

AN AUTONOMOUS MOBILE ROBOT SOLUTION FOR PATROLLING AND INTRUDER DETECTION USING YOLOv9

Nguyen Huu Cuong, Luu Trong Hieu*, Ngo Quang Hieu

College of Engineering - Can Tho University

ARTICLE INFO		ABSTRACT
Received:	01/4/2025	This study proposes a solution using a mobile robot for patrolling and detecting intruders in an indoor environment based on the YOLOv9 deep learning model. The robot is designed with a two-wheeled differential drive mechanism and integrated with sensors, including a LiDAR for mapping and an Intel D453i camera for human detection. A PID controller is implemented to ensure stable operation throughout the process. After the SLAM-based mapping phase, the robot performs patrols using the Behavior Tree method on the ROS2 platform. The YOLOv9 deep learning model enables the robot to detect intruders, both with and without masks, in a maze environment. Experimental results show that the robot successfully detects all individuals in the maze after two patrol rounds, functioning effectively in both day and night conditions. These findings highlight the practical potential of mobile robots in patrolling and alarm systems.
Revised:	14/7/2025	
Published:	14/7/2025	
KEYWORDS		
Mobile robot		
YOLOv9		
Patrolling		
Human detection		
Behavior tree		

GIẢI PHÁP TUẦN TRA VÀ PHÁT HIỆN NGƯỜI LẠ BẰNG ROBOT DI ĐỘNG SỬ DỤNG MẠNG HỌC SÂU YOLOv9

Nguyễn Hữu Cường, Lưu Trọng Hiếu*, Ngô Quang Hiếu

Trường Bách Khoa - Trường Đại học Cần Thơ

THÔNG TIN BÀI BÁO		TÓM TẮT
Ngày nhận bài:	01/4/2025	Nghiên cứu này đề xuất một giải pháp sử dụng robot di động để tuần tra và phát hiện người lạ trong phòng kín bằng mạng học sâu YOLOv9. Robot được thiết kế với cơ cấu vi sai hai bánh và tích hợp hệ cảm biến gồm lidar để quét bản đồ và máy ảnh số Intel D453i để nhận diện người lạ. Bộ điều khiển PID giúp robot duy trì hoạt động ổn định trong suốt quá trình vận hành. Sau giai đoạn SLAM tạo bản đồ, robot thực hiện tuần tra bằng phương pháp cây hành vi trên nền tảng ROS2. Mạng học sâu YOLOv9 hỗ trợ nhận diện người lạ, có hoặc không đeo khẩu trang, trong môi trường mê cung. Kết quả thí nghiệm cho thấy robot có thể phát hiện toàn bộ người trong mê cung sau hai lượt tuần tra, hoạt động hiệu quả cả ban ngày lẫn ban đêm. Điều này khẳng định tiềm năng ứng dụng của robot di động trong các nhiệm vụ tuần tra và bảo động.
Ngày hoàn thiện:	14/7/2025	
Ngày đăng:	14/7/2025	
TỪ KHÓA		
Robot di động		
YOLOv9		
Tuần tra		
Phát hiện người		
Cây hành vi		

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.12443>

* Corresponding author. Email: luutronghieu@ctu.edu.vn

1. Giới thiệu

Robot di động là một hệ thống cơ khí tự động có khả năng di chuyển trong không gian nhờ các cơ cấu truyền động như bánh xe, hoặc cơ cấu đặc biệt khác. Chúng được trang bị cảm biến và bộ điều khiển để thu thập thông tin từ môi trường và tự đưa ra quyết định di chuyển. Trên thế giới, trong những năm gần đây, với sự phát triển của hệ phần cứng và phần mềm lập trình, robot di động đã được sử dụng rộng rãi trong nhiều ứng dụng khác nhau. Trên thực tế, trong các hệ thống bán tự động, các ứng dụng robot có thể được sử dụng trong nông nghiệp [1], [2], quy trình công nghiệp [3] và dịch vụ công nghiệp [4], [5]. Thêm vào đó, với sự phát triển mạnh mẽ của các thiết bị di động, robot có thể được tích hợp phát triển lên các hệ điều hành di động [6] – [8].

