

THIẾT KẾ, CHẾ TẠO AGV ỨNG DỤNG TRONG VẬN CHUYỂN VẬT LIỆU CÔNG NGHIỆP VỚI KHẢ NĂNG CHỊU TẢI CAO

Phạm Văn Toàn, Nguyễn Văn Trung*, Huỳnh Đức Chấn, Bùi Hoàng
Trường Đại học Lạc Hồng, Số 10 Huỳnh Văn Nghệ, Bửu Long, Biên Hòa, Đồng Nai, Việt Nam
*Tác giả liên hệ: nv.trung@lhu.edu.vn

THÔNG TIN BÀI BÁO

Ngày nhận: 2/8/2024
Ngày hoàn thiện: 20/8/2024
Ngày chấp nhận: 15/9/2024
Ngày đăng: 11/10/2024

TỪ KHÓA

Dẫn hướng tự động (AGV);
Tự động hóa;
Dò line;
Tải lớn;
Vận chuyển sản phẩm.

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thiết kế và chế tạo một xe dẫn hướng tự động (AGV) với khả năng mang tải trọng lớn đạt tới 300kg. Nó được thiết kế để phục vụ một số nhiệm vụ vận chuyển hàng cỡ lớn với hai băng tải độc lập được đặt trực tiếp bên trên. Mô hình được đặt tên là G2J với chiều dài đạt 1800mm và chiều rộng đạt 1200mm. Kết cấu cơ khí được phân tích cơ bản về ứng suất và biến dạng dựa trên các thông tin về tải trọng và đặc tính vật liệu của hệ thống. G2J được thiết kế với bốn bánh dẫn động và được điều khiển bám đường line từ với hệ thống cảm biến dò line, đọc thẻ từ và cảnh báo. G2J có thể nhận lệnh điều khiển từ xa qua bộ xử lý PLC và truyền thông không dây. Hệ thống có thể được lưu trữ 30 kịch bản di chuyển khác nhau trong khu vực sản xuất. Các cảm biến Lidar nhận dạng vật thể trong vùng quét và cảm biến va chạm giúp G2J nhận được cảnh báo sớm và nâng mức độ an toàn của nó trong quá trình chuyển động. Khối hiển thị thông tin đáp ứng khả năng giám sát và đánh giá trạng thái hoạt động của toàn bộ hệ thống khi thực hiện các chức năng. Hệ thống G2J đã được chế tạo phiên bản đầu tiên trong thực tế và bước đầu đáp ứng được các yêu cầu thiết kế. Một số vấn đề về điều khiển chính xác và đánh giá chuyển động của hệ thống theo quỹ đạo lập trình sẽ tiếp tục được hoàn thành trong tương lai gần.

DESIGN AND MANUFACTURE OF AGV APPLICATIONS IN INDUSTRIAL MATERIAL TRANSPORTATION WITH HIGH LOAD CAPAITY

Pham Van Toan, Nguyen Van Trung*, Huynh Duc Chan, Bui Hoang
Lac Hong University, No. 10 Huynh Van Nghe Str., Buu Long Ward, Bien Hoa, Dong Nai, Vietnam
*Corresponding Author: nv.trung@lhu.edu.vn

ARTICLE INFO

Received: Aug 2nd, 2024
Revised: Aug 20th, 2024
Accepted: Sep 15th, 2024
Published: Oct 11st, 2024

KEYWORDS

AGV;
Automation;
Line follower;
High load;
Product transportation.

ABSTRACT

This article presents the results of research into the design and manufacture of an automatic guided vehicle (AGV) with the ability to carry large loads of up to 300kg. It is designed to serve a number of large cargo transport tasks with two independent conveyors placed directly above. The model is named G2J with a length of 1800mm and a width of 1200mm. Mechanical structures are basically analyzed for stress and deformation based on information about loads and material properties of the system. G2J is designed with four drive wheels and is controlled by magnetic line tracking with a line detection sensor system, magnetic card reader and warning system. G2J can receive remote control commands via PLC processor and wireless communication. The system can be stored for 30 different movement scenarios in the production area. Lidar sensors identify objects in the scanning area and collision sensors help G2J receive early warnings and increase its safety level during movement. The information display block meets the ability to monitor and evaluate the operating status of the entire system when performing functions. The first version of the G2J system has been manufactured in practice and initially meets the design requirements. Some issues of precise control and evaluation of system motion according to programmed orbits will continue to be completed in the near future.

