

# ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI XE 2 BÁNH TỰ CÂN BẰNG

## ADAPTIVE CONTROL APPLIED TO A SELF-BALANCING TWO-WHEELED VEHICLE

Cao Đắc Trai<sup>1,\*</sup>, Nguyễn Hoàng<sup>2</sup>,  
Nguyễn Trung Hùng<sup>2</sup>, Phạm Văn Hùng<sup>3</sup>

### TÓM TẮT

Trong bài báo này, nhóm tác giả đã tiến hành thiết kế và hoàn thiện bộ điều khiển PID cho xe hai bánh tự cân bằng dựa trên giải quyết vấn đề góc nghiêng cho sự cân bằng chuyển động đáp ứng theo thời gian thực. Chúng tôi tiến hành thiết kế chương trình và triển khai bộ điều khiển PID trên vi điều khiển và đáp ứng theo thời gian thực. Cảm biến gia tốc và vận tốc góc được trang bị trên robot nhằm đáp ứng việc đo góc nghiêng khi xe tiến hành cân bằng và di chuyển với các tín hiệu được gửi xuống từ chương trình điều khiển trên điện thoại.

**Từ khóa:** Điều khiển, bộ điều khiển PID, tự cân bằng.

### ABSTRACT

In this paper, authors design the system and implementation of PID controller applied to a self-balancing two-wheeled vehicle to solve inclination angle problem to balance the movement of robot and implement in real time. We design the code and implement PID controller using the microcontroller and implement in real time. Accelerometer and angular velocity sensors are equipped on the robot to respond to measuring the angle of inclination when the vehicle is balancing and moving with signals sent down from the control program on the phone.

**Keywords:** Control, PID controller, self balancing.

<sup>1</sup>Lớp Điều khiển tự động 03- K13, Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

<sup>2</sup>Lớp Điều khiển tự động 02- K13, Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

<sup>3</sup>Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

\*Email: dactraicao@gmail.com

### 1. GIỚI THIỆU

Trong thời đại công nghiệp 4.0 lĩnh vực điều khiển tự động ngày càng được chú trọng và phát triển. Xây dựng các thuật toán điều khiển thông minh để điều khiển cho các mô hình Robot phức tạp là một vấn đề được nhiều nhà khoa học quan tâm giải quyết, trong đó có phần không nhỏ là các mô hình xe chuyển động (mobile robot). Những mô hình mobile robot hầu hết robot là những robot di chuyển bằng ba bánh xe, với hai bánh lái được ráp đồng trục, và một bánh đuôi nhỏ. Có nhiều kiểu khác nhau, nhưng đây là kiểu thông dụng nhất. Còn đối với các xe 4 bánh, thường một đầu xe có hai bánh truyền động và đầu xe còn lại được gắn một hoặc hai bánh lái.

Việc thiết kế ba hay bốn bánh làm cho xe/mobile robot được thăng bằng ổn định nhờ trọng lượng của nó được chia cho hai bánh lái chính và bánh đuôi, hay bất kỳ gì khác

để đỡ trọng lượng của bánh xe. Nếu trọng lượng được đặt nhiều vào bánh lái của xe/robot sẽ không ổn định dễ bị ngã, còn nếu đặt nhiều vào bánh đuôi thì hai bánh chính sẽ mất khả năng bám. Nhiều thiết kế xe/robot có thể di chuyển tốt trên địa hình phẳng, nhưng không thể di chuyển lên xuống trên địa hình lồi lõm (mặt phẳng nghiêng). Khi di chuyển lên đồi, trọng lượng xe/robot dồn vào đuôi xe làm bánh lái mất khả năng bám và trượt ngã, đối với bậc thang, thậm chí nó dừng hoạt động và chỉ quay trong bánh xe.

