



Tạp chí điện tử
Khoa học và Công nghệ Giao thông
Trang website: <https://jstt.vn/index.php/vn>



Article info

Type of article:

Original research paper

DOI:

<https://doi.org/10.58845/jstt.utt.2026.vn.6.1.73-86>

***Corresponding author:**

Email address:

he.ngovan@hust.edu.vn

Received: 19/01/2026

Received in Revised Form:
08/03/2026

Accepted: 10/03/2026

Design and implementation of a control system using hand tracking on model cars

Quach Minh Duc, Nguyen Tan Hung, Pham Thi Thanh Huong, Nguyen Dong, Ngo Van He*

School of Mechanical Engineering, Hanoi University of Science and Technology, Hanoi, Vietnam

Abstract: In recent years, hand-tracking technology, which enables real-time hand gesture detection and recognition, has rapidly advanced thanks to progress in computer vision, deep learning, and high-performance embedded hardware platforms. One promising application of this technology is remote vehicle control, particularly for RC cars and mobile robots, where it can serve as an alternative to traditional controllers such as joysticks, gamepads, or physical buttons, offering a more natural and intuitive interaction interface. The present research presents the design and implementation of a hand-tracking-based control system for remotely operated vehicles, especially model cars, mobile robots, and small autonomous vehicles, with the aim of moving toward practical applications in research-oriented remote control systems.

Keywords: hand tracking, remote vehicle control, control system, mobile robot, small autonomous vehicles.



Thông tin bài viết
Dạng bài viết:
Bài báo nghiên cứu

DOI:

<https://doi.org/10.58845/jstt.utt.2026.vn.6.1.73-86>

*Tác giả liên hệ:

Địa chỉ Email:

he.ngovan@hust.edu.vn

Ngày nộp bài: 13/02/2026

Ngày nộp bài sửa: 06/02/2026

Ngày chấp nhận: 11/03/2026

Nghiên cứu thiết kế và thực thi hệ thống điều khiển sử dụng Hand Tracking trên xe mô hình

Quách Minh Đức, Nguyễn Tấn Hùng, Phạm Thị Thanh Hương, Nguyễn Đông, Ngô Văn Hệ*

Trường Cơ khí, Đại học Bách khoa Hà Nội, Hà Nội, Việt Nam

Tóm tắt: Trong những năm gần đây, công nghệ theo dõi và nhận dạng cử chỉ tay (Hand Tracking) đã phát triển mạnh mẽ nhờ vào sự tiến bộ của thị giác máy tính, học sâu (Deep learning) và các nền tảng phần cứng nhúng hiệu năng cao. Một trong những ứng dụng tiềm năng của công nghệ này là điều khiển phương tiện từ xa, đặc biệt trong lĩnh vực xe mô hình (RC car) và robot di động, nhằm mục tiêu thay thế các thiết bị điều khiển truyền thống như tay cầm, cần điều khiển hoặc phím bấm, hướng đến một giao diện tự nhiên và trực quan hơn. Trong nghiên cứu này, kết quả nghiên cứu mô phỏng trên máy tính và thực nghiệm với mô hình xe bốn bánh thực thi hệ thống điều khiển ứng dụng hand tracking điều khiển phương tiện từ xa, đặc biệt là các xe mô hình, robot di động hoặc ô tô nhỏ, được thực hiện. Kết quả nghiên cứu này nhằm hướng tới ứng dụng thực tế cho các phương tiện điều khiển từ xa phục vụ nghiên cứu.

Từ khóa: Hand tracking, xe điều khiển từ xa, hệ thống điều khiển, robot di động, phương tiện tự hành cỡ nhỏ.

1. Giới thiệu

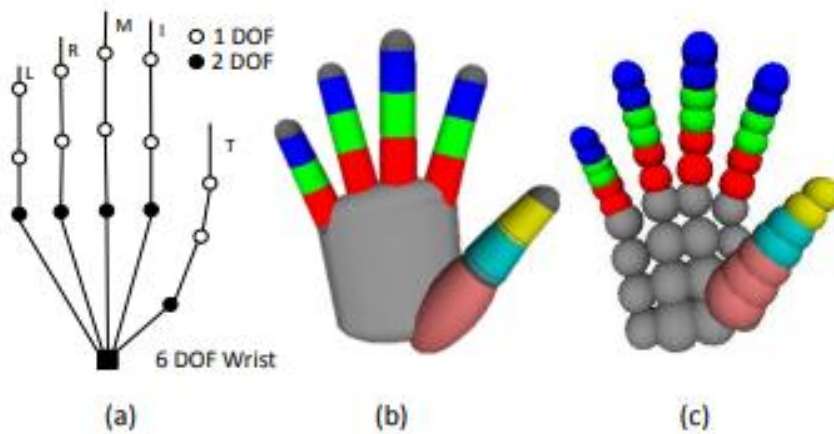
Các hệ thống thực tế ảo nhập vai (iVR: Immersive Virtual Reality) gần đây đã chứng kiến sự tăng trưởng mạnh mẽ do chi phí phần cứng giảm và nhiều trường hợp sử dụng phần mềm. Trong các mẫu sản phẩm dạng kính thực tế ảo đội đầu (HMD: Oculus Rift Head-Mounted Display) đầu tiên dành cho người tiêu dùng, các tương tác với môi trường, một đặc điểm chính của iVR, thường được thực hiện bằng bộ điều khiển cầm tay [1]. Bàn tay được hình dung trong các trò chơi và ứng dụng, không thường xuyên, trong một loạt các tư thế hạn chế dựa trên vị trí ngón tay, được cho là do tiếp xúc với các nút kích hoạt và nút trên các bộ điều khiển này. Mặc dù khả năng hình dung vị trí của từng ngón tay có thể thực hiện được bằng thiết bị theo dõi chuyển động bên ngoài hoặc thiết

bị ngoại vi "dataglove" đo góc và độ xoay của khớp ngón tay, nhưng các công nghệ này lại quá đắt và không đáng tin cậy nếu không được hiệu chuẩn cẩn thận. Một bước thay đổi trong việc theo dõi bàn tay đã được thực hiện (LMT: Leap Motion Tracker) [2], một bộ phát hồng ngoại nhỏ được đóng gói và camera quang học được phát triển với mục tiêu giúp mọi người tương tác với máy tính để bàn bằng cách ra hiệu trên màn hình. Thiết bị này rất nhỏ, không cần nguồn điện bên ngoài và có thể theo dõi chuyển động của từng ngón tay trong ba chiều bằng hệ thống camera âm thanh nổi với độ chính xác hợp lý. Những cải tiến đáng kể trong phần mềm, có lẽ là thông qua việc sử dụng thông minh động học nghịch đảo, cùng với bộ công cụ phát triển phần mềm miễn phí và lượng người dùng đông đảo trong cộng đồng phát triển ứng dụng và

công cụ trò chơi thực tế ảo, đã dẫn đến sự gia tăng các tiện ích bổ sung theo dõi bàn tay có thể truy cập và các trải nghiệm được thiết kế riêng cho iVR. Kể từ đó, theo dõi bàn tay đã được nhúng vào phần cứng của các thế hệ HMD, iVR gần đây (ví dụ: phiên bản đầu tiên và thứ hai của ứng dụng này (OQ: Oculus Quest) [3]) thông qua cái gọi là theo dõi "bên trong ra ngoài" và có vẻ như sẽ tiếp tục phát triển với các công nghệ mới nổi như điện cơ

đồ đeo cổ tay. Trong bài báo này, nhóm nghiên cứu trình bày một số kết quả và sẽ phân tích ngắn gọn các trường hợp sử dụng chính của việc theo dõi bàn tay trong VR, sau đó thảo luận chi tiết về các vấn đề và thách thức nổi bật mà các nhà phát triển cần ghi nhớ, lưu ý khi phát triển theo hướng ứng dụng này.

