

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 工程學科(一)科

052316

「四」是而「飛」

——基於 Arduino 的四軸飛行器之探討

學校名稱：國立新竹高級中學

作者： 高二 徐子程 高二 黃柏諭	指導老師： 曾聖超
-------------------------	--------------

關鍵詞：四軸飛行器、Arduino

摘要

近年來 **Maker** 風氣盛行，四軸飛行器成為時下熱門的話題，玩家們藉由自行組裝四軸飛行器，學習其中運作原理。而我們希望以較低的製作成本，達到與市面上現成品相同，或更進階的功能。而選擇使用 **Arduino** 做為控制，開放原始碼的專案也讓零件及軟體的選擇更有彈性。我們在製作過程中，了解自行組裝的四軸飛行器會遇到那些問題，及飛行時不穩定的現象，在實際組裝一台四軸飛行器的過程中，也一一解決所遇到的困難。組裝完成後，我們也以不同的方式測試其穩定性，利用 **Arduino** 飛行控制板，紀錄數據，在每次飛行後，分析飛行數據，藉由改變零件位置配置，並探討組裝後不穩定的原因。

壹、研究動機

四軸飛行器不再是一種昂貴的玩具，目前已有空拍、搜救等實際應用，美國 **Amazon** 公司甚至提出用無人飛機送貨的構想。加上相關零件取得容易，款式眾多，價格也降到易為一般人可接受的範圍，許多國內外的玩家在網路上分享組裝飛行器的過程。多數 **DIY** 飛行控制器採用基於 **Arduino** 微控制器的硬體，我們平時就有使用 **Arduino** 的經驗，讓 **DIY** 門檻大幅降低，也想自己實際製作一台，了解組裝、測試可能遇到的問題。並在過程中學習其運作原理。

貳、研究目的

- 一、透過自行製作四軸飛行器，探討最適當的零件配置
- 二、經由校正與初步測試，使飛行器能夠穩定飛行
- 三、由室內飛行結果確認其飛行穩定度
- 四、探討轉動慣量對穩定度之影響
- 五、分析影響飛行器不穩定之因素

參、研究設備及器材

一、飛行器零件（第二代）

名稱	數量
Tarot 650 碳纖維機架	1
15 吋 1555 碳纖維螺旋槳	2
SunnySky X4108S 380KV 無刷馬達	4
Platinum-30A-OPTO-PRO 30A 電子變速器	4
鋰聚合物電池 11.1V 5200mAh (兩顆串聯)	4
UBEC 變壓模組 (供電給飛控板)	4
U-Blox NEO-6M GPS 模組	2
RadioLink AT9 遙控器	1
RadioLink R9D 遙控器接收機	1
士林電機無熔絲開關 1P 30A	1

二、飛行器零件（第一代）

名稱	數量
2020 鋁擠條 65cm	1
2020 鋁擠條 31.5cm	2
2020 鋁擠條 90° 連接角件	4

三、其他實驗器具

名稱	數量
筆記型電腦	1
3D 列印機	1
游標卡尺	1
100g 砝碼	數個
Mission Planner 飛行軟體	1
Google SketchUp 繪圖軟體	1

肆、研究過程與方法

一、飛行器零件選擇及設計

(一) 飛行控制板選擇

飛行控制板（以下簡稱飛控板）原先預計使用 MultiWii，為眾多適合 DIY 製作的款式之一，此款飛行控制板為 Atmel ATmega328P 晶片，基於類似 Arduino 的硬體。主要程式可於 MultiWii 官方網站上下載，是開放原始碼之設計，方便修改程式碼及調整設定。

之後因測試 MultiWii 飛控板有部分相容性問題，改用 Ardupilot APM2.8 飛控板，此款飛控板性能更好，支援的功能也較多，具有我們需要的紀錄飛行數據功能。

(二) 機身材質

第一代機身材質考慮到金屬材質較堅固，且鋁條取得容易，長度可任意指定，所以採用 2020 鋁擠條。

而第二代的機身採用碳纖維，兼具強度外更減輕機身重量。

(三) 馬達

現今四軸飛行器大多採用直流無刷馬達，需要搭配電子變速器使用。因製作的是較大型的飛行器，按照網路上的建議使用低 KV 數的馬達。KV 數越低，代表線圈匝數越多，最高輸出電流較小，扭力大，適合直徑較大的螺旋槳。

(四) 電池

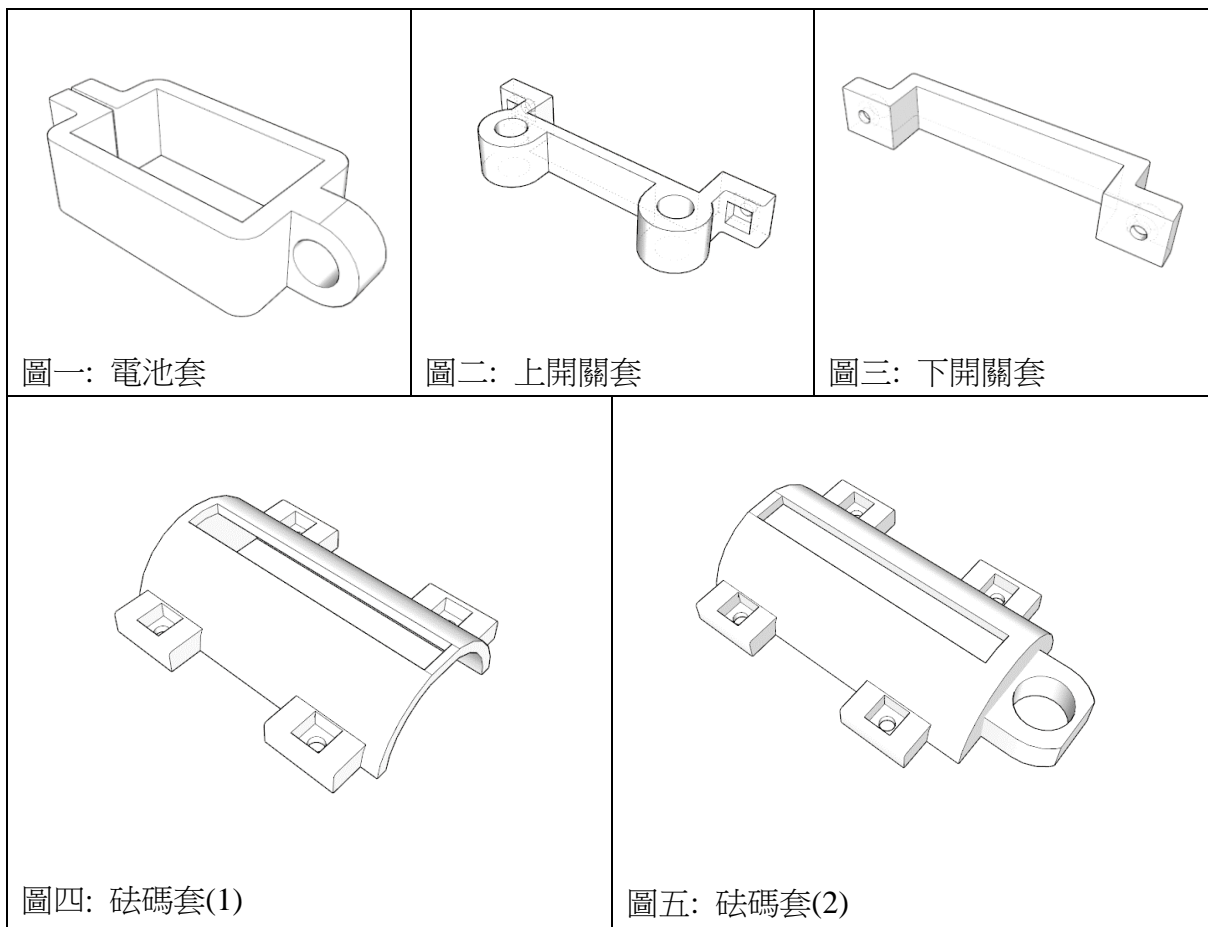
因希望獲得兩好的續航力，及機身較大，可掛載較多重量。故選擇以兩顆 11.1V 鋰聚合物電池串聯成 22.2V 電源，提高電壓也可降低電流，減少熱能損耗。

(五) 其他零件

關於其他零件，例如遙控器、GPS 等，因對實驗操作影響較小，所以採用容易取得的款式，未特別挑選。

二、自製連接部件

因機身為我們自行設計，市面上販賣之零件不一定有組裝需要的尺寸及功能，所以部分零件採用 3D 列印製造。首先，使用游標尺測量所要連接部件所需之長度資料，再根據其資料使用 AutoCAD、SketchUp 設計 3D 模型，輸出立體模型檔案 (.stl) 後由切片軟體轉換成 3D 印表機所支援路徑檔 (.gcode)。最後使用 3D 印表機印製出需要的連接部件。目前使用列印的零件有電池套、無熔絲開關套、GPS 座、飛控板減震座。

