

ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI

TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ

Trần Thuận Hoàng

**NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP
TỔNG HỢP CẢM BIẾN
DÙNG CHO KỸ THUẬT DẪN ĐƯỜNG
CÁC ROBOT DI ĐỘNG**

Chuyên ngành: Kỹ thuật Điện tử

Mã số: 62 52 70 01

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ
CÔNG NGHỆ ĐIỆN TỬ VIỄN THÔNG**

Hà Nội - 2015

Công trình được hoàn thành tại:

Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội

Người hướng dẫn khoa học: PGS.TS Trần Quang Vinh

PGS.TS Bạch Gia Dương

Phản biện 1: PGS.TS. Nguyễn Văn Chúc, Viện Tên lửa, Viện KH&CN Quân sự.

Phản biện 2: TS. Hoàng Quang Chính, Học viện Kỹ thuật Quân sự.

Phản biện 3: TSKH. Đào Chí Thành, Viện Cơ học, Viện Hàn lâm KH&CN VN.

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng cấp Đại học Quốc gia chấm luận án tiến sĩ học tại Trường Đại học Công nghệ, ĐHQGHN vào hồi 14 giờ 00 ngày 01 tháng 7 năm 2016

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Quốc gia Việt Nam
- Trung tâm Thông tin - Thư viện, Đại học Quốc gia Hà Nội

DANH MỤC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA TÁC GIẢ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN

1. T. T. Hoang, D. A. Viet, T. Q. Vinh (2011), “A 3D image capture system using a laser range finder”, *IEICE Proceeding of the 2th international conference on Integrated Circuit Design*, pp.76-81.
2. Trần Thuận Hoàng, Đặng Anh Việt và Trần Quang Vinh (2011), “Xây dựng hệ đo xa 3D sử dụng cảm biến laser dùng cho robot di động tự trị”, *Hội nghị toàn quốc về Điều khiển và Tự động hoá lần 1*, tr.257-262.
3. Hoang T. T., Duong P. M., Van N. T. T., Viet D. A. and Vinh T. Q. (2012), “Development of a Multi-Sensor Perceptual System for Mobile Robot and EKF-based Localization”, *IEEE Proc. Conf. on Systems and Informatics*, pp.519-523.
4. Hoang T. T., Viet D. A., Van N. T. T., Tuan P. D. and Vinh T. Q. (2012), “Extended Kalman Filter in Mobile Robot and FPGA-based Implementation”, *IEICE Proc. of the 3th Int. Conf. on Integrated Circuit Design*, pp. 167-172.
5. Trần Thuận Hoàng, Phùng Mạnh Dương, Đặng Anh Việt và Trần Quang Vinh (2012), “Robot di động đa cảm biến và định vị robot bằng phương pháp tổng hợp cảm biến với bộ lọc Kalman mở rộng”, *Hội thảo toàn quốc về Điện tử - Truyền thông – An toàn thông tin*, tr 130-135.
6. Tran Hiep Dinh, Manh Duong Phung, Thuan Hoang Tran, Quang Vinh Tran (2012), “Localization of a Unicycle-like Mobile Robot Using LRF and Omni-directional Camera”, *Proceedings 2012 IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering*, pp. 487-492.
7. T. T. Hoang, P. M. Duong, N. T. T. Van, D. A. Viet and T. Q. Vinh (2012), “Multi-Sensor Perceptual System for Mobile Robot and Sensor Fusion-based Localization”, *IEEE International Conference on Control, Automation and Informatics Sciences*, pp. 259-264.
8. T. T. Hoang, P.M Duong, N.T.T.Van, D.A.Viet and T.Q. Vinh (2012), “Development of an EKF-based Localization Algorithm Using Compass Sensor and LRF”, *The 12th International Conference on Control, Automation, Robotics & Vision*, pp. 341-346.
9. Trần Thuận Hoàng, Phùng Mạnh Dương, Đặng Anh Việt và Trần Quang Vinh (2012), “Dẫn đường và tránh vật cản cho robot di động dựa trên ảnh laser 3D và siêu âm”, *Tuyển tập công trình Hội nghị Cơ điện tử toàn quốc lần thứ 6*, tr. 451-458.
10. Thuan Hoang Tran, Manh Duong Phung, Thi Thanh Van Nguyen, Quang Vinh Tran (2012), “Stabilization Control of the Differential Mobile Robot Using Lyapunov Function And Extended Kalaman Filter”, *Vietnam Journal of Sciences and Technology* Vol. 50(4), pp. 441-452.

MỞ ĐẦU

1. Đặt vấn đề.

Robot là một hệ thống cơ điện tử, bao gồm 3 bộ phận cơ bản: *bộ cảm nhận, bộ điều khiển và bộ chấp hành*.

Những năm gần đây, nhu cầu phát triển các robot di động cùng với việc thông minh hóa robot đã dẫn đến sự bùng nổ trong nghiên cứu phát triển các hệ thống *robot di động tự trị* (autonomous mobile robot) trên thế giới. Robot tự trị có chương trình điều khiển được nạp sẵn trong bộ nhớ của nó, được lưu trữ theo kiểu không bay hơi (non-volatile) để cho phép một khi được khởi động robot có thể hoạt động độc lập mà không cần các tác nhân điều khiển nào khác. Có nghĩa là robot có thể tự thích nghi với sự thay đổi của môi trường để tiếp tục đạt tới một mục đích nào đó. Điều này khác hẳn với các robot công nghiệp thông thường thực ra chỉ là những máy tự động được lập trình lặp đi lặp lại.

Vấn đề chính yếu trong các nghiên cứu về robot di động hiện nay là bài toán dẫn đường cho robot. Leonard và Durant-Whyte (1991) đã tóm tắt bài toán chung của dẫn đường robot di động là việc trả lời 3 câu hỏi: “*robot đang ở đâu ?*”, “*robot sẽ đi tới đâu ?*”, và “*robot sẽ đi tới đó như thế nào ?*” Để trả lời cho 3 câu hỏi này robot phải có sẵn hoặc tự xây dựng trong bộ nhớ của nó một mô hình môi trường, phải nhận biết và phân tích môi trường, tự xác định vị trí của nó trong môi trường để sau cùng là lập kế hoạch và điều khiển chuyển động đến đích. Việc nghiên cứu sử dụng các cảm biến và hệ thống phân cứng hiện đại cũng như phát triển các giải thuật phần mềm nhằm tăng độ tin cậy của ước lượng vị trí robot là để giải quyết câu hỏi thứ nhất: *định vị robot trong môi trường của nó*. Vị trí của robot được tính từ những số đo của các cảm biến đặt trên nó. Tuy nhiên, các cảm biến này dù hoàn hảo đến đâu cũng còn những nhược điểm so với loại khác và độ chính xác bị hạn chế vì ảnh hưởng của can nhiễu. Do vậy, kết quả định vị nhận được từ số đo của từng cảm biến riêng rẽ thường bị giới hạn về độ chính xác và tin cậy. Để giải quyết bài toán này, trong những thập niên gần đây phương pháp *tổng hợp cảm biến* (sensor fusion) đã được áp dụng nhằm nâng cao độ chính

xác và tin cậy của các ước lượng trạng thái robot. Nói một cách hình ảnh, *tổng hợp cảm biến chính là việc kết hợp số liệu ra từ nhiều nguồn dữ liệu khác nhau theo một cách nào đó để tạo nên được một bức tranh về thế giới quanh robot được trung thực và mạch lạc hơn.*

2. Sự phát triển các phương pháp tổng hợp cảm biến cho bài toán dẫn đường robot di động trên thế giới và ở Việt Nam.

Phương pháp tổng hợp cảm biến dùng cho kỹ thuật dẫn đường robot di động đã được nghiên cứu từ những năm đầu của thập niên 90 thế kỷ trước. Tuy nhiên hầu hết các công trình này chỉ mới dừng lại tổng hợp từ một đến 2 cảm biến mà chưa tổng hợp một lúc nhiều cảm biến. Ở Việt Nam, các tác giả cũng mới chỉ dừng lại nghiên cứu tổng hợp với một vài loại cảm biến như INS, GPS, MEMS dùng cho dẫn đường ngoài trời với sai số lớn. Cũng có một nhóm tác giả đã sử dụng nhiều cảm biến để nhận dạng xe điện cho người tàn tật nhưng kết quả mang tính chất định tính là nhiều. Một điểm nữa, hầu như chưa thấy có nhóm tác giả nào ở Việt Nam đưa cảm biến đo xa laser và cảm biến ảnh camera toàn phương vào bài toán tổng hợp cảm biến dẫn đường cho robot di động. Ngoài ra, với vấn đề lập bản đồ môi trường và tránh vật cản, các tác giả cũng chỉ mới dừng lại với các phân vùng ảnh 2D. Một vấn đề rất quan trọng trong bài toán dẫn đường cho robot di động tự trị là điều khiển ổn định cho robot cũng chưa được nhiều các tác giả trong nước quan tâm.

