

# 四旋翼自動穩定飛行演算法開發

## Development of automatic in-flight stabilization algorithms for quadcopters

指導教授：劉亦汶

組員：楊子漢、朱哲緯、陳柏儒

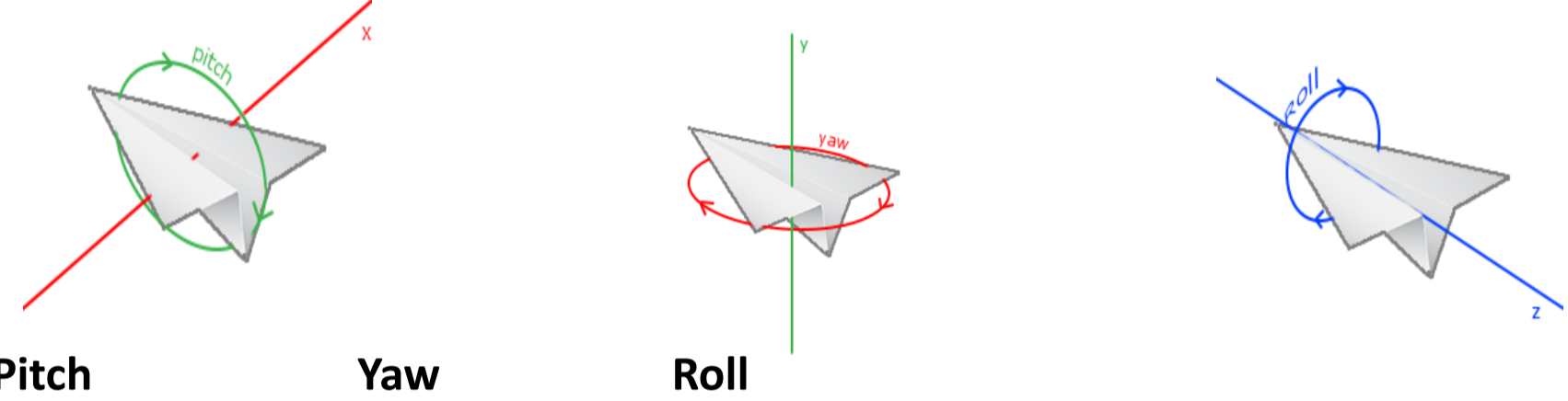
### 一、前言

無人機在現今廣泛的被使用，不論是運用在體育場上的空拍，或者是早期被軍事使用為偵察機，更有計畫將無人機使用來送貨，這項技術越來越成熟，本專題研究的目的是為透徹了解無人機的操作原理，透過自己親手組裝、親自操控，才能夠體會這項技術發展到現在遇到了多少困難，在過程中不斷的失敗再嘗試，也是將來做研究時常會發生的事，而我們透過四軸飛行器的研究，對這方面也更有斬獲，期許未來能在相關領域有不一樣的創新。

