



Tính toán tối ưu quá trình chuyển đổi đội hình trong trình diễn ánh sáng

Vũ Đức Lương
Giảng viên hướng dẫn: TS. Nguyễn Hoàng Quân

Viện Công Nghệ Hàng Không Vũ Trụ

15/12/2025



Nội dung đồ án

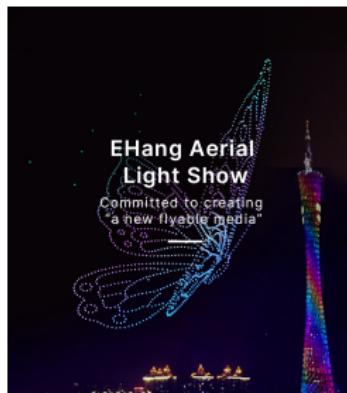
- ▶ Tổng quan
- ▶ Cơ sở lý thuyết
- ▶ Triển khai thuật toán quy hoạch đường đi trên GPU
- ▶ Mô phỏng và phân tích kết quả
- ▶ Kết luận và hướng phát triển



Tổng quan

Giới thiệu

- ▶ Trong những năm gần đây, trình diễn ánh sáng bằng drone đã trở thành xu hướng mới trong các sự kiện lớn. Công nghệ này sử dụng các UAV bay theo đội hình để tạo hiệu ứng ánh sáng ấn tượng, có tính linh hoạt cao, an toàn và thân thiện với môi trường, dần thay thế pháo hoa truyền thống.
- ▶ Công nghệ này thu hút sự quan tâm của các công ty lớn như Intel, Ehang, Damoda với các màn trình diễn quy mô lớn.



Tổng quan

Phần cứng drone trình diễn

- ▶ Drone trình diễn ánh sáng thường sử dụng quadrotor do chi phí thấp và cấu trúc linh hoạt, gồm bộ điều khiển trung tâm tích hợp LED, khung sợi carbon và bốn cụm động cơ [1].
- ▶ Drone không thể đổi hướng và tốc độ tức thì; quỹ đạo bay phải tuân theo giới hạn vận tốc và gia tốc để đảm bảo an toàn và tính thẩm mỹ.



Thông số	Collmot [2]	Damoda L3 [3]
Loại	Quadrotor	Quadrotor
Trọng lượng	< 2 kg	530 g
Kích thước	Ø < 100 cm, cao ~30 cm	Ø 320 mm, cao 115 mm
Thời gian bay	10–12 phút	20–25 phút
Tốc độ tối đa	6 m/s	10 m/s
Độ cao tối đa	120 m	120 m
Khoảng cách tối thiểu	7 m	1.4 m

[1] Huang, Jie, Guoqing Tian, Jiancheng Zhang, and Yutao Chen, "On Unmanned Aerial Vehicles Light Show Systems: Algorithms, Software and Hardware" Applied Sciences, 2021, Vol 11, no. 16.

[2] CollMot Robotics Ltd., "CollMot multi drone show spec tech".

[3] Shenzhen DAMODA Intelligent Control Technology Co., Ltd, "Light show Drone L3".

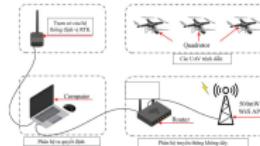
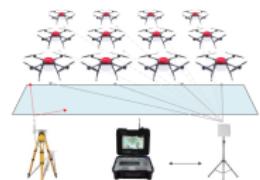
Tổng quan

Triển khai hệ thống trong thực tế

Triển khai các hệ thống drone trình diễn ánh sáng chế độ điều khiển bán tự động được sử dụng phổ biến do chế độ điều khiển tự động yêu cầu các cảm biến và khả năng tính toán của bộ điều khiển bay ở mỗi drone phải có độ chính xác cao. Trong khi đó chế độ điều khiển thủ công lại có tính rủi ro cao khi trình diễn số lượng drone quy mô lớn do có thể gặp lỗi truyền thông giữa các UAV và trạm mặt đất cũng như khả năng điều khiển của phi công.

[1] Huang, Jie, Guoqing Tian, Jiancheng Zhang, and Yutao Chen, "On Unmanned Aerial Vehicles Light Show Systems: Algorithms, Software and Hardware" Applied Sciences, 2021, Vol 11, no. 16.

[4] H.Sun, J.Qi, M.Wang, "Path Planning for Dense Drone Formation Based on Modiefied Artificial Potential Field", Proceedings of 39th Chinese Control Conference, Shenyang, China, 2020, pp.4658-4664.





