

DOI:10.22144/ctujos.2024.471

## ĐỊNH HƯỚNG VÀ ĐIỀU KHIỂN ROBOT DI ĐỘNG DỰA TRÊN CÔNG NGHỆ ĐỊNH VỊ GPS VÀ CẢM BIẾN LA BÀN

Luu Trọng Hiếu<sup>1</sup>, Nguyễn Chí Ngôn<sup>1\*</sup>, Hà Tấn Đạt<sup>2</sup> và Phạm Quang Thế<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Khoa Tự động Hóa, Trường Bách Khoa, Trường Đại học Cần Thơ, Việt Nam

<sup>2</sup>Sinh viên kỹ thuật cơ điện tử K46, Trường Bách Khoa, Trường Đại học Cần Thơ, Việt Nam

\*Tác giả liên hệ (Corresponding author): [ncngon@ctu.edu.vn](mailto:ncngon@ctu.edu.vn)

### Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 17/04/2024

Sửa bài (Revised): 12/05/2024

Duyệt đăng (Accepted): 15/07/2024

**Title:** Navigation and controlling mobile robot based on GPS technology

**Author(s):** Luu Trong Hieu<sup>1</sup>, Nguyen Chi Ngon<sup>1\*</sup>, Ha Tan Dat<sup>2</sup> and Pham Quang The<sup>2</sup>

**Affiliation(s):** <sup>1</sup>Department of Automation, College of Engineering, Can Tho University, Viet Nam; <sup>2</sup>Student K46 of Mechatronics Engineering, College Engineering, Can Tho University, Viet Nam

### TÓM TẮT

Nghiên cứu này trình bày một giải pháp tích hợp hệ nhiều cảm biến định vị vào robot di động để điều khiển robot đến vị trí mong muốn trong môi trường bên ngoài. Trái tim của hệ là một vi điều khiển esp8266 có thể tính toán được nhiều phương trình theo thời gian thực. Vi điều khiển nhận tín hiệu từ cảm biến la bàn để xác định góc quay đến vị trí mong muốn và cập nhật giá trị cảm biến GPS được dùng để định vị và cập nhật dữ liệu liên tục trong suốt quá trình di chuyển trong môi trường bên ngoài. Thí nghiệm được tiến hành ở một sân trống tại trường Bách Khoa, Trường Đại học Cần Thơ trong điều kiện thời tiết tương đối thuận lợi. Kết quả cho thấy robot có thể di chuyển đến các vị trí mong muốn. Nghiên cứu này là tiền đề cho việc áp dụng thêm các giải thuật và công nghệ cao cấp vào robot di động trong điều kiện bên ngoài.

**Từ khóa:** Cảm biến GPS và la bàn, hệ thống tự định hướng, môi trường bên ngoài, Robot di động

### ABSTRACT

This study presents a solution to integrate a system of multiple positioning sensors into a mobile robot to control the robot to the desired position in the external environment. The heart of the system is an esp8266 microcontroller that can calculate equations in real time control. The microcontroller receives signals from the compass sensor to determine the rotation angle of the head of the robot to the desired location, it updates the global positioning system (GPS) sensor value used for navigation and continuously updates data during movement in the outdoor environment. The experiment was conducted in an open yard at College of Engineering, Can Tho University, under relatively favorable weather conditions. The results showed that the robot can move to the desired positions. This research is a premise to apply more advanced algorithms and technology to mobile robots.

**Keywords:** GPS and compass sensors, mobile robot, navigation system, outdoor environment

### 1. GIỚI THIỆU

Robot di động (mobile robot) là dạng mô hình thiết bị cơ khí linh hoạt được thiết kế để làm các công việc từ đơn giản đến phức tạp tùy theo yêu cầu của từng nhiệm vụ khác nhau. Robot di động tìm thấy trong vô số lĩnh vực, bao gồm hậu cần, chăm sóc sức khỏe, nông nghiệp và thăm dò những khu vực nguy hiểm cho con người.

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 (Zhang et al., 2018) hệ thống đếm phương tiện giao thông di chuyển trên đường (Wang et al., 2018) bằng các máy ảnh 3D và cảm biến nhiệt cho các robot tự hành trên đường đang là chủ đề được nghiên cứu. 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 (Bertinetto et al., 2016; Fan et al., 2019) từ các cảm biến ba chiều.

