

# ĐIỀU KHIỂN ROBOT MANG CHẬU CÂY BONSAI MINI ỨNG DỤNG TRONG NÔNG NGHIỆP

Trần Lê Trung Chánh<sup>1</sup>, Nguyễn Quốc Lĩnh<sup>1</sup>, Nguyễn Chí Nguyễn<sup>1</sup>  
và Nguyễn Hùng Thắng<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Cần Thơ  
Email: tltchanh@ctu.edu.vn

## Thông tin chung:

Ngày nhận bài:

24/10/2024

Ngày nhận bài sửa:

09/11/2024

Ngày duyệt đăng:

11/11/2024

**Từ khóa:** Human pose estimation, ROS, PID, mobile robot

## TÓM TẮT

Trong những năm gần đây, các nghiên cứu khoa học tập trung phát triển các hệ thống điều khiển robot nhằm cải thiện hiệu quả làm việc trong môi trường nông nghiệp, điển hình là kỹ thuật điều khiển robot bám theo người. Nghiên cứu này tập trung vào phát triển hệ thống robot để hỗ trợ việc di chuyển chậu cây bonsai mini. Robot không chỉ đảm nhận nhiệm vụ chở chậu cây mà còn được thiết kế để bám theo chuyển động của người dựa trên khung xương, từ đó cải thiện tính linh hoạt và tiện lợi trong các hoạt động chăm sóc cây cảnh.

Phương pháp nghiên cứu: sử dụng công nghệ Human Pose Estimation để theo dõi khung xương của người. Phương pháp này tích hợp công nghệ xử lý ảnh, giải thuật PID và sử dụng nền tảng phát triển robot từ Robot Operating System (ROS). Kết quả nghiên cứu: đã thiết kế thành công robot chở chậu cây bonsai mini và được điều khiển bằng công nghệ Human Pose Estimation kết hợp xử lý ảnh và ROS. Kết quả sau khi chạy thực nghiệm robot bám theo người với khoảng cách 100 cm và sai lệch khoảng cách  $\pm 5\%$  so với thực tế.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh nông nghiệp hiện đại, việc tối ưu hóa quy trình chăm sóc cây trồng và quản lý trang trại ngày càng trở nên quan trọng. Với sự phát triển của công nghệ robot và thị giác máy tính đã mở ra những cơ hội mới để cải thiện hiệu quả lao động và giảm thiểu khối lượng công việc thủ công cho công nhân.

Cây bonsai mini không chỉ đòi hỏi sự chăm sóc tỉ mỉ mà còn cần được đặt đúng vị trí để phát triển tốt. Việc di chuyển và chăm sóc các chậu bonsai mini thường gặp khó khăn do kích thước nhỏ gọn và yêu cầu kỹ thuật cao (Lan, 2005). Để giải quyết vấn đề này, chúng ta cần xây dựng robot bám mục tiêu một cách linh động và chính xác. Từ đó, chúng tôi thiết kế robot sử dụng thuật toán nhận diện tư thế cơ thể Human Pose Estimation (HPE) kết hợp với giải thuật PID

và sử dụng một nền tảng mạnh mẽ cho việc phát triển và điều khiển robot là ROS (Trinh, 2023).

Trong nghiên cứu này, nhóm đã thiết kế một robot di động với kết cấu khung hai tầng, bốn bánh mecanum và được trang bị thêm camera gắn phía trên khung xe. Với mục tiêu chính là bám theo người điều khiển và đảm bảo khoảng cách nhất định.

Qua đó, bài báo này sẽ đóng góp vào việc phát triển thêm các giải pháp công nghệ tiên tiến, đồng thời nâng cao chất lượng công việc và giảm thiểu gánh nặng lao động cho công nhân trong môi trường nông nghiệp hiện đại.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Tổng quan mô hình nghiên cứu

Theo sơ đồ quy trình nghiên cứu được thể hiện ở Hình 1, với các thành phần chính của

hệ thống bao gồm: một máy tính sẽ là phần xử lý trung tâm cho robot, được tích hợp sẵn chương trình xử lý ảnh và điều khiển robot trên phần mềm Visual Studio Code, kết hợp với việc sử dụng camera để thu nhận hình ảnh



Hình 1. Sơ đồ quy trình nghiên cứu

Nguồn: Công bố của tác giả, (2024).

Nhóm tác giả thực hiện quá trình nghiên cứu một cách tuần tự qua các bước sau:

Bước 1: Xây dựng bộ xử lý trung tâm điều khiển robot bằng máy tính.

Bước 2: Xây dựng chương trình điều khiển robot trên phần mềm Visual Studio Code.

