

PHÁT TRIỂN THUẬT TOÁN CHO ROBOT DI ĐỘNG DẪN ĐƯỜNG NGƯỜI KHIẾM THỊ DI CHUYỂN TRONG NHÀ

AN ALGORITHM FOR MOBILE ROBOTS TO GUIDE BLIND PEOPLE MOVING INDOORS

Nguyễn Hùng Minh¹, Hồ Minh Trung³, Lường Thanh Tuấn²,
Trần Minh Quang², Trịnh Trọng Chương¹, Tống Thị Lý^{1,*}

DOI: <http://doi.org/10.57001/huiv5804.2024.301>

TÓM TẮT

Bài báo này tập trung phát triển một thuật toán mới giúp robot hướng dẫn cho người khiếm thị di chuyển trong môi trường có vật cản di động. Phương pháp đề xuất tạo ra một cơ chế tương tác hai chiều giữa robot và người khiếm thị, cho phép người khiếm thị di chuyển độc lập không cần tiếp xúc trực tiếp với robot dẫn đường. Cụ thể, thuật toán đề xuất giúp robot di động cung cấp thông tin chỉ dẫn đường chi tiết cho người khiếm thị và giám sát chuyển động thực tế của người đó trong môi trường có vật cản di động. Các kết quả kiểm nghiệm thực tế cho thấy robot đã hỗ trợ được người khiếm thị di chuyển độc lập và tương tác linh hoạt với người khiếm thị và môi trường làm việc. Thuật toán đề xuất có thể được ứng dụng trong thực tế giúp người khiếm thị giảm sự phụ thuộc vào tương tác trực tiếp với robot, qua đó nâng cao tính tự lập của họ trong cuộc sống hàng ngày.

Từ khóa: Robot di động; hỗ trợ di chuyển; môi trường trong nhà; tương tác hai chiều.

ABSTRACT

Our study develops an algorithm to aid a robot in guiding visually impaired people in an environment with moving objects. The proposed method creates a two-way interaction between the robot and the visually impaired person, which allows them to move independently without touching the robot directly. Specifically, the proposed algorithm helps the mobile robot provide detailed navigational information to the visually impaired person and monitor their actual movements in the environment with the environment with moving objects. According to laboratory experiments, the robot is highly effective at enabling visually impaired people to move independently and flexibly interact with others. Developed and applied to mobile robots, this algorithm can help visually impaired people reduce their dependence on direct interaction with a robot and enhance their autonomy.

Keywords: Mobile robot; mobility support; indoor environment; two-way interaction; navigation.

¹Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Trường Điện - Điện tử, Đại học Bách khoa Hà Nội

³Viện Hóa học - Môi trường quân sự, Binh chủng Hóa học

*Email: tongthily@gmail.com

Ngày nhận bài: 15/4/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 05/6/2024

Ngày chấp nhận đăng: 27/9/2024

1. GIỚI THIỆU

Những người khiếm thị luôn phải đối mặt với những khó khăn lớn trong việc di chuyển và tương tác trong môi trường xung quanh. Trên toàn cầu có khoảng 314 triệu người mù hoặc có thị lực yếu, trong đó 45 triệu người mù, chủ yếu là những người trên 50 tuổi sinh sống tại các nước nghèo và đang phát triển [1]. Đã có nhiều công trình khoa học phát triển các sản phẩm hỗ trợ để giúp người khiếm thị trong quá trình di chuyển bằng cách thu thập thông tin về môi trường xung quanh và hỗ trợ người khiếm thị trong việc ra quyết định di chuyển, tránh va chạm với các vật thể [2]. Có hai nhóm công cụ chính là nhóm công cụ "định hướng-tìm đường", và nhóm công cụ tránh các chướng ngại vật gọi là "di chuyển" [3]. Các công cụ này có thể sử dụng công nghệ định vị như GPS (Global Positioning System), hay SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) với các môi trường đòi hỏi độ chính xác cao để xác định vị trí hiện tại của người khiếm thị và cung cấp hướng dẫn cho họ đi được đích đến mong muốn. Các công cụ xử lý ảnh cũng được sử dụng rất rộng rãi trong việc nhận biết môi trường xung quanh và đưa ra các khuyến cáo hay chỉ dẫn cho người khiếm thị [4, 5].

