

インドア模型飛行機におけるカルマンフィルタの利用

氏 名 松崎宙, 高久有一

所 属 福井工業高等専門学校

1. 目的

近年, UAV (無人航空機) が, ホビー用途をはじめ, 空撮, 調査, 輸送等のビジネスとして注目されている^[1]. ドローンは UAV として, マルチコプター型, 固定翼型, 回転型の 3 つに大別できる. マルチコプター型は, 操作性・サイズ・積載能力等で優れているが, 飛行時間の短さ・安全性 (モータが 1 つでも止まれば墜落してしまう) という欠点がある. 固定翼型は, 飛行時間・安定性・安全性等で優れているが, 離着陸にスペースが必要という欠点がある. 回転翼型は, 操作の難しさや, メンテナンスに手間がかかる等の理由から, UAV として利用されることは少ない. 現在, マルチコプター型は, 専用フライトコントローラーにより自律飛行可能なものが多いが, それ以外の種類のものを制御する環境は少ない. 上述したように, UAV は種類によってその特徴が異なるため, 使用用途に応じて適したものを利用することが望まれる.

本研究室では様々な形状の UAV に対応できるフライトコントローラーや制御プログラムの開発に取り組んでおり, 本研究では固定翼型の自律飛行を目的としている. 2015 年に制定された航空法で, UAV が飛行可能なエリアや条件が制限された^[2]. そこで, それらの制限を受けない室内 (体育館) で研究に取り組む.

2. 手法

本研究室で開発したフライトコントローラーを用いて, 自律飛行システムを構築する. 使用する機体には, エレベーター (昇降舵) とラダー (方向舵) がある. 送信機の情報がレシーバーを介して, フライトコントローラーへと送られ, PWM 出力によって固定翼機に取り付けられたモータ類を制御する (パルス周期は 15ms). 送信機のスイッチで, 手動/自動の切り替えや飛行モードを選択する. 自動制御時には, ジャイロセンサ (L3GD20H), 加速度センサ (LSM303AGR) により機体の姿勢を計算して, 目標姿勢との差分を用いて PID 制御を行う. その際, 安定性・確実性を求めるには, 正確に姿勢を計算する必要がある. そこで, 機体のオイラー角による 3 次元の姿勢表現とカ

ルマンフィルタを用いた姿勢推定により機体の姿勢を求める. オイラー角は, センサ座標の加速度・角速度から絶対座標における 3 次元の姿勢を表現する方法である^[3]. 図 1 にセンサ座標から絶対座標への変換のイメージを, 図 2 に機体とセンサ座標の対応を示す. 絶対座標における x 軸周りの角度をロール角, y 軸周りの角度をピッチ角, z 軸周りの角度をヨー角と呼ぶ.

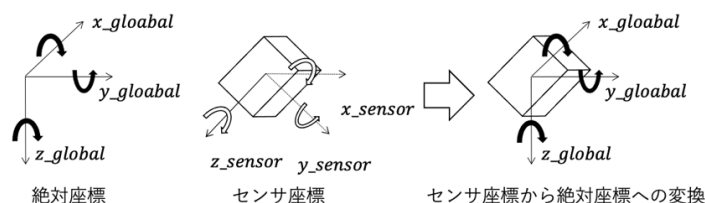


図 1. センサ座標から絶対座標への変換

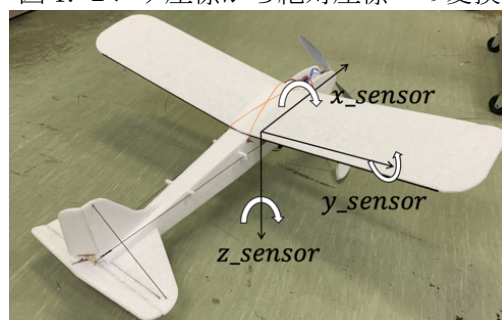


図 2. 機体とセンサ座標の対応

加速度センサは, ノイズが大きいことに加え, 重力以外の動的加速度が発生した場合に, 正しい計算結果が得られない. 角速度による計算では, ゼロ点のドリフト誤差の蓄積が発生する. 本テーマではこれらを解消するために, 複数のセンサを併用して誤差の補正をするセンサ・フュージョン技術の 1 つであるルマンフィルタを用いる^[4]. システムの状態を表す状態方程式と, 観測値とシステム状態との関係を表す観測方程式により, 対象の真の値を推定するアルゴリズムで, 1. カルマンゲインの決定, 2. 現ステップでの推定値の計算, 3. 現時点での共分散行列の計算, 4. 次ステップでの予測値の計算, 5. 次ステップでの共分散行列の計算の 5 つの計算式で表される.