Tổng quan

Mục tiêu đồ án

Đồ án tập trung phát triển một công cụ giúp tính toán các waypoint các drone trong quá trình chuyển đổi đội hình với đầu vào là các đội hình được thiết kế sẵn dựa trên hai thuật toán:

- ▶ Thuật toán Hungarian giúp các drone được gán vào các mục tiêu tối ưu sao cho tổng quãng đường đi là nhỏ nhất.
- ▶ Thuật toán trường thế năng nhân tạo đã được cải tiến giúp các drone không va chạm trong quá trình chuyển đổi cũng như đảm bảo các yêu cầu về mặt động học. Ngoài ra thành phần tính toán lực tổng hợp của thuật toán cũng sẽ được triển khai tính toán trên GPU thông qua PyOpenCL giúp tăng tốc thuật toán quy hoạch đường đi trong trường hợp mô phỏng với số lượng drone lớn.

Các thuật toán được thực hiện theo hướng lập kế hoạch offline (tính toán từ trước sau đó triển khai) và được kiểm chứng thông qua mô phỏng.

[4] H.Sun, J.Qi, M.Wang, "Path Planning for Dense Drone Formation Based on Modiefield Aritificial Potential Field", Proceedings of 39th Chinese Control Conference, Shenyang, China, 2020, pp.4658-4664.

[5] D. Nar and R. Kotecha, "Optimal Waypoint Assignment for Designing Drone Light Show Formations", Results Control Optimal, 2022, vol. 9, p. 100174.



Cơ sở lý thuyết

Mô tả bài toán

Trong không gian 3D, mỗi drone được xem như là một vật rắn và vị trí của nó được đại diện bởi

$$\mathbf{p}_i = (x_i, y_i, z_i).$$

Vị trí đội hình bắt đầu:

$$\mathbf{P}_S = [\mathbf{p}_1^s, \mathbf{p}_2^s, \dots, \mathbf{p}_{n-1}^s, \mathbf{p}_n^s] \quad (1)$$

Vị trí đội hình tại thời điểm t :

$$\mathbf{P}_t = [\mathbf{p}_1^t, \mathbf{p}_2^t, \dots, \mathbf{p}_{n-1}^t, \mathbf{p}_n^t] \quad (2)$$

Vị trí đội hình mục tiêu:

$$\mathbf{P}_e = [\mathbf{p}_1^e, \mathbf{p}_2^e, \dots, \mathbf{p}_{n-1}^e, \mathbf{p}_n^e] \quad (3)$$

Ma trận phân công nhiệm vụ S .

$$S = \begin{bmatrix} s_{1,1} & s_{1,2} & \cdots & s_{1,n-1} & s_{1,n} \\ s_{2,1} & s_{2,2} & \cdots & s_{2,n-1} & s_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ s_{n-1,1} & s_{n-1,2} & \cdots & s_{n-1,n-1} & s_{n-1,n} \\ s_{n,1} & s_{n,2} & \cdots & s_{n,n-1} & s_{n,n} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Khi nhiệm vụ i được phân công cho drone j thì $s_{i,j} = 1$ ngược lại thì $s_{i,j} = 0$, mục tiêu của bài toán phân công đội hình là nhằm tối thiểu hóa tổng chi phí phân công và mỗi drone i chỉ được phân công cho một nhiệm vụ j .

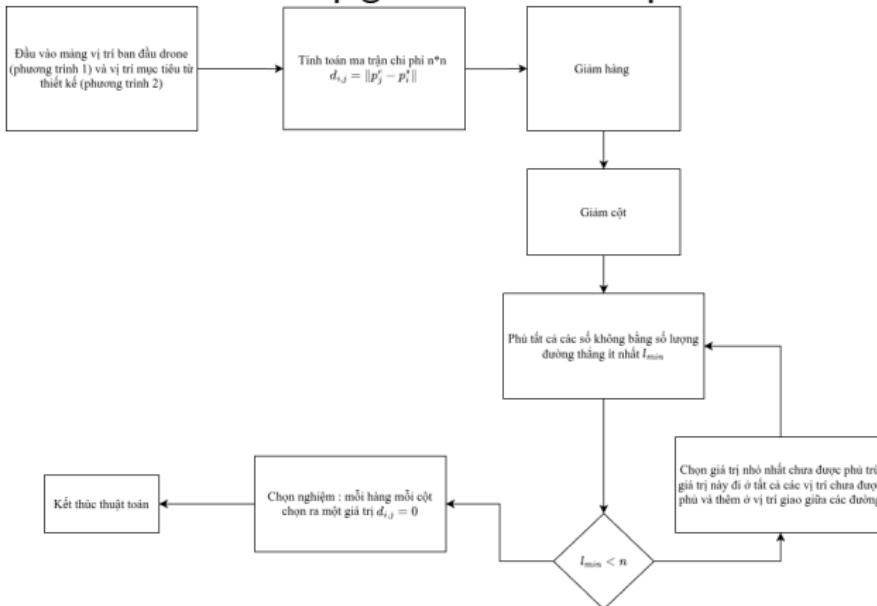
$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n s_{i,j} d_{i,j} \quad (5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n s_{i,j} = 1, \quad 1 \leq i \leq n \\ \sum_{i=1}^n s_{i,j} = 1, \quad 1 \leq j \leq n \end{array} \right. \quad (6)$$

