

# Thiết lập tuyến đường bay khép kín của vật thể bay không người lái hạng nhẹ khi có dữ liệu thống kê về gió trong vùng bay

Phạm Xuân Quyền\*

*Học viện Kỹ thuật Quân sự, 236 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 26 tháng 5 năm 2015

Chỉnh sửa ngày 22 tháng 9 năm 2015; Chấp nhận đăng ngày 18 tháng 3 năm 2016

**Tóm tắt:** Trong bài báo này, tác giả trình bày phương pháp xác định tuyến đường bay tối ưu của vật thể bay không người lái hạng nhẹ khi có dữ liệu thống kê về gió trong vùng bay. Đây là cơ sở khoa học để xây dựng chương trình bay trên khoang của UAV khi điều kiện thời tiết phức tạp. Kết quả tính toán phù hợp với những lời giải của các công trình đã được công bố.

**Từ khóa:** Bài toán người bán hàng, quy hoạch hành trình bay, tìm nghiệm trong điều kiện bất định, dữ liệu thống kê về gió.

## 1. Mở đầu

Trong giai đoạn phát triển hiện nay của vật thể bay không người lái (UAV), một trong những lĩnh vực quan trọng là xây dựng các mô hình và phương pháp ứng dụng của UAV [1]. Việc xây dựng chương trình bay là một trong những bước chuẩn bị ảnh hưởng lớn đến ứng dụng của UAV. Chương trình bay được cài đặt vào thiết bị trên khoang trước khi bay và khảo sát việc thực hiện sơ đồ bay theo tọa độ hoặc tọa độ - thời gian [2]. Để hiệu chỉnh chương trình bay cần tính đến đặc trưng kỹ thuật và ứng dụng của UAV. Trong số các UAV hiện có, bài báo này chỉ khảo sát các UAV hạng nhẹ với đặc trưng kỹ thuật bay là bán kính hoạt động nhỏ và trung bình, vận tốc bay khoảng 65 km/h, thời gian bay từ 1 giờ đến một vài giờ. Ví dụ

“Gatewing X100” vận tốc bay trung bình khoảng 75 km/h, thời gian bay không quá 1 giờ, tầm xa hoạt động trong giới hạn 40 km. Điểm đặc biệt của UAV này, thứ nhất là vận tốc bay rất gần với vận tốc gió khả dĩ trong vùng bay, cụ thể “Gatewing X100” có thể vận hành khi vận tốc gió đạt đến 65 km/h. Thứ hai, tầm xa và thời gian bay tương đối nhỏ, theo những đặc trưng nói trên hoàn toàn có thể bỏ qua sự biến đổi về thời gian và không gian của giá trị tham số các thành phần gió [3]. Khi có gió không đổi cho trước trong [1] đã nghiên cứu, UAV hạng nhẹ được sử dụng nhằm thu được cảnh quay video của các mục tiêu trên mặt đất với các góc phương vị xác định với máy quay cố định, cũng như thu được mô hình tuyến đường bay khi có sự hiện diện của gió nhiễu loạn ngẫu nhiên. Quỹ đạo bay [2] của UAV hạng nhẹ được nghiên cứu tập trung trong việc xác định gió tối ưu để chụp ảnh các mục tiêu trên mặt đất. Kết quả tính toán trong [4] thu được thời gian bay

