

DOI:10.22144/ctujos.2025.105

NGHIÊN CỨU VÀ THIẾT KẾ MÔ HÌNH XE ĐIỆN ĐIỀU KHIỂN TỪ XA SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI

Nguyễn Thái Sơn^{1*}, Trương Trường Phú², Đoàn Văn Ngoan², Nguyễn Trung Vinh², Nguyễn Quốc Vinh², Dương Hoàng Hào², Phạm Nhật Hào², Lê Võ Hoàng Sơn², Quách Ngọc Thịnh¹ và Trần Trung Tĩnh³

¹Khoa Kỹ thuật điện, Trường Bách khoa, Đại học Cần Thơ, Việt Nam

²Sinh viên ngành Kỹ thuật điện, Trường Bách khoa, Đại học Cần Thơ, Việt Nam

³Ban Quản lý Dự án ODA, Đại học Cần Thơ, Việt Nam

*Tác giả liên hệ (Corresponding author): thaison@ctu.edu.vn

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 16/01/2025

Sửa bài (Revised): 10/02/2025

Duyệt đăng (Accepted): 12/05/2025

Title: Design a remote – controlled electric vehicle model using solar energy

Author: Nguyen Thai Son^{1*}, Trương Trường Phú², Đoàn Văn Ngoan², Nguyễn Trung Vinh², Nguyễn Quốc Vinh², Dương Hoàng Hào², Phạm Nhật Hào², Lê Võ Hoàng Sơn², Quách Ngọc Thịnh¹ and Trần Trung Tĩnh³

Affiliation(s): ¹Faculty of Electrical Engineering, College of Engineering, Can Tho University, Viet Nam; ²Student of Electrical Engineering, College of Engineering, Can Tho University, Viet Nam; ³ODA Project Management Unit, Can Tho University, Viet Nam

TÓM TẮT

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm thiết kế mô hình xe điện điều khiển từ xa tích hợp năng lượng mặt trời. Việc sử dụng Arduino để điều khiển và bánh xe Mecanum cho chuyển động đa hướng, xe tích hợp các tấm pin mặt trời để nâng cao hiệu suất và kéo dài thời lượng pin. Các thử nghiệm được tiến hành dưới nhiều điều kiện khác nhau, đánh giá hiệu suất hoạt động và đề xuất các cải tiến. Kết quả cho thấy hiệu quả năng lượng khả quan. Cụ thể xe có thể duy trì hoạt động trong khoảng thời gian từ 3 đến 4 giờ trong điều kiện thời tiết tốt, tuy nhiên hạn chế ở khả năng hoạt động khi ánh sáng yếu, xe có thể duy trì hoạt động trong vòng 2 giờ đồng hồ bằng việc sử dụng bộ pin lưu trữ. Kết quả thực nghiệm cho thấy trong phạm vi điều khiển 15 m xe duy trì kết nối được ổn định, không bị nhiễu sóng. Bên cạnh đó, xe có thể chịu tải trọng lên đến 3 kg. Kết quả nghiên cứu này đóng góp vào giải pháp giao thông bền vững bằng cách tích hợp năng lượng mặt trời với xe điện quy mô nhỏ, nổi bật tiềm năng và thách thức cho phát triển trong tương lai.

Từ khóa: Bánh xe Mecanum, điều khiển đa hướng, xe điều khiển từ xa, xe điện tích hợp năng lượng tái tạo

ABSTRACT

This study designs a remote-controlled electric vehicle model that integrates solar energy. Using Arduino for control and Mecanum wheels for omnidirectional movement, the vehicle integrates solar panels to improve performance and extend battery life. Tests are conducted under a variety of conditions, evaluating performance and recommending improvements. The results show positive energy efficiency. In particular, the vehicle can operate for a period of 3 to 4 hours in good weather conditions, but is limited in its ability to operate in low light, which can continue to run for about 2 hours by using a storage battery. According to the experimental results, a vehicle can maintain its stable connection within 15 meters and carry loads up to 3 kilograms. This research contributes to sustainable transportation solutions by integrating solar energy with small-scale electric vehicles, highlighting the potential and challenges for future development.

Keywords: Electric vehicle with solar energy, mecanum wheels, omnidirectional control, remote-controlled vehicle

1. GIỚI THIỆU

Trong bối cảnh toàn cầu hiện nay, việc ô nhiễm môi trường và cạn kiệt nguồn nhiên liệu hóa thạch đang thúc đẩy sự chuyển dịch mạnh mẽ sang các giải pháp sử dụng năng lượng tái tạo (Ebhotu et al., 2020). Đặc biệt trong lĩnh vực giao thông vận tải, lượng phát thải khí nhà kính từ xe sử dụng động cơ đốt trong chiếm tỷ lệ lớn trong tổng lượng phát thải toàn cầu, làm tăng nhu cầu phát triển các phương tiện thân thiện với môi trường. Trong đó, xe điện tích hợp năng lượng mặt trời được coi là một giải pháp khả thi, giảm phụ thuộc vào điện lưới và góp phần vào bảo vệ môi trường (Azam et al., 2021). Phần lớn các nghiên cứu hiện nay được thực hiện chủ yếu tập trung vào việc nâng cao hiệu suất của xe điện mặt trời thông qua cải tiến hệ thống quản lý năng lượng và thiết kế tối ưu hóa tấm pin mặt trời. Tuy nhiên, xe điện mặt trời vẫn gặp nhiều thách thức về hiệu quả hoạt động trong điều kiện ánh sáng yếu và khó đạt được sự ổn định khi di chuyển trong môi trường thực tế. Điều này đặt ra nhu cầu cần có những giải pháp tích hợp các công nghệ hỗ trợ điều khiển và quản lý năng lượng linh hoạt hơn (Prajapati et al., 2020; Heeraman et al., 2024).

Trong bối cảnh này, việc thiết kế và xây dựng một mô hình xe điện điều khiển từ xa sử dụng năng lượng mặt trời không chỉ giúp kiểm chứng hiệu quả của giải pháp năng lượng tái tạo trong giao thông mà còn mở ra tiềm năng phát triển các phương tiện quy mô nhỏ, thân thiện với môi trường (Tazay, 2021). Kết quả nghiên cứu này giúp đặt nền móng cho việc ứng dụng năng lượng mặt trời trong xe điện quy mô nhỏ và cung cấp một mô hình tham khảo cho các nghiên cứu và phát triển tương lai trong lĩnh vực giao thông bền vững (Azam et al., 2021). Trên thế giới, nhiều nghiên cứu và sản phẩm đã được phát triển để tích hợp tấm pin mặt trời vào xe điện, như các mẫu xe từ Toyota, Lightyear và Sono Motors. Những nghiên cứu này, kết quả cho thấy tiềm năng gia tăng phạm vi hoạt động và giảm phát thải từ xe điện thông qua việc sử dụng năng lượng mặt trời. Tuy nhiên, hiệu suất thu năng lượng phụ thuộc lớn vào điều kiện ánh sáng và thiết kế của tấm pin (Komoto et al., 2021; Tazay, 2021) cũng được chỉ ra trong nghiên cứu. Bên cạnh đó, xe điện được tập trung phát triển phục vụ cho di chuyển nội bộ và làm mô hình dạy học. Xe được trang bị các tính năng cơ bản như chống trộm bằng thẻ từ, gạt mưa và hệ thống chiếu sáng tự động. Tuy nhiên, hạn chế của đề tài này là xe chỉ phù hợp với địa hình bằng phẳng, không có tính năng điều khiển từ xa và khả năng đa hướng, khiến phạm vi ứng dụng của xe trở nên giới

