

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/281744853>

Line Following Robot Control by Using PID Algorithm Combined with PWM Method

Article · December 2012

DOI: 10.13140/RG.2.1.1724.7848

CITATIONS

0

READS

4,327

2 authors:



[Trần Quốc Cường](#)

Tien Giang University

3 PUBLICATIONS 3 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Thanh Phong TRAN](#)

University of Angers

18 PUBLICATIONS 10 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

ĐIỀU KHIỂN ROBOT DÒ ĐƯỜNG SỬ DỤNG BỘ ĐIỀU KHIỂN PID KẾT HỢP PHƯƠNG PHÁP PWM

Line Following Robot Control by Using PID Algorithm Combined with PWM Method

TRẦN QUỐC CƯỜNG¹

TRẦN THANH PHONG²

TÓM TẮT

Bài báo này giới thiệu phương pháp điều khiển robot dò đường bằng sự kết hợp giữa giải thuật điều khiển vi tích phân tỉ lệ với phương pháp điều chế độ rộng xung sử dụng vi điều khiển P89V51RD2. Phương pháp đề xuất sẽ giúp robot dò đường vận hành với độ ổn định cao hơn và với tốc độ nhanh hơn phương pháp điều khiển truyền thống. Hiệu quả của phương pháp này sẽ được chứng minh qua các kết quả thực nghiệm trên robot thật.

ABSTRACT

This paper focuses on a Line Following Robot control method by using combination of Proportional Integral Derivative (PID) algorithm and Pulse Width Modulation (PWM) method on microcontroller P89V51RD2. The proposed method helps the line following robot operate with higher stability and faster speed compared with the traditional method. The effectiveness of this method is illustrated via the experiment results on a real robot.

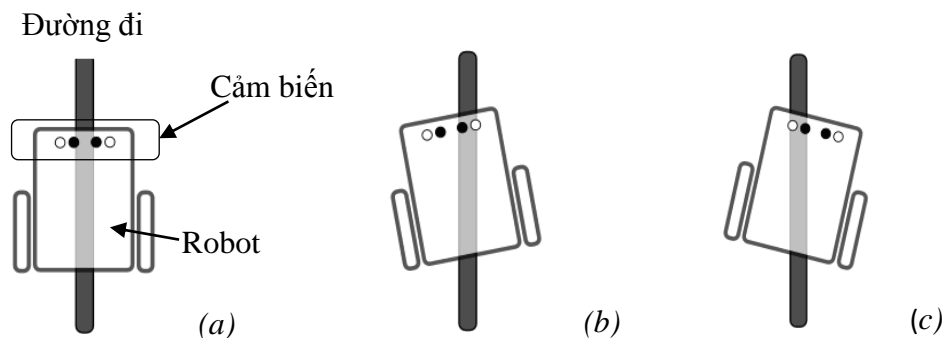
Keywords: line following robot, PWM method, PID algorithm, P89V51RD2

1. GIỚI THIỆU

Những năm gần đây, robot dò đường được chú trọng phát triển mạnh để ứng dụng trong nhiều lĩnh vực từ quân sự đến dân sự và trong công nghiệp. Robot dò đường phát huy tối đa hiệu quả của chúng nhờ vào sự tích hợp các cảm biến thông minh, công nghệ xử lý ảnh và thậm chí nhờ vào hệ thống định vị toàn cầu. Tuy nhiên, khi robot tự vận hành trong không gian bằng phẳng, nhỏ hẹp thì robot di chuyển theo các vạch được kẻ trước là sự lựa chọn tối ưu. Các robot này có thể thực hiện nhiều nhiệm vụ khác nhau, chúng có thể là: robot vận chuyển và sắp xếp hàng hóa, robot y tế, robot dẫn đường cho người khiếm thị...

Thuật toán dò đường thường sử dụng trong thiết kế các robot dò đường là đặt một dãy các cảm biến sắp xếp đều nhau phía trước robot. Việc lệch đường đi trong quá trình di chuyển sẽ được robot phát hiện thông qua các trạng thái của cảm biến, cụ thể: nếu hai cảm biến ở giữa cảm nhận được đường đi thì robot đang tiến thẳng về phía trước (hình 1.a), nếu các cảm biến bên phải cảm nhận được đường đi thì robot di chuyển lệch về bên trái (hình 1.b) và ngược lại nếu các cảm biến bên trái cảm nhận được đường đi thì robot đang di chuyển lệch sang phải (hình 1.c). Thuật toán này được ứng dụng khá thành công trong việc thiết kế robot dò đường.

^{1,2} KHOA KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP, TRƯỜNG ĐẠI HỌC TIỀN GIANG



Hình 1. Sự lệch trong quá trình di chuyển của robot. (a) Robot đi thẳng, (b) Robot lệch trái, (c) Robot lệch phải

Phương pháp điều khiển robot dò đường truyền thống là phương pháp ON-OFF, nghĩa là khi robot di chuyển lệch sang trái của đường đi thì robot sẽ tắt động cơ phải trong khi động cơ trái vẫn hoạt động bình thường, điều này sẽ giúp cho robot quay lại đường đi ban đầu; ngược lại, khi robot di chuyển lệch sang phải của đường đi thì robot sẽ tắt động cơ trái trong khi động cơ phải vẫn hoạt động bình thường để giúp robot quay trở lại đường đi ban đầu. Đây là phương pháp điều khiển robot rất đơn giản. Tuy nhiên, hạn chế của phương pháp này là robot di chuyển không mịn màng, robot luôn dao động sang phải và sang trái của đường đi. Điều này ảnh hưởng đến tốc độ di chuyển của robot, tính ổn định không cao, tổn hao nhiều năng lượng. Một phương pháp điều khiển robot khác là phương pháp điều chế độ rộng xung (PWM). Phương pháp này điều khiển tốc độ quay của động cơ dựa vào giá trị điện áp trung bình của tín hiệu xung ngõ ra bộ điều khiển [4]. Phương pháp này khắc phục được sự dao động trong quá trình di chuyển của robot, nhưng hạn chế của phương pháp này là việc xác định các giá trị PWM để điều khiển tốc độ hai động cơ trái - phải trong lúc dò đường của robot mất nhiều thời gian, việc tìm các trị số tối ưu rất khó khăn và khả năng thích nghi kém với các dạng đường đi khác nhau.

