

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI
VIỆN CƠ KHÍ
BỘ MÔN CƠ SỞ THIẾT KẾ MÁY & ROBOT

LUẬN VĂN THẠC SĨ
NGÀNH CƠ ĐIỆN TỬ

Đề tài:

Cải tiến giải thuật điều khiển robot tự hành
thông minh tích hợp cảm biến đa tầng

Học viên thực hiện: Nguyễn Văn Huy
Mã số học viên: CB180009
Giáo viên hướng dẫn: Lớp CH2018B
TS. Nguyễn Xuân Hẹ

HÀ NỘI 06/2020

LỜI CẢM ƠN

Tôi xin bày tỏ lòng biết ơn chân thành tới Thầy TS. Nguyễn Xuân Hạ, người đã hướng dẫn tận tình và tạo mọi điều kiện tốt nhất cho tôi hoàn thành luận văn này. Đồng thời tôi xin chân thành cảm ơn tới các Thầy, Cô đã giảng dạy và giúp đỡ tôi trong quá trình nghiên cứu học tập Thạc sĩ tại Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội. Các Thầy, Cô đã tận tình truyền đạt kiến thức, kinh nghiệm và cảm hứng cho tôi trong quá trình học tập và nghiên cứu cho tới khi hoàn thiện luận văn này.

Bên cạnh đó, tôi xin chân thành cảm ơn tới gia đình, các anh chị bạn bè đồng nghiệp, các em khóa sau đã hỗ trợ tôi trong quá trình nghiên cứu.

Một lần nữa tôi xin chân thành cảm ơn!

TÓM TẮT NỘI DUNG LUẬN VĂN

Trong luận văn này, tác giả tập trung giải quyết hai vấn đề chính: ứng dụng hệ điều hành robot ROS trong điều khiển robot tự hành thông minh và cải tiến hệ thống tránh vật cản bằng cách phối hợp nhiều tầng cảm biến. Dựa vào các tài liệu, mã nguồn mở tác giả nghiên cứu giải thuật điều khiển robot tự hành trên nền tảng robot tự hành Dashgo D1. Tác giả phát triển thêm hệ thống cảm biến hồng ngoại, ứng dụng thuật toán điều khiển tránh vật cản và tích hợp với hệ thống điều khiển của robot. Các kết quả được ứng dụng thí nghiệm thực tế trên nền tảng robot thật, đánh giá định tính cho thấy robot đã có thể phát hiện và tránh được các vật cản tĩnh, động xuất hiện trong quá trình di chuyển. Tuy nhiên vẫn còn một số nhược điểm mà tác giả sẽ phải giải quyết sau luận văn này để robot có thể hoạt động tốt hơn.

Ngày 28 tháng 7 năm 2020

HỌC VIÊN

Nguyễn Văn Huy

Mục lục

MỤC LỤC

DANH SÁCH HÌNH VẼ

DANH SÁCH BẢNG

1	Tổng quan nghiên cứu	1
1.1	Xu hướng robot trong cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ Tư	1
1.2	Giới thiệu robot tự hành	2
1.3	Ứng dụng của robot tự hành thông minh	4
1.4	Các bài toán trên robot tự hành thông minh	4
1.5	Các nghiên cứu tránh vật cản trong robot tự hành thông minh	5
1.5.1	Thuật toán Virtual Force Field (VFF)	6
1.5.2	The Vector Field Histogram	8
1.5.3	Phương pháp "Bong bóng phản ứng" tránh vật cản	9
1.5.4	Tránh vật cản cho thiết bị tự hành bằng LIDAR và hệ thống nhúng	11
1.6	Nội dung nghiên cứu	12
2	Cơ sở lý thuyết	15
2.1	Bài toán về nhiễu trong robot tự hành [1]	15
2.1.1	Sự không chắc chắn trong robot	15
2.1.2	Xác suất trong robotics	16
2.2	Hệ điều hành robot ROS và các ứng dụng	21
2.2.1	ROS là gì?	21
2.2.2	Tổng quan về HDH ROS	21
2.2.3	Tại sao phải dùng ROS	23
2.2.4	Một số thành phần cơ bản trong ROS	25
2.3	Bài toán điều hướng robot	28
2.3.1	Điều hướng robot di động	29
2.3.2	Bản đồ trọng số (costmap)	32

2.3.3	AMCL	33
2.3.4	Cửa sổ tiếp cận động (Dynamic Window Approach - DWA)	34
2.4	Bài toán định vị và tạo bản đồ đồng thời	35
2.4.1	Một số phương pháp định vị	35
2.4.2	Định vị và tạo bản đồ đồng thời - SLAM	38
3	Điều khiển và cài tiến tránh vật cản cho robot	41
3.1	Đặt vấn đề	41
3.2	Giới thiệu nền tảng robot	42
3.2.1	Phần chân đế	43
3.2.2	Phần cảm biến	43
3.2.3	Hệ thống phần mềm	44
3.3	Điều khiển Dashgo robot	45
3.3.1	Quy trình thực hiện	45
3.3.2	Đánh giá hoạt động của robot	48
3.4	Cải tiến hệ thống tránh vật cản cho robot	48
3.4.1	Phần cứng	48
3.4.2	Xử lý dữ liệu cảm biến	49
3.4.3	Trình bày giải thuật	51
3.5	Phối hợp điều khiển robot	53
3.5.1	Phân quyền điều khiển	53
3.5.2	Tích hợp vào bản đồ địa phương	56
3.6	Kết quả và đánh giá	57
3.6.1	Đánh giá độ chính xác cảm biến khoảng cách hồng ngoại .	57
3.6.2	Đánh giá giải thuật điều khiển tích hợp cảm biến	60
4	Kết luận và tầm nhìn	65
4.1	Kết luận	65
4.2	Tầm nhìn	65

Danh sách hình vẽ

1.1	Robot công nghiệp	2
1.2	Một số loại robot mới	3
1.3	Mô hình hệ thống robot tự hành [2]	3
1.4	Virtual Force Field [3]	7
1.5	Biểu đồ cực trong VFH	8
1.6	Vector Field Histogram [4]	9
1.7	Bong bóng phản ứng [4]	10
1.8	Phương pháp bong bóng phản ứng động	10
1.9	Xác định vị trí vật cản	11
2.1	Ý tưởng cơ bản của <i>định vị Markov</i> : Robot di động đang định vị trong không gian toàn cục [1]	17
2.2	Coastal navigation	19
2.3	Các bản phân phối gần đây của ROS [5]	22
2.4	Hệ sinh thái ROS [6]	23
2.5	ROS File System	25
2.6	Truyền thông giữa hai node	27
2.7	Kiểu giao tiếp topic	27
2.8	Kiểu giao tiếp service	28
2.9	Kiểu giao tiếp Action	29
2.10	Dead Reckoning	30
2.11	Quan hệ giữa khoảng cách tới vật cản và giá trị bản đồ trọng số .	33
2.12	Quá trình AMCL cho ước tính trạng thái vị trí robot	34
2.13	Không gian tìm kiếm vận tốc và cửa sổ động	35
2.14	Vận tốc dài v và vận tốc góc ω	35
2.15	Bộ lọc Kalman[6]	36
2.16	Online SLAM	38
2.17	Full SLAM	39
3.1	Nền tảng robot di động	42
3.2	Cấu tạo phần chân đế	43

3.3	Kiến trúc phần mềm điều khiển robot trên Dashgo D1	44
3.4	Robot đang tạo bảo đồ thể hiện trên Rviz	46
3.5	Robot di chuyển tới đích trong bản đồ	47
3.6	Sơ đồ bố trí cảm biến	49
3.7	Cơ chế hoạt động của cảm biến khoảng cách hồng ngoại [7]	49
3.8	Mối liên hệ giữa khoảng cách và điện áp của cảm biến IR Sharp GP2Y0A21YK0F [8]	50
3.9	Sơ đồ xử lý dữ liệu cảm biến	50
3.10	Vùng xác định vật cản	52
3.11	Giải thuật vùng khẩn cấp U	52
3.12	Hình dạng bong bóng phản ứng	53
3.13	Giải thuật tránh vật cản bằng bong bóng phản ứng	54
3.14	Sơ đồ điều khiển chân để robot	55
3.15	Thiết kế phân quyền điều khiển	55
3.16	Phối hợp điều khiển	56
3.17	Kết quả đo cảm biến	58
3.18	Dánh giá sai số lớn nhất tương ứng với số lần lấy mẫu	59
3.19	Sai số tương ứng với N lần lấy mẫu	59
3.20	Robot với vật cản có biên dạng biến đổi theo chiều cao	60
3.21	So sánh bản đồ giữa hai trường hợp: a) không có hệ thống IR; b) có hệ thống IR	61
3.22	Vùng khẩn cấp U và bong bóng phản ứng B trong quá trình di chuyển của robot	62
3.23	Robot phản ứng với vật cản động	63

Danh sách bảng

3.1 Giá trị đo trung bình 100 mẫu	58
---	----

Chương 1

Tổng quan nghiên cứu

1.1 Xu hướng robot trong cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ Tư

Thế giới đã chứng kiến sự phát triển liên tục và nhanh chóng của khoa học công nghệ góp phần tác động và cải thiện mạnh mẽ cuộc sống của con người. Chúng ta đã trải qua các cuộc Cách mạng Công nghiệp (CMCN) với những thành tựu to lớn về khoa học và công nghệ. Các cuộc CMCN này đều ra đời trên cơ sở yêu cầu bức thiết của quá trình sản xuất. Trong đó Robotics giữ vai trò đặc biệt quan trọng trong tiến trình này.

Ngày nay nền công nghiệp thế giới đã chuyển sang giai đoạn phát triển mới, cuộc CMCN lần thứ 4. Đặc điểm của giai đoạn này là sự thay đổi lớn về quy mô và cách thức sản xuất từ sản phẩm hàng loạt lớn sang cá nhân hóa sản phẩm ở quy mô nhỏ. Các sản phẩm nằm trong hệ sinh thái và thay đổi tùy thuộc vào nhu cầu sử dụng. Cách thức phân phối hàng hóa chuyển từ truyền thống sang giao dịch điện tử (Ecommerical). Sự thay đổi công nghệ không chỉ diễn ra trong quá trình sản xuất công nghiệp và còn ở tất cả các lĩnh vực của đời sống. Sự xuất hiện của mạng xã hội, các thiết bị thông minh kết nối, thương mại điện tử làm gia tăng các nhu cầu về phân tích dữ liệu, an toàn thông tin dữ liệu cũng như cơ sở hạ tầng viễn thông.

Quá trình phát triển của Robotics phụ thuộc vào thực tiễn phát triển của hoạt động sản xuất cũng như tiến bộ của các công nghệ ứng dụng trên nó. Trong giai đoạn 1950 đến 2000 nhu cầu tự động hóa rất cao, do đó robot công nghiệp phát triển rất mạnh trong thời kì này. Tuy nhiên, đến những năm 2000 thì robot công nghiệp dần bão hòa. Giai đoạn tiếp theo từ năm 2000 tới nay, nhu cầu ứng dụng robot bên ngoài môi trường công nghiệp tăng mạnh. Các nhà nghiên cứu robot dần chuyển hướng nghiên cứu sang các sản phẩm robot thông minh, trên cơ sở tiến bộ vượt bậc của ngành trí tuệ nhân tạo cũng như các công nghệ cảm

biến. Robot sẽ phát triển theo hướng thông minh và linh hoạt hơn để đáp ứng được chuyển động rất nhanh của các mẫu mã, sản phẩm trong sản xuất và nhu cầu giải trí từ người dùng và robot tự hành thông minh là một trong những nhân tố điển hình trong đó [9].

1.2 Giới thiệu robot tự hành

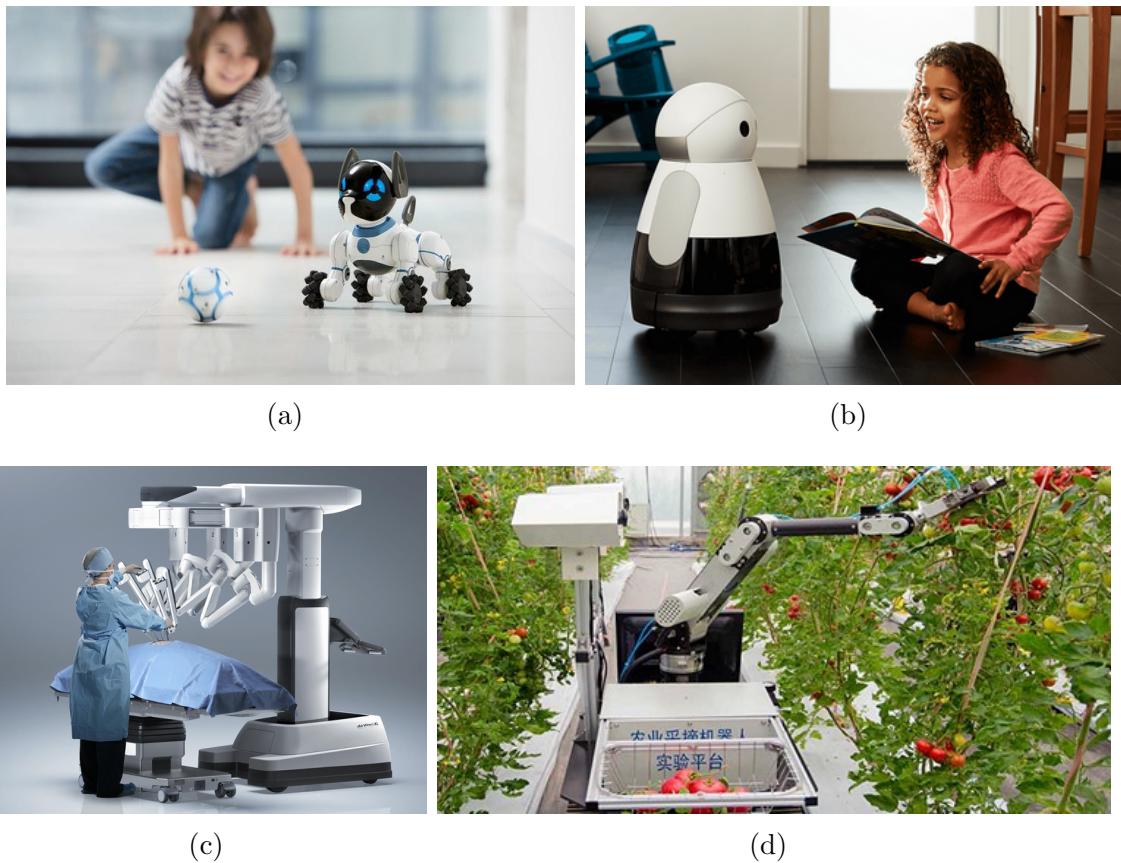
Người ta coi cánh tay robot là robot truyền thống, bởi vậy khi nói đến thuật ngữ robot người ta thường nghĩ ngay đến cánh tay robot công nghiệp. Hình 1.1 là hình ảnh các cánh tay robot đang làm việc trong dây chuyền sản xuất ô tô. Chúng ta không thấy bóng dáng con người ở trong bức hình này, bởi vì robot công nghiệp truyền thống phải làm việc trong không gian cách ly với con người, có hàng rào bảo vệ vì các lý do an toàn, con người không thể làm việc cùng không gian với robot.



Hình 1.1: Robot công nghiệp [Nguồn: Internet]

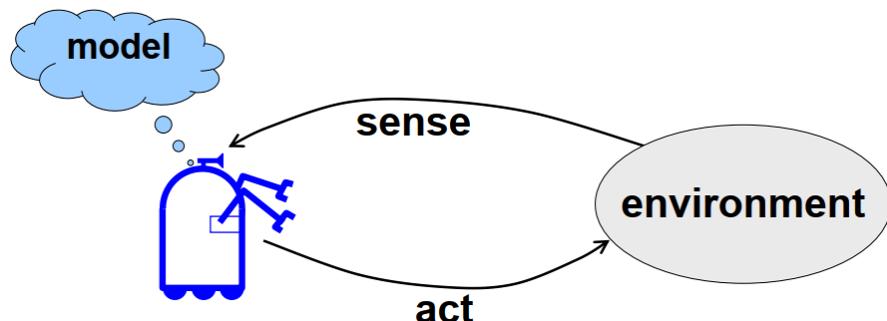
Bên cạnh đó, robot di động (mobile robot) truyền thống thực hiện các nhiệm vụ di chuyển trên quỹ đạo xác định trước. Robot di động cũng hoạt động dựa trên các khối chương trình được lập trình sẵn. Các phương pháp điều khiển như điều khiển bằng tay thông qua bảng điều khiển, qua sóng RF, wifi... hay di chuyển bám đường chỉ dẫn gắn ở dưới sàn, đọc mã QR, bar. Các dạng robot này bị hạn chế về không gian hoạt động. Việc thiết lập, cấu hình nhà máy, không gian làm việc cho robot hoạt động rất tốn kém về chi phí và thời gian khiến chúng kém linh hoạt, khó có thể đáp ứng được các nhu cầu sản xuất thay đổi chóng mặt như hiện nay.

Ngày nay, robot có xu hướng trở nên thông minh hơn và xuất hiện nhiều loại robot có ứng dụng ngoài phạm vi nhà máy như: robot giải trí (Hình 1.2a), robot dịch vụ cá nhân (Hình 1.2b) như máy tính cá nhân, robot trong y tế (Hình 1.2c);



Hình 1.2: Một số loại robot mới [Nguồn: Internet]

các loại robot tự động trong nông nghiệp như robot hái quả (Hình 1.2d), robot phun thuốc trong nông nghiệp, robot thông minh tác hợp trong công nghiệp; robot đi tới các môi trường mà con người không tới được như trong lòng đất dưới nước, trên không, trong vũ trụ. Ngoài ra, trong bối cảnh Thế giới và Việt Nam đang có những bước tiến mạnh mẽ trong cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ tư, với xu hướng robot ngày một thông minh hơn, ứng dụng của robot tự hành ngày càng lớn [9].



Hình 1.3: Mô hình hệ thống robot tự hành [2]

Robot tự hành thông minh là một loại robot di động. Robot có thể cảm nhận môi trường thông qua hệ thống cảm biến, sử dụng các mô hình học máy để mô hình hóa môi trường. Từ đó, robot có thể thực hiện các hành động phản ứng lại với môi trường như di chuyển và một số hành động khác theo yêu cầu (Hình 1.3).

1.3 Ứng dụng của robot tự hành thông minh

Với sự thông minh và linh hoạt, robot tự hành thông minh có rất nhiều ứng dụng. Về cơ bản, đây là nền tảng để di chuyển cho hầu hết các loại robot di động thông minh ngày nay. Sản phẩm ứng dụng của robot tự hành thông minh khá đa dạng như:

- Ứng dụng trong nhà như robot hút bụi thông minh, robot dịch vụ thông minh, robot vận chuyển trong các nhà máy, kho hàng
- Ứng dụng ngoài trời như robot cắt cỏ, robot chăm sóc cây trồng
- Robot làm việc tại các không gian mà con người không tới được như robot thám hiểm dưới nước, trong lòng đất, trên không trung, trên vũ trụ
- Và đặc biệt phát triển nhanh trong những năm gần đây là xe tự lái, robot giao hàng tự động.

1.4 Các bài toán trên robot tự hành thông minh

Di chuyển là một khả năng bẩm sinh của động vật nói chung và con người nói riêng, chúng ta di chuyển rất dễ dàng. Tuy nhiên, đối với robot linh hoạt trong môi trường động không hề đơn giản, robot phải xử lý nhiều bài toán phức tạp. Dưới đây là một số bài toán chính trong robot tự hành thông minh ([10]):

Xử lý tín hiệu cảm biến: Robot tự hành thông minh cần một số loại cảm biến để có thể hiểu được môi trường, định vị và di chuyển tránh vật cản.

Có rất nhiều loại cảm biến cho robot để cảm nhận được đa dạng thông tin của môi trường. Có thể chia làm các nhóm như sau:

- Cảm biến khoảng cách một chiều: Cảm biến khoảng cách hồng ngoại, siêu âm
- Cảm biến khoảng cách hai chiều: Lidar
- Cảm biến hình ảnh 3 chiều như Intel realsense, Microsoft Kinect, Asus Xtion...

- Ước tính trạng thái robot: GPS, IMU
- Cảm biến lực, momen, cảm biến chạm...
- Cảm biến âm thanh, giọng nói như microphone, microphone array
- Các loại camera 2D

Odometry: Là bài toán sử dụng thông tin nhận được từ các cảm biến của robot để ước tính sự thay đổi vị trí của robot qua thời gian. Odometry được sử dụng trong hầu hết các robot tự hành.

Định vị: Bài toán định vị giúp trả lời câu hỏi robot đang ở đâu, từ đó có cơ sở để thực hiện các tác vụ khác như tạo bản đồ, xác định hướng di chuyển.

Xây dựng bản đồ: Dự trên dữ liệu từ các loại cảm biến, từ odometry và định vị robot, robot sử dụng các thuật toán để xây dựng bản đồ của môi trường.

Kế hoạch di chuyển và điều hướng robot: Sau khi có bản đồ, để thực hiện nhiệm vụ đi từ vị trí hiện tại tới một vị trí đích xác định. Robot sẽ tính toán, lập kế hoạch di chuyển và điều khiển robot di chuyển tới đích.

Tránh vật cản: Trong quá trình di chuyển, robot phát hiện được các vật cản (bao gồm cả tĩnh và động) và tránh vật cản, sau đó thiết lập lại quỹ đạo di chuyển tới đích.

Vấn đề xuyên suốt trong các bài toán của robot tự hành thông minh đó là các dữ liệu đều không chắc chắn, các bài toán trên đều dựa vào các mô hình xác suất để mô hình hóa được trình bày trong tài liệu [1].

1.5 Các nghiên cứu tránh vật cản trong robot tự hành thông minh

Khả năng phát hiện và tránh vật cản theo thời gian thực là rất quan trọng trong robot tự hành. Do đó có rất nhiều nghiên cứu về giải pháp cho vấn đề này. Có nhiều loại cảm biến, nhiều giải thuật được sử dụng. Có các loại cảm biến sử dụng như cảm biến khoảng cách hồng ngoại, siêu âm với ứng dụng trên các thiết bị nhúng cấu hình thấp [11, 4]. Các phương pháp sử dụng cảm biến laser radar được trình bày trong [12, 13, 14, 15].

Một số thuật toán phổ biến được dùng để phát hiện và tránh vật cản như Virtual Force Field (VFF - Trường lực ảo) [16], Vector Field Histogram (VFH - Biểu đồ trường lực) [17], Dynamic Window Approach (DWA - Cửa sổ tiếp cận động) [18]...

Sau đây, các thuật toán sẽ được giới thiệu chi tiết.

1.5.1 Thuật toán Virtual Force Field (VFF)

Được áp dụng cho điều khiển tránh vật cản trình bày trong [19, 16]. Ý tưởng của giải thuật này là tạo một ô lưới quanh robot. Khi có dữ liệu có vật cản từ cảm biến, ô tương ứng sẽ được đặt là bị chiếm dụng bởi vật cản với một tỉ số chiếm dụng (thể hiện cho sự không chắc chắn), nhiệm vụ của thuật toán là tính toán một lực để đưa robot xa khỏi ô bị chiếm dụng đó theo công thức 1.1

$$F(i, j) = \frac{F_{cr} C(i, j)}{d^2(i, j)} \left[\frac{x_t - x_0}{d(i, j)} \dot{x} + \frac{y_t - y_0}{d(i, j)} \dot{y} \right] \quad (1.1)$$

Trong đó:

- $F(i, j)$ Lực ảo chống lại vật cản tại ô (i,j)
 F_{cr} Hằng số lực chống lại vật cản
 $d(i, j)$ Khoảng cách giữa ô (i,j) và robot
 $C_{i,j}$ Độ chắc chắn tại ô (i,j)
 x_0, y_0 Tọa độ robot
 x_i, y_j Tọa độ của ô (i,j)

Lực F_r đưa robot tránh khỏi các vật cản xuất hiện xung quanh robot là tổng của các lực đưa robot tránh các ô bị chiếm dụng

$$F_r = \sum_{i,j} F(i, j) \quad (1.2)$$

Trong khi đó, lực F_t kéo robot đi từ điểm hiện tại tới điểm đích như sau:

$$F_t = F_{ct} \left[\frac{x_t - x_0}{d(t)} \dot{x} + \frac{y_t - y_0}{d(t)} \dot{y} \right] \quad (1.3)$$

Trong đó:

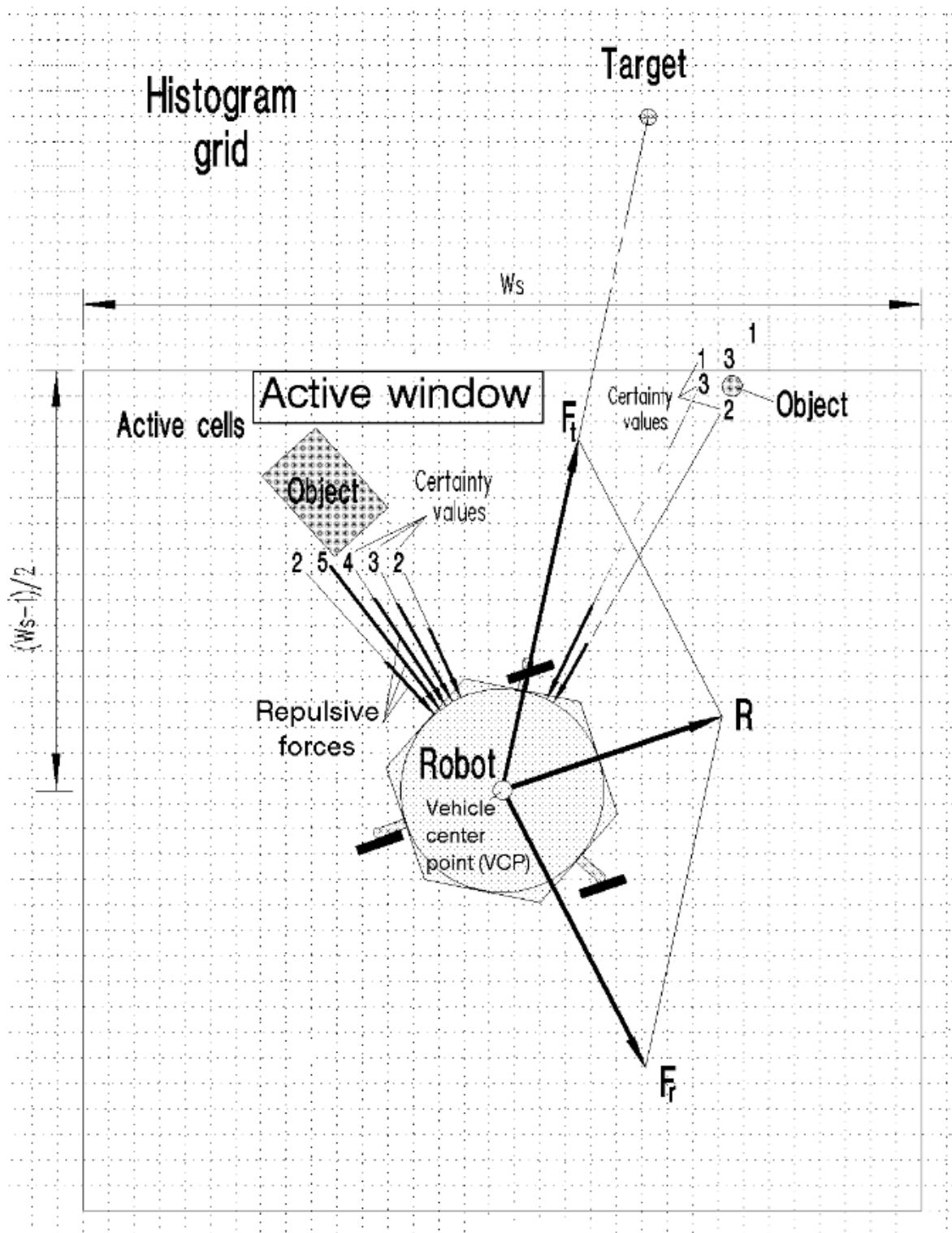
- F_{ct} Hằng số lực kéo robot tới đích
 $d(t)$ Khoảng cách giữa robot và điểm đích
 x_t, y_t Tọa độ của điểm đích

Hợp lực của 2 loại lực này là lực chính kéo robot di chuyển (Hình 1.4).

$$R = F_t + F_r \quad (1.4)$$

Từ đó tính được hướng di chuyển của robot để điều khiển bánh xe di chuyển, đưa robot tới đích và tránh được vật cản. Theo [19], phương pháp này có một số ưu điểm như sau:

- Phương pháp này không xác định được đường viền cạnh của vật cản, nhưng có thể xác định được cụm các vị trí có vật cản.