3. Mục đích nghiên cứu của luận án.

Dùng phương pháp tổng hợp cảm biến để nâng cao độ chính xác cho định vị một robot di động thông minh là mục tiêu nghiên cứu của Luận án này.

Từ xuất phát điểm nêu trên, Luận án tập trung vào *Nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm, đề xuất và tiến hành một số phương pháp sử dụng kỹ thuật tổng hợp cảm biến để nâng cao độ chính xác và tin cậy của phép định vị, lập bản đồ và điều khiển chuyển động cho một mô hình robot di động được thiết kế xây dựng tại phòng thí nghiệm.*

4. Tổ chức của Luận án.

Trên cơ sở mục tiêu đặt ra như trên, ngoài *phần mở đầu* và *phần kết luận*, nội dung chính của Luận án được bố cục thành các chương chính như sau:

Chương 1, Phương pháp tổng hợp cảm biến. Chương 2, Xây dựng mô hình robot di động đa cảm biến. Chương 3, Tổng hợp cảm biến dùng cho định vị và lập bản đồ dẫn đường robot di động. Chương 4, Điều khiển chuyển động.

CHƯƠNG 1 PHƯƠNG PHÁP TỔNG HỢP CẢM BIẾN

1.1. Hệ thống tổng hợp dữ liệu cảm biến.

1.1.1. Tổng hợp dữ liệu đa cảm biến.

Tổng hợp dữ liệu đa cảm biến (Multisensor Data Fusion) là quá trình tổng hợp dữ liệu và thông tin từ nhiều *nguồn dữ liệu* cảm biến khác nhau, nhằm mục đích đưa ra được đánh giá tốt nhất về đại lượng đang xem xét.

Nguồn dữ liệu là nguồn thu thập được từ các cảm biến và các cơ sở dữ liệu đã có, hoặc thu thập qua nhiều lần lấy dữ liệu khác nhau trên cùng một cảm biến (như các lần thu thập dữ liệu tiên nghiệm và thu thập dữ liệu hiện tại). Ngày nay, các ứng dụng tổng hợp dữ liệu đa cảm biến đã trở nên phổ biến trong dịch vụ thương mại và các ứng dụng trong quân sự...

1.1.2. Quản lý đa cảm biến.

Để đưa ra đánh giá tốt nhất về đại lượng đang xem xét, một trong các yêu cầu đầu tiên là phải lựa chọn được các loại cảm biến phù hợp và quản lý chúng.

1.1.3. Phân loại cấu hình cảm biến.

Tổng hợp cảm biến có thể phân loại theo ba mức (*thấp, trung, cao*), theo dữ liệu vào ra, hoặc theo cấu hình cảm biến (*cạnh tranh, bổ sung, cộng tác*).

1.1.4. Các vấn đề cần giải quyết trong bài toán tổng hợp dữ liệu đa cảm biến.

Các vấn đề cần giải quyết trong bài toán tổng hợp dữ liệu đa cảm biến bao gồm: số chiều và sự sắp xếp của dữ liệu, bản chất và độ tin cậy

của dữ liệu và sắp xếp dữ liệu theo thời gian (bao gồm việc đồng bộ hoá thời gian dữ liệu và xây dựng các kỹ thuật để giải quyết bài toán độ trễ theo thời gian do quá trình truyền tín hiệu và phát hiện của cảm biến).

1.1.5. Kiến trúc hệ thống tổng hợp dữ liệu.

Kiến trúc hệ thống tổng hợp dữ liệu được phân thành 3 loại sau: kiến trúc trung tâm với một trung tâm xử lý, kiến trúc tổng hợp phân tán và kiến trúc tổng hợp cục bộ.

1.2. Các phương pháp tổng hợp cảm biến cho robot di động.

1.2.1. Định vị và lập bản đồ cho robot di động.

Định vị chỉ dựa trên cảm biến lập mã trục quay thì sẽ gặp một sai số tích lũy lớn sau một quãng đường đi dài. Vì vậy người ta đã sử dụng thêm các cảm biến GPS, cảm biến MEMS và các cảm biến quán tính INS để bù trừ sai lệch này. Tuy nhiên riêng GPS chỉ hoạt động đáng tin cậy ngoài trời, với sai số lớn.

Các nhà nghiên cứu đã cố gắng để giải quyết vấn đề định vị chính xác hơn theo một số cách khác nhau. Phương pháp tiếp cận đầu tiên là chỉ đơn giản là bỏ qua các sai số định vị. Và một cách tiếp cận khác là phương pháp sử dụng dữ liệu bản đồ. Để phát triển các giải thuật tìm kiếm làm khớp giữa hai bản đồ bản đồ cục bộ và bản đồ toàn cục được lưu trữ trong bộ nhớ thường có hai giải thuật như sau: Làm khớp dựa trên hình tượng (icon-based map matching) và Làm khớp dựa trên đặc điểm (feature-based map matching).

1.2.2. Tổng hợp cảm biến với phương pháp suy luận xác suất.

Phương pháp suy luận xác suất Bayesian là một thuật toán tổng hợp dữ liệu thống kê dựa trên định lý Bayes với xác suất có điều kiện hay xác suất hậu nghiệm để ước tính véc-tơ trạng thái n -chiều 'X', sau khi đã được quan sát hoặc đo được hàm 'Z'. Thông tin ngẫu nhiên chứa trong Z và X được mô tả bởi một hàm mật độ xác suất (p.d.f) $p(Z/X)$, được gọi là hàm khả năng, hoặc mô hình cảm biến, đó là hàm mục tiêu phụ thuộc vào quan sát.

1.2.3. Tổng hợp cảm biến bằng bộ lọc Kalman.

Đây là phương pháp tổng hợp được sử dụng trong Luận án này. Bộ lọc Kalman là một thuật toán thời gian cho phép loại bỏ nhiễu từ tín hiệu

của các cảm biến để tạo ra được dữ liệu tổng hợp có chất lượng tốt hơn, ví dụ ước tính các giá trị làm trơn của vị trí, vận tốc và gia tốc tại một dãy các điểm trên quỹ đạo. Mô hình *bộ lọc Kalman chuẩn* rời rạc được suy ra từ 2 phương trình tuyến tính biểu diễn sự phụ thuộc của biến trạng thái \mathbf{x} , biến đo \mathbf{z} , tín hiệu đầu vào \mathbf{u} , nhiễu quá trình \mathbf{w} và nhiễu đo \mathbf{v} tại thời điểm k .

$$\mathbf{x}_k = A\mathbf{x}_{k-1} + B\mathbf{u}_{k-1} + \mathbf{w}_{k-1} \quad (1.4) \quad \mathbf{z}_k = H\mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k \quad (1.5)$$

Ở đây, A , B và H là các ma trận tuyến tính. Các biến ngẫu nhiên được giả định là độc lập với nhau, ổn trắng, trị trung bình bằng 0 và có phân bố xác suất chuẩn:

$$\mathbf{w}_k \sim N(0, Q_k); \quad \mathbf{v}_k \sim N(0, R_k); \quad E(\mathbf{w}_i \mathbf{v}_j^T) = 0$$

Bài toán lọc Kalman chính là đi tìm giá trị ước lượng của trạng thái \mathbf{x} khi ta biết được sự biến thiên của nó và một đại lượng đo \mathbf{z} phụ thuộc tuyến tính vào \mathbf{x} . Nó bao gồm một vòng lặp đệ quy gồm 2 giai đoạn: suy đoán và hiệu chỉnh.

Trong thực tế, hàm trạng thái thường là phi tuyến:

$$\mathbf{x}_k = f(\mathbf{x}_{k-1}, \mathbf{u}_{k-1}, \mathbf{w}_{k-1}) \quad (1.11)$$

Trạng thái này cũng được quan sát bởi một số phép đo với véc-tơ \mathbf{z} cũng là hàm phi tuyến:

$$\mathbf{z}_k = h(\mathbf{x}_k, \mathbf{v}_k) \quad (1.12)$$

Áp dụng bộ lọc Kalman chuẩn cho quỹ đạo được tuyến tính hóa tại các điểm với đạo hàm riêng phân bậc một của các hàm f và h theo biến trạng thái và nhiễu theo khai triển Taylor, ta có một vòng lặp đệ quy là *bộ lọc Kalman mở rộng EKF* (Extended Kalman Filter).

