



DOI:10.22144/ctu.jos.2025.207

THIẾT KẾ VÀ PHÁT TRIỂN MÔ HÌNH XE TỰ HÀNH VẬN CHUYỂN VÀ QUẢN LÝ HÀNG HÓA TRONG KHO HÀNG

Trần Thuận Tiến, Trà Quốc Thanh, Trần Nguyễn Phương Lan, Nguyễn Chí Ngôn* và Huỳnh Quốc Khanh*

Trường Bách Khoa, Đại học Cần Thơ, Việt Nam

*Tác giả liên hệ (Corresponding author): ncngon@ctu.edu.vn, hqkhanh@ctu.edu.vn

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 19/04/2025

Sửa bài (Revised): 17/05/2025

Duyệt đăng (Accepted): 22/08/2025

Title: Design and development of an automotive vehicles model for transporting and managing goods in warehouses

Author: Tran Thuan Tien, Tra Quoc Thanh, Tran Nguyen Phuong Lan, Nguyen Chi Ngon and Huynh Quoc Khanh

Affiliation(s): College of Engineering, Can Tho University, Viet Nam

TÓM TẮT

Trong bối cảnh cuộc cách mạng công nghiệp 4.0, việc thiết kế và phát triển mô hình xe tự hành, nhằm tự động hóa quá trình vận chuyển và quản lý hàng hóa trong kho được tập trung nghiên cứu trong bài viết góp phần nâng cao hiệu quả hoạt động và tối ưu hóa chi phí vận hành. Module WiFi D-DWM-PG3.6 được sử dụng để định vị xe. Mô hình được kiểm tra trong không gian thí nghiệm có diện tích 100 m², có khả năng vận chuyển vật phẩm nhỏ kích thước tối đa 20 × 20 cm. Quỹ đạo di chuyển được thiết lập thông qua hệ tọa độ hai chiều. Sau hơn 50 lần thử nghiệm cho thấy độ chính xác đạt sai số xấp xỉ 10,4 ± 5,1 cm so với quỹ đạo mong muốn. Bên cạnh đó, một ứng dụng di động được phát triển để điều khiển xe và quản lý đơn hàng theo thời gian thực. Kết quả cho thấy hệ thống góp phần cải thiện quy trình vận hành kho hàng. Tuy nhiên, vùng diện tích khảo sát cần được tiếp tục mở rộng ở các nghiên cứu tiếp theo để có thể đáp ứng với các kho hàng lớn.

Từ khóa: Cảm biến siêu âm, định vị, quản lý nhà kho, xe tự hành

ABSTRACT

In the context of the Fourth Industrial Revolution, this study focuses on the design and development of an autonomous vehicle model for warehouse operations, with the goal of automating material handling and inventory management, thereby enhancing operational efficiency and optimizing operating costs. The system uses the D-DWM-PG3.6 WiFi module for vehicle positioning. The model is tested in a laboratory space of 100 m² and is capable of transporting small items with a maximum size of 20 × 20 cm. The movement trajectory is defined using a two-dimensional coordinate system. After more than 50 trials, the results show an accuracy with an approximate error of 10.4±5.1 cm compared to the desired trajectory. In addition, a mobile application was developed to control the vehicle and manage orders in real time. The results indicate that the system contributes to improving warehouse operation processes. However, the surveyed area should be further expanded in future studies to accommodate larger warehouses.

Keywords: Automated guided vehicle, positioning, warehouse management, ultrasonic sensor

1. GIỚI THIỆU

Tự động hóa kho hàng đang trở thành xu hướng tất yếu nhằm tối ưu hiệu suất và giảm chi phí vận hành trong kho hàng (Tiwari, 2023). Trong đó, xe tự hành (AGV) đóng vai trò then chốt, giúp giảm phụ thuộc vào lao động thủ công, nâng cao độ chính xác, tốc độ và khả năng truy xuất hàng hóa (Cheng et al., 2025). Hệ thống AGV còn góp phần tối ưu luồng di chuyển, giảm thời gian chờ, chi phí nhân công và rủi ro tai nạn trong các kho vận hành liên tục, quy mô lớn (Liu et al., 2025; Maza, 2025).

Tuy nhiên, một thách thức lớn của AGV là khả năng định vị chính xác trong môi trường trong nhà kho, nơi tín hiệu GPS bị hạn chế (Wang et al., 2025). Các phương pháp như cảm biến quang học, từ trường hay RFID tuy chính xác nhưng yêu cầu hạ tầng cố định và chi phí cao, làm giảm tính linh hoạt hệ thống (Wiemken et al., 2018; Tatiparthi et al., 2025). Trong bối cảnh đó, việc sử dụng cảm biến hỗ trợ AGV xác định vị trí, định hướng và hàng hóa trong môi trường phức tạp, nơi không thể triển khai các hệ thống định vị truyền thống đang là xu hướng nghiên cứu mới (Huynh et al., 2022).

Theo nghiên cứu của Huissoon and Moziar (1989), việc tích hợp cảm biến siêu âm vào xe dẫn đường tự động (AGV) mang lại hiệu quả rõ rệt trong việc giảm thiểu va chạm với các vật cản trong quá trình di chuyển, đặc biệt là trong các môi trường chật hẹp hoặc có nhiều thay đổi (Wiemken et al., 2018). Cảm biến siêu âm cho phép AGV phát hiện các vật thể xung quanh trong thời gian thực và phản hồi nhanh chóng trước những tình huống tiềm ẩn nguy cơ, từ đó nâng cao độ an toàn và độ tin cậy khi vận hành hệ thống (Tong et al., 2005). Khi được kết hợp với các thuật toán điều hướng và hệ thống thông minh, AGV không chỉ cải thiện khả năng tránh chướng ngại vật mà còn có thể thích nghi linh hoạt với sự thay đổi bố trí không gian kho bãi mà không cần can thiệp hoặc thay đổi hạ tầng vật lý sẵn có, giúp tiết kiệm chi phí và nâng cao hiệu quả quản lý kho (Mitra et al., 2025; Yilmaz et al., 2025).