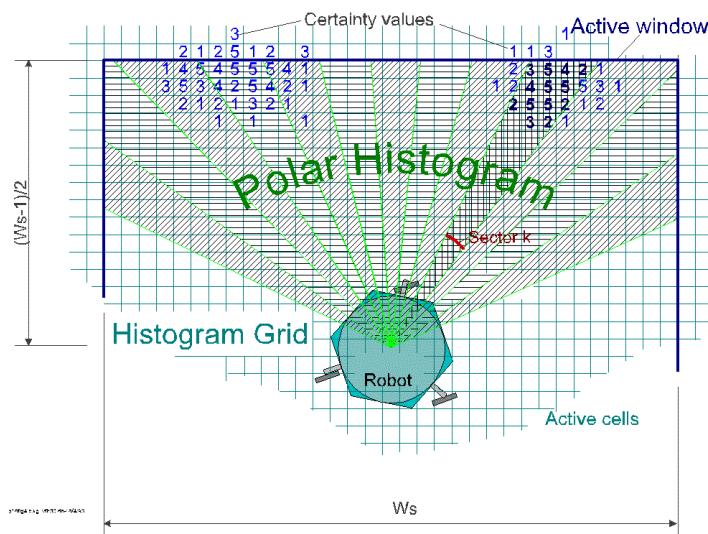
Hình 1.4: Virtual Force Field [3]

- Phương pháp này không yêu cầu robot phải dừng lại để thực hiện lấy dữ liệu và tính toán. Trong điều kiện lý tưởng, phương pháp này giúp robot có thể tránh được tất cả vật cản trong khi vẫn di chuyển với vận tốc tối đa.
- Việc cập nhật bản đồ lướt và điều hướng sử dụng bản đồ lướt là hai nhiệm vụ hoàn toàn không phụ thuộc vào nhau, nhưng có thể đồng bộ với nhau để tối ưu tính toán.
- Phương pháp này có thể dễ dàng tích hợp nhiều loại cảm biến để bổ sung thông tin vào bản đồ ô lướt.

Tuy nhiên theo [3], phương pháp này có một số điểm hạn chế như: có một số trường hợp mắc bẫy do cực tiểu địa phương, không thể di chuyển qua giữa các vật cản gần nhau, lưỡng lự khi có vật cản, lưỡng lự trong lối đi hẹp

Do đó, phương pháp Vector Field Histogram cải thiện các hạn chế của phương pháp Vector Force Field

1.5.2 The Vector Field Histogram



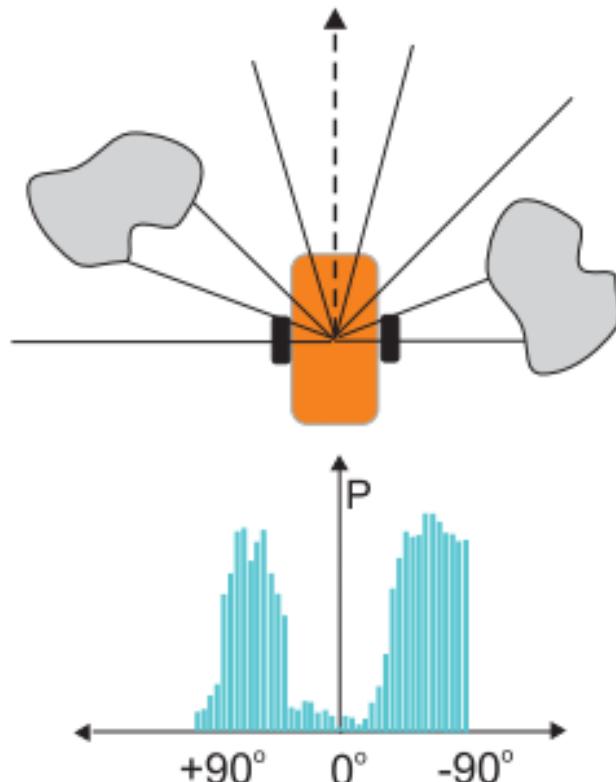
Hình 1.5: Biểu đồ cực trong VFH

Phương pháp VFH được trình bày chi tiết trong [17]. Phương pháp này sử dụng một cấu trúc dữ liệu trung gian, được gọi là biểu đồ cực H (*polar histogram*). H là một mảng 72 góc hình quạt (Hình 1.5).

Phương pháp này sử dụng kỹ thuật hai giai đoạn giảm dữ liệu và ba mức thể hiện dữ liệu:

- Mức biểu diễn dữ liệu cao nhất giữ mô tả chi tiết của môi trường robot, bản đồ lướt 2 chiều được cập nhật liên tục theo thời gian thực như trong phương pháp VFF.

- Mức ở giữa, một biểu đồ H một chiều được dựng quanh vị trí tức thời của robot. H bao gồm n góc với độ rộng α , phép chuyển đổi từ C sang H.
- Mức biểu diễn dữ liệu thấp nhất là đầu ra của thuật toán VFH: các giá trị tham chiếu cho động cơ và bánh xe điều khiển robot.



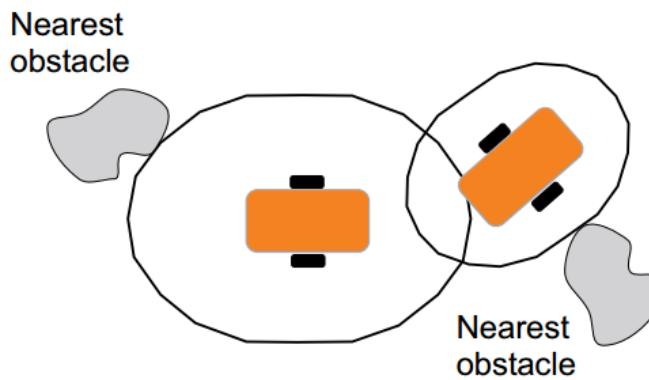
Hình 1.6: Vector Field Histogram [4]

Phương pháp này có thể phát hiện được lối đi đú cho robot đi qua giữa các vật cản. Phương pháp VFF dễ bị ảnh hưởng bởi sai số của cảm biến, với phương pháp này, sử dụng làm mịn biểu đồ H đã giảm trọng số của các giá trị sai ngẫu nhiên của cảm biến, do đó phương pháp này mạnh hơn phương pháp VFF. Vẫn bị hiện tượng mắc bẫy khi vào các trường hợp đường cùt (dead-end) do sử dụng phương pháp cục bộ. Tốc độ di chuyển tối đa khi điều khiển robot bằng VFH bị giới hạn bởi tốc độ lấy mẫu của cảm biến.

Dựa trên phương pháp này, tác giả tài liệu [20] đã đề xuất phương pháp được gọi là VFH+ thực hiện 4 giai đoạn giảm dữ liệu từ bản đồ lưới chiếm dụng hai chiều xuống thành dữ liệu điều khiển hướng di chuyển của robot. Sử dụng một số cải tiến để giúp robot có thể di chuyển tốt hơn.

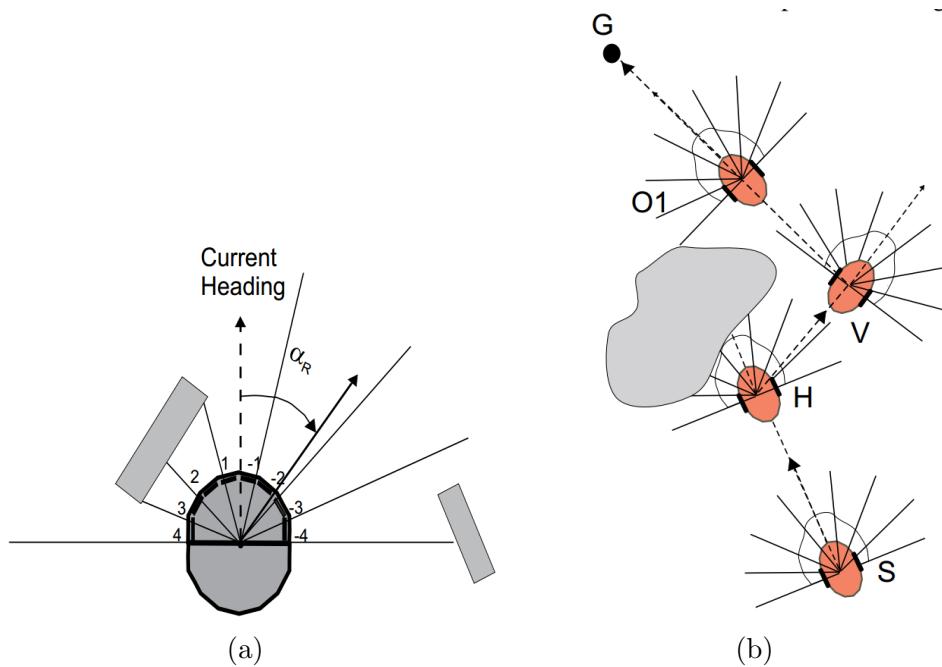
1.5.3 Phương pháp "Bong bóng phản ứng" tránh vật cản

Phương pháp này được đề xuất trong [21], phương pháp này định nghĩa một "bong bóng" bao quanh robot thể hiện không gian lớn nhất có thể di chuyển



Hình 1.7: Bong bóng phản ứng [4]

mà không gặp vật cản trong một khoảng thời gian. Hình dạng và kích thước của bong bóng được xác định đơn giản dựa trên hình dạng vật lý của đế robot và từ thông tin của cảm biến (như Hình 1.7).



Hình 1.8: Phương pháp bong bóng phản ứng động

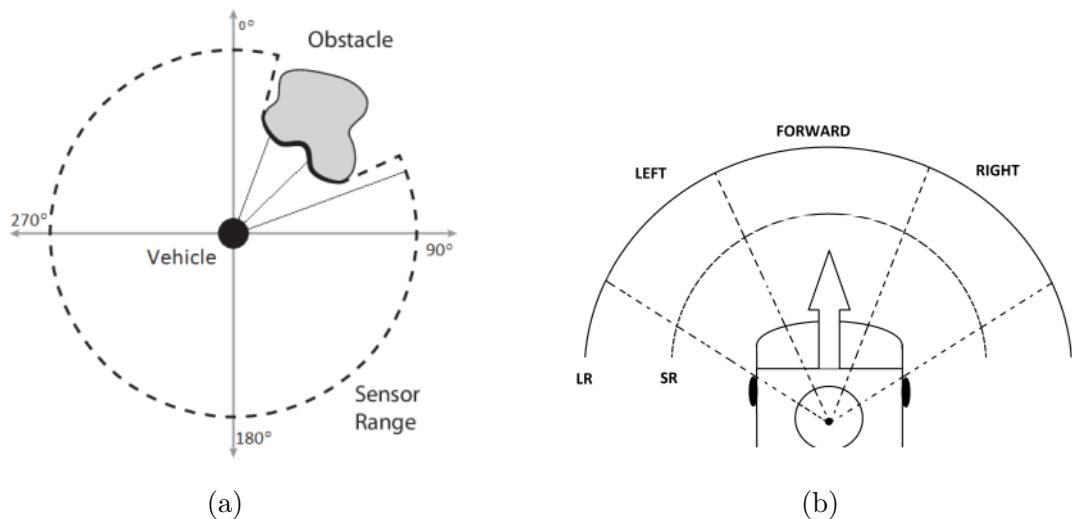
Một phương pháp cải tiến được đề xuất trong [22]. Tác giả đã cải tiến hình dạng của bong bóng, không phải là hình dạng cố định như trong [21] mà hình dạng và kích thước được điều chỉnh liên tục dựa vào tốc độ di chuyển của robot. Khi các cảm biến phát hiện vật cản nằm trong giới hạn của bong bóng phản ứng, một thuật toán được dùng để xác định hướng của vật cản so với hướng di chuyển của robot Hình 1.8a. Một quá trình di chuyển của robot sử dụng phương pháp này được minh họa tại Hình 1.8b.

Cũng theo tác giả trong tài liệu [22], phương pháp này có ưu điểm là có thể

triển khai trên các thiết bị giá thành thấp, chi phí tính toán thấp nhưng có thể hoạt động theo thời gian thực. Tuy nhiên, nó cũng có một số điểm hạn chế như quá trình di chuyển chưa mượt, robot khó xử lý khi gặp nhiều vật cản đồng thời.

1.5.4 Tránh vật cản cho thiết bị tự hành bằng LIDAR và hệ thống nhúng

Tài liệu [15] tác giả trình bày một mô hình robot tự hành di chuyển và tránh vật cản sử dụng RPLidar A2 và máy tính nhúng Raspberry Pi 3. Tóm tắt hệ thống như sau:



Hình 1.9: Xác định vị trí vật cản. Hình a thể hiện laser quét phát hiện vật cản. Hình b thể hiện phân vùng vị trí vật cản

- **Hệ thống định vị trong nhà:** Trong tài liệu này tác giả sử dụng phương pháp định vị IPS (Indoor Positioning System - Hệ thống định vị trong nhà), sử dụng hạ tầng Wi-Fi sẵn có. Nhiều trạm phát Wi-Fi được đặt trong không gian. Dựa vào cường độ tín hiệu Wi-Fi có thể tính được khoảng cách tới trạm phát Wi-Fi đó. Cần ít nhất 3 trạm phát sóng Wi-Fi để xác định được vị trí của robot.
- **Phát hiện vật cản:** Module RPLidar A2 được sử dụng để phát hiện vật cản xung quanh robot. Dựa trên góc quét của Lidar, tác giả chia thành 4 vùng: Trước, Trái, Phải và Sau (Hình 1.9)
- **Tránh vật cản:** Hệ thống IPS dẫn robot đi từ vị trí hiện tại tới đích, trong quá trình di chuyển đó module RPLidar liên tục quét để phát hiện vật cản. Nếu vùng phía trước, trái và phải không có vật cản, robot sẽ di chuyển theo

đường ngắn nhất để tới đích. Nếu phía có xuất hiện vật cản tại hướng nào đó, robot sẽ xem xét các hướng còn lại và quyết định đi theo hướng nào.

Tài liệu này đề xuất phương pháp định vị, dẫn đường và tránh vật cản rất đơn giản, có thể hiệu quả nhưng vẫn còn nhiều hạn chế. Chưa có bản đồ để có thể xác định kế hoạch di chuyển tối ưu nhất. Phần tránh vật cản có thể khiến robot dễ rơi vào các trạng thái không thể di chuyển do xuất hiện nhiều vật cản mà không quyết định được để len lỏi giữa chúng.

Kết luận

Trên đây là một số phương pháp tránh vật cản và điều hướng cho robot. Các phương pháp trên là các phương pháp sơ khai và tương đối đơn giản với các ưu điểm có thể triển khai trên các thiết bị nhúng, nhẹ, chi phí tính toán thấp nhưng vẫn đảm bảo hoạt động theo thời gian thực.

Tuy nhiên, các phương pháp trên có những hạn chế về định vị, dẫn đường và tránh vật cản:

- Chưa có bản đồ của môi trường
- Hệ thống điều hướng chưa tốt
- Chỉ mới phát hiện và tránh vật cản trên một mặt phẳng bố trí cảm biến.

Trong luận văn này, tác giả sẽ ứng dụng nền tảng robot tự hành có sẵn. Với khả năng định vị, dẫn đường, tạo bản đồ trên nền tảng hệ điều hành robot ROS và giải thuật SLAM. Từ đó, tác giả đề xuất phương pháp tăng độ an toàn trong quá trình di chuyển bằng cách thêm một tầng cảm biến tránh vật cản cho robot, áp dụng thuật toán tránh vật cản và phối hợp nhiều tầng cảm biến điều khiển robot.

1.6 Nội dung nghiên cứu

Nội dung nghiên cứu chính của luận văn gồm ba phần như sau:

- Nghiên cứu hệ thống định vị, di chuyển và tạo bản đồ dựa trên nền tảng hệ điều hành ROS và ứng dụng vào điều khiển robot tự hành Dashgo D1.
- Tăng cường phát hiện và tránh vật cản cho robot bằng đa tầng cảm biến. Đề xuất phương pháp lắp đặt cảm biến và giải thuật điều khiển, phân quyền điều khiển robot
- Thực hiện đánh giá hiệu quả của hệ thống.

Nội dung của luận văn như sau: Chương 1 khái quát tổng quan về robot tự hành, một số phương pháp điều khiển và tránh vật cản được sử dụng trong robot tự hành. Chương 2 tổng hợp một số cơ sở lý thuyết được sử dụng trong luận văn này, bao gồm bài toán về nhiễu và xác suất trong robot tự hành, hệ điều hành robot ROS, bài toán điều hướng robot, bài toán SLAM 2D. Chương 3 trình bày giải thuật và phương pháp triển khai để kiểm chứng hiệu quả của giải thuật tránh vật cản do tác giả đề xuất. Chương 4 là kết luận của tác giả về các vấn đề trong luận văn, từ đó đề xuất các hướng phát triển sau này.

Chương 2

Cơ sở lý thuyết

2.1 Bài toán về nhiễu trong robot tự hành [1]

2.1.1 Sự không chắc chắn trong robot

Robotics là một ngành khoa học về nhận thức và thực thi thế giới vật lý thông qua các thiết bị điều khiển bởi máy tính. Một số ví dụ thành công của hệ thống robotics như robot di động khám phá hành tinh, robot công nghiệp trong dây chuyền sản xuất, xe tự lái, cánh tay robot hỗ trợ bác sĩ phẫu thuật. Các hệ thống robotics được đặt trong thế giới vật lý, quan sát thông tin môi trường thông qua các cảm biến, và thao tác thông qua các lực vật lý.

Trong khi ngành robotics vẫn còn trong thời kì trứng nước, ý tưởng các thiết bị thực thi thông minh mang tới khả năng to lớn để thay đổi thế giới. Sẽ rất tuyệt vời nếu tất cả xe hơi đều có thể tự lái an toàn và tránh được hoàn toàn tai nạn giao thông. Sẽ rất tuyệt vời nếu robot có thể tự nó hoạt động để làm sạch chất phóng xạ trong thảm họa hạt nhân thay cho con người. Sẽ rất tuyệt vời nếu nhà của chúng ta có các thiết bị hỗ trợ thông minh để quản lý sửa chữa, duy tu các đồ vật trong nhà. Để làm được những việc này, robot phải có khả năng đáp ứng độ không chắc chắn rất lớn trong thế giới vật lý. Có rất nhiều yếu tố tạo nên sự không chắc chắn trong robot.

Trước hết, môi trường của robot vốn dĩ đã không ổn định. Trong các môi trường có cấu trúc tốt, được thiết kế theo tiêu chuẩn như trong dây chuyền lắp ráp thì mức độ không chắc chắn thấp, trong khi đó các môi trường khác như môi trường trong nhà của robot dịch vụ hay trên đường phố có mức độ không chắc chắn cao, có nhiều biến động. Với các robot hoạt động gần con người thì độ không chắc chắn rất cao.

Robot sử dụng hệ thống cảm biến để cảm nhận, quan sát môi trường xung quanh. Tuy nhiên, cảm biến có các giới hạn quan sát của nó. Phạm vi và độ phân giải của một cảm biến phụ thuộc vào giới hạn vật lý. Ví dụ, các camera

không thể nhìn xuyên tường, độ phân giải của camera cũng có giới hạn. Cảm biến rất khó tránh khỏi nhiễu, và các phép đo nhiễu không thể đoán trước được. Do đó nó giới hạn thông tin có thể trích xuất được từ cảm biến. Hoặc cảm biến có thể bị hỏng và việc phát hiện lỗi từ cảm biến vô cùng khó khăn.

Robot được dẫn động bằng động cơ, ở một mức độ nhất định nó cũng không dự đoán được sai số. Độ không chắc chắn sinh ra do ảnh hưởng từ nhiều điều khiển, mòn bánh răng và các lỗi cơ khí khác. Một vài cơ cấu chấp hành như cánh tay robot công nghiệp thường rất chính xác và độ tin cậy cao. Còn lại, như các robot di động giá thành thấp có thể rất dễ hỏng.

Nhiều nguyên nhân không chắc chắn có thể đến từ phần mềm của robot. Tất cả mô hình của thế giới vật lý đều gần đúng. Mô hình là trừu tượng hóa của thế giới thực, vì vậy, chúng ta chỉ có thể mô hình được một phần các quá trình vật lý cơ bản của robot và môi trường hoạt động của nó. Lỗi mô hình hóa dẫn đến sự không chắc chắn thường bị bỏ qua trong quá trình chế tạo robot, mặc dù thực tế là hầu hết các mô hình robot được sử dụng trong các hệ thống robot hiện đại khá sơ.

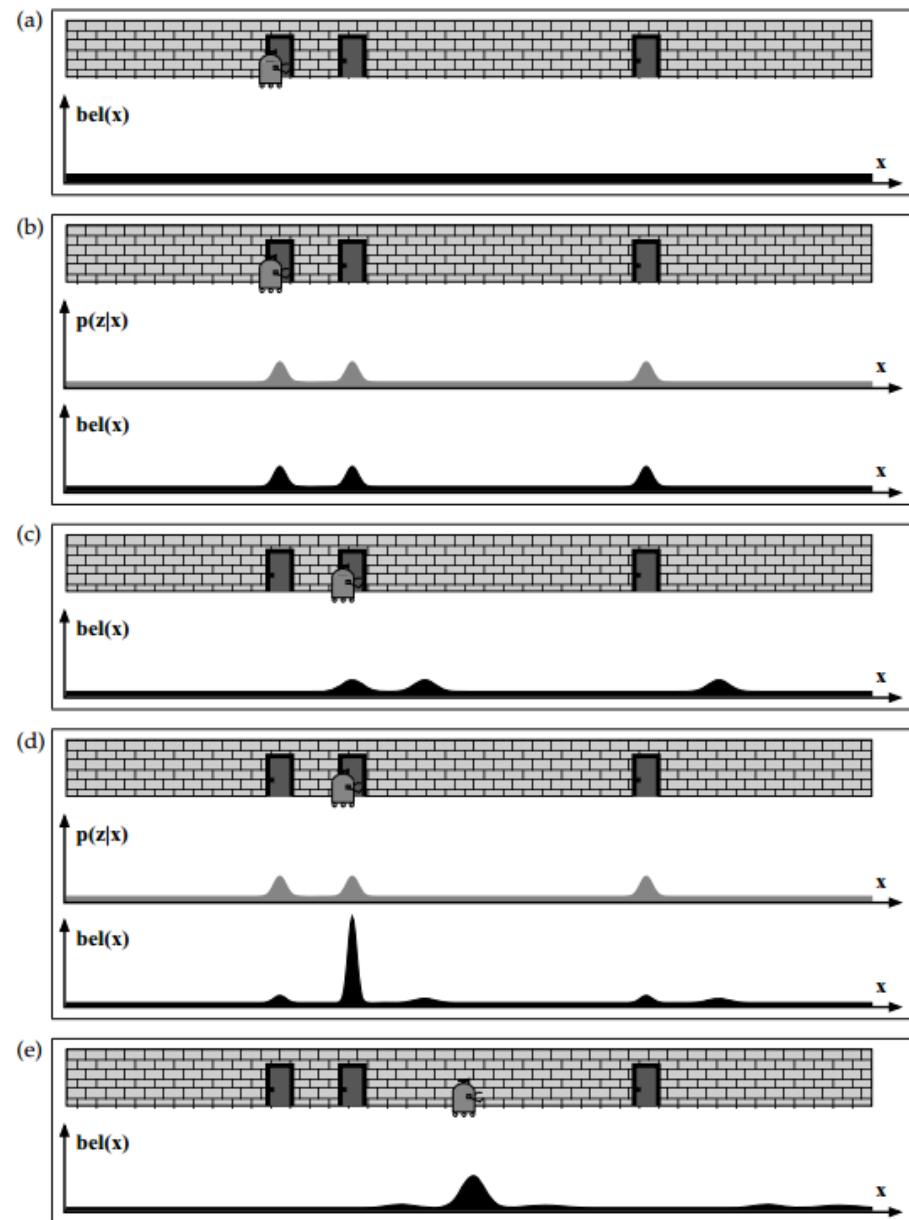
Sự không chắc chắn cũng có thể do các thuật toán gần đúng. Các hệ thống điều khiển robot có thể bị hạn chế lượng tính toán để đảm bảo robot có thể hoạt động theo thời gian thực. Đa số các thuật toán đều gần đúng, việc đảm bảo thời gian phản hồi có thể bị đánh đổi bởi độ chính xác.

Mức độ không chắc chắn phụ thuộc vào lĩnh vực ứng dụng. Trong một vài lĩnh vực robotics, như dây chuyền lắp ráp độ không chắc chắn có thể chỉ là các yếu tố nhỏ, bên ngoài. Tuy nhiên, trong robot tự hành, mức độ không chắc chắn là rất lớn, nó đến từ việc hoạt động trong môi trường động, từ sai số của các cảm biến, từ sai số trong mô hình hóa chính robot ...

2.1.2 Xác suất trong robotics

Xác suất trong robot có liên quan tới cách tiếp cận mới để giải quyết vấn đề trong quan sát và hành động của robot, đặc biệt là với robot tự hành. Ý tưởng chính trong bài toán xác suất trong robot là thể hiện sự không chắc chắn một cách rõ ràng bằng việc sử dụng lý thuyết tính toán xác suất. Nhưng thay vì dựa vào một "dự đoán tốt nhất" thay cho những gì có thể xảy ra, các thuật toán xác suất thể hiện thông tin bằng các phân bố xác suất qua toàn bộ không gian dự đoán. Như vậy, chúng có thể biểu diễn sự không chắc chắn và độ tin cậy trong toán học. Xác suất trong robot có thể chủ động lựa chọn để giảm sự không chắc chắn, do đó các thuật toán xác suất giảm độ phức tạp của sự không chắc chắn.

