

# ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT DỰA TRÊN HÀM TRƯỢT KIỂU PID

Nguyễn Hoàng Dũng<sup>1</sup>

## ABSTRACT

*Chattering phenomenon around sliding surface and sliding control law makes some drawbacks for control problems while using sliding mode controller. In practice, some actuators are unable to satisfy from the phenomenon. Therefore the paper presents a method using sliding mode controller with type PID (Proportional integral derivative) based sliding surface for controlling nonlinear system. The solution is proposed for reducing chattering phenomenon surrounding sliding surface and sliding control law. The algorithm is applied to control one degree of freedom robot manipulator. Simulation results are implemented basing on Simulink software of MATLAB as following: the response of one degree of freedom manipulator tracking desired signal with overshoot 0.02%, settling time 3.1s, steady-state error being not worth considering, the chattering phenomenon round sliding surface and sliding control law being completely eliminated.*

**Keywords:** *Sliding mode controller, PID, robot manipulator*

**Title:** *PID type sliding surface based sliding mode controller*

## TÓM TẮT

*Hiện tượng dao động quanh mặt trượt cũng như trong luật điều khiển trượt đã gây nhiều khó khăn cho bài toán điều khiển khi sử dụng bộ điều khiển trượt. Trong thực tế, hiện tượng này có thể làm cho các thiết bị chấp hành không thể đáp ứng được. Do đó, bài báo trình bày một giải pháp sử dụng bộ điều khiển trượt để điều khiển đối tượng phi tuyến với hàm trượt được thiết kế dựa trên PID. Giải pháp trên được đề nghị nhằm giảm thiểu hiện tượng dao động quanh mặt trượt và dao động trong luật điều khiển. Giải thuật này được áp dụng để điều khiển đối tượng hệ tay máy một bậc tự do. Kết quả mô phỏng dựa trên phần mềm Simulink của MATLAB cho thấy: Đáp ứng của hệ tay máy bám theo tín hiệu mong muốn với độ vọt lố 0.02%, thời gian xác lập 3.1s, sai số xác lập không đáng kể, loại bỏ được hiện tượng dao động quanh mặt trượt và trong luật điều khiển trượt.*

**Từ khóa:** *Bộ điều khiển trượt, PID, hệ tay máy*

## 1 GIỚI THIỆU

Ưu điểm nổi bật của bộ điều khiển trượt là tính ổn định và bền vững ngay cả khi hệ thống có nhiễu hoặc khi thông số của đối tượng thay đổi theo thời gian. Tuy nhiên, nếu biên độ của luật điều khiển thay đổi quá lớn có thể làm cho hệ thống dao động (chattering) và không ổn định. Để khắc phục hiện tượng trên, bài báo đề nghị sử dụng bộ điều khiển trượt với hàm trượt có dạng phương trình của của bộ điều khiển PID. Và hàm trượt này được gọi là hàm trượt kiểu PID. Giải thuật này loại bỏ được hiện tượng dao động khi biên độ của luật điều khiển trượt tăng. Và giải thuật được áp dụng để điều khiển đối tượng phi tuyến-hệ tay máy một bậc tự do. Đối với hiện tượng dao động khi sử dụng bộ điều khiển trượt, nhiều nhà khoa học đã nghiên cứu và đưa ra nhiều giải pháp khắc phục khác nhau. Li Jian-jun (2010) đề nghị sử dụng logic mờ như một ngõ ra liên tục đối với bộ điều khiển trượt và

