

Nghiên cứu thiết kế robot tự động nâng-vận chuyên tại kho hàng hóa

Research on the Design of Automated Lifting and Transport Robots for Warehouse Applications

Vũ Dương^{a*}, Đặng Ngọc Sỹ^a, Nguyễn Ngọc Anh Quyên^a, Đinh Hữu Quang^a, Ôn Hồ Đan Dương^a, Hồ Ngọc Huy^a

Vu Duong^{a*}, Dang Ngoc Sy^a, Nguyen Ngoc Anh Quyen^a, Dinh Huu Quang^a, On Ho Dan Duong^a, Ho Ngoc Huy^a

^aTrung tâm Cơ khí (CME), Trường Công nghệ và Kỹ thuật, Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam

^aCenter of Mechanical Engineering (CME), School of Engineering and Technology, Duy Tan University, Da Nang, 550000, Viet Nam

(Ngày nhận bài: 24/12/2025, ngày phản biện xong: 02/03/2026, ngày chấp nhận đăng: 07/4/2026)

Tóm tắt

Robot tự hành (Automated Guided Vehicle - AGV) đóng vai trò quan trọng trong các hệ thống sản xuất thông minh và logistics hiện đại. Nghiên cứu này trình bày quá trình thiết kế, mô phỏng và chế tạo nguyên mẫu (prototype) robot tự hành có khả năng nâng - vận chuyển hàng hoá tự động. Hệ thống sử dụng bánh Mecanum đa hướng tích hợp cảm biến LiDAR, encoder và IMU (Inertial Measurement Unit) nhằm thực hiện lập bản đồ và định vị môi trường theo thời gian thực dựa trên thuật toán Gmapping SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) và AMCL (Adaptive Monte Carlo Localization). Robot được thiết kế với các thông số chính: tải trọng tối đa 200kg, tốc độ di chuyển 0,6 m/s, khả năng leo dốc tối đa 15°, quay vòng tại chỗ và tự hành theo bản đồ số hoá của môi trường làm việc. Các thử nghiệm thực tế xác nhận robot hoạt động ổn định, khả năng điều hướng chính xác trong phạm vi sai số dưới 3%, khẳng định hiệu quả của mô hình thiết kế và mở ra triển vọng ứng dụng trong lĩnh vực công nghiệp nhẹ, kho vận và logistics thông minh.

Từ khóa: AGV, robot tự hành, bánh Mecanum, LiDAR, SLAM, thiết kế cơ khí, tự động nâng chuyên

Abstract

Automated Guided Vehicles (AGVs) play a crucial role in modern intelligent manufacturing and logistics systems. This study presents the design, simulation, and prototype fabrication of an automated AGV capable of lifting and transporting goods. The system utilizes omnidirectional Mecanum wheels integrated with LiDAR sensors, encoders, and an IMU (Inertial Measurement Unit) to perform real-time mapping and localization of the environment based on Gmapping SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) and AMCL (Adaptive Monte Carlo Localization) algorithms. The robot is designed with the following key specifications: a maximum payload of 200kg, a movement speed of 0.6 m/s, a maximum climbing ability of 15°, the ability to turn in place, and autonomous navigation based on a digitized map of the working environment. Real-world tests confirm the robot's stable operation and accurate navigation within a margin of error of less than 3%, affirming the effectiveness of the design model and opening up prospects for application in light industry, warehousing, and smart logistics.

Keywords: AGV, autonomous robot, Mecanum wheels, LiDAR, SLAM, mechanical design, automated lifting and conveying

*Tác giả liên hệ: Vũ Dương

Email: duongvuastralia@gmail.com

1. Mở đầu

Xu hướng tự động hóa dùng robot thông minh là sự kết hợp của trí tuệ nhân tạo (AI) và robot để tăng năng suất, hiệu quả và độ chính xác trong sản xuất. Các xu hướng này bao gồm việc sử dụng robot cộng tác (cobot) làm việc cùng con người, robot tự động di chuyển (AGV) trong kho vận, và các ứng dụng của robot trong các lĩnh vực như sản xuất điện tử và tài chính [1,2]. Mục tiêu là giảm thiểu công việc lặp đi lặp lại, nguy hiểm, nâng cao chất lượng sản phẩm và đáp ứng nhu cầu cạnh tranh ngày càng cao. Việc ứng dụng xe tự hành AGV vào vận chuyển hàng hóa và trung chuyển vật liệu trong dây chuyền sản xuất giúp giảm sự tham gia trực tiếp của con người, tối ưu chi phí vận hành và phân bổ hợp lý nguồn nhân lực cho các công đoạn khác trong nhà máy.

An toàn lao động là yếu tố then chốt trong các doanh nghiệp sản xuất. Quy trình vận chuyển thủ công tiềm ẩn nhiều rủi ro, đặc biệt khi xử lý hàng hóa nặng. Trong khi đó, AGV được trang bị cảm biến, camera và tia laser cho phép hoạt động an toàn, ổn định và chính xác quanh khu vực sản xuất. Nhờ khả năng điều hướng và định tuyến thông minh, AGV có thể tự động lập kế hoạch di chuyển, tránh va chạm, giảm tắc nghẽn và ngăn ngừa tai nạn lao động [3]. Khác với con người, robot không bị ảnh hưởng bởi yếu tố sức khỏe hay môi trường, nên hoạt động vận chuyển được duy trì liên tục, đúng tiến độ ngay cả trong các điều kiện đặc biệt về ánh sáng, nhiệt độ, độ ẩm hoặc hóa chất. Do đó, AGV là giải pháp thay thế lý tưởng trong nhiều môi trường sản xuất khắc nghiệt.

