

THIẾT KẾ ĐIỀU KHIỂN THIẾT BỊ BAY KHÔNG NGƯỜI LÁI 4 CÁNH QUẠT (QUADCOPTER) PHUN THUỐC BẢO VỆ THỰC VẬT

● HOÀNG ĐỨC QUỲNH

TÓM TẮT:

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu thiết kế điều khiển máy bay không người lái 4 cánh quạt (Quadcopter) ứng dụng trong phun thuốc bảo vệ thực vật. Mô hình tuyến tính hóa của hệ quadcopter được xây dựng dựa trên kết cấu cơ khí, động lực học, khí động học. Cấu trúc điều khiển hệ Quadcopter được xây dựng trên 4 thành phần gồm: điều khiển vị trí, điều khiển độ nghiêng, bộ phân phối điều khiển và điều khiển động cơ. Các kết quả mô phỏng kiểm chứng bằng Matlab-Simulink để kiểm chứng mô hình toán và hệ điều khiển đã thiết kế.

Từ khóa: điều khiển, Quadcopter, máy bay phun thuốc bảo vệ thực vật.

1. Đặt vấn đề

Theo các nghiên cứu trên thế giới (2, 3, 4), các thiết bị bay điều khiển từ xa đã được sử dụng để phục vụ nhu cầu quản lý, giám sát trong nhiều lĩnh vực kinh tế - xã hội. Trong nông nghiệp, thiết bị bay không người lái cũng đã được một số nước ứng dụng nhằm phát huy lợi thế trong việc ghi hình, thu thập mẫu đất, nước... từ đó cung cấp các thông tin chính xác giúp cho việc quản lý mùa màng, sâu bệnh lẫn bảo quản sản phẩm sau thu hoạch hiệu quả, giảm giá thành đầu vào. Việc sử dụng thiết bị bay điều khiển từ xa có thể giảm thiểu lượng thuốc trừ sâu và phân bón, góp phần phát triển nền nông nghiệp thân thiện với môi trường. Chính bởi vậy, trong thời gian gần đây, đã có khá nhiều công trình nghiên cứu của các tác giả trên thế giới nhằm thiết kế và làm chủ được công nghệ chế tạo cũng như điều khiển thiết bị bay điều khiển từ xa (hay thiết bị bay không người lái).

2. Mô hình toán hệ quadcopter

Mô hình vật lý hệ QuadCopter được giới thiệu trên Hình 1:

Hình 1: Mô hình vật lý hệ QuadCopter



Nguồn: Tác giả tổng hợp

Các phương trình động học, động lực học mô tả chuyển động của máy bay (1):

$$\begin{aligned}\dot{\bar{\mathbf{p}}} &= \bar{\mathbf{v}}^e \\ m \cdot \frac{d\bar{\mathbf{v}}^e}{dt} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & m \cdot g \end{bmatrix}^T + \mathbf{R}_b^e \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & -f_T \end{bmatrix}^T \\ \dot{\bar{\Theta}} &= \mathbf{T}_\Theta \cdot \bar{\omega}^b \\ \mathbf{I}^b \frac{d\bar{\omega}^b}{dt} &= -\mathbf{S}(\bar{\omega}^b) \cdot \mathbf{I}^b \cdot \bar{\omega}^b + \bar{\tau}_G^b + \bar{\tau}_T^b \\ f_T &= c_T \cdot \sum_{k=1}^4 \Omega_k^2 \\ \bar{\tau}_T^b &= \begin{bmatrix} 0 & -dc_T & 0 & dc_T \\ dc_T & 0 & -dc_T & 0 \\ c_\varrho & -c_\varrho & c_\varrho & -c_\varrho \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Omega_1^2 \\ \Omega_2^2 \\ \Omega_3^2 \\ \Omega_4^2 \end{bmatrix} \\ \frac{d\Omega_k}{dt} &= -\left(\frac{K_f}{I_r} + \frac{K_t K_e}{R I_r} \right) \cdot \Omega_k - \frac{c_\varrho}{I_r} \cdot \Omega_k^2 + \frac{K_t}{R I_r} V_k\end{aligned}\quad (1)$$

Các mô hình tuyến tính hóa:

Các phương trình chuyển động tịnh tiến trong

(1) được viết lại dạng tường minh như sau:

$$\begin{aligned}\ddot{p}_x^e &= -\frac{f_T}{m} (c_\psi s_\theta c_\phi + s_\psi s_\phi) \\ \ddot{p}_y^e &= -\frac{f_T}{m} (s_\psi s_\theta c_\phi - c_\psi s_\phi) \\ \ddot{p}_z^e &= g - \frac{f_T}{m} \cdot c_\theta c_\phi\end{aligned}\quad (2)$$

Khi hoạt động bình thường ở trạng thái cân bằng, các góc pitch và roll của máy bay có thể coi là nhỏ, hơn nữa lực đẩy tổng của cánh quạt xấp xỉ trọng lượng của máy bay. Do vậy, ta có:

$\sin \theta \approx \theta$; $\cos \theta \approx 1$; $\sin \phi \approx \phi$; $\cos \phi \approx 1$; $f_T \approx mg$
Với các xấp xỉ này, hệ (2) trở thành:

$$\begin{aligned}\ddot{p}_x^e &= -g (c_\psi \cdot \theta + s_\psi \cdot \phi) \\ \ddot{p}_y^e &= -g (s_\psi \cdot \theta - c_\psi \cdot \phi) \\ \ddot{p}_z^e &= g - \frac{f_T}{m}\end{aligned}\quad (3)$$

Hai phương trình theo phương x, y của (3) có thể viết lại như sau:

$$\begin{aligned}\ddot{\bar{\mathbf{p}}}_h &= \bar{\mathbf{v}}_h \\ \ddot{\bar{\mathbf{v}}}_h &= -g \cdot \mathbf{A}_\psi \cdot \bar{\Theta}_h\end{aligned}\quad (4)$$

trong đó:

$$\bar{\mathbf{p}}_h = \begin{bmatrix} p_x^e & p_y^e \end{bmatrix}^T; \bar{\Theta}_h = \begin{bmatrix} \phi & \theta \end{bmatrix}^T; \mathbf{A}_\psi = \begin{bmatrix} s_\psi & c_\psi \\ -c_\psi & s_\psi \end{bmatrix}$$

Viết lại phương trình theo phương z của (3) như sau:

$$\begin{aligned}\dot{p}_z^e &= v_z^e \\ v_z^e &= g - \frac{f_T}{m}\end{aligned}\quad (5)$$

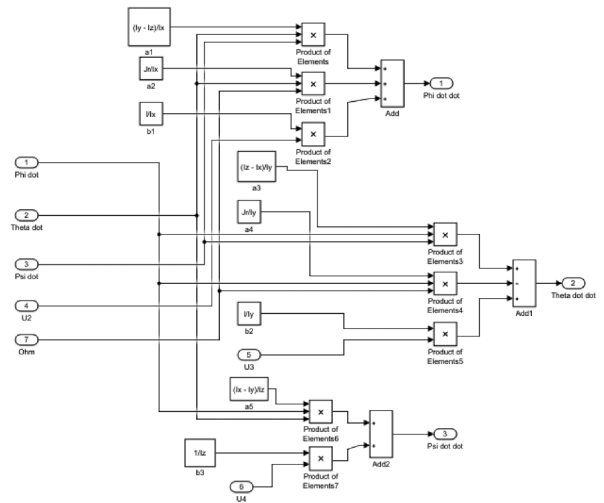
mô hình tuyến tính cho độ nghiêng của máy bay:

$$\begin{aligned}\dot{\bar{\Theta}} &= \bar{\omega}^b \\ \mathbf{I}^b \cdot \dot{\bar{\omega}}^b &= \bar{\tau}_T^b\end{aligned}\quad (6)$$

với đầu vào là vector moment, $\bar{\tau}_T^b$ đầu ra là vector góc $\bar{\Theta}$.

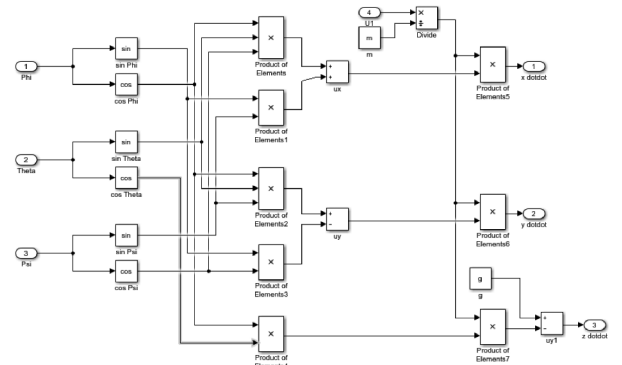
Mô phỏng hệ máy bay QuadCopter:

Hình 2: Sơ đồ mô phỏng mô hình góc quay QuadCopter



Nguồn: Tác giả tổng hợp

Hình 3: Sơ đồ mô phỏng mô hình vị trí QuadCopter

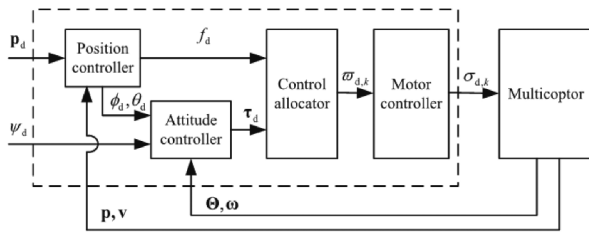


Nguồn: Tác giả tổng hợp

Thiết kế điều khiển

Phần này chủ yếu tập trung vào bài toán điều khiển điểm - điểm. Bộ điều khiển có nhiệm vụ tính toán độ nghiêng và lực đẩy mong muốn $\bar{\Theta}_{h,d}; f_{T,d}$ sao cho triệt tiêu được sai lệch vị trí: $\bar{\mathbf{e}}_{P,h} = \bar{\mathbf{p}}_{h,d} - \bar{\mathbf{p}}_h$

Hình 4: Cấu trúc hệ điều khiển Quadcopter



Nguồn: Tác giả tổng hợp

Hệ điều khiển vị trí cho kênh ngang và kênh độ cao sử dụng bộ điều khiển PID truyền thống dựa trên mô hình tuyến tính (4) và (5).

Điều khiển vị trí kênh ngang

Dựa trên mô hình vị trí theo phương ngang (4), góc nghiêng mong muốn \$\bar{\Theta}_{h,d}\$ được tính toán sao cho:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \|\bar{\mathbf{e}}_{p,h}\| = 0 \quad (7)$$

với: \$\bar{\mathbf{e}}_{p,h} = \bar{\mathbf{p}}_{h,d} - \bar{\mathbf{p}}_h\$

Sử dụng bộ điều khiển vị trí kênh ngang có dạng:

$$\bar{\Theta}_{h,d} = -\frac{A_{\psi}^{-1}}{g} \cdot (\ddot{\bar{\mathbf{p}}}_{h,d} - \mathbf{K}_{p,hD} \cdot \dot{\bar{\mathbf{e}}}_{p,h} - \mathbf{K}_{p,hP} \cdot \bar{\mathbf{e}}_{p,h}) \quad (8)$$

Kết hợp (8) với mô hình vị trí, với giả thiết

$$\bar{\Theta}_h(t) = \bar{\Theta}_{h,d}(t)$$

ta có:

$$\ddot{\bar{\mathbf{p}}}_{h,d} = \ddot{\bar{\mathbf{p}}}_{h,d} - \mathbf{K}_{p,hD} \cdot \dot{\bar{\mathbf{e}}}_{p,h} - \mathbf{K}_{p,hP} \cdot \bar{\mathbf{e}}_{p,h} \quad (9)$$

Hay:

$$\ddot{\bar{\mathbf{e}}}_{p,h} + \mathbf{K}_{p,hD} \cdot \dot{\bar{\mathbf{e}}}_{p,h} + \mathbf{K}_{p,hP} \cdot \bar{\mathbf{e}}_{p,h} = \mathbf{0} \quad (10)$$

Trong đó: \$\mathbf{K}_{p,hD}\$; \$\mathbf{K}_{p,hP}\$ là những ma trận đối xứng xác định dương các hệ số điều khiển. Kết hợp với (10) ta thấy sai lệch vị trí được triệt tiêu khi \$t \rightarrow \infty\$.