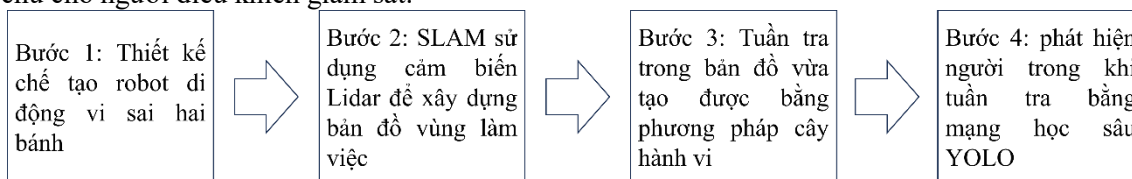
Tại Việt Nam, các nghiên cứu về robot di động tập trung vào xây dựng bộ điều khiển [9], [10], và thiết lập quỹ đạo cho robot bằng mạng thần kinh [11] trong trường hợp có nhiều bên ngoài [12]. Trong một hướng nghiên cứu khác, robot SLAM (simultaneous localization and mapping) xây dựng bản đồ [13] và đánh giá chất lượng bản đồ tạo ra [14].

Tuy nhiên, sau khi quá trình SLAM kết thúc, hầu hết các nghiên cứu chỉ tập trung vào việc đánh giá độ chính xác của bản đồ đã tạo và không cung cấp ứng dụng cụ thể dựa trên bản đồ này. Ngày nay, với sức mạnh của phần cứng mới, máy tính nhúng có thể chạy nhiều ứng dụng lớn như mạng học sâu và trí tuệ nhân tạo. Nghiên cứu này đề xuất một ứng dụng tuần tra robot di động dựa trên mạng học sâu YOLOv9 (You Only Look Once) sau khi robot hoàn thành quá trình SLAM. Cấu trúc của bài báo này bao gồm: phần phương pháp giới thiệu hệ thống phần cứng và cảm biến tích hợp lên robot di động vi sai hai bánh. Quá trình SLAM và tuần tra được thực hiện thông qua hệ điều hành ROS2 (Robot operating system). Một mạng học sâu YOLOv9 được sử dụng để phát hiện người lạ trong khu vực quan sát. Trong phần kết quả, nhóm nghiên cứu trình bày độ chính xác của mạng học sâu và khả năng làm việc của robot trong các nhiệm vụ tuần tra vào cả ban ngày và ban đêm.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Sơ đồ tổng quát của hệ thống

Sơ đồ tổng quát của nghiên cứu này được trình bày như Hình 1. Đầu tiên, nhóm nghiên cứu chế tạo một mô hình robot vi sai hai bánh có tích hợp hệ đa cảm biến, có thể hoạt động tốt ở môi trường trong nhà. Tiếp theo đó, robot được điều khiển thông qua mô hình hình học, SLAM tạo bản đồ thông qua hệ điều hành ROS2. Dựa trên bản đồ được tạo ra, người điều khiển sẽ ra lệnh cho robot đi tuần tra các vị trí cụ thể trong bản đồ thông qua thuật toán cây hành vi. Trong suốt quá trình di chuyển, robot có thể chụp ảnh, phát hiện người và truyền thông tin hình ảnh về máy chủ cho người điều khiển giám sát.



Hình 1. Sơ đồ hoạt động của hệ thống

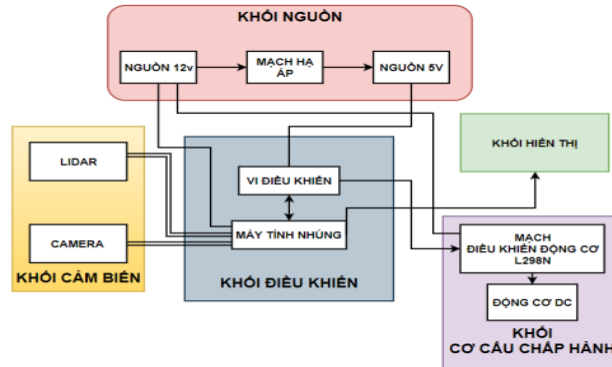
2.2. Thiết kế robot vi sai hai bánh có tích hợp hệ đa cảm biến

Một robot di động vi sai hai bánh chủ động được thiết kế bao gồm các khối như Hình 2 sau:

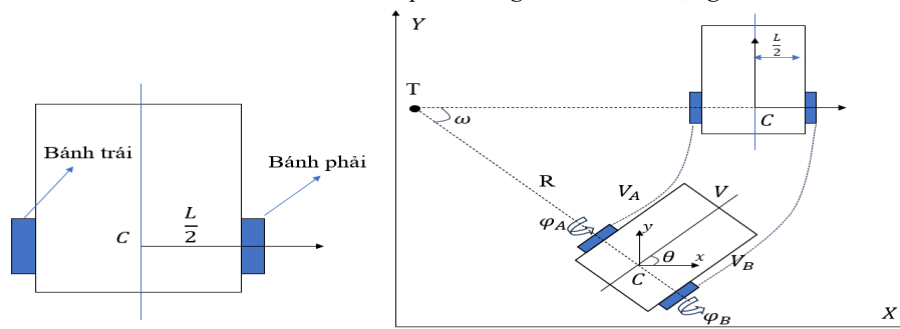
- Khung robot: Được thiết kế bằng phần mềm SolidWorks và chế tạo bằng cắt laser. Khung được làm bằng thép cacbon dày 3 mm để đảm bảo khả năng chịu tải, trọng lượng và độ bền.
- Khối nguồn: Bao gồm pin Lippo 3S, mô-đun hạ áp LM2596, cầu chì, tụ gốm và tụ điện phân. Khối nguồn cung cấp điện áp 12 V cho động cơ và mô-đun điều khiển.