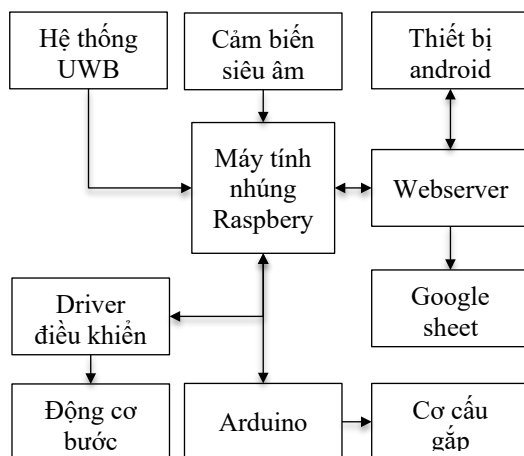
So với AGV thương mại (như Dematic, Omron LD) với hệ thống khép kín, chi phí cao và tùy biến hạn chế (Lee et al., 2022), AGV nhúng (Raspberry Pi, NVIDIA Jetson) nổi bật với tính linh hoạt. Nghiên cứu của Hwang et al. (2024) cho thấy hệ thống này dễ tùy chỉnh phần mềm (ROS 2), tích hợp nhiều cảm biến (LIDAR, OpenCV, UWB) và kết nối với legacy qua giao thức mở (Modbus, MQTT). Đặc biệt, AGV nhúng chuyển đổi linh hoạt giữa các phương pháp dẫn đường (QR code, SLAM) chỉ bằng

cập nhật phần mềm – điều mà hệ thống thương mại khó đạt do phụ thuộc phần cứng độc quyền (Zhang et al., 2022). Kết quả thử nghiệm cho thấy AGV nhúng giảm rất nhiều chi phí triển khai, phù hợp với kho hàng vừa và nhỏ, mở ra tiềm năng ứng dụng rộng rãi.

Từ thực tiễn trên, hệ thống AGV sử dụng module định vị D-DWM-PG3.6 phối hợp với cảm biến siêu âm HC-SR05 được tập trung phát triển để xác định vị trí nâng cao khả năng điều hướng chính xác cho xe. Thông tin hàng hóa được điều khiển qua ứng dụng di động, hỗ trợ vận chuyển và sắp xếp tự động. Hệ thống cho phép giám sát thời gian thực, điều khiển từ xa và đã được thử nghiệm qua nhiều lần để đánh giá hiệu suất, độ chính xác và độ ổn định. Các hướng cải tiến như tăng tốc độ di chuyển, tối ưu thuật toán điều hướng và mở rộng quy mô ứng dụng trong kho hàng thông minh cũng được đề xuất trong nghiên cứu.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Khái quát hệ thống vận chuyển với xe tự hành



Hình 1. Sơ đồ tổng quát của hệ thống xe tự hành trong kho hàng

Lưu đồ tổng quát của hệ thống vận chuyển được mô tả ở Hình 1. Theo đó, hệ thống bao gồm ba thành phần chính: hệ thống trạm UWB, thiết bị Android và máy tính nhúng xử lý trung tâm Raspberry Pi 4 Model B 4GB. Vị trí của xe được xác định nhờ tín hiệu từ thẻ UWB di động gắn trên xe. Dữ liệu vị trí sau đó được xử lý để tính toán góc lệch và điều hướng (Shoop et al., 2025).

Tín hiệu điều hướng được truyền đến driver điều khiển nhằm thay đổi tần số xung PWM, từ đó điều chỉnh tốc độ của động cơ để đưa xe đến đúng vị trí yêu cầu. Khi xe đến gần tủ hàng, cảm biến siêu âm

được kích hoạt để hỗ trợ xe tiếp cận một cách an toàn và chính xác hơn. Tại đây, một Arduino được sử dụng để điều khiển cơ cấu gấp, thực hiện các tác vụ xử lý đơn hàng như lấy hoặc đặt hàng vào tủ. Việc sử dụng Arduino song song với máy tính nhúng Raspberry Pi mang lại nhiều lợi ích. Cụ thể, Arduino đảm nhận các tác vụ thời gian thực như điều khiển cơ cấu chấp hành, giúp giảm tải cho Raspberry Pi. Điều này cho phép Raspberry Pi tập trung vào các tác vụ tính toán phức tạp như xử lý số liệu từ UWB, điều hướng thông minh và quản lý mạng truyền thông. Đồng thời, kiến trúc đơn giản và phản hồi nhanh của Arduino giúp cải thiện độ chính xác và tính ổn định của hệ thống, đặc biệt trong các tình huống yêu cầu phản hồi tức thời.

Toàn bộ hệ thống được giám sát và điều khiển thông qua thiết bị Android, cho phép gửi lệnh và nhận phản hồi qua Webserver. Đồng thời, lịch sử hoạt động và thông tin các đơn hàng cũng được tự động ghi nhận và lưu trữ trên Google Sheet, hỗ trợ hiệu quả cho việc giám sát và theo dõi.