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 (Nguyen et al., 2016) ổn định điều khiển bánh xe đa hướng (Tran et al., 2019) điều khiển bánh xe ổn định trong môi trường bất kỳ. Bên cạnh đó, các nghiên cứu cho robot tự động (autonomous mobile robot) như tự động hóa trong nhà kho (Nong et al., 2022) và nhà lưới nông nghiệp (Pham et al., 2023), hoặc tăng cường bám quỹ đạo cho trước (Roan et al., 2022) hay hệ thống định vị vị trí (Nguyen et al., 2021). 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), điều kiện robot tương tác vẫn là môi trường trong nhà (indoor environment).

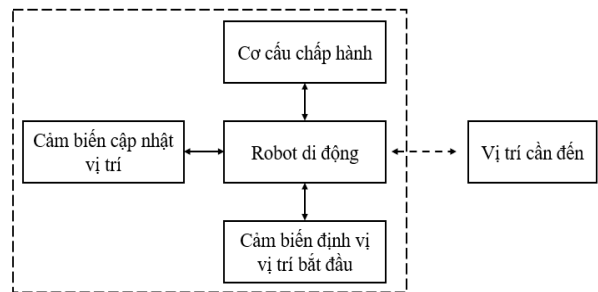
### 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

#### 2.1. Sơ đồ tổng quát của robot

Robot (Hình 1a) được sử dụng trong nghiên cứu có phần cứng là P2DX, tuy nhiên phần cứng cũ lạc hậu đã được loại bỏ. Sơ đồ tổng quát của robot được trình bày như Hình 1b.



a. Robot di động dùng trong nghiên cứu



b. Sơ đồ tổng quát của hệ thống

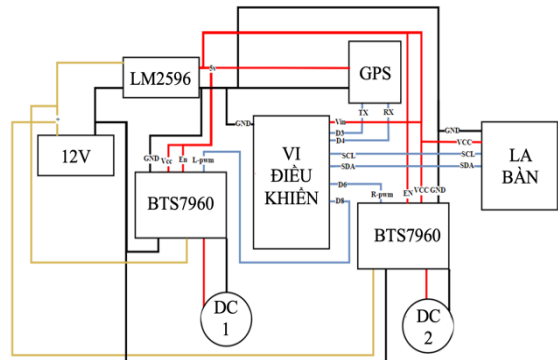
Hình 1. Robot di động và sơ đồ tổng quát của hệ thống (a) robot trong nghiên cứu, b) sơ đồ tổng quát

Bộ điều khiển của robot di động là một vi điều khiển 32-bit esp8266 có nhiệm vụ điều khiển các cơ cấu chấp hành bằng bộ điều khiển PID. Khi bắt đầu tìm đường đến vị trí cần đến, robot xác định vị trí ban đầu và góc quay một cách tự động thông qua cảm biến la bàn HMC5883, và tự động tính toán vị trí và góc quay của đầu robot tới điểm cần đến. Tiếp đó, vị trí robot và góc hợp vị trí đến luôn được cập nhật liên tục thông qua cảm biến GPS. Sau khi đến gần vị trí mong muốn, quá trình định vị góc quay và di chuyển được lặp lại đến khi hoàn thành quỹ đạo chuyển động.

#### 2.2. Thiết kế phần cứng

Phần cứng của robot di động được nâng cấp lại và đã được công bố (Luu et al., 2023). Trong nghiên cứu này, để đáp ứng khả năng di chuyển của robot

tại môi trường bên ngoài, cảm biến GPS neo đã được tích hợp vào hệ thống. Lúc này, bố trí mạch điều khiển của robot được thể hiện như Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ kết nối phần cứng của robot

Khối nguồn bao gồm bình ắc-quy 12v-4.2Ah và một mạch hạ áp LM2596 để cấp nguồn cho vi điều khiển và các cơ cấu chấp hành trong robot.

Khối vi điều khiển gồm vi điều khiển 8266 dùng để điều khiển các mạch lái, cập nhật vị trí trong môi trường bên ngoài từ các cảm biến, tính toán khoảng cách di chuyển đến vị trí mong muốn.