Doi:

Avaiable online at: <https://js.lhu.edu.vn/index.php/lachong>

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Có rất nhiều người nhầm lẫn ký hiệu AGV giữa xe dẫn hướng tự động và xe dẫn hướng tự hành mặc dù bản chất của chúng khác nhau [1]. Xe dẫn hướng tự động thường được sử dụng trong các đơn vị sản xuất để vận chuyển hàng hóa hoặc vật liệu từ nơi này đến nơi khác theo một quỹ đạo đã được lập trình sẵn [2]. Còn xe dẫn hướng tự hành là phiên bản được phát triển từ xe dẫn hướng tự động với việc có thêm khả năng điều khiển tự động và có khả năng tự động tránh vật cản. Trong sản xuất công nghiệp hiện đại, xe dẫn hướng tự hành là một trong những thành phần quan trọng bậc nhất và có khả năng ảnh hưởng đến hiệu suất phân phối của toàn hệ thống [3]. Các xe dẫn hướng tự động (AGV) chuyển động dựa trên việc dẫn hướng bằng băng từ dán trên bề mặt sàn hoặc bằng dây từ nằm dưới mặt sàn [4], [5]. Đôi khi chúng cũng được dẫn hướng bằng đường ray lắp trên sàn hoặc trên trần nhà. Tuy nhiên mỗi loại dẫn hướng đều có ưu điểm và hạn chế nhất định. Vấn đề thiết kế và chế tạo AGV với nhiều loại phiên bản khác nhau vẫn liên tục được đề cập và phát triển bởi tính đa dạng của các sản phẩm công nghiệp, nhu cầu ứng dụng trong thực tế và yêu cầu về việc tăng hiệu suất làm việc của chúng. Hướng phát triển các AGV thông minh hóa và ứng dụng nhiều hơn nữa trong các doanh nghiệp vừa và nhỏ cũng đang được xem xét và phát triển [6]. Mô hình Hellenak được thiết kế và chế tạo từ rất sớm và được mô tả trong [7] ngay trong phòng thí nghiệm. Mô hình mẫu AGV trong [8] được thiết kế với khả năng công nghệ xử lý ảnh và phát hiện vị trí. Loại AGV loại lớn dùng để xử lý vật liệu được thiết kế trong [9] với hệ điều khiển PID. AGV này được ứng dụng trong dây chuyền của hệ thống flexible manufacturing system (FMS). Bài toán thiết kế tổng thể từ kết cấu, phân bố AGV và xây dựng kế hoạch bảo trì dựa trên mô hình toán học phi tuyến được mô tả trong [10]. Hệ thống AGV được điều khiển với nhiều phương pháp khác nhau nhưng phương pháp dò đường được áp dụng rộng rãi hơn cả trong môi trường công nghiệp bởi tính đơn giản, chi phí thấp và tính ổn định cao [5]. AGV dò đường tự động có thể dùng cảm biến LDR [11], hoặc sử dụng cảm biến hình ảnh hoặc cảm biến tiệm cận. AGV có thể được điều khiển tự động với bộ xử lý trung tâm có sử dụng mạch vi điều khiển hoặc không sử dụng mạch vi điều khiển. AGV được nhóm nghiên cứu thiết kế, chế tạo có chi phí và giá thành rẻ đồng thời gần với yêu cầu cụ thể của doanh nghiệp dùng để vận chuyển vật liệu công nghiệp, khác với các AGV dạng móc, đẩy và kéo trên thị trường. Đặc biệt tính linh hoạt của AVG có thể điều hướng 360 độ ở những vị trí của gấp mà các AGV khác trên thị trường khó có thể đáp ứng được và có nhiều task lựa chọn vị trí vận chuyển cho AGV.

Theo đó, bài báo này tập trung trình bày kết quả thiết kế và chế tạo xe dẫn hướng tự động để thực hiện nhiệm vụ vận chuyển hàng hóa khai với tải trọng đạt tới 300kg. Các nội dung nghiên cứu được triển khai và trình bày theo trình tự: yêu cầu nhiệm vụ của thiết bị (mục 2.1), thiết kế kết cấu (mục 2.2), lựa chọn hệ dẫn động (mục 2.3), phân tích bài toán điều khiển (mục 2.4) và kết quả chế tạo cũng như thử nghiệm hệ thống trong thực tế (mục 2.5). Việc đánh giá mức độ hoàn thành các mục tiêu thiết kế ban đầu và một số điểm cần tiếp tục triển khai cũng được xem xét.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Các thông số thiết kế G2J