Việc áp dụng robot tự hành AGV giúp doanh nghiệp giảm sai sót vận hành, tiết kiệm chi phí, nâng cao chất lượng và năng suất [4]. Khi kết hợp với AI và hệ thống IoT, dữ liệu cảm biến được thu thập và xử lý theo thời gian thực, giúp AGV di chuyển với lộ trình tối ưu và chính xác cao. Hệ thống còn có thể liên kết trực tiếp với

phần mềm quản lý sản xuất và kho thông minh, giúp cập nhật tức thời trạng thái hàng hóa, từ đó đảm bảo tiến độ và tối ưu hiệu quả hoạt động [5].

Tuy nhiên việc ứng dụng AGV trong môi trường sản xuất thực tế còn gặp một số khó khăn:

- Thứ nhất, phần lớn AGV hiện nay chỉ di chuyển theo tuyến đường cố định được lập trình trước, khiến hệ thống khó thích ứng với môi trường làm việc linh hoạt hoặc thay đổi thường xuyên. Các phương pháp điều hướng hiện tại dựa trên vạch từ, phản quang hoặc cảm biến camera cho nên thiếu khả năng tự định vị chính xác trong môi trường động và phức tạp.

- Thứ hai, đa số AGV sử dụng cơ cấu bánh xe truyền thống (hai hoặc bốn bánh dẫn hướng) nên chỉ di chuyển tiến – lùi hoặc rẽ giới hạn, không thể quay đầu hoặc di chuyển ngang, gây khó khăn trong không gian hẹp hoặc khu vực chứa nhiều chướng ngại vật.

- Thứ ba, hệ thống điều khiển và cảm biến hiện tại còn đơn giản, chưa có khả năng xử lý dữ liệu theo thời gian thực để nhận biết và phản ứng nhanh trước các tình huống bất ngờ, dẫn đến độ an toàn và độ ổn định trong vận hành chưa cao.

- Thứ tư, AGV thường chưa được trang bị hệ thống treo linh hoạt, khiến khả năng giữ thăng bằng khi di chuyển qua bề mặt gồ ghề hoặc khi nâng tải nặng còn hạn chế, làm giảm độ bền cơ học và độ chính xác của hệ thống cảm biến.

Vì thế mục tiêu của nghiên cứu này tập trung vào thiết kế và phát triển robot tự hành AGV sử dụng bánh Mecanum đa hướng, cho phép di chuyển linh hoạt theo nhiều hướng trong không gian hẹp. Hệ thống được tích hợp cảm biến LiDAR, encoder và IMU (Inertial Measurement Unit) để lập bản đồ và định vị môi trường theo thời gian thực dựa trên thuật toán Gmapping SLAM (Simultaneous Localization and Mapping-SLAM), AMCL (Adaptive Monte Carlo Localization) và điều khiển thông qua hệ điều hành robot (Robot Operating System -

ROS). Ngoài ra, nhóm tác giả còn đề xuất hệ thống treo 4 bánh xe giúp tăng độ ổn định động học, giảm rung động và cân bằng tải trọng khi

AGV di chuyển hoặc nâng hạ hàng hoá, đặc biệt trong điều kiện sàn không bằng phẳng

Các thông số thiết kế sản phẩm dự kiến:

Bảng 1. Thông số thiết kế Robot

| Thông số | Giá trị mục tiêu |
|---|------------------|
| Tải trọng nâng tối đa (robot + thùng hàng) | 200 kg |
| Tốc độ di chuyển tối đa khi tải 200kg | 0.6 m/s |
| Đường kính bánh xe (D) | 144 mm |
| Khoảng cách 2 tâm bánh xe (L) | 580 mm |
| Khoảng cách từ trọng tâm xe đến mặt đường (d) | 214 mm |
| Góc quay đổi hướng | 360° tại chỗ |
| Góc quét cảm biến LiDAR | 360° |
| Độ dốc tối đa (θ) | 15° |
| Công suất động cơ DC/BLDC | W × 4 |

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Thiết kế hệ thống định vị – dẫn đường