Trong nhiều thập kỷ qua, gậy dò đường và chó dẫn đường được sử dụng

phổ biến cho phép người khiếm thị có thể di chuyển độc lập. Vì vậy, nhiều nghiên cứu đã phát triển các loại gậy dò điện tử và robot chó dẫn đường cho người khiếm thị [6-8]. Gậy dò đường, thông qua giác quan xúc giác, cung cấp thông tin về môi trường xung quanh để giúp họ khám phá và phát hiện các vật cản trên mặt đất như đồ đạc, bậc thang,... [6, 7]. Trong khi đó, chó dẫn đường hướng dẫn người khiếm thị qua không gian hẹp và phức tạp [8]. Tuy nhiên, các nghiên cứu này mới quan tâm đến việc đo đạc và thu thập thông tin môi trường. Các tương tác với người dùng vẫn chưa được chú trọng. Ngoài ra, người dùng thường phải mang theo các thiết bị riêng biệt, gây bất tiện trong các công việc hàng ngày [9, 10]. Điều này đôi khi còn cản trở người khác di chuyển cùng không gian.

Robot di động với các trang bị cảm biến cần thiết ngày nay có thể di chuyển mọi vị trí trong môi trường hoạt động của nó, tự xác định vị trí và lập kế hoạch đi giữa các vị trí bằng thuật toán SLAM [11]. Robot di động thu thập thông tin môi trường xung quanh và cả thông tin đối tượng, từ đó cung cấp các hướng dẫn cho người khiếm thị điều hướng và tương tác với các vật thể trong khoảng cách nhỏ, đáp ứng một cách linh hoạt [12]. Các thực nghiệm đã chỉ ra rằng robot điều hướng di động có thể hỗ trợ hiệu quả việc di chuyển độc lập của người khiếm thị trong thực tế [13]. Tuy nhiên, tương tự như gậy điện tử và chó robot, để nhận được sự trợ giúp, người dùng cần tương tác trực tiếp với robot di động. Điều này trong nhiều trường hợp gây chiếm dụng không gian và cản trở sự di chuyển của các đối tượng khác trong cùng một không gian hoạt động.

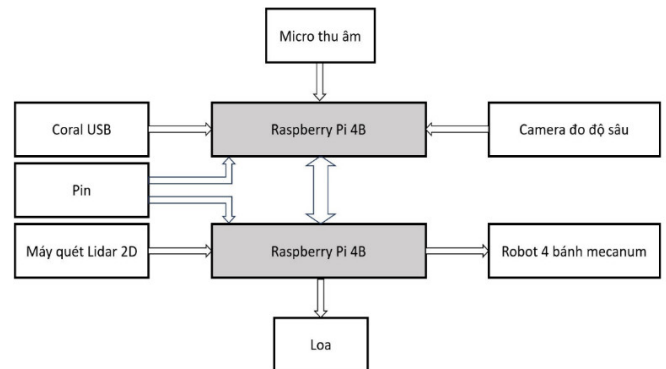
Để khắc phục các yếu điểm nói trên của hệ thống robot di động hỗ trợ người khiếm thị, một hệ thống không yêu cầu tiếp xúc trực tiếp (cầm, nắm) giữa robot và người dùng cần được phát triển. Và trong hệ thống này tương tác hai chiều giữa robot và người khiếm thị cần phải được thiết lập. Robot hướng dẫn người di chuyển đồng thời phải nắm được phương hướng di chuyển thực tế của người khiếm thị. Để giải quyết vấn đề nêu trên, bài báo này phát triển một thuật toán mới để robot dẫn đường cho người khiếm thị trong một môi trường có các vật cản chuyển động. Robot sẽ nhận biết môi trường và xây dựng bản đồ di chuyển cho robot và người khiếm thị sử dụng thuật toán SLAM. Để hướng dẫn người khiếm thị đi theo quỹ đạo robot đã thiết kế, robot sẽ xác định vị trí và hướng đi hiện tại của người khiếm thị. Tùy vào hướng của người khiếm thị, robot sẽ ra lệnh thông qua lời nói hướng di chuyển (đi thẳng, quay trái hoặc quay phải,...) để đảm bảo người khiếm thị tiếp cận với quỹ đạo thiết kế.

Các kết quả thực nghiệm cho thấy sự hiệu quả của thuật toán dẫn đường đề xuất.

