

UPGRADING A MOBILE ROBOT BASED ON PLATFORM P2DX OUTDATED

Luu Trong Hieu*, Duong Quoc Khanh, Ngo Minh Khoi, Nguyen Duong Linh, Nguyen Khac Nguyen
College of Engineering - Can Tho University

ARTICLE INFO		ABSTRACT
Received:	06/6/2023	This study presents a technique to upgrade an outdated P2DX mobile robot which has lost its control into a device that can work in the laboratory. The entire old controller and sensors have been replaced with a new controller and sensors, keeping only the old motors. The ESP32 microcontroller is used as the main controller and five ultrasonic sensors are used to sense the surrounding environment to help the robot avoid obstacles. The robot is modelling again, follows by a PID controller which allows robot can move stable. To evaluate the automatic operation of the robot, the problem of exiting the maze by the wall-clinging method was applied. Accordingly, a fuzzy logic control is built as a wall following rule to help the robot escape the maze. In addition, a ceiling camera is arranged to collect the trajectory of the robot moving in the maze. Two mazes with different turns were constructed to evaluate the proposed method. The results show that the mobile robot and ceiling camera work well. This result allows further researches such as applying ROS and SLAM in outdoor environment.
Revised:	23/6/2023	
Published:	23/6/2023	
KEYWORDS		
Mobile robot		
Microcontroller ESP32		
PID control		
Fuzzy logic		
Wall following		

CẢI TIẾN MÔ HÌNH ROBOT DI ĐỘNG TRÊN NỀN TẢNG P2DX LỖI THỜI

Luu Trọng Hiếu*, Dương Quốc Khánh, Ngô Minh Khôi, Nguyễn Dương Linh, Nguyễn Khắc Nguyên
Trường Bách Khoa - Trường Đại học Cần Thơ

THÔNG TIN BÀI BÁO		TÓM TẮT
Ngày nhận bài:	06/6/2023	Nghiên cứu này trình bày kỹ thuật nâng cấp robot di động P2DX cũ đã lỗi thời mất khả năng điều khiển thành thiết bị có thể hoạt động trong phòng thí nghiệm. Toàn bộ phần mạch điều khiển và cảm biến cũ đã được thay thế bằng bộ điều khiển và cảm biến mới, chỉ giữ lại các động cơ cũ. Vi điều khiển ESP32 được sử dụng như bộ điều khiển chính. Năm cảm biến siêu âm dùng để cảm nhận môi trường xung quanh giúp robot tránh va chạm vào các chướng ngại vật. Để thiết lập các bộ điều khiển, Robot được mô hình hóa lại, từ đó một bộ điều khiển PID được xây dựng để robot có thể di chuyển một cách ổn định. Để đánh giá khả năng vận hành tự động của robot, bài toán thoát khỏi mê cung bằng phương pháp bám tường được áp dụng. Theo đó, một bộ điều khiển mờ được xây dựng làm bộ điều khiển bám tường giúp cho robot có thể thoát khỏi mê cung. Thêm vào đó, một máy ảnh trần được bố trí để thu thập quỹ đạo của robot di chuyển trong mê cung. Hai mê cung với các góc quẹo khác nhau đã được xây dựng để đánh giá phương pháp đề xuất. Kết quả cho thấy robot di động và camera trần hoạt động tốt. Nghiên cứu này là tiền đề để ứng dụng robot vào các nghiên cứu xa hơn như ứng dụng ROS hoặc SLAM tại môi trường bên ngoài.
Ngày hoàn thiện:	23/6/2023	
Ngày đăng:	23/6/2023	
TỪ KHÓA		
Robot di động		
Vi điều khiển ESP32		
Bộ điều khiển PID		
Bộ điều khiển mờ		
Phương pháp bám tường		

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.8082>

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

1. Giới thiệu

Robot di động hiện nay vẫn tập trung một số lượng lớn các nghiên cứu và tại tất cả các trường lớn trên thế giới đều có các phòng thí nghiệm chuyên về lĩnh vực này. Trong các phòng thí nghiệm lớn, đa số đều sử dụng robot di động đến từ các hãng nổi tiếng như: turtlebot với giá từ 1800 đến 3500 USD; P2DX và P3DX của mobilerobot với giá từ 20.000 đến 50.000 USD. Mặc dù các thiết bị này có tập lệnh rộng, cung cấp nhiều giải pháp hỗ trợ người nghiên cứu, giá tương đối cao so với mặt bằng kinh phí tại các phòng thí nghiệm ở Việt Nam cũng là một hạn chế lớn.

