

BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ CHO MÁY BAY KHÔNG NGƯỜI LÁI CỖ NHỎ

Lê Hùng Phong*

Tóm tắt: Bài báo trình bày về mô hình toán học của UAV dạng cánh bằng trong môi trường nhiễu loạn. Matlab/Simulink 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. Từ kết quả nghiên cứu cho thấy, cả hai bộ điều khiển PID và điều khiển mờ đều có thể thực hiện được việc điều khiển UAV, tuy nhiên, bộ điều khiển mờ thực hiện việc điều khiển nhanh chóng, chính xác và kháng lại sự ảnh hưởng của nhiễu dư.

Từ khóa: Máy bay không người lái; Điều khiển logic mờ; Điều khiển PID.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay, hệ thống các tổ hợp thiết bị bay không người lái, trong đó, đối tượng trung tâm là các UAV được quan tâm, nghiên cứu với nhiều ứng dụng mạnh mẽ và rộng rãi trong công nghệ hàng không hiện đại. Trong lĩnh vực quân sự, UAV hiện nay được sử dụng mạnh mẽ để tác chiến hiện đại, góp phần thay đổi cục diện, quy mô cũng như quan điểm tiếp cận và xử lý các xung đột quân sự ở các cấp độ khác nhau.

Đối với các loại UAV cánh bằng cỡ nhỏ và nhẹ, việc nghiên cứu sự ảnh hưởng của nhiễu loạn khí tượng đối với toàn bộ quá trình bay đóng vai trò quan trọng và quyết định đến chất lượng điều khiển, kiểm soát hành trình bay. Trong phạm vi của bài báo sẽ xây dựng mô hình toán học trạng thái của UAV và khảo sát ảnh hưởng của môi trường bên ngoài (các tác động của gió vào khung máy bay với đặc tính ngẫu nhiên).

Chuyển động ngẫu nhiên trong không khí tạo ra bởi nhiễu loạn khí quyển đóng vai trò lớn trong việc tạo ra lực và mô men phụ tác động lên UAV, là nguyên nhân gián tiếp khiến thông tin, hình ảnh nhận được từ thiết bị bay bị ảnh hưởng, gây ra những khó khăn nhất định cho quá trình điều khiển tương tác với UAV.

Hiện nay đã có nhiều giải pháp được đưa ra của nhiều tác giả trong và ngoài nước [3, 4]. Các hướng nghiên cứu được ưu tiên tập trung vào hoàn thiện hệ thống thông tin trên khoang, bao gồm việc tích hợp, sử dụng con quay hồi chuyển, sử dụng nguyên lý của các bộ lọc tối ưu đối với đặc tính khí động lực học cũng như xác định thông số khí động lực học UAV. Xây dựng các thuật toán điều khiển UAV như tổng hợp điều khiển thích nghi chủ động, sử dụng trí tuệ nhân tạo, mạng nơ-ron, đây là những phương pháp điều khiển đáp ứng những tiêu chuẩn hội tụ và ổn định cao, có cấu trúc lai giữa thuật toán điều khiển mờ và điều khiển truyền thống [2]. Áp dụng nguyên lý giới hạn cho phép đối với các đặc tính khí động lực học UAV khi hoạt động trong điều kiện thời tiết xấu cho phép tìm kiếm sự thỏa hiệp về mức độ không chính xác của bộ thông số khí động lực học. Nguyên lý dựa trên việc xây dựng các bộ điều khiển mờ cho kênh thông tin độ cao, góc kren, nhằm đối phó với tác động của "nhiều dư".

2. MÔ HÌNH TOÁN HỌC MÁY BAY KHÔNG NGƯỜI LÁI

Phương trình vi phân chuyển động của thiết bị bay trong khí quyển động, mô tả bằng phương trình sau [3]:

$$\frac{d}{dt} \mathbf{x}(t) = \sum_{i=1}^3 \mathbf{F}_i(\mathbf{V}, \Omega, \xi, \mathbf{x}_{nk}, \mathbf{x}_{uo}; t); \quad (1)$$

Trong đó:

$\mathbf{F}_1(\mathbf{V}, \Omega; t)$ - Hàm vector lực và mô men quán tính; $\mathbf{F}_2(\mathbf{V}, \Omega, \xi, \mathbf{x}_{nk}, \mathbf{x}_{uo}; t)$ - Hàm vector lực và

mô men khí động lực học; $F_3(\xi, \mathbf{t})$ - Hàm vector nhiễu động môi trường bên ngoài; $\mathbf{x}(t)$ - Vector n chiều trạng thái đối tượng bay; $\mathbf{x}_{nk}(t)$ - Vector tọa độ vị trí; $\mathbf{x}_{uo}(t)$ - Vector trạng thái của các cơ cấu chấp hành; $\mathbf{V}(t)$ - Vector vận tốc UAV; $\mathbf{\Omega}(t)$ - Vector vận tốc góc quay của hệ tọa độ liên kết so với mặt đất, gồm các góc $\vartheta(t)$, $\psi(t)$ và $\gamma(t)$.

Nhiều động gió trong khí quyển được mô tả như sau [2]:

$$\mathbf{w}(\mathbf{x}) = \mathbf{w}_0(\mathbf{x}) + \xi(\mathbf{x}) \quad (2)$$

Trong đó: $\mathbf{w}(\mathbf{x})$ - Vận tốc gió (m/s) tại điểm tọa độ $\mathbf{x} = (x, y, z)$; $\mathbf{w}_0 \in R^3$ - Vận tốc gió ban đầu, $\xi(\mathbf{x}) = (\xi_1(x), \xi_2(y), \xi_3(z))$ - Giá trị thay đổi trạng thái ở môi trường bên ngoài.

Khi phân tích ảnh hưởng chuyển động các khối không khí đến chuyển động của thiết bị bay cho thấy, có tác động kép từ sự thay đổi của vận tốc khối không khí so với mặt đất $\mathbf{V}(\mathbf{x}, t) = \mathbf{V}_k(\mathbf{x}, t) + \mathbf{w}(\mathbf{x})$, cũng như sự tác động của góc trượt $\beta = \beta_w$ ($\beta_0 = 0$) và góc tấn α_w sinh ra do sự ảnh hưởng bởi chuyển động khối không khí, dẫn đến sự thay đổi giá trị của góc tấn $\alpha_\Sigma = \alpha + \alpha_w$.

Hệ phương trình tổng quát (1) mô tả chuyển động UAV cỡ nhỏ trong môi trường nhiễu loạn khí động, là một hệ phương trình vi phân bậc cao phi tuyến phức tạp. Khi xem xét chuyển động nhiễu động trong một vùng lân cận nhỏ của chuyển động danh nghĩa có thể sử dụng mô hình tuyến tính hóa cho phép phân tách thành cách chuyển động dọc và ngang, phương trình được mô tả như sau [2]:

$$\frac{d}{dt} \Delta \mathbf{x}(t) = \mathbf{A}(t) \Delta \mathbf{x}(t) + \mathbf{B}(t) \mathbf{u}(t) + \mathbf{F}(t) \mathbf{w}_e(t) \quad (3)$$

Trong đó:

$\Delta \mathbf{x}(t_0) = \Delta \mathbf{x}_0$ là giá trị cho trước; $\Delta \mathbf{x}(t)$ - Vector độ lệch chuyển động khi có nhiễu động so với chuyển động danh nghĩa; $\mathbf{u}(t)$ - Vector điều khiển ba chiều (lực đẩy cánh quạt, độ cao, góc kren); $\mathbf{w}_e(t)$ - Vector nhiễu động; $\mathbf{A}(t)$, $\mathbf{B}(t)$, $\mathbf{F}(t)$ - Ma trận trạng thái, điều khiển và nhiễu.

Để hiệu chỉnh vòng điều khiển UAV khi bay trong điều kiện nhiễu động khí tượng cần có các thông tin chính xác của 11 thành phần chuyển động sau:

$$\mathbf{x}_p(t) = [\Delta V, \Delta \theta, \Delta L, \Delta h, \Delta \rho, \Delta \omega_z, \Delta \vartheta, \Delta m_z^\alpha, \Delta m_z^{\bar{\omega}_z}, \Delta C_{xa}, \Delta C_{ya}^\alpha]^T$$

Trong đó: θ - Góc nâng quỹ đạo; ρ - Trọng lượng riêng không khí; $\mathbf{m}_z^{\bar{\omega}_z}$, $\mathbf{m}_z^\alpha$ - Hệ số động lực học (đạo hàm) của hệ số mômen khí động lực học tương ứng; $\mathbf{C}_{xa}$, $\mathbf{C}_{ya}^\alpha$ - Hệ số lực cản và đạo hàm hệ số lực nâng theo góc tấn α_Σ .

3. BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ MÁY BAY KHÔNG NGƯỜI LÁI

Bài toán nâng cao chất lượng điều khiển bỏ qua sự hiệu chỉnh sơ bộ sẽ khiến quá trình xử lý tăng đáng kể do tính phức tạp của hệ thống cũng như những khó khăn phát sinh trong quá trình vận hành hệ thống.

Để giải quyết được vấn đề này nhóm tác giả sẽ sử dụng thêm một khái niệm phụ "nhiều dư" cho phép thỏa mãn các điều kiện của lý thuyết điều khiển mờ (thông qua bộ điều khiển mờ) trong điều kiện bị giới hạn thông tin đầu vào. Có thể đơn giản hóa mô hình trạng thái (3) và các phép đo biểu diễn dưới dạng:

$$\frac{d}{dt} \mathbf{x}(t) = \mathbf{A}(\bullet) \mathbf{x}(t) + \mathbf{B}(\bullet) \delta(t); \mathbf{z}(t) = \mathbf{H} \mathbf{x}(t), \text{ trong đó, } \mathbf{x}(t_0) = \mathbf{x}_0;$$

$\mathbf{H}$ - Ma trận cố định;

Mô hình trạng thái trên có thể được mô tả tương đương như sau: $\frac{d}{dt} \mathbf{x}(t) = \mathbf{A}_0 \mathbf{x}(t) + \mathbf{B}_0 \delta(t) + \boldsymbol{\varphi}(\cdot, t); \mathbf{z}(t) = \mathbf{H} \mathbf{x}(t)$; trong đó: $\boldsymbol{\varphi}(\cdot, t) = \boldsymbol{\varphi}(\cdot, t) = (\mathbf{A}(\cdot) - \mathbf{A}_0) \mathbf{x}(t) + (\mathbf{B}(\cdot) - \mathbf{B}_0) \delta(t)$ - Tín hiệu nhiễu đầu vào của đối tượng điều khiển, $\mathbf{A}_0$ và $\mathbf{B}_0$ - Giá trị danh nghĩa của ma trận, $\delta(t)$ - Tín hiệu đầu ra của bộ điều khiển mờ (ngược với $\mathbf{u}(t)$); Ký hiệu $(\cdot)$ bao gồm tác động bên ngoài và bên trong của đối tượng điều khiển. Các tác động này có thể là những tác động không được xác định trước (không rõ ràng) như nhiễu động khí tượng từ môi trường bên ngoài.

Trong hệ thống điều khiển này, hàm $S(C, C_f, \Phi)$ có cấu trúc chứa 2 bộ điều khiển: bộ điều khiển $C(\cdot)$ với đầu ra $\mathbf{u}(t)$ và bộ điều khiển mờ $C_f(\cdot)$ với đầu ra tín hiệu $\delta(t)$. Trong trường hợp này, Φ là đối tượng phi tuyến tính và không chủ động.

Số tín hiệu đầu vào của bộ điều khiển mờ giới hạn bởi 2 sai số $l(t)$ và đạo hàm $\dot{l}(t)$ với tín hiệu đầu ra $\delta(t)$, nghĩa là, $C_f(\cdot) = C_f(l, \dot{l}) = \delta(t)$.

Nếu không tính đến ảnh hưởng của nhiễu động bên ngoài, theo phương pháp Letov-Kalman, luật điều khiển được tìm theo thuật toán LQR có dạng $\mathbf{u}(t) = -\mathbf{R}^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P} \mathbf{x}(t)$, trong đó, $\mathbf{P}(t)$ - Ma trận dương, thu được khi giải bài toán điều khiển Riccati, $\mathbf{R}(t)$ - Ma trận điều khiển theo tiêu chí bình phương, $\mathbf{B}(t)$ - Ma trận điều khiển trong phương trình trạng thái.

