

「クアッドロータ型ドローンを用いた高速度カメラによる画像運動解析」

マイクロ流体技術研究所 藤田 浩輝

1. はじめに

現在、日本文理大学マイクロ流体技術研究所では、2枚翼型無尾翼羽ばたき機実験機を用いた自律姿勢制御システムの開発と、それに先立つ実験機体の運動安定性解析を行っている。特に実験機の運動安定性解析にあたり、高速度カメラ2台を用いた機体ホバリング時の機体固定座標系3軸まわりの姿勢角度および姿勢角度計測を行う上で必要な3次元画像運動解析手法を構築しようとしている。本報告書では、比較的安定したフリーフライトが実現可能な小型のクアッドロータ型ドローンを用いた画像運動解析のための撮影実験および画像解析結果について述べる。

2. 解析手法

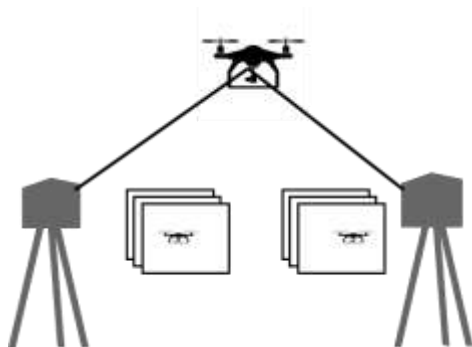


図1. 複数台のカメラによるフリーフライト機体撮影

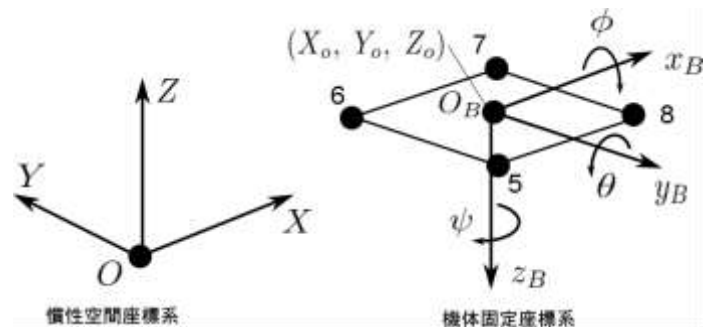


図2. 機体位置・姿勢および運動を記述する座標系

図1に示すようなフリーフライト中のドローン機体を撮影する複数台のカメラ画像（動画像データ）を用いて、飛行中の機体の位置、姿勢、および運動（並進速度、回転角速度）の推定を行う。ここでは、まず、同期撮影を行った複数台のカメラからの動画像データから、図2左側に示されるような地面に固定された慣性空間座標系における機体（剛体）上の複数の特徴点位置の3次元座標値  $(X_i, Y_i, Z_i)$  ( $i = 1, 2, 3, \dots$ ) を推定する。続いて、特徴点同士の幾何学的な位置関係に基づいて、機体重心位置の並進位置  $(X_o, Y_o, Z_o)$  や姿勢角  $(\phi, \theta, \psi)$ 、および、機体固定座標系における並進速度や回転角速度の推定を行った。

ここで、たとえば図2に示されるような機体固定座標系  $x, y$  軸に平行な辺の組み合わせをもつ正方形の4頂点(5, 6, 7, 8)を特徴点として用いる場合、それらの慣性空間位置座標  $(X_i, Y_i, Z_i)$  ( $i = 4, 5, 6, 7$ ) から並進位置  $(X_o, Y_o, Z_o)$ 、姿勢角  $(\phi, \theta, \psi)$  を以下の式を用いて測定することができる。

$$X_o = \frac{X_5+X_6+X_7+X_8}{4}, Y_o = \frac{Y_5+Y_6+Y_7+Y_8}{4}, Z_o = \frac{Z_5+Z_6+Z_7+Z_8}{4} \quad (1)$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{\bar{z}_2}{\sqrt{\bar{x}_2^2 + \bar{y}_2^2}}, \theta = \tan^{-1} \frac{-\bar{z}_1}{\sqrt{\bar{x}_1^2 + \bar{y}_1^2}}, \psi = \tan^{-1} \frac{-\bar{y}_1}{\bar{x}_1} \quad (2)$$

ただし,  $\bar{x}_j = x_j / \sqrt{x_j^2 + y_j^2 + z_j^2}$ ,  $\bar{y}_j = y_j / \sqrt{x_j^2 + y_j^2 + z_j^2}$ ,  $\bar{z}_j = z_j / \sqrt{x_j^2 + y_j^2 + z_j^2}$ , ( $j = 1$  or  $2$ )で,

$$x_1 = 0.5 \times (X_7 + X_8 - X_5 - X_6), y_1 = 0.5 \times (Y_7 + Y_8 - Y_5 - Y_6), z_1 = 0.5 \times (Z_7 + Z_8 - Z_5 - Z_6),$$

$$x_2 = 0.5 \times (X_5 + X_8 - X_6 - X_7), y_2 = 0.5 \times (Y_5 + Y_8 - Y_6 - Y_7), z_2 = 0.5 \times (Z_5 + Z_8 - Z_6 - Z_7)$$

である.