Ví dụ thứ nhất là bài toán định vị robot di động. Định vị robot là ước tính vị trí tương đối của robot trong một không gian. Bản đồ của môi trường được



Hình 2.1: Ý tưởng cơ bản của *định vị Markov*: Robot di động đang định vị trong không gian toàn cục [1]

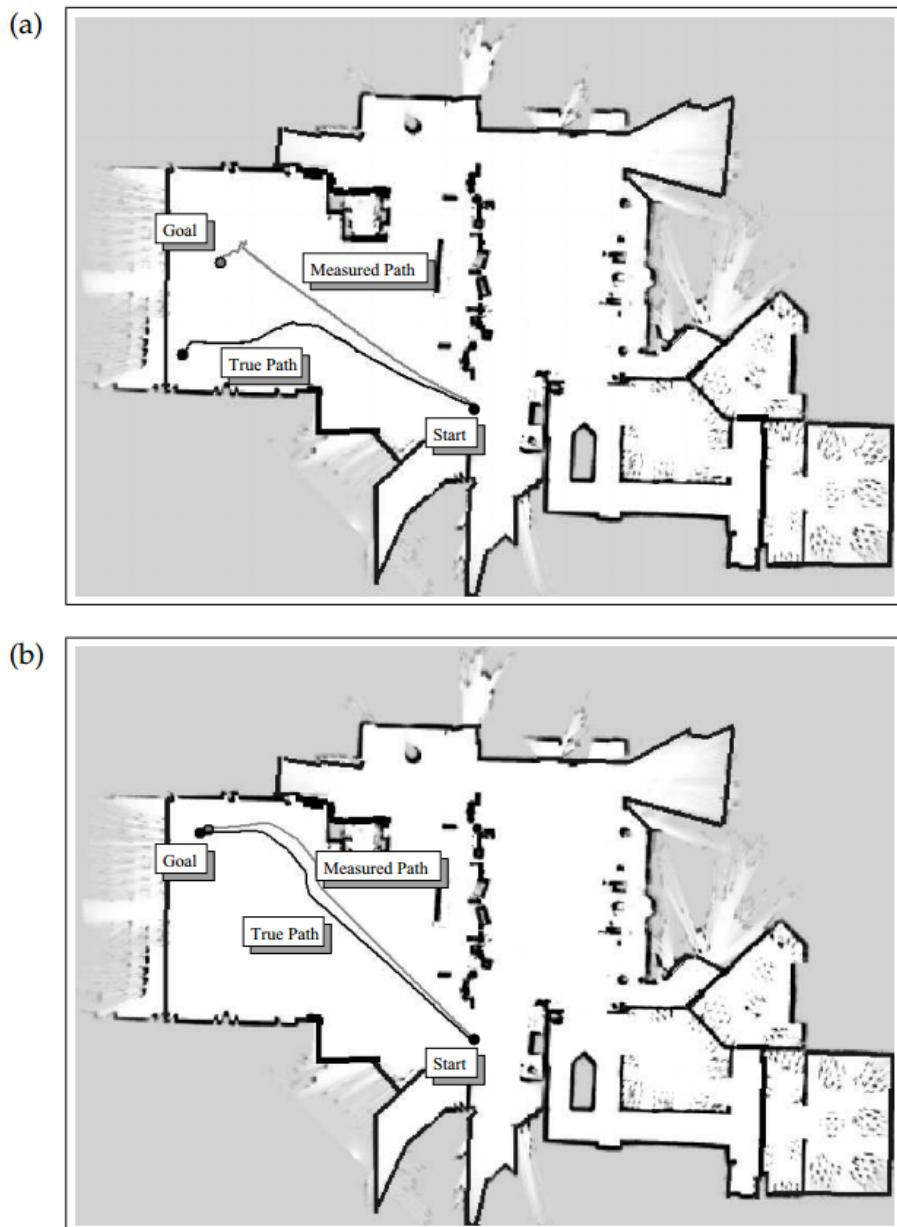
cho trước, robot cần có các dữ liệu của cảm biến để tự định vị trong bản đồ này. Ví dụ về định vị được minh họa trong Hình 2.1. Môi trường đã biết có ba cửa giống nhau, nhiệm vụ của robot là tìm xem chúng ở đâu, thông qua cảm biến và chuyển động.

Vấn đề định vị cụ thể này được gọi là *định vị toàn cục* (global localization). Trong định vị toàn cục, robot được đặt ở đâu đó trong một môi trường đã biết, nó phải tự định vị được vị trí của nó đang ở đâu. Mô hình xác suất thể hiện độ tin cậy tức thời của robot bằng một hàm phân bố xác suất trên toàn bộ không gian như trong Hình 2.1a. Biểu đồ này thể hiện phân bố đồng đều trên tất cả các vị trí. Nay giờ cho rằng robot nhận được dữ liệu đo đầu tiên từ cảm biến và theo dõi cánh cửa phía trước. Công cụ xác suất khai thác thông tin này để cập nhật vào độ tin cậy. Độ tin cậy sau đó thể hiện trong Hình 2.1b, tăng xác suất tại vị trí gần các cửa và giảm xác suất ở vị trí khác. Ta thấy rằng phân bố này có ba chỏp giống nhau, mỗi chỏp tương ứng với một cửa. Do đó robot không biết được nó đang ở đâu.

Bây giờ cho robot di chuyển, độ tin cậy đã được dịch chuyển theo hướng robot chuyển động (Thể hiện trong Hình 2.1c). Sự dịch chuyển của robot làm cho xác suất phân bố trong một khoảng rộng hơn. Hình 2.1d miêu tả độ tin cậy sau khi theo dõi một cửa khác. Việc này dẫn đến thuật toán đặt phần lớn xác suất tại vị trí gần một cửa, và khi đó robot khá tự tin rằng nó đang ở đâu. Cuối cùng, Hình 2.1e thể hiện độ tin cậy của robot sau khi di chuyển một đoạn xa trong hành lang.

Ví dụ này minh họa một vài vấn đề của mô hình xác suất. Nói theo xác suất, việc quan sát của robot là một vấn đề ước tính trạng thái, ví dụ trên sử dụng một thuật toán có tên là *bộ lọc Bayes* cho hậu ước tính qua không gian của định vị robot. Sử dụng một hàm phân bố xác suất để thể hiện thông tin. Việc cập nhật hàm phân bố này thể hiện thông tin thu được thông qua các phép đo của cảm biến, hoặc thông tin bị mất qua quá trình xử lý trong không gian làm tăng độ không chắc chắn của robot.

Ví dụ thứ hai là một ví dụ trong vấn đề lập kế hoạch và điều khiển robot. Như đã nói các thuật toán xác suất có thể tính độ không chắc chắn tức thời của robot. Nhưng chúng cũng có thể đoán trước được độ không chắc chắn trong tương lai, và chọn một độ không chắc chắn để xem xét lựa chọn điều khiển. Một trong các thuật toán như vậy là *coastal navigation*, ví dụ như trong Hình 2.2. Hình này thể hiện một bản đồ 2-D của một tòa nhà. Hình phía trên so sánh đường đi ước tính và đường đi thực tế: robot đi lệch là kết quả của sự không chắc chắn trong chuyển động của robot. Điểm thú vị ở đây là không phải toàn bộ quỹ đạo có mức độ không chắc chắn như nhau. Đường đi trong Hình 2.2a đi qua một không gian mở, thiếu các đặc trưng để có thể giúp cho robot định vị.



Hình 2.2: Hình (a): robot điều hướng qua môi trường mở, thiếu các đặc trưng trong không gian để có thể theo dõi được nó đang ở đâu (định vị). Hình (b): Vấn đề này có thể được tránh bằng việc đặt gần các vật cản đã biết. Hai hình này là kết quả của thuật toán *coastal navigation* [1]

Hình 2.2b có quỹ đạo bám theo một góc rõ ràng, và sau đó ôm vào tường để giữ định vị. Không quá ngạc nhiên khi mức độ không chắc chắn sẽ giảm sau một quãng di chuyển, do đó điểm đến có độ chính xác cao hơn.

Ví dụ này minh họa một trong những cách để xem xét ảnh hưởng của sự không chắc chắn trong điều khiển robot. Rõ ràng robot sẽ ưu tiên lựa chọn cách đi thứ hai hơn, dù có sự không chắc chắn nhưng thuật toán xác suất giúp robot lựa chọn đường đi để nó có thể thu thập được nhiều thông tin, giúp giảm độ không chắc chắn và đạt được độ chính xác tốt hơn.

Xác suất trong robotics kết hợp không rõ ràng giữa mô hình và dữ liệu cảm biến, vượt qua các giới hạn của cả hai cùng lúc. Ý tưởng này không chỉ là vấn đề của điều khiển mức thấp, chúng có mặt tại mọi mức phần mềm robot từ thấp nhất tới cao nhất.

Trái ngược với các kỹ thuật lập trình truyền thống trong robot như các công cụ kế hoạch chuyển động dựa trên mô hình hay phản ứng dựa trên hành vi. Các cách tiếp cận theo xác suất có nhiều ưu điểm hơn với các giới hạn của cảm biến và mô hình hóa. Điều này giúp gần hơn với độ phức tạp của môi trường thế giới thực hơn là mô hình cũ. Trong thực tế, chắc chắn các thuật toán xác suất hiện nay chỉ mới biết các giải pháp với các vấn đề ước tính khó trong robotics như: vấn đề định vị, vấn đề xây dựng các bản đồ chính xác môi trường lớn.

So sánh với các công cụ robotics truyền thống dựa trên mô hình hóa, các thuật toán xác suất có yêu cầu thấp hơn về độ chính xác của các mô hình robot do đó giúp các nhà lập trình thoát khỏi gánh nặng không thể vượt qua để đưa ra các mô hình chính xác. Các thuật toán xác suất có yêu cầu thấp hơn về độ chính xác của các cảm biến hơn là các kỹ thuật dựa trên phản ứng, các kỹ thuật này phản ứng dựa trên dữ liệu cảm biến tức thời. Nhìn chung bài toán xác suất trong robot, việc học của robot là vấn đề ước lượng dài hạn.

Tuy nhiên, những ưu điểm này cũng đi kèm với cái giá của nó. Hai hạn chế thường xuyên được nhắc tới đó là độ phức tạp tính toán và việc phải tính xấp xỉ. Các thuật toán xấp xỉ vốn đã kém hiệu quả hơn so với các thuật toán không xác suất. Do thuật toán này xem xét trên toàn bộ phân bố chứ không phải tại một lần đoán. Hầu hết các loại robot đều hoạt động liên tục yêu cầu các thuật toán này phải tính toán được theo thời gian thực. Một số bài toán có thể giải quyết bằng một số mô hình đơn giản (như Gaussians) nhưng một số bài toán khác yêu cầu phải có các mô hình phức tạp hơn.

Việc phát triển của phần cứng máy tính ngày nay làm tăng số lượng phép tính trên một đơn vị giá thành. Điều này giúp cho lĩnh vực xác suất robot có hiệu quả hơn, thực hiện được các bài toán khó hơn. Tuy nhiên vẫn còn đó thách thức tính toán của lĩnh vực này. [1]

2.2 Hệ điều hành robot ROS và các ứng dụng

2.2.1 ROS là gì?

Hệ điều hành Robot – Robot Operating System (ROS) là một nền tảng mã nguồn mở phục vụ cho việc lập trình Robot, có thể cài đặt trên nhiều hệ điều hành khác nhau như Windows, Linux hay Mac OS. ROS mang đến một nền tảng phần mềm chung cho cộng đồng xây dựng và sử dụng Robot. Ở đó, mọi người có thể chia sẻ các ý tưởng và các trình điều khiển dễ dàng hơn. ROS đã đạt được rất nhiều thành tựu. Kể từ khi ra đời, đã có hơn 2000 các gói phần mềm được viết và duy trì bởi gần 600 người. Gần 80 loại robot thương mại được hỗ trợ và hàng nghìn các bài báo đề cập đến ROS. Chính vì thế, chúng ta đã không còn phải làm tất cả mọi thứ từ đầu khi xây dựng Robot nhờ có sự trợ giúp của ROS. Chúng ta có thể dành nhiều thời gian hơn để nghiên cứu về Robotics thay vì tập trung quá nhiều vào xây dựng các trình điều khiển phần cứng. ROS bao gồm tập hợp đa dạng các trình điều khiển cho phép chúng ta đọc dữ liệu từ cảm biến, điều khiển các cơ cấu chấp hành; một lượng lớn các thuật toán cho phép xây dựng bản đồ, điều hướng Robot, thu thập dữ liệu, lập kế hoạch di chuyển... ROS cũng có một cộng đồng lớn nghiên cứu trong lĩnh vực Robot.

Nói cách khác, theo tác giả, ROS là một nền tảng cung cấp các phương thức để kết nối, trao đổi dữ liệu, quan sát dữ liệu giữa rất nhiều phần cứng với nhau như các cảm biến, các bộ phận chấp hành và các máy tính. Khi sử dụng ROS, người phát triển robot không cần quan tâm quá nhiều đến các thiết bị phần cứng (nếu thiết bị đó đã có thư viện driver ROS hỗ trợ), chỉ cần quan tâm đến việc tính toán, xử lý các dữ liệu để đạt được các mục đích trong các ứng dụng khác nhau. Nó làm giảm thời gian, giảm độ phức tạp khi phát triển robot đi rất nhiều lần.

2.2.2 Tổng quan về HĐH ROS

ROS là một nền tảng mã nguồn mở, một nền tảng phần mềm phục vụ cho việc lập trình Robot. ROS cung cấp một hệ thống điều khiển phân tán cho các thiết bị phần cứng khác nhau, được dùng để xây dựng các ứng dụng cho Robot mà không cần phải quan tâm quá sâu về các phần cứng bên trong. ROS cung cấp các công cụ đa dạng để mô phỏng, mô hình hóa Robot và xử lý dữ liệu của Robot, sử dụng giao thức truyền thông tin đồng bộ hoặc không đồng bộ để liên kết và trao đổi dữ liệu từ những thiết bị khác nhau. Phần mềm được tổ chức thành các gói, rất thuận tiện, với giao thức truyền thông tin giữa các thiết bị phần cứng, nhà phát triển có thể tạo ra các mô hình robot rất đa dạng, ví dụ như tạo bản đồ và điều hướng với robot di động. Các robot mới có thể trực tiếp

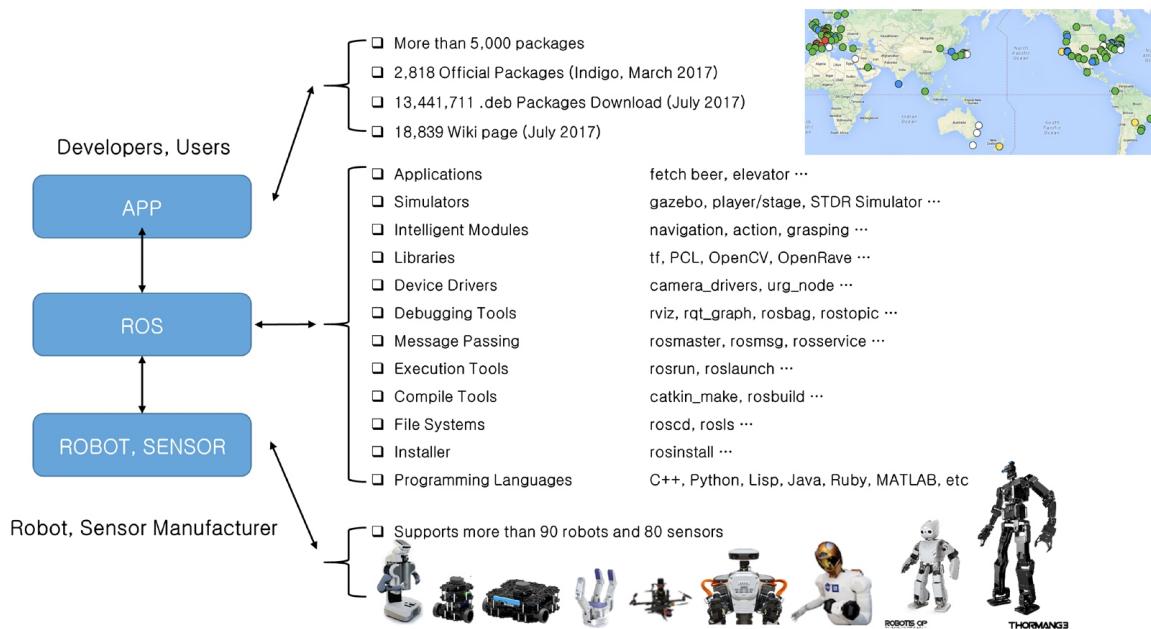
sử dụng các gói này mà không cần phải chỉnh sửa mã nguồn. ROS cũng được sử dụng rộng rãi trong các trường Đại học, và có nhiều nhà phát triển đóng góp. Có thể nói rằng, ROS có một cộng đồng lớn, có nhiều dự án được hỗ trợ bởi cộng đồng phát triển toàn cầu. Có một hệ sinh thái thân thiện với các mô hình phát triển Robot khác. Tóm lại, ROS là sự kết hợp của mô hình truyền thông (Plumbing or communication), các công cụ (Tools), khả năng phần cứng (Capabilities) và hệ sinh thái (Ecosystem).

Distro	Release date	Poster	Tuturtle, turtle in tutorial	EOL date
ROS Noetic Ninjemys	May, 2020 (planned, see Upcoming Releases)	TBA	TBA	May, 2025 (planned)
ROS Melodic Morenia <i>(Recommended)</i>	May 23rd, 2018			May, 2023 (Bionic EOL)
ROS Lunar Loggerhead	May 23rd, 2017			May, 2019
ROS Kinetic Kame	May 23rd, 2016			April, 2021 (Xenial EOL)
ROS Jade Turtle	May 23rd, 2015			May, 2017
ROS Indigo Igloo	July 22nd, 2014			April, 2019 (Trusty EOL)
ROS Hydro Medusa	September 4th, 2013			May, 2015

Hình 2.3: Các bản phân phối gần đây của ROS [5]

ROS có nhiều bản phân phối khác nhau tương ứng với các bản phân phối của Linux và mỗi bản phân phối hỗ trợ cập nhật đến hết vòng đời. ROS tương thích hoàn toàn với hệ điều hành Ubuntu, phần lớn các bản phân phối của ROS được phát triển theo các phiên bản của Ubuntu Hình 2.3

ROS như một hệ sinh thái, bao gồm từ các loại phần cứng thường dùng trong robot, các phần mềm, các nhà sản xuất và các nhà nghiên cứu [5]. Hình 2.4 thể hiện hệ sinh thái ROS.



Hình 2.4: Hệ sinh thái ROS [6]

2.2.3 Tại sao phải dùng ROS

Hình dung rằng chúng ta đang xây dựng một robot tự hành thông minh. Chúng ta lựa chọn ROS hơn là các nền tảng robotic khác như Player, YARP, Orocos, MRPT... bởi các lý do như sau:

- Có độ sẵn sàng cao:** ROS có thể sử dụng được luôn, ví dụ như các gói thư viện SLAM (Simultaneous Localization and Mapping - tạm dịch là định vị và tạo bản đồ đồng thời) và AMCL(Adaptive Monte Carlo Localization - Là thuật toán định vị thích nghi Monte Carlo) trong ROS có thể được sử dụng cho robot di động di chuyển tự động và gói MoveIt được sử dụng để lập kế hoạch chuyển động tay máy robot. Các gói thư viện này có thể dễ dàng sử dụng trực tiếp cho phần mềm robot của chúng ta. Việc sử dụng các gói thư viện này tốt hơn rất nhiều so với việc lập trình lại từ đầu để được thứ tương tự với một thứ đã có sẵn. Những gói chương trình này cũng rất dễ cấu hình lại, chúng ta có thể tinh chỉnh từng khả năng bằng cách sử dụng nhiều thông số khác nhau.
- Rất nhiều công cụ:** ROS được đóng gói với rất nhiều công cụ để gỡ rối chương trình, hiển thị và mô phỏng các quá trình. Các công cụ như là rqt_gui, RViz, Gazebo là một số công cụ mã nguồn mở rất mạnh cho việc gỡ rối, hiển thị và mô phỏng.
- Hỗ trợ cao cho các cảm biến và cơ cấu chấp hành:** ROS được đóng gói với các gói driver và giao tiếp với các thiết bị của rất nhiều cảm biến và cơ

cấu chấp hành trong robotics. Các cảm biến cao cấp bao gồm Lidar, Laser scanners, Kinect... và các cơ cấu chấp hành như động cơ servo Dynamixel. Chúng ta rất dễ để có thể giao tiếp với các phần cứng này với ROS.

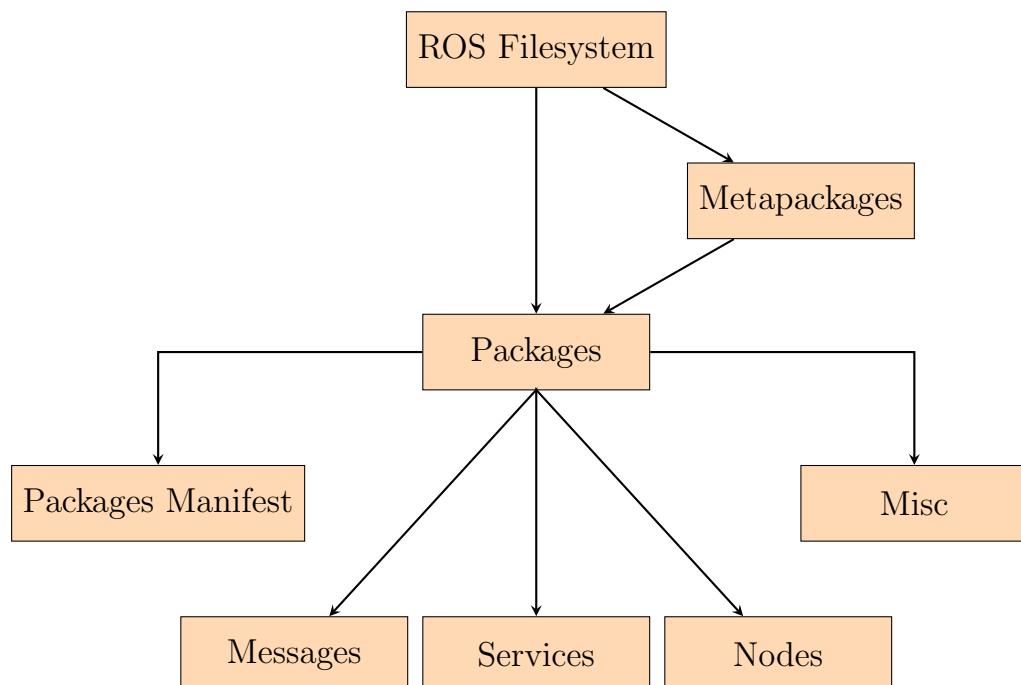
- **Khả năng phân tích nền tảng bên trong:** Việc truyền thông điệp (message) ROS ở tầng giữa cho phép giao tiếp giữa các node (node) với nhau. Các node này có thể được lập trình bằng bất kì ngôn ngữ nào có hỗ trợ thư viện ROS (như rospy trong python, roscpp trong C++). Chúng ta có thể viết các node trong C++ hoặc C và các node khác bằng Python hoặc Java. Điều này rất linh hoạt mà không có trong bất kì nền tảng nào khác.
- **Module hóa:** Một trong những vấn đề có thể xảy ra trong phần lớn các ứng dụng robot đơn lẻ đó là, nếu bất kì luồng nào trong chương trình chính bị hỏng, toàn bộ ứng dụng robot đó có thể dừng lại. Trong ROS, trường hợp này sẽ khác, chúng ta viết các node khác nhau cho mỗi tiến trình và nếu một node bị hỏng, hệ thống vẫn có thể tiếp tục làm việc. ROS cũng cung cấp các phương pháp rất hữu ích để tiếp tục hoạt động một khi có bất kì cảm biến hoặc động cơ nào bị hỏng.
- **Điều khiển các nguồn tài nguyên đồng thời:** Việc sử dụng một nguồn tài nguyên phần cứng bởi nhiều hơn hai tiến trình luôn là một vấn đề đau đầu. Hãy hình dung, chúng ta muốn xử lý một hình ảnh từ một camera cho nhận dạng khuôn mặt và nhận dạng chuyển động, chúng ta có thể viết chương trình như một chương trình thực hiện toàn bộ cả hai vấn đề đó, hoặc chúng ta có thể viết riêng để thực hiện đồng thời. Nếu chúng ta muốn thêm nhiều hơn hai tính năng trong các luồng, hành vi ứng dụng sẽ trở nên phức tạp và rất khó để gỡ rối. Nhưng trong ROS, chúng ta có thể truy cập các thiết bị bằng cách sử dụng các chủ đề ROS từ các bộ điều khiển ROS (driver). Bao nhiêu node cũng có thể đăng ký tới thông điệp hình ảnh từ bộ điều khiển camera ROS và mỗi node có thể thực hiện các chức năng khác nhau. Nó có thể làm đơn giản tính toán và cũng như tăng khả năng gỡ rối của toàn bộ hệ thống.
- **Có một cộng đồng năng động:** Khi chúng ta lựa chọn một thư viện hoặc một nền tảng phần mềm, đặc biệt từ một cộng đồng mã nguồn mở, một trong những yếu tố chính là xem xét tới phần mềm hỗ trợ và cộng đồng các nhà phát triển sử dụng nó. Mã nguồn mở thì sẽ không đảm bảo có các công cụ hỗ trợ, một số công cụ có sự cung cấp hỗ trợ rất tốt nhưng ngược lại một số khác lại không. Trong ROS, cộng đồng hỗ trợ rất năng động. Có thể vào trang web sau để tham khảo sự hỗ trợ từ các người dùng khác:

<http://answers.ros.org>. Đường như cộng đồng ROS có sự tăng trưởng đều đặn của các nhà phát triển trên toàn thế giới.

Có rất nhiều lý do để lựa chọn ROS cho việc phát triển robot.

2.2.4 Một số thành phần cơ bản trong ROS

Một hệ thống ROS thông thường bao gồm những thành phần cơ bản như thể hiện trong Hình 2.5.



Hình 2.5: ROS File System

Một số thuật ngữ, thành phần cơ bản trong ROS:

Node là đơn vị xử lý nhỏ nhất đang chạy trong ROS. Có thể coi nó như một chương trình thực thi. ROS khuyên rằng nên tạo một node đơn cho mỗi mục đích và nên phát triển để có thể dễ dàng sử dụng lại. Ví dụ, trong robot di động, chương trình để vận hành robot được chia thành các hàm chức năng nhỏ. Mỗi node được dùng cho một hàm chức năng như driver cảm biến, biến đổi dữ liệu cảm biến, nhận dạng vật cản, driver động cơ, đầu vào encoder và định hướng.

Khi khởi động, một node ghi thông tin như tên, dạng thông điệp, địa chỉ URI và số cổng của node. Node đã được ghi có thể hoạt động như một node xuất bản, node đăng ký, node chủ dịch vụ hoặc node khách dịch vụ dựa trên thông tin đã được ghi, và các node có thể trao đổi thông điệp bằng cách sử dụng chủ đề hoặc dịch vụ.

Node sử dụng XMLRPC cho việc giao tiếp với node chủ và sử dụng XMLRPC hoặc TCPROS của giao thức TCP/IP khi giao tiếp giữa các node với nhau. Yêu

cầu kết nối và phản hồi giữa các node sử dụng XMLRPC và truyền thông điệp sử dụng TCPROS bởi vì nó là giao tiếp trực tiếp giữa các node với nhau mà không phụ thuộc vào node chủ. Với địa chỉ URI và số cổng, một biến được gọi là `ROS_HOSTNAME` được lưu trên máy tính, nơi node đang chạy, được sử dụng địa chỉ URI và cổng được đặt bằng một giá trị duy nhất bất kì.

Master có là một node đặc biệt, nó hoạt động như một máy chủ cho các kết nối node tới node và truyền thông điệp. Lệnh `roscore` được dùng để chạy node chủ, và nếu chạy node chủ, nó sẽ ghi tên của mỗi node và lấy thông tin khi cần thiết. Các hoạt động của ROS không được thực hiện khi chưa chạy master.