• Hệ thống điều khiển và xử lý: Sử dụng máy tính nhúng Latte Panda Delta 3 kết nối với một Arduino Nano qua cổng USB. Bộ vi điều khiển điều khiển hai động cơ DC thông qua mạch công suất L298. Mặc định, robot di chuyển với tốc độ 0,5 m/s.

• Hệ thống cảm biến: là sự kết hợp của hai cảm biến lidar và máy ảnh RGB-D Intel D453i. Cảm biến lidar LDS-006, có tầm quét trong khoảng 0,2 – 5 m, phù hợp với các ứng dụng trong nhà cho robot như tạo bản đồ, di chuyển và né chướng ngại vật. Cảm biến có tốc độ lấy mẫu là 4500 lần/giây với tần số quét 5 – 8 Hz. Thêm vào đó, máy ảnh RGB-D Intel D453i có tích hợp cảm biến IMU, giúp người điều khiển đọc chính xác góc quay cũng như tính toán được vận tốc và vị trí của robot trong môi trường làm việc.



Hình 2. Sơ đồ kết nối phần cứng của robot di động



Hình 3. Mô hình robot di động và hệ tọa độ quán tính

2.3. Mô hình động học của robot di động

Robot di động được thiết kế và chế tạo dưới dạng vi sai hai bánh chủ động như Hình 3. Gọi L là khoảng cách giữa hai bánh xe với C là trung điểm giữa hai bánh. Vận tốc các bánh lần lượt là bánh trái (V_A, φ_A) và bánh phải (V_B, φ_B). Gọi (T, R) là tâm quay tức thời và bán kính tức thời của robot (x, y, θ) trong hệ tọa độ quán tính (X, Y) (Hình 3). Bằng cách điều chỉnh vận tốc của hai bánh xe, quỹ đạo di chuyển robot cũng được thay đổi. Do vận tốc góc ω là như nhau đối với cả hai bánh xe, phương trình vận tốc có thể được biểu diễn lại như sau:

$$V_A = \omega \left(R - \frac{L}{2} \right) \quad (1)$$

$$V_B = \omega \left(R + \frac{L}{2} \right) \quad (2)$$

Với L là khoảng cách hai bánh, V_A và V_B lần lượt là vận tốc của bánh trái và bánh phải. Vận tốc góc ω và bán kính tức thời R có thể được biểu diễn lại như sau:

$$R = \frac{L V_B + V_A}{2 V_B - V_A} \quad (3)$$

$$\omega = \frac{V_B - V_A}{L} \quad (4)$$

Lúc này, tâm quay tức thời $T(T_x, T_y)$ của robot có thể được biểu diễn như sau:

$$T = (x - R \sin \theta, y + R \cos \theta) \quad (5)$$

Tại thời điểm $t + \Delta t$ bất kỳ, vị trí của robot được tính toán qua phương trình sau:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - T_x \\ y - T_y \\ \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ \omega \Delta t \end{bmatrix} \quad (6)$$

Để thiết lập vận tốc ổn định, một bộ điều khiển PID được thiết kế để điều khiển 2 bánh di chuyển một cách chính xác. Bộ điều khiển PID sử dụng tín hiệu từ hai encoder của động cơ để làm tín hiệu ngõ vào và ngõ ra là vận tốc của robot di động. Phương trình PID được trình bày như sau:

$$RPM = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (7)$$

Với RPM là vận tốc mong muốn; $e(t)$ là sai số vận tốc hiện tại, $e(t) = r(k) - y(k)$ với $r(k)$ là vận tốc xác lập, $y(k)$ là vận tốc đo được trong khoảng thời gian t .

Bằng cách sử dụng phương pháp Ziegler-Nichols [15], bộ điều khiển PID cho hai bánh được thiết lập với giá trị cho động cơ bên phải là $K_p = 20, K_i = 0, K_d = 12.2$ và $K_p = 19.5, K_i = 0, K_d = 12$ cho động cơ bên trái. Quá trình chế tạo và tích hợp hệ cảm biến lên robot di động như Hình 4 với thông số kỹ thuật được thể hiện tại Bảng 1.



