

# THIẾT KẾ CHẾ TẠO XE ROBOT VẬN TẢI HÀNG NẶNG DESIGN OF MOBILE ROBOTIC PLATFORM FOR HIGH LOAD TRANSPORTATION

Cái Việt Anh Dũng, Lê Ngọc Huân, Nguyễn Việt Thắng, Nguyễn Đức Cảnh,  
Nguyễn Thành Sơn, Trịnh Trung Dũng, Lê Minh Khiêm, Phan Trần Thành Lợi,  
Thái Nhật An, Huỳnh Tấn Hưng, Nguyễn Hùng Tịnh Vũ, Nguyễn Huy Thiện  
Trường Đại học Quốc Tế Miền Đông, Bình Dương, Việt Nam

Ngày toà soạn nhận bài 30/12/2020, ngày phản biện đánh giá 09/02/2021, ngày chấp nhận đăng 11/03/2021.

## TÓM TẮT

Bài báo mô tả phương pháp thiết kế và điều khiển thiết bị xe robot chuyên dùng để vận tải các hàng hóa có khối lượng lớn. Cấu trúc được sử dụng ở đây gồm 2 bánh lái độc lập có gắn động cơ nằm chính giữa thân xe và 2 bánh tự lùa ở đầu thân, qua đó cho phép xe được lái bởi phương pháp vi sai vận tốc, với ưu điểm là có thể xoay vòng chuyển hướng xe tại chỗ mà không cần phải bẻ cua. Hệ thống treo được thiết kế tại mỗi bánh xe cho phép các bánh xe này luôn tiếp xúc với mặt đất, qua đó giảm thiểu rung lắc khi di chuyển. Thiết kế cơ khí theo dạng đa tầng với cấu trúc đơn giản nhưng cho phép chịu được tải trọng lớn. Hệ thống đã được lắp đặt và chạy thử nghiệm thực tế. Thuật toán định vị cũng đã được cài đặt trên robot cho phép thiết bị có thể hoạt động tự hành.

**Từ khóa:** Xe robot chở tải nặng; Hệ thống treo cho xe robot; Phương pháp lái vi sai; Thiết kế đa tầng; Thuật toán điều khiển di chuyển bám theo người.

## ABSTRACT

This paper describes the design method of a mobile robotic platform for high-load transportation as well as its control. The structure of the robot includes 2 independent motorized driven wheels that are located right at the middle of the platform and 2 other caster wheels that are located at the front and the back of the platform. This architecture allows the robot to realize a rapid change of direction simply by turning around itself. The suspension systems assembled at each wheel allow the wheels to keep contact with the ground permanently, thus minimizing vibrations of the platform during its motion. The platform design takes the form of a multi-level architecture which is simple but effective for high-load support. The system was tested in real scenario with success. A localization algorithm was also implemented onto the robot allowing it to operate autonomously.

**Keywords:** Robotic platform for high-load transportation; Suspension system for mobile robot; Differential driving method; Multi-level structure design; Man tracking algorithm.

## 1. GIỚI THIỆU

Việc sử dụng robot trong các nhà máy, xí nghiệp sản xuất trong nước hiện nay đang được xem là một nhu cầu rất cấp thiết khi ngành sản xuất công nghiệp Việt Nam đang nhanh chóng hiện đại hóa và tự động hóa các quy trình sản xuất của mình nhằm tăng năng suất, nâng cao chất lượng để cạnh tranh trên quy mô toàn cầu. Việt Nam hiện vẫn đang có

lợi thế về nguồn nhân lực giá rẻ. Tuy nhiên, trong bối cảnh thế giới đang hướng đến cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ 4, điều này sẽ nhanh chóng thay đổi. Kỹ thuật Robot, cùng với IOT, là một trong những công nghệ sẽ từng bước được đưa vào sử dụng hàng loạt trong cuộc cách mạng này. Trong xu hướng này, nhu cầu sử dụng xe robot để vận chuyển sản phẩm và hàng hóa trong các nhà máy, xí nghiệp tại Việt Nam là một nhu cầu có thật,

và khá bức thiết. Nhiều doanh nghiệp đã và đang tiếp tục đề cập đến khả năng ứng dụng công nghệ này tại các cơ sở sản xuất của họ. Hiện nay trong công nghiệp, ngoài sản phẩm cánh tay máy công nghiệp truyền thống, thì sản phẩm xe robot (mobile robotic platform) ứng dụng chuyên chở hàng hóa (logistics) cũng là một sản phẩm được đặt hàng ngày càng nhiều. Các loại xe robot này có thể được phân loại thành 3 nhóm có chức năng hoạt động khác nhau như sau:

Nhóm thứ nhất là các robot chạy theo đường dẫn (line following), tích hợp với các loại cảm biến phát hiện vật cản (ví dụ: hệ thống Kiva Robots hoạt động trong kho của Amazon) [1]. Công nghệ này đã được phát triển từ lâu [2]. Hiện nay nhiều công ty đã hoàn thiện công nghệ này và bán rộng rãi ra thị trường (Kiva System [3]). Ngay cả ở trong nước cũng đã có nhiều nhóm nghiên cứu có đủ năng lực chế tạo và tích hợp hệ thống này vào các nhà xưởng, nhà máy. Tuy nhiên, công nghệ này chỉ phù hợp với các nhà xưởng, nhà máy có diện tích lớn do nó đòi hỏi phải lắp đặt một hệ thống dây dẫn trên mặt đất (dây màu hoặc dây bức xạ từ) và không gian làm việc phải được sắp xếp trước, với càng ít chướng ngại vật càng tốt.

