

# ĐỀ XUẤT BỘ ĐIỀU KHIỂN FUZZY- PD CHO THIẾT BỊ BAY KHÔNG NGƯỜI LÁI (UAV - UNMANNED AERIAL VEHICLE) DESIGN OF FUZZY - PD CONTROLLER FOR UAV (UNMANNED AERIAL VEHICLE)

**ĐỖ KHẮC TIỆP**

*Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam*

*Email liên hệ: dokhactiep@vimaru.edu.vn*

## **Tóm tắt**

*Trong những năm gần đây thiết bị bay không người lái được nghiên cứu và phát triển rất mạnh mẽ, các nghiên cứu về mô hình hóa và điều khiển UAV đã được tăng lên nhanh chóng. Bài báo trình bày về mô hình toán học của máy bay bốn cánh (quadcopter) được mô tả bằng cách sử dụng các phương trình Euler-Newton. Bài báo trình bày về vấn đề điều khiển bay ổn định và điều khiển bám quỹ đạo đặt cho UAV sử dụng bộ điều khiển PID truyền thống và bộ điều khiển mờ lai Fuzzy - PD. Trong bài báo này Matlab/Simulink cũng được sử dụng để mô phỏng hoạt động của UAV, các đặc tính thu được sau khi mô phỏng được sử dụng để kiểm tra, phân tích và so sánh hoạt động của bộ điều khiển truyền thống PID với bộ điều khiển mờ lai Fuzzy-PD. Từ kết quả nghiên cứu cho thấy cả hai bộ điều khiển PID và Fuzzy-PD đều có thể thực hiện được việc điều khiển UAV tuy nhiên bộ điều khiển mờ lai Fuzzy-PD thực hiện việc điều khiển nhanh chóng và chính xác hơn.*

**Từ khóa:** *Thiết bị bay không người lái, điều khiển logic mờ, điều khiển PID, Matlab/Simulink.*

## **Abstract**

*The studies on UAV modeling and control have been increased rapidly recently. This paper presents the modeling of the quadcopter will be described by using Euler-Newton equations. In order to stable the quadcopter and control the attitude of that, classical PID controller and a fuzzy system that adjust the PD controller gains, have been designed. Matlab Simulink has been used to test, analyze and compare the performance of the controllers in simulations. This study showed that although, both of the classical PID and the Fuzzy - PD controllers, can control the system properly, the second controller performed better than the classical PID controller.*

**Keywords:** *UAV, fuzzy controller, PID controller, Matlab/Simulink.*

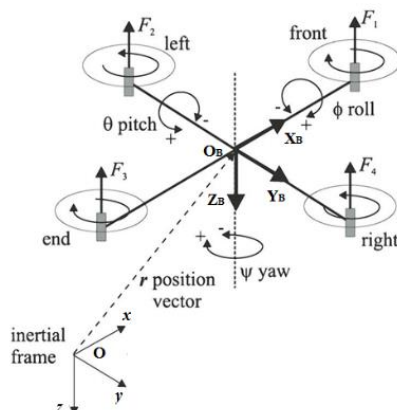
## **1. Giới thiệu**

Bài báo trình bày thuật toán điều khiển F-PID để ổn định độ cao và bám quỹ đạo của máy bay không người lái (UAV) [1, 2]. Hoạt động của UAV thường không ổn định do chịu tác động của nhiều yếu tố bên ngoài và việc thực hiện điều khiển độ cao cũng như điều khiển bám quỹ đạo đóng một vai trò rất quan trọng. Chính vì vậy tác giả đề xuất thuật toán điều khiển độ cao và bám quỹ đạo của UAV sử dụng bộ điều khiển F-PID, tức là sử dụng bộ điều khiển mờ để cập nhật trực tuyến các tham số của bộ điều khiển PID. Cách tiếp cận này biến bộ điều khiển PID thông thường thành bộ điều khiển PID động (các hệ số  $K_P$ ,  $K_I$ ,  $K_D$  được cập nhật liên tục nhờ bộ điều khiển mờ). Thuật toán mờ lai thích nghi mới này và bộ điều khiển PID được mô phỏng trên Matlab/Simulink. Các kết quả thu được từ cả hai bộ điều khiển sau khi tiến hành mô phỏng được so sánh với nhau để người đọc có thể nhận thấy được sự khác nhau khi áp dụng hai bộ điều khiển này trên UAV.