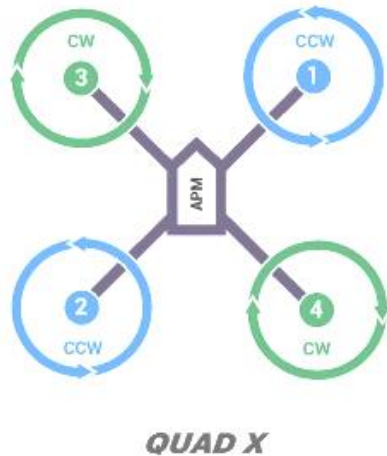


三、飛行器組裝

組裝過程則參考網路上的教學。由於部分零件固定方式為我們自行設計，零件與機身之間需要轉接介面。我們自行繪製轉接座，並使用 3D 列印機印出，方便以後修改設計，或損壞可再製。

(一) 機架型式

有關於機架及馬達配置，本實驗以最常見的 X 行四軸飛行器為基礎，馬達兩兩轉向相反，以抵銷單方向轉動造成的力矩。因此選配的螺旋槳也須配合馬達而有兩種方向，如圖六所示。



圖六 (取自 APM 官網)

(二) 更換飛控板

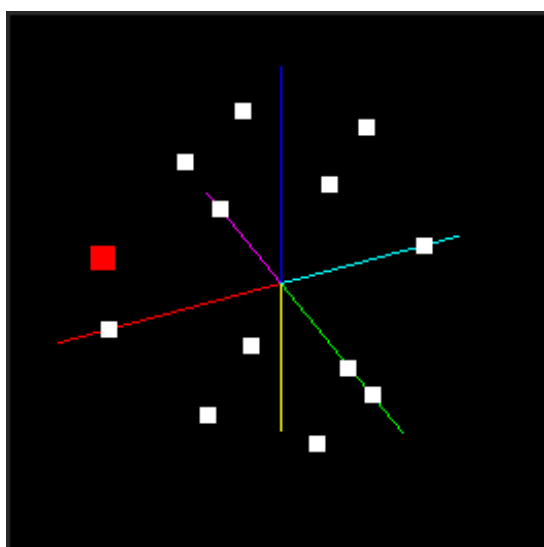
組裝完成後，進行測試，確保各項功能是否正常運作，但到了馬達測試時，發現其中一顆馬達轉速與其他三顆不同。在解決此問題之前，則無法正常飛行，交叉測試後問題仍沒有改善。考慮過各種解決方案，加上 MultiWii 內建記憶體空間不足，無紀錄飛行數據的功能，才決定改用其他款式的飛控板，其後選擇 APM 2.8。此款飛控板為 Atmel ATmega2560 晶片，同樣為開放原始碼的設計，具有較大的儲存空間，可寫入更多程式碼，及記錄飛行數據。支援的功能也較 MultiWii 多，其電腦端控制軟體 Mission Planner 具有調控飛行設定、分析飛行數據等功能，較適合我們研究的探索。

四、校正

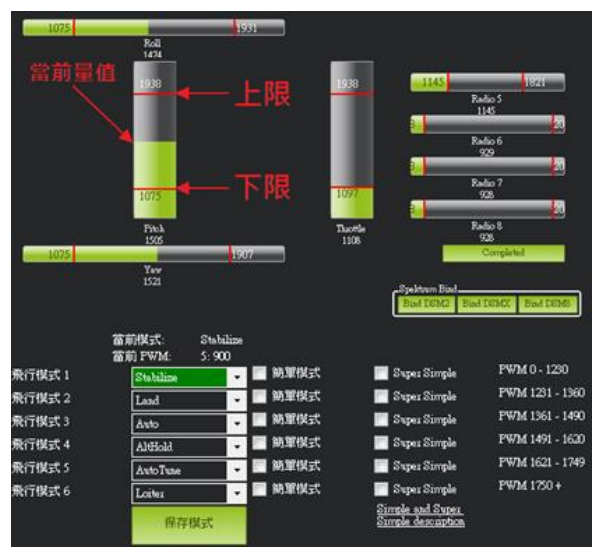
飛控板上有數種感測器，包含加速度計、磁場計、氣壓計等，在試飛之前必須先進行校正，使飛控板得到外界環境狀態，做為飛行資料計算的參考。此步驟對於是否能穩定飛行影響甚多，如校正不良，飛行器起飛後可能會往特定方向漂移，或對遙控指令反應錯誤。校正使用 Mission Planner 軟體。

(一) 校正羅盤（磁場計）

羅盤校正需要拿起飛行器在空間中旋轉至各中方位，直到取得的樣本數足夠為止。如圖七，白色的點代表目前在空間中已取得的數據。



圖七 羅盤校正情形



圖八 遙控器訊號校正及狀態

(二) 校正加速度計

本步驟需將飛行器擺放至桌面朝上、下、左、右、前、後，讓飛控板獲得不同方向的加速度狀態。

(三) 校正遙控器訊號

為了讓飛控板獲得遙控器搖桿最大值和最小值的訊號，校正方式為將遙控器上各搖桿及旋鈕撥至最高及最低值。圖上顯示有 8 個通道可供控制，左側的 Throttle、Pitch、Roll、Yaw 分別代表使用者控制飛行器的狀態。右側則是輔助通道，可設定為操控其他功能。在輔助功能中 Radio 5 最為重要，可藉由遙控器上不同開關的組合，設定各種飛行模式，紅線代表偵測到遙控器所傳來訊號的 PWM 脈衝訊號量值上限、下限，如圖八。

(四) 校正電子變速器

此步驟不經由 Mission Planner 軟體。確認電子變速器及馬達都安裝好後，先切斷飛控板電源，將遙控器油門拉至最高，接上飛控板及電子變速器電源，等候飛控板閃爍燈號，關閉電源再重新接上。此時可任意撥動油門操縱桿，使飛控板獲得電子變速器操縱的訊號，再關閉電源即紀錄校正結果。

五、初步飛行測試

(一) 吊掛測試

改用 APM 飛控板後，馬達皆正常運作。在機身上綁塑膠繩，以電源線連接電池與飛行器，吊掛於空中。測試其能否懸空漂浮，並觀察有無其他問題。測試結果正常，飛行器可自行維持穩定。

不過在其中一次測試時，操控飛行器偏移的角度過大，導致塑膠繩捲入螺旋槳，只能終止測試，幸無造成飛行器其他部分損壞。既然有捲入螺旋槳的危險，勢必要找出更安全的測試方法。

(二) 地面漂浮測試

我們改將飛行器四端墊在架高的木塊上，同樣以電源線連接，讓其飄離地面數十公分，並觀察其穩定狀況。經過測試，飛行器可自我維持穩定狀態超過 10 分鐘。

在其中一次測試，電源正負極中間的絕緣塑膠塊脫落，造成短路，發現後立即進行斷電，但此次意外仍造成一顆鋰電池損毀。

為了避免類似情況再度發生，我們在電源連接處串聯無熔絲開關，如此可避免短路時電流過大將零件燒毀，並消除連接電池時的火花，改用開關也省去連接電源插頭的麻煩。

六、實際飛行

(一) 室內飛行

實驗步驟：

1. 校正機體水平，確保其 roll 與 pitch 值不會有超過 10 度的偏移
2. 設定飛行模式為定高模式，高度為 1.5 公尺，等待 30 秒後再起飛
3. 解鎖，先確認馬達無問題，拉高油門，即進入定高飛行模式
4. 飛行五秒後進入自動降落模式，收油門飛行器即自動上鎖
5. 重複以上步驟 5 次並輸出飛行紀錄