2. CẤU TRÚC HỆ THỐNG ROBOT

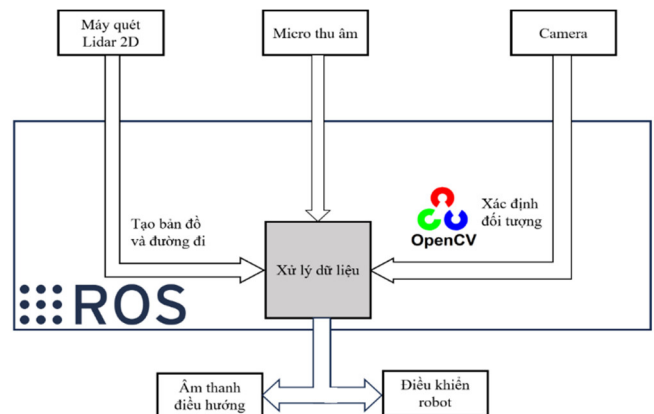
2.1. Cấu hình phần cứng

Robot di động được xây dựng trong nghiên cứu này là robot di động 4 bánh mecanum với các thiết bị chính như hình 1. Trong đó, camera 3D có khả năng chụp ảnh và xác định độ sâu của ảnh được sử dụng để phát hiện và nhận biết vị trí của đối tượng. Ngoài ra các thiết bị khác như 4 động cơ cùng driver được trang bị cho 4 bánh mecanum cho phép robot có thể di chuyển theo quỹ đạo mong muốn trong nhà. Cảm biến Lidar 2D được sử dụng để đo khoảng cách từ robot tới các điểm trong môi trường xung quanh robot để thực hiện các thuật toán SLAM cho robot. Bộ điều khiển trung tâm của Robot gồm 02 máy tính Raspberry Pi 4B. Để đảm bảo các tác vụ xử lý ảnh được thực hiện theo thời gian thực, Coral USB được sử dụng. Ngoài ra, các thiết bị khác như loa hay micro cũng được trang bị cho robot cho phép người khiếm thị và robot có thể giao tiếp với nhau qua phương tiện âm thanh.



Hình 1. Cấu trúc phần cứng của Mobile Robot

2.2. Nền tảng phần mềm



Hình 2. Nền tảng phần mềm

Trong nghiên cứu này, ROS (Robot Operating System), phần mềm hệ điều hành cho robot được sử dụng làm môi

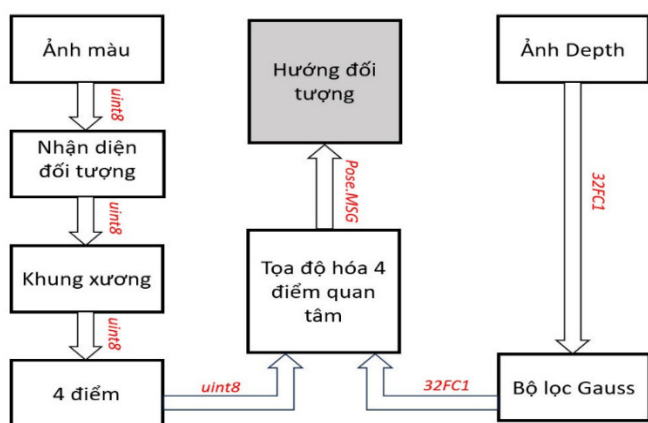
trường phát triển các tính năng của robot [14]. ROS cung cấp các công cụ, thư viện và hệ thống để phát triển, kiểm thử và điều khiển robot.

Trong hệ thống đề xuất này gói phần mềm SLAM có sẵn trong ROS [15] được sử dụng để xây dựng bản đồ của môi trường làm việc và xác định vị trí của robot. Thêm vào đó, thư viện phần mềm OpenCV [16] được sử dụng cho xử lý ảnh và thị giác máy tính. Mô hình MoveNet hiệu suất cao [17] được dùng để phát hiện và theo dõi các điểm đặc trưng (keypoint) trên cơ thể người. Sau đó, OpenCV được sử dụng để hiển thị kết quả hoặc thực hiện các xử lý tiếp theo trên hình ảnh hoặc video.

3. XÁC ĐỊNH HƯỚNG CỦA ĐỐI TƯỢNG NGƯỜI

Quá trình xác định hướng di chuyển của đối tượng trong ảnh hoặc video được chia thành các bước chính như sau:

- Bước 1: Phát hiện và nhận dạng hình dạng của người trong hình ảnh hoặc video sử dụng các thuật toán học máy như R-CNN, YOLO hoặc Mask R-CNN.
- Bước 2: Xác định khung xương người với các điểm đặc trưng trên cơ thể sau khi đã phát hiện ra người trong hình ảnh.
- Bước 3: Xác định tọa độ 4 điểm đặc trưng tại vai và eo. Từ các điểm trên khung xương đã được ước tính, ta có thể lấy tọa độ của 4 điểm đặc trưng tại vai trái, vai phải, eo trái và eo phải.
- Bước 4: Tính toán hướng di chuyển của đối tượng từ 4 điểm đặc trưng này. Với 4 điểm này ta có 2 vector độc lập và tích có hướng của 02 vector này chính là hướng di chuyển của đối tượng.