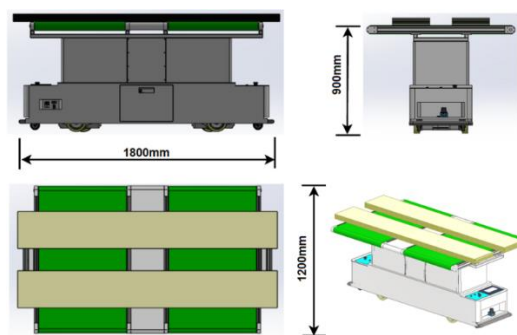
G2J được thiết kế nhằm đảm bảo di chuyển linh hoạt theo các chương trình được lập trình sẵn và hoạt động thông qua bộ xử lý trung tâm PLC. G2J mang tải trọng tối đa là 300kg và có khả năng di chuyển bám theo các đường từ và thẻ từ được thiết kế sẵn. Nó có thể được điều khiển bằng tay thông qua màn hình HMI hoặc điều khiển từ xa dựa trên kết nối không dây. Mặt trên cùng của G2J được đặt 02 băng tải độc lập để vận chuyển hàng hóa hoặc vật liệu công nghiệp. G2J được trang bị khả năng cảnh báo và chạm với hai cấp độ an toàn khác nhau dựa trên cảm biến phát hiện vật thể và cảm biến va chạm. Các thông số thiết kế và tham số kỹ thuật của G2J được mô tả như bảng 1 và bảng 2 (phụ lục)

Bảng 1. Các thông số thiết kế.

STT	Thông số	Giá trị
1	Khối lượng bản thân G2J (mA)	100kg
2	Khối lượng hàng hóa tối đa (mL)	300kg
3	Vận tốc di chuyển tối đa (vmax)	1 m/s
4	Số lượng bánh xe dẫn động	4
5	Số lượng bánh xe tự lùa (bị động)	4
6	Đường kính bánh xe dẫn động (dw)	0.15m
7	Khối lượng 1 bánh xe dẫn động (mw)	1kg

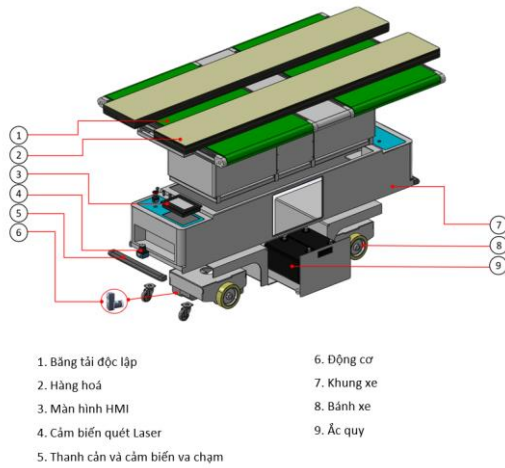
2.2. Thiết kế kết cấu

Kết cấu chung cho toàn hệ thống được mô tả như hình 1 và hình 2. Kích thước chung của G2J đạt L1800xW1200xH900 (mm). Hình 3 mô tả các thành phần được tích hợp trên G2J.

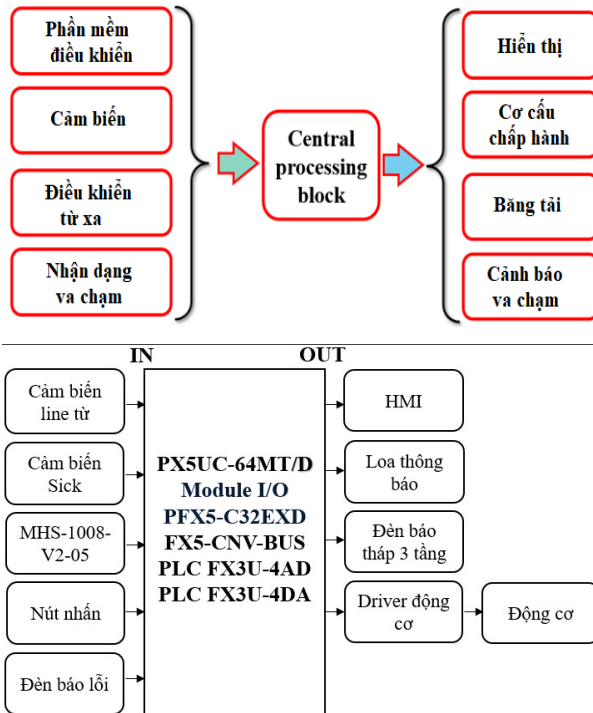


Hình 1. Mô hình tổng thể của G2J khi chịu tải.

Khung chính của G2J được thiết kế với vật liệu thép C45. Giá trị ứng suất và chuyển vị được tính toán theo các thông số tải trọng và đặc tính cơ học vật liệu trên phần mềm mô phỏng. Các vị trí cố định và các bề mặt chịu tải được khai báo dựa trên điều kiện làm việc thực tế. Theo đó, giá trị ứng suất, biến dạng và hệ số an toàn cho thấy kết cấu đảm bảo khả năng chịu tải và làm việc theo thiết kế. Các thông số chính khi chia lưới phân tích được thể hiện trên hình 4. Kết quả đánh giá ứng suất và biến dạng được mô tả trên hình 5.