Ngoài bước khởi đầu với ước lượng trạng ban đầu $\hat{\mathbf{x}}_0$ và hiệp phương sai của ước lượng sai số P_0 ; ta có vòng lặp gồm các bước tính:

1. Giai đoạn suy đoán: trạng thái \mathbf{x} và hiệp phương sai P của hệ thống ở bước thời gian trước được truyền tới bước hiện tại khi thực hiện các phương trình cập nhật thời gian:

$$\hat{\mathbf{x}}_k^- = f(\hat{\mathbf{x}}_{k-1}, \mathbf{u}_{k-1}, 0) \quad (1.17)$$

$$P_k^- = A_k P_{k-1} A_k^T + W_k Q_{k-1} W_k^T \quad (1.18)$$

2. Giai đoạn hiệu chỉnh: Hệ số lọc Kalman được tính, cho phép ước lượng trạng thái hậu nghiệm trên cơ sở các phép đo \mathbf{z} khi thực hiện các phương trình cập nhật số liệu:

$$K_k = P_k^- H_k^T (H_k P_k^- H_k^T + V_k R_k V_k^T)^{-1} \quad (1.19)$$

$$\hat{\mathbf{x}}_k = \hat{\mathbf{x}}_k^- + K_k (\mathbf{z}_k - h(\hat{\mathbf{x}}_k^-, 0)) \quad (1.20)$$

$$P_k = (I - K_k H_k) P_k^- \quad (1.21)$$

Ở đây các ma trận Jacobian A , W có các thành phần là các đạo hàm riêng phần của hàm f theo \mathbf{x} và \mathbf{w} ; các ma trận H và V có các thành phần là các đạo hàm riêng phần của hàm h theo \mathbf{x} và \mathbf{v} . I là ma trận đơn vị. Q và R là các ma trận hiệp phương sai của nhiễu quá trình và nhiễu đo.

1.3. Kết luận.

Vấn đề định vị chính xác phụ thuộc vào các phép đo của cảm biến. Để nâng cao hiệu quả các phép đo của các cảm biến thì phương pháp tổng hợp cảm biến (ví dụ, với bộ lọc Kalman mở rộng EKF) là phương pháp hiệu quả được sử dụng trong robot hiện đại.

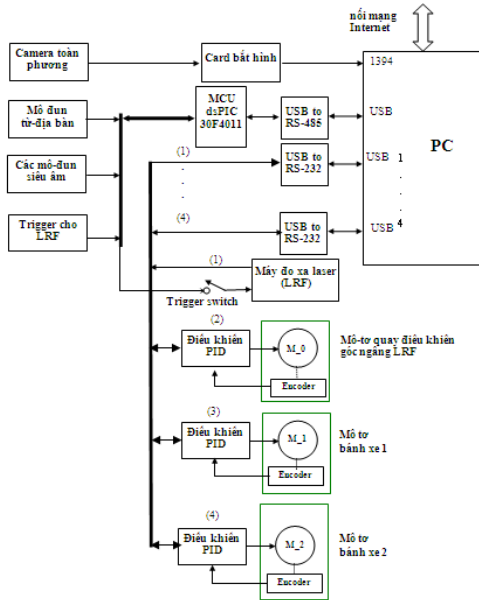
CHƯƠNG 2

XÂY DỰNG MÔ HÌNH ROBOT DI ĐỘNG ĐA CẢM BIẾN

2.1. Thiết kế chế tạo phần cứng mô hình robot di động đa cảm biến.

2.1.1. Các mô đun cảm nhận, khối điều khiển và cơ cấu chấp hành của robot.

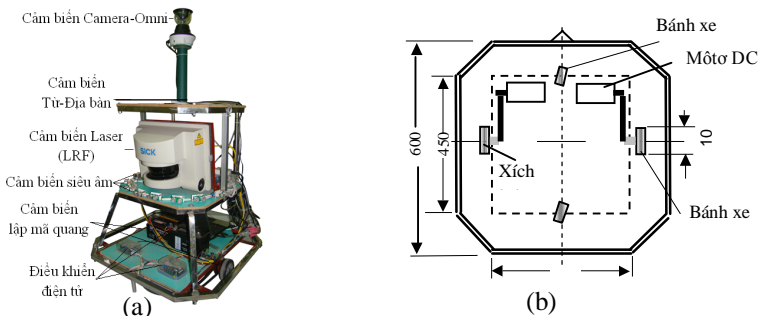
Để phục vụ việc nghiên cứu chúng tôi đã thiết kế chế tạo được một robot di động đa cảm biến, các cảm biến được chọn lựa phù hợp để bù trừ ưu nhược điểm cho nhau. Hệ thống truyền tin giữa các bộ phận trong robot như biểu diễn trên hình 2.1, có tốc độ đủ đáp ứng với yêu cầu thời gian thực. Một số mô đun điều khiển tuy là các sản phẩm thương mại nhưng người sử dụng phải lập trình nhúng vào vi xử lý, các chương trình được phát triển riêng trong ngôn ngữ Visual C++.



Hình 2.1 Mạng thông tin cảm nhận trong robot đa cảm biến.

2.1.1.1. Cấu trúc cơ khí của robot.

Cấu trúc cơ khí và cơ cấu chấp hành của robot được thể hiện trên hình 2.2.



Hình 2.2 Cấu tạo của robot đa cảm biến. a) Hình ảnh của robot đa cảm biến; b) Bản vẽ để robot với 2 bánh xe chủ động cùng mô-tơ.

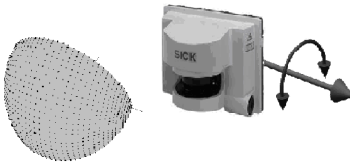
2.1.1.2. Các mô-đun điều khiển chuyển động.

Để điều khiển góc nghiêng của LRF và chuyển động của bánh xe robot chúng tôi sử dụng 3 mô-đun điều khiển mô-tơ thương phẩm “Motion

Mind”. Đây là một mạch vi điều khiển độ rộng xung điện PWM (Pulsed Width Modulation) cấp cho mô-tơ theo luật PID.

2.1.1.3. Các mô-đun cảm biến trên robot.

Các cảm biến được trang bị trên robot gồm: cảm biến lập mã trực quay, cảm biến siêu âm, cảm biến chỉ hướng từ-địa bàn, cảm biến đo xa Laser và cảm biến camera ảnh toàn phương. Riêng cảm biến đo xa laser 2D là hiện đại mới được đề tài đưa vào sử dụng đầu tiên ở Việt Nam. Cảm biến này cho một số liệu đo hết sức chính xác, ít bị ảnh hưởng vào điều kiện môi trường. Tuy nhiên nó cũng gặp phải hạn chế như không thể phát hiện được các vật trong suốt hay chưa đo được toàn không gian 3D. Chính vì các lý do này, trong Luận án chúng tôi đã phát triển một mô hình máy đo 3D từ máy đo xa laser 2D như biểu diễn trên hình 2.10a và 2.10b.



Hình 2.10a Quét ngang lên và xuống cùng không gian hình cầu các điểm đo.



Hình 2.10b Cơ cấu truyền động quay và mô-tơ servo.

2.1.1.4. Khối điều khiển điện tử trong robot.

Ngoại trừ cảm biến ảnh toàn phương và cảm biến laser, các cảm biến còn lại được thông tin với máy vi tính qua vi điều khiển MCUdsPIC30F4011, chương trình điều khiển được viết trên C++. Vi điều khiển giao tiếp với bên ngoài qua mạch chuyển đổi DS75176B. Đây là bo mạch cho phép chuyển đổi tín hiệu UART từ vi điều khiển ra chuẩn RS-485 sử dụng giao thức Modbus/RTU.

2.1.1.5. Các khối giao tiếp truyền tin giữa vi điều khiển MCUdsPIC với máy tính.

Khối giao tiếp truyền tin giữa vi điều khiển và vi tính được thiết kế chế tạo với bộ chuyển đổi RS-485 sang USB và ngược lại.

2.1.2. Chương trình điều khiển hệ thống.

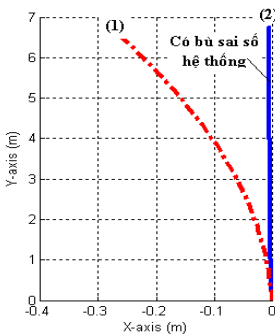
Xuất phát từ cấu hình phần cứng trình bày ở trên, chương trình điều khiển hệ thống qua thu thập thông tin từ các cảm biến được phát triển với các mô-đun sau:

- Chương trình xử lý dữ liệu của cảm biến Laser, chương trình điều khiển cho 3 cảm biến lập mã trục quay được kết nối trực tiếp vào máy vi tính được truyền qua đường truyền RS-232C.
- Thông tin hình ảnh toàn phương được thu thập trực tiếp vào máy vi tính và xử lý qua chương trình được phát triển trên môi trường Visual C++ với công cụ là gói phần mềm mở xử lý ảnh OpenCV.
- Các thông tin còn lại được trao đổi từ 10 nút mạng với nút điều khiển từ máy tính (1 nút cho cảm biến chỉ hướng từ-địa bàn, 1 nút cho công tắc hành trình, 8 nút cho 8 cảm biến siêu âm).