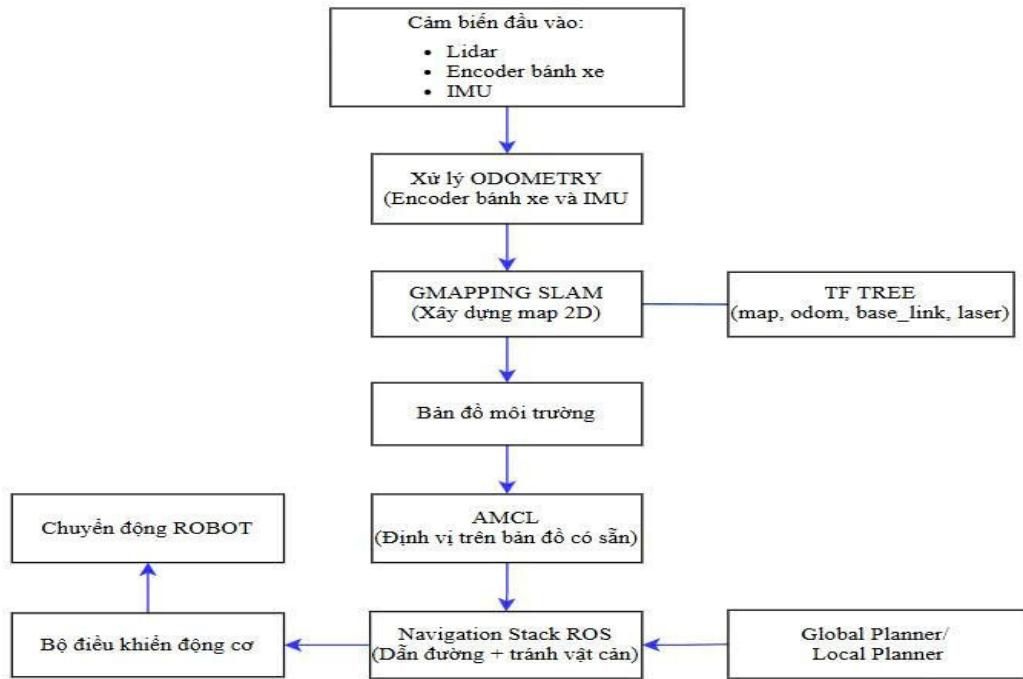
Để đảm bảo robot AGV sử dụng bánh Mecanum có khả năng hoạt động tự chủ trong môi trường làm việc biến động, hệ thống điều khiển cần tích hợp đầy đủ ba chức năng cốt lõi: định vị, dẫn đường và lập bản đồ. Nghiên cứu này tập trung phát triển mô-đun định vị – dẫn đường dựa trên sự kết hợp giữa cảm biến LiDAR, encoder bánh xe, IMU, các thuật toán SLAM, AMCL và nền tảng ROS.

Trong giai đoạn xây dựng bản đồ ban đầu, hệ thống sử dụng thuật toán Gmapping SLAM để tạo bản đồ môi trường. Thuật toán được triển khai trên nền tảng ROS thông qua gói *gmapping_ros*, sử dụng các dữ liệu đầu vào gồm: LaserScan từ LiDAR, Odometry tích hợp encoder-IMU và hệ thống TF tree để quản lý quan hệ hình học giữa các khung tọa độ. Bản đồ

thu được sau quá trình SLAM được lưu trữ và sử dụng làm bản đồ tham chiếu cho các giai đoạn vận hành tiếp theo.

Trong giai đoạn vận hành, robot chuyển sang sử dụng thuật toán AMCL nhằm định vị chính xác vị trí của robot trên bản đồ đã được xây dựng trước đó. Thuật toán AMCL kết hợp dữ liệu LiDAR và odometry để ước lượng trạng thái robot theo thời gian thực, từ đó nâng cao độ ổn định định vị trong môi trường thực. Trên cơ sở thông tin định vị từ AMCL, các chức năng dẫn đường và lập kế hoạch chuyển động được triển khai thông qua các gói điều hướng của ROS, đảm bảo robot AGV dùng bánh Mecanum có thể di chuyển tự chủ, linh hoạt và tin cậy.

Sơ đồ khối kiến trúc xây dựng bản đồ và định vị-dẫn đường của robot AGV dùng bánh Mecanum (Hình 1).

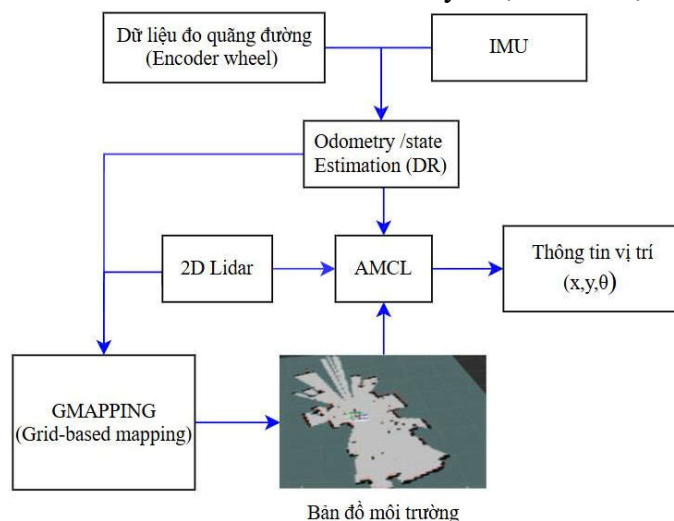


Hình 1. Sơ đồ khối kiến trúc xây dựng bản đồ và định vị-dẫn đường của robot

Bài toán định vị robot di động là bài toán ước lượng trạng thái, trong đó cần xác định vị trí (x, y) và góc quay θ của robot [6]. Hiện nay, phương pháp định vị được sử dụng rộng rãi nhất trong công nghiệp là AMCL (Adaptive Monte Carlo Localization) [7], một biến thể cải tiến của MCL (Monte Carlo Localization) [8]. AMCL sử dụng mô hình chuyển động của robot kết hợp với dữ liệu quan sát từ LiDAR, thông qua bộ lọc hạt để ước lượng vị trí toàn cục với hiệu suất tính toán cao và đáp ứng thời gian thực. Trong ROS

Navigation Stack, AMCL là thuật toán định vị duy nhất được chỉ định cho robot di động.