Khối cảm biến vị trí bao gồm cảm biến GPS-NEO 6m là dòng cảm biến GPS với tần số L1 (1575.42Mhz), hỗ trợ hệ thống SBAS (Satellite-Based Augmentation Systems) (gồm các hệ WAAS, EGNOS, MSAS) và đều có khả năng cung cấp dữ liệu thô.

Khối cảm biến định vị bao gồm la bàn HMC5883, giao tiếp I2C với vi điều khiển, được dùng để đo từ trường của trái đất nhằm xác định phương hướng với độ chính xác lên đến 1 hoặc 2 độ

Khối điều khiển động cơ gồm: mạch điều khiển BTS7960 hoạt động dựa trên nguyên lý cầu H, điện áp hoạt động từ 5.5V đến 27V với dòng tối đa là 43A. Và động cơ Pittman DC có điện áp hoạt động 12V hoặc 24V, tốc độ quay khoảng 5000 vòng/phút.

**2.3. Thiết lập bộ điều khiển PID**

Để robot chuyển động ổn định và chính xác, một bộ điều khiển PID được thiết lập cho 2 động cơ. Tín hiệu ngõ vào là số xung (vòng/phút) và ngõ ra là độ rộng xung được đo từ encoder của động cơ. Hàm truyền của robot được công bố tại Lưu và ctv. (2023).

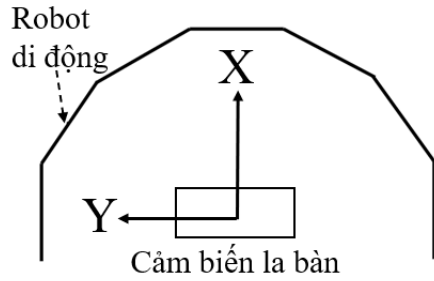
$$G(s) = \frac{14.3s}{s^3 + 0.43s^2 - 20.68s - 21.12} \quad (1)$$

Bộ điều khiển PID được tìm bằng phương pháp Ziegler-Nichols 2 với bộ thông số lần lượt là  $K_p = 139,8, K_i = 621, K_D = 7,9$ . Lúc này, hàm truyền của hệ thống được viết lại như sau:

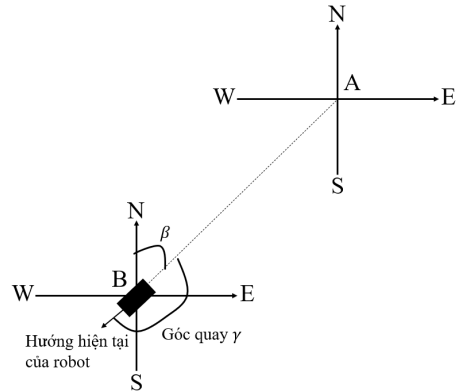
$$G_{PID}(s) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} + T_d \cdot s\right) = 139,8 + \frac{621}{s} + 7,9s \quad (2)$$

**2.4. Định vị góc và hướng của robot di động**

Robot được bố trí ngẫu nhiên trên địa hình, để xác định được vị trí góc ban đầu của robot, một cảm biến la bàn HMC5883 được bố trí trực tiếp trên xe. Ngõ ra cảm biến  $(\varphi, \lambda)$  lần lượt là kinh độ và vĩ độ vị trí hiện tại của thiết bị (Hình 3).



**Hình 3. Bố trí cảm biến la bàn**



**Hình 4. Vị trí xe và góc cần đến**

Theo Hình 4, gọi vị trí hiện tại của robot là A  $(\varphi_1, \lambda_1)$  vị trí cần đến là B  $(\varphi_2, \lambda_2)$  và góc cần quay  $\gamma$ . Phương pháp xác định góc và hướng ban đầu được xác định dựa theo phương trình sau:

$$\beta = \text{atan2}(X, Y) * \frac{180}{\pi} \quad (3)$$

$$X = \cos \varphi_2 * \sin (\theta_2 - \theta_1) \quad (4)$$

$$Y = \cos \varphi_1 * \sin \varphi_2 - \sin \varphi_1 * \cos \varphi_2 * \cos (\lambda_2 - \lambda_1) \quad (5)$$

$$a = \left( \text{atan2}(Y, X) - \left( -\frac{41}{60} \right) * \frac{\pi}{180} \right) * \frac{180}{\pi} \quad (6)$$

$$\text{Nếu } \begin{cases} a < 0, & \text{thì } a = a + 360 \\ a > 360, & \text{thì } a = a - 360 \end{cases} \quad (7)$$

$$\gamma = \beta - a \quad (8)$$

Với:

- $\varphi_1, \lambda_1$  là vĩ độ và kinh độ của robot,
- $\varphi_2, \lambda_2$  là  $\varphi_2, \lambda_2$  vĩ độ và kinh độ của điểm cuối,

- X là giá trị từ trường trục x của cảm biến,
- Y là giá trị từ trường trục y của cảm biến.
- $\gamma$  là góc cần để quay xe

**2.5. Xác định khoảng cách di chuyển và góc đến vị trí mong muốn**

Để xác định khoảng cách giữa robot và điểm cần đến, công thức Harvesine được sử dụng. Công thức này là một cách tính toán khoảng cách chính xác giữa hai điểm trên bề mặt hình cầu bằng cách sử dụng vĩ độ và kinh độ của hai điểm. Công thức Haversine là sự xây dựng lại định luật hàm cosin, nhưng công thức dưới dạng Haversine hữu ích hơn cho các góc và khoảng cách nhỏ.

Khoảng cách robot đến vị trí cần tìm được xác định bằng phương trình Haversine  $hav(\theta) = \frac{d}{r}$

$$d = 2r \cdot \arcsin \left( \sqrt{\sin^2 \left( \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2} \right) + \cos\varphi_1 \cdot \cos\varphi_2 \cdot \sin^2 \left( \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \right) \tag{9}$$

Với

- $r = 6371$  (km) là bán kính trái đất,
- $d$ : khoảng cách giữa 2 vị trí bất kỳ.

Từ đây, ta có thể biết được khoảng cách giữa robot và điểm đến, tuy nhiên trong suốt quá trình di chuyển, tọa độ GPS cập nhật liên tục sẽ có sự thay đổi nên robot sẽ liên tục thay đổi vị trí. Để đảm bảo quỹ đạo di chuyển của robot sẽ đến được đích, góc phương hướng (bearing angle) giữa robot và điểm đến được tính toán. Gọi vị trí ngẫu nhiên của robot là  $A(\varphi_A, \lambda_A)$  và vị trí của đích đến ngẫu nhiên là  $B(\varphi_B, \lambda_B)$ . Góc phương hướng bất kỳ  $H$  được tính dựa theo phương trình sau:

$$H = atan2(y, x) \tag{10}$$

Với:

$$x = \cos(\varphi) \cdot \sin(\lambda) - \sin(\varphi) \cdot \cos(\lambda) \cdot \cos(\varphi) \tag{11}$$

$$y = \sin(\varphi) \cdot \cos(\lambda) \tag{12}$$

Dựa trên các phương trình (7) và (8), một bản luật điều khiển cách thức di chuyển của robot được thiết lập như Bảng 1. Theo đó, khi khoảng cách giữa robot và vị trí đến dưới 3m, xe dừng lại. Nếu góc phương hướng bị lệch ngoài khoảng  $(-300, 300)$ , lúc

này robot tự động điều hướng để di chuyển đến vị trí mong muốn.

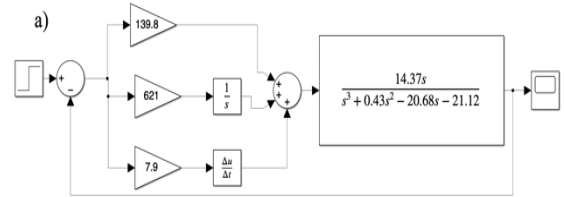
**Bảng 1. Luật điều khiển trạng thái xe**

Khoảng cách (d)	Góc hướng (H)	Trạng thái xe
$d < 1.5$ m	-	Xe dừng
$d > 1.5$ m	$-30^\circ < H < 30^\circ$	Xe đi thẳng
	$H < -30^\circ$ $H > 30^\circ$	Xe xoay phải Xe xoay trái