Tại Việt Nam, robot di động vẫn là một chủ đề được nhiều nhà nghiên cứu quan tâm. Các nghiên cứu giải quyết bài toán mô hình hóa bánh xe [1], ổn định điều khiển bánh xe đa hướng [2], điều khiển bánh xe ổn định trong môi trường bất kỳ [3]. Bên cạnh đó, các nghiên cứu cho robot tự động (autonomous mobile robot) như tự động hóa trong nhà kho [4], hoặc tăng cường bám quỹ đạo cho trước [5], hoặc mô phỏng trên các phần mềm cho trước [6]. Nhìn chung, các nghiên cứu đều hướng đến giải quyết bài toán ổn định khi chuyển động của robot, hoặc mô phỏng quá trình tạo bản đồ (mapping). Thêm vào đó, nghiên cứu của các nhóm tác giả [7], [8] thiết kế robot di động di chuyển trong môi trường trong nhà, tuy nhiên đây vẫn là những robot di động tự thiết kế, với độ cơ động vừa phải, chỉ có thể đáp ứng được môi trường bên trong các phòng thí nghiệm với điều kiện môi trường đơn giản. Vì những yếu tố trên, việc nâng cấp những robot di động cũ từ các linh kiện và thiết bị mạch điện tử mới là cần thiết để có thể tiến hành dạy và nghiên cứu kỹ thuật robot di động trong điều kiện nước ta hiện nay.

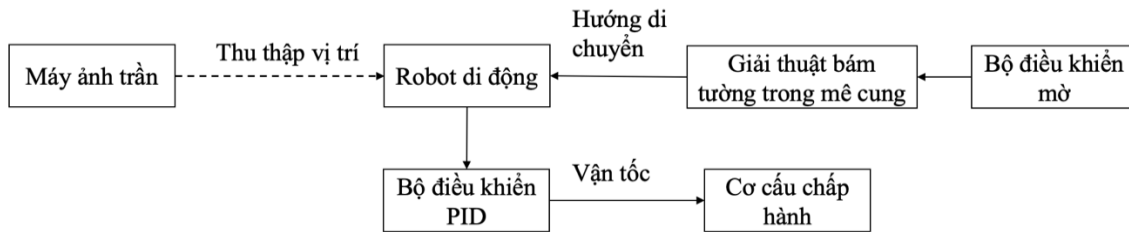
Trên thế giới, các nghiên cứu robot di động dùng để quan sát (tracking) đối tượng vẫn là chủ đề được quan tâm. Thật vậy, các hệ thống quan sát một hướng [9], hệ thống đếm phương tiện giao thông di chuyển trên đường [10]. Bên cạnh đó, các hệ trí thông minh nhân tạo và học sâu cũng được áp dụng để quan sát và theo dõi đối tượng [11], [12]. Từ đó có thể nhận thấy việc nâng cấp mô hình robot di động có ý nghĩa về mặt nghiên cứu khoa học trong nước để có thể theo kịp các nghiên cứu trên thế giới.

Mô hình robot di động P2DX đã trở nên lạc hậu, phần mềm bị thất lạc và không thể kết nối với các thiết bị hiện tại. Vì vậy, một giải pháp thay mới và cải tiến robot di động P2DX được đề xuất. Cụ thể, hệ thống phần cứng bao gồm mạch điện, và cảm biến sẽ được thay mới bằng các linh kiện phổ biến hiện nay. Tiếp đó, quá trình mô hình hóa robot di động cũng được tiến hành, từ đó bộ điều khiển PID sẽ được thiết lập để điều khiển ổn định vận tốc chuyển động của xe. Tiếp đó, thí nghiệm robot di chuyển trong mê cung một ngõ vào một ngõ ra được xây dựng. Robot ra quyết định di chuyển bằng một bộ điều khiển mờ. Bên cạnh đó, một máy ảnh trần được thiết lập để thu thập quá trình di chuyển của robot trong mê cung, từ đó có thể đánh giá được kết quả quá trình nâng cấp robot di động P2DX.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Sơ đồ tổng quát

