



DOI:10.22144/ctujos.2025.101

GIẢI PHÁP LẬP KẾ HOẠCH DI CHUYỂN CHO HỆ ROBOT TAY MÁY DI ĐỘNG KẾT HỢP UAV TRONG MÔI TRƯỜNG NGOÀI TRỜI

Luu Trọng Hiếu*, Nguyễn Minh Nhật, Võ Hoài Trường Giang và Huỳnh Minh Nhựt

Trường Bách Khoa, Trường Đại học Cần Thơ, Việt Nam

*Tác giả liên hệ (Corresponding author): luutronghieus@ctu.edu.vn

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 04/02/2025

Sửa bài (Revised): 15/05/2025

Duyệt đăng (Accepted): 30/05/2025

Title: Path Planning Solution for a Mobile Manipulator System Integrated with UAV in Outdoor Environments

Author: Luu Trong Hieu*, Nguyen Minh Nhat, Vo Hoai Truong Giang and Huynh Minh Nhut

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

TÓM TẮT

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm đề xuất giải pháp lập kế hoạch di chuyển cho hệ robot tay máy kết hợp thiết bị bay không người lái (UAV). Bản đồ số được tạo từ hình ảnh của máy ảnh gắn trên UAV, chứa thông tin về chướng ngại vật và các vị trí mục tiêu. Thuật toán Dijkstra được sử dụng để tính toán đường đi ngắn nhất, giúp robot di chuyển đến các vị trí đích và tránh va chạm. Phương pháp đo quãng đường di chuyển (odometry) được áp dụng để xác định vị trí của robot, với dữ liệu được truyền về máy tính điều khiển qua giao thức UDP. Tại mỗi điểm xác định, robot dùng máy ảnh RGB-D để phát hiện mục tiêu và điều khiển tay máy gấp vật khi đủ gần. Kết quả thực nghiệm cho thấy hệ thống hoạt động hiệu quả trong môi trường ngoài trời, đảm bảo khả năng di chuyển, định vị và thao tác chính xác. Kết quả nghiên cứu cho thấy tiềm năng ứng dụng của hệ robot tay máy tự hành trong các nhiệm vụ ngoài trời, đặc biệt ở những khu vực khó tiếp cận.

Từ khóa: Hệ robot tay máy di động, thuật toán Dijkstra, lập bản đồ bằng UAV, lập kế hoạch di chuyển ngoài trời, gấp vật thể

ABSTRACT

This study proposes a motion planning solution for a mobile manipulator system integrated with an unmanned aerial vehicle (UAV). A digital map is generated from images captured by a camera mounted on the UAV, containing information about obstacles and target positions. The Dijkstra algorithm is used to compute the shortest path, allowing the robot to reach designated targets while avoiding collisions. An odometry-based method is applied to estimate the robot's position, with data transmitted to the control computer via the UDP protocol. At each specified location, the robot uses a camera to detect the target and activates the manipulator arm to grasp the object when within range. Experimental results showed that the system operates effectively in outdoor environments, ensuring accurate navigation, localization, and manipulation. The study demonstrated the potential of autonomous robotic manipulators for outdoor applications, especially in areas that are difficult to access.

Keywords: Autonomous mobile manipulator, Dijkstra algorithm, object grasping, outdoor path planning, UAV mapping.

1. GIỚI THIỆU

Hệ robot di động tích hợp tay máy (mobile manipulator) là một nền tảng robot kết hợp giữa khả năng di chuyển linh hoạt của robot di động và khả năng thao tác vật lý của tay máy robot. Cấu trúc hệ thống bao gồm một nền tảng di động (chẳng hạn như robot bánh xe hoặc robot chân), một cánh tay robot có nhiều bậc tự do, cùng với hệ thống cảm biến và điều khiển tích hợp. Sự kết hợp này cho phép robot thực hiện các tác vụ phức tạp trong môi trường không cấu trúc, như di chuyển đến vị trí làm việc, thao tác với đối tượng, và tương tác với con người hoặc thiết bị. Nhờ tính linh hoạt và khả năng thích ứng cao, hệ robot này đang được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực như logistics thông minh, chăm sóc y tế, thám hiểm, và sản xuất tự động. Trong nghiên cứu, lĩnh vực này bao gồm một số hướng nghiên cứu chính bao gồm thiết kế gấp vật và điều hướng robot di động (Sandakalum et al., 2022).

Việc nghiên cứu thiết kế robot di động tích hợp hệ tay máy được thực hiện để gấp vật trong môi trường bán cấu trúc (Štibinger et al., 2021), trong môi trường trong nhà (Haviland et al., 2022) và thiết kế gấp vật có tích hợp hệ thống máy ảnh số dẫn đường (Chen et al., 2019). Bên cạnh đó, việc thiết kế điều khiển gấp thả có thể được ứng dụng vào kho hàng để lưu trữ và truy xuất tự động (Bogue, 2016), ứng dụng đối với các hộ gia đình và trong văn phòng (Hawes et al., 2017; Triebel et al., 2016).