Hình 1 thể hiện ví dụ về mô hình theo dõi cử chỉ tay (HK: Hand Tracking).



Hình 1. Các mô hình theo dõi cử chỉ tay

Điều khiển bằng cử chỉ tay đã trở thành một tính năng không thể thiếu của các thế hệ màn hình thực tế ảo gắn trên đầu gần đây. Với việc áp dụng rộng rãi tính năng này, các kỹ sư phần cứng và nhà phát triển phần mềm phải đối mặt với vô số cơ hội thú vị cũng như một số thách thức, chủ yếu liên quan đến người dùng [4-12].

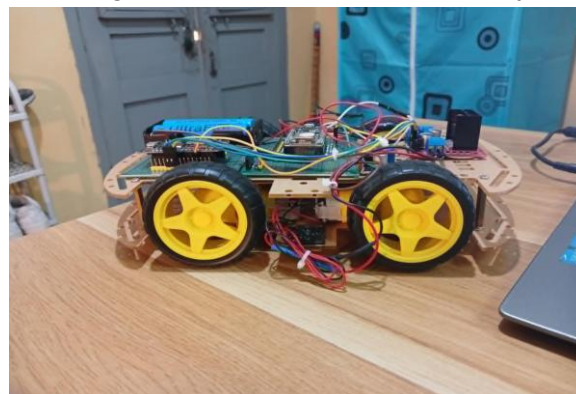
Trong nghiên cứu này, nhóm nghiên cứu thực hiện nghiên cứu về các chức năng chính của HK để tăng thêm giá trị thực tế ảo, cũng như một số thách thức mà công nghệ này đem lại, đồng thời thực hiện thiết kế và thực thi hệ thống điều khiển

cho mô hình xe ô tô điều khiển từ xa sử dụng cử chỉ tay.

2. Mô hình điều khiển, phương pháp nghiên cứu và công cụ điều khiển cử chỉ tay

2.1. Mô hình điều khiển

Trong nghiên cứu này, nhóm nghiên cứu sử dụng phương pháp nghiên cứu lý thuyết kết hợp thực nghiệm để thực hiện nghiên cứu thiết kế và thực thi hệ thống điều khiển sử dụng HK cho xe ô tô điều khiển từ xa. Hình 2 thể hiện mô hình xe ô tô điều khiển từ xa được thiết kế và ứng dụng điều khiển cử chỉ tay.



Hình 2. Mô hình thiết kế xe điều khiển từ xa sử dụng trong nghiên cứu

2.2. Phương pháp nghiên cứu và công cụ điều khiển bằng cử chỉ tay

Phương pháp nghiên cứu được sử dụng trên cơ sở lý thuyết điều khiển với ứng dụng cử chỉ tay, xử lý ảnh thời gian thực. Phương pháp này nhằm thu thập thông tin cử chỉ bàn tay thông qua camera, từ đó giải mã đồng thời chuyển đó thành tín hiệu để có thể gửi đến cho các thiết bị từ xa như xe, thiết bị thông minh,.. [4, 6-10]. Với công cụ HK, như thể hiện trên Hình 3, ứng dụng trong thiết kế hệ điều khiển xe ô tô điều khiển từ xa được áp dụng bao gồm một số công đoạn cụ thể như sau:

+ Phát hiện tay trong ảnh hoặc video: theo đó, lệnh điều khiển sẽ được thực thi theo cử chỉ hay hình ảnh camera điều khiển thu thập được.

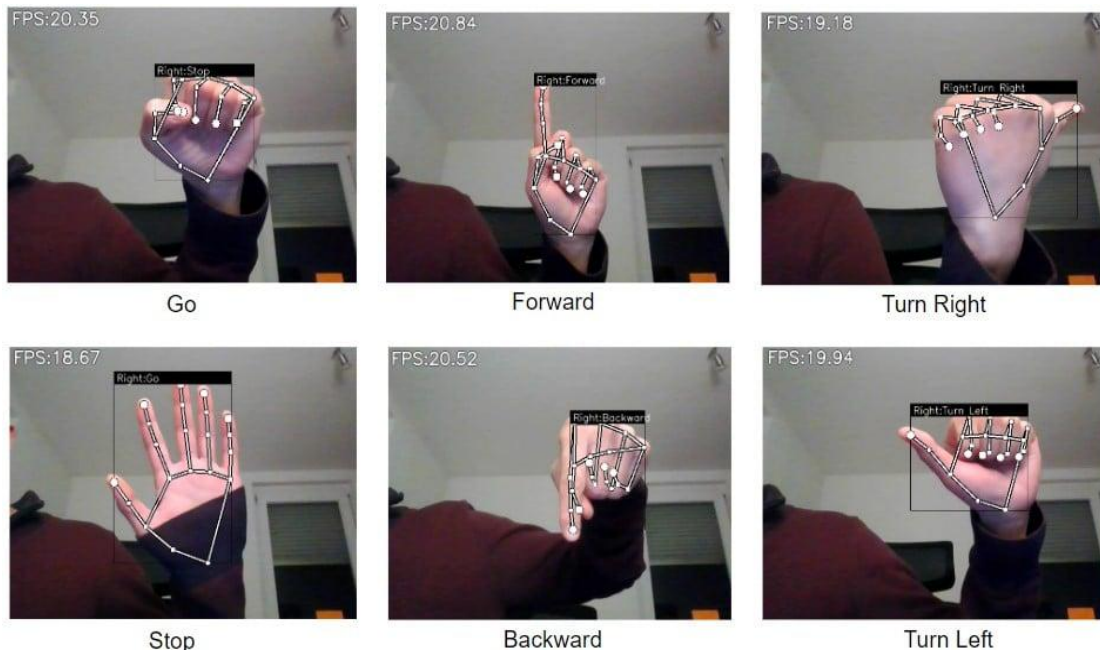
+ Theo dõi các điểm khớp của bàn tay [4].
 + Nhận dạng cử chỉ để ánh xạ thành lệnh điều khiển.

Các kỹ thuật chính bao gồm:

+ Theo dõi dựa trên thị giác (Vision-based tracking, sử dụng camera RGB): phổ biến nhờ chi phí thấp, dễ tích hợp (VD: OpenCV, MediaPipe).

+ Theo dõi dựa trên thọc sâu (Depth-based tracking, dựa vào camera chiều sâu): chính xác hơn nhưng yêu cầu phần cứng cao (VD: Intel RealSense, Kinect) [6, 7].

+ Theo dõi dựa trên cảm biến (Sensor-based tracking, găng tay cảm biến IMU, EMG): độ chính xác cao, chi phí lớn, ít phổ biến trong dự án dân dụng [5, 8].



Hình 3. Minh họa sử dụng cử chỉ tay HK trên xe điều khiển từ xa

Trong nghiên cứu này, phương pháp lý thuyết điều khiển được sử dụng làm nền tảng để phát triển hệ thống có khả năng nhận diện và phản hồi theo chuyển động tay người. Đây là một phương pháp tiếp cận hiện đại trong lĩnh vực robot tương tác giữa người và máy.

3. Thiết kế bộ điều khiển sử dụng cử chỉ tay cho xe ô tô điều khiển từ xa

3.1. Lựa chọn phần cứng bộ điều khiển

Bộ điều khiển là mạch Wi-Fi tích hợp phổ biến, giúp kết nối các thiết bị điện tử với mạng Wi-Fi một cách dễ dàng. Khả năng thu nhận tín

hiệu qua Wi-Fi:

- ESP8266 có khả năng kết nối với Wi-Fi và giao tiếp với các thiết bị khác qua mạng Internet, cho phép điều khiển xe từ xa qua một ứng dụng di động hoặc một giao diện web.

- ESP8266 không có khả năng nhận diện cử chỉ bàn tay trực tiếp, nhưng có thể kết nối với các cảm biến ngoài như cảm biến hồng ngoại, cảm biến siêu âm hoặc camera.