### 3. 小型ドローン機を用いた実験



表 1 小型ドローン(Tello)諸元

重量	91.5g (衝撃緩和用フレーム含む)
全長	92.5mm
全幅	98.0mm
高さ	41.0mm
プロペラ直径	76.0mm(3.0inch)

図 3. Ryze Technology 社製小型ドローン  
Tello

前節で述べた画像運動解析手法を検証するため, 図 3 に示す小型ドローン(Ryze Technology 社製 Tello)を用いたフライト時の撮影実験を行った. ここでは特に機体固定座標系  $x$  軸方向と  $y$  軸方向にそれぞれ正弦波状の周期的な変位を与えるためにホバリング時におけるピッチ( $y$ )軸まわりおよびロール( $x$ )軸まわりの制御信号を手動で与え, その様子を 2 台の高速度カメラ(Photron 社製 FASTCAM MINI UX50)にて  $1080 \times 1024$  [pixels],  $500$  [fps] の動画像データを約  $8.7$  [s] 分 (4350 frames) 取得した. さらに続けて, 3次元運動解析ソフト DIPP-MOTION V/3D (DITECT 社製)による特徴点の 3次元位置計測を行った.

なお, 本実験においては, 特徴点として画像中での視認性が高く, かつ, それらの位置関係の幾何学的特徴が明確で姿勢運動の復元が容易と考えられる 4 基のロータ先端部(図 3 で示される点 5,6,7,8 を参照) を特徴点として用い, 各特徴点の慣性空間座標値から(1), (2)式およびそれらの差分値を用いて位置, 姿勢, 並進速度・回転角速度の推定を行った.

#### 4. 実験結果および考察

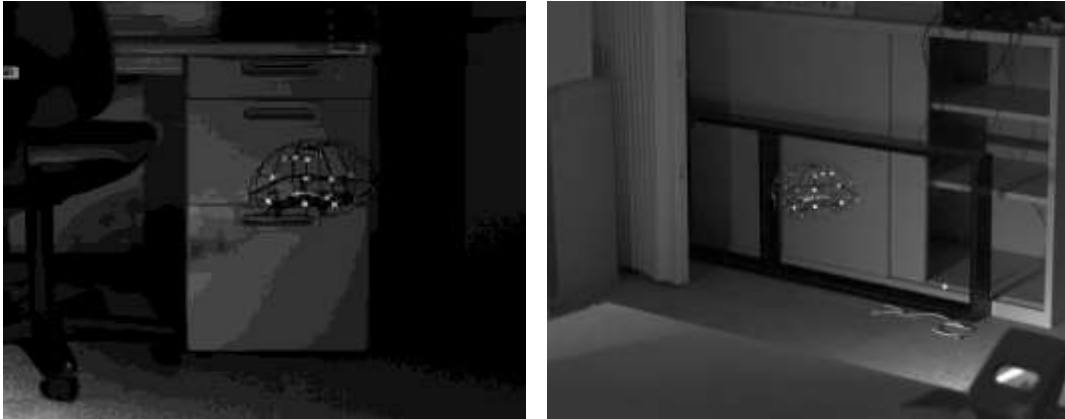


図 4. 2 台の高速度カメラによる撮影画像 (左: 1 台目, 右: 2 台目)

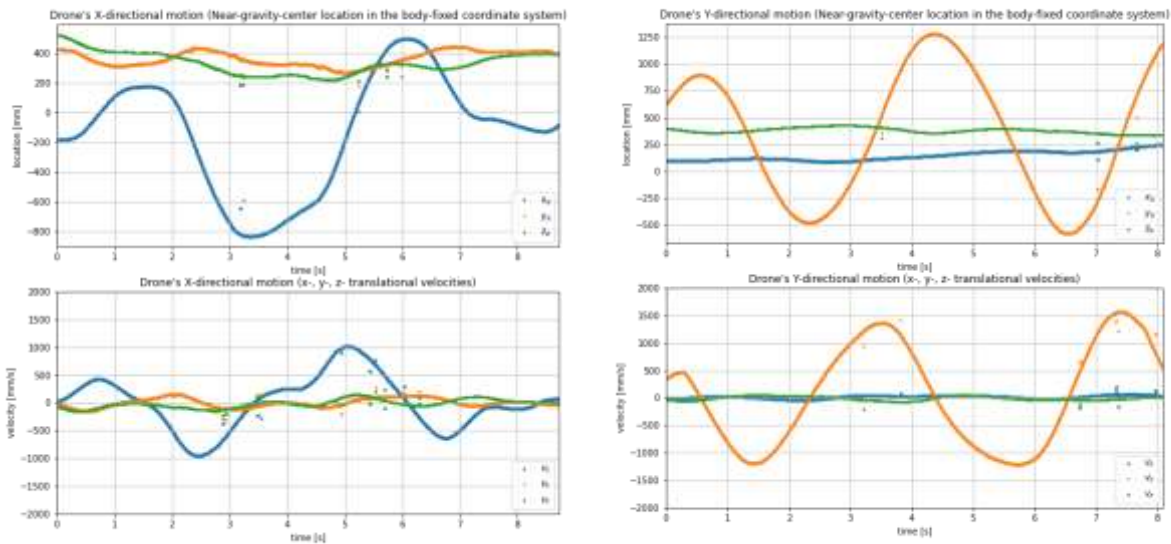


図 5. 2 種類の運動モードに対する重心の位置(上図)・並進速度(下図) 推定結果  
(左:  $x_B$  軸方向周期運動, 右:  $y_B$  軸方向周期運動)