Bộ điều khiển vi tích phân tỉ lệ là giải thuật điều khiển phản hồi vòng kín, còn gọi là giải thuật PID, được ứng dụng rất rộng rãi trong các hệ thống điều khiển tự động. Giải thuật này cố gắng chỉnh sửa các sai số giữa những giá trị đo đạc thực tế và giá trị mong muốn bằng việc tính toán và xuất ra giá trị sửa lỗi từ đó hiệu chỉnh hệ thống vận hành theo yêu cầu đặt ra [2] [5]. Việc sử dụng giải thuật PID giúp cho việc điều khiển đạt được hiệu quả như mong muốn với thời gian đáp ứng nhanh và độ ổn định cao. Vì vậy, việc áp dụng giải thuật PID kết hợp với phương pháp PWM vào trong điều khiển robot sẽ giúp robot dò đường mịn màng hơn và di chuyển tốc độ nhanh hơn so với giải thuật điều khiển vòng hở. Điều này sẽ được chứng minh trong các phần tiếp theo.

Trong bài báo này tác giả tập trung nghiên cứu phương pháp điều khiển robot dò đường bằng sự kết hợp giữa giải thuật điều khiển vi tích phân tỉ lệ với phương pháp điều chế độ rộng xung, hay còn gọi là phương pháp PWM vòng kín. Phương pháp này sẽ cải thiện được tốc độ di chuyển của robot và tăng cường độ chính xác của quá trình vận hành. Các sơ đồ mạch thiết kế robot, phương pháp PWM và giải thuật PID được trình bày chi tiết trong nội dung nghiên cứu của bài báo này.

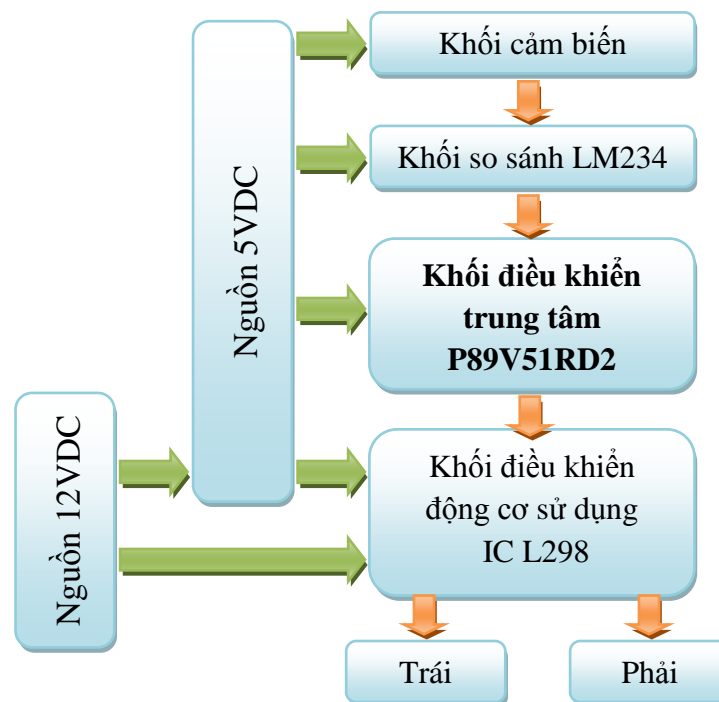
Bố cục của phần nội dung nghiên cứu của bài báo này gồm các phần như sau: phần 1 sẽ giới thiệu sơ lược về robot dò đường. Lý thuyết cơ bản của phương pháp PWM và giải thuật PID sẽ lần lượt được thể hiện trong phần 2 và phần 3. Phần

4 sẽ trình bày phương pháp PWM vòng kín để giải quyết bài toán dò đường của robot. Phần 5 của nội dung nghiên cứu sẽ trình bày kết quả thực nghiệm trên robot thật để chứng minh hiệu quả của phương pháp đề xuất. Phần cuối của bài báo là phần kết luận.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Giới thiệu robot dò đường

Một robot dò đường bao gồm các khối cơ bản sau: khối nguồn, khối cảm biến và khối so sánh LM234, khối điều khiển trung tâm, khối điều khiển động cơ... Các khối này được minh họa bằng sơ đồ khối như hình 2.



Hình 2. Sơ đồ khối của robot dò đường

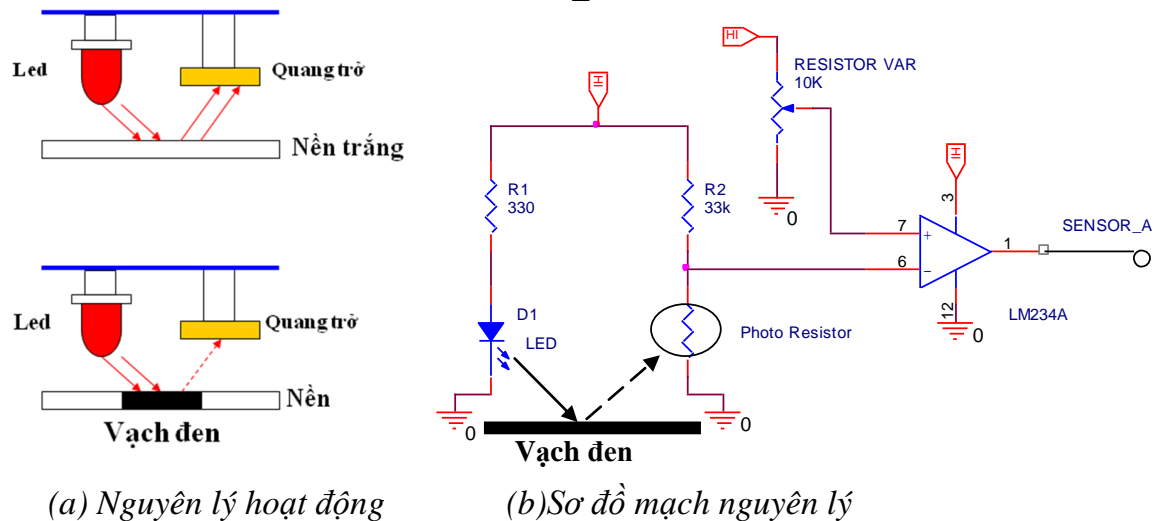
Tín hiệu từ cảm biến được đưa qua mạch so sánh và khếch đại tín hiệu để đưa ra mức logic 0 ứng với trạng thái có vạch và mức logic 1 ứng với trạng thái không có vạch. Dựa vào tín hiệu từ khối cảm biến, khối điều khiển trung tâm sẽ tính toán để xác định trạng thái robot đang di chuyển và xuất ra tín hiệu xung PWM để điều khiển các động cơ thông qua mạch điều khiển động cơ sử dụng IC L298. Việc đó sẽ giúp robot tự di chuyển theo quỹ đạo xác định trước [3].

Hiện nay, thị trường có rất nhiều loại cảm biến khác nhau. Chúng giúp cho robot có khả năng dò đường một cách chính xác và hiệu quả như: cảm biến la bàn điện từ, cảm biến tiếp xúc, cảm biến quang, bộ giải mã encoder, hệ thống định vị toàn cầu GPS, camera quan sát kết hợp công nghệ xử lý ảnh... Trong phạm vi bài báo này, tác giả sử dụng các cặp cảm biến quang được đặt cạnh nhau theo hàng ngang dưới thân của robot, vì robot thực nghiệm di chuyển theo vạch kẻ màu đen trên nền màu trắng.