\*ĐT.: 84- 967859576  
Email: famvn@mail.ru

tối thiểu của hành trình bay tối ưu với vận tốc không đổi của UAV ở độ cao không đổi trong điều kiện gió phân bố đều và ổn định. Nhận thấy rằng, vận tốc và hướng gió có thể được xác định theo vệ tinh khí tượng hoặc trạm khí tượng trên mặt đất... Tuy nhiên, do nhiều nguyên nhân dự báo về gió trong vùng bay không phải lúc nào cũng có, ví dụ trong các điều kiện không có internet, không có tín hiệu vô tuyến, không có các liên kết khác về thông tin gió, không có thiết bị thu thông tin về gió... Khi đó, xây dựng hành trình bay hợp lý của UAV có tính đến gió là rất khó khăn và thậm chí là không thể thực hiện được. Trong khi đó, nhiều khu vực đã có được dữ liệu thống kê về giá trị tham số gió và được giới thiệu trong các sách tra cứu về khí hậu [5]. Việc sử dụng dữ liệu thống kê về gió để tính toán quỹ đạo cũng như thời gian bay của UAV được trình bày trong [6]. Bên cạnh đó vẫn còn tồn tại bài toán chưa

được giải quyết liên quan tới việc xác định thứ tự bay tối ưu qua các điểm xác định theo thời gian của UAV trong [vùng gió với dữ liệu thống kê đã biết](#). Vì vậy, xây dựng phương pháp thiết lập hành trình bay khép kín của UAV khi có dữ liệu thống kê về gió trong vùng bay là một bài toán thực tế cấp bách và rất quan trọng.

## 2. Thông tin thống kê về tham số gió

Trong sách tra cứu thông tin thống kê về tham số gió [5] thường được biểu diễn dưới dạng bảng, trong đó chỉ ra xác suất tham số gió nhận giá trị trong khoảng xác định. Dữ liệu trong các bảng này luôn phụ thuộc vào thời gian xác định của ngày, mùa và địa điểm (Bảng 1). Vì vậy dạng tổng quát của các bảng này được đưa ra trong bảng 2.

Bảng 1. Xác suất thống kê về gió (%) tại thành phố Tuirgđa, tháng 3, 13h00

Hướng gió (độ)	0	45	90	135	180	225	270	315
$V_B$ (m/s)								
[0;1]	1.0	0.8	1.1	0.8	1.1	1.4	1.7	2.1
[2;5]	12	7.9	4.0	3.3	2.1	5.5	5.4	13.5
[6;9]	5.0	1.4	1.1	2.1	1.9	1.1	2.1	11.2
[10;13]	1.0	1.0	0.2	1.0	0.5	0.3	1.0	2.5
[14;17]	0.2	0.2	0.2	0.5	0.2	0.0	0.5	1.1

Bảng 2. Xác suất thống kê về gió (%)

	$\mathbf{1}; \lambda_1^l \leq \lambda < \lambda_1^n$	...	$\mathbf{z}; \lambda_z^l \leq \lambda < \lambda_z^n$	...	$\mathbf{Z}; \lambda_Z^l \leq \lambda < \lambda_Z^n$
$\mathbf{1}; V_{B1}^N \leq V_B \leq V_{B1}^B$	$P(\Omega_{1,1})$	...	$P(\Omega_{1,z})$	...	$P(\Omega_{1,Z})$
...	...	...	...	...	...
$\mathbf{k}; V_{Bk}^N \leq V_B \leq V_{Bk}^B$	$P(\Omega_{k,1})$	...	$P(\Omega_{k,z})$	...	$P(\Omega_{k,Z})$
...	...	...	...	...	...
$\mathbf{K}; V_{BK}^N \leq V_B \leq V_{BK}^B$	$P(\Omega_{K,1})$	...	$P(\Omega_{K,z})$	...	$P(\Omega_{K,Z})$

Ở đây,  $z$  - số khoảng hướng gió;  $k$  - số khoảng vận tốc gió.  $\Omega_{k,z}$  - vùng con gió trong «kz» vùng con và  $\phi$  - vùng gió;  $P(\Omega_{k,z})$  - xác

suất xuất hiện gió trong vùng  $\Omega_{k,z}$  và khi đó xác suất gió toàn phần trong vùng  $\phi$  có dạng:

$$P = \sum_{\substack{m=1, \bar{M} \\ k=1, \bar{K}}} P(\Omega_{k,m}) = 100\%$$

### 3. Thiết lập bài toán quy hoạch hành trình bay khi có thông tin thống kê về tham số gió

Thiết lập bài toán lập hành trình bay giống như bài toán tối ưu ngẫu nhiên khi sử dụng phương pháp ngẫu nhiên [7]. Khi đó, yếu tố nhiễu loạn là tham số gió ( $\bar{V}_B$ ) trong vùng  $\Omega_{k,z}$  với xác suất thống kê gió cho trước  $P(\Omega_{k,z}) = P_{k,z}$ . Trong đó  $m$  là hành trình bay trong [8-12] từ tập hợp  $\bar{M}$  [13]. Khi đó hàm mục tiêu sơ cấp của thời gian bay qua các điểm của mỗi hành trình  $t(m, \bar{V}_B)$  là đại lượng ngẫu nhiên có tính không xác định có thể bỏ qua bằng cách chuyển từ hàm mục tiêu sơ cấp của thời gian bay  $t(m, \bar{V}_B)$  đến một đặc trưng thống kê nào đó của nó mà được xem như là hàm mục tiêu thứ cấp. Khi đó đặc trưng này có thể là kỳ vọng toán học:

$$\bar{t}(m) = MO \left[ t(m, \bar{V}_B) \right] \quad (1)$$

Ở đây ký hiệu MO thể hiện phép toán thống kê trung bình theo tập hợp vector gió ngẫu nhiên  $\bar{V}_B$  trong vùng  $\Omega_{k,z}$ . Và dĩ nhiên kỳ vọng toán học theo tập vector gió ngẫu nhiên  $\bar{V}_B$  trong vùng  $\Omega_{k,z}$  có thể được viết lại ở dạng sau:

$$\bar{t}(m, \Omega_{k,z}) = MO_{\Omega_{k,z}} \left[ t(m, \bar{V}_B) \right] \quad (2)$$

Với tư cách là yếu tố nhiễu loạn, vector gió  $\bar{V}_B$  được hiểu như là yếu tố không xác định và chỉ biết được giới hạn giá trị của chúng (bảng 2). Tính bất định của hàm mục tiêu sơ cấp được loại trừ bằng cách chuyển sang hàm mục tiêu thứ cấp. Tuy nhiên, vì rằng vector  $\bar{V}_B$  hoàn toàn không biết, ngoài vùng cho phép  $\Omega_{k,z}$  nên rõ ràng trong vai trò làm thứ cấp đánh giá thời gian bay  $t^{max}(m, \Omega_{k,z})$  tiếp nhận giá trị xấu nhất theo tất cả các yếu tố không xác định cho phép

của hàm sơ cấp trong vùng  $\Omega_{k,z}$ , nghĩa là hàm cực trị:

$$t^{max}(m, \Omega_{k,z}) = \max_{\Omega_{k,z}} t(m, \bar{V}_B) \quad (3)$$

Tuy nhiên đánh giá thời gian bay của UAV theo (3) là không thể vì tính liên tục của thông số gió và của vector  $\bar{V}_B$  trong vùng  $\Omega_{k,z}$ . Vì vậy để đánh giá thời gian bay lớn nhất theo (3) cần phải sử dụng giá trị rời rạc đã biết của thông số gió trong mỗi vùng  $\Omega_{k,z}$  [13] với xác suất là:

$$P(\Omega_{k,z}) = P_{k,z} \quad (4)$$

Khi bài toán tìm hành trình bay tối ưu  $m^*$  có dạng kỳ vọng toán học nhỏ nhất của thời gian bay, nghĩa là thiết lập bài toán tối ưu ngẫu nhiên có dạng sau:

$$m^* = \arg \min_M MO_{\phi} \left[ t^{max}(m, \Omega_{k,z}) \right] \quad (5)$$

