

Nghiên cứu phát triển robot xây dựng bản đồ và định vị đồng thời trên nền tảng ROS

Phan Hoàng Anh, Bùi Duy Nam, Trần Hữu Quốc Đông, Vũ Tiến Đạt, Nguyễn Thị Thanh Vân
Khoa Điện tử Viễn thông, Đại học Công nghệ, Đại học Quốc Gia Hà Nội
Email: anh.ph@vnu.edu.vn, duynam.robotics@gmail.com, dongtran.robotics@gmail.com,
v.d98@gmail.com, vanntt@vnu.edu.vn

Tóm tắt—Bài báo trình bày nghiên cứu, thiết kế một robot có khả năng xây dựng bản đồ và định vị đồng thời (SLAM) trên nền tảng mã nguồn mở của hệ điều hành robot (ROS). Với kích thước nhỏ gọn và chi phí thấp, robot có khả năng tự động di chuyển, thu dữ liệu của môi trường, xây dựng bản đồ và định vị vị trí trên bản đồ của trong môi trường trong nhà có cấu trúc không xác định. Hiệu quả hoạt động của robot được kiểm nghiệm thông qua các đánh giá thực nghiệm trong môi trường thực.

Từ khóa—robot di động, SLAM, RTAB-Map, ROS.

I. GIỚI THIỆU

Ngày nay robot di động được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng liên quan tới hoạt động tự trị, không cần sự giám sát của con người. Hoạt động tự trị của robot di động trong môi trường chưa biết trước liên quan đến khả năng tự nhận biết được môi trường xung quanh, xây dựng bản đồ, định vị, lập kế hoạch đường đi và điều khiển chuyển động [1], [2].

Xây dựng bản đồ và định vị đồng thời hay còn gọi là SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) [3], [4] là một trong những vấn đề đang được quan tâm nghiên cứu nhiều trong những năm gần đây. Phương pháp này dữ liệu từ các cảm biến để tái tạo môi trường hoạt động thông qua việc đưa thông tin môi trường vào một bản đồ 2D hoặc 3D. Trên dữ liệu của bản đồ được xây dựng, robot có thể định vị được trạng thái hay tư thế của mình trong bản đồ. Cảm biến sử dụng trong SLAM được phân thành hai loại: cảm biến ngoại vi (thu nhận dữ liệu từ môi trường bên ngoài) và cảm biến nội vi (xác định sự thay đổi vị trí, hướng hay gia tốc,...). Để tăng độ chính xác, SLAM thường kết hợp các dữ liệu từ nhiều cảm biến thông qua các phương pháp xác suất như Markov, Kalman, PF,...[5], [4], [7]. Tuy nhiên việc sử dụng nhiều cảm biến làm tăng độ phức tạp và chi phí của hệ thống. Hiện nay với sự phát triển của lĩnh vực thị giác máy nên các hệ thống SLAM thường sử dụng camera để thu dữ liệu ảnh từ môi trường hoạt động. Hệ thống SLAM sử dụng cảm biến ảnh có thể hoạt động

trong môi trường ngoài trời hay trong nhà một cách thuận lợi, dễ dàng bởi không phụ thuộc vào số lượng hay vị trí lắp đặt các cảm biến, ví dụ như IPS với các beacon gắn trên tường.

Bên cạnh đó, cùng với xu hướng sử dụng hệ điều hành robot - ROS (Robot Operating System) [8], [12] là phần mềm mã nguồn mở thì phương pháp SLAM đã được phát triển hiệu quả. Phương pháp SLAM sử dụng cảm biến ảnh phổ biến trên nền tảng ROS hiện nay là Visual SLAM. Một số phương pháp Visual SLAM như maplab, ORB-SLAM2, DVO-SLAM, Elastic Fusion, Các phương pháp này giả định camera không bị cản trở hoặc hình ảnh thu được luôn đầy đủ các tính năng. Việc giả định này không phù hợp với thực tế của môi trường động với những thay đổi khó dự đoán trước. Một số các phương pháp Visual SLAM có tính năng mạnh hơn như MCPTAM, RGBDSLAMv2 hay RTAB-Map đã khắc phục được hạn chế trên [9], [10], [11].