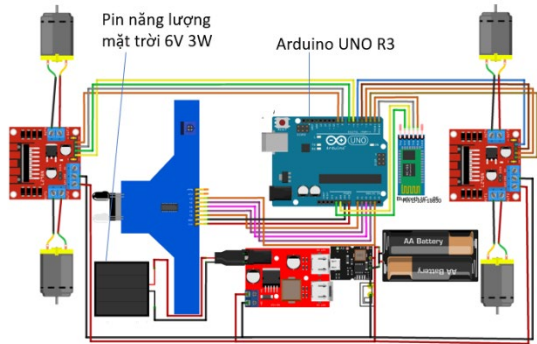
hạn (Sathees et al., 2023). Đồng thời, việc triển khai tích hợp tấm pin năng lượng mặt trời cũng được tiến hành. Điều này giúp tăng thời gian di chuyển nhờ khả năng bổ sung năng lượng khi xe hoạt động (Tao et al., 2020). Dù có ưu điểm trong việc kéo dài quãng đường di chuyển, xe vẫn giới hạn ở tính năng điều khiển cố định, chưa thể đáp ứng nhu cầu điều khiển đa hướng và từ xa. Công nghệ điều khiển từ xa qua Bluetooth được ứng dụng nhiều trong các phương tiện thông minh cũng đã chứng minh được khả năng nâng cao tính linh hoạt, cho phép người dùng dễ dàng điều khiển phương tiện từ xa, mở rộng tính đa dạng trong các môi trường vận hành (Rissanen et al., 2009). Tuy nhiên, việc tích hợp đồng thời cả năng lượng mặt trời và hệ thống điều khiển từ xa với khả năng đa hướng vẫn là một hướng nghiên cứu mới, cần thiết để cải thiện tính tự chủ và khả năng ứng dụng linh hoạt của xe điện. Vì vậy, nghiên cứu này được thực hiện nhằm tập trung vào việc thiết kế và phát triển một mô hình xe điện điều khiển từ xa sử dụng năng lượng mặt trời, tích hợp với hệ thống điều khiển Arduino và Bluetooth để tối ưu hóa tính tự chủ về năng lượng cũng như khả năng điều khiển đa hướng. Với cấu hình này, mô hình xe điện có thể di chuyển linh hoạt trong nhiều điều kiện vận hành khác nhau và có khả năng thích ứng cao với các môi trường vận hành khác biệt. Cụ thể, hệ thống pin mặt trời trên xe sẽ cung cấp nguồn năng lượng liên tục, giúp phương tiện có thể hoạt động mà không cần sạc từ lưới điện, đồng thời hệ thống điều khiển qua Bluetooth cho phép điều khiển từ xa, giảm thiểu những hạn chế về phạm vi điều khiển (Raizada et al., 2017).

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm hướng tới việc phát triển một mô hình xe điện điều khiển từ xa sử dụng năng lượng mặt trời công suất nhỏ phù hợp để thử nghiệm điều khiển, ứng dụng lập trình Arduino và tối ưu hóa việc chuyển động linh hoạt hơn, với mục tiêu tăng hiệu suất năng lượng và khả năng hoạt động trong các điều kiện ánh sáng khác nhau. Thông qua các thử nghiệm thực nghiệm thực tế, kết quả nghiên cứu này giúp đánh giá hiệu quả thực tế của hệ thống, từ đó đưa ra các đề xuất cải tiến nhằm nâng cao hiệu suất và tính bền vững của xe. Nghiên cứu không chỉ cung cấp một mô hình tham khảo mà còn có thể được ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực như vận chuyển hàng hóa, nông nghiệp và trong các môi trường khó khăn hoặc xa xôi mà không có nguồn cung cấp năng lượng truyền thống, nhằm đẩy mạnh sự đóng góp vào cơ sở khoa học cho các ứng dụng năng lượng tái tạo trong giao thông vận tải nhỏ. Điều này mang lại giá trị kinh tế

cao cho các doanh nghiệp vận hành xe điện hướng đến sự phát triển trong tương lai.

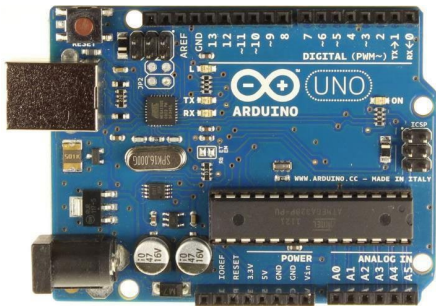
2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Mô hình xe điện điều khiển từ xa sử dụng năng lượng mặt trời đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo xe có thể hoạt động ổn định và hiệu quả. Cấu trúc này bao gồm các thành phần chính như sau: sơ đồ mạch điện và nguyên lý hoạt động, cấu trúc cơ khí và các thành phần linh kiện chính của xe. Sơ đồ mạch điện Hình 1 bao gồm các kết nối giữa các thành phần này, đảm bảo dòng điện được phân phối một cách hiệu quả.



Hình 1. Sơ đồ mạch điện được vẽ trên Fritzing

Trong đó, Arduino UNO R3 là vi điều khiển trung tâm, được lập trình để điều khiển toàn bộ hoạt động của xe, từ cấp nguồn đến động cơ, xử lý dữ liệu từ cảm biến và tín hiệu điều khiển từ điện thoại qua bộ điều khiển Bluetooth. Hình ảnh thực tế của Arduino UNO R3 như Hình 2 (Zanofa et al., 2020).



Hình 2. Arduino UNO R3

Thông số ArduiNo Uno R3 thông qua Bảng 1 (Thegioiic, n.d.a).

Module L298N nhận các tín hiệu điều khiển từ Arduino để điều khiển động cơ di chuyển theo các hướng khác nhau. Hình ảnh thực tế của Module L298N như Hình 3 (Ariyansyah & Ma’arif, 2023).

Bảng 1. Thông số Arduino UNO R3

Nguồn USB	5 V
Nguồn Jack DC	9 V
Số chân	20
Dòng hoạt động	1,5 mA
Nhiệt độ hoạt động	-40°C ~ 85°C
Timer	8 Bit hoặc 16 Bit
Các chuẩn giao tiếp	I ² C, SPI, UART /USART, USB



Hình 3. Module L298N

Thông số Module L298N thông qua Bảng 2 (Hshop, n.d.c).

Bảng 2. Thông số Module L298N

Điện áp logic	5 – 7 V
Điện áp lái motor	5 – 35 V
Dòng tải tối đa	2 A
Công suất tải tối đa	25 W
Dòng tiêu thụ không tải	0 – 36 mA
Kích thước	43 x 43 x 27 mm

Module Bluetooth HC-05 cho phép điều khiển xe từ xa thông qua kết nối Bluetooth giữa Arduino với điện thoại hoặc máy tính bảng. Hình ảnh thực tế của Module Bluetooth HC-05 như Hình 4 (Wirawan, 2018).



Hình 4. Module Bluetooth HC-05

Thông Module Bluetooth HC-05 thông qua Bảng 3 (Hshop, n.d.b).

Bảng 3. Thông số Module Bluetooth HC-05

Điện áp hoạt động	3.3 ~ 5 VDC
Dòng điện	30 mA
Tốc độ truyền tải	4800 bps đến 1382400 bps
Kích thước	35,7 x 15,2 mm
Pairing code mặc định	1234 hoặc 0000
Tần số	2,4 GHz ISM

Mạch dò line 5 kênh TCRT5000 là một cảm biến được trang bị LED phát hồng ngoại và phototransistor giúp nhận dạng và theo dõi đường đi thông qua phát hiện vạch vạch trên mặt đất. Hình ảnh thực tế của cảm biến dò line 5 kênh TCRT5000 như Hình 5:



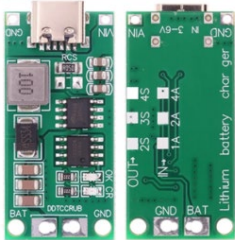
Hình 5. Cảm biến dò line 5 kênh TCRT5000

Thông số cảm biến dò line 5 kênh TCRT5000 thông qua Bảng 4 (Thegioiic, n.d.c).