## **2. Mô hình động học của máy bay không người lái**

Để tìm hiểu về mô hình động học của UAV trước tiên ta tiến hành xác định các hệ tọa độ sẽ được sử dụng. Trên Hình 1 ta có hệ tọa độ  $Oxyz$  là hệ tọa độ toàn cục (earth reference frame) được cố định tại 1 vị trí trên mặt đất.  $O_B X_B Y_B Z_B$  là hệ tọa độ cục bộ (body reference frame) được gắn tại trung tâm của UAV với trục  $X_B$  hướng về động cơ số 1 (Front motor), trục  $Y_B$  hướng về động cơ số 4 (Right motor), trục  $Z_B$  hướng xuống đất.

Một UAV thường bao gồm các chuyển động: chuyển động lên/xuống (attitude), chuyển động quanh trục x - roll movement, chuyển động quanh trục y- pitch movement và chuyển động quanh trục z- yaw movement. Bằng cách thay đổi tốc độ của các động cơ ta có thể tạo ra được các chuyển động của UAV.



**Hình 1. Cấu hình và các hệ tọa độ của UAV**

Mô hình động học của UAV được mô tả thông qua biểu thức Newton - Euler. Phương trình động học có thể được biểu diễn như sau [4-5]:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} p_n \\ p_e \\ -h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_\psi c_\theta & s_\phi c_\psi s_\theta - c_\phi s_\psi & c_\phi c_\psi s_\theta + s_\phi s_\psi \\ s_\psi s_\theta & s_\phi c_\psi s_\theta + c_\phi s_\psi & c_\phi c_\psi s_\theta - s_\phi s_\psi \\ s_\theta & -c_\phi s_\psi & -c_\phi c_\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \\ \dot{w} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} rv - qw \\ pw - ru \\ qu - pv \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -gs_\theta \\ gc_\theta s_\phi \\ gc_\theta c_\phi \end{bmatrix} + \frac{1}{m} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -F \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{J_y - J_z}{J_x} qr \\ \frac{J_z - J_x}{J_y} pr \\ \frac{J_x - J_y}{J_z} pq \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{J_x} \tau_\phi \\ \frac{1}{J_y} \tau_\theta \\ \frac{1}{J_z} \tau_\psi \end{bmatrix} \quad (3)$$

Trong đó:  $p_n$  - vị trí tại cực Bắc của UAV trong hệ tọa độ trái đất;  
 $p_e$  - vị trí tại cực Nam của UAV trong hệ tọa độ trái đất;  
 $h$  - độ cao của UAV trong hệ tọa độ trái đất;  
 $u, v, w$  - lần lượt là vận tốc của UAV dọc theo trục x, trục y, trục z;  
 $\phi, \theta, \psi$  - lần lượt là góc quay quanh trục x (Roll angle), góc quay quanh trục y (Pitch angle), góc quay quanh trục z (Yaw angle);  
 $p, q, r$  - lần lượt là vận tốc quay quanh trục x, trục y, trục z;  
 $g$  - gia tốc trọng trường;  
 $c$  - cosin;  $s$  - sin.