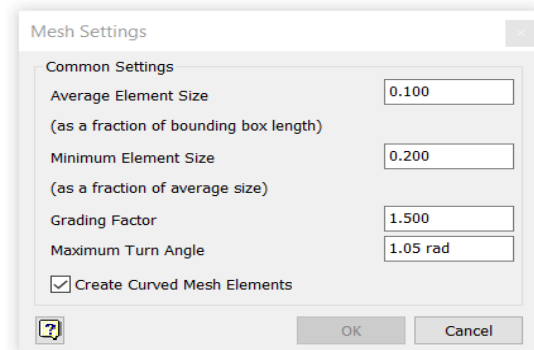


Hình 2. Một số thành phần chính trong G2J.

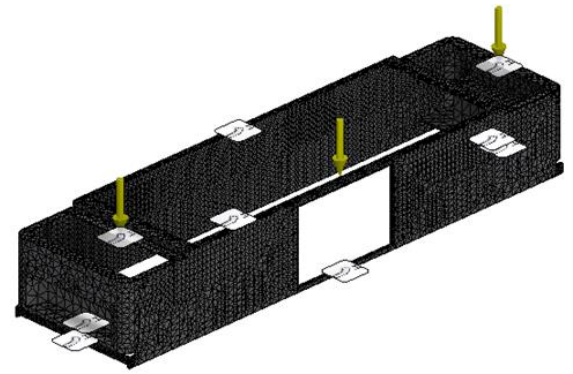


Hình 3. Sơ đồ các khối trên G2J.

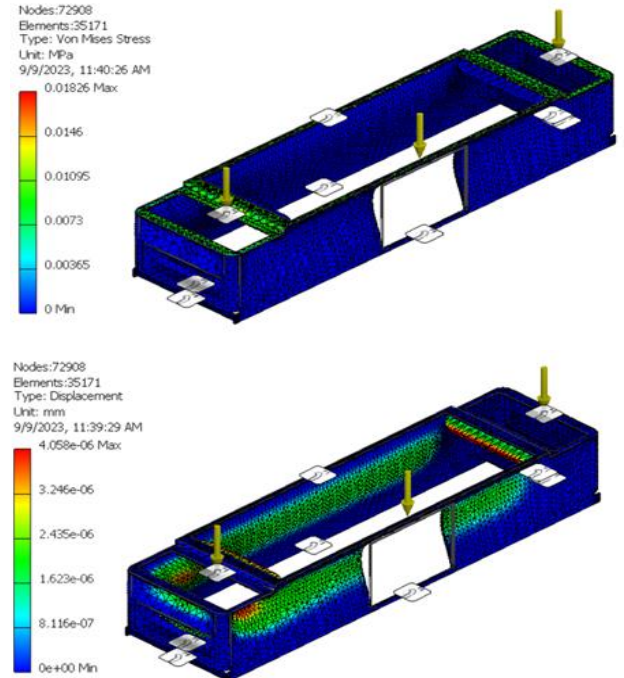
Nodes:72908
Elements:35171



Kết quả mô phỏng tải trọng ứng suất lớn nhất và biến dạng lớn nhất theo bảng 3.



Hình 4. Các thông số chia lưới phân tích.



Hình 5. Kết quả phân tích ứng suất và biến dạng.

Bảng 3. Các thông số mô phỏng.

Tải Trọng	M=100kg	M=150kg	M=240kg	M=300kg
Ứng suất lớn nhất (MPa)	0.14	0.21	0.35	0.42
Biến dạng lớn nhất ($\times 10^{-4}$ mm)	1.43	2.15	3.59	4.3

2.3. Lựa chọn động cơ dẫn động

Với yêu cầu tải trọng lớn, G2J được thiết kế với 04 động cơ dẫn động độc lập trên 4 bánh chính. Hơn nữa, 4 bánh phụ tự lựa cũng được thêm vào để hỗ trợ di chuyển và phân phối tải trọng cho hệ thống. Công suất và dạng các động cơ được chọn lựa trên cơ sở tính toán tải trọng đặt trên thiết bị, mô men xoắn cần thiết và vận tốc di chuyển của G2J.