(二) 室外飛行

在經過室內飛行測試之後，我們轉而嘗試室外飛行。

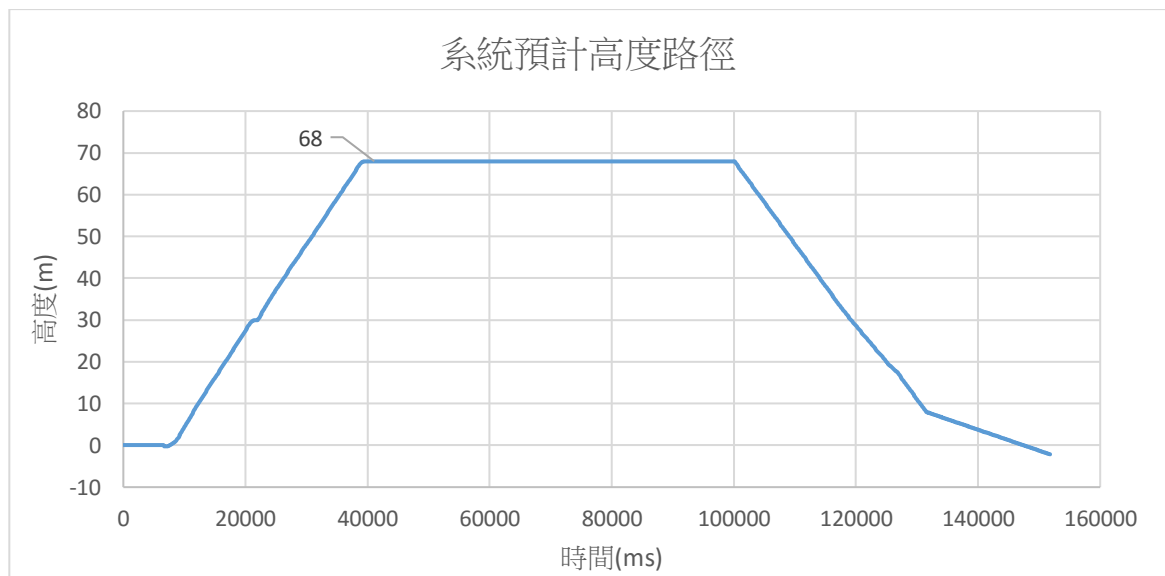
室外飛行使用自動飛行模式，路徑為：定點升高至 70 公尺，停留 60 秒，原地下降並且自動降落。我們使用 Mission Planner 設定經緯度並生成.waypoint 路徑檔，如下頁圖九所示。

1	QGC	WPL	110	HOME					
2	0	1	0	16	0.000000	24.794233	120.980410	70.000000	1
3	1	0	0	22	0.000000	24.794233	120.980411	70.000000	1
4	2	0	0	19	60.000000	24.794233	120.980411	70.000000	1
5	3	0	0	21	0.000000	24.794233	120.980411	70.000000	1
6					模式代號	秒數	經緯度	高度	

22為起飛
 19為盤旋
 21為降落

圖九 路徑檔範例

由系統自行計算高度路徑，如下圖。



圖十 自動飛行高度路徑

實驗步驟：

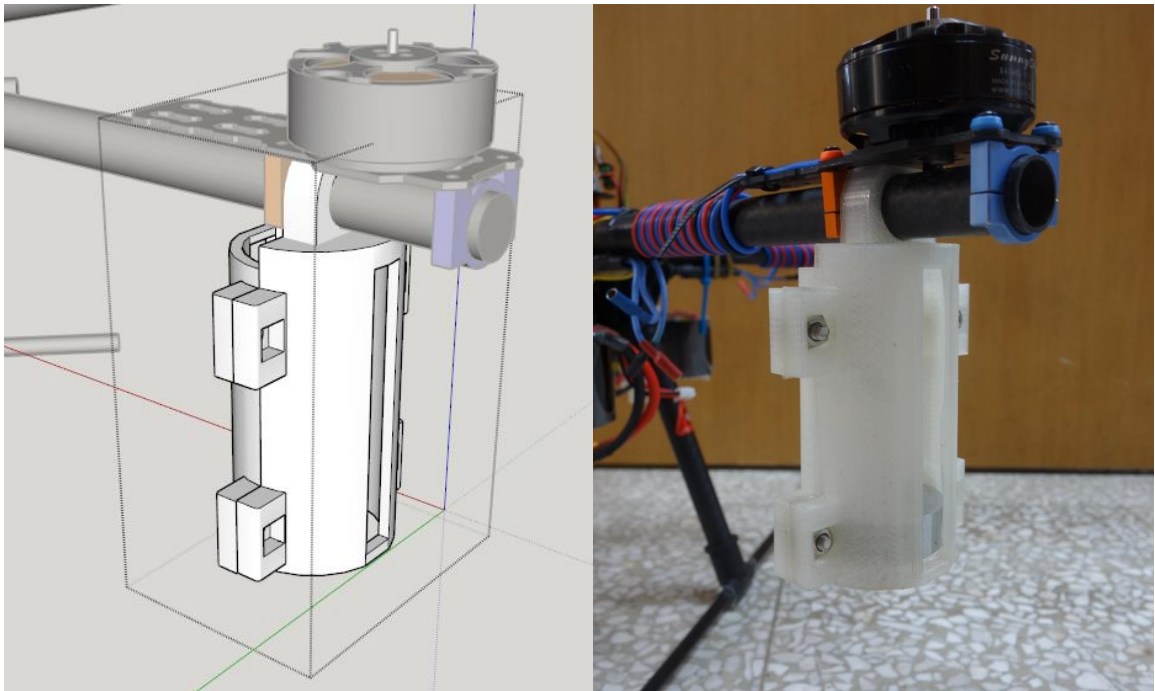
1. 執行一次空白測試，確認飛行器已達到預計起飛經緯度位置並降落
2. 從自穩模式解鎖，確認 GPS 已定位
3. 遙控器切換為自動模式，拉高油門即進入自動飛行模式
4. 任務完成降落至地面，收油門飛行器即自動上鎖
5. 輸出飛行紀錄

七、重物吊掛測試

(一) 轉動慣量測試

本實驗利用不同數量的吊碼吊掛於四個軸上，增加飛行器的重量，加大其轉動慣量，探討不同重量時轉動慣量對飛行器穩定度之影響。

為了確保砝碼不會因為馬達而晃動降影響穩定度，我們另外設計了砝碼套，內部可以自由增減砝碼數量。



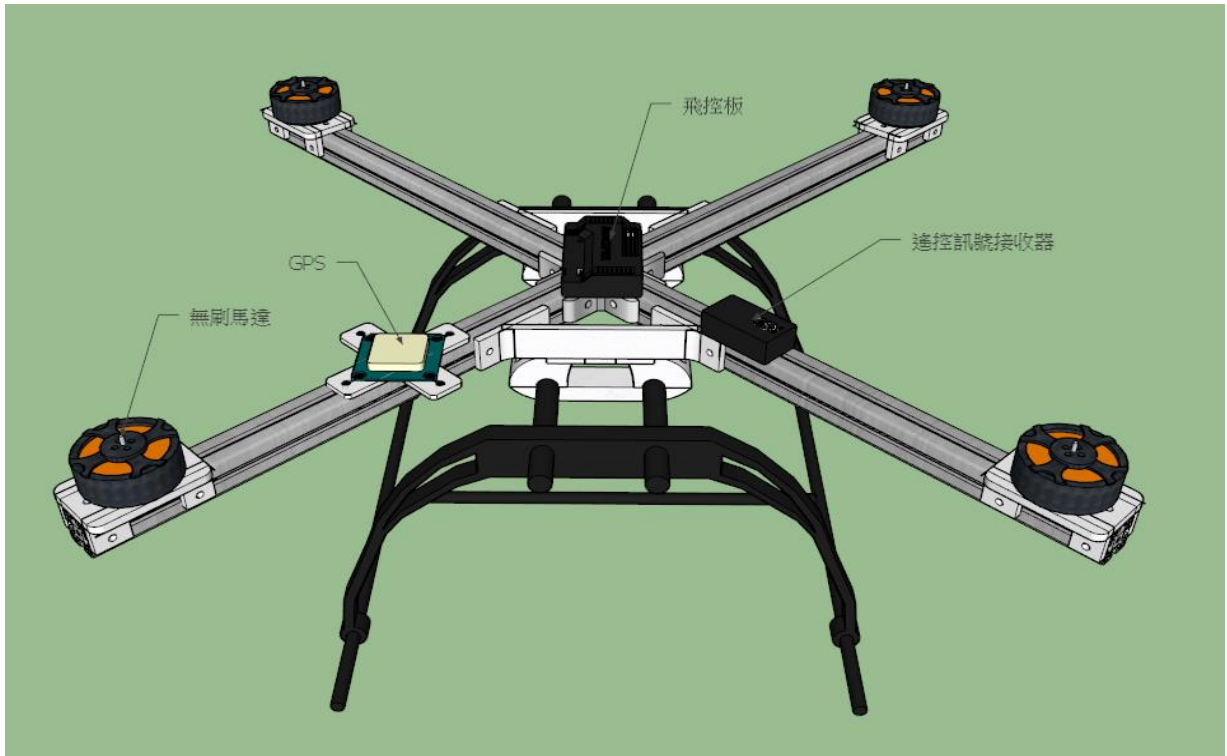
圖十一 砝碼套配置示意圖與實體圖

實驗步驟：

1. 將吊碼放入固定座內鎖緊，並掛上飛行器
2. 校正機體水平，確保其 roll 與 pitch 值不會有超過 10 度的偏移
3. 從自穩模式解鎖，等待 30 秒，確認 GPS 已定位
4. 遙控器切換為自動模式，拉高油門即進入自動飛行模式
5. 爬升至指定高度，停留 20 秒
6. 任務完成降落至地面，收油門飛行器即自動上鎖
7. 重複以上步驟 3 次並輸出飛行紀錄
8. 增加吊碼數量，重複進行本實驗