Các thuật toán lập kế hoạch cũng được chia thành hai nhóm bao gồm lập kế hoạch di chuyển cho toàn hệ và lập kế hoạch cục bộ cho tay máy gấp vật. Tại nhóm đầu tiên, hệ robot tay máy được dẫn đường từ ảnh có cao độ xác định và xem xét toàn bộ hệ như một đối tượng, không tách biệt. Bên cạnh các giải pháp cổ điển như A* và ARA* (Su et al., 2011; Liu et al., 2016; Gochev et al., 2012), các giải pháp hiện sử dụng trí thông minh nhân tạo (Li et al., 2024; Chen et al., 2021; Yin et al., 2024). Thêm vào đó, các nghiên cứu gần đây tập trung vào nghiên cứu dẫn đường cho robot di động từ máy ảnh số tích hợp lên thiết bị bay không người lái (Pretto et al., 2021; và Spurný et al., 2019). Thêm vào đó, việc lập kế hoạch gấp vật cho toàn hệ cũng được nghiên cứu và phát triển. Hướng nghiên cứu này được xác định bao gồm ổn định vị trí và vận tốc cho xe khi áp sát đối tượng (Tzafestas, 2019 và Yu, 2018) và thiết lập quỹ đạo để tay máy có thể gấp được vật (Sánchez-Ibáñez et al., 2021; Gul et al., 2021).

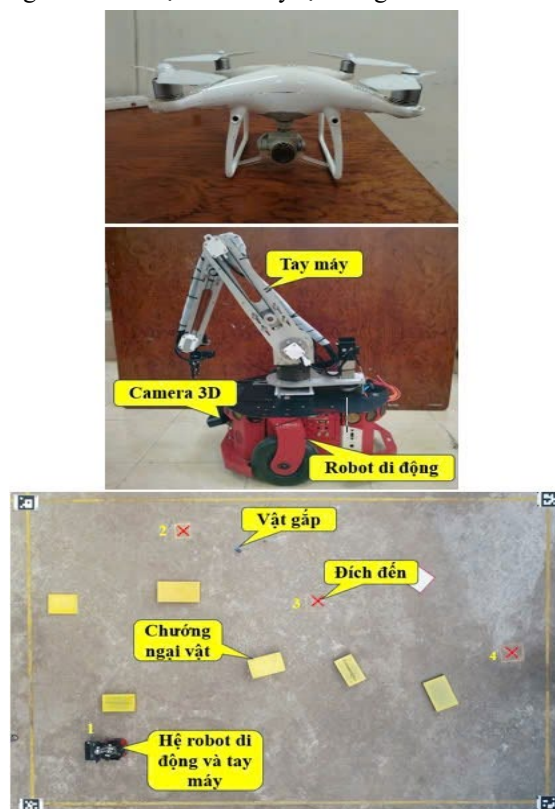
Trong nghiên cứu này, giải pháp điều hướng robot di động từ thiết bị bay không người lái có tích

hợp máy ảnh số và phương pháp tạo bản đồ số để điều hướng hệ robot tay máy từ máy ảnh số được tích hợp trên UAV đã được trình bày. Bản đồ hiển thị các thông tin về chướng ngại vật, các vị trí đích và được số hóa và chia lưới dưới dạng nhị phân để làm đầu vào cho lập kế hoạch di chuyển. Tiếp đó, giải pháp đường đi ngắn nhất Dijkstra được sử dụng để robot có thể né chướng ngại vật và đi qua tất cả các điểm đích đến. Khi đến từng vị trí mục tiêu, robot tìm đối tượng gấp bằng máy ảnh số RGB-D có thể tính được khoảng cách từ máy ảnh đến vật thể. Sau khi gấp được vật mục tiêu, robot tiếp tục quá trình di chuyển để hoàn thành lộ trình đề ra.

2. PHƯƠNG PHÁP

2.1. Thiết bị và sơ đồ tổng quát của hệ thống

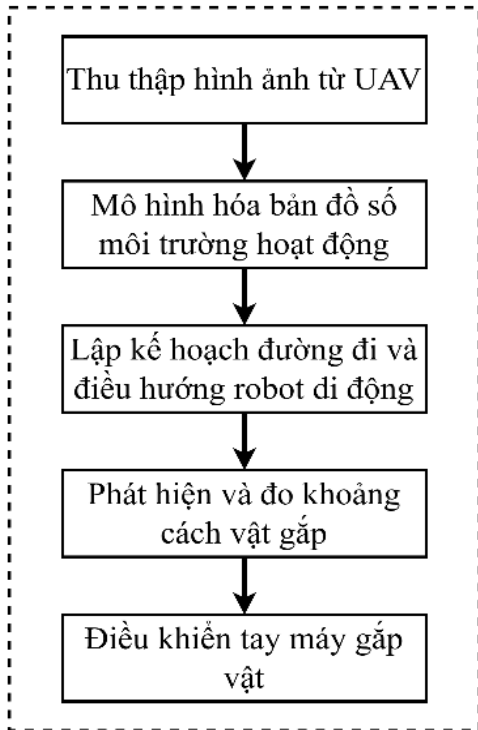
Thiết bị sử dụng trong bài báo này bao gồm một robot di động P2DX đã được chỉnh sửa lại [cite] có tích hợp một tay máy 4 bậc tự do và một máy ảnh số RGB-D. Một máy bay không người lái (UAV) có tích hợp máy ảnh số để lập bản đồ vùng thí nghiệm. Thí nghiệm được tiến hành tại sân bóng chuyên trường Bách Khoa, Trường đại học Cần Thơ, với vùng thí nghiệm có diện tích 6 m² × 9 m² (Hình 1). Thông số kỹ thuật của các thiết bị sử dụng trong nghiên cứu được trình bày tại Bảng 1.