<sup>1</sup> Khoa Công Nghệ, Trường Đại học Cần Thơ

dùng mạng neuron để thay thế hàm sign trong bộ điều khiển này. Với giải thuật đề nghị, Li Jian-jun đã minh chứng được việc loại bỏ được hiện tượng dao động quanh mặt trượt. Zhang Yuzeng (2010) sử dụng vùng giới hạn cho quá trình chuyển đổi của mặt trượt. Phương pháp này đã giảm thiểu được dao động quanh mặt trượt. Tuy nhiên vùng giới hạn này không phải là duy nhất cho tất cả các đối tượng. Bên cạnh đó ZhixiongHou (2003) đã ước lượng các thành phần không xác định và biên độ của luật điều khiển trượt dựa trên hệ mờ. Giải thuật này không yêu cầu sử dụng vùng giới hạn cho các thành phần bất định. Và giải thuật đã chứng minh tính ổn định dựa trên Lyapunov. Hơn thế nữa, Yangmin Li (2010) thiết lập mặt trượt dựa trên luật điều khiển PID. Với phương pháp này luật điều khiển trượt kiểu PID đã điều khiển tốt đối tượng là tay máy Piezo-Driven và loại bỏ được hiện tượng dao động không mong muốn. Tuy nhiên, độ vọt lố và thời gian xác lập của đáp ứng lớn.

Dựa trên kết quả nghiên cứu của Yangmin Li (2010), bài báo đề nghị thiết kế bộ điều khiển trượt dựa trên hàm trượt kiểu PID. Trong đó các tham số của hàm trượt được điều chỉnh dựa trên phương pháp thử sai. Để minh chứng khả năng làm giảm hiện tượng dao động trên mặt trượt, giải thuật này được áp dụng để điều khiển hệ tay máy một bậc tự do.

## 2 MÔ HÌNH TOÁN HỆ TAY MÁY MỘT BẬC TỰ DO

Hệ tay máy một bậc tự do được mô tả như Hình 1. Hệ tay máy này có thể quay quanh một trục nhờ vào moment  $u(t)$  tác dụng lên trục. Vị trí của cánh tay  $\theta(t)$  được xác định là góc hợp bởi trục thẳng đứng và phương của cánh tay.  $u(t)$  là tín hiệu ngõ vào và  $\theta(t)$  là tín hiệu ngõ ra. Giả sử ở thời điểm ban đầu hệ tay máy chưa gấp vật nặng  $m$ . Sau khoảng thời gian  $t$  nào đó, hệ tay máy sẽ gấp vật nặng  $m$ . Dựa trên việc phân tích phương trình Euler-Larange, phương trình động học của hệ tay máy một bậc tự do được thiết lập như sau:

$$(J + ml^2)\ddot{\theta}(t) + B\dot{\theta}(t) + (ml + Ml_c)g \sin(\theta(t)) = u(t) \quad (1)$$

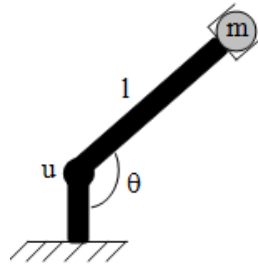
trong đó  $J = Ml_c^2$  là moment quán tính của cánh tay, các thông số còn lại được mô tả chi tiết trong bảng 1.

Đặt  $x_1 = \theta(t)$  và  $x_2 = \dot{\theta}(t)$

Phương trình (1) có thể biểu diễn dưới dạng phương trình trạng thái như sau:

$$\begin{cases} \dot{x}_1(t) = x_2(t) \\ \dot{x}_2(t) = \frac{u(t) - Bx_2(t) - (ml + Ml_c)g \sin(x_1(t))}{J + ml^2} \end{cases} \quad (2)$$

Và ngõ ra  $y(t) = \theta(t) = x_1(t)$ .



Hình 1: Mô hình động học hệ tay máy một bậc tự do

Bảng 1: Các thông số động học của hệ tay máy một bậc tự do

Ký hiệu	Ý nghĩa	Giá trị	Đơn vị
M	Khối lượng của cánh tay	1	Kg
m	Khối lượng vật nặng	0.1	Kg
l	Chiều dài cánh tay	0.4	m
l <sub>c</sub>	Khoảng cách từ trọng tâm cánh tay đến trục quay	0.15	m
B	Hệ số ma sát nhớt	0.2	Kg.m <sup>2</sup> /s
g	Gia tốc trọng trường	9.81	m/s <sup>2</sup>

### 3 THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT BẰNG CÁCH CHỌN MẶT TRƯỢT KIỂU PID

#### 3.1 Thiết kế bộ điều khiển trượt kinh điển

Do phương trình (2) là hệ bậc 2 nên hàm trượt được chọn như sau:

$$s(t) = \dot{e}(t) + \frac{1}{\lambda} e(t) \tag{3}$$

trong đó  $e(t) = y(t) - r(t)$  (4)

với  $r(t)$  là tín hiệu mong muốn,  $y(t)$  là tín hiệu ngõ ra,  $\lambda$  là hằng số dương chọn trước.