Bước 3: Xử lý ảnh bằng cách dùng camera để thu nhận ảnh đối tượng để robot bám theo.

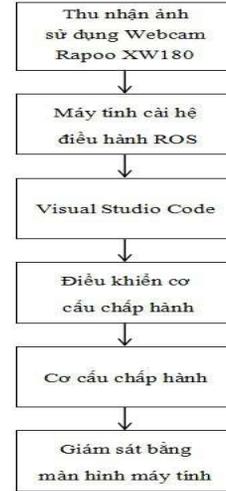
Bước 4: Giải thuật PID để điều chỉnh tốc độ robot bám theo đối tượng.

Bước 5: Xây dựng chương trình cho ESP32 để điều khiển cơ cấu chấp, driver BTS-7960 và motor JBG37-545.

Bước 6: Bộ phận di chuyển là sử dụng bánh Mecanum.

Bước 7: Hiển thị và giám sát thông qua Webcam trên màn hình máy tính.

đối tượng để robot bám theo, vì điều khiển ESP32 được tích hợp vào mô hình phần cứng để nhận các thông số cần thiết rồi gửi các tín hiệu xung PWM tới Driver BTS-7960 để điều khiển motor JBR37-545.



Hình 2. Sơ đồ tổng quát của hệ thống

Nguồn: Công bố của tác giả, (2024).

Các thành phần chính kết nối với nhau như Hình 2, nhóm nghiên cứu đã kết nối mô hình phần cứng và thiết kế phần mềm kèm theo để có thể xây dựng được robot bám theo công nhân được tối ưu nhất.

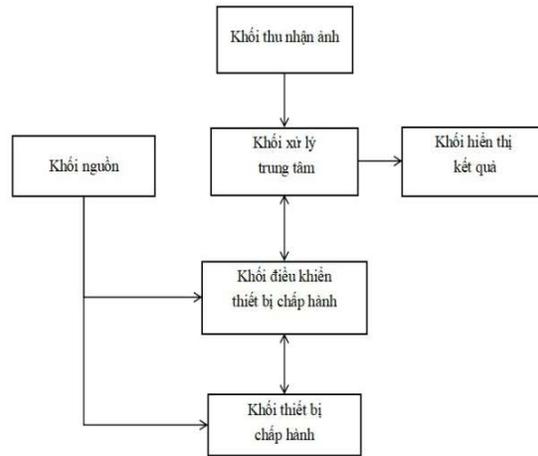
## 2.2. Thiết kế phần cứng

Sơ đồ kết nối phần cứng được thể hiện qua Hình 3. Trong đó, hệ thống sẽ bao gồm:

Khối xử lý trung tâm: Chạy các thuật toán xử lý ảnh từ các hình ảnh thu về từ khối thu ảnh. Ở đây, nhóm tác giả sử dụng thuật toán HPE nhận diện tư thế cơ thể để xác định được vị trí khung xương, từ đó xác định hướng và góc mà robot phải di chuyển để bám theo khung xương được thể hiện ở Hình 4. Bên cạnh đó, việc xác định khoảng cách từ camera của robot đến mục tiêu cũng vô cùng quan trọng và được tính toán dựa trên mô hình thể hiện ở Hình 5. Việc điều khiển tốc độ và góc

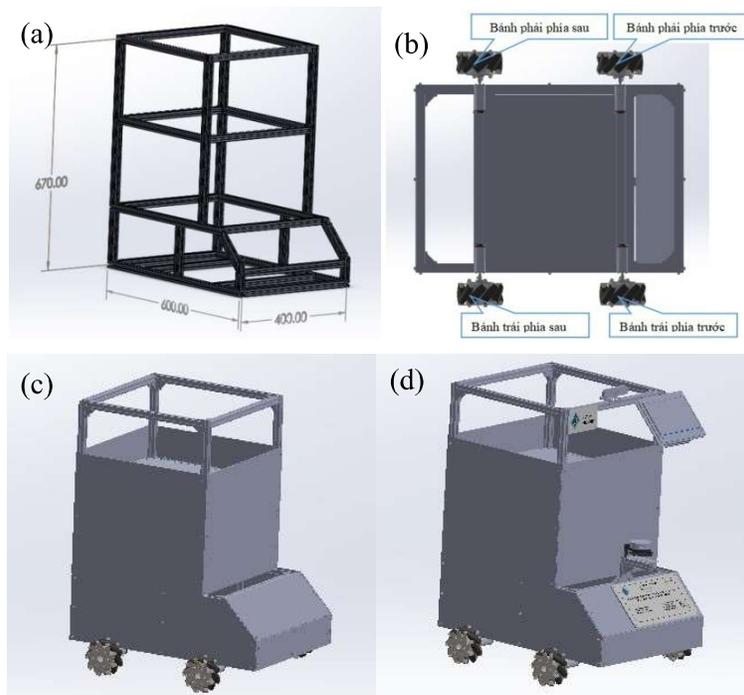
quay của robot ứng dụng giải thuật PID nhằm đảm bảo robot luôn bám theo mục tiêu và khoảng cách đã tính toán được. Tiến hành xử lý tính toán đưa ra các thông số như tốc độ, góc và truyền tín hiệu về khối vi điều khiển để xuất tín hiệu điều khiển ra các thiết bị chấp hành để vận hành robot.