Hình 4. Robot di động và các ngoại vi: a) khung robot, b) máy tính nhúng Latte panda 3, c) Lidar lds-006, d) máy ảnh Intel D453i

Bảng 1. Thông số kỹ thuật của robot di động

Thông số kỹ thuật	Đơn vị
Kích thước	250 x 200 x 100 (mm)
Khối lượng	3 (kg)
Vận tốc	0,5 (m/s)
Nguồn	12 (V)
Thời gian hoạt động	2 (giờ)

2.4. Quá trình SLAM xây dựng bản đồ

ROS2 mang lại nhiều lợi ích cho lập trình robot di động, cung cấp một khung làm việc mạnh mẽ và hiệu suất thời gian thực. So với phiên bản trước đó, ROS2 sử dụng phương thức DDS (data distribution service) cho phép truyền thông theo thời gian thực. Điều này giúp ROS2 có độ trễ thấp hơn và dễ dàng giao tiếp giữa các máy tính trong cùng không gian mạng. Trong nghiên cứu này, quá trình SLAM được thực thi thông qua gói dữ liệu Navigation 2 (Nav2 framework). Trong nghiên cứu này, cấu hình SLAM sử dụng cảm biến lidar kết hợp thuật toán định vị AMCL (Adaptive Monte Carlo Localization) với các tham số được cấu hình lại như sau:

- Tần số cập nhật của Lidar: 5 Hz
- Thuật toán xác định vị trí (localization): amcl, với số lượng hạt (particles) là 500 và các tham số nhiều được điều chỉnh phù hợp với đặc tính động học của robot.
- Thuật toán lập kế hoạch đường đi:
 - Định vị toàn cầu (global planner): NavFn
 - Định vị cục bộ (Local planner): DWB (Dynamic Window Approach)
- Tham số bản đồ chi phí (costmap):

• Tần số cập nhật (update_frequency) = 5,0 Hz, đảm bảo tính liên tục trong cập nhật dữ liệu môi trường

• Tần số quét (publish_frequency) = 2,0 Hz, phù hợp với yêu cầu hiển thị và phản hồi

Tham số tránh vật cản:

• Bán kính ảnh hưởng (inflation radius): 0,4 m

• Phạm vi phát hiện vật cản (obstacle range): 2,5 m

Việc lựa chọn cấu hình trên nhằm cân bằng giữa hiệu năng xử lý và khả năng phản ứng kịp thời trong môi trường trong nhà, nơi có nhiều vật cản tĩnh. Đặc biệt, tần số 5 Hz được đánh giá là phù hợp để đảm bảo độ chính xác và độ trễ thấp trong quá trình cập nhật dữ liệu cảm biến và bản đồ.

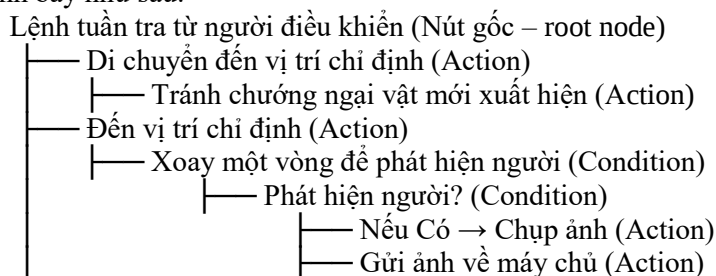
2.5. Điều hướng robot trong bản đồ quan sát sử dụng cây hành vi

Sau khi quá trình SLAM hoàn tất, robot dừng lại chờ lệnh tuần tra từ người điều khiển. Quá trình tuần tra được tiến hành thông qua thuật toán cây hành vi. Khác với các giải pháp thông thường khi sử dụng giải pháp này từ gói Nav2, nhóm nghiên cứu sử dụng hàm thư viện Behavior Trees do Faconti [16] phát triển. Thư viện này cho phép tích hợp các ứng dụng có độ phức tạp cao như xử lý ảnh và nhận dạng người từ mô hình mạng học sâu.