Khi xem xét bộ điều khiển mờ, ta có $\delta(t) = C_f(\mathbf{l}), \mathbf{l}(t) = -\mathbf{z}(t)$, tổng hợp điều khiển hỗn hợp gồm bộ điều khiển tối ưu và bộ điều khiển mờ cho ta tín hiệu được mô tả như sau: $\tilde{\mathbf{u}} = \mathbf{u} + \delta$.

Bộ điều khiển mờ $C_f(\mathbf{z})$ đảm bảo thực hiện hàm xấp xỉ và bù trừ nhiễu $\varphi(\mathbf{x}, \delta; \mathbf{t})$ khi duy trì tính tối ưu của hệ thống điều khiển mờ với bộ điều khiển tín hiệu ngược theo trạng thái: $\mathbf{u}(t) = \mathbf{G}(t) \mathbf{x}(t)$, ở đây, $\mathbf{G}(t) = -\mathbf{R}^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P}(t)$.

Sử dụng bộ điều khiển mờ Takagi-Sugeno có phương trình trạng thái: $\frac{d}{dt} \mathbf{x}(t) = (\mathbf{A}_0 + \Delta \mathbf{A}_t) \mathbf{x}(t) + (\mathbf{B}_0 + \Delta \mathbf{B}_t) C_f$, duy trình tính ổn định tiệm cận, đảm bảo hàm bù trừ C_{f1} của bộ điều khiển tuyến tính và mức độ chênh lệch khi thực hiện bất đẳng thức $C_{f2} \geq \mathbf{B}_0^+ (\Delta \mathbf{A} \mathbf{x}(t) + \Delta \mathbf{B} (C_{f1} + C_{f2}))$ với điều kiện $\Delta \mathbf{B} < (\mathbf{B}_0^+)^{-1}$, trong đó, dấu "+" trong ma trận thể hiện đảo ngược giả, bảo đảm hàm xấp xỉ C_{f2} nhận được ở đầu vào đối tượng điều khiển giới hạn nhiễu.

Giả sử nhiễu động có giới hạn tác động lên đối tượng bay $\boldsymbol{\varphi}_{orp}(t)$, khi đó, phương trình trạng thái sẽ có dạng:

$$\frac{d}{dt} \mathbf{x}(t) = \mathbf{A}(t) \mathbf{x}(t) + \mathbf{B}(t) \tilde{\mathbf{u}}(t) + \mathbf{B}_\phi(\mathbf{t}) \boldsymbol{\varphi}_{orp}(\mathbf{t}) \quad (4)$$

Tính ổn định và tối ưu của hệ kín (4) được bảo đảm bởi bộ điều khiển tối ưu, còn bộ điều khiển mờ $\delta(t) = C_f(\mathbf{z})$ ngăn nhiễu tại đầu vào.

Trong đó: $\mathbf{A}^* = \mathbf{A} + \mathbf{B} \mathbf{G} = \mathbf{A}_0^* + \Delta \mathbf{A}_t^*; \mathbf{A}_0^* = \mathbf{A}_0 + \mathbf{B}_0 \mathbf{G}, \Delta \mathbf{A}_t^* = \Delta \mathbf{A}_t + \Delta \mathbf{B}_t \mathbf{G}$

Khi đó, ta nhận được:

$$\frac{d}{dt} \mathbf{x}(\mathbf{t}) = \mathbf{A}_0^* \mathbf{x}(\mathbf{t}) + \mathbf{B}_0 \left[\mathbf{B}_0^+ (\mathbf{B}_\phi \boldsymbol{\varphi}_{orp}(\mathbf{t})) + \Delta \mathbf{A}_t^* \mathbf{x}(\mathbf{t}) + \Delta \mathbf{B}_t \delta(\mathbf{t}) + \delta(\mathbf{t}) \right] = \mathbf{A}_0^* \mathbf{x}(\mathbf{t}) + \mathbf{B}_0 \mathbf{u}^*(\mathbf{t}) \varphi \quad (5)$$

Trong đó: $u^*(t) = \delta(t) + B_0^+(B_\phi \varphi_{orp}(t) + \Delta A_t^* + \Delta B_t^* \delta(t))$

Áp dụng phương pháp hàm Lyapunov đưa đến phương trình sau:

$$V(x) = \frac{1}{2} x^T P x, \dot{V}(x) = \frac{1}{2} x^T (P A_0^* + (A_0^*)^T P) x + x^T P B_0 u^* \quad (6)$$

$$V(x) > 0, x(t) \neq 0$$

Trong đó: P - Ma trận dương đối xứng thỏa mãn bất đẳng thức $(P A_0^* + (A_0^*)^T P) < 0$, bảo đảm tiệm cận ổn định.