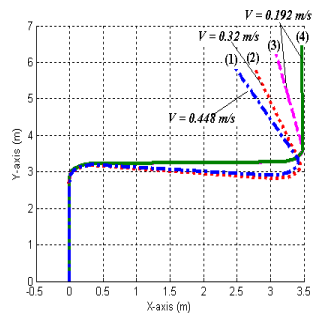
2.2. Đo đạc đánh giá mô hình hệ thống được chế tạo.

2.2.1. Kiểm tra độ chính xác của chuyển động robot.

Robot này đã được kiểm tra độ chính xác hoạt động. Bằng việc bù sai số chuyển động theo phương pháp đề xuất bởi Borenstein J., từ sai số hệ thống ban đầu là 3.86% chúng tôi đã đạt được sai số khá nhỏ xấp xỉ 0.09 % như biểu diễn trên hình 2.21a và hình 2.21b.



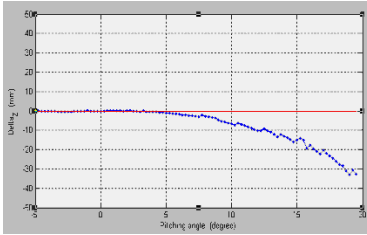
Hình 2. 21a Robot chạy thẳng 7m.



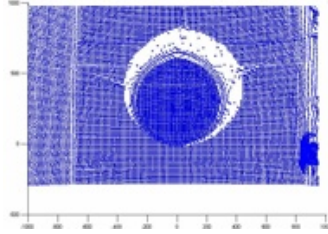
Hình 2.21b Robot chạy và quay với các vận tốc khác nhau.

2.2.2. Kiểm tra độ tin cậy của ảnh laser.

Kiểm tra sai lệch tuyệt đối của giá trị theo phương z so với kích thước thực cho thấy độ méo dạng nằm trong dải cho phép.



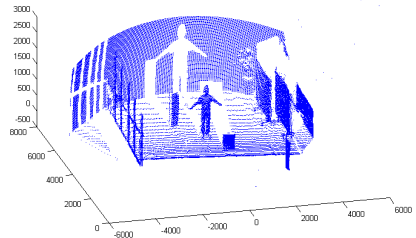
Hình 2.23b Sai lệch tuyệt đối của các giá trị z.



Hình 2.24 Ảnh 3D một vật hình tròn đặt trước LRF.



Hình 2.25a Ảnh camera.



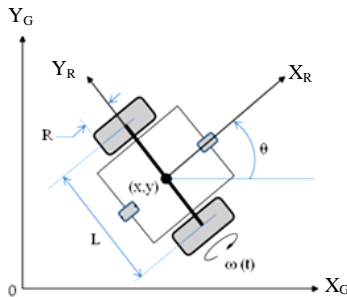
Hình 2.25b Ảnh Laser 3D.

2.3. Kết luận.

Các kết quả đo đạc thực nghiệm cho thấy hệ thống hoàn toàn sử dụng được cho các nhiệm vụ định vị và lập bản đồ của robot trong phòng thí nghiệm, các kết quả đã được công bố trên [1][2].

CHƯƠNG 3 TỔNG HỢP CẢM BIẾN DÙNG CHO ĐỊNH VỊ VÀ LẬP BẢN ĐỒ DẪN ĐƯỜNG ROBOT DI ĐỘNG

3.1 Tổng hợp cảm biến bằng bộ lọc Kalman mở rộng để nâng cao độ tin cậy của phép định vị robot.



Hình 3.2a Tư thế và các thông số của robot trong hai tọa độ

Robot sử dụng trong luận án này là loại 2 bánh vi sai được điều khiển độc lập như trên hình 3.2a, trong đó (X_G, Y_G) là hệ tọa độ toàn cục, (X_R, Y_R) là hệ tọa độ gắn với robot, R là bán kính bánh xe, và L là khoảng cách giữa 2 bánh.

Với chu kỳ lấy mẫu số liệu đo là Δt , tốc độ góc các bánh xe trái và phải ω_L, ω_R sẽ tạo ra các số gia dịch chuyển hai bánh tương ứng $\Delta s_L = \Delta t.R.\omega_L$ và $\Delta s_R = \Delta t.R.\omega_R$. Từ đó dẫn đến số gia dịch chuyển của tâm robot Δs và góc hướng $\Delta\theta$:

$$\Delta s = \frac{\Delta s_L + \Delta s_R}{2} \qquad \Delta\theta = \frac{\Delta s_R - \Delta s_L}{L}$$

Véc-tơ trạng thái \mathbf{x} của robot tại thời điểm k trong hệ tọa độ toàn cục được cập nhật như sau:

$$\begin{bmatrix} x_k \\ y_k \\ \theta_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{k-1} \\ y_{k-1} \\ \theta_{k-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta s_k \cos(\theta_{k-1} + \Delta\theta_k / 2) \\ \Delta s_k \sin(\theta_{k-1} + \Delta\theta_k / 2) \\ \Delta\theta_k \end{bmatrix} \quad (3.1a)$$

Các giá trị đo đưa vào \mathbf{z}_k được thu thập được từ các cảm biến.

Trên các cơ sở này, bộ lọc Kalman mở rộng EKF đã được áp dụng để ước lượng vị trí của robot. Các trường hợp tổng hợp dữ liệu với các cảm biến khác nhau được khảo sát nhằm chứng minh hiệu quả của việc sử dụng bộ lọc khi nó cho phép tăng độ chính xác của ước lượng vị trí robot khi di chuyển.

Các nghiên cứu được tiến hành trên cùng một mô hình hệ thống odometry như (3.1a) nhưng với các cảm biến khác nhau trong từng trường hợp. Vì vậy trong vòng lặp Kalman, các ma trận Q và A thuộc loại hệ thống cho kết cấu robot này là không đổi, còn véc-tơ \mathbf{z} và các ma trận H, V và R sẽ có kích thước và giá trị khác nhau tùy vào số cảm biến ngoài được tổng hợp.

3.1.1. Tổng hợp dữ liệu odometry với cảm biến chỉ hướng từ-địa bàn.

3.1.1.1. Xác định các ma trận trong các bước tổng hợp dùng EKF.

Để nhận được ma trận P trong bước dự đoán của bộ lọc, các ma trận A, W và Q được xác định như sau:

- Q_k là ma trận hiệp phương sai nhiễu lỗi vào có kích thước $[2 \times 2]$:

$$Q_k = covar(\Delta s_R, \Delta s_L) = \begin{bmatrix} \partial_R |\Delta s_R| & 0 \\ 0 & \partial_L |\Delta s_L| \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

- A_k có kích thước $[3 \times 3]$:

$$A_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\Delta s_k \sin(\theta_{k-1} + \Delta \theta_k / 2) \\ 0 & 1 & \Delta s_k \cos(\theta_{k-1} + \Delta \theta_k / 2) \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

- W_k có kích thước $[3 \times 2]$:

$$W_k = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \cos(\theta_{k-1} + \frac{\Delta \theta_k}{2}) + \frac{\Delta s_k}{2L} \sin(\theta_{k-1} + \frac{\Delta \theta_k}{2}) & \frac{1}{2} \cos(\theta_{k-1} + \frac{\Delta \theta_k}{2}) + \frac{\Delta s_k}{2L} \sin(\theta_{k-1} + \frac{\Delta \theta_k}{2}) \\ \frac{1}{2} \sin(\theta_{k-1} + \frac{\Delta \theta_k}{2}) + \frac{\Delta s_k}{2L} \cos(\theta_{k-1} + \frac{\Delta \theta_k}{2}) & \frac{1}{2} \sin(\theta_{k-1} + \frac{\Delta \theta_k}{2}) - \frac{\Delta s_k}{2L} \cos(\theta_{k-1} + \frac{\Delta \theta_k}{2}) \\ \frac{1}{L} & -\frac{1}{L} \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

$\delta_R = \delta_L \equiv \delta = 0.0003$ được xác định bằng đo đạc thực nghiệm.

Trong *giai đoạn hiệu chỉnh*: trong trường hợp này, ta dùng một phép đo tuyệt đối góc hướng của robot bằng cảm biến từ-địa bàn để tổng hợp qua bộ lọc Kalman với giá trị ước lượng vị trí bằng phương pháp odometry nói trên. Véc-tơ đo \mathbf{z}_k dùng một thành phần là số đo góc hướng φ_k nhận được từ cảm biến:

$$\mathbf{z}_k = [\varphi_k] \text{ trong đó } \varphi_k = \theta_k + \varepsilon_\varphi \quad (3.12)$$

với θ_k là góc hướng của robot và ε_φ là ồn đo của cảm biến từ-địa bàn.

