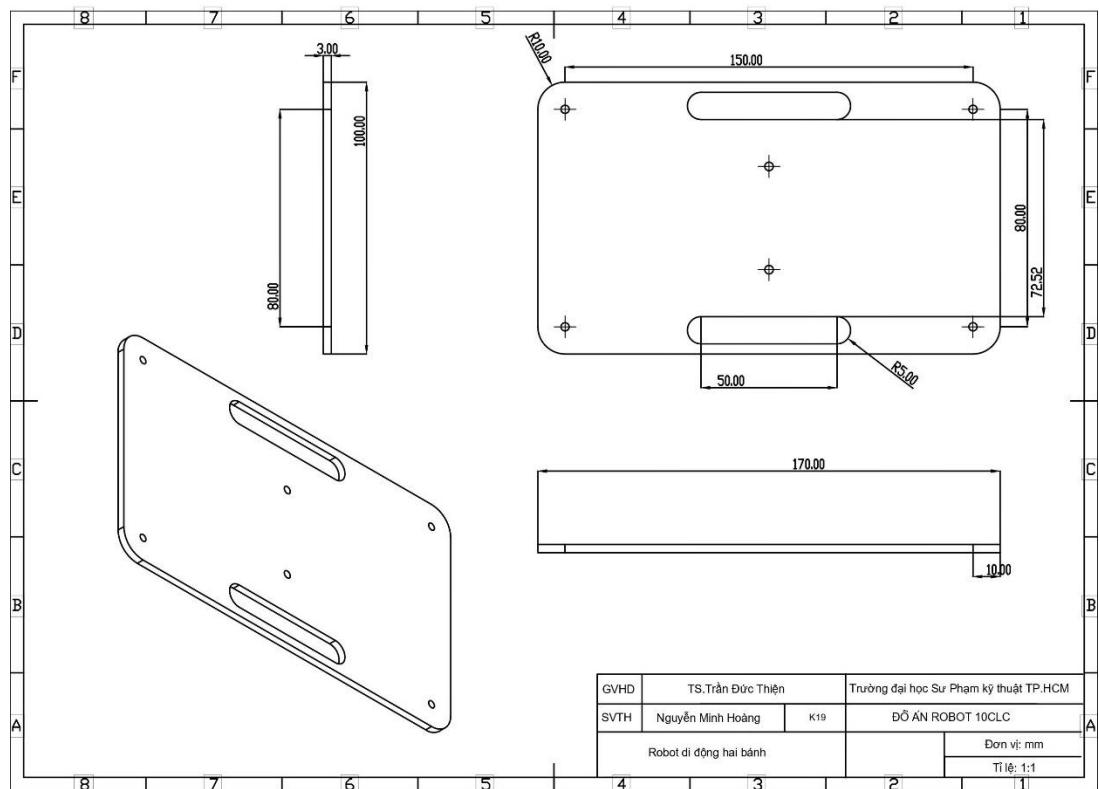
3.1.1.1 Khung robot

Khung robot được sử dụng để gắn các bộ phận của robot. Vì vậy, yêu cầu của khung phải đảm bảo độ chắc chắn, cân bằng và ổn định trong suốt quá trình hoạt động của xe. Đồng thời, khung robot cũng phải đảm bảo được yếu tố nhỏ, gọn và phù hợp với kích thước mô hình đã đề ra. Ở đây, nhóm thiết kế khung với kích thước $100 \times 150 \times 3\text{mm}$ với vật liệu là mica.

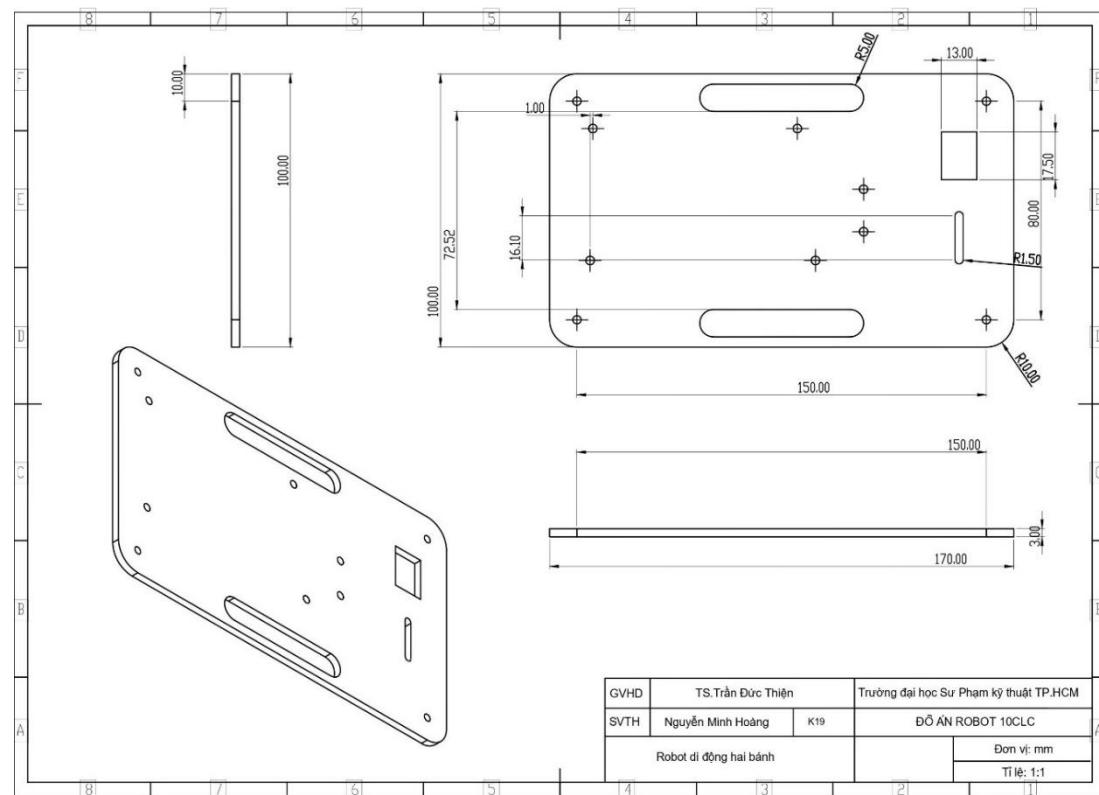


Hình 3- 2: Khung 3D của robot

CHƯƠNG 3. THIẾT KẾ MÔ HÌNH

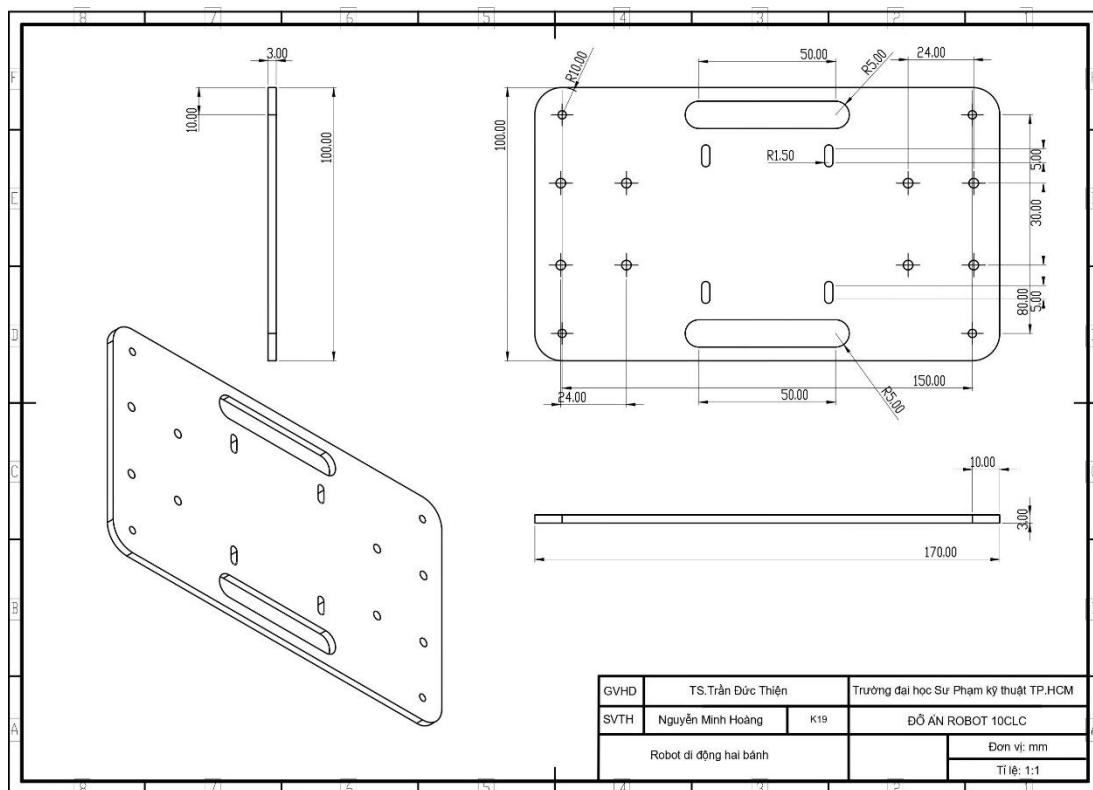


Hình 3- 3: Bản vẽ chi tiết của tầng thứ nhất



Hình 3- 4: Bản vẽ chi tiết của tầng thứ hai

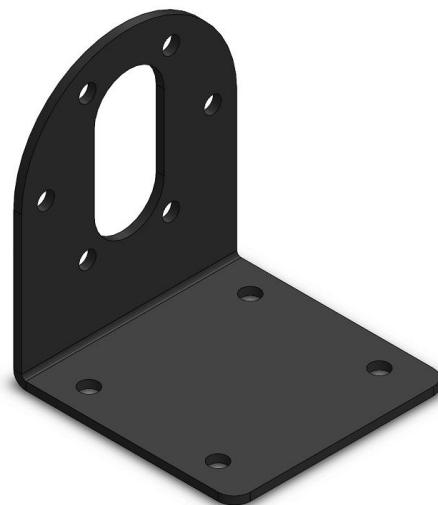
CHƯƠNG 3. THIẾT KẾ MÔ HÌNH



Hình 3- 5: Bản vẽ chi tiết của tầng thứ 3

3.1.1.2 Gá đỡ động cơ

Gá đỡ động cơ được thiết kế để cố định động cơ với tâm khung dưới cùng của xe. Động cơ sẽ được gắn chặt vào chi tiết này để không bị rung chuyển trong khi robot đang hoạt động. Do đó mặt bích động cơ được thiết kế với vật liệu bằng sắt, độ dày 1.5mm.



Hình 3- 6: Mô hình 3D gá đỡ động cơ

CHƯƠNG 3. THIẾT KẾ MÔ HÌNH

3.1.1.3 Trụ đồng

Trụ đồng được thiết kế giúp kết nối giữa các tấm khung của robot thông qua các lỗ $3mm$ nằm trên các mặt của tấm khung. Với việc kết nối giữa các tấm khung, yêu cầu chi tiết phải cứng cáp, để có thể tạo nên bộ khung vững chắc giúp bố trí các thiết bị phần cơ của robot. Trụ đồng được sử dụng có chất liệu làm bằng đồng, dài $35mm$.

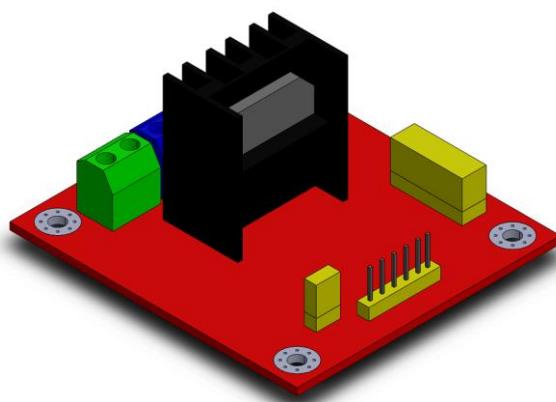


Hình 3- 7: Mô hình 3D của trụ đồng

3.1.2 Phần điện của mô hình

3.1.2.1 Mạch cầu H-Bridge

Ở đây, nhóm sẽ không thiết kế lại các module có sẵn trên thị trường, nhóm chỉ vẽ lại để có thể bố trí được phần điện và phần cơ của hệ thống sao cho phù hợp nhất. Với khả năng bền bỉ và thiết kế tiện lợi, L298 V2 có khả năng điều khiển động cơ DC với dòng cấp lên tới $2A$ cho mỗi cầu, điện áp cấp vào $5V \sim 46V$.