伍、研究結果

一、機體設計

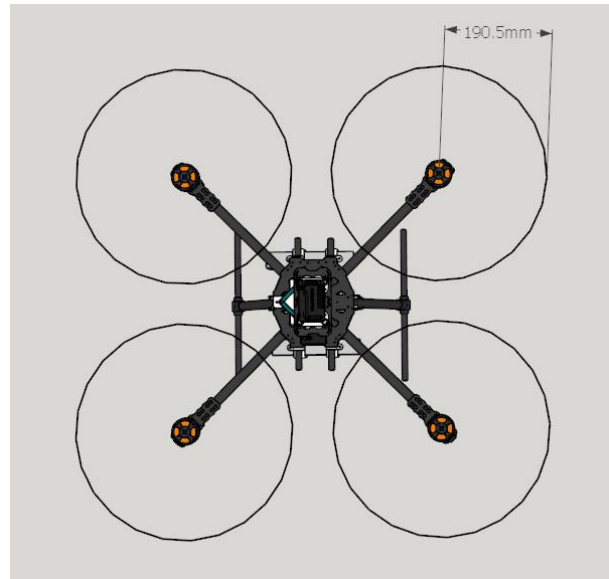


第一代飛行器設計略圖，因發生墜毀意外所以設計第二代

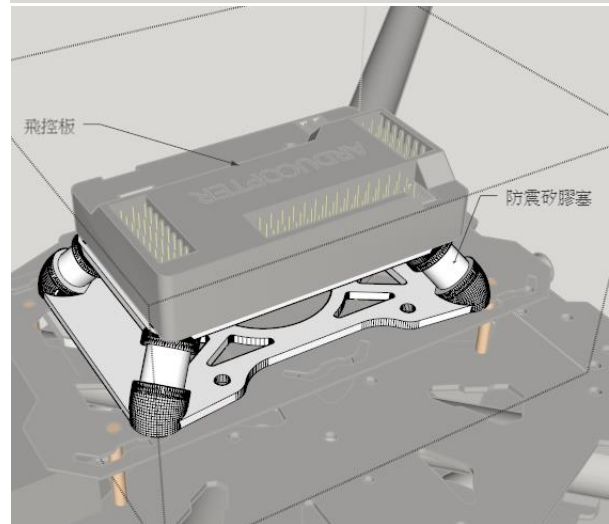


第二代飛行器設計略圖

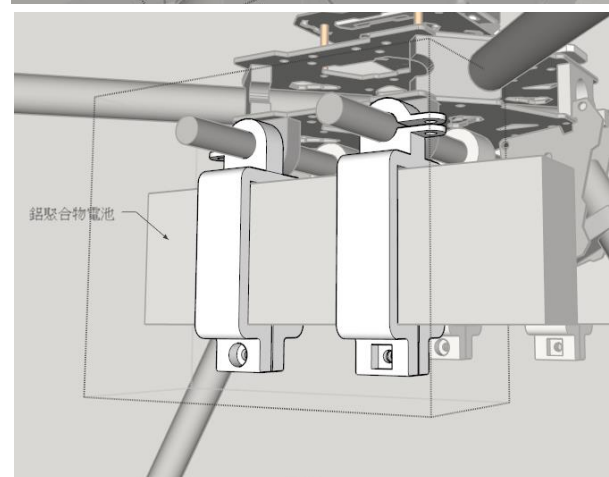
右圖為我們機體的俯視圖。我們選用碳纖維機架。預計使用 15 吋(190.5mm) 的螺旋槳。



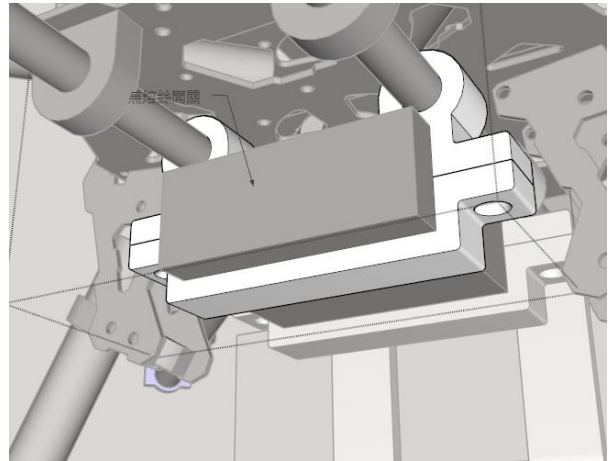
為了確保飛控板在記錄數據時不易受環境震動影響，我們使用減震座並以矽膠套連接。



由於沒有預設的電池座，因此我們測量後自行繪製並列印。下方預留空隙及螺絲孔方便調整鬆緊度。



在上一代機體中，我們發現長期插拔電源線將會使接頭容易損壞，為解決此問題，決定加入無熔絲開關。繪製連接座上下部分以螺絲互相連接。



圖十二 第二代飛行器實體圖

二、飛行器組裝

(一) 固定材料選擇

在組裝過程中，我們試過多種不同材料固定零件。在固定電池的方式中，先後試用過塑膠尼龍繩、鐵絲網綁。使用塑膠繩雖然固定方便，但是容易滑動，分岔的塑膠繩更可能被捲入螺旋槳中，造成危險。換用鐵絲後問題改善，鐵絲容易彎折，可配合零件的形狀，兼具強度與彈性。

而後我們又發現使用 3D 列印固定座是更佳的选择，可為零件量身訂做尺寸，又可避免使用彈性固定材料可能造成的震動。

(二) 飛控板減震

組裝完成，飛控板是直接用泡棉膠黏貼在機架上。分析數據時，觀察到即使在穩定飛行狀態下，加速度計的背景雜訊偏高，推測是機身本身的震動造成。上網查詢相關解決辦法，建議加裝減震裝置，搜尋到有專為 APM 飛控板大小設計的減震座，四周由矽膠軟墊支撐。利用 3D 列印製造出底座，再組裝回去，分析飛行後的數據，有效減少背景震動。



圖十三 自行印製組裝的減震座

三、初步飛行測試

(一) 如何安全降落

在最初幾次飛行當中，因操作的技術還不熟練，經常讓飛行器無法平穩降落，摔壞飛行器。後來查詢到 APM 飛控板支援的飛行模式中，其中一種模式即為自動降落功能，只要預先在 APM 上設定，撥動遙控器的開關即可切換模式，不須再進行危險的手動降落。

(二) 加快修復速度

有鑒於測試飛行器時經常摔壞，只要螺旋槳撞擊到硬物，最常損壞的零件是馬達座。我們想到可以多列印一些備用品，如有損壞時可以立即替換，節省列印等待的時間。

四、實際飛行

(一) 數據說明

對於一組飛控板所輸出的.log 檔，我們可以得到許多資訊，而以下將說明各資訊的

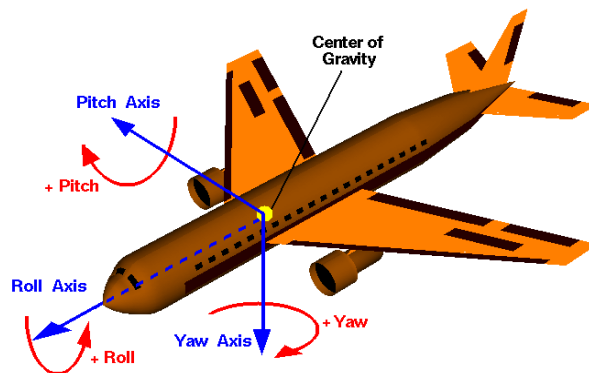
意義。

1. 慣性測量單元(Inertial Measurement Unit，以下簡稱 IMU)

IMU 中記錄 GyrX, GyrY, GyrZ, AccX, AccY, AccZ 六項數值，GyrX, GyrY, GyrZ 分別記錄機體對於三軸的旋轉角速度，AccX, Accy, AccZ 表示三軸方向的加速度。紀錄頻率為 10Hz。

2. 姿態(Attitude，以下簡稱 ATT)

由 IMU 所得到的六項數值可以經過四元數運算得到飛行姿態 ATT。ATT 中分為 Row, Pitch, Yaw 三項數值，他們分別代表對於 x, y, z 軸作旋轉的角度，以該軸正向作順時針旋轉為正，如下圖所示。



圖十四 (取自 NASA 官網)

3. 氣壓及溫度

由氣壓及溫度資訊我們可以將其轉換為飛行器所在高度。紀錄頻率為 10Hz。

$$H = \frac{\left[\left(\frac{P_0}{P}\right)^{\frac{1}{5.257}} - 1\right] * (T + 273.15)}{0.065}$$

4. 全球定位系統(Global Positioning System，以下簡稱 GPS)