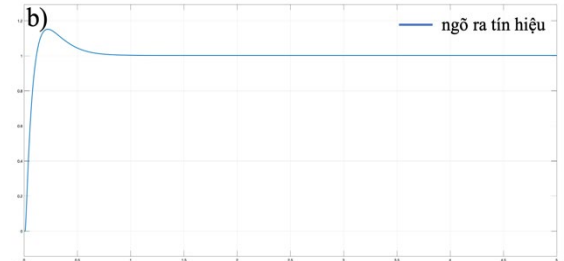
**3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN**

**3.1. Bộ điều khiển PID cho robot di động**

Để đánh giá độ hiệu quả của bộ điều khiển PID và hàm truyền được đề xuất, nhóm đã mô phỏng trên MATLAB®/SIMULINK như Hình 5. Kết quả cho thấy sau 1,5 giây bộ điều khiển đề xuất đạt ổn định, tín hiệu bão hòa và xác lập như mong muốn.



**a. Mô phỏng Simulink cho robot di động**

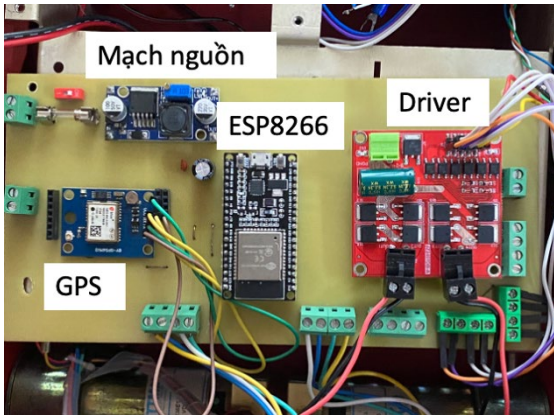


**Hình 5. Mô phỏng bộ điều khiển PID cho robot (a) Sơ đồ Simulink, b) Ngõ ra của bộ điều khiển PID)**

**3.2. Thiết kế phần cứng**

Phần cứng được thiết kế nhỏ gọn để có thể tích hợp gọn gàng vào robot. Phần mạch điện (như hình) bao gồm nhóm mạch điều khiển công suất và cảm biến GPS được tích hợp để tích hợp vào khung xe. Mạch tích hợp lên robot di động được thể hiện như ở Hình 6. Phần bên trong xe có không gian rộng, dễ dàng cố định mạch điều khiển (Hình 6a, b), bố trí dây điện và có thể dễ dàng thay mới khi xảy ra sự cố. Trong suốt quá trình robot di chuyển, thông tin về khoảng cách đến vị trí đặt và hướng của robot cũng được cập nhật liên tục về máy tính, từ đó ta dễ dàng kiểm tra sai sót và đánh giá được độ hiệu quả của phương pháp đề xuất (Hình 6c).

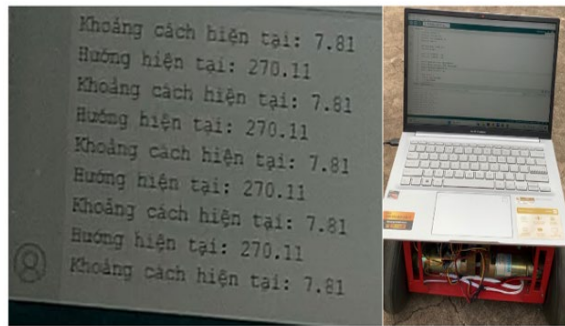




a. Sơ đồ bố trí khối mạch tích hợp



b. Bố trí lên robot di động



c. Cập nhật vị trí hiện tại của robot

**Hình 6.** Tích hợp mạch điều khiển lên robot (a) mạch sau khi vẽ và nối dây, b) tích hợp lên robot, c) cập nhật dữ liệu trong suốt quá trình di chuyển)