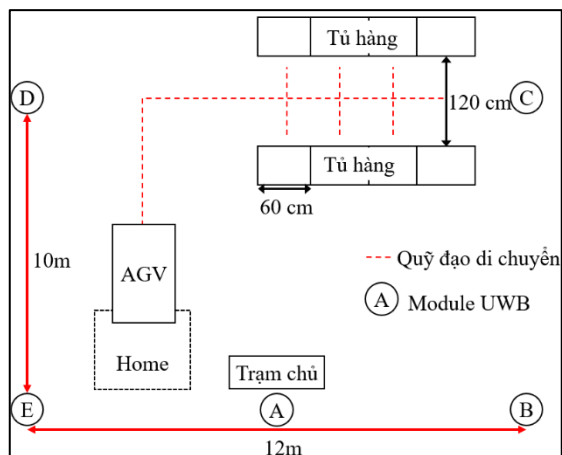
Trong môi trường kho thông minh, module định vị D-DWM-PG3.6 của hãng Decawave (Decawave Limited Company, 2021) được sử dụng nhằm xác định vị trí và hỗ trợ điều hướng cho xe tự hành

2.2. Mô tả quỹ đạo di chuyển và bố trí trong kho hàng

Không gian hoạt động của mô hình được mô tả như Hình 2, khoảng cách giữa các dãy kệ thường từ 120–150 cm, đủ để xe tự hành có thể quay đầu dễ dàng. Các ngăn kệ nên có chiều rộng từ 50–60 cm để xe tiếp cận và gắp hàng thuận tiện. Diện tích không gian hoạt động cho một khu vực cthường dao động trong khoảng 150–200 m², tùy theo số lượng và kích thước các kệ hàng.

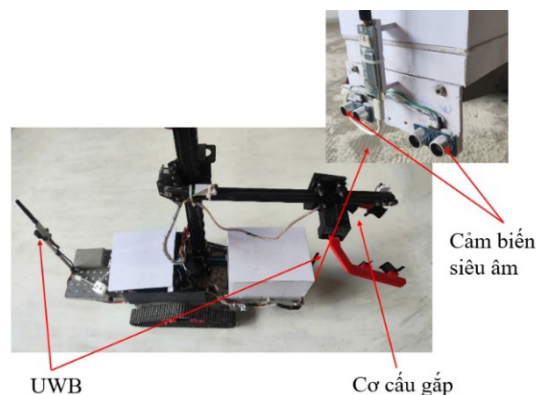
Trên xe tự hành gắn hai thẻ UWB để nhận tín hiệu từ các trạm cố định (Hình 3). Dựa trên các tín hiệu vị trí thu được, xe tính toán và cập nhật vị trí hiện tại dưới dạng tọa độ (x, y) . Khoảng cách giữa các trạm UWB được bố trí hợp lý trong khoảng 5–20 m, tùy thuộc vào kích thước và yêu cầu định vị trong từng không gian.

Xe vận chuyển AGV được thiết kế với mục tiêu tối ưu hóa khả năng di chuyển trong môi trường kho hàng, nơi yêu cầu cao về tính chính xác và hiệu suất vận hành. Để đảm bảo khả năng hoạt động ổn định, xe được cấu tạo phù hợp với địa hình bằng phẳng, đặc trưng của các hệ thống lưu trữ hàng hóa công nghiệp.



Hình 2. Bố trí tủ hàng và quỹ đạo di chuyển của xe tự hành

Mô hình xe có kích thước 70×20×65 cm, với khoảng cách vươn tối đa của tay gắp hàng là 50 cm. Xe có khả năng vận hành ổn định khi xử lý các đơn hàng có kích thước tối đa 20 × 20 cm và có thể nâng vật có khối lượng tối đa 0,5 kg nhờ hệ thống tay gắp được thiết kế chuyên biệt.



Hình 3. Xe vận chuyển AGV trong kho hàng

Để đạt độ chính xác cao trong định vị, hệ thống định vị sử dụng hai module D-DWM-PG3.6, khoảng cách giữa hai module 70 cm và khoảng cách giữa hai cảm biến siêu âm đặt ở hai mép biên là 15 cm (Hình 3).

2.3. Phương pháp di chuyển

2.3.1. Điều khiển di chuyển thẳng

Dữ liệu vị trí thu thập từ hệ thống UWB được sử dụng để tính toán vị trí và góc phương vị của xe. Như mô tả ở Hình 4, khoảng cách và góc lệch giữa vị trí hiện tại của xe và điểm đến tiếp theo được tính theo công thức sau:

$$\theta_p = \arctan\left(\frac{y_p - y_o}{x_p - x_o}\right) \times \frac{180}{\pi} \quad (1)$$

$$\theta_f = \arctan\left(\frac{y_f - y_o}{x_f - x_o}\right) \times \frac{180}{\pi} \quad (2)$$

$$\beta = \theta_f - \theta_p \quad (3)$$

Trong đó:

θ_p là góc của xe so với trục hoành;

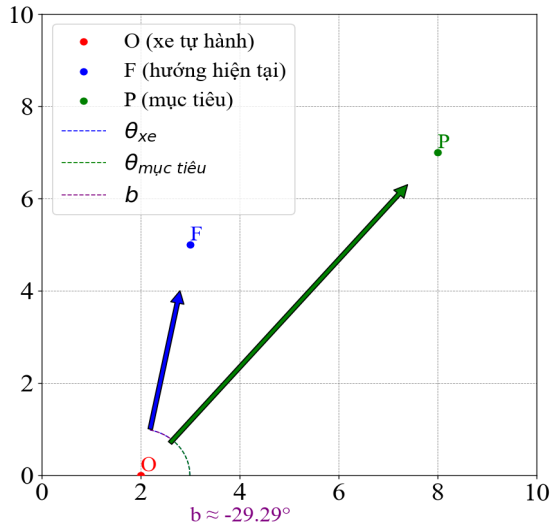
θ_f là góc của điểm mục tiêu so với trục hoành;

β là góc lệch cần tính toán;

(x_o, y_o) là tọa độ của đầu xe;

(x_p, y_p) là tọa độ của mũi xe;

(x_f, y_f) là tọa độ của điểm cần tới.