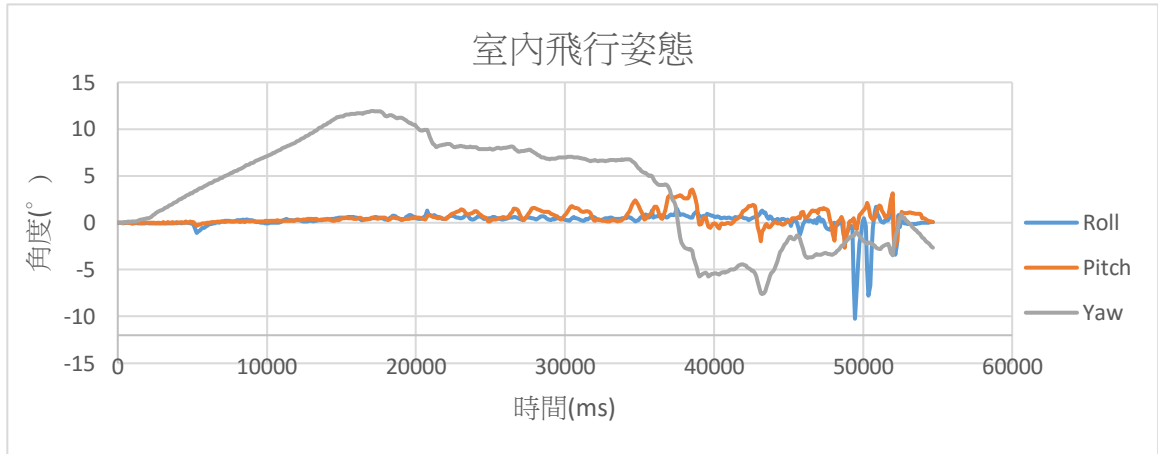
GPS 中紀錄了當前高度以及此時連接的衛星數，而其中也有內建水平座標精度 (horizontal dilution of precision，HDOP)的計算，方便我們了解當前的 GPS 精確

度。紀錄頻率為 5Hz。

$$\text{HDOP} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$$

(二) 室內飛行結果

對於每一次室內飛行，我們可以取得每個時間點所記錄的詳細資訊，對時間作圖。
下圖所記錄的是姿態 Attitude(ATT)對時間。



圖十五 室內飛行結果姿態 Attitude(ATT)

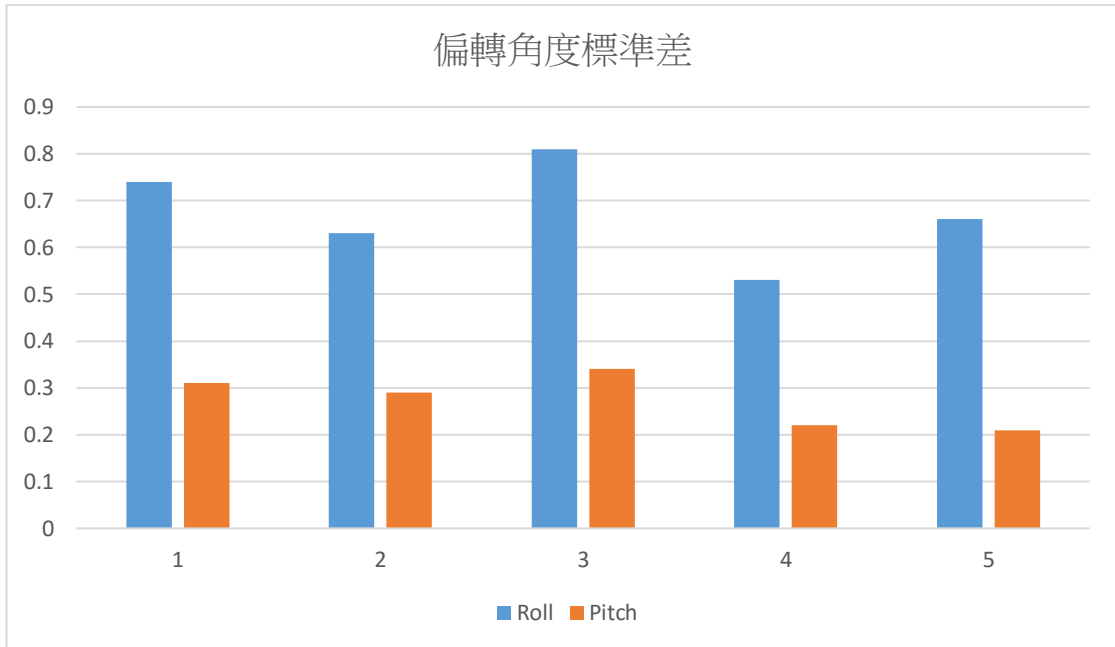
由於飛控板回傳的 Yaw 值是經由羅盤測量得出的結果。一般來說水平轉動比較不會影響機身的穩定度，因此暫不討論 Yaw 的數值。

		起飛偏轉角 度	最大飛行偏 轉角度	最小飛行偏 轉角度	最大降落偏 轉角度	最小降落偏 轉角度
1	Roll	-1.07	1.51	-1.30	1.89	-10.24
	Pitch	-0.31	3.56	-1.96	3.56	-2.66
2	Roll	-2.53	1.62	-1.59	4.65	-12.48
	Pitch	-0.24	2.98	-1.88	5.73	-4.28
3	Roll	-1.45	1.43	-1.05	1.03	-9.56
	Pitch	-0.37	3.70	-2.89	2.50	-1.39
4	Roll	-0.92	1.37	-1.45	3.32	-11.28
	Pitch	-0.44	3.24	-1.64	1.26	-3.99
5	Roll	-1.08	1.48	-3.17	3.78	-12.63

Pitch	-0.26	3.02	-1.49	4.17	-2.03
-------	-------	------	-------	------	-------

表一 室內飛行結果 (單位:°)