Thí nghiệm (Hình 1) bao gồm một máy ảnh trần và một robot di động di chuyển trong mê cung. Máy ảnh trần được lắp trên tường ở độ cao 3,38 m so với nền, dùng để thu thập vị trí di chuyển của robot trong mê cung, từ đó có thể đánh giá mức độ thành công của giải thuật được đề xuất cho robot. Tín hiệu của máy ảnh không can thiệp vào hệ điều khiển Robot. Một mê cung nhân tạo một ngõ vào một ngõ ra được nhóm nghiên cứu tạo ra nhằm mục đích đánh giá mức độ ổn định của thuật toán. Robot di động là mô hình P2DX Pioneer cũ được thiết kế lại toàn bộ mạch điều khiển và mạch động lực. Bộ điều khiển PID được thiết lập để điều khiển vận tốc xe thông qua vi điều khiển và cảm biến đặt trên xe. Bộ điều khiển cấp cao gồm bộ điều khiển mờ được áp dụng giải thuật bám tường để Robot có thể di chuyển ra khỏi mê cung.



Hình 1. Mô hình tổng quát của thí nghiệm

2.2. Thiết kế phần cứng

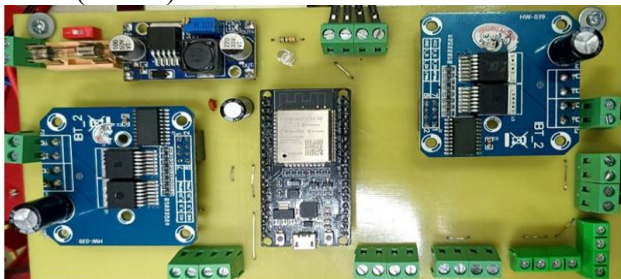
Robot được sử dụng trong nghiên cứu này là mô hình phân cứng P2DX đã bị hư hỏng trong thời gian dài. Phần mạch điều khiển đã bị hư hỏng và phần mềm điều khiển đã trở nên lỗi thời, chỉ còn 2 động cơ DC servo Pittman là được tái sử dụng. Robot nguyên bản P2DX được sản xuất từ năm 1998, có các nhược điểm sau đây:

1- Bộ vxl cũ, phần cứng sử dụng vi điều khiển 68HC11. Đây là vi điều khiển 8-bit cũ, 32KB Ram. Được sản xuất 1984, có tốc độ xung nhịp thấp, khó đáp ứng tốc độ cho các bộ điều khiển hiện đại.

2- Nhóm mạch cảm biến và công suất sử dụng các linh kiện tín hiệu tương tự, khó giải mã và thay thế; tốn năng lượng nhiều hơn so với các linh kiện hiện đại.

3- Phần mềm lập trình C166 chỉ có thể chạy trên windows 95/XP cũ, không thể cài đặt trên windows 10/11 hiện đại; không phù hợp để lập trình các bộ điều khiển cấp cao.

Do đó, mạch điều khiển được thiết kế lại. Trong đó, vi điều khiển ESP32 được sử dụng như bộ điều khiển chính, có thể điều khiển động cơ DC servo thông qua 2 mạch điều khiển động cơ BTS7960 (Hình 2), và thu nhận dữ liệu từ môi trường bên ngoài thông qua cảm biến siêu âm HC-SR04 (Hình 3).