Nguyên lý hoạt động của mạch cảm biến thu phát quang dựa trên sự hấp thụ và phản xạ ánh sáng của các màu sắc khác nhau của nền và đường đi. Vạch màu trắng có khả năng phản xạ ánh sáng tốt hơn vạch màu đen. Khi đó, quang trở sẽ

nhận được các tia sáng phản xạ có cường độ lớn làm cho giá trị điện trở giảm khá nhiều, dẫn đến điện áp trên quang trở là V_{\min} sẽ thấp. Ngược lại, vạch màu đen có khả năng phản xạ ánh sáng kém hơn vạch màu trắng. Khi đó, quang trở nhận được các tia sáng phản xạ có cường độ thấp làm cho giá trị điện trở của quang trở giảm không đáng kể, dẫn đến điện áp trên quang trở lúc này là V_{\max} sẽ cao (hình 3.a). Hình 3.b thể hiện sơ đồ mạch nguyên lý của cảm biến. Điện áp trên biến trở V_{ref} , được tính theo công thức (1), dùng để so sánh với điện áp từ quang trở để chuyển đổi thành các mức logic 0 tương ứng với $0V_{\text{dc}}$ hoặc mức logic 1 tương ứng với $5V_{\text{dc}}$ mà vi điều khiển có thể hiểu được.

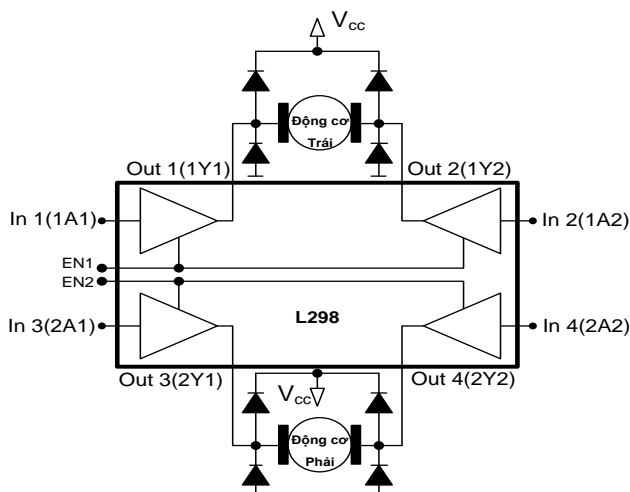
$$V_{\text{ref}} = \frac{V_{\text{Max}} + V_{\text{min}}}{2} \quad (1)$$



Hình 3. Mạch cảm biến LED - quang trở.

Mạch điều khiển trung tâm sử dụng vi điều khiển P89V51RD2 của hãng Phillips. Vi điều khiển này hỗ trợ 5 kênh điều rộng xung PWM (CEX0 - CEX4 trên chân P1.3 - P1.7) được sử dụng khá linh hoạt cho việc điều chế độ rộng xung. Để xuất ra tín hiệu xung PWM như mong muốn, lập trình viên phải thiết lập đúng các thông số thích hợp ở các thanh ghi chức năng. Giá trị ở ngõ ra CEXn phụ thuộc vào giá trị của 2 thanh ghi: CCAPnL và CL [4].

Khởi điều khiển động cơ có nhiệm vụ chuyển đổi tín hiệu điều khiển từ khối điều khiển trung tâm thành tín hiệu điện áp để thay đổi tốc độ và chiều quay của động cơ. Trên thực tế, rất nhiều mạch điều khiển động cơ có thể đảm nhận cả hai nhiệm vụ này như: mạch cầu H dùng BJT hoặc FET, mạch 1 FET + 1 relay, IC L298, IC TD18200... Tùy vào ứng dụng cụ thể, với các giá trị dòng áp theo yêu cầu mà lựa chọn mạch điều khiển động cơ cho phù hợp. Trong bài báo này, tác giả sử dụng IC L298 để thiết kế và chế tạo cho mạch điều khiển động cơ. IC này được tích hợp 2 mạch cầu H, có thể hoạt động ở điện áp tối đa $46V_{\text{dc}}$ và dòng điện định mức tổng cộng là 5A. Hơn nữa, L298 có khả năng đảo chiều quay và thay đổi tốc độ quay của động cơ một cách dễ dàng bằng cách sử dụng phương pháp PWM. Sơ đồ mạch nguyên lý của khối điều khiển động cơ được thiết kế như hình 4.

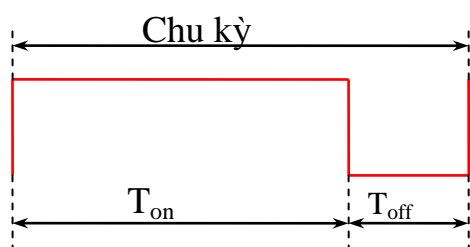


Hình 4. Mạch điều khiển motor sử dụng L298

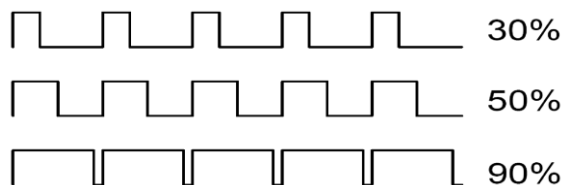
2.2. Phương pháp điều chế độ rộng xung (PWM)

Tốc độ quay của động cơ một chiều tỉ lệ thuận với điện áp đầu vào. Do đó, cách đơn giản nhất để điều khiển tốc độ quay của rotor là thay đổi mức điện áp đặt vào động cơ. Nguyên tắc cơ bản để thay đổi tốc độ quay động cơ của phương pháp PWM là giữ nguyên giá trị điện áp vào và thay đổi thời gian đặt điện áp vào động cơ [2]. Điều này có nghĩa, thời gian mức cao T_{on} trong một chu kỳ của xung ngõ vào động cơ càng lớn thì điện áp trung bình đặt vào động cơ càng cao, ngược lại thời gian mức thấp T_{off} trong một chu kỳ của xung ngõ vào động cơ càng lớn điện áp trung bình đặt vào động cơ càng thấp (hình 5). Đại lượng mô tả mối quan hệ giữa khoảng thời gian T_{on} và T_{off} được gọi là độ rộng xung (duty_cycle), được tính theo công thức (2):

$$\text{duty_cycle} = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \times 100 \quad (2)$$