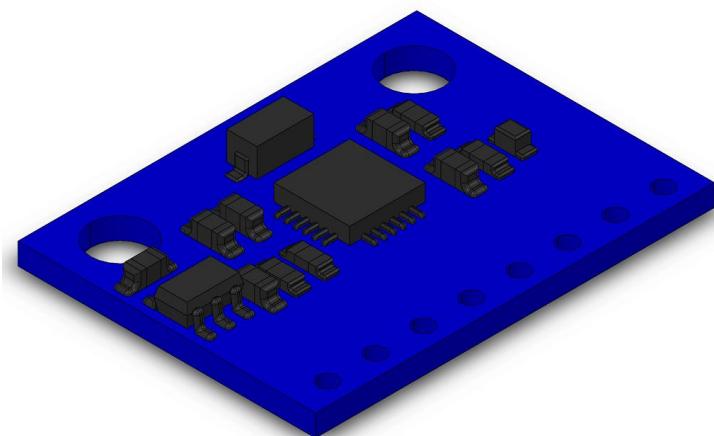


Hình 3- 8: mô hình 3D của mạch cầu L298 V2

3.1.2.2 Cảm biến Gy-521

Nhóm sử dụng cảm biến MPU 6050 dùng để đọc về góc nghiêng của robot khi hoạt động. Cảm biến góc nghiêng sẽ được đặt ở chính giữa con robot, nằm trên tầng thứ hai của robot.

CHƯƠNG 3. THIẾT KẾ MÔ HÌNH



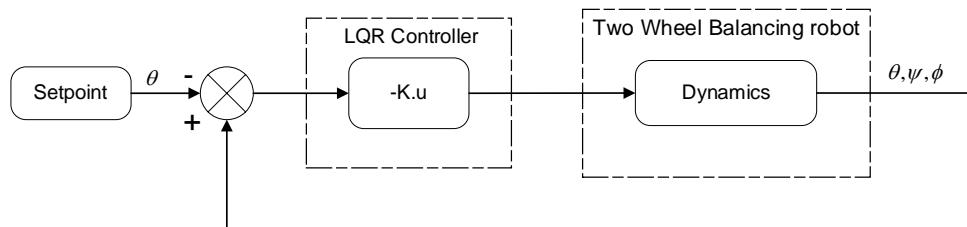
Hình 3- 9:Mô hình 3D cảm biến MPU6050

CHƯƠNG 4: THI CÔNG MÔ HÌNH

Ở chương này trình bày kết quả mô phỏng kiểm chứng bộ điều khiển của robot di động hai bánh cân bằng với các trường hợp có nhiễu và không có nhiễu. Việc mô phỏng này giúp chúng ta có thể kiểm chứng được tính đúng đắn của bộ điều khiển và là bước đệm để có thể áp dụng bộ điều khiển ở ngoài thực tế.

4.1 Kiểm chứng bộ điều khiển LQR

Sơ đồ khối của bộ điều khiển LQR được trình bày dưới đây:



Hình 4- 1: Sơ đồ khối bộ điều khiển LQR

Thông số mô hình của hệ thống sau khi đo đạc và tham khảo từ nhà sản xuất được trình bày ở bảng:

Bảng 6: Thông số của mô hình thực tế

Ký hiệu	Ý nghĩa	Giá trị
$W - [m]$	Chiều dài thân xe.	0.168
$D - [m]$	Độ rộng xe.	0.098
$H - [m]$	Chiều cao của xe.	0.109
$L - [m]$	Khoảng cách từ trọng tâm đếm trực bánh xe.	0.05563
$R - [m]$	Bán kính 2 bánh xe.	0.0325
$m - [kg]$	Khối lượng bánh xe.	0.04
$M - [kg]$	Khối lượng của xe.	0.8

CHƯƠNG 4. THI CÔNG MÔ HÌNH

n	Tỷ số truyền của hộp số.	30
$J_m - [kg.m^2]$	Moment quán tính của động cơ	0.00033894
$K_b - [V.s/rad]$	Hệ số EMF của động cơ DC.	0.055
$K_t - [Nm/A]$	Moment xoắn động cơ.	0.0197
$g - [m/s^2]$	Gia tốc trọng trường.	9.81
$R_m - [\Omega]$	Điện trở trong của động cơ.	8.5628
f_m	Hệ số ma sát giữa xe và động cơ DC.	0.0022
f_w	Hệ số ma sát giữa bánh xe và mặt phẳng.	0

Từ bảng thông số mô hình trên ta có thể thu được các ma trận tuyến tính hóa của hệ thống:

Kết quả ma trận $\mathbf{A} \in \mathbb{R}^{6 \times 6}$ được thể hiện dưới đây:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.318 & 47.379 & 0.318 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.142 & 63.267 & -0.142 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.444 \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Kết quả ma trận $\mathbf{B} \in \mathbb{R}^{6 \times 1}$ được thể hiện dưới đây:

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 21.63 & 21.63 \\ 0 & 0 \\ -9.647 & -9.647 \\ 0 & 0 \\ -11.7 & 11.7 \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Chọn ma trận \mathbf{Q}, \mathbf{N} như sau:

$$\mathbf{Q} = diag([2000 \ 3000 \ 4000 \ 800 \ 100 \ 1]) \quad (4.3)$$

CHƯƠNG 4. THI CÔNG MÔ HÌNH

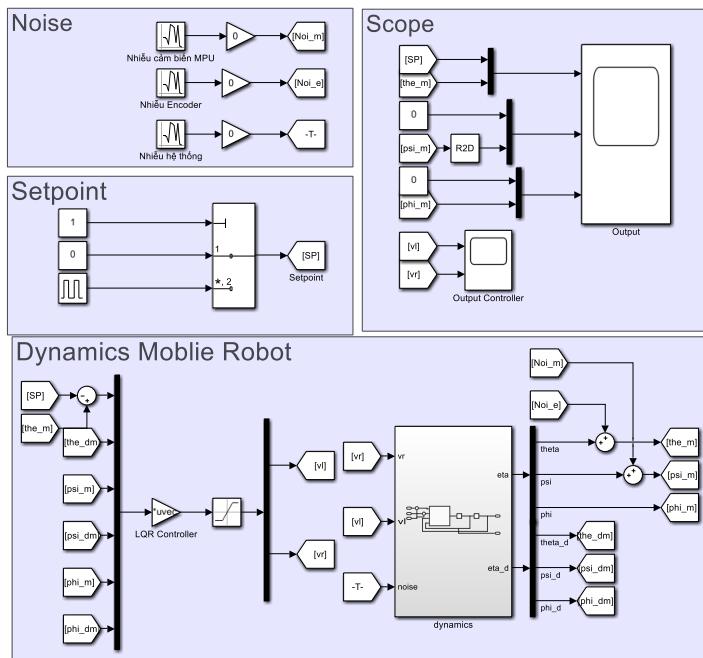
$$\mathbf{R} = \text{diag}([50 \quad 50]) \quad (4.4)$$

Từ phương trình và ta áp dụng công cụ Matlab để tính toán giá trị K như sau:

$$\mathbf{K} = lqr(\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{Q}, \mathbf{R}) \quad (4.5)$$

Với $\mathbf{K} \in \mathbb{R}^{2 \times 6}$ là độ lợi hồi tiếp của bộ điều khiển.

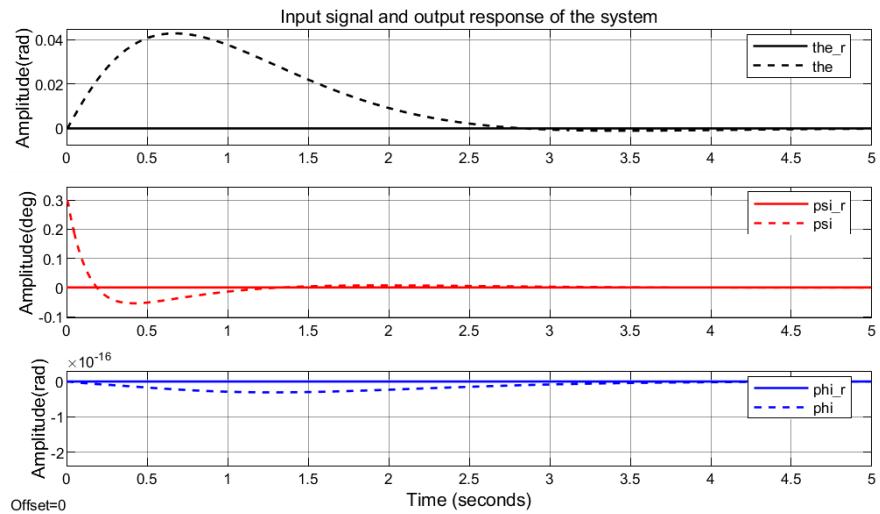
Từ các ma trận đã tính toán trên, nhóm tiếp tục tiến hành thiết kế mô hình mô phỏng trên Simulink như Hình 4- 2.



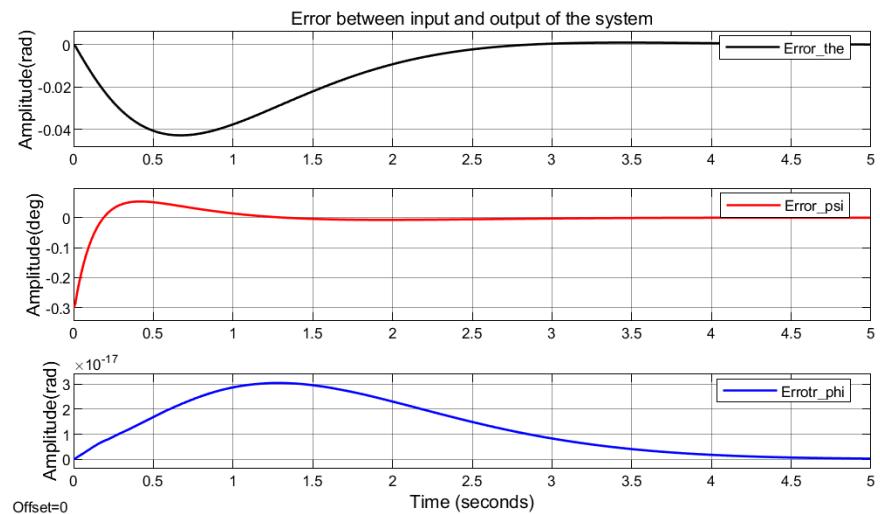
Hình 4- 2: Sơ đồ mô phỏng trên MATLAB Simulink

Trường hợp 1: Với các giá trị ban đầu của robot là $(\theta, \psi, \phi) = (0, 0.3, 0)$. Giá trị đặt của robot là $(\theta, \psi, \phi) = (0, 0, 0)$ Thời gian mô phỏng là 5s, thời gian lấy mẫu của hệ thống là 0.01s, chế độ mô phỏng là ode3, phần mềm mô phỏng là MATLAB 2019a. Đây là ngõ ra của các thông số theta, psi, phi (θ, ψ, ϕ) ứng với lần lượt các đường thẳng màu đen, màu đỏ và xanh nước(nét liền) ở Hình 4- 3.