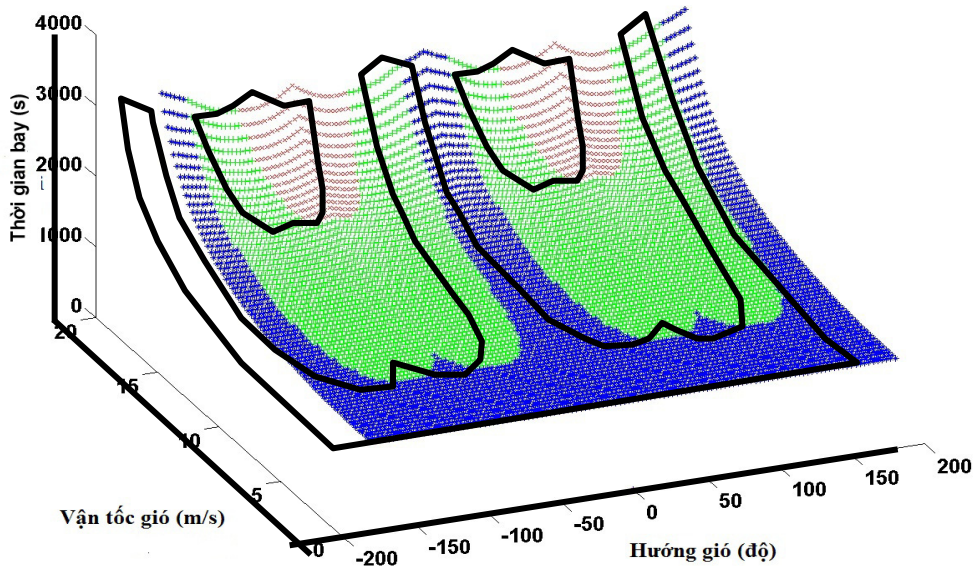
### 4. Thủ tục giải bài toán quy hoạch hành trình bay

#### 4.1. Đánh giá thời gian bay của mỗi hành trình bay theo các vùng gió $\Omega_{k,z}$

Theo công thức (3) có thể lựa chọn được giá trị của thời gian bay lớn nhất khi các điều kiện gió xấu nhất của vùng đã cho với xác suất  $P(\Omega_{k,z})$ . Đánh giá về thời gian theo tất cả các giá trị rời rạc trong vùng  $\Omega_{k,z}$  cũng rất khó khăn vì phụ thuộc vào sự phân bố của các giá trị này [13]. Điều này có nghĩa là kết quả thu được phụ thuộc lớn vào việc lựa chọn giá trị cũng như số lượng của chúng. Lựa chọn ngẫu nhiên các giá trị rời rạc này có thể không đưa ra được giá trị cực trị hoặc giá trị có độ lệch lớn so với giá trị cực trị. Còn nếu như lựa chọn số lượng lớn của chúng theo vùng  $\Omega_{k,z}$ , thì kết quả có thể sẽ không thu được vì mỗi giá trị của tham số gió được gọi là dữ liệu ban đầu của một bài toán thiết lập hành trình bay [11], việc tìm nghiệm của bài toán là rất khó vì khối lượng

tính toán lớn, đặc biệt khi có số lượng lớn các điểm thuộc hành trình [13]. Mặt khác theo hình 1 không khó để thấy rằng thời gian bay phụ thuộc rất lớn vào gió và ít phụ thuộc vào hướng gió. Ngoài ra, giá trị cực trị của thời gian theo

tất cả các vùng luôn luôn tìm được khi vận tốc gió lớn nhất, nghĩa là tại vị trí biên của mỗi vùng  $\Omega_{k,z}$  theo vận tốc gió.



Hình 1. Sự phụ thuộc của thời gian bay vào các giá trị của tham số gió [13].