(a) Giải đồ độ rộng xung



(b) Giải đồ xung với theo duty_cycle

Hình 5. Giải đồ thời gian của xung PWM

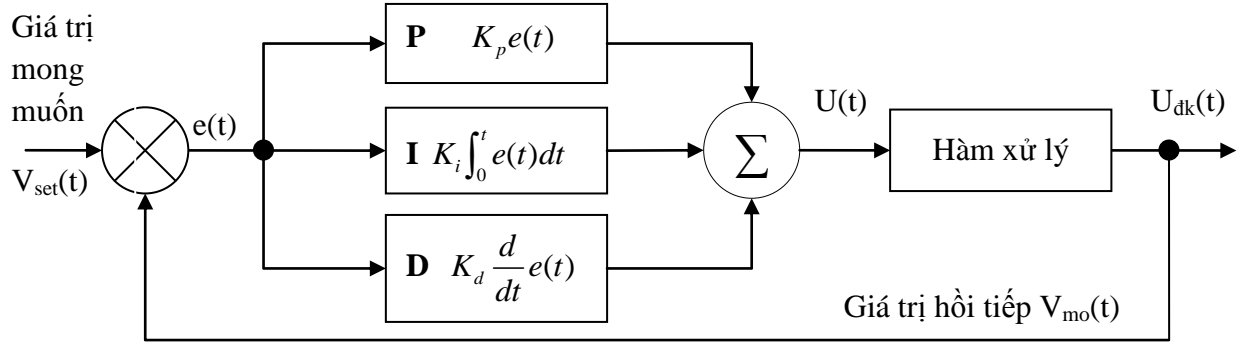
Thí dụ: Trong hình 5.b, nếu chu kỳ xung 1kHz; thời gian xung mức cao T_{on} là 0.3ms và thời gian xung mức thấp T_{off} là 0.7ms. Biên độ xung là $12V_{dc}$. Tốc độ quay của rotor là 1500 vòng/phút. Theo công thức (2):

$\text{duty_cycle} = 30\%$ và điện áp trung bình đặt vào động cơ là $12 \times 30\% = 3.6V_{dc}$.

Tốc độ quay của rotor là $1500 \times 30\% = 450$ vòng/phút.

2.3. Giải thuật điều khiển vi tích phân tỉ lệ (PID)

Giải thuật điều khiển vi tích phân tỉ lệ hiệu chỉnh sai số giữa giá trị biến đo được và giá trị mong muốn đạt đến bằng cách tính toán và xuất ra một "hành động điều chỉnh" nhanh chóng để giữ cho lỗi ở mức nhỏ nhất có thể được [5]. Bộ điều khiển này bao gồm 3 thông số: Proportional (P), Integral (I) và Derivative (D), được thể hiện qua sơ đồ khối và phương trình tổng quát như hình 6:



Hình 6. Sơ đồ khối giải thuật PID

Phương trình PID tổng quát [3]:

$$U(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (3)$$

- Hàm lỗi $e(t)$ tại thời điểm t : độ lệch giữa giá trị mong muốn và giá trị đo được.

$$e(t) = V_{\text{set}} - V_{\text{mo}}(t) \quad (4)$$

Trong đó: V_{set} : Setpoint Value (giá trị điện áp mong muốn).

$V_{\text{mo}}(t)$: Measurable Output Value (giá trị điện áp đo được tại thời điểm t).

- Proportional P(t) (hàm tỉ lệ): điều khiển tỉ lệ với giá trị lỗi hiện tại.

$$P(t) = K_p \cdot e(t) \quad (5)$$

Trong đó: K_p : hằng số tỉ lệ, tham số dùng để tinh chỉnh.

- Integral I(t) (hàm tích phân): điều khiển tương ứng với mức lỗi được tích lũy theo thời gian.

$$I(t) = K_i \cdot \int_0^t e(t) dt \quad (6)$$

Trong đó: K_i : hằng số điều chỉnh hàm tích phân.

- Derivative D(t) (hàm vi phân): điều khiển tương ứng với tốc độ thay đổi của lỗi, hay độ dốc lỗi theo thời gian.

$$D(t) = K_d \cdot \frac{d}{dt} e(t) \quad (7)$$

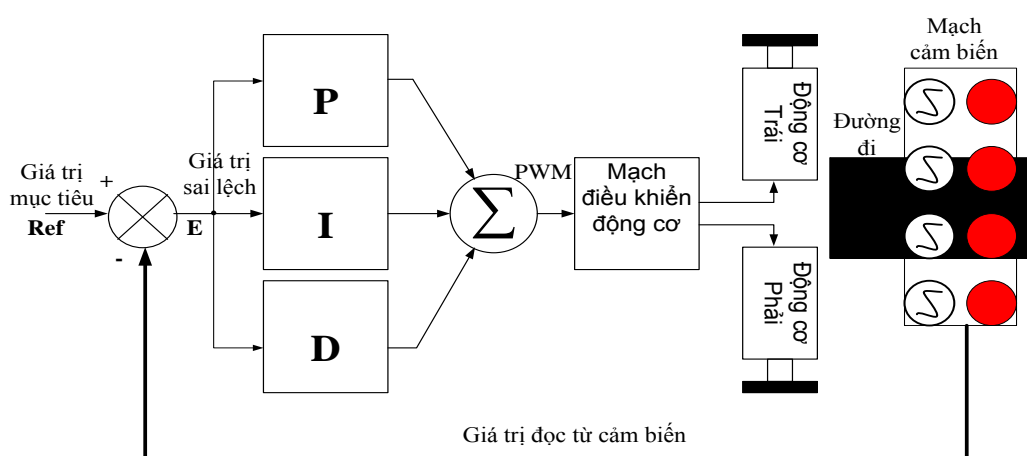
Trong đó: K_d : hằng số điều chỉnh hàm vi phân.

2.4. Ứng dụng giải thuật PID kết hợp với phương pháp PWM trên robot dò đường

2.4.1. Mô hình PID áp dụng cho robot dò đường

Giải thuật PID được tích hợp vào trong giải thuật điều khiển robot dò đường để tính toán và xuất ra các giá trị PWM điều khiển 2 động cơ gắn với 2 bánh sau của robot dựa vào độ sai lệch giữa giá trị đo đặc ngõ vào và giá trị mong muốn. Độ sai lệch, hay còn gọi là giá trị lỗi, được tính toán trong giải thuật PID là độ lệch giữa trạng thái hiện tại của robot so với đường đi. Có nghĩa là, độ sai lệch giữa giá trị hiện tại của bộ cảm biến so với giá trị của cảm biến trong trường hợp robot chạy thẳng về phía trước.