Phương pháp định vị đa cảm biến dựa trên LiDAR 2D, IMU và odometer bánh xe là một giải pháp định vị robot di động có tính hỗ trợ cao giữa các cảm biến và độ tin cậy lớn. Thuật toán AMCL được tối ưu và cải tiến dựa trên thông tin từ LiDAR, IMU và odometer nhằm nâng cao độ chính xác đầu ra và độ ổn định định vị của AMCL[9]. Khung sơ đồ dữ liệu phương pháp định vị và xây dựng bản đồ nghiên cứu trong bài báo này được minh họa trong Hình 2.

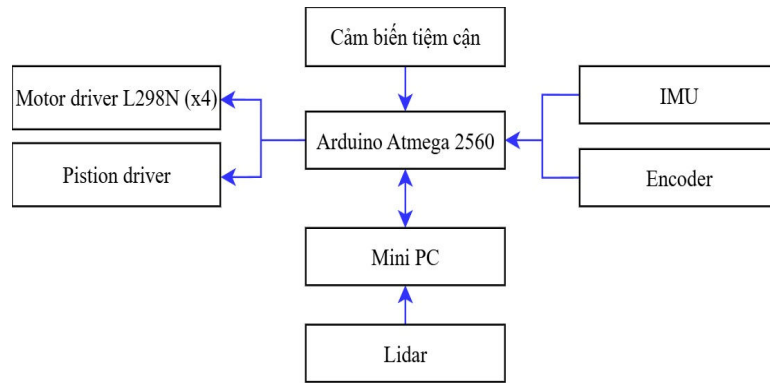


Hình 2. Sơ đồ dữ liệu phương pháp định vị và xây dựng bản đồ robot tự hành

Dữ liệu từ encoder bánh xe và cảm biến IMU được sử dụng để ước lượng odometry. Trong giai đoạn xây dựng bản đồ, dữ liệu odometry kết hợp với dữ liệu quét từ LiDAR 2D được đưa vào thuật toán GMapping để tạo bản đồ môi trường. Sau khi bản đồ được xây dựng, thuật toán

AMCL sử dụng dữ liệu LiDAR, odometry và bản đồ để xác định chính xác vị trí và tư thế của robot trong môi trường làm việc.

Sơ đồ khối tổng quan phần cứng (Hình 3) minh họa các thiết bị được sử dụng trong nghiên cứu.

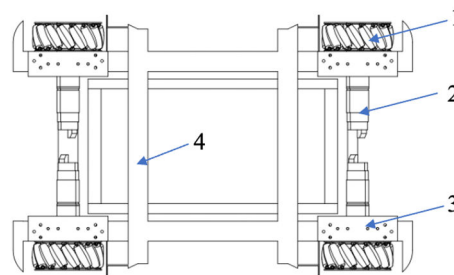


Hình 3. Sơ đồ khối thiết bị sử dụng cho robot AGV

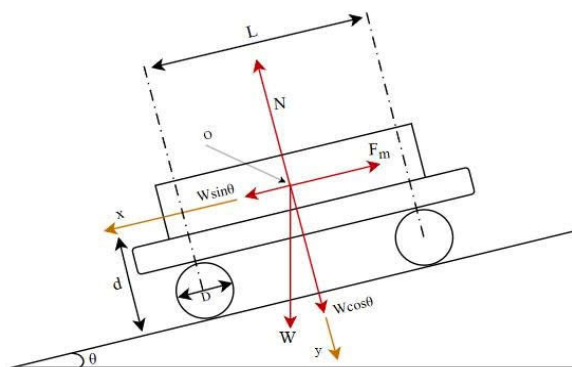
2.2. Tính toán trọng lượng và lựa chọn động cơ

Hệ thống dẫn động của robot là hệ bốn bánh Mecanum được đặt ở bốn góc khung xe, cho phép robot di chuyển đa hướng và thực hiện các thao tác tiến, lùi, quay và trượt ngang một cách

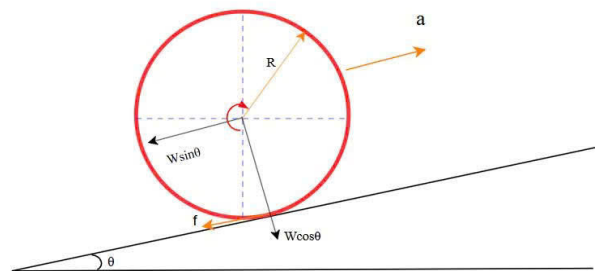
linh hoạt. Để lựa chọn được động cơ phù hợp cho robot AGV dùng bánh Mecanum, cần tiến hành tính toán tải trọng và lực kéo yêu cầu. Các thông số này giúp xác định mô men và công suất cần thiết cho từng bánh, từ đó đảm bảo robot vận hành ổn định và đáp ứng tốc độ mong muốn.



Hình 4. Thiết kế cơ khí khung để dẫn hướng cho robot AGV. 1. Bánh mecanum, 2. Mô tơ, 3. Hệ treo bánh, 4. Khung đế.



Hình 5. Giản đồ của xe được cân bằng hệ lực trên mặt nghiêng



Hình 6. Sơ đồ tính momen T - momen, R-bán kính bánh xe, a - Gia tốc của xe

Trong đó:

W là trọng lượng xe (robot);

θ là góc nghiêng (độ dốc);

F_m là lực kéo robot trong điều kiện cân bằng;

d là khoảng cách từ trọng tâm xe đến mặt đường;

D là đường kính bánh xe; R là bán kính bánh xe;

L là khoảng cách giữa trục bánh trước và sau;

$\frac{N}{4}$ là phản lực từ mặt đường lên từng bánh xe;

$$F_m \geq \max \left[(W \sin \theta - \mu_s W \cos \theta); \left(\frac{2Wd \sin \theta}{L} + W \sin \theta - \mu_s W \cos \theta \right) \right] \quad (1)$$

Trong đó: thành phần $W \sin \theta - \mu_s W \cos \theta$ là lực chống trượt; thành phần $\frac{2Wd \sin \theta}{L} + W \sin \theta - \mu_s W \cos \theta$ là lực chống lật robot.