Vì vậy, để nhận được giá trị cực trị theo công thức (3) chỉ cần xem xét giá trị lớn nhất của vận tốc gió  $V_B^{\max}$  theo tất cả các hướng của gió trong vùng  $\Omega_{k,z}$  gần các giá trị bên cạnh. Nghĩa là,  $\lambda_i = \lambda_{i-1} + \Delta\lambda$ ,  $\Delta\lambda$  - là đại lượng rất nhỏ của  $(\lambda_z^n - \lambda_z^l)$ , ví dụ  $\Delta\lambda = 2$ ; khi đó công thức (3) có thể được viết lại dưới dạng sau:

$$t^{\max}(m, \Omega_{k,z}) = \max_{\substack{V_B^{\max} = V_{Bk}^e \in \Omega_{k,z} \\ \lambda_z^l \leq \lambda_i < \lambda_z^n}} t(m, V_{Bk}^e, \lambda_i) \quad (6)$$

Ở đây,  $t(m, V_{Bk}^e, \lambda_i)$  là thời gian bay qua các điểm của mỗi hành trình bay khép kín khi có thông tin về gió, chúng được tính theo công thức trong [2], [4].

#### 4.2. Chỉ số hiệu quả của mỗi hành trình bay theo vùng $\phi$

Kỳ vọng toán học của đánh giá thời gian bay của mỗi hành trình theo vùng gió  $\phi$  được tính theo công thức (7):

$$MO[t(m)] = MO_{\phi}[t(m)] = \sum_{\substack{k=1, K \\ z=1, Z}} t^{\max}(m, \Omega_{k,z}) P(\Omega_{k,z}) \quad (7)$$

Ở đây, giá trị  $t^{\max}(m, \Omega_{k,z})$  được tính theo công thức (6) và  $P(\Omega_{k,z})$  được xác định theo các dữ liệu đã cho trong bảng 3.

#### 4.3. Lựa chọn hành trình bay tốt nhất

Xác định  $m^*$  theo công thức (5) gặp phải khó khăn lớn và thậm chí là không thể xác định được, đặc biệt khi số lượng điểm thuộc hành trình lớn vì số  $\bar{m}$  lớn [13]. Vì vậy, để giải quyết bài toán đặt ra theo công thức (5) cần phải tiếp

nhận tập hợp hành trình bay tối ưu tiềm năng (M) [13], vì số lượng hành trình trong tập M rất nhỏ so với số lượng trong  $\bar{M}$ , nghĩa là  $N_M \ll N_{\bar{M}}$ . Ngoài ra, trong [13] đã chỉ ra rằng hành trình bay khép kín nhanh nhất tìm được trong tập M hoặc  $\bar{M}$  hoặc  $\bar{M}$  là như nhau. Khi đó có thể viết lại công thức (5) dưới dạng sau:

$$m^* = \arg \min_M MO[t(m)] \quad (8)$$

Vì vậy, sử dụng các công thức (6-8) cho phép thu được hành trình bay khép kín nhanh nhất khi chỉ có dữ liệu thống kê về gió trong vùng bay.

## 5. Kết luận

Bài báo đã phân tích và đề xuất việc sử dụng phương án giải quyết bài toán lập hành trình bay của UAV khi chỉ có dữ liệu thống kê về gió trong vùng bay trên cơ sở sử dụng hàm mục tiêu thứ cấp. Vấn đề tính toán khó khăn xuất hiện khi giải bài toán thiết lập hành trình bay trong điều kiện khoảng giá trị tham số gió là lựa chọn tuyến đường bay tối ưu từ tập hợp rất lớn số lượng hành trình bay có thể. Khó khăn này đã được khắc phục nhờ sử dụng tập hợp hành trình bay tối ưu tiềm năng. Kết quả nhận được cho phép xây dựng chương trình bay tự động trên khoang của UAV hạng nhẹ giúp tối ưu thời gian bay từ 23% đến 33%.