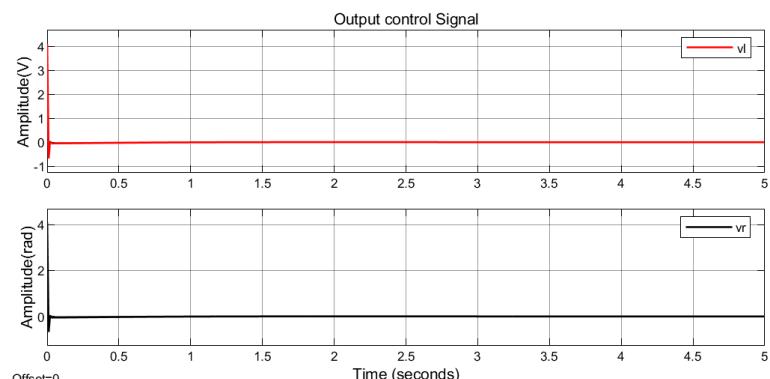
CHƯƠNG 4. THI CÔNG MÔ HÌNH



Hình 4- 3: Đáp ứng ngõ ra của hệ thống ở trường hợp 1



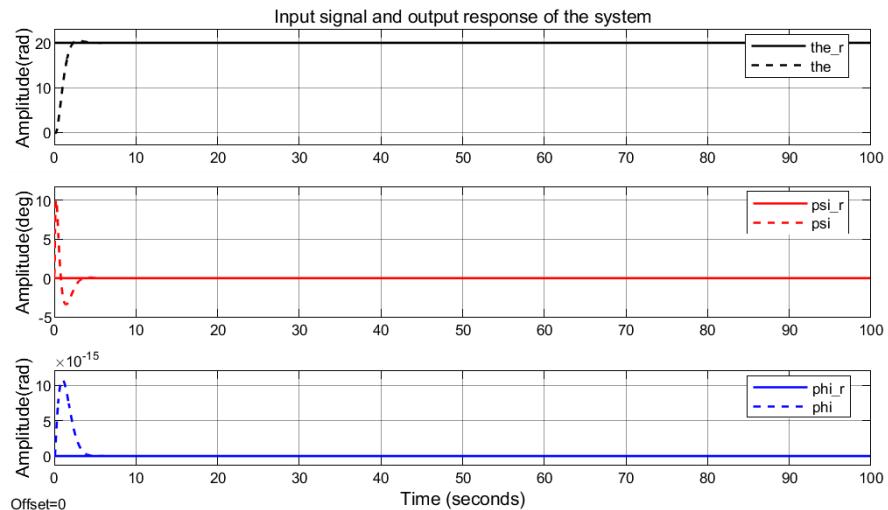
Hình 4- 4: Sai số giữa tín hiệu đặt và đáp ứng ngõ ra của hệ thống ở trường hợp 1



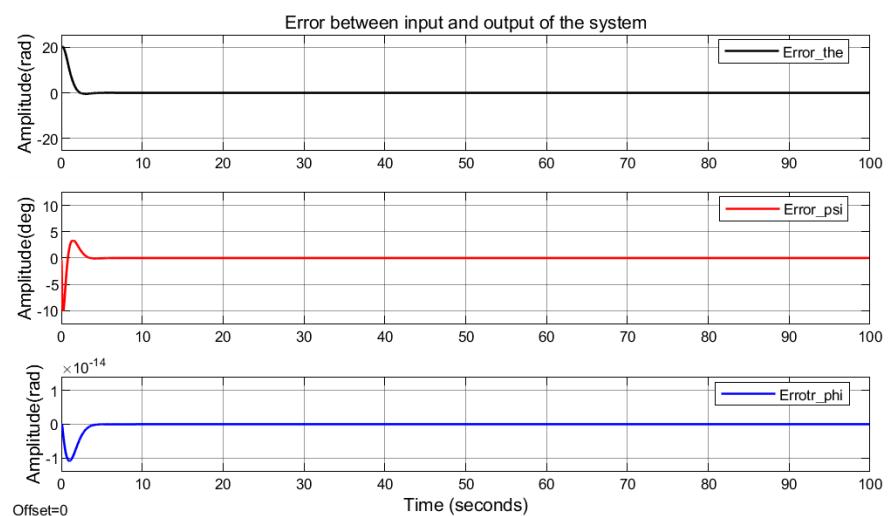
Hình 4- 5: Tín hiệu điều khiển của hệ thống ở trường hợp 1

CHƯƠNG 4. THI CÔNG MÔ HÌNH

Trường hợp 2: Với các giá trị ban đầu của robot là $(\theta, \psi, \phi) = (0, 0.3, 0)$. Giá trị đặt của robot là $(\theta, \psi, \phi) = (20, 0, 0)$. Thời gian mô phỏng là 10s0, thời gian lấy mẫu của hệ thống là 0.01s, chế độ mô phỏng là ode3, phần mềm mô phỏng là MATLAB 2019a. Đây là ngõ ra của các thông số theta, psi, phi (θ, ψ, ϕ) ứng với lần lượt các đường thẳng màu đen, màu đỏ và xanh nước(nét liền) ở Hình 4- 6.

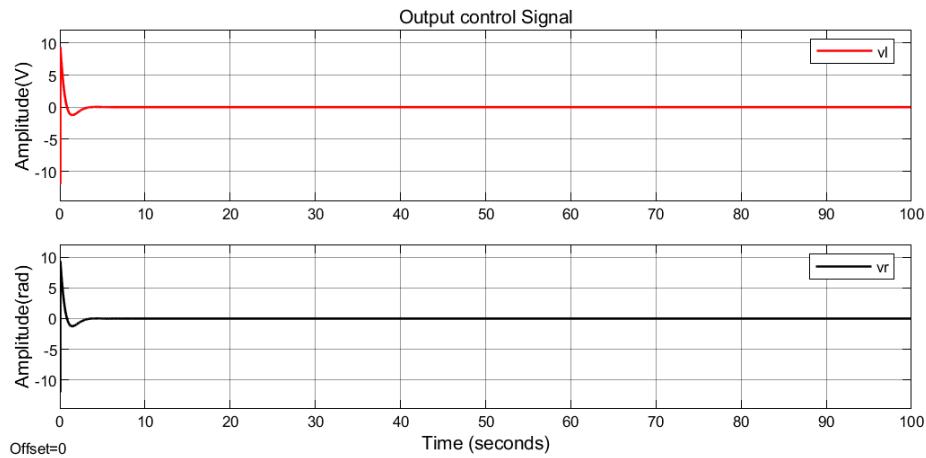


Hình 4- 6 Đáp ứng ngõ ra của hệ thống ở trường hợp 2



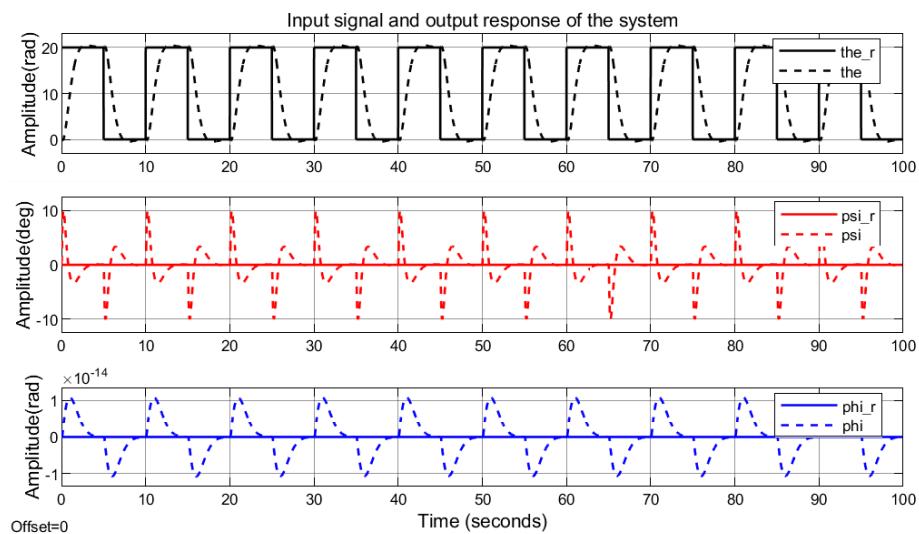
Hình 4- 7: Sai số của hệ thống ở trường hợp 2

CHƯƠNG 4. THI CÔNG MÔ HÌNH



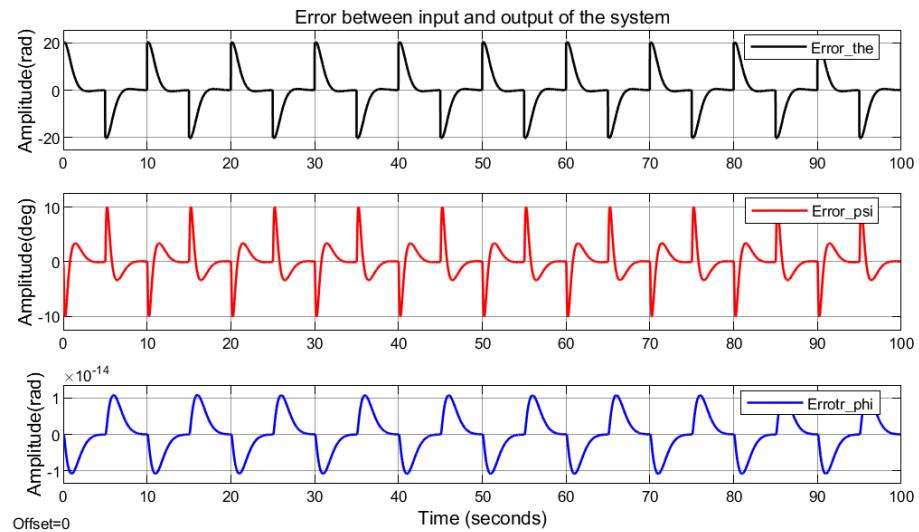
Hình 4- 8: Tín hiệu điều khiển của hệ thống ở trường hợp 2

Trường hợp 3: Với các giá trị ban đầu của robot là $(\theta, \psi, \phi) = (0, 0.3, 0)$. Giá trị đặt của robot là hàm Pulse có các thiết lập biên độ là 20, chu kì 10s, độ rộng xung là 50%. Thời gian mô phỏng là 100s, thời gian lấy mẫu của hệ thống là 0.01s, chế độ mô phỏng là ode3, phần mềm mô phỏng là MATLAB 2019a. Ngõ ra của các thông số theta, psi, phi (θ, ψ, ϕ) ứng với lần lượt các đường thẳng màu đen, màu đỏ và xanh nước(nét liền) ở Hình 4- 9.