Hình 4. Mô tả góc lệch β

Bộ điều khiển gửi lệnh điều chỉnh tốc độ động cơ bước để thay đổi hướng giúp xe di chuyển. Tốc độ động cơ được điều chỉnh bằng cách thay đổi giá trị độ lớn của bán chu kì xung cấp vào động cơ và được tính theo công thức sau:

$$tr = t \pm (t_i \times k_i \times \beta) \quad (4)$$

$$tl = t \pm (t_i \times k_i \times \beta) \quad (5)$$

Trong đó:

tl và tr là bán chu kì của xung cấp cho driver điều khiển động cơ bước;

t là bán chu kì ban đầu của xung cấp cho động cơ bước;

t_i là hệ số chu kì ($t_i = 0,0001$);

K_i là hệ số chênh lệch.

Quá trình này được thực hiện liên tục theo chu kỳ cập nhật của hệ thống định vị, giúp xe di chuyển mượt mà, tránh sai lệch lớn trong quá trình di chuyển. Hệ thống liên tục kiểm tra góc lệch để định hướng xe di chuyển đến điểm cần tới theo bản đồ định sẵn cho đến khi hoàn tất quỹ đạo di chuyển.

2.3.2. Điều khiển xoay góc xe

Do tốc độ di chuyển và chuyển hướng của xe ở các góc quay lớn khá chậm, do đó một bộ điều khiển PID thứ hai được thêm vào để điều chỉnh tốc độ động cơ, giúp xe quay nhanh hơn khi góc lệch lớn và giảm dần khi tiến gần đến vị trí mong muốn (Nguyễn, 2008). Khi xe cần quay với góc β , bộ điều khiển PID tính toán giá trị điều khiển Δt để điều chỉnh tốc độ hai động cơ như sau:

$$tr = tl = t + 1.000 \times \Delta t \quad (6)$$

Trong đó: Δt là đầu ra của bộ giúp hiệu chỉnh bán chu kì xung cấp cho bộ điều khiển động cơ.

Sai số góc quay được định nghĩa $e = \beta$ với mục tiêu là đưa β về 0. Để đáp ứng yêu cầu đó bộ PID được thiết kế theo công thức:

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

Hoặc:

$$\Delta t = K_p \times e + K_i \times I + K_d \times D \quad (8)$$

Với:

$$I = \int edt = \beta \times dt \quad (9)$$

$$D = \frac{de}{dt} = \frac{\beta - \beta_{pr}}{dt} \quad (10)$$

Và dt là thời gian lấy mẫu.

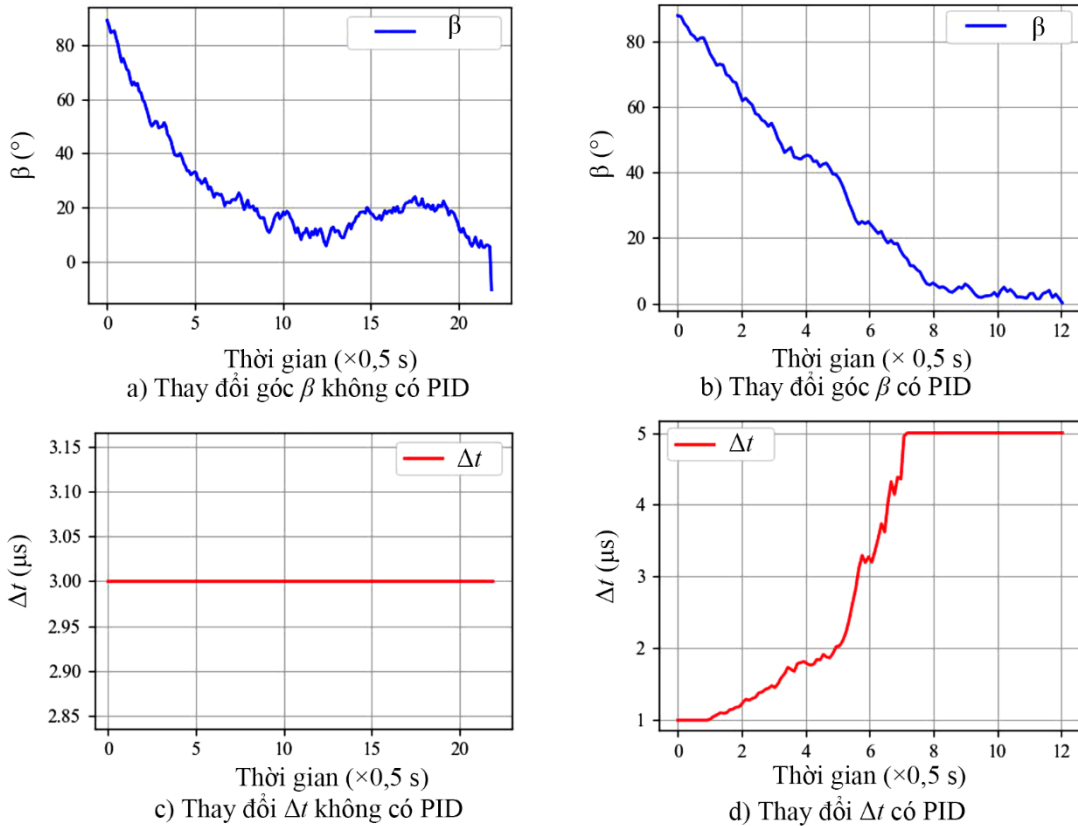
Trong đó:

Hệ số K_p điều chỉnh tốc độ động cơ theo sai số góc;

Hệ số K_i giảm sai số bằng cách tích lũy lỗi theo thời gian t ;

Hệ số K_d phản ứng với sự thay đổi nhanh của sai số để tránh dao động mạnh.

Sau quá trình điều chỉnh thủ công, kết quả giá trị $K_i = 0,004$, $K_p = 0,13$ và $K_d = 0,0016$.