HPE sử dụng nhiều thuật toán và mô hình khác nhau. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng Mediapipe Pose là một giải pháp trong thư viện Mediapipe. MediaPipe là một bộ công cụ Machine Learning do Google phát triển, với các giải pháp đa nền tảng, dễ dàng can thiệp và rất nhẹ. Một số ưu điểm chính của MediaPipe: Hiệu suất cao, dễ dàng triển khai và mã nguồn mở (Quang, 2021).



**Hình 3. Sơ đồ kết nối phần cứng**

*Nguồn: Công bố của tác giả, (2024).*



**Hình 4. Robot mang chậu cây bonsai mini**

*Nguồn: Công bố của tác giả, (2024).*

**Khối thu ảnh:** thu hình ảnh về để cho khối xử lý trung tâm làm việc.

**Khối vi điều khiển:** có nhiệm vụ nhận lệnh từ khối xử lý trung tâm, điều khiển các thiết bị

chấp hành và phản hồi dữ liệu từ các thiết bị chấp hành về khối xử lý trung tâm.

**Khối thiết bị chấp hành:** hoạt động và phản hồi dữ liệu dựa trên sự điều khiển của khối vi điều khiển.

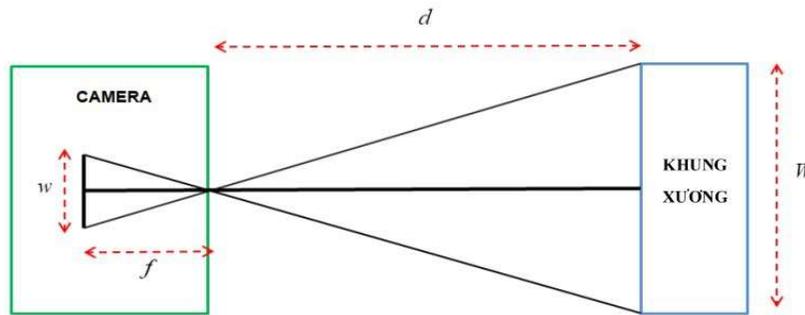
Khối nguồn cho thiết bị chấp hành: cấp nguồn cho các thiết bị chấp hành.

Tiếp theo, để thiết kế robot mang chậu cây bonsai mini, nhóm tác giả sử dụng phần mềm SolidWorks để vẽ mô hình robot 3D với kích thước 600 x 400 x 670 mm như Hình 4a. Chúng tôi sử dụng nhôm định hình 20 x 20 mm và tấm alu để tạo nên robot như Hình 4b, 4c và 4d.

### 2.3. Xử lý ảnh

#### 2.3.1. Tính khoảng cách từ camera đến khung xương

Để giải quyết bài toán robot có thể biết được khi nào cần bám theo mục tiêu, hay dừng lại, cũng như giữ khoảng cách an toàn với người dùng, cần có một thuật toán có thể tính toán được khoảng cách từ camera của robot đến điểm trên khung xương. Việc xác định khoảng cách sẽ được thực hiện dựa trên mô hình thể hiện ở Hình 5. Trong đó, chiều cao vị trí của điểm tọa độ trên khung xương bằng với chiều cao dựng ống kính camera.



Hình 5. Mô hình biểu diễn quá trình thu ảnh của camera

Nguồn: Công bố của tác giả, (2024).

Bảng 1. Tham số của mô hình tính khoảng cách

Kí hiệu	Mô tả	Đơn vị
$w$	Chiều rộng của khung xương thu được trên camera	pixel
$W$	Chiều rộng thực của của khung xương	cm
$f$	Tiêu cự (Khoảng cách từ khung xương thu được trên khung ảnh camera đến ống kính của camera)	pixel
$d$	Khoảng cách từ khung xương thực đến ống kính camera	cm

Nguồn: Công bố của tác giả, (2024).