Tốc độ quay tối đa của trục động cơ được xác định:

$$n_{DC} = \frac{60v_{\max}}{\pi d_w} = 127.4(\text{rev}/\text{min}) \quad (1)$$

Vận tốc góc được tính toán như sau:

$$\omega = \frac{v_{\max}}{r_w} = 13.33(\text{rad}/\text{s}) \quad (2)$$

Mô men quán tính của G2J và tải trọng:

$$I_{AL} = \frac{1}{2}m_A r_w^2 + \frac{1}{2}m_L r_w^2 = 1.13(\text{kgm}^2) \quad (3)$$

Mô men quán tính của 1 bánh xe dẫn động:

$$I_w = \frac{1}{2}m_w r_w^2 = 2.81 \times 10^{-4}(\text{kgm}^2) \quad (4)$$

Mô men quán tính toàn bộ hệ thống:

$$I_{total} = I_{AL} + 4I_w = 1.14(\text{kgm}^2) \quad (5)$$

Như vậy, mô men quán tính đặt lên mỗi động cơ dẫn động:

$$I_{DC} = \frac{I_{total}}{4} = 0.285(\text{kgm}^2) \quad (6)$$

Lực tải đặt lên mỗi bánh được xác định:

$$F_w = \frac{(m_A + m_L) \times 9.81}{8} = 490.5(\text{N}) \quad (7)$$

Mô men xoắn đặt lên mỗi động cơ dẫn động được tính toán như sau:

$$\tau_{DC} = \frac{F_w d_w \mu}{\eta} = 24.53(\text{Nm}) \quad (8)$$

Trong đó: $\mu = 0.3$ là hệ số ma sát lăn và $\eta = 0.9$ là hiệu suất truyền động.

Công suất đặt lên mỗi động cơ được xem xét:

$$P_{DC} = \tau_{DC} \omega = 327(\text{W}) \quad (9)$$

Căn cứ vào công thức (1), (5) và (7), động cơ được chọn là ZD55-BLD400-24GUL có phanh từ. Công suất định mức của động cơ này đạt 400W. Mô men xoắn tối đa là 27Nm. Tốc độ quay tối đa của động cơ là 3000 (rev/min). Tỷ lệ hộp giảm tốc là 1:30 tương ứng với dải tốc độ 100-3000 (rev/min). Điện áp định mức đạt 24VDC. Bộ điều khiển BLD được đi kèm cùng các động cơ như hình 6.

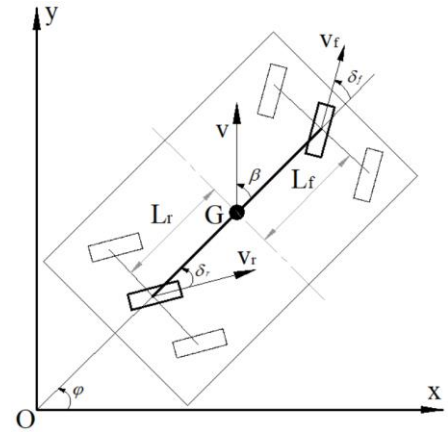


Hình 6. Động cơ BLD và bộ điều khiển đi kèm

Dạng động cơ này có kích thước nhỏ và gọn gàng. Nó dễ dàng hoạt động với nguồn năng lượng độc lập như pin DC và an toàn do không có hiện tượng bụi từ chổi than. Hơn nữa, cuộn dây trong động cơ này thường nằm ngoài rotor nên khả năng tản nhiệt tốt hơn các loại động cơ khác giúp tăng tuổi thọ và tăng chu kỳ làm việc của nó. Nó có hiệu suất làm việc cao và cho phép xử lý các tốc độ khác nhau với mô men xoắn không đổi.

2.4. Phân tích động học bài toán điều khiển

Mô hình động học G2J được mô tả như hình 7 và bao gồm 4 bánh dẫn động độc lập. Thiết kế này giúp G2J nâng cao khả năng linh hoạt và tính cơ động trong các không gian làm việc khác nhau tại cơ sở sản xuất. Tuy nhiên, việc thiết kế 4 bánh dẫn động độc lập sẽ làm tăng độ phức tạp của hệ thống điều khiển. Trong phạm vi nghiên cứu này, giả thiết mô hình xe 4 bánh của G2J được giảm thành mô hình xe 2 bánh để giảm tính phức tạp.



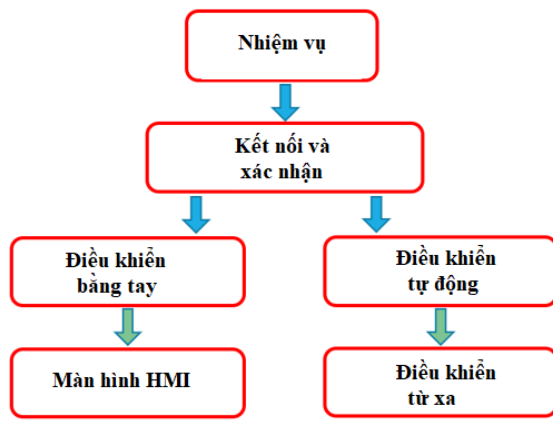
Hình 7. Mô hình động học G2J.