Nhóm thứ hai sử dụng cột mốc định vị (beacons) cho phép định vị robot theo từng vùng được phủ bởi các cột mốc này [4]. Hệ thống có thể được tích hợp với các cảm biến gắn trên robot cho phép định vị robot một cách tức thời (odometry). Trong thập niên 90s, cảm biến IMU thường được sử dụng cho chức năng này. Bộ lọc Kalman có thể được sử dụng cho phép hiệu chỉnh sai số cộng dồn của cảm biến, đảm bảo hệ thống hoạt động ổn định [5]. Hiện nay, công nghệ định vị bằng cột mốc phát tín hiệu wifi [6] đã được nghiên cứu và đưa vào sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng robot dân dụng (robot hút bụi, lau nhà) với độ chính xác cao.

Nhóm thứ ba sử dụng camera, camera hồng ngoại hoặc cảm biến quét laser, cho phép xây dựng bản đồ của môi trường xung quanh (SLAM – Simultaneous Localization and Mapping) và cho phép liên tục cập nhật

vị trí mới của robot so với bản đồ đã được xác lập [7], [8]. Hiện nay, với sự xuất hiện của công nghệ camera phát hiện độ sâu (Kinect) [9] và công nghệ quét laser (LIDAR, Light Imaging, Detection and Ranging) [10] với giá thành ngày càng thấp, nhóm robot thứ ba này hứa hẹn sẽ xuất hiện ngày càng nhiều trong các ứng dụng công nghiệp cũng như dân dụng.

Trong bài báo này, nhóm tác giả mô tả thiết kế phần cứng cũng như thuật toán điều khiển cấp thấp của một xe robot chở hàng. Xe robot được trang bị nhiều cảm biến hồng ngoại và siêu âm cho phép phát hiện vật cản ở cự ly gần. Camera kinect được sử dụng cho phép lập trình ứng dụng đi theo người. Ngoài ra, thiết bị sử dụng ắc quy có thể sạc hoặc có thể thay thế được, cho phép hoạt động liên tục lên đến 4, 5 tiếng đồng hồ. Phần 2 của bài báo mô tả chi tiết thiết kế cơ khí của xe robot. Thiết kế là một cấu trúc đa tầng, đơn giản, dễ chế tạo, đồng thời cho phép chịu được tải trọng lớn. Phần 3 mô tả về hệ thống điều khiển. Các thuật toán đi theo người cũng như hệ thống định vị robot cũng sẽ được giới thiệu.

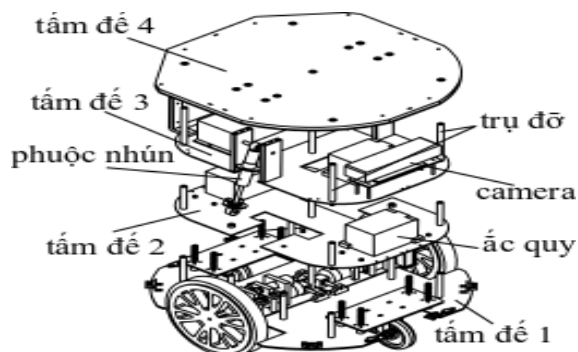
## 2. THIẾT KẾ CƠ KHÍ

Xe robot chở hàng được thiết kế theo dạng đa tầng xếp lớp với các trục chống bằng inox cho phép chịu tải trọng lớn. Việc sử dụng các trục inox làm tác nhân chính chịu tải trọng cho xe cho phép dễ dàng thay đổi thiết kế nhằm tăng hoặc giảm tải trọng tối đa, bằng cách thay đổi kích thước các trục inox. Ngoài ra, thiết kế này cho phép tháo lắp thiết bị dễ dàng, đồng thời có thể linh hoạt bố trí các linh kiện khác nhau (pin, bo mạch điều khiển, máy tính, cảm biến, ...) phía bên trong xe robot.

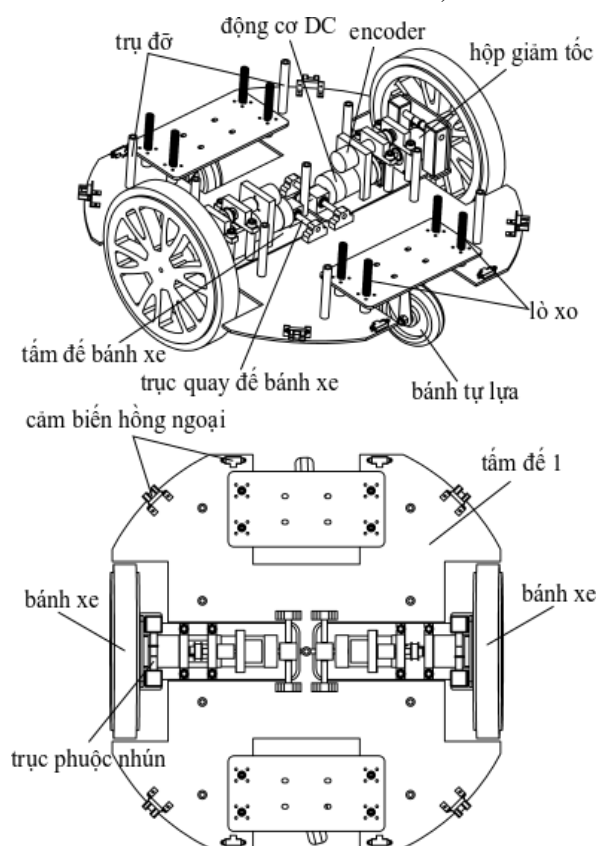
### 2.1. Thiết kế thân xe

Hình 1 thể hiện góc nhìn 3D của xe robot (đã tách chi tiết). Thân xe bao gồm 4 tấm kim loại nhôm xếp lớp chồng lên nhau thành các tầng. Giữa mỗi 2 tấm sẽ có các trụ đỡ bằng inox. Kích thước các trụ đỡ này được thiết kế theo tải tối đa mà xe robot có thể chở được. Hai bánh lái được kết nối với