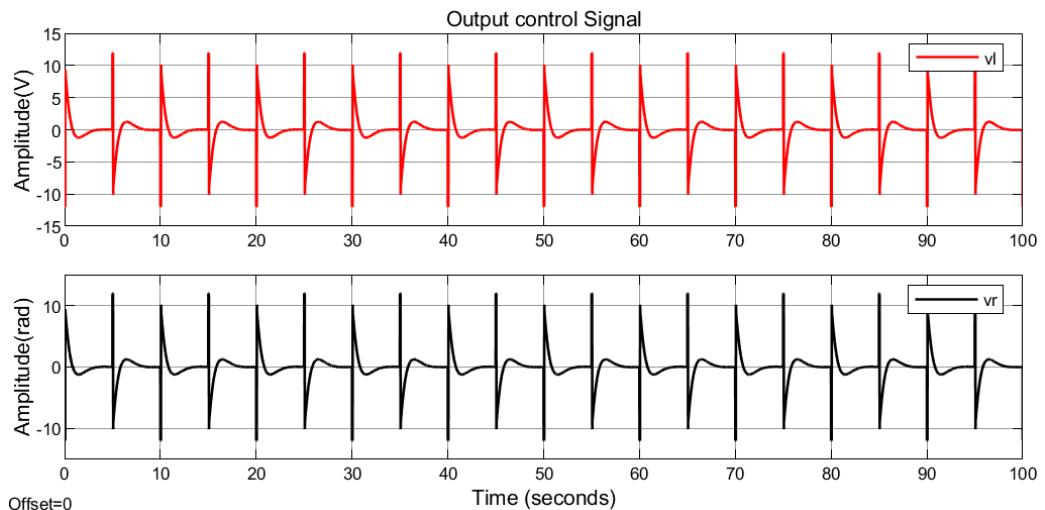


Hình 4- 9: Đáp ứng ngõ ra của hệ thống ở trường hợp 3

CHƯƠNG 4. THI CÔNG MÔ HÌNH



Hình 4- 10: Sai số của hệ thống ở trường hợp 3



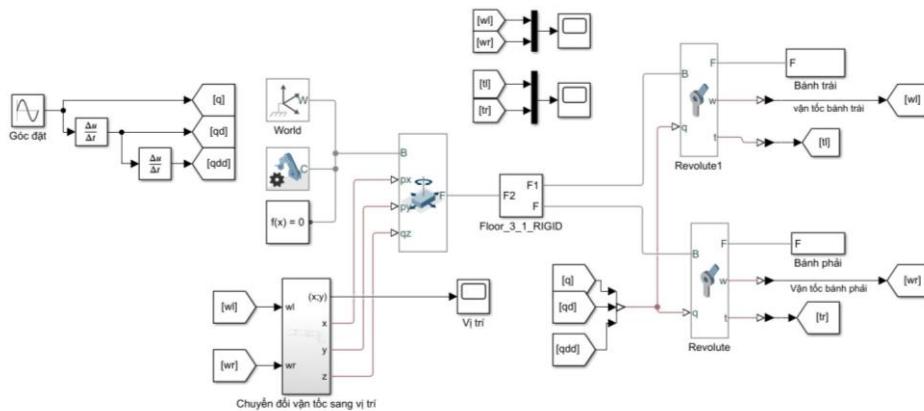
Hình 4- 11: Tín hiệu điều khiển của hệ thống ở trường hợp 3

4.2 Thi công mô hình

4.2.1 Lựa chọn động cơ

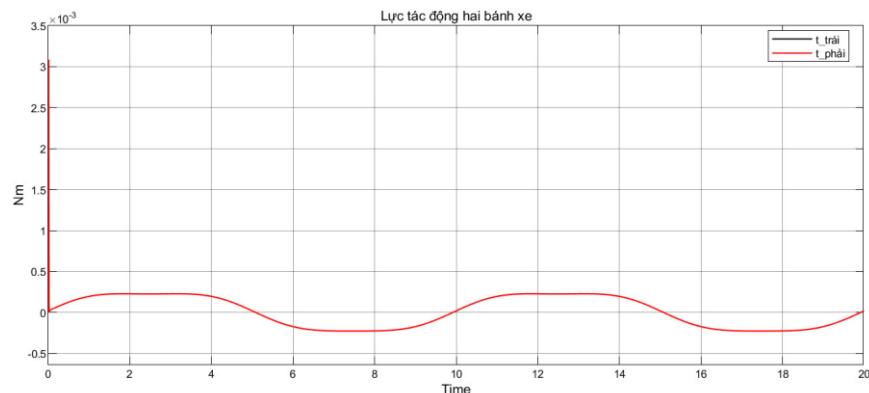
Quá trình xây dựng mô hình robot di động có thể hoạt động và thực hiện được các tác vụ trong thực tế tương đối phức tạp. Để có thể đáp ứng được các nhiệm vụ như giữ cân bằng, di chuyển theo quỹ đạo đặt trước, khả năng mang tải, vận hành êm ái thì việc tính toán và lựa chọn động cơ sẽ được lựa chọn như sau:

CHƯƠNG 4. THI CÔNG MÔ HÌNH



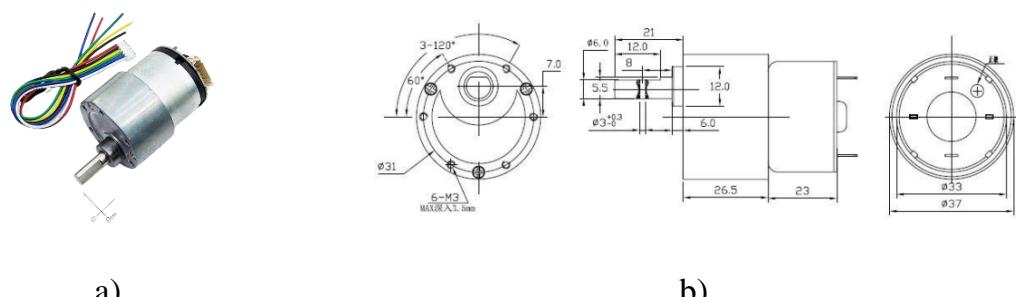
Hình 4- 12: Sơ đồ mô phỏng trên Matlab Simulink của robot

Ở đây nhóm mô phỏng trên MATLAB Simulink để lấy dữ liệu torque của hai bánh xe. Tín hiệu đặt là đồ thị hình sine có biên độ là 90, thời gian mô phỏng là 10s.



Hình 4- 13: Thu thập dữ liệu lực tác động lên cả hai bánh xe

Với giá trị lớn nhất ta quan sát được từ Scope là $F_F = 0.003\text{Nm}$, ta nhân với hệ số an toàn là 1.5, ta tìm ra được lực cần cung cấp cho bánh xe trái và phải là $F = 0.003 * 1.5 = 0.0045\text{Nm}$, từ đó nhóm lựa chọn động cơ cho bánh trái và phải là động cơ encoder JGB37-520 với mô men 35KG.CM .



Hình 4- 14:a)Động cơ JGB 37-520 333rpm, b) Bản vẽ kích thước của động cơ

CHƯƠNG 4. THI CÔNG MÔ HÌNH

Bảng 7: Thông số kỹ thuật động cơ JGB37

Thông số	Giá trị	Đơn vị
Điện áp cung cấp	12	V
Tốc độ vòng quay	333	Vòng/phút
Encoder	30	xung
Momen xoắn	3.5	Kg.cm
Khối lượng	0.1	kg
Dòng định mức	250	mA

4.2.2 Lựa chọn thiết bị

Xét theo yêu cầu thiết kế, kết hợp tra cứu thông số kỹ thuật của các thiết bị từ nhà sản xuất. Thông qua đó, nhóm đã chọn một số loại thiết bị dưới đây:

4.2.2.1 Nguồn pin Lipo

Thiết bị này được dùng để cấp nguồn cho hệ thống, dòng xả có thể lên tới 44A để đảm bảo dòng quá các linh kiện và module của hệ thống.

Lí do chọn:

- Dễ dàng sạc pin cho nguồn.
- Hệ thống linh hoạt do không bị vướng víu dây.
- Cung cấp dòng ổn định giúp hệ thống hoạt động mượt mà.



Hình 4- 15: Pin Lipo 12.6V 2200mAh

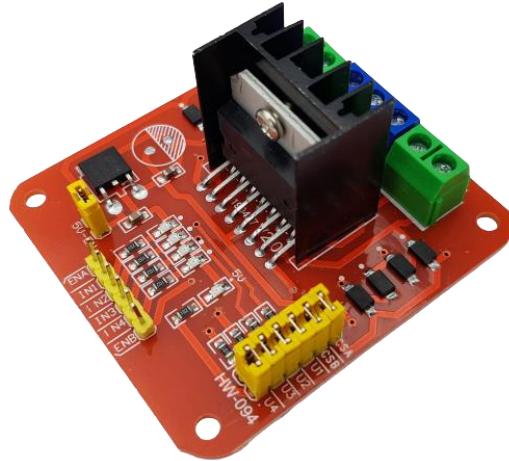
CHƯƠNG 4. THI CÔNG MÔ HÌNH

Bảng 8: thông số kỹ thuật của pin lipo

Thông số	Giá trị	Đơn vị
Điện áp cung cấp	12.6	V
Dòng xả	50	C
Dung lượng	2200	mAh
Khối lượng	177	g

4.2.2.2 Mạch cầu L298N

Để điều khiển xuất xung cho 2 động cơ JGB37-520 của robot, nhóm sử dụng 1 mạch cầu L298N V2.



Hình 4- 16: Mạch cầu L298N V2

Bảng 9: Thông số kỹ thuật của mạch cầu L298N

Thông số	Giá trị	Đơn vị
Công suất tối đa	25	W
Dòng tối đa (cho mỗi cầu)	2	A
Điện áp đầu vào	5~46V	Vdc
Trọng lượng	48	g

CHƯƠNG 4. THI CÔNG MÔ HÌNH

4.2.2.3 Bộ điều khiển trung tâm (CPU)

Module điều khiển trung tâm có chức năng đọc tín hiệu cảm biến và đo giá trị góc nghiêng của robot xe với trực, xuất tín hiệu analog để điều khiển động cơ, thay đổi điện áp cấp vào hai bánh xe. Ta có thể kết nối trực tiếp với máy tính thông qua cổng nạp của Arduino để lấy dữ liệu và vẽ đồ thị.

Lí do chọn:

- Là vi điều khiển có số lượng chân I/O nhiều hơn với Uno có thể thoải mái trong việc kết nối, đi dây ổn định.
- Tốc độ xử lý ổn định, có nhiều chân ngắt ngoại để đọc encoder và trả về để điều khiển chính xác tốc độ và vị trí động cơ.



Hình 4- 17: Arduino mega 2560

Bảng 10: Bảng thông số kỹ thuật của mega 2560

Thông số	Giá trị	Đơn vị
Điện áp cấp	4~20	Vdc
Dòng điện ra các chân IO	20	mA
Điện áp ra để cấp nguồn cảm biến	3.3,5	V
Chân truyền thông	3	chân

CHƯƠNG 4. THI CÔNG MÔ HÌNH

Chân ngắt ngoại	6	Chân
Chân băm xung	13	Chân
Chân giao tiếp Spi	4	Chân

4.2.2.4 Cảm biến góc nghiêng MPU6050

Thiết bị này dùng để thu thập các giá trị gia tốc trọng trường và tốc độ quay thông qua cảm biến đo gia tốc và con quay hồi chuyển để đưa vào tính toán ra góc nghiêng của xe.

Lí do chọn:

- Cảm biến này cung cấp đầy đủ các giá trị đo để có thể tính toán ra được góc nghiêng và góc xoay của robot.
- Kích thước nhỏ gọn, dễ dàng lắp đặt.



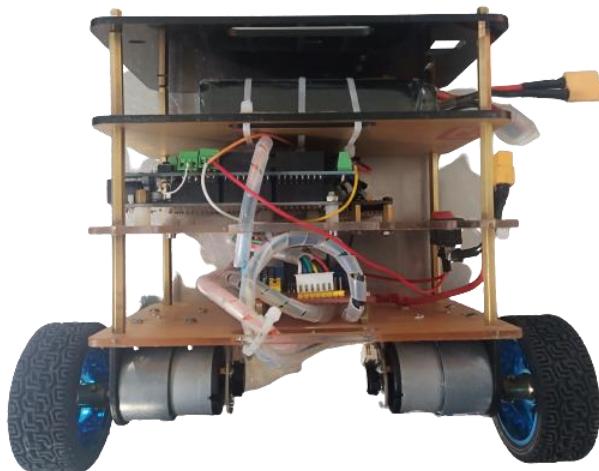
Hình 4- 18: Cảm biến MPU6050

Bảng 11: Thông số kỹ thuật cảm biến MPU6050

Thông số	Giá trị	Đơn vị
Điện áp cấp	3.3~5	Vdc
Chuẩn giao tiếp	I2C	
Giá trị Gyro trong khoảng	$\pm 250, \pm 500, \pm 1000, \pm 2000$	$^{\circ} / sec$
Giá trị Acc trong khoảng	$\pm 2, \pm 4, \pm 8, \pm 16$	g
Bộ đệm	1024	byte