Lúc này, phương trình động học của G2J được mô tả như sau:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= v \cos(\varphi + \beta); \dot{y} = v \sin(\varphi + \beta) \\ \dot{\varphi} &= v \frac{\cos \beta (\tan \delta_f + \tan \delta_r)}{L_f + L_r}; \\ \beta &= \arctan \left(\frac{L_f \tan \delta_f + L_r \tan \delta_r}{L_f + L_r} \right) \end{aligned} \quad (10)$$

Trong đó:

$x, y(m)$ là tọa độ vị trí G2J; $\varphi(rad)$ là hướng của G2J; $\beta(rad)$ là góc trượt ngang; $v(m/s)$ là vận tốc trọng tâm G2J; $\delta_f, \delta_r(rad)$ là góc lái trước và sau; $v_f, v_r(m/s)$ là vận tốc lái bánh trước và sau; $L_f, L_r(m)$ là khoảng cách từ tâm bánh trước và bánh sau tới tâm G2J. Phương trình (10) là cơ sở để xây dựng hệ thống điều khiển G2J.



Hình 8. Quy trình và các trạng thái vận hành G2J.

G2J được lập trình để tự động mang vật liệu đến các vị trí định sẵn trong nhà máy công nghiệp. Với các quỹ đạo di chuyển đã được xác định, G2J được thiết kế bộ điều khiển bám đường từ (line từ) theo cơ chế phản hồi. Quỹ đạo di chuyển là các đường từ được đánh dấu màu đen trên bề mặt nền. Các chế độ vận hành và điều khiển G2J được mô tả như hình 8.

2.5. Chế tạo mô hình và kết quả thử nghiệm ban đầu

Dựa trên kết cấu cơ khí đã phân tích và lựa chọn. Mô hình G2J được chế tạo theo đúng yêu cầu thiết kế. Nguồn năng lượng dẫn động được triển khai với các ắc quy có điện thế định mức 12V_{DC}, dung lượng mỗi ắc quy đạt 150Ah. Quá trình di chuyển theo quỹ đạo cho trước, G2J liên tục được theo dõi mức độ bám đường và điều chỉnh dựa trên cặp cảm biến AGS-16N/MHS-1008-V2-05. Cảm biến dò line AGS-16N có ngõ ra 16bit, điện áp 24V_{DC} và giúp thiết bị nhận dạng và bám đường từ. Cảm biến đọc thẻ từ MHS có ngõ ra NPN và đảm bảo đọc các điểm thẻ từ trong quá trình di chuyển trên đường từ. Cặp cảm biến này đưa tín hiệu đầu vào tới mạch điều khiển để phân tích vị trí hiện tại. Sau đó, mạch điều khiển tạo tín hiệu điều khiển các động cơ theo kết quả so sánh tín hiệu phản hồi để đảm bảo G2J vẫn bám quỹ đạo. Bộ xử lý trung tâm có chức năng xử lý chung và kết nối các thành phần khác của AGV. Với G2J, bộ xử lý trung tâm được sử dụng là PLC FX5UC-80MT/D với số đầu vào/ra là 40, điện áp hoạt động là 24V_{DC}. Thiết bị có kết nối truyền thông RS-485/RS-422 và Ethernet (100/10 Mbps). Nó dễ dàng kết nối và mở rộng thêm nhiều module khác. Bộ PLC (Programmable Logic Controller) có nhiều ưu điểm so với vi điều khiển (microcontroller) trong các ứng dụng công nghiệp. PLC được thiết kế để chịu được môi trường công nghiệp khắc nghiệt, có khả năng chống nhiễu điện từ tốt hơn và thường có độ bền cao. Chúng cung cấp khả năng lập trình linh hoạt và dễ dàng hơn thông qua ngôn ngữ lập trình đồ họa hoặc văn bản dễ hiểu, làm cho việc sửa đổi chương trình trở nên thuận tiện hơn mà không cần thay đổi phần cứng. PLC cũng có khả năng mở rộng cao, cho phép kết nối với nhiều loại cảm biến và thiết bị đầu cuối khác nhau, cũng như tích hợp dễ dàng vào các hệ thống tự động hóa lớn hơn. Trong khi đó, vi điều khiển thường được sử dụng trong các ứng dụng nhỏ hơn, cần đến sự nhỏ gọn và chi phí thấp, ví dụ như trong các thiết bị điện tử tiêu dùng hoặc các dự án DIY. Mặc dù vi điều khiển có thể cung cấp giải pháp hiệu quả về mặt chi phí cho các tác vụ đơn giản, nhưng chúng thường không có khả năng chịu

đựng và tính năng mở rộng tương đương với PLC. Hình 9 thể hiện một số thiết bị điều khiển.