### 二、原理分析

#### 1. 飛行姿態與操控原理

飛機在三維空間中，旋轉任意角度皆可視為一種姿態，數學上以歐拉角來定義三維空間中剛體的指向。



#### 2. 馬達控制與飛航之關係

一組對角的馬達轉向相同，兩組馬達互為反向。根據這些正反槳的馬達轉速差異，便可改變飛行姿態，達到控制飛行目的。四軸飛行器有下列四種基本轉向：

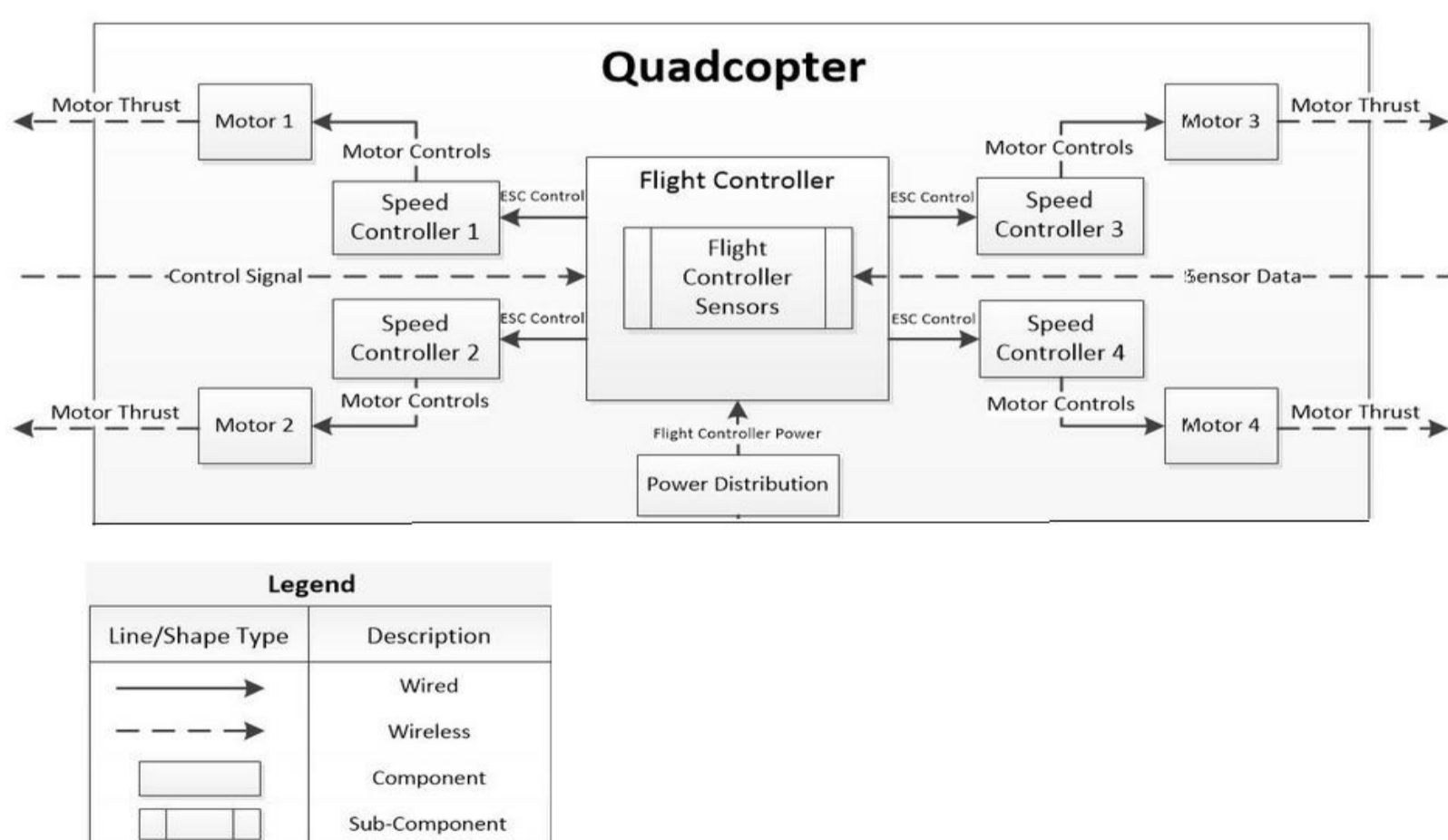
Throttle	四顆馬達轉速皆相同，使無人機垂直起降
Roll	機身左右兩側馬達轉速不同，控制機體沿著縱軸滾動
Pitch	機身前後兩側馬達轉速不同，控制機頭上下載動
Yaw	兩組對角線的馬達轉速不同，控制機體往左右朝向的角度變化

### 三、系統設計

#### 1. 硬體架構

核心為APM2.6飛控板，內含運算單位和三軸加速度計等sensor。飛控板送至馬達的訊號須經由ESC(電子變速器，即圖中的speed controller)轉換成可以驅動馬達的高電流訊號。

下圖為硬體大致的架構



#### 2. PID控制器

PID控制器是工業廣泛應用的feedback control system。主要機制為由誤差:e(t)之比例(P, Proportional)、積分(I, Integral)和微分(D, Derivative)來對被控體進行自動控制。