Để xác định được hệ số lọc Kalman K_k , các ma trận R , H và V cần được tính. Ta gọi các ma trận H , V , R trong trường hợp này là H_{odm} , V_{odm} và R_{odm} .

- H_{odm} có kích thước $[1 \times 3]$, được tính bằng:

$$H_{odm} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \varphi}{\partial x} & \frac{\partial \varphi}{\partial y} & \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} \end{bmatrix} = [0 \quad 0 \quad 1] \quad (3.13)$$

- V_{odm} có kích thước $[1 \times 1]$, tính được bằng:

$$V_{odm} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \varphi}{\partial \varepsilon_\varphi} \end{bmatrix} = [1] \quad (3.14)$$

- R_{odm} có kích thước $[1 \times 1]$, bằng phương sai của ồn đo từ cảm biến:

$$R_{odm} = [var(\varphi)] \quad (3.15)$$

3.1.1.2. Thực nghiệm và thảo luận.

a) Thiết lập thực nghiệm.

- Robot đã được thiết kế, chế tạo và được chạy thử kiểm tra các chỉ tiêu kỹ thuật trên mặt sàn phẳng.

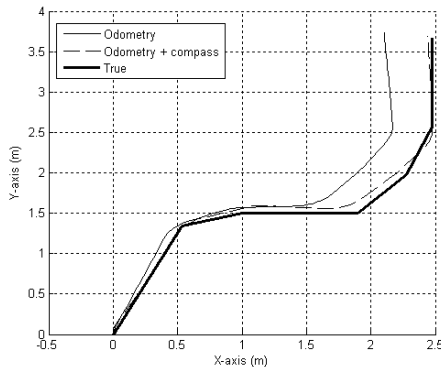
- Với thời gian lấy mẫu của bộ lọc là $\Delta t = 100$ ms, phần mềm điều khiển và thu thập dữ liệu ước lượng trạng thái robot (khi áp dụng phương pháp tổng hợp cảm biến với EKF) được viết trong Visual C++. Dữ liệu được lưu trữ vào file số liệu trong bộ nhớ và hiển thị đồ họa lên màn hình máy tính.

- Hệ số tỷ lệ trong ma trận Q được xác định bằng thực nghiệm là $\delta = 0,0003$ và ma trận R có giá trị bằng phương sai $var(\varphi) = 2,79 \times 10^{-4} \text{rad}^2$.

- Đường đi thực của robot được đo bằng các thước đo thực tế tại mặt sàn.

b) Kết quả và thảo luận

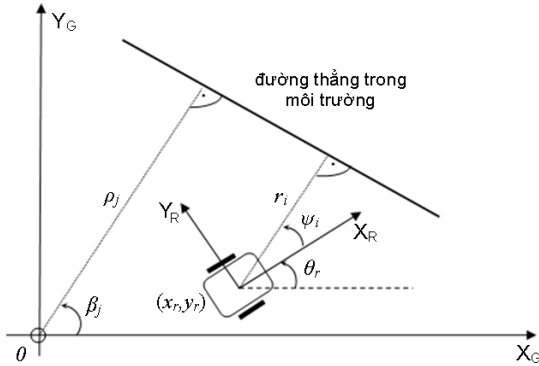
Kết quả thu thập quỹ đạo mà robot đi được trong 3 trường hợp được biểu diễn trên hình 3.3 với đường đi thực (nét đậm), đường đi được ước lượng chỉ bằng phương pháp odometry (nét nhạt) và đường đi được ước lượng khi có dùng bộ lọc EKF với cảm biến từ-địa bàn (nét đứt). Bằng trực quan thấy ngay đường đi được ước lượng với bộ lọc EKF gần với đường đi thực hơn so với trường hợp chỉ dùng phương pháp odometry.



Hình 3.3. Quỹ đạo ước lượng của robot với các cấu hình không có (nét nhạt) và có EKF (đứt nét) so với quỹ đạo thực (nét đậm).

3.1.2. Tổng hợp dữ liệu với thêm cảm biến đo xa laser.

Cũng giống như trường hợp ở trên, phép đo tuyệt đối nữa từ cảm biến đo xa laser LRF được tổng hợp thêm vào hệ robot. Do vẫn được thực nghiệm trên cùng một hệ thống robot nên các giá trị ma trận A , Q và V được giữ nguyên như trên. Còn các ma trận H , V và R phải được cập nhật.



Hình 3.6 Máy đo LRF đặt trên robot đo 2 thông số của một đường thẳng trong môi trường.

Máy đo xa laser LRF cho phép phát hiện các điểm đặc trưng của môi trường quanh robot. Trong trường hợp này các đoạn thẳng được LRF phát hiện trong môi trường (ví dụ như đường cắt ngang một bức tường trong phòng) được chọn. Đoạn thẳng được hiện thị lên trên bản đồ toàn cục X_G, Y_G và chính đoạn thẳng đó cũng được hiện thị trên bản đồ cục bộ của robot X_R, Y_R . Nếu các tham số ρ và β biểu diễn đoạn thẳng ở trong bản đồ toàn cục, thì tương ứng sẽ là r và ψ trong bản đồ cục bộ. LRF sử dụng các tham số này để cập nhật vào véc-tơ đo \mathbf{z} , và cân chỉnh hệ số K . Như vậy trong trường hợp này phép đo \mathbf{z} sẽ thêm N cặp r, ψ ứng với N đoạn thẳng được phát hiện: $r_1, \psi_1, r_2, \psi_2, \dots, r_N, \psi_N$. Làm khớp các tham số đường thẳng ở bản đồ cục bộ sẽ được thu thập vào trong véc-tơ \mathbf{z}_k , được sử dụng như đầu vào cho bước chỉnh sửa của EKF để cập nhật trạng thái của robot.

$$\mathbf{z}_k = [\varphi_k, r_{1,k}, \psi_{1,k}, \dots, r_{N,k}, \psi_{N,k}]^T \quad (3.20)$$

Từ tọa độ và hướng của robot được ước tính bởi phương pháp odometry, các tham số ρ_j và β_j của đoạn thẳng thứ j trong bản đồ toàn cục được chuyển thành các tham số \hat{r}_i và $\hat{\psi}_i$ theo hệ tọa độ của robot và được tính bằng:

$$\begin{bmatrix} r_i \\ \psi_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |C_j| \\ \beta_j - \theta_r + (-0,5 \text{sign}(C_j) + 0,5)\pi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_r \\ \varepsilon_\psi \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

Trong đó : $C_j = \rho_j - x_r \cos \beta_j - y_r \sin \beta_j$

ε_r và ε_ψ là các nhiễu đo của máy laser.

Từ đây, các ma trận H_{odml} , V_{odml} và R_{odml} trong cấu hình các cảm biến $\{\text{odometry(od)}+\text{tù(m)}+\text{laser(l)}\}$ đã được tính.

Thực ra để thực hiện công đoạn này, trước đó có 2 công đoạn nữa cần phải thực hiện liên quan đến vấn đề xử lý ảnh: 1 là công đoạn phát hiện các đoạn thẳng ở trong không gian cục bộ; 2 là làm khớp các đoạn thẳng trong không gian cục bộ và không gian toàn cục như đã báo cáo ở [6].

3.1.3. Tổng hợp dữ liệu với cảm biến camera ảnh toàn phương.

Cũng giống như trường hợp ở trên (3.1.2), nhưng trong trường hợp này thêm vào một cảm biến ảnh toàn phương (omni-directional camera). Cảm biến này cho phép thêm vào một phép đo góc γ_k giữa robot và cột mốc có tọa độ biết trước (x_m, y_m) để có thể tổng hợp với các phép ước lượng như đã nêu ở trên, \mathbf{z}_k lúc này sẽ có giá trị:

$$\mathbf{z}_k = [\varphi_k, r_1, \psi_1, \dots, r_N, \psi_N, \gamma_k]^T \quad (3.35)$$

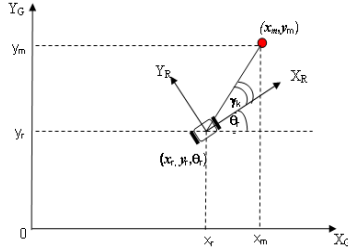
Theo hình 3.13, góc γ_k tính được như sau:

$$\tan(\gamma_k + \theta_k) = \frac{y_m - y_k}{x_m - x_k} \quad \rightarrow \quad \gamma_k = \arctan\left(\frac{y_m - y_k}{x_m - x_k}\right) - \theta_k + \varepsilon_\gamma \quad (3.36)$$

Trong đó ε_γ là nhiễu đo từ thiết bị camera.