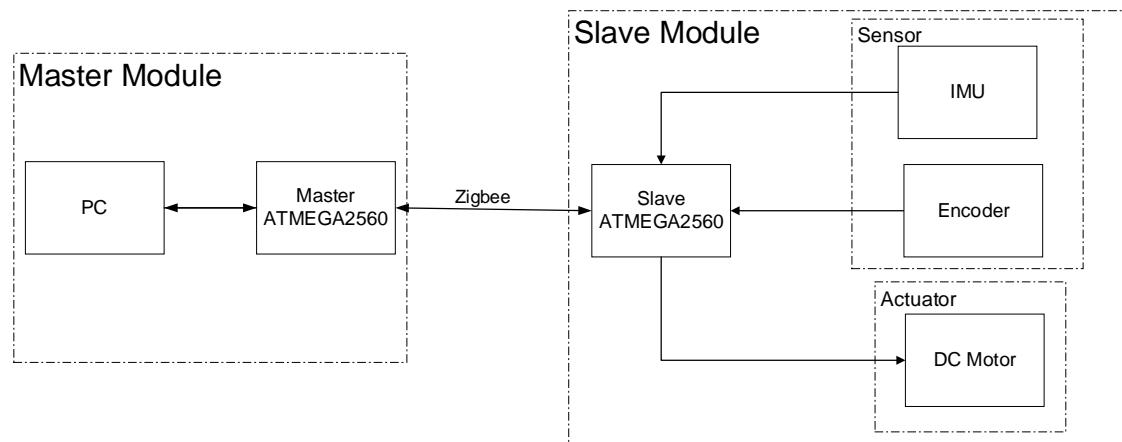
CHƯƠNG 4. THI CÔNG MÔ HÌNH

Từ các thiết bị và bản vẽ chi tiết mô hình robot di động được thi công và lắp ráp hoàn thiện như Hình 4- 19

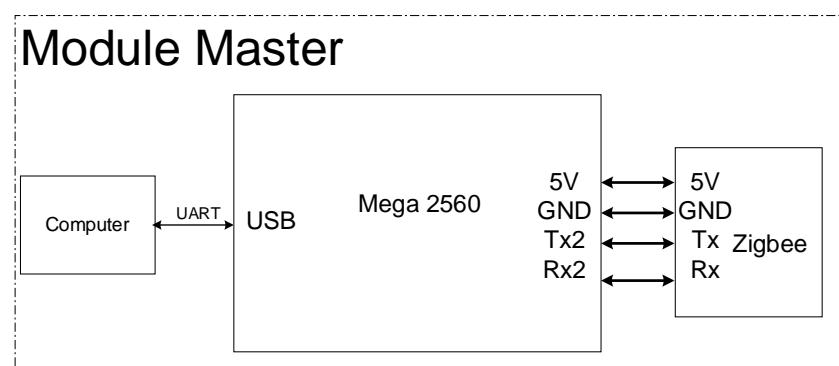


Hình 4- 19: Mô hình robot hai bánh cân bằng hoàn thiện

4.2.3 Sơ đồ kết nối mạch



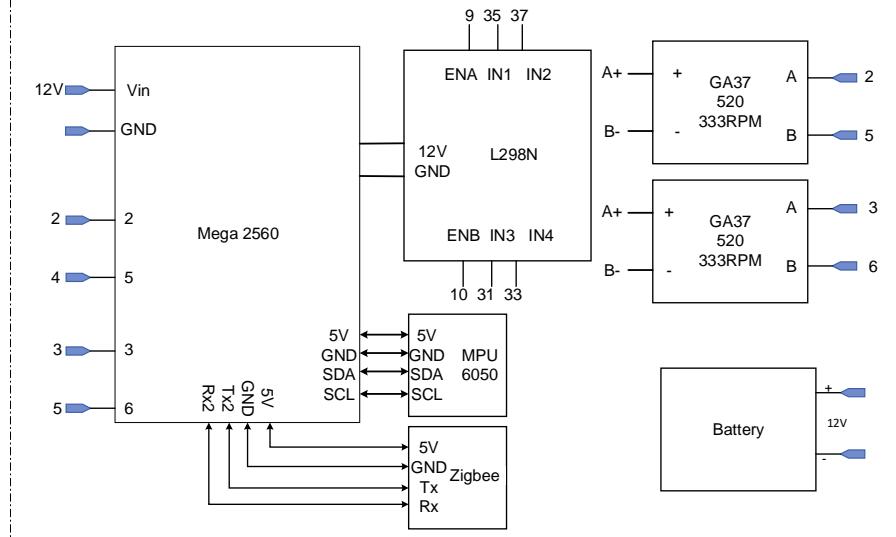
Hình 4- 20: Sơ đồ tổng quát của hệ thống



Hình 4- 21: Sơ đồ kết nối dây ở module Master

CHƯƠNG 4. THI CÔNG MÔ HÌNH

Module Slave



Hình 4- 22: Sơ đồ kết nối dây ở module Slave

Hệ thống robot sẽ chia ra làm hai module: Master và Slave.

Ở module Master có nhiệm vụ như sau:

- + Thu thập các dữ liệu, các giá trị trả về từ Slave bao gồm các góc tiến, góc nghiêng, góc xoay và tín hiệu đặt của robot.
- + Gửi tín hiệu điều khiển từ giao diện người dùng thông qua UART và qua module truyền thông Zigbee để truyền tín hiệu đi.

Ở module Slave có nhiệm vụ như sau:

- + Chấp hành hiệu lệnh từ module Master gửi xuống.
- + Thu thập và tính toán các giá trị cảm biến góc nghiêng, encoder để hồi tiếp và tính toán giá trị điều khiển u cho bộ điều khiển LQR.
- + Gửi các tín hiệu góc nghiêng, góc tiến, góc xoay của robot thông qua module zigbee đến module Master.

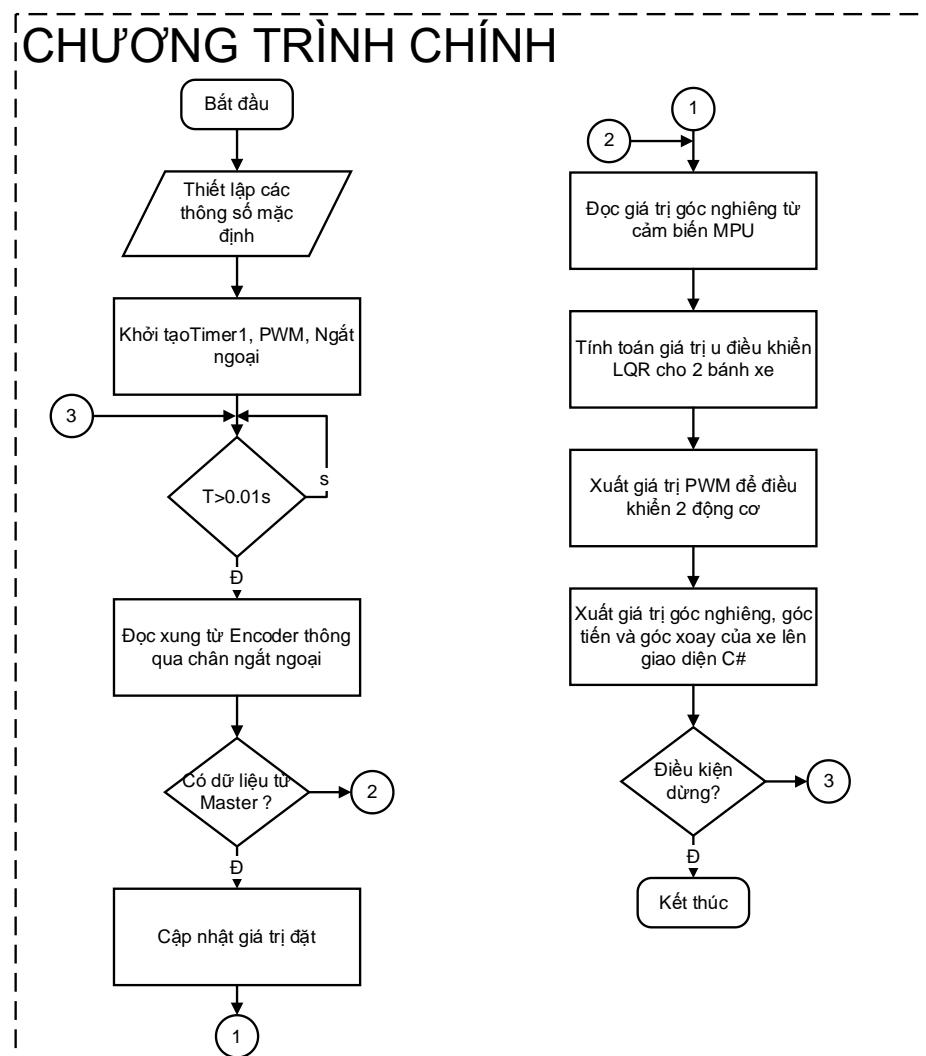
4.3 Chương trình điều khiển

4.3.1 Chương trình chính

Sau khi đã hoàn tất việc xây dựng mô hình, nhóm thực hiện xây dựng chương trình điều khiển hệ thống. Hệ thống điều khiển bao gồm hai vi điều khiển(Mega2560)

CHƯƠNG 4. THI CÔNG MÔ HÌNH

.Vi điều khiển ở module Slave sẽ có chức năng xuất tín hiệu analog điều khiển 2 động cơ, đồng thời đọc và tính toán giá trị xung encoder và cảm biến góc nghiêng, tính toán điện áp cần thiết để điều khiển 2 động cơ theo tín hiệu đặt và gửi tín hiệu các góc về module Master thông qua truyền thông zigbee.Còn với vi điều khiển thứ hai nằm tại module Master sẽ có nhiệm vụ nhận tín hiệu gửi về từ module slave và giao tiếp với máy tính thông qua truyền thông UART để nhận lệnh điều khiển và vẽ đồ thị đáp ứng của robot.

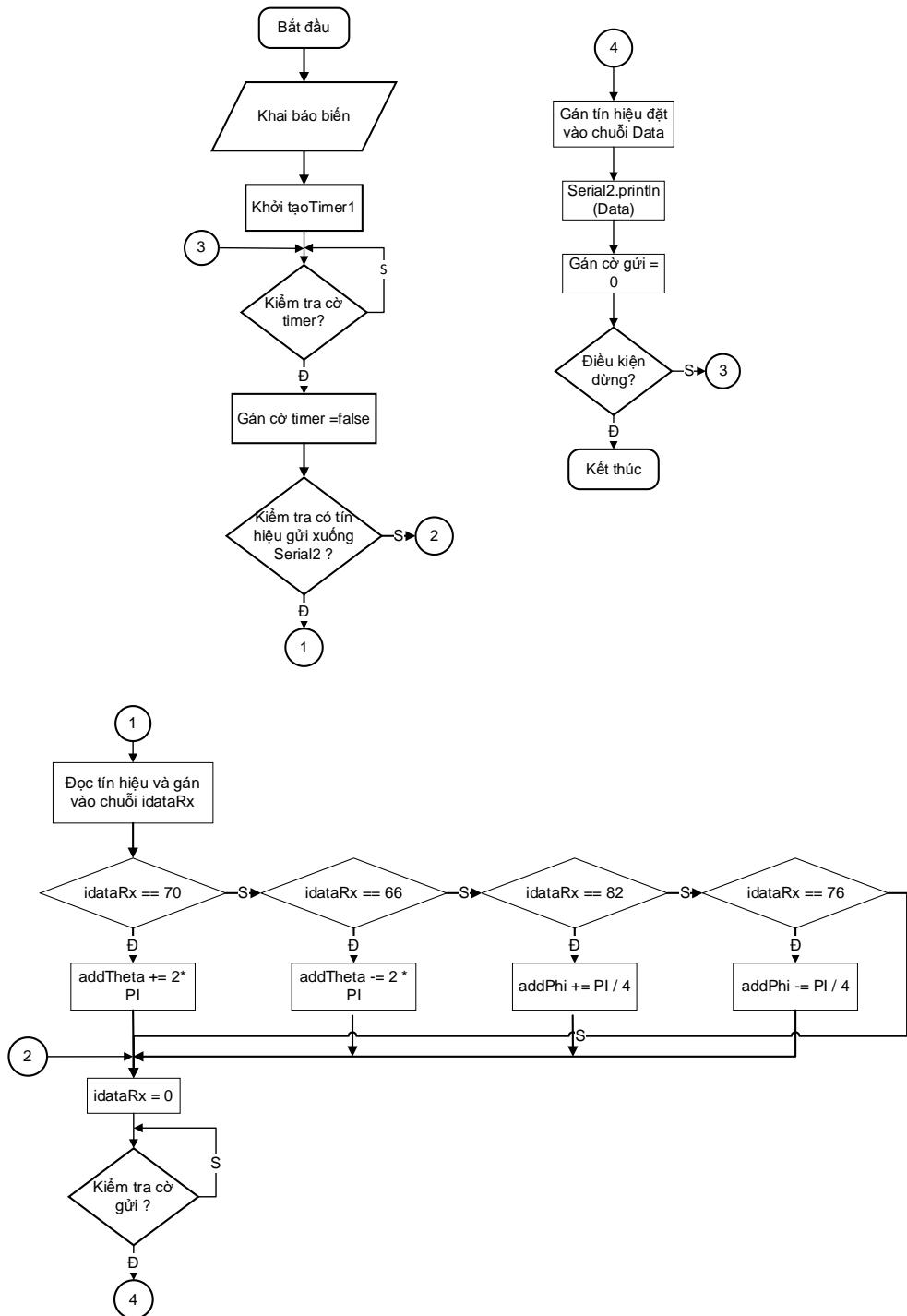


Hình 4- 23: Lưu đồ giải thuật chương trình chính của hệ thống

Ở chương trình Module Master, ta sử dụng cờ ngắt để kiểm tra xem slave có gửi dữ liệu hay không, tiếp tục 200ms ta kiểm tra xem máy tính có gửi tín hiệu đặt xuống hay không. Giá trị gửi từ máy tính xuống sẽ được đọc qua ngắt và kiểm tra.