Thay các dữ liệu từ Bảng 1 vào phương trình (1), xác định được tổng lực kéo tác dụng lên robot.

$F_m \geq \max (-629,3; -252,9) = -252,9 \text{ N}$. Vì lực kéo tối thiểu không thể âm, vậy ta có $F_m = 0$ thỏa mãn điều kiện, và chúng ta chứng tỏ rằng ma sát đủ lớn để giữ cho robot không bị trượt ngay cả khi không kéo với $\mu_s = 0,6$ và $\theta = 15^\circ$.

Với $\mu_s = 0,6$ và $\theta = 20^\circ$ ta có $F_m \geq \max (-435,2; 62,3) = 62,3 \text{ N}$. Nghĩa là ở độ dốc 20° , theo công thức (1) thì điều kiện chống lật bắt đầu bị chi phối nhẹ, và lực kéo tối thiểu cần là $62,3 \text{ N}$.

Với $\mu_s = 0,6$ và $\theta = 30^\circ$ ta có $F_m \geq \max (-38,5; 688,8) = 688,8 \text{ N}$. Nghĩa là ở độ dốc 30° , theo công thức (1) thì điều kiện chống lật bị chi phối, và lực kéo tối thiểu cần phải là $688,8 \text{ N}$.

Theo Hình 6, động cơ được lựa chọn sao cho mô-men xoắn tại bánh xe lớn hơn mô-men tải yêu cầu khi leo dốc, trong đó mô-men tải bao gồm thành phần do trọng lực theo phương dốc và thành phần do lực cản lăn ($\mu_r = 0,02$).

μ_s là hệ số ma sát tĩnh của bánh xe trên mặt đường;

μ_r là hệ số ma sát lăn của bánh xe trên mặt đường;

N là tổng phản lực từ mặt đường lên thân xe;

f là lực ma sát: $f = \mu_s W \cos \theta$ (ma sát tĩnh) và $f = \mu_r W \cos \theta$ (ma sát lăn).

Để có thể di chuyển ổn định trên mặt đường (kho xưởng), xe phải thỏa mãn 02 điều kiện: tránh bị lật ngửa và tránh bị trượt lùi.

Dựa trên hệ phương trình [10], có công thức tính lực tổng:

Để robot (200 kg) vượt dốc $\theta = 15^\circ$, lực kéo tối thiểu cần thiết là thành phần trọng lực theo phương dốc:

$$F_k = W \sin \theta + \mu_r \cdot W \cos \theta = 545,69 \text{ N}. \quad (2)$$

Với cấu hình 4 bánh thì lực kéo trên mỗi bánh:

$$F_w = \frac{F_k}{4} = 136,42 \text{ N}. \quad (3)$$

Với bánh xe Mecanum, lực hữu ích theo hướng chuyển động bị giảm bởi góc nghiêng α ($\alpha = 45^\circ$). Do đó lực tiếp tuyến tại bánh cần phải lớn hơn:

$$F_t = \frac{F_w}{\cos \alpha} = 192,94 \text{ N}. \quad (4)$$

Với bánh xe có $R = 0,072 \text{ m}$, mô men tại mỗi bánh là:

$$T_w = F_t \cdot R = 13,89 \text{ N.m}. \quad (5)$$

Xét hiệu suất truyền động của động cơ $\eta = 0,9$ và hệ số an toàn $SF = 1,5$ thì mô men yêu cầu tại mỗi động cơ là:

$$T_m = \frac{T_w \cdot SF}{\eta} = 23,15 \text{ N.m}. \quad (6)$$

Như vậy bảng thông số chọn công suất động cơ sẽ như Bảng 2.

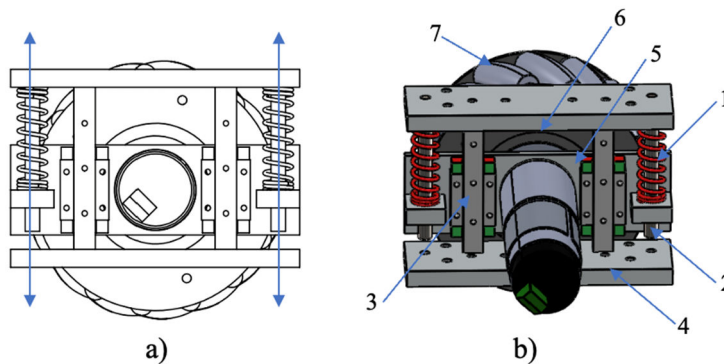
Bảng 2. Thông số lựa chọn động cơ

| Tốc độ (rpm) | Công suất 1 động cơ (w) | Tổng công suất robot (w) |
|--------------|-------------------------|--------------------------|
| 60 | 145 | 580 |
| 80 | 194 | 776 |
| 100 | 242 | 968 |
| 200 | 485 | 1940 |
| 300 | 727 | 2908 |