Giao tiếp giữa node chủ và các node khách bằng XMLRPC (Viết tắt của XML-Remote Produce Call: nghĩa là gọi hàm từ xa XML), là giao thức dựa trên HTTP không duy trì kết nối. Nói cách khác, các node khách chỉ có thể truy cập khi chúng cần ghi thông tin của chúng hoặc yêu cầu thông tin của các node khác. Trạng thái kết nối không được kiểm tra thường xuyên. Vì đặc điểm này, ROS có thể được sử dụng trong các môi trường rất lớn và phức tạp. XMLRPC rất nhẹ và hỗ trợ rất nhiều ngôn ngữ lập trình khác nhau, rất phù hợp để sử dụng cho ROS vì ROS hỗ trợ rất nhiều phần cứng và nhiều ngôn ngữ lập trình. **Packages:** Gói chương trình là đơn vị chính trong tổ chức phần mềm của hệ điều hành ROS. Một package có thể chứa các lệnh thực thi của ROS (các node), thư viện, các tệp chứa thông số... Package chính là thành phần nguyên tử nhỏ nhất được xây dựng và đưa vào sử dụng trong ROS.

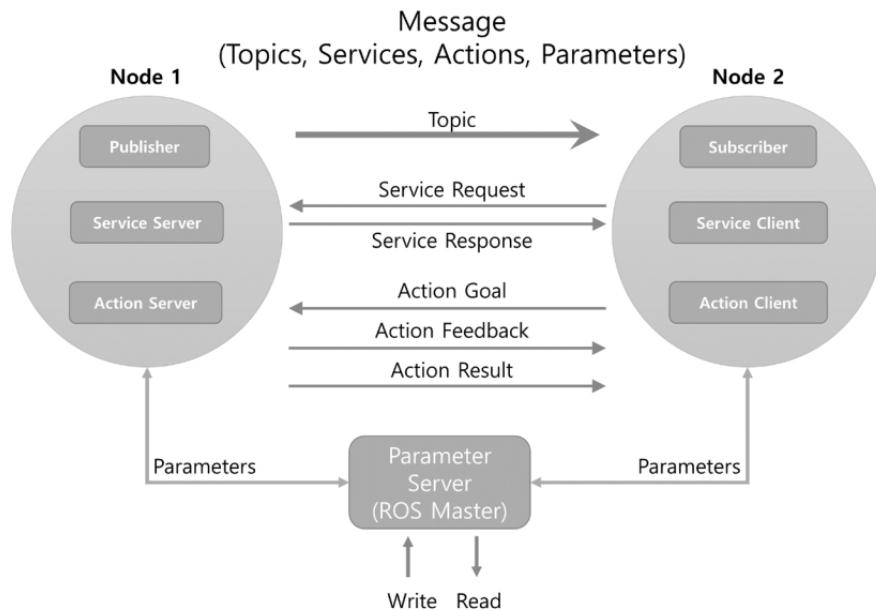
Packages Manifest: Bảng kê khai thông tin dữ liệu của package (`package.xml`), cung cấp siêu dữ liệu về package đó bao gồm tên gọi, phiên bản, thông tin bản quyền (`license`) và những yếu tố phụ thuộc của gói dữ liệu đó. Manifest còn chứa thông tin về đặc trưng của ngôn ngữ lập trình ví dụ như các cờ báo (`flags`) của trình biên dịch.

Message hay còn gọi là thông điệp, thông tin. Một node gửi hoặc nhận dữ liệu giữa các node thông qua một thông điệp. Các thông điệp là cá biến như số nguyên (`integer`), điểm số thực (`floating point`), hay logic (`boolean`). Có thể sử dụng thông điệp lồng vào các thông điệp hoặc một mảng các thông điệp khác.

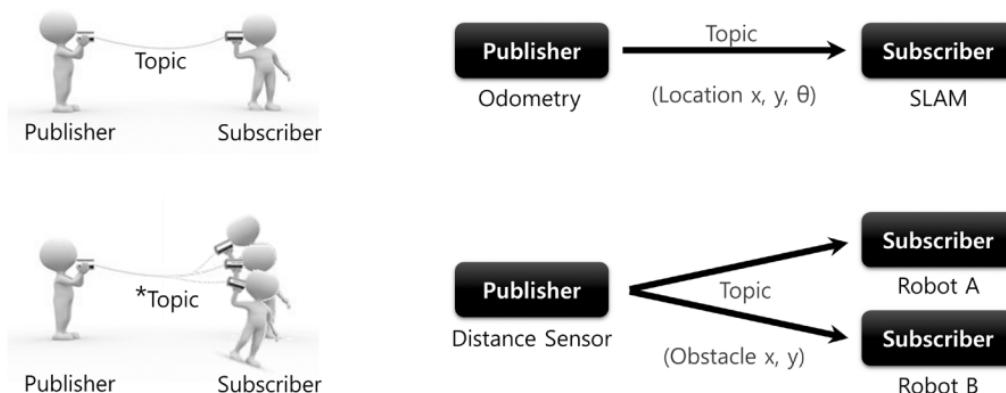
Giao thức truyền thông TCPROS và UDPROS được sử dụng để truyền thông điệp. Chủ đề (`topic`) được sử dụng để truyền thông điệp đơn hướng trong khi dịch vụ (`service`) được dùng để truyền thông điệp đa hướng bao gồm yêu cầu và phản hồi.

Truyền thông tin: ROS được phát triển dựa trên các đơn vị node, đơn vị nhỏ nhất để thực thi các chương trình đã chia nhỏ để có thể dễ dàng tái sử dụng theo các mục đích. Node trao đổi dữ liệu với nhau thông qua thông điệp message để tạo thành một chương trình lớn. Các node sẽ giao tiếp với nhau bằng cách trao đổi các thông điệp. Thông điệp có thể là các kiểu dữ liệu đơn giản như số

nguyên, số thực, kí tự, biến logic... hoặc cũng có thể là tổ hợp của các thông điệp khác như: tọa độ của một điểm là tổ hợp của 3 số thực. Trong thực tế, ROS có rất nhiều loại thông điệp từ đơn giản đến phức tạp để phục vụ cho việc xử lý dữ liệu đa dạng, ví dụ như: thông điệp hình ảnh, thông điệp là dữ liệu từ một cảm biến, thông điệp là vị trí và vận tốc của robot... Có 3 phương pháp để trao đổi dữ liệu: **topic**, **service**, **action**. Ngoài ra, các thông số được sử dụng trong node có thể được thay đổi từ bên ngoài node. Điều này có thể được xem như một dạng của sự truyền thông điệp với nội dung lớn hơn. Sự truyền thông điệp được mô tả trong Hình 2.6



Hình 2.6: Truyền thông giữa hai node

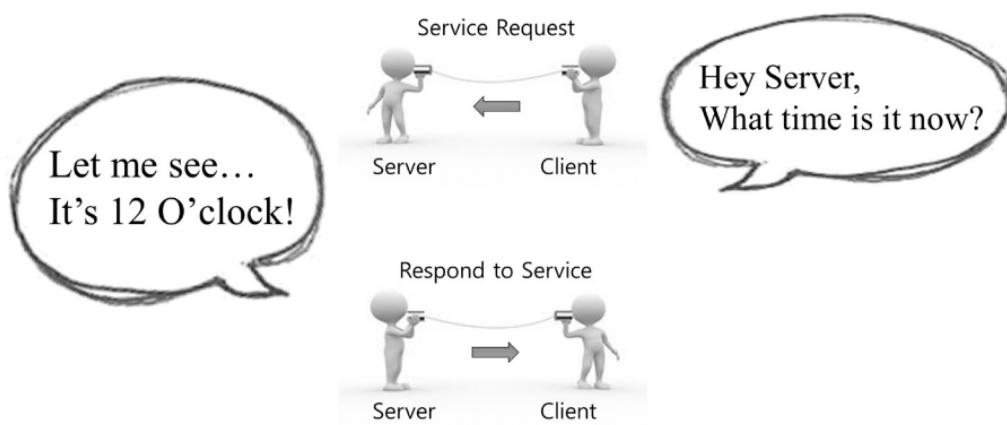


Hình 2.7: Kiểu giao tiếp topic

Topic hay còn gọi là chủ đề, giống như nghĩa đen là chủ đề trong một đoạn hội thoại. Node xuất bản đầu tiên ghi thông tin chủ đề của nó với node chủ và sau đó bắt đầu xuất bản thông điệp trên một chủ đề. Các node đăng ký muốn

nhận chủ đề yêu cầu thông tin của node đăng ký khớp với tên của chủ đề đã được ghi ở trên node chủ. Dựa vào thông tin này, node đăng ký kết nối trực tiếp tới node xuất bản để trao đổi thông điệp như một chủ đề. Hình 2.7

Publish và Publisher Hay còn gọi là xuất bản và node xuất bản. Xuất bản là thuật ngữ dành cho hành động chuyển các thông điệp liên quan tới đúng chủ đề. Node xuất bản ghi thông tin của nó và chủ đề với node chủ, và gửi một thông điệp tới các node đăng ký, là các node quan tâm tới cùng chủ đề. **Subscribe và Subscriber:** Thuật ngữ 'Subscribe', còn gọi là Đăng ký, thể hiện hành động của việc nhận các thông điệp khớp với topic. Node Subscriber đăng ký thông tin của nó và chủ đề với master, và nhận thông tin của các node xuất bản.



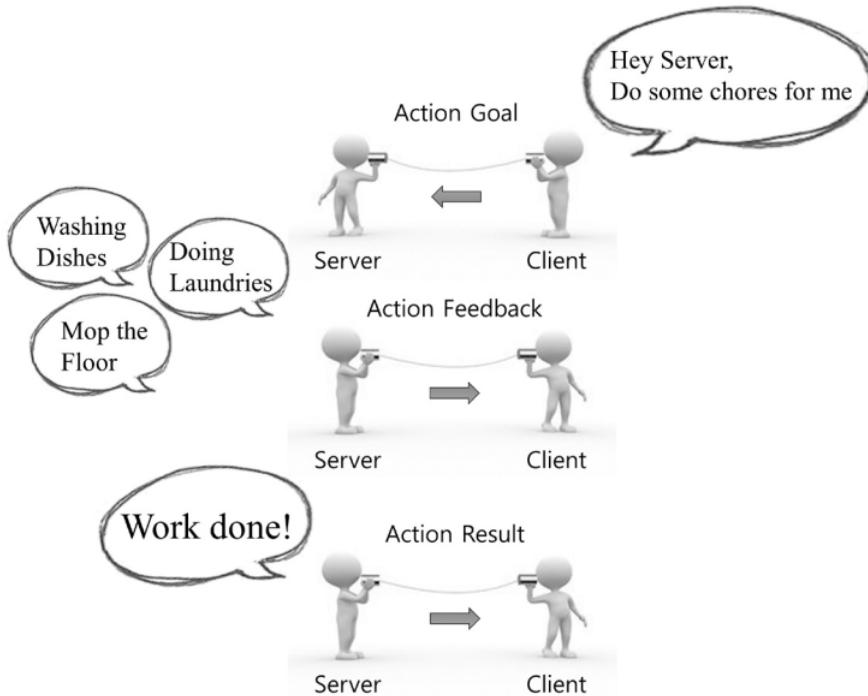
Hình 2.8: Kiểu giao tiếp service

Service: Giao tiếp đồng bộ giữa dịch vụ khách (service client) và máy chủ dịch vụ (service server). Khách sẽ yêu cầu (request) 1 dịch vụ và máy chủ dịch vụ sẽ phản hồi lại yêu cầu đó. Khác với mô hình xuất bản - đăng ký, là một phương pháp không đồng bộ gặp khó khăn trong các phương pháp truyền dữ liệu theo chu kỳ, mô hình yêu cầu and phản hồi là 1 phương pháp đồng bộ, trong trường hợp này là Service Hình 2.8.

Action: Được sử dụng khi một nhiệm vụ thực hiện cần nhiều thời gian để hoàn thành cần 1 quá trình phản hồi (feedback). Trong action, **goals** và **results** sẽ tương tự như **request** (yêu cầu) và **response** (đáp ứng), ngoài ra còn có thêm **feedback** là tín hiệu phản hồi đến khách theo chu kỳ

2.3 Bài toán điều hướng robot

Giống như chúng ta sử dụng GPS để định vị và tìm đường trong quá trình di chuyển giữa thành phố đông đúc, rộng lớn, hoặc khi ta đi tới một địa điểm xa lạ. Khi đó chúng ta sử dụng các ứng dụng trên điện thoại di động như googlemap



Hình 2.9: Kiểu giao tiếp Action

để định vị vị trí của mình, sau đó tìm đường tới địa điểm mong muốn. Tương tự như vậy, robot tự hành cũng cần định vị, và xác định đường đi tới điểm đích.

2.3.1 Điều hướng robot di động

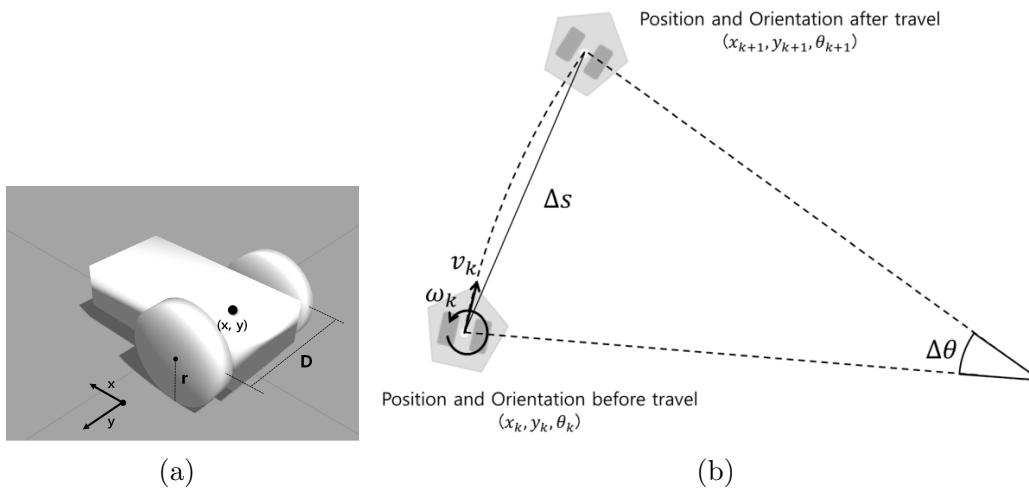
Điều hướng không thể thiếu trong robotics. Điều hướng là sự di chuyển của robot tới một đích xác định, điều này không dễ dàng với robot. Robot phải biết được nó đang ở đâu và phải có một bản đồ của môi trường. Robot phải tìm được đường đi tối ưu trong rất nhiều đường đi khác, tránh vật cản như tường, đồ vật. Để có thể điều hướng robot, cần những yếu tố sau:

- Bản đồ
- Trạng thái của robot¹
- Cảm nhận thông tin từ cảm biến
- Tính toán đường đi và di chuyển

Bản đồ

Tương tự như hệ thống điều hướng trên các phương tiện, hay ứng dụng google map chúng ta sử dụng hằng ngày đều có bản đồ rất chính xác và được cập nhật

¹Trong luận văn này, khi nhắc đến trạng thái robot có nghĩa là vị trí và hướng của robot



Hình 2.10: Dead Reckoning

thường xuyên. Còn với robot, chúng cũng cần có bản đồ. Vì vậy chúng ta sẽ phải tạo một bản đồ và cung cấp cho nó, hoặc robot có thể tự tạo bản đồ.

SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) được phát triển để robot có thể tự nó khám phá và tạo bản đồ tại một môi trường chưa biết.

Trạng thái của robot

Robot cần phải đo và ước tính được trạng thái của nó. Hiện nay, phương pháp được sử dụng rộng rãi nhất để ước tính trạng thái trong nhà cho robot dịch vụ là **dead reckoning**² - dùng để ước tính trạng thái robot, nhưng nó đã được sử dụng từ rất lâu và phù hợp với các cảm biến giá rẻ và có thể đạt được một độ chính xác nhất định. Sự dịch chuyển của robot được đo bằng số vòng quay của bánh xe. Tuy nhiên, có sai số giữa khoảng cách tính được với số vòng quay của bánh xe và khoảng cách dịch chuyển thực tế. Tuy nhiên, thông tin quán tính từ IMU có thể được sử dụng để giảm thiểu sai số bằng việc bù sai số của vị trí và hướng giữa giá trị tính được và giá trị thực tế.

Hình 2.10a cần thiết cho dead reckoning bao gồm tọa độ tâm robot (x, y), khoảng cách giữa hai bánh xe D và bán kính bánh r . Giả sử robot di chuyển một đoạn ngắn trong khoảng thời gian T_e , vận tốc góc (v_l, v_r) của bánh trái và bánh phải được tính như trong phương trình 2.1 và 2.2 với góc quay của động cơ bên trái và bên phải (giá trị encoder hiện tại là E_{lc}, E_{rc} và giá trị encoder trước đó là E_{lp}, E_{rp})

$$v_l = \frac{(E_{lc} - E_{lp})}{T_e} \cdot \frac{\pi}{180} (\text{rad/s}) \quad (2.1)$$

²https://en.wikipedia.org/wiki/Dead_reckoning

$$v_r = \frac{(E_rc - E_rp)}{T_e} \cdot \frac{\pi}{180} (\text{rad/s}) \quad (2.2)$$

Phương trình 2.3 và 2.4 tính vận tốc của bánh trái và bánh phải (V_l, V_r). Từ vận tốc bánh trái và bánh phải, vận tốc dài (v_k) và vận tốc góc (ω_k) của robot có thể tính được như phương trình 2.5 và 2.6

$$V_l = v_l \cdot r (\text{m/s}) \quad (2.3)$$

$$V_r = v_r \cdot r (\text{m/s}) \quad (2.4)$$

$$v_k = \frac{(V_r + V_l)}{2} (\text{m/s}) \quad (2.5)$$

$$\omega_k = \frac{(V_r - V_l)}{D} (\text{rad/s}) \quad (2.6)$$

Cuối cùng, sử dụng những giá trị này, chúng ta có thể tính được vị trí $(x_{(k+1)}, y_{(k+1)})$ và hướng θ_{k+1} của robot từ phương trình 2.7 tới phương trình 2.10

$$\Delta s = v_k T_e \quad \Delta\theta = \omega_k T_e \quad (2.7)$$

$$x_{k+1} = x_k + \Delta s \cdot \cos\left(\theta_k + \frac{\Delta\theta}{2}\right) \quad (2.8)$$

$$y_{k+1} = y_k + \Delta s \cdot \sin\left(\theta_k + \frac{\Delta\theta}{2}\right) \quad (2.9)$$

$$\Theta_{k+1} = \theta_k + \Delta\theta \quad (2.10)$$

Cảm nhận môi trường

Thứ ba, việc phát hiện ra đâu là vật cản như tường, các đồ vật yêu cầu cần có các cảm biến. Có nhiều loại cảm biến như cảm biến khoảng cách và cảm biến hình ảnh. Cảm biến khoảng cách dạng laser như LDS, LRF, LiDAR, cảm biến siêu âm và cảm biến hồng ngoại. Cảm biến hình ảnh bao gồm stereo camera, monocular, omnidirectional camera,... và hiện nay có các loại camera như RealSense, Kinect, Xtion được sử dụng rộng rãi như camera chiều sâu để phát hiện các vật cản.

Tính toán đường đi và di chuyển

Một đặc điểm cuối cùng cho điều hướng robot là tính toán và di chuyển theo đường đi tối ưu từ vị trí hiện tại tới đích xác định trong bản đồ. Được gọi là tìm kiếm đường đi và lên kế hoạch di chuyển. có nhiều thuật toán như thuật toán A^* , thuật toán *trường tiềm năng* (Potential Field), *Lọc từng phần* (particle filter)...

Kế hoạch di chuyển bao gồm cả *kế hoạch đường đi toàn cục* (global path planning) trên toàn bộ bản đồ và *kế hoạch đường đi địa phương* (local path planning) cho một vùng nhỏ hơn xung quanh robot.

Di chuyển và tránh vật cản

Nếu một lệnh gửi tới robot trên quỹ đạo di chuyển được tạo bằng *kế hoạch chuyển động* (motion planing), robot di chuyển tới đích theo đường đi đã được lên kế hoạch. Do đó việc cảm nhận môi trường, ước tính trạng thái vị trí robot và kế hoạch chuyển động vẫn tiếp tục thực hiện, tính toán trong quá trình di chuyển., các vật cản và đối tượng di động mới xuất hiện trong môi trường sẽ được phát hiện và tránh bởi giải thuật *Cửa sổ tiếp cận động* (Dynamic Window Approach - DWA).

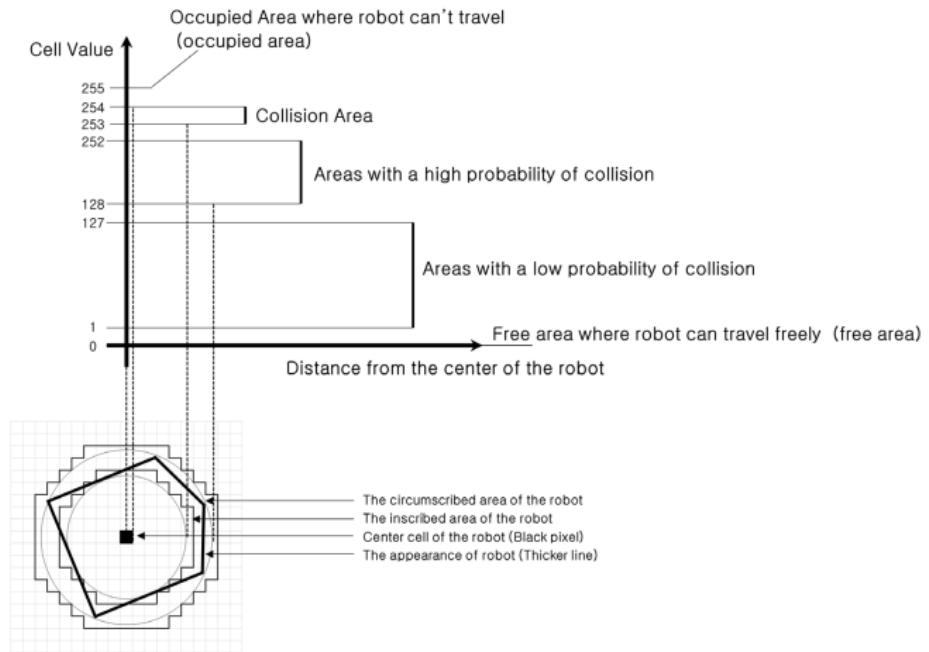
2.3.2 Bản đồ trọng số (costmap)

Trạng thái của robot được ước tính dựa trên odometry từ encoder và cảm biến gia tốc góc IMU. Và khoảng cách giữa robot và các vật cản được tính từ cảm biến khoảng cách gắn trên robot. Trạng thái robot và cảm biến, thông tin vật cản, một bản đồ lưới chiếm dụng là kết quả của SLAM được sử dụng để tải bản đồ tĩnh và sử dụng các vùng bị chiếm dụng, các vùng trống và các vùng chưa biết cho điều hướng robot.

Trong điều hướng robot, bản đồ trọng số tính vùng có vật cản, các vùng có khả năng va chạm và vùng robot có thể di chuyển. Phụ thuộc vào kiểu điều hướng, bản đồ trọng số có thể chia thành hai phần. Một là *global_costmap*, thiết lập kế hoạch di chuyển cho điều hướng robot trong toàn bộ không gian của bản đồ cố định. Phần còn lại là *local_costmap* được sử dụng cho kế hoạch di chuyển và tránh vật cản trong không gian giới hạn quanh robot. Mặc dù mục đích khác nhau nhưng cả hai loại bản đồ này được thể hiện theo một cách.

Bản đồ trọng số thể hiện giá trị từ 0 tới 255. Nghĩa của từng giá trị được thể hiện trong Hình 2.11, và tóm tắt như sau, được dùng để xác định nơi robot có thể di chuyển hoặc va chạm với vật cản.

- **000:** vùng trống robot có thể di chuyển thoải mái
- **001 - 127:** vùng xác suất thấp có vật cản
- **128 - 252:** vùng xác suất cao có vật cản
- **253 - 254:** vùng có vật cản
- **255:** vùng bị chiếm dụng, robot không thể di chuyển.



Hình 2.11: Quan hệ giữa khoảng cách tới vật cản và giá trị bản đồ trọng số

2.3.3 AMCL

AMCL (Adaptive Monte Carlo Localization) có thể xem như phiên bản nâng cấp của phương pháp ước tính trạng thái vị trí Monte Carlo, cải thiện hiệu suất thời gian thực bằng cách giảm thời gian tính toán với số mẫu nhỏ hơn giải thuật Monte Carlo. Mục đích của giải thuật ước tính trạng thái vị trí Monte Carlo (MCL) là xác định vị trí robot trong môi trường đã biết, đó là x , y và θ của robot trong bản đồ. MCL tính xác suất nơi robot có thể được đặt. Đầu tiên, vị trí và hướng (x, y, θ) của robot tại thời điểm t được biểu thị là x_t , và thông tin khoảng cách từ cảm biến tới thời điểm t được biểu thị là $z_{0..t} = \{z_0, z_1, \dots, z_t\}$, và thông tin di chuyển từ encoder tới thời điểm t là $u_{0..t} = \{u_0, u_1, \dots, u_t\}$. Chúng ta có thể tính độ tin cậy với phương trình:

$$bel(x_t = p(x_t | z_{0..t}, u_{0..t})) \quad (2.11)$$

Vì robot có thể có sai số phần cứng nên phải thiết lập mô hình cảm biến và mô hình di chuyển. Áp dụng quá trình dự đoán và cập nhật của bộ lọc Bayes.