Để đáp ứng được điều kiện này khi có yếu tố tác động ngoài dự báo, cần bổ sung thêm:

$$x^T P B_0 u^* = x^T P B_0 \delta + x^T P B_0 [B_0^+(B_\phi \varphi_{orp} + \Delta A_t^* x + \Delta B_t^* \delta)] \leq 0 \quad (7)$$

Sử dụng thuộc tính gần đúng của bộ điều khiển mờ để mô tả:

$$x^T P B_0 u^* = x^T P B_0 \delta + x^T P B_0 [B_0^+(B_\phi \varphi_{orp} + \Delta A_t^* x + \Delta B_t^* \delta)] = \Delta \delta^* \quad (8)$$

Trong đó, $\Delta \delta^*$ - Mức độ không chính xác khi làm xấp xỉ.

Như đã biết $\delta = C_f(l) = -C_f(z)$, có thể nhận được:

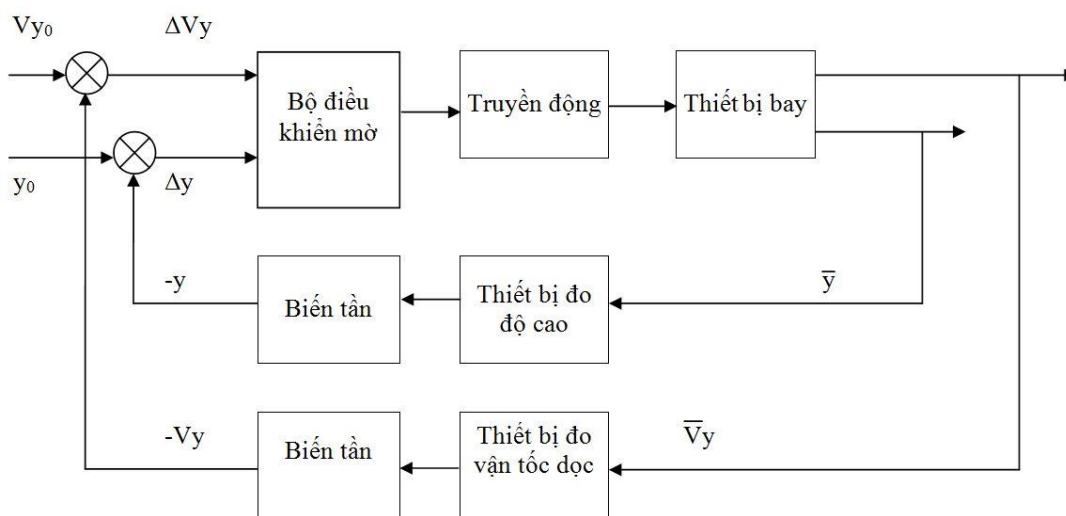
$$[B_0^+(B_\phi \varphi_{orp} + \Delta A_t^* x + \Delta B_t^* \delta) - C_f(I)] \leq \text{Sup} \left[\frac{\Delta \delta^*}{B_0^T P x} \right] \quad (9)$$

Tổng hợp các bộ điều khiển tuyến tính với khả năng chống nhiễu trên cơ sở H_∞ – dẫn đến thuật toán của bộ điều khiển với tính ổn định độc lập, chống nhiễu.