thân xe thông qua 1 cặp phuộc nhún, tiếp xúc tại các trục chịu lực bằng inox.



**Hình 1.** Thiết kế chi tiết khung xe robot (góc nhìn 3D đã tách chi tiết).



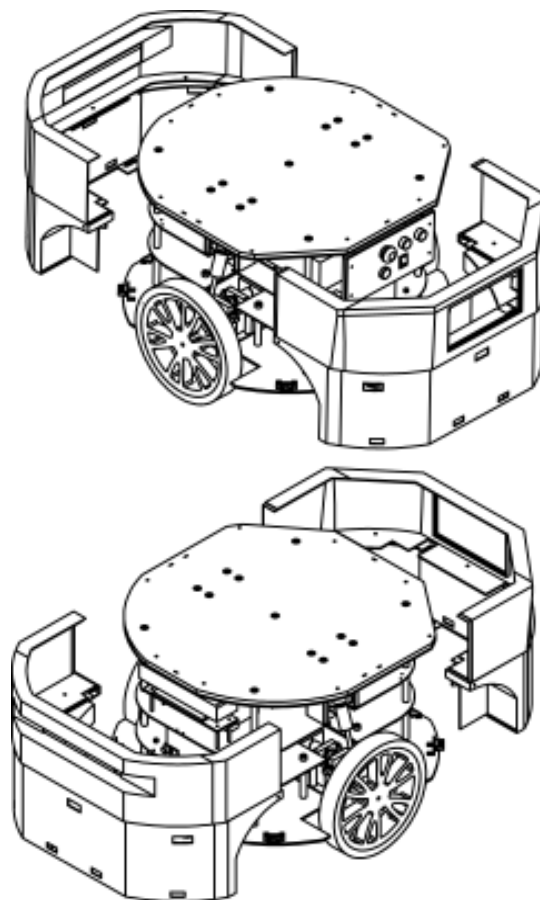
**Hình 2.** Thiết kế tầng thứ 1 của xe robot

Hình 2 thể hiện thiết kế chi tiết của tầng thứ nhất. Xe có 2 bánh lái độc lập, có gắn động cơ DC không chổi than ở mỗi bánh, và 2 bánh tự lựa ở mỗi đầu xe. Cấu trúc này là cấu trúc lái vi sai, cho phép xe có thể tự xoay chuyển hướng tại chỗ mà không cần phải bẻ cua. Hai bánh tự lựa được gắn chặt với 2 tấm đế đi động. Hai tấm đế đi động này có thể trượt lên xuống giữa tấm đế thứ nhất và tấm đế thứ hai. Giữa 2 tấm đế đi động và tấm đế

thứ hai có gắn các lò xo nén giảm chấn. Công dụng của các lò xo này là giữ cho các bánh tự lựa luôn tiếp xúc với mặt đất.

Hai động cơ DC không chổi than với hộp số hành tinh được gắn trực tiếp vào 2 bánh xe lớn. Chuyển động quay của động cơ được đo bởi 1 cảm biến quang (encoder) 1000 xung được thiết kế nằm ngay bên trên động cơ. Tất cả chi tiết này hợp nhau thành 1 khối và được bố trí lắp chặt vào các tấm đế. Tấm đế bánh xe có kết nối với chi tiết tấm đế 1 thông qua một trục quay bằng inox (chi tiết trục quay đế bánh xe) và có thể chuyển động quay xung quanh trục này. Tấm đế này đồng thời cũng kết nối với một đầu phuộc nhún thông qua trục quay bằng inox (chi tiết trục phuộc nhún). Đầu còn lại của phuộc nhún được kết nối với chi tiết tấm đế 3. Đây là phương án lắp phuộc nhún gồm 3 khớp quay quen thuộc trên các loại xe gắn máy thông thường.

## 2.2. Thiết kế vỏ xe



**Hình 3.** Bản vẽ tách robot và phân vỏ

Bốn miếng vỏ xe bằng nhựa được thiết kế để che kín toàn bộ thân xe robot, và có thể tháo lắp dễ dàng theo chiều từ ngoài vào trong dọc theo thân xe (xem hình 3). Trên 4 miếng vỏ xe có thiết kế các lỗ hờ để đặt các cảm biến siêu âm và hồng ngoại, cũng như camera và bảng điều khiển.