Khi hàm trượt  $s(t) = 0$ , nghiệm của phương trình (3) có dạng  $e(t) = \exp\left(-\frac{t}{\lambda}\right)$ . Do đó

khi  $t \rightarrow \infty, e(t) \rightarrow 0$ . Với  $\lambda$  được xem là thời hằng của hàm trượt.  $\lambda$  càng nhỏ, hệ thống càng chậm tiến về mặt trượt và ngược lại.

Thay (4) vào (3), hàm trượt được viết lại:

$$s(t) = x_2(t) - \dot{r}(t) + \frac{1}{\tau}(x_1(t) - r(t)) \tag{5}$$

Theo lý thuyết ổn định Lyapunov, chọn một hàm xác định dương

$$V(t) = \frac{1}{2} s^2(t) \tag{6}$$

Từ (6) suy ra  $\dot{V} = s(t) \cdot \dot{s}(t)$

Để  $\dot{V}(t)$  xác định âm, chọn  $\dot{s}(t) = -k \cdot \text{sign}(s(t))$ . Thay  $\dot{s}(t) = -k \cdot \text{sign}(s(t))$  vào  $\dot{V}(t)$  sẽ cho hàm  $\dot{V}(t) = -s \cdot k \cdot \text{sign}(s(t))$ , với  $k$  là hằng số dương chọn trước.

Nhận xét: nếu  $s(t) > 0$  thì  $\dot{V}(t) < 0$ . Nếu  $s(t) < 0$  thì  $\dot{V}(t) < 0$ . Nếu  $s(t) = 0$  thì  $\dot{V}(t) = 0$ .

Từ nhận xét trên cho thấy, hệ thống sẽ ổn định theo tiêu chuẩn Lyapunov.

Từ (2), (5) luật điều khiển trượt  $u(t)$  được thiết kế như sau:

$$u(t) = B.x_2(t) + (ml + Ml_c)g \sin(x_1(t)) + \left( J + ml^2 \right) \left[ \ddot{r}(t) + \frac{1}{\lambda} (\dot{r}(t) - x_2(t)) + k.sign(s(t)) \right] \quad (7)$$

Kết quả mô phỏng cho thấy, nếu sử dụng bộ điều khiển trượt kinh điển thì đáp ứng của hệ tay máy bám theo tín hiệu mong muốn với độ vọt lố là 3.5% và thời gian xác lập là 5.8s, sai số xác lập không đáng kể (xem Hình 2).

### 3.2 Thiết kế bộ điều khiển trượt dựa trên hàm trượt kiểu PID

Luật điều khiển trượt được thiết kế dựa trên hàm trượt. Hàm trượt được xây dựng dựa trên bậc của mô hình đối tượng. Đối với đối tượng hệ tay máy một bậc tự do, hàm trượt được chọn như phương trình (3). Tuy nhiên để loại bỏ hiện tượng dao động quanh mặt trượt khi biên độ của luật điều khiển trượt thay đổi lớn, hàm trượt có thể được chọn như sau (Yangmin Li, 2010):

$$s(t) = \dot{e}(t) + \lambda_1 e(t) + \lambda_2 \int_0^t e(\tau) d(\tau) \quad (8)$$

trong đó  $e(t)$  là sai số giữa đáp ứng ngõ ra và tín hiệu mong muốn được thiết lập như (4).  $\lambda_1$  và  $\lambda_2$  là hai hằng số dương. Hai giá trị này được chọn sao cho phương trình đặc tính  $s^2 + \lambda_1 s + \lambda_2 = 0$  phải Hurwitz. Trong đó  $s$  là biến phức và nghiệm của phương trình  $s^2 + \lambda_1 s + \lambda_2 = 0$  phải nằm ở nửa bờ trái của mặt phẳng phức.