Trong bước dự đoán, vị trí $bel'(x_t)$ của robot tại thời gian tiếp theo được tính bằng cách sử dụng mô hình di chuyển $p(x_t | z_{0..t}, u_{0..t})$ của robot và xác suất $bel(x_t)$ tại vị trí trước đó, và thông tin chuyển động u nhận được trước đó.

$$bel'(x_t = \int p(x_t | z_{0..t}, u_{0..t})) bel(x_{t-1}) dx_{t-1} \quad (2.12)$$

Tiếp theo là bước cập nhật. Thời điểm này, mô hình cảm biến $p(z_t | x_t)$, xác

suất $bel(x_t)$ và hằng số chuẩn (η_t) được dùng để nâng độ chính xác xác suất $bel'(x_t)$ dựa trên thông tin cảm biến.

$$bel(x_t) = \eta_t p(z_t|x_{0..t}) bel'(x_t) \quad (2.13)$$

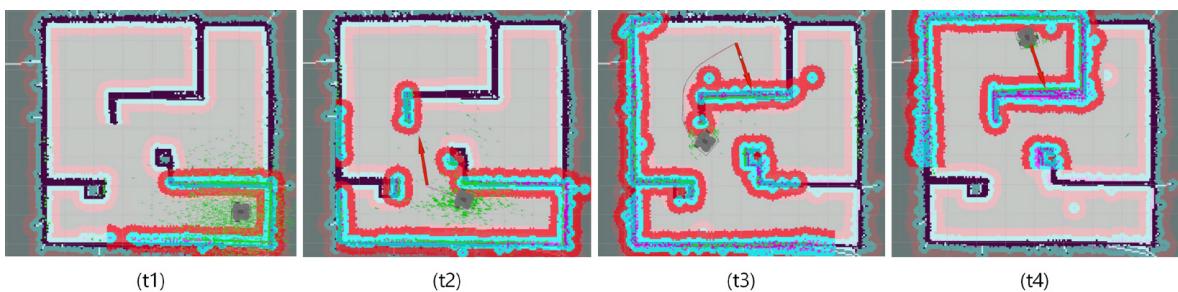
Phương trình sau để ước tính vị trí bằng việc tạo ra N điểm mẫu với particle filter sử dụng các xác suất đã tính $bel(x_t)$ của vị trí hiện tại. Đầu tiên là quá trình lấy mẫu. Ở đây, có một tập mẫu x'_t được trích xuất bằng cách sử dụng mô hình di chuyển của robot $p(x_t|x_{t-1}, u_{t-1})$ tại xác suất $bel(x_{t-1})$ của vị trí trước. Mẫu thứ i $x_i'^{(i)}$ giữa tập mẫu x'_t , thông tin khoảng cách z_t và hằng số chuẩn hóa η được sử dụng để tính trọng số $\omega_t^{(i)}$.

$$\omega_t^{(i)} = \eta p(z_t|x_t'^{(i)}) \quad (2.14)$$

Cuối cùng, trong quá trình lấy mẫu lại, chúng ta tạo N mẫu mới X_t sử dụng mẫu $x_t'^{(i)}$ và trọng số $\omega_t^{(i)}$.

$$X_t = \left\{ x_t^{(j)} | j = 1..N \right\} \quad \left\{ x_t'^{(i)}, \omega_t^{(i)} \right\} \quad (2.15)$$

Bằng việc lặp lại quá trình trên trong khi di chuyển các điểm mẫu, vị trí được ước tính của robot có độ chính xác tăng lên. Ví dụ như trong Hình 2.12, quá trình hội tụ vị trí từ 't1' tới 't4'. Tất cả quá trình này đã được mô tả trong phần 2.1.2. [6]



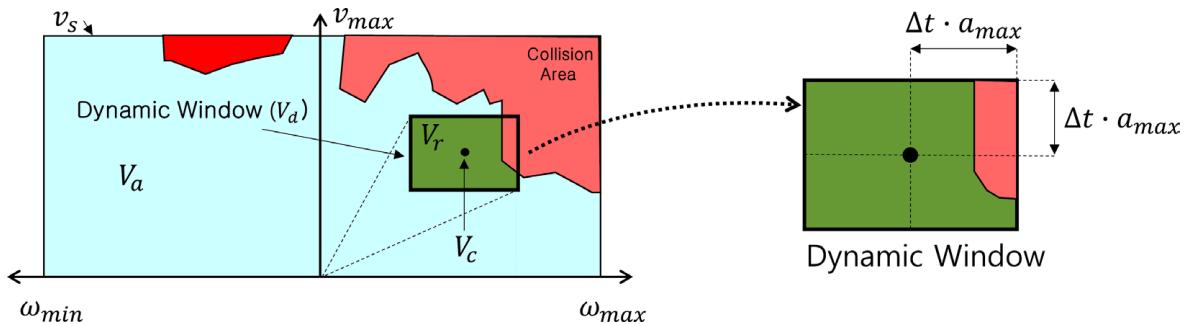
Hình 2.12: Quá trình AMCL cho ước tính trạng thái vị trí robot

2.3.4 Cửa sổ tiếp cận động (Dynamic Window Approach - DWA)

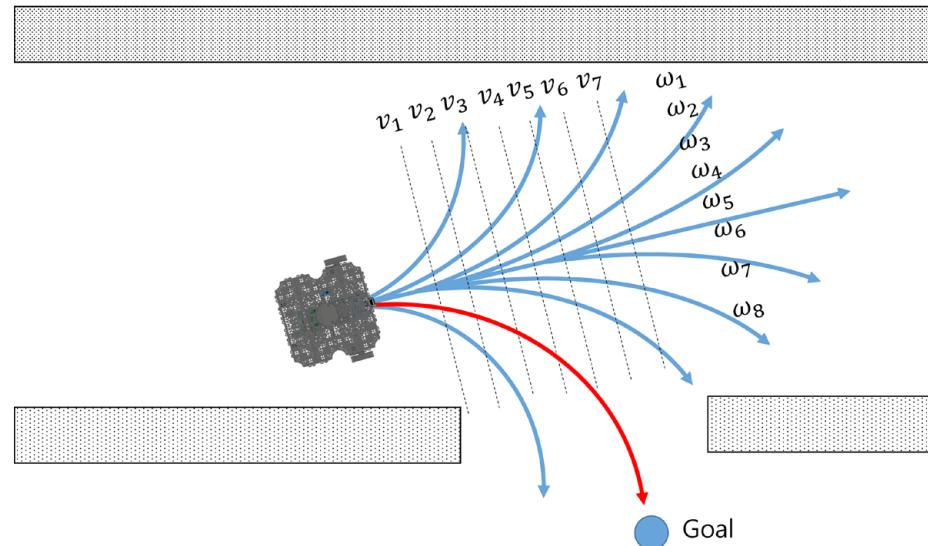
DWA là phương pháp phổ biến cho di chuyển và tránh vật cản. Đây là phương pháp lựa chọn tốc độ để có thể tới điểm đích nhanh nhất trong khi tránh vật cản. Trong ROS, Trajectory planner được dùng để tạo kế hoạch di chuyển cục bộ, nhưng DWA được dùng để thay thế vì sự vượt trội của nó.

Đầu tiên, robot không nằm trong hệ tọa độ x, y mà trong không gian tìm kiếm với tốc độ di chuyển x và vận tốc góc ω , như trong Hình 2.13. Trong không gian này, robot có tốc độ tối đa cho phép do giới hạn phần cứng và được gọi là Cửa sổ động.

Trong cửa sổ động này, hàm mục tiêu $G(v, \omega)$ được dùng để tính vận tốc dài x và vận tốc góc ω tối đa từ hàm mục tiêu trên và xem xét hướng, vận tốc và vật cản của robot. Nếu vẽ đồ thị ra chúng ta có thể tìm được vận tốc tối ưu giữa nhiều giá trị v và ω để tới đích như trong Hình 2.14



Hình 2.13: Không gian tìm kiếm vận tốc và cửa sổ động



Hình 2.14: Vận tốc dài v và vận tốc góc ω

2.4 Bài toán định vị và tạo bản đồ đồng thời

2.4.1 Một số phương pháp định vị

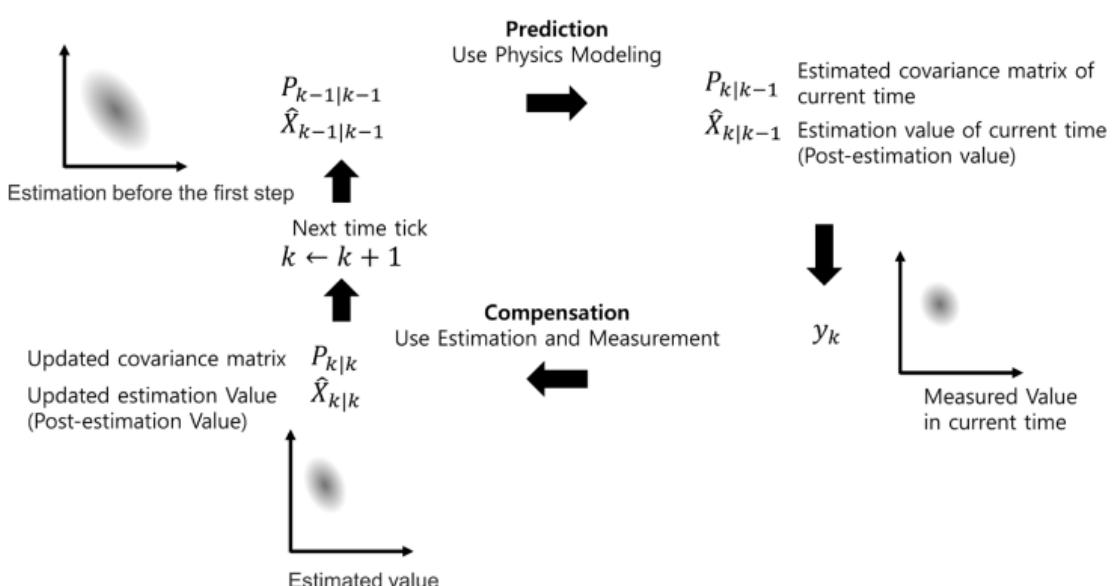
Ước tính trạng thái vị trí robot là nghiên cứu rất quan trọng trong Robotics, và được nghiên cứu rất tích cực cho tới ngày nay. Nếu trạng thái vị trí của robot

có thể được ước tính chính xác thì sẽ dễ dàng hơn trong việc xây dựng bản đồ dựa trên vị trí robot. Tuy nhiên, có nhiều vấn đề như không chắc chắn của phép đo cảm biến như đã nhắc đến trong 2.1, và cần phải hoạt động theo thời gian thực để hoạt động trong môi trường thực tế. Nhiều phương pháp để ước tính trạng thái vị trí robot đã được nghiên cứu để giải quyết vấn đề này. Trong khuôn khổ luận văn này, tác giả đề cập tới hai phương pháp là bộ lọc Kalman và Particle filter.

Bộ lọc Kalman

Bộ lọc Kalman được sử dụng trong dự án Apollo của NASA, được phát triển bởi Tiến sĩ Rudolf E. Kalman. Phương pháp này theo dõi một vật thể trong hệ tuyến tính với nhiễu. Bộ lọc dựa trên phương pháp xác suất Bayes bằng cách xây dựng một mô hình và sử dụng mô hình này để dự đoán trạng thái hiện tại từ trạng thái trước đó. Sau đó, sai số giữa giá trị dự đoán của bước ngay trước và giá trị thực tế đo được được sử dụng để cập nhật vào giá trị ước tính để đạt được giá trị chính xác hơn. Bộ lọc lặp lại quá trình trên và tăng độ chính xác. Một quá trình cơ bản được minh họa trong Hình 2.15

Tuy nhiên, bộ lọc Kalman chỉ có thể áp dụng với hệ tuyến tính. Phần lớn robot và cảm biến là hệ thống phi tuyến, và EKF (Extended bộ lọc Kalman) có một số điều chỉnh từ bộ lọc Kalman được sử dụng rộng rãi hơn.



Hình 2.15: Bộ lọc Kalman[6]

Particle Filter

Particle filter là giải thuật phổ biến nhất trong theo dõi vật thể (object tracking). Monte Carlo localization sử dụng bộ lọc Particle. Bộ lọc Kalman chỉ chính xác với hệ tuyến tính và nhiễu theo chuẩn Gaussian. Phần lớn các vấn đề trong thế giới thực là các hệ phi tuyến.

Bởi vì các cảm biến và robot cũng là hệ tuyến tính, bộ lọc particle thường được sử dụng cho ước tính trạng thái vị trí robot. Nếu bộ lọc Kalman tìm kiếm các thông số bằng chuyển động tuyến tính thì bộ lọc Particle filter là một kĩ thuật dự đoán thông qua mô phỏng dựa trên phương pháp thử sai (try-and-error). Bộ lọc này ước tính giá trị bằng phân bố xác suất từng phần trong hệ thống.

Khi sử dụng SLAM, giá trị odometry của robot và các giá trị đo từ cảm biến được sử dụng để ước tính trạng thái hiện tại của robot. Trong phương pháp này, trạng thái vị trí không chắc chắn của robot được mô tả bằng một chùm điểm gọi là các mẫu. Chúng ta di chuyển các điểm tới một vị trí và hướng mới được ước tính dựa trên mô hình chuyển động của robot và xác suất, phép đo trọng số của từng điểm dựa vào giá trị đo thực tế, và giảm nhiễu để ước tính trạng thái chính xác. Trong robot di động, mỗi điểm được biểu diễn bởi trạng thái vị trí (x, y, i), trọng số.

Bộ lọc particle filter gồm 5 bước chính, ngoại trừ bước khởi tạo, các bước còn lại được lặp đi lặp lại để thực hiện ước tính vị trí robot. Nói cách khác, đây là phương pháp ước tính trạng thái vị trí của robot bằng cách cập nhật phân bố của các điểm thông qua xác suất của robot trong hệ tọa độ X, Y dựa trên các giá trị cảm biến đo được.

(1) **Khởi tạo:** Vì trạng thái khởi tạo của robot (vị trí và hướng) chưa biết, các điểm dự đoán được phân bố ngẫu nhiên trong phạm vi có thể, với N điểm. Mỗi điểm khởi tạo có trọng số $1/N$, và tổng các trọng số của các điểm dự đoán là 1. N được đặt theo kinh nghiệm, thông thường là vài trăm. Nếu vị trí khởi tạo đã biết, các điểm dự đoán được đặt gần với robot.

(2) **Dự đoán:** Dựa trên mô hình mô tả hệ thống chuyển động của robot, nó dịch chuyển mỗi điểm particle theo giá trị đo từ thông tin odometry và nhiễu.

(3) **Cập nhật:** Dựa trên thông tin đo được từ các cảm biến, xác suất của mỗi điểm dự đoán được tính toán và giá trị trọng số được cập nhật dựa trên xác suất tính được.

(4) **Ước tính trạng thái:** Vị trí, hướng và trọng số của tất cả các điểm dự đoán được dùng để tính toán trọng số trung bình, giá trị trung bình và giá trị trọng số lớn nhất cho việc dự đoán trạng thái của robot.

(5) **Lấy mẫu lại:** Bước này tạo ra các điểm dự đoán mới để loại bỏ các điểm có trọng số thấp và tạo các điểm mới kế thừa từ các điểm được giữ lại, tổng số

điểm N phải được duy trì.

2.4.2 Định vị và tạo bản đồ đồng thời - SLAM

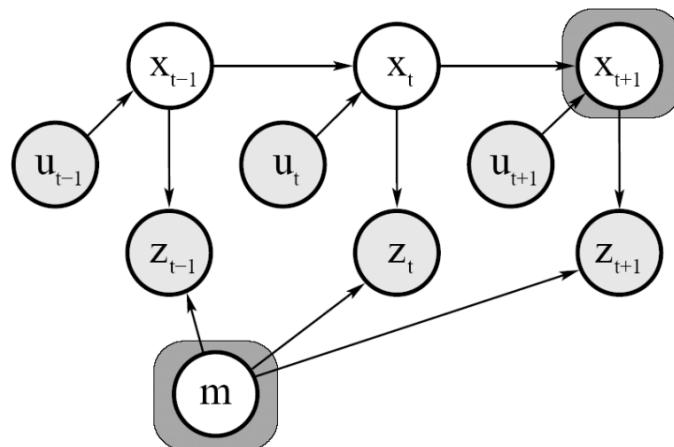
SLAM - Simultaneous Localization And Mapping. Đây là một trong các vấn đề khó nhất của robotics. Vấn đề SLAM nảy sinh khi robot không có bản đồ của môi trường và cũng không biết trạng thái vị trí của chính nó. Thay vào đó là dữ liệu đo $z_{1:t}$ và tín hiệu điều khiển $u_{1:t}$. Thuật ngữ SLAM mô tả kết quả của vấn đề: Trong SLAM, robot đạt được một bản đồ môi trường trong khi đồng thời định vị nó ở đâu trong bản đồ đó. Bài toán SLAM khó hơn bài toán định vị bởi vì bản đồ chưa biết trước và nó phải được ước tính vị trí theo một quãng đường dài. Nó cũng khó hơn bài toán tạo bản đồ vì trạng thái vị trí robot chưa biết và nó cũng phải được ước tính trong quãng đường dài.

Như một bài toán con gà và quả trứng, bởi vì trong robot di động muốn định vị tốt thì cần phải có bản đồ chính xác và muốn tạo được bản đồ chính xác thì lại phải định vị tốt.

Theo luật xác suất, có hai dạng chính của SLAM, cả hai dạng này đều quan trọng như nhau. Một dạng là SLAM online. Nó thực hiện các dự đoán qua các trạng thái hiện tại xuyên suốt bản đồ:

$$p(x_t, m | z_{1:t}, u_{1:t}) \quad (2.16)$$

Trong đó, x_t là trạng thái vị trí tại thời điểm t , m là bản đồ, và $z_{1:t}$ và $u_{1:t}$ là các giá trị đo và điều khiển tương ứng. Vấn đề này gọi là SLAM online vì nó chỉ dự đoán các biến tại thời điểm t_k , bỏ qua các dữ liệu đo và điều khiển cũ một khi các dữ liệu đó đã được xử lý. Mô hình online SLAM được thể hiện như trong Hình 2.16

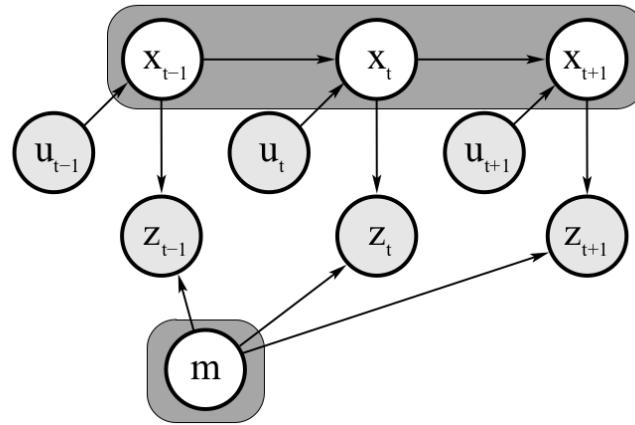


Hình 2.16: Online SLAM

Vấn đề SLAM thứ hai là được gọi là *full SLAM*. Trong full SLAM, chúng ta

tính toán toàn bộ đường đi $x_{1:t}$ xuyên suốt bản đồ, thay vì chỉ trạng thái hiện tại x_t

$$p(x_{1:t}, m | z_{1:t}, u_{1:t}) \quad (2.17)$$



Hình 2.17: Full SLAM

Sự khác nhau giữa online và full SLAM tạo nên sự phân nhánh trong các thuật toán tương ứng với mỗi loại. Cụ thể, online SLAM là kết quả của việc tích hợp trạng thái robot cũ từ full SLAM.

Một đặc điểm quan trọng nữa của SLAM đó là nó có hai thành phần liên tục và rời rạc. Vấn đề liên tục là ước tính vị trí của các vật thể, đối tượng trong bản đồ và các biến số đặt ra của robot. Các đối tượng có thể là các điểm mốc. Bản chất rời rạc liên quan đến sự tương ứng của các vật thể nó phát hiện được, nó phải xem xét vật thể đó đã được phát hiện ở bước trước đó hay chưa.

Chương 3

Điều khiển và cải tiến tránh vật cản cho robot

3.1 Đặt vấn đề

Công nghệ SLAM là công nghệ cốt lõi trong robot tự hành thông minh, hiện nay công nghệ SLAM 2D chiếm phần lớn trong các ứng dụng do tính đơn giản, giá thành hợp lý. Tuy nhiên, với SLAM 2D, robot chỉ có thể tạo được bản đồ và di chuyển, tránh vật cản khi có thông tin về vật cản đó trên một mặt phẳng mà LIDAR quét được. Trong thực tế, môi trường hoạt động của chúng có nhiều loại vật thể có hình dạng, kích thước và chiều cao khác nhau. Để giải quyết vấn đề này, có một số phương pháp như:

- Thêm một số tầng cảm biến khác theo chiều cao thân robot như robot RHINO ([23])
- Sử dụng cảm biến LIDAR 3D ([24])
- Ứng dụng visual-based SLAM ([25, 26])

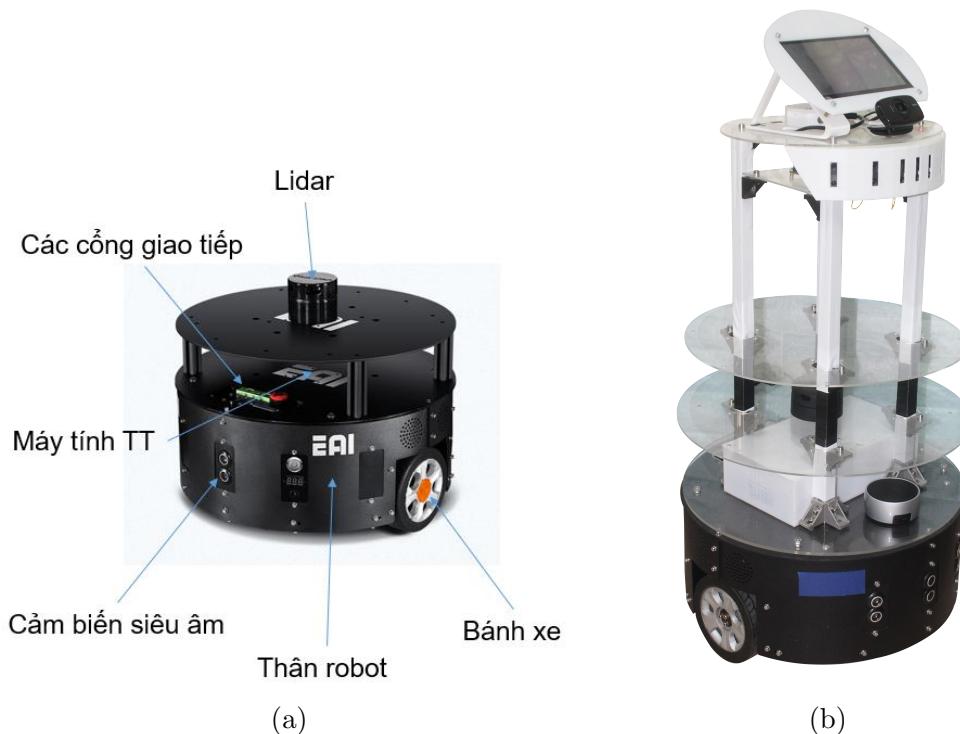
Các phương pháp trên có nhược điểm là chi phí thiết bị cao, chi phí tính toán lớn và thuật toán phức tạp do robot phải xử lý lượng lớn dữ liệu đầu vào. Trong luận văn này, để đảm bảo robot có thể hoạt động được theo thời gian thực và tích hợp trên hệ thống sẵn có, tác giả sử dụng phương pháp tích hợp thêm một tầng cảm biến khoảng cách hồng ngoại để phối hợp với Lidar và cảm biến siêu âm có sẵn trên robot, hỗ trợ và tăng cường tránh vật cản cho robot. Tác giả thực hiện một số nhiệm vụ như sau:

- Thiết kế mạch lấy dữ liệu cảm biến
- Xử lý dữ liệu từ các cảm biến khoảng cách hồng ngoại

- Ứng dụng và phát triển giải thuật điều khiển tránh vật cản bằng hệ thống cảm biến khoảng cách hồng ngoại.
- Phối hợp phân quyền điều khiển robot
- Tích hợp tín hiệu từ cảm biến để cập nhật dữ liệu vật cản vào bản đồ di chuyển của robot
- Đánh giá kết quả và hiệu quả của hệ thống

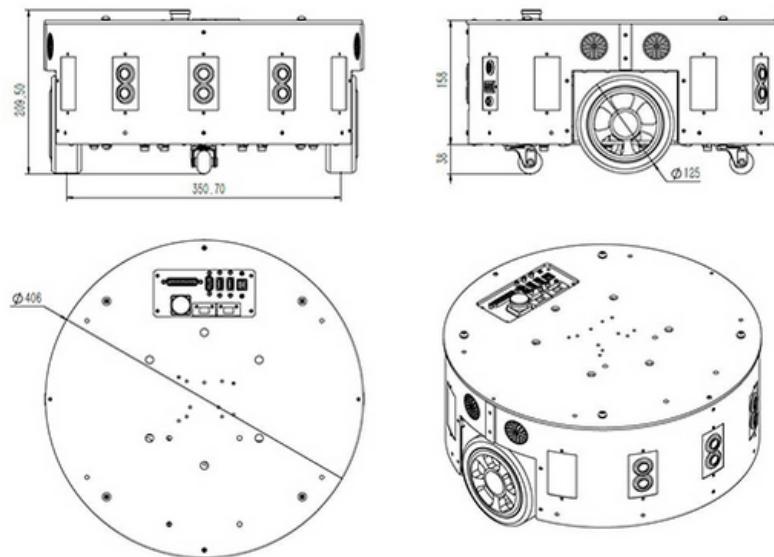
3.2 Giới thiệu nền tảng robot

Luận văn này được thực hiện trên nền tảng robot di động EAI Dashgo D1. Hình 3.1a là một nền tảng robot di động thông minh được sản xuất phục vụ nghiên cứu về robot tự hành và Hình 3.1b là robot đang trong quá trình phát triển thành robot dịch vụ thông minh.



Hình 3.1: Nền tảng robot di động

Robot có cấu tạo gồm 3 phần chính: Phần chân để thực hiện chức năng di chuyển, phần cảm biến và phần điều khiển trung tâm.



Hình 3.2: Cấu tạo phần chân đế

3.2.1 Phần chân đế

Phần chân đế của robot có cấu tạo gồm hai bánh chủ động và 2 bánh xe bị động (Hình 3.2). Động cơ có gắn encoder độ chính xác cao để phản hồi vị trí. Phần chân đế được điều khiển bởi mạch điều khiển được mở rộng từ mạch arduino kết hợp với các module điều khiển bánh xe. Hoạt động của robot nhờ nguồn điện 12V từ acquy với thời gian sạc đầy khoảng 4 tiếng và thời gian hoạt động khoảng 6 tiếng.

3.2.2 Phần cảm biến

Robot được trang bị bốn cảm biến siêu âm và một cảm biến LIDAR. Cảm biến LIDAR¹ được dùng cho việc tạo bản đồ, định vị và sử dụng kết hợp với cảm biến siêu âm để tránh vật cản trong quá trình di chuyển.

Robot sử dụng các cảm biến khoảng cách siêu âm để phát hiện vật cản ở tầng có độ cao thấp nhất. Nguyên lý hoạt động của cảm biến khoảng cách siêu âm như sau:

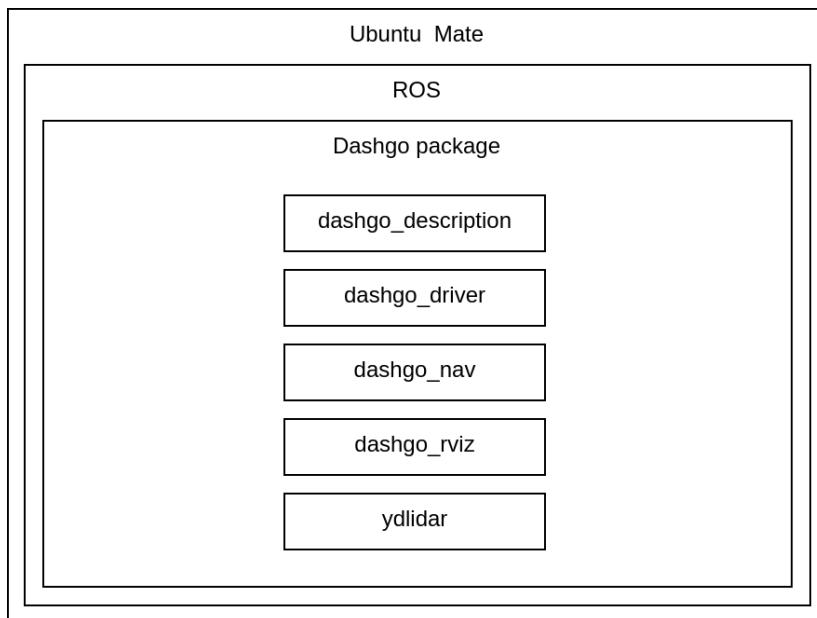
- Đầu phát của cảm biến phát ra sóng siêu âm
- Sóng siêu âm bị dội lại khi có vật cản
- Thực hiện đo khoảng cách từ lúc phát tới lúc nhận được sóng dội lại, tính toán dựa trên tốc độ di chuyển sóng âm trong không khí ta tính được khoảng cách từ cảm biến tới vật.

