

中華民國第 58 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

佳作

052301

自製無人機監測模組及應用探討

學校名稱：新北市立新北高級中學

作者： 高三 李映漾 高一 林竟翔	指導老師： 謝進生 張瓊云
-------------------------	---------------------

關鍵詞：無人機、溫溼度、PM2.5

摘要

本研究利用無人機可自主起降並執行任務，高度機動性的特點，自行發展一套即時監測系統，選擇市面上便宜且成熟的飛行載具，搭配各種感測器如溫溼度，MQ3 酒精感測器、PM2.5 空氣懸浮粒子偵測…等，先經重量評估後測試運行，再經重心計算，自製零件基座固定，PID 測試、最後撰寫程式，將感測器資料即時透過無線訊號傳輸到控制端螢幕，除了能遠端即時監測數據外，並能降低零件成本，提高模組操作上的彈性。

實驗顯示本研究自製的無人機的自動化監測系統，能精準且迅速的取得各種監測數據，對於高空、災害現場或人員難以抵達等狀況將有助益。此外，運用無人機做為機動式監測站，將能有效補足現行定點監測站及人員稽核的不足，在未來應用更是無可限量。

壹、 研究動機

無人機越來越普及，加上相關零件取得容易，價格降低，應用情境也越來越多，從最開始的高空攝影和錄影，到農場農作物檢測與輔助耕作，再到後來如無人機快遞、機場驅趕鳥類，室內救援、輸送人道主義物資等，也越來越多人研究如何飛得更穩、更高、更快。

市面上已有的多軸遠端物聯網應用機，最便宜的售價都高於三萬五千元，在相關論壇也發現各家的飛控板為了減輕重量，都將體積盡量縮小，但還是有很多接腳用不到，我們想要開發一種模式，利用這些開放的接腳與各種傳感器連接，進行數據交換或控制，來作生活中實務上的應用，例如火災現場溫度監測，高空的 PM2.5 監測，下水道瓦斯監測...等，發現可能遇到的問題，嘗試用來保護相關工作人員的安全。

貳、 研究目的

根據上述研究動機，經討論後訂定以下研究目的：

- 一、 設計價格相對便宜的小型無人機監測模式，相關零件以取得容易為主。
- 二、 測試各項零件並規畫彈性組裝模式，並避免線路互相干擾影響重心。
- 三、 研究在不同場域中都能實作的監測系統，並分析各模組可能碰到之困難與解決。
- 四、 探討本監測模組可行之應用模式。

參、研究設備及器材

表 1 研究設備及器材

名稱	規格	數量	備註
四軸飛行器(自組)	自行購置零件	1	飛控板 Apm2.8
四軸飛行器(現成)	各家	3	國內各廠牌
Mission planner 飛行軟體	1.3.9	1	免費
筆記型電腦	Acer Win7	3	
Arduino 微控制器	UNO v3.0	3	
尖嘴鉗、斜口鉗	無	3	
電阻	1KΩ	15	
紙黏土	1KG	2	
砝碼	100g, 200g		
電子天平	電子式	1	
OLED	0.96 吋, I2C 介面	3	
背光液晶模組	IIC/I2C 1602	3	
3D 印表機	SKYMAKER R1	1	
溫溼度監測	DHT11	3	
酒精監測	MQ-3 感測	3	可測汽油, 甲烷, 己烷, 液化石油氣等
PM2.5 懸浮微粒監測	GP2Y1014AU	3	

肆、研究過程及方法

一、飛行器選擇及設計：

在飛行器的選擇上，我們先參考相關網路文獻以及市面上已經上市產品，分別購買並將其實作出來，在自行組裝方面參考 56 屆科展全國賽作品之建議軟硬體規格，另行組裝測試並統計成本，而市面產品則以含遙控器在 5000 元以下之產品為主，且必須能自行編譯飛控程式，我們挑選兩家國內公司的產品，分別參與其飛行學院的課程，將其組裝測試並評估：

表 2 本研究嘗試之各種飛行器比較表

比較項目 \ 品名	自行購買組裝	奶油蒼蠅 2.0	LDSSLITE250 無人機
價錢	6000~8000(不含遙控器)	2350	4750
飛控板	ArduPilot Mega 2.0	Arduino Nano	Arduino Pro Micro
控制器	Atmega2560	ATmega328	ATmega32u4
飛控軟體	APM Planner	arduino	arduino
傳輸通訊協定	Wifi, zbee, 藍芽...等皆可	藍芽	nRF24L01
飛行控制距離	500~1000m 或以上	10m~15m	180m~240m
操作組裝圖示			

在實際組裝試過程中，我們先考慮自行組裝，發現即使網路上教學文件很多，在技術上我們碰到很多難關需要克服，而零件問題也是需要考慮，例如馬達所搭配的子彈頭零件，當不甚遺失後竟然要從不同地方調貨等，在不可能備料很多的情形下，遇有故障便造成等待時間的浪費。此外，組裝後的價錢整理起來也不便宜，評估的結果發現技術難度與零件整合很難推廣到一般人可以使用。

由於本研究旨在利用四軸飛行器傳遞資料而非製作飛行器，所以轉而考慮市面上現有產品，其都具備操作簡單，零件購買容易，更重要的是可以自己撰寫程式，控制感測資料回傳以供利用，我們實際操作後並與本研究所需做一需求評估，由於我們有重量與傳輸距離考量，在不另外加購晶片的前提下，操控距離能越遠越好，所以選擇以 nRF24L01(2.4G)的通訊協定來做研究。

二、系統發展規劃：

經過團隊腦力激盪，我們初步規劃之研究流程如下，並一步一步的完成前端感測測試、行動傳遞與資料呈現，不斷修改調整，直到能正常運作：

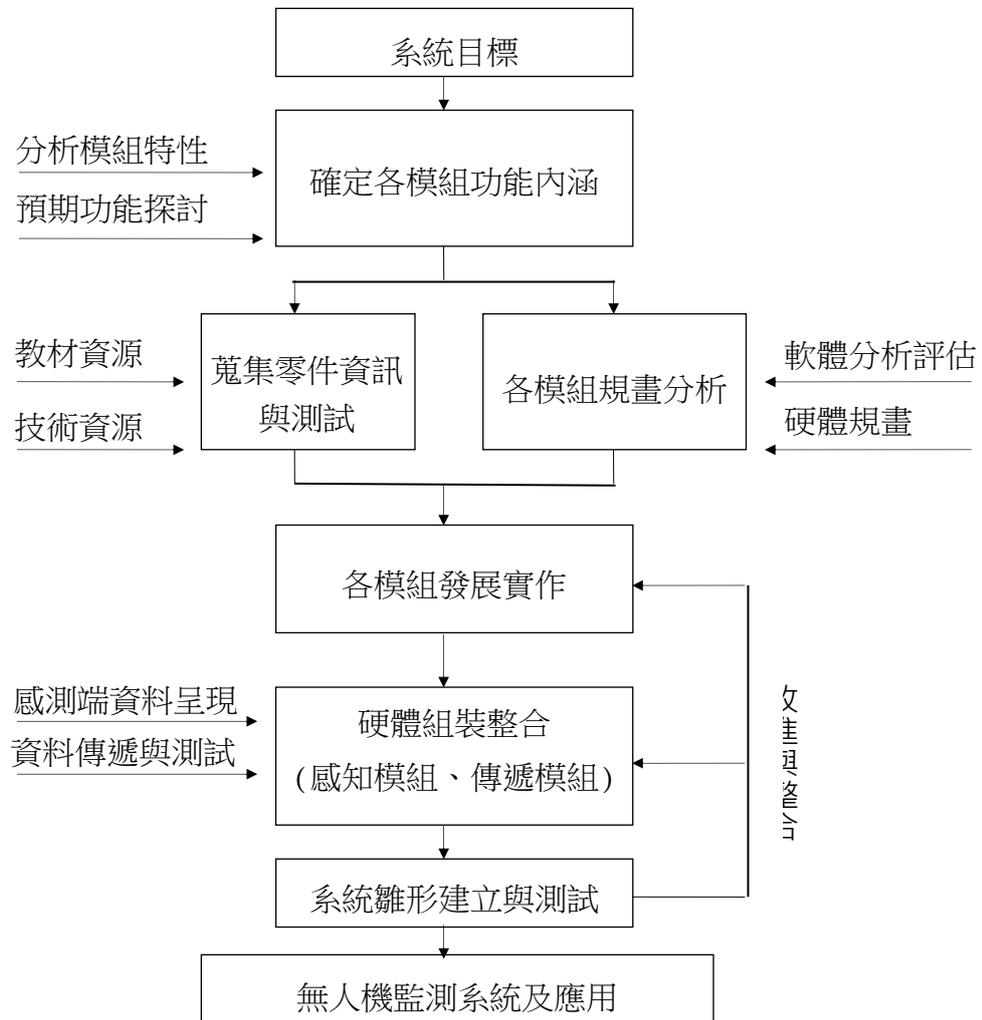


圖 1、本遠端監測系統之建構流程圖

三、四軸飛行器的預期功能，並找出系統在不同情況下的最佳 PID 值：

飛行器做好以下基本調整步驟即可飛行

1. 檢查傳感器輸出燈號是否正確(如果不正常則代表飛控有故障)。
2. 測試啟動電機後，飛控動作是否正常，並保持機架在盡可能水平的位置。
3. CALIB. IMU 按鈕可以矯正陀螺儀，F.MODE 按鈕可以調整控制幅度。