Phương trình (8) có thể được viết lại như sau:

$$s(t) = \dot{y}(t) - \dot{r}(t) + \lambda_1 (y(t) - r(t)) + \lambda_2 \int_0^t (y(\tau) - r(\tau)) d(\tau) \quad (9)$$

Theo lý thuyết ổn định Lyapunov, chọn một hàm xác định dương

$$V(t) = \frac{1}{2} s^2(t) \quad (10)$$

$$\text{Phương trình (10) có thể được viết lại } \dot{V} = s(t) \cdot \dot{s}(t) \quad (11)$$

Để  $\dot{V}(t)$  xác định âm, chọn  $\dot{s}(t) = -k.sign(s(t))$ . Thay  $\dot{s}(t) = -k.sign(s(t))$  vào  $\dot{V}(t)$  sẽ cho hàm:  $\dot{V}(t) = -s.k.sign(s(t))$ , với  $k$  là hằng số dương chọn trước. Do đó luật điều khiển trượt dựa trên hàm trượt kiểu PID được thiết kế như sau:

$$u(t) = B.x_2(t) + (ml + Ml_c)g \sin(x_1(t)) + \left( J + ml^2 \right) \left[ \ddot{r}(t) + \lambda_1 (\dot{r}(t) - x_2(t)) + \lambda_2 (r(t) - x_1(t)) + k.sign(s(t)) \right] \quad (12)$$

So sánh giữa luật điều khiển trượt ở biểu thức (7) và luật điều khiển trượt dựa trên hàm trượt kiểu PID (12) cho thấy: luật điều khiển trượt dựa trên hàm trượt kiểu PID được thêm vào một thành phần là  $\lambda_2 e(t)$ .

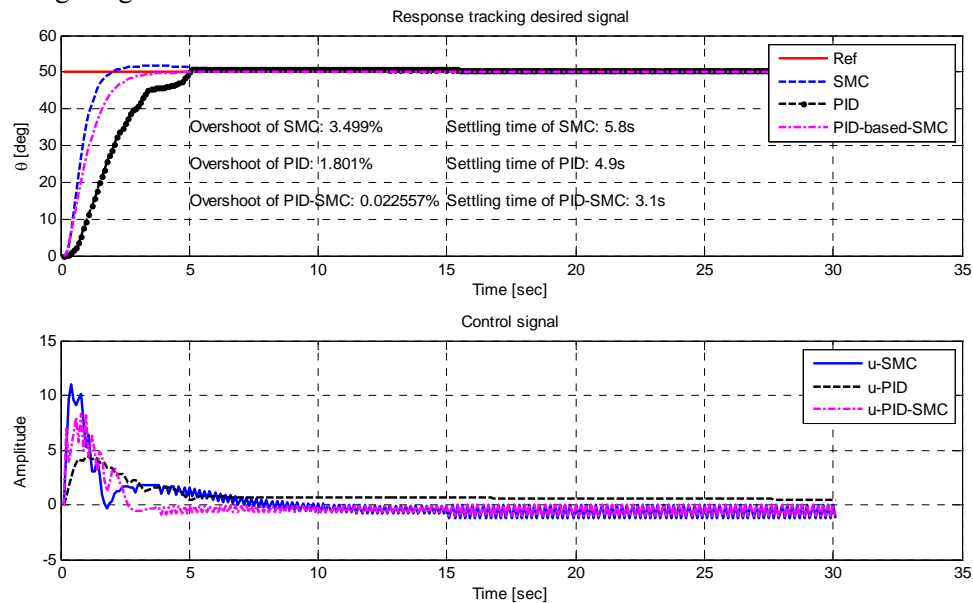
Kết quả mô phỏng khi sử dụng bộ điều khiển trượt với hàm trượt kiểu PID cho đáp ứng của hệ tay máy bám theo tín hiệu mong muốn với độ vọt lố là 0.02%, thời gian xác lập là 3.1s, sai số xác lập không đáng kể (xem Hình 2).