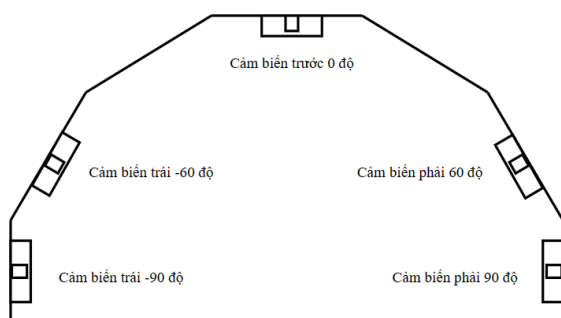


(a) Mạch điều khiển Robot



(b) Bố trí mạch bên trong robot

Hình 2. Bố trí mạch điện cho robot



(a) Sơ đồ bố trí cảm biến siêu âm



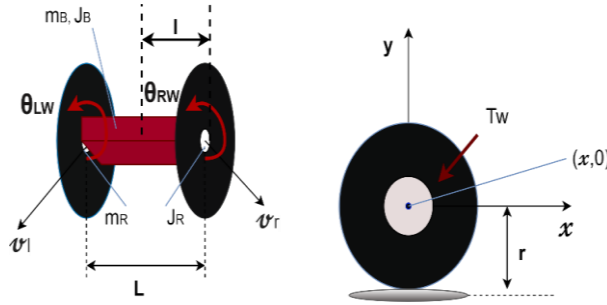
(b) Bố trí cảm biến siêu âm thực tế

Hình 3. Bố trí cảm biến cho robot

2.3. Thiết kế phần mềm

2.3.1. Xây dựng hàm truyền

Do khối lượng của robot đã thay đổi và các thông số kỹ thuật đã thay đổi. Việc tìm lại hàm truyền cho xe để thiết lập các bộ điều khiển là vô cùng quan trọng. Robot di động P2DX có dạng là robot 2 bánh tự cân bằng, có hàm truyền được thiết lập theo [13]. Theo đó, phương trình vi phân của hệ thống:



Hình 4. Mô hình hàm truyền robot tự cân bằng

$$\ddot{x} = \frac{m_B \cdot l}{(m_B + m_R)} \ddot{\theta}_B + \frac{1}{(m_B + m_R)} (T_W - f_R \cdot \dot{x}) \quad (1)$$

$$\ddot{\theta}_B = \frac{m_B \cdot l}{(J_B + m_B \cdot l^2)} \ddot{x} + \frac{m_B \cdot l \cdot g}{(J_B + m_B \cdot l^2)} \theta_B \quad (2)$$

Thay $\ddot{x}$ vào $\ddot{\theta}_B$ và thay $\ddot{\theta}_B$ vào $\ddot{x}$ (3)

$$\ddot{x} = \frac{(T_W - f_R \cdot \dot{x})(J_B + m_B l^2) + m_B^2 l^2 g \theta_B}{p} \quad (4)$$

$$\ddot{\theta}_B = \frac{m_B l (T_W - f_R \cdot \dot{x}) + m_B g (m_B + m_R) \theta_B}{p}$$

Với: $p = J_B(m_B + m_R) + m_B m_R l^2$

Từ đây, áp dụng biến đổi Laplace cho các phương trình vi phân ta thu được:

$$(m_B + m_R) s^2 X(s) + f_R \cdot s \cdot X(s) - m_B \cdot l \cdot s^2 \cdot \theta_B(s) = T_W(s) \quad (5)$$

$$(J_B + m_B \cdot l^2) s^2 \cdot \theta_B(s) - m_B \cdot l \cdot g \cdot \theta_B(s) = m_B \cdot l \cdot s^2 \cdot X(s) \quad (6)$$

$$\Leftrightarrow X(s) = \left[\frac{(J_B + m_B l^2)}{m_B l} - \frac{g}{s^2} \right] \theta_B(s) \quad (7)$$

$$\ddot{\theta}_B = \frac{m_B l (T_W - f_R \cdot \dot{x}) + m_B g (m_B + m_R) \theta_B}{p} \quad (8)$$

Như vậy, hàm truyền liên hệ giữa $\theta_B(s)$ với T_w có dạng

$$\frac{\theta_B(s)}{T_W(s)} = \frac{m_B \cdot l \cdot s}{p s^3 + f_R (J_B + m_B \cdot l^2) s^2 - m_B \cdot l \cdot g (m_B + m_R) s - f_R \cdot m_B \cdot l \cdot g} \quad (9)$$

Trong đó:

- m_r : khối lượng bánh xe.
- m_b : khối lượng thân xe.
- J_r : momen quán tính của bánh xe.
- W_l, W_r : tốc độ quay của bánh trái và bánh phải.
- L : khoảng cách giữa 2 bánh.
- l : chiều dài đo được từ trục của bánh xe tới trọng tâm của thân xe.
- J_B : momen quán tính của thân xe.
- T_W : momen xoắn của xe.
- θ_B : góc nghiêng của xe.

2.3.2. Bộ điều khiển PID

Để điều khiển robot chuyển động, bộ điều khiển PID được thiết lập cho 2 động cơ. Tín hiệu ngõ vào là số xung xác lập (vòng/phút), giá trị ngõ ra là vận tốc động cơ dưới dạng độ rộng xung, tín hiệu hồi tiếp về là số xung đo đặc từ encoder (vòng/phút).

Phương trình PID cho hệ động cơ:

$$Drive = K_p error + K_i \sum error + K_d \frac{d_p}{dt} \quad (10)$$

Trong đó:

error: là sự sai lệch giữa vận tốc của bánh xe được đo bằng encoder và giá trị vận tốc mong muốn.