Điều khiển vị trí kênh độ cao

Lực đẩy mong muốn là đầu ra của bộ điều khiển độ cao, được chọn theo phương trình:

$$f_{T,d} = mg - m \cdot (\ddot{p}_{z,d} - k_{pzD} \dot{e}_{pz} - k_{pzP} e_{pz}) \quad (11)$$

Kết hợp (11), (5) và giả thiết \$f_{T,d}(t) = f_T(t)\$ ta có phương trình vi phân mô tả sai lệch:

$$\begin{aligned} \ddot{p}_z &= \ddot{p}_{z,d} - k_{pzD} \dot{e}_{pz} - k_{pzP} e_{pz} \\ \ddot{e}_{pz} + k_{pzD} \dot{e}_{pz} + k_{pzP} e_{pz} &= 0 \end{aligned} \quad (12)$$

Trong đó: \$k_{pzD}\$, \$k_{pzP}\$ là các hằng số dương, ta thấy sai lệch độ cao được triệt tiêu khi \$t \rightarrow \infty\$.

Hệ điều khiển độ nghiêng được thiết kế với cấu trúc 2 mạch vòng: bên ngoài là mạch vòng điều khiển vị trí góc, bên trong là mạch vòng điều khiển tốc độ góc. Trong đó vòng ngoài sử dụng bộ điều khiển tỷ lệ \$\mathbf{P}\$, bên trong dùng bộ tỷ lệ - tích phân \$\mathbf{PI}\$.

Tốc độ góc mong muốn được tính toán bởi:

$$\bar{\omega}_d = -\mathbf{K}_{\Theta} \cdot \bar{\mathbf{e}}_{\Theta} \quad (13)$$

Trong đó sai lệch góc cho bởi:

$$\bar{\mathbf{e}}_{\Theta} = \bar{\Theta}_d - \bar{\Theta} \quad (14)$$

Viết lại động học mạch vòng tốc độ:

$$\mathbf{I}^b \cdot \dot{\bar{\omega}}^b = \bar{\tau}_T^b \quad (15)$$

Giả sử \$\bar{\tau}_T^b(t) = \bar{\tau}_{Td}^b(t)\$, moment đặt được tính toán sử dụng bộ \$\mathbf{PI}\$:

$$\bar{\tau}_{Td}^b(t) = -\mathbf{K}_{\omega P} \cdot \bar{\mathbf{e}}_{\omega} - \mathbf{K}_{\omega I} \cdot \int \bar{\mathbf{e}}_{\omega} dt \quad (16)$$

Trong đó: \$\mathbf{K}_{\omega P}\$; \$\mathbf{K}_{\omega I}\$ là ma trận các hệ số tỷ lệ \$\mathbf{P}\$ và hệ số tích phân \$\mathbf{I}\$.

Điều khiển động cơ

Phương trình mô tả chuyển động quay của động cơ:

$$\begin{aligned} \frac{d\Omega_k}{dt} &= -\left(\frac{K_f}{I_r} + \frac{K_t K_e}{R I_r}\right) \cdot \Omega_k - \frac{c_{\phi}}{I_r} \cdot \Omega_k^2 + \frac{K_t}{R I_r} V_k; \\ k &= 1, \dots, 4 \end{aligned} \quad (17)$$

Mô hình động cơ (17) có thể xấp xỉ thành dạng tuyến tính với hàm truyền:

$$\Omega_k = \frac{K_m}{T_m s + 1} V_k; \quad k = 1, \dots, 4 \quad (18)$$

Từ mô hình hàm truyền này, một bộ điều khiển vòng kín có thể được thiết kế sao cho triệt tiêu sai lệch điều khiển: \$\Delta\Omega_k = \Omega_{d,k} - \Omega_k\$