Bên cạnh đó, một đặc điểm rất quan trọng, đó là dù thay đổi khoảng cách như thế nào thì tiêu cự  $f$  vẫn giữ nguyên giá trị. Đồng thời, kích thước thật của khung xương cũng là

$$\frac{d}{W} = \frac{f}{w} \Leftrightarrow d \cdot w = f \cdot W \Leftrightarrow d = \frac{W \cdot f}{w} \quad (1)$$

Tuy nhiên, tiêu cự  $f$  lúc này vẫn chưa được xác định nên chưa thể xác định được khoảng cách ngay. Thay vào đó, có thể suy ngược lại

không đổi. Dựa vào các đặc điểm trên, có thể lập được công thức (1), từ đó suy ra khoảng cách từ khung xương đến ống kính camera như sau:

từ công thức (1) để xác định tiêu cự bằng công thức (2) như sau:

$$f = \frac{d \cdot w}{W} \quad (2)$$

**Bảng 2. Khoảng cách qui định hoạt động của robot**

Khoảng cách	Hành vi của robot
Lớn hơn 140 cm	Robot bắt đầu bám theo
Bằng 140 cm	Robot dừng lại
Nhỏ hơn 140 cm	Robot lùi lại để giữ khoảng cách

**Bảng 3. Thử nghiệm thuật toán tính khoảng cách**

Khoảng cách thực tế	Khoảng cách tính bằng thuật toán	Sai lệch
140 cm	140,24 cm	0,24 cm
150 cm	151,52 cm	1,52 cm
120 cm	116,22 cm	-3,78 cm
155 cm	156,69 cm	1,69 cm
130 cm	128,65 cm	-1,35 cm
160 cm	158,34 cm	-1,66 cm
170 cm	167,76 cm	-2,24 cm
175 cm	173,65 cm	-1,35 cm
180 cm	184,77 cm	4,77 cm
200 cm	204,85 cm	4,85 cm

*Nguồn Bảng 2 và Bảng 3: Công bố của tác giả, (2024).*

Dựa trên khoảng cách đã tính ra, nhóm tác giả tiến hành lập bảng qui định khoảng cách hoạt động của robot (Bảng 2).

Robot có chức năng vận chuyển chậu cây tránh tình trạng hư hại, yêu cầu về tính chắc chắn và an toàn khi vận chuyển, tránh tình trạng rơi vỡ, va chạm do tốc độ của robot thay đổi quá đột ngột. Để giảm thiểu tình trạng này, nhóm sẽ điều khiển tốc độ của robot dựa

trên khoảng cách từ khung xương đến robot đã tính toán ở trên. Khi đó, vận tốc của robot sẽ thay đổi như sau:

- Khi khoảng cách càng tăng, robot có xu hướng tăng tốc nhanh để bắt kịp mục tiêu với gia tốc nhỏ (vận tốc không thay đổi quá nhanh).

- Khi càng đến gần mục tiêu, tốc độ của robot càng giảm cho đến khi đến ngưỡng an

toàn (khoảng cách an toàn giữa mục tiêu và robot) thì tốc độ sẽ bằng 0, robot dừng hẳn.

Để kiểm tra tính chính xác của thuật toán, nhóm nghiên cứu đã tiến hành thực nghiệm thuật toán tính khoảng cách và thu được kết quả được trình bày ở bảng 3.

Qua thực nghiệm cho thấy được thuật toán tìm tương đối chính xác đối với các yêu cầu cho robot thực hiện hành vi của robot được trình bày trước đó.

### 2.3.2. Xác định hướng đi cho robot

Sau khi xác định được tọa độ hai điểm trên vai của khung xương, áp dụng công thức (3) và (4) để tính được tọa trung điểm  $O(x_o, y_o)$  của hai điểm trên vai.

$$x_o = \frac{x_1 + x_2}{2} \quad (3)$$

$$y_o = \frac{y_1 + y_2}{2} \quad (4)$$

Sau khi xác định được tọa độ trung điểm, dựng một hệ trục tọa độ  $Oxy$  lên khung ảnh thu được, trong đó  $Ox$  sẽ chạy từ -1 đến 1 và  $Oy$  cũng sẽ chạy từ -1 đến 1. Tuy nhiên, tọa độ trung điểm lúc này chưa phù hợp để đưa vào hệ tọa độ khung ảnh, cần sử dụng các phép biến đổi (5) và (6) để biến đổi tọa độ trung điểm  $O(x_o, y_o)$  của mã sang  $O'(x_o', y_o')$  thuộc hệ tọa độ khung ảnh.