由於飛行本身原理是螺旋槳與空氣發生相對運動，產生了向上的升力，當升力大於四軸的重力時四軸就可以起飛了，實際上由於電機和螺旋槳本身的差異，造成我們無

法做到四個電機產生相同的升力，這也造成很多人飛行小四軸幾次之後，會發現越來越難控制或者不靈敏，就不想再飛了。

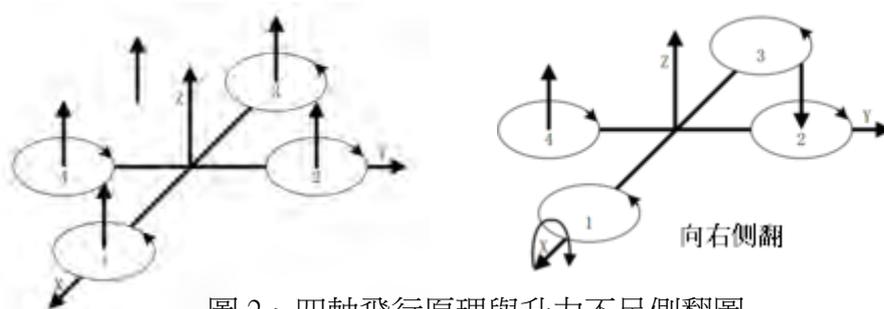


圖 2、四軸飛行原理與升力不足側翻圖

本組預期系統只需控制四軸飛行器的方向和高度，這時就需要一個反饋系統來自動完成飛機的穩定性，於是就須對 PID 控制系統研究修改(以下程式為開放程式碼)：

1. 比例(P)控制器：比例控制是一種最簡單的控制方式。其控制器的輸出與輸入誤差信號成比例關係。當僅有比例控制時系統輸出存在穩態誤差。
2. 積分(I)控制器：控制器的輸出與輸入誤差信號的積分成正比。一個自動控制系統如果在進入穩態後存在穩態誤差，則稱這個控制系統是有穩態誤差（System with Steady-state Error）。為了消除穩態誤差，控制器中必須引入「積分項」。積分項對誤差取決於時間的積分，隨著時間增加而增大。這樣即便誤差很小，積分項也會隨著時間的增加而加大，它推動控制器的輸出增大使穩態誤差進一步減小，直到等於零。因此，比例+積分(PI)控制器，可使系統在進入穩態後無穩態誤差。
3. 微分(D)控制器：微分調節就是偏差值的變化率。能夠實現系統的超前控制。如果輸入偏差值線性變化，則在調節器輸出側疊加一個恆定的調節量。大部分控制系統不需要調節微分時間。因為只有時間滯後的系統才需要附加這個參數。

綜合來說：PID 是以它的三種糾正算法而命名。受控變數是三種算法（比例、積分、微分）相加後的結果，即為其輸出，其輸入為誤差值（設定值減去測量值後的結果）或是由誤差值衍生的信號。若定義 $u(t)$ 為控制輸出，PID 算法可以用下式表示：

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

其中 k_p ：比例增益 k_i ：積分增益 k_d ：微分增益 t ：目前時間

e ：誤差=設定值(SP)- 回授值(PV) τ ：積分變數，數值從 0 到目前時間 t

本組希望透過以下兩個實驗設計找出系統在因應不同情況時，調整 PID 中各數值，測試其對飛行狀態的影響，以方便一般使用者未來應用。

(一) 調整 PID 值，測試無人機達平衡所需的時間的差異

將無人機以棉繩固定在四根鐵柱上使其懸空，並在其中一邊的兩根鐵柱上取適當距離再綁上一條棉繩，使下壓無人機時可以固定傾斜 50° ，先啟動無人機使棉繩繃緊，呈穩定狀態就不再催動遙控器上的馬達，接著將其中一側向下壓致傾斜基準線，放開並同時計時其恢復平衡所需時間，先測試無人機廠商設定 PID 初始值，再分別調整 P、I、D 值與其中的 Yaw、Pitch、Roll，增加各自初始值之十分之一，分別以碼表計時自達平衡所需的時間，每組實驗重複進行五次紀錄測得秒數再取其平均值，觀察數據的差異並分析實驗結果。

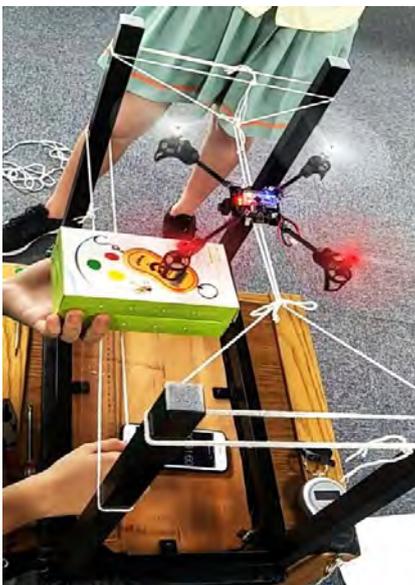


圖 3、遙控無人機呈穩定平衡狀態



圖 4、下壓使其傾斜五十度實驗圖

(二) 調整 PID 值，測試其飛行時垂直與水平方向上拉力的差異

將棉繩一端綁在無人機的重心上，另一端則綁在電子彈簧秤上，觀測數據為無人機垂直方向的升力與水平方向的拉力，所以將電子彈簧秤的分別固定在垂直方向與水平方

向，遙控無人機使其拉緊棉繩，以錄影機紀錄電子彈簧秤上的數據，用影片回放找出最大值，先測試無人機廠商設定 PID 初始值，再分別調整 P、I、D 值，每組實驗重複進行三次紀錄測得秒數再取其平均值，觀察數據的差異並分析實驗結果。



圖 5、遙控無人機並以錄影機紀錄電子彈簧秤上的數據實驗圖

四、擬定感測器功能模組

隨著 LASS (Location Aware Sensor System) 開源計畫的崛起，全國已經超過上百個定點在做公益環境感測，本校在參與的過程中發現這些數據大多是都是定時定點，對於高空的資料有技術上的困難。例如想蒐集 ABC 三個不同定點在離地面 50 公尺高位置，其空氣懸浮粒子量，這時，只要一台無人機飛一圈即可蒐集到相關數據。因此，我們首先考慮以空間位置相關的感測元件為主。

接下來找出系統最大承重，我們認為扣除機身與電池外，應該包含：

承載總重量=感測器重量 + 固定(或黏著)物重量 + 電線重量

我們利用電子天平、砝碼、以及紙黏土，利用兩台飛機交互測試，以飛機能穩定上升到兩公尺高度，逐步增加其重量，測量其最大值，結果發現超過 95 公克之後，飛行的操控就稍微不好控制，雖然調整 PID 值可以再更高一點，但本組就先設定以 95 公克為承載總重量的最大值。

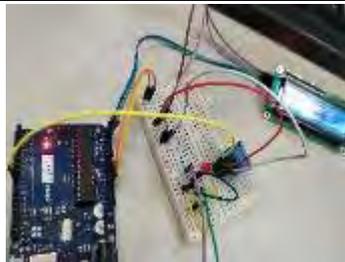
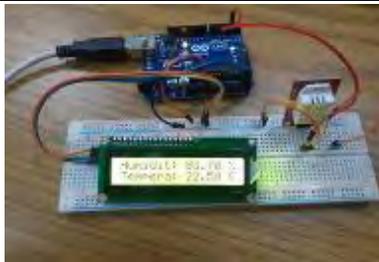


圖 6、利用砝碼，紙黏土找出最大載重測試圖(最右圖為 95 公克)

市面上感測器琳琅滿目，但由於四軸飛行器體積限制，不適合太大的感測器，在實用性的考量下本組訂定溫溼度監測、環境氣體偵測(酒精)、空氣懸浮粒子偵測(pm2.5)等感測器作為本次研究的觀測項目，以下分析一些模組特性與原理及預期功能探討：

1. 溫溼度感應器：溫濕度傳感器是含有已校準數字信號輸出的溫濕度復合傳感器。它應用專用的數字模塊採集技術和溫濕度傳感技術，確保可靠性與長期穩定性。傳感器包括一個電容式感濕元件和一個 NTC 測溫元件，並與一個高性能 8 位單片機相連接。市面上常見有 DHT11，DHT22 等，其規格比較如下表：

表 3、DHT11，DHT22 規格比較表

比較	DHT11	DHT22
		
測量溫度範圍	0°C ~ 50°C	-40°C ~ 80°C
測量濕度範圍	20%RH ~ 90%RH	0%RH ~ 99.9%RH
溫度測量精度	±2°C	±1°C
濕度測量精度	±5%RH	±2%RH
溫濕靈敏度	1°C / 1%RH	0.1°C / 0.1%RH
價錢	約 60~80	約 100~130

由於本建構模式對於相關精準度與靈敏度需求不大，所以選擇較便宜的 DHT11 作為本實驗器材。

2. 環境氣體偵測(酒精)：MQ3 酒精傳感器用於氣體洩漏檢測（家庭和工業），可以檢測酒精，苯、甲烷、己烷、液化石油氣、一氧化碳，且對其感測速度與回應非常快速。所使用的氣敏材料是電導率較低的二氧化錫 (SnO₂)。當感測器所處環境中存在酒精蒸汽時，其電導率隨空氣中酒精氣體濃度的增加而增大。使用簡單的電路即可將電導率的變化轉換為與該氣體濃度相對應的輸出信號。如圖二所示為其實體電路，電路設計只需要電源 5V 及一顆 10kΩ 電阻就能驅動。

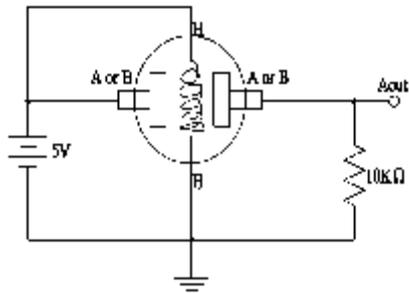


圖 7、酒精感測器 MQ-3 實體電路

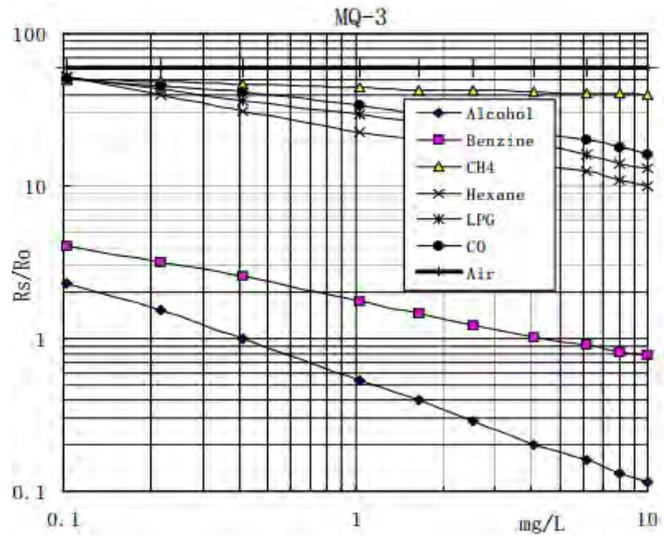


圖 8、MQ-3 對不同氣體靈敏度曲線表

根據以上 MQ-3 對不同氣體靈敏度曲線表，其對苯的感測靈敏度也很高，而在生活中苯是屬於化工原料或裝潢材料，揮發後也很容易造成空氣汙染，所以系統也可以具備相關偵測功能。