Cây hành vi là một phương pháp có cấu trúc dùng để mô hình hóa quá trình ra quyết định cho các hệ thống tự động, đặc biệt là trong các ứng dụng robot và trí tuệ nhân tạo. Với mô hình cây hành vi, việc thiết kế và lập trình các hành vi điều khiển được thực hiện dưới dạng mô-đun và phân cấp, giúp dễ dàng xác định và điều phối các hành động phức tạp của robot. Điều này không chỉ giúp đơn giản hóa quá trình thiết kế mô hình mà còn tạo điều kiện thuận lợi cho việc mở rộng và cải tiến các chức năng điều khiển trong tương lai. Một cây hành vi thường bao gồm:

- Nút gốc (Root Node) – Điểm bắt đầu thực thi.
- Nút điều kiện (Condition Nodes) – Kiểm tra điều kiện và quyết định hướng đi tiếp theo.
- Nút hành động (Action Nodes) – Thực hiện hành động cụ thể (chạy, nhảy, tấn công...).
- Nút tổ hợp (Composite Nodes) – Điều khiển thứ tự thực thi của các nút con, bao gồm:
 - Bộ chọn (Selector) (|) – Chạy lần lượt các nút con đến khi tìm thấy một nút thành công.
 - Trình tự (Sequence) (→) – Chạy các nút con theo thứ tự, nếu một nút thất bại, toàn bộ thất bại.
 - Song song (Parallel) (||) – Chạy đồng thời nhiều hành vi.

Trong nghiên cứu này, lưu đồ mô hình cây hành vi cho robot di động đi tuần tra trong phòng được trình bày như sau:



2.6. Phát hiện người sử dụng mạng học sâu YOLOv9

YOLO để phát hiện đối tượng là một giải pháp hiệu quả và linh hoạt được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng thị giác máy tính. Dòng YOLO là một mô hình học sâu được thiết kế để nhận dạng và phân loại đối tượng trong hình ảnh và video một cách nhanh chóng và chính xác. YOLOv9 [17] giới thiệu hai kỹ thuật cải tiến: Programmable Gradient Information (PGI) và Generalized Efficient Layer Aggregation Network (GELAN). PGI tăng cường quá trình học bằng cách cải thiện luồng gradient, dẫn đến phát hiện đối tượng chính xác hơn. Trong khi đó, GELAN tinh chỉnh kiến trúc của mạng, tăng cường cả tốc độ và độ chính xác.

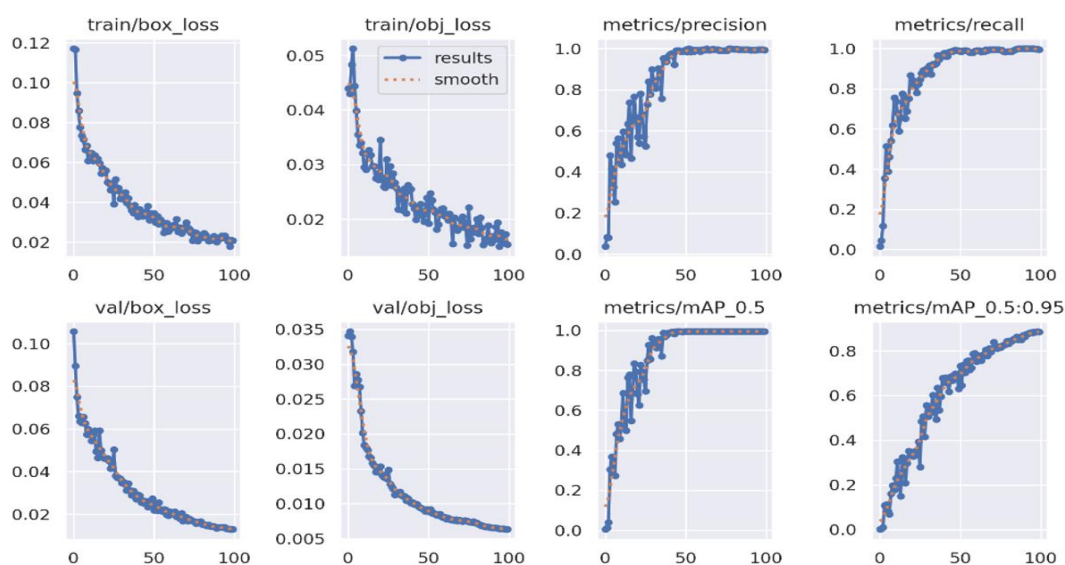
Trong nghiên cứu này, một tập dữ liệu được nhóm tạo ra để huấn luyện cho mô hình. Có tổng cộng 2000 tấm hình có người bao gồm mang khẩu trang, không mang khẩu trang, trời sáng tối được nhóm sử dụng huấn luyện. Máy tính Intel core i7-10700 với ram 16 GB được sử dụng để huấn luyện mô hình. Chi tiết mô hình được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Thông tin tập dữ liệu

Thông tin mô hình	Đơn vị
Số tấm ảnh huấn luyện	2000 hình
Số tấm ảnh kiểm tra	200 hình
Kích thước	640 x 640 pixels
Thời gian huấn luyện	2 giờ

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Phát hiện người sử dụng mạng học sâu YOLO