### 3.3. Thực nghiệm trong môi trường bên ngoài

Thí nghiệm được tiến hành tại sân bóng chuyền tại trường Bách Khoa, Trường Đại học Cần Thơ. Đầu tiên, vị trí GPS tại các vị trí cần đến được lấy tọa độ, sau đó các tọa độ này trở thành vị trí thiết lập cho robot di chuyển. Diện tích vùng thí nghiệm tầm 10×20 m<sup>2</sup>, xung quanh trồng không có cây cối và chướng ngại vật, phù hợp để robot di chuyển. Trong suốt quá trình di chuyển, vị trí của robot được cập nhật và lưu lại mỗi 2 giây, sau đó quỹ đạo di chuyển sẽ được vẽ lại (Hình 7). Hình 7 miêu tả quá trình di chuyển của robot di động và quỹ đạo dự định trước. Chấm tròn đỏ thể hiện vị trí cột mốc của GPS. Quỹ đạo tham chiếu theo hình chữ nhật (đường gạch nổi), và quỹ đạo thật được xác nhận là hình cờ. Kết quả cho thấy mặc dù robot có thể di chuyển về đúng vị trí ban đầu, robot không di chuyển đúng đến vị trí một góc GPS. Thêm vào đó, dựa vào quỹ đạo di chuyển, ta cũng có thể nhận ra độ nhiễu của cảm biến GPS, điều đó làm cho robot di chuyển không thẳng hàng, có độ lệch cong nhất định. Quá trình di chuyển của robot đến được thể hiện tại liên kết bên dưới:

<https://www.youtube.com/watch?v=e2sFt-MXpW8>



**Hình 7.** Bản đồ quỹ đạo robot di chuyển

### 3.4. Thảo luận

Kết quả cho thấy robot có thể di chuyển đến các mốc vị trí đã thiết lập trước, tuy nhiên quỹ đạo di chuyển không được tối ưu do thời gian lấy mẫu tương đối dài cũng như sai sót do GPS giá rẻ là tương đối cao.

Ưu điểm của phương pháp tự hành bằng công nghệ định vị toàn cầu là đơn giản về thuật toán và có thể di chuyển xa, liên tục bên môi trường bên ngoài, không bị ảnh hưởng nhiều từ môi trường như hệ thống máy ảnh số (digital camera).

Bên cạnh đó, phương pháp cũng có nhược điểm về hệ cảm biến định vị, do cảm biến GPS trong thí nghiệm là dạng cảm biến giá rẻ, độ chính xác ảnh hưởng rất lớn bởi tín hiệu từ số lượng vệ tinh bắt được trong cùng một thời điểm. Cảm biến GPS đề xuất chỉ có độ chính xác trong điều kiện ít mây, tránh xa các tòa nhà cao tầng, đều ảnh hưởng trực tiếp đến giao tiếp tín hiệu giữa cảm biến và vệ tinh.

Trong những nghiên cứu có liên quan, Nguyen et al. (2021) nghiên cứu xây dựng hệ thống định vị cho robot di động sử dụng ROS. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã sử dụng hệ tích hợp cảm biến bao gồm laser, encoder và lidar nhằm làm giảm sai

số do yếu tố môi trường và tăng độ chính xác cho robot trong không gian kín, làm việc trong nhà. Bên cạnh đó, Pham et al. (2023) xây dựng quỹ đạo cho robot di động sử dụng ROS khi đi sâu vào giải pháp lập kế hoạch cục bộ sử dụng thuật toán TEB (Timed Elastic Bands), nhằm giúp robot có thể tuần tra trong nhà lưới nông nghiệp. Trong nghiên cứu này, nhóm nghiên cứu đánh giá khả năng sử dụng các cảm biến khác nhau khi robot di chuyển ở địa hình trống trong môi trường mở.