圖 9、MQ3 酒精測試器顯示

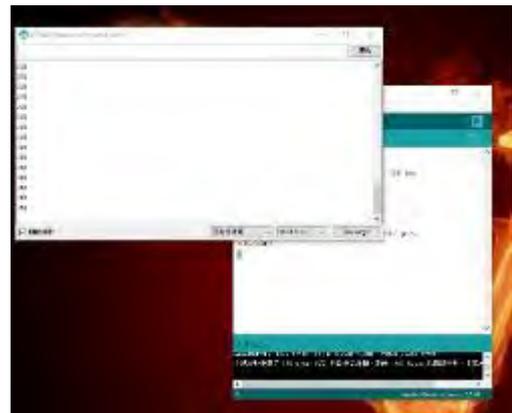


圖 10、MQ3 感測資料前測

3. 空氣懸浮粒子偵測(pm2.5)：我們使用夏普 SHARP 原廠灰塵感測器 GP2Y1014AU，其是屬於光學空氣品質感測器，用來感測空氣中的塵埃粒子，其內部對角安裝紅外線發光二極體和光電晶體，使其能夠探測空氣中塵埃反射光，即使非常細小的如煙草煙霧顆粒也能夠被檢測到，通常應用在空氣淨化系統中。

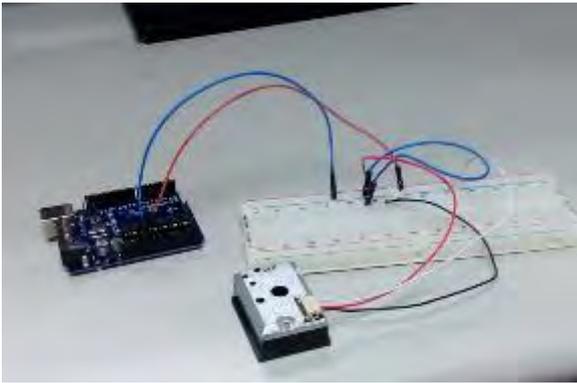


圖 11、空氣懸浮粒子偵測實體圖

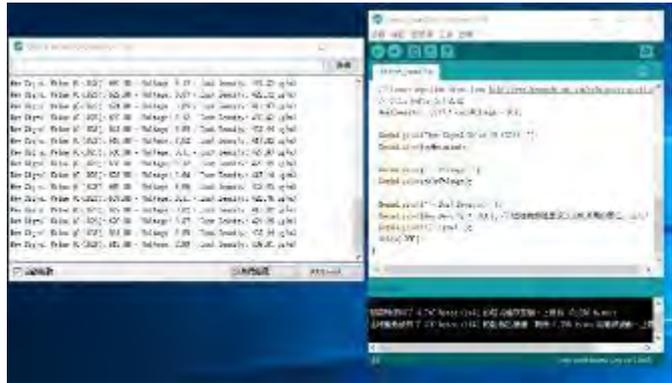


圖 12、空氣懸浮粒子偵測結果顯示

在 Serial 視窗中 Raw Signal Value 原始信號值，Voltage 是電壓，Dust Density 表示粉塵密度，最後一項 UG/M3 表示微克/立方公尺，用來表示空氣中懸浮粒子含量。

4. 資料通訊 2.4G(nRF24L01 無線收發器模組)：序列周邊介面 (SERIAL PERIPHERAL INTERFACE BUS)是一種用於短程通訊的同步串行通訊介面規範，使用全雙工模式通訊，包含一個 MASTER 和一個或多個 SLAVE。常見的模組有 8 針與 10 針兩種，差別在於 10 針的模組多了一組電源和接地腳，實際的腳位可能會因製造商而異。

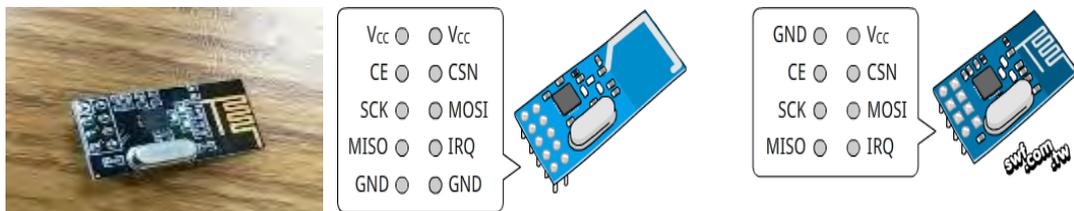


圖 13、nRF24L01 無線收發器模組實體及接腳圖

nRF24L01 透過 SPI 介面和微控制器相連，底下 4 個是模組的 SPI 接腳：

- (一).CSN (Chip Select Not)：晶片選擇腳，“Not”代表「低電位」致能。
- (二).SCK (Serial Clock)：序列時脈
- (三).MOSI (Master Out Slave In)：主出從入，通常簡寫成 MO。
- (四).MISO (Master In Slave Out)：主入從出，通常簡寫成 MI。
- (五).CE (Chip Enable)：晶片致能，為訊號輸入腳，Arduino 程式庫會幫我們自動設定。
- (六).IRQ (Interrupt Request)：中斷請求腳。nRF24L01 可以在收到資料、資料已傳送、已達重新傳送次數上限，3 種狀態發生時，向微控器發出中斷訊號。

本研究所用 nrf24l01 晶片使用 2.4g 的頻道，和 wifi，藍芽一樣，但特性不同，其可以設定 channel 與傳輸速度，以降低干擾的發生，下圖為利用 NRF2401 傳送文字陣列測試情形。



圖 14、NRF2401 連線測試圖

5. 飛控主板(Arduino Pro Micro)：本研究所使用的飛控主板暨相關程式可以於 arduino 環境下編譯，板子選擇 Leonardo /GenuinoMicro 即可。其接腳定義如下圖：

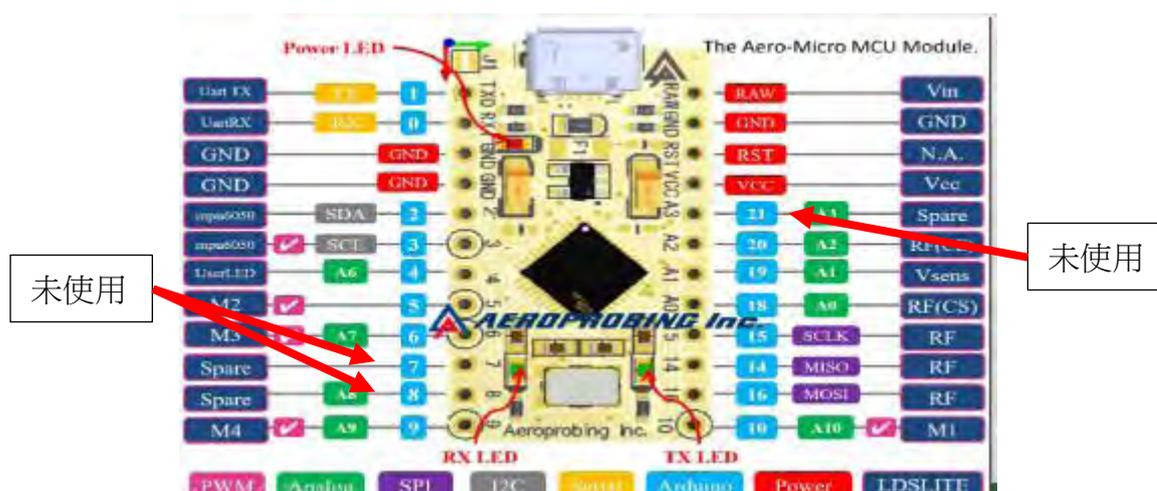
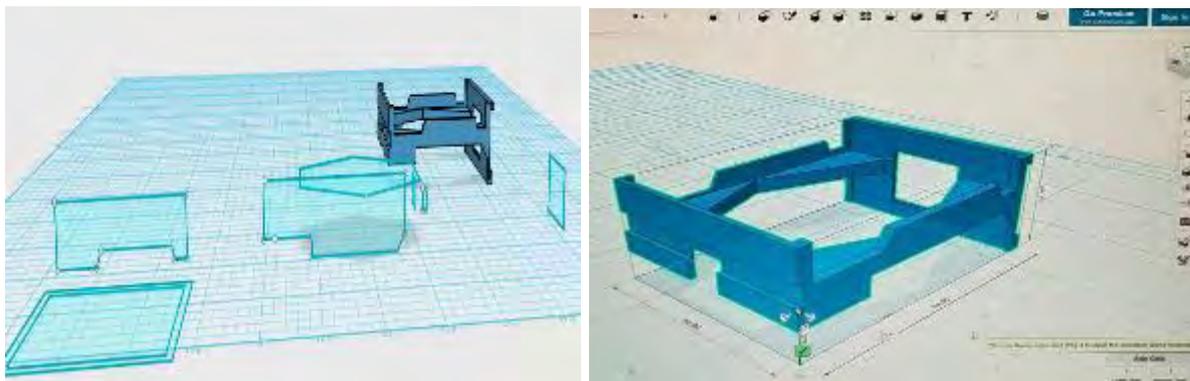


圖 15、飛控主板的接腳圖

根據其上課所公開的文件資料顯示，飛控主板其控制器是 ATmega32u4，工作頻率：16 MHz，工作電壓：5V，輸入電壓：7-12V，數位 I/O 接腳：20 個，硬體 PWM 通道：5 個，類比 I/O：9 個。