Bảng 4. Thông số Cảm biến dò line 5 kênh TCRT5000

Điện áp hoạt động	3,3 ~ 5 VDC
Khoảng cách phát hiện	0,5 ~ 40 mm
Kích thước	19 x 96 mm
Ngõ ra	Tín hiệu digital

Mạch sạc pin 18650 S2 giúp quản lý việc sạc pin an toàn và bảo vệ pin khỏi các tình trạng quá tải và quá xả. Hình ảnh thực tế của mạch sạc pin 18650 S2 như Hình 6 (Thegioiic, n.d.b).



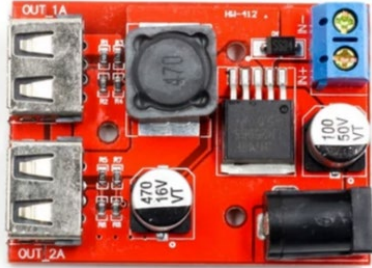
Hình 6. Mạch sạc pin 18650 S2

Thông số mạch sạc pin 18650 S2 Bảng 5 (Xu et al., 2016).

Module sạc năng lượng mặt trời là module chuyển đổi 12 V xuống 5 V với đầu ra có công suất tối đa 3 A chuyển đổi dòng điện hiệu quả và ổn định. Hình ảnh thực tế của Module giảm áp như Hình 7 (LED-Diode Vietnam, n.d.).

Bảng 5. Thông số mạch sạc pin 18650 S2

Dung lượng danh định	2250 mAh
Dung lượng định mức	2150 mAh
Điện áp danh định	3,7 V
Điện áp sạc	4,2 ± 0,05 V
Điện áp cắt	2,5 V
Dòng sạc tối đa liên tục	2,15 A
Dòng xả tối đa liên tục	10 A
Kích thước	18,6 × 64,9 mm
Khối lượng	43,6 ± 1,5 g



Hình 7. Module giảm áp

Thông số Module giảm áp Bảng 6 (LED-Diode Vietnam, n.d.).

Bảng 6. Thông số Module giảm áp

Điện áp ngõ vào	12 – 36 V
Điện áp ngõ ra	1,5 – 18 V
Dòng điện	3 A
Công suất	36 W
Số chân	4
Kích thước	43 x 21 mm

Pin Li-ion 18650 với dung lượng và dòng xả cao, cung cấp điện áp khoảng 7,4 V, được kết nối tiếp bằng đế đôi có thể thay thế pin dễ dàng. Hình ảnh thực tế của Pin Li-ion 18650 như Hình 8.



Hình 8. Pin Li-ion 18650 và đế pin nối tiếp

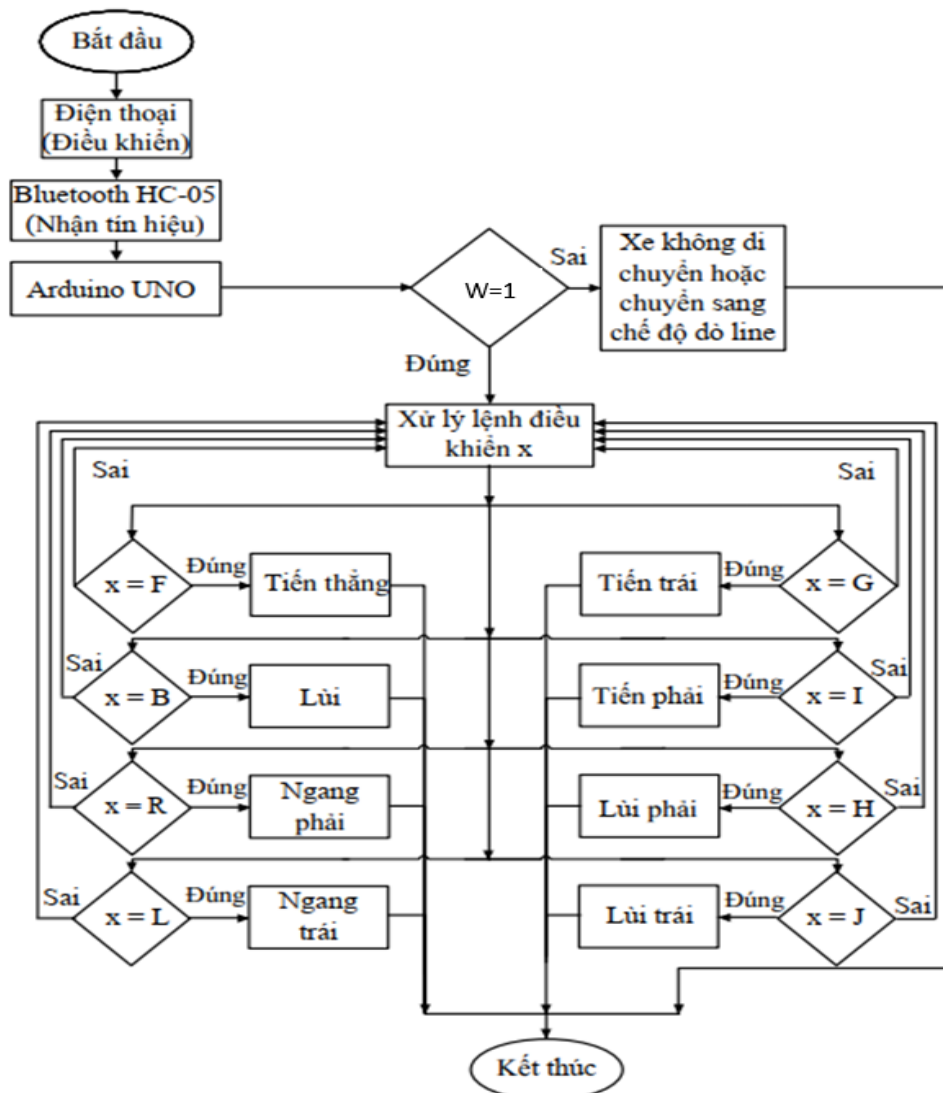
Thông số Pin Li-ion 18650 thông qua Bảng 7 (Hshop, n.d.a).

Bảng 7. Thông số Pin Li-ion 18650

Điện áp trung bình	3,7 VDC
Sạc đầy	4,2 VDC
Dung lượng	2500 mAh
Dòng xả tối đa liên tục	Max 12,5A (5 C x 2500 mAh)
Nội trở trung bình	Khoảng 16 mΩ
Kích thước	18 x 65 mm

Về nguyên lý tổng thể: Mô hình hoạt động với 4 động cơ DC, sử dụng nguồn 2 pin Li-ion và 1 tấm pin năng lượng mặt trời. Sau khi phát nguồn đến 5 V để điều khiển cho Arduino. Arduino sau khi đã nạp code thì sẽ kết hợp với mạch cầu L298 điều khiển xe chạy tiến, lùi, xoay trái, xoay phải, ngang

trái, ngang phải. Sau khi nhận nguồn thì Arduino lại đóng vai trò làm nguồn cấp cho Module Bluetooth HC-05. Kết nối được hoàn tất khi thấy đèn trên Bluetooth RC Controller không chớp liên tục nữa. Ở chế độ điều khiển từ xa bằng tay: Khi điều khiển điện thoại sẽ gửi tín hiệu về Bluetooth HC-05. Bluetooth HC-05 sau khi nhận lệnh từ điện thoại thì sẽ truyền tín hiệu về Arduino. Với chế độ điều khiển từ xa tự động: Khi nhận lệnh chế độ dò line từ điện thoại sẽ gửi tín hiệu về Bluetooth HC-05. Bluetooth HC-05 sau khi nhận lệnh từ điện thoại thì sẽ truyền tín hiệu về Arduino. TCRT5000 sẽ lấy tín hiệu điều khiển dò đường đi. Lưu đồ thuật toán điều khiển từ xa bằng tay như Hình 9.



Hình 9. Lưu đồ thuật toán điều khiển từ xa bằng tay

Hình 9 thể hiện lưu đồ thuật toán mô tả quá trình hoạt động của một hệ thống điều khiển từ xa sử dụng điện thoại di động, mô – đun Bluetooth HC – 05 và bo mạch Arduino Uno. Hệ thống này cho phép người dùng điều khiển xe bằng các nút bấm trên điện thoại, tương ứng với các hành động như tiến, lùi, rẽ phải, rẽ trái, ngang phải, ngang trái.