在上表一中，起飛及降落偏轉角度的 Roll 偏轉值均較 Pitch 大。

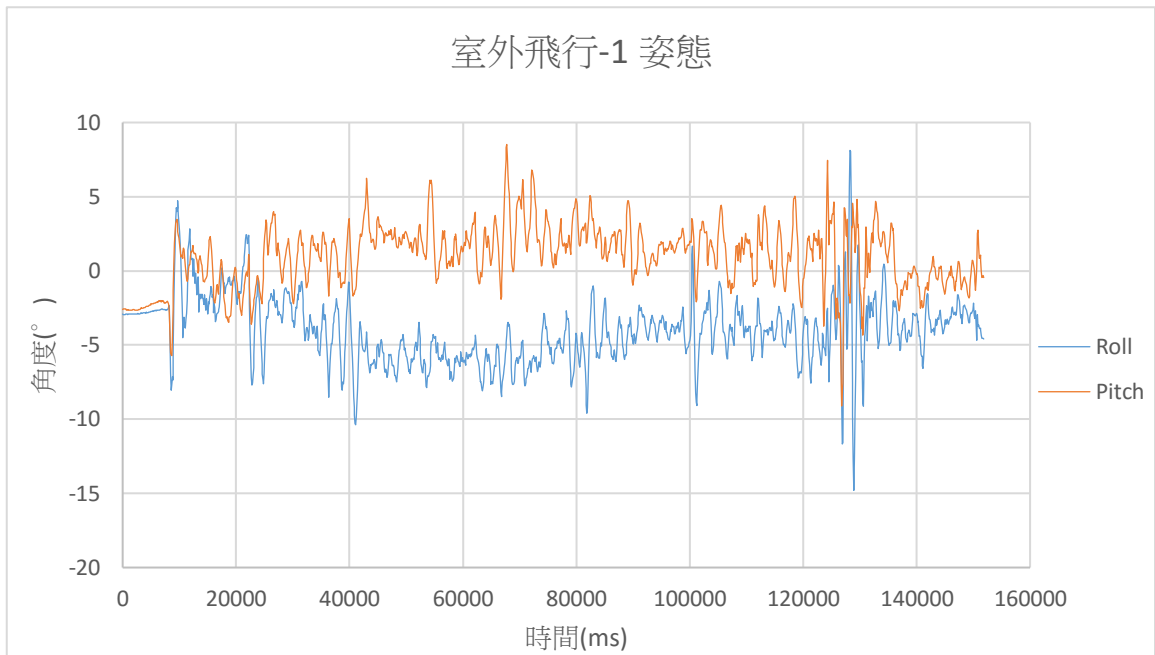


圖十六 飛行期間偏轉角度標準差值

上圖中由偏轉角度標準差值可以發現飛行期間的偏轉量仍然是 Roll 較大。

(三) 室外飛行結果

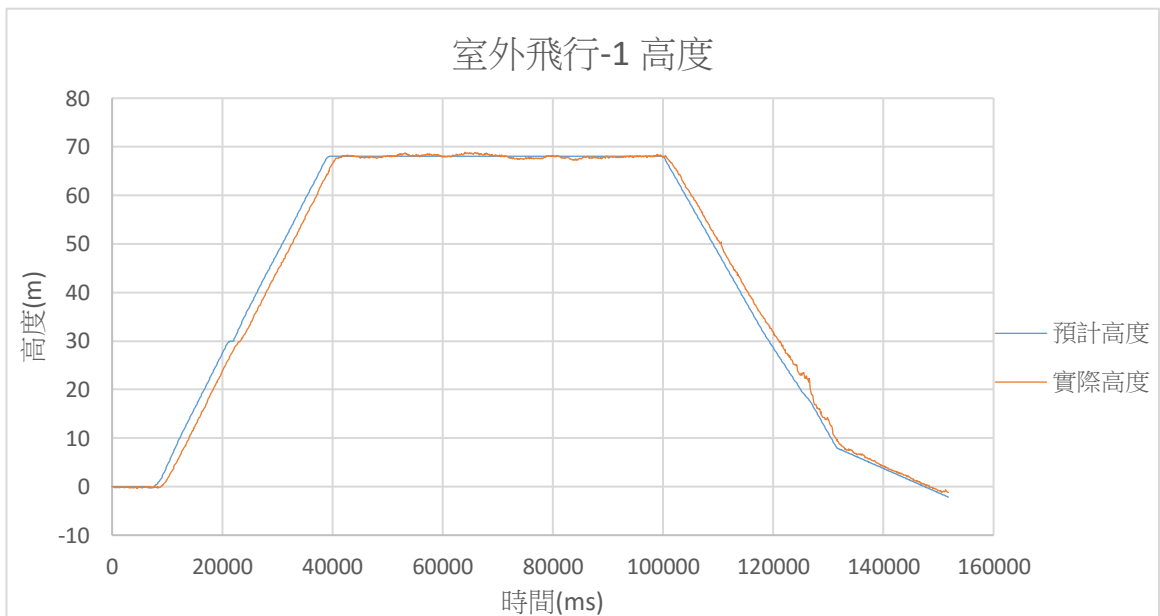
在經過室內飛行測試確認他能飛行後，我們便將場地轉向室外。室外環境中有許多影響因子，包括風向、溫度、氣壓等。因此這裡的數據將以單筆形式呈現。



圖十七 室外飛行-1 姿態 Attitude(ATT)

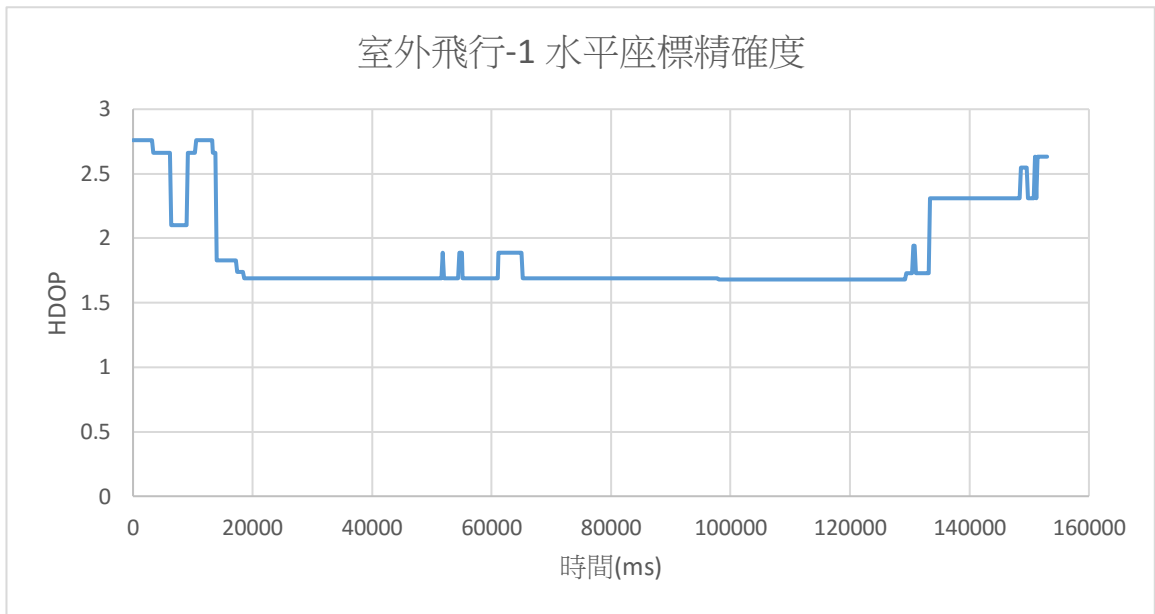
Roll 偏轉角度標準差: 2.22 , Pitch 偏轉角度標準差: 2.09

再去與室內飛行結果比較可以發現機體晃動幅度較室內飛行結果大許多。其 Roll 及 Pitch 的標準差均較室內來的大。由於草地本身是傾斜的，因此一開始的 Pitch 及 Roll 值並不是 0。



圖十八 室外飛行-1 高度

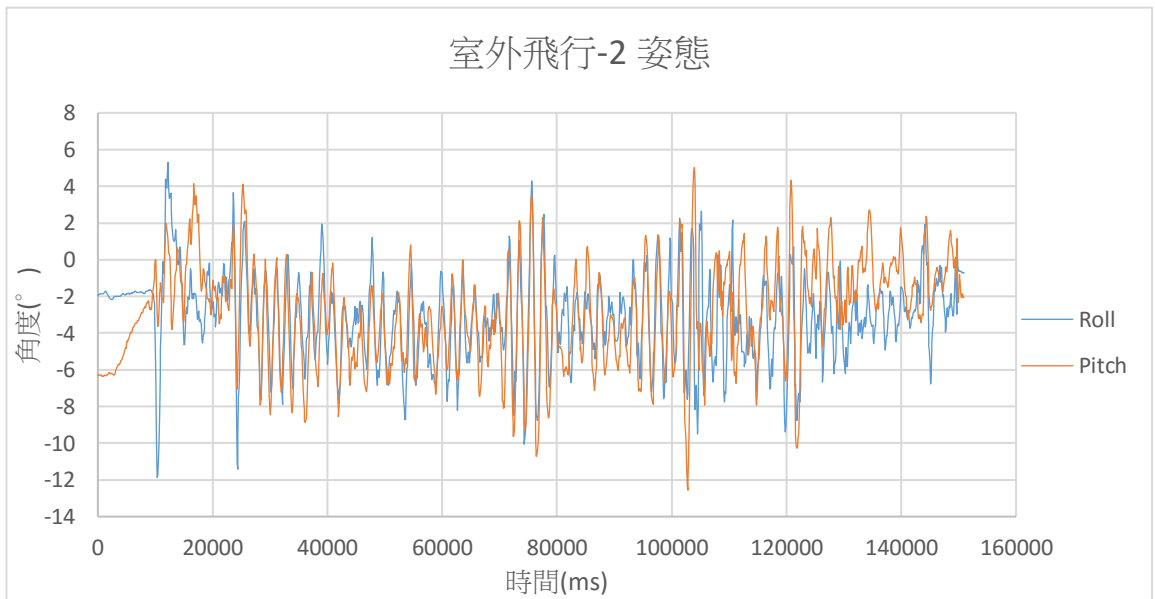
途中的高度是由氣壓及溫度計算而獲得，飛行高度路徑大致上與預計路徑符合，不過同一時間點實際高度與預計高度之間仍然有延遲。



圖十九 室外飛行-1 水平座標精確度

HDOP 平均值: 1.86

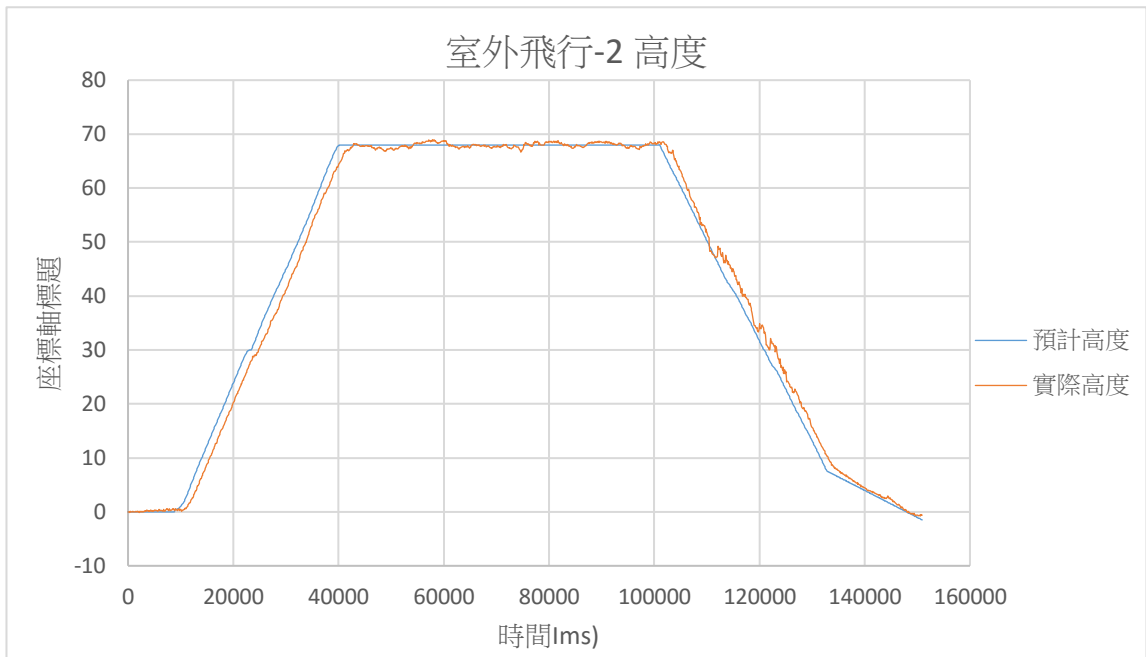
水平座標精確度能夠顯示當下的衛星定位準確情況。HDOP 數值越低代表準確度越高。