Từ đây, các ma trận H_{odmlc} , V_{odmlc} và R_{odmlc} trong cấu hình các cảm biến $\{\text{odometry(od)}+\text{tù(m)}+\text{laser(l)}+\text{camera(c)}\}$ đã được tính.

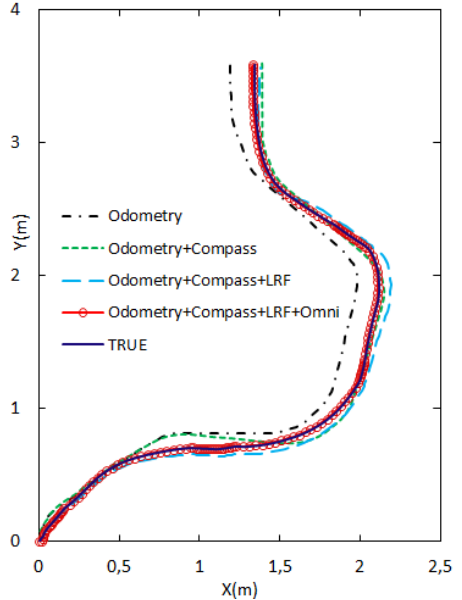
Kết quả thực nghiệm trên hình 3.14b và bảng 3.3 cho thấy hiệu quả của EKF: với càng nhiều cảm biến thì kết quả ước tính vị trí càng gần với các giá trị đường thực.



Hình 3.11. Ước lượng góc nhìn γ_k từ robot đến vật mốc màu đỏ (x_m, y_m) bằng phép đo odometry và cảm biến ảnh toàn phương.



(a)



(b)

Hình 3.14 a) Ảnh chụp liên tiếp robot chuyển động trong môi trường;

b) Quỹ đạo ước tính của robot với các cấu hình EKF khác nhau.

Bảng 3.3 Sai số bình phương trung bình tối thiểu RMSE của các cấu hình cảm biến so với đường thực

Cấu hình	RMSE theo phương X(m)	RMSE theo phương Y(m)
Odometry	0,554	0,951
Odometry + Compass	0,190	0,224
Odometry + Compass + LRF	0,030	0,040
Odo+Compass+LRF+Omni	0,021	0,038

3.2 Xây dựng bản đồ dẫn đường bằng tổng hợp dữ liệu cảm biến đo xa laser.

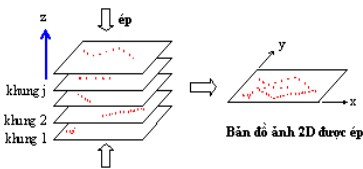
3.2.1. Thu thập dữ liệu 3D các điểm ảnh của vật cần.

Như mô tả ở chương 2, để nhận được hình ảnh 3D của môi trường, máy đo xa laser được gắn lên một đế có thể quay ngẩng lên-xuống quanh một trục nằm ngang. Như vậy, một ảnh 3D thu được bao gồm j khung ảnh 2D phân bố đều theo chiều dọc với các góc ngẩng α_j . Mỗi khung ảnh 2D này là một ảnh được tạo bởi quá trình quét ngang của tia laser với tập các góc quét β_k . Mỗi điểm ảnh trong một khung được trả về một cặp giá trị khoảng cách R_k và β_k . Tọa độ Descartes của mỗi điểm ảnh (j,k) được xác định như sau [1,2]:

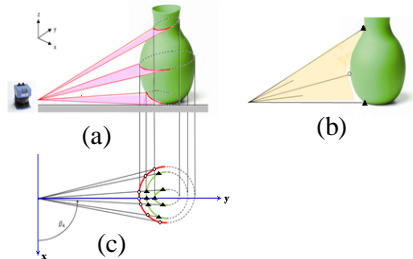
$$x_{j,k} = R_k \cos \alpha_j \cos \beta_k \quad y_{j,k} = R_k \cos \alpha_j \sin \beta_k \quad z_{j,k} = R_k \sin \alpha_j \quad (3.40)$$

3.2.2. Giải thuật IPaBD xây dựng bản đồ dẫn đường 2D.

Hình chiếu điểm ảnh các vật lên mặt phẳng (x,y) song song với sàn nhà là khung ảnh 2D. Thực hiện phép hợp (\cup) tất cả các điểm ảnh có tọa độ (x,y) , ta được kết quả “ép” các khung trong ảnh 3D của môi trường theo phương z thành một bản đồ 2D duy nhất trên mặt phẳng $x-y$ như hình 3.16.



Hình 3.16 Ép ảnh 3D thành 2D trên mặt phẳng xy .



Hình 3.17 a) Ví dụ minh họa quét ảnh 3D; b) hình chiếu các điểm ảnh; c) mặt cắt đứng của quá trình quét với các điểm ảnh cùng có giá trị quét β_k nhưng có chiều cao khác nhau nên có giá trị R khác nhau.

Giải thuật 3D-to-2D IPaBD

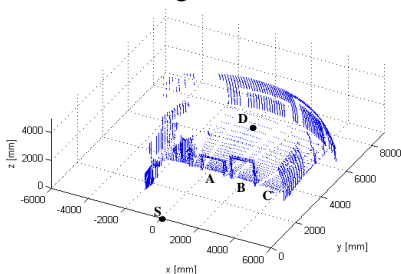
- Bước 1: Xuất phát từ tập hợp số liệu điểm ảnh 3D, thực hiện phép hợp tất cả các điểm ảnh lên mặt phẳng tọa độ (x,y) .

- Bước 2: Với mỗi góc quét ngang β_k , tìm và chọn 1 giá trị $R_k = R_{min}$.
- Bước 3: Loại bỏ các điểm có $z > z_{ngưỡng}$ và $z = 0$.
- Bước 4: Thực hiện giải thuật phân đoạn ảnh (nếu cần).

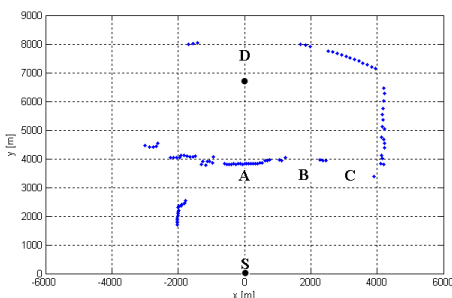
3.2.3. Thực nghiệm xây dựng bản đồ và áp dụng cho vạch đường đi và điều khiển robot

3.2.3.1. Kết quả xây dựng bản đồ bằng giải thuật IpaBD.

Ảnh 3D thu được tại hiện trường như hình 3.18 với điểm xuất phát S(0,0)mm và đích D(0,6800)mm. Robot có chiều cao bằng $z_{ngưỡng} = 1200$ mm. Tại hiện trường, có một cổng A có thanh dầm nằm thấp hơn chiều cao của robot và một cổng B có thanh dầm nằm cao hơn robot. Ngoài ra có một hành lang C với chiều cao không hạn chế nhưng ở vị trí bên cạnh. Robot cần chọn cho mình một đường đi từ S tới đích D ngắn nhất mà không va chạm với các vật cản.



Hình 3.18 Ảnh chụp 3D môi trường toàn cục.



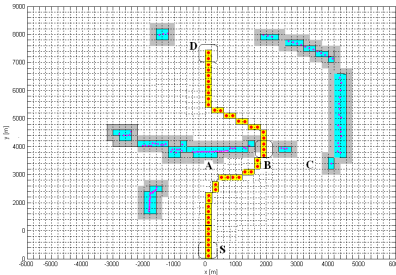
Hình 3.20 Kết quả bản đồ thu được do giải thuật IpaBD.

3.2.3.2. Thực nghiệm vạch đường đi và điều khiển robot nhờ bản đồ dẫn đường.

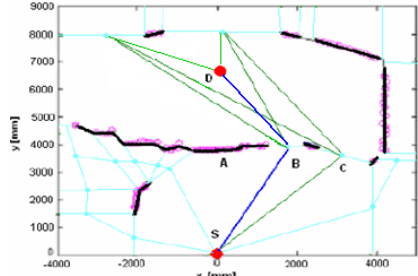
Không gian mặt sàn được rời rạc hóa thành một ma trận $M(j,k)$ ô chữ nhật, mỗi ô có kích thước $(a \times a)$ cm, gọi là ô chiếm giữ. Giá trị a được chọn bằng 1/3 đường kính thiết diện ngang của robot. Như vậy tâm một ô chiếm giữ $M(j,k)$ sẽ có tọa độ là $(j.a+a/2, k.a+a/2)$ và chiếm một vùng tọa độ x từ $j.a$ đến $j(a+1)$ và vùng tọa độ y từ $k.a$ đến $k(a+1)$. Nếu điểm ảnh trên bản đồ có tọa độ nằm trong vùng tọa độ ô nào thì ô đó được gọi là bị chiếm giữ và được gán giá trị logic “1”, các ô còn lại thuộc về không gian tự do, có giá trị “0”. Kết quả lập trình sử dụng giải thuật tìm

kiếm A* từ điểm xuất phát S tới đích D trên bản đồ số hóa từ hình 3.20 cho đường đi tối ưu qua các lưới chiếm giữ được biểu diễn trên hình 3.21.