CHƯƠNG 4. THI CÔNG MÔ HÌNH

Đối với chế độ tiến lùi thì chúng chỉ có chức năng cộng hoạch trừ đi giá trị đặt của addTheta và addPhi.



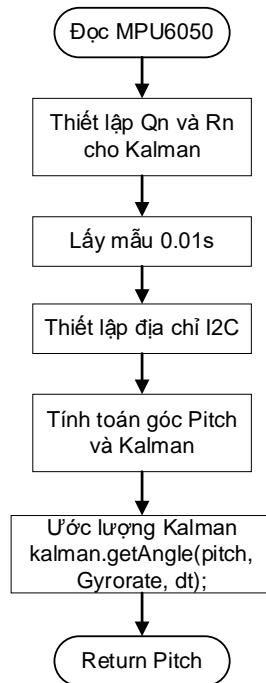
Hình 4- 24: Lưu đồ giải thuật ở module Master

CHƯƠNG 4. THI CÔNG MÔ HÌNH

4.3.2 Chương trình đọc giá trị cảm biến góc nghiêng

Khai báo thư viện: Khai báo thư viện Wire.h và thư viện Kalman.h để đọc MPU và dùng bộ lọc Kalman để lọc nhiễu tín hiệu cảm biến.

Khai báo phần cứng: Khai báo các chân của arduino để đọc xung ngắn, phát xung tốc độ cao, truyền thông I2C.Thiết lập địa chỉ I2C là 0x68, 0x69 địa chỉ này giúp ta kết nối nhiều module, cảm biến khác nhau trên cùng 1 đường dữ liệu.Thiết lập các giá trị và mảng lưu giá trị thanh ghi từ module I2C.Thiết lập tần số I2C đến 400kHz TWBR = ((F_CPU / 400000UL) - 16) / 2.Kiểm tra khoảng thời gian Arduino hoạt động đến thời gian đặt thì lấy mẫu cảm biến 1 lần.Kiểm tra có giá trị trả về từ module I2C về không.Cập nhật giá trị trả về vào mảng i2cData và trích xuất các giá trị như giá tốc góc, Gyroscope,... của 3 trục roll, pitch, yaw ở đây ta chỉ quan tâm đến trục pitch vì đặt theo phương y của cảm biến.Tính toán góc trục y (pitch) dùng atan2 để ra 1 nghiệm và tính toán Gyrorate để tìm giá trị sau bộ lọc Kalman.Tính Kalman dùng hàm kalman.getAngle(pitch, Gyrorate, dt) để lấy giá trị góc trục y sau khi qua bộ lọc Kalman.Sau khi ta ước lượng xong thì tiếp đến ta cần phải điều chỉnh giá trị Q và R của bộ lọc Kalman bằng việc thu được từ thực nghiệm. ta sử dụng hàm kalman.setRmeasure và kalman.setQangle.

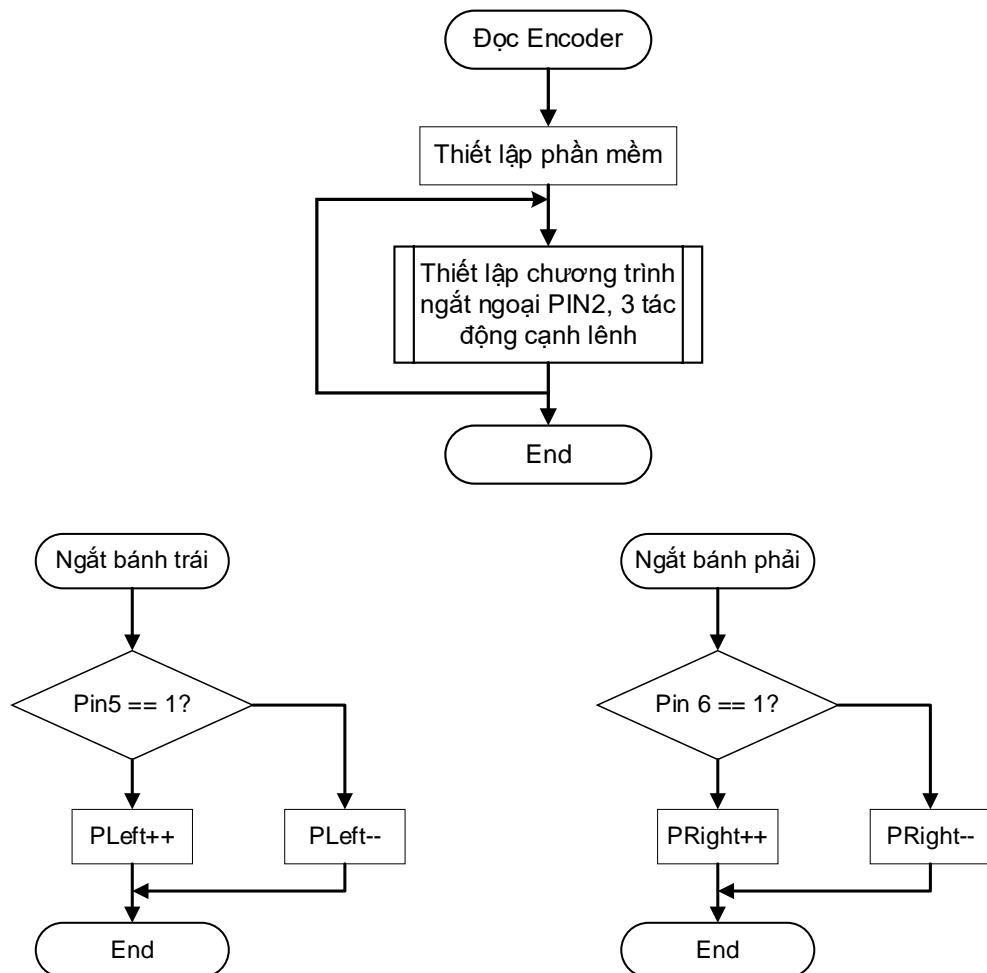


Hình 4- 25: Lưu đồ giải thuật đọc giá trị cảm biến MPU6050

CHƯƠNG 4. THI CÔNG MÔ HÌNH

4.3.3 Chương trình ngắt nhận sử dụng trong hệ thống

Ở đây, nhóm sử dụng chức năng ngắt ngoại của vi điều khiển để đọc giá trị xung encoder mà không làm ảnh hưởng đến chương trình chính. Chương trình ngắt cho bánh trái: encoder có 2 kênh A B kênh A nối với Pin 2 dùng để ngắt ngoại xung cạnh lên. Khi có xung cạnh lên tác động thì chương trình ngắt thực hiện nếu Pin 5 ở mức cao thì động cơ quay thuận nên bên ileft++, nếu động cơ quay nghịch thì pin 5 sẽ ở mức thấp thì ileft-- hiện chiều quay động cơ. Chương trình ngắt bánh phải tương tự với bánh trái với chân ngắt là 3 và chân xác định chiều quay là pin 6.



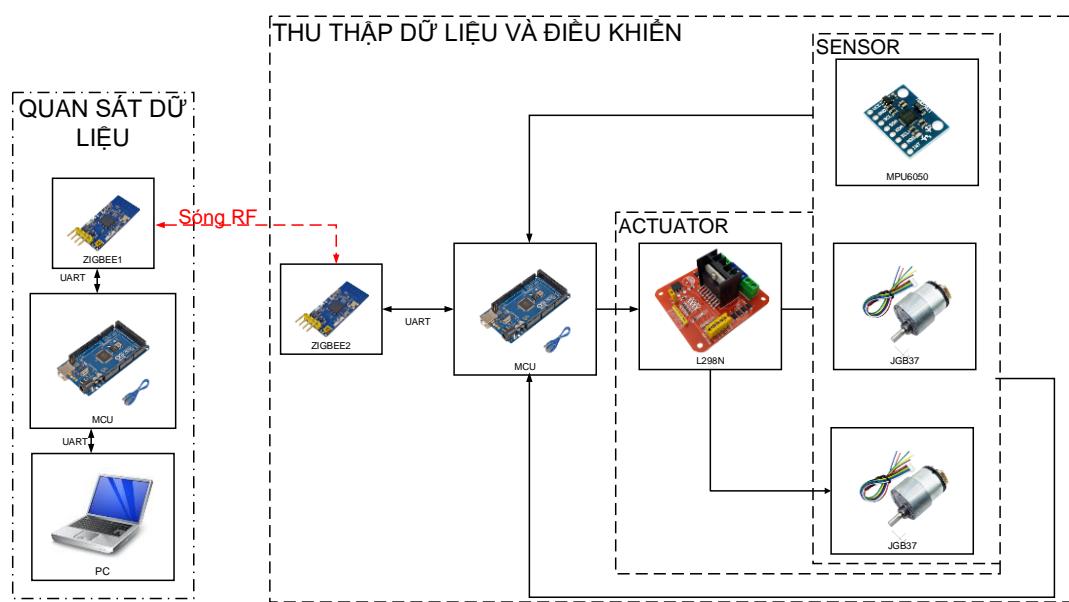
Hình 4- 26: Chương trình ngắt ngoại đọc tín hiệu encoder từ hai bánh xe

4.4 Truyền nhận dữ liệu trong hệ thống

4.4.1 Sơ đồ truyền nhận dữ liệu

Để có thể thực hiện truyền nhận dữ liệu ta cần có sơ đồ giao tiếp của hệ thống:

CHƯƠNG 4. THI CÔNG MÔ HÌNH



Hình 4- 27:sơ đồ giao tiếp của hệ thống

Trong hệ thống mô hình, sử dụng 2 vi điều khiển Arduino, một vi điều khiển sẽ thu thập các giá trị góc đọc từ cảm biến và encoder, một vi điều khiển dùng để thu thập dữ liệu và hiển thị đồ thị lên máy tính. Các vi điều khiển được giao tiếp với nhau qua UART và giao tiếp không dây sử dụng Module Zigbee.