Nguyên lý hoạt động chi tiết của lưu đồ Hình 9:

1. Bắt đầu: Quá trình bắt đầu khi người dùng bật nguồn cho hệ thống.

2. Điện thoại: Sử dụng ứng dụng trên điện thoại để gửi lệnh điều khiển đến xe.

3. HC – 05: Kiểm tra kết nối xem có tín hiệu điều khiển.

4. Arduino Uno:

– **Xử lý tín hiệu:** Arduino được so sánh với điều kiện đặt ra. Nếu “ $W = 1$ ” thì sẽ nhận tín hiệu Arduino sẽ phân tích tín hiệu để xác định loại lệnh điều khiển (tiến, lùi, rẽ trái, rẽ phải, ngang phải, ngang trái) còn nếu nhận “ $W = 0$ ” thì chuyển sang dò line hoặc còn không nhận tín hiệu cả 2 thì kết thúc quá trình xe sẽ không di chuyển khi tắt nguồn hoặc ngắt kết nối Bluetooth.

+ Nếu lệnh điều khiển nhận được là “ $x = F$ ” thì tiến thẳng. Còn lại thì quay trở lại “xử lý lệnh điều khiển x” để sẵn sàng nhận lệnh tiếp theo.

+ Nếu lệnh điều khiển nhận được là “ $x = B$ ” lùi. Còn lại thì quay trở lại “xử lý lệnh điều khiển x” để sẵn sàng nhận lệnh tiếp theo.

+ Nếu lệnh điều khiển nhận được là “ $x = R$ ” thì ngang phải. Còn lại thì quay trở lại “xử lý lệnh điều khiển x” để sẵn sàng nhận lệnh tiếp theo.

+ Nếu lệnh điều khiển nhận được là “ $x = L$ ” thì ngang trái. Còn lại thì quay trở lại “xử lý lệnh điều khiển x” để sẵn sàng nhận lệnh tiếp theo.

+ Nếu lệnh điều khiển nhận được là “ $x = G$ ” thì tiến trái. Còn lại thì quay trở lại “xử lý lệnh điều khiển x” để sẵn sàng nhận lệnh tiếp theo.

+ Nếu lệnh điều khiển nhận được là “ $x = I$ ” thì tiến phải. Còn lại thì quay trở lại “xử lý lệnh x” để sẵn sàng nhận lệnh tiếp theo.

+ Nếu lệnh điều khiển nhận được là “ $x = H$ ” thì lùi phải. Còn lại thì quay trở lại “xử lý lệnh điều khiển x” để sẵn sàng nhận lệnh tiếp theo.

+ Nếu lệnh điều khiển nhận được là “ $x = J$ ” thì lùi trái. Còn lại thì quay trở lại “xử lý lệnh điều khiển x” để sẵn sàng nhận lệnh tiếp theo.

5. Kết thúc: Quá trình kết thúc khi người dùng tắt nguồn hoặc ngắt kết nối Bluetooth.

Giải thích các bước chi tiết:

– **Kết nối điện thoại:** Khi kết nối Bluetooth thành công thì trên app điều khiển sẽ hiện đèn xanh còn không kết nối thì hiện đèn đỏ.

– **Nhấn nút điều khiển:** Khi người dùng nhấn một nút trên điện thoại, một tín hiệu tương ứng sẽ được gửi đến Arduino.

– **Tiến, lùi, rẽ:** Tín hiệu này sẽ được Arduino giải mã để xác định xe sẽ tiến, lùi, rẽ trái hay rẽ phải với góc độ bao nhiêu.

– **Xe không di chuyển:** Nếu không nhận được tín hiệu điều khiển nào, xe sẽ dừng lại.

Hình 10 thể hiện lưu đồ thuật toán mô tả một hệ thống điều khiển xe tự hành cơ bản.

Hệ thống này sử dụng cảm biến màu để theo dõi một đường line màu đen trên một bề mặt sáng. Hệ thống này bao gồm các thành phần chính:

– **Điện thoại:** Giao diện người dùng để điều khiển xe theo chế độ thủ công hoặc chế độ tự động.

– **Module Bluetooth HC – 05:** Dùng kết nối không dây giữa điện thoại và Arduino.

– **Cảm biến màu TCRT 5000:** Phát hiện màu sắc của bề mặt phía dưới xe.

– **Arduino Uno:** Vi điều khiển trung tâm giúp xử lý các tín hiệu nhận từ cảm biến di chuyển theo tuyến đường đã định trước để điều khiển các động cơ di chuyển.

Nguyên lý hoạt động chi tiết của lưu đồ Hình 10:

1. Bắt đầu: Quá trình bắt đầu khi người dùng bật nguồn cho hệ thống.

2. Điện thoại: Người dùng sử dụng ứng dụng trên điện thoại để gửi lệnh điều khiển xe chuyển sang tự động dò đường đi.

3. HC-05: Sau khi có tín hiệu nhận từ HC-05, Arduino sẽ so sánh với điều kiện đặt ra. Nếu nhận “ $W = 0$ ” thì chuyển sang dò line còn nếu “ $W = 1$ ” thì sẽ nhận tín hiệu Arduino sẽ phân tích tín hiệu để xác định loại lệnh điều khiển (tiến, lùi, rẽ trái, rẽ phải, ngang phải, ngang trái) hoặc còn không nhận tín hiệu cả 2 thì kết thúc quá trình xe sẽ không di chuyển khi tắt nguồn hoặc ngắt kết nối Bluetooth.

4. TCRT5000: Nhận lệnh từ Arduino và bắt đầu dò đường đi. Nếu cảm biến không phát hiện màu đen thì xe sẽ dừng lại và quay lại vòng lặp.

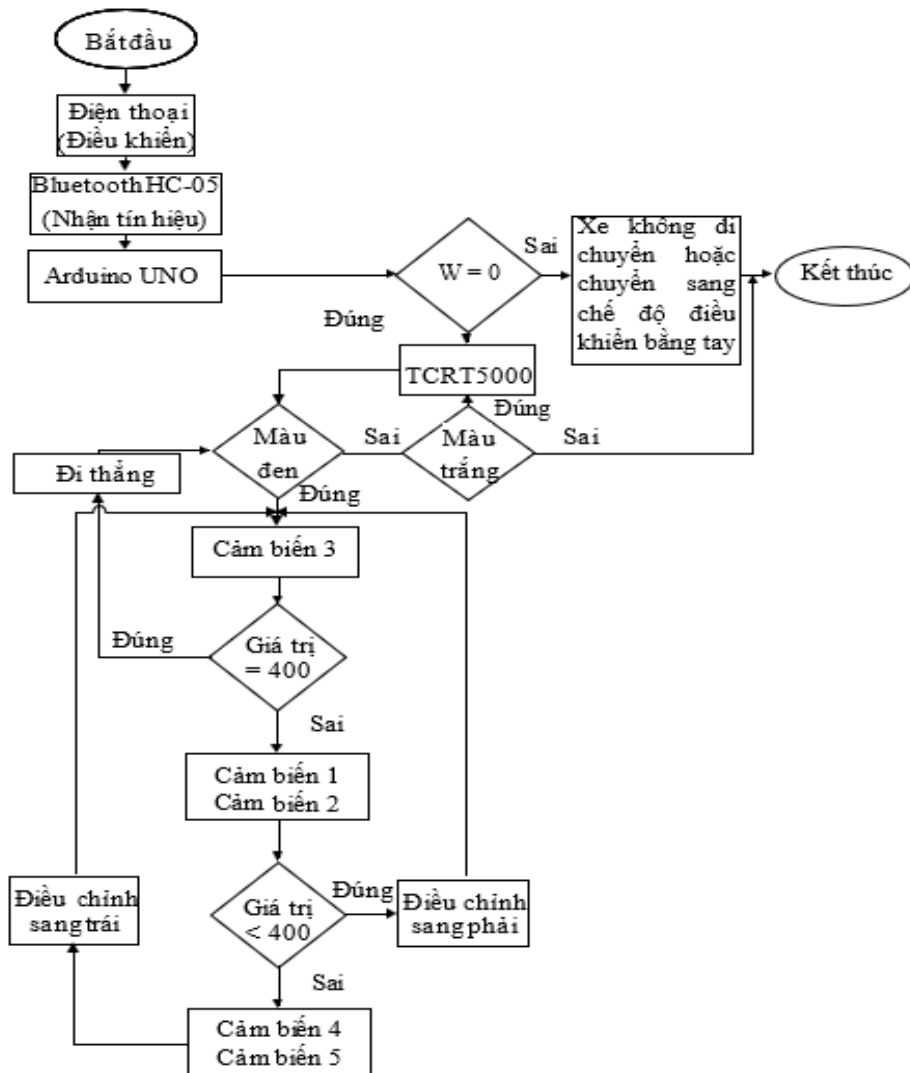
5. Cảm biến 3: Nếu xe phát hiện “Giá trị = 400” thì xe sẽ đi thẳng và cứ lặp lại. Nếu sai thì cảm biến 1 và 2 sẽ hoạt động.