Ở đây không gian bản đồ được chia thành 40×40 ô. Do kích thước của robot là $(60 \times 60 \text{ cm})$, mỗi ô được chọn là $(20 \times 20 \text{ cm})$. Ta thấy bản đồ của các vùng bị chiếm giữ bao gồm cả phần dẫn ảnh (có độ sáng đậm).



Hình 3.21 Vạch đường cho robot trên bản đồ IPaBD bằng giải thuật tìm kiếm A*.



Hình 3.22 Bản đồ Voronoi với đường đi tối ưu qua nút B (đường đậm nét).

3.3. Kết luận

Tác giả lần đầu tiên đã thử nghiệm việc tổng hợp cảm biến với 4 cảm biến như vậy trên một mô hình robot đa cảm biến ở Việt Nam, cho được kết quả tốt, phù hợp giữa lý thuyết và thực nghiệm.

Phương pháp tổng hợp dữ liệu cảm biến theo không gian cũng đã được tác giả nghiên cứu để phát triển xây dựng bản đồ dẫn đường 2D từ các dữ liệu 3D. Qua đó, tác giả đã phát triển một giải thuật mới giải quyết vấn đề này với tên gọi giải thuật ép ảnh và phát hiện vật cản IPaBD. Nội dung của những nghiên cứu trong chương này đã được công bố tại [3-9].

CHƯƠNG 4

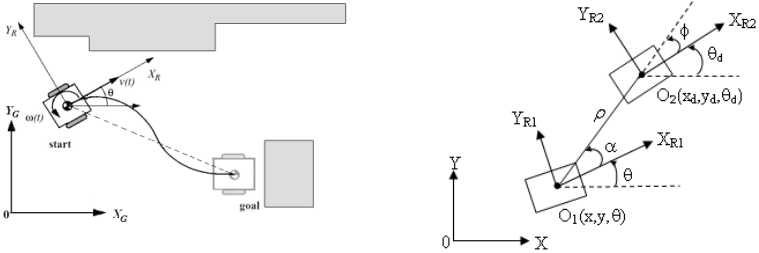
ĐIỀU KHIỂN CHUYỂN ĐỘNG

4.2. Xây dựng bộ điều khiển chuyển động ổn định.

4.2.1. Mô hình động học.

Để dẫn đường cho robot đi từ vị trí này đến vị trí kia, ngoài những ràng buộc về điều kiện *nonholonomic* của hệ thống bánh xe, còn phải đáp ứng điều kiện tối ưu của luật điều khiển. Hình 4.1 mô tả tư thế robot khi

nó được điều khiển chuyển động qua 2 điểm tham chiếu trong hệ tọa độ toàn cục OXY. Gắn với robot là các hệ tọa độ cục bộ OX_RY_R. Robot xuất phát từ vị trí tùy ý O₁ nơi robot có tọa độ (x,y) và góc hướng θ. Nó cần được điều khiển đi tới điểm đích O₂ nơi robot có tọa độ (x_d,y_d) và góc hướng θ_d đã biết.



Hình 4.1 Thể và các thông số của robot.

Động học của robot được biểu diễn như sau:

$$\dot{x} = v \cos \theta \quad \dot{y} = v \sin \theta \quad \dot{\theta} = \omega \quad (4.5)$$

Trong đó, v và ω lần lượt là vận tốc dài và vận tốc góc của robot. Luật điều khiển ổn định có thể nhận được khi chuyển các biến cấu hình (x,y,θ) thành các biến dẫn đường (ρ,ϕ,α) :

$$\begin{aligned} \rho &= \sqrt{(x_d - x)^2 + (y_d - y)^2} \\ \phi &= \text{atan} 2(y_d - y, x_d - x) - \theta_d \\ \alpha &= \text{atan} 2(y_d - y, x_d - x) - \theta \end{aligned} \quad (4.6)$$

Với ρ là khoảng cách từ O₁ đến O₂, ϕ là góc tạo bởi hai hướng O₁O₂ và O₂X_{R2}, $\alpha = (\phi + \theta_d) - \theta$ là góc tạo bởi hai hướng O₁O₂ và O₁X_{R1}.

Mục tiêu tìm luật điều khiển vận tốc dài và vận tốc góc sao cho các biến dẫn đường (ρ,α,ϕ) tiến tới không khi robot tiến về đích. Mô hình động học của robot di động mô tả qua các biến dẫn đường là:

$$\dot{\rho} = -v \cos \alpha \quad \dot{\alpha} = -\omega + v \sin \alpha / \rho \quad \dot{\phi} = v \sin \alpha / \rho \quad (4.8)$$

4.2.2. Thiết kế bộ điều khiển.

Chia không gian điều khiển chuyển động của robot ra làm hai: cấu hình cục bộ Ω_L nằm ở lân cận vị trí đích trong mức nhiễu cực đại và cấu hình toàn cục Ω_G nằm ở không gian còn lại.

4.2.2.1. Điều khiển ổn định trong tập cấu hình toàn cục Ω_G .

Chọn hàm Lyapunov được xây dựng trên các biến dẫn đường có dạng

$$V = V_{G1} + V_{G2} = \rho^2 / 2 + (\alpha_2 + h\rho^2) / 2 > 0 \quad (4.10)$$

Luật điều khiển được chọn như sau:

$$\begin{aligned} v &= k_v \rho \cos \alpha \\ \omega &= k_\alpha \alpha + (k_v \rho \cos \alpha \sin \alpha / \alpha)(\alpha + h\rho) / \rho \end{aligned} \quad (4.11)$$

Trong đó các hệ số $k_v > 0$, $h > 0$, và $k_\alpha > 0$

Khi không có can nhiễu, luật này đáp ứng điều kiện tối ưu của luật điều khiển là đạo hàm bậc nhất của V luôn có giá trị âm và các biến dẫn đường sẽ hội tụ về không ở tại vị trí đích. Hệ thống sẽ từ cấu hình toàn cục Ω_G chuyển động ổn định tiến đến cấu hình cục bộ Ω_L .

4.2.1.2. Điều khiển ổn định hệ thống trong tập cấu hình cục bộ Ω_L .

Luật (4.11) trong cấu hình toàn cục Ω_G được chứng minh là sẽ không ổn định trong cấu hình cục bộ Ω_L khi có mặt can nhiễu. Do đó bộ điều khiển đã được thiết kế lại để có hệ điều khiển ổn định bền vững.

Với $\alpha = (\phi + \theta_d) - \theta$, đặt $\theta_e = \theta - \theta_d$ hay $\theta_e = \phi - \alpha$. Hàm Lyapunov trong cấu hình cục bộ được lựa chọn khác đi như sau:

$$V_L = V_{L1} + V_{L2} = \frac{\rho^2}{2} + \frac{(\phi - \alpha)^2}{2} > 0 \quad (4.20a)$$

Luật điều khiển trong cấu hình cục bộ của Ω_L được lựa chọn lại như sau:

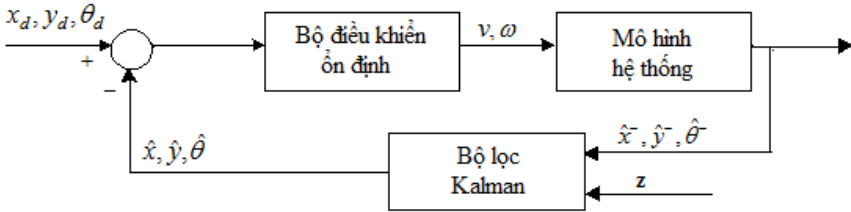
$$\begin{aligned} v &= k_v (\rho + \varepsilon_\rho) \cos(\alpha + \varepsilon_\alpha) \\ \omega &= -k_\theta \theta_e \end{aligned} \quad (4.21)$$

Trong đó $k_\theta > 0$, ε_ρ , ε_α là các nhiễu phản hồi trạng thái của các biến dẫn đường ρ , α .