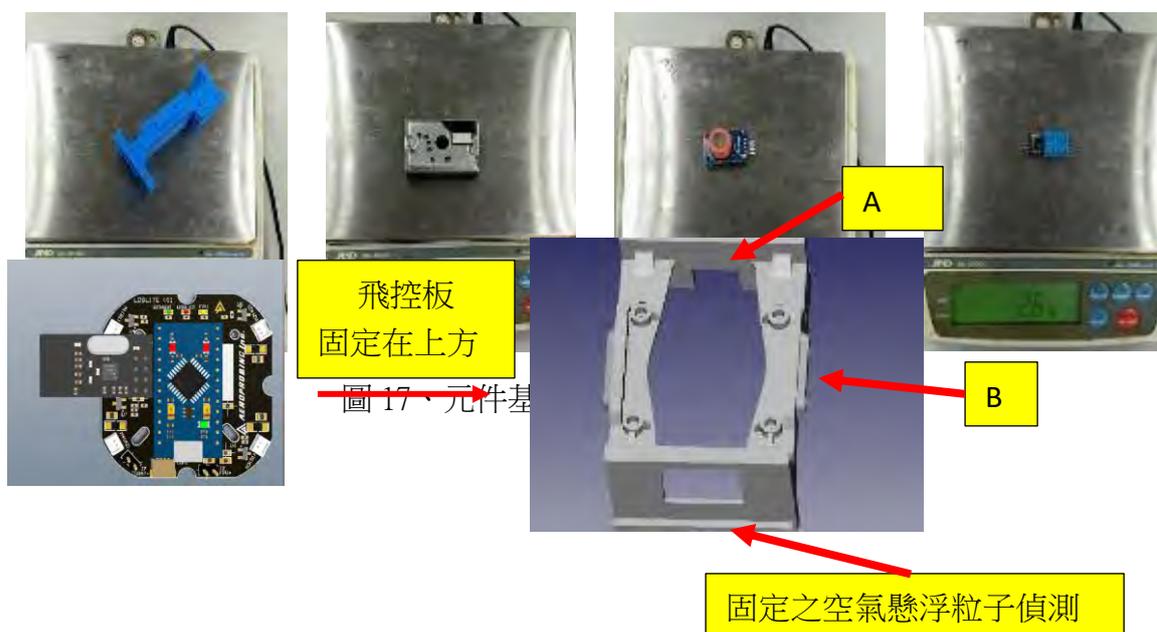
根據上圖，接腳 7、8、21 在其系統中並未使用的，在感測器重量未超重的以及電壓允許的前提下，我們嘗試將感測器線路接到上述接腳，理論上其最多同時可以外接 3 組感測器。

6. 設計元件基座：如何將感測器固定在無人機上，而且不能影響其飛行重心，就必須要考慮到現有位置的配置，我們分別以 3D 列印軟體設計元件基座如圖：



在 圖 16、以 123D 所設計的第一代元件基座設計草圖 本次實驗中，由於空氣懸浮粒子偵測體積最大，再加上其需要化學反應的原因不能在其上穿孔，所以本組配合其造型，需先固定空氣懸浮粒子偵測器一邊的嵌入固定方式。而其它 dht11，環境氣體偵測可以用鎖螺絲等固定方式固定，我們先行量測元件重量如下圖：

由上圖得知即使所有元件相加，總重量約 42.3 公克，完全在無人機負重範圍內 (95 公克)。而若只是搭載 1 個感測器，連同基座(18 克)總重量甚至不到 30 克。都是在系統可接受的範圍，而在空間配置上，由於 nRF24L01 無線收發器模組已經占據固定一側，我們初步選定相鄰的一邊當作是空氣懸浮粒子偵測器，其他方向則取中點位置設計孔洞位置。



飛控板
固定在上方

圖 17、元件基

固定之空氣懸浮粒子偵測

圖 18、各感測器初步配置圖

在位置安排上，由於小型飛機並不像昂貴機種，可透過遙控器人工補償重心偏移，而且元件重量相對很輕，為達重量平衡，我們將透過體積計算修正重心位置。

此外，我們設定 A 安裝位置就是與空氣懸浮粒子偵測器做平衡。B 安裝位置與 nRF24L01 來做平衡。依此類推，若我們僅需安裝一種感測器，則僅需裝在 B 處即可。經本組多次試飛結果，在方向操控與平衡控制上並無問題。

7. 數據資料呈現：本研究對於個別元件先在 arduino 上面先行測試，並將其顯示在液晶螢幕面板上，了解元件運作原理與用法後，嘗試透過無線傳輸，將相關資料傳遞到 oled 上即時顯示。最後，嘗試運用 visual C++ 撰寫相關程式，將資料擷取出來到電腦以供未來運用。

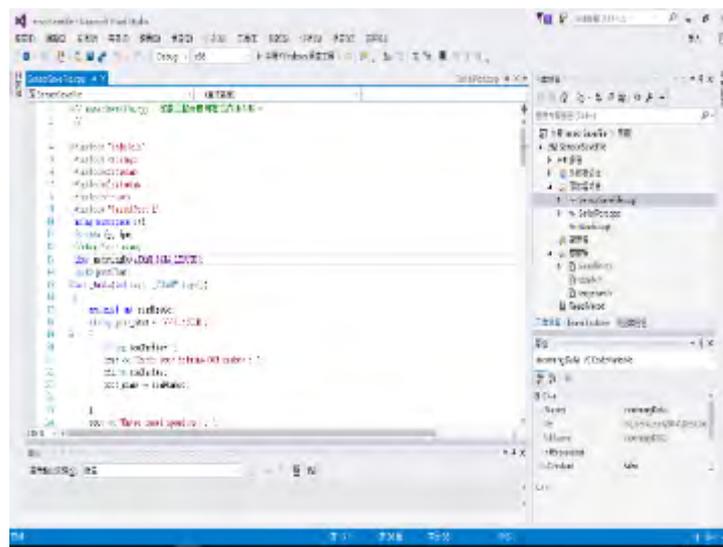


圖 19、使用 Visual Studio 撰寫 COM 埠資料讀取程式

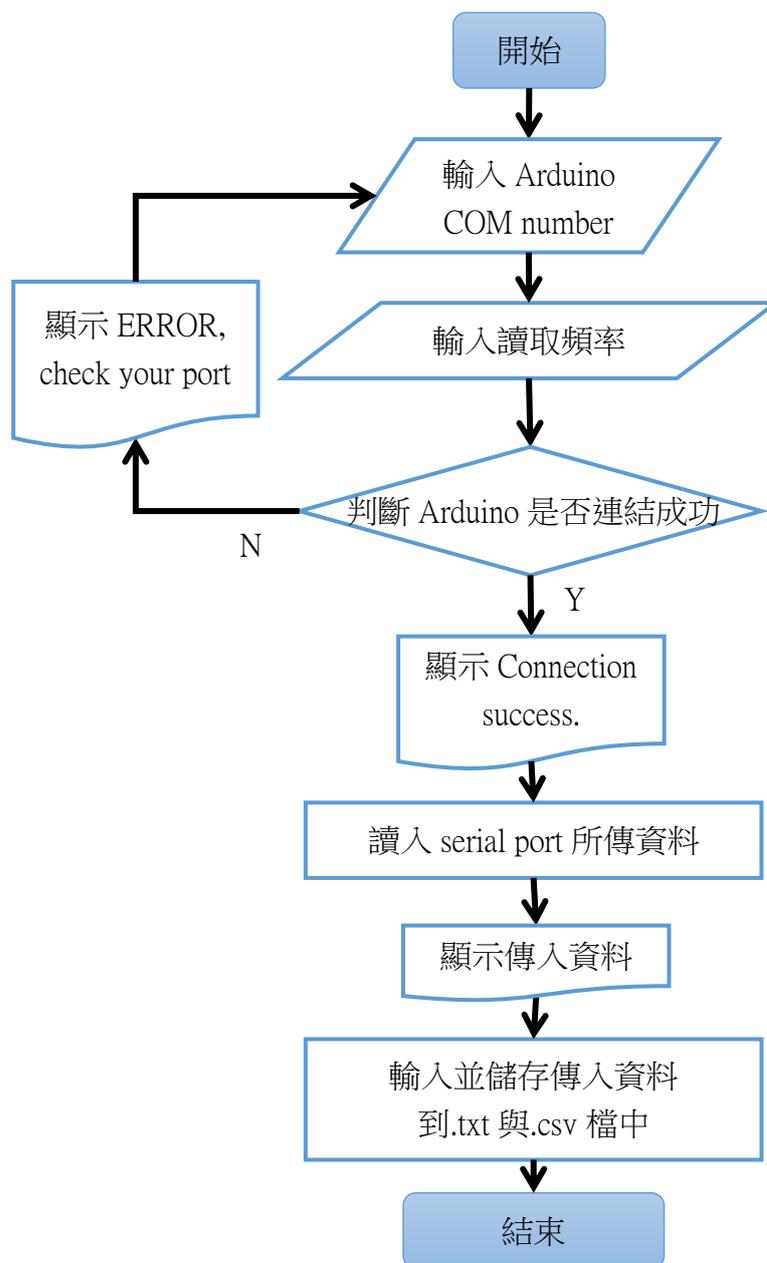


圖 20、COM 埠資料讀取程式撰寫流程規劃

透過流程規劃，我們希望所撰寫的程式，能夠方便使用者接收，甚至在不需 Arduino 的情況下，讀取 com 埠所接收的資料，產生相關檔案，這些資料就可以供後續研究使用。