Trong các phương pháp Visual SLAM trên thì RTAB-Map tương đối toàn diện khi có thể cung cấp bản đồ dạng lưới 2D (Occupancy Grid) như cách sử dụng cảm biến thông thường hay bản đồ 3D (Octomap). RTAB-Map phát triển trên nền tảng thư viện độc lập C++, phân phối dưới dạng một ROS package có khả năng xử lý thời gian thực, tối ưu hóa chính xác việc định vị và tạo bản đồ thực tế .

Bài báo nghiên cứu xây dựng một robot có khả năng xây dựng bản đồ và định vị đồng thời sử dụng phương pháp RTAB-Map trên nền tảng của ROS. Kích thước của robot nhỏ, thiết bị được lắp đặt phù hợp tối ưu phù hợp với hoạt động của môi trường trong nhà. Robot có khả năng di chuyển tự động, thu dữ liệu, xây dựng bản đồ và định vị vị trí trên bản đồ. Kết quả của SLAM sẽ được sử dụng để lập kế hoạch đường đi cho robot trong hệ thống dẫn đường tự động.

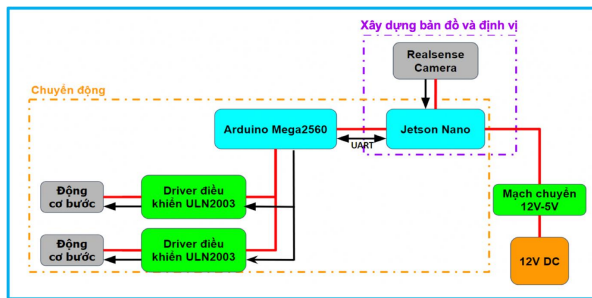
Cấu trúc của bài báo được trình bày trong 4 phần. Phần 1 là giới thiệu và mục tiêu nghiên cứu. Phần 2 trình bày chi tiết về mô hình hệ thống xây dựng bản

đồ và định vị đồng thời. Một số kết quả thực nghiệm để đánh giá hiệu quả hoạt động của robot đề xuất được trình bày trong phần 3. Phần cuối cùng là kết luận và hướng phát triển tiếp theo.

II. MÔ HÌNH HỆ THỐNG

A. Hệ thống phần cứng

Hình 1 thể hiện sơ đồ kết nối các thành phần hệ thống của robot nhằm thực hiện việc di chuyển để xây dựng bản đồ và định vị trong môi trường trong nhà. Các thành phần trong hệ thống được chia thành hai khối chính: khối xây dựng bản đồ và định vị sử dụng camera Realsense D435 kết nối với máy tính Jetson Nano với ROS trên Ubuntu 18.04, khối chuyển động là cơ cấu di chuyển hai bánh vi sai kết nối với vi điều khiển Arduino Mega2560, giao tiếp giữa Arduino và Jetson Nano qua UART. Nguồn điện áp của hai khối này được cung cấp từ khối nguồn 5 - 12 V. Các thành phần phần cứng được

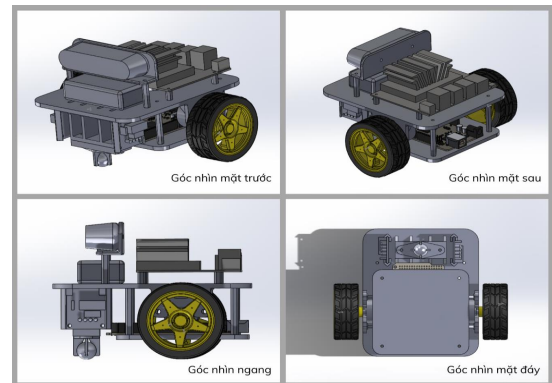


Hình 1. Sơ đồ kết nối các thành phần hệ thống.