Việc áp dụng giải thuật PID trên robot dò đường sử dụng cảm biến quang được trình bày bằng một sơ đồ khối như hình 7:



Hình 7. Sơ đồ khối ứng dụng giải thuật PID vào robot dò đường

Trước khi đề cập ứng dụng giải thuật PID vào robot dò đường, tác giả đưa ra các định nghĩa của các thuật ngữ liên quan :

- Vị trí mục tiêu V_{set} : trung tâm của đường đi, vị trí mà ta muốn robot hướng đến.
- Vị trí thực tại $V_{mo}(t)$: vị trí thực của robot, có thể lệch bên trái hoặc lệch bên phải so với đường đi của robot.
- Lỗi $e(t)$: độ sai lệch giữa vị trí mục tiêu và vị trí thực của robot, có thể là giá trị âm hoặc dương hoặc bằng 0, được tính theo công thức (4).
- Hệ số K_p , K_i , K_d là các hằng số tương ứng được sử dụng để điều chỉnh ảnh hưởng của các khâu tỉ lệ, khâu tích phân và khâu vi phân.

2.4.2. Giải thuật PID

Giải thuật PID là một chuỗi các phép toán để xác định các giá trị của khâu điều khiển tỉ lệ, khâu điều khiển vi phân và khâu điều khiển tích phân. Sau đó, kết hợp các giá trị lại với nhau và xuất ra giá trị điều rộng xung PWM để điều khiển 2 động cơ bánh sau của robot.

- Khâu điều khiển tỉ lệ tính toán độ lệch của robot, xác định được robot đang lệch phải hay lệch trái đường và xuất ra các giá trị PWM để điều khiển hai động cơ giúp robot quay về vị trí mục tiêu (áp dụng công thức (4) và (5)).

$$\text{Độ lệch : } e(n) = V_{mo}(n) - V_{set} \quad (8)$$

$$\text{Đáp ứng khâu tỉ lệ : } P(n) = K_p \cdot e(n) \quad (9)$$

Trong đó : n là số lần lấy mẫu

Hằng số K_p càng lớn thì sự điều chỉnh càng lớn khi lỗi càng lớn. Ngược lại, K_p càng nhỏ thì sẽ đáp ứng điều chỉnh nhỏ đối với lỗi.

- Khâu điều khiển tích phân tính toán dựa trên sai số tích lũy theo thời gian. Robot càng lệch xa đường thì sai số tích lũy càng lớn. Khâu này thể hiện rằng trong quá khứ robot có bám đường đi tốt hay không (áp dụng công thức (6)).

$$\text{Sai số tích lũy: } E(n) = \sum_{n \geq 1} e(n) \quad (10)$$

$$\text{Đáp ứng khâu tích phân: } I(n) = K_i \cdot E(n) \quad (11)$$

Trong đó : n là số lần lấy mẫu

- Khâu vi phân tính toán dựa trên sai số hiện tại. Khâu này cho biết tốc độ robot dao động qua lại của đường đi (áp dụng công thức (7)).

$$\text{Tốc độ dao động: } \Delta e(n) = e(n) - e(n-1) \quad (12)$$

$$\text{Đáp ứng khâu vi phân: } D(n) = K_d \cdot \Delta e(n) \quad (13)$$

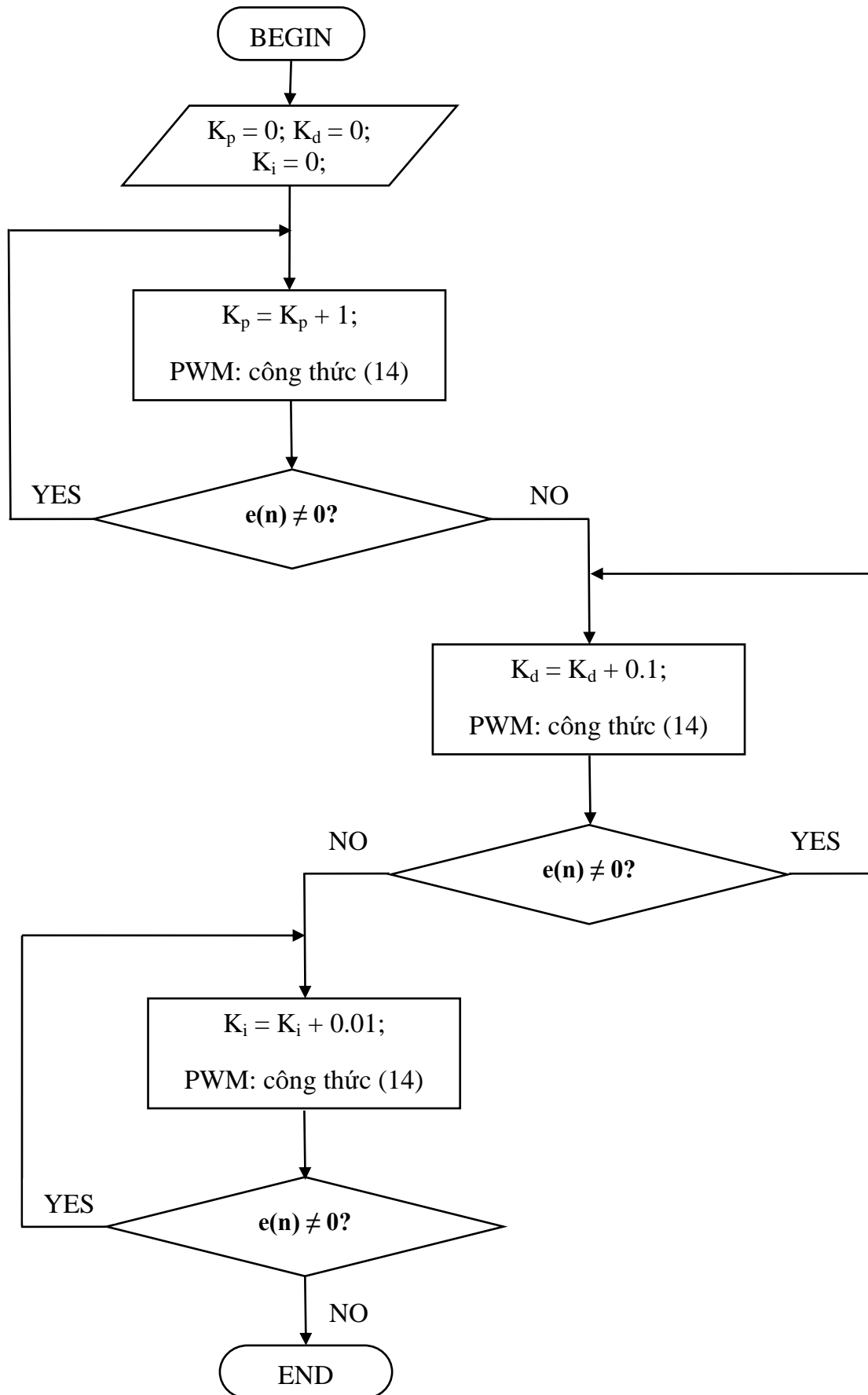
- Cuối cùng, giá trị PWM để xuất ra điều khiển cho các động cơ điều khiển hoạt động của robot sẽ là (áp dụng công thức (3), (8-13)):

$$PWM = P(n) + I(n) + D(n) = K_p \cdot e(n) + K_i \cdot I(n) + K_d \cdot D(n)$$

$$\Rightarrow PWM = K_p \cdot [V_{mo}(n) - V_{set}] + K_i \cdot \sum_{n \geq 1} e(n) + K_d \cdot [e(n) - e(n-1)] \quad (14)$$