¹LIDAR - Viết tắt của Light Detection And Ranging là cảm biến đo khoảng cách bằng cách quét tia laser quan nó, đo các cung phản xạ bằng cảm biến [Nguồn: wikipedia]

Cảm biến siêu âm có các ưu điểm như không bị ảnh hưởng bởi màu sắc của vật, hoạt động tốt trong môi trường tối, tiêu tốn ít năng lượng và dễ dàng kết nối với các vi điều khiển. Tuy nhiên nó cũng có các điểm hạn chế như giới hạn khoảng cách đo được, độ phân giải và tần số đo thấp do đó nó không phù hợp với các ứng dụng có vật đích di chuyển nhanh. Cảm biến siêu âm không hoạt động được với các bề mặt không bằng phẳng, các bề mặt hấp thụ âm thanh.

Cảm biến LIDAR sử dụng trong robot là YDLIDAR G4, sử dụng tia laser đạt tiêu chuẩn an toàn FDA Class 1². Cảm biến tích hợp một động cơ để quay quét mắt laser 360° với tần số quét từ 5-12Hz. Do khoảng cách bằng laser với giải đo từ 0.10 - 16m với tần số lấy mẫu có thể đạt 9000Hz. Cảm biến này được sử dụng cho việc tạo bản đồ, điều hướng và tránh vật cản.

3.2.3 Hệ thống phần mềm



Hình 3.3: Kiến trúc phần mềm điều khiển robot trên Dashgo D1

Robot sử dụng mạch Raspberry Pi 3 làm bộ điều khiển trung tâm. Chạy hệ điều hành robot ROS Kinetic trên nền tảng Ubuntu MATE 16.04. Để thực hiện các chức năng cơ bản như định vị, tạo bản đồ, di chuyển tới vị trí xác định trong bản đồ, tránh vật cản trong quá trình di chuyển, robot cần phải được cài đặt gói chương trình dashgo được cung cấp bởi nhà sản xuất. Hình 3.3 mô tả kiến trúc phần mềm trên Dashgo D1. Trong đó:

- **dashgo_description** là gói chứa các mô tả của robot, được dùng trong hiển thị Rviz và mô phỏng robot trong Gazebo.

²Tiêu chuẩn Laser FDA Class 1: Được xem là không gây nguy hiểm. Mức độ nguy hiểm tăng khi nhìn qua kính hội tụ quang học như kính lúp, kính hiển vi [Theo www.fda.gov]

- `dashgo_driver` chứa các thông số cấu hình và chương trình driver để điều khiển robot.
- `dashgo_nav` chứa các chương trình điều khiển robot, bao gồm `gmapping` để tạo bản đồ môi trường và `navigation` để thực hiện di chuyển tự động trong bản đồ.
- `dashgo_rviz` chứa các file mẫu rviz của một số tác vụ cơ bản.
- `dashgo_tools` chứa các công cụ để làm việc với robot.
- `ydlidar` là gói quản lý, driver của YDLIDAR.

3.3 Điều khiển Dashgo robot

Dashgo D1 ứng dụng giải thuật SLAM và hoạt động trên nền tảng hệ điều hành ROS. Hai chức năng chính là tạo bản đồ môi trường mới và điều hướng trong môi trường đã biết.

3.3.1 Quy trình thực hiện

Tạo bản đồ: Với một môi trường chưa biết trước, việc đầu tiên là phải tạo bản đồ. Chương trình tạo bản đồ được tạo sẵn trong file `gmapping.launch`

```
$ roslaunch dashgo_nav gmapping.launch
```

Chương chương trình này sẽ gọi tới một số chức năng khác như driver điều khiển chân để `driver.launch`, driver lidar `lidar.launch`, chạy thuật toán và khai báo các thông số tại `gmapping_base.launch`

Sau khi chạy file `gmapping.launch`, bật Rviz lên để xem vị trí của robot và bản đồ.

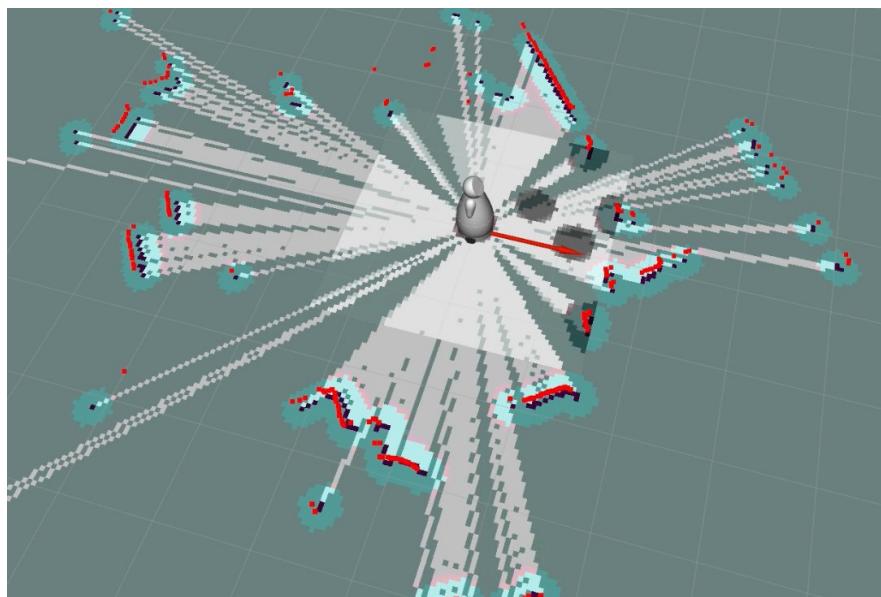
```
$ roslaunch dashgo_rviz view_navigation.launch
```

Sử dụng công cụ di chuyển robot bằng tay để thu thập thông tin tạo bản đồ của môi trường. Chúng ta có thể sử dụng bàn phím hoặc app để điều khiển robot di chuyển. Cho robot di chuyển trong toàn bộ môi trường để thực hiện thu thập thông tin cho bản đồ và quan sát trực quan trên Rviz để quan sát bản đồ tạo được.

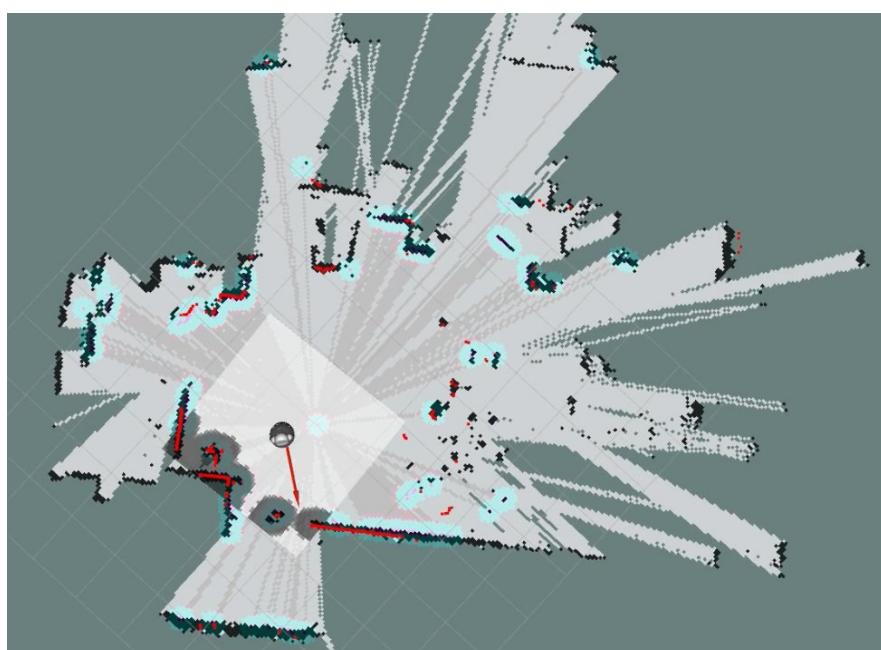
```
$ rosrun dashgo_tools teleop_keyboard.py
```

Sau đó lưu bản đồ lại bằng lệnh:

```
$ cd dashgo_nav/maps  
$ rosrun map_server map_saver -f <Ten ban do>
```



(a)



(b)

Hình 3.4: Robot đang tạo bản đồ thể hiện trên Rviz. Hình a thể hiện lúc bắt đầu tạo bản đồ, hình b là sau khi quét bản đồ xong.

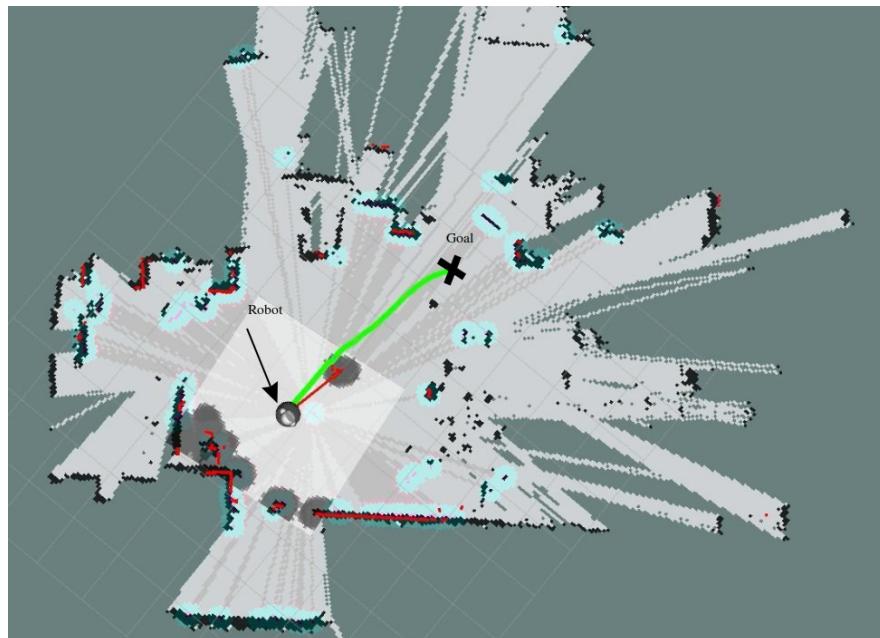
Điều hướng: Chương trình này sử dụng bản đồ đã được lưu, sử dụng thuật toán amcl để định vị và điều hướng trong bản đồ đã biết.

```
$ roslaunch dashgo_nav navigation.launch
```

Bật Rviz để xem trên bản đồ và thực hiện một số thao tác điều khiển cũng như theo dõi robot:

```
$ roslaunch dashgo_rviz view_navigation.launch
```

Trên giao diện Rviz, chúng ta sử dụng công cụ 2D Pose Estimate để định vị lại vị trí của robot trong bản đồ bằng tay. Bởi vì khi mới khởi tạo, robot chưa có đủ thông tin để tự định vị nó đang ở đâu trong bản đồ. Bước định vị bằng tay này không cần quá chính xác bởi vì sau khi robot di chuyển nó sẽ tự mình định vị và điều chỉnh vị trí của robot trong bản đồ. Sau đó, để điều hướng robot đến một điểm bất kỳ, chúng ta sử dụng công cụ 2D Nav Goal. Ngoài ra, trên giao diện Rviz chúng ta còn có thể thấy các thông tin về: vị trí của robot, bản đồ, costmap...



Hình 3.5: Robot di chuyển tới đích trong bản đồ

Hình 3.4 thể hiện quá trình tạo bản đồ của robot. Hình 3.5 thể hiện robot đang di chuyển tới vị trí đích xác định trong bản đồ. Để di chuyển tới vị trí đích xác định trong bản đồ. Robot sẽ dựa vào bản đồ toàn cục để tính được một quỹ đạo di chuyển với chi phí di chuyển thấp nhất từ vị trí đang đứng tới vị trí đích. Đồng thời, một bản đồ địa phương là một ô lưới quanh robot. Trong bản đồ địa

phương này, robot sẽ sử dụng tín hiệu từ các cảm biến để đánh dấu vật cản vào bản đồ để tránh vật cản đó.

3.3.2 Đánh giá hoạt động của robot

Với nền tảng robot hiện tại, hệ thống robot thực hiện được một số chức năng như sau:

- Tạo bản đồ môi trường mới
- Di chuyển trong môi trường đã biết, điều hướng tới đích được cho.
- Tránh vật cản trong quá trình di chuyển.

Tuy nhiên bên cạnh đó cũng có một số hạn chế như sau:

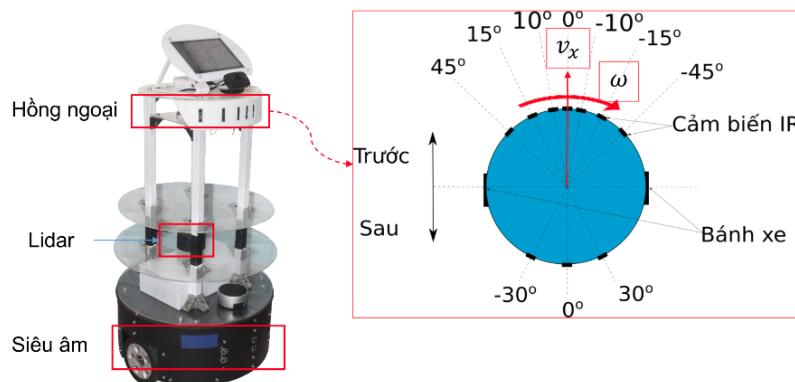
- Robot chỉ phát hiện và tránh vật cản được ở hai tầng cảm biến hiện tại (tương ứng với mặt phẳng đi qua cảm biến siêu âm và mặt phẳng quét của cảm biến LIDAR). Khi đó robot sẽ có một số hạn chế khi di chuyển trong môi trường có các vật có hình dạng khác nhau như bàn, ghế xoay...
- Cảm biến siêu âm tránh vật cản không phát hiện được vật cản có bề mặt hấp thụ sóng âm thanh.
- Cảm biến laser sử dụng cho nhiệm vụ định vị, điều hướng và cả tránh vật cản, vì vậy chi phí tính toán cao và thường phản ứng chậm với vật cản động.

3.4 Cải tiến hệ thống tránh vật cản cho robot

Từ các hạn chế của robot hiện tại và với mục tiêu robot hoạt động hiệu quả trong môi trường biến động, tác giả đề xuất phương án bổ sung thêm một tầng cảm biến để phát hiện và tránh vật cản. Hệ thống này sử dụng một số cảm biến khoảng cách hồng ngoại, chi phí thiết bị và chi tính toán thấp để dễ dàng tích hợp được vào robot, phối hợp cùng với hai tầng cảm biến có sẵn nhưng vẫn đảm bảo robot hoạt động ổn định theo thời gian thực. Robot có thể phát hiện và tránh được đa dạng vật cản hơn. Dựa trên các kết quả tham khảo ở 1.5 tác giả đề xuất một mô hình giải thuật mới.

3.4.1 Phần cứng

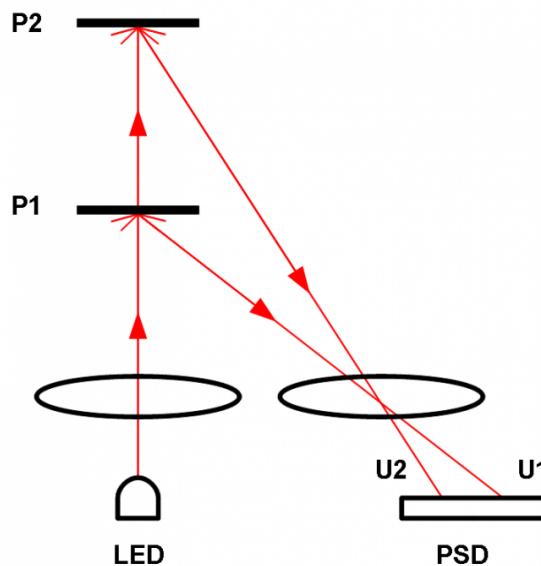
Hệ thống gồm một số cảm biến hồng ngoại IR Sharp GP2Y0A21YK0F và mạch Arduino Mega 2560. Vị trí các cảm biến được bố trí như Hình 3.6.



Hình 3.6: Sơ đồ bố trí cảm biến

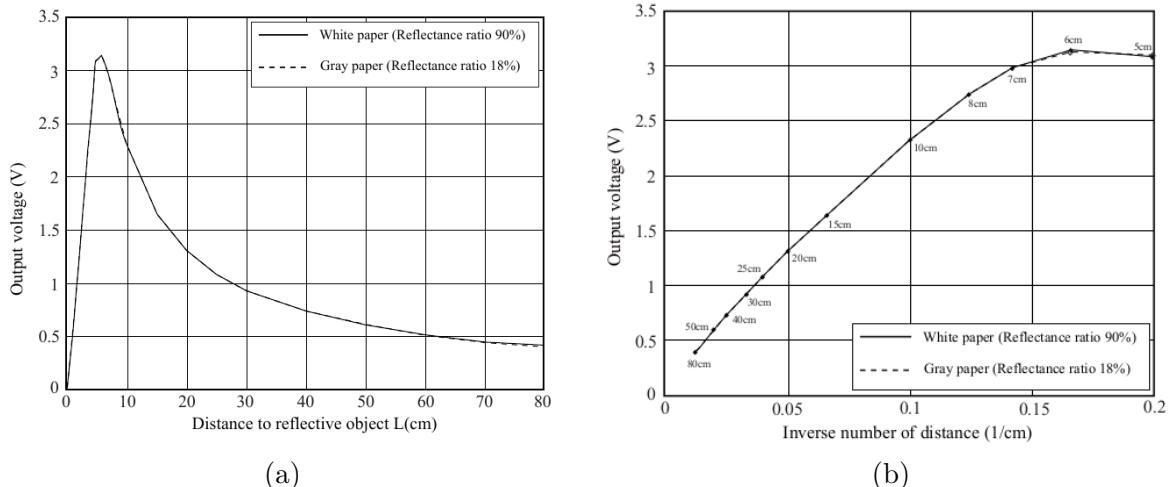
Trong quá trình di chuyển, robot có thể tiến và lùi vì vậy cần phải đặt cảm biến ở cả trước và phía sau robot. Robot sử dụng hai bánh dẫn động chính và di chuyển trên mặt phẳng, do vậy chuyển động của robot được quy về hai thông số vận tốc dài v và vận tốc góc ω theo phương pháp ước tính trạng thái robot dead-reckoning Hình 2.10a [6]. Do đó tác giả đề xuất phương án mới đặt cảm biến dày hơn ở khu vực chính giữa và thưa ra hai bên như Hình 3.6.

3.4.2 Xử lý dữ liệu cảm biến



Hình 3.7: Cơ chế hoạt động của cảm biến khoảng cách hồng ngoại [7]

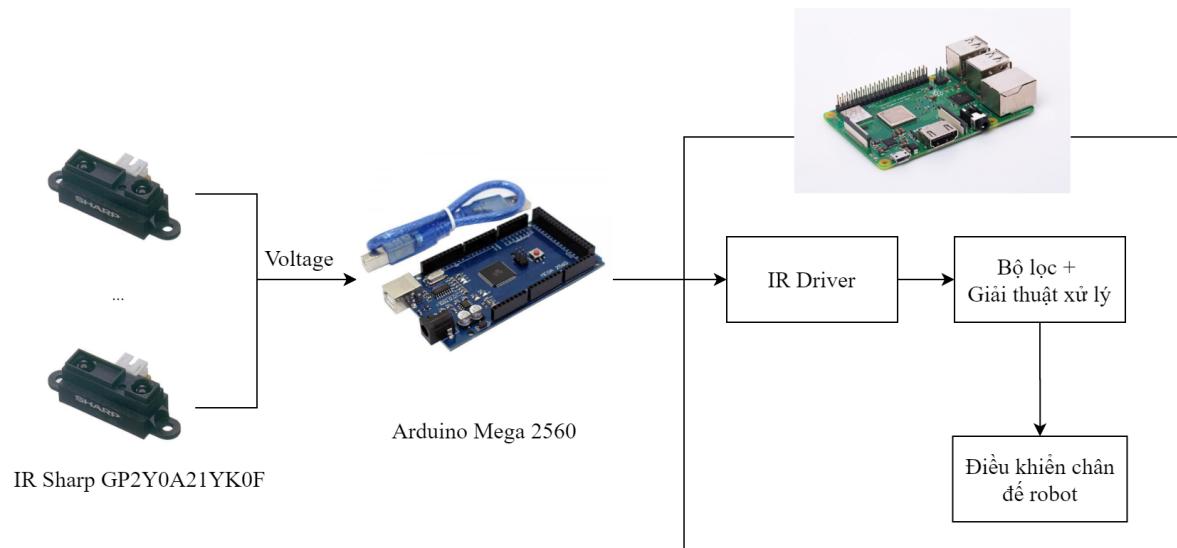
Cảm biến khoảng cách hồng ngoại là loại cảm biến sử dụng ánh sáng hồng ngoại với một đầu phát và một đầu thu. Cơ chế hoạt động của cảm biến khoảng cách hồng ngoại như Hình 3.7. Trong đó, đèn LED phát tia sáng hồng ngoại, khi gặp vật cản, tia sáng sẽ bị phản xạ lại, in lên tấm PSD tại các vị trí tương ứng



Hình 3.8: Mối liên hệ giữa khoảng cách và điện áp của cảm biến IR Sharp GP2Y0A21YK0F [8]

với góc chiếu khác nhau, tạo điện áp khác nhau từ U1 đến U2.

Mối quan hệ giữa điện áp ra và khoảng cách của module cảm biến khoảng cách hồng ngoại IR Sharp GP2Y0A21YK0F như Hình 3.8



Hình 3.9: Sơ đồ xử lý dữ liệu cảm biến

Mạch Arduino Mega sẽ đọc tín hiệu điện trả về từ các cảm biến IR mỗi khi có lệnh yêu cầu từ Raspberry Pi. Mỗi chân dữ liệu của cảm biến kết nối với chân Analog input trên mạch Arduino để đọc dữ liệu điện áp thông qua ADC 8 bit. Trên Raspberry Pi, `node ir_driver` sẽ nhận các dữ liệu ADC của các cảm biến từ Arduino. Hình 3.8 cho ta mối liên hệ giữa điện áp và khoảng cách của cảm biến SHARP GP2Y0A21YK0F. Tuy nhiên, đây là đồ thị một đường cong không được biểu diễn bởi một hàm toán học cụ thể. Phương pháp được sử dụng là dùng thí nghiệm đo với giá trị điện áp và khoảng cách tương ứng. Sau đó nội

suy kết quả thí nghiệm thành một hàm toán học gần đúng. Trong luận văn này, sử dụng công thức 3.1 và 3.2 [27] và kiểm nghiệm thấy kết quả khá chính xác (tại 3.6.1)

$$v = \frac{ADC * 5.0}{1023.0} \quad (3.1)$$

$$d = 27.728 * v^{-1.2045} \quad (3.2)$$

Trong đó:

- v - Điện áp ghi nhận tại chân analog của arduino.
- d - Khoảng cách đo được từ cảm biến

Sau khi tính được khoảng cách của các cảm biến sẽ publish ra topic IR_sensor_arr chứa thông tin đo được từ tất cả các cảm biến với tần số 20Hz.

$$d = \frac{\sum_{i=1}^N d_i}{N} \quad (3.3)$$

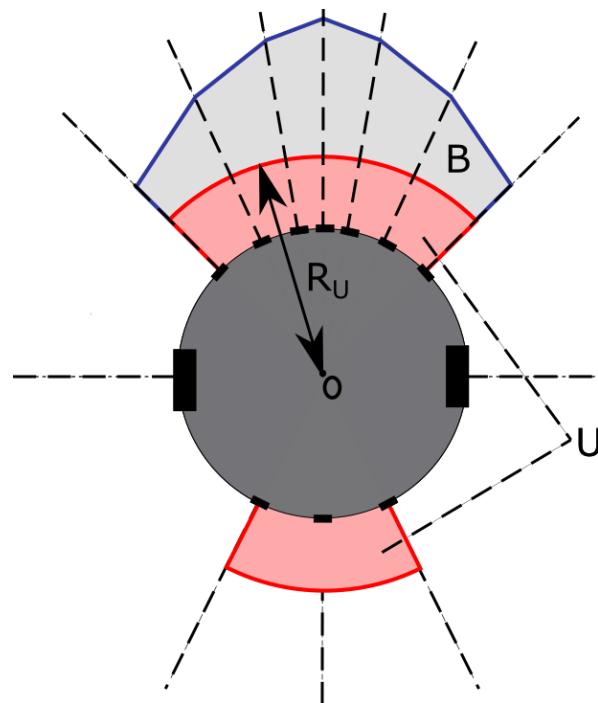
Sau đó dùng bộ lọc trung bình cộng để lấy trung bình cộng 3.3 của N lần đo để giảm tác động của nhiễu. Để đảm bảo hệ thống vừa hoạt động được theo thời gian thực và vừa đảm bảo độ chính xác, tin cậy, tác giả chọn N = 10 với tần số cập nhật 2 lần/giây (Chi tiết tại mục 3.6.1)

3.4.3 Trình bày giải thuật

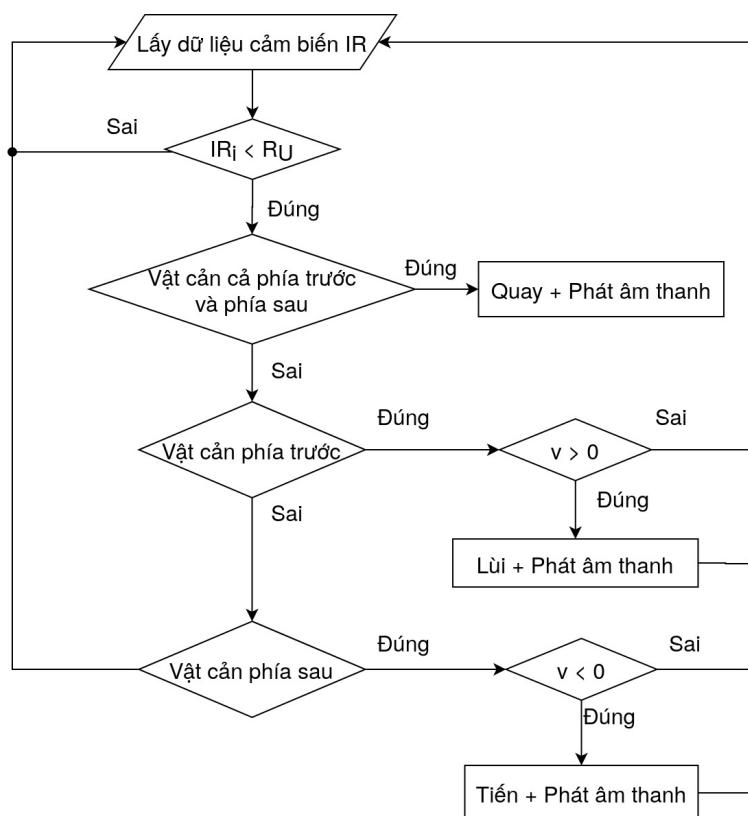
Tác giả đề xuất sử dụng phối hợp hai giải thuật để điều khiển robot tránh vật cản sử dụng tầng cảm biến hồng ngoại. Định nghĩa hai vùng phát hiện vật cản. Vùng B và vùng U như Hình 3.10. Chúng ta đặt mức độ ưu tiên khác nhau cho từng vùng, với mức ưu tiên áp dụng giải thuật vùng U cao hơn vùng B. Chi tiết giải thuật được mô tả như sau:

Giải thuật vùng khẩn cấp U: Vùng này thể hiện vùng nguy hiểm, được xác định bằng một đường tròn bán kính R_U từ tâm của robot. Khi phát hiện có vật cản nằm trong vùng này nếu robot có lệnh di chuyển tiến hoặc lùi thì sẽ dừng lại, di chuyển robot lùi/tiến để tránh khỏi vật cản, đồng thời phát âm thanh để thông báo có vật cản cho đến khi không còn vật cản trong vùng này.