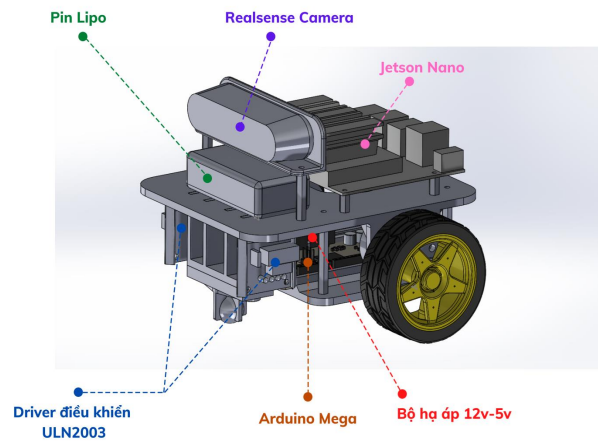
đặt trên một khung robot. Với yêu cầu về trọng lượng nhỏ, độ linh hoạt cao trong môi trường trong nhà nên khung robot được thiết kế bằng công nghệ in 3D với vật liệu nhựa, mô đun hóa cao nên dễ dàng lắp đặt, điều chỉnh. Hình 2 thể hiện mô hình thiết kế 3D của robot. Robot có kích thước 180 cm x 150 cm x 118 mm. Đường kính bánh xe 0,065 m và khoảng cách giữa hai bánh là 0,15 m. Hình 3 mô tả vị trí của lắp đặt các thiết bị trên khung robot. Thiết kế này cho phép tối ưu kích thước của robot mà vẫn đảm bảo an toàn và tính hiệu quả của các thiết bị. Hình ảnh robot thực tế được thể hiện trên Hình 4.

B. Hệ thống phần mềm

Hình 5 thể hiện sơ đồ khối của hệ thống phần mềm điều khiển thực hiện chức năng SLAM. Chương trình hoạt động theo nguyên lý vòng khép kín: thuật toán thăm dò sẽ hoạch định đường đi tự động cho robot trong môi trường chưa biết trước và ước lượng vị trí tương đối của cảm biến, trả về trạng thái robot (x,y,θ) làm dữ



Hình 2. Thiết kế 3D của robot.

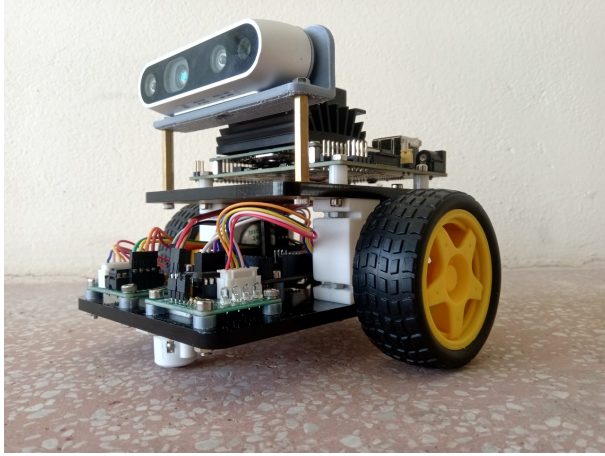


Hình 3. Vị trí các thiết bị trên khung robot.

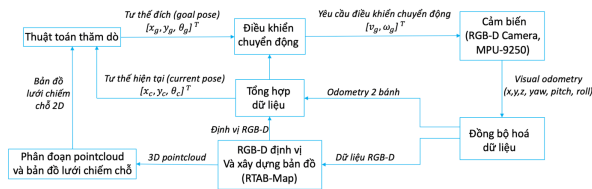
liệu cho khối chuyển động; khối chuyển động sẽ điều khiển chuyển động của robot, đồng bộ hóa odometry từ bánh xe và dữ liệu từ hệ thống cảm biến đưa vào khối xây dựng bản đồ và định vị sử dụng phương pháp RTAB_Map; khối tổng hợp dữ liệu sẽ tổng hợp dữ liệu cảm biến, so sánh tương quan và ước lượng trạng thái tương đối của robot trong bản đồ; phân đoạn Pointcloud lắp ghép các node dữ liệu quan trọng để xây dựng thành bản đồ hoàn chỉnh. Chi tiết của hai khối chính là SLAM và chuyển động được miêu tả trong phần dưới đây.

