

クアッドコプターに対する姿勢制御設計

2014SC071 鈴木 琢仁

指導教員：坂本 登

1 はじめに

近年、軍事やホビーで利用されていた無人航空機 (UAV; Unmanned Aerial Vehicle) が注目されており、その中でもマルチコプターの開発、利用が盛んになっている。主な利用方法としては農業散布、空中撮影、また有人機で行っていた物品の配送を無人機で行おうという試みもある。さらに有人機では困難な狭所や危険地の空中撮影、監視および計測での利用が考えられている。現在、このようにマルチコプターが活躍するにあたってマルチコプターの姿勢制御の確立が重要となっている。

本研究では、上記のようなマルチコプターの活用のために欠かせないマルチコプターの姿勢制御の技術向上のため、姿勢の安定化を目標とする。今回は研究室が保有するクアッドコプターを使用する。姿勢制御を行うために IMU センサを使用し姿勢角や角速度の検出を行えるようにし、それらを制御基板を使いフィードバック制御を行なった。

なお、本研究は中島研究室修士 2 年の渡邊亮二氏との共同研究である。

2 ANS1PIC 制御基板

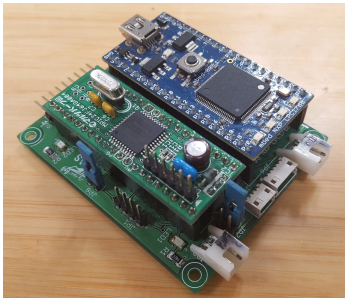


図 1 ANS1PIC 制御基板

図 1 は ANS1PIC 制御基板である。ANS1PIC 制御基板は岩手大学工学部システム創成工学科の佐藤研究室が開発した制御基板である。ANS1PIC 制御基板は 3 つのマイコンを組み合わせで作られたものであり、3 つのマイコンで行う処理を分けることによって高速な処理と汎用性高さが可能となっている。図 2 は ANS1PIC 制御基板の信号の流れを表している。

3 つのマイコンはそれぞれセンサコア (SE コア)、フィルター&コントロールコア (FC コア) とスーパーバイザコア (SV コア) と呼ぶ。

SE コアは mbed の LPC1114 マイコンを使用している。SE コアの役割は IMU などのセンサ情報の取得、そしてセンサの情報を FC へ送ることである。

FC コアの役割はセンサコアから送られてくるセンサ情報

と、SE コアから送られてくるプロポからの操作入力を受け取り、計測、制御を行う。FC コアは PIC24F マイコンを使用しており、MATLAB の Simulink でソフトウェア開発を行う。

SV コアは mbed の LPC1768 マイコンを使用している。SV コアの役割は受信機を接続し、送信機からの操作入力を受信処理する。また操作入力を FC コアに送ることも行う。そして FC コアで計算された制御入力を受信し、アクチュエーターに出力する。[3],[4]

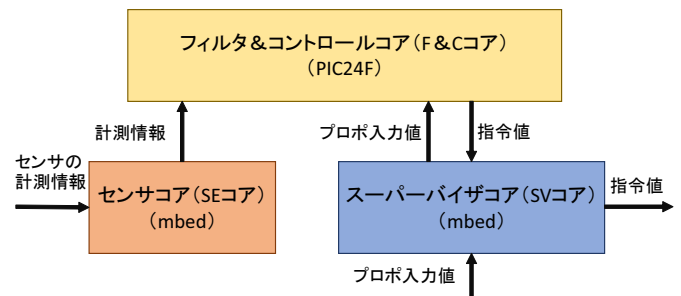


図 2 ANS1PIC 基盤信号の流れ [2]

3 IMU センサの読み取り

ANS1PIC 制御基板の SE コアと I2C レベルで通信をする I2C ハブ基盤が ANS1PIC 制御基板に接続されているため、センサ類はその I2C ハブ基盤に接続すれば SE コアでやり取りができる。本研究で使用する 3DM-GX4-45IMU センサは 5[V] レベルの信号であるが、I2C ハブ基盤は 3.3[V] レベルのため、レベル変換基板が必要となる。そしてレベル変換基板を通した後、信号を I2C レベルに変換する ADDIO インターフェースを通し、I2C ハブ基盤に接続した。そしてセンサコアで IMU センサの計測情報を処理し、FC コアと SV コアに送信できるように構築した IMU センサから SE コアまでの接続図を図 3 に示す。