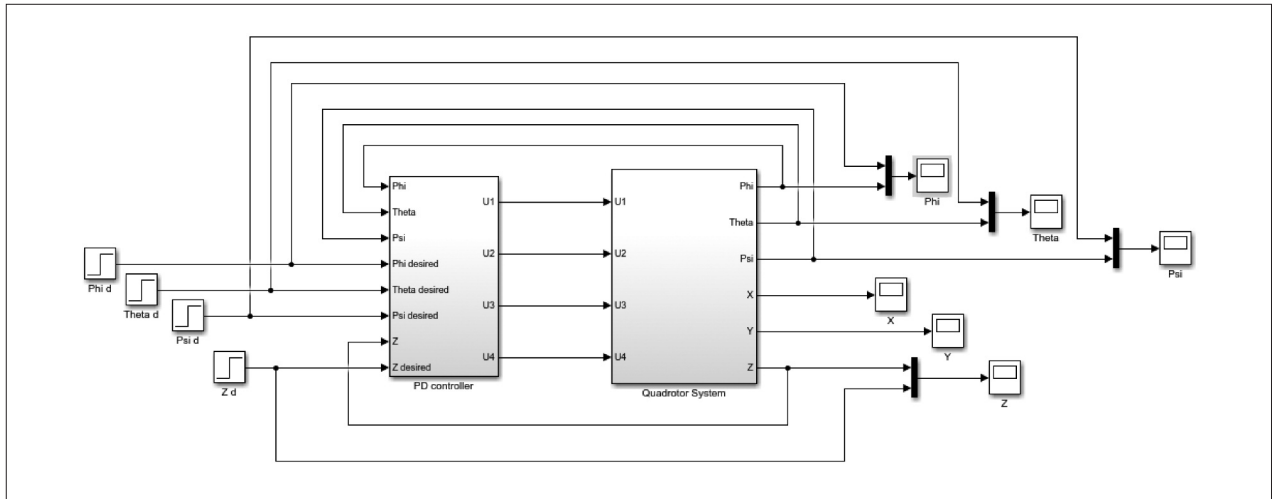
Tuy vậy trong phần lớn các bộ điều khiển bay, hệ tốc độ là hệ hở. Việc không sử dụng bộ điều khiển tốc độ làm cho cấu trúc điều khiển đơn giản, tin cậy hơn, giảm tải cho bộ xử lý mà không ảnh hưởng nhiều tới chất lượng chung của hệ thống. Điện áp đưa tới các động cơ được tính toán từ mô hình (18):

$$V_k = \frac{1}{K_m} \cdot \Omega_{kd}; \quad k = 1, \dots, 4$$

Mô phỏng hệ điều khiển

Từ các bộ điều khiển thiết kế được, cùng với mô hình máy bay, ta có sơ đồ mô phỏng hệ điều khiển cho máy bay như sau.

Hình 5: Sơ đồ mô phỏng hệ Quadcopter



Nguồn: Tác giả tổng hợp

Bảng 1. Các thông số bộ điều khiển góc

	K_{Θ}	$K_{\omega P}$	$K_{\omega I}$
Kênh Roll	2	2	0,8
Kênh Pitch	2	2	0,8
Kênh Yaw	3	3	2,5

Nguồn: Tác giả tổng hợp

Bảng 2. Các thông số bộ điều khiển vị trí

	K_P	K_{VP}	K_{VI}	K_{VD}
Phương X	0,5	1	0,05	0,2
Phương Y	0,5	1	0,05	0,2
Phương Z	4	4	2	4

Nguồn: Tác giả tổng hợp

3. Kết quả mô phỏng

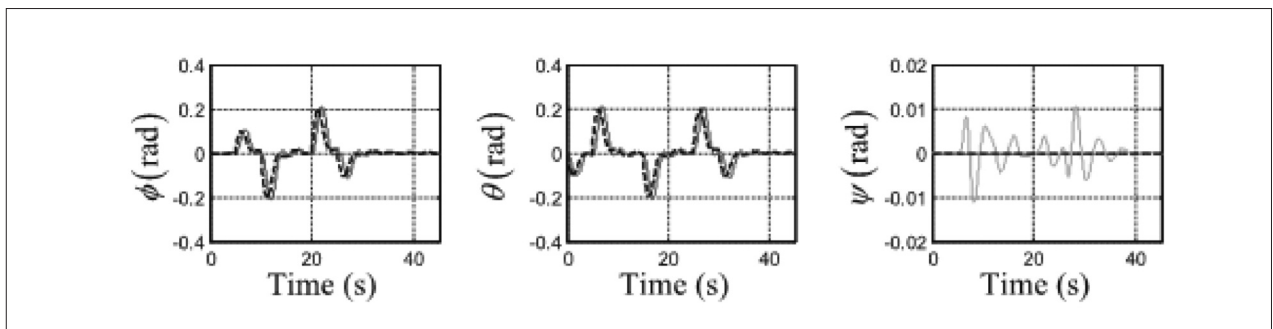
Ta có kết quả mô phỏng cho hệ máy bay như sau: (Bảng 6, 7, 8, 9, 10)

Nhận xét: các kết quả mô phỏng cho thấy hệ điều khiển đã điều khiển được QuadCopter theo các thông số: tốc độ góc, góc nghiêng, vận tốc, vị trí.