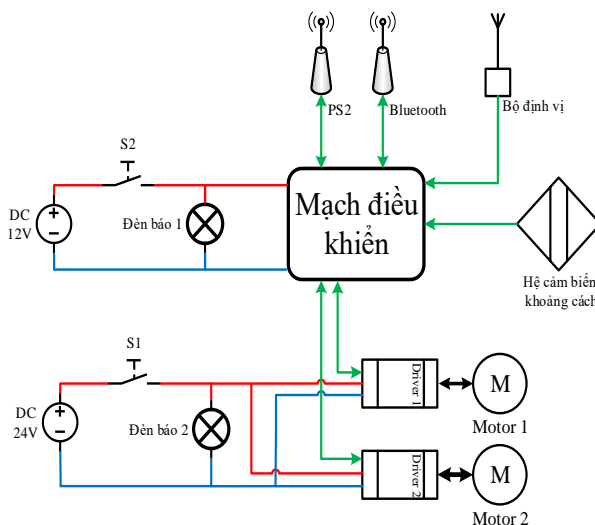
### 3. HỆ THỐNG ĐIỆN ĐIỀU KHIỂN

#### 3.1 Sơ đồ mạch điện

Sơ đồ hệ thống điện của robot được mô tả như trên hình 4.

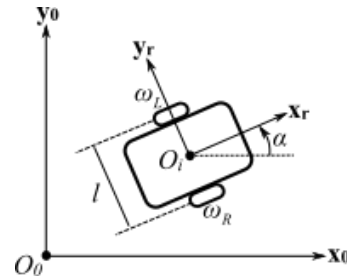
Cụ thể, robot được dẫn động bởi 2 bánh gắn với 2 động cơ không chổi than (sau đây gọi là BLDC), hoạt động bằng nguồn điện một chiều 24V và được cấp xung bởi 2 driver.

Mạch điều khiển chính được sử dụng là 2 bo Arduino Mega 2560. Bo thứ nhất có nhiệm vụ điều khiển tốc độ của 2 động cơ BLDC sử dụng thuật toán PID, đồng thời nhận giá trị của một hệ thống các cảm biến khoảng cách được gắn xung quanh robot. Hệ thống cảm biến này bao gồm 12 cảm biến hồng ngoại và 6 cảm biến siêu âm, cho phép phát hiện tất cả các vật cản trong phạm vi 50 centimet. Bo thứ hai có nhiệm vụ nhận giá trị từ cảm biến vị trí (sau đây gọi là GPS) và phân tích dữ liệu, đồng thời giao tiếp với người dùng thông qua 2 bộ phát sóng không dây là bluetooth và PS2.



Hình 4. Sơ đồ tổng quát hệ thống điện cho robot

#### 3.2 Mô hình động học của xe robot



Hình 5. Mô hình động học xe robot

- $O_i(x_i, y_i)$  – Vị trí tâm của robot trong hệ trục tọa độ  $R_0(O_0, x_0, y_0)$  của bản đồ.
- $x_r, y_r$  – Các véc tơ đơn vị của hệ trục tọa độ  $R_r(O_i, x_r, y_r)$  gắn với xe robot.
- $\alpha$  – Góc quay giữa véc tơ  $x_r$  và véc tơ  $x_0$  của bản đồ
- $\omega_L$  – Vận tốc quay của bánh xe trái
- $\omega_R$  – Vận tốc quay của bánh xe phải
- $l$  – Khoảng cách giữa 2 bánh xe robot

Vận tốc thẳng của xe robot trong bản đồ, đo ở vị trí tâm robot, được tính bởi công thức:

$$v_{O_i} = \frac{v_L + v_R}{2} = \frac{r}{2}(\omega_L + \omega_R) \quad (1)$$

Với  $r$  là bán kính của 2 bánh xe và  $v_L$  và  $v_R$  là vận tốc tịnh tiến tại 2 bánh xe. Vận tốc quay  $\omega$  (theo phương  $z_0$ ) của xe robot có thể được tính như sau:

$$\omega = \frac{2(v_R - v_L)}{l} = \frac{2r}{l}(\omega_R - \omega_L) \quad (2)$$

Từ [1] và [2], ta có thể suy ra công thức tính vị trí tức thời  $O_i(x_i, y_i)$  và góc quay tức thời  $\alpha$  của robot như sau:

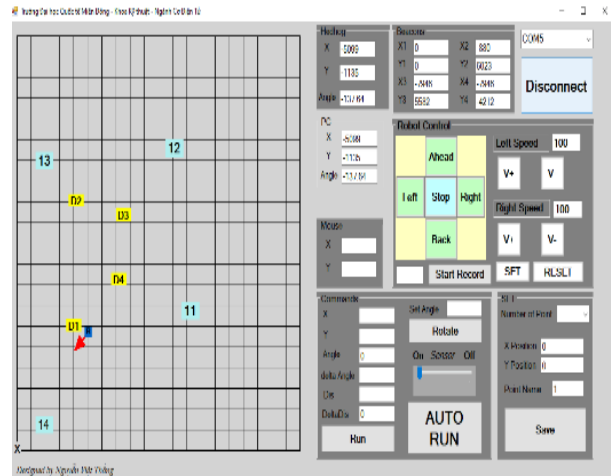
$$\begin{cases} \alpha = \alpha_0 + \int \omega \\ x_i = x_{i0} + \int v_{O_i} \cos \alpha \\ y_i = y_{i0} + \int v_{O_i} \sin \alpha \end{cases} \quad (3)$$

#### 3.3 Thuật toán điều khiển xe robot

Robot được điều khiển theo 2 chế độ là bằng tay và tự động (xem hình 6). Ở chế độ

điều khiển bằng tay, người dùng có thể dùng máy tính để điều khiển và giám sát vị trí của robot trên màn hình. Việc này đòi hỏi robot phải được kết nối với máy tính thông qua bộ thu phát sóng bluetooth. Trường hợp người dùng không muốn dùng máy tính, có thể sử dụng bộ tay cầm không dây PS2 để thực hiện việc điều khiển từ xa. Trong chế độ này, hệ thống cảm biến phát hiện vật cản có thể được bật hay tắt là tùy ý người dùng.