Hình 1. Thiết bị và bố trí thí nghiệm

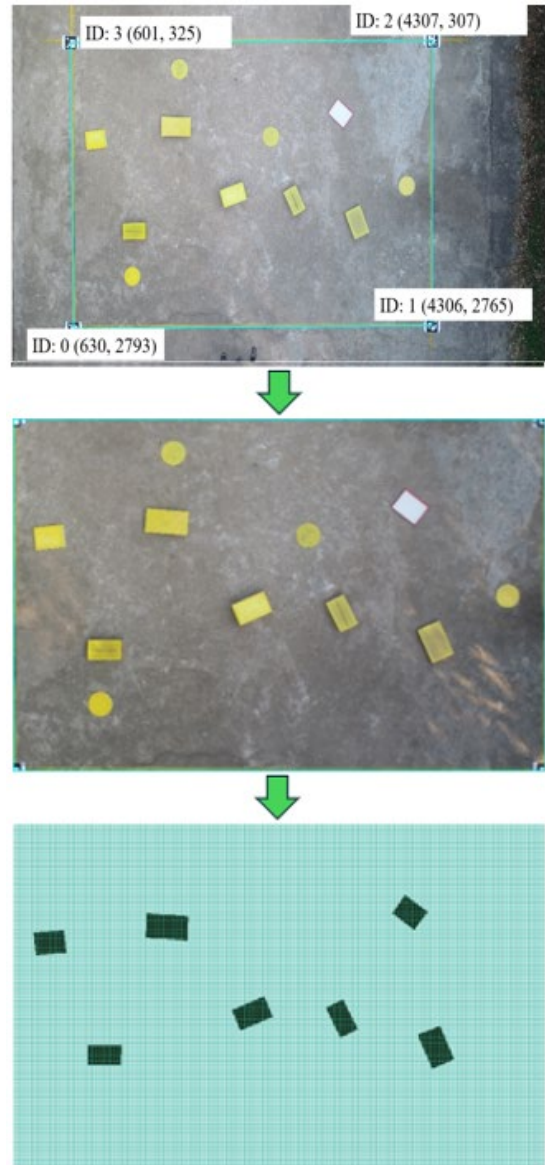
Bảng 1. Thông số kỹ thuật của các thiết bị sử dụng trong nghiên cứu

Tên thiết bị	Thông số kỹ thuật
Robot di động	485 × 381 × 219 mm 18,25kg
Tay máy UAV	Tầm với 715.71 mm Cao độ 9 m
Máy ảnh RGB-D	Astra Pro (1280 x 720 pixel)



Hình 2. Sơ đồ tổng quát của nghiên cứu

Quá trình thực hiện đề tài sẽ được thực hiện như Hình 2. UAV được thiết lập bay ở cao độ 9 m, để thu thập ảnh khu vực thí nghiệm. Quá trình xử lý ảnh được thực hiện nhằm mô hình hóa môi trường hoạt động bao gồm các bước sau: chuyển sang ảnh xám, lọc nhiễu, phát hiện marker và hiệu chỉnh độ cong ảnh từ đó xác định chính xác tọa độ chương ngại vật và các đích đến. Dữ liệu này được chuyển thành bản đồ lưới nhị phân, là ngõ vào của thuật toán Dijkstra tính toán đường đi ngắn nhất cho robot qua các điểm đến. Robot di động Pioneer P2-DX sử dụng Odometry để ước lượng vị trí và hướng di chuyển, tuân theo lộ trình Dijkstra tới từng đích. Trong quá trình di chuyển, camera 3D gắn trước xe liên tục quét và đo khoảng cách đến vật gấp, khi vật nằm trong khoảng làm việc của tay máy 4 bậc tự do, hệ thống tính toán động học nghịch để xác định góc khớp nằm trong giới hạn làm việc và thực hiện thao tác gấp vật.



Hình 3. Biến đổi phối cảnh bản đồ và mô hình hóa bản đồ

2.2. Xây dựng bản đồ số từ UAV

2.2.1. Mô hình hóa bản đồ số môi trường hoạt động của robot di động

Mô hình hóa bản đồ là quá trình xử lý ảnh đầu vào từ UAV thành bản đồ dạng lưới nhằm phục vụ cho thuật toán tìm đường đi ngắn nhất Dijkstra. Đầu tiên, ảnh thu thập từ UAV được chuyển thành dạng xám và xác định vị trí của 4 marker (Hình 3). Dựa trên tọa độ tâm của từng marker, một phương pháp biến đổi phối cảnh (perspective transform) được sử dụng để hiệu chỉnh độ cong ảnh. Ảnh sau khi được

biến đổi phối cảnh có kích thước 600×900 pixel tương ứng với 600×900 cm ngoài thực tế.

Đầu tiên, ảnh đầu vào (RGB) được biến đổi thành ảnh xám (gray) (0 - 255). Sau đó, bộ lọc Bilateral kết hợp phương pháp phát hiện cạnh Canny được sử dụng để phát hiện vị trí cạnh của các khối chướng ngại vật cũng như vị trí các đích đến của robot. Trong nghiên cứu này, các khối hình đa giác được xem như là chướng ngại vật, tâm các khối hình tròn được xem như vị trí cần di chuyển đến. Giá trị ngưỡng mức xám thiết lập trong nghiên cứu bao gồm ngưỡng dưới $T_{Low} = 35$ và ngưỡng trên $T_{High} = 150$.