$$x_o' = \left(\frac{2x_o}{wi}\right) - 1 \quad (5)$$

$$y_o' = 1 - \left(\frac{2y_o}{he}\right) \quad (6)$$

Sau khi xác định được vị trí khung xương, cần xác định hướng đi cho robot để robot có thể bám theo khung xương. Việc xác định hướng đi cho robot sẽ được mô tả qua Hình 6. Hình 6 là mô tả hướng đi cho robot từ tọa độ trung điểm của hai điểm trên vai, chiếu xuống trục tọa độ của khung ảnh sẽ thu được vị trí của mã trên trục  $Ox$  là  $x_o'$  và trục  $Oy$  là  $y_o'$ . Khoảng cách từ  $x_o'$  đến vị trí bắt đầu của góc camera  $hfov$  tạo thành một góc  $\theta$ , góc  $\theta$  này chính là góc mà robot phải di chuyển để bám theo khung xương. Góc  $\theta$  sẽ được tính theo công thức (7) như sau:

$$\theta = x_o' \cdot \frac{hfov}{2} \quad (7)$$

Trong đó:

$x_o'$ : là tọa độ tâm của khung xương khi chiếu lên trục  $Ox$  của khung ảnh

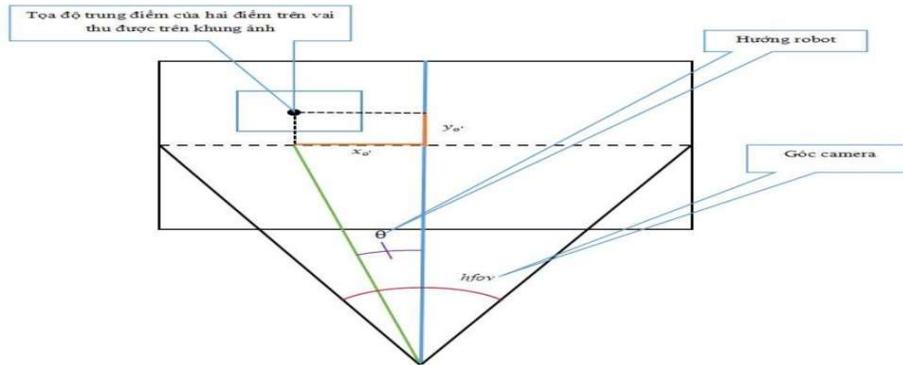
$y_o'$ : là tọa độ tâm của khung xương khi chiếu lên trục  $Oy$  của khung ảnh

$hfov$ : là góc camera

$\theta$ : là góc robot phải di chuyển

**Bảng 4. Góc  $\theta$  sang trái, sang phải của robot**

Góc $\theta$	Hành vi của robot
Nhỏ hơn 0	Robot sang trái
Bằng 0	Robot dừng lại
Lớn hơn 0	Robot sang phải



Hình 6. Mô hình mô tả hướng đi cho robot

Nguồn: Công bố của tác giả, (2024).

## 2.4. Giải thuật PID

Trong quá trình di chuyển của robot để đảm bảo đúng khoảng cách bám theo mục tiêu đòi hỏi khả năng tự động điều chỉnh tốc độ để đảm bảo khoảng cách của đối tượng đúng với yêu cầu xử lý ảnh, tiến hành áp dụng giải thuật tính toán bộ điều khiển PID cho việc điều khiển tốc độ động cơ.

Có nhiều phương pháp khác nhau để tìm ra các hệ số P, I và D cho bộ điều khiển PID như: Phương pháp Ziegler-Nichols, phương pháp Colhen-Coon, phương pháp thử và sai (Trail and Error), phương pháp thực nghiệm tự động,...Trong bài nghiên cứu này, nhóm lựa chọn phương pháp thử và sai để tìm được các hệ số thích hợp cho bộ điều khiển PID. Sơ đồ khối của bộ điều khiển được trình bày Hình 7.

Quy trình để xác định từng hệ số của bộ điều khiển:

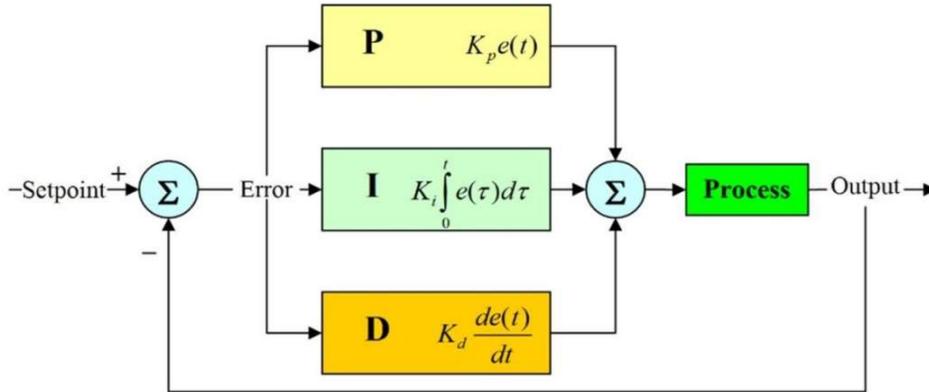
1. Bắt đầu với giá trị PID cơ bản.
2. Tăng giá trị của hệ số Proportional (P) để giảm sai số.
3. Thêm giá trị vào hệ số Integral (I) để loại bỏ sai số lâu dài.
4. Tinh chỉnh hệ số Derivative (D) để giảm dao động.
5. Quan sát đáp ứng của hệ thống và điều chỉnh các hệ số cho đến khi đạt được hiệu suất mong muốn.