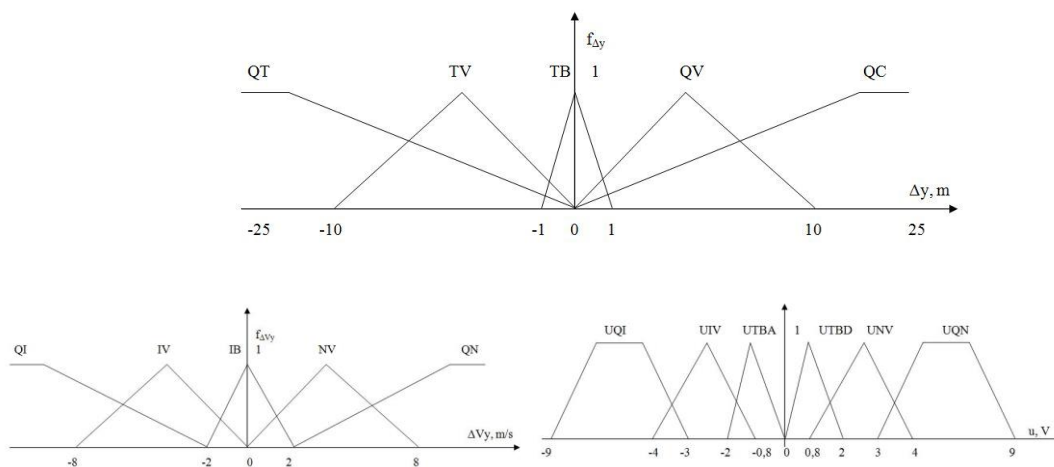
$$[B_0^+(B_\phi \varphi_{orp} + \Delta A_t^* x + \Delta B_t^* \delta)]_\infty \leq \varepsilon \quad (10)$$

Trong đó, ε = hằng số – mức độ không chắc chắn.

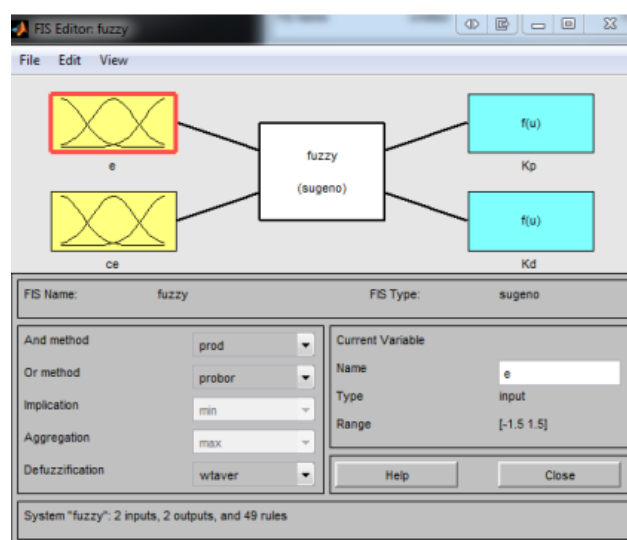
Tác giả đã sử dụng công cụ phần mềm Matlab (Toolboxes Fussy, Simulink). Sơ đồ chức năng tổng hợp bộ điều khiển mờ được mô tả trong hình 1.



Hình 1. Sơ đồ chức năng tổng hợp bộ điều khiển mờ.



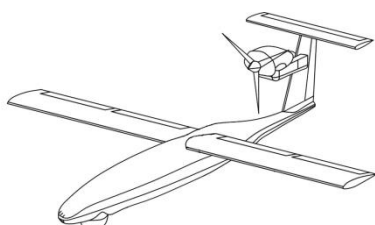
Hình 2. Bộ quy tắc điều khiển mờ.



Hình 3. Cấu trúc bộ điều khiển mờ.

4. MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ

Để tiến hành kiểm nghiệm và đánh giá bộ điều khiển mờ tác giả đề xuất mô phỏng hoạt động bám quỹ đạo đặt trước sử dụng phần mềm Matlab/Simulink với một chủng loại UAV kiểu UAV-70V với các thông số như sau:



- Chiều dài: 2707 mm;
- Khối lượng: 56.5 Kg;
- Diện tích cánh: 1.05 m²;
- Sải cánh: 3000 mm;
- Dây cung khí động trung bình: 350 mm.

Luật điều khiển mờ theo kênh độ cao bay sẽ có dạng:

$$\delta_B^* = \text{fuzzy1}(\Delta y, \Delta V_y) + \delta_{\text{bcn}}(t) + K_{\text{dnp}}^z \omega_z, |\delta_B^*| \leq \delta_{\text{bmax}} \quad (11)$$

Trong đó: fuzzy1 - Hàm phi tuyến của sai số "du" theo độ cao và thành phần vectơ vận tốc không khí, nhận được khi sử dụng logic mờ và được mô tả theo ngôn ngữ tương tác đã được thiết lập; $K_{\partial np}^z = f(\Delta \hat{m}_z^\alpha, \Delta \hat{m}_z^{\bar{\omega}_z}, \Delta \hat{C}_{ya}^\alpha)$ - Hệ số tắt dần của kênh dọc.