Sau khi phát hiện và xác định các chướng ngại vật, ảnh được chia thành lưới gồm 90×60 ô vuông, mỗi ô 10 pixel tương ứng với 10 cm trong thực tế (kích thước bản đồ 900×600 cm). Đồng thời, một ma trận nhị phân được tạo nhằm phục vụ thuật toán điều hướng cho robot di động.

2.2.2. Áp dụng thuật toán tìm đường đi ngắn nhất Dijkstra

Để robot có thể di chuyển mà không va chạm vào các chướng ngại vật, các chướng ngại vật được phóng to diện tích hơn so với kích thước thực tế (Hình 4). Dựa trên bản đồ phóng to, thuật toán đường đi ngắn nhất Dijkstra được mô hình hóa dưới dạng đồ thị để tìm đường đi ngắn nhất cho robot $G = (V, E)$ với:

- V là tập hợp các vị trí khả thi. Trong nghiên cứu này, V là tập hợp các đỉnh phóng to của chướng ngại vật.
- $u, v \in E$ là tập hợp các khoảng cách di chuyển

Mục tiêu của thuật toán là tìm ra đường đi có trọng số nhỏ nhất từ vị trí xuất phát. Thuật toán được bắt đầu bằng khởi tạo giá trị khoảng cách $d(v)$ cho mỗi đỉnh như sau:

$$dv = 0, \text{ nếu } v = s + \infty, \text{ nếu } v \neq s. \quad (1)$$

Thuật toán được tiến hành theo chiến lược tham lam. Tại mỗi bước, chọn đỉnh $d(u)$ có giá trị nhỏ nhất và cập nhật các giá trị đỉnh liên kề theo phương trình:

$$d(v) = \min(d(v), d(u) + w(u, v)) \quad (2)$$

Với:

$$w(u, v) = \begin{cases} 1, & \text{nếu } u, v \text{ là cạnh kề} \\ \sqrt{2}, & \text{nếu } u, v \text{ là cạnh chéo} \end{cases} \quad (3)$$

2.2.3. Vị trí robot di động trong bản đồ số

Sau khi tính toán ra đường đi ngắn nhất, quỹ đạo đường đi được truyền từ máy tính điều khiển xuống vi điều khiển ESP32 thông qua giao thức UDP. Vi điều khiển tính toán quãng đường và định vị các góc quay bằng cảm biến IMU MPU6050. Kỹ thuật đo quãng đường di chuyển của robot (odometry) được tính toán dựa theo số xung của encoder và sai số trong quá trình di chuyển như sau:

$$\Delta pulse = pulse - prepulse \quad (4)$$

Với:

- $\Delta pulse$: là độ lệch xung theo thời gian
- $prepulse$: là giá trị xung của lần cập nhật $t-1$
- $pulse$: là giá trị xung của lần cập nhật t

Equation Chapter (Next) Section 1 Gọi D_R, D_L là khoảng cách di chuyển của hai bánh xe so với vị trí trước đó trong hệ tọa độ Descarte. Lúc này khoảng cách di chuyển được tính như sau:

$$D_{R,L} = \frac{\Delta pulse_{R,L} \times C}{9850} \quad (5)$$

Với: C là chu vi bánh xe, 9850 là số xung trên 1 vòng bánh xe.

Tính quãng đường trung bình và góc quay của xe khi di chuyển theo (6 - 7) với B là khoảng cách 2 bánh xe.

$$D_C = \frac{D_R + D_L}{2} \quad (6)$$

$$\Delta \theta = \frac{D_R - D_L}{B} \quad (7)$$

Vị trí hiện tại của robot di động được xác định bởi (8).

$$\begin{cases} x' = x + D_C \times \cos(\Delta \theta) \\ y' = y + D_C \times \sin(\Delta \theta) \\ \theta' = \Delta \theta + \frac{D_R - D_L}{B} \end{cases} \quad (8)$$

2.3. Điều khiển gắp vật bằng hệ tay máy – máy ảnh số

2.3.1. Phương trình động học của tay máy

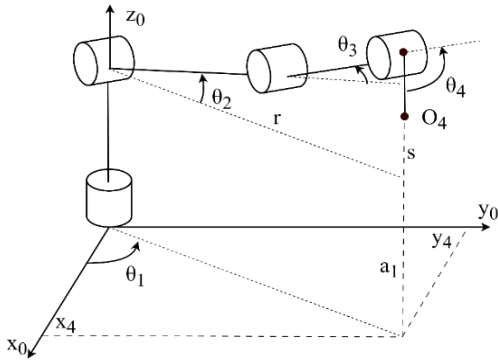
Tay máy được tích hợp trên robot di động là dạng 4 bậc tự do toàn khớp xoay, trong nghiên cứu này, tay máy được lập trình sao cho khâu gắp luôn hướng xuống vuông góc với mặt phẳng gắp, từ đó hệ tọa độ tay máy trong hệ tọa độ Descarte được

thiết lập như Hình 4 và bảng thông số DH được xây dựng như trong Bảng 2-

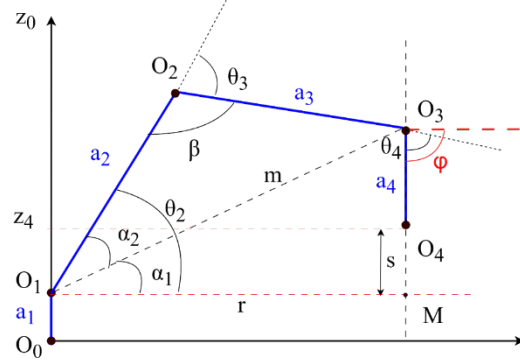
Bảng 2. Bảng thông số DH cho tay máy

Khâu	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	θ_1	d_1	0	$\pi/2$
2	θ_2	0	a_2	0
3	θ_3	0	a_3	0
4	θ_4	0	a_4	0