- Trong bài này, nhóm sử dụng camera điện thoại để nhận diện cử chỉ bàn tay, sau đó truyền tín hiệu qua Wi-Fi để điều khiển mạch.

Nguồn điện:

- ESP8266 sử dụng 2 nguồn là 3.3VDC và 5V
- Nguồn 3.3VDC có thể được cấp trực tiếp qua GPIO
- Nguồn 5V có thể được cấp qua cổng USB, qua một bộ điều chỉnh LDO (LDO: Low-dropout regulator) để giảm điện áp từ 5V xuống 3.3V.
- Dòng điện ra tối đa từ cổng Logic là 3.3VDC, 12mA

Tín hiệu đầu vào:

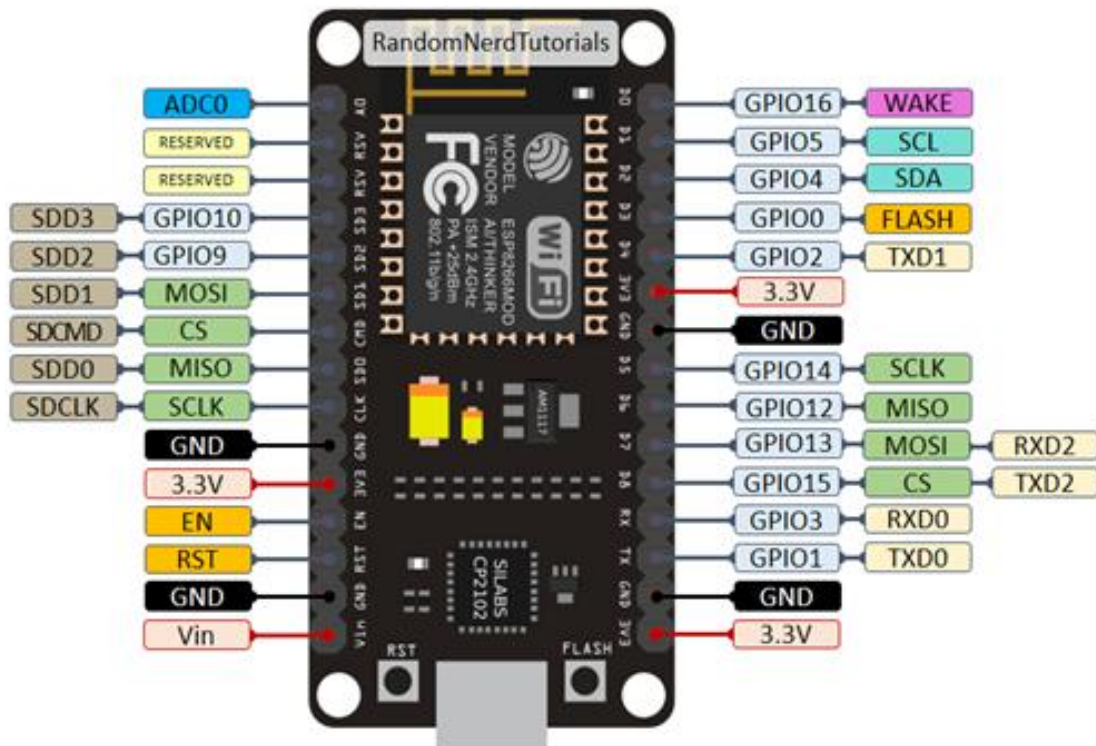
- Tín hiệu Logic: ESP8266 có thể nhận tín hiệu HIGH, LOW từ các thiết bị khác, HIGH tương đương với 1, khoảng 3.3 VDC và LOW tương đương với 0 VDC, khoảng xấp xỉ 0 VDC.
- Tín hiệu Analog: ESP8266 được trang bị một chân ADC (ADC: Analog to Digital Converter), cho phép nhận tín hiệu analog từ các thiết bị khác. Chân ADC có độ phân giải 10 bit, nghĩa là có thể

chuyển đổi tín hiệu analog từ 0 V đến 1 V thành tín hiệu digital từ 0 đến 1023.

Tín hiệu đầu ra:

- Tín hiệu Logic: ESP8266 có thể xuất tín hiệu HIGH (tương đương với 1, khoảng 3.3 VDC) và LOW (tương đương với 0 VDC, khoảng xấp xỉ 0 VDC).
- Tín hiệu PWM (PWM: Pulse Width Modulation): là một dạng tín hiệu số với chu kỳ bật/tắt thay đổi theo thời gian. Hỗ trợ điều chỉnh độ sáng của LED hoặc tốc độ quay của động cơ DC.

Trong nghiên cứu này, để thực thi hệ thống điều khiển cho xe điều khiển từ xa sử dụng HK, nhóm nghiên cứu sử dụng mạch ESP8266 được cấp nguồn 3V qua chân Vin3.3V, xuất xung PWM đến mạch điều khiển motor qua GPIO12, 13, 14, 15 và GPIO05. Hình 4 thể hiện mạch ESP8266.



Hình 4. Mạch điều khiển ESP8266

3.2. Nguồn cấp điện

Để thực thi hệ thống điều khiển cho mô hình xe sử dụng trong nghiên cứu, nhóm nghiên cứu sử dụng nguồn cung cấp năng lượng với 02 pin 18650, 3.7 V mắc song song như thể hiện trên Hình 5. Tổng nguồn cấp là 7.4 V, bên cạnh đó sử

dụng thêm mạch hạ áp DC-DC LM2596-ADJ 3A để cấp nguồn cho mạch điều khiển ESP8266. Trong nghiên cứu này, nhóm nghiên cứu sử dụng bộ điều chỉnh cấp nguồn 3VDC và cường độ dòng 3A cho mạch ESP8266. Bảng 1 thể hiện phân bố điện áp vào và ra của mạch hạ áp.

Bảng 1. Phân bố điện áp đầu vào và ra của mạch hạ áp

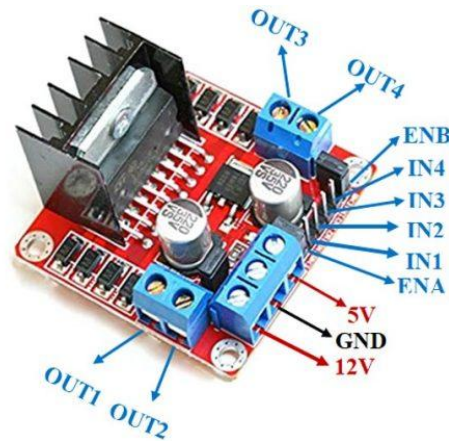
Điện áp ra (V)	Cường độ dòng (A)	Điện áp vào tối đa (V)
3.3	3	5
		7
		10
	2	6
		10
		40