6. Cảm biến 1 và 2: Nếu cảm biến xe phát hiện “Giá trị < 400” thì xe điều chỉnh sang phải và quay lại cảm biến 3 và bắt đầu so sánh với giá trị ban đầu

“Giá trị = 400” để xe đi thẳng. Nếu sai thì cảm biến 4 và 5 sẽ hoạt động.

7. Cảm biến 4 và 5: Nếu xe phát hiện “Giá trị > 400” thì xe sẽ điều chỉnh sang trái tiếp đó quay lại cảm biến 3 và bắt đầu so sánh giá trị “Giá trị = 400” để xe đi thẳng. **Giải thích các bước chi tiết:**

– **Chế độ tự động:** Khi chọn chế độ tự động, điện thoại sẽ gửi tín hiệu qua Bluetooth đến Arduino. Arduino sẽ nhận tín hiệu và bắt đầu quá trình quét màu qua TCRT5000.



Hình 10. Lưu đồ thuật toán điều khiển từ xa tự động

– **Theo dõi đường line:** Xe sẽ di chuyển theo đường line màu đen bằng cách liên tục so sánh màu sắc của bề mặt phía dưới với màu đen.

– **Điều chỉnh hướng:** Nếu xe lệch khỏi đường line, các cảm biến sẽ phát hiện và Arduino sẽ điều chỉnh hướng di chuyển của xe để đưa xe trở lại đường line.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Nghiên cứu đã thu được các kết quả quan trọng qua quá trình thử nghiệm và phân tích mô hình xe điện điều khiển từ xa sử dụng năng lượng mặt trời. Những phát hiện chính được trình bày theo từng tiêu chí đánh giá.

3.1. Thử nghiệm trong các điều kiện khác nhau

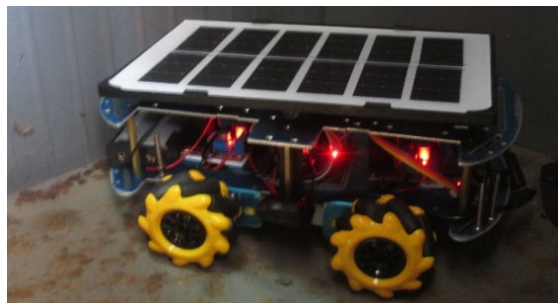
Để kiểm tra khả năng hoạt động của xe trong các điều kiện khác nhau, tiến hành các thử nghiệm thực tế, từ đó rút ra các kết luận về hiệu suất, độ bền và tính ổn định của hệ thống.

Đầu tiên, việc thử nghiệm trong điều kiện bình thường ở Hình 11 được tiến hành tại các không gian mở như sân bãi, phòng thí nghiệm hoặc mặt phẳng với các bài kiểm tra về khả năng di chuyển, khả năng dừng khẩn cấp và đánh giá độ chính xác của các lệnh điều khiển từ xa theo các tiêu chí được đề ra.



Hình 11. Thử nghiệm điều kiện bình thường

Trong điều kiện ánh sáng yếu hoặc không có ánh sáng mặt trời như Hình 12, việc thực hiện các thử nghiệm nhằm kiểm tra khả năng và thời gian duy trì hoạt động của xe khi nguồn năng lượng từ tấm pin bị hạn chế.



Hình 12. Thử nghiệm khi thiếu ánh sáng

Việc thử nghiệm trên các địa hình (mặt phẳng, cỏ, đất và cát) như ở Hình 13 để quan sát khả năng thích ứng và hiệu suất hoạt động của xe khi di chuyển trên các dạng địa hình khác nhau.



Hình 13. Thử nghiệm trên các dạng bề mặt

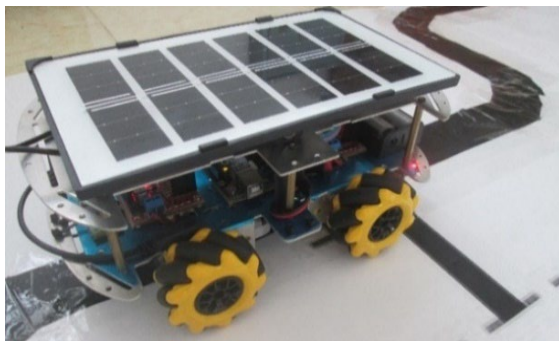
Đối với việc kiểm tra khả năng tải trọng, các bài kiểm tra được tiến hành bằng việc cho xe lần lượt kéo các vật có trọng lượng khác nhau như Hình 14, nhằm đánh giá hiệu suất hoạt động của xe theo các tiêu chí đã được đặt ra.



Hình 14. Thử nghiệm khả năng tải trọng

Yếu tố độ bền cũng được đưa vào thử nghiệm bằng việc cho xe hoạt động liên tục các khoảng thời gian khác nhau.

Cuối cùng, quá trình thử nghiệm khả năng tự động hóa trên sa bàn line tự thiết kế đã được tiến hành. Điều này nhằm kiểm tra khả năng định hướng của cảm biến khi cho xe di chuyển trên các đường line thẳng, cong và tại các góc của như Hình 15.



Hình 15. Thử nghiệm tính năng tự động hóa

3.2. Kết quả thử nghiệm

Trong điều kiện ánh sáng bình thường, kết quả thử nghiệm như Bảng 8.

Bảng 8. Tóm tắt kết quả trong điều kiện ánh sáng bình thường

Bài kiểm tra	Đánh giá	Tiêu chí đạt	Kết quả
Điều khiển đa hướng	Có thể di chuyển theo hướng chỉ định	Xe di chuyển đúng hướng trong khoảng thời gian <2 giây	Đạt
Dừng khẩn cấp	Xe dừng lập tức khi nhận lệnh	Xe dừng trong vòng 1 giây sau khi nhận lệnh	Đạt
Độ trễ tín hiệu	Thời gian xe nhận lệnh		<1 giây
Độ chính xác của lệnh	Xe thực hiện đúng lệnh		100%

Trong đó: Tiêu chí điều khiển đa hướng gồm di chuyển tiến, di chuyển lùi, rẽ trái, rẽ phải, ngang trái, ngang phải, tiến trái, tiến phải, lùi trái, lùi phải.

Từ kết quả Bảng 8 cho thấy hệ thống điều khiển ổn định, phù hợp với các môi trường hoạt động bình thường và yêu cầu cao về thời gian phản hồi.

Trong điều kiện ánh sáng yếu, kết quả đánh giá bao gồm như Bảng 9.

Dựa trên kết quả Bảng 9 có thể thấy rằng hệ thống pin lưu trữ là giải pháp quan trọng giúp duy trì hoạt động khi ánh sáng mặt trời không đủ. Tuy nhiên, thời gian 2 giờ tương đối hạn chế, có thể cần cải tiến pin hoặc tích hợp quản lý năng lượng thông minh hơn.