Khi di chuyển xuống dốc sự việc còn tệ hơn, trọng tâm thay đổi về phía trước và thậm chí xe/robot bị lật úp khi di chuyển trên bậc thang. Hầu hết những xe/robot này có thể leo lên những dốc ít hơn là khi chúng di chuyển xuống. Việc bố trí bốn bánh xe, giống như xe hơi hay các loại xe bốn bánh hiện đang sử dụng trong giao thông gặp không nhiều vấn đề nhưng điều này sẽ làm các mobile robot không gọn gàng và thiết kế bộ phận lái gặp một chút phiền phức để có thể xác định chính xác quãng đường đã đi.

Đối với các dạng xe hai bánh đồng trục lại thăng bằng rất linh động khi di chuyển trên địa hình phức tạp, mặc dù bản thân là một hệ thống hoạt động ổn định. Khi nó leo dốc, nó tự động nghiêng ra trước và giữ cho trọng lượng dồn về hai bánh lái chính. Tương tự vậy, khi bước xuống dốc, nó nghiêng ra sau và giữ trọng tâm rơi vào các bánh lái. Chính vì vậy, không bao giờ có hiện tượng trọng tâm của xe rơi ra ngoài vùng đỡ của các bánh xe để có thể gây ra sự lật úp.

Đối với địa hình lồi lõm và những ứng dụng thực tế, sự thăng bằng của xe hai bánh có thể sẽ mang lại nhiều ý nghĩa thực tiễn trong giới hạn ổn định hơn là đối với xe ba bánh truyền thống.

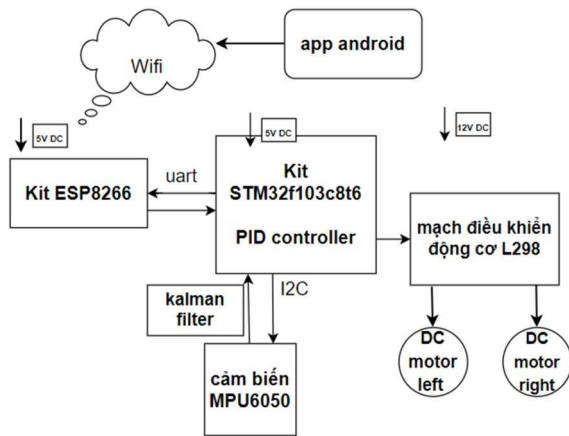
### 2. MÔ TẢ HỆ THỐNG

#### 2.1. MPU 6050

Cảm biến góc IMU được sử dụng trong đề tài là MPU 6050. MPU 6050 là một chip tích hợp thiết bị dò chuyển động (Motion Tracking) 6 trục kết hợp một con quay hồi chuyển 3 trục ( 3-axis gyroscope), một bộ đo gia tốc 3 trục(3-axis accelerometer), một bộ tính toán tín hiệu số(Digital Motion Processor - DMP). MPU 6050 đọc dữ liệu từ cảm biến gia tốc và con quay hồi chuyển, sau đó lưu vào thành ghi dữ liệu. các vi xử lý/ vi điều khiển có thể đọc thông tin này qua bus I2C.

Accelerometer - cảm biến gia tốc cung cấp các thành phần của gia tốc theo ba trục của robot. Dữ liệu trả về khá nhạy và nhiều.

Gyroscope - cung cấp các thành phần về vận tốc góc dọc theo 3 trục chuyển động của robot. Dữ liệu trả về ít nhiều hơn nhưng các vận tốc góc bị trôi theo thời gian.