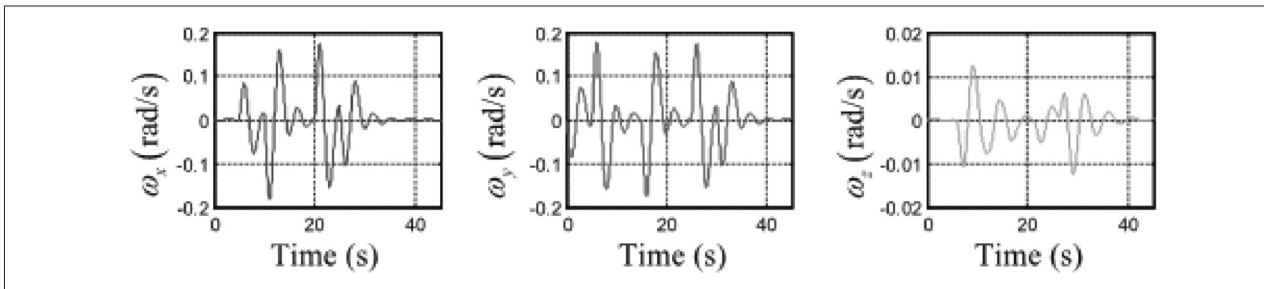
4. Kết luận

Tác giả đã thiết kế chế tạo và điều khiển máy bay không người lái 4 cánh quạt (Quadcopter) ứng dụng trong phun thuốc bảo vệ thực vật. Mô hình tuyến tính hóa của hệ quadcopter được xây dựng dựa trên kết cấu cơ khí, động lực học, khí động học. Cấu trúc điều khiển hệ Quadcopter được xây dựng trên 4

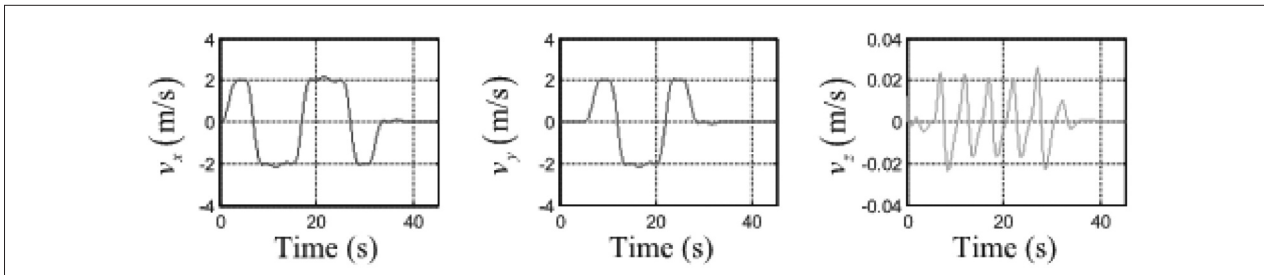
Hình 6: Kết quả mô phỏng mạch vòng tốc độ góc



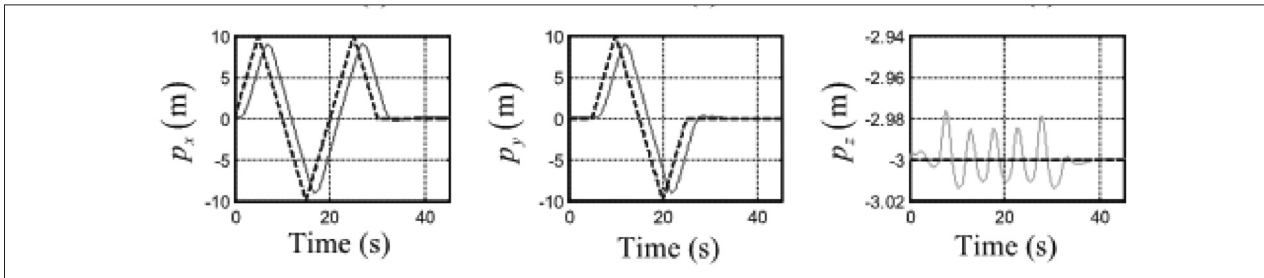
Hình 7: Kết quả mô phỏng mạch vòng góc nghiêng