Từ đó, bộ điều khiển PID được điều chỉnh theo phương pháp thử và sai cho đến khi đạt được tốc độ mong muốn, sau đó tiến hành thực nghiệm.

Sau khi tiến hành thực nghiệm, nhóm tác giả đã tìm ra được các thông số cho bộ điều khiển PID được mô tả ở bảng 5.

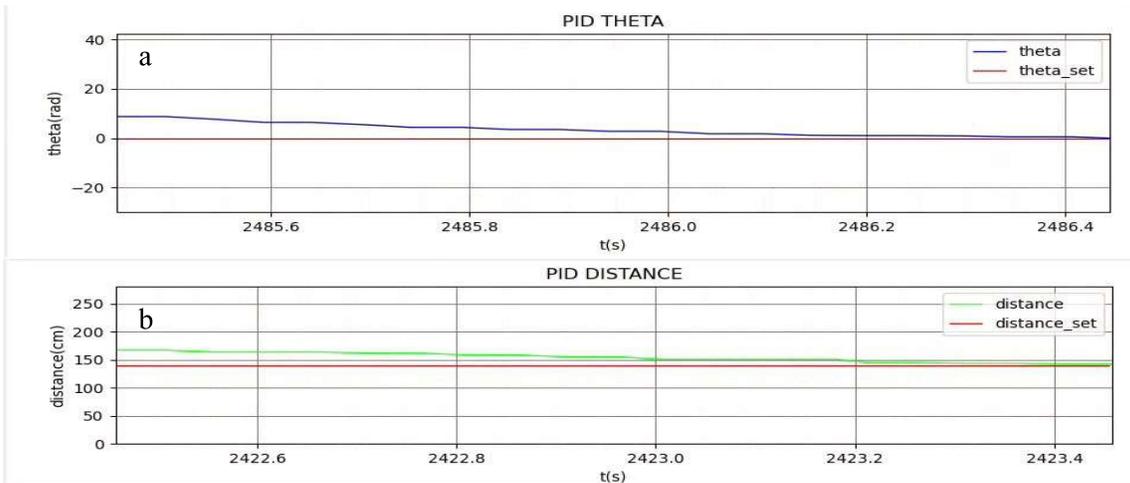
Bảng 5. Thông số  $K_p$   $K_i$   $K_d$  sau khi thử và sai lựa chọn tốt nhất

STT	Giá trị	Thông số
1	$K_p$	0,3
2	$K_i$	0,1
3	$K_d$	0,0



Hình 7. Sơ đồ khối của bộ điều khiển PID

Nguồn: Công bố của tác giả, (2024).



Hình 8. Biểu đồ hệ thống PID

Nguồn: Công bố của tác giả, (2024).

Hình 8a cho ta thấy thời gian đáp ứng về góc của robot khoảng hai giây kể từ khi có sai lệch góc so với người điều khiển. Tương tự, hình 8b thời gian đáp ứng về khoảng cách của robot khoảng hai giây kể từ khi có sai lệch khoảng cách với người điều khiển.

Từ những sai lệch về góc và khoảng cách của robot, phương trình động học nghịch đảo cho phép tính toán vận tốc bánh xe riêng biệt khi muốn đạt được vận tốc cơ sở tổng thể.

$$\begin{cases} \omega_{fl} = \frac{1}{r} [v_x - v_y - (l_x + l_y)\omega_z] \\ \omega_{fr} = \frac{1}{r} [v_x + v_y + (l_x + l_y)\omega_z] \\ \omega_{rl} = \frac{1}{r} [v_x + v_y - (l_x + l_y)\omega_z] \\ \omega_{rr} = \frac{1}{r} [v_x - v_y + (l_x + l_y)\omega_z] \end{cases} \quad (8)$$

Trong đó:

$\omega_{fl}, \omega_{fr}, \omega_{rl}, \omega_{rr}$  đại diện cho vận tốc góc cho bánh trước bên trái, phía trước bên phải, phía sau bên trái và phía sau bên phải tương ứng.