## 4 KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

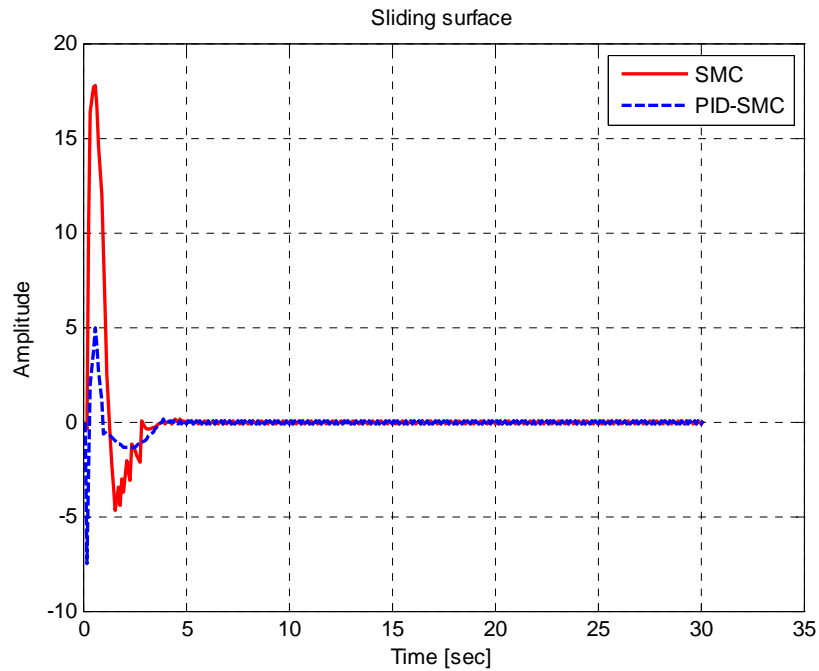
Ba bộ điều khiển khác nhau gồm bộ điều khiển trượt, bộ điều khiển trượt với hàm trượt kiểu PID và bộ điều khiển PID cùng lúc áp dụng để điều khiển một đối tượng duy nhất là hệ tay máy một bậc tự do. Kết quả mô phỏng trên Simulink của

MATLAB cho thấy nếu sử dụng bộ điều khiển trượt kinh điển thì thời gian xác lập (5.8s) và độ vọt lố lớn nhất (3.5%) trong số đáp ứng của ba bộ điều khiển trên. Bên cạnh đó luật điều khiển và mặt trượt đều có hiện tượng dao động. Mặt trượt dao động với biên độ 0.14 (xem Hình 3) và luật điều khiển trượt dao động với biên độ 1.28 (xem Hình 2). Nếu luật điều khiển dao động như thế này sẽ làm ảnh hưởng đến thời gian đáp ứng của đối tượng được điều khiển (ví dụ như động cơ một chiều chẳng hạn). Trong khi đó bộ điều khiển trượt với hàm trượt kiểu PID cho kết quả tốt hơn với độ vọt lố và thời gian xác lập bé nhất. Độ vọt lố là 0.02% và thời gian xác lập là 3.1s (xem Hình 2). Đặc biệt mặt trượt và luật điều khiển không có hiện tượng dao động với biên độ lớn (xem Hình 2 và Hình 4). Kết quả mô phỏng thực tế cho thấy nếu sử dụng bộ điều khiển trượt với hàm trượt kiểu PID thì mặt trượt ít có hiện tượng dao động hơn so với bộ điều khiển trượt kinh điển (xem Hình 3).

Bên cạnh hai bộ điều khiển nói trên, bộ điều khiển PID cũng được điều khiển đồng thời với cùng một đối tượng là hệ tay máy một bậc tự do với các hằng số của bộ điều khiển này được chọn theo phương pháp thử sai. Kết quả mô phỏng cũng chỉ ra rằng đáp ứng có độ vọt lố tương đối thấp 1.8% (xem Hình 2) và thời gian xác lập là 4.9s. Tất cả các tiêu chuẩn chất lượng của các bộ điều khiển được trình bày trong bảng 2.