Ở chế độ điều khiển thứ 2, chế độ vận hành tự động, người dùng sẽ gửi một mã lệnh yêu cầu robot đến các vị trí đã đánh dấu sẵn trước đó. Trong chế độ này, robot sẽ cần thu thập dữ liệu từ hệ thống định vị GPS của hãng Marvelmind để nhận biết vị trí hiện tại của nó. Dựa trên vị trí hiện tại và vị trí cần đến, robot sẽ tính toán và xoay một góc phù hợp, sau đó di chuyển theo đường thẳng tới vị trí đích mong muốn.



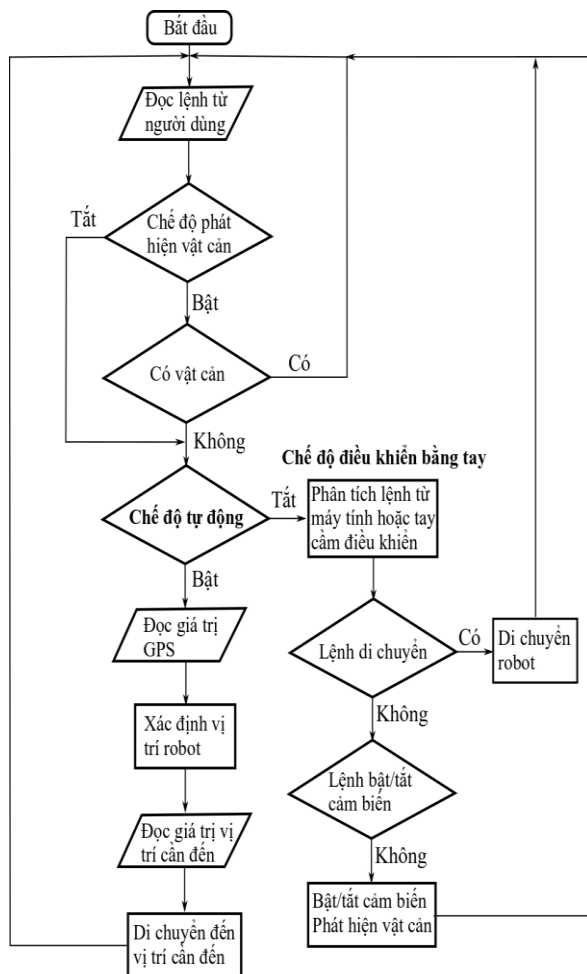
**Hình 7.** Giao diện người dùng trên máy tính

Đối với chế độ tự động, trước khi cho robot tự vận hành, người dùng cần mở phần mềm giao diện trên máy tính để chỉ định các vị trí cần đến cho robot (xem hình 7). Khi người dùng nhấp vào các điểm trên bản đồ và lưu vị trí đó lại, các điểm này được hiển thị bằng màu vàng trên bản đồ và được lưu vào file để có thể tự động mở lại ở lần hoạt động tiếp theo.

Sau khi đã có vị trí hiện tại và các vị trí cần đi đến, robot sẽ thực hiện chế độ chạy tự động. Việc di chuyển từ điểm này đến điểm kia, ví dụ, từ điểm A đến điểm B, được thực hiện theo 2 bước: Bước 1, robot sẽ tính toán và quay một góc sao cho hướng đi tới của robot trùng với hướng của véc tơ AB. Bước 2, robot sẽ căn cứ vào khoảng cách từ vị trí hiện tại đến B để thực hiện việc tăng giảm tốc độ. Theo đó, nếu khoảng cách từ vị trí hiện tại đến B lớn, robot sẽ di chuyển nhanh. Ngược lại, nếu khoảng cách này ngắn, robot sẽ di chuyển chậm lại. Đồng thời, trên đường đi, robot cũng sẽ điều chỉnh vận tốc của 2 bánh sao cho mũi của robot luôn hướng về điểm B.

#### 4. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Hình 8 thể hiện hình ảnh xe robot đã được lắp hoàn thiện. Robot được tiến hành chạy thử nghiệm khi không tải và khi có tải nặng 70 Kg. Việc thực nghiệm được thực hiện cả trên chế độ điều khiển bằng tay và chế độ chạy tự động.



**Hình 6.** Lưu đồ điều khiển tổng quát cho robot

Ở chế độ điều khiển bằng tay, robot được thử nghiệm cho di chuyển thẳng với vận tốc 2 bánh xe lần lượt là 25 vòng/phút và 50 vòng/phút, khi không tải và khi có tải. Việc lấy mẫu dữ liệu vận tốc được tiến hành mỗi 50 mili giây. Dữ liệu đáp ứng vận tốc của 2 bánh xe được mô tả trên hình 9\_1 và hình 9\_2, với đường xanh lá và xanh dương là vận tốc của mỗi bánh xe, trong khi đường đỏ là vận tốc của mỗi bánh xe, trong khi đường đỏ là vận tốc thiết lập (setpoint). Với các hệ số PID đã được thiết lập cố định, cả 2 bánh xe đều cho đáp ứng vận tốc khá giống nhau và đều khá ổn định quanh vận tốc thiết lập. So sánh 2 trường hợp khi không tải và khi có tải nặng 70kg, đáp ứng của cả 2 bánh xe không có sự khác biệt nào đáng kể. Nếu so sánh giữa 2 vận tốc thiết lập khác nhau, có thể thấy với vận tốc 50 vòng/phút, đáp ứng của các động cơ chậm hơn, tuy nhiên thời gian xác lập cũng chỉ khoảng 4 giây trước khi đạt đến mức ổn định, so với khoảng khoảng 3 giây ở vận tốc 25 vòng/phút.