Kết quả thử nghiệm trên các bề mặt khác nhau được thể hiện trong Bảng 10.

Bảng 9. Kết quả thử nghiệm trong điều kiện ánh sáng yếu

Bài kiểm tra	Đánh giá	Tiêu chí đạt	Kết quả
Khả năng duy trì hoạt động	Xe có thể tiếp tục hoạt động	Xe có thể chạy bình thường, không gặp vấn đề làm giảm tốc độ chạy.	Đạt
Thời gian hoạt động liên tục	Xe hoạt động trong khoảng thời gian nhất định		2 giờ

Bảng 10. Kết quả thử nghiệm trên các bề mặt

Môi trường	Bài kiểm tra	Tiêu chí đạt	Kết quả
Bê tông	Khả năng di chuyển của xe trên bề mặt gồ ghề của bê tông	Xe chạy không gặp vấn đề với tốc độ ít nhất bằng 80% so với bề mặt bình thường	Đạt
Cỏ	Khả năng di chuyển của xe trên bề mặt cỏ	Xe chạy với tốc độ ít nhất bằng 50% so với bề mặt bình thường	Đạt
Đất	Khả năng di chuyển của xe trên bề mặt đất khô	Xe chạy với tốc độ ít nhất bằng 80% so với bề mặt bình thường	Đạt
Cát	Khả năng di chuyển của xe trên bề mặt cát	Xe chạy với tốc độ ít nhất bằng 50% so với bề mặt bình thường	Không đạt

Trong đó, xe chạy trên bề mặt bình thường là đường nhựa giao thông với tốc độ tối đa là 0,503 m/s.

Qua kết quả ở Bảng 10 thấy rằng xe hoạt động tốt trên bê tông, cỏ và đất với hiệu suất từ 50% đến 80% so với bề mặt thông thường. Tuy nhiên, hiệu suất không đạt yêu cầu trên cát. Việc xe gặp khó khăn trên cát có thể do lực cản lớn và sự thiếu bám đường. Việc cải tiến gồm nâng cấp động cơ hoặc thay đổi loại bánh xe cần được đề xuất để tăng độ bám.

Kết quả thử nghiệm khả năng tải trọng của xe được thể hiện trong Bảng 11.

Từ kết quả thực nghiệm ở Bảng 11 cho thấy xe hoạt động ổn định khi chịu tải từ 1 đến 2 kg nhưng gặp hạn chế với tải trọng từ 3 kg trở lên. Điều này cho thấy giới hạn của động cơ và pin trong việc duy trì tốc độ và hiệu suất. Có thể cần nâng cấp công suất động cơ và pin để cải thiện khả năng chịu tải.

Kết quả thử nghiệm độ bền của xe được thể hiện trong Bảng 12.

Bảng 11. Kết quả thử nghiệm khả năng tải trọng

Khối lượng tải	Bài kiểm tra	Tiêu chí đạt	Kết quả
1 – 2 kg	Khả năng di chuyển, tình trạng động cơ và pin khi chịu tải	So với không tải, xe đạt tốc độ > 80%; tiêu hao năng lượng pin nhiều hơn <10%. Nhiệt độ động cơ <50°C.	Đạt
3 kg	Khả năng di chuyển, tình trạng động cơ và pin khi chịu tải	So với không tải, xe đạt tốc độ > 60%; tiêu hao năng lượng pin nhiều hơn <20%. Nhiệt độ động cơ <60°C.	Không đạt
4 kg	Khả năng di chuyển, hiệu suất động cơ và pin	So với không tải, xe đạt tốc độ > 40%; tiêu hao năng lượng pin nhiều hơn <30%. Nhiệt độ động cơ <70°C.	Không đạt

Bảng 12. Kết quả thử nghiệm độ bền của xe

Thời gian thử nghiệm	Bài kiểm tra	Tiêu chí đạt	Kết quả
1 - 2 giờ	Khả năng hoạt động liên tục, độ bền của các linh kiện và kết nối	Xe hoạt động bình thường, tốc độ không bị suy giảm, các linh kiện và khung xe chắc chắn	Đạt
4 giờ	Khả năng hoạt động liên tục, độ bền của các linh kiện và kết nối	Xe hoạt động bình thường, tốc độ không bị suy giảm không quá 15%, các linh kiện và khung xe chắc chắn	Chưa đạt
8 giờ	Khả năng hoạt động liên tục, độ bền của các linh kiện và kết nối	Xe hoạt động bình thường, tốc độ không bị suy giảm không quá 30%, các linh kiện và khung xe có thể lỏng lẻo nhưng không bị rời	Không đạt

Từ kết quả Bảng 12 thấy rằng xe hoạt động ổn định trong 1 - 2 giờ nhưng khi vượt quá 4 giờ, hiệu suất suy giảm, và ở 8 giờ có hiện tượng lỏng lẻo các linh kiện. Điều này chỉ ra giới hạn về độ bền cơ học

và nhiệt độ động cơ. Cần có giải pháp về tản nhiệt và kiểm tra định kỳ kết cấu cơ khí.
Kết quả thử nghiệm tính năng tự động hóa của xe được thể hiện trong Bảng 13.

Bảng 13. Kết quả thử nghiệm tính năng tự động hóa

Bước thử nghiệm	Mô tả thử nghiệm	Kết quả thực tế
Hiệu chỉnh cảm biến	Điều chỉnh ngưỡng phát hiện của cảm biến	Cảm biến hoạt động đúng ngưỡng, phát hiện chính xác
Kiểm tra từng cảm biến	Kiểm tra từng cảm biến trên đường line	Xe chạy ổn định, cảm biến phát hiện đúng
Thử nghiệm trên đường thẳng	Đặt xe trên đường line thẳng, kiểm tra hướng đi	Xe di chuyển thẳng, không bị lệch
Thử nghiệm trên đường cong	Đặt xe trên đoạn đường cong và theo dõi chuyển động	Xe theo đường cong chính xác, không bị lệch
Thử nghiệm tại các góc cua	Đặt xe tại các đoạn đường có góc cua	Xe quay đúng hướng và không dừng lại ở các góc cua
Kiểm tra sự ổn định	Chạy xe trong thời gian dài để kiểm tra độ ổn định	Xe di chuyển ổn định, không gặp vấn đề
Tổng hợp kết quả	Đánh giá tổng thể kết quả thử nghiệm	Kết quả đạt yêu cầu, không phát sinh lỗi

Kết quả thực nghiệm của Bảng 13 cho thấy hệ thống cảm biến hoạt động chính xác, xe có thể di chuyển theo các đường thẳng, cong và xử lý tốt tại các góc cua. Đây là điểm mạnh lớn của hệ thống, cho thấy tiềm năng ứng dụng trong các mô hình tự động hóa và điều hướng phức tạp.

Hiệu suất chuyển đổi năng lượng mặt trời được thể hiện như Hình 16. Kết quả được thể hiện ở Hình 16 cho thấy hiệu suất thu và chuyển đổi năng lượng mặt trời vào hệ thống đạt tối đa 75% khi trời nắng mạnh, giảm xuống 40% khi trời mây và thấp hơn khi trời mưa. Sự suy giảm này ảnh hưởng đến khả năng

hoạt động của xe, đặc biệt vào buổi tối hoặc khi ánh sáng yếu.

Kết quả thử nghiệm thời gian hoạt động được thể hiện như Bảng 14.

Bảng 14. Thời gian hoạt động

Thời gian thử nghiệm	Thời gian hoạt động (giờ)	Nguồn năng lượng
Ban ngày	4,0	Pin mặt trời
Chiều tối	2,0	Pin lưu trữ
Ban đêm	1,5	Pin lưu trữ
Trời mây	3,0	Kết hợp mặt trời và lưu trữ
Trời mưa	1,0	Pin lưu trữ

Qua kết quả thực nghiệm từ Bảng 14 cho thấy xe hoạt động tối đa 4 giờ khi có ánh sáng mặt trời mạnh và 1 - 2 giờ khi chỉ sử dụng pin lưu trữ. Thời gian hoạt động này chấp nhận được cho mô hình thử nghiệm nhưng có thể nâng cao bằng cách cải thiện hệ thống pin hoặc tối ưu hóa thu năng lượng.