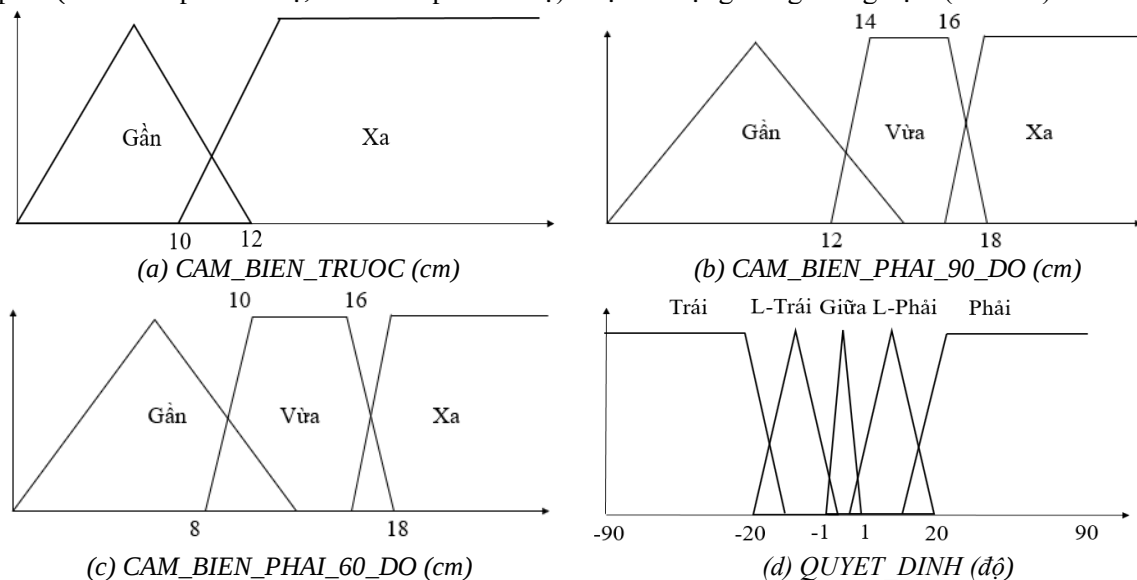
Dựa vào phương pháp Ziegler-Nichols 2, bộ hệ số PID cho robot di động bao gồm các giá trị như sau $K_p = 139,8$; $K_i = 6,21$; $K_d = 7,9$.

2.3.3. Thiết kế bộ điều khiển mờ

Robot di chuyển trong mê cung bằng phương pháp bám tường thông qua bộ điều khiển mờ. Mặc dù bộ điều khiển mờ còn gây tranh cãi trong cộng đồng khoa học, trong trường hợp này ưu điểm của bộ điều khiển mờ so với các phương pháp SLAM là rõ ràng bởi các yếu tố sau:

- Có thể xây dựng bộ điều khiển mờ dễ dàng và nhanh chóng trên vi điều khiển esp32.
- Có độ linh hoạt cao hơn, đánh giá hiệu quả nhanh chóng cũng như dễ dàng thiết lập các thông số: vận tốc, góc quay.
- Có thời gian đáp ứng với tín hiệu thu từ cảm biến tốt từ đó khả năng ra quyết định nhanh hơn.
- Dễ dàng đáp ứng được điều kiện cụ thể, trong nghiên cứu này là dạng mê cung 1 lối vào 1 lối ra với các góc quay có độ nghiêng bất kỳ.

Trong nghiên cứu này, Robot sẽ di chuyển dọc theo cạnh tường bên phải của mê cung từ điểm đầu đến điểm kết thúc. Để thực thi điều đó, 3 cảm biến gồm cảm biến trước và 2 cảm biến bên phải (cảm biến phải 60 độ, cảm biến phải 90 độ) được sử dụng trong thí nghiệm (hình 5b).