### 3. Thiết kế bộ điều khiển Fuzzy - PD cho UAV

Bộ điều khiển PD có hàm truyền dạng:

$$G(s) = K_p + s.K_d \quad (4)$$

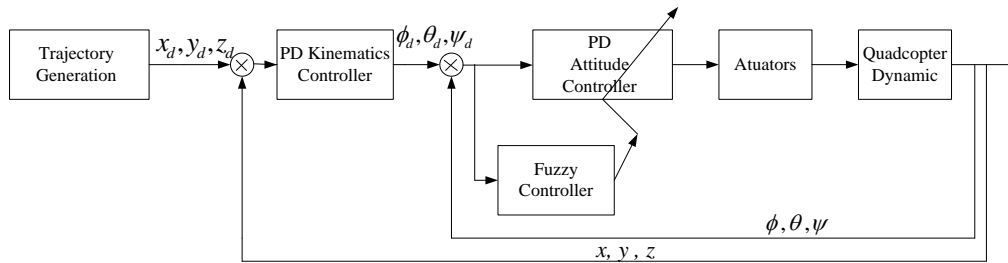
Với  $K_P$  và  $K_D$  là hệ số của khâu khuếch đại và khâu vi phân;  $s$  là toán tử Laplace. Bộ điều khiển mờ (FLC) Tagaki- Sugeno thực hiện điều chỉnh trực tuyến các hệ số của bộ điều khiển PD [2]. Bộ điều khiển mờ lai với đầu vào là các sai số 'e' của các góc quay và vi phân của sai số 'ce', quá trình này được sử dụng để xác định thông số của bộ điều khiển. Phép biến đổi tuyến tính được sử dụng cho phép xác định tham số  $K_P, K_D$  của bộ điều khiển PD theo công thức:

$$K_d = (K_{dmax} - K_{dmin})K'_d + K_{dmin} \quad (5)$$

$$K_p = (K_{pmax} - K_{pmin})K'_p + K_{pmin} \quad (6)$$

Với  $[K_{pmin}; K_{pmax}]$  và  $[K_{dmin}; K_{dmax}]$  được xác định trong dải giá trị tương ứng của:  $K_P = [1 \div 4]$  và  $K_D = [1 \div 10]$ .

Bộ điều khiển mờ được sử dụng trong nghiên cứu này dựa trên quy tắc mờ Tagaki- Sugeno. Quy tắc điển hình trong quy tắc mờ Sugeno có dạng: 'If Input 1 = x and Input 2 = y, then Output is z = ax + by + c'.



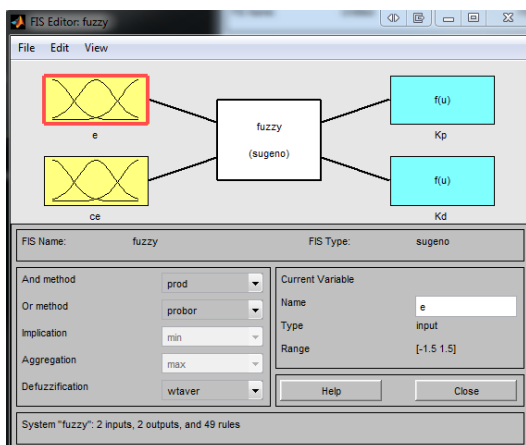
Hình 2. Sơ đồ khối của bộ điều khiển Fuzzy - PD cho UAVs

Cấu trúc của bộ điều khiển Fuzzy - PD cho UAV được mô tả trên Hình 2, ban đầu khối tạo quỹ đạo sẽ thiết lập một quỹ đạo đặt theo các tham số của người điều khiển, sau đó bộ điều khiển sẽ thực hiện điều khiển UAV bay theo quỹ đạo đã được đặt trước.