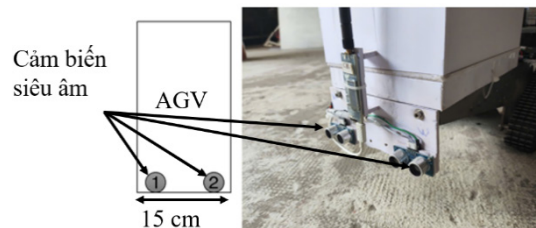


Hình 5. Kết quả điều khiển góc quay β và nhịp bán chu kỳ xung Δt sử dụng PID

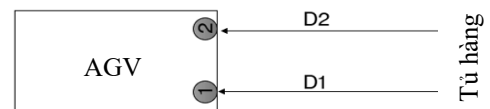
Kết quả sử dụng bộ điều khiển PID được trình bày ở Hình 5. Theo đó, khi bộ điều khiển PID được áp dụng thì quãng thời gian đáp ứng góc quay β từ 90° về 0° giảm đáng kể sự dao động và thời gian đáp ứng từ xấp xỉ 11 s (Hình 5a) xuống còn khoảng 6 s (Hình 5b). Và nhịp bán chu kỳ xung Δt thay đổi từ giá trị cố định 3 μs (Hình 5c) sang giá trị động, biến đổi theo thời gian (Hình 5d).

2.4. Phương pháp tiếp cận tủ hàng

Để đưa hoặc lấy hàng vào tủ hàng cần đảm bảo xe AGV phải di chuyển thẳng, vuông góc với tủ hàng và dừng lại ở vị trí phù hợp. Để thực hiện công việc này, hai cảm biến siêu âm đã được lắp ở phía trước (Hình 6) thực hiện nhiệm vụ đo khoảng cách với tủ hàng, đảm bảo xe tiếp cận tủ hàng với khoảng cách an toàn, hạn chế va chạm trong lúc tay gấp có thể di chuyển.



Hình 6. Bố trí cảm biến siêu âm trên xe



Hình 7. Vị trí tương đối của xe với tủ hàng

Các cảm biến siêu âm được kích hoạt khi xe đã hoàn thành hết lộ trình di chuyển bằng D-DWM-PG3.6 và dừng cách tủ hàng với khoảng cách từ 50 đến 55 cm như Hình 7. Trong quá trình di chuyển đến tủ hàng xe tự hành liên tục đọc cảm biến siêu âm 1 và cảm biến siêu âm 2 để đảm bảo xe không đi lệch hướng. Nếu có lệch hướng xe tự hành thay đổi

bán chu kì của xung cấp cho bộ điều khiển động cơ theo quy tắc sau:

Khi $D_1 - D_2 > 2 \text{ cm}$:

$$\begin{cases} tl = t_0 + t_{cb} \\ tr = t_0 - t_{cb} \end{cases} \quad (11)$$

Khi $D_1 - D_2 < -2 \text{ cm}$:

$$\begin{cases} tl = t_0 - t_{cb} \\ tr = t_0 + t_{cb} \end{cases} \quad (12)$$

Khi $-2 \text{ cm} \leq D_1 - D_2 \leq 2 \text{ cm}$:

$$tr = tl = t_0 \quad (13)$$

Trong đó:

tr, tl là bán chu kì xung của bộ điều khiển;

t_0 là bán chu kì ban đầu của xung;

t_{cb} là bán chu kì hiệu chỉnh;

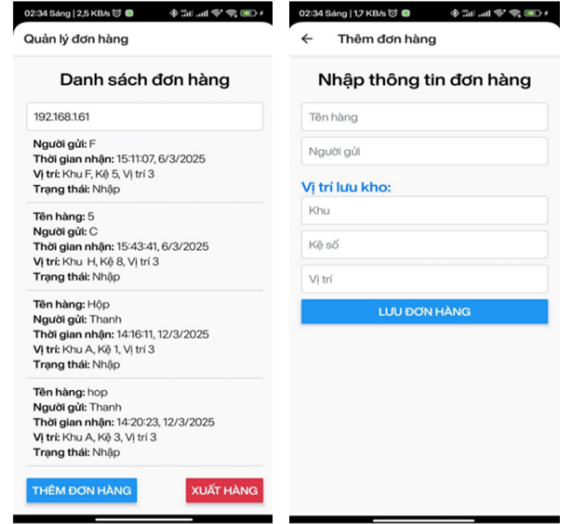
D_1, D_2 là giá trị đo được của cảm biến siêu âm 1 và cảm biến siêu âm 2.

Quy trình di chuyển kết thúc ở vị trí dừng khi xe tự hành cách tủ hàng $10 \pm 2 \text{ cm}$.

2.5. Ứng dụng quản lý kho và điều khiển xe tự hành

Giao diện ứng dụng (Hình 8a) được thiết kế trực quan, thân thiện với người dùng, cho phép hiển thị đầy đủ và chi tiết thông tin liên quan đến từng đơn hàng. Cụ thể, giao diện cung cấp các trường dữ liệu như tên sản phẩm, tên khách hàng, vị trí lưu trữ trong kho, trạng thái xử lý của đơn và lịch sử thao tác của từng đơn hàng qua các mốc thời gian cụ thể. Nhờ đó, người dùng có thể dễ dàng theo dõi quá trình xử lý đơn hàng cũng như kiểm soát hoạt động của hệ thống một cách hiệu quả (Samuel et al., 2021).