Khả năng điều khiển từ xa của xe được thể hiện như Bảng 15.

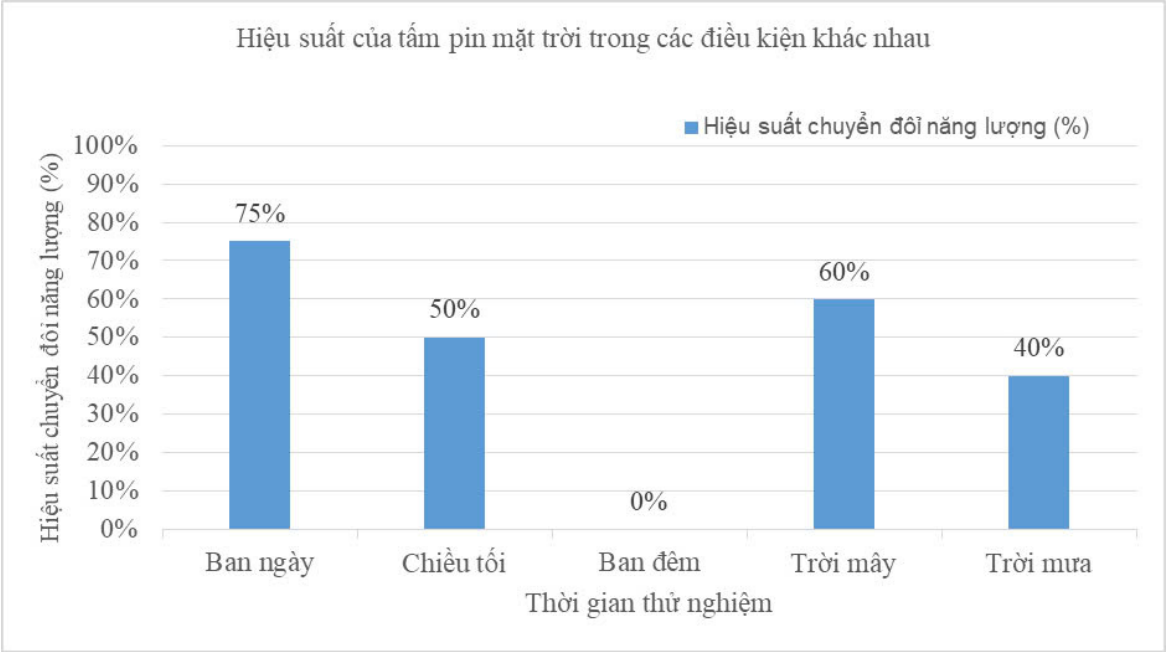
Bảng 15. Phạm vi điều khiển

Khoảng cách (m)	Kết quả	Ghi chú
5 - 15	Ổn định	Tín hiệu mạnh, không bị gián đoạn, ít suy giảm khi có vật cản
20	Ổn định	Tín hiệu yếu hơn, bắt đầu suy giảm khi có vật cản
25	Không ổn định	Tín hiệu rất yếu, chỉ có thể điều khiển ở khoảng cách gần

Trong đó, tiêu chí đánh giá ở bảng kết quả này là độ ổn định và khả năng nhận lệnh.

Từ kết quả ở Bảng 15 cho thấy hệ thống Bluetooth hoạt động tốt trong phạm vi 15 – 20 m nhưng không ổn định khi vượt quá khoảng cách này.

Kết quả thử nghiệm độ ổn định của kết nối của xe được thể hiện ở Bảng 16.



Hình 16. Hiệu suất chuyển đổi năng lượng mặt trời

Trong đó, tiêu chí đánh giá ở bảng kết quả này là độ ổn định, không mất kết nối.

Dựa trên Bảng 16, kết quả có thể thấy rằng xe được kết nối ổn định trong 15 phút đầu nhưng sau

đó bắt đầu có nhiều sóng và mất kết nối sau 25 - 30 phút. Vấn đề nhiễu sóng cần được khắc phục thông qua sử dụng các giao thức truyền thông mạnh hơn hoặc cải tiến bộ phận thu phát Bluetooth.

Bảng 16. Độ ổn định của kết nối

Thời gian (phút)	Kết quả	Ghi chú
0 - 15	Ổn định	Không có sự cố về kết nối
15 - 20	Không ổn định	Có nhiều sóng
20 - 25	Không ổn định	Kết nối bị gián đoạn vài lần
25 - 30	Mất kết nối	Kết nối bị gián đoạn hoàn toàn

3.3. Đánh giá và đề xuất cải tiến

3.3.1. Quá trình thử nghiệm và đánh giá

Khả năng di chuyển: Xe đáp ứng tốt các thử nghiệm về di chuyển trong nhiều hướng (tiền, lùi, rẽ), dù gặp khó khăn khi di chuyển trên cát

Hiệu suất năng lượng: Hiệu quả chuyển đổi năng lượng mặt trời đạt 75% khi trời nắng mạnh, giảm xuống 40% khi trời mưa. Pin duy trì xe hoạt động trong 4 giờ khi có nắng và 1,5 - 2 giờ khi dùng pin lưu trữ.

Khả năng tải trọng: Xe hoạt động ổn định với tải trọng lên đến 3 kg, nhưng không thể di chuyển hiệu quả khi tải trọng vượt quá 4 kg.

Điều khiển từ xa: Hệ thống Bluetooth ổn định trong phạm vi 10 - 15 m, nhưng giảm hiệu quả khi xa hơn 20 m.

Độ bền: Xe duy trì tốt trong các bài thử nghiệm dưới 2 giờ; hoạt động lâu hơn làm giảm hiệu suất và tăng nhiệt động cơ.

Các dòng xe điện hiện nay trên thị trường, khi không tích hợp hệ thống pin năng lượng mặt trời vẫn tồn tại một số khó khăn như cần phải tìm các trạm sạc trên đường và phải tiêu tốn một khoảng thời gian để nạp đầy năng lượng. Vì vậy nếu phát triển xe điện tích hợp tấm pin năng lượng mặt trời sẽ thuận tiện trong việc sạc pin, từ đó giúp hạn chế phải di chuyển tìm trạm sạc và tiết kiệm thời gian sạc pin.

3.3.2. Ưu điểm xe điện điều khiển từ xa tích hợp năng lượng mặt trời

Tính linh hoạt: Di chuyển theo nhiều hướng, hữu ích trong không gian hẹp.

Sử dụng năng lượng tái tạo: Không phụ thuộc vào nguồn năng lượng truyền thống giúp bảo vệ môi trường.

Điều khiển từ xa tiện lợi: Bluetooth cho phép điều khiển dễ dàng và an toàn.

Công nghệ hiện đại: Tích hợp Arduino và cảm biến giúp tự động hóa.

3.3.3. Nhược điểm xe điện điều khiển từ xa tích hợp năng lượng mặt trời

Hiệu suất năng lượng phụ thuộc ánh sáng: Hiệu suất giảm khi trời mây hoặc ban đêm.

Chi phí cao: Các linh kiện đắt tiền như bánh xe Mecanum và động cơ.

Lắp ráp phức tạp: Yêu cầu kỹ thuật cao, khó bảo trì.

Khả năng tải trọng hạn chế: Xe không phù hợp cho vận chuyển hàng hóa nặng.

3.3.4. Đề xuất cải tiến

Việc cải tiến mô hình này có thể được mở rộng ứng dụng trong các lĩnh vực công nghiệp, như vận chuyển hàng trong nhà máy hoặc thiết bị hỗ trợ thông minh trong các khu vực hạn chế. Sự tích hợp IoT và AI sẽ tạo ra khả năng giám sát và tự lái, đóng góp vào phát triển bền vững và thân thiện môi trường.