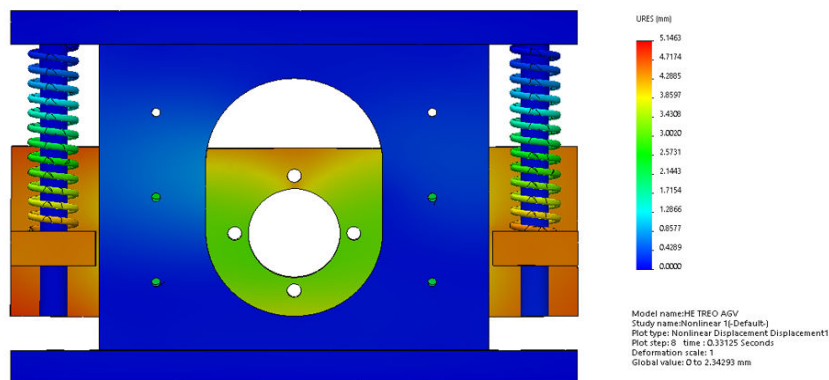
2.3. Thiết kế hệ thống treo cho bánh xe robot AGV

Hệ thống treo của robot AGV sử dụng bánh mecanum được thiết kế nhằm đảm bảo khả năng vận hành ổn định trên các bề mặt có độ gồ ghề khác nhau, đồng thời duy trì tiếp xúc bánh với mặt đất để tối ưu hoá lực kéo và hiệu quả điều khiển. Mỗi cụm bánh dẫn động được thiết kế một

cơ cấu treo thụ động gồm 2 lò xo đặt song song, cho phép tăng độ cứng tổng thể và phân bố tải trọng đồng đều. Hệ thống treo được dẫn hướng bằng ray trượt tuyến tính, giúp cụm bánh chỉ chuyển động theo phương thẳng đứng. Nhờ cấu trúc này, cả bốn bánh mecanum đều có khả năng thích nghi tốt với sự thay đổi địa hình, tăng độ ổn định của khung xe, nâng cao độ chính xác của hệ thống điều khiển của robot AGV.



Hình 7. Hệ thống treo bánh xe: a) Phương hấp thụ rung động. b) Cấu tạo hệ thống treo: 1.Lò xo, 2.Thanh trượt dẫn hướng lò xo, 3.Ray trượt dẫn hướng, 4.Khung treo, 5.Mặt bích động cơ, 6.Ổ đỡ trực động cơ, 7.Bánh Mecanum



Hình 8. Phân bố biến dạng Resultant displacement(URES) của hệ treo bánh xe

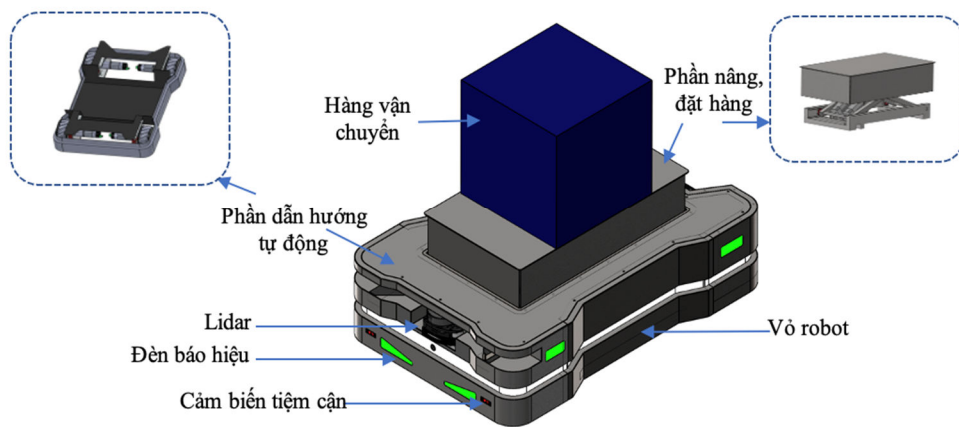
Hình 8 trình bày phân bố tổng biến dạng (URES) của hệ treo bánh xe sử dụng hai lò xo đặt song song. Dưới tải tĩnh $F=1962\text{N}$ tác dụng lên hệ treo, mô phỏng cho thấy biến dạng cực đại $U_{\max}\sim 5.15\text{ mm}$ tại tâm trục, tương ứng vị trí gắn lò xo. Kết quả FEA (Finite Element Analysis) phù hợp với ước tính lý thuyết cho hai lò xo song song ($\Delta=F/(k_1+k_2)=5.0\text{ mm}$), chứng tỏ mô hình phần tử lò xo và ràng buộc được thiết lập chính xác. Phân bố biến dạng đồng đều quanh hệ treo, không xuất hiện biến dạng cục bộ bất thường, điều này chỉ ra rằng thiết kế lò xo

hiện tại đáp ứng yêu cầu độ đàn hồi cho tải trọng tĩnh này.