Hình 3. Sơ đồ cấu trúc quá trình xác định hướng

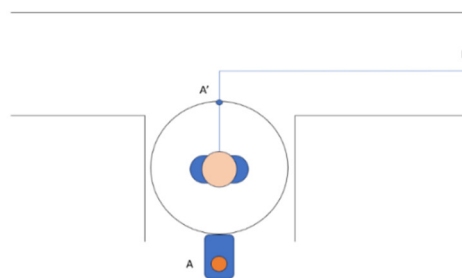
Để phát hiện người trong ảnh hoặc video thu được từ camera, thuật toán YOLO [18] được sử dụng. Sau khi đã xác định được hình dạng người trong ảnh, MoveNet [17] được dùng để xác định các điểm đặc trưng (keypoint)

trên cơ thể người. Tọa độ của các điểm đặc trưng trong hệ tọa độ robot được tính toán bằng việc kết hợp ảnh từ camera thường và ảnh từ camera chiều sâu. Thêm vào đó, bộ lọc Gauss được dùng để nâng cao chất lượng xử lý ảnh chiều sâu từ đó tăng độ chính xác của việc tính toán tọa độ các điểm đặc trưng. Bằng cách giám sát vị trí của các điểm đặc trưng này liên tục, hướng di chuyển của đối tượng được xác định theo thời gian thực. Cấu trúc quá trình xác định hướng được đề xuất như trong hình 3.

4. THUẬT TOÁN ĐIỀU HƯỚNG

4.1. Xác định vị trí bắt đầu cho quá trình dẫn đường

Để bắt đầu cho việc hướng dẫn đối tượng di chuyển đến một địa điểm mong muốn, robot sẽ xác định một điểm khởi đầu tốt nhất cho quá trình dẫn đường. Điểm khởi đầu được xác định như sau. Đầu tiên, quỹ đạo di chuyển cho đối tượng cần dẫn đường được xây dựng. Tiếp theo, một vùng an toàn cho đối tượng là hình tròn với tâm là đối tượng và bán kính 1,2m được thiết lập. Giao điểm của quỹ đạo di chuyển và đường tròn này chính là điểm bắt đầu. Hình 4 mô tả việc xác định điểm bắt đầu A'. Khi di chuyển từ điểm hiện tại tới điểm bắt đầu cho quá trình dẫn đường, người khiếm thị sẽ đứng yên và robot không phát ra các chỉ dẫn cho người khiếm thị. Điều này đảm bảo robot hướng dẫn người khiếm thị đi theo đúng quỹ đạo thiết kế mà không phải di chuyển trong thời gian robot điều chỉnh vị trí của nó tới quỹ đạo cần di chuyển của robot.



Hình 4. Xác định điểm bắt đầu của robot và vị trí đích

A, B: Vị trí điểm ban đầu của robot và vị trí đích

A': Vị trí điểm bắt đầu cho quá trình dẫn đường

4.2. Xác định vùng dẫn đường

Phân vùng dẫn đường là một phương pháp giúp người khiếm thị xác định vùng không gian và tìm đường đi trong môi trường. Một cách phổ biến để phân vùng dẫn đường là sử dụng âm thanh. Người khiếm thị có thể sử dụng âm thanh phát ra từ các nguồn cố định, chẳng hạn như đường phố, tường, cột đèn, hoặc từ âm thanh tự nhiên như dòng nước, tiếng chim, để xác định vị trí và hướng đi của mình. Xúc giác cũng được dùng để phân

vùng dẫn đường. Có thể sử dụng tay để phát hiện và cảm nhận các vật thể, cấu trúc và thay đổi trong môi trường xung quanh. Ví dụ, họ có thể sờ vào tường hoặc các đối tượng cố định để xác định vị trí và tìm đường đi. Hệ thống định vị toàn cầu GPS cũng được sử dụng để phân vùng dẫn đường. Trong nghiên cứu này, phân vùng dẫn đường được dựa trên vị trí tương đối của người và robot.

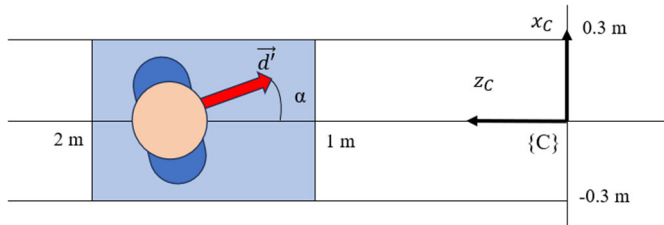
4.2.1. Xác định vùng làm việc

Trong nghiên cứu này, đầu tiên mặt phẳng di chuyển của đối tượng được chia thành 3 vùng phụ thuộc vào khoảng cách giữa đối tượng và robot:

- Vùng 1: Khoảng cách giữa người và robot < 1m. Khi đó, do khoảng cách giữa robot và đối tượng quá gần, đối tượng nằm ngoài vùng hoạt động của camera độ sâu. Do đó robot sẽ ra tín hiệu cho người dừng lại, robot tiếp tục đi để đối tượng rơi vào vùng 3 là vùng xác định hướng của đối tượng.