1) *Khối xây dựng bản đồ và định vị*: Khối xây dựng bản đồ và định vị đồng thời hay còn gọi là SLAM sử dụng camera Realsense D345 để thu ảnh chiều sâu qua thư viện librealsense2. Phương pháp RTAB_Map sẽ xây dựng bản đồ dựa trên sự xuất hiện của sự vật trong thời gian thực. Hình 6 thể hiện sơ đồ khối của phương pháp RTAB_Map với chức năng của các khối như sau:

- Front-end: trích xuất các đặc trưng ảnh RGB và lấy



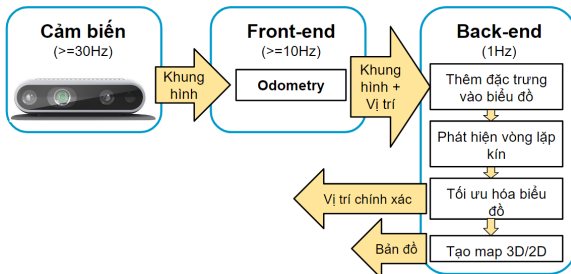
Hình 4. Hình ảnh robot thực tế.



Hình 5. Sơ đồ hệ thống điều khiển.

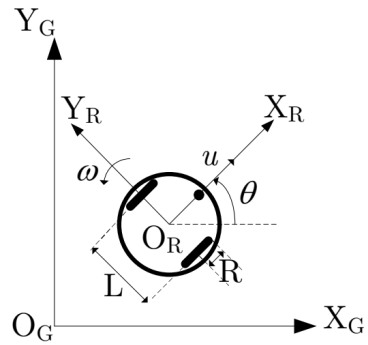
chiều sâu tương ứng của các đặc trưng bằng hình ảnh độ sâu sau đó ước tính chuyển động với các hình ảnh trước đó bằng các đặc trưng 3D tương ứng. Mỗi node trong bản đồ được tạo chứa cả hình ảnh RGB và hình độ sâu với tư thế (odometry).

- Back-end: các liên kết được chuyển đổi giữa mỗi node. Khi bản đồ được cập nhật, RTAB_Map so sánh hình ảnh mới với tất cả các hình ảnh trước đó trong bản đồ để tìm một vòng lặp. Khi tìm thấy một vòng lặp, thực hiện tối ưu hóa bản đồ với các tư thế được chỉnh sửa.



Hình 6. Sơ đồ của phương pháp RTAB_Map.

2) *Khởi chuyển động*: Khởi chuyển động có cấu trúc hai bánh vi sai dẫn động và một bánh dẫn hướng. Hoạt động vi sai dựa trên sự chênh lệch vận tốc giữa hai bánh xe làm cho robot chuyển động theo một cung tròn có tâm nằm trên trục bánh xe. Hình 7 là mô hình động học của cấu trúc hai bánh vi sai trong hệ tọa độ Đề các. Trong đó (X_G, O_G, Y_G) là hệ tọa độ toàn cục, (X_R, O_R, Y_R) là hệ tọa độ gắn với robot. Tư thế của robot bao gồm



Hình 7. Mô hình động học của cấu trúc hai bánh vi sai.

vị trí và hướng trong hệ tọa độ toàn cục được biểu diễn thông qua biến trạng thái (x, y, θ) . R là bán kính bánh xe và L là khoảng cách giữa hai bánh. Vận tốc tuyến tính u và vận tốc góc ω liên quan tới chuyển động của robot. Mô hình động học biểu diễn sự thay đổi trạng thái của robot thông qua các biến vận tốc như sau:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = u(t)\cos(\theta(t)) \\ \dot{y}(t) = u(t)\sin(\theta(t)) \\ \dot{\theta} = \omega(t) \end{cases} \quad (1)$$

Vận tốc tuyến tính u và vận tốc góc ω được xác định thông qua vận tốc góc của bánh trái (ω_L) và bánh phải (ω_R) theo công thức sau:

$$\begin{cases} u(t) = R(\omega_L + \omega_R)/2; \\ \omega(t) = R(\omega_R - \omega_L)/L \end{cases} \quad (2)$$

III. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Hiệu quả của hệ thống xây dựng bản đồ và định vị được đánh giá thông qua hoạt động của robot trong môi trường trong nhà. Robot di chuyển với vận tốc trung bình để xây dựng bản đồ với các thông số như sau: vận tốc tuyến tính 0,129 (m/s), vận tốc góc 0,29 (rad/s), tốc độ xử lý ảnh 1 Hz, tần số lấy mẫu dữ liệu 30 Hz.