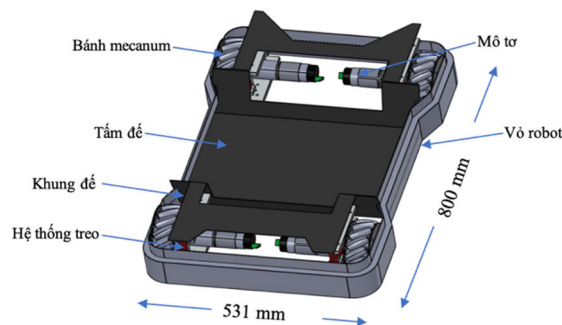
3. Kết quả

3.1. Mô hình 3D và nguyên mẫu chế tạo

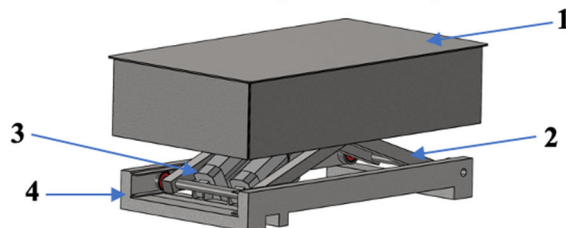
Dựa trên các tính toán và thiết kế đã thực hiện, nhóm tác giả tiến hành xây dựng mô hình 3D tổng thể của robot AGV sử dụng bánh Mecanum, bao gồm khung đế, hệ dẫn động, hệ thống treo và cơ cấu nâng - hạ hàng hóa. Trên cơ sở mô hình này, nguyên mẫu robot đã được chế tạo và lắp ráp hoàn chỉnh để phục vụ thử nghiệm thực tế.



Hình 9. Thiết kế robot nâng - hạ kiện hàng trong các kho, xưởng



Hình 10. Thiết kế cơ khí khung đế dẫn hướng cho robot AGV



Hình 11. Thiết kế cơ khí cơ cấu nâng - hạ kiện hàng robot AGV: 1. Bàn nâng, 2. Khung nâng, 3. Tay nâng (Xi lanh điện), 4. Bộ đỡ



Hình 12. Nguyên mẫu sau chế tạo

3.2. Kết quả kiểm chứng chuyển động và định vị

Hình 13 trình bày bản đồ 2D được xây dựng từ dữ liệu LiDAR và Odometry sử dụng thuật

toán Gmapping SLAM. Robot tái tạo chính xác các đường biên của môi trường thử nghiệm, thể hiện khả năng định vị – lập bản đồ theo thời gian thực.

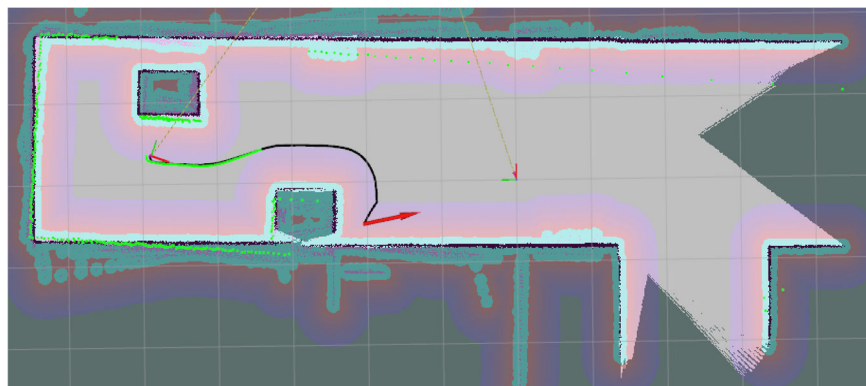


a)



b)

Hình 13. Xây dựng bản đồ môi trường bằng Gmapping SLAM: a) Ảnh thực tế không gian xây dựng bản đồ môi trường, b) Bản đồ môi trường sử dụng cho robot tự hành



Hình 14. Đường đi thực tế và đường đi dự đoán (đường blue là đường đi dự đoán, green là đường thực tế robot di chuyển)

Hình 14 cho thấy đường đi thực tế của robot không có sự khác biệt so với đường đi dự đoán từ thuật toán điều khiển. Sai số trung bình nhỏ 3%, quỹ đạo bám theo đường tham chiếu tốt. Độ sai lệch xảy ra chủ yếu tại các góc rẽ do trễ cơ cấu truyền động và nhiễu cảm biến.

4. Phân tích kết quả và thảo luận

4.1. Ưu điểm (version 1)

Kết quả thử nghiệm cho thấy robot AGV phiên bản đầu tiên (version 1) đáp ứng tốt các yêu cầu thiết kế ban đầu. Nhờ sử dụng hệ dẫn

động bốn bánh Mecanum, robot có khả năng di chuyển linh hoạt theo nhiều hướng, bao gồm tiến, lùi, trượt ngang và quay tại chỗ, qua đó nâng cao khả năng thao tác trong không gian hẹp và tránh vật cản trong môi trường kho vận.

Cơ cấu nâng – hạ hàng hóa được thiết kế với độ ổn định cao và bố trí trọng tâm thấp, giúp robot duy trì trạng thái cân bằng tốt trong quá trình nâng và vận chuyển tải trọng. Điều này góp phần đảm bảo an toàn vận hành và nâng cao độ tin cậy của hệ thống.

Bên cạnh đó, hệ thống cảm biến bao gồm LiDAR, encoder và IMU hoạt động ổn định trong môi trường trong nhà, cung cấp dữ liệu đủ chính xác cho các thuật toán lập bản đồ, định vị và dẫn đường, giúp robot vận hành tự hành theo bản đồ số hóa của môi trường làm việc.

4.2. Hạn chế và nguyên nhân

Mặc dù đạt được nhiều kết quả tích cực, robot AGV version 1 vẫn tồn tại một số hạn chế nhất định. Đáng chú ý là hiện tượng trượt bánh Mecanum khi robot mang tải lớn. Hiện tượng này làm gia tăng sai số odometry, dẫn đến độ chính xác định vị suy giảm khi vận hành trong thời gian dài.