Modul Zigbee được chọn để kết nối và điều khiển từ xa. Điện áp hoạt động trong khoảng giá trị 5-30VDC và dạng truyền thông là RS485. Khoảng cách truyền và nhận tín hiệu lớn nhất đạt 1km. Khối nhận biết và cảnh báo nguy hiểm được xây dựng dựa trên các cảm biến Lidar SICK-TIM320 với dải điện áp hoạt động 9-28VDC và phạm vi quét vật thể đạt 0.05m-3m. Cảm biến va chạm cũng hoạt động trong vùng điện áp 9-36VDC. Khối hiển thị được chế tạo với thiết bị chính là màn hình HMI DELTA DOP-107BV (hình 10). Cổng truyền thông đáp ứng được cho RS485, RS422 và RS232.

Các công tắc hành trình ME 9101 và cảm biến phản xạ gương OMRON E3Z-R61 được lựa chọn để nhận biết sản phẩm ra/vào và nhận biết vị trí lấy sản phẩm với phạm vi phát hiện tối đa đạt 3m.

Sau khi hệ thống G2J được chế tạo và kết nối các khối thiết bị, các thử nghiệm ban đầu được tiến hành với các kịch bản cụ thể như: kiểm tra chuyển động không tải bám đường từ và chuyển động có tải bám đường từ (~150kg, ~240kg và ~300kg). Kết quả đánh giá ban đầu cho thấy, G2J di chuyển trơn tru, đảm bảo tốc độ được đặt ban đầu. Khả năng nhận biết và bám đường từ tốt cho các phương án tải khác nhau. Bảng 4 mô tả các trường hợp thử nghiệm được nêu. Các đường link cho phép truy cập và quan sát đầy đủ quá trình chuyển động của G2J theo các trường hợp.

3. KẾT LUẬN

Trên cơ sở các yêu cầu trong thực tiễn sản xuất, kết quả nghiên cứu và triển khai bài toán thiết kế và chế tạo G2J đã được trình bày trong bài báo này. Theo đó, hệ thống được chế tạo đảm bảo khả năng tải 300kg, đáp ứng đầy đủ các tiêu chí về tốc độ, các chế độ điều khiển, khả năng đáp ứng với vật cản hoặc va chạm. Mặc dù đối tượng nghiên cứu không còn mới và được phổ biến rộng rãi trên thế giới nhưng vẫn có giá trị khoa học và thực tế tại Việt Nam. Từ các nhiệm vụ cần thực hiện của G2J và các thông số thiết kế ban đầu, kết cấu G2J đã được thiết kế, phân tích và chế tạo thành công. Hệ thống dẫn động và hệ thống điều khiển được tính toán và chế tạo đã đáp ứng được các yêu cầu ban đầu về tải trọng và các chuyển động bám đường từ cơ bản với tốc độ tối đa: 50m/min, góc xoay 360 độ và sai số dừng: ± 30 mm. Hệ thống sẵn sàng được đưa vào ứng dụng trong các phân xưởng công nghiệp, các nhà máy sản xuất có nhu cầu vận chuyển hàng hóa với tải trọng lớn. Các vấn đề về nâng cao chất lượng điều khiển với độ chính xác cao như khả năng bám đường, thời gian đáp ứng cũng như các đặc tính cơ học của mô hình trong thực tế hoạt động vẫn đang được tiếp tục nghiên cứu và công bố trong thời gian tới.

4. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] G. Ullrich, Automated guided vehicle systems: A primer with practical applications. Berlin, Springer, 2015. ISBN-13: 978-3662448137
- [2] W. P. N. Reis, G. E. Couto, O. M. Junior, "Automated guided vehicles position control: a systematic literature", Journal of Intelligent Manufacturing, 2023, 34, pp. 1483-1545.

DOI: 10.3390/s24031029

[3] R. Steter, “Resilient Design of Product Service Systems with Automated Guided Vehicles”, *Vehicles*, 2023, 5, pp. 780–801.

DOI: <https://doi.org/10.3390/vehicles5030043>.

[4] P. Matin, A. Eydgahi, R. Chowdary, “Partitioning algorithm for path determination of automated robotic part delivery system in manufacturing environments”, *Proceedings of the Proceedings of the 8th Workshop on Performance Metrics for Intelligent Systems*, New York, NY, USA, 19–21, 2008, pp. 224–229.

DOI:10.1145/1774674.1774709

[5] S. K. Das, “Design and Methodology of Line Follower Automated Guided Vehicle – A Review”, *International Journal of Science Technology & Engineering*, 2016, pp. 9-13.