Hình 1. Sơ đồ tổng quát hệ thống

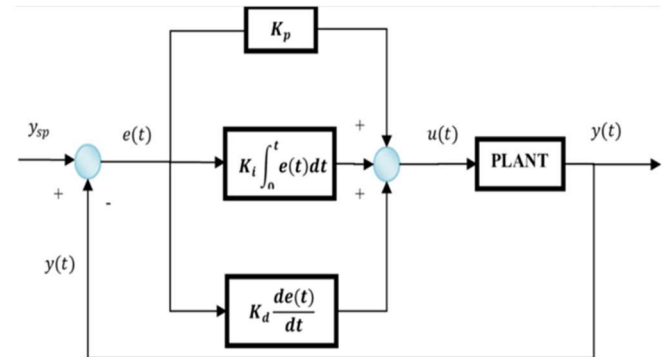
## 2.2. Bộ lọc Kalman

Đối với bộ lọc Kalman[1], thuật ngữ “lọc” không có ý nghĩa như các bộ lọc khác. Đây là một thuật toán và ước lượng thống kê tối ưu tất cả các thông tin ngõ vào được cung cấp tới nó để có được một giá trị đáng tin cậy nhất cho việc xử lý tiếp theo. Do vậy lọc Kalman có thể sử dụng để loại bỏ các tín hiệu nhiễu mà được mô hình là những tín hiệu nhiễu trắng trên tất cả dải thông mà nó nhận được từ ngõ vào, dựa trên các thống kê trước đó và chuẩn mực lại giá trị ước lượng bằng các giá trị đo hiện tại với độ lệch pha gần như không tồn tại và có độ lợi tối thiểu xấp xỉ là 0 đối với những tín hiệu ngõ vào không đáng tin cậy. Mặc dù phải tốn khá nhiều thời gian xử lý lệnh, nhưng với tốc độ hiện tại của các vi điều khiển thời gian thực làm việc tính toán ước lượng tối ưu của bộ lọc này trở nên đơn giản và đáng tin cậy rất nhiều. Nhờ có thể cơ chế tự cập nhật các giá trị cơ sở (bias) tại mỗi thời điểm tính toán, cũng như xác định sai lệch của kết quả đo trước với kết quả đo sau nên giá trị đo luôn được ổn định, chính xác, gần như không bị sai số về độ lợi và độ lệch pha của tín hiệu. Hơn thế, được xây dựng bởi hàm trạng thái, do vậy bộ lọc Kalman có thể kết hợp không chỉ hai tín hiệu từ hai cảm biến, mà có thể kết hợp được nhiều cảm biến đo ở những dải tần khác nhau của cùng một giá trị đại lượng vật lý. Chính vì điều này, làm bộ lọc Kalman trở nên phổ dụng hơn tất cả những bộ lọc khác trong việc xử lý tín hiệu chính xác của các cảm biến tọa độ, như cảm biến từ trường, GPS, góc, Gyro...

## 2.3. Bộ điều khiển PID (Proportional Integral Derivative Controller)

Trong nghiên cứu này, nhóm tiến hành sử dụng bộ điều khiển PID [2, 3] để điều khiển hai động cơ DC (DC motor) nhằm cho việc đáp ứng góc sao cho sai số giữa góc đặt và góc đo được bằng 0.

Chúng ta cần quan tâm đến sự phản hồi của robot thực hiện là nhanh hay chậm. Nếu robot phản hồi quá yếu, robot sẽ giành quá nhiều thời gian trước khi nó xác định được vị trí và điều này dẫn đến việc nó di chuyển quá nhiều để cân bằng trên mặt phẳng. Lý tưởng nhất là robot cân bằng di chuyển ít nhất có thể trên mặt phẳng, trong khi đồng thời không giao động quá mạnh hay độ vọt lố và sai số xác lập giảm. Nhóm nghiên cứu tiến hành tinh chỉnh các thông số của bộ điều khiển PID sao cho robot đạt được trạng thái lý tưởng đã đề ra.



Hình 2. Bộ điều khiển PID

**P (Proportional):** là phương pháp điều chỉnh tỉ lệ, giúp tạo ra tín hiệu điều chỉnh tỉ lệ với sai lệch đầu vào theo thời gian lấy mẫu.

**I (Integral):** là tích phân của sai lệch theo thời gian lấy mẫu. Điều khiển tích phân là phương pháp điều chỉnh để tạo ra các tín hiệu điều chỉnh sao cho độ sai lệch giảm về 0. Từ đó cho ta biết tổng sai số tức thời theo thời gian hay sai số tích lũy trong quá khứ. Khi thời gian càng nhỏ thể hiện tác động điều chỉnh tích phân càng mạnh, tương ứng với độ lệch càng nhỏ.