### 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu trình bày một giải pháp điều khiển robot di động tự xác định phương hướng và di chuyển đến vị trí cần đến trong môi trường bên ngoài thông qua hệ nhiều cảm biến. Theo đó một cảm biến la bàn HMC5883 được sử dụng để robot tự xác định góc quay của đỉnh đầu đến vị trí cần đến. Tiếp đó, một cảm biến GPS dùng để tính toán khoảng cách của robot đến vị trí mong muốn thông qua phương trình Harvesine và góc phương hướng từ robot đến vị trí xác định. Nghiên cứu được thực nghiệm tại môi trường bên ngoài với điều kiện sân trống, không có nhiều chướng ngại vật. Kết quả cho thấy robot có thể di chuyển đến vị trí mong muốn, từ đó là cơ sở cho các nghiên cứu sâu hơn về robot di chuyển trong môi trường bên ngoài.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO (REFERENCES)

- Bertinetto, L., Valmadre J., Henriques, J. F., Vedaldi A., & Torr, P. H. S. (2016). *Fully Convolutional Siamese Networks for Object Tracking*. In Lecture Notes in Computer Science; Springer: Cham, Switzerland.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-319-48881-3\\_56](https://doi.org/10.1007/978-3-319-48881-3_56)
- Fan, H., & Ling, H. (2019). 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, pp. 7944–7953.  
<https://doi.org/10.1109/CVPR.2019.00814>
- Luu, T.H., Duong, Q. K., Ngo, M. K., Nguyen, D. L., & Nguyen, K. N. (2023). Upgrade a mobile robot based on the outdated P2DX platform (in Vietnamese). *TNU journal of Science and Technology*, 228(10), 318-325.  
<https://doi.org/10.34238/tnu-jst.8082>
- Nguyen, A. T., Vu. C. T., Nguyen, T. H., Nguyen, T. D., Ho, V. H., & Mai, D. K. (2021). A study and design of localization system for mobile robot based on ROS (in Vietnamese). *Journal of Science and Technology*. 57(4), 69-74.  
<https://vjol.info.vn/index.php/dhcnhn/article/view/62220>
- Nguyen, V. T., Pham, T. C., & Pham, M. T. (2016). Modelling and controlling a non-holonomic wheeled mobile robot with lateral slip (in Vietnamese). *Vietnam journal of Science, Technology and Engineering*, 4(1), 1-6.  
[https://b.vjst.vn/index.php/ban\\_b/article/view/156](https://b.vjst.vn/index.php/ban_b/article/view/156)
- Nong, M. N., Do, N. T., Vu, V. Q., & Ngo, N. V. (2022) A method of obstacle avoidance for arm robot in warehouse automation (in Vietnamese). *TNU journal of science and technology*, 228(2), 62-69.  
<https://doi.org/10.34238/tnu-jst.7049>
- Pham, T. L. H., & Nguyen T. D. (2023). Constructing local orbit for self-operating robot in agricultural greenhouse based on ROS (in Vietnamese). *VietNam journal of Agriculture Science*, 21(10), 1282-1293.
- Roãn, V. H., Lại, K. L., & Lê, T. T. H. (2022). Research of trajectory tracking control for mobile robot based on reinforcement learning technique (in Vietnamese). *TNU journal of science and technology*, 227(8), 482-498.  
<https://doi.org/10.34238/tnu-jst.5759>
- Tran, N. C., & Nguyen, T. T. V. (2019). Control omnidirectional mobile robot stability (in Vietnamese). *The 22st National Conference on*

- Electronics, Communications and Information Technology*, 144-149.
- Tran, N. C., Chu, T. P. D., & Nguyen, T. T. V. (2018). Mobile robot stability control system using fuzzy control (in Vietnamese). *The 22st National Conference on Electronics, Communications and Information Technology*, 1-6, Hà Nội.
- Wang, C., Sun, X., Chen, X., & Zeng, W. (2018). Real-Time Object Tracking with Motion Information. *In Proceedings of the IEEE Visual Communications and Image Processing*, Taichung, Taiwan (pp. 1-4). <https://doi.org/10.1109/VCIP.2018.8698705>
- Zhang, J. S., Li, R., Zhang, X., & Li, X. (2018). Monocular Robot Tracking Scheme Based on Fully-Convolutional Siamese Networks. *In Proceedings of the Chinese Automation Congress*, Xi'an, China, pp. 2616-2620. <https://doi.org/10.1109/CAC.2018.8623030>
- Zhang, L. Jia, J. Gui, G. Hao, X. Gao, W. and Wang M. (2018). Deep Learning Based Improved Classification System for Designing Tomato Harvesting Robot, *IEEE Access*, vol. 6, pp. 67940-67950, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2879324.