- Vùng 2: Khoảng cách giữa người và robot > 2m. Khi đó, do khoảng cách giữa robot và đối tượng quá xa, đối tượng nằm ngoài vùng hoạt động của camera độ sâu. Robot sẽ dừng lại để đợi đối tượng tiến lại gần robot và đối tượng sẽ lọt vào vùng 3.

- Vùng 3: Trong phạm vi 1 - 2m tính từ camera {C} người sẽ được dẫn đường trong vùng màu xanh và dẫn đường đối tượng theo các hướng đi.



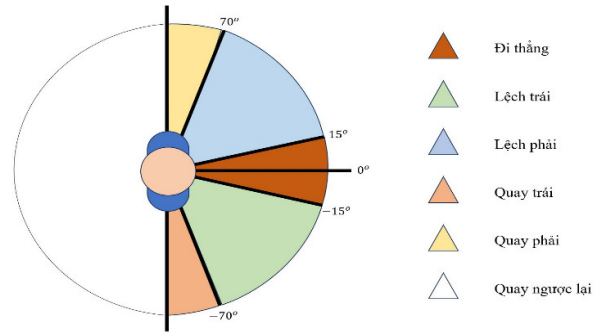
Hình 5. Vùng xác định hướng đối tượng

x_c, z_c : Hệ tọa độ camera; \vec{d}' : Vecto hình chiếu;
 α : Góc của người so với camera

Như vậy, việc chia mặt phẳng di chuyển thành 3 vùng giúp robot cho phép xác định chính xác vị trí đối tượng ở khoảng cách phù hợp (vùng 3), từ đó có thể dẫn đường hiệu quả cho người và đối tượng.

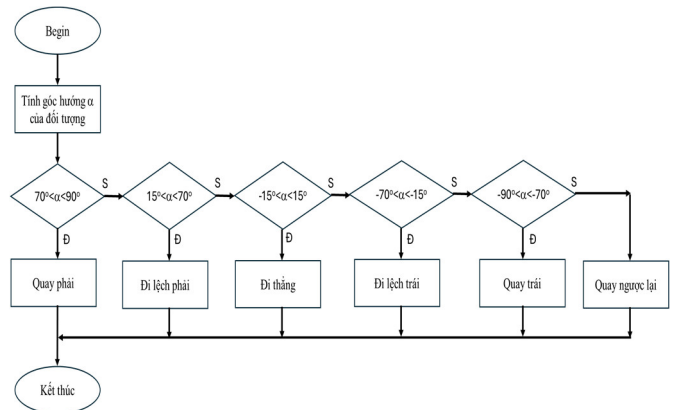
4.2.2. Thuật toán dẫn đường

Sau khi có được tọa độ, xác định vùng dẫn đường đối tượng như hình 5, dựa vào hướng của đối tượng, robot sẽ đưa ra các chỉ dẫn cho đối tượng đó. Nghiên cứu này đề xuất thuật toán dẫn đường như sau. Không gian điều hướng được chia thành 6 vùng riêng biệt, mỗi vùng tương ứng với một phạm vi góc cụ thể như trong hình 6. Với mỗi vùng ta sẽ có các lệnh dẫn đường tương ứng như mô tả trong lưu đồ thuật toán tại hình 7.



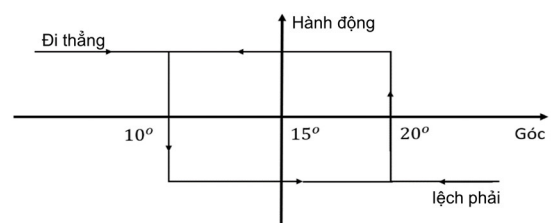
Hình 6. Vùng dẫn đường

- Vùng từ 90° đến 70°: Quay phải
- Vùng từ 70° đến 15°: di chuyển lệch phải
- Vùng từ 15° đến -15°: đi thẳng
- Vùng từ -15° đến -70°: di chuyển lệch trái
- Vùng từ -70° đến -90°: Quay trái
- Vùng còn lại: quay ngược lại



Hình 7. Lưu đồ thuật toán dẫn đường

Việc phân chia này cho phép robot phát ra các hướng dẫn di chuyển chính xác và linh hoạt. Tuy nhiên, một thách thức phát sinh khi hướng của mục tiêu nằm trên ranh giới giữa hai vùng, khiến robot phát ra các lệnh hướng dẫn mâu thuẫn lặp đi lặp lại. Để khắc phục vấn đề này, thuật toán Schmitt Trigger được tích hợp tại các ranh giới giữa các vùng. Thuật toán này giúp giảm nhiễu và đảm bảo đầu ra ổn định với ngay cả những thay đổi nhỏ trong đầu vào và đặc biệt hiệu quả khi mục tiêu nằm ở ranh giới giữa hai vùng. Một ví dụ về thuật toán Schmitt Trigger giữa vùng đi chuyển thẳng và vùng lệch phải được mô tả trong hình 8.