4.2.3. Sử dụng bộ lọc Kalman cho vòng điều khiển phản hồi.

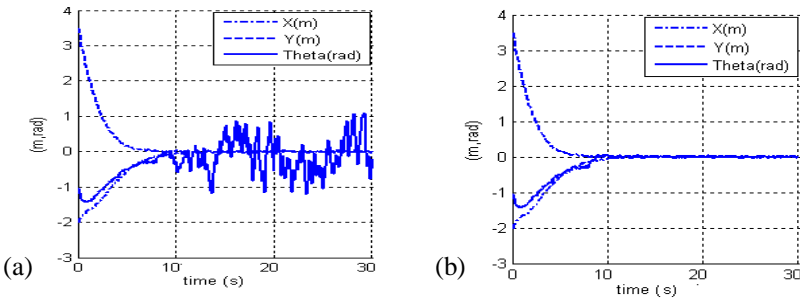
Các nhiễu đầu vào ε_v , ε_ω và nhiễu đo ε_x , ε_y , ε_θ ảnh hưởng đáng kể đến hiệu quả của vòng điều khiển phản hồi như bám đúng quỹ đạo, hội tụ về miền đích. Luận án đã thiết kế thử nghiệm một vòng điều khiển có bộ lọc Kalman được mắc xen vào đường phản hồi đo trạng thái hệ thống như sơ

đồ hình 4.2 nhằm nâng cao độ tin cậy của phép ước lượng vị trí robot cũng như của giá trị lệch của nó so với vị trí đích, cho phép tăng độ chính xác của các tín hiệu đầu vào điều khiển hệ thống.



Hình 4.2 Vòng điều khiển phản hồi với bộ lọc Kalman.

4.2.4. Mô phỏng và thực nghiệm.

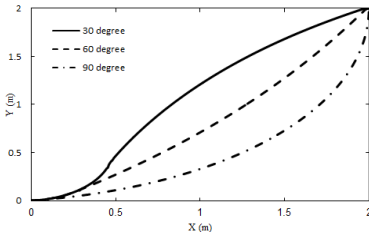


Hình 4.3 Đáp ứng với các luật điều khiển dùng 1 cấu hình (a) và 2 cấu hình (b)

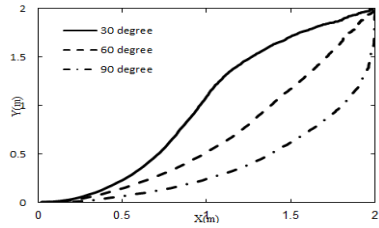
Kết quả mô phỏng ở hình 4.3, robot có cấu hình xuất phát là $(-2, 3.5, -60^\circ)$ được điều khiển chuyển động ổn định đến cấu hình đích là $(0, 0, 0^\circ)$. Kết quả thu được khi sử dụng chỉ một luật điều khiển (4.11) cho cả hai cấu hình nhận được ở hình 4.3a. Mặc dù tọa độ đường đi ổn định về đích sau 15 bước thời gian lấy mẫu với tọa độ $(x,y) = (0.0032 \text{ m}, 0.0013 \text{ m})$ nhưng góc hướng θ vẫn tồn tại khác không và thăng giáng khá mạnh. Trong khi đó kết quả ở hình 4.3b cho thấy hiệu quả khi phân tách ra hai cấu hình với sử dụng luật (4.21) cho cấu hình cục bộ thì cả 3 biến đều đã ổn định tiệm cận về đích về không cho cả $(x,y,\theta) = (0.0086\text{m}, 0.0035\text{m}, -0.0031 \text{ rad})$.

Hình 4.4 cho kết quả mô phỏng trong đó các cấu hình đích của robot được hội tụ đến tọa độ $(2,2)$ từ ba hướng khác nhau. Điều này cho thấy tính khả thi của bộ điều khiển.

Thực nghiệm dẫn đường cũng được tiến hành trên robot hai bánh vi sai của phòng thí nghiệm từ điểm khởi phát và điểm đích như vậy cho kết quả đạt yêu cầu như hình 4.5 gần như mô phỏng.

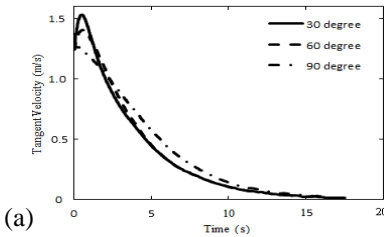


Hình 4.4. Kết quả mô phỏng

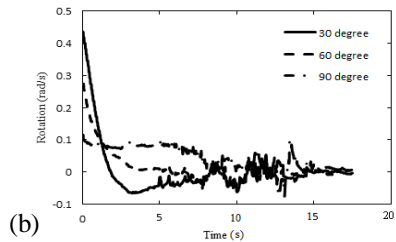


Hình 4.5. Kết quả thực nghiệm.

Hình 4.6b và 4.7b chỉ ra sự cải thiện độ ổn định của sự thay đổi các vận tốc (nhất là vận tốc góc) của robot tới giá trị ổn định ở điểm đích trong hai trường hợp không có và có bộ lọc Kalman.

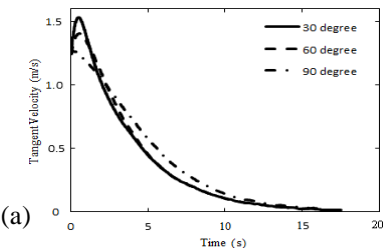


(a)

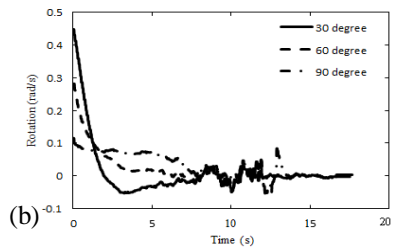


(b)

Hình 4.6 a), b) Kết quả điều khiển ổn định không dùng bộ lọc Kalman



(a)



(b)

Hình 4.7 a),b) Kết quả điều khiển ổn định tốt hơn khi có bộ lọc Kalman.

4.4. Kết luận.

Phần này trình bày những nghiên cứu thực thi quá trình điều khiển ổn định bám quỹ đạo với việc sử dụng các giá trị định vị robot bằng kỹ thuật tổng hợp cảm biến với bộ lọc Kalman cho khâu điều khiển chuyển động.

Kết quả việc kết hợp sử dụng các luật điều khiển chuyển động ổn định theo tiêu chuẩn Lyapunov với bộ lọc Kalman như vậy cho phép tăng tính chính xác và ổn định của quỹ đạo chuyển động.

Các kết quả nghiên cứu này đã được công bố trên [10].

KẾT LUẬN VÀ THẢO LUẬN HƯỚNG PHÁT TRIỂN

1. Các nội dung được thực hiện trong Luận án.

Đã nghiên cứu tổng quan lý thuyết liên quan đến kỹ thuật tổng hợp cảm biến áp dụng cho dẫn đường robot di động. Đã thiết kế chế tạo một mô hình robot đa cảm biến phục vụ cho các thử nghiệm dẫn đường thực tế. Nghiên cứu áp dụng thành công kỹ thuật tổng hợp cảm biến sử dụng đến 4 cảm biến cho việc nâng cao độ tin cậy của phép định vị robot. Từ dữ liệu 2D trên một cảm biến đo xa laser đã đề xuất một giải thuật để xây dựng thử nghiệm bản đồ dẫn đường 2D chứa các thông tin phong phú từ các điểm ảnh 3D. Việc sử dụng các giá trị định vị tin cậy bằng tổng hợp cảm biến với EKF làm các biến tham chiếu cho khâu điều khiển chuyển động cũng đã được nghiên cứu thử nghiệm trong Luận án.

2. Những đóng góp chính của Luận án.

1. Đã thiết kế, xây dựng thành công một robot di động đa cảm biến, đặc biệt là đã xây dựng cải tiến thành công một thiết bị đo xa laser 2D thành một cảm biến đo xa 3D.

2. Đã thực nghiệm thành công quá trình tổng hợp tới 4 cảm biến hiện đại bằng bộ lọc Kalman mở rộng.

3. Đã đề xuất một giải thuật tổng hợp dữ liệu cảm biến IPaBD, cho phép xây dựng thành công bản đồ dẫn đường 2D chứa đựng các thông tin hình ảnh 3D phong phú.

4. Đã thực thi một giải pháp tăng hiệu quả của khâu điều khiển chuyển động cho robot hai bánh vì sai bằng việc chia khâu này thành 2 quá trình với 2 hàm Lyapunov khác nhau, kết hợp với việc tổng hợp dữ liệu cảm biến từ bộ lọc Kalman mở rộng trong vòng điều khiển phản hồi.

3. Hướng phát triển tương lai.

Tất cả kết quả nghiên cứu kể trên chỉ mới thực hiện ở môi trường trong nhà, hướng sắp tới đề tài sẽ áp dụng các kết quả trên cho việc dẫn đường các xe tự hành di chuyển trên các địa hình ngoài trời.