Với θ_i là góc quay của các khớp, d_i là khoảng cách của 2 trục $x_{(i-1)}$ và x_i dọc theo $z_{(i-1)}$, a_i là khoảng cách của 2 trục $z_{(i-1)}$ và z_i dọc theo x_i



a) Hình chiếu cạnh tay máy



b) Hình chiếu đứng tay máy

Hình 5. Mô hình hình chiếu của tay máy

Động học nghịch robot sẽ tính theo một trường hợp với chiều làm việc hướng xuống của tay máy, đây là dạng hình học của robot khi gấp vật trong thí nghiệm. Phương trình động học nghịch của tay máy được thiết lập dưới dạng mô hình hình học (Spong et al., 1989) như Hình 5.

Khi đó khớp thứ nhất được xác định:

$$\theta_1 = \text{atan2}\left(\frac{y_4}{x_4}\right) \quad (9)$$

Với $O_4(x_4, y_4, z_4)$ là vị trí cuối cùng và φ là tọa độ biết trước, φ là góc gấp của khâu cuối. Do góc gấp khâu cuối φ luôn hướng xuống để gấp vật. Khi đó:

$$\varphi = \theta_2 + \theta_3 + \theta_4 = -90 \quad (10)$$

$$\theta_2 = \alpha_1 + \alpha_2 \quad (11)$$

$$\theta_3 = 180 - \beta \quad (12)$$

$$\theta_4 = -90 - (\theta_2 + \theta_3) \quad (13)$$

2.3.2. Nhận diện và đo khoảng cách vật gấp

Trong nghiên cứu này, một máy ảnh số RGB-D Astro Pro, lắp đặt phía trước robot, được sử dụng để

tìm vật gấp và xác định tọa độ vật gấp so với hệ robot tay máy. Máy ảnh số bao gồm 1 máy ảnh thường (RGB) và một ảnh hồng ngoại (Depth) có thể đo được khoảng cách từ máy ảnh đến vật. Không gian màu HSV và phân ngưỡng được sử dụng để loại bỏ nhiễu và xác định vị trí vật, trong nghiên cứu này giá trị tối thiểu và tối đa lần lượt là: $\min(H, S, V) = (103, 121, 0)$ và $\max(H, S, V) = (255, 255, 255)$. Sau đó, ảnh sẽ được khử nhiễu và tạo đường viền. Khoảng cách từ máy ảnh đến vật được tính theo công thức sau:

$$F = \frac{w \times \text{Depth}}{W} \quad (14)$$

$$\text{Depth} = \frac{W \times F}{w} \quad (15)$$

Với:

- F là tiêu cự của camera cần tìm.
- W là chiều rộng vật thể trong ảnh (theo pixel).
- Depth là khoảng cách thực tế từ camera đến vật thể (cm).
- w là chiều rộng thực tế của vật thể (cm).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Số hóa bản đồ và thiết lập đường đi ngắn nhất cho robot di động

Kết quả xác định tọa độ điểm đến và tọa độ đỉnh của các chương ngại vật được thể hiện tại Hình 6. Bản đồ bao gồm 7 chương ngại vật (hình tứ giác) và 4 điểm đến (hình tròn). Kết quả cho thấy phương pháp đề xuất có thể xác định được toàn bộ đỉnh của các chương ngại vật và tâm của điểm di chuyển tới. Độ chính xác của tọa độ điểm được xác định thủ công bằng cách đo khoảng cách của đỉnh các hình tứ giác đến vị trí góc dưới bên trái của khung ảnh. Quá trình thí nghiệm này được lặp lại bảy lần với các tọa độ và khoảng cách khác nhau. Do kích thước của các chương ngại vật là khác nhau nên sai số của chúng cũng không đồng nhất. Kết quả sai số được thể hiện trong Bảng 3.

Bảng 3. Sai số trung bình của các lần đo

Chương ngại vật	Sai số trung bình (cm)
1	(2,5, 1)
2	(2,25, 1)
3	(1,5, 0,5)
4	(0,75, 0,5)
5	(1,5, 1,5)
6	(2,25, 1,75)
7	(2,75, 1,5)

Kết quả của số hóa bản đồ được thể hiện ở Hình 6b). Các hình chữ nhật màu đen thể hiện cho chương ngại vật còn các ký hiệu “x” màu xanh ký hiệu cho vị trí robot sẽ di chuyển đến. Đường đi ngắn nhất của robot cũng được thể hiện ở Hình 6c và quỹ đạo thực tế của robot được thể hiện ở Hình 6d. Quỹ đạo di chuyển của robot là tập hợp vị trí (x', y') trong suốt quá trình di chuyển. Quá trình thí nghiệm thực tế này được lặp lại bảy lần, sai số khi robot đến các vị trí thiết lập được trình bày trong Bảng 4.