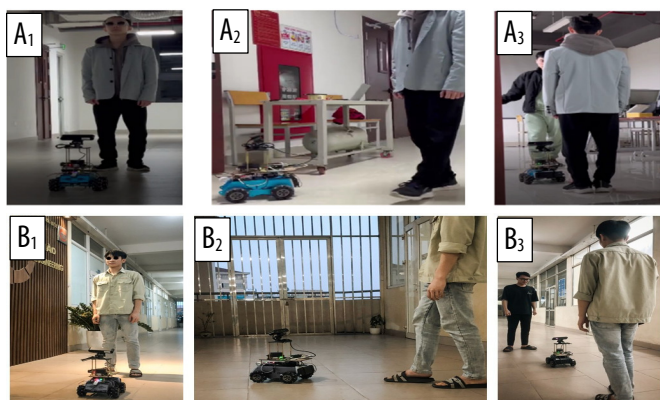
Hình 8. Thuật toán Schmitt Trigger giữa hai vùng đi thẳng và lệch phải

5. THỰC NGHIỆM

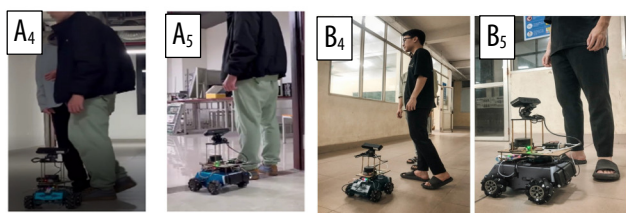
5.1. Mô tả thực nghiệm

Kịch bản thực nghiệm 1: Thực nghiệm dẫn đường được tiến hành cho các đối tượng bị che mắt và đi theo một lộ trình gồm đi thẳng 5m, rẽ phải và đi tiếp 3m. Một số hình ảnh về thực nghiệm kịch bản 1 tại 2 địa điểm khác nhau (hình A và B) được trình bày trong hình 9. Trong hình A₁(B₁), robot xác nhận đối tượng cần dẫn đường. Trong hình A₂(B₂), robot dẫn đường và đối tượng đi theo chỉ dẫn của robot. Trong hình A₃(B₃), robot gặp vật cản. Khi đó robot sẽ tránh vật cản và tiếp tục di chuyển.

Kịch bản thực nghiệm 2: Lộ trình như thực nghiệm 1, tuy nhiên, một số vật cản động như người đi ngang hay vật cản được bố trí trên đường đi của đối tượng, như trình bày trong Hình 10. Trong hình A₄(B₄), robot gặp vật cản động. Trong hình A₅(B₅), robot tự tránh vật cản động để đi tiếp. Robot vẫn nhận biết được chính xác đối tượng cần dẫn đường.



Hình 9. Hình ảnh thực nghiệm dẫn đường trên mẫu thử



Hình 10. Vật cản động và tĩnh trên đường đi của đối tượng

Các thực nghiệm đã được thực hiện tại hai địa điểm khác nhau là WSR-Tầng 3, nhà C7, Đại học Bách khoa Hà Nội và EDWS - Tầng 5 nhà A7 Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội. Các kết quả của bài báo này đã được ghi lại dưới dạng video tại đường link sau đây: <https://drive.google.com/drive/folders/1QTYehHif0eaDNAIJL28AjxS86pPSV6Az?usp=sharing>

5.2. Kết quả thực nghiệm

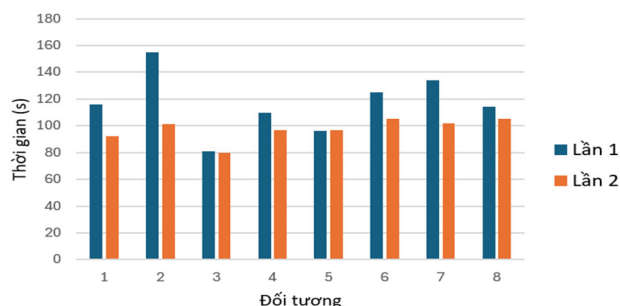
Để kiểm tra hiệu quả của phương pháp dẫn đường cho robot, các thực nghiệm đã được tiến hành trên 8 đối

tượng có chiều cao và độ tuổi khác nhau và chia ra thực hiện ở hai địa điểm như trên. Các đối tượng đi theo một lộ trình cụ thể đã được thiết lập là đi thẳng 5m rồi rẽ phải và đi tiếp 3m. So với một người hoàn toàn bình thường thì thời gian di chuyển cho quãng đường trên là khoảng 20 - 50s. Trong thực nghiệm này, ta đặt giả thiết khoảng thời gian để các đối tượng khiếm thị hoàn thành lộ trình này tối đa được thiết lập là 3 phút. Nếu thời gian di chuyển vượt quá 3 phút, chúng tôi coi như người đó chưa hoàn thành thành công và robot không thể hướng dẫn người khiếm thị di chuyển đến đích. Tổng hợp các kết quả của các thí nghiệm trên được trình bày trong hình 11.