Hình 5. Mô hình hóa tín hiệu ngõ vào ra của bộ điều khiển mờ

Giải thuật bám tường được thiết kế cho robot di chuyển dọc theo bên phải tường của mê cung. Cảm biến hồng ngoại lắp trên xe để xác định khoảng cách từ xe đến chướng ngại vật phía trước và bên phải từ đó bộ điều khiển ra quyết định chuyển động cho robot tiếp tục di chuyển bám tường, dừng lại hay rẽ trái hoặc rẽ phải. Tín hiệu ngõ vào được mờ hóa thành 3 tập mờ

CAM_BIEN_TRUOC, CAM_BIEN_PHAI_1, CAM_BIEN_PHAI_2. Tín hiệu ngõ ra là chuyển động của robot, được mờ hóa thành tập mờ QUYET_DINH. Cả 4 tập mờ được trình bày như sau:

- CAM_BIEN_TRUOC = {Gần, Xa},
- CAM_BIEN_PHAI_60_DO = {Gần, Vừa, Xa},
- CAM_BIEN_PHAI_90_DO = {Gần, Vừa, Xa},
- QUYET_DINH = {Trái, L_Trái, Giữa, L_Phải, Phải}.

Mô hình hóa tín hiệu ngõ vào, ra của bộ điều khiển mờ được trình bày tại hình 5.

Dựa trên mô hình hóa tín hiệu ngõ vào, bộ luật mờ được xây dựng. Bộ luật mờ là tập hợp các quyết định di chuyển của robot dựa trên tín hiệu ngõ vào đã được mô hình hóa. Mục tiêu của bộ luật mờ là cho phép Robot di động có thể ra quyết định di chuyển bám tường một cách chính xác, từ đó robot có thể dễ dàng di chuyển trong mê cung. Có tất cả 18 luật mờ dựa trên tín hiệu ngõ vào của 3 cảm biến; từ đó Robot ra quyết định di chuyển trong 5 trường hợp khác nhau.

Bảng 1. Xây dựng bộ luật mờ

Cảm biến trước	Cảm biến phải 90 độ	Cảm biến phải 60 độ	Di chuyển
Gần	Gần	Gần	L-Trái
Gần	Gần	Vừa	L-Trái
Gần	Gần	Xa	L-Trái
Gần	Vừa	Gần	Trái
Gần	Vừa	Vừa	Trái
Gần	Vừa	Xa	Trái
Gần	Xa	Gần	L-Phải
Gần	Xa	Vừa	L-Phải
Gần	Xa	Xa	L-Phải
Xa	Gần	Gần	L-Trái
Xa	Gần	Vừa	L-Trái
Xa	Gần	Xa	L-Trái
Xa	Vừa	Gần	Giữa
Xa	Vừa	Vừa	Giữa
Xa	Vừa	Xa	Giữa
Xa	Xa	Gần	L-Phải
Xa	Xa	Vừa	L-Phải
Xa	Xa	Xa	L-Phải

2.4. Xác định vị trí robot trong mê cung bằng phương pháp thị giác máy tính

Xe di chuyển trong mê cung được theo dõi bằng một máy ảnh thương mại được cố định trên trần. Độ cao từ trần nhà xuống nền là 3,3 m. Diện tích vùng quan sát của máy ảnh tầm $4,5 \times 4,5 \text{ m}^2$. Tại độ cao này, máy ảnh có thể xác định rõ được vị trí xe so với môi trường xung quanh.

Giải pháp nhận dạng xe từ môi trường được tiến hành thông qua giải pháp phân ngưỡng. Ảnh thu được sẽ được chuyển đổi từ không gian màu RGB sang HSV. Sau đó, một phương pháp ngưỡng (threshold) được áp dụng với các tham số ngưỡng tối thiểu và tối đa của HSV lần lượt là HSV_min(26, 50, 0) và HSV_max(124, 255, 255). Kết quả phân ngưỡng cho thấy dễ dàng xác định được vị trí xe trong vùng quan sát, sau đó, tâm xe sẽ được xác định và lưu lại trên khung ảnh. Quỹ đạo di chuyển của xe là tập hợp của toàn bộ tâm xe.

3. Kết quả nghiên cứu

Thí nghiệm được tiến hành tại phòng thí nghiệm Hệ thống thông minh, Khoa Tự động hóa, Trường Bách khoa Cần Thơ. Diện tích mê cung tầm $4 \times 4 \text{ m}^2$. Đây là diện tích vừa đủ trong vùng quan sát của webcam trần.

Hai mô hình mê cung đã được xây dựng để đánh giá tính ổn định của bộ điều khiển mờ và bộ điều khiển PID (Hình 6, Hình 7). Một cách chi tiết, mê cung x chỉ gồm các góc vuông 90 độ,

trong khi mê cung xx gồm các góc nghiêng ngẫu nhiên bất kỳ. Kết quả cho thấy robot có thể bám tường một cách chính xác, từ đó robot có thể di chuyển ra khỏi cả hai mê cung.