Bảng 4. Kết quả di chuyển của robot trong bản đồ

Đích đến	Sai số trung bình (x, y) (cm)
1	(0, 0)
2	(4, 5)
3	(6, 7)
4	(7, 9)

Kết quả cho thấy đích đến ở khoảng cách càng xa so với vị trí xuất phát, sai số càng lớn. Nguyên nhân chính dẫn đến sai số này đến từ bản chất tích lũy sai số của thuật toán Odometry, trượt bánh xe hoặc sai số cảm biến encoder khiến robot ghi nhận sai về khoảng cách và góc quay thực tế. Việc tích lũy sai số sau mỗi lần cập nhật vị trí khiến các điểm

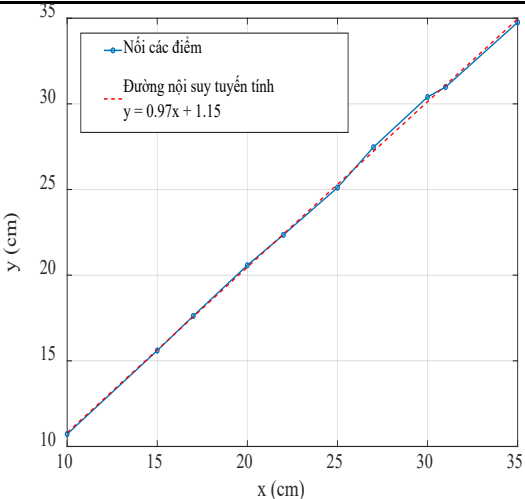
xa càng lệch khỏi vị trí thực tế nhiều hơn. Ngoài ra, bề mặt di chuyển không đồng đều, gây ra hiện tượng bánh xe không quay đúng như lý thuyết cũng là nguyên nhân gây sai số.

3.2. Xác định khoảng cách và điều hướng gấp vật cho hệ robot tay máy

Kết quả đo khoảng cách từ vật thể đến máy ảnh số được thể hiện ở Hình 7. Kết quả cho thấy máy ảnh có thể xác định đúng được đối tượng cần tìm trong khung ảnh. Để đánh giá độ chính xác của phép đo, thí nghiệm lặp lại 3 lần với 10 khoảng cách khác nhau từ 10 đến 35 cm. Kết quả cho thấy sai số lớn nhất ở 10 cm (7,2%), sai số ít nhất ở 31 cm (0,06%). Bên cạnh đó, kết quả thực nghiệm cho thấy khoảng cách giữa vật và máy ảnh càng ngắn, sai số càng cao (Bảng 5). Để hệ máy ảnh tay máy có thể gấp chính xác được vật thể, một phương trình $y = ax + b$ nội suy tuyến tính được thiết lập thông qua các điểm đo (Hình 8), kết quả cho thấy $a = 0,97$ và $b = 1,15$.

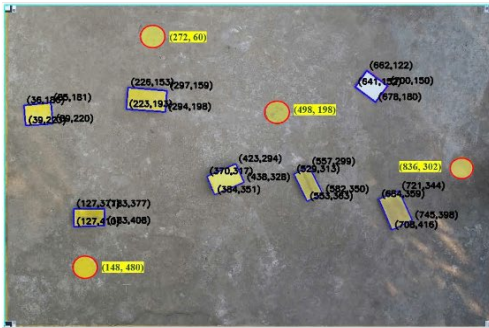
Bảng 5. Kết quả đo ở các khoảng cách khác nhau

Lần đo	Khoảng cách thực tế (cm)	Khoảng cách đo được (cm)	Sai số trung bình (cm)
1	10	10,72	7,2%
2	15	15,60	4%
3	17	17,62	3,65%
4	20	20,58	2,9%
5	22	22,35	1,59%
6	25	25,11	0,44%
7	27	27,47	1,74%
8	30	30,40	1,33%
9	31	30,98	0,06%
10	35	34,76	0,69%

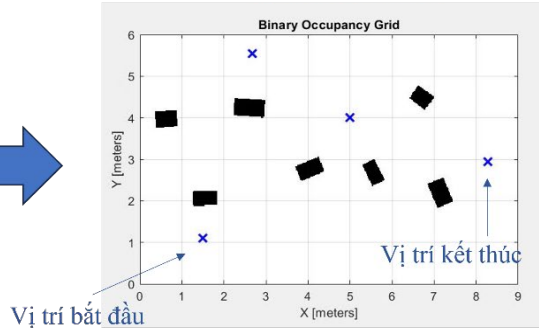


Hình 6. Nội suy tuyến tính khoảng cách đo từ máy ảnh số.

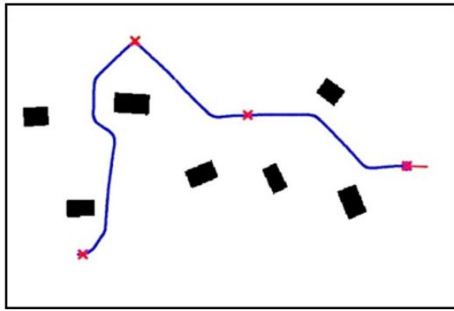
a) Xác định tọa độ vị trí đến và chướng ngại vật