4.4.2 Tính toán thời gian thực thi chương trình trong hệ thống

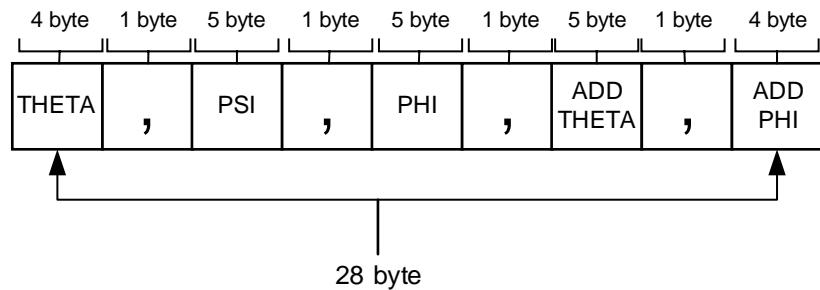
4.4.2.1 Tính toán thời gian truyền nhận dữ liệu

Để hệ thống thực hiện chính xác theo thời gian, ta thực hiện tính toán thời gian truyền nhận dữ liệu của Arduino như sau:

Các giao tiếp giữa Arduino với nhau ta chọn tốc độ truyền (Baudrate = 115200) do đó 1s Arduino sẽ truyền được 115200 bit.

Đối với việc truyền nhận dữ liệu các góc đọc từ khối Slave. Các dữ liệu được gửi sẽ được mã hóa như Hình 4- 28. Dữ liệu gửi bao gồm 8-byte giá trị góc nghiêng của robot, 8 byte giá trị góc tiền của robot, 8 byte giá trị góc xoay của robot, 8 byte giá trị đặt của góc tiền của robot, 8 byte giá trị của góc xoay của robot, các giá trị này sẽ được ngăn cách bởi dấu phẩy. Mỗi dấu phẩy có giá trị là 1 byte, kết thúc là 1 byte khoảng trắng.

CHƯƠNG 4. THI CÔNG MÔ HÌNH



Hình 4- 28: Mã hóa dữ liệu gửi đi từ Slave lên Master

Truyền 28 bytes (1byte = 8bit + 2 bit Start, Stop) \rightarrow 1-byte gồm 10 bits

Vậy tổng số bit cần truyền là 280 bits. Ta tính được thời gian truyền:

$$t_{slave_master} = 280 * \frac{1}{115200} = 2.43(ms) \quad (4.6)$$

Ta có tốc độ truyền tối đa của module Zigbee là 3300bps = 26400 bit/s, vậy ta tính được thời gian truyền của module Zigbee.

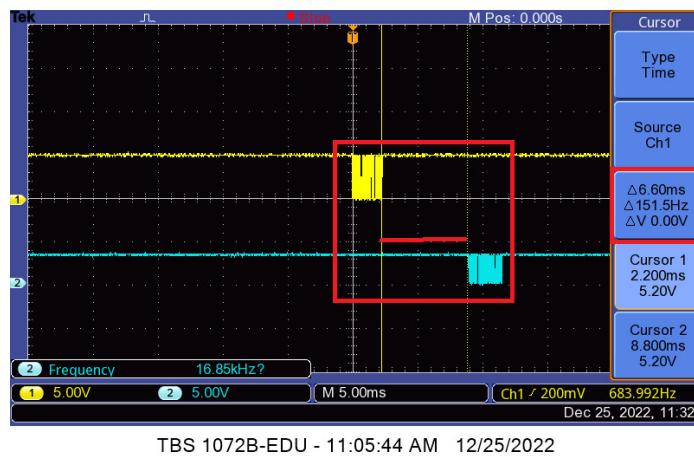
$$t_{zigbee} = 280 * \frac{1}{26400} = 10.6(ms) \quad (4.7)$$

Ở đây nhóm sử dụng OSC để đo tín hiệu truyền từ slave lên zigbee và từ zigbee2 về zigbee1.



Hình 4- 29: Thời gian truyền dữ liệu từ Slave lên zigbee

CHƯƠNG 4. THI CÔNG MÔ HÌNH

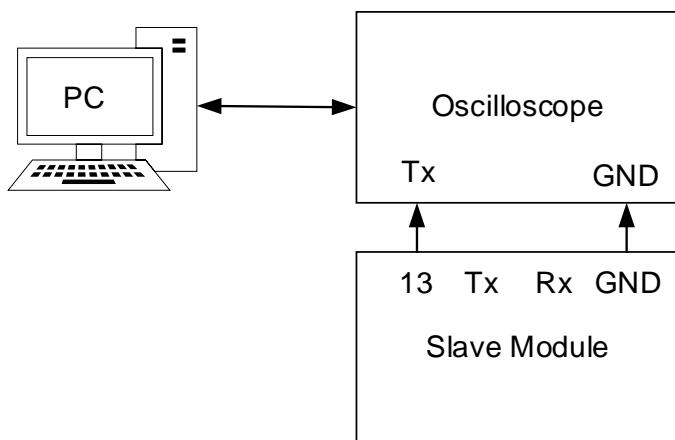


Hình 4- 30: Thời gian truyền nhận giữa hai zigbee

Như Hình 4- 30 cho thấy thời gian truyền nhận vẫn đáp ứng được thời gian truyền tối đa của nhà sản xuất đưa ra.

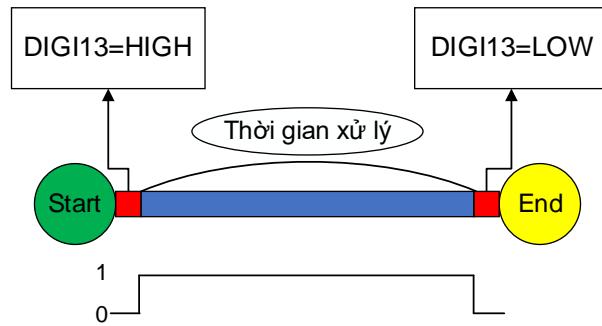
4.4.2.2 Kiểm tra thời gian thực hiện các chương trình con

Để có thể quản lí, giám sát được hoạt động của hệ thống, nhóm có đo đạc thời gian thực hiện các chương trình con của hệ thống. Ở đây nhóm sẽ sử dụng các chân digital cùng với Oscilloscope. Đầu tiên, khi hệ thống bắt đầu một chu kì, để đo đạc được thời gian thực hiện của mỗi chương trình con, nhóm sẽ cho chân digital số 13 lên mức cao. Sau khi chương trình con thực hiện xong, nhóm sẽ cho chân digital số 13 xuống mức thấp. Dựa vào khoảng thời gian đo được trên Oscilloscope, ta có thể biết được thời gian xử lí trên máy tính.



Hình 4- 31: Sơ đồ khái đồ thời gian thực hiện của chương trình

CHƯƠNG 4. THI CÔNG MÔ HÌNH



Hình 4- 32:Sơ đồ khái niệm chương trình thực hiện đo

Tiếp theo là kết quả đo đạc được từ Oscilloscope với lần lượt các chương trình con trong hệ thống.

Thời gian thực hiện chương trình đọc cảm biến Mpu6050:



Hình 4- 33: Thời gian thực hiện chương trình đọc cảm biến MPU6050

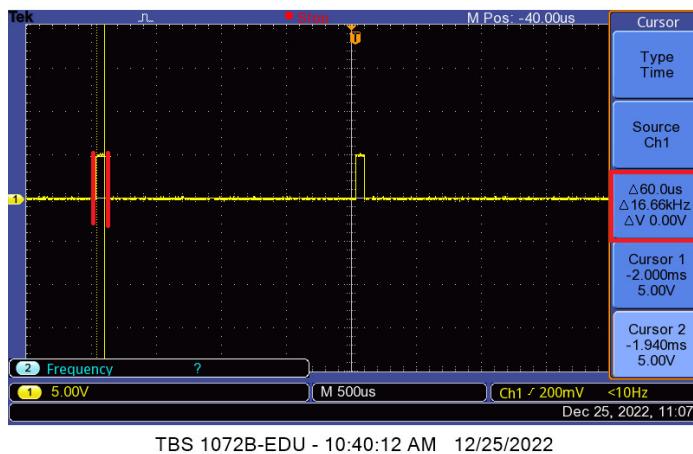
Thời gian tính toán bộ điều khiển LQR trong hệ thống:



Hình 4- 34: Thời gian thực hiện chương trình tính toán bộ điều khiển LQR

CHƯƠNG 4. THI CÔNG MÔ HÌNH

Thời gian thực hiện xuất tín hiệu điều khiển cho động cơ:



Hình 4- 35: Thời gian xuất tín hiệu điều khiển cho động cơ

4.5 Xây dựng giao diện người dùng trên C#

Để có thể thu thập dữ liệu và vẽ đồ thị, quan sát các đáp ứng của hệ thống một cách chính xác và thời gian thực, nhóm xây dựng giao diện người dùng GUI cho mô hình robot hai bánh cân bằng. Giao diện sẽ bao gồm 4 trang để thực hiện các chức năng riêng:

Trang Home:

- Hiển thị tên đề tài, sinh viên thực hiện, người hướng dẫn và hình ảnh thực tế của robot.

Trang Kinematics:

- Được chia ra làm 4-tab nhỏ bao gồm: Initial value, Mode control, Connect, LQR Coefficient.
 - + Connect: Cho phép giao diện kết nối và truyền dữ liệu xuống arduino
 - + Initial value: Sẽ có chức năng nhập các giá trị khởi tạo của các góc tiền (θ), góc xoay (ϕ) và cho phép robot di chuyển.
 - + Mode control: tab này sẽ cho phép nhập vào các giá trị quy hoạch quỹ đạo cho robot. Ở đây có 2 chế độ: Circle, Line.
 - + LQR Coefficient: Cho phép điều chỉnh các thông số của bộ điều khiển.

Trang Visualize:

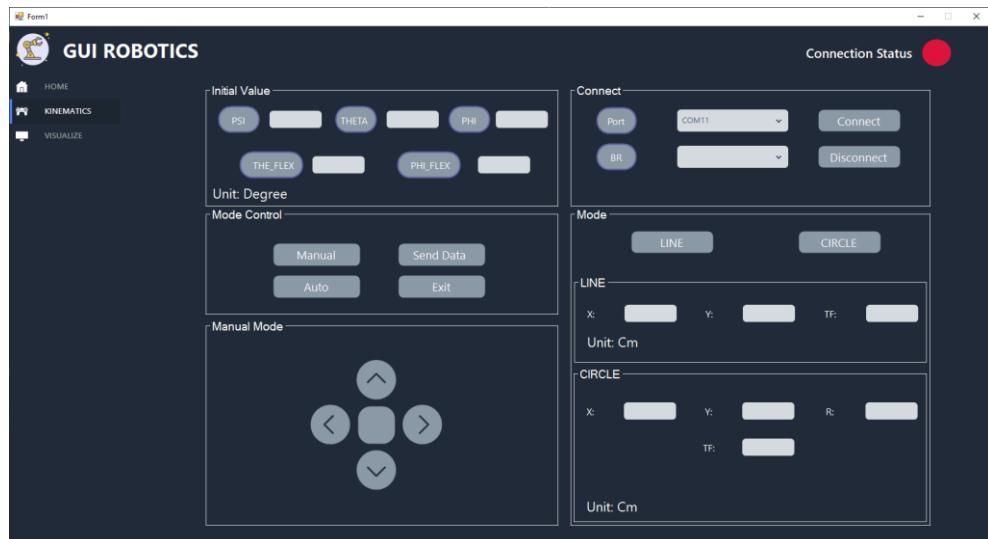
CHƯƠNG 4. THI CÔNG MÔ HÌNH

Trang này sẽ bao gồm 4 đồ thị biểu diễn các góc của robot (θ, ψ, ϕ) khi di chuyển theo quỹ đạo đặt trước.

Cho phép thu thập các dữ liệu từ cảm biến và xuất ra file có đuôi.csv để xử lý dữ liệu.