P、I、D的數學定義如下：

(1)比例P： $P_{out} = K_p e(t)$

(2)積分I： $I_{out} = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau$

(3)微分D： $D_{out} = K_d \frac{d}{dt} e(t)$

將上列式子合併成一條公式，即PID數學運算式：

$$u(t) = MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t)$$

### 三、系統設計

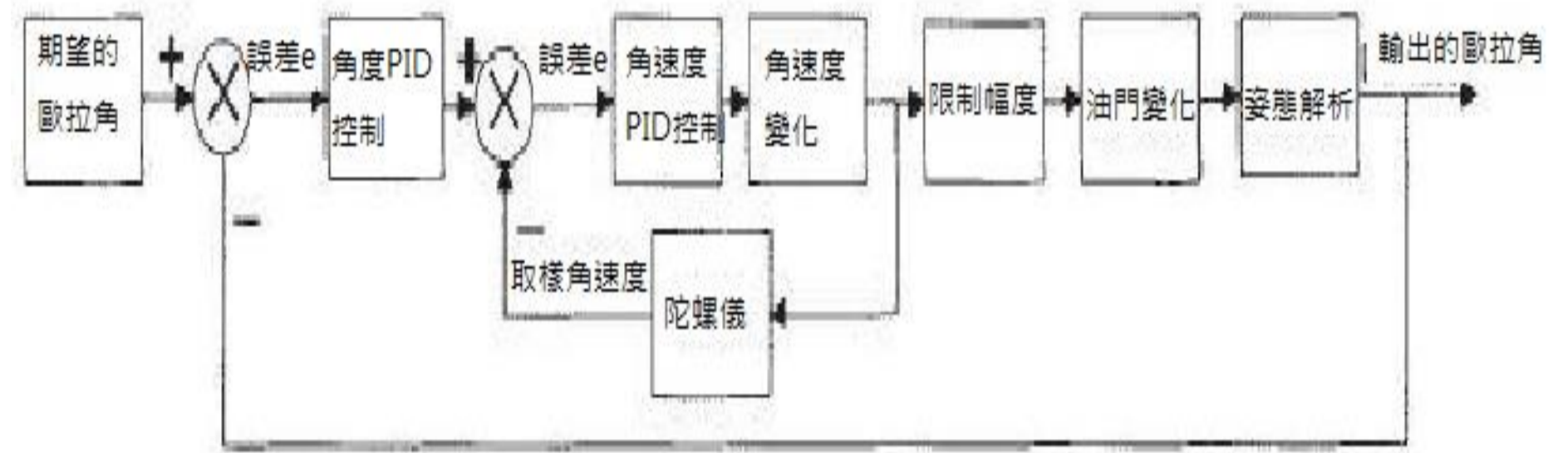
控制系統的基礎理論中，一個feedback control system有幾項重要指標。