**D (Derivative):** là vi phân của sai lệch. Điều khiển vi phân tạo ra tín hiệu điều chỉnh sao cho tỉ lệ với tốc độ thay đổi sai lệch đầu vào. Thời gian càng lớn thì phạm vi điều chỉnh vi phân càng mạnh, tương ứng với bộ điều chỉnh đáp ứng với thay đổi đầu vào càng nhanh.

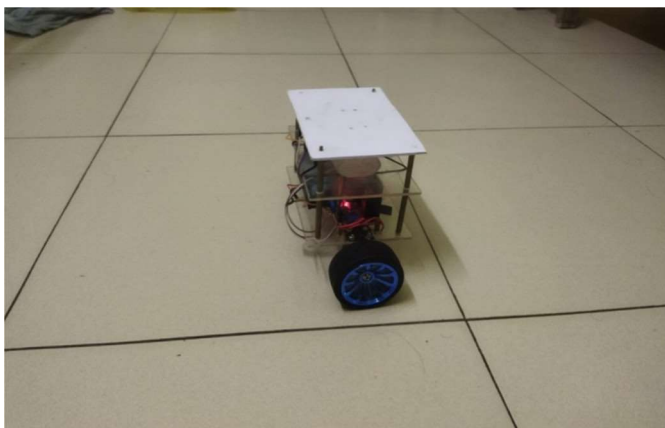
## 3. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Sau khi thiết kế chương trình nhóm nghiên cứu thực hiện cài đặt thực trên mô hình xe tự cân bằng và đã thu được một số kết quả như sau:

- Xe mô hình đã giữ được thăng bằng với sự ổn định, khi có lực tác dụng xe phản hồi và nhanh chóng lấy lại được trạng thái cân bằng. Xe đã đứng được cân bằng khá tốt, và ổn định mức độ giao động góc nghiêng pitch trong khoảng  $(-3,3)$  (°)

- Xe đã di chuyển tịnh tiến trên mặt phẳng và vẫn giữ được thăng bằng. Xe có thể đáp ứng được đối với những vật nặng trong khoảng (100 - 300)g. Xe bước đầu đã đứng được thăng bằng nhưng hoạt động chưa ổn định do sự nhiễu của cảm biến và độ trượt của động cơ

- Xe có thể điều khiển và di chuyển trên mặt phẳng qua sự điều khiển từ trên phần mềm điện thoại.



Hình 3. Xe cân bằng ở trường hợp không tải



Hình 4. Xe cân bằng với vật thứ nhất



Hình 5. Xe cân bằng với vật thứ hai

#### 4. KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Nhóm nghiên cứu đã thiết lập thành công bộ điều khiển PID sử dụng vi điều khiển STM32 cho xe hai bánh tự cân bằng, thiết kế và truyền thông lên giao diện điều khiển qua wifi.

Trong thời gian tới, nhóm tác giả sẽ tiến hành tiếp tục nghiên cứu hoàn thiện để xe hoạt động ổn định và thăng bằng ở mức độ cao, tiến hành tích hợp PID cho vị trí bánh xe giúp cho việc giữ cân bằng của xe trở nên tốt hơn giảm sự trượt của bánh xe, tiến hành cải thiện phần mạch cũng như cơ khí tăng khả năng chịu tải của xe.

---

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. F. A. Faruqi, R. C. Davis, 1980. *Kalman filter design for target tracking*. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems.
- [2]. Le Xuan Hai, Nguyen Van Thai, Bui Trong Duong, Vu Thi Thuy Nga, Thai Huu Nguyen, Phan Xuan Minh, 2016. *Implementation of a laboratory overhead crane control system*. Tạp chí Nghiên cứu KH&CN quân sự, số 44, 08.
- [3]. Phan Xuân Minh, Hà Thị Kim Duyên, Phạm Xuân Khánh, 2008. *Lý thuyết điều khiển tự động*. NXB Giáo dục.