

Avian-Inspired Grasping for Quadrotor Micro UAVs

Justin Thomas, Joe Polin, Koushil Sreenath, Vijay Kumar

University of Pennsylvania (2013)

Mục đích

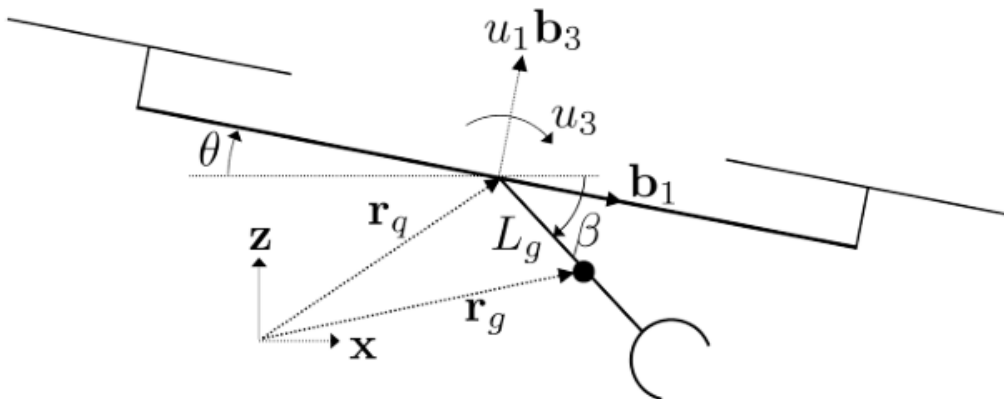
- Phát triển quadrotor MAV có khả năng **grasping** tốc độ cao.
- Lấy cảm hứng từ **đại bàng săn mồi**.
- Xây dựng mô hình động học và chứng minh **differential flatness**.
- Sinh **quỹ đạo khả thi** và thiết kế **bộ điều khiển**.
- Thử nghiệm thực tế ở **2–3 m/s**.

Động học

Mô hình đơn giản trong mặt phẳng $x-z$.

- Trạng thái: (x_q, z_q) , góc quadrotor θ , góc gripper β .
- Vị trí gripper:

$$\mathbf{r}_g = \mathbf{r}_q + L_g \begin{bmatrix} \cos \beta \\ 0 \\ -\sin \beta \end{bmatrix}$$



Động học

- Thế năng:

$$V = m_q g z_q + m_g g z_g$$

- Động năng:

$$T = \frac{1}{2} \left(m_g \|\dot{r}_g\|^2 + m_q \|\dot{r}_q\|^2 + J_g \omega_g^2 + J_q \omega_q^2 \right)$$

- Phương trình Euler–Lagrange:

$$\ddot{q} = D^{-1}(F - C\dot{q} - G)$$

- Với:

$$q = [x_q \quad z_q \quad \theta \quad \beta]^T$$

Differential Flatness

- Hệ là **differentially flat** với flat outputs:

$$y = [x_q \quad z_q \quad \beta]^T$$

- Từ $y, \dot{y}, \ddot{y}, \dots$ có thể khôi phục:
 - **Trạng thái** $q = [x_q, z_q, \theta, \beta]^T$
 - **Đầu vào** $u = [u_1, u_3, \tau]^T$

Differential Flatness

1. Tính lực nâng u_1

- Dùng phương trình Newton–Euler (trung tâm khối hệ):

$$u_1 = m_s \parallel \ddot{r}_s + ge_3 \parallel$$

với $m_s = m_q + m_g$, r_s là vị trí CoM.

2. Tính góc attitude θ

- Hướng b_3 (vector lực) xác định θ :

$$b_3 = \frac{\ddot{r}_s + ge_3}{\parallel \ddot{r}_s + ge_3 \parallel}$$

Differential Flatness

3. Tính moment u_3 và torque τ

- Lấy đạo hàm cao hơn (jerk, snap) của y để suy ra $\dot{\theta}, \ddot{\theta}$.
- Khi đó:

$$u_3 = J_q \ddot{\theta} + \tau$$

$$\tau = J_g \ddot{\beta} - L_g m_g (\ddot{x}_g \sin \beta + (\ddot{z}_g + g) \cos \beta)$$

Sinh quỹ đạo

- Quỹ đạo được sinh dựa trên ràng buộc:
 - Vị trí bắt đầu/kết thúc với $\dot{y} = \ddot{y} = 0$.
 - Tại thời điểm pickup: gripper hướng đúng mục tiêu.

- Hàm chi phí:

$$J = \sum_{i=1}^3 \int_{t_0}^{t_f} \left(y_i^{(4)}(t) \right)^2 dt$$

- Ý nghĩa:
 - Giảm **snap** \Rightarrow điều khiển mượt, ít dao động.
 - Bài toán chuyển thành **Quadratic Programming (QP)**.

Bộ điều khiển

- Kiến trúc hai vòng:
 - **Outer-loop** (100 Hz): điều khiển vị trí.
 - **Inner-loop** (1 kHz): điều khiển attitude.
- Lực điều khiển:

$$u_{1c} = k_{pz}(z_q^d - z_q) + k_{dz}(\dot{z}_q^d - \dot{z}_q) + u_1^d$$

Bộ điều khiển

- Moment điều khiển:

$$u_{3c} = k_{p\theta}(\theta_c - \theta) + k_{d\theta}(\dot{\theta}^d - \dot{\theta}) + u_3^d$$

- Góc lệnh từ outer loop:

$$\theta_c = \sin^{-1} \left(k_{px}(x_q^d - x_q) + k_{dx}(\dot{x}_q^d - \dot{x}_q) \right) + \theta^d$$