Hình 4- 36: Trang Home của giao diện điều khiển



Hình 4- 37: Trang Kinematics của giao diện điều khiển

CHƯƠNG 4. THI CÔNG MÔ HÌNH



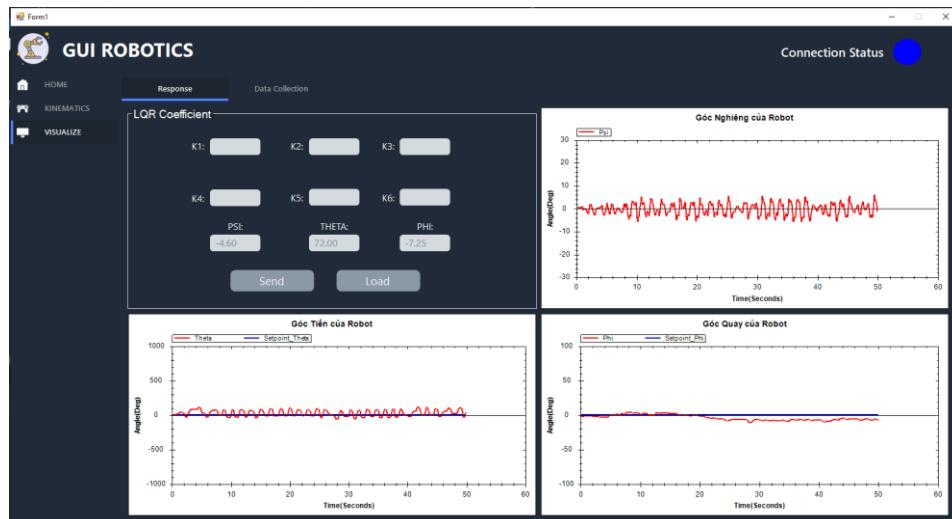
Hình 4- 38: Trang Visualize của giao diện điều khiển

4.6 Thực nghiệm hệ thống

Khi chạy trên mô hình thực tế, nhóm đã điều chỉnh các giá trị của ma trận K dựa trên bộ thông số K của mô hình mô phỏng. Từ đó, nhóm đã tìm ra bộ thông số K mới cho mô hình thực tế như sau:

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} 4 & 10 & 420 & 40 & 4 & 10 \\ 4 & 10 & 420 & 40 & -4 & 10 \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

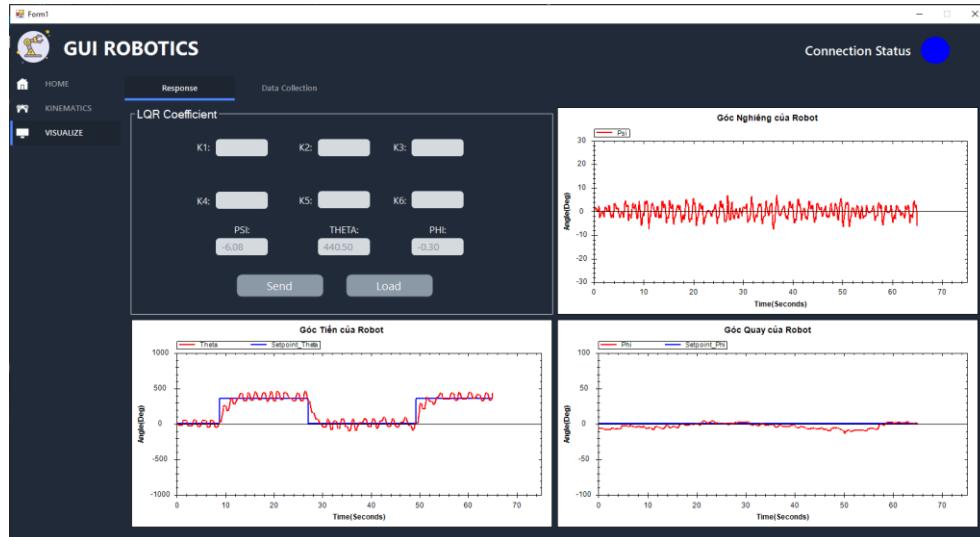
Và tham số Qn và Rn của bộ lọc Kalman rời rạc được điều chỉnh với tham số sau: $Q = 0.000085; R = 0.000005$.



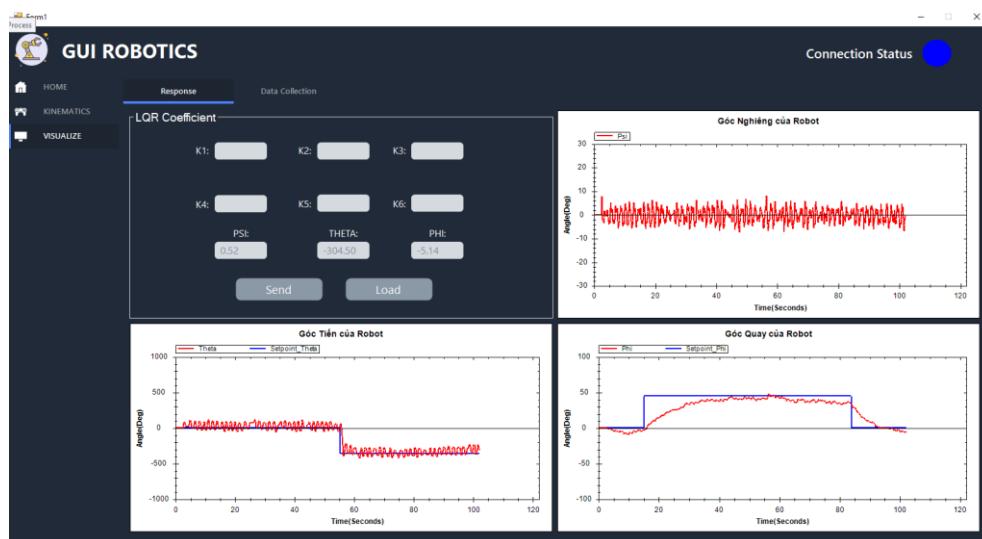
Hình 4- 39: Robot khi ở vị trí cân bằng.

CHƯƠNG 4. THI CÔNG MÔ HÌNH

Nhóm tiếp tục tiến hành thử nghiệm cho hệ thống di chuyển tiền lùi với góc tiền và lùi mỗi bước là 720° và góc quay là 45° . Mô hình thử nghiệm xe chạy tiền lùi như Hình 4- 40.



Hình 4- 40: Robot di chuyển tiền lùi



Hình 4- 41: Robot di chuyển lùi và quay trái góc 45° và quay phải góc 45°

Từ kết quả đọc được và vẽ trên biểu đồ của Hình 4- 40 và Hình 4- 41 có thấy xe bám theo tín hiệu đặt nhưng chất lượng điều khiển chưa tốt lắm bởi các thông số bộ điều khiển vẫn chưa là hoàn hảo nhất.

CHƯƠNG 5: KẾT QUẢ THỰC HIỆN

5.1 Kết quả thực hiện

Kết quả thực hiện của nhóm đã đạt được như sau:

- Thiết kế được mô hình mô phỏng trên Simulink.
- Thiết kế giải thuật LQR cho hệ thống.
- Xử lý được cảm biến MPU6050 và lọc nhiễu đo lường là nhiễu hệ thống cho mô hình thực tế.
- Giao diện GUI đọc được giá trị cảm biến trả về và xuất lên đồ thị, gửi tín hiệu quy hoạch quỹ đạo từ Master xuống Slave.

5.2 Hạn chế đề tài

Đề tài còn nhiều hạn chế như sau:

- Phần cứng thiết kế chưa được tốt nên xảy ra vấn đề sai số hệ thống do phần cứng gây ra.
- Phần mô phỏng vẫn chưa tác động nhiều vào đề đánh giá.
- Bộ thông số K của LQR chưa tối ưu.
- Phần nguồn cấp là các cell nên khi chạy hệ thống có thể bị sụt áp và dòng dẫn đến sai số do thiết bị gây ra lớn.
- Robot vẫn chưa thể di chuyển từ điểm tới điểm nhanh chóng được.

5.3 Hướng phát triển

Hướng phát triển đề tài

- Sử dụng thuật toán nhận dạng cho cả mô hình để có thể tìm được thông số chính xác của hệ thống.
- Tính toán ma trận K lại dựa vào thông số sau khi mô phỏng giúp hệ thống ổn định hơn.
- Áp dụng bộ điều khiển LQG cho hệ thống ở ngoài thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tài liệu tham khảo

- [1] F. Rubio, F. Valero, and C. Llopis-Albert, "A review of mobile robots: Concepts, methods, theoretical framework, and applications," *International Journal of Advanced Robotic Systems*, vol. 16, no. 2, 2019, doi: 10.1177/1729881419839596.
- [2] M. A. Imtiaz, M. Naveed, N. Bibi, S. Aziz, and S. Z. H. Naqvi, "Control System Design, Analysis & Implementation of Two Wheeled Self Balancing Robot (TWSBR)," in *2018 IEEE 9th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*, 1-3 Nov. 2018 2018, pp. 431-437, doi: 10.1109/IEMCON.2018.8614858.
- [3] S. Kim and S. Kwon, "Dynamic modeling of a two-wheeled inverted pendulum balancing mobile robot," *International Journal of Control, Automation and Systems*, vol. 13, no. 4, pp. 926-933, 2015, doi: 10.1007/s12555-014-0564-8.
- [4] S. K. Kim and C. K. Ahn, "Self-Tuning Position-Tracking Controller for Two-Wheeled Mobile Balancing Robots," *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, vol. 66, no. 6, pp. 1008-1012, 2019, doi: 10.1109/TCSII.2018.2869915.
- [5] V. Klemm, "Ascento: A Two-Wheeled Jumping Robot," presented at the 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Canada, 2019. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8793792>.
- [6] V. Klemm *et al.*, "LQR-Assisted Whole-Body Control of a Wheeled Bipedal Robot With Kinematic Loops," *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 5, no. 2, pp. 3745-3752, 2020, doi: 10.1109/LRA.2020.2979625.
- [7] O. Matsumoto, S. Kajita, M. Saigo, and K. Tani, "Dynamic trajectory control of passing over stairs by a biped type leg-wheeled robot with nominal reference of static gait," *Journal of the Robotics Society of Japan*, vol. 16, no. 6, pp. 868-875, 1998.
- [8] "Handle." <https://www.bostondynamics.com/handle>. (accessed).
- [9] X. Li, H. Zhou, H. Feng, S. Zhang, and Y. Fu, "Design and Experiments of a Novel Hydraulic Wheel-Legged Robot (WLR)," in *2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 1-5 Oct. 2018 2018, pp. 3292-3297, doi: 10.1109/IROS.2018.8594484.
- [10] C. Zhang, T. Liu, S. Song, and M. Q. H. Meng, "System Design and Balance Control of a Bipedal Leg-wheeled Robot," in *2019 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, 6-8 Dec. 2019 2019, pp. 1869-1874, doi: 10.1109/ROBIO49542.2019.8961814.
- [11] T. Nguyen Gia Minh, N. Duong Hoai, and P. Nguyen Huu, "A PID backstepping controller for two-wheeled self-balancing robot," in *International Forum on Strategic Technology 2010*, 13-15 Oct. 2010 2010, pp. 76-81, doi: 10.1109/IFOST.2010.5668001.
- [12] C. H. Nguyen, K. N. Vu, and D. H. Dao, "Applying order reduction model algorithm for balancing control problems of two-wheeled mobile robot," in *2013 IEEE 8th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, 19-21 June 2013 2013, pp. 1302-1307, doi: 10.1109/ICIEA.2013.6566568.
- [13] xe 2N. Tam and H. Nguyen, *Modelling and Optimal Control for Two-wheeled Self-Balancing Robot*. 2015.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [14] T. A. Mai, T. S. Dang, D. N. Anisimov, and E. Fedorova, "Fuzzy-PID Controller for Two Wheels Balancing Robot Based on STM32 Microcontroller," in *2019 International Conference on Engineering Technologies and Computer Science (EnT)*, 26-27 March 2019 2019, pp. 20-24, doi: 10.1109/EnT.2019.00009.

PHỤ LỤC

PHỤ LỤC

Phụ lục A: Chương trình code Arduino.

Chương trình điều khiển được đặt ở link google drive

<https://drive.google.com/drive/folders/1K5rqzUz9sMWAZxonQiREnvtoMXjiz3wf>

Phụ lục B: Chương trình code GUI trên C#

Chương trình giao diện được đặt ở link google drive

<https://drive.google.com/drive/folders/1K5rqzUz9sMWAZxonQiREnvtoMXjiz3wf>