3.3. Mạch động cơ L298

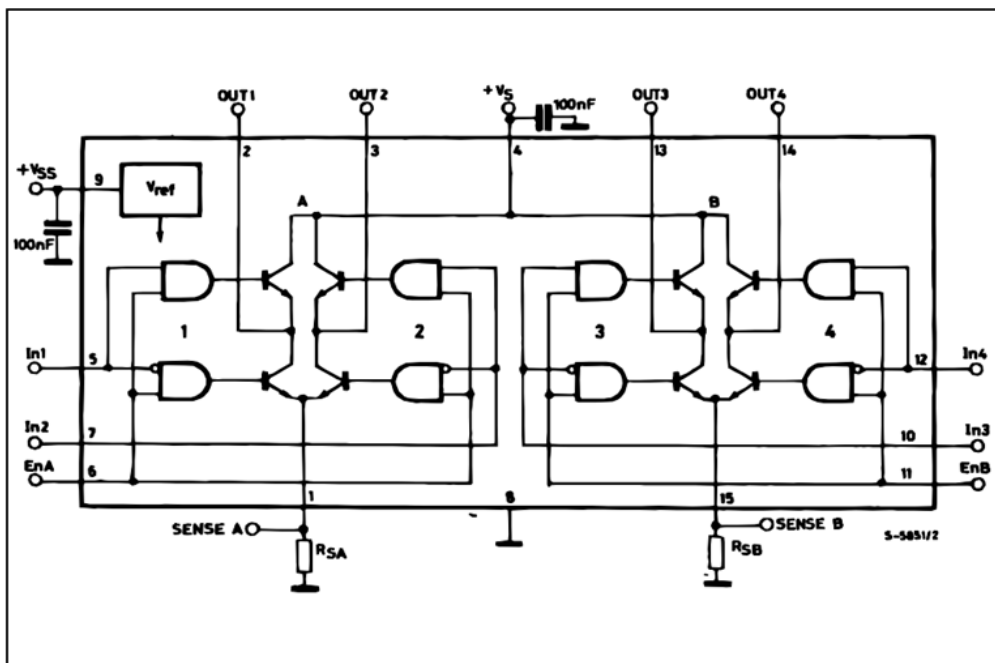
L298 là mạch IC tích hợp, được sử dụng để điều khiển động cơ DC và động cơ bước. Nó sử dụng mạch cầu H, có khả năng điều khiển hướng và tốc độ quay của nhiều nhất 2 động cơ. Tuy

nhiên, trong nghiên cứu này, để phù hợp với nhu cầu điều khiển xe 4 bánh, mỗi đầu ra của thiết bị sẽ được nối với 2 động cơ điều khiển ổn định.

Hình 6 và 7 thể hiện mạch L298 DC, thông số mạch thể hiện trong Bảng 2.



Hình 6. Hình ảnh mạch L298 DC



Hình 7. Sơ đồ khối của L298

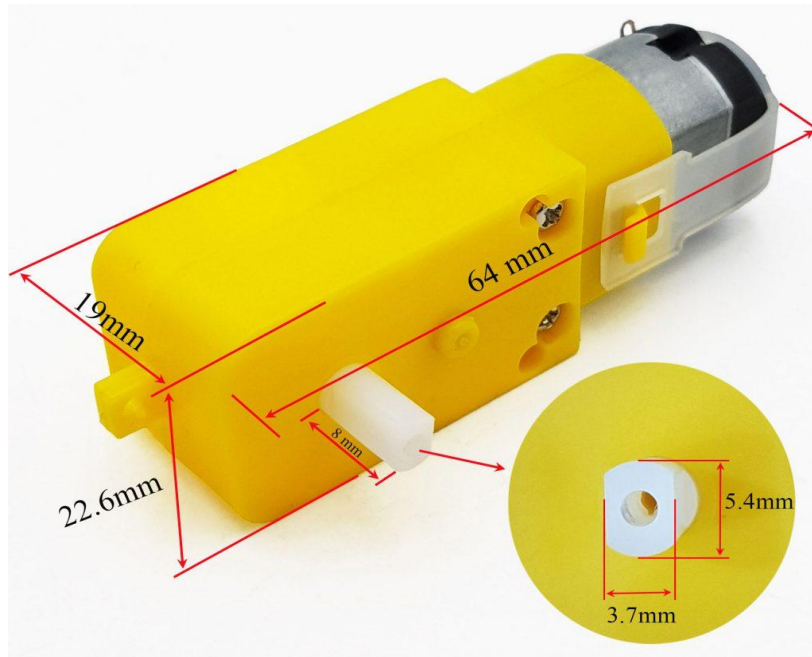
Bảng 2. Thông số cơ bản của mạch L298 DC

Ký hiệu	Thông số	Giá trị	Đơn vị
V_s	Nguồn đầu vào	50	V
V_{ss}	Nguồn logic	7	V
V_l, V_{en}		-0.3 tới 7	V
I_o	Dòng điện xuất ra tối đa mỗi kênh		
	- Không lặp lại ($t=100$ micro s):	3	A
	- Lặp lại (80% bật-20% tắt):	2.5	A
	- Vận hành trên dòng DC:	2	A
V_{sens}	Hiệu điện thế cảm ứng	-1 đến 2.3	V
P_{tot}	Công suất tổng	25	W
T_{op}	Nhiệt độ vận hành	-25 đến 130	°C
T_{stg}, T_j	Nhiệt độ bảo quản	-40 đến 150	°C

3.4. Động cơ sử dụng

Trong nghiên cứu này, nhóm nghiên cứu sử

dụng 4 động cơ giảm tốc 2 trục như thể hiện trong Hình 8, thông số cụ thể trong Bảng 3.



Hình 8. DC motor giảm tốc 2 trục

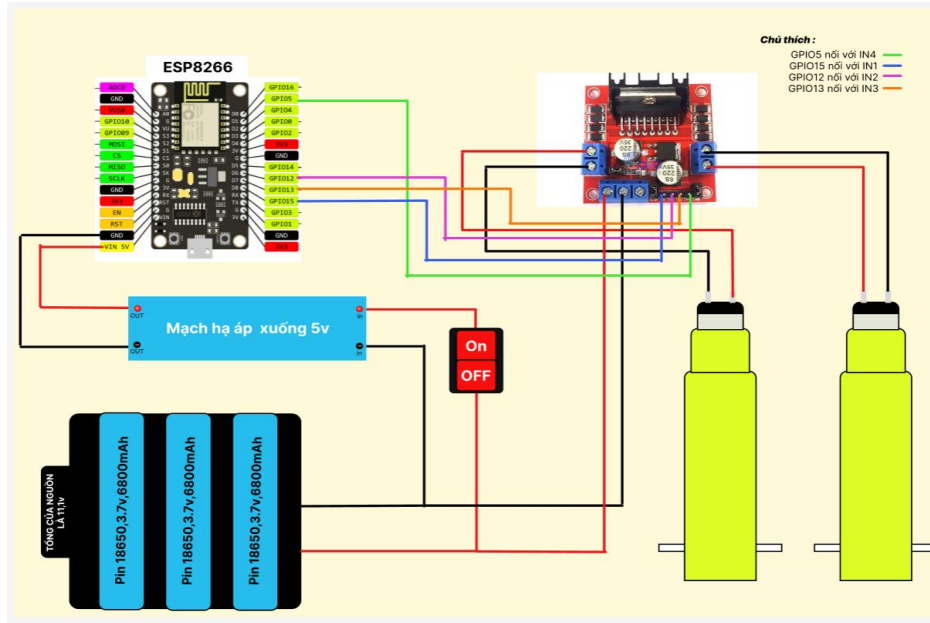
Bảng 3. Thông số điện áp của động cơ

Thông số	Giá trị	Đơn vị
Điện áp	3-12	VDC
Cường độ dòng tối đa	250 (3V)	mA
Momen xoắn	800	gfcM
Tỉ số truyền	1:48	
Tốc độ	125 (3VDC)	rpm
	208 (5VDC)	
Kích thước	64×19×22.6	mm
Trọng lượng	27	g

3.5. Sơ đồ mạch điều khiển của xe

Hình 9 thể hiện sơ đồ mạch điều khiển của

xe sử dụng trong nghiên cứu. Với các mạch điều khiển thành phần ESP8266, L298 DC và sơ đồ kết nối động cơ, nguồn.