2.4.3. Hiệu chỉnh thuật toán PID

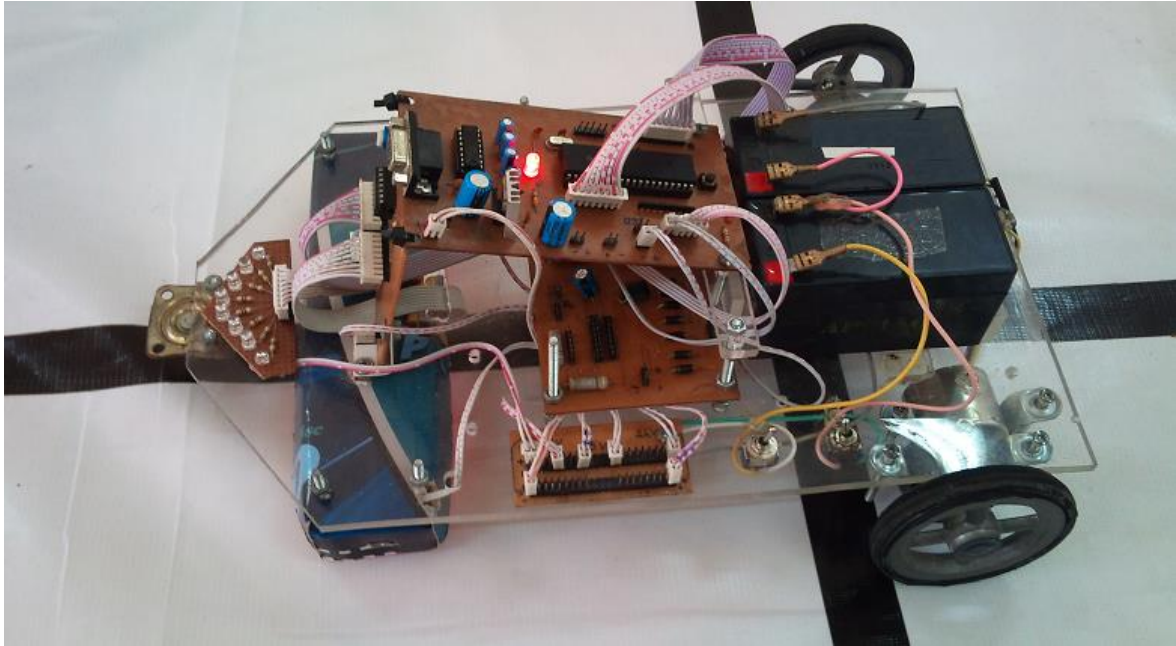
Khi sử dụng giải thuật PID để điều khiển robot dò đường, kết quả ban đầu cho thấy robot hoạt động không như mong đợi. Trường hợp này được lý giải là do các giá trị của các hệ số K_p , K_i và K_d chưa phù hợp. Mỗi robot có một đặc tính vật lý khác nhau do đó các hệ số này cũng phải thay đổi để phù hợp. Phần tiếp theo, tác giả đề xuất các bước thực nghiệm đơn giản để xác định các hệ số K_p , K_i và K_d như lưu đồ giải thuật được thể hiện trong hình 8:



Hình 8. Lưu đồ giải thuật hiệu chỉnh PID

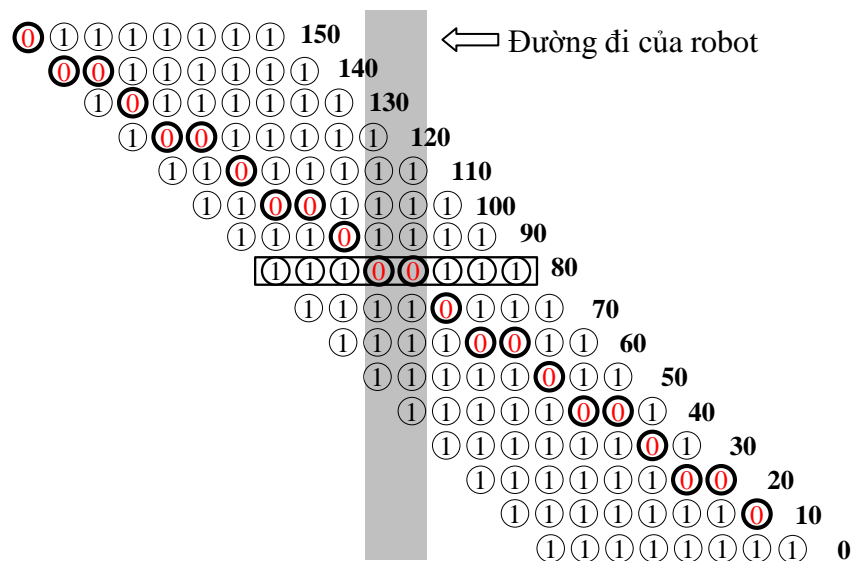
2.5. Kết quả thực nghiệm trên mô hình robot

Phần tiếp theo là áp dụng phương pháp PWM kết hợp với giải thuật PID, còn gọi là PWM vòng kín, vào việc thực nghiệm mô hình robot thật (hình 9). Robot được thiết kế và chế tạo sử dụng dây 8 cặp cảm biến thu phát quang để dò đường, mỗi cặp cảm biến cách nhau 25mm. Vì, đường đi là vạch đen được kẻ trên nền trắng và có bề rộng 30mm.