Hình 5. Đồ thị huấn luyện mô hình mạng học sâu YOLOv9



Hình 6. Kiểm tra độ chính xác của mô hình YOLOv9

Tham số huấn luyện của YOLOv9 được thể hiện trong Hình 5. Sau 50 epoch, mô hình đạt giá trị độ chính xác (precision) và thu hồi (recall) hội tụ ở 95% (Hình 5). Để đánh giá độ chính xác của mô hình đề xuất, nhóm nghiên cứu thử nghiệm mô hình với ảnh trong một số trường hợp bao gồm người đeo khẩu trang, người không đeo khẩu trang và điều kiện ban đêm (Hình 6). Để đánh giá khả năng đáp ứng của mạng học sâu khi tích hợp lên robot di động, kết quả huấn luyện được

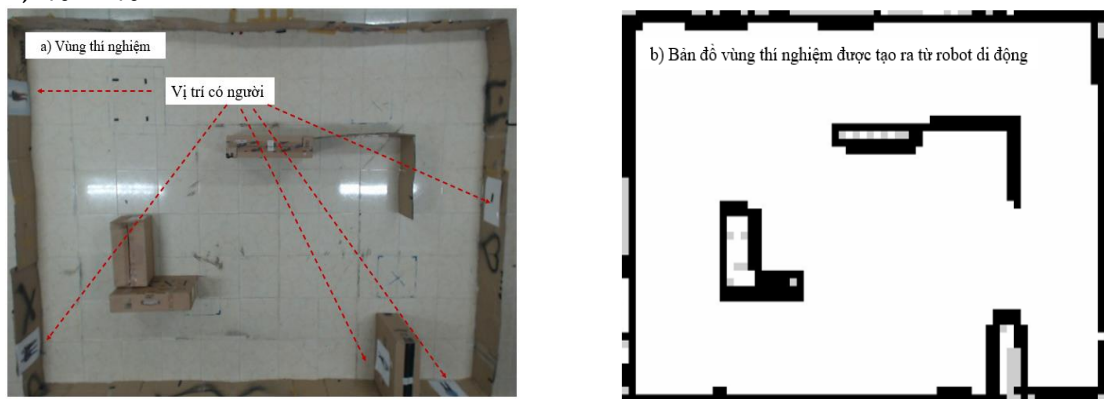
kiểm chứng trong trường hợp ảnh tĩnh và thời gian thực trên máy ảnh intel D453i, kết quả được trình bày tại Bảng 3.

Bảng 3. Phát hiện đối tượng thời gian thực bằng máy ảnh RGB-D

Phương pháp thử nghiệm	Số người	Số người phát hiện	Độ chính xác (%)
Ảnh tĩnh	40	40	100%
Thời gian thực	40	33	82,5%

3.2. Quá trình tuần tra bằng robot di động

Một bản đồ nhân tạo có kích thước $3,3\text{ m} \times 2,4\text{ m}$ được tạo ra với khu vực có người được dán ngẫu nhiên lên các vị trí khác nhau của mê cung như Hình 7. Robot thực hiện quá trình SLAM trong hơn 10 phút với bản đồ tạo ra có kích thước $3,25\text{ m} \times 2,45\text{ m}$ với sai số ước tính tầm $1,5\% \times 2\%$.



Hình 7. SLAM tạo bản đồ



Hình 8. Quá trình tuần tra của robot di động

Sau khi kết thúc quá trình tạo bản đồ, robot đứng yên và đợi lệnh. Lúc này người điều khiển sẽ thiết lập các vị trí cần tuần tra cho robot. Khi đến vị trí đã xác định, robot sẽ quay một góc 180° để quan sát khu vực xung quanh. Quá trình tuần tra của robot cũng được hiển thị thông qua giám sát trực tiếp (remote) bằng giao thức ssh (Hình 8). Trong suốt quá trình di chuyển, robot

cũng có thể tránh các chướng ngại vật mới bất ngờ xuất hiện và tiếp tục nhiệm vụ của mình. Khi phát hiện ra người trong lúc đang tuần tra, máy ảnh sẽ tự động chụp ảnh và gửi đến máy chủ để kiểm tra an ninh sau. Do tích hợp máy ảnh có cảm biến hồng ngoại, robot có thể hoạt động ổn định trong điều kiện ban ngày cũng như ban đêm. Có tổng cộng 7 vị trí với 9 người khác nhau được bố trí trong mê cung. Sau 2 vòng tuần tra, robot đã có thể phát hiện và chụp hình được toàn bộ những người trong mê cung. Quá trình vận hành của robot được chia sẻ tại link sau đây:

https://drive.google.com/drive/folders/1pMrjwd_2YO1xyj-FNKGtQOb96i4vyBdW?usp=sharing