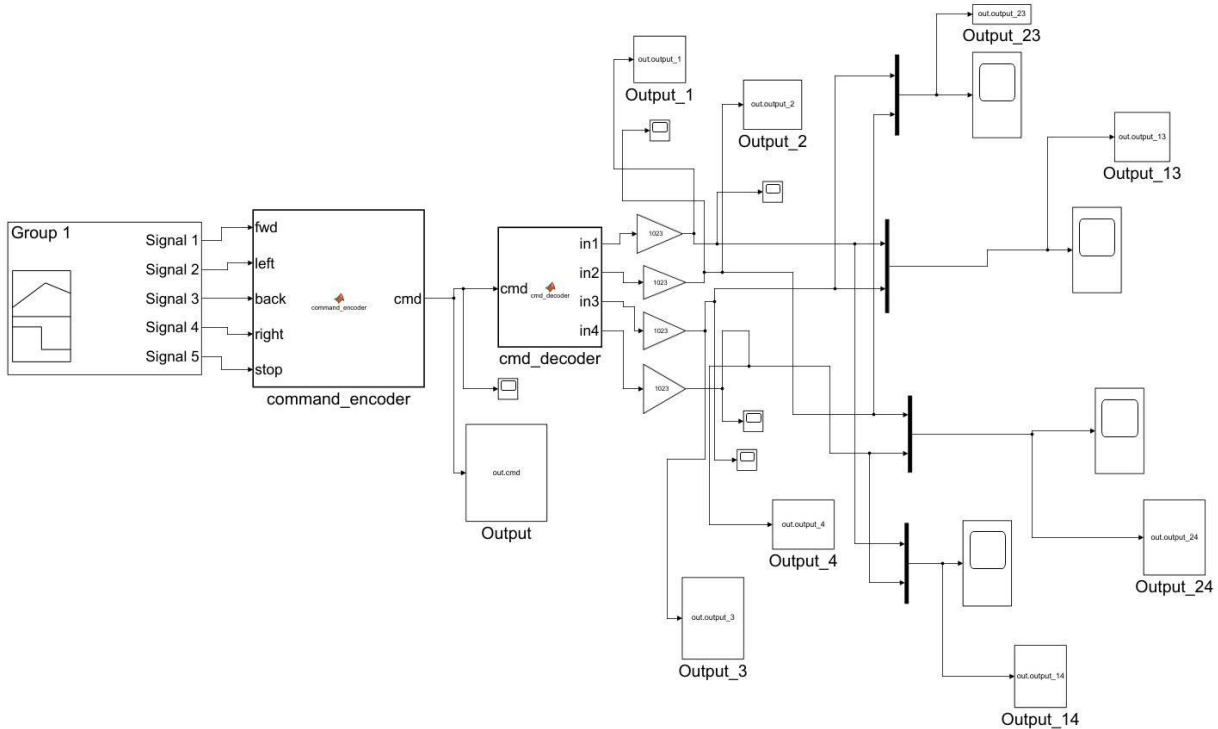
Hình 9. Sơ đồ mạch của xe điều khiển sử dụng cử chỉ tay

4. Phương án điều khiển sử dụng trong nghiên cứu

4.1. Mô phỏng dạng tín hiệu của xe

Nghiên cứu sử dụng phương pháp mô phỏng dựa trên mô hình (MBS: Model-based Simulation)

trong công cụ mô phỏng Simulink. Hệ thống được phân tách thành các khối chức năng, mỗi khối biểu diễn một thành phần cơ – điện – điều khiển. Các tín hiệu được truyền theo cấu trúc hướng khối, cho phép quan sát luồng thông tin và phản hồi của hệ thống, như thể hiện trong Hình 10.



Hình 10. Mô phỏng trạng thái chuyển động của xe trên Simulink

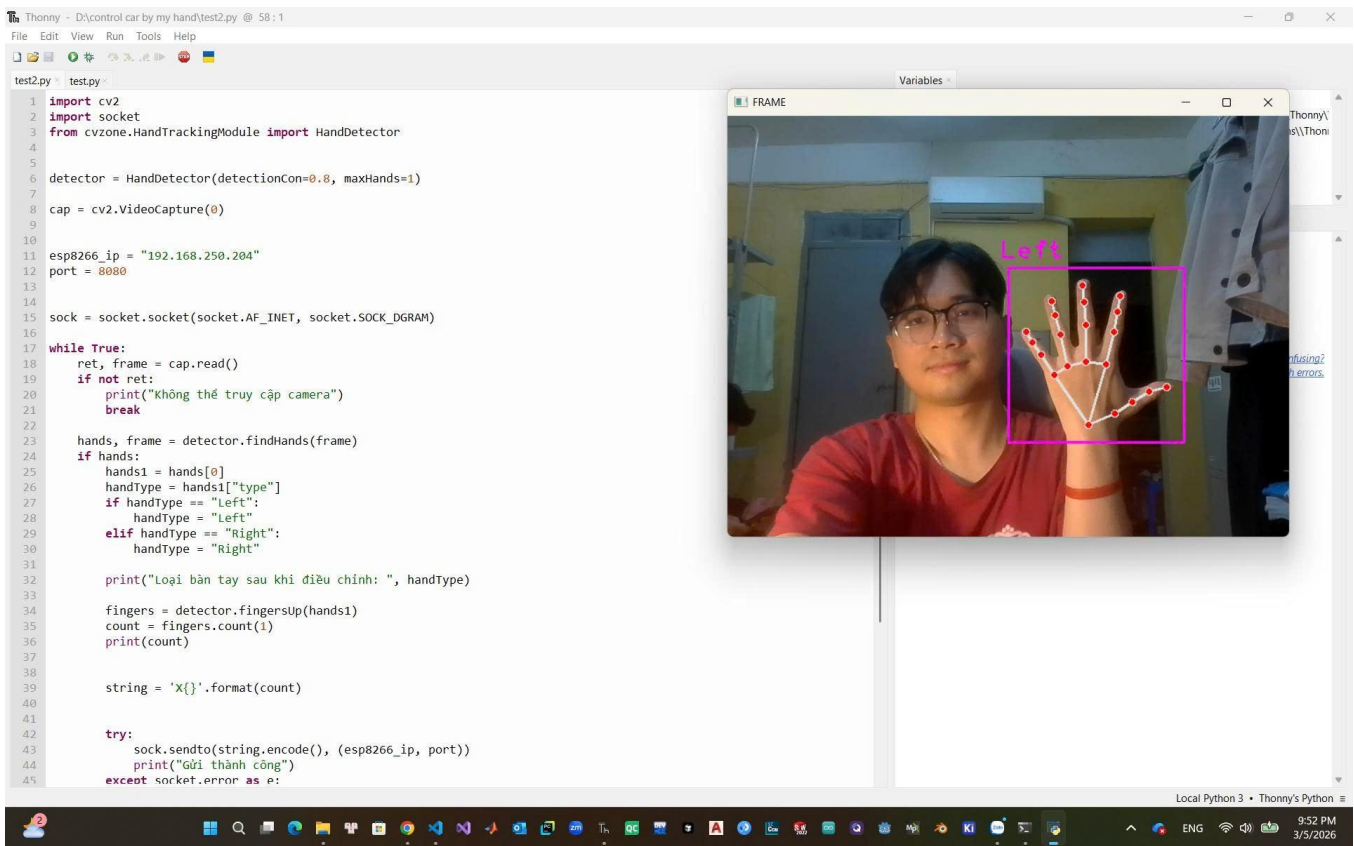
4.2. Phương pháp thực nghiệm trên hệ thống thực

Sử dụng thư viện mã nguồn mở (OpenCV: Open Source Computer Vision Library), là một thư viện mã nguồn mở chuyên dùng trong xử lý ảnh và thị giác máy tính. Công nghệ cung cấp các công cụ và thư viện để phân tích và xử lý hình ảnh, video, từ việc xác định các đối tượng trong ảnh đến việc nhận diện khuôn mặt hoặc theo dõi chuyển động khác. Hệ thống OpenCV cung cấp các thuật toán và công cụ mạnh mẽ được sử dụng để phát hiện, phân tích hình ảnh. Ngoài ra, công cụ còn được sử

dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực liên quan đến thị giác máy tính, robot và xe tự động.

Trong nghiên cứu này, nhóm nghiên cứu sử dụng OpenCV để gửi lệnh đến xe tự hành thông qua cử chỉ tay của con người. Nhóm nghiên cứu thực hiện việc viết lệnh điều khiển trên ứng dụng máy tính với môi trường giả lập mạnh mẽ, đó là phần mềm Ubuntu.