Khi một đơn hàng mới được tiếp nhận, người vận hành có thể sử dụng giao diện nhập liệu (Hình 8b) để điền các thông tin cần thiết vào hệ thống. Trong trường hợp xuất hàng, người dùng chỉ cần chọn đơn hàng cần lấy trên giao diện ứng dụng. Hệ thống ngay lập tức gửi lệnh điều khiển đến xe AGV, yêu cầu thực hiện thao tác lấy hàng và vận chuyển đến khu vực giao nhận. Đồng thời, dữ liệu xuất kho được cập nhật và lưu trữ trên hệ thống. Với thiết kế đơn giản nhưng hiệu quả, ứng dụng này đóng vai trò như một cầu nối quan trọng giữa hệ thống quản lý kho và xe AGV.



a) Giao diện điều khiển trên ứng dụng b) Giao diện nhập thông tin đơn hàng

Hình 8. Các giao diện của ứng dụng

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Tốc độ di chuyển thẳng của xe

Tốc độ di chuyển của xe tự hành phụ thuộc vào bán chu kì của xung cấp cho driver điều khiển động cơ. Thông qua công thức:

$$\begin{cases} tr = t \pm (t_i \times k_p \times \beta) \\ tl = t \pm (t_i \times k_p \times \beta) \end{cases} \quad (14)$$

Để khảo sát ảnh hưởng của hệ số t , tạm thời bỏ qua phần điều hướng, cho xe di chuyển thẳng, hoàn thành quãng đường 3 m và ghi lại thời gian. Kết quả được trình bày ở Bảng 1.

Bảng 1. Ảnh hưởng của hệ số t đến vận tốc xe

Hệ số t (s)	Thời gian hoàn thành (s)	Vận tốc (cm/s)
0,001	21,5	14,0
0,002	49,4	6,1
0,003	68,5	4,4
0,004	103,4	2,9
0,005	155,6	1,9
0,006	187,3	1,6
0,007	218,7	1,4

Kết quả cho thấy khi càng tăng hệ số t , thời gian hoàn thành lộ trình ngày càng tăng. Qua thí nghiệm chọn $t = 0,003 \text{ s}$ để xe có thể di chuyển với tốc độ 4,4 cm/s. Tốc độ này phù hợp cho di chuyển trong kho hàng với không gian hẹp và yêu cầu di chuyển ổn định.

Cố định hệ số $t = 0,003$ s, phân điều hướng được bổ sung thêm để đánh giá sự ảnh hưởng của hệ số chênh lệch K_p tới quá trình điều hướng của xe tự hành. Thí nghiệm được thiết kế để xe di chuyển đến theo quỹ đạo hình zigzag và ghi nhận lại sai số lớn nhất và sai số trung bình sau nhiều lần chạy. Kết quả thí nghiệm được trình bày ở Bảng 2.

Bảng 2. Ảnh hưởng của hệ số K_p tới khả năng điều hướng

Hệ số K_p	Sai số lớn nhất (cm)	Sai số trung bình (cm)
0,1	28	25,9
0,2	22	18,5
0,3	16	14,5
0,4	13	11,8
0,5	13	9,7
0,6	17	15,6
0,7	19	17,3
0,8	19	17,9
0,9	20	18,8

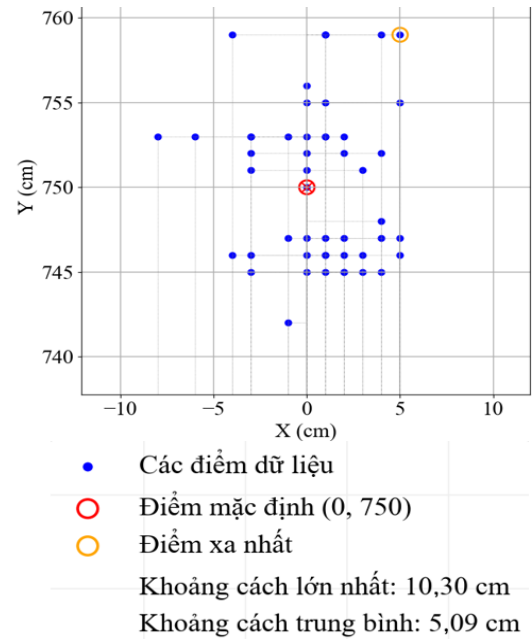
Kết quả cho thấy sai số nhỏ nhất ghi nhận được qua quá trình di chuyển là 9,7 cm tương ứng với $K_p = 0,5$. Khi tăng k_p từ 0,5 lên 0,9 sai số tăng dần và ngược lại khi giảm K_p từ 0,5 xuống 0,1 sai số cũng tăng dần. Vì vậy ta chọn $K_p = 0,5$ để điều khiển cho mô hình xe tự hành.

3.2. Kết quả di chuyển tổng hợp và quản lý kho hàng

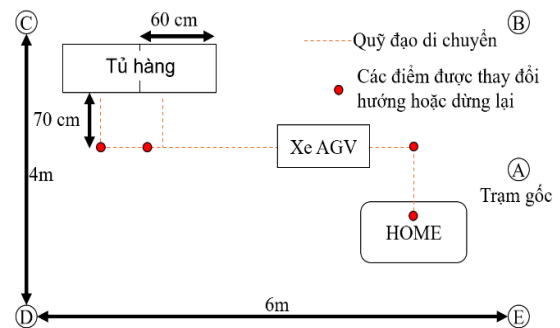
Hệ thống định vị UWB được đánh giá trong khu vực thử nghiệm 16×16 m. Hệ thống gồm các thiết bị cố định và một thiết bị di động (UWB-Tag).

Như mô tả ở Hình 9, kết quả tổng hợp tính toán sai số trung bình là $10,4 \pm 5,1$ cm. Kết quả này tương đối phù hợp với thông số của nhà phát hành là 5 cm (Decawave Limited Company, 2021). Sai số này không ảnh hưởng nhiều đến chất lượng di chuyển của xe tự hành vì đã có sự hỗ trợ của cảm biến siêu âm để xử lý ở mức độ chính xác đến ~ 2 cm. Từ kết quả này, thí nghiệm để đánh giá sai số khi kết hợp UWB với xe tự hành trong môi trường phòng thí nghiệm với các vật cản nhỏ được trình bày ở Hình 10.