3.3. So sánh với các nghiên cứu khác

Nghiên cứu trước do nhóm tác giả [18] đề xuất một phương pháp tự động hóa và tránh vật cản trong môi trường kho hàng. Quỹ đạo di chuyển của robot được tính toán dựa trên xác suất và chạm nhằm xác định vùng an toàn. Tuy nhiên, do không tích hợp các cảm biến đo khoảng cách, hệ thống vẫn tiềm ẩn nguy cơ xảy ra lỗi trong quá trình vận hành. Bên cạnh đó, nghiên cứu [19] mô phỏng chuyển động của robot di động thực hiện tuần tra trong nhà kho bằng cách sử dụng cảm biến LiDAR trên hệ điều hành ROS2. Giải pháp được xây dựng dựa trên thuật toán Gmapping cho bản đồ 2D cục bộ, tuy nhiên vẫn chưa được triển khai trên mô hình thực tế. Ngoài ra, nghiên cứu [20] đề xuất một chiến lược di chuyển cho robot trong nhà lưới nhằm đảm bảo khả năng bao phủ toàn bộ khu vực trong bản đồ. Kết quả thực nghiệm cho thấy robot có thể tiếp cận khoảng 86% diện tích trong bản đồ cục bộ, thể hiện hiệu quả của giải pháp đề xuất trong điều kiện ứng dụng thực tiễn. Khác với những nghiên cứu trên, nghiên cứu này có tích hợp một mô hình cây hành vi, giúp người điều khiển dễ dàng ra lệnh cho robot thực hiện những tác vụ phức tạp. Thêm vào đó, robot còn được tích hợp một mạng học sâu, giúp nhận dạng người trong vùng tuần tra. Ứng dụng này có ưu điểm hơn hệ thống giám sát bằng máy ảnh do robot có thể di chuyển đến những vùng khuất tầm quan sát. Cụ thể, các so sánh được trình bày tại Bảng 4.

Bảng 4. So sánh các kết quả nghiên cứu với nghiên cứu đề xuất

Nghiên cứu	Mục tiêu đạt được	Phương pháp và kết quả	Nhược điểm
[18]	Tự hành trong nhà kho	Dựa trên xác suất và chạm nhằm tạo vùng an toàn	Không tích hợp hệ thống cảm biến
[19]	Mô phỏng robot tuần tra trong nhà kho sử dụng cảm biến lidar và hệ điều hành ROS2	Sử dụng thuật toán Gmapping cho bản đồ cục bộ	Chưa triển khai ra mô hình thực tế
[20]	Robot tuần tra trong nhà lưới	SLAM và tránh chướng ngại vật bằng thuật toán TEB (Timed Elastic Bands)	Chưa triển khai ra mô hình thực tế
Nghiên cứu hiện tại	SLAM và tuần tra	Sử dụng phương pháp cây hành vi kết hợp mạng học sâu YOLOv9	Chưa phân biệt được người quen và người lạ mặt

4. Kết luận

Nghiên cứu trình bày một giải pháp tuần tra trong không gian kín bằng hệ nhiều cảm biến được tích hợp trên robot di động. Theo đó, một cảm biến lidar được sử dụng để tạo bản đồ và một máy ảnh RGB-D dùng để phát hiện ra người lạ trong điều kiện bình thường lẫn thiếu sáng. Robot đi tuần tra bằng phương pháp cây hành vi trong khi phát hiện ra người lạ bằng một mạng học sâu YOLOv9. Kết quả cho thấy robot có thể hoạt động đi tuần tra đến đúng vị trí mong muốn. Sau hai vòng tuần tra, robot có thể phát hiện ra toàn bộ số ảnh người bố trí trong khu vực thí nghiệm. Kết quả này cho thấy tính ổn định cao của mô hình thiết kế cũng như khả năng thực thi các lệnh tuần tự bằng phương pháp cây hành vi, là cơ sở cho các nghiên cứu sâu hơn bằng robot di động.