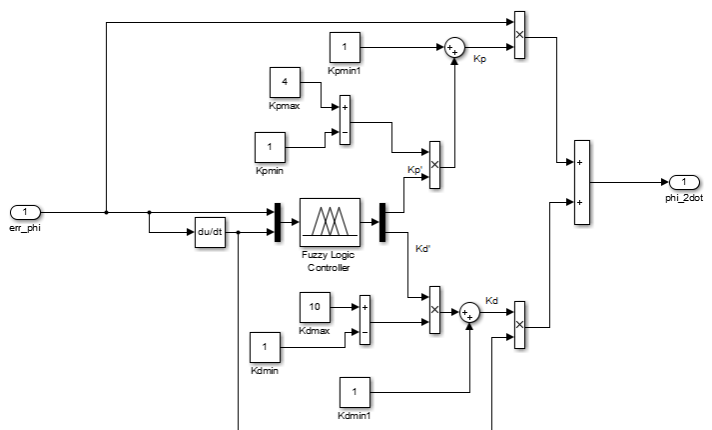
Bộ điều khiển mờ lai Fuzzy - PD với đầu vào là sai lệch 'e' và vi phân sai lệch 'ce' với 7 giá trị của tập mờ có mối quan hệ theo Bảng 1, trong đó: Z(Zero), NS(Negative Small), NM(Negative Medium), NB(Negative Big), PB(Positive Big), PM(Positive Medium), PS(Positive Small). Đầu ra của bộ điều khiển bao gồm 4 giá trị: B(big), M(Medium), S(Small), Z(zero).

Bảng 1. Bảng quy tắc mờ cho  $K_P / K_D$

e/ce	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	B/B	B/B	B/B	B/B	B/B	B/B	B/B
NM	S/M	B/M	B/B	B/B	B/B	B/M	S/M
NS	S/S	S/M	B/M	B/B	B/M	B/M	S/S
Z	S/Z	S/S	B/M	B/B	S/M	S/S	S/Z
PS	S/S	S/M	B/M	B/B	B/M	S/M	S/S
PM	S/M	B/M	B/B	B/B	B/B	B/M	S/M
PB	B/B	B/B	B/B	B/B	B/B	B/B	B/B



Hình 3. Cấu trúc của bộ điều khiển Fuzzy trong Matlab



Hình 4. Bộ điều khiển mờ lai (F-PD) cho góc  $\Phi$

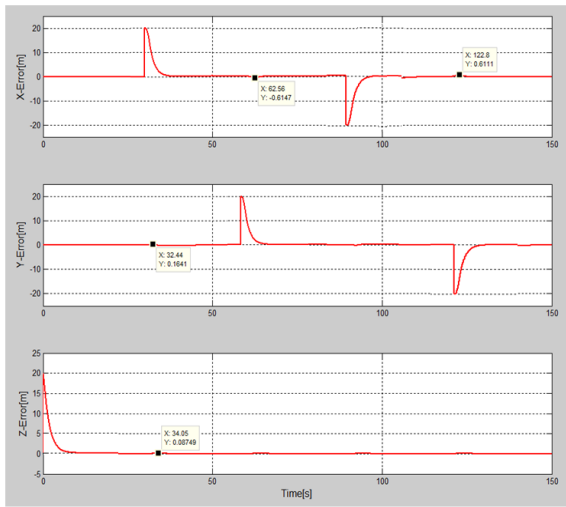
Hình 4 mô tả cấu trúc của bộ điều khiển Fuzzy - PD cho góc  $\Phi$  của UAV, bộ điều khiển cho góc  $\theta, \Psi$  cũng có cấu trúc tương tự.

#### 4. Kết quả mô phỏng

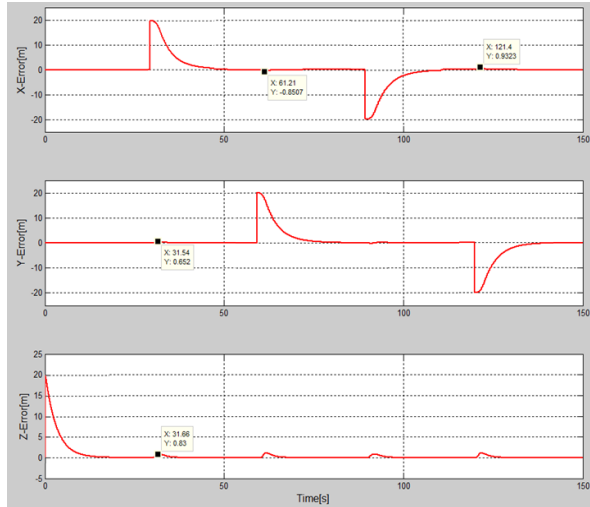
Để tiến hành kiểm nghiệm và đánh giá bộ điều khiển F-PD được đề xuất tác giả tiến hành mô phỏng UAV thực hiện hoạt động bám quỹ đạo đặt sử dụng phần mềm Matlab/Simulink với UAV có các thông số cho trước được trình bày trong Bảng 2 [4-5].