Xe thực hiện vận chuyển hàng hóa trong không gian được bố trí như Hình 10 để đánh giá khả năng di chuyển khi có tải, cũng như khả năng xử lý hàng hóa.



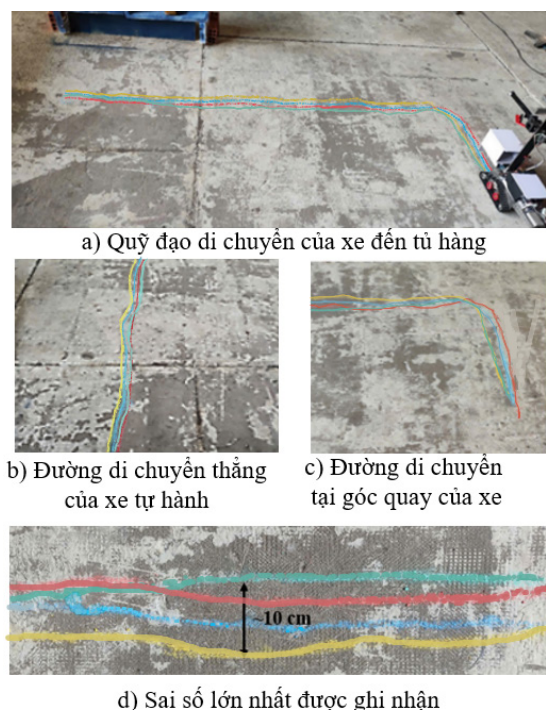
Hình 9. Kết quả đo tại vị trí $(X, Y) = (0, 750)$ cm



Hình 10. Quỹ đạo và không gian thí nghiệm

Kết quả thí nghiệm kiểm tra quỹ đạo thực tế của xe qua nhiều lần chạy thử được thể hiện trong Hình 11. Các vệt màu đại diện cho các lần di chuyển khác nhau (đỏ, xanh dương, vàng, xanh lá) cho thấy sai lệch giữa các quỹ đạo là tương đối nhỏ, không vượt quá 10,4 cm. Điều này phản ánh khả năng bám quỹ đạo của hệ thống điều khiển là có tính lặp lại và ổn định.

Bên cạnh khả năng di chuyển, xe tự hành cũng được kiểm tra về hiệu năng gấp và đặt hàng. Dữ liệu từ các lần thử nghiệm cho thấy tỉ lệ thao tác sai (bao gồm đặt sai vị trí hoặc gấp không chính xác) chiếm 4/30 lần, tương đương tỷ lệ 13,3%. Tỷ lệ sai sót này cũng cần tiếp tục được cải thiện thêm ở những nghiên cứu tiếp theo.



Hình 11. Kết quả di chuyển

3.3. Thảo luận

Kết quả thực nghiệm cho thấy việc xe vận chuyển tự hành sử dụng công nghệ định vị bằng sóng WiFi có thể mang lại hiệu quả trong việc quản lý và vận chuyển hàng hóa trong kho. Hệ thống hoạt động với sai số ghi nhận đảm bảo đủ mức độ chính xác để di chuyển và đặt hàng.

Từ khảo nghiệm module D-DWM-PG3.6 và di chuyển của xe tự hành, sai số trung bình ghi nhận được là $10,4 \pm 5,1$ cm. Tỷ lệ hoàn thành xử lý hàng đạt 86,7%. Các kết quả đạt được cho thấy tính khả thi của việc áp dụng xe tự hành vào việc di chuyển và cấp hàng trong nhà kho. Tỷ lệ hoàn thành này còn có thể tăng lên do phân cứng của mô hình thí nghiệm còn chưa đáp ứng tính ổn định công nghiệp.

Trong quá trình di chuyển xe gặp vấn đề là lệch hướng, nguyên nhân dự đoán là do ảnh hưởng của

TÀI LIỆU THAM KHẢO (REFERENCES)

- Cheng, W., Zhang, C., Meng, L., Zhang, B., Gao, K., & Sang, H. (2025). Deep reinforcement learning for solving efficient and energy-saving flexible job shop scheduling problem with multi-AGV. *Computers & Operations Research*, 181, 107087. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2025.107087>
- Decawave Limited Company. (2021). *DW1000 user manual: How to use, configure and program the*

hệ số K_p và nhiều trong quá trình nhận dữ liệu từ các trạm UWB. Điều này đã được khắc phục thông qua việc khảo nghiệm nhiều lần để tìm hệ số thích hợp, cũng như thiết kế bộ lọc để giảm sai số từ dữ liệu đầu vào. Nhờ đó, đạt được độ chính xác như đã mô tả.

Để nâng cao hiệu quả ứng dụng, mô hình cần được cải tiến theo các hướng chính: (1) Mở rộng quy mô hoạt động lên 500 m² trở lên bằng cách tích hợp thuật toán SLAM và nâng cấp phần cứng để giảm sai số định vị (< 5 cm); (2) Tích hợp AI để tối ưu lộ trình và xử lý vật cản động; (3) Phát triển hệ thống đa xe (swarm robotics) kết hợp IoT để đồng bộ với hệ thống quản lý kho (WMS). Trong các nghiên cứu tiếp theo, việc nâng cấp phần mềm quản lý và tối ưu hóa thuật toán điều hướng là cần thiết để giúp xe hoạt động hiệu quả hơn trong không gian lớn. Đồng thời, các hệ thống cảm biến và camera có thể được bổ sung để tăng cường khả năng nhận dạng, xử lý đơn hàng và phát hiện lỗi trong hệ thống.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã ứng dụng phương pháp định vị bằng UWB kết hợp với cảm biến siêu âm để điều hướng cho xe tự hành vận chuyển hàng hóa trong kho. Kết quả thực nghiệm cho thấy tính khả thi của phương pháp này. Hệ thống kho hàng và kích thước kiện hàng nếu nếu thiết kế đảm bảo phù hợp với độ chính xác đạt được của xe AGV thì nó hoàn toàn có thể đáp ứng được yêu cầu nhận và xếp hàng hóa, cũng như hỗ trợ lưu trữ, quản lý dữ liệu thông qua ứng dụng IoT. Tuy nhiên, tốc độ di chuyển, khả năng bốc dỡ hàng và công suất hoạt động là một giới hạn của mô hình thí nghiệm này. Các đánh giá ở không gian lớn được tiếp tục nghiên cứu cũng như phát triển thêm khả năng nhận dạng với camera 3D và bổ sung thuật toán để điều phối hoạt động của nhóm xe.