Trong nghiên cứu này, mặc dù robot có thể tạo bản đồ tuần tra và phát hiện người trong vùng quan sát, việc nhận dạng người quen, người lạ và vật thể không phù hợp xuất hiện bất thường vẫn chưa được đề cập đến. Trong tương lai, nhóm tích hợp thêm các ứng dụng này cho robot có thể hoàn thiện hơn khả năng tuần tra, để có thể áp dụng vào thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] A. Pretto *et al.*, "Building an aerial-ground robotics system for precision farming: an adaptable solution," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 28, no. 3, pp. 29–49, 2021.
- [2] P. Gonzalez-de-Santos, R. Fernandez, D. Sepulveda, E. Navas, L. Emmi, and M. Armada, "Field robots for intelligent farms-inheriting features from industry," *Agronomy-Basel*, vol. 10, no. 11, 2020, Art. no. 1638.
- [3] F. Rocha *et al.*, "ROSI: A robotic system for harsh outdoor industrial inspection-system design and applications," *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, vol. 103, 2021, Art. no. 30.
- [4] N. Krüger *et al.*, "The SMOOTH-Robot: a modular, interactive service robot," *Frontiers in Robotics and AI*, vol. 8, 2021, Art. no. 645639.
- [5] C. Fan, F. Zeng, S. Shirafuji, and J. Ota, "Development of a three-mobile-robot system for cooperative transportation," *ASME Journal of Mechanisms and Robotics*, vol. 16, no. 2, Feb. 2024, Art. no. 021008, doi: 10.1115/1.4056771.
- [6] D. Alvarado and S. Asif, "A framework for controlling multiple industrial robots using mobile applications," *International Journal of Mechatronics and Automation Research*, vol. 3, no. 1, pp. 13–18, 2021.
- [7] A. Top and M. Gökbulut, "Design of an Android application for autonomous control of a mobile robot," *Nigde Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences*, vol. 13, no. 2, pp. 448–459, 2024, doi: 10.28948/ngumuh.1296747.
- [8] S. Gautam, S. Shah, and S. Kurumbanshi, "Revolutionizing robotics: a scalable and versatile mobile robotic arm for modern applications," in *2023 IEEE Pune Section International Conference (PuneCon)*, Pune, India, 2023, pp. 1–7, doi: 10.1109/PuneCon58714.2023.10450145.
- [9] L. T. T. Vu, "Research and design controller for mobile robot on the basis of sliding mode control method," (in Vietnamese), *TNU Journal of Science and Technology*, vol. 227, no. 8, pp. 95–102, Apr. 2022.
- [10] T. T. T. Tran and T. T. Pham, "Proportional integral derivative sliding mode control for an omni-directional mobile robot," (in Vietnamese), *TNU Journal of Science and Technology*, vol. 227, no. 8, pp. 123–130, Apr. 2022.
- [11] H. T. Nguyen, H. T. Vo, L. Q. Vo, and H. H. Bui, "Design and development of traction tracking control for mobile robots based on neural networks subject to uncertainty parameters and disturbances," (in Vietnamese), *HUIH Journal*, vol. 2024, 2024, Art. no. 286, doi: 10.57001/huih5804.2024.286.
- [12] H. T. Vo, T. T. Than, T. T. Nguyen, and V. Q. Vo, "Research on some control algorithms to compensate for the negative effects of model uncertainty parameters, external interference, and wheeled slip for mobile robot," *Actuators*, vol. 13, 2024, Art. no. 31.
- [13] H. T. Luu, T. C. Vo, N. M. N. Trinh, and N. K. Nguyen, "Design ROS-based SLAM mobile robot four wheels drive," (in Vietnamese), *TNU Journal of Science and Technology*, vol. 227, no. 11, pp. 42–49, 2022, doi: 10.34238/tnu-jst.6113.
- [14] H. T. Luu and C. H. Nguyen, "Mapping and comparison of the quality of 2D and 3D maps from mobile robot," (in Vietnamese), *The University of Danang, Journal of Science and Technology*, vol. 22, no. 10, pp. 13–17, 2024.
- [15] J. B. Ziegler and N. B. Nichols, "Optimum settings for automatic controllers," *ASME Transactions*, vol. 64, pp. 759–768, 1942.
- [16] D. Faconti, "BehaviorTree.CPP," 2023. [Online]. Available: <https://www.behaviortree.dev/>. [Accessed Apr. 24, 2025].
- [17] C.-Y. Wang, I.-H. Yeh, and H.-Y. M. Liao, "YOLOv9: Learning what you want to learn using programmable gradient information," *arXiv preprint*, arXiv:2402.13616, 2024, doi: 10.48550/arXiv.2402.13616.
- [18] M. Labbé and F. Michaud, "Multi-Session Visual SLAM for Illumination-Invariant Re-Localization in Indoor Environments," in *Frontiers in Robotics and AI*, vol. 9, 2022, Art. no. 801886.
- [19] M. N. Nong, N. T. Do, V. Q. Vu, and N. V. Ngo, "A method of obstacle avoidance for amr robot in warehouse automation," (in Vietnamese), *TNU Journal of Science and Technology*, vol. 228, no. 02, pp. 62–69, 2022.
- [20] T. L. H. Pham and T. D. Nguyen, "Constructing local orbit for self-operating robot in agricultural green house based on ROS," (in Vietnamese), *Vietnam Journal of Agricultural Science*, vol. 21, no. 10, pp. 1282 – 1293, 2023.