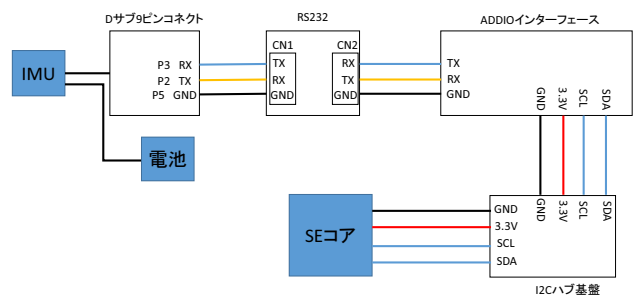


図 3 3DM-GX4-45 と SE コアの接続図

4 PD 制御

本研究では IMU センサから得られているオイラー角と角速度のフィードバック制御の PD 制御を行った。図 4 は PD 制御のブロック線図である。

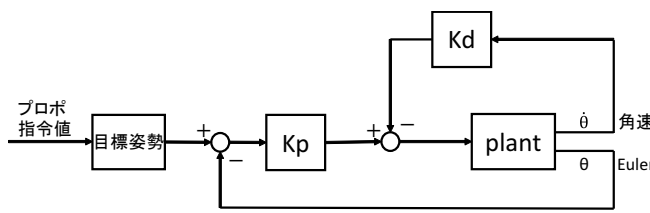


図 4 PD 制御のブロック線図

5 モーターの制御

FC コアでは先述した PD 制御をクアッドコプターの動きのロジックになるように計算式を立てなければならない。各モーターへの制御入力計算式は以下のように立て、FC コアに実装した。表 1 は記号の定義を示している。図 5 はクアッドコプターの座標系である。モーター i 番目の i はクアッドコプターの座標系の図にある数字と一致している。K は全てゲインである。

目標角度の θ_{xref} , θ_{yref} はエルロン、エレベータの PWM

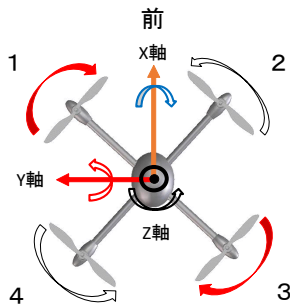


図 5 クアッドコプターの座標系

表 1 記号の定義

記号	意味
t	スロットルの pwm 信号
e	エレベータの pwm 信号
a	エルロンの pwm 信号
r	ラダーの pwm 信号
c	各ニュートラル時の pwm 信号
f_i	モーター i 番目に与える pwm 信号
$\theta_{x,y}$	x, y 軸角度
$g_{x,y,z}$	x, y, z 軸角速度
θ_{xref}	x 軸角度の目標値
θ_{yref}	y 軸角度の目標値

信号を用い求める。それぞれの PWM 信号をニュートラル値で引いて、ゲインをかけることによって目標角度にする。そして目標角度を検出した姿勢角で引き、偏差を求める。 $\Delta X, \Delta Y$ は偏差を表している。

$$\theta_{xref} = K_a(a - c), \theta_{yref} = K_e(e - c)$$

$$\Delta X = \theta_{xref} - \theta_x, \Delta Y = \theta_{yref} - \theta_y$$

f_1 から f_4 は各モーターに反映させる制御式である。角速度 $g_{x,y,z}$ に D ゲインをかけて角速度が生じた方向と逆の方向に機体が動くように正負を決めた。 $K_{px}\Delta X, K_{py}\Delta Y$ は機体が目標姿勢になるように正負を決められている。これらにスロットルの PWM 値を加えて、4 つの各モーターの制御式とした。

$$f_1 = t + K_{px}\Delta X - K_{py}\Delta Y - K_{dx}g_x + K_{dy}g_y - K_{dz}g_z$$

$$f_2 = t - K_{px}\Delta X - K_{py}\Delta Y + K_{dx}g_x + K_{dy}g_y + K_{dz}g_z$$

$$f_3 = t - K_{px}\Delta X + K_{py}\Delta Y + K_{dx}g_x - K_{dy}g_y - K_{dz}g_z$$

$$f_4 = t + K_{px}\Delta X + K_{py}\Delta Y - K_{dx}g_x - K_{dy}g_y + K_{dz}g_z$$

6 モーターの制御結果

先述した角速度と姿勢角のフィードバック制御を実際に制御基板に組み込み、モーターに出力させた。IMU センサを各軸回りに傾けながら 4 つモーターの回転速度の強弱を確認した。結果として、モーターの回転速度がクアッドコプターのロジック通りに変化していることが確認できた。

7 おわりに

本研究では ANS1PIC 制御基板を用い、IMU センサの計測情報を読み取れるようにした。またプロポの操作入力を受信処理ができるようにした。そして、IMU センサからの角速度と姿勢角の情報とプロポの操作入力を組み合わせてモーターに与える指令値を求めるフィードバック制御器を設計した。また実際にモーターに指令値を送り動かした。

今後は飛行実験によるゲインチューニングを行っていく必要がある。しかし実験的なやり方では限界があるため、力学モデルを導出して制御系設計を行っていく予定である。

参考文献

- [1] 今村 彰隆:『推力偏向機構を用いるマルチロータヘリコプターの姿勢制御に関する研究』.2015.
- [2] 狩野 拓也, 佐藤 淳:『研究用マルチコプター MACTech のモデリングおよびロータ入力の線形化誤差を考慮した制御系設計』. 計測自動制御学会東北支部第 308 回研究集会, 2017.
- [3] 勝純一:『超お手軽マイコン mbed 入門』. CQ 出版社, 東京, 2014.
- [4] 小坂学:『mbed マイコンによるモーター制御設計法』. 三進社, 茨城, 2013.