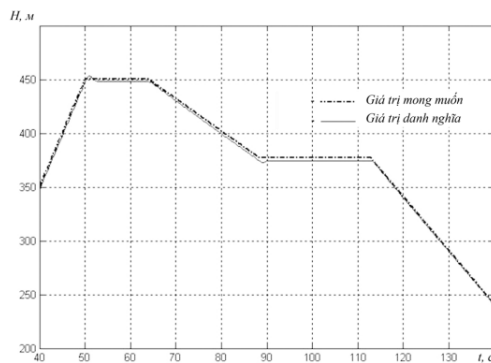
Luật điều khiển mờ theo kênh góc kren bay sẽ có dạng:

$$\delta_j^* = \text{fuzzy2}(\Delta \gamma, \Delta \omega_x) + K_{\partial np}^x \omega_x, |\delta_j^*| \leq \delta_{j \max} \quad (12)$$

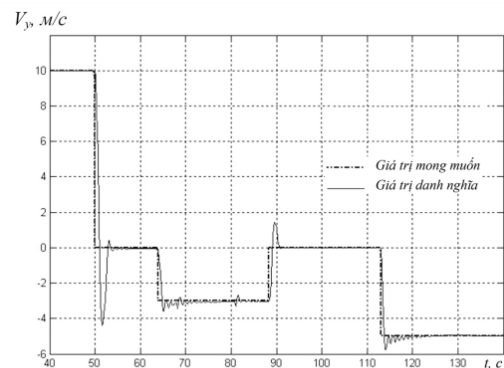
Trong đó: $\Delta \gamma$ - Sai số "du" theo góc kren, ω_x - Vận tốc góc kren, δ_j - Góc lệch của cánh phụ.

Kết quả mô phỏng trên phần mềm máy tính Matlab, hình 4 và 5 minh họa sự thay đổi thông số quỹ đạo khi hạ độ cao từ 450m xuống 240m, tốc độ bay hành trình 40 m/s.

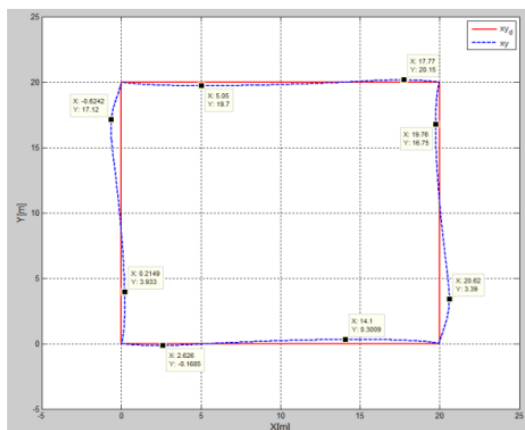
Từ các kết quả thu được thấy rằng, độ cao H và vận tốc $V_y(t)$ có thể dao động trong quá trình điều khiển nhanh chóng được dập tắt và hết rung lắc, giá trị mô phỏng của các tham số trong thực tế (giá trị danh nghĩa) không khác nhiều so với giá trị mong muốn, điều này cho thấy khả năng đạt được mục tiêu kiểm soát quá trình điều khiển như đầu bài đã đưa ra.



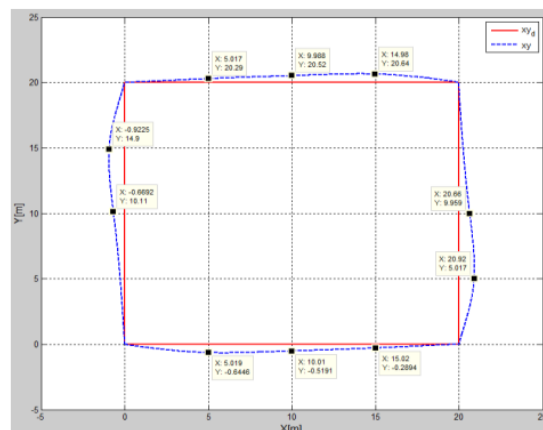
Hình 4. Thay đổi độ cao chuyển động bay của UAV theo lịch trình.