Hình 9. Mô hình robot thực nghiệm

Giá trị của cảm biến được đọc và chuyển sang giá trị nhị phân 8 bit để xác định vị trí của robot so với đường đi. Các trạng thái của cảm biến được thể hiện như trên hình 10:



Hình 10. Bảng trạng thái của cảm biến

Bảng 1 thể hiện các giá trị vận tốc trung bình $V(m/s)$ được đo từ thực nghiệm của robot được điều khiển bằng phương pháp PWM vòng kín trên đoạn đường thẳng có chiều dài 10m. Kết quả này được ghi nhận thông qua việc hiệu chỉnh các

thông số K_p , K_i và K_d của giải thuật PID dựa vào lưu đồ giải thuật trong hình 8. Vì quá trình thực nghiệm sinh ra rất nhiều giá trị khác nhau trong bảng 1 chỉ thể hiện các kết quả trung bình của mỗi 5 lần thử nghiệm, cụ thể như sau:

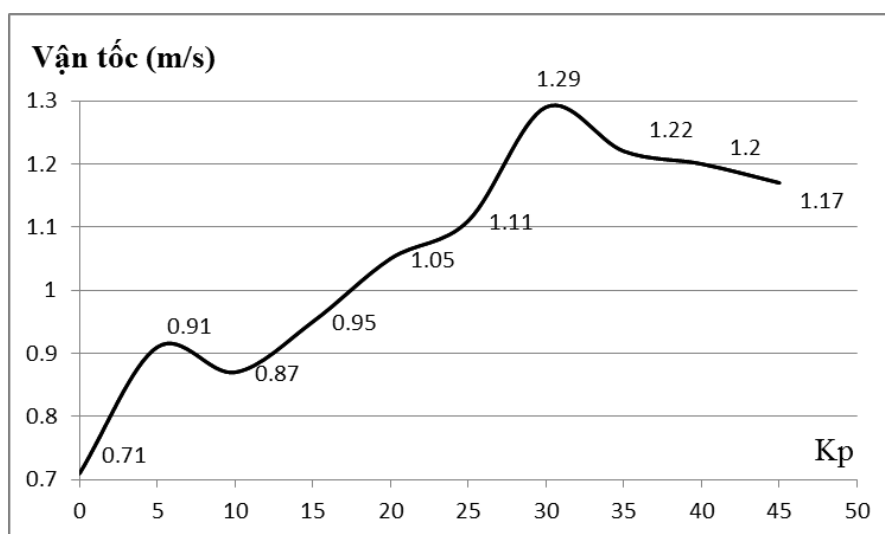
Lần	K_p	K_d	K_i	V	Lần	K_p	K_d	K_i	V	Lần	K_p	K_d	K_i	V
1	0	0	0	0.71	25	25	0	0	1.11	55	30	1	0	1.24
5	5	0	0	0.91	30	30	0	0	1.29	65	30	2	0	1.27
10	10	0	0	0.87	35	35	0	0	1.22	75	30	3	0	1.29
15	15	0	0	0.95	40	40	0	0	1.20	85	30	4	0	1.34
20	20	0	0	1.05	45	45	0	0	1.17	95	30	5	0	1.38

...

Lần	K_p	K_d	K_i	V	Lần	K_p	K_d	K_i	V	Lần	K_p	K_d	K_i	V
105	30	6	0	1.31	155	25	5	0.3	1.39	205	30	5	0.8	1.95
115	30	7	0	1.34	165	30	5	0.4	1.41	215	30	5	0.9	1.82
125	30	8	0	1.30	175	35	5	0.5	1.53	225	30	5	1.0	1.75
135	30	5	0.1	1.33	185	40	5	0.6	1.71	235	30	5	1.1	1.77
145	30	5	0.2	1.38	195	45	5	0.7	1.81	245	30	5	1.2	1.70

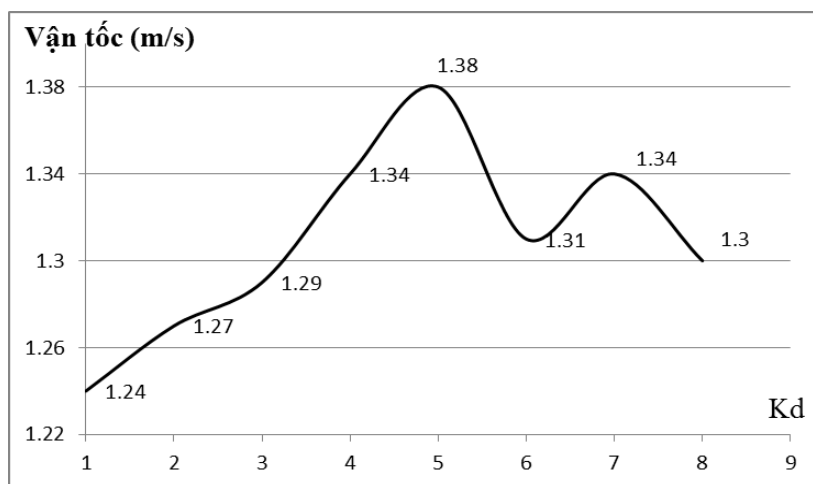
Bảng 1. Kết quả thực nghiệm hiệu chỉnh PID

Các số liệu trong bảng 1 lần lượt được thể hiện trên đồ thị trong các hình (11-13). Trong đồ thị hình 11, thể hiện quá trình hiệu chỉnh K_p , giữ cố định $K_d=0$, $K_i=0$, robot di chuyển với vận tốc $V=1.29$ (m/s) là giá trị vận tốc cực đại tại giá trị $K_p=30$.

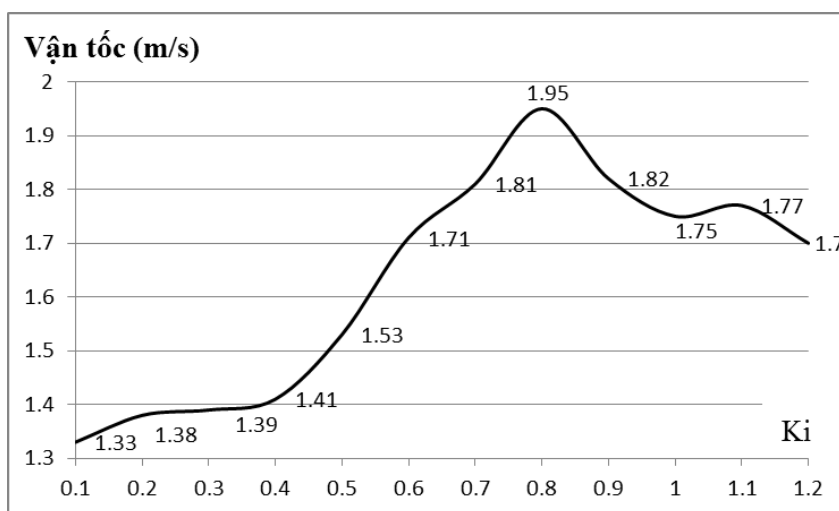


Hình 11. Vận tốc của robot khi hiệu chỉnh K_p (với: $K_d=0$; $K_i=0$)

Trong đồ thị hình 12, trong khi cố định $K_p=30$, $K_i=0$ và hiệu chỉnh K_d , robot di chuyển với vận tốc $V=1.38$ (m/s) là giá trị vận tốc cực đại đạt tại giá trị $K_d=5$. Trong đồ thị hình 13, khi cố định $K_p=30$, $K_d=5$ và hiệu chỉnh K_i , robot di chuyển với vận tốc $V=1.95$ (m/s) là giá trị vận tốc cực đại đạt tại giá trị $K_i=0.8$.