Dựa vào kết quả thực nghiệm có thể có những nhận xét sau: Tất cả các đối tượng đều đến đích thành công trong thời gian nhỏ hơn 3 phút quy định của thực nghiệm. Điều này cho thấy hệ thống âm thanh có hiệu quả trong việc hỗ trợ người khiếm thị di chuyển an toàn và nhanh chóng.

- Trong lần thực hiện thứ nhất, đối tượng nhanh nhất là đối tượng số 3 với thời gian 1 phút 21 giây, còn đối tượng chậm nhất là đối tượng số 2 với thời gian 2 phút 35 giây. Sự chênh lệch này có thể do mức độ quen thuộc với hệ thống âm thanh, khả năng tiếp nhận và xử lý thông tin, cũng như tình trạng sức khỏe và tâm lý của các đối tượng.

- Trong lần thực hiện thứ hai, đối tượng nhanh nhất là đối tượng số 3 với thời gian 1 phút 20 giây, còn đối tượng chậm nhất là đối tượng số 6 với thời gian 1 phút 45 giây. Sự chênh lệch này ít hơn so với lần thứ nhất, cho thấy các đối tượng đã có sự cải thiện trong việc sử dụng hệ thống âm thanh.



Hình 11. Kết quả thời gian đi tới đích của 8 đối tượng

Đa số các đối tượng đều có thời gian di chuyển nhanh hơn trong lần thứ hai so với lần thứ nhất. Lý do có thể là do các đối tượng đã quen hơn với hệ thống âm thanh, có khả năng phản xạ và điều chỉnh hướng di chuyển tốt hơn, cũng như có sự tự tin, khả năng di chuyển nhanh hơn và sát với quỹ đạo tính toán hơn của đối tượng sau khi đã có kinh nghiệm. Thời gian di chuyển trung bình của các đối tượng trong hai lần là 1 phút 43 giây. Đây được đánh giá

là một kết quả khả quan, cho thấy hệ thống âm thanh có khả năng giúp người khiếm thị di chuyển một cách hợp lý và hiệu quả.