図 4 に示すような 2 台のカメラから得られる動画データに基づいて、機体重心位置に近い機体上の点 (以下「重心位置」と記述) の慣性空間座標系における 3 次元位置推定結果を図 5 に示す。ドローンの操縦は、スマートフォン用の操縦ソフトを用い Wi-Fi を介して手動で行うため、完全な正弦波信号を与えることは難しいが、 $x_B, y_B$  各軸方向単独で比較的同じ振幅・周期の並進運動が実現できていることが推定結果から分かる。

一方、機体姿勢角および姿勢角速度に関しては、図 6 の推定結果に見られるように、特徴的な運動の方向によって推定結果の精度が異なることがわかる。すなわち、 $x_B$  軸方向に運動の特徴が表れるような操縦を行った場合の結果 (図 6 左側) では、この運動に影響を与えるピッチ角およびピッチ角速度 (青色) の変化量が他の 2 種類に比べて顕著であるのに対し、 $y_B$  軸方向に運動の特徴が表れるような操縦を行った場合の結果 (図 6 右側) では、この運動に影響を与えるロール角およびロール角速度の変

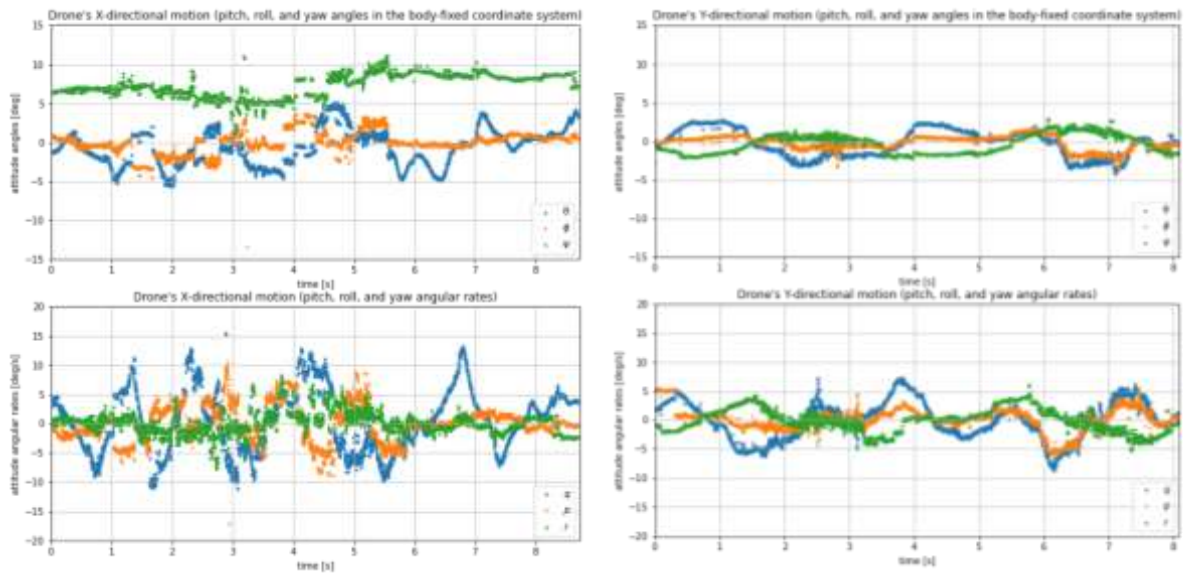


図 6. 2 種類の運動モードに対する実験機姿勢角(上図)・姿勢角速度(下図)それぞれの推定値の時間履歴  
(左:  $x_B$ 軸方向周期運動, 右:  $y_B$ 軸方向周期運動)

化 (オレンジ色) は, 他の 2 種類に比べ必ずしも明確でなく, 推定精度に疑問が残る. 今回の動画撮影実験では, いずれのカメラについてもドローンの前進飛行方向( $x_B$ 軸)が画像平面水平方向に近く, それと直交する軸( $y_B$ 軸)がカメラ視線方向 (復元の難しい奥行き方向) に近い撮影条件となっていたため, 機体運動を推定するための特徴点の取り方と共に推定精度を悪化させる要因の 1 つとなったと考えられる.

## 5. おわりに

2 台の高速度カメラを用いた小型ドローンのフリーフライト時の動画データと特徴点の 3 次元位置座標推定値を用いた運動解析を行った. 動画による物体運動解析には, 撮影条件に対してより頑強な推定精度を得るための多数の特徴点を用いることが有用と考えられるため, 今後推定精度を向上させるための特徴点選択やより一般的な撮影条件に関して改善を進める予定である.