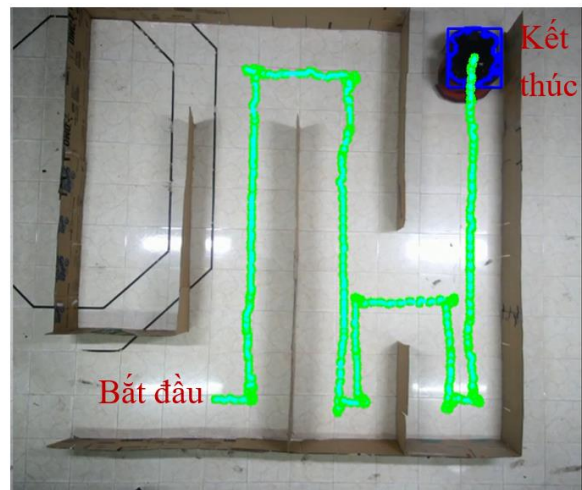
Đường xanh trong cả hai hình thể hiện cho quỹ đạo di chuyển của robot được định vị từ webcam. Kết quả cho thấy định vị cho kết quả tốt, có thể dễ dàng nhận ra quỹ đạo di chuyển của robot trong suốt thời gian di chuyển trong mê cung.

Để cụ thể hơn, các đoạn clip ghi lại quá trình di chuyển và định vị robot di động bằng máy ảnh trần có thể được quan sát cụ thể theo đường link sau:

https://drive.google.com/drive/folders/12sfIw5x0QjFCD_HyvtM4V8TptCLrNlgx?usp=sharing

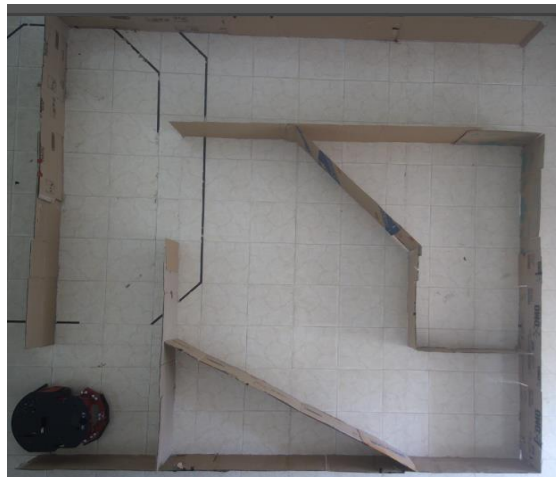


(a) Mê cung 1 thực tế

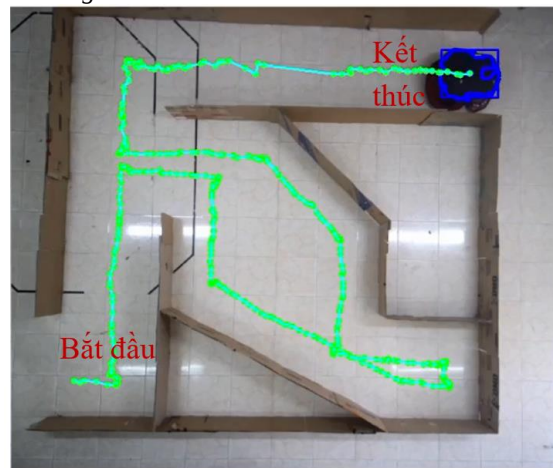


(b) kết quả di chuyển trong mê cung 1 thu được từ máy ảnh trần

Hình 6. Mê cung 1



(a) Mê cung 2 thực tế



(b) Kết quả di chuyển trong mê cung 2 thu được từ máy ảnh trần

Hình 7. Mê cung 2

4. Kết luận và kiến nghị

Nghiên cứu này xây dựng lại mô hình mạch điều khiển và hệ thống cảm biến cho Robot di động P2DX. Phần mạch điều khiển gồm 1 vi điều khiển ESP32 trong khi đó phần cảm biến gồm 5 cảm biến được đặt phía trước của xe. Để đánh giá khả năng đáp ứng của mô hình, thí nghiệm Robot di chuyển trong mê cung một ngõ vào ra bằng phương pháp bám tường được thiết lập. Theo đó, robot bám tường bên phải trong suốt quá trình di chuyển. Bộ điều khiển PID được thiết