Hình 5. Thay đổi vận tốc $V_y(t)$ khi giảm độ cao từ 450m xuống 240m.



Hình 6. Mô phỏng quỹ đạo đặt trước của UAV với bộ điều khiển mờ.



Hình 7. Mô phỏng quỹ đạo đặt trước của UAV với bộ điều khiển PID.

Kết quả mô phỏng hoạt động của UAV thực hiện tám quỹ đạo đặt trước với bộ điều khiển mờ và bộ điều khiển PID truyền thống được mô tả trên hình 6, 7. Chúng ta nhận thấy rằng, UAV với bộ điều khiển mờ thực hiện tám quỹ đạo với độ chính xác cao hơn so với bộ điều khiển PID truyền thống.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày được mô hình toán học của UAV dạng cánh bằng trong môi trường nhiễu loạn, đồng thời xây dựng thành công bộ điều khiển mờ áp dụng cho UAV trong chế độ bay theo quỹ đạo đặt trước. Việc áp dụng bộ điều khiển mờ 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 đặt trước với bộ điều khiển PID và bộ điều khiển mờ được tiến hành trên Matlab/Simulink. Từ kết quả của phần mô phỏng ta thấy rằng, UAV với bộ điều khiển mờ hoạt động với độ chính xác cao hơn so với bộ điều khiển PID truyền thống. Ưu điểm lớn nhất của bộ điều khiển mờ đó là giúp cho UAV thực hiện bám chính xác quỹ đạo đã được đặt trước, thời gian điều chỉnh trong quá trình thực hiện bám quỹ đạo nhỏ hơn nhiều so với bộ điều khiển PID truyền thống. Để nghiên cứu tiếp theo, nhóm tác giả sẽ nghiên cứu áp dụng thuật toán đề xuất với các chủng loại máy bay cánh bằng khác để minh chứng thêm tính đúng đắn của thuật toán.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Đức Cường, Hoàng Anh Tú, Kiều Việt Cường (2013), “Khảo sát ảnh hưởng của gió đến đặc tính bay của máy bay không người lái”, Tuyển tập công trình khoa học Hội nghị Cơ thủy khí toàn quốc.
- [2]. Л.Н. Лысенко, Н.Д. Кыюнг, Ф.В. Ты, “Интерактивный синтез законов управления движением летательных аппаратов в условиях неопределенности на основе теории нечетких множеств”, Полет - 2000. - № 5. - С. 38-45.
- [3]. Лысенко Л.Н., Гришко Д.А., Королев Е.А., Шам Н.Ч. “Стохастическое оценивание параметров управляемого движения при неточно идентифицируемых в полете аэродинамических характеристиках ДПЛА” / Известия РАН, С. Пб.: №2 (76), 2013, с. 51...59.
- [4]. Чунг Н.В. “Синтез нечетких регуляторов для систем управления техническими объектами с ограниченной неопределенностью”. Диссертация на соискание уч. степен. к.т.н., С. Пб.: ЛЭТИ им. В.И. Ульянова (Ленина), 2006.
- [5]. Леоненков Л.Н.. “Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH”. С. Пб.: Питер, 2001.

ABSTRACT

FUZZY CONTROL FOR SMALL SIZE UNMANNED AERIAL VEHICLES

This paper presents a mathematical model of small size unmanned aerial vehicles (UAV) in a turbulent environment and application of fuzzy control for a specific sample model. Matlab/Simulink is used to simulate the operation of the UAV, the characteristics obtained after simulation are used to test, analyze and compare the operation of the traditional PID controller. From the research results, it is shown that both PID controller and fuzzy controller can perform UAV control, but fuzzy controller performs fast, accurate control and is resistant to influence of residual noise.

Keywords: Unmanned aerial vehicle; Fuzzy control; PID control.

Nhận bài ngày 25 tháng 6 năm 2021

Hoàn thiện ngày 30 tháng 8 năm 2021

Chấp nhận đăng ngày 10 tháng 10 năm 2021

Địa chỉ: Viện Tên lửa, Viện KH-CN quân sự.

**Email:* lephong3t@gmail.com.