Bên cạnh đó, mặc dù robot đã được trang bị hệ thống treo, cơ cấu này hiện mới dừng ở dạng thụ động, chưa có khả năng tự điều chỉnh theo tải trọng hoặc độ nghiêng của mặt phẳng di chuyển. Do đó, trong các điều kiện bề mặt không bằng phẳng hoặc khi thay đổi tải đột ngột, khả năng duy trì cân bằng động học và phân bố lực tiếp xúc bánh xe với mặt sàn vẫn còn hạn chế.

4.3. Định hướng phát triển version 2

Dựa trên các kết quả đạt được và những hạn chế của version 1, phiên bản tiếp theo của robot AGV sẽ tập trung nâng cao độ chính xác định vị, khả năng thích nghi địa hình và mức độ tự động hóa. Cụ thể, bộ lọc Kalman mở rộng (EKF) sẽ được tích hợp để hợp nhất dữ liệu từ LiDAR, IMU và encoder nhằm cải thiện độ ổn định và độ

chính xác định vị. Đồng thời, hệ thống treo được định hướng nâng cấp theo hướng treo chủ động để tự cân bằng tải trọng khi robot di chuyển trên bề mặt nghiêng hoặc không bằng phẳng. Ngoài ra, các thuật toán học máy sẽ được nghiên cứu áp dụng nhằm tối ưu hóa lộ trình di chuyển và nâng cao hiệu quả vận hành tổng thể của hệ thống.

5. Kết luận

Bài báo đã trình bày quá trình nghiên cứu, thiết kế và chế tạo robot tự hành AGV sử dụng bánh Mecanum có khả năng nâng – vận chuyển hàng hóa trong môi trường kho vận. Kết quả thử nghiệm thực tế cho thấy robot đáp ứng các thông số thiết kế ban đầu, hoạt động ổn định và có khả năng tự hành chính xác trong môi trường trong nhà.

Trong tương lai, tải trọng và hiệu năng của robot có thể được nâng cao tùy theo yêu cầu ứng dụng cụ thể. Khả năng mở rộng này phụ thuộc chủ yếu vào thiết kế hệ thống treo, lựa chọn công suất động cơ và cấu hình nguồn điện. Việc tối ưu các thành phần trên nhằm đảm bảo tốc độ di chuyển theo thiết kế và thời gian hoạt động liên tục khoảng 3 giờ sau mỗi lần sạc pin sẽ là hướng nghiên cứu và phát triển tiếp theo của hệ thống.

Tài liệu tham khảo

- [1] Gnap,J.; Kubasáková,I.; Kubá `nová,J and Denis Pauer. (2024), “Application of Technological Procedure Automated Guided Vehicles in the Production Hall of a Company Due to Increasing the Automation—Case Study”, *Applied Sciences*, 14, 7467. <https://doi.org/10.3390/app14177467>.
- [2] Ge,Y.;Eng Hock Ong,M & Lam,S.S.W. (2025),” Efficient design of automated guided vehicle systems in operating theatres via discrete events simulation”, *Scientific Report*,15:20766. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-05934-w>.
- [3] Kubasakova,I.; Kubanova,J.; Benco,D and Kadlecová,D. (2024),” Implementation of Automated Guided Vehicles for the Automation of Selected Processes and Elimination of Collisions between Handling Equipment and Humans in the Warehouse”, *Sensors*, 24, 1029.<https://doi.org/10.3390/s24031029>.

- [4] Kubasáková,I.;Kubáňová,J.;Dominik Benčo,D.; and Fábryová,N.(2024),” Application of Autonomous Mobile Robot as a Substitute for Human Factor in Order to Increase Efficiency and Safety in a Company”, *Applied Sciences*,14(13), 5859. <https://doi.org/10.3390/app14135859>.
- [5] Perera,S.; Amasha Pinto,A.; Sewmini,H.;Ulugalathenne,A.;Thelijjagoda,S and Karunarithna,N.(2023),“Influence of IoT on Warehouse Management Performance in the Global Context: A Critical Literature Review”,*Proceedings of 2 nd International Conference on Sustainable & Digital Business (ICSDB)* , 14-15, 2023.
- [6] Jie, L.; Jin, Z.; Wang, J.; Zhang, L.; Tan, X.(2022), “A SLAM System with Direct Velocity Estimation for Mechanical and Solid-State LiDARs”, *Remote Sens*, 14, 1741. [CrossRef].
- [7] Pfaff, P.; Burgard, W.; Fox, D.(2006), “Robust monte-carlo localization using adaptive likelihood models”, *European Robotics Symposium 2006*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany,pp. 181–194.
- [8] Fox, D.; Burgard, W.; Dellaert, F.; Thrun, S.(1999),” Monte carlo localization: Efficient position estimation for mobile robots”, *AAAI IAAI*, 2, 343–349.
- [9] Teng,X.; Shen,Z.; Huang,L.; Li,H and Li,W.(2024), “Multi-sensor fusion based wheeled robot research on indoor positioning method”, *Results in Engineering*,22 (2024) 102268.
- [10] Paul,R. D. (2016), “Basics of mechanical engineering”. *University ofSouthern California*. Retrived from PFD Drive-pdfdrive.com/basics-of-mechanical-engineering-prof-paul-d-ronney-e16452684.html.2016.