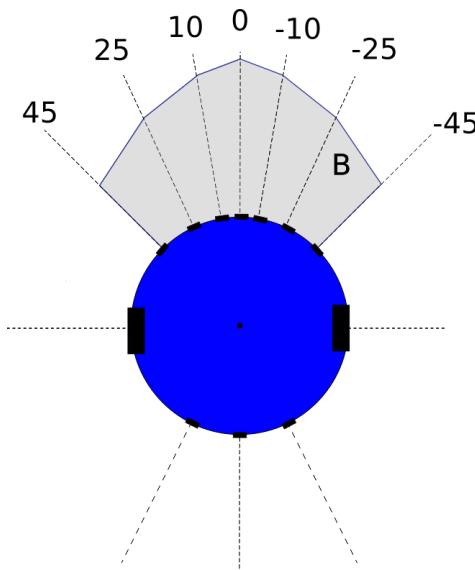
Giải thuật bong bóng phản ứng B: Trên cơ sở tham khảo [4], thuật toán bong bóng phản ứng xác định một đường bao phía trước robot, có hình dạng như trong Hình 3.12, kích thước đường bao được làm mới sau mỗi chu kỳ Δt , phụ thuộc vào vị trí cảm biến và vận tốc di chuyển của robot theo công thức 3.4. Trong đó $bb[i]$ là kích thước bong bóng tại vị trí cảm biến thứ i, K_i là hệ



Hình 3.10: Vùng xác định vật cản



Hình 3.11: Giải thuật vùng khẩn cấp U



Hình 3.12: Hình dạng bong bóng phản ứng

số, V_t là vận tốc dài của robot tại thời điểm t , Δ_t là khoảng thời gian giữa 2 lần cập nhật. Kích thước đường bao là phạm vi đảm bảo robot có thể di chuyển tự do trong khoảng thời gian Δ_t mà không va chạm với vật cản.

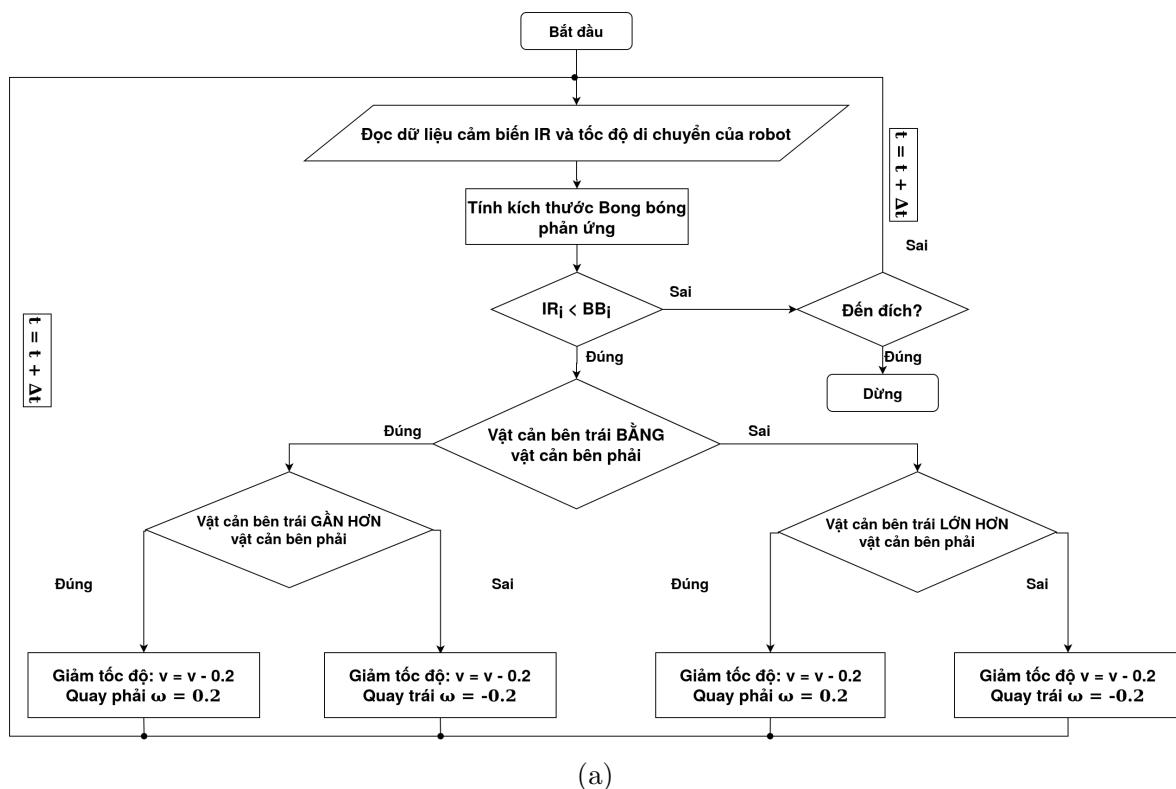
$$bb[i] = K_i * V_t * \Delta_t \quad (3.4)$$

Hình 3.13a mô tả sơ đồ giải thuật tránh vật cản bằng thuật toán bong bóng phản ứng. Hình 3.13b mô tả một trường hợp hoạt động của thuật toán. Robot di chuyển từ vị trí A tới đích G với quỹ đạo được chương trình `slam_gmapping` tính toán theo đường nét đứt. Tuy nhiên, đến vị trí B, robot phát hiện thấy vật cản mà Lidar không phát hiện ra được. Giá trị đo được của cảm biến và giá trị bong bóng phản ứng tại điểm B được mô tả trong biểu đồ Hình 3.13c. Có hai cảm biến tại vị trí góc -10 và -25 có khoảng cách đo được nhỏ hơn giá trị của bong bóng phản ứng, do đó đánh dấu 2 vị trí này có vật cản. Robot xác định có xuất hiện vật cản tại phía trước, bên phải, do đó, chân đế của robot được ra lệnh giảm vận tốc và đồng thời quay trái. Vì vị trí và hướng của robot lúc này đã lệch khỏi đường đi dự kiến ban đầu, do đó chương trình `slam_gmapping` tính toán lại quỹ đạo mới di chuyển tới đích, là đường nét liền màu xanh.

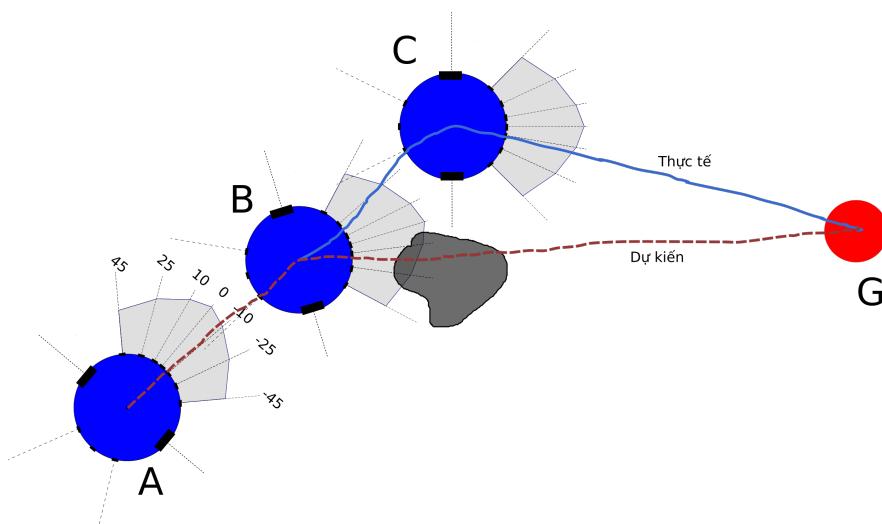
3.5 Phối hợp điều khiển robot

3.5.1 Phân quyền điều khiển

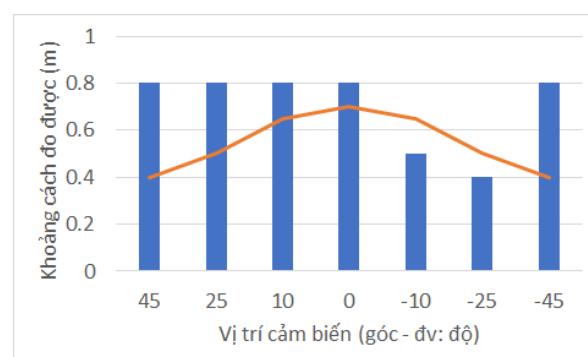
Trong một vài trường hợp, có thể có nhiều chương trình, nhiều thuật toán được sử dụng để thực hiện cùng một tác vụ nào đó. Trong robot tự hành Dashgo D1, có nhiều chương trình khác nhau có thể tác động đến việc di chuyển của nó.



(a)



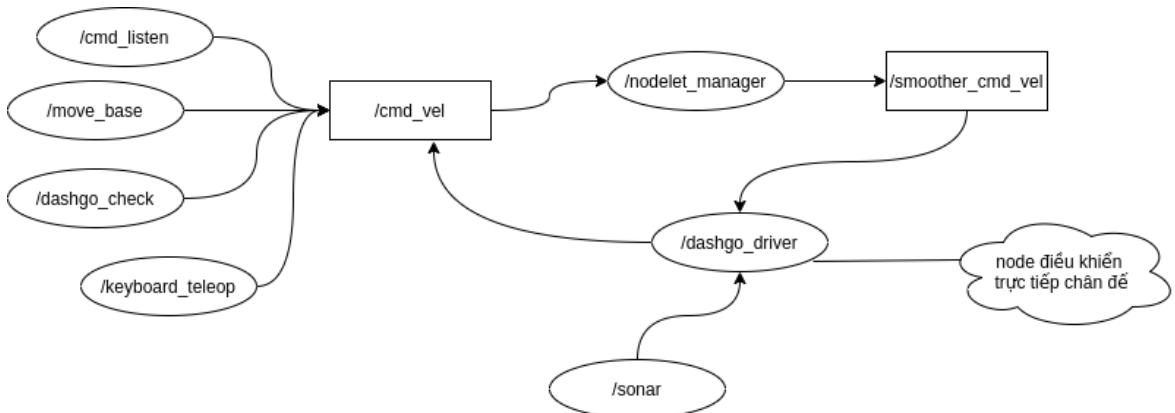
(b)



(c)

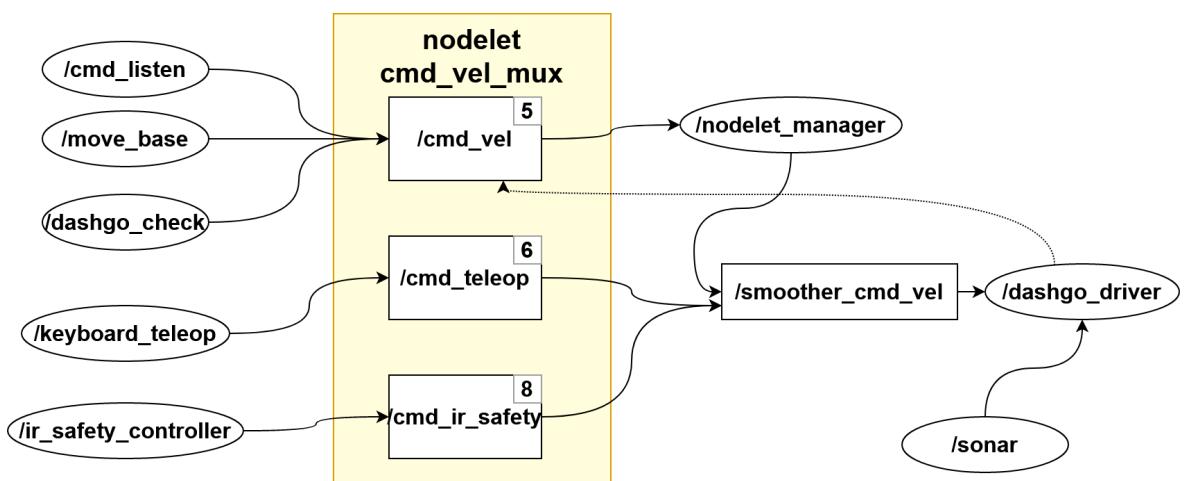
Hình 3.13: Giải thuật tránh vật cản bằng bóng phản ứng

Ví dụ trong phần lớn thời gian robot di chuyển dưới sự điều khiển của chương trình `slam_navigation`, khi có tín hiệu điều khiển bằng tay từ bàn phím, robot lại chạy dưới sự điều khiển của chương trình `teleop`, khi gặp vật cản được phát hiện bởi cảm biến sonar, robot phản ứng dừng lại hoặc quay trái/phải để tránh vật cản. Như trường hợp đơn giản vừa rồi có tới ba tiến trình cùng đồng thời điều khiển robot.



Hình 3.14: Sơ đồ điều khiển chân để robot

Hình 3.14 thể hiện các node và topic điều khiển robot Dashgo D1. Trong đó, topic `/cmd_vel` nhận thông tin điều khiển di chuyển chân để từ nhiều topic khác nhau. Sau đó thông qua trình quản lý `nodelet_manager` để chạy chương trình làm mịn tốc độ, chống giật cho robot. `/smoother_cmd_vel` được topic `/dashgo_driver` nhận và thực hiện các tính toán điều khiển tối vòng quay của động cơ để di chuyển. Ta thấy có `/sonar` được liên kết trực tiếp với `/dashgo_driver`, ở robot này, dữ liệu từ các cảm biến siêu âm được driver điều khiển chân để đọc trực tiếp, sau đó xử lý các tình huống và tính toán số vòng quay của động cơ để thực hiện điều khiển chân để trong trường hợp khẩn cấp.

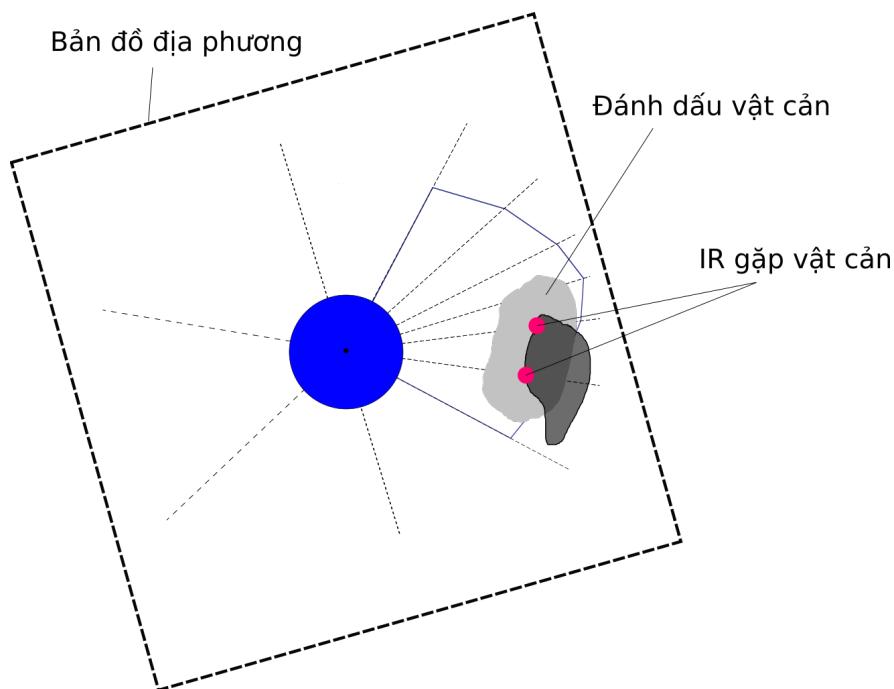


Hình 3.15: Thiết kế phân quyền điều khiển

Có một vài phương pháp để phối hợp phân quyền điều khiển cho robot. Khi chúng ta có nhiều thuật toán, nhiều chương trình cùng điều khiển tới một hoạt động nào đó. Trong luận văn này, tác giả sử dụng `cmd_vel_mux` của `nodelet` để thực hiện phân quyền điều khiển cho robot để phối hợp điều khiển từ hệ thống cảm biến an toàn IR vào hệ thống điều khiển robot. (Hình 3.15)

3.5.2 Tích hợp vào bản đồ địa phương

Hệ thống điều khiển di chuyển cho robot bao gồm hai gói chương trình chính là `dashgo_driver` chứa các chương trình điều khiển chân để di chuyển và `dashgo_nav` chứa các chương trình tạo bản đồ, tính toán quỹ đạo di chuyển... Chi tiết về điều khiển di chuyển robot được trình bày trong mục 3.2.3. Trong phần này, tác giả đã tích hợp điều khiển tránh vật cản bằng cảm biến hồng ngoại phối hợp với hai tầng cảm biến có trên robot là Lidar và cảm biến siêu âm. Hệ thống sau khi tích hợp hồng ngoại hoạt động như sau: Có hai trường hợp có thể điều khiển robot tránh vật cản.



Hình 3.16: Phối hợp điều khiển

Trường hợp thứ nhất, các dữ liệu từ cảm biến hồng ngoại khi phát hiện vật sẽ được đánh dấu vào trong bản đồ giá trị địa phương. Bản đồ giá trị địa phương là một vùng bản đồ ô lưới hình vuông quanh robot, cập nhật giá trị của vật cản trong vùng này. Quỹ đạo địa phương sẽ liên tục được cập nhật theo bản đồ địa phương và điều khiển robot tránh vật cản. Tuy nhiên, việc cập nhật dữ liệu này thường tốn chi phí tính toán cao do đó nó phản ứng chậm. Vì vậy cần tới trường hợp thứ hai sau đây.

Trường hợp thứ hai, khi vật cản nằm trong vùng bong bóng phản ứng B hoặc vùng khẩn cấp U, chương trình điều khiển sẽ điều khiển theo thuật toán được trình bày trong 3.4.3. Tín hiệu điều khiển từ thuật toán này có mức độ ưu tiên cao hơn ở trường hợp thứ nhất và cũng phản ứng nhanh hơn. Vì vậy, khi một trong hai vùng này có xuất hiện vật cản, robot ngay lập tức phản ứng. Vòng lặp phản ứng được duy trì cho đến khi không còn vật cản xuất hiện trong một trong hai vùng này nữa.

Khi vật cản không còn xuất hiện trong vùng bong bóng phản ứng B và vùng khẩn cấp U, chương trình sẽ trả quyền điều khiển lại cho trình điều khiển robot amcl. Tuy vậy, trên bản đồ đã cập nhật vị trí của vật cản nên chương trình tạo quỹ đạo mới sẽ đưa robot tránh khỏi vật cản được phát hiện bởi hệ thống cảm biến hồng ngoại và tiếp tục di chuyển tới đích.

Hình 3.16 thể hiện trường hợp xuất hiện vật cản trong vùng bong bóng phản ứng và robot đánh dấu vật cản vào bản đồ giá trị địa phương. Bản đồ giá trị địa phương có hình vuông, thường có kích thước 2x2m. Khi robot di chuyển gặp vật cản, nếu tốc độ di chuyển chậm, trường hợp thứ nhất nếu trên sẽ đánh dấu vật cản và thay đổi quỹ đạo để tránh vật cản ngay. Tuy nhiên, nếu vận tốc tương đối giữa robot và vật cản lớn, trường hợp thứ nhất nếu trên không phản ứng kịp, khi đó sẽ dẫn tới trường hợp thứ hai. Do hạn chế về thời gian và điều kiện thí nghiệm, trong khuôn khổ của luận văn này tác giả chưa có đánh giá về giới hạn vận tốc này.

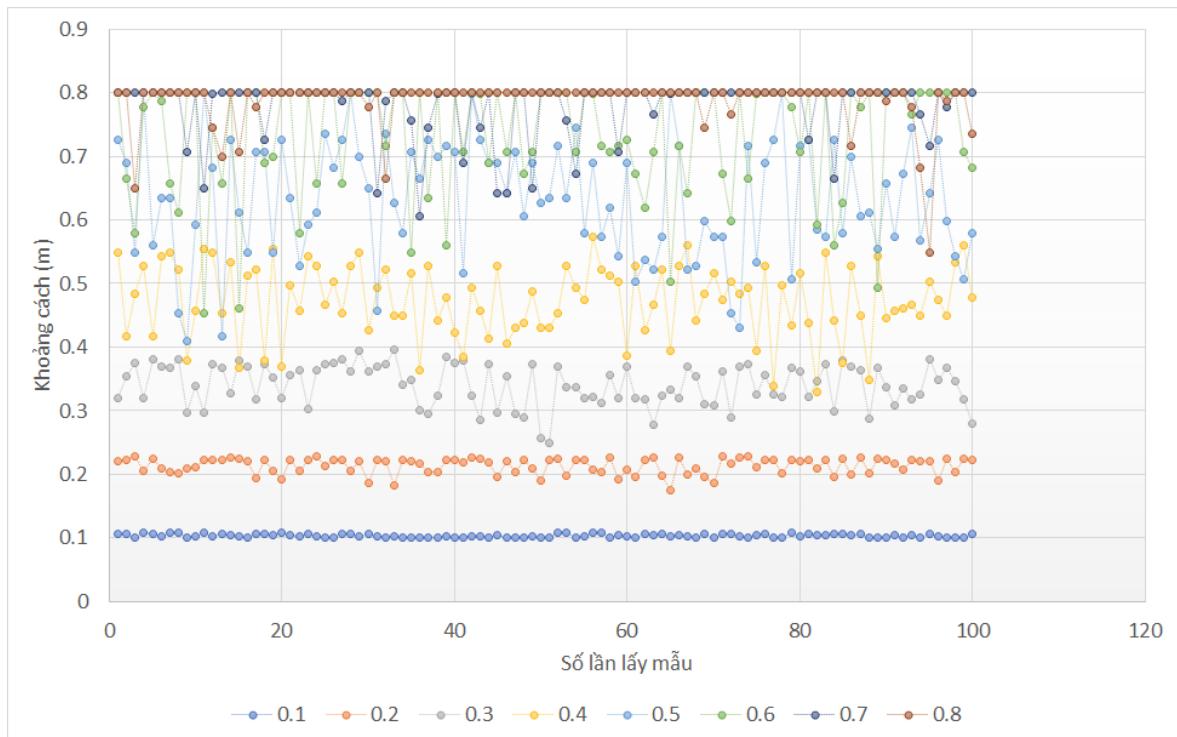
3.6 Kết quả và đánh giá

3.6.1 Đánh giá độ chính xác cảm biến khoảng cách hồng ngoại

Thực hiện đánh giá độ chính xác của cảm biến khoảng cách hồng ngoại IR Sharp GP2Y0A21YK0F. Tác giả bố trí thí nghiệm đo trên từng cảm biến riêng lẻ. Kết quả đo tại 8 vị trí khoảng cách 0.1m, 0.2m, 0.3m, 0.4m, 0.5m, 0.6m, 0.7m, 0.8m với 100 lần lấy mẫu, tần số lấy mẫu là 20Hz được kết quả đo như biểu đồ Hình 3.17.

Giá trị trung bình của 100 lần đo và sai số được thể hiện trong Bảng 3.1. Từ đây ta thấy với trung bình của 100 lần đo thì sai số nằm trong giới hạn sai số cho phép 5% với phép đo trong khoảng 0.1-0.7m.

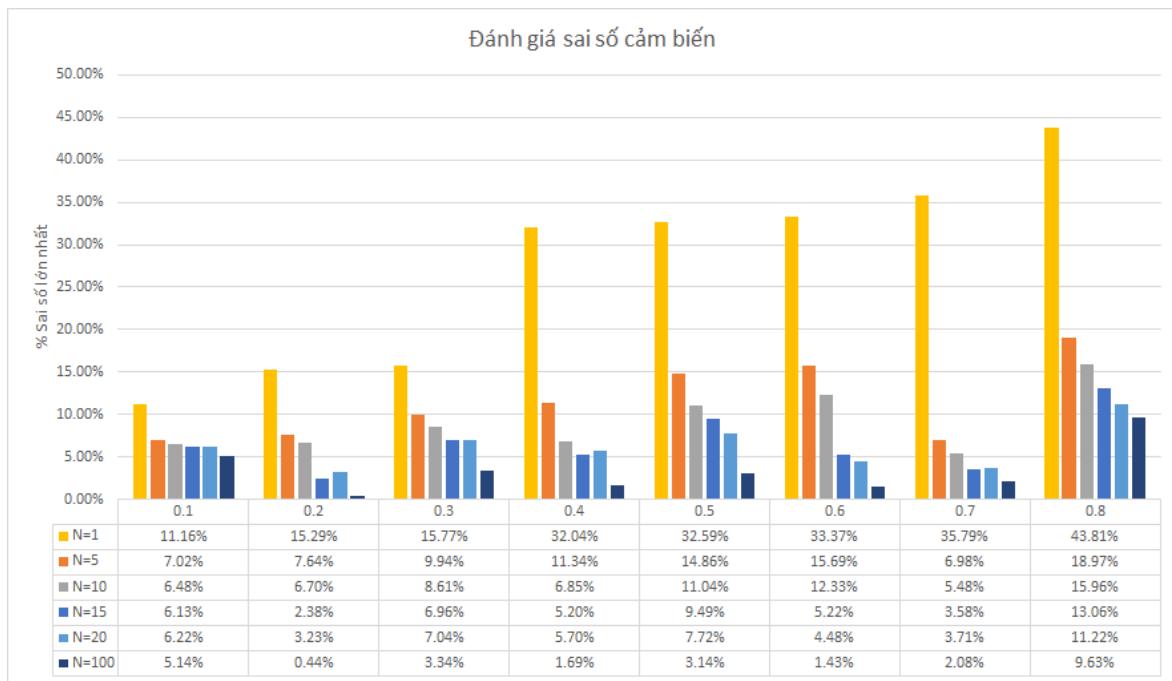
Tác giả áp dụng bộ lọc trung bình cộng (công thức 3.3) để giảm nhiễu và sai số trong kết quả đo. Tuy nhiên, trong thực tế, robot di chuyển theo thời gian thực, do đó số lần lấy mẫu cho một lần đo N bị giới hạn. Biểu đồ Hình 3.18 đánh giá sai số lớn nhất với các giá trị N khác nhau. Hình 3.19 thể hiện mức độ