**Hình 8.** Sản phẩm xe robot đã được lắp hoàn thiện.

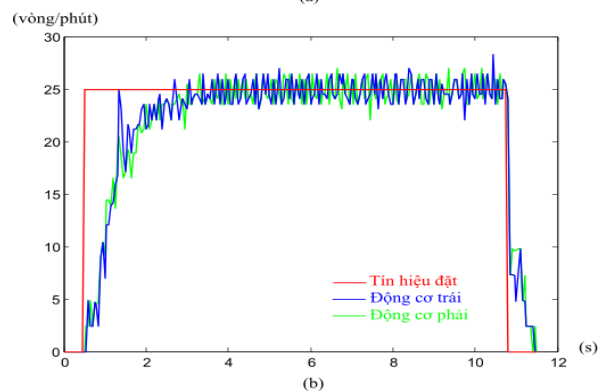
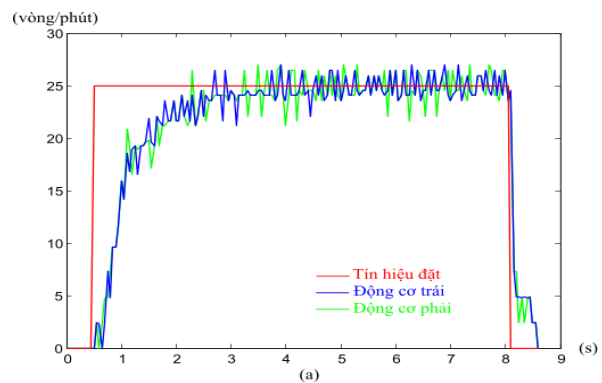
Độ chính xác của hệ thống GPS cũng được đo trong chế độ điều khiển bằng tay qua 2 bước:

- Bước 1, đánh dấu các vị trí trên mặt sàn, và lưu vị trí của robot mà GPS trả về

trên bản đồ, ở đây nhóm tác giả đánh dấu 3 điểm A, B và C.

- Bước 2, điều khiển bằng tay để robot di chuyển thẳng từ điểm này đến điểm kia trong 3 điểm đó.

Hình 10 hiển thị kết quả thực nghiệm mà hệ thống GPS trả về trên bản đồ máy tính. Ta có thể thấy, khoảng cách từ A đến B là 9 mét trên thực tế (đường đỏ). Tuy nhiên, dựa trên các giá trị mà hệ thống GPS trả về (điểm màu xanh lá), khoảng cách AB đo được dựa là khoảng 7,9 mét. Tương tự, khoảng cách BC trên thực tế là 4,8 mét, nhưng giá trị mà GPS trả về là khoảng 5,5 mét. Điều này chứng minh sai số giá trị giữa hệ thống GPS với giá trị thực tế là phi tuyến. Ngoài ra, giá trị vị trí mà GPS trả về có sai số thay đổi tùy theo khu vực. Đoạn từ A đến B, tín hiệu mà GPS trả về có những đoạn nhiễu rất mạnh. Tuy nhiên, giá trị trả về trên đoạn BC và AC là tương đối ổn định.

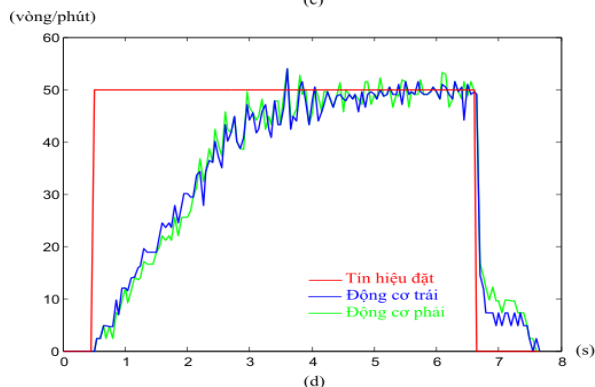
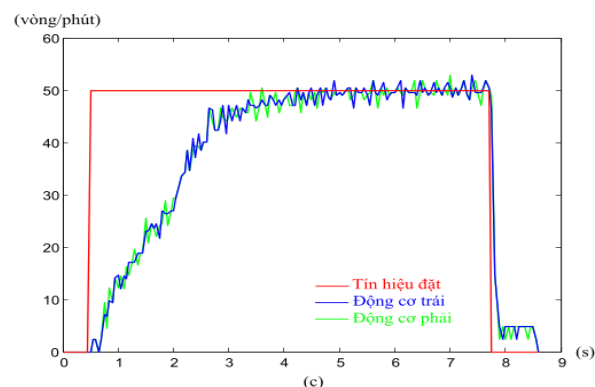


**Hình 9\_1.** Kết quả thực nghiệm vận tốc của 2 bánh xe. Hình a: Vận tốc thiết lập 25 vòng/phút khi không tải. Hình b: Vận tốc thiết lập 50 vòng/phút khi không tải.