$v_x$  và  $v_y$  đại diện cho vận tốc tuyến tính cơ bản của robot theo hướng x và y tương ứng. Hướng x ở phía trước robot.

$\omega_z$  là vận tốc góc của đế robot xung quanh trục z.

$l_x$  và  $l_y$  đại diện cho khoảng cách từ tâm của robot đến các bánh xe được chiếu trên trục x và y tương ứng.

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

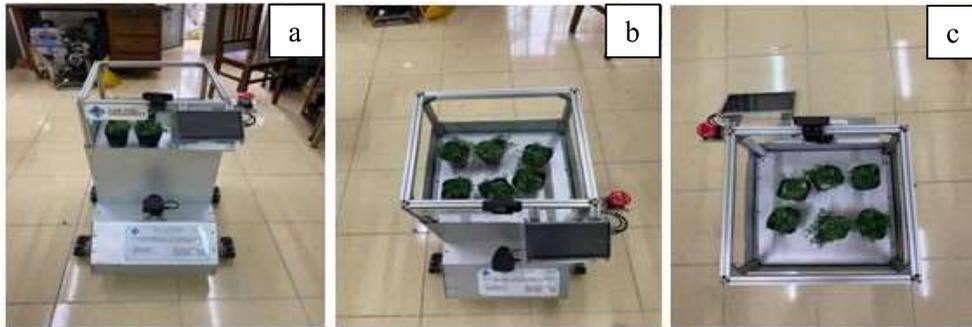
Kết quả xây dựng được robot như Hình 9a, 9b và 9c.

Kết quả thử nghiệm được nhóm tác giả thực nghiệm ở hành lang khoa Tự động hóa, trường Bách Khoa, Trường Đại học Cần Thơ.

Robot bám theo người điều khiển và giữ khoảng cách với người điều khiển là 140 cm như hình 10a và 10b.

Hình 10a và 10b là hình ảnh robot bám theo người điều khiển với mũi tên màu xanh dương là hướng của robot và mũi tên màu cam là hướng của người điều khiển. Các màu mũi tên được mô tả cũng được sử dụng tương tự với các Hình 11a, 11b và 11c.

Khi người điều khiển đi xa khỏi robot, robot tăng tốc độ lên để bám theo và ngược lại, khi người điều khiển ở gần robot thì robot giảm tốc độ dần tùy theo khoảng cách đã cho. Bên cạnh đó, robot còn di chuyển sang các hướng bên trái, phải theo hướng người điều khiển như Hình 11a, 11b và 11c.



Hình 9. Mô hình thực tế của robot

*Nguồn: Công bố của tác giả, (2024).*



Hình 10. Robot bám theo người điều khiển

*Nguồn: Công bố của tác giả, (2024).*



**Hình 11. Robot di chuyển sang các hướng của người điều khiển**

*Nguồn: Công bố của tác giả, (2024).*

Thiết kế được giao diện giám sát robot hoạt động thông qua máy tính xách tay. Thông qua giao diện giám sát, giá trị về khoảng cách của robot và người điều khiển, góc lệch của robot và khung ảnh hiện thị người điều khiển có thể quan sát được.

Bên cạnh đó robot vẫn còn cần cải thiện thêm một số yếu tố về vận hành, phần cứng và tích hợp thêm một số khả năng cho robot nhằm nâng cao khả năng và hiệu quả làm việc cho robot như:

- Thêm khả năng tương tác với người điều khiển thông qua các cử chỉ tay: sang phải, sang trái,... giúp việc vận hành được tối ưu hóa hơn.

- Nên thay bộ xử lý trung tâm từ laptop cá nhân sang một máy tính nhúng đủ mạnh để giảm trọng lượng cho robot, từ đó tăng hiệu suất hoạt động cho robot.

- Nên sử dụng loại camera có tích hợp giải thuật chống rung để cải thiện khả năng xử lý ảnh cho robot.

- Tích hợp thêm phương pháp xử lý ảnh học sâu để huấn luyện các cử chỉ tay giúp robot nhận diện chính xác hơn.

Kết quả mô phỏng hoạt động robot được đính kèm trong đường link: [https://youtu.be/dj88FgO\\_Kw4](https://youtu.be/dj88FgO_Kw4)

#### 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã thiết kế được robot mang chậu cây bonsai mini bám theo người sử dụng thuật toán nhận diện tư thế cơ thể Human Pose Estimation để theo dõi khung xương của người, phương pháp này tích hợp công nghệ xử lý ảnh khung xương và ROS. Bên cạnh đó, robot còn có thể di chuyển sang trái, phải và tiến về phía trước theo người điều khiển. Thực nghiệm đã kiểm tra khả năng bám theo người điều khiển với khoảng cách 140 cm và sai lệch khoảng cách  $\pm 5\%$  so với thực tế, hoạt động tốt và đảm bảo kết nối của người điều khiển và robot.

#### Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được hỗ trợ bởi trường Đại học Cần Thơ, thuộc đề tài mã số T2024-83.

#### Tài liệu tham khảo

Bradski, R.G. (2005), “Computer Vision Face Tracking For Use In a Perceptual User Interface”, Microcomputer Research Lab, Santa Clara, CA, Intel Corporation.

Đông, N.M., Tiến, N.M., Hiệp, Đ.Q., Bắc, B.V., Vương, C.V. và Thắng, N.Đ., (2022), “Xây dựng bộ điều khiển mặt trượt động điều khiển bám quỹ đạo cho robot tự hành đa hướng bốn bánh Mecanum”, Tạp chí Nghiên

cứu KH&CN quân sự, Số Đặc san Hội thảo Quốc gia FEE, pp.42.

Hiệp, Đ. Q., Tiến, N. M., Cường, N. M., Thắng, L. T., & Minh, P. X. (2020). “Xây dựng hệ thống nhận thức môi trường cho robot tự hành omni bốn bánh dựa trên thuật toán EKF-SLAM và hệ điều hành ROS”. Tạp chí Nghiên cứu KH&CN quân sự, Số Đặc san Hội thảo Quốc gia FEE, 10 – 2020, 30-37.

Min, H., et al (2019), Kinematic and dynamic vehicle model-assisted global positioning method for autonomous vehicles with low-cost GPS/camera/in-vehicle sensors. *Sensors*. pp. 5430.

Moore, T., & Stouch, D. (2014). A Generalized Extended Kalman Filter Implementation for the Robot Operating System. *Proceedings of the 13th International Conference on Intelligent Autonomous Systems (IAS-13)*.

Ngân, L.T.T., (2019), “Điều khiển robot bám mục tiêu dựa trên xử lý ảnh”, Luận văn Thạc sĩ Khoa học, Đại học Thái Nguyên.

Ngọc Lan (2005), *Hướng dẫn kỹ thuật trồng Bonsai*, Nhà xuất bản Phương Đông, Tp.Hồ Chí Minh.

Open Robotics. (2022). ROS2 Documentation. <https://docs.ros.org/en/humble>.

Quang.T. (2021). *MediaPipe: Live ML Solutions và ứng dụng vẽ bằng HandsGestures*. [https://viblo.asia/p/mediapipe-live-ml-solutions-va-ung-dung-ve-bang-hands-gestures-gAm5ymOV5db#\\_11-gioi-thieu-ve-mediapipe-1](https://viblo.asia/p/mediapipe-live-ml-solutions-va-ung-dung-ve-bang-hands-gestures-gAm5ymOV5db#_11-gioi-thieu-ve-mediapipe-1).

Quý, H.V., Cảnh, N.H, (2022), “Định hướng bằng thị giác máy tính cho thiết bị bay không người lái bay dọc theo hành lang”, Luận văn tốt nghiệp Đại học, Trường Đại học Bách Khoa Đại học Quốc Gia Tp.Hồ Chí Minh.

Savian, S., Elahi, M., & Tillo, T. (2020). Optical flow estimation with deep learning, a survey on recent advances. *Deep biometrics*, 257-287.

Toàn, Đ.N., & Bình, P.V. (2007). *Giáo trình môn học xử lý ảnh*. Đại học Thái Nguyên.

Trinh.N (2023). *ROS (Robot Operating System) là gì?*. <https://robodev.blog/ros-la-gi>.

## CONTROL OF A ROBOT CARRYING MINI BONSAI POTS FOR AGRICULTURAL APPLICATIONS

### ABSTRACT

*In recent years, scientific research has focused on developing robotic control systems to improve work efficiency in agricultural settings, notably through techniques for human-tracking robot control. This study focuses on developing a robotic system to assist in transporting mini bonsai pots. This robot is not only responsible for carrying potted plants but is also designed to track human movement based on skeletal tracking, thereby improving flexibility and convenience in bonsai care activities. The study employs Human Pose Estimation technology to track the human skeletal structure. This method integrates image processing technology, and the PID algorithm, and uses the robot development platform from the Robot Operating System (ROS). The study successfully designed a robot capable of carrying mini bonsai pots, controlled using Human Pose Estimation technology combined with image processing and ROS. Experimental results show that the robot can track a person at a distance of 100 cm, with a deviation of approximately  $\pm 5\%$  from the actual distance.*

**Keywords:** Human pose estimation, ROS, PID, mobile robot