A. Xây dựng bản đồ và định vị phòng 1

Phòng 1 là phòng thí nghiệm trong nhà có diện tích 50 m², nền lát đá. Hình 8 (a) là hình ảnh thực tế của

của phòng 1. Phòng thí nghiệm có kê các dãy bàn thực nghiệm và có khoảng trống giữa các dãy bàn. Robot di chuyển xung quanh phòng, sử dụng camera để thu ảnh khi di chuyển, từ đó tái tạo lại bản đồ của phòng. Hình 8 (b) là kết quả xây dựng bản đồ 2D của phòng 1. Bản đồ 3D thu được ở Hình 8 (c) là các pointcloud hay còn gọi là đám mây điểm. Đây là tập hợp các điểm trong không gian 3 chiều. Dữ liệu đám mây này biểu thị hình ảnh của một vật thể dưới dạng nhiều điểm trong không gian và mỗi điểm đó mang tọa độ (x, y, z) . Đường màu xanh trong bản đồ thể hiện đường robot đã đi qua, vùng trắng là không gian không có vật thể do đó robot có thể hoạt động trong vùng này, vùng màu đen là nơi robot không hoạt động được do có các vật cản.

Hình 9 biểu diễn chi tiết kết quả xây dựng bản đồ trong từng khu vực của phòng. Do kích thước robot nhỏ, nên thị trường hoạt động của camera ở vùng tầm thấp nhưng thu được ảnh ở khoảng cách xa. Kết quả cho thấy robot có khả năng tái tạo lại bản đồ một cách hiệu quả.

Sau khi bản đồ được xây dựng, vị trí của các điểm trên bản đồ được xác định như trên Hình 10. Tọa độ (x, y) một số điểm (A, B, C, D, E) cần xác định có giá trị trên Bảng I.

Bảng I
ĐỊNH VỊ CÁC VỊ TRÍ TRÊN BẢN ĐỒ

Vị trí	Tọa độ (x, y) (m)
A	(1,430 2,925)
B	(2,470 0,390)
C	(5,850 0,455)
D	(5,655 2,860)
E	(5,655 5,070)

Để đánh giá độ chính xác của phương pháp xây dựng bản đồ và định vị. Bảng II đánh giá khoảng cách các đường trên bản đồ và các đường thực tế tại phòng 1 với các chỉ số như sau: các đường đánh giá được tạo bởi các điểm định vị trong Bảng I; giá trị đo được trên bản đồ; giá trị đo thực tế tại phòng; sai số giữa giá trị đo trên bản đồ và giá trị đo thực tế. Sai số trung bình của các đoạn là 0,028 (m). Sai số này là phù hợp với kích thước của robot.

B. Xây dựng bản đồ và định vị phòng 2

Phòng 2 có diện tích nhỏ, 10 m², với bàn, ghế và tủ. Robot di chuyển quanh phòng để xây dựng bản đồ của phòng. Hình 11 thể hiện kết quả định vị của phòng 2 với bản đồ 2D (Hình 11 (a)) và bản đồ 3D (Hình

Bảng II
ĐÁNH GIÁ KHOẢNG CÁCH CÁC ĐƯỜNG TRÊN BẢN ĐỒ VÀ THỰC TẾ PHÒNG 1

Khoảng cách (m)	Giá trị trên bản đồ (m)	Giá trị thực tế (m)	Sai số (%)
AB	5,92	5,9	0,02
CD	1,89	1,85	0,04
EF	2,01	2,0	0,01
GH	0,91	0,94	0,03
IK	2,7	2,66	0,04

11 (b)). Bản đồ thu được với vùng màu trắng là vùng robot có thể hoạt động và vùng không hoạt động được màu đen do chứa các đồ vật. Các vùng trắng và đen xác định được trên bản đồ giống với các không thực tế của phòng. Kết quả định vị các đường trên bản đồ phòng 2 được thể hiện trên Hình 12. Bảng III cho thấy giá trị khoảng cách của các đường đo trên bản đồ và trên thực tế. Sai số trung bình của các đường là 0.0163 (m). Giá trị sai số này nhỏ hơn trong trường hợp phòng 1 và phù hợp với kích thước của robot. Kết quả thực nghiệm quá