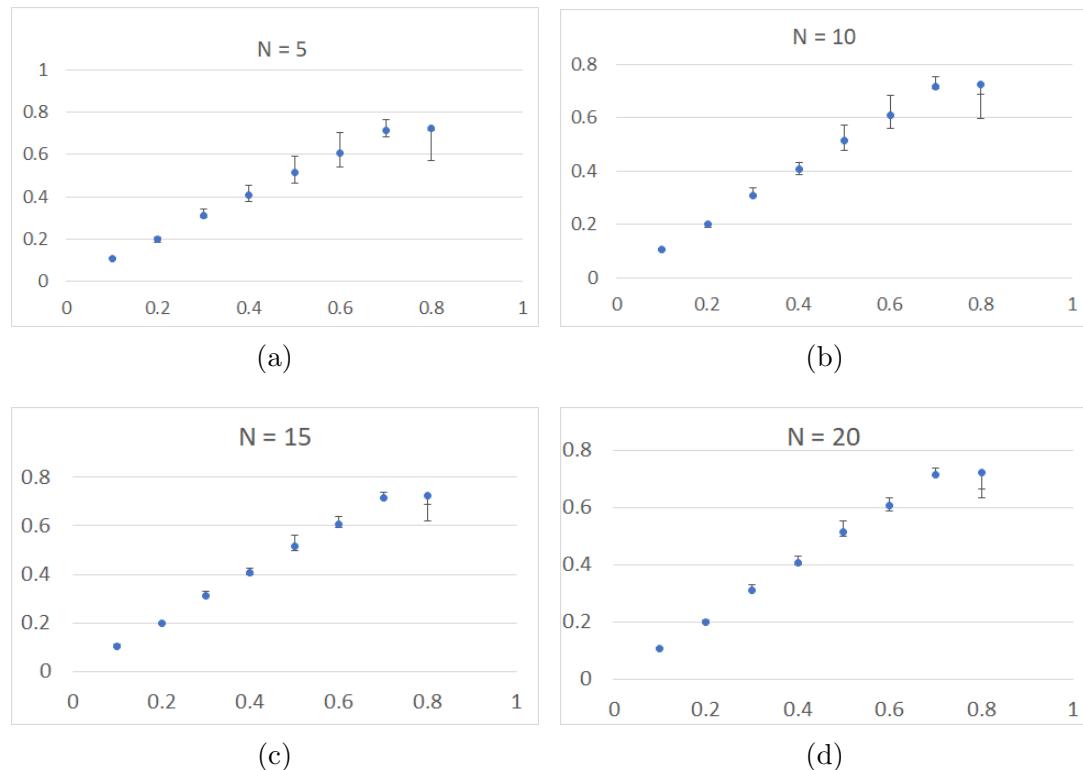
Hình 3.17: Kết quả đo cảm biến

Cần đo	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
Trung bình	0.1051	0.2009	0.3100	0.4068	0.5157	0.6086	0.7146	0.7229
Sai số tb	0.0051	0.0009	0.0100	0.0068	0.0157	0.0086	0.0146	-0.0771
% sai số	5.14%	0.44%	3.34%	1.69%	3.14%	1.43%	2.08%	9.63%

Bảng 3.1: Giá trị đo trung bình 100 mẫu



Hình 3.18: Đánh giá sai số lớn nhất tương ứng với số lần lấy mẫu trên một lần đo $N = 1, 5, 10, 15, 20$ và 100

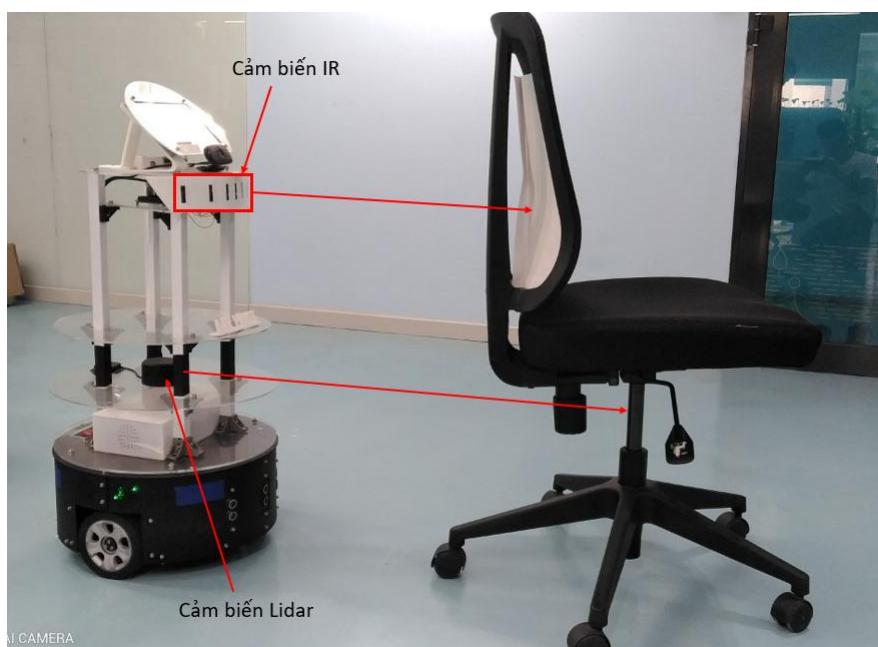


Hình 3.19: Sai số tương ứng với N lần lấy mẫu. Trục hoành thể hiện giá trị thực tế cần đo, trục tung thể hiện giá trị đo được trung bình (đơn vị: mét)

hội tụ của kết quả đo tương ứng với các giá trị N khác nhau. Qua đây chúng ta có thể thấy khi tăng N thì sai số trong phép đo càng giảm và giá trị đo càng hội tụ. Tuy nhiên, để đảm bảo robot cập nhật kết quả đo theo thời gian thực, tác giả chọn $N = 10$ tương ứng với tần số cập nhật kết quả đo là 2 lần/giây.

3.6.2 Đánh giá giải thuật điều khiển tích hợp cảm biến

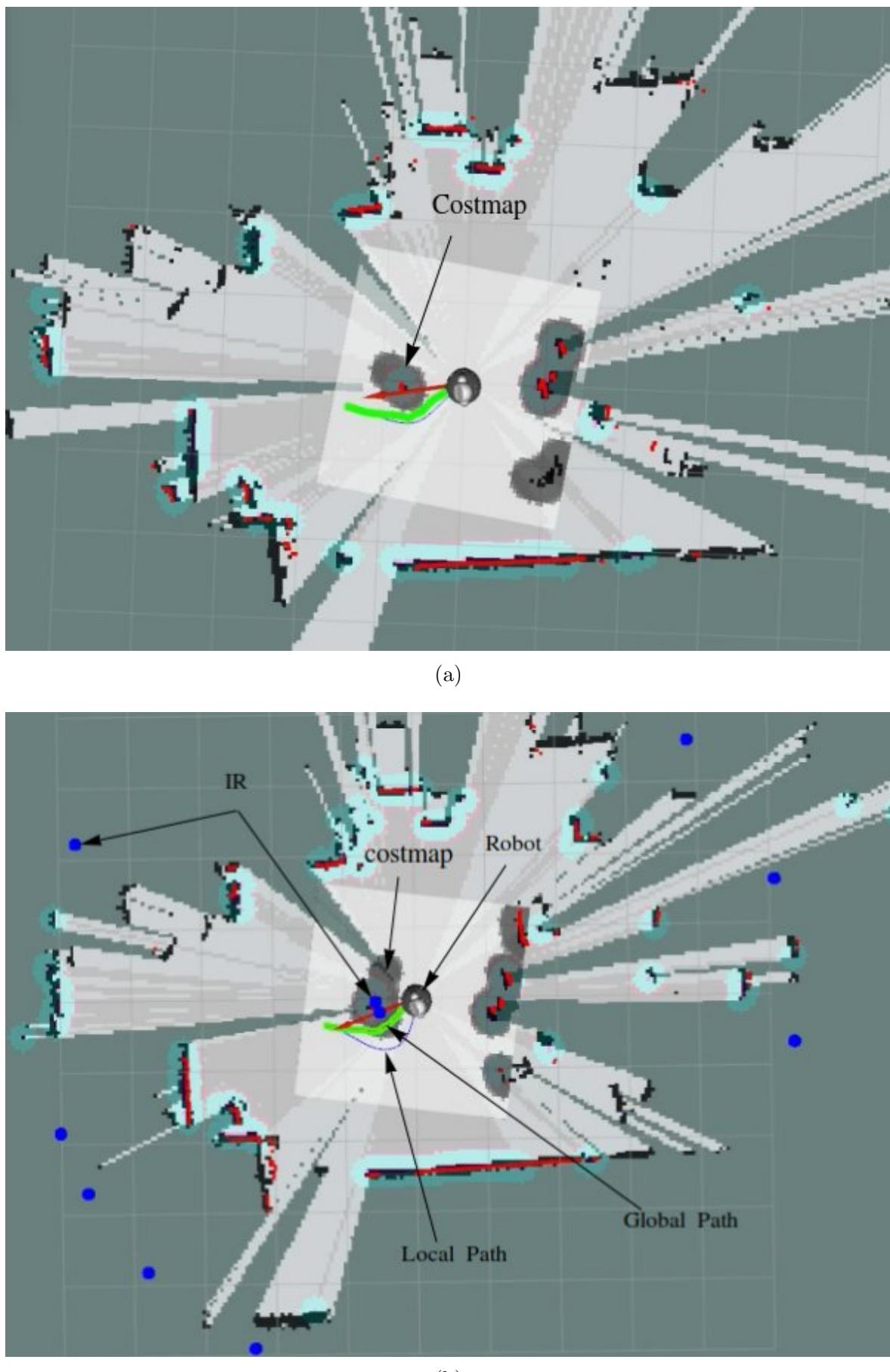
Ưu điểm của hệ thống tránh vật cản bằng phối hợp nhiều tầng cảm biến là robot có thể di chuyển an toàn được trong các môi trường với đa dạng đối tượng hơn như bàn, ghế, các đối tượng mà bài toán định vị dẫn đường 2D chỉ với một tầng cảm biến có thể không đáp ứng được khi vật cản không nằm trong mặt phẳng quét của LIDAR.



Hình 3.20: Robot với vật cản có biên dạng biến đổi theo chiều cao

Hệ thống phát hiện và tránh được vật cản, đồng thời phối hợp với hai tầng cảm biến sẵn có trên robot là cảm biến LIDAR và cảm biến tránh vật cản bằng siêu âm. Khi xuất hiện vật cản, robot sẽ tránh theo giải thuật được mô tả tại mục 3.4 và đồng thời đánh dấu vật cản vào bản đồ cục bộ để giúp robot tạo đường đi mới mà không lặp lại đường cũ.

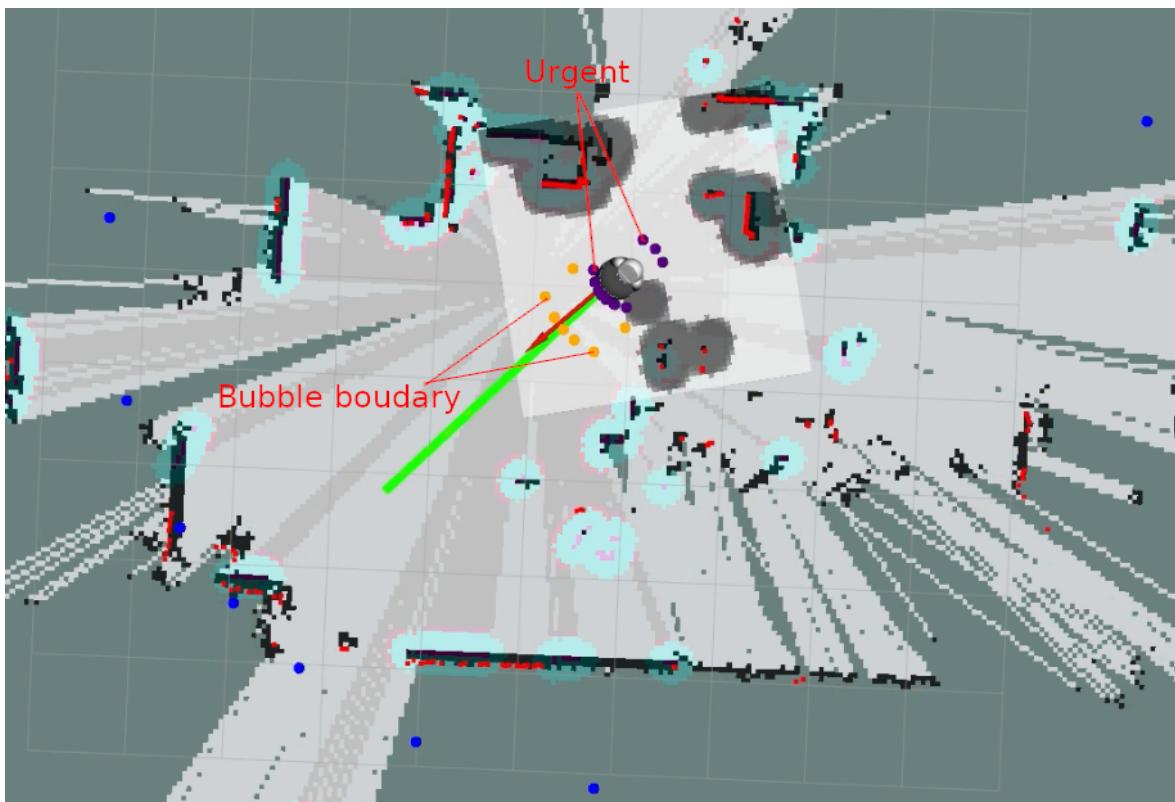
Hình 3.20 thể hiện một trường hợp robot đối diện với vật cản có hình dạng biến đổi theo chiều cao, là ghế xoay. Đối với ghế xoay, tầng cảm biến Lidar của robot quét được vùng chỉ có trụ chống của ghế. Vì vậy với cảm biến Lidar, robot thấy ghế xoay chỉ là một vật thể rất nhỏ. Hình 3.21a thể hiện trên bản đồ khi chỉ có tầng Lidar, ghế xoay được đánh dấu bằng một chấm nhỏ và khi di chuyển tới điểm đích phía trước thì robot sẽ va chạm với ghế. Khi có hệ thống cảm biến hồng ngoại tránh vật cản ở tầng cao của robot, robot sẽ phát hiện ra phía tựa



Hình 3.21: So sánh bản đồ giữa hai trường hợp: a) không có hệ thống IR; b) có hệ thống IR

lưng của ghế và đánh dấu vào bản đồ một diện tích chiếm dụng nhiều hơn (Hình 3.21b). Do đó, khi cho di chuyển tới một điểm đích phía trước ghế, robot sẽ tạo đường đi tránh ra khỏi vùng được đánh dấu và không bị va chạm với ghế.

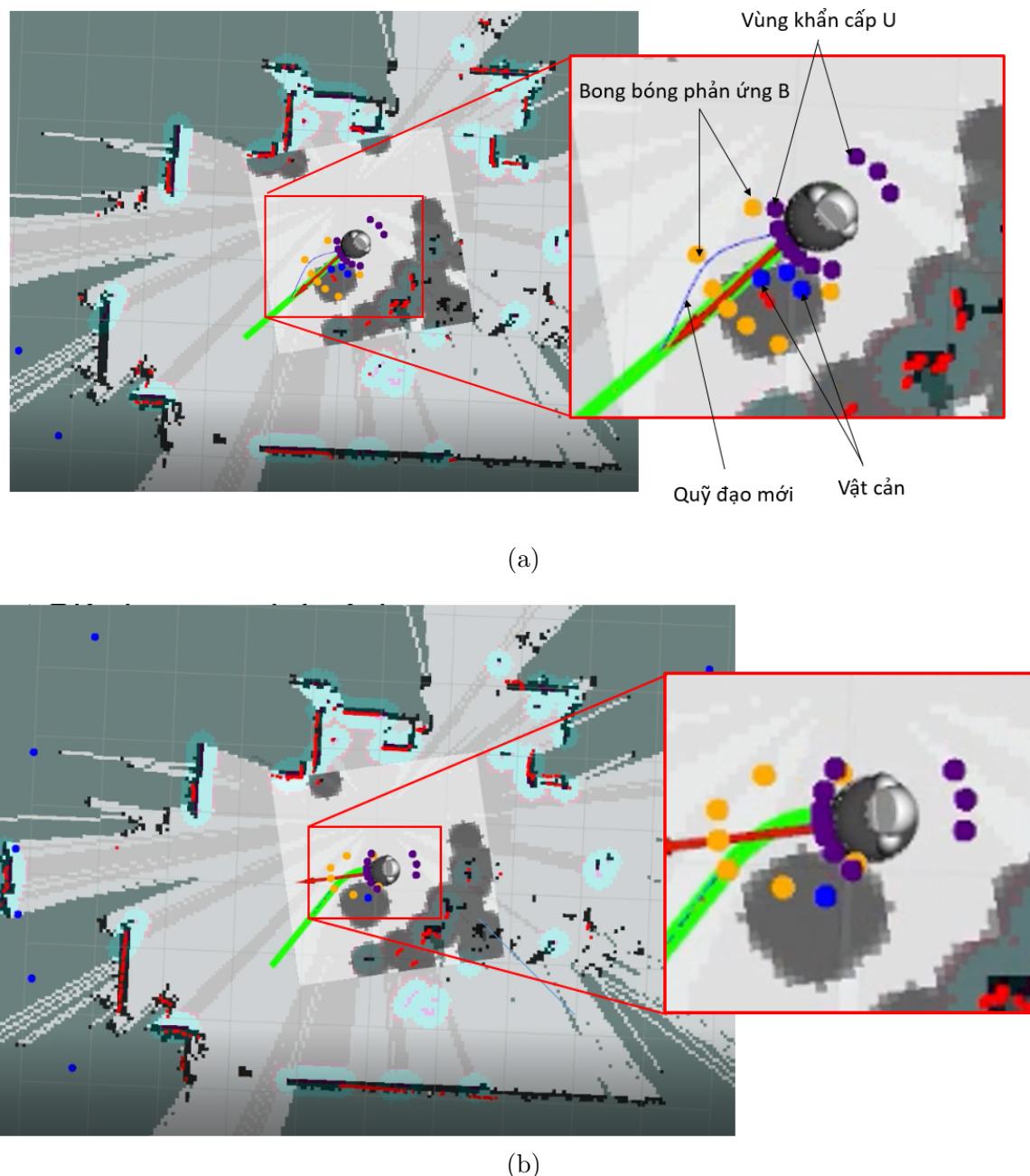
Phần vật cản được đánh dấu vào bản đồ bởi cảm biến hồng ngoại không được ghi nhận vào bản đồ như một vật cố định mà được coi là một vật cản mới xuất hiện trong bản đồ. Trong Hình 3.21b, chúng ta thấy đường đi toàn cục (*Global Path*) đi qua phần bị đánh dấu màu xám, đây là đường đi được tính trên toàn cục dựa trên bản đồ. Tuy nhiên, đường đi thực tế của robot là theo đường đi cục bộ (*Local Path*) được xác định dựa trên bản đồ giá trị cục bộ (*Local costmap*)



Hình 3.22: Vùng khẩn cấp U và bong bóng phản ứng B trong quá trình di chuyển của robot

Hình 3.22 thể hiện giới hạn vùng khẩn cấp U và bong bóng phản ứng B trong quá trình di chuyển của robot. Trường hợp vật cản xuất hiện với tốc độ nhanh³. Trong Hình 3.23a, vật cản xuất hiện và hệ thống cảm biến hồng ngoại phát hiện có vật cản trong vùng bong bóng phản ứng ở phía trước, bên trái robot. Lúc này, chương trình điều khiển tránh vật cản bằng hệ cảm biến hồng ngoại giành lấy quyền điều khiển, thực hiện điều khiển robot giảm tốc độ, quay sang phải, đồng thời đánh dấu vật cản vào bản đồ giá trị địa phương cũng như tính toán quỹ đạo di chuyển mới cho robot. Hình 3.23b thể hiện sau khi robot phản ứng

³Chưa có đánh giá định lượng



Hình 3.23: Robot phản ứng với vật cản động

tránh vật cản và bắt đầu di chuyển theo quỹ đạo mới tránh vật cản. So sánh hai hình trên ta cũng thấy biên dạng vùng bong bóng phản ứng khác nhau, thể hiện sự thay đổi theo vật tốc của bong bóng phản ứng.

Tóm lại, trong phần này, tác giả mới đánh giá được định tính về việc phát hiện và phản ứng tránh vật cản bằng cách phối hợp thêm một tầng cảm biến hồng ngoại với một số kết quả đạt được như sau: Robot phát hiện được vật cản có hình dạng thay đổi theo chiều cao, vật cản ở tầng cao với chiều cao robot, đánh dấu vật cản vào bản đồ giá trị địa phương và phản ứng tránh vật cản từ vật cản tĩnh tới vật cản chuyển động vừa phải.

Tuy nhiên, hệ thống còn có một số điểm hạn chế như:

- Hệ thống cảm biến đo chưa thực sự chính xác và ổn định, gây ra khó khăn trong quá trình áp dụng thuật toán
- Cảm biến hồng ngoại IR Sharp GP2Y0A21YK0F có tần số lấy mẫu tương đối thấp (tối đa 26Hz), do đó không thể tăng số lần lấy mẫu trong một lần đo, gây ảnh hưởng tới độ chính xác của kết quả đo. Bên cạnh đó, cảm biến này có khoảng đo từ 0.1-0.8m do vậy robot chỉ có thể phát hiện được vật cản trong khoảng này, điều này làm hạn chế tốc độ di chuyển có thể tránh được vật cản của robot.

Chương 4

Kết luận và tầm nhìn

4.1 Kết luận

Như vậy, sau luận văn này tác giả đã đạt được một số kết quả như sau:

- Làm chủ được hệ thống điều khiển robot tự hành thông minh bằng SLAM và ứng dụng hệ điều hành robot (ROS)
- Phát triển và ứng dụng thành công giải thuật tránh vật cản bằng hệ thống cảm biến hồng ngoại, phối hợp được với hệ thống điều khiển robot và hai hệ cảm biến có sẵn trên robot.
- Đánh giá độ chính xác của cảm biến hồng ngoại, thấy rằng cảm biến hồng ngoại IR Sharp GP2Y0A21YK0F có tần số thấp, độ chính xác trong khoảng 5% ở khoảng cách 0.1-0.8m, làm hạn chế tốc độ di chuyển có thể tránh được vật cản của robot.
- Đánh giá định tính hiệu quả tránh vật cản của robot sau khi có hệ thống tránh vật cản mới bằng các thí nghiệm thực tế. Robot phản ứng tránh được vật cản tĩnh, vật cản động ở tầng cảm biến mới thêm vào. Tuy nhiên vẫn còn một số điểm hạn chế chưa làm được như: hệ thống ước lượng biên dạng vật cản chưa tốt dẫn đến một số trường hợp vẫn có khả năng va chạm, chưa có đánh giá định lượng về hiệu quả tránh vật cản của robot.

4.2 Tầm nhìn

Trên Thế giới, robot tự hành thông minh đã được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau như đã đề cập ở 1.3. Tuy nhiên, ở Việt Nam chúng ta ứng dụng của robot tự hành thông minh rất ít, chủ yếu trong công nghiệp, hỗ trợ vận chuyển trong các nhà máy, kho hàng. Với các yêu cầu khắt khe khi đi vào thực

tế. Trong thời gian tới, có một số hướng để phát triển robot tự hành thông minh như sau:

- Tối ưu và tăng tính ổn định, tin cậy cho giải thuật tránh vật cản.
- Xây dựng chương trình để vận hành robot một cách đơn giản, hiệu quả và ổn định.
- Nghiên cứu và ứng dụng một số kết quả mới trong bài toán định vị và dẫn đường trong robot.
- Ứng dụng một số bài toán mới như xử lý ảnh ứng dụng học sâu, xử lý tiếng nói, chatbot... vào điều khiển robot.

Tài liệu tham khảo

- [1] S. Thrun, W. Burgard, D. Fox, *et al.*, *Probabilistic robotics, vol. 1.* MIT press Cambridge, 2005.
- [2] B. S. Wolfram Burgard, Michael Ruhnke, *Introduction to Mobile Robotics.* Freiburg University, 2018.
- [3] Y. Koren, J. Borenstein, *et al.*, “Potential field methods and their inherent limitations for mobile robot navigation.” in *ICRA*, vol. 2, pp. 1398–1404, 1991.
- [4] I. Susnea, V. Mînză, and G. Vasiliu, “Simple, real-time obstacle avoidance algorithm for mobile robots,” in *CI 2009*, 2009.
- [5] ‘Ros wiki.’ <http://wiki.ros.org/>.
- [6] Y. Pyo, H. Cho, R. Jung, and T. Lim, *ROS Robot Programming*. 2017.
- [7] http://home.roboticlab.eu/en/examples/sensor/ir_distance, 2015.
- [8] www.sparkfun.com/datasheets/Components/GP2Y0A21YK.pdf.
- [9] N. X. Hà, N. V. Huy, and N. C. Hùng, “Kỹ thuật robot trong cách mạng công nghiệp lần thứ tư,” *Hội thảo khoa học: “Cơ học trong cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ tư”*, pp. 88 – 101, 2018.
- [10] M. Wise and F. Robotics, “Understanding the Basics of AMR Technology: What You Need to Know,” *autonomous Mobile Robot Conference*.
- [11] Q. Dongyue, H. Yuanhang, and Z. Yuting, “The investigation of the obstacle avoidance for mobile robot based on the multi sensor information fusion technology,” *Int. J. Mat. Mech. Manuf*, vol. 1, pp. 366–370, 2013.
- [12] M. Gao, J. Tang, Y. Yang, Z. He, and Y. Zeng, “An obstacle detection and avoidance system for mobile robot with a laser radar,” in *2019 IEEE 16th International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC)*, pp. 63–68, 2019.

-
- [13] P. Wu, S. Xie, H. Liu, J. Luo, and Q. Li, "A novel algorithm of autonomous obstacle-avoidance for mobile robot based on LIDAR data," in *2015 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, IEEE, dec 2015.
 - [14] Y. Peng, D. Qu, Y. Zhong, S. Xie, J. Luo, and J. Gu, "The obstacle detection and obstacle avoidance algorithm based on 2-D lidar," in *2015 IEEE International Conference on Information and Automation, ICIA 2015 - In conjunction with 2015 IEEE International Conference on Automation and Logistics*, no. August, pp. 1648–1653, 2015.
 - [15] N. Baras, G. Nantzios, D. Ziouzios, and M. Dasygenis, "Autonomous obstacle avoidance vehicle using lidar and an embedded system," in *2019 8th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCAST)*, pp. 1–4, 2019.
 - [16] J. Borenstein and Y. Koren, "Real-time obstacle avoidance for fast mobile robots," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 19, pp. 1179–1187, sep 1989.
 - [17] J. Borenstein, Y. Koren, *et al.*, "The vector field histogram - fast obstacle avoidance for mobile robots," vol. 7, no. 3, pp. 278–288, 1991.
 - [18] D. Fox, W. Burgard, and S. Thrun, "The dynamic window approach to collision avoidance," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 4, pp. 23–33, mar 1997.
 - [19] J. Borenstein and Y. Koren, "High-speed obstacle avoidance for mobile robots," pp. 382 – 384, 09 1988.
 - [20] I. Ulrich and J. Borenstein, "Vfh+: reliable obstacle avoidance for fast mobile robots," in *Proceedings. 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No.98CH36146)*, vol. 2, pp. 1572–1577 vol.2, 1998.
 - [21] S. Quinlan and O. Khatib, "Elastic bands: connecting path planning and control," in *[1993] Proceedings IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 802–807 vol.2, 1993.
 - [22] I. Susnea, A. Filipescu, G. Vasiliu, G. Coman, and A. Radaschin, "The bubble rebound obstacle avoidance algorithm for mobile robots," in *IEEE ICRA 2010*, pp. 540–545, 2010.
 - [23] J. Buhmann, W. Burgard, A. B. Cremers, D. Fox, T. Hofmann, F. E. Schneider, J. Strikos, and S. Thrun, "The mobile robot rhino," *AI Magazine*, vol. 16, p. 31, Jun. 1995.
-

- [24] M. Pierzchała, P. Giguère, and R. Astrup, “Mapping forests using an unmanned ground vehicle with 3d LiDAR and graph-SLAM,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 145, pp. 217–225, feb 2018.
- [25] K. hsiung Chen and W. hsiang Tsai, “Vision-based obstacle detection and avoidance for autonomous land vehicle navigation,” in *in outdoor roads*,” *Automation in Construction*, pp. 1–25, 2000.
- [26] M. Mittal, R. Mohan, W. Burgard, and A. Valada, “Vision-based autonomous uav navigation and landing for urban search and rescue,” in *Proc. of the International Symposium on Robotics Research (ISRR)*, (Hanoi, Vietnam), Oct. 2019.
- [27] <https://github.com/guillaume-rico/SharpIR>.