DOI:10.9790/1684-15010030329-35

[6] H. W. Cheong, H. Lee, “Requirements of AGV (Automated Guided Vehicle) for SMEs (Small and Medium-sized Enterprises)”, *Procedia Computer Science*, 2018, 139, pp. 91–94.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.10.222>

[7] S. Kaloutsakis, N. Tsourveloudis, P. Spanoudakis, “Design and Development of an Automated Guided Vehicle”, *IEEE International Conference on Industrial Technology – Maribor*, Slovenia, 2003.

DOI: 10.1109/ICIT.2003.1290796

[8] H. W. Cheong, H. Lee, “Concept Design of AGV (Automated Guided Vehicle) Based on Image Detection and Positioning”, *Procedia Computer Science*, 2018, 139, pp. 104–107.

DOI:10.1016/j.procs.2018.10.224

[9] T. S. N. Banyu, M. Ridwan, T. Kurniawaty, Y. Dinar, V. Hartati, “Design of Automated Guided Vehicle System (AGV) for Material Handling in Flexible Manufacturing System (FMS)”, *Turkish Journal of Physiotherapy and Rehabilitation*, 2021, 32(3), pp. 6397-6403.

DOI:[https://doi.org/10.1016/0890-6955\(90\)90044-J](https://doi.org/10.1016/0890-6955(90)90044-J)

[10] J. Thirumurugan, G. Kartheeswaran, M. Vinoth, M. Vishwanathan, “Line following robot for library inventory management system”, *International conference on Emerging trends in Robotics and Communication Technologies*, 2010, pp. 1-3.

DOI: 10.1109/INTERACT.2010.5706151

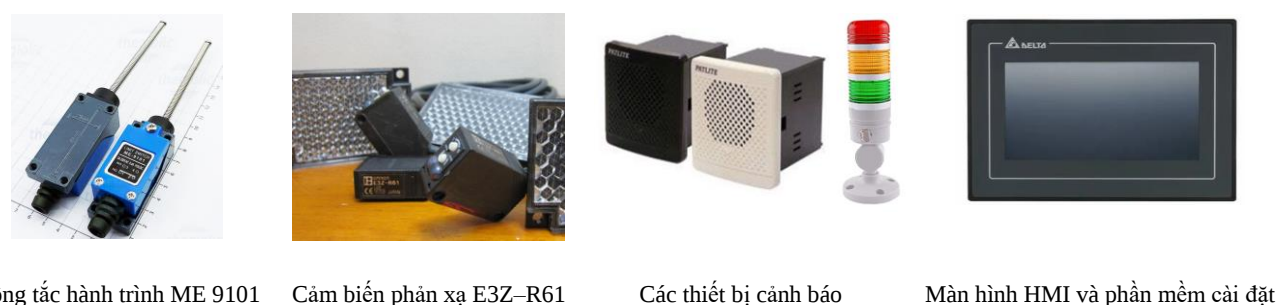
[11] M. Makrodimitris, A. Nikolakakis, E. Papadopoulos, “Semi-autonomous color line-following educational robots: Design and implementation”, *International conference on advanced intelligent mechatronics*, 2011, pp. 1052-1057.

DOI: 10.1109/AIM.2011.6027098

5. PHỤ LỤC



Hình 9. Thiết bị xử lý trung tâm và các thiết bị khác.



Hình 10. Các thiết bị trong khối cảnh báo và hiển thị.

Bảng 3. Thông số kỹ thuật GJ2.

STT	Thông số	Mô tả
1	Phương thức bấm	Đường băng từ + thẻ từ
2	Tải trọng	~ 300kg
3	Nguồn	2 Ắc quy (100A – 12V)
4	Thời gian vận hành	8 tiếng liên tục
5	Cài đặt đường đi	Màn hình HMI
6	Số lượng điểm đến	Tối đa 30
7	Sai số dừng	30mm
8	Phần mềm kết nối	GX works3, Sopas Engineering Tool
9	Băng tải	2 băng tải hoạt động riêng biệt
10	Cảnh báo	Loa và đèn
11	Cảnh báo an toàn	Phần cứng: Bumper và công tắc hành trình Phần mềm: Quét bằng laser scan của cảm biến Sick

Bảng 4. Thử nghiệm tải cho G2J.

STT	Thông số	Giá trị	Links tham chiếu
1	Không tải	0 kg	https://www.youtube.com/watch?v=Pvx1NF29nOo
2	Có tải thùng carton	~150kg	https://www.youtube.com/watch?v=rhPTXeaBPGg
3	Có tải 4 người	~240kg	https://youtu.be/VpaZnuTDxXM
4	Có tải 5 người	~300kg	https://youtu.be/GCk_jDdevCM