Bảng III
ĐÁNH GIÁ KHOẢNG CÁCH CÁC ĐƯỜNG TRÊN BẢN ĐỒ VÀ THỰC TẾ PHÒNG 2

Khoảng cách (m)	Giá trị trên bản đồ (m)	Giá trị thực tế (m)	Sai số (%)
AB	0,585	0,6	0,015
CD	0,195	0,2	0,005
EF	1,235	1,22	0,015
GH	0,92	0,95	0,03

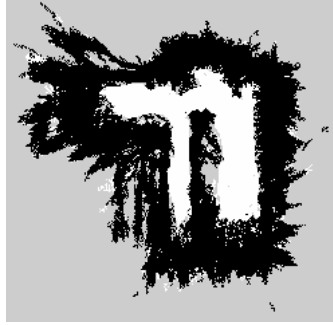
trình xây dựng bản đồ và định vị của robot trong hai phòng trên cho thấy hiệu quả hoạt động của hệ thống SLAM. Hệ thống có khả năng tái tạo lại bản đồ và định vị được các vị trí trên bản đồ. Sai số của hệ thống nhỏ, phù hợp với kích thước của robot.

IV. KẾT LUẬN

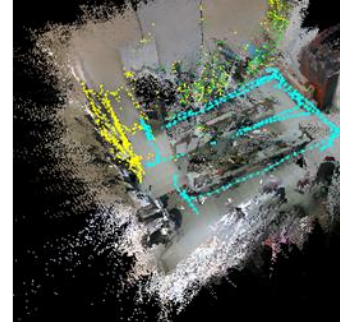
Một robot có kích thước nhỏ gọn, chi phí thấp đã được phát triển trong nghiên cứu này. Phương pháp Visual SLAM trên nền tảng ROS cho phép robot có thể thu dữ liệu của môi trường, xây dựng bản đồ và định vị vị trí của trên bản đồ của môi trường trong nhà. Hiệu quả hoạt động của robot được kiểm nghiệm thông qua các đánh giá thực nghiệm trong phòng thực tế. Kết quả của SLAM sẽ được sử dụng để lập kế hoạch đường đi cho robot trong hệ thống dẫn đường tự động.