lập cho hệ cơ cấu chấp hành để Robot có thể di chuyển; trong khi đó bộ điều khiển mờ được thiết lập để Robot ra các quyết định như dừng lại, quay và đi thẳng. Thêm vào đó, một webcam trần được lắp đặt để thu thập vị trí của Robot di chuyển trong mê cung. Phương pháp phân ngưỡng dựa trên biến đổi màu RGB sang HSV được áp dụng. Kết quả thu thập cho thấy webcam có thể xác định tốt vị trí của Robot di chuyển trong hai mê cung. Kết quả này là nền tảng quan trọng để nhóm nghiên cứu có thể ứng dụng Robot di động vào các nghiên cứu xa hơn như: SLAM ngoài trời (outdoor SLAM) hoặc hệ định vị bên ngoài (outdoor navigation).

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] T. V. Nguyen, C. T. Pham, and T. M. Pham, "Modelling and Controlling a Non-holonomic Wheeled Mobile Robot with Lateral Slip," (in Vietnamese), *Viet Nam Science Journal*, vol. 4, no.1, pp. 1-6, 2015.
- [2] N. C. Tran and T. T. V. Nguyen, "Control stability multi-directional mobile robot," (in Vietnamese), *The 22st National Conference on Electronics, Communications and Information Technology (REV-ECIT 2019)*, Hanoi, 2019, pp. 144-149.
- [3] N. C. Tran, T. P. D. Chu, and T. T. V. Nguyen, "Mobile robot stability control system using fuzzy logic control," (in Vietnamese), *The National Conference on Electronics, Communications and Information Technology (REC-ECIT)*, Hanoi, Vietnam, 2018, pp. 1-6.
- [4] M. N. Nong, N. T. Do, V. Q. Vu, and N. V. Ngo, "A method of obstacle avoidance for arm robot in warehouse automation," (in Vietnamese), *TNU Journal of Science and Technology*, vol. 228, no. 02, pp. 62-69, 2022.
- [5] V. H. Roan, K. L. Lai, and T. T. H. Le, "Research of trajectory tracking control for mobile robot based on reinforcement learning technique," (in Vietnamese), *TNU Journal of Science and Technology*, vol. 227, no. 08, pp. 482-491, 2022.
- [6] T. H. Luu, L. H. Le, and H. H. Nguyen, "Design and simulation of fuzzy control for mobile robot," (in Vietnamese), *Journal of Science and Technology – The University of Da Nang*, vol. 1, no. 86, pp. 48-51. 2015.
- [7] M. B. Dinh, V. A. Dang, T. C. Nguyen, and V. X. Hoang, "Evaluation and Optimization of Hector SLAM Algorithm Mapping and Positioning Application on Pimouse Robot," (in Vietnamese), *The National Conference on Electronics, Communications and Information Technology (REV - ECIT)*, 2021, Hanoi, Vietnam.
- [8] T. H. Luu, C. T. Vo, N. M. N. Trinh, and K. N. Nguyen, "Design ROS-based SLAM Robot for wheels drive," (in Vietnamese), *TNU Journal of Science and Technology*, vol. 227, no. 11, pp. 42-49, 2022.
- [9] Jia. S. Zang, R. Li, X. Zhang, and X. Li, "Monocular Robot Tracking Scheme Based on Fully-Convolutional Siamese Networks," in *Proceedings of the Chinese Automation Congress*, Xi'an, China, 30 November–2 December 2018, pp. 2616–2620.
- [10] C. Wang, X. Sun, X. Chen, and W. Zeng, "Real-Time Object Tracking with Motion Information," in *Proceedings of the IEEE Visual Communications and Image Processing*, Taichung, Taiwan, December 9–12, 2018, pp. 1–4.
- [11] L. Bertinetto, J. Valmadre, J. F. Henriques, A. Vedaldi, and P. H. S. Torr, "Fully-Convolutional Siamese Networks for Object Tracking," *Lecture Notes in Computer Science*, Springer: Cham, Switzerland, vol. 9914, pp. 850–865, 2016.
- [12] H. Fan and H. Ling, "Cascaded Region Proposal Networks for Real-Time Visual Tracking," in *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Long Beach, CA, USA, June 15–20, 2019, pp. 7944–7953.
- [13] F. Grasser, A. D'Arrigo, S. Colombi, and A. C. Rufer, "JOE: a mobile, inverted pendulum," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 49, no. 1, pp. 107-114, Feb. 2002, doi: 10.1109/41.982254.