Dưới đây là kết quả thu được khi thử nghiệm trên môi trường Ubuntu. Hình 11 thể hiện minh họa thuật toán và chương trình điều khiển xe điều khiển từ xa sử dụng cử chỉ tay.



Hình 11. Giao diện điều khiển sử dụng cử chỉ tay

Nhóm nghiên cứu sử dụng hình thức truyền lệnh điều khiển cho xe tự hành thông qua giao thức UDP (User Datagram Protocol). Theo định nghĩa, UDP là một trong hai giao thức truyền thông cơ bản trong mạng (IP: Internet Protocol), kèm với giao thức truyền tệp lớp giao vận (TCP). UDP đã được phát triển để hỗ trợ các ứng dụng truyền thông thời gian thực, như video, âm thanh và trò chơi trực tuyến. Nó cung cấp dịch vụ truyền thông không kết nối, không đảm bảo và không kiểm tra lại việc gửi hoặc nhận dữ liệu giữa các máy tính trên mạng.

Nhóm nghiên cứu sử dụng hai địa chỉ chính trong nghiên cứu, gồm người điều khiển và xe điều khiển từ xa. Với địa chỉ của người điều khiển, nhóm nghiên cứu đã thực hiện việc viết chương trình điều khiển trong phần mã code tương ứng trên Hình 12. Với xe điều khiển từ xa, chương trình điều khiển được viết thông qua phần mềm hỗ trợ tương ứng là Arduino với ngôn ngữ chủ yếu tương tự như ngôn ngữ lập trình C++. Hình 12 thể hiện chương trình điều khiển của xe điều khiển từ xa sử dụng trong nghiên cứu.

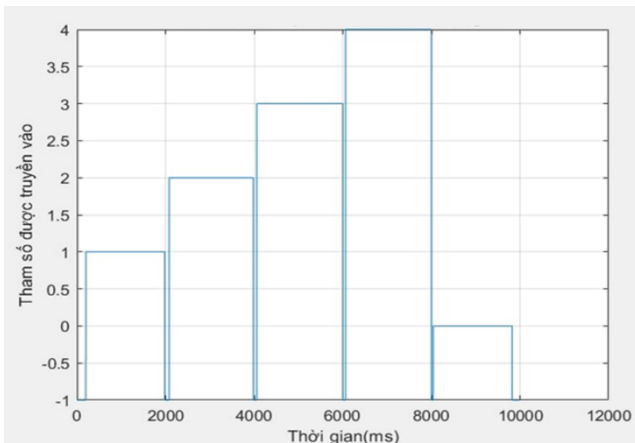
A screenshot of the Arduino IDE interface. The main window displays a C++ sketch named 'ket_noi_esp_qua_tcp.ino'. The code is as follows:

```
51 }
52
53 void loop() {
54   // Nhận dữ liệu từ Python (nếu có)
55   while (client.available()) {
56     char receivedChar = client.read();
57     if (receivedChar == '\n') {
58       Loading...; dữ liệu nhận được
59       int receivedNumber = receivedData.toInt(); // Chuyển đổi dữ liệu nhận được thành số
60       Serial.printf("Received number: %d\n", receivedNumber);
61
62       // Điều khiển các GPIO dựa trên số nhận được
63       switch (receivedNumber) {
64         case 0:
65           analogWrite(in1, 0);
66           analogWrite(in2, 0);
67           analogWrite(in3, 0);
68           analogWrite(in4, 0);
69           break;
70         case 1:
71           analogWrite(in1, 1023);
72           analogWrite(in2, 1023);
73           analogWrite(in3, 1023);
74           analogWrite(in4, 1023);
75           break;
76         case 2:
77           analogWrite(in1, 0);
78           analogWrite(in2, 0);
79           analogWrite(in3, 1023);
80           analogWrite(in4, 1023);
81           break;
82         case 3:
83           analogWrite(in1, 1023);
84           analogWrite(in2, 1023);
85           analogWrite(in3, 0);
86           analogWrite(in4, 0);
87           break;
88         case 4:
89           analogWrite(in1, 1023);
90           analogWrite(in2, 0);
91           analogWrite(in3, 0);
92           analogWrite(in4, 0);
93           break;
94       }
95     }
96   }
97 }
```

Hình 12: Chương trình điều khiển cho xe điều khiển từ xa

Sau khi nhóm nghiên cứu hoàn thành những bước cần thiết và thực nghiệm. Dưới đây là hình ảnh xe tự hành đã di chuyển được theo thiết kế của người dùng với các quỹ đạo, hướng di chuyển theo yêu cầu. Tuy nhiên, trong quá trình nghiên cứu, thử nghiệm cho thấy tốc độ truyền tin phụ thuộc vào chất lượng của mạng Internet. Chính vì vậy, nhóm nghiên cứu sẽ tiếp tục thực hiện các nghiên cứu tiếp theo để làm rõ ảnh hưởng của vấn đề truyền thống này đối với hệ thống xe điều khiển từ xa nghiên cứu.

5. Kết quả nghiên cứu

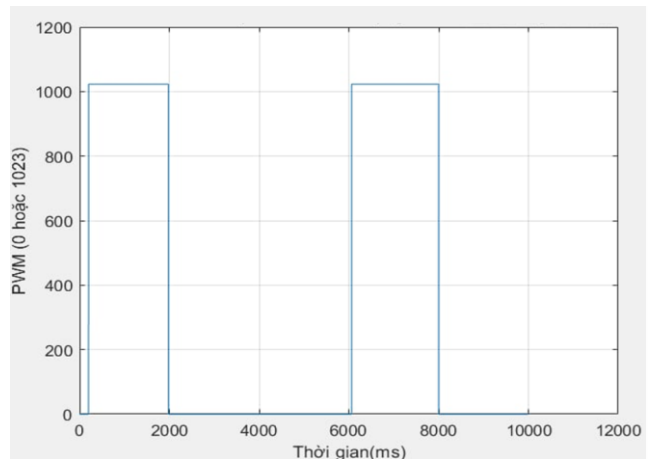


Hình 13. Các giá trị tham số đầu vào của xe

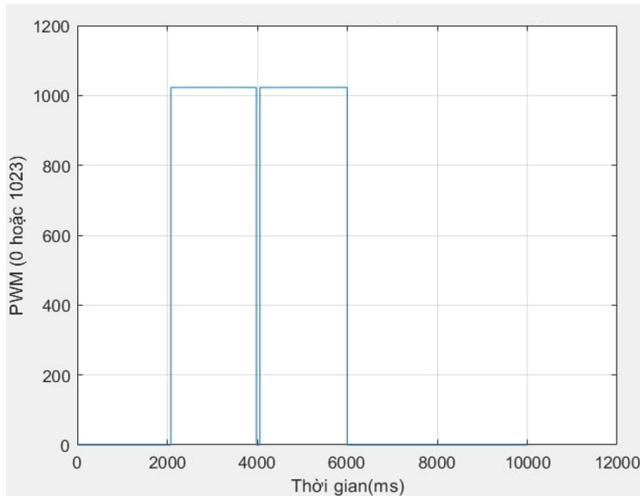
Trên cơ sở nghiên cứu thiết kế và thực thi chế tạo hệ thống điều khiển cho xe điều khiển từ xa sử dụng cử chỉ tay, nhóm nghiên cứu đã thu được một số kết quả liên quan đến vấn đề nghiên cứu được cụ thể như dưới đây.

5.1. Kết quả mô phỏng trên máy tính

Từ mô hình hệ thống được xây dựng trên máy tính, thực hiện mô phỏng trên Simulink, kết quả giá trị đầu ra của các động cơ tương ứng được thể hiện trên các biểu đồ tín hiệu đầu ra (Hình 13-16).