伍、研究結果與討論

一、 系統功能圖：經過前面系統發展規劃，以及不斷嘗試後，本組所發展之架構如下：

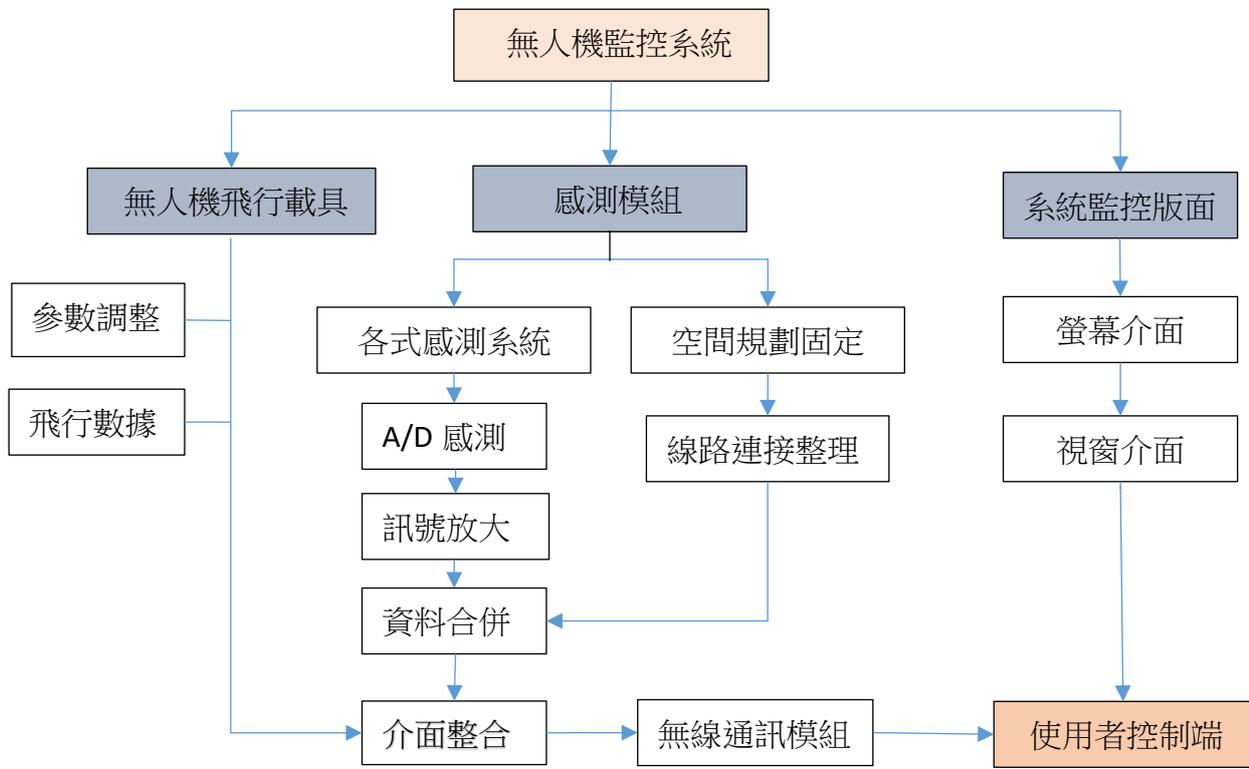


圖 21、無人機監測系統架構圖

如上圖本系統可分為三大部分:無人飛行載具、監測系統、整合監控介面。整個系統須整合飛行載具的控制、感測模組的各項資訊蒐集、監測資訊即時呈現等功能。為求控制成本、重量與避免干擾，所有飛行數據皆透過相同頻段的無線傳輸方式回傳至使用者介面進行資料整合。

二、 無人機飛行載具控制調整：

(一)PID 調整：根據 `AeroprobingLDSLite.ino`，在程式中我們發現原始資料如下表，使用者可以調整 `Kpout[3]`、`Kiout[3]`、`Kdout[3]`等初始值，再將其寫入到飛控板即可改變其 PID，系統初始值如下表：

表 4：程式內部 PID 預設值

	Yaw	Pitch	Roll
P 比例控制器	0.2	1.0	1.25
I 積分控制器	0.001	0.02	0.009
D 微分控制器	0.19	0.03	0.025

因此，本組發展一套簡易調整 PID 模式，以提高未來控制的穩定度：

1. 首先我們調整 Roll 跟 PITCH 的 P 值，推動油門，先不管機身穩定度，把 P 往上增加，漸漸推動油門到起飛狀態，這時候飛機有可能是單邊飛起或者直接翻過去，再加 p 值，反覆這動作，直到推動油門時，感覺四軸飛機在“保持水平”狀態下呈現“垂直上下”跳，這時候可以把 P 減個 0.1~0.3 左右，應該是很輕鬆就可以水平飛起來，但應該還是四處左右搖晃跟旋轉。
2. 接下來調整 I 值，I 值會減小 P 值的效果，但可以抑制搖晃，嘗試把 I 值往上加，嘗試讓四軸飛起來，隨 I 值變大可以感覺到搖晃不穩定的情況減低，四軸比較沒那麼飄，持續把 I 增大，一直到四軸飛行的槳轉動，可以感覺到馬達會忽快忽慢不順暢且左右原地搖擺，把這時候的 I 值減少約 0.003~0.005 並增加 D 值，嘗試飛行看看，這時候應該是很容易起飛並且不會搖晃很厲害。
3. 通常調整 I 值是控制搖晃，可是此時四軸會伴隨自我旋轉，通常調整 I 值同時也會把 Yaw 的 P 值也加大，Yaw 的 P 加大，抑制四軸飛起來的水平旋轉。
4. 由於 I 值增大會抑制 P 值的效果，這時候可把 D 值增加，一次增加約 0.01，這時候四軸已經在控制範圍，但沒辦法大幅度控制。D 值的效果應用在 Pitch / Roll，當搖桿快速扳動 Roll / Pitch 並回正，四軸的回應速度就是由 D 值影響。

根據以上我們發現 PID 的調整是一種不斷隨機器與環境改變的過程，研究時需要不斷試飛調整，但是一般的使用者在戶外操作時，需要的是受到風影響而失去平衡的無人機可以在短時間內回到平穩的飛行狀態，因此我們藉由以下兩個實驗數據，歸納一種簡易方便的 PID 調整模式。

(二) 調整 PID 值，測試無人機達平衡所需的時間的差異實驗:

先測試無人機廠商設定 PID 初始值，再分別調整 P、I、D 值與其中的 Yaw、Pitch、Roll，增加各自初始值之十分之一，分別以碼表計時自達平衡所需的秒數，每組實驗重複進行五次紀錄測得秒數再取其平均值(如表 5)，分析實驗結果發現:

1. 同時增加 Yaw、Pitch、Roll 數值:比例(P)控制器和積分(I)控制器能縮短系統達平衡所需反應時間，積分(D)控制器值則增加系統達平衡所需反應時間。
2. 單獨增加 PID 值中 Yaw、Pitch、Roll 各數值:增加 P 的 Pitch 值，能使無人機失去平衡後在最短時間內重新達飛行穩定。

表 5：調整 PID 值分別測試無人機達平衡所需的時間

	P			I			D			平均值
	Yaw	Pitch	Roll	Yaw	Pitch	Roll	Yaw	Pitch	Roll	
初始值	0.2	1.25	1.25	0.001	0.009	0.009	0.1	0.024	0.024	1.868
同時調整 P 值	0.22	1.375	1.375	0.001	0.009	0.009	0.1	0.024	0.024	1.546
同時調整 I 值	0.2	1.25	1.25	0.0011	0.0099	0.0099	0.1	0.024	0.024	1.66
同時調整 D 值	0.2	1.25	1.25	0.001	0.009	0.009	0.11	0.0264	0.0264	1.938
調整 P - Yaw	0.22	1.25	1.25	0.001	0.009	0.009	0.1	0.024	0.024	2.104
調整 P - pitch	0.2	1.375	1.25	0.001	0.009	0.009	0.1	0.024	0.024	1.224
調整 P - roll	0.2	1.25	1.375	0.001	0.009	0.009	0.1	0.024	0.024	1.436
調整 I - Yaw	0.2	1.25	1.25	0.0011	0.009	0.009	0.1	0.024	0.024	1.932
調整 I - pitch	0.2	1.25	1.25	0.001	0.0099	0.009	0.1	0.024	0.024	1.72
調整 I - roll	0.2	1.25	1.25	0.001	0.009	0.0099	0.1	0.024	0.024	2.004
調整 D - Yaw	0.2	1.25	1.25	0.001	0.009	0.009	0.11	0.024	0.024	1.876
調整 D - pitch	0.2	1.25	1.25	0.001	0.009	0.009	0.1	0.0264	0.024	1.872
調整 D - roll	0.2	1.25	1.25	0.001	0.009	0.009	0.1	0.024	0.0264	1.958

(三)調整 PID 值，測試其飛行時在垂直與水平方向拉力的差異實驗:

先測試無人機廠商設定 PID 初始值，再分別調整 P、I、D 值增加各自初始值之十分之一，以錄影機紀錄電子彈簧秤上的數據，用影片回放找出最大值，每組實驗重複進行三次紀錄測得公斤數再取其平均值，分析實驗結果發現:調整 P 值能稍微增加無人機飛行時在垂直方向的升力與水平方向的拉力，但是影響並不大，由此實驗可知調整 PID 值在無人機垂直方向的升力與水平方向上的拉力並無明顯改變。

表 6：調整 PID 值，測試其飛行時垂直與水平方向上拉力

	P			I			D			平均值(kg)	
	Yaw	pitch	roll	Yaw	pitch	roll	Yaw	pitch	roll	垂直拉力	水平拉力
初始值	0.2	1.25	1.25	0.001	0.009	0.009	0.1	0.024	0.024	20	25
調整 P 值	0.22	1.375	1.375	0.001	0.009	0.009	0.1	0.024	0.024	20.32	25.42
調整 I 值	0.2	1.25	1.25	0.0011	0.0099	0.0099	0.1	0.024	0.024	20.14	25.18
調整 D 值	0.2	1.25	1.25	0.001	0.009	0.009	0.11	0.0264	0.0264	20.16	25.17