**Bảng 2. Thông số của UAV**

Parameter Thông số	Giá trị	Đơn vị
Khối lượng UAV ( $m$ )	9,8	$kg$
Gia tốc trọng trường ( $g$ )	1	$m/s^2$
Độ dài cánh của UAV ( $l$ )	0,24	$m$
Quán tính quay ( $J$ )	$104 \times 10^{-6}$	$kgm^2$
Quán tính quanh dọc theo trục x ( $J_{xx}$ )	$8,1 \times 10^{-3}$	$kgm^2$
Quán tính quanh dọc theo trục y ( $J_{yy}$ )	$8,1 \times 10^{-3}$	$kgm^2$
Quán tính quanh dọc theo trục z ( $J_{zz}$ )	$14,2 \times 10^{-3}$	$kgm^2$

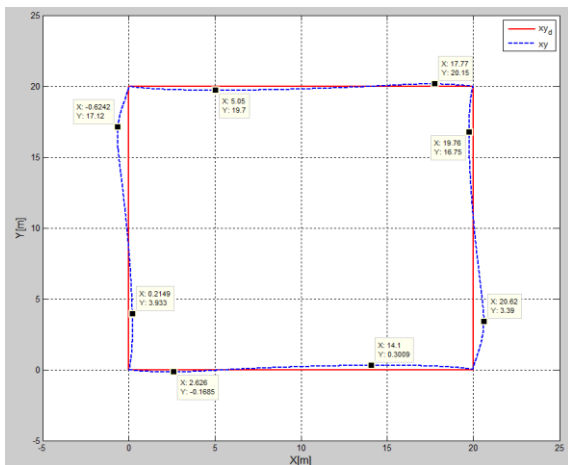


**Hình 5. Sai lệch vị trí của UAV với bộ điều khiển Fuzzy - PD**

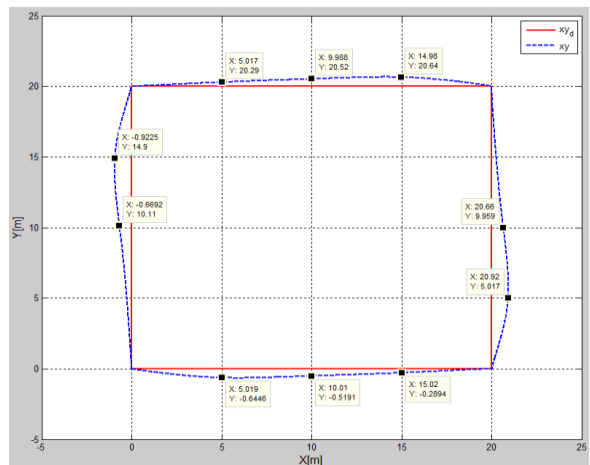


**Hình 6. Sai lệch vị trí của UAV với bộ điều khiển PD**

Hình 5 và Hình 6 mô tả sai lệch bám quỹ đạo của UAV ứng với bộ điều khiển Fuzzy - PD và bộ điều khiển PD truyền thống. Từ các hình vẽ trên ta thấy sai lệch bám quỹ đạo của UAV với bộ điều khiển Fuzzy - PD nhỏ hơn so với sai lệch bám quỹ đạo của UAV với bộ điều khiển PD truyền thống. Căn bậc 2 của trung bình bình phương (RMS - Root Mean Square) sai lệch bám quỹ đạo của UAV với bộ điều khiển Fuzzy - PD là 2,49(m) trong khi đó RMS sai lệch bám quỹ đạo của UAV với bộ PD là 3,03(m).