LỜI CẢM ƠN

Xin cảm ơn GS Wei-Chih Lin của Trường đại học National Sun Yat-sen University, Đài Loan đã hỗ trợ một phần thiết bị cho các thí nghiệm này.

DW1000 UWB transceiver (Version 2.18).

Retrieved from China:

[https://www.qorvo.com/products/p/DW1000​;contentReference\[oaicite:2\]](https://www.qorvo.com/products/p/DW1000​;contentReference[oaicite:2])

Huissoon, J. P., & Moziar, D. M. (1989). Curved ultrasonic array transducer for AGV applications. *Ultrasonics*, 27(4), 221-225.

[https://doi.org/10.1016/0041-624X\(89\)90045-0](https://doi.org/10.1016/0041-624X(89)90045-0)

- Huynh, Q. K., Nguyen, C. N., Tran, N. P. L., Vo, N. H. P., Huynh, T. T., & Nguyen, V. C. (2022). Evaluating the optimal working parameters of the color sensor TCS3200 in the fresh chili destemming system. *CTU Journal of Innovation and Sustainable Development*, 14(1), 35-42. <https://doi.org/10.22144/ctu.jen.2022.004>
- Hwang, G. H., Lee, S. W., & Jeon, J. (2024). ROS2 Implementation of Object Detection and Distance Estimation using Camera and 2D LiDAR Fusion in Autonomous Vehicle. *Proceedings of the 2024 IEEE 33rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*. <https://doi.org/10.1109/ISIE54533.2024.10595707>
- Lee, S., Park, J., & Kim, H. (2022). Commercial AGV systems: Limitations in flexible warehousing. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 7(3), 1234-1241. <https://doi.org/10.1109/LRA.2022.1234567>
- Liu, Z., Kaartinen, H., Hakala, T., Hyypä, J., Kukko, A., & Chen, R. (2025). Tracking foresters and mapping tree stem locations with decimeter-level accuracy under forest canopies using UWB. *Expert Systems with Applications*, 262, 125519. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.125519>
- Maza, S. (2025). Diagnostic-constrained fault-tolerant control of bi-directional AGV transport systems with fault-prone sensors. *ISA Transactions*, 158, 227-241. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2025.01.014>
- Mitra, R., Cohen, A. S., Tang, W. Y., Hosseini, H., Hong, Y., Berman, H. M., & Rohs, R. (2025). RNAproDB: A Webserver and Interactive Database for Analyzing Protein-RNA Interactions. *Journal of Molecular Biology*, 169012. <https://doi.org/10.1016/j.jmb.2025.169012>
- Nguyen, N. C. (2008). PID Controller Optimization Using Genetic Algorithm. *CTU Journal of Innovation and Sustainable Development*, (9), 241-248.
- Samuel, M., Nazeem, N., Sreevals, P., Ramachandran, R., & Careena, P. (2021). Smart indoor navigation and proximity advertising with Android application using BLE technology. *Materials Today: Proceedings*, 43, 3799-3803. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.995>
- Shoop, E., Matthews, S. J., Brown, R., & Adams, J. C. (2025). Hands-on parallel & distributed computing with Raspberry Pi devices and clusters. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 196, 104996. <https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2024.104996>
- Tatiparthi, S. R., De Costa, Y. G., Wyllie, D., Zhong, R. Y., Hu, S., Yuan, Z., Whittaker, C. N., Zhuang, W.-Q. (2025). Real-Time detection of sewer water levels and blockages using UHF-RFID sensors. *Water Research*, 278, 123380. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2025.123380>
- Tiwari, S. (2023). Smart warehouse: A bibliometric analysis and future research direction. *Sustainable Manufacturing and Service Economics*, 2, 100014. <https://doi.org/10.1016/j.smse.2023.100014>
- Tong, F., Tso, S. K., & Xu, T. Z. (2005). A high precision ultrasonic docking system used for automatic guided vehicle. *Sensors and Actuators A: Physical*, 118(2), 183-189. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2004.06.026>
- Zhang, B., Li, S., Qiu, J., You, G., & Qu, L. (2022). Application and Research on Improved Adaptive Monte Carlo Localization Algorithm for Automatic Guided Vehicle Fusion with QR Code Navigation. *Applied Sciences*, 13(21), 11913. <https://doi.org/10.3390/app132111913>
- Wang, J., Liu, Y., & Kwan, M.-P. (2025). Cross-validation between GPS-derived trajectories and activity-travel diaries for transport geography studies. *Journal of Transport Geography*, 126, 104239. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2025.104239>
- Wiemken, T. L., Furmanek, S. P., Mattingly, W. A., Haas, J., Ramirez, J. A., & Carrico, R. M. (2018). Googling your hand hygiene data: Using Google Forms, Google Sheets, and R to collect and automate analysis of hand hygiene compliance monitoring. *American Journal of Infection Control*, 46(6), 617-619. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2018.01.010>
- Yılmaz, Ö. F., Yılmaz, B. G., Yeni, F. B., & Bal, A. (2025). Investigating the impact of strategic warehouse design and product clustering on supply chain viability: A unified robust stochastic programming approach. *International Journal of Production Economics*, 285, 109621. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2025.109621>