(四) 接下來觀察其飛行主程式，其飛行控制流程圖與程式碼對照如下圖，而相關程式碼只要去上課皆可取得，應是屬於開放程式碼。

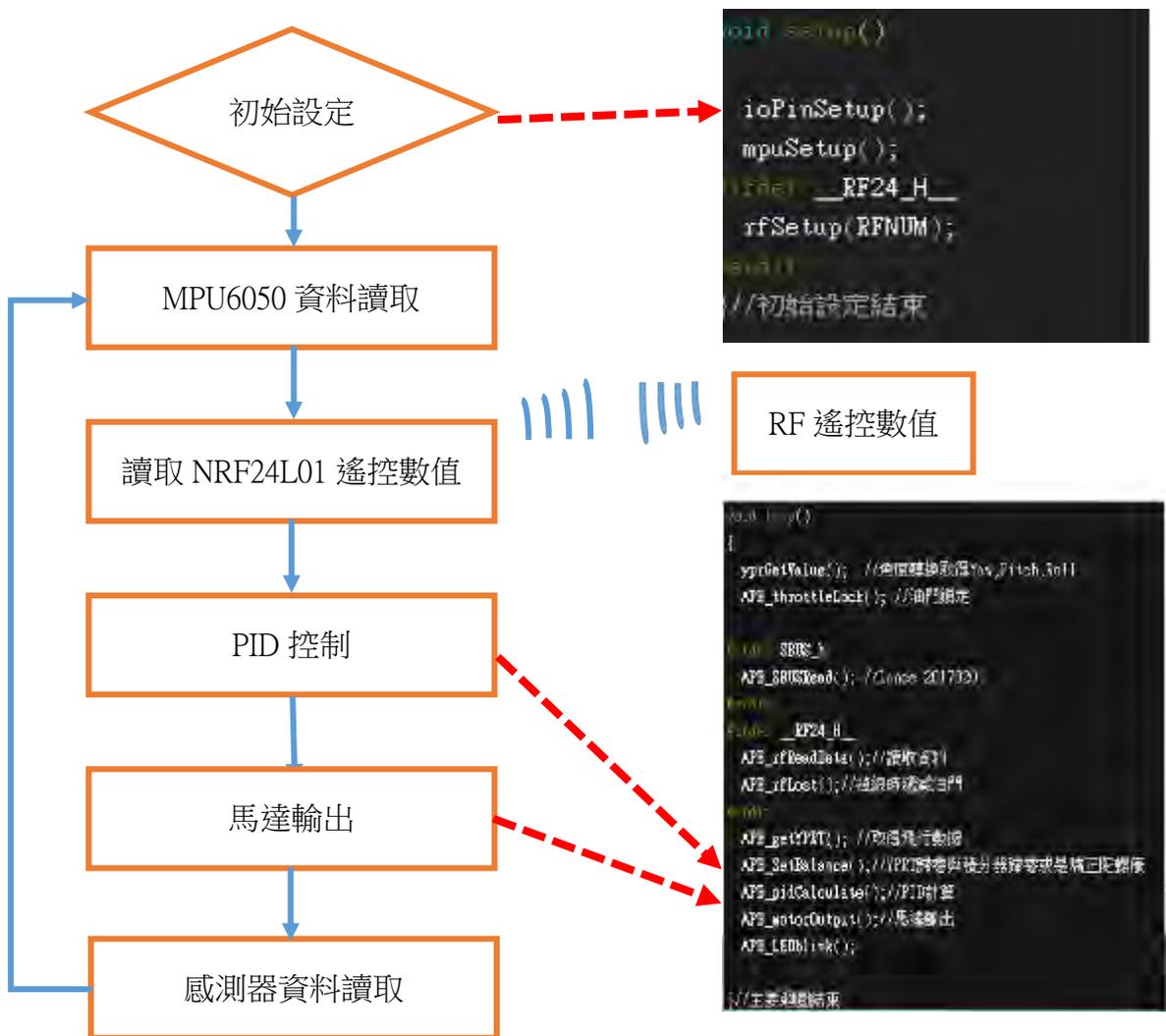


圖 22、無人機飛行控制流程

我們將飛控流程與程式碼逐一對照，發現主要迴圈結束處 APB_LEDblink其只是讓主機上 LED 燈亮，接下來就是重跑流程，我們可以在其後增加各式感測器等相關程式，自行增加測試功能。測試相關數據再透過後續功能傳遞。

(五) 利用 nrf2401 傳遞數據資料：在實驗階段我們參考網路資料，先行撰寫 send.ino 與 receive.ino 這兩個程式中，由於我們發射端與接收端都使用 nRF24L01+ 做無線通訊，所以無線頻率與基本組態設定都一樣！預設的情況下，nRF24L01+ 六個 data pipe 的自動確認 (Auto Acknowledgment) 功能都是開啟的，所以在發射端只要負責將數據準備好傳送 (write) 出去，接收端則是等待數據過來後進行計算，其他的不需要去管，nRF24L01+ 自己會搞定，相關技術規格也跟原廠確認是全雙工雙向通訊，非單向通訊。非常具有彈性。

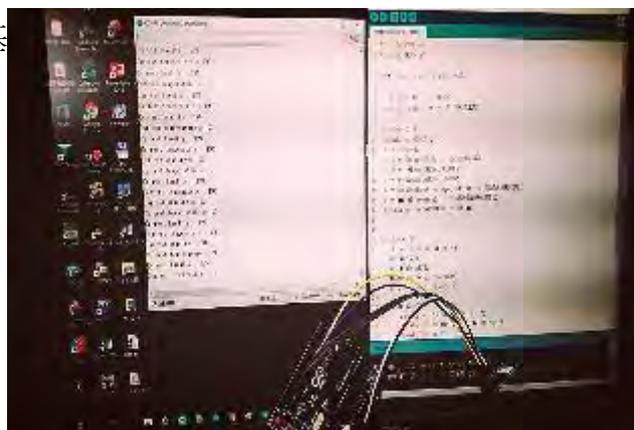
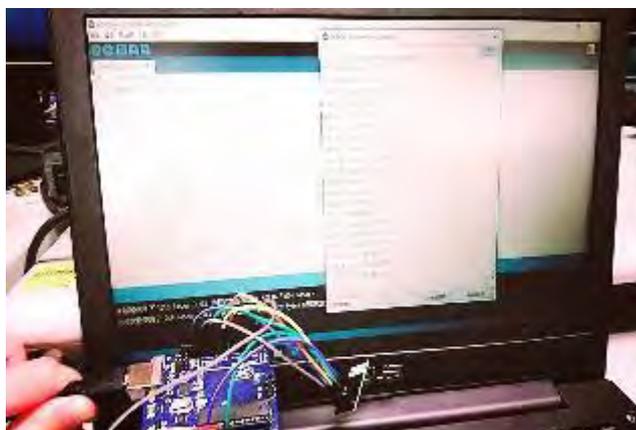
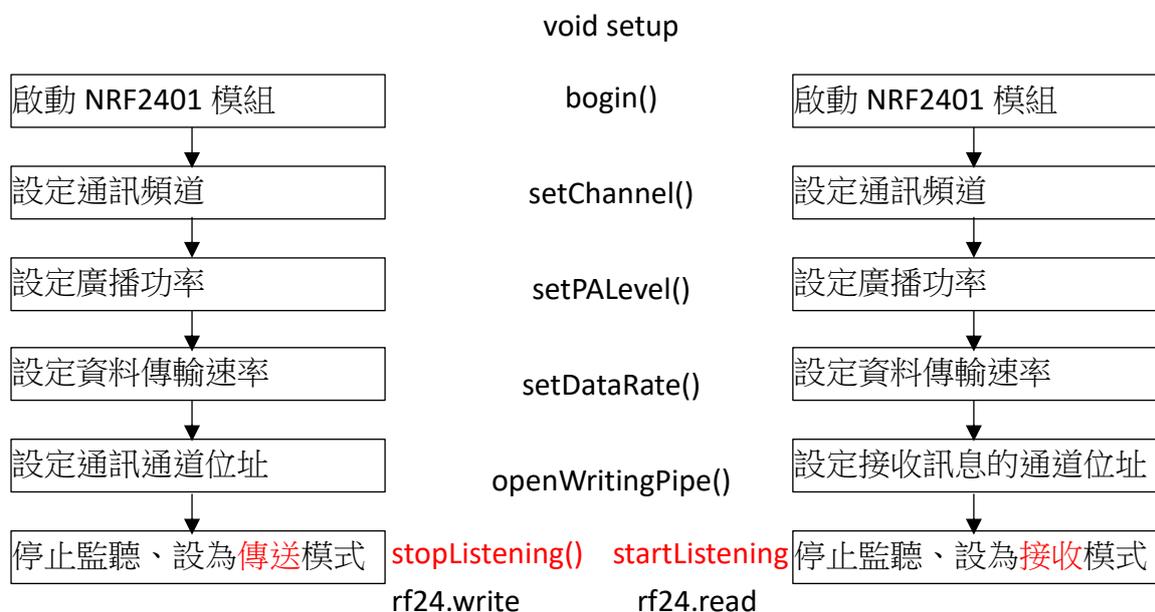


圖 24、以 NRF2401 傳送溫溼度資料

經過分別測試，我們發現使用字串陣列、整數陣列都可以達到傳送資料的結果，使用者可依自己喜好撰寫，網路也相當多的參考範例。本系統則使用整數陣列傳遞資料，在發送端，我們先發送資料，根據發送的資料量，決定陣列的大小，接著在接收端，一樣使用整數陣列做接收資料，且會根據存放的陣列位置，寫入相對應的邏輯判斷，讀出我們所需的資料值。

利用整數陣列接收資料。

```

if (rf24.available(&pipe)) {
    int msg[2];
    int readdat[2];
    rf24.read(&msg,sizeof(msg));
    for(int i =0 ; i < 2; i++){
        readdat[i]=msg[i];
        if(i%2==0){
            Serial.print("Current humidity = ");
            Serial.print(readdat[i]); // 顯示訊息內容
            Serial.println('%');
        }
        else if(i%2==1){
            Serial.print("Current temperature = ");
            Serial.print(readdat[i]); // 顯示訊息內容
            Serial.println('C');
        }
    }
}
            
```

```

int senddat0=dat[0];
int senddat1=dat[1];
int senddat2=dat[2];
int senddat3=dat[3];
msg[0]=senddat0;
msg[1]=senddat2;
rf24.write(&msg,sizeof(msg));
            
```

利用整數陣列發送資料。

圖 25、傳送資料邏輯程式

三、整合感知模組方面：

我們先將溫溼度等各式感應器程式撰寫並編譯後，先在地面觀察並除錯，之後裝上機翼並將其起飛到遠端，控制端所得到的資料顯示如下圖：

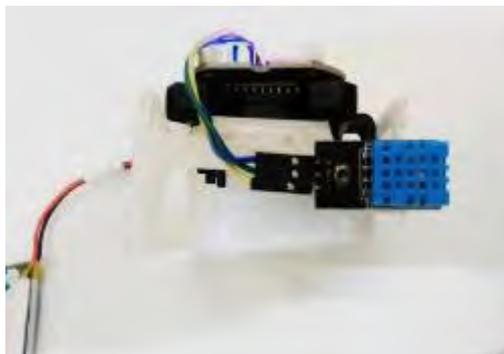


圖 26、將溫溼度感應器固定在承座

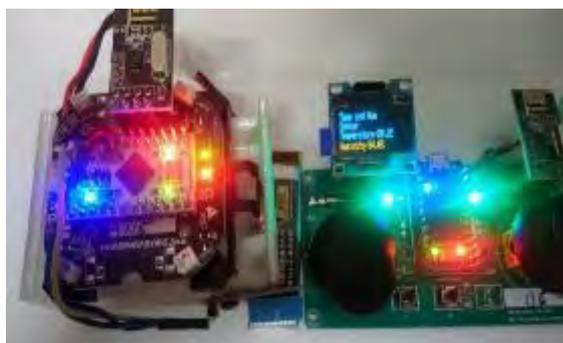


圖 27、無人機地面測試



圖 28、機翼可拆下重複利用

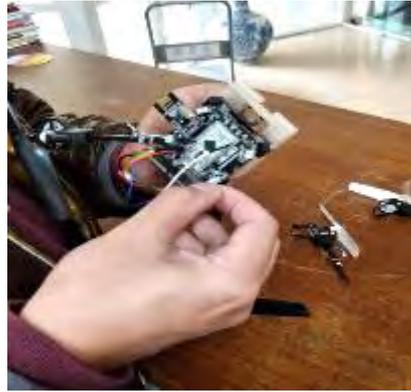


圖 29、所設計零件承座也可以更換



圖 30、重新編譯，改成空氣懸浮粒子偵測畫面



在使用彈性上，機翼與機翼架、螺旋槳如果損壞可以隨時更換，相當方便，而若經費不允許只有一台，在更換感測器也很方便，不同的感測元件可以視重心放在相對位置來做固定，經實測飛行完全正常。