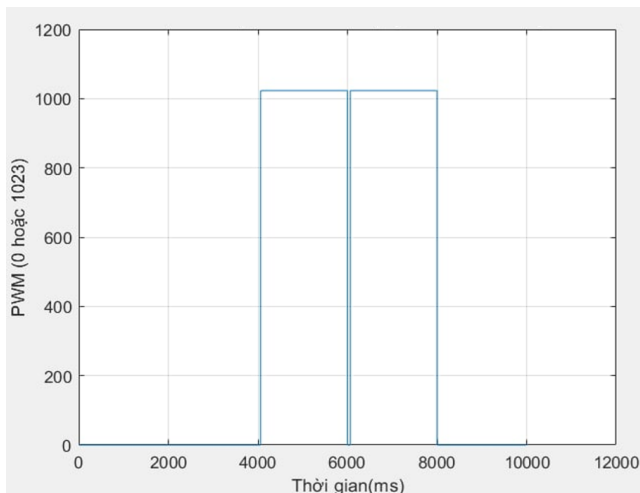
Hình 14. Giá trị đầu ra của động cơ 1



Hình 15. Giá trị đầu ra của động cơ 2

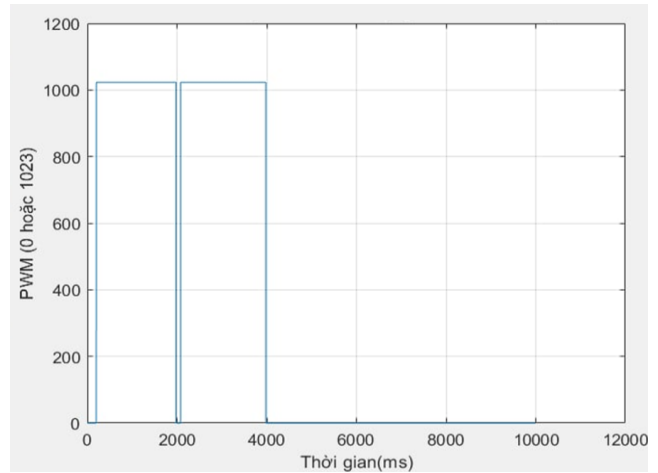
Kết quả thể hiện trên Hình 13-21, thể hiện mối quan hệ giữa tín hiệu đầu vào của hệ thống điều khiển và tín hiệu PWM điều khiển động cơ của xe theo thời gian trong quá trình mô phỏng. Trong Hình 13, tín hiệu đầu vào được thiết kế dưới dạng tín hiệu bậc thang với giá trị thay đổi theo từng khoảng thời gian nhằm mô phỏng các trạng thái điều khiển khác nhau của hệ thống và đánh giá khả năng đáp ứng của bộ điều khiển. Từ tín hiệu đầu vào này, hệ thống điều khiển sẽ phân phối tín hiệu PWM đến các động cơ của xe.

Kết quả thể hiện trên các Hình 14-21 cho



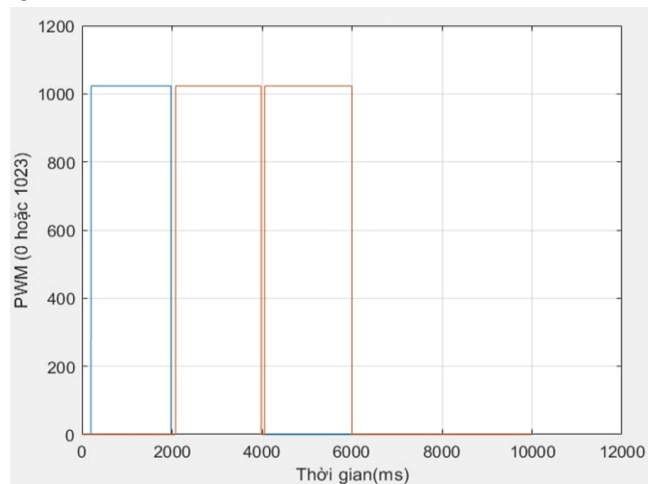
Hình 17. Giá trị đầu ra của động cơ 4

Kết quả mô phỏng cho thấy rằng khi tín hiệu đầu vào thay đổi, trạng thái hoạt động của các động cơ cũng thay đổi tương ứng. Điều này cho thấy bộ điều khiển có khả năng phản ứng nhanh và phân phối tín hiệu điều khiển hợp lý giữa các

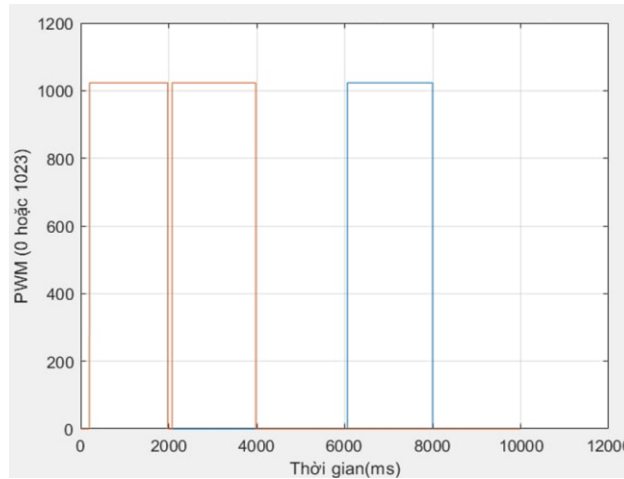


Hình 16. Giá trị đầu ra của động cơ 3

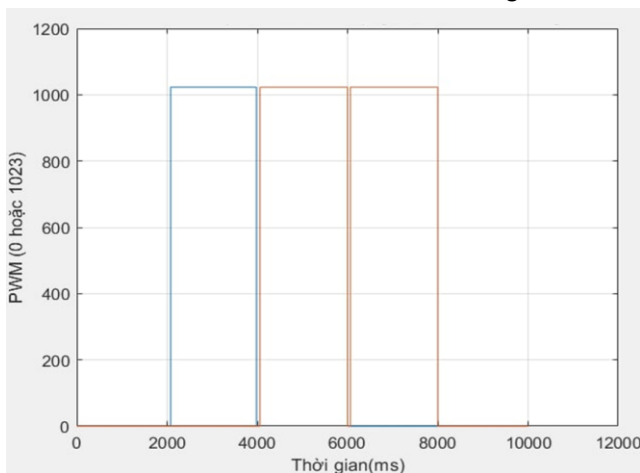
thấy mỗi động cơ được kích hoạt trong những khoảng thời gian khác nhau với giá trị PWM cực đại xấp xỉ 1023, tương ứng với mức công suất lớn nhất của động cơ. Sự thay đổi của các tín hiệu PWM phản ánh quá trình điều khiển xe di chuyển theo quỹ đạo đã lập trình (dạng hình chữ nhật), bao gồm các trạng thái chuyển động như tiến thẳng, rẽ tại các góc và dừng. Khi xe di chuyển thẳng, các động cơ hai bên được kích hoạt đồng thời với mức PWM tương đương, trong khi đó, khi xe thực hiện rẽ, tín hiệu PWM được phân bố khác nhau giữa các động cơ để tạo ra sự chênh lệch tốc độ quay giữa các bánh.



