

野外長距離経路追従のためのドローン飛行制御の基礎的検討

塚越 涼[†] 佐藤康之^{††} 阪田 治[†]

[†] 東京理科大学大学院工学研究科電気工学専攻

^{††} 東京電機大学大学院未来科学部ロボット
・メカトロニクス学科

1. はじめに

近年,増えている害獣や人による農作物の被害に対する防犯体制を整えることは安くない費用が掛かる.そこで人感センサーを配置し,反応したところにドローンを急行させ撮影を行うことで低コストの防犯システムとして採用できるのではと考えた.本稿では野外環境下でドローンによる安定かつ素早い自動飛行を目指す試みの一つとして,機体姿勢を目標の姿勢軌道に追従させる制御問題を考える.具体的には,文献[1]の制御則を用いたシミュレーションを行うことで実現に向けての問題点を考察した.

2. 剛体姿勢の軌道追従制御

剛体姿勢の軌道 $(R, \omega) \in SO(3) \times \mathbb{R}^3$ を目標姿勢軌道 (R_d, ω_d) に追従させる問題を考える.このとき,追従誤差 $(\bar{R}, \bar{\omega})$ のダイナミクスは次式で与えられる [1].

$$\dot{\bar{R}} = \bar{R} S(\omega - \bar{R}^T \omega_d) \quad (1)$$

$$J \dot{\bar{\omega}} = S(J\bar{\omega})\bar{\omega} + S(J\bar{\omega})\bar{\omega}_d + S(J\bar{\omega}_d)\bar{\omega} \quad (2)$$

$$+ S(J\bar{\omega}_d)\bar{\omega}_d - J\dot{\bar{R}}^T \omega_d - J\bar{R}^T \dot{\omega}_d + \bar{\tau}$$

ここで $\omega = (\omega_1 \ \omega_2 \ \omega_3)^T$ は剛体の姿勢角速度, $J \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$ 上は剛体固定系での慣性モーメントを表す正定対称行列, $\bar{\tau} = (\tau_\phi \ \tau_\theta \ \tau_\psi)^T$ はそれぞれロール,ピッチ,ヨー軸周りの入力トルクとする.この時,軌道追従制御は目標状態 $(\bar{R}, \bar{\omega}) = (I, 0)$ の漸近安定化と等価である.

システム(1),(2)は目標状態を漸近安定化するため,文献[1]で提案された以下の軌道追従制御則を適用する.

$$\begin{aligned} \bar{\tau} = & -\beta \left(\tilde{V}(\eta(\bar{q}, \bar{\omega})) \right) (\bar{\omega} - \Gamma_1 \bar{r}) + \bar{\omega} \times J \bar{\omega} + J \Gamma_1 \dot{\bar{r}} \\ & + \alpha \bar{r} + \left(-S(J\bar{\omega}_d)\bar{\omega} + (S(\bar{\omega}_d)J + JS(\bar{\omega}_d)) \right) \bar{\omega} \quad (3) \\ & + \tau_{ff}(\bar{q}, \bar{\omega}_d, \dot{\omega}_d) \end{aligned}$$

$$\tilde{V}(\bar{q}, \bar{\omega}) = 2\alpha(\bar{r}_0 + 1) + \frac{1}{2}(\bar{\omega} - \Gamma_1 \bar{r})^T J (\bar{\omega} - \Gamma_1 \bar{r}) \quad (4)$$

ただし, α は正のパラメータ, $\Gamma_1 \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$ は正定対称行列である.

3. シミュレーション結果

MATLAB2020b 上でシステム(1)(2)に制御則(3)を適用し,目標軌道を $\phi = 40, \theta = 50, \psi = 60$ とした軌道追従制御のシミュレーション結果を図1に示す.

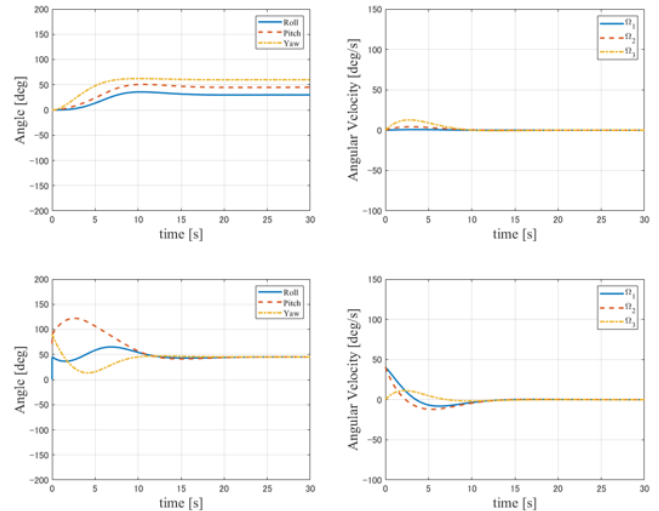


図1 軌道追従制御 ($\phi = 40, \theta = 50, \psi = 60$)

図1より,剛体の各姿勢角は10秒程度で目標値に収束していることがわかる.このことから姿勢への軌道追従は収束に時間が必要であることが見て取れる.このことから,現時点では外乱に対して即時と対応できないため,安定した飛行は難しいと考えた.

5. まとめ

野外では風雨などの外乱が想定されるため,外乱がない状態での正確な飛行かつ誤差を限りなく少なくする制御則が必要である.正確な飛行を実現するには早い目標値への収束をさせなければ,より誤差が生じる可能性が高い外乱下での飛行が難しいと考えられる.今後の展望としては文献[2]の姿勢安定化制御則を軌道追従制御則に拡張することでより整定時間の短い制御を実現したいと考えている.

参考文献

- [1]野村誠也,佐藤康之,中村文一,加藤清敬:最小射影法によるSO(3)上の軌道追従制御,第60回自動制御連合講演会(2017)
[2]林拓哉,中村文一:最小射影法を用いた剛体による固定時間整定制御,第61回自動制御連合講演会(2018)