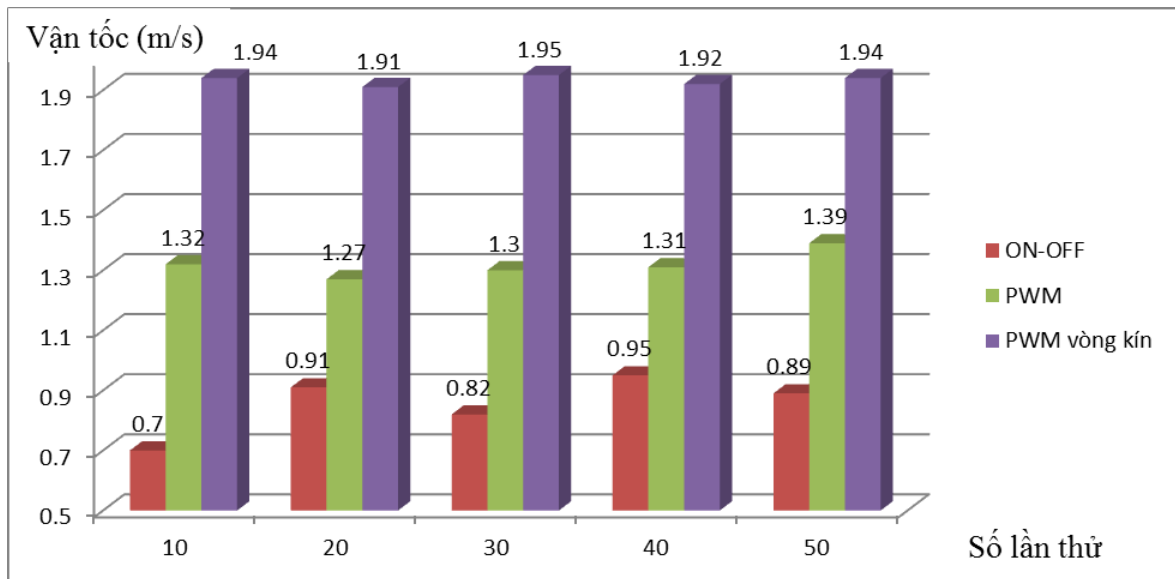
Hình 12. Vận tốc của robot khi hiệu chỉnh K_d (với: $K_p=30$; $K_i=0$)



Hình 13. Vận tốc của robot khi hiệu chỉnh K_i (với: $K_p=30$; $K_d=5$)

Từ kết quả thực nghiệm trên cho thấy hiệu quả của từng khâu: điều khiển tỉ lệ, điều khiển vi phân và điều khiển tích phân của giải thuật PID trong điều khiển robot dò đường là rất tốt. Như vậy, qua thực nghiệm trên mô hình robot thật, các hệ số của bộ điều khiển PID được chọn để robot di chuyển với vận tốc cực đại lần lượt là: $K_p = 30$, $K_d = 5$ và $K_i = 0.8$.

Để chứng minh hiệu quả của phương pháp PWM vòng kín, tác giả thực nghiệm để ghi nhận vận tốc di chuyển trung bình của robot trên đoạn đường thẳng có chiều dài 10m, lần lượt với ba phương pháp: điều khiển ON-OFF, PWM và PWM vòng kín. Hình 14 thể hiện biểu đồ giá trị vận tốc $V(m/s)$ trung bình của mỗi 10 lần thực nghiệm robot với ba phương pháp điều khiển đó.



Hình 14. So sánh vận tốc của robot với các phương pháp điều khiển

Từ kết quả thực nghiệm thể hiện ở hình 14 cho thấy việc áp dụng giải thuật PID kết hợp phương pháp PWM (PWM vòng kín) giúp robot di chuyển với vận tốc nhanh và ổn định hơn so với các phương pháp điều khiển ON-OFF và PWM.

3. PHÂN KẾT LUẬN

Bài báo này thực hiện thành công phương pháp điều khiển robot dò đường bằng sự kết hợp giữa giải thuật điều khiển vi tích phân tỉ lệ (PID) kết hợp với phương pháp điều chế độ rộng xung (PWM) sử dụng vi điều khiển P89V51RD2. Kết quả thực nghiệm trên mô hình robot thật cho thấy rằng phương pháp PWM vòng kín rất hiệu quả trong việc điều khiển robot dò đường. Nó giúp cho robot di chuyển bám vạch tốt hơn với vận tốc nhanh hơn các phương pháp điều khiển điều khiển ON-OFF và PWM. Tuy nhiên, phương pháp đề xuất vẫn còn hạn chế là việc tìm các hệ số của bộ điều khiển PID bằng thực nghiệm mất nhiều thời gian và khó đạt đến trị số tối ưu. Một mô hình PID động thích ứng cao sẽ được thực hiện trong các nghiên cứu tiếp theo.

REFERENCES

- [1]. Boumediène A., Brahim G. and Brahim M., (14 January-June 2009), *Setting Up PID DC Motor Speed Control Alteration Parameters Using Particle Swarm Optimization Strategy*, Bechar University, Department of Electrical Engineering, B.P 417 BECHAR (08000) Algeria, ISSN 1583-1078.
- [2]. John A. Shaw, (1 December 2003), *the PID Control Algorithm: How it works, how to tune it, and how to use it*, 2nd Edition, Process Control Solutions.
- [3]. Pakdaman, M., (28-30 December 2009), *Design and Implementation of Line Follower Robot*, Tabari Inst. of Babol, Iran, page(s): 585, Conference Location: Dubai, E-ISBN: 978-0-7695-3925-6, Print ISBN: 978-1-4244-5365-8.
- [4]. Tran Quoc Cuong, Tran Thanh Phong, (May 2012), *Speed Control of Dc Motor By PWM Method Using Microcontroller*. Faculty of Industrial Engineering, Tien Giang University, ISSN: 1859 - 4530.
- [5]. WAN ROBAAH BINTI W AHMAD, (November 2008), *A DC Motor Controller Using PID Algorithm Implementation on PIC*, Faculty of Electrical & Electronics Engineering, University Malaysia Pahang.

Liên hệ nhóm tác giả

Ths. Trần Thanh Phong

Bộ môn Điện - Điện tử, Khoa Kỹ thuật Công Nghiệp
ĐT: 0908.536 689. Email: tranthanhphong@tgu.edu.vn

Ths. Trần Quốc Cường

Bộ môn Điện - Điện tử, Khoa Kỹ thuật Công Nghiệp
ĐT: 0975.257.258. Email: tranquoccuong@tgu.edu.vn