Ở chế độ vận hành tự động, nhóm chỉ định 4 điểm A, B, C, D trên bản đồ. 4 điểm

này được lấy bằng cách di chuyển robot đến từng điểm và lưu lại tọa độ điểm đó theo giá trị mà GPS trả về. Sau đó, robot bắt đầu từ A làm vị trí đầu tiên, và di chuyển đến vị trí B. Trong quá trình di chuyển đến B, robot cập nhật vị trí của nó theo số vòng quay của 2 bánh xe. Khi đến B, robot sẽ cập nhật lại vị trí của nó theo tín hiệu GPS trả về. Sau đó lại tiếp tục đi đến C và cập nhật vị trí tại đó, tương tự với hành trình còn lại.

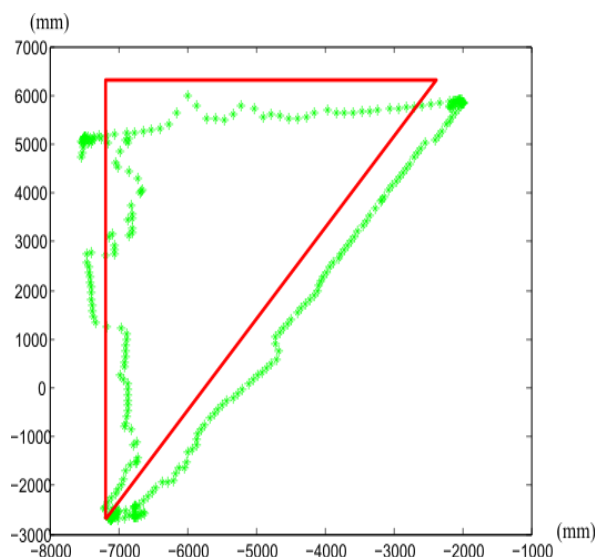
Kết quả thực nghiệm được mô tả ở hình 11. Đường màu đỏ là đường thẳng nối 4 điểm A, B, C, D. Các điểm tròn màu xanh dương là các điểm cập nhật vị trí của robot dựa trên quãng đường đã đi, được đo bằng số vòng quay của 2 bánh xe. Các điểm màu xanh lá là tọa độ mà GPS liên tục trả về. Có thể thấy rằng mặc dù robot di chuyển trên đường thẳng, nhưng do bản đồ mà GPS trả về không tuyến tính với bản đồ thực tế, và tín hiệu GPS bị nhiễu nên giá trị trả về không chính xác. Do đó, nhóm đã sử dụng phương trình động học để tính toán vị trí hiện tại của robot, sau đó cập nhật lại giá trị mỗi khi đến một vị trí đích, là các điểm A, B, C, D.



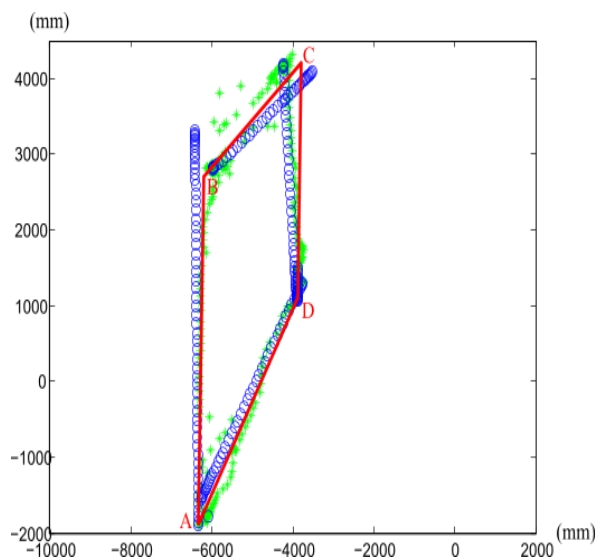
**Hình 9\_2.** Hình c: Vận tốc thiết lập 25 vòng/phút khi có tải. Hình d: Vận tốc thiết lập 50 vòng/phút khi có tải.

Hình 12 thể hiện kết quả thực nghiệm khi cho robot chạy liên tục 3 vòng. Quỹ đạo của 3 vòng chạy gần như tương đồng nhau.

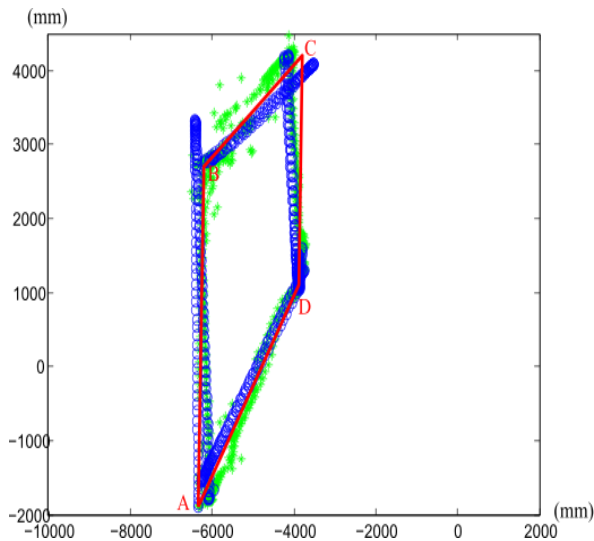
Tại mỗi điểm, robot cần xoay một góc tương ứng để hướng về điểm tiếp theo. Giá trị góc quay của robot, vì thế, sẽ thay đổi mỗi khi robot đến một trong các điểm A, B, C, D. Hình 13 minh họa hướng của robot trong thời gian chạy 3 vòng ở trên. Có thể thấy, khi di chuyển từ A đến B, hướng của robot là khoảng 90 độ, sau đó robot quay một góc từ 90 độ sang 28 độ để hướng đến điểm C, và thay đổi sang -83 độ để đến D trước khi chuyển thành -130 độ để trở về A.