## Tài liệu tham khảo

- [1] Nicola Ceccarelli, John J. Enright, Emilio Frazzoli, Steven J. Rasmussen and Corey J. Schumacher. Micro UAV Path Planning for Reconnaissance in Wind // Proceedings of the 2007 American Control Conference. Marriott Marquis Hotel at Times Square. New York City, USA, July 11-13, 2007. FrB12.3, -5310-5315p.
- [2] Techy, L. and Woolsey, C. A. Minimum-Time Path Planning for Unmanned Aerial Vehicles in Steady Uniform Winds // Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol. 32, No. 6, 2009, pp. 1736-1746.
- [3] Garifullin K. K. Variability of Wind in Free Atmosphere. L. Gidrometeoizdat, 1967. - 143 p.
- [4] Michaël Soullignac, Patrick Taillibert, Michel Rueher. Path Planning for UAVs in Time-Varying Winds // 27th Workshop of the uk planning and scheduling Special Interest Group, December 11-12, 2008, PLSIG 2008, 2p.
- [5] Handbook on Climate of SSSR. 25. Khabarovsk Territory and Amur Region. Part 3. Wind // Gidrometeoizdat, 1967 - 314 p.
- [6] Rivkin AM, Flying Model Aircraft at FL // Electronic Scientific Publication, Science and Education, November 2011, № 11, 12p.
- [7] V.V. Malyshev Methods for Optimization Problems in System Analysis and Management: Textbook // Moscow: MAI -PRINT in 2010. - 440p<sup>1</sup>.
- [8] Pham Xuan Quyen, Moiseev D.V. Some Properties of Optimal Closed Flight Itinerary of Light Aircraft With Regard To Wind Forecast. Thesis of 10th International Conference "Aviation and Space", November 8-10, 2011, Moscow. - St. Petersburg. LLC "Print-Salon", 2011 - P.103-104<sup>1</sup>.
- [9] Pham Xuan Quyen, Moiseev D.V. Targamadze R.Ch. Study of Optimal Closed Flight Itinerary By Points in Constant Wind // Thesis of 17th International Conference "System Analysis, Management and Navigation", July 1-8, 2012, Ukraine, Evpatoria (Crimea). - M.: MAI, 2012 - P.59-60<sup>1</sup>.
- [10] Moiseev D.V. Analysis of Stability of Optimal flight Itinerary of UAV With Regard To Wind Forecast // Proceedings of XVII International Scientific and Technical Seminar "Modern Technologies in Control, Automation and Information Processing" - St. Petersburg: RIP SAC, 2008. - P.172<sup>1</sup>.
- [11] Targamadze R.Ch. Moiseev DV, Pham Xuan Quyen. Rational Choice of Closed Flight Itinerary of Light Aircraft With Regard To Wind Forecast // Bulletin of Federal State Unitary Enterprise NPO. Lavochkin, 2012. № 3. P.76-83<sup>1</sup>.
- [12] Moiseev D.V., Pham Xuan Quyen. Properties of Optimal Closed Flight Itinerary of Light Aircraft With Regard To Wind Forecast // Internet - Journal "Proceedings of MAI", 2012. № 52. <http://www/mai/ru><sup>1</sup>.
- [13] Phạm Xuân Quyền, Trịnh Văn Minh. Vùng nghiệm không đổi của bài toán lập hành trình bay có tính đến ảnh hưởng của gió trong vùng bay. Tạp chí Khoa học & Kỹ thuật (Học viện KTQS), số 159(2-2014), tr. 74-83.

## Setting Closed Flight Route for Lightweight Unmanned Aerial Vehicle with Statistical Data of the Wind in the Flight Area

Phạm Xuân Quyền

*Military Technical Academy, 236 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hanoi, Vietnam*

**Abstract:** In this paper, the authors present methods for determining the optimal route for lightweight unmanned aerial vehicle with statistical data of the wind in the flight area. This is the scientific basis for the setting program on the board of UAV with weather conditions. The results calculated in accordance with the interpretation of the works have been published.

**Keywords:** Salesman problem, planning on the flight route, search results in uncertain conditions, statistical data on wind.

---

<sup>i</sup> Tài liệu viết bằng tiếng Nga