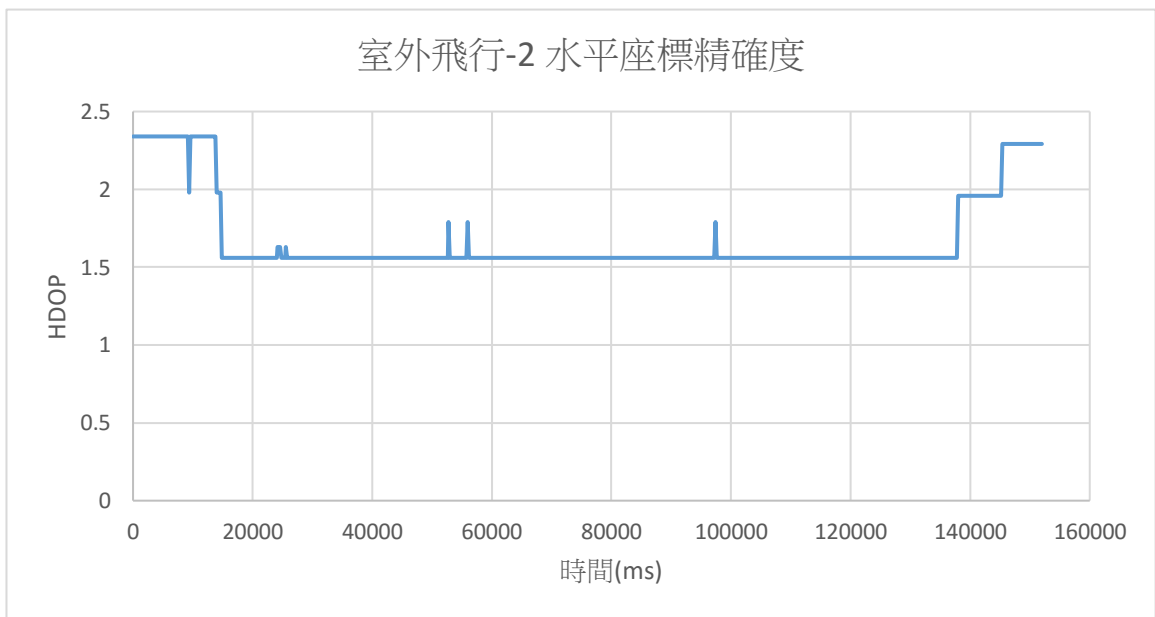
圖二十 室外飛行-2 姿態 Attitude(ATT)

Roll 偏轉角度標準差: 2.38，Pitch 偏轉角度標準差: 2.79

在這次的實驗結果中，Roll 的偏轉標準差比 Pitch 還大，這與我們之前的實驗結果 Roll 標準差比 Pitch 還大的結果相左。推測是因為風力的關係而造成這樣的結果，且降落期間姿態角度沒有明顯增大也可能是風力所造成的。



圖二十一 室外飛行-2 高度



圖二十二 室外飛行-3 高度

HDOP 平均值: 1.68

此次的 HDOP 值較上次低，GPS 狀況較良好。

五、重物吊掛測試

(一) 轉動慣量測試

砝碼套平均重量: 32.6 克

		32.6 克	132.6 克	232.6 克	332.6 克
1	σ Roll	0.72	0.95	1.20	1.53
	σ Pitch	0.35	0.39	0.58	0.75
2	σ Roll	0.68	1.12	1.34	1.46
	σ Pitch	0.28	0.32	0.45	0.68
3	σ Roll	0.75	1.04	1.23	1.69
	σ Pitch	0.33	0.47	0.66	0.73
平均	σ Roll	0.72	1.03	1.25	1.56
	σ Pitch	0.32	0.40	0.56	0.72

表二 轉動慣量測試結果

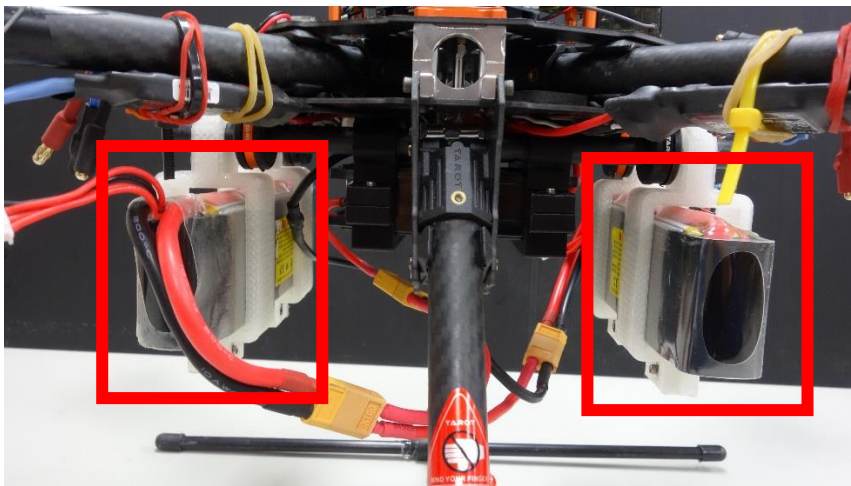
上表中的重量均為單一軸上所掛砝碼加上砝碼套的重量。

陸、討論

一、零件擺放位置

四軸飛行器要盡量減少整體機身重量，才能獲得良好的續航力。在各種零件所佔的重量中，比例最高的就屬電池。電池擺放的位置影響飛行器重心甚大，我們最初將電池綁在腳架底部兩側，但飛行過後經常偏離擺放位置，且有掉落之虞。之後改將電池利用電池套在腳架上方接近機身中央的前後兩側，獲得較佳的穩定性，電池較不易移動。

而後我們又自行繪製電池固定座，為電池量身訂做，更能穩定電池的位置。



圖二十三 電池位置

二、校正程序

我們曾在校正加速度計程序時，沒有注意飛行器是否真的水平擺放，當測試飛行，會朝特定方向偏移。之後我們在人工地平線觀察到飛行器平放時並沒有顯示在水平位置，經檢查後發現飛控板底下黏著用的泡棉膠黏貼不均，使飛控板傾斜。所以搭配水平儀重做加速度計校正，再觀察人工地平線，與實際擺放情況符合，飛行測試後也有改善。

三、初步飛行測試

組裝完成後可藉由先在地面或貼近面的高度進行各項功能測試，確保實際飛行時可穩定飛行，並找出異常的零件進行替換。

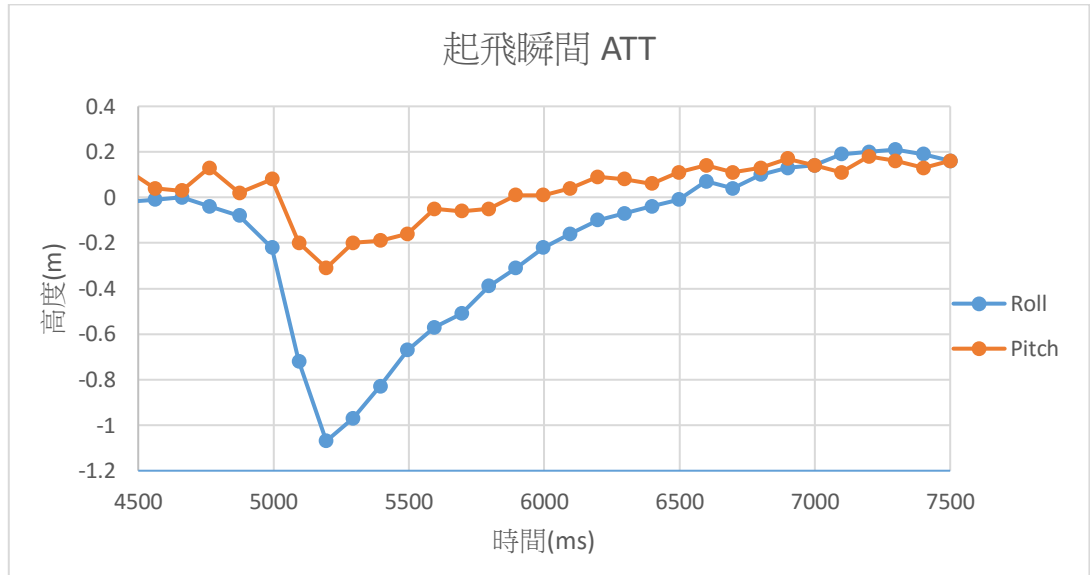
測試也須注意使用安全的方式和器具進行，避免人員受傷及飛行器損壞，利用物品墊高或以繩索固定於地面上，都是較安全的方式。選擇在草地上等彈性材質進行測試，即使飛行器傾倒，對於飛行器的損害也較小。