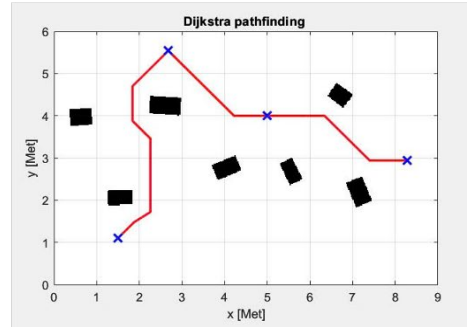
b) Số hóa bản đồ



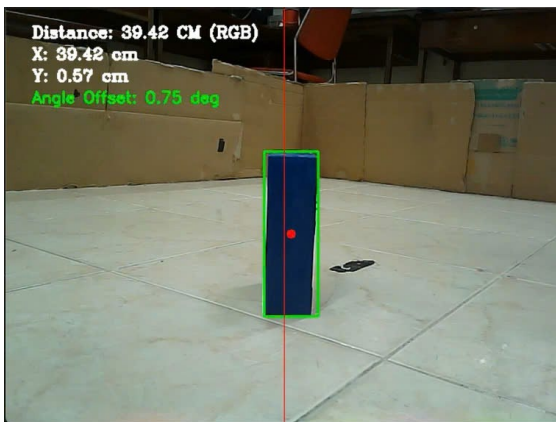
d) Quỹ đạo thực tế của robot khi di chuyển



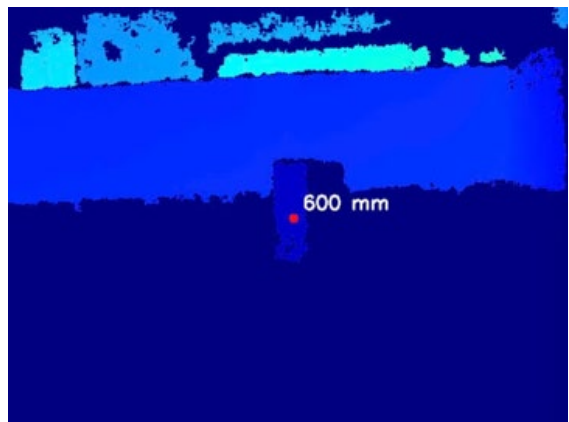
c) Thiết lập đường đi ngắn nhất cho robot



Hình 7. Mô hình hóa bản đồ và thiết lập đường đi ngắn nhất



a) định vị đối tượng từ máy ảnh RGB



b) Đo độ sâu từ máy ảnh hồng ngoại

Hình 8. Đo khoảng cách bằng máy ảnh RGB-D

Quá trình robot di động hoạt động ngoài trời được thể hiện ở Hình 9. Kết quả cho thấy robot có thể di chuyển đến các đích đến, xác định vật thể, gấp chính xác được đối tượng và hoàn thành quỹ đạo di chuyển đã được vạch ra trước đó. Thời gian thí nghiệm tốt nhất là trong khoảng 6 – 8 giờ sáng và 16h00 đến 17h00 trong điều kiện ánh sáng tốt,

không mưa. Trong quá trình thí nghiệm, khi ánh sáng thay đổi hoặc xuất hiện bóng, khả năng xử lý ảnh giảm, dẫn đến nhận diện và xác định vật cần gấp kém chính xác. Đồng thời, bề mặt di chuyển gồ ghề làm robot dễ bị rung lắc, trượt bánh, gia tăng sai số vị trí.



Hình 9. Quá trình robot di chuyển thực tế

4. KẾT LUẬN

Một giải pháp điều hướng hệ robot tay máy có tích hợp máy ảnh RGB-D bằng ảnh được chụp từ thiết bị bay không người lái UAV đã được trình bày trong nghiên cứu. Nhóm nghiên cứu đã tạo ra một bản đồ số từ không ảnh, có đầy đủ thông tin vị trí của các chướng ngại vật và vị trí đích. Thuật toán đường đi ngắn nhất Dijkstra được áp dụng lên bản đồ số để lập kế hoạch đường đi cho robot di động có thể tránh chướng ngại vật và đi qua tất cả các điểm đích. Khi đến từng vị trí, robot sử dụng máy ảnh số RGB-D để tìm đối tượng, và ra lệnh cho tay máy tiến hành gấp vật.

Kết quả thực nghiệm cho thấy hệ thống có thể hoạt động ổn định trong điều kiện sáng từ 6 đến 8

giờ sáng và từ 16 đến 17h chiều. Tuy nhiên trong nghiên cứu này, trường hợp bản đồ xuất hiện các yếu tố của môi trường động (dynamic environment) như xuất hiện các chướng ngại vật động, vật thể mới xuất hiện cũng chưa được đề cập. Thêm vào đó, sai số vị trí của robot càng cao khi robot di chuyển càng xa vị trí bắt đầu, vì vậy một phương pháp hồi tiếp vị trí của robot trong môi trường bên ngoài cũng cần được xem xét tới.

Kết quả nghiên cứu này bước đầu giúp đánh giá khả năng hoạt động của mô hình mới chế tạo, trong tương lai các thuật toán điều hướng cao cấp hơn sẽ được hướng tới. Bên cạnh đó, kết quả nghiên cứu cũng mở ra hướng ứng dụng hệ UAV – robot để có thể điều hướng robot thực hiện các nhiệm vụ thám hiểm khó hơn, nơi con người khó đi chuyển đến.