6. KẾT LUẬN

Bài báo đã đề xuất một thuật toán cho robot chỉ dẫn đường cho người khiếm thị sử dụng các thông tin về hướng, vị trí của người khiếm thị mà robot di động thu thập và tính toán được. Các kết quả kiểm nghiệm trong phòng thí nghiệm đã cho thấy tính đúng đắn và chính xác của thuật toán được đề xuất. Tuy nhiên, kết quả thực nghiệm cũng cho thấy một số thách thức. Cụ thể, sự chênh lệch về thời gian hoàn thành lộ trình giữa các đối tượng khá lớn, có thể do mức độ quen thuộc với hệ thống âm thanh, khả năng tiếp nhận và xử lý thông tin, cũng như tình trạng sức khỏe và tâm lý của các đối tượng. Điều này cho cần tiếp tục cải thiện thuật toán để hệ thống có thể hoạt động mượt mà hơn trong các tình huống đối tượng động và cử động nhanh, cung cấp một trải nghiệm tốt hơn cho người dùng. Việc hoàn thiện và kiểm nghiệm hệ thống robot hỗ trợ người khiếm thị sử dụng thuật toán đề xuất với số lượng lớn các đối tượng khiếm thị sẽ được thực hiện trong thời gian tới.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. WHO, *Vision impairment and blindness*, Accessed: Apr. 18, 2024. [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>
- [2]. Kuriakose B., Shrestha R., Sandnes F. E., "Tools and Technologies for Blind and Visually Impaired Navigation Support: A Review," *IETE Technical Review*, 39(1), 3-18, 2022. <https://doi.org/10.1080/02564602.2020.1819893>
- [3]. Real Santiago, Alvaro Araujo, "Navigation Systems for the Blind and Visually Impaired: Past Work, Challenges, and Open Problems," *Sensors*, 19, 15: 3404, 2019. <https://doi.org/10.3390/s19153404>
- [4]. Lin Bor-Shing, Cheng-Che Lee, Pei-Ying Chiang, "Simple Smartphone-Based Guiding System for Visually Impaired People," *Sensors*, 17, 6: 1371, 2017. <https://doi.org/10.3390/s17061371>
- [5]. Y. Zhao, E. Kupferstein, D. Tal, S. Azenkot, "It Looks Beautiful but Scary: How Low Vision People Navigate Stairs and Other Surface Level Changes," in *Proceedings of the 20th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, in ASSETS '18. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 307-320. 2018. <https://doi.org/10.1145/3234695.3236359>.
- [6]. Dernayka Aya, Michel-Ange Amorim, Roger Leroux, Lucas Bogaert, René Farcy, "Tom Pouce III, an Electronic White Cane for Blind People: Ability to Detect Obstacles and Mobility Performances," *Sensors*, 21, 20: 6854, 2021. <https://doi.org/10.3390/s21206854>
- [7]. Dos Santo, A.D.P., Medola F.O., Cinelli M.J., et al., "Are electronic white canes better than traditional canes? A comparative study with blind and blindfolded participants," *Univ Access Inf Soc*, 20, 93-103, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10209-020-00712-z>.
- [8]. A. Xiao, W. Tong, L. Yang, J. Zeng, Z. Li, K. Sreenath, "Robotic Guide Dog: Leading a Human with Leash-Guided Hybrid Physical Interaction," in *2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, China: IEEE Press, 11470-11476, 2021. doi: 10.1109/ICRA48506.2021.9561786.
- [9]. Seita Kayukawa, Tatsuya Ishihara, Hironobu Takagi, Shigeo Morishima, Chieko Asakawa, "Guiding Blind Pedestrians in Public Spaces by Understanding Walking Behavior of Nearby Pedestrians," *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.* 4, 3, Article 85, 22 pages, 2020. <https://doi.org/10.1145/3411825>.
- [10]. Seita Kayukawa, Tatsuya Ishihara, Hironobu Takagi, Shigeo Morishima, Chieko Asakawa, "BlindPilot: A Robotic Local Navigation System that Leads Blind People to a Landmark Object," *ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'20)*, 2020. <https://doi.org/10.1145/3334480.3382954>
- [11]. Zhen An, Lina Hao, Yu Liu, Li Dai, "Development of Mobile Robot SLAM Based on ROS," *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 5, 1, 47-51, 2016. DOI: 10.18178/ijmerr.5.1.47-51.
- [12]. M. Bamdad, D. Scaramuzza, A. Darvishy, "SLAM for Visually Impaired People: a Survey," *IEEE Access*, 12, 130165 - 130211, 2024. doi: 10.1109/ACCESS.2024.3454571
- [13]. M. Leo, G. Medioni, M. Trivedi, T. Kanade, G. M. Farinella, "Computer vision for assistive technologies," *Comput. Vis. Image Underst.*, 154, no. C, 1-15, 2017. doi: 10.1016/j.cviu.2016.09.001.
- [14]. M. M. Basheer, A. Varol, "An Overview of Robot Operating System Forensics," in *2019 1st International Informatics and Software Engineering Conference (UBMYK)*, Ankara, Turkey, 1-4, 2019, doi: 10.1109/UBMYK48245.2019.8965649.
- [15]. D. Talwar, S. Jung, "Particle Filter-based Localization of a Mobile Robot by Using a Single Lidar Sensor under SLAM in ROS Environment," in *19th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)*, Jeju, Korea (South), 1112-1115, 2019. doi: 10.23919/ICCAS47443.2019.8971555.
- [16]. Farhan Ali, Kevin Adi Kurnia, Ferry Saputra, Kelvin H. C. Chen, Jong-Chin Huang, Marri Jmelou M. Roldan, Yu-Heng Lai, Chung-Der Hsiao, "An OpenCV-Based Approach for Automated Cardiac Rhythm Measurement in Zebrafish from Video Datasets," *Biomolecules*, 11, 10: 1476, 2021. <https://doi.org/10.3390/biom11101476>.
- [17]. G. Goyal, F. Di Pietro, N. Carissimi, A. Glover, C. Bartolozzi, "MoveEnet: Online High-Frequency Human Pose Estimation With an Event Camera," in *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 4024-4033, 2023.
- [18]. Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A., "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection," in *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 779-88, 2016.

AUTHORS INFORMATION

**Nguyen Hung Minh¹, Ho Minh Trung³, Luong Thanh Tuan²,
Tran Minh Quang², Trinh Trong Chuong¹, Tong Thi Ly¹**

¹Faculty of Electrical Engineering, Hanoi University of Industry, Vietnam

²School of Electrical and Electronic Engineering, Hanoi University of Science and Technology, Vietnam

³Institute of Chemistry - Military Environment, Chemical Forces, Vietnam