3. 実験結果

まず, オイラー角を用いる場合と, 用いない場合の比較を行う. センサの x 軸周りに 90° 回転後, センサの z 軸周りに 90° 回転させた場合 (条件 1) のセンサ座標の各軸周りの回転角度と絶対座標の各軸周りの回転角度の 6 つのデータを計測し, オイラー角の性質を確かめる. 次に, オイラー角を用いた状態で, カルマンフィルタ で計算した姿勢, 加速度で計算した姿勢, 角速度で計算した姿勢の 3 つのデータを比較する. センサを静止させた状態で長時間計測した場合 (条件 2), 実際に機体に載せて飛行した場合 (条件 3) のデータを計測することで, カルマンフィルタの有効性を示す.

4. 結果と考察

オイラー角を用いた場合と用いない場合の結果を比較する. 図 3 に条件 1 のグラフを示す. 次に, カルマンフィルタの有効性を示すが, ここでは, 条件 2 のみをグラフ (図 4) に示す. 条件 2 のデータに関しては, ロール角 (絶対座標の x 軸周りの角度) のみを示す.

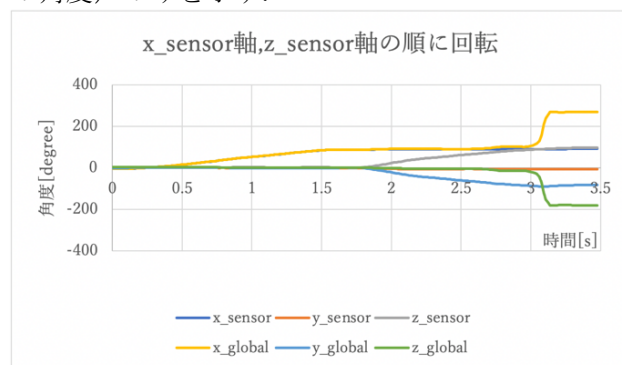


図 3. 条件 1 におけるデータ

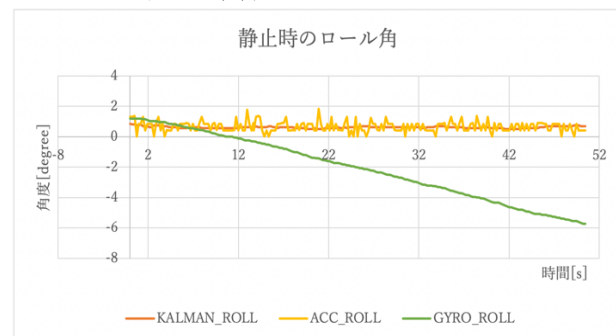


図 4. 条件 2 におけるデータ

図 3 より, オイラー角を用いない場合は, センサ座標において x 軸周りの角度が増えた後, z 軸周りの角度が増えているが, 絶対座標では, ロール角の後, ピッチ角が増えており, 絶対座標に変換されていることがわかる. しかし, ピッチ角が 90° に近づくと, ロール角とヨー角が正しく計算

できなくなる. これは, ジンバルロックと呼ばれる現象であり, オイラー角による表現ではこれに注意しなければならない. 模型飛行機では, ピッチ角が 90° になることも考えられるため, オイラー角による姿勢表現では問題がある.

図 4 より, カルマンフィルタの結果は, 加速度のノイズ, 角速度からゼロ点ドリフトの誤差の蓄積を除去したような結果になり, より正確に角度を計算することができることが確認できた. 動的加速度がない状況下においては, かなり精度良く姿勢の計算ができる. また, 条件 3 では, 離陸時と旋回中のデータを計測した. グラフの角速度による角度とカルマンフィルタで計算した角度は概形が同じであったが差があった. 短時間でのデータ計測を行ったため, 角速度のゼロ点誤差の蓄積が原因とは考えにくい. 飛行中に動的加速度が働いた時, 加速度は大きく影響を受け, 正確な姿勢を計算できなくなるので, カルマンフィルタはその影響を小さくできるとは言え, 影響を受けているのではないかと考えられる.

以上の結果を受け, 今後の課題としては以下の 2 点が挙げられる.

- ・ジンバルロックを回避することができるクォータニオンの導入
 - ・重力以外の動的加速度の影響を軽減できるアルゴリズムの検討
- これらの 2 点により, 機体の姿勢を制限なく計算することができ, 固定翼機を自由に自動制御できるようになることが期待できる.

参考文献

- [1] 久保太輔: 無人航空機システム (ドローン) の歴史と技術発展, 計測と制御, 56, 1, pp. 12-16, 2017 年 1 月号, 計測自動制御学会
- [2] 国土交通省 Web ページ: 無人航空機 (ドローン・ラジコン機等) の飛行ルール
- [3] “Joseph M. Cooke, Michael J. Zyda, David R. Pratt, Robert B. McGhee: NPSNET: FLIGHT SIMULATION DYNAMIC MODELING USING QUATERNIONS, In Presence, Vol. 1, No. 4, pp. 404-420.
- [4] トランジスタ技術: 月着陸船アポロに学ぶ確率統計コンピュータ, 2019 年 7 月号, p129