**Hình 7. Mô phỏng bám quỹ đạo đặt của UAV với bộ điều khiển Fuzzy - PD**



**Hình 8. Mô phỏng bám quỹ đạo đặt của UAV với bộ điều khiển PD**

Kết quả mô phỏng hoạt động của UAV thực hiện bám quỹ đạo đặt với bộ điều khiển Fuzzy - PD và bộ điều khiển PD truyền thống được mô tả trên Hình 7, 8. Từ Hình 7 và Hình 8 chúng ta nhận thấy rằng UAV với bộ điều khiển Fuzzy - PD thực hiện bám quỹ đạo đặt trước với độ chính xác cao hơn so với bộ điều khiển PD truyền thống.

Từ kết quả mô phỏng chúng ta có thể thấy, UAV với bộ điều khiển Fuzzy - PD hoạt động hiệu quả hơn bộ điều khiển PD truyền thống. Nói cách khác UAV khi áp dụng bộ điều khiển Fuzzy - PD thực hiện bay bám quỹ đạo đặt trước chính xác hơn trường hợp UAV với bộ PD truyền thống.

## 5. Kết luận

Bài báo đã trình bày được mô hình toán học của UAV, đồng thời xây dựng thành công bộ điều khiển mờ lai Fuzzy - PD áp dụng cho UAV trong chế độ bay theo quỹ đạo đặt trước. Việc áp dụng bộ điều khiển Fuzzy - PD cho phép UAV hoạt động một cách rất linh hoạt và hiệu quả với độ chính xác tương đối cao. Kết quả mô phỏng hoạt động của UAV thực hiện bám quỹ đạo với bộ điều khiển PD và bộ điều khiển Fuzzy - PD được tiến hành trên Matlab/Simulink.

Bộ điều khiển Fuzzy là phi tuyến chính vì vậy mà nó rất phù hợp cho việc điều khiển hệ thống phi tuyến như UAV. Từ kết quả của phần mô phỏng ta thấy rằng UAV với bộ điều khiển mờ lai Fuzzy - PD hoạt động với độ chính xác cao hơn so với bộ điều khiển PD truyền thống. Ưu điểm lớn nhất của bộ điều khiển Fuzzy - PD đó là giúp cho UAV thực hiện bám chính xác quỹ đạo đã được đặt trước, quá điều chỉnh trong quá trình thực hiện bám quỹ đạo nhỏ hơn nhiều so với bộ điều khiển PD truyền thống. Từ các kết quả mô phỏng ta thấy rằng bộ điều khiển mờ lai (F-PD) được đề xuất trong bài báo này hoàn toàn có thể áp dụng cho UAV với các quỹ đạo chuyển động phức tạp với độ chính xác cao hơn so với các bộ điều khiển truyền thống.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Hazry Desa, S.Faiz Ahmed, A. Zul Azfar, *Adaptive HybridControl Algorithm Design for Attitude Stabilization of Quadrotor (UAV)*, Archives Des Sciences Vol 66, No. 2, Feb 2013, University Malaysia Perlis, Malaysia, 2013.
- [2] Zhao, Z., Tomizuka, M., and Isaka, S., *Fuzzy gain scheduling of PID controllers*, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 23(5), pp.1392-1398, 1993.
- [3] L. Reznik, *Fuzzy Controllers Handbook*, 1997.
- [4] E. H. Fung, Y. Wong, Y. Ma, C. M. Yuen, and W. Wong, *Smart hanger dynamic modeling and fuzzy control design*, *International Journal of Control, Automation, and Systems*, Vol. 9, No. 4, pp.691-700, 2011.
- [5] Do Khac Tiep, Ki-Nam Lee, Dae-Yeong Im, Bongwoo Kwak and Young-Jae Ryoo, *Design of Fuzzy - PID Controller for Path Tracking of Mobile Robot with Differential Drive*, *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, Vol.18, No.3, pp.220-228, September 2018.

---

Ngày nhận bài: 23/9/2019  
Ngày nhận bản sửa: 18/10/2019  
Ngày duyệt đăng: 15/11/2019