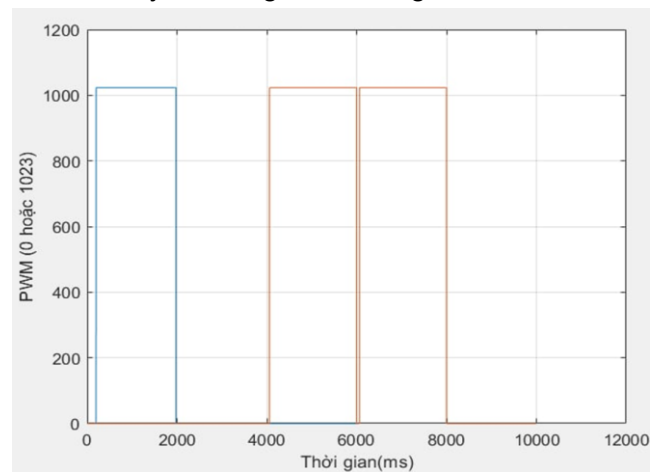
Hình 18. Giá trị của động cơ 2 và 3 khi xe rẽ trái động cơ, giúp xe thực hiện đúng quỹ đạo chuyển động mong muốn. Kết quả này chứng minh rằng mô hình điều khiển được xây dựng hoạt động ổn định và phù hợp cho bài toán điều khiển chuyển động của xe bốn bánh.



Hình 19. Giá trị của động cơ 1 và 3 khi xe di chuyển thẳng theo thời gian



Hình 20. Giá trị của động cơ 2 và 4 khi xe di chuyển lùi theo thời gian

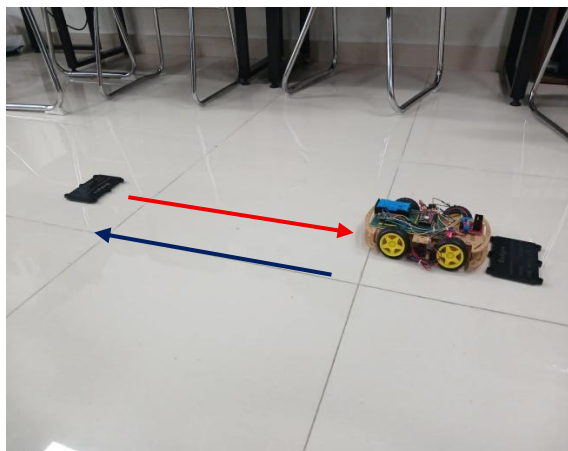


Hình 21. Giá trị của động cơ 1 và 4 khi xe rẽ phải theo thời gian

5.2. Kết quả thu được từ thực tế

Trên cơ sở mô hình xe được chế tạo, nhóm nghiên cứu tiến hành thí nghiệm. Quá trình thí nghiệm điều khiển xe bốn bánh bằng cử chỉ tay thông qua hệ thống nhận dạng hình ảnh được minh

họa theo các hình ảnh dưới đây. Trong thí nghiệm, camera được sử dụng để thu nhận hình ảnh bàn tay của người điều khiển, sau đó dữ liệu được xử lý trên máy tính để nhận dạng các cử chỉ và chuyển đổi thành tín hiệu điều khiển gửi đến xe.



Hình 22. Quỹ đạo thực tế của xe dựa trên nhu cầu của người điều khiển



Hình 23. Thực nghiệm mô hình xe điều khiển từ xa sử dụng công nghệ hand-tracking.

Hình 22 thể hiện quá trình xe thực hiện chuyển động tiến và lùi theo lệnh điều khiển được tạo ra từ cử chỉ tay, thể hiện qua các mũi tên chỉ hướng di chuyển. Điều này cho thấy hệ thống có khả năng nhận dạng và chuyển đổi cử chỉ thành lệnh điều khiển chuyển động cơ bản của xe.

Trong Hình 23, quá trình điều khiển xe bằng cử chỉ tay được thực hiện trực tiếp thông qua máy tính, nơi hiển thị hình ảnh nhận dạng bàn tay và xử lý tín hiệu điều khiển. Xe phản hồi bằng cách thay đổi hướng hoặc trạng thái chuyển động tương ứng với cử chỉ được nhận dạng. Kết quả thử nghiệm cho thấy hệ thống nhận dạng cử chỉ tay có thể hoạt động hiệu quả trong việc điều khiển chuyển động của xe bốn bánh, giúp tạo ra phương thức điều khiển trực quan và linh hoạt.

6. Kết luận

Trong nghiên cứu này, hệ thống điều khiển xe từ xa dựa trên nhận dạng cử chỉ bàn tay sử dụng công nghệ hand tracking đã được nghiên cứu ứng dụng cụ thể. Kết quả thử nghiệm đạt được cho thấy việc ứng dụng công nghệ hand tracking đối với mẫu xe sử dụng trong nghiên cứu, trong điều kiện thử nghiệm, có kết quả khả quan. Việc tích hợp xử lý ảnh thời gian thực với cơ chế truyền thông không dây giúp hệ thống nhận diện cử chỉ nhanh chóng, chính xác và phản hồi kịp thời, từ đó đảm bảo chuyển động của xe ổn định và đáng tin cậy. Kết quả nghiên cứu cho thấy tính khả thi và hiệu quả của phương pháp đề xuất, đồng thời mở ra tiềm năng ứng dụng rộng rãi trong các hệ thống điều khiển thông minh trong tương lai, chẳng hạn như điều khiển robot, thiết bị nhà thông minh và các nền tảng tương tác người-máy khác.

Tài liệu tham khảo

- [1] M. Slater, M.V. Sanchez-Vives. (2016). Enhancing our lives with immersive virtual reality. *Frontiers in Robotics and AI*, 3, 74. https://doi.org/10.3389/frobt.2016.00074?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26utm_medium%3Darticle
- [2] A. VYSOCKÝ et al. (2020). Analysis of precision and stability of hand tracking with leap motion sensor. *Sensors*, 20(15), 4088. <https://doi.org/10.3390/s20154088>
- [3] D. AbdIkrim, M. Di Luca, P. Aves, M. Maaroufi, S.H. Yeo, R.C. Miall, P. Holland, J.M. Galea. (2023). A methodological framework to assess the accuracy of virtual reality hand-tracking systems: A case study with the Meta Quest 2. *Behavior Research Methods*, 56(2), 1052-1063. <https://doi.org/10.3758/s13428-022-02051-8>
- [4] Y. Dong, S. Payandeh. (2025). Hand Kinematic Model Construction Based on Tracking Landmarks. *Applied Sciences*, 15(16), 8921. DOI: 10.3390/app15168921
- [5] Y. Lei et al. (2023). A novel sensor fusion approach for precise hand tracking in virtual reality-based human-Computer interaction. *Biomimetics*, 8(3), 326. <https://doi.org/10.3390/biomimetics8030326>
- [6] S. Yuan et al. (2018). Depth-based 3d hand pose estimation: From current achievements to future goals. *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2636-2645. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2018.00279>
- [7] Đ.X. Kiên, N.N.T. Tân, T.T. Đạt. (2019). Điều khiển mờ Robotino di chuyển bám theo đường đi trước. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Giao thông Vận tải*, 34.
- [8] T. T. K. Ly, N.H. Thai. (2022). Path tracking control for Car-like robots by PID controller with time-varying parameters. *VNUHCM Journal of Engineering and Technology*, 5(3), 1642-1650. <https://doi.org/10.32508/stdjet.v5i3.961>
- [9] T.X. Dinh, N.T.T. Huong, N.N. Tuan, N.T. Tien. (2023). Motion planning and control of an autonomous mobile robot. *Vietnam Journal of Science, Technology and Engineering*, 65(4), 3-10. DOI: 10.31276/VJSTE.65(4).03-10
- [10] Y. Kanayama, Y. Kimura, F. Miyazaki, T. Noguchi. (1990). A stable tracking control method for an autonomous mobile robot. *IEEE International Conference on Robotics and*

- Automation*, 1, 384-389. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.1990.126006>
- [11] L. Guvenc, B. Aksun-Guvenc, S. Zhu, S.Y. Gelbal, (2021). Autonomous road vehicle path planning and tracking control. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119747970>
- [12] S. Ullah, Z. Mumtaz, S. Liu, M. Abubaqr, A. Mahboob, H.A. Madni. (2019). Single-equipment with multiple-application for an automated robot-car control system. *Sensors*, 19(3), 662. <https://doi.org/10.3390/s19030662>