Cơ sở lý thuyết

Áp dụng thuật toán Hungarian

Thuật toán Hungarian có độ phức tạp $O(n^3)$ được áp dụng với đầu vào là mảng vị trí bắt đầu các drone và vị trí các mục tiêu từ thiết kế và đầu ra là ánh xạ giữa drone và mục tiêu





Cơ sở lý thuyết

Thuật toán trường thê năng nhân tạo

Trường thê hấp dẫn

$$U_{att_i} = \frac{1}{2} \varepsilon \| \mathbf{p}_i^e - \mathbf{p}_i^t \|^2 \quad (7)$$

Trường thê đẩy

$$U_{rep_{i,O}} = \begin{cases} \frac{1}{2} \eta \left(\frac{1}{\| \mathbf{p}_i^t - \mathbf{p}_O^t \|} - \frac{1}{\rho} \right)^2, & \text{nếu } \| \mathbf{p}_i^t - \mathbf{p}_O^t \| \leq \rho, \\ 0, & \text{nếu } \| \mathbf{p}_i^t - \mathbf{p}_O^t \| > \rho. \end{cases} \quad (8)$$

Trường thê tổng hợp

$$U_{res_i} = U_{att_i} + \sum_{O=1}^m U_{rep_{i,O}} \quad (9)$$

Lực tổng hợp

$$\mathbf{F}_{res_i} = -\nabla U_{res_i}. \quad (10)$$

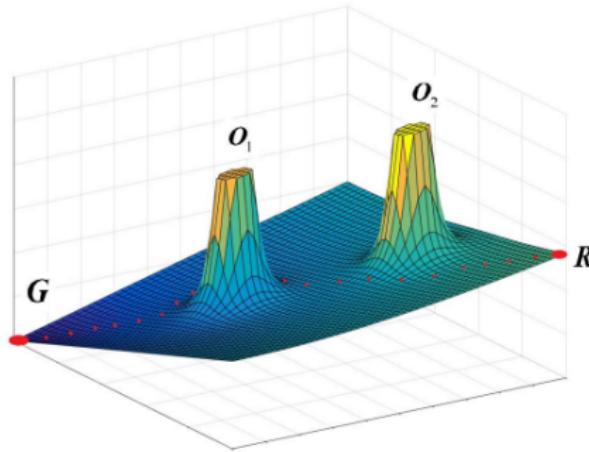
O. Khatib, "Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots", Proceedings. 1985 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1985.

Cơ sở lý thuyết

Thuật toán trường thế năng nhân tạo

Sau khi tính toán được lực tổng hợp có thể tính toán các waypoint trong quá trình trình drone di chuyển ở bước lặp tiếp theo bằng cách dịch một khoảng λ theo hướng lực tính toán được

$$\mathbf{p}_i^{t+1} = \mathbf{p}_i^t + \lambda \cdot \frac{\mathbf{F}_{res_i}^t}{\|\mathbf{F}_{res_i}^t\|} \quad (11)$$





Cơ sở lý thuyết

Thuật toán trường thế năng nhân tạo cải tiến cho drone
trình diễn ánh sáng

Bước nhảy ràng buộc động học

$$\lambda = \begin{cases} \sqrt{2ad_{\min}} \cdot T, & d_{\min} \leq \frac{v_{\max}^2}{2a} \\ v_{\max} \cdot T, & \text{ngược lại} \end{cases} \quad (12)$$

$$d_{\min} = \min(\|\mathbf{p}_i^s - \mathbf{p}_i^t\|, \|\mathbf{p}_i^e - \mathbf{p}_i^t\|, \|\mathbf{p}_o^t - \mathbf{p}_i^t\|) \quad (13)$$

Trường thế đẩy phân lớp

$$U_{\text{rep},o} = \begin{cases} \frac{1}{2}\eta_1 \left(\frac{1}{\|\mathbf{p}_o^t - \mathbf{p}_i^t\|} - \frac{1}{\rho_1} \right)^2, & \|\mathbf{p}_o^t - \mathbf{p}_i^t\| \leq \rho_1 \\ \frac{1}{2}\eta_2 \left(\frac{1}{\|\mathbf{p}_o^t - \mathbf{p}_i^t\|} - \frac{1}{\rho_2} \right)^2, & \rho_1 < \|\mathbf{p}_o^t - \mathbf{p}_i^t\| \leq \rho_2 \\ 0, & \|\mathbf{p}_o^t - \mathbf{p}_i^t\| > \rho_2 \end{cases} \quad (14)$$