四、實際飛行

(一) 室內飛行

1. 起飛

在起飛離地過程中我們的飛行器均會向左後方偏移，但在起飛後飛控板會經由自動平衡功能修正，可正常飛行，如下圖。



圖二十四 起飛瞬間姿態 Attitude(ATT)

2. 飛行期間

我們發現 **Roll** 的標準差比起 **Pitch** 來的大，推測是因為電池配置位置造成。電池分布在機體前後下方，這將使得 **Roll** 的轉動慣量對於 **Pitch** 而言較大。

(二) 室外飛行

1. 起飛

由於我們在地面時無法確認飛行器是否本身就位於預計起飛位置，因此我們必須先執行一次空白飛行讓它到預定的位置起飛。

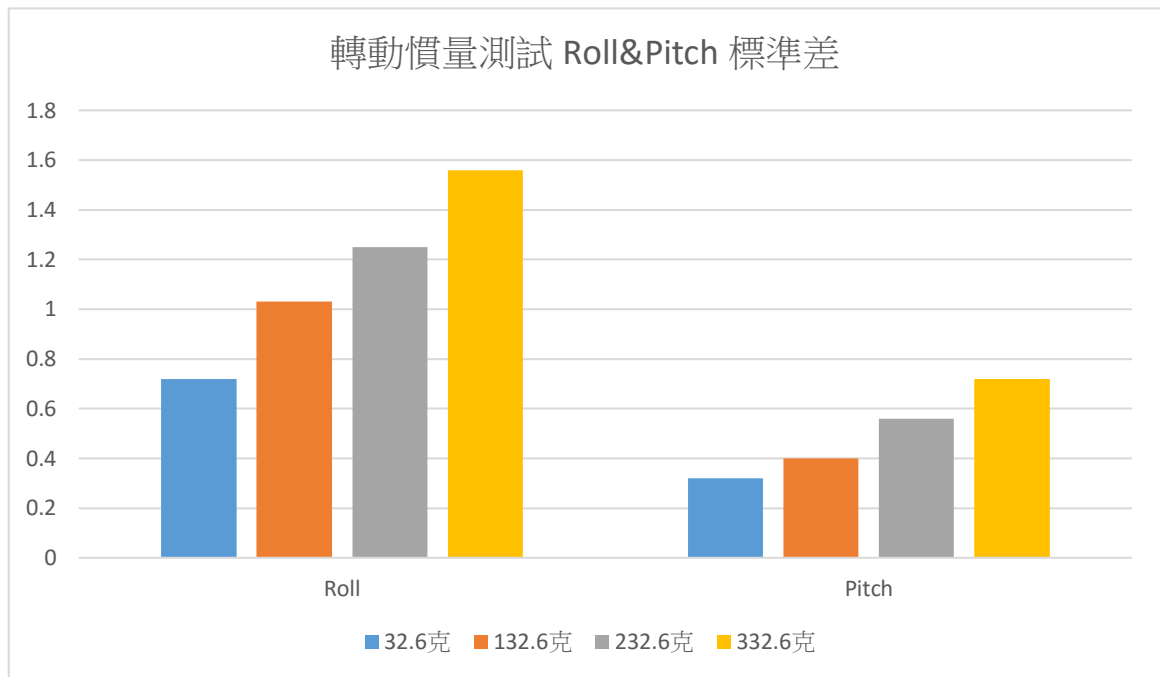
2. 飛行期間

由兩次室外飛行結果我們可以發現在高空中由於周遭阻擋物較少時能有較精確的水平定位。但在其降落與起初的位置仍然有些微差距，推測是 **GPS** 定位本身誤差，及地面氣流影響穩定性所致。

五、重物吊掛測試

(一) 轉動慣量測試

由於電池的配置將會影響轉動慣量而使得 Roll 的偏轉較 Pitch 大，我們預期這個實驗將會提升飛行器的穩定度。



圖二十五 改變轉動慣量測試結果

然而，由上圖中我們可以發現隨著重量不斷的增加，飛行器的穩定度卻下降。我們再三思考推測由於轉動慣量較大時，雖然不易受外力影響而晃動，但相對地，飛行器也變得較難操控。在轉動慣量較大時，要達到相同的角加速度，勢必要有較大的力矩。力臂固定的情況下，要有較大的力矩就得提升馬達馬力。在考慮同時受到其他外力及馬達施力的情況下，存在一個恰到好處的轉動慣量使得飛行器能夠穩定飛行。

柒、結論

一、零件選擇

在選擇零件時，應注意零件取得的困難度，選擇購買方便的款式，並準備易損壞零件的備品。當零件損壞或需要更換時，可節省等待時間。利用 3D 列印也是不錯的選擇。

二、組裝過程

(一) 零件擺放位置

重量分配對於四軸飛行器的穩定影響大，特別是電池的重量，可以藉由不斷調整零件位置，測試出最適合的放置方式。

(二) 飛行器校正

校正飛行器非常重要，對於飛行器的操控和穩定性是關鍵的步驟，不可忽略。

為了讓感測器獲得較正確的數據，校正時須盡量在適合的環境，搭配輔助工具更佳，例如加速度計校正須在水平的桌面上進行，羅盤校正須避免太靠近電子產品，使感測器受到干擾。

三、初步飛行測試

在實際飛行前，務必要確認各項設定正確，及各零件運作正常，能在地面上先做測試，有助於找出並排除問題。

四、實際飛行

實際飛行測試中，我們利用紀錄 ATT 與高度的方式成功的了解飛行器的當時的姿態。並且能夠證實電池擺放位置對飛行器穩定性的影響。

五、重物吊掛測試

對於改變轉動慣量所造成的影響與我們原先期待相左，同時也留下了能進一步探討最佳的轉動慣量的發展空間。

捌、未來展望

在研究過程中我們有想到除了增加飛行器本身的穩定性外，對於外界環境的影響也是研究的方向之一。經過討論，我們希望在飛行器上裝置兩台攝影機，藉由程式判斷，追蹤飛行器附近是否有危害飛行器安全的物體，如偵測到可進行閃避。

玖、參考資料及其他

- 一、Copter | 無人駕駛多軸飛行器。Ardupilot。取自：<http://copter.ardupilot.tw/>
- 二、用 Arduino 製作四軸飛行器 (二) 飛行原理。資工人日常。民 103 年 3 月 23 日，取自：<http://csenichjou.blogspot.tw/2014/03/Quadcopter-2.html>
- 三、Infinityhobby。你也能看見台灣-無人飛機空拍入門 (第零篇)。Mobile01。民 103 年 4 月 19 日，取自：<http://www.mobile01.com/topicdetail.php?f=368&t=3853906&p=1>
- 四、APM 2.6 多軸飛控基本設定程序 (一)。飛寶的遙控直升飛機 :: 痞客邦 PIXNET :::。民 103 年 10 月 22 日，取自：<http://fiyboy.pixnet.net/blog/post/395483696-apm-2.6-%E5%A4%9A%E8%BB%B8%E9%A3%9B%E6%8E%A7%E5%9F%BA%E6%9C%AC%E8%A8%AD%E5%AE%9A%E7%A8%8B%E5%BA%8F-%28%E4%B8%80%29>
- 五、設定 APM 飛控。ISAAC UAV.com。取自：<http://www.isaacuav.com/3537323450apm3913125511.html>

【評語】 052316

本作品組合四旋翼直升機，測試飛行的穩定性及飛行器動力學的研究，期以改善其操控性。

該組裝完成的四旋翼飛行器，係採購市售的零組件，諸如螺旋槳、無刷馬達、變速器、碳纖維機架、遙控器、電池、陀螺儀、加速度感測器等，另自行製作機械零組件，完成校正工作也實際完成室內飛行、室外飛行的測試，瞭解飛行時飛行器的姿態變化，以研究穩定性操控的機制。

配重能力的測試也進行一部分的試飛，仍然繼續研究！