Hình 8: Kết quả mô phỏng mạch vòng vận tốc

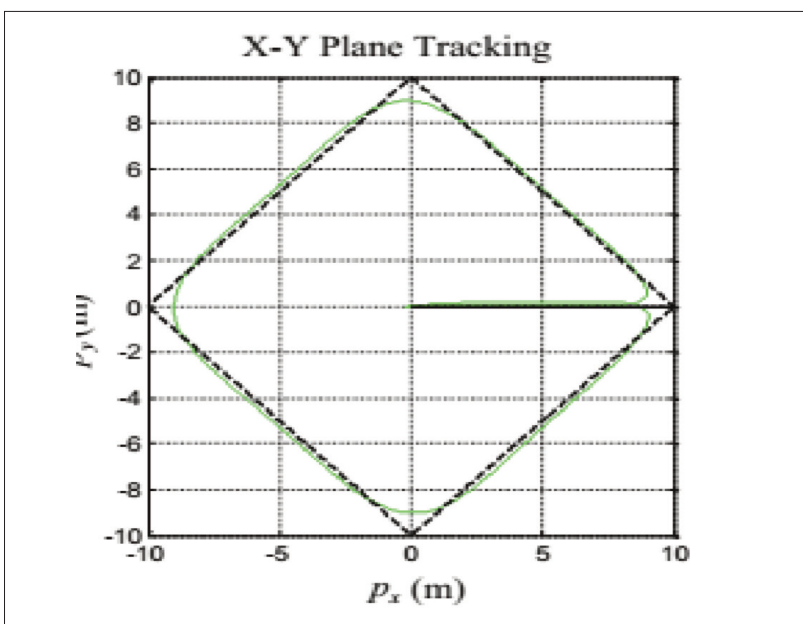


Hình 9: Kết quả mô phỏng mạch vòng vị trí



Hình 10: Mô phỏng vị trí của máy bay trong mặt phẳng ngang

Nguồn: Tác giả tổng hợp



thành phần gồm: điều khiển vị trí, điều khiển độ nghiêng, bộ phân phối điều khiển và điều khiển động cơ. Các kết quả mô phỏng kiểm chứng bằng Matlab-Simulink đã cho thấy bộ điều khiển thiết kế đã điều khiển tốt các thông số: tốc độ, góc nghiêng, vị trí và vận tốc bay của Quadcopter. Định hướng nghiên cứu tiếp theo, tác giả sẽ nghiên cứu chế tạo và thi công lắp đặt một mô hình thực của Quadcopter đã được thiết kế và thi công lắp đặt để kiểm chứng các kết quả nghiên cứu và ứng dụng trong thực tế ■

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

1. Nguyễn Doãn Phước. (2009), *Lý thuyết điều khiển tuyến tính*, Nhà xuất bản Khoa học - Kỹ thuật.
2. L. Salih, M. Moghavvemi, H. A. F. Mohamed, and K. S. Gaeid. (2010). Flight PID controller design for a UAV quadrotor. *Scientific Research and Essays*, vol. 5, pp. 3360-3367.
3. Gonzalez, Ivan; Salazar, Sergio. (2013). Real-time attitude stabilization of a mini-UAV quad-rotor using motor speed feedback. *Journal of intelligent & robotic systems*.
4. Luis Rodolfo García Carrillo, Alejandro Enrique Dzul López. (2013). *The quad-rotor experimental platform*. Quad Rotorcraft Control.
5. Sanchez, A; Garcia Carrillo, LR; Rondon. (2011). Hovering flight improvement of a quad-rotor mini uav using brushless dc motors. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*.

Ngày nhận bài: 20/1/2021

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 21/2/2022

Ngày chấp nhận đăng bài: 19/3/2022

Thông tin tác giả:

HOÀNG ĐỨC QUỲNH

Trường Cao đẳng Công nghệ và Kinh tế Công nghiệp

**DESIGNING, MANUFACTURING AND CONTROLLING
AGRICULTURE QUADCOPTER DRONE
FOR SPRAYING PESTICIDES**

● **HOANG DUC QUYNH**

Industrial Economic Technology College

ABSTRACT:

This paper presents the design, manufacture and control of four-propeller drones (Quadcopter) for spraying pesticides. The linear model of quadcopter system is built based on mechanical structure, dynamics, and aerodynamics. The Quadcopter system control is built on 4 components including position control, tilt control, distribution control and motor control. The simulation results are verified by Matlab-Simulink to verify the designed mathematical model and control system.

Keywords: control, Quadcopter, pesticide drone.