TÀI LIỆU THAM KHẢO (REFERENCES)

- Bogue, R. (2016). Growth in e-commerce boosts innovation in the warehouse robot market. *Industrial Robot: The International Journal of Robotics Research and Application*, 43(6), 583–587. <https://doi.org/10.1108/IR-07-2016-0194>
- Chen, F., Selvaggio, M., & Caldwell, D. G. (2019). Dexterous grasping by manipulability selection for mobile manipulator with visual guidance. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(2), 1202–1210. <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2879426>
- Chen, J., Zhao, Y., & Xu, X. (2021). Improved RRT-Connect based path planning algorithm for mobile robots. *IEEE Access*, 9, 145988–145999. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3123622>
- Gochev, K., Safonova, A., & Likhachev, M. (2012). Planning with adaptive dimensionality for mobile manipulation. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. IEEE, pp. 2944-2951 doi: 10.1109/ICRA.2012.6225228.
- Gul, F., Mir, I., Abualigah, L., Sumari, P., & Forestiero, A. (2021). A consolidated review of path planning and optimization techniques:

- Technical perspectives and future directions. *Electronics*, 10(18), 2250.
<https://doi.org/10.3390/electronics10182250>
- Haviland, J., Sünderhauf, N., & Corke, P. (2022). A holistic approach to reactive mobile manipulation. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 7(2), 3122–3129.
<https://doi.org/10.1109/LRA.2022.3146554>
- Hawes, N., Burbridge, C., Jovan, F., Kunze, L., Lacerda, B., Mudrova, L., Young, J., Wyatt, J., Hebesberger, D., Kortner, T., Ambrus, R., Bore, N., Folkesson, J., Jensfelt, P., Beyer, L., Hermans, A., Leibe, B., Aldoma, A., Faulhammer, T., Zillich, M., Vincze, M., Chinellato, E., Al-Omari, M., Duckworth, P., Gatsoulis, Y., Hogg, D. C., Cohn, A. G., Dondrup, C., Pulido Fentanes, J., Krajník, T., Santos, J. M., Duckett, T., & Hanheide, M. (2017). The STRANDS project: Long-term autonomy in everyday environments. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 24(3), 146–156.
<https://doi.org/10.1109/MRA.2016.2636359>
- Li, X., & Tong, Y. (2024). Path planning of a mobile robot based on the improved RRT algorithm. *Applied Sciences*, 14(1), 25.
<https://doi.org/10.3390/app14010025>
- Liu, K., Sui, J., Yue, N., & Liu, S. (2016). Path planning method of mobile manipulator based on the representation space. In *2016 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation* (pp. 322–326). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/ICMA.2016.7558582>
- Preto, A., Papadopoulos, F., Bechar, A., Vidoni, R., & Menegatti, E. (2021). Building an aerial-ground robotics system for precision farming: An adaptable solution. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 28(3), 29–49.
<https://doi.org/10.1109/MRA.2020.3012492>
- Sánchez-Ibáñez, J. R., Pérez-del Pulgar, C. J., & García-Cerezo, A. (2021). Path planning for autonomous mobile robots: A review. *Sensors*, 21(24), 7898. <https://doi.org/10.3390/s21237898>
- Sandakalum, T., & Ang, M. H. Jr. (2022). Motion planning for mobile manipulators—A systematic review. *Machines*, 10(2), 97.
<https://doi.org/10.3390/machines10020097>
- Spong, M. W., Hutchinson, S., & Vidyasagar, M. (1989). *Robot Modeling and Control*. John Wiley & Sons.
- Spurný, V., Kulich, M., Přeučil, L., & Faigl, J. (2019). Cooperative autonomous search, grasping, and delivering in a treasure hunt scenario by a team of unmanned aerial vehicles. *Journal of Field Robotics*, 36(1), 125–148.
<https://doi.org/10.1002/rob.21816>
- Štibinger, P., Petrík, M., Petrlik, M., Zimmermann, M., Chudoba, J., & Faigl, J. (2021). Mobile manipulator for autonomous localization, grasping and precise placement of construction material in a semi-structured environment. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 6(2), 2595–2602.
<https://doi.org/10.1109/LRA.2021.3061377>
- Su, J., & Xie, W. (2011). Motion planning and coordination for robot systems based on representation space. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, 41(1), 248–259.
<https://doi.org/10.1109/TSMCB.2010.2051025>
- Triebel, R., Arras, K. O., Alami, R., Beyer, L., Breuer, T., Chatila, R., Chetouani, M., Cremers, D., Evers, V., Fiore, M., Hung, H., Omar, I., Joosse, M., Khambhaita, H., Kucner, T., Leibe, B., Lilienthal, A., Linder, T., Lohse, M., Magnusson, M., Okal, B., Palmieri, L., Rafi, U., Rooij, M., Rösel, W. (2016). SPENCER: A soapacially aware service robot for passenger guidance and help in busy airports. In S. Heyer & K. Wurm (Eds.), *Field and Service Robotics* (pp. 607–622). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-27702-8_40
- Tzafestas, S. G. (2014). Mobile robot path, motion, and task planning. In *Introduction to Mobile Robot Control* (pp. 429–478). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417049-0.00010-4>
- Yin, X., Dong, W., Wang, X., & Zhang, Y. (2024). Route planning of mobile robot based on improved RRT star and TEB algorithm. *Scientific Reports*, 14, 8942.
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-59413-9>
- Yu, W. (Ed.). (2018). Chapter 1—Preliminaries. In *PID Control with Intelligent Compensation for Exoskeleton Robots* (pp. 1–12). Academic Press.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813380-4.00001-3>