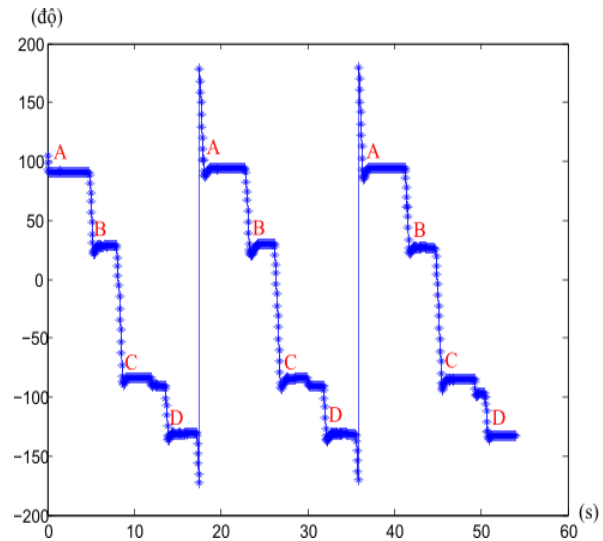
**Hình 10.** Kết quả thực nghiệm độ chính xác của GPS



**Hình 11.** Kết quả thực nghiệm việc di chuyển tự động của robot qua 4 điểm



Hình 12. Kết quả chạy thực nghiệm 3 lần



Hình 13. Hướng của robot trong quá trình di chuyển

## 5. KẾT LUẬN

Ở bài báo này, nhóm đã thực hiện việc thiết kế chế tạo một xe robot tự hành có khả năng vận chuyển tải trọng lớn. Xe robot được thiết kế theo cấu trúc đa tầng xếp lớp với các trục chống cho phép vừa chịu được tải trọng lớn, vừa có thể dễ dàng hiệu chỉnh thiết kế nhằm tăng hoặc giảm khả năng tải của robot. Xe được điều khiển theo vi sai vận tốc, gồm 2 bánh chính có gắn động cơ và 2 bánh tự hành. Ở mỗi bánh đều có hệ thống treo, đảm bảo sự tiếp xúc của bánh xe so với mặt đường.

Robot có thể được điều khiển từ xa bằng máy tính hoặc tay cầm điều khiển thông qua kết nối Bluetooth. Ở chế độ tự hành, nhóm nghiên cứu sử dụng hệ thống GPS indoor cho phép định vị robot bằng các cột mốc siêu âm. Kết quả thực nghiệm cho thấy robot có thể chạy tự hành theo các điểm trên bản đồ với độ chính xác lặp lại cao. Hiện tại hệ thống có khả năng vận hành ổn định với độ chính xác lặp lại cao, phù hợp để sử dụng trong các ứng dụng công nghiệp.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] E. Guizzo, *Three Engineers, Hundreds of Robots, One Warehouse*, IEEE Spectrum, Vol. 45, Issue 7, pp. 26-34, 2008.
- [2] R. A. Brooks, *A Robust Layered Control System for a Mobile Robot*, IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. RA-2, No. 1, pp. 14-23, 1986.
- [3] P. R. Wurman and al., *Kiva Transporting Inventory Items*, Patent n° US20140100690A1.
- [4] J. J. Leonard and H. F. Durrant-Whyte, *Mobile Robot Localization by Tracking Geometric Beacons*, IEEE Transaction of Robotics and Automation, Vol. 1, No. 3, pp. 376-382, 1991.
- [5] F. Chevalier and J. L. Crowley, *Position Estimation for a Mobile Robot Using Vision and Odometry*, Proceeding of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pp. 2588-2593, 1992.
- [6] J. Biswas and M. M. Veloso, *Wifi Localization and Navigation for Autonomous Indoor Mobile Robots*, Proceeding of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pp. 4379-4384, 2010.
- [7] T. Bailey and H. Durrant-Whyte, *Simultaneous Localization and Mapping: Part II*, IEEE Robotics and Automation Magazine, pp. 108-117, 2006.

- [8] H. Durrant-Whyte and T. Bailey, *Simultaneous Localization and Mapping: Part I*, IEEE Robotics and Automation Magazine, pp. 99-108, 2006.
- [9] P. Fankhauser, M. Bloesch, D. Rodriguez, R. Kaestner, M. Hutter and R. Siegwart, *Kinect V2 for Mobile Robot Navigation: Evaluation and Modeling*, International Conference on Advanced Robotics, 2015.
- [10] U. Weiss and P. Biber, *Plant Detection and Mapping for Agricultural Robots Using a 3D LIDAR Sensor*, Robotics and Autonomous Systems, Vol. 59-5, pp. 265-273, 2011.

**Tác giả chịu trách nhiệm bài viết:**

Cái Việt Anh Dũng  
Trường Đại Học Quốc Tế Miền Đông  
Email: dung.cai@eiu.edu.vn

Nguyễn Việt Thắng  
Trường Đại Học Quốc Tế Miền Đông  
Email: thang.nguyen@eiu.edu.vn