Stability(穩定性)：指系統的誤差是否會發散，使系統break down。而P和I加大，會使穩定性下降；D加大，會使穩定性提高。

Accuracy(準確度)：當系統啟動一段時間，達到穩態時的誤差(Steady-state error)。P和I可以提高準確度，D則無影響。

Settling time(安定時間)：指系統從接受輸入到達成穩態的時間。P和D可以提升反應速度，即縮短安定時間；I則降低反應速度，即延長安定時間。

PID應用在四軸上，可以簡化成此方塊圖：



誤差e(t) = 期望歐拉角 - 輸出歐拉角

$$\text{AnglePIDout}(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t)$$

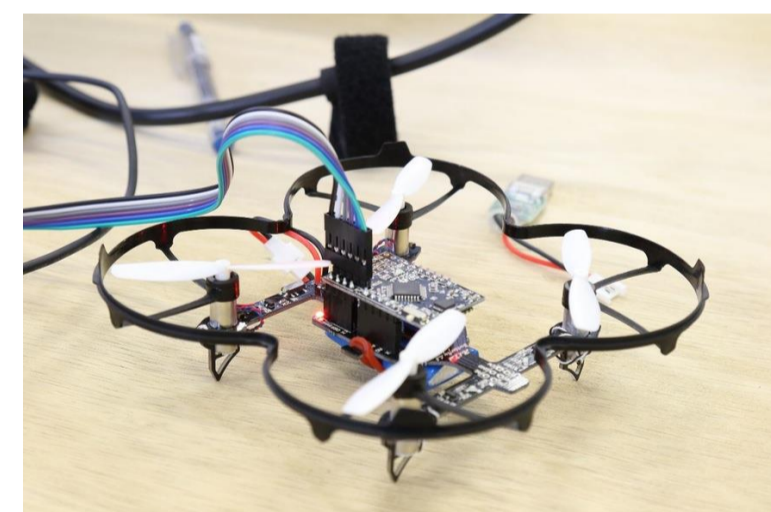
其中Kp、Ki、Kd為比例、積分、微分係數。

$$\frac{d}{dt} e(t) = \text{AnglePIDout}(t) - \text{實際角速度}$$

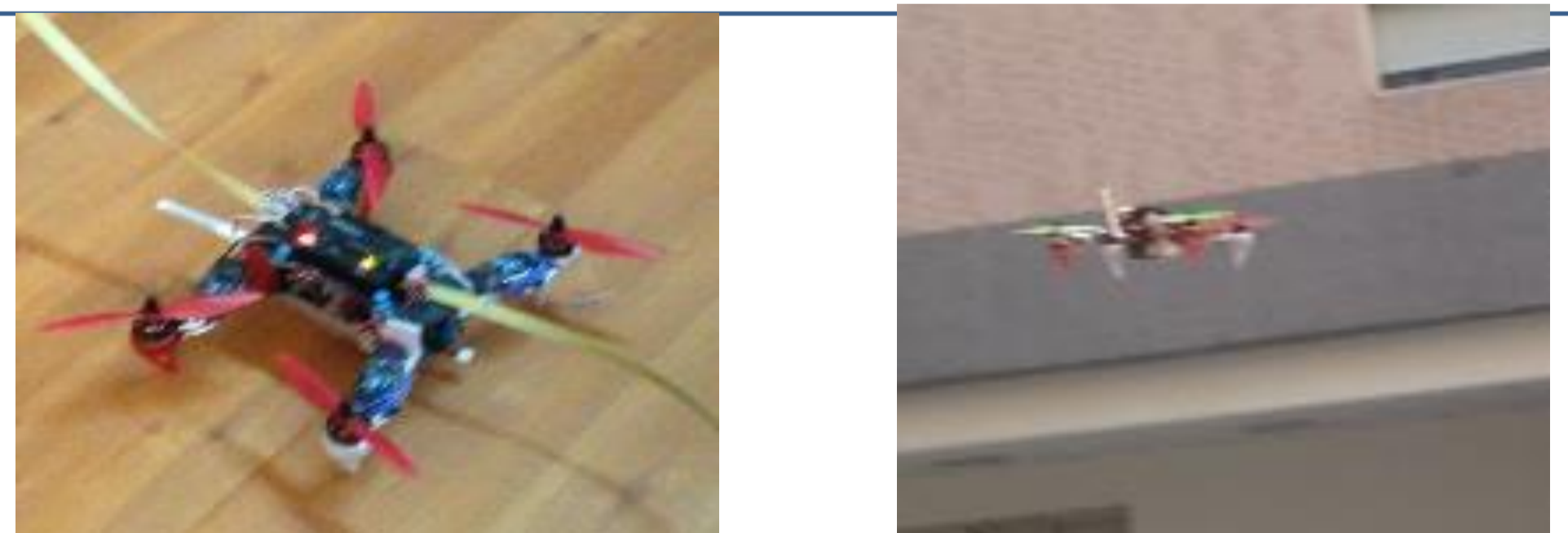
roll、yaw、pitch、altitude(高度)的計算皆是如此，最後將所有PID輸出的數值整合，由四軸飛行的油門輸出公式計算出馬達輸出，即完成初步的回饋控制。

### 四、實驗結果

**第一階段：**以小型四軸飛行器粗略地驗證理論，損失較小，也能大膽嘗試。結果為飛行穩定度不夠理想，起因於sensor數量以及精確度不足，對飛行姿態的擷取不夠精準，使控制器無法作出理想的修正。實際上，只能飛行一小段距離即失控墜落。



**第二階段：**以大型四軸飛行器作更進階的試驗。其內含性能較佳的APM 2.6飛控板，含有較多sensor，在擷取資料的性能高出小型四軸飛行器許多。也支援許多外部sensor擴充，使得飛機性能更加完善。配合開源飛控碼，我們多次調整PID的參數，使大型四軸飛行器可以穩定懸停以及自由的操縱方向；較完整地驗證了PID控制對於四軸飛行的影響，以及控制基本理論。



(最初以繩子固定作為保險措施) (最終能平穩飛行，地點為台達館1F中庭)

### 五、參考文獻

[1] Authors: J. Crowe, K.K. Tan, T.H. Lee, R. Ferdous, M.R. Katebi, H.-P. Huang, J.-C. Jeng, K.S. Tang, G.R. Chen, K.F. Man, S. Kwong, A. Sánchez, Q.-G. Wang, Yong Zhang, Yu Zhang, P. Martin, M.J. Grimble, D.R. Greenwood  
 Editors: Michael A. Johnson PhD, Mohammad H. Moradi PhD  
 PID Control New Identification and Design Methods, 2005

[2] Gene F. Franklin (Author), J. Da Powell (Author), Abbas Emami-Naeini (Author), Feedback Control of Dynamic Systems (7th Edition), 2014

[3] Norman S. Nise, Control Systems Engineering, 6th Edition, 2011

[4] <http://www.ardupilot.co.uk> APM 網站