

***專題項目：**

四軸飛行器

***飛行器架構：**

四軸飛行器

機身： 四軸架構 450mm

馬達： 無刷馬達 2212 980KV

控制器： STM32F405RGT(64Pin)

螺旋槳： 1045 碳纖維龍槳

無線： nRF24L01+

感測器： L3G4200D(陀螺儀)、LSM303DLM(電子羅盤+加速度計)、BMP085(氣壓計)

電池： 2200mAh 25C

遙控器

控制器： STM32F407VGT(100Pin)

顯示器： 4.3' TFT (SSD1963)

無線： nRF24L01+

電池： 1000mAh 25C

***專題規劃：**

近程	基本目標	可以無線遙控四軸飛行器，並可以自主平衡
	進度規劃	1. 有四軸飛行器結構，馬達 ... 等基本裝置。 2. 馬達轉速控制完成，並可個別控制馬達轉速。 3. 感測器正常運作，可以讀到所需資訊，並對馬達運轉時所產生之振動影響做濾波。 4. 控制板&遙控板製作。 5. 無線傳輸成功，可做遠程遙控。 6. 飛行&平衡演算法。
中程	基本目標	尚未決定，目前有 GPS, 攝像模組
	進度規劃	尚未決定
遠程	基本目標	尚未決定
	進度規劃	尚未決定

* 目前進度：

目前進度				
近程	排序	項目	進度	說明
	1	有四軸飛行器結構 2012/05/14 完成 2012/08/07 更換結構 330mm→450mm	100%	1. 已有結構、電源、馬達、傳感器，並組裝完成 2. 結構換成 450mm 的機體與加大螺旋槳，為減輕震動對 Sensor 造成誤差
	2	無刷馬達轉速控制 2012/05/14 完成	100%	1. 可以正常利用 PWM 個別/分別對馬達做轉速控制(全速至最低速皆可) 2. 控制頻率 400Hz
	3	感測器正常運作，並讀到資訊 2012/07/12 STM32F1 I2C 成功 2012/08/03 加速度計改用 LSM303D 2012/08/26 STM32F4 I2C 成功 2013/02/15 加入四元數做姿態解算 2013/02/28 單軸平衡實驗成功，但須調整 2013/02/28 直接試飛，沒辦法穩定不動	90%	1. 取樣頻率 400Hz 2. 濾波方式：採用加速度計與陀螺儀兩次互補濾波 3. 濾波效果：未啟動馬達+0.01 度，啟動馬達+-3 度 4. 需再改進濾波效果，期望+-0.5 度內 5. 待解決 Tan 問題 6. 第一次試飛：可飛起，但沒辦法一直保持平衡，導致亂飛
	4	控制板 & 遙控板製作 2012/07/08 飛控 V1, 遙控 V1 完成(STM32F1) 2012/08/14 飛控 V2, 遙控 V2 完成(STM32F4) 2012/09/30 遙控 V3 完成(STM32F4)	90%	1. 控制板&遙控板製作完成，可正常工作 2. 控制介面初步完成，需做詳細規劃&優化 3. 需完善 SD 卡&觸控功能 4. ADC 資料校正
	5	無線傳輸，可做遠程遙控 2012/06/26 無線傳輸完成	95%	1. 使用 2Mbps 的傳輸速率，可正常雙向無線通訊 2. 尚未測試有障礙物時干擾的程度&傳輸距離 3. 待增加連續傳輸功能，目前為發送一次接收一次(一次 32Byte)
	6	飛行 & 平衡演算法 2012/09/21 PID 初步撰寫完成	80%	1. 使用 PID 做平衡 2. 簡易程式撰寫完畢，須找出合適之參數

*研究紀錄：

2012 05 08 - 2012 05 13	四軸飛行器結構 & 馬達 & Sensor ... 購買
2012 05 14 - 2012 05 14	四軸飛行器組裝 ... 完成
2012 05 14 - 2012 05 24	STM32F103C8 IC 核心 ... 設計完成
2012 05 14 - 2012 05 24	STM32F103VE IC 核心 ... 設計完成
2012 05 18 - 2012 05 21	STM32 IC & 無線模組 ... 購買
2012 06 24 - 2012 06 24	USART 撰寫 ... 完成
2012 06 24 - 2012 06 24	STM32F103R8 IC 核心設計 ... 完成
2012 06 25 - 2012 06 25	nRF24L01 傳輸 ... 完成, 但 I2C 會有問題
2012 06 26 - 2012 06 26	nRF24L01 傳輸 ... 完成 問題出在沒有初始化
2012 06 26 - 2012 06 26	玻纖漿斷掉
2012 06 27 - 2012 06 27	BMP085 I2C 讀取 ... 成功, 但氣壓數據錯誤
2012 06 28 - 2012 06 28	超音波讀取(PWM 輸入模式) ... 測試中(讀取方法?, TIM 數量!)
2012 06 28 - 2012 06 28	製作防撞保護裝置 ... 完成(待飛控板完成再組裝)
2012 07 02 - 2012 07 02	STM32F103RD 洗版 ... 完成
2012 07 03 - 2012 07 03	I2C + DMA (防止因中斷出問題) ... 測試中
2012 07 04 - 2012 07 08	飛控板 V1 & 遙控板 V1 ... 完成
2012 07 09 - 2012 07 09	保護裝置(防撞) ... 完成
2012 07 10 - 2012 07 10	FSMC 撰寫 ... 測試中
2012 07 11 - 2012 07 12	I2C + DMA (防止因中斷出問題) ... 完成
2012 07 13 - 2012 07 13	超音波讀取 ... 失敗 (因為計時中斷時間不準確)
2012 07 14 - 2012 07 15	使用 ADC 讀取搖桿 ... 完成
2012 07 16 - 2012 07 16	優化程式 & 計時中斷撰寫 ... 撰寫中
2012 07 17 - 2012 07 17	超音波測距 ... 完成, 但會有雜訊(誤差很大的值)
2012 07 18 - 2012 07 18	定時 I2C 取樣 ... 失敗, nRF 會被中斷傳輸, I2C 也無法正常讀值
2012 07 20 - 2012 07 20	優化 I2C 程式碼 ... 優化中
2012 07 21 - 2012 07 21	SPI DMA 傳輸 ... 撰寫中
2012 07 22 - 2012 07 22	I2C 定時取樣 ... 完成, 但會受無線傳輸干擾
2012 07 23 - 2012 07 23	無線傳輸與 I2C 取樣中斷干擾修正 ... 完成
2012 07 24 - 2012 07 24	找老師 MEETING_1
2012 07 24 - 2012 07 25	濾波演算法 ... 撰寫中
2012 07 26 - 2012 07 27	卡爾曼濾波 ... 了解中
2012 07 30 - 2012 07 30	卡爾曼濾波 ... 了解中
2012 07 31 - 2012 07 31	卡爾曼濾波應用 ... 完成, 可用加速度校正陀螺儀, 但震動影響大

2012 08 01 - 2012 08 03	增加 Sensor 準確度, 資料轉換 ... 撰寫中
2012 08 03 - 2012 08 03	加速度計改用 LSM303D 上的 ... 完成
2012 08 06 - 2012 08 06	PID ... 了解中
2012 08 07 - 2012 08 07	新結構組裝 ... 完成
2012 08 08 - 2012 08 09	STM32F405RG 洗板&飛控板 V2 焊接 ... 完成, 但尚未測試各功能
2012 08 10 - 2012 08 12	STM32F405RG 程式移植 ... 移植中, 剩下 I2C
2012 08 12 - 2012 08 14	STM32F407VG 洗板&遙控板 V2 焊接 ... 完成, 但尚未測試各功能
2012 08 14 - 2012 08 15	STM32F407VG 程式移植 & 測試 ... 完成
2012 08 15 - 2012 08 16	STM32F407VG TFT 顯示 ... 完成
2012 08 16 - 2012 08 16	STM32F407VG TFT 函數庫建立 ... 撰寫中
2012 08 16 - 2012 08 26	STM32F405RG I2C 傳輸移植 ... 完成
2012 08 27 - 2012 08 27	整體結構, LED , 飛控板 V2 , 遙控板 V2 測試 ... 完成
2012 08 28 - 2012 08 28	TFT 示波器設計 ... 基本完成, 還無法檢視超出顯示範圍資料(移動視窗)
2012 08 29 - 2012 08 29	卡爾曼濾波應用 ... 完成, 馬達旋轉時, 誤差約 ± 5 度內
2012 08 29 - 2012 08 29	飛控板 V2 保護設計&組裝 ... 完成
2012 08 30 - 2012 08 30	數據濾波改用互補濾波 ... 完成
2012 08 31 - 2012 09 02	TFT 介面設計 ... 選單完成
2012 09 03 - 2012 09 06	TFT CTRL 介面設計... 設計中
2012 09 07 - 2012 09 21	PID 測試&實驗設計 ... 測試中
2012 09 24 - 2012 09 30	遙控板 V3 設計, 製作&測試 ... 完成, 剩觸控& ADC 部分問題
2012 09 30 - 2012 10 01	遙控板 V3 ADC 撰寫 ... 完成, 但還會有不同 ADC 通道互相影響問題
2012 10 02 - 2012 10 02	找老師 MEETING_2 , 撰寫高低通濾波, atan2 測試, PID 方程式檢查與參數測試, 下次準備 PID 相關
2012 10 03 - 2012 10 03	解決使用 TFT 示波器功能時, 停在 SPI 裡 ... 完成
2012 10 04 - 2012 10 04	改善濾波器 ... 完成, 目前連續進兩次互補濾波, 啟動馬達時約 ± 3 度, 沒啟動馬達時約 ± 0.01 度
2012 10 05 - 2012 10 05	測試 PID , 尋找正確參數 ... 測試中
2012 10 06 - 2012 10 06	撰寫觸控程序 ... 完成, 目前可正常讀取電壓, 還須與 TFT 結合&濾波
2012 10 08 - 2012 10 09	3D 引擎設計&撰寫, 供姿態顯示用 ... 設計中
2012 10 10 - 2012 10 12	3D 引擎設計&撰寫, 供姿態顯示用 ... 初步完成, 可對分別 XYZ 三軸旋轉
2012 10 13 - 2012 10 13	SDCard&Fatfs 移植 ... 移植中, 目前可讀到 SD 卡總容量
2012 10 15 - 2012 10 15	SDCard&Fatfs 移植 ... 移植中, 撰寫開讀檔案中
2012 10 16 - 2012 10 16	找老師 MEETING_3 , 高低通濾波, PID 參數測試
2012 10 17 - 2012 10 18	PID 參數測試 ... 測試中
2012 10 20 - 2012 10 21	SDCard&Fatfs 移植 ... 移植中, 撰寫開讀檔案中
2012 10 22 - 2012 10 25	PID 參數測試 ... 測試中, 感覺角度誤差會嚴重影響 PID , 目前震動誤差 ± 3 度, 試著將震動誤差降至 ± 0.5 度

2012 10 26 - 2012 10 26	試用四元數看是否可以減少震動誤差 ... 四元數理解中
2012 10 27 - 2012 10 27	SDCard&Fatfs 移植 ... 移植中, 撰寫開讀檔案中
2012 10 29 - 2012 10 30	四元數 ... 理解中
2012 11 01 - 2012 11 01	四元數 ... 理解中
2012 11 09 - 2012 11 11	座標系統 尤拉角 四元數 ...理解中
2012 11 12 - 2012 11 23	期中考準備&期中考週
2012 11 24 - 2012 11 24	座標系統 尤拉角 四元數 ... 理解中
2012 11 26 - 2012 11 30	重新建立姿態系統 & 四元數推導及應用 ... 建立中
2012 12 03 - 2012 12 04	重新建立姿態系統 & 四元數推導及應用 ... 建立中
2012 12 19 - 2012 12 19	重新建立姿態系統 & 四元數推導及應用 ... 建立中
2012 12 28 - 2012 12 29	重新建立姿態系統 & 四元數推導及應用 ... 建立中
2013 01 04 - 2013 01 04	四元數推導及應用 ... 推導中
2013 01 07 - 2013 01 08	四元數推導及程式撰寫 ... 完成, 目前尚未作近似, 還是直接使用三角函數
2013 01 07 - 2013 01 18	期末考準備&期中考週
2013 01 21 - 2013 01 31	使用 Mathematica 做四元數推導及證明 ... 完成
2013 02 01 - 2013 02 02	STM32F405RG 雙面板製作 ... 完成, 測試 OK
2013 02 12 - 2013 02 14	程式碼優化, 將 double 改為 float, 三角函數改為 sinf / cosf / atan2f ... 優化中
2013 02 13 - 2013 02 14	直接在四元數中做資料校正 ... 加速度計撰寫完畢, 待測試
2013 02 14 - 2013 02 14	STM32F4 DSPv1.1 程式更新 ... 更新完畢, sinf / cosf / atan2f 運算效率提高
2013 02 15 - 2013 02 15	直接在四元數中做資料校正 ... 融合加速度, 無馬達測試成功, 誤差約+-0.01 度
2013 02 17 - 2013 02 17	四元數馬達震動測試 ... 目前誤差約+-5 度, 還須調整 PID
2013 02 21 - 2013 02 22	加入 PID 程式做平衡 ... 需調整 PID
2013 02 25 - 2013 02 25	調整 PID ... 調整中
2013 02 26 - 2013 02 26	STM32F407ZG 雙面板製作 ... 完成, 測試 OK
2013 02 28 - 2013 02 28	建立單軸平衡實驗 ... 完成, 使用 PD 做平衡, 小角度可以平衡, 角度太大則無法平衡
2013 02 28 - 2013 02 28	四軸飛行器第一次試飛 ... 可以飛起不落地, 但飛行器很容易歪掉(傾斜), 導致不易控制及亂飛
2013 03 03 - 2013 03 06	四軸 PID 調整 ... 調整中, 嘗試加入 I 參數
2013 03 06 - 2013 03 06	整理四軸飛行器研究資料&製作 PPT ... 整理中
2013 03 07 - 2013 03 07	找老師 MEETING_4
2013 03 11 - 2013 03 11	電子羅盤校正 ... 簡易校正完成, 目前將數據視為圓形, 做原點校正
2013 03 12 - 2013 03 15	加入 Yaw 來調整 PID ... 調整中
2013 03 16 - 2013 03 22	PCB Layout ... Layout 中
2013 03 26 - 2013 03 26	加速度計校正 ... 飄移校正完畢
2013 03 27 - 2013 03 27	電子羅盤校正 ... 電子羅盤校正中, 了解最小平方法

[illegible]

* 實驗設計

單軸平衡實驗(PD 調整)：

- 方法：
1. 固定對角兩顆馬達，此時對固定軸旋轉，理想上 Pitch 的變化會等於 Roll 的變化
 2. 建立 U 字形平台，並將固定軸放置其上 U 上兩端，此時推動四軸飛行器，應該可以自由旋轉
 3. 開啟四軸即可調整 PID 看結果

- 調整：
1. 啟動馬達，讓螺旋槳可以正常旋轉
 2. 先加 P 值，直至飛行器開始震盪
 3. 在加 D 值，直至可以抑制飛行器震盪
 4. 反覆整 PD，直至找到適合區間
 5. 外加力量轉動四飛行器，並重複步驟 2-4

結果：小角度可以平衡收斂，但角度大時震盪容易發散

- 討論：
1. 由於被固定兩軸，導致對固定軸旋轉時，Pitch 的變化會與 Roll 的變化並不相等，進而使飛行器無法平衡
 2. 校正 SENSOR 時，並沒辦法把資料校正至零，導致初始姿態本身就有問題(影響似乎不大?)
 3. 震動造成角度不精確，PID 依此誤差角度去做校正，進而得到錯誤平衡點

* 試飛狀況：

第一次試飛：

地點：中原大學 活動中心 2F 廣場

時間：2013/02/28 PM9:20 ~ PM9:30

參數： $K_p = 4.8$, $K_i = 0$, $K_d = 1.2$

結果：可以飛起不落地，但飛行器很容易歪掉(傾斜)，導致不易控制及亂飛

- 討論：
1. 飛行器傾斜可能原因
 - __初始化不正確，導致飛行器 0 度角與水平面並非重合
 - __機體震盪導致計算出角度會有誤差，輸入至 PID 後即產生錯誤的控制訊號，可藉由改善濾波效果來解決問題
 - __PID 不完善，還需要調整，可以試著加入 I 值
 - __遙控器送出角度有誤差，角度由遙控器的類比搖桿控制，搖桿需在校正&濾波
 2. 控制方法需再改良
 - __藉由此次試飛發現傾斜小角度時，飛行器即會移動，角度太大容易翻覆，故應改變控制刻度，大約+-40 度，甚至更小

***遇到問題(已解決):**

Q1. 100Pin 的 STM32 列印不清楚, 容易洗壞

→到影印部印(最靠近外面的電腦), 效果很好

Q2. STM32 I2C 一直無法讀取出模組資料

→發現是因為實驗板上的 EEPROM(AT24C02)影響, 當讀取資料時, 會受到 EEPROM 的資料下拉, 導致讀出來的資訊有問題,將 EEPROM 每個位置重新寫入 FF, 即解決此問題

Q3. I2C 讀取的部分模組資訊錯誤

→改用 DMA 則剩加速度已有此問題, 原本程式問題尚未解決

Q4. I2C 讀取加入中斷即會卡在 while 裡

→ST 官方解決方法:改用 DMA+中斷讀取, 套用其方法即解決

Q5. 計時中斷時間不準確, 有嚴重延遲, 可能是 I2C 造成

→並非 I2C 造成(應該還是有影響), 計時中斷 TIM 週期需要做設定, 若無設定即關閉, 會不準確是因為前面的 TIM 做的週期設定保留至當前

Q6. 超音波輸入, 設定 ECHO 腳位(PB5 & PB8,9)時會使 USART 停止運作, 換成 PC1 即正常

→改成外部中斷(PB9)後, 問題就神奇的消失了 (原本是使用計時中斷讀取 I/O 做判斷)

Q7. STM32 的 SysTick 無法啟動

→啟動文件(.s 檔)設定的中斷函數為 SysTick_Handler, 但使用的則是 SysTickHandler, 造成無法進入中斷, 修改後即可正常工作

Q8. 程式運行時間太久(約 75ms),發射(17ms)→接收(14ms)→I2C(1.4ms)→CTR(26ms)L→USART(10us), 其他的時間??

→預計解決方法: 發射&接收 減少傳輸資料, 試使用 DMA 做傳輸

I2C 減少切換模組間的 Delay

CTR 不使用按鍵控制, 改成依事件(指令)控制(Ex. 傳送前進或後退訊號 ...)

Q9. SysTick 延遲時間不精確

→後來證實 RCC 時鐘初始化設定錯誤, 改成使用官方的初始化程式即正常

Q10. I2C 定時取樣(積分樣本)實現?

→使用 SysTick 來實現, 可達到 400Hz 的取樣頻率, 可嘗試使用計時中斷

Q11. 無線傳輸會干擾 I2C 取樣中斷

→發現 STM32F103RD 中使用 union 與 bit field 後造成 SysTick 中斷時間不準確, 除去結構後即正常

Q13. 啟動馬達時, 造成結構振動, 使數據會有誤差, 約正負 6 度

- 1. 改善結構, 加強結構硬度
- 2. 更換較大螺旋槳, 因為較大螺旋槳轉速較慢, 震動會較小
- 3. 加上吸震材質物體在陀螺儀或飛控板周圍

Q14. LSM303DLH 的加速度計無法正常讀取

→看完 datasheet 後, 需要連續讀取, 暫存器地址的 MSB 必須為 1

Q15. STM32F405RGT 必須去掉 BOOT0 才可燒錄，而且 IC 會發熱

→設定到 JTAG 的 IO，導致短路&無法燒錄之問題，關閉 JTAGIO 的輸出後即正常，但 STM32F1 卻無此問題...

Q16. 使用 TFT 的示波器功能時，沒有無線傳輸時正常，使用無線傳輸時會卡在 SPI 傳輸裡

→在 USART 狀態裡的 switch 加入與電腦的 USART 即正常(之前因為 Sensor 都有加，所以正常)，初步判斷應該是需要延遲時間(跑太快?)

Q17. 電子羅盤偵測地磁之校正

→ 使用橢圓擬合，校正至原點，再還原成圓形

Q18. 目前 AHRS 計算初始化加入後，會導致程式無法正常進行，原因尚待查明

→可能是使用到程式優化功能，是部分變數被優化掉

*遇到問題(未解決)：

Q1 加速度計使用 KEILC MATH.h 內的 atan2(x, z)時，X 軸以 Y 軸為轉軸旋轉，當轉到 Z→0 時，Y 軸角度會急遽上升？

→ 目前確定當 Y 很小時，Z 趨近 Y 時會產生角度問題，目前暫定以查表方式解決

Q2 使用 ADC 時，改變 X 可變電阻會影響到 Y 可變電阻讀到的電壓，左右邊皆相同？

→ 檢查結果為”搖桿傾斜”&”ADC 會互相影響”，待思考解決方法

Q3 PID 參數確定之實驗設計&確定方式

→ 待思考

Q5 數據濾波如何降低？目前震動造成誤差+/-3 度，改善至+/-0.5 度

→ 目前先試高低通濾波+互補濾波，不行在試卡爾曼和四元數

***待做事項：**

1. Sensor 資料濾波
2. atan2 角度問題解決
3. 減震設計
4. PID 參數確定
5. 程式優化
6. 連續無線傳輸撰寫(為做影像傳輸, GPS, 氣壓計...)
7. 測試無線傳輸之距離與障礙物
8. 加入其他功能(EX GPS, SD Card, 氣壓計, 攝像, SPI 的 FLASH)
9. 觸控資料轉換至 TFT&濾波
10. 電子羅盤資料轉換(轉換角度)
11. 飛控版 V3 製作
12. TFT 顯示設計&優化
 - _CTRL 介面設計
 - 目前功能：馬達比例, 連線狀況, 運作模式(目前僅圖示), 運行時間, 電池電量(目前僅圖示)
 - 待加功能：水平儀, 羅盤, 溫度計, 氣壓計, 高度計
 - _WAVE 介面設計
 - 目前功能：可以顯示飛行器回傳之波形, 設有 SIN/COS 波的 DEMO
 - 待加功能：
 - _AHRS 介面設計
 - 目前功能：以兩條線表示 x / y 軸傾斜
 - 待加功能：加入飛機圖示(模擬飛機姿態), 3D 顯示(含水平旋轉)
 - _GPS 介面設計
 - 待加功能：GPS 座標結合地圖(地圖須從 SDCard 讀取)
 - _IMAGE 介面設計
 - 待加功能：顯示 OV7670 影像
13. 預計多採購一顆電池 11.1V 2200mAh 25C