**Hình 2:** Đáp ứng nấc của hệ tay máy và tín hiệu điều khiển (ref: tín hiệu mong muốn, SMC: đáp ứng hệ tay máy khi dùng bộ điều khiển trượt, PID: đáp ứng hệ tay máy khi dùng bộ điều khiển PID, PID-based SMC: đáp ứng của hệ tay máy khi dùng bộ điều khiển trượt với hàm trượt kiểu PID, u-SMC: tín hiệu điều khiển trượt, u-PID: tín hiệu điều khiển PID, u-PID-SMC: tín hiệu điều khiển trượt với hàm trượt kiểu PID )



**Hình 3: Mặt trượt của bộ điều khiển trượt (SMC) và mặt trượt của bộ điều khiển trượt dựa trên hàm trượt kiểu PID (PID-SMC)**

**Bảng 2: Chất lượng của các bộ điều khiển (SMC: Bộ điều khiển trượt, PID: Bộ điều khiển PID, PID-SMC: Bộ điều khiển trượt với hàm trượt kiểu PID)**

Loại điều khiển	Độ vọt ló (%)	Thời gian xác lập (s)	Thời gian tăng (s)
SMC	3.5	5.8	1
PID	1.8	4.9	2.7
PID-SMC	0.02	3.1	1.7

### 5 KẾT LUẬN

Bài báo áp dụng luật điều khiển trượt với hàm trượt được thiết kế dựa trên PID đã loại bỏ được hiện tượng dao động quanh mặt trượt và luật điều khiển trượt. Giải thuật này được áp dụng để điều khiển hệ tay máy một bậc tự do. Kết quả mô phỏng trên MATLAB đã minh chứng được rằng: với giải thuật này, đáp ứng hệ tay máy bám theo tín hiệu mong muốn với độ vọt ló không đáng kể 0.02%, sai số xác lập bằng không và thời gian xác lập là 3.1s. Nếu hệ tay máy được điều khiển bằng bộ điều khiển trượt truyền thống thì kết quả mô phỏng cho thấy độ vọt ló tăng lên 3.5%, luật điều khiển có hiện tượng dao động với biên độ bằng 1.28 và mặt trượt dao động với biên độ 0.14.

Để kết quả điều khiển tối ưu hơn nữa khi sử dụng bộ điều khiển trượt với hàm trượt kiểu PID, bài báo được đề nghị như sau: các tham số của hàm trượt và biên độ của luật điều khiển trượt được ước lượng trực tuyến dựa trên mạng nơron (Ming-guang *et al.*, 2005), (Hui Peng *et al.*, 2003), (Huang Yijun *et al.*, 2010) hoặc

logic mờ. Với cách làm này sẽ làm cho bộ điều khiển sẽ thích nghi hơn với mọi đối tượng cũng như mọi loại nhiễu can thiệp vào hệ thống.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Ming-guang, Zhang Xing-gui, Wang Man-qiang, Liu, 2005. *Adaptive PID Control Based on RBF Neural Network Identification*. Proceedings of the 17th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI'05), pp. 681-683
- ZhixiongHou, QuntaiShen, HeqingLi, 2003. *Nonlinear System Identification Based on ANFIS*. IEEE International Conference Neural Networks & Signal Processing Nanjing, China, December 14-17, pp. 510-512
- Hui Peng, Tohru Ozaki, Valerie Haggan-Ozaki and Yukihiro Toyoda, 2003. *A Parameter Optimaization Method for Radial basis Function Type Models*. IEEE Transactions On Neural Network, Vol.14, No.2, pp. 432-438
- Huang Yijun, Niu Wu, 2010. *Application of RBF Network in System Identification for Flight Control Systems*. IEEE, pp. 67-69
- Li Jian-jun, 2010. *Application of self tuning PID controller based on RBF network*. IEEE, pp. 544-546
- Zhang Yuzeng, Song Jianxin, Song Shuhan, Yan Mingyin, 2010. *Adaptive PID Speed Controller Based on RBF for Permanent Magnet Synchronous Motor System*. IEEE, pp. 425-428
- Yangmin Li, 2010. *Adaptive Sliding Mode Control With Perturbation Estimation and PID liding Surface for Motion Tracking of a Piezo-Driven Micromanipulator*. IEEE Transactions On Control Systems Technology, VOL. 18, NO. 4, pp.798-810.