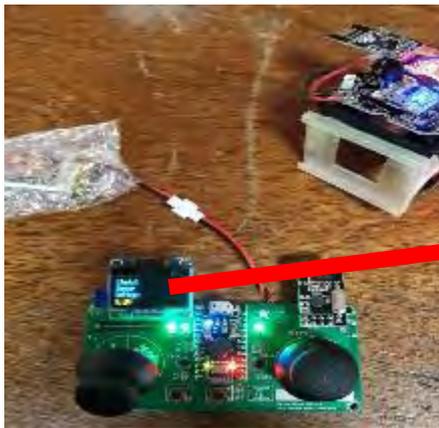


圖 31、酒精濃度感測畫面



三、設計元件基座的考量：不同感測器形狀、重量不一，所以要考量整體重量平衡，我們分別針對不同的感測器設計凹槽或螺絲孔，方便固定，由於空氣懸浮粒子偵測器體積最大且不能鑽孔，我們先將其固定在一側，初步設計如下圖：

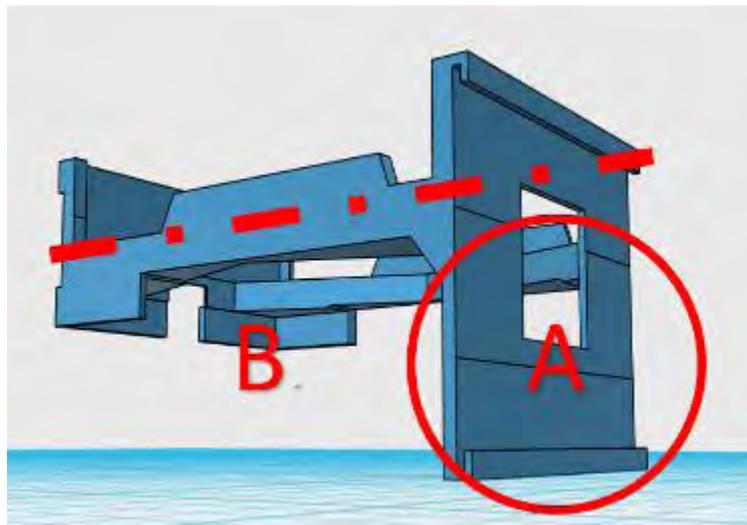


圖 32、無人機底座 A 區體積變大

如上圖在右側增加固定架(A)的設計，在紅線下方 A 測體積增加，容易導致重心偏移，飛行不穩定，經過研究我們發現，從紅色剖面來看，在右圖 A 區中，其體積增加了： $46 \times (18 \times 1 + 3 \times 1 + 2 \times 1) = 1058$ 立方毫米。

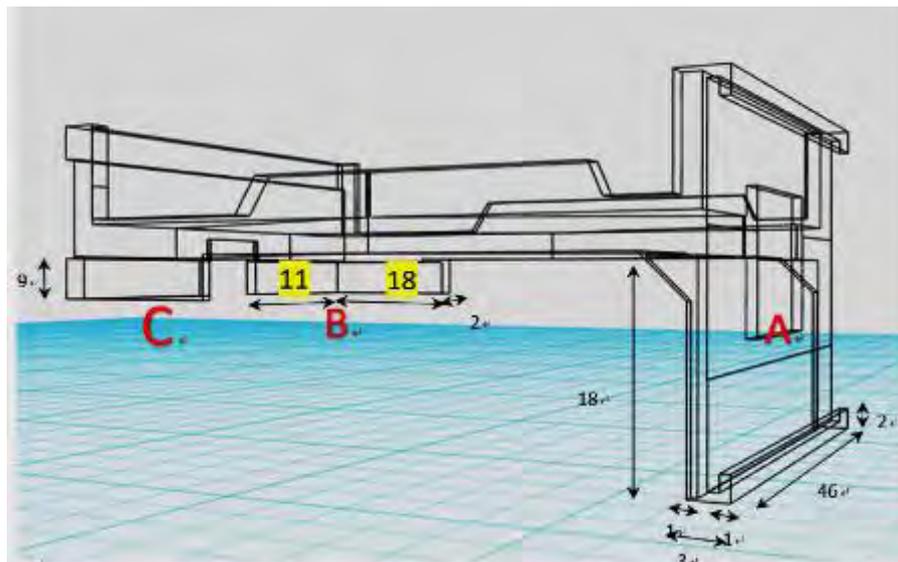


圖 33、無人機 B、C 區體積相加需與 A 區體積相等

在飛行的時候為使重量平衡，我們須在左側增加相對應的體積，以使元件基座重力平衡，此外，由於需考慮對稱性(上圖 B、C 應該一致)，所以在 B 或 C 區需各增加 529 立方毫米，我們將其逆推回去計算出 $529 / 2$ (寬) / 9 (高) = 29.388，也就是上圖 B 區兩者的值加起來應為 29.4(上圖 B 為 $18+11=29$)左右，即可達到平衡的效果。

此外，我們還製作 10 與 19 的搭配，9 與 21 搭配，經多次試飛結果確認能平衡控制，在方向操作上順暢無礙。

陸、結論

一、 本組發展以無人機搭載感測器的優勢有：

1. 降低成本：一般來說，固定式空氣感測器之裝置除了資料傳輸考量外，還需考量供電及裝置地點的難易度，其精準度會依裝置密度而有所不同，若是需要密集裝置則感測成本將大幅提高。反之，使用無人機搭載感測器並能即時回傳感測資訊，則能大幅降低裝置成本，符合經濟效益。
2. 三維度空氣感測：除高空外，無人機的運動靈活性也可適用在很多情況，例如災害現場、河岸湖泊、隧道...等，具備在不同維度下可工作的特性及優勢。
3. 簡易 PID 調校方法：當使用者在戶外發現有風干擾使無人機不好操控，在風速低於 3.6 km/h 情況下，可優先透過調整 PID 值中 P 的 Pitch，即可縮短系統平衡反應所需時間。

二、 本監測模組的彈性：

1. 改變感測器的彈性：本感測器模組在未來都可以彈性變化，只要重量或體積允許(不超過 95 公克)，都可以改裝成自己想要的感測器，例如紅外線，超音波，甚至災難現場瓦斯偵測，或者河川的 pH 值偵測等，而且市面上大部分感測器重量都低於 10 公克，在應用上具備相當高的改變彈性。
2. 機翼與各零件組裝彈性：機翼耗損是無人機無法避免的事實，當發生墜機，機翼折斷無法飛行時，無論是從別台拆機翼過來，或者是從本台拆感測器到別台組裝都可以，相當具有彈性。

三、 容易移植與應用：

1. 本監測模組在技術面上應用學校所教 Arduino 與 Visual C++ 程式設計的觀念，結合市售成熟便宜的無人機所開放的腳位來開發。在硬體的維護與技術的移植都相當方便。
2. 所蒐集到的數據，已經轉成文字檔及 csv 檔，無論未來要傳到網路或資料庫，都很容易分析利用。

柒、引注資料及其他

- 一、 賈澤民，詹為淵，徐子圭，江志煌, 2013。連翼構型飛翼船研製開發，航太年會及學術論文研討會。
- 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://csenichijou.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、 柯博文(民 103)。Arduino 互動設計專題與實戰－深入 Arduino 的全方位指南。台北，基峰出版社。
- 五、 邱聰倚、姚家琦、劉耀鴻(民 103)。Autodesk 123D Design 與 Tinkercad 3D 設計速繪美學。台北，基峰出版社。
- 六、 Arduino WIFI(ESP8266) 初次上手應用。民 104 年 11 月 27 日，取自 <http://lolwarden.pixnet.net/blog/post/82031214>。
- 七、 賈澤民，無人飛航載具監測環境污染之功能，航測及遙測學刊 第二十一卷 第 3 期 第 163-182 頁，民國 105 年 11 月

【評語】 052301

1. 本作品利用無人機發展一套即時環境參數監測系統。無人機使用市售的產品，搭配各種感測器如溫溼度，MQ3 酒精感測器、PM2.5 空氣懸浮粒子偵測等，經重量評估，重心計算，PID 測試..等，能遠端即時監測數據，並能降低零件成本及提高模組操作上的彈性。研究主題具實務應用性，研究方法說明詳細，並進行適宜的設計，解決困難。
2. 若能就使用地區可能的電磁干擾、通訊干涉、風速及降雨等問題加以考量會更加完備。此外，飛行器是否會造成所得數據的失真也可以加以探討。
3. 結論已經探討無人機進行監測的優勢，建議能夠進一步進行溫溼度、酒精濃度、PM2.5 空氣懸浮粒子等偵測結果之研究。

摘要

本研究利用無人機可自主起降並執行任務，高度機動性的特點，自行發展一套即時監測系統，選擇市面上便宜且成熟的飛行載具，搭配各種感測器如溫溼度、MQ3 酒精感測器、PM2.5 空氣懸浮粒子偵測...等，先經重量評估後測試運行，再經重心計算，自製零件基座固定，PID 測試、最後撰寫程式，將感測器資料即時透過無線訊號傳輸到控制端螢幕，除了能遠端即時監測數據外，並能降低零件成本，提高模組操作上的彈性。

實驗顯示本研究自製的無人機的自動化監測系統，能精準且迅速的取得各種監測數據，對於高空、災害現場或人員難以抵達等狀況將有助益。此外，運用無人機做為機動式監測站，將能有效補足現行定點監測站及人員稽核的不足，在未來應用更是無可限量。

壹、研究動機

無人機越來越普及，應用情境非常廣泛。市面上已有的多軸遠端物聯網應用機，最便宜的售價都高於三萬五千元，在相關論壇上各家的飛控板為了減輕重量，都將體積盡量縮小，但還是有很多接腳用不到，我們想要開發一種模式，**利用這些開放的接腳與各種傳感器連接，進行數據交換或控制，作生活中實務上的應用**，例如火災現場溫度監測，高空的 PM2.5 監測，下水道瓦斯監測...等，若人為測量可能有安全顧慮的問題，可用來保護相關工作人員的安全。

貳、研究目的

- 一、設計價格相對便宜的小型無人機監測模式，相關零件以取得容易為主。
- 二、測試各項零件並規畫彈性組裝模式，並避免線路互相干擾影響重心。
- 三、研究在不同場域中都能實作的監測系統，並分析各模組可能碰到之困難與解決。
- 四、探討本監測模組可行之應用模式。

參、研究與過程

一、飛行器選擇及設計

自行組裝小型無人機時，發現**技術難度、零件整合與價格**很難推廣到一般人可以使用，所以轉而考慮市面上現有產品，操作簡單，零件購買容易，**可撰寫程式控制感測資料回傳以供利用**。

二、四軸飛行器系統在不同情況下的最佳 PID 值

本組希望透過以下兩個實驗設計找出系統在因應不同情況時，調整 PID 中各數值，測試其對飛行狀態的影響，以方便一般使用者未來應用。

- (一) 調整 PID 值，測試無人機達平衡所需的時間的差異
- (二) 調整 PID 值，測試其飛行時垂直與水平方向上拉力的差異

三、測試並擬定感測器功能模組

(一) 測試並擬定感測器模組

由於四軸飛行器**體積限制**本組選擇使用溫溼度傳感器選擇 DHT11；酒精傳感器 MQ3；灰塵感測器 GP2Y1014AU 作為本次研究的觀測項目。以 nrf24l01 做為無線收發器模組使用 2.4g 的頻道，可設定 channel 與傳輸速度以**降低干擾**。飛控主板接腳 7、8、21 並未使用，最多可以同時外接 3 組感測器。我們以 3D 列印軟體設計**元件基座**為達重量平衡且不影響其飛行重心透過體積計算**修正重心位置**，找出系統承載重量最大值 95 公克。測量各元件重量，總重量約 42.3 公克，在無人機負重範圍內(95 公克)。

(二) 數據資料呈現

了解元件運作原理與用法後，透過無線傳輸，將資料傳遞到 oled 上即時顯示。最後運用 visual C++ 撰寫相關程式，將資料擷取出來到電腦以供未來運用。透過流程規劃，我們希望所撰寫的程式，能夠方便使用者接收，甚至在不需 Arduino 的情況下，讀取 com 埠所接收的資料，產生相關檔案(.txt 與.csv 檔)，可以供後續研究使用。

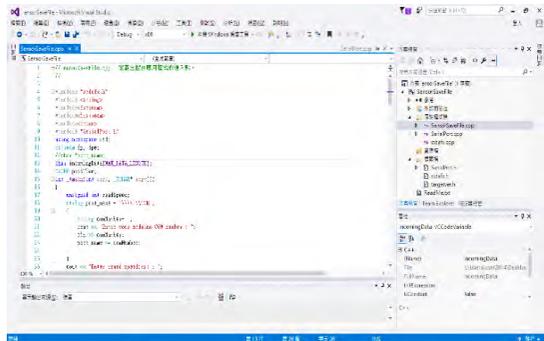


圖 5. 撰寫 COM 埠資料讀取程式

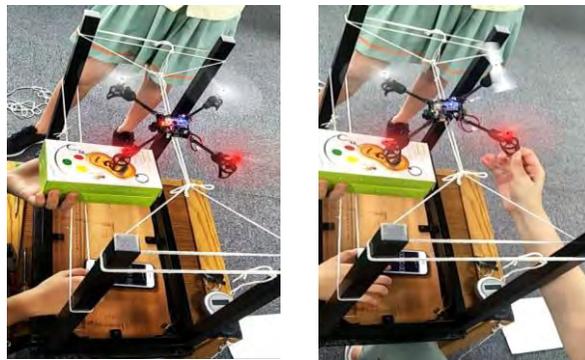


圖 1、遙控使其呈平穩狀態再下壓使其傾斜五十度實驗圖



圖 2、實驗(二)



圖 3、測無人機最大承重

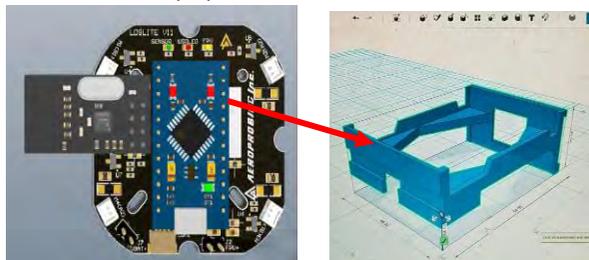


圖 4、設計元件基座草圖

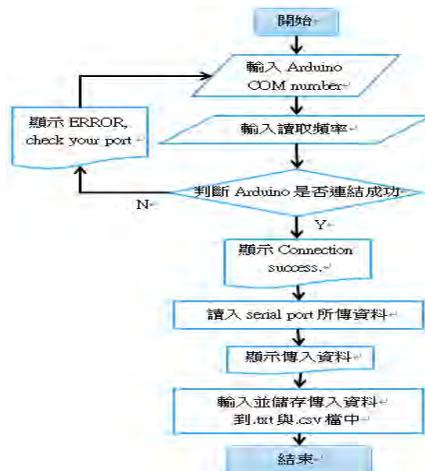


圖 6. COM 埠資料讀取程式撰寫流程規劃

四、整合感知模組

將各式感應器程式撰寫上傳，並在地面觀察除錯後，起飛到遠端並觀察測試結果。

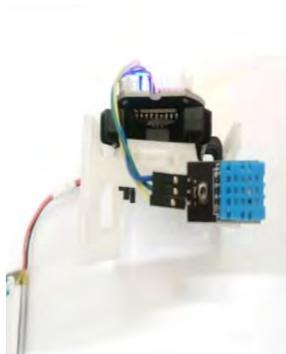


圖 14.將溫溼度感應器固定在承座

圖 15.無人機地面測試(溫溼度)

圖 16.重新編譯，改成空氣懸浮粒子偵測畫面

五、資料讀取

本組設計感測器回傳資訊同時存成 txt 或 csv 檔，以利後續方便保存資料及應用，程式利用 ios::app 設定為從檔案結尾寫入(輸出)資料，若想清空資料或從頭開始，可將原文字檔刪除，系統會自動重新產生。而這些資料未來要建立圖表或透過網路傳送到其他資料庫，也非常方便。

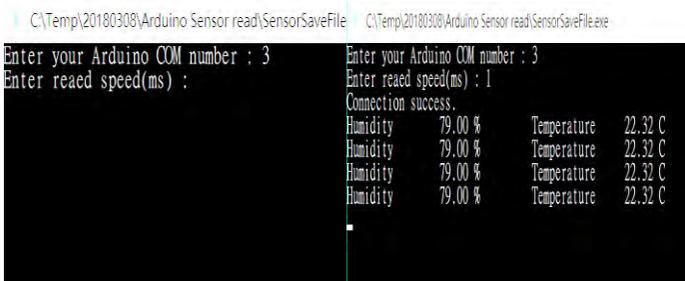


圖 17.資料讀取之輸入介面與在 DOS 模式中呈現感測資料

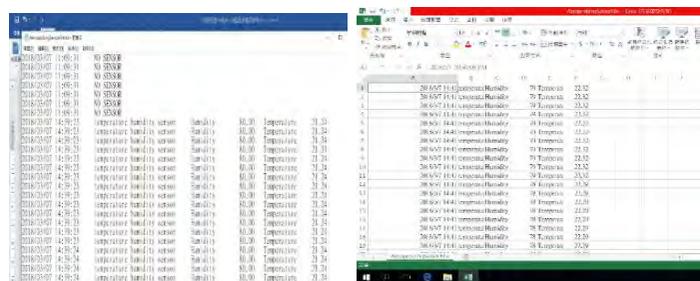


圖 18.系統擷取資料產生之文字檔與同時產生之 CSV 檔

伍、結論

一、本組發展以無人機搭載感測器的優勢

- 1.降低成本**：常見的固定式空氣感測器裝置除了資料傳輸考量外，還需考量供電及裝置地點的難易度，精準度會依裝置密度而有所不同，若是需要密集裝置則感測成本將大幅提高。反之，使用無人機搭載感測器並能即時回傳感測資訊，能大幅降低裝置成本，符合經濟效益。
- 2.三維度空氣感測**：除高空外，無人機的運動靈活性也可適用在很多情況，例如災害現場、河岸湖泊、隧道...等，具備在不同維度下可工作的特性及優勢。

二、本監測模組的彈性

- 1.改變感測器的彈性**：本感測器模組搭配可以彈性變化，只要重量或體積允許(不超過 95 公克)，都可以改裝成自己想要的感測器，例如紅外線，超音波，甚至災難現場瓦斯偵測，或者河川的 pH 值偵測等，而且市面上大部分感測器重量都低於 10 公克，在應用上具備相當高的改變彈性。
- 2.機翼與各零件組裝彈性**：機翼耗損是無人機無法避免的事實，當發生墜機，機翼折斷無法飛行時，無論是從別台拆機翼過來，或者是從本台拆感測器到別台組裝都可以，相當具有彈性。

三、容易移植與應用

- 1.本監測模組在應用學校所教 Arduino 與 Visual C++ 程式設計的觀念，結合市售成熟的無人機開放的腳位來開發。在硬體的維護與技術的移植都相當方便。
- 2.所蒐集的數據，已經轉成文字檔及 csv 檔，無論未來要傳到網路或資料庫，都很容易分析利用。

陸、參考文獻

- 一、賈澤民，詹為淵，徐子圭，江志煌，2013。連翼構型飛翼船研製開發，航太年會 及學術論文研討會。
- 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、邱聰倚、姚家琦、劉耀鴻(民 103)。Autodesk 123D Design 與 Tinkercad 3D 設計速繪美學。台北，基峰出版社。
- 五、賈澤民，無人飛航載具監測環境污染之功能，航測及遙測學刊 第二十一卷 第 3 期 第 163-182 頁，民國 105 年 11 月。