Nâng cấp pin và quản lý năng lượng: Sử dụng pin hiệu suất cao hơn và tích hợp hệ thống quản lý pin.

Tăng cường công nghệ điều khiển: Chuyển từ Bluetooth sang Wi-Fi hoặc Zigbee để mở rộng phạm vi điều khiển.

Cải tiến cơ khí: Sử dụng vật liệu nhẹ và bền hơn như sợi carbon.

Phát triển phần mềm thông minh: Tích hợp các thuật toán học máy để tối ưu hóa tự động hóa.

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã thiết kế và phát triển một mô hình xe điện điều khiển từ xa sử dụng năng lượng mặt trời, với mục tiêu ứng dụng năng lượng tái tạo trong giao thông và cải thiện hiệu suất năng lượng của xe điện. Mô hình sử dụng Arduino để điều khiển, kết hợp với bánh xe Mecanum cho khả năng di chuyển đa hướng và tấm pin mặt trời để sạc cho pin Li-ion 18650, qua đó giảm sự phụ thuộc vào nguồn điện lưới. Các kết quả nổi bật đạt được từ nghiên cứu bao gồm:

- Mô hình xe có thể hoạt động ổn định từ 3 – 4 giờ trong điều kiện thời tiết tốt và duy trì hoạt động khoảng 2 giờ khi sử dụng pin lưu trữ.
- Hệ thống điều khiển từ xa qua Bluetooth hoạt động ổn định trong phạm vi 15m, cho phép xe di chuyển đa hướng linh hoạt.

– Xe có thể chịu tải trọng lên đến 3kg, chứng minh khả năng vận hành tốt trong các điều kiện thử nghiệm thực tế.

– Năng lượng mặt trời cung cấp nguồn năng lượng liên tục cho xe, giúp xe có thể hoạt động mà không cần sạc từ lưới điện trong điều kiện ánh sáng đầy đủ.

Mô hình này có tiềm năng phát triển thành các phương tiện điện áp mái, có thể hoạt động độc lập

mà không cần trạm sạc hoặc chỉ cần hạn chế việc sạc từ các trạm sạc truyền thống. Điều này sẽ rất hữu ích, đặc biệt là đối với các khu vực vùng sâu, vùng xa nơi không có trạm sạc hoặc các cơ sở hạ tầng năng lượng truyền thống. Việc phát triển xe điện áp mái sẽ giúp giải quyết vấn đề "hết pin" khi di chuyển xa, mở rộng phạm vi ứng dụng trong các lĩnh vực như vận chuyển hàng hóa nhỏ, nông nghiệp, và các hoạt động ngoài trời.

TÀI LIỆU THAM KHẢO (REFERENCES)

- Azam, F., Priyadarshi, N., Nagar, H., Kumar, S., & Bhoi, A. K. (2021). An overview of solar-powered electric vehicle charging in vehicular adhoc network. In *Electric Vehicles: Modern Technologies and Trends*, N. Patel, A. K. Bhoi, S. Padmanaban, and J. B. Holm-Nielsen Eds. Singapore: Springer Singapore, 2021 (pp. 95-102).
https://doi.org/10.1007/978-981-15-9251-5_5
- Ariyansyah, Q., & Ma'arif, A. (2023). DC motor speed control with PID control (Proportional Integral Derivative) on the prototype of a mini-submarine. *Journal of Fuzzy Systems and Control*, 1(1), 18-24.
<https://doi.org/10.59247/jfsc.v1i1.26>
- Ebhota, W. S., & Jen, T.-C. (2020). Fossil fuels environmental challenges and the role of solar photovoltaic technology advances in fast tracking hybrid renewable energy system. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 7(1), 97-117.
<https://doi.org/10.1007/s40684-019-00101-9>
- Hshop. (n.d.a). *18650 rechargeable battery 3.7VDC 2500mAh 5C*.
<https://hshop.vn/pin-sac-18650-3-7vdc-2500mah-5c>
- Hshop. (n.d.b). *Bluetooth transceiver module HC-05, selectable as master*.
<https://hshop.vn/mach-thu-phat-bluetooth-hc-05-do-ra-chon-master>
- Hshop. (n.d.c). *DC motor driver module L298*.
<https://hshop.vn/mach-dieu-khien-dong-co-dc-l298>
- Heeraman, J., Kalyani, R., & Amala, B. (2024). Towards a sustainable future: Design and fabrication of a solar-powered electric vehicle. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1285(1), 2024 (pp.1-11).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1285/1/012035>
- Komoto, K., Hirota, T., Araki, K., Carr, A. J., Chabuel, F., Commault, B., Derks, FR., Ding, K., Duigou, T., Ekins-Daukes, N.J., Gaume, J., Kanz, O., Newman, B.K., Peibst, R., Reinders, A., Roman Medina, E., Sechilariu, M., Serra, L., Sierra, A. Valverde, A., Zurfluh, D. (2021). State-of-the-Art and Expected Benefits of PV-Powered Vehicles. *IEA PVPS Task 17, Report IEA-PVPS T17-01:2021*.
- LED-Diode Vietnam. (n.d.). *LM2596S dual USB step-down buck converter development board*.
<https://vn.led-diode.com/development-board/lm2596s-dual-usb-step-down-buck-converter.html>
- Prajapati, M. L., Gundaliya, P. J., & Sheth, A. (2020). Case study: Solar electric vehicles in India. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 937(1), 012033. IOP Publishing.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/937/1/012033>
- Raizada, A., Ojha, G., Kumar, M., Rana, A., & Channi, H. K. (2017). Bluetooth Remote Controlled Car using Arduino. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 3(8), 309-312. DOI: 10.1177/2055668316668792
- Rissanen, H., Mahonen, J., Haataja, K., Johansson, M., Mielikainen, J., & Toivanen, P. (2009). Designing and implementing an intelligent Bluetooth-enabled robot car. In *2009 IFIP International Conference on Wireless and Optical Communications Networks* (pp. 1-6).
<https://doi.org/10.1109/WOCN.2009.5010563>
- Sathees, T., Prasanth, M., Sriram, M., Premnath, S., & Thirusenthilnathan, D. (2023). Design and Analysis of Four Wheel Drive Electric Vehicle. In *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 11(4), (pp. 255-259).
<https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.50047>
- Thegioiic. (n.d.a). *Arduino Uno R3 ATmega328*.
<https://www.thegioiic.com/arduino-uno-r3-atmega328>
- Thegioiic. (n.d.b). *18650 2S 2A Type-C boost charging board to 8.4V*.
<https://www.thegioiic.com/mach-tang-ap-sac-pin-18650-2s-2a-type-c-sang-8-4v>

- Thegioiic. (n.d.c). *TCRT5000 – 5 channel distance sensor 10-15mm*.
<https://www.thegioiic.com/tcrt5000-cam-bien-do-line-5-kenh-khoang-cach-10-15mm>
- Tao, N. Q., Anh, L. V., & Quan, L. H. (2020). Research, designing testing system use solar energy for electric vehicles. *Journal of Science and Technology*, 56(1), 72–75.
- Tazay, A. F. (2021). Design and Implementation of Solar Powered Electric Vehicle for On-Campus University Applications. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 10(10), pp. 920-927.
<https://doi.org/10.17577/IJERTV10IS100132>.
- Wirawan, N. T. (2018). Utilization of smartphones in wheeled robots for monitoring the distance of robots to obstacles using Bluetooth HC-05 as a communication medium. *UPI YPTK Journal of Computer and Information Technology (Jurnal KomTekInfo)*, 5(1), 110-121.
- Xu, J., Liu, B., Wang, X., & Hu, D. (2016). Computational model of 18650 lithium-ion battery with coupled strain rate and SOC dependencies. *Applied Energy*, 172, 180-189.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.03.108>
- Zanofa, A. P., Arrahman, R., Bakri, M., & Budiman, A. (2020). Automatic gate control system based on Arduino UNO R3 microcontroller. *JTIKOM*, 1(1), 22-27.