(a) Hình ảnh thực tế



(b) Bản đồ 2D

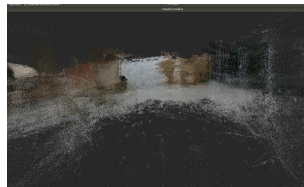


(c) Bản đồ 3D

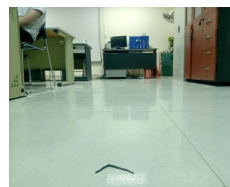
Hình 8. Xây dựng bản đồ phòng 1



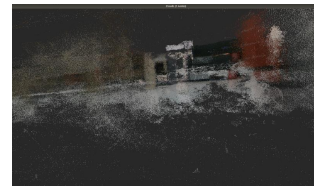
(a) Hình ảnh thực tế 1



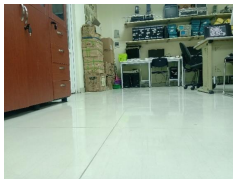
(b) Bản đồ 3D 1



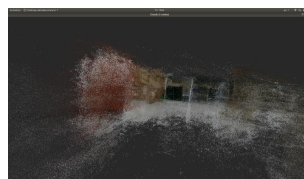
(c) Hình ảnh thực tế 2



(d) Bản đồ 3D 2



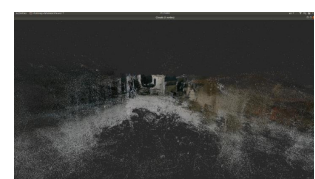
(e) Hình ảnh thực tế 3



(f) Bản đồ 3D 3

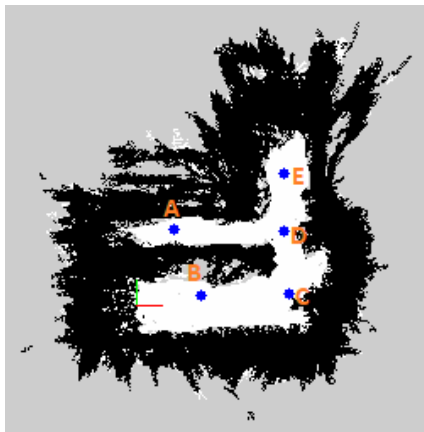


(g) Hình ảnh thực tế 4



(h) Bản đồ 3D 4

Hình 9. Xây dựng bản đồ một số vùng của phòng 1



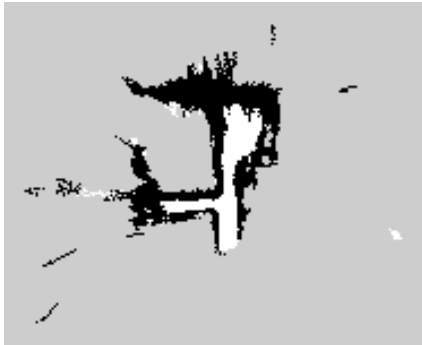
Hình 10. Định vị phòng 1

LỜI CẢM ƠN

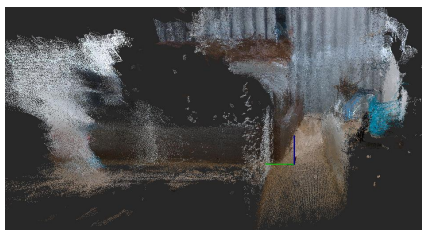
Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Hà nội theo đề tài mã số QG.17.69.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Roland Siegwart, Illah R Noubaskh, "Introduction to Autonomous Mobile Robot", MIT Press, London, England, 2004
- [2] Phillip McKerrow, "Introduction to Robotics", Addison-Wesley, 1991.
- [3] "https://www.gislounge.com/robotic-mapping-simultaneous-localization-and-mapping-slam/"
- [4] Giorgio Grisetti, Rainer Kummerle, Cyrill Stachniss, Wolfram Burgard, "A Tutorial on Graph-Based SLAM", IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, Volume: 2, Issue: 4, 2010
- [5] Dieter Fox, Wolfram Burgard, and Sebastian Thrun, "Markov Localization for Mobile Robots in Dynamic Environments", Journal of Artificial Intelligence Research 11, pp 391-427, 1999
- [6] D. Simon, "Optimal State Estimation: Kalman, H Infinity, and Nonlinear Approaches", Inc, ISBN 9780471708582, 2006.
- [7] E. A. Wan and R. v. d. Merwe, "The Unscented Kalman Filter for Nonlinear Estimation", Proceedings of Symposium 2000 on Adaptive Systems for Signal Processing, Communication and Control (AS-SPCC), Lake Louise, Alberta, Canada, 2000
- [8] ROS: <http://wiki.ros.org/Documentation>
- [9] Sarganil Das, "Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) using RTAB-Map", 2018.
- [10] D. Schleicher, L.Bergasa, M.Ocan, R.Barea and E.Lo pez "Real-time hierarchical stereo Visual SLAM in large-scale environ-

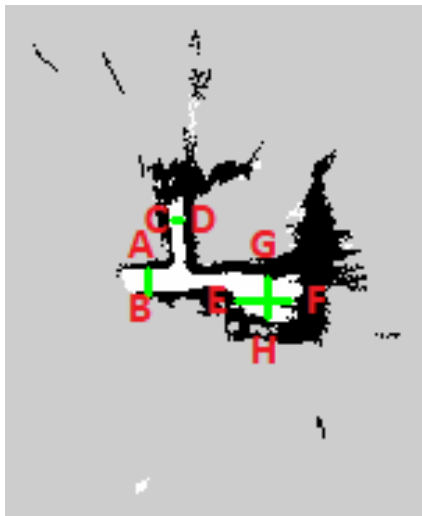


(a) Bản đồ 2D



(b) Bản đồ 3D

Hình 11. Xây dựng bản đồ phòng 2



Hình 12. Định vị phòng 2

ments”, Robotics and Autonomous Systems, vol. 58, no. 8, pp. 991–1002, 2010.

- [11] Nicolas Ragot, Redouane Khemmar, Adithya Pokala, Romain Rossi "Benchmark of Visual SLAM Algorithm: ORB-SLAM2 vs RTAB-Map", Eighth International Conference on Emerging Security Technologies (EST),DOI: 10.1109/EST.2019.8806213 2019
- [12] Bruno M. F. da Silva, Rodrigo S. Xavier and Luiz M. G. Gonçalves "Mapping and Navigation for Indoor Robots under ROS: An Experimental Analysis", Doi: