



嶺東科技大學  
LING TUNG UNIVERSITY

資訊管理系

## 實務專題期末報告書

# 空拍機運動精準度分析與比較

指導教授：張志華 教授

組員名單：林尚賢 A48C024

曾裕元 A48C090

中華民國一〇八年五月

嶺東科技大學

資訊管理系

空拍機運動程精準度分析與比較

中華民國一〇八年五月



嶺東科技大學  
LING TUNG UNIVERSITY

---

資訊管理系專題口試委員審定書

空拍機運動精準度分析與比較

指導教授： 張志華 教授

組員名單： 林尚賢 A48C024

曾裕元 A48C090

指導教授： \_\_\_\_\_

口試委員： \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

中華民國一〇八年五月一日

# 謝 誌

在本專題報告完成之際，首先要感謝我們的專題指導教授 張志華教授，感謝張教授在專題期間所提供的一些知識與建議並在課餘時間教導我們專題相關知識，讓我們可以順利完成本專題報告，此外更要特別感謝 陳志明教授與 林孟源教授在口試時的建議與指點，為我們點出哪裡不足以及該修改的部分，細心審視本專題的書面資料，感謝各位教授們的教導，讓我們在這段學習過程中受益良多，使此專題報告能更臻完整，謹此以最深之謝忱，提攜勉勵之情，此生永難忘懷。

曾裕元

謹誌

林尚賢

中華民國一〇八年五月於嶺東

# 摘要

近來四軸飛行器在無人機領域獲得了新生。隨著智慧型手機的普及，帶動電子陀螺儀、GPS、電傳飛行控制系統的發展，並以油門響應速度快速的電動機作為動力系統，克服了四軸飛行器的主要缺點。現今之四軸飛行器飛行穩定，操控靈活，可以在戶內和戶外使用。和直升機相比，它有許多優點：它的旋翼角度固定，結構簡單，每個旋翼的葉片比較短，葉片末端的線速度慢，發生碰撞時衝擊力小，不容易損壞，使用上較安全。此外，有些小型四軸飛行器的旋翼有外框，可避免碰撞。

本專題以知名品牌 DJI 大疆公司所發行的 Tello 及 PHANTOM3 空拍機進行研究。以 Tello 的程式編輯來展現空拍機的特性，而用 PHANTOM3 以內建 GPS 來分析此空拍機的特性。本專題 Tello 空拍機程式將運用 Scratch 程式編寫，而 PHANTOM3 則運用 GPS 控制，製作成果將展現兩台的物流精準度測試：本研究分別利用程式編輯及 GPS 來研究比較兩款空拍機的控制精準及特性。

關鍵字: Tello 空拍機、PHANTOM3 空拍機、飛行控制。

# 目錄

摘要 .....	I
目錄 .....	II
圖目錄 .....	IV
表目錄 .....	VI
第一章 緒論 .....	1
1.1 研究動機 .....	1
1.2 研究目的 .....	1
第二章 文獻回顧與探討 .....	2
2.1 空拍機起源 .....	2
2.2 四軸飛行器原理 .....	2
2.2.1 四軸空拍機平衡與飛行原理 .....	2
2.2.2 飛行模式：垂直升降 .....	3
2.2.3 飛行模式：水平移動 .....	3
2.2.4 飛行模式：旋轉 .....	4
2.2.5 飛行模式：翻滾 .....	5
2.3 空拍機分類 .....	5
2.3.1 空拍機應用 .....	6
2.3.2 Tello 空拍機與其他類似機型比較 .....	7
2.4 空拍機發展趨向 .....	8
2.4.1 物流運輸 .....	8
2.4.2 活動管制 .....	9
2.4.3 農藥噴灑 .....	10
第三章 研究方法 .....	11
3.1 研究工具 .....	11
3.2 研究步驟流程圖 .....	11
3.2.1 Tello 安裝步驟 .....	11
3.2.2 PHANTOM3 操作介面 .....	14
3.3 研究流程 .....	16
3.3.1 Tello 測試流程 .....	16
3.3.2 PHANTOM3 測試流程 .....	17
3.4 程式碼測試 .....	17
3.5 Tello 與 PHANTOM3 的比較 .....	18
3.5.1 空拍機裝置連接示意圖 .....	18
3.5.2 Tello 與 PHANTOM3 比較表 .....	19
3.6 研究進度甘特圖 .....	21
第四章 結果與討論 .....	22
4.1 Tello 室內外水平與高度測試 .....	22
4.1.1 Tello 室內水平移動測試 .....	22
4.1.2 Tello 室內高度測試 .....	23
4.1.3 Tello 室外水平移動測試 .....	24
4.1.4 Tello 室外高度測試 .....	25
4.1.5 Tello 室外水平測試時的環境說明 .....	25

4.2 Tello 室內外水平與高度載重測試.....	27
4.2.1 Tello 室內載物水平飛行測試.....	27
4.2.3 Tello 室內載物垂直飛行測試.....	28
4.2.3 Tello 室外載物水平飛行測試.....	29
4.2.4 Tello 室外載物垂直飛行測試.....	30
4.2.5 Tello 室外垂直測試時的環境說明.....	31
4.2.5 Tello 室內外有無載重平均水平位移.....	33
4.2.6 Tello 室內外有無載重平均垂直位移.....	34
4.3 PHANTOM3 降落落差測試.....	35
4.3.1 PHANTOM3 固定距離降落落差.....	36
4.3.2 PHANTOM3 固定距離載重降落落差.....	36
4.3.3 PHANTOM3 測試時的環境說明.....	37
第五章 結論與建議.....	40
參考文獻.....	41

# 圖目錄

圖 1. 四軸開拍機飛行原理 .....	3
圖 2. 上升 .....	3
圖 3. 移動.....	4
圖 4. 旋轉 .....	4
圖 5. 翻滾.....	5
圖 6. 空拍機應用範圍 .....	7
圖 7. 物流運輸 .....	9
圖 8. 血清運送 .....	9
圖 9. 2018 台中世界花博博覽會空拍機活動管制.....	10
圖 10. 農藥噴灑 .....	10
圖 11. TELLO 研究步驟流程 .....	12
圖 12. 安裝所需軟體 .....	12
圖 13. 安裝 NODE.JS .....	12
圖 14. TELLO SCRATCH 支援程式 .....	13
圖 15. 啟用 TELLO SERVER 成功 .....	13
圖 16. DJI PILOT 主畫面.....	14
圖 17 DJI PILOT 飛控參數設置(1).....	14
圖 18. DJI PILOT 飛控參數設置(2).....	15
圖 19. DJI PILOT 返航點設定(1).....	15
圖 20. DJI PILOT 返航點設定(2).....	16
圖 21. TELLO 流程圖 .....	16
圖 22. PHANTOM3 流程圖 .....	17
圖 23. 程式碼水平移動 .....	18
圖 24. 程式碼垂直移動 .....	18
圖 25. TELLO 示意圖 .....	19
圖 26. PHANTOM3 示意圖 .....	19
圖 27. 甘特圖 .....	21
圖 28. TELLO 室內水平測試 .....	22
圖 29. TELLO 室內高度測試 .....	23
圖 30. TELLO 室外水平測試 .....	24
圖 31. TELLO 室外高度測試 .....	25
圖 32A. TELLO 測試地點圖 .....	26
圖 32B. TELLO 測試地點圖(局部放大).....	26
圖 32C. 測站位置 .....	27
圖 33. 測試風速(1).....	27
圖 34. TELLO 室內載重水平測試 .....	28
圖 35. TELLO 室內載重高度測試 .....	29
圖 36. TELLO 室外載重水平測試 .....	30
圖 37. TELLO 室外載重高度測試 .....	31
圖 38A. TELLO 測試地點圖 .....	32
圖 38B. TELLO 測試地點圖(局部放大).....	32
圖 38C. 測站位置 .....	32
圖 39. 測試風速(2).....	33



圖 40. 測試風速(3).....	33
圖 41. TELLO 平均水平位移 .....	34
圖 42. TELLO 載重平均水平位移 .....	34
圖 43. TELLO 平均垂直位移 .....	35
圖 44. TELLO 載重平均垂直位移 .....	35
圖 45. PHANTOM3 降落距離差 .....	36
圖 46. PHANTOM3 載重降落距離差 .....	37
圖 47A. PHANTOM3 測試地點圖 .....	38
圖 47B. PHANTOM3 測試地點圖(局部放大).....	38
圖 47C. 測站位置 .....	39
圖 48. 測試風速(4).....	39
圖 49. 測試風速(5).....	39

## 表目錄

表 1. 多軸空拍機分類 .....	5
表 2. Tello 與其他類似機型比較 .....	7
表 3. 研究工具 .....	11
表 4. Tello 與 PHANTOM3 比較表 .....	19
表 5. Tello 室內水平飛行數據分析 .....	22
表 6. Tello 室內高度測試數據 .....	23
表 7. Tello 室外水平飛行數據誤差 .....	24
表 8. Tello 室外高度測試數據 .....	25
表 9. Tello 室內載物水平飛行數據 .....	27
表 10. Tello 室內載物垂直飛行數據 .....	28
表 11. Tello 室外載物水平飛行數據 .....	29
表 12. Tello 室外載物垂直飛行數據 .....	30
表 13. Tello 室內外有無載重水平位移數據 .....	33
表 14. Tello 室內外有無載重垂直位移數據 .....	34
表 15. PHANTOM3 降落差 .....	36
表 16. PHANTOM3 載重降落差 .....	36

# 第一章 緒論

## 1.1 研究動機

近幾年來越來越多的公司使用空拍機進行運送工作，像是亞馬遜公司最近在英國首航用空拍機載取貨物進行物流，而且飛行航程時間短就能送達訂戶家門，讓物流不僅僅只能使用人力運送而且還能縮短時間。空拍機有許多應用，項物流運送、監控環境等等，可以即時蒐集到各方面的資料與應用，讓原本因地理因素限制的地方，可增添許多便利。

## 1.2 研究目的

本文使用 Tello 及 PHANTOM3 兩款空拍機的精準度特性來進行研究。Tello 空拍機的主要使用 Scratch 編寫程式進行研究；PHANTOM3 雖然體積大，但是它裡面搭載了 GPS 功能，所以我們要研究兩者分別使用程式和 GPS 哪個較為精準以及誤差值。

空拍機即使有許多用法，像物流運送、監控環境等等，可以更加即時蒐集到各方面的資料與應用，讓原本因地理因素受限制的地方，可享有更多的便利。

## 第二章 文獻回顧與探討

### 2.1 空拍機起源

人機最初源自第一、二次世界大戰的軍事科技。當時，由於電子技術還未完善，無人機不能進行太複雜的任務，只能當練習用的靶機。但在二次大戰後，美國開始大量使用無人機做為偵察機，以極高速度來迴避難以進行空戰的難題。

後來，在電子技術不斷發展下，美國在 21 世紀初參與的中東戰爭，開始大量讓無人機執行攻擊任務最大原因是軍方要讓「人類」毋須直接進入戰場，減低空軍的傷亡率、也能讓操控者更冷靜的進行極危險的任務，所以軍方需要遠距離遙控無人機進入戰場。但到目前為止，美國所大量使用的無人機在執行攻擊任務時，仍然需要有真正的空軍機師操作，最大分別只是不需要親身上戰場而已[5]。

### 2.2 四軸飛行器原理

四軸飛行器又稱四旋翼、四轉子，是一種多軸飛行器，有四個旋翼來懸停、維持姿態及平飛。和固定翼飛機不同，它通過旋翼提供的推力使飛機升空。它的四個旋翼大小相同，分布位置接近對稱。對於簡單的設計來說，僅僅通過調整不同旋翼之間的相對速度來調節不同位置的推力，並克服每個旋翼之間的反扭力矩，就可以控制飛機維持姿態、或完成各種機動飛行。這一點和直升機不同，常見的直升機有兩個旋翼，尾槳的扭矩只到抵消主旋翼產生的扭矩，控制飛機偏航運動的功能[1]。

#### 2.2.1 四軸空拍機平衡與飛行原理

如圖 1，四軸空拍機運用了四個大小長寬度完全相同的螺旋槳，每一個槳與對向的槳相互對應，兩組槳分為順槳與逆槳。兩組槳形成的氣流使四軸空拍機達到平衡機身的效果，每個槳的轉速變化即可控制機身升降與移動目的。

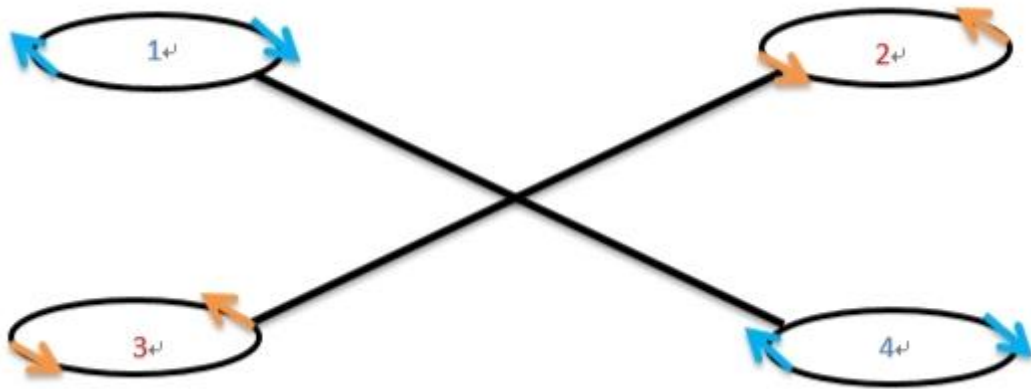


圖 1. 四軸開拍機飛行原理

### 2.2.2 飛行模式：垂直升降

如圖 2，以上升為例，增加四個螺旋槳的輸出功率，當產生的總拉力克服體重量時就會垂直上升。下降則需降低四個螺旋槳的功率，當產生的總拉力小於體重量時就會垂直下降。但螺旋槳不能停止或旋轉過慢以防下降速度過快，因而墜落使空拍機受損[4]。

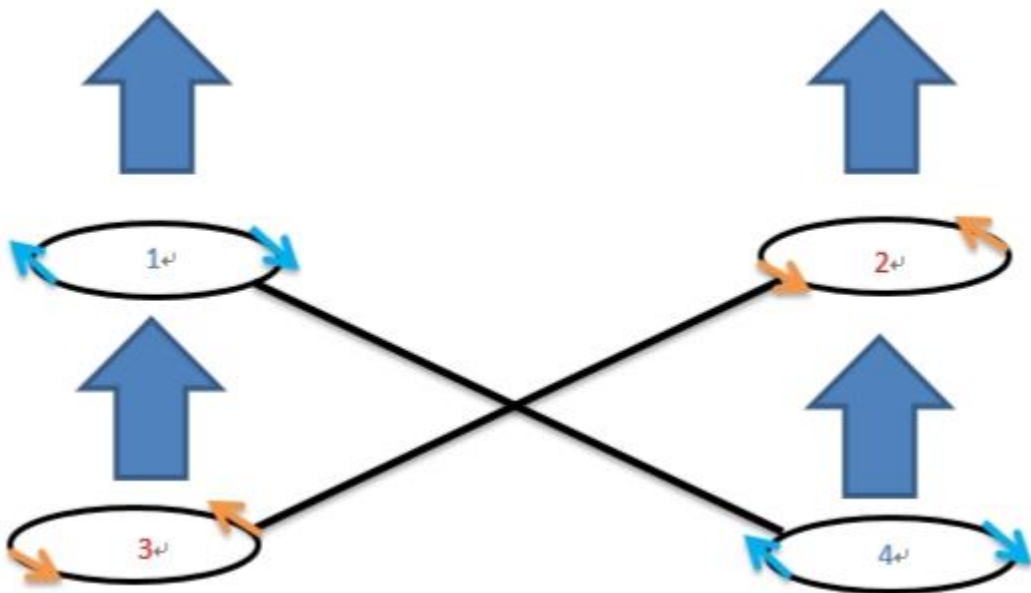


圖 2. 上升

### 2.2.3 飛行模式：水平移動

如圖 3，增加三號與四號螺旋槳功率，減少一號與二號螺旋槳功率。當空拍機產生一定程度的傾斜，而使螺旋槳拉力產生水平分量，就可產生水平

移動，其他方向同理。但傾斜程度不可過大，如果傾斜過大飛行器 會產生翻轉的現象，亦可能墜毀[4]。

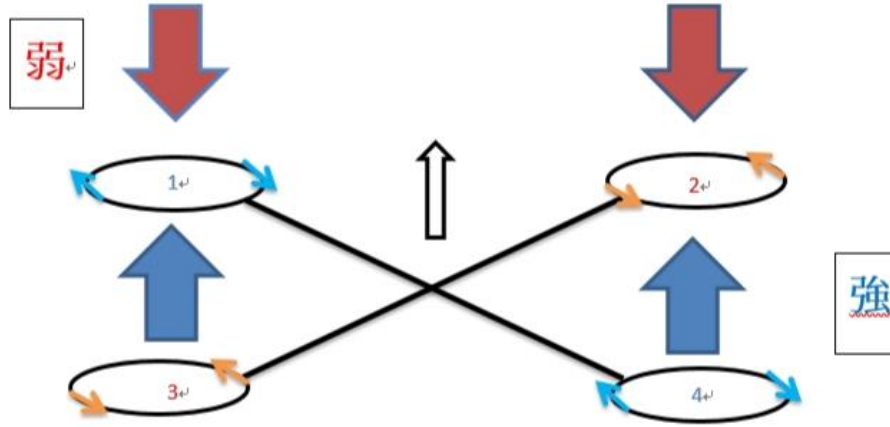


圖 3. 移動

#### 2.2.4 飛行模式：旋轉

四軸空拍機產生原地旋轉，原理取決於轉動順槳或逆槳。若空拍機要產生順時針旋轉，順槳功率須增加，則逆槳維持功率不變，即可產生順時針旋轉。反之，若空拍機要產生逆時針旋轉，順槳功率維持不變，則逆槳功率須增加，即可產生逆時針旋轉。

如圖 4，空拍機產生逆時針旋轉，需增加二號槳和三號槳功率，則一號槳和四號槳功率不變[4]。

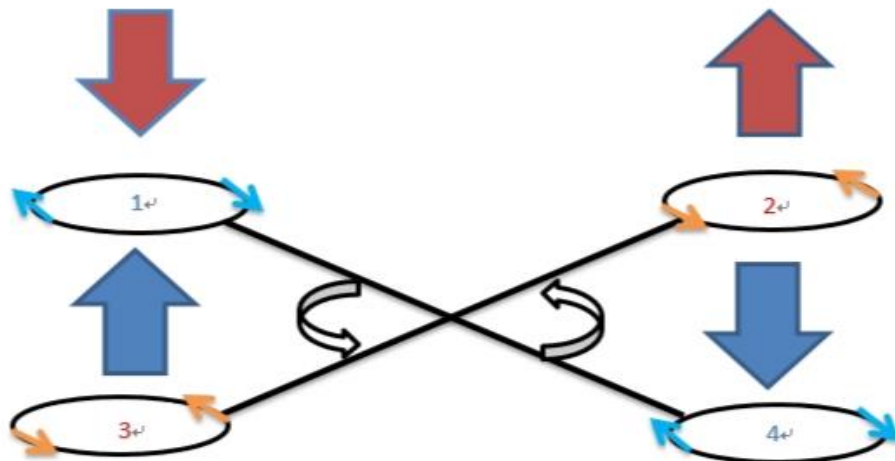


圖 4. 旋轉

### 2.2.5 飛行模式：翻滾

如圖 5，減少一號與二號螺旋槳功率，增加三號四號螺旋槳功率，使空拍機三百六十度翻轉。當空拍機翻回正面，減少一號與二號螺旋槳功率，增加三號四號螺旋槳功率，則使空拍機回到平衡點[4]。

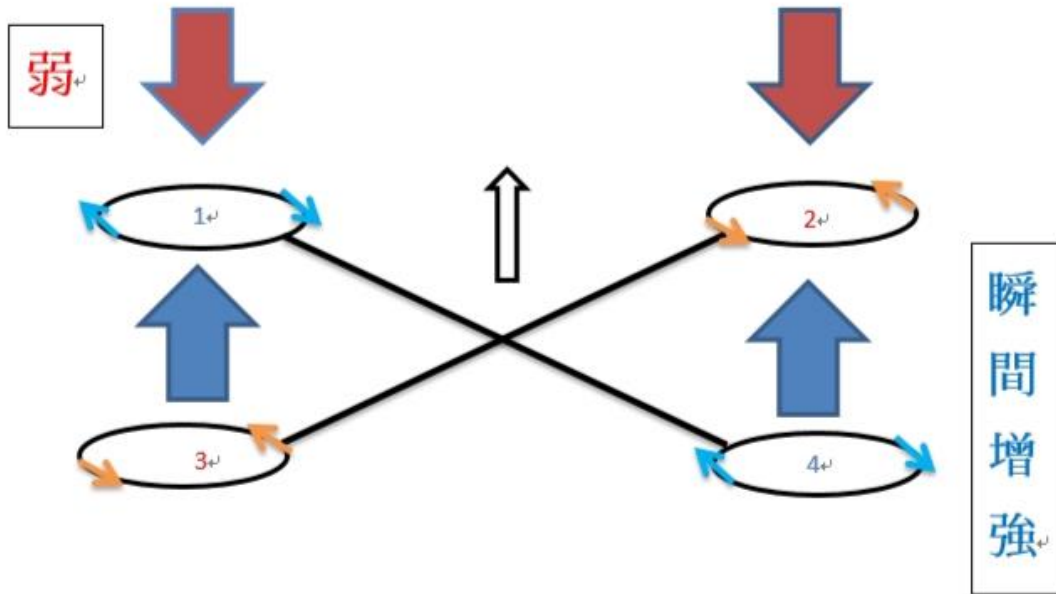


圖 5. 翻滾

### 2.3 空拍機分類

我們以最常見的單旋翼與多旋翼空拍機作為分類，如表 1 所列，其說明各性能之比較。本研究之 Tello 為四軸多旋翼。由表可知其優點為機動性較佳、操作難易較容易上手；缺點為續航力較為不足。

表 1. 多軸空拍機分類

	單旋翼	多旋翼(4、6、8 軸等等)
圖示		
載重	較大	較小

機動性	強	強
跑道	無	無
操作難易	困難	容易上手
速度	較慢	較快
平衡度	較難掌握	較容易掌握
續航力	小	小
抗風性	較差	較好
場地限制	無	無

### 2.3.1 空拍機應用

空拍機的應用非常的廣泛，除了一般的拍照外，還可以有很多的用途，像是提供 Wi-Fi 無線網路利用無人機對無人機，或飛行器對飛行器的通信方式，向災區提供 Wi-Fi；或者是應用在急救方面，例如曾應用在心臟病患者，當他們心血管疾病病發倒地，旁人不知所措的時候，無人機將帶著急救用的藥物、裝備，飛到老人身邊，方便別人進行急救。其他像是環境拍攝、產業應用、軍事應用及監測應用；如圖 6. 環境拍攝可分為建設拍攝及活動攝影；產業應用有農藥噴灑、宅配運送及及時直播；軍事用途可分為戰場地勘及投擲武器，而監測應用有交通監測、山坡監測及災害勘查 [6]。



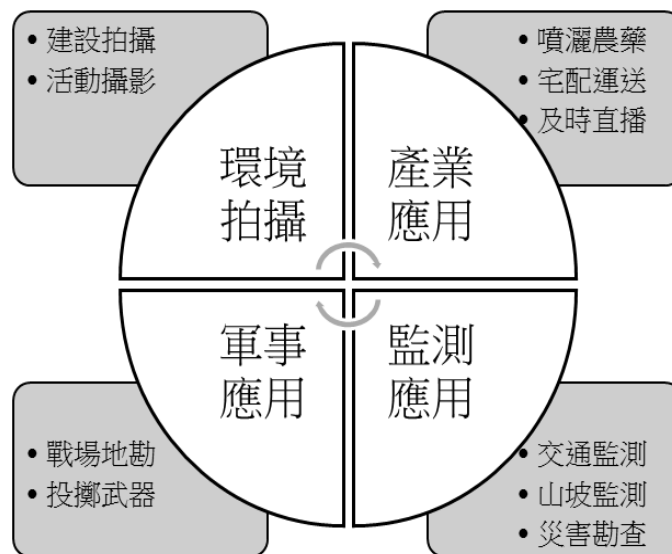




圖 6. 空拍機應用範圍

### 2.3.2 Tello 空拍機與其他類似機型比較

Tello 空拍機雖然體積比較小，但是比起其他的機型卻比較穩定，而且其他的空拍機沒有像 Tello 擁有寫入程式的功能，Tello 空拍機的功能不再只有拍照而已。表 2 則分析 Tello 與 IDAF1 的比較差異。

表 2. Tello 與其他類似機型比較

	Tello	IDA F1
圖示		
鏡頭畫素	500 萬畫素	200 萬畫素
錄影畫素	720P	720P
可飛行時間	13 分鐘	8 分鐘

圖傳距離	100m	50m
重量	80g	80g
程式編輯	Intel 處理器可編輯	
摺疊		可折疊
護槳	有	

## 2.4 空拍機發展趨向

目前空拍機的發展越來越快速，從原本單純的空拍功能漸漸地開始往各產業發展，各家廠商應市場需求也開始逐漸突破空拍機原有的限制，如續航時間、傳輸距離與掛載負重限制等等。

### 2.4.1 物流運輸

近年來因空拍機的盛行，物流業者為了擴展偏鄉地區的市場，往往因為交通不便與耗時，造成廠商與民眾不便，促使了空拍機開始改造成可運載貨物的載具。大大縮減了人力與交通時間，更保障了原有的運送人員交通安全問題[9]。

目前因為我國的法規未有建立明確的法令規範，使各家廠商都對於空拍機宅配都還沒有任何發展。許多先進國家的廠商都已開始實施空拍機宅配(圖 7)，如美國、日本、中國[9]。而國內運用空拍機只用在醫療方面，近年就在阿里山運送血清到偏遠的地區(圖 8)，讓本來需要一小時路程縮短至十分鐘，而且載著郵件的無人機也成功克服山區地形障礙，送達到目的地[10]。



這時無人機克服地形的優勢  
讓它在市場上的運用日趨成熟

圖 7. 物流運輸



圖 8. 血清運送

#### 2.4.2 活動管制

近年活動規模逐年擴大，管理階層人員產生不足的現象，常造成動線塞車與碰撞意外。主辦廠商因此運用空拍機高空攝影掌握即時人群狀況，好即時因應各種突發狀況[11]。

如 2018 台中世界花博博覽會，工研院研發空中警車與台中市警局合作，生產出「空中警車」。空中警車，它突破原有各家廠商的續航力限制，從原



本短短的三十分鐘，大大的突破到六小時，使員警可以運用空中警車可以關切到場地維安與動線(如圖 9)，促使活動可以順利進行[11]。



圖 9. 2018 台中世界花博博覽會空拍機活動管制

### 2.4.3 農藥噴灑

在宜蘭，冬山鄉青年茶農游正福也看上了無人機技術，近日與青年稻農林子欽合作，在自家茶園測試以無人機噴灑液肥(圖 10)，農民只需從遠端監控施肥範圍。他解釋，茶園多位處山坡，不利使用機具噴肥，故每到施肥階段，茶農都需要請人施肥，人力成本重。然而無人機的出現成為了茶農的好消息。農用無人機可負載約 7.5 公升液態肥料，電腦軟件可根據施肥面積換算液肥所需數量，再由 GPS 定位無人機定時、定量自動飛行噴灑[12]。





圖 10. 農藥噴灑

## 第三章 研究方法

### 3.1 研究工具

如表 3，我們的軟體部分使用了 Scratch 及 DJI Pilot app，硬體部份我們使用 Tello 空拍機及 PHANTOM3 空拍機。

表3. 研究工具

軟體	硬體
<p data-bbox="438 723 539 752">Scratch</p>  <p data-bbox="403 949 576 978">DJI Pilot app</p> 	<p data-bbox="954 723 1126 752">Tello 空拍機</p>  <p data-bbox="898 1010 1179 1039">PHANTOM 3 空拍機</p> 

### 3.2 研究步驟流程圖

以下是我們 Tello 空拍機的安裝步驟及 PHANTOM3 空拍機的介面介紹。

#### 3.2.1 Tello 安裝步驟

如圖 11.為 Tello 安裝步驟流程

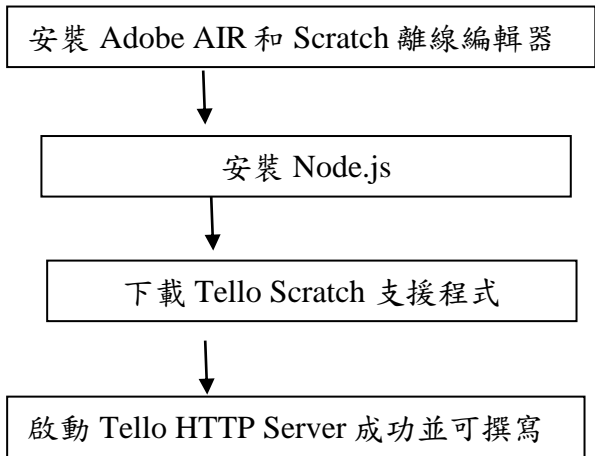


圖 11. Tello 研究步驟流程

步驟一 安裝 Adobe AIR 和 Scratch 離線編輯器[8]



圖 12. 安裝所需軟體

步驟二 安裝 Node.js[8]



圖 13. 安裝 Node.js

### 步驟三 下載 Tello Scratch 支援程式[8]

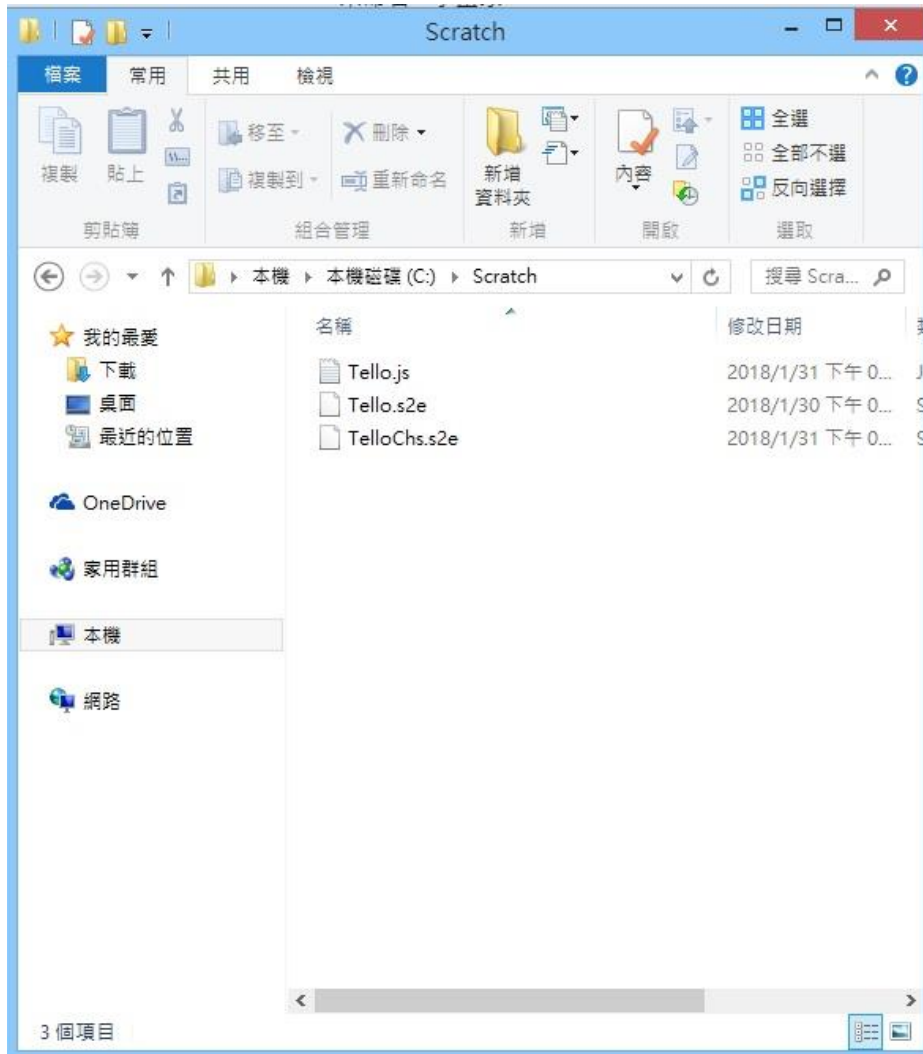


圖 14. Tello Scratch 支援程式

### 步驟四 啟動 Tello HTTP Server 成功並可撰寫[8]

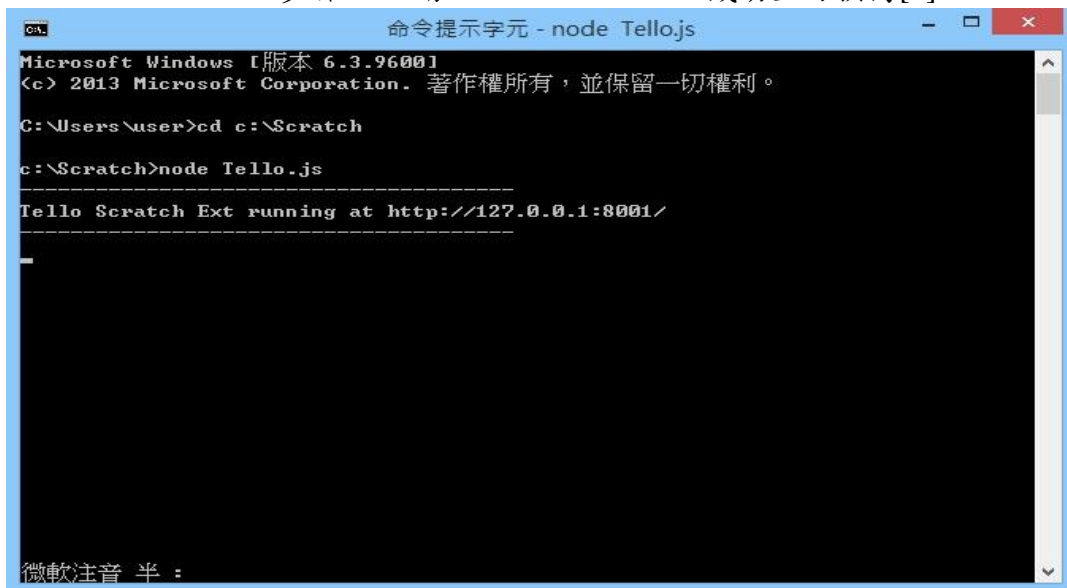


圖 15. 啟用 Tello Server 成功

### 3.2.2 PHANTOM3 操作介面

PHANTOM 3 是使用 DJI 公司所設計的 DJI Pilot app 所操作，以下是 app 裡的設定介面。圖 16 為 DJI Pilot 主畫面，畫面中指出的「1」按下則呈現如圖 17。圖 18 的介面，「2」為空拍機現在位置。圖 17 介面之「4」為新手可使用模式，「5」為設定限高限遠。

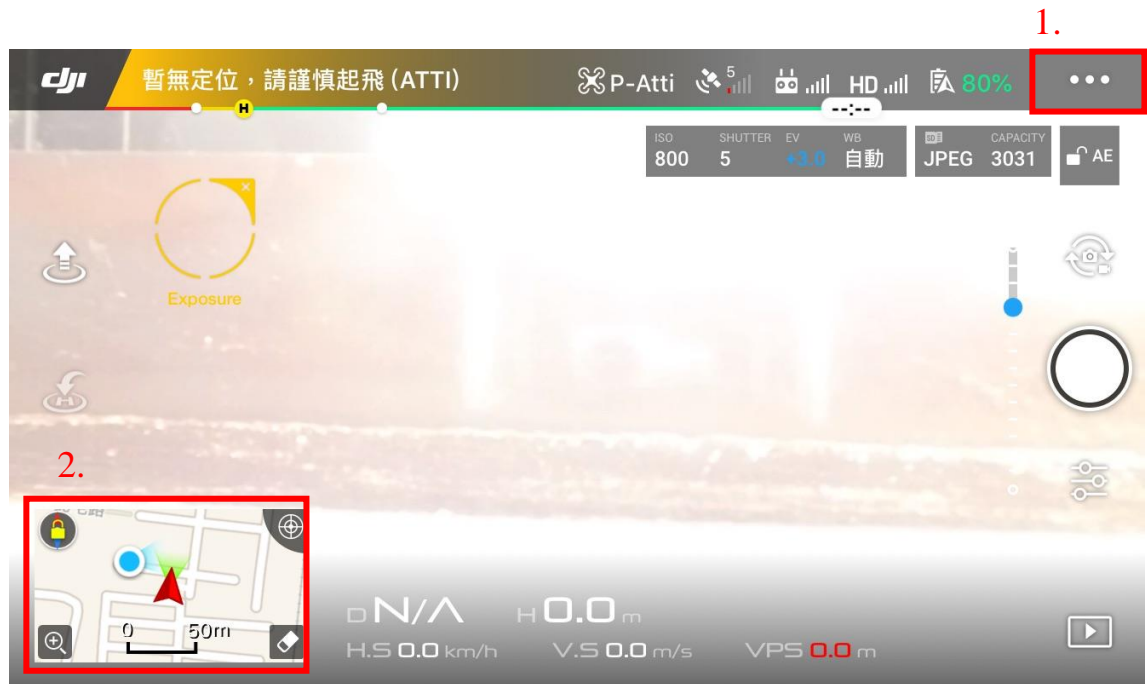


圖 16. DJI Pilot 主畫面

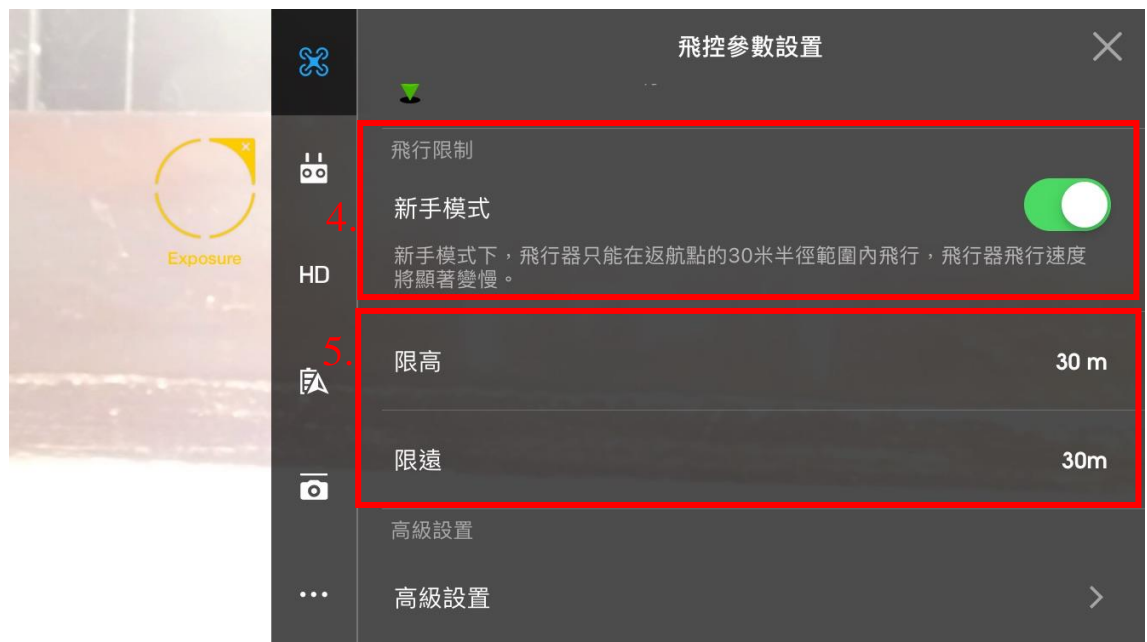


圖 17 DJI Pilot 飛控參數設置(1)



圖 18 介面之「6」按下後則顯示圖 19 為設飛機為返航點，「7」按下後則顯示圖 20 為設遙控器為返航點。

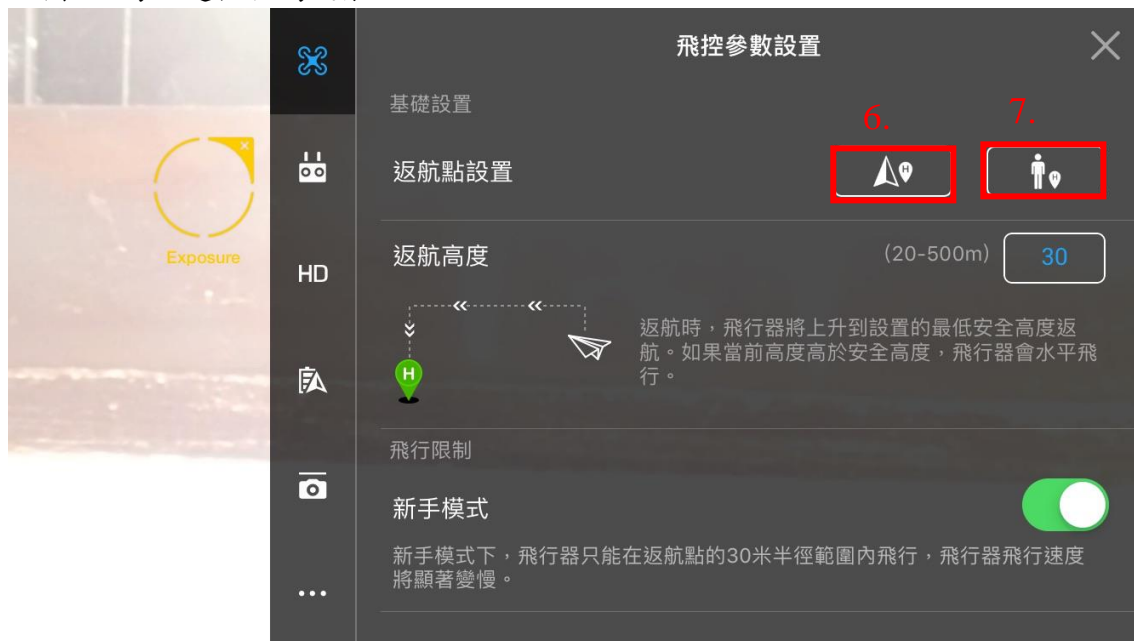


圖 18. DJI Pilot 飛控參數設置(2)

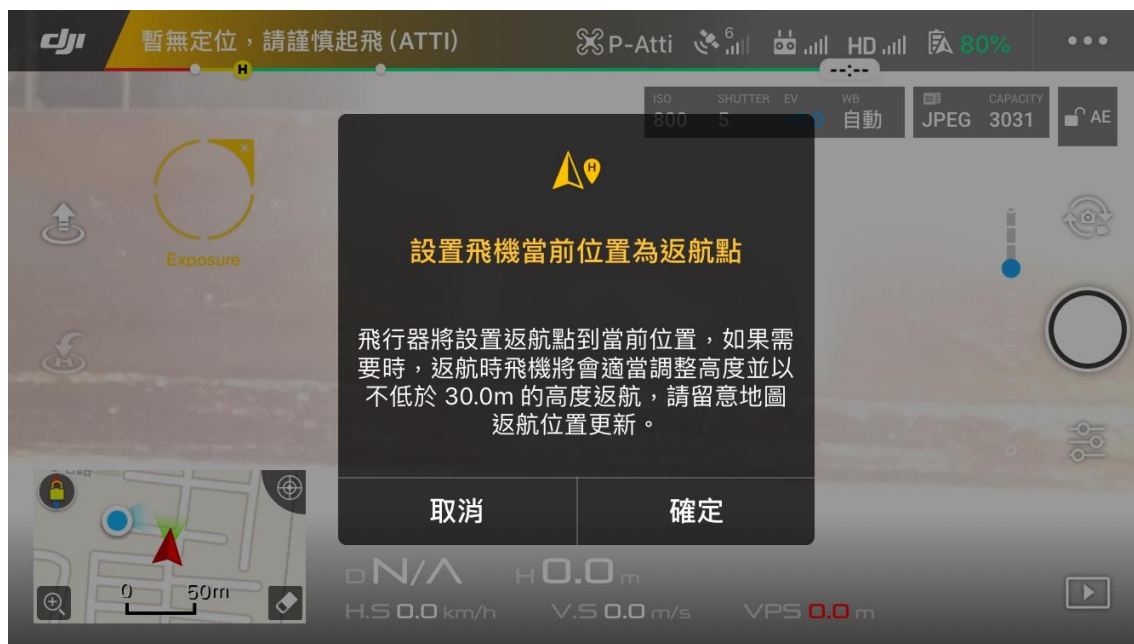


圖 19. DJI Pilot 返航點設定(1)



圖 20. DJI Pilot 返航點設定(2)

### 3.3 研究流程

本研究之研究流程如下圖，過程為先撰寫程式，然後輸入 Tello 空拍機，接下來測試空拍機運動是否準確，如準確即完成，如不準確我們會修改程式碼再輸入 Tello 測試；而 THANTOM3 測試過程我們將固定距離輸入不同的高度測試降落差別。

#### 3.3.1 Tello 測試流程

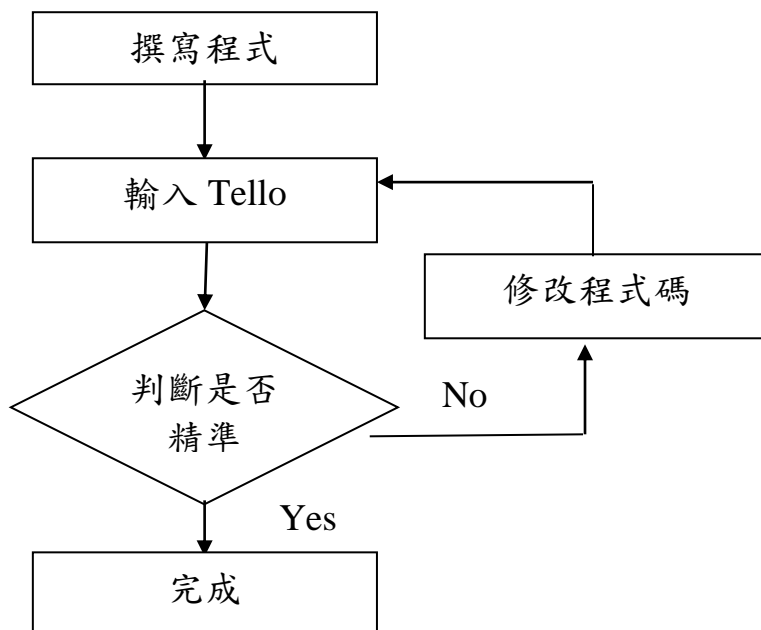


圖 21. Tello 流程圖

### 3.3.2 PHANTOM3 測試流程

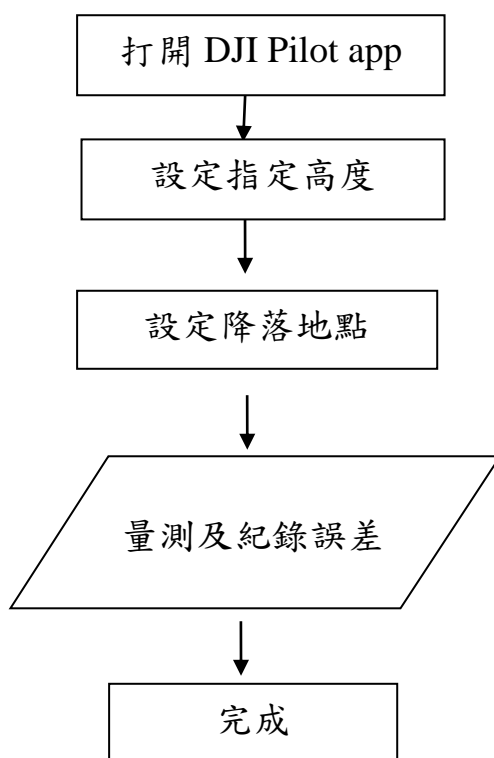


圖 22. PHANTOM3 流程圖

### 3.4 程式碼測試

本研究利用 Scratch 撰寫控制 Tello 水平及垂直位移，其程式碼如以下的圖示說明。圖 23. 為 Tello 空拍機水平移動程式碼，因為有時間上的誤差，所以我們讓它停頓 5 秒。圖 24. 為 Tello 空拍機垂直移動程式碼，因為有時間上的誤差，所以我們讓它停頓 5 秒。



圖 23. 程式碼水平移動



圖 24. 程式碼垂直移動

### 3.5 Tello 與 PHANTOM3 的比較

本章節分為空拍機如何連接及空拍機比較。

#### 3.5.1 空拍機裝置連接示意圖

圖 25.及圖 26.為說明兩款空拍機室如何連接及用什麼網路來連接的圖。



圖 25. Tello 示意圖

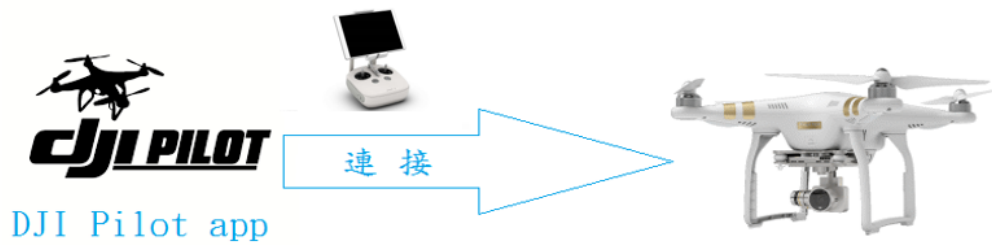




圖 26. PHANTOM3 示意圖

### 3.5.2 Tello 與 PHANTOM3 比較表

表 4. 為我們所使用 Tello 與 PHANTOM3 的特性進行比較。

表 4. Tello 與 PHANTOM3 比較表

	Tello	PHANTOM3
圖片		
重量	80 克	1280 克

特色	可由程式控制 輕巧方便攜帶 簡單上手 低電量及失控保護	內建有 GPS 有附 DJI Point app 智能操控 視覺定位系統
價格	大約\$3,500	大約\$50,000
有無 GPS	X	✓
是否能載重	X	✓
是否能用程式控制	✓	X
續航力	13 分鐘	23 分鐘
精準度	較為不準確	較為準確

### 3.6 研究進度甘特圖

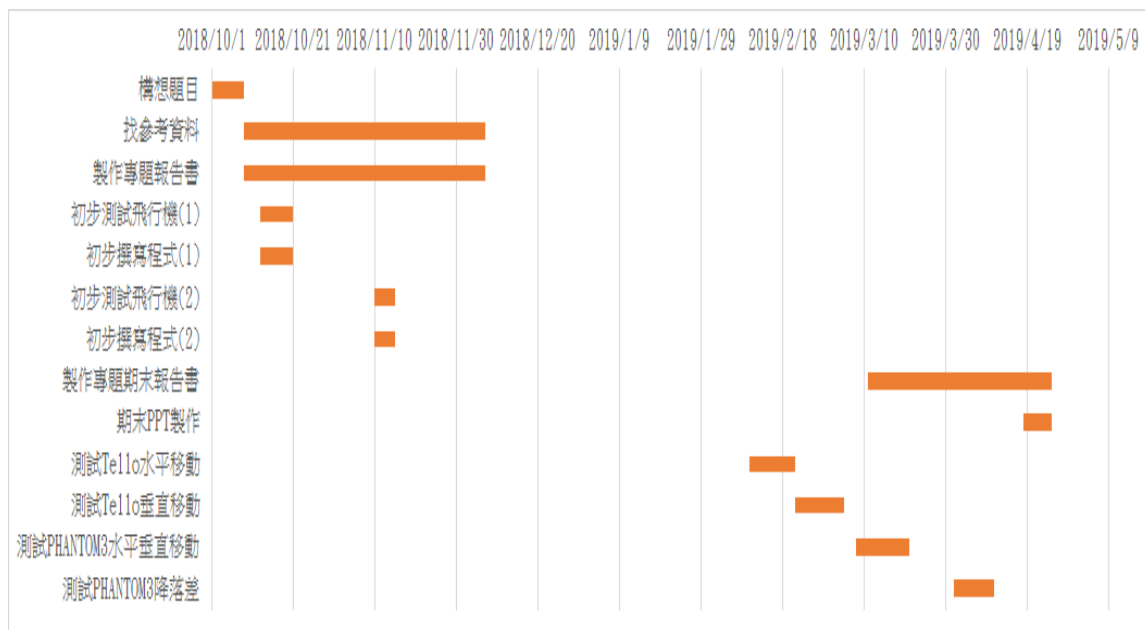


圖 27.甘特圖

## 第四章 結果與討論

### 4.1 Tello 室內外水平與高度測試

以下是本研究測試 Tello 的說明。由下表得知，因為 Tello 空拍機裡面沒使用 GPS 輔助，所以移動距離誤差會越來越大。本研究以輸入 1000 至 10000 單位，每間隔 1000 進行一組測試，每組都做五次重複性實驗列表分析之。

#### 4.1.1 Tello 室內水平移動測試

如表 5.及圖 28.為 Tello 空拍機在室內水平飛行數據。

表5. Tello室內水平飛行數據分析

輸入(單位)	實際位移 1(cm)	實際位移 2(cm)	實際位移 3(cm)	實際位移 4(cm)	實際位移 5(cm)
1000	10.3	13.2	12.1	8.8	12.3
2000	21.1	22.7	15.2	23.2	21.3
3000	30.0	31.3	31.5	33.2	31.4
4000	42.3	39.7	43.0	41.1	41.0
5000	51.1	53.0	47.9	44.8	52.1
6000	66.0	65.1	60.2	63.3	62.3
7000	71.2	77.0	78.2	72.6	73.3
8000	81.4	82.5	88.3	89.7	82.3
9000	94.0	95.3	99.0	91.3	94.3
10000	98.2	102.3	101.2	112.3	108.0

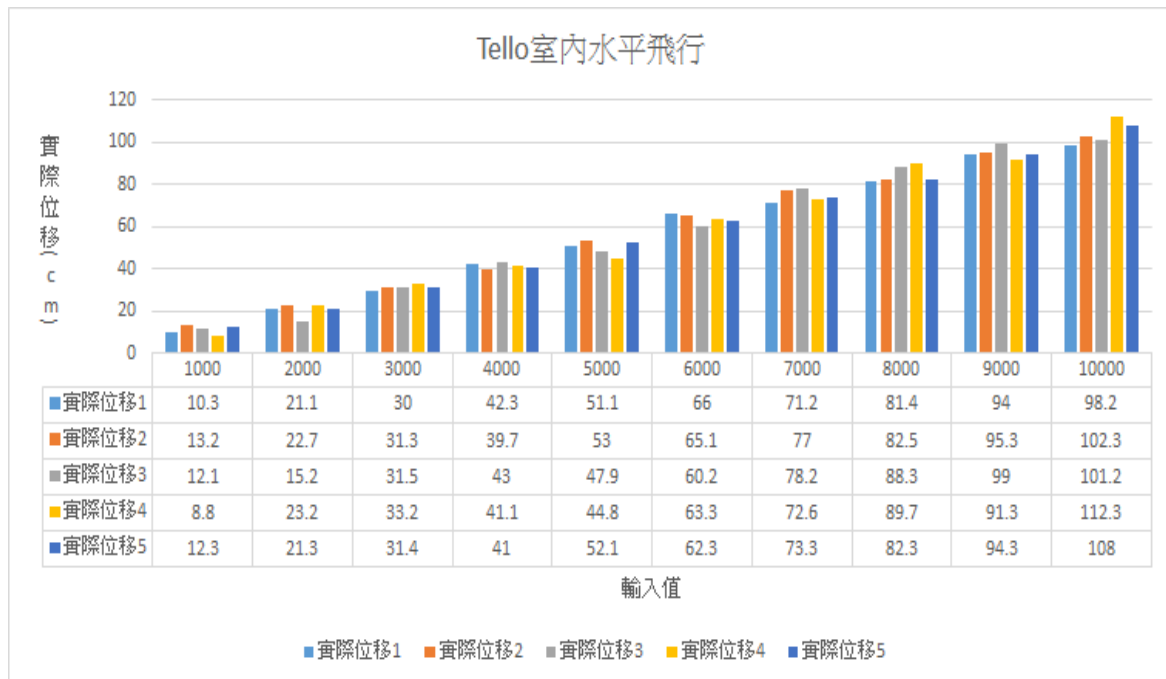


圖 28. Tello 室內水平測試



### 4.1.2 Tello 室內高度測試

如表 6 及圖 29. 為 Tello 空拍機在室內垂直飛行數據。

表6. Tello室內高度測試數據

輸入(單位)	實際位移 1(cm)	實際位移 2(cm)	實際位移 3(cm)	實際位移 4(cm)	實際位移 5(cm)
1000	10.1	13.5	11.3	14.2	9.3
2000	19.5	18.6	23.2	22.6	23.2
3000	32.3	34.3	28.8	34.1	35.0
4000	40.3	38.4	36.4	43.2	42.3
5000	52.3	54.0	48.3	47.8	54.2
6000	67.2	58.3	68.0	61.4	62.4
7000	73.0	77.2	74.2	64.6	77.3
8000	85.4	83.6	89.4	86.0	82.2
9000	93.2	98.5	95.3	92.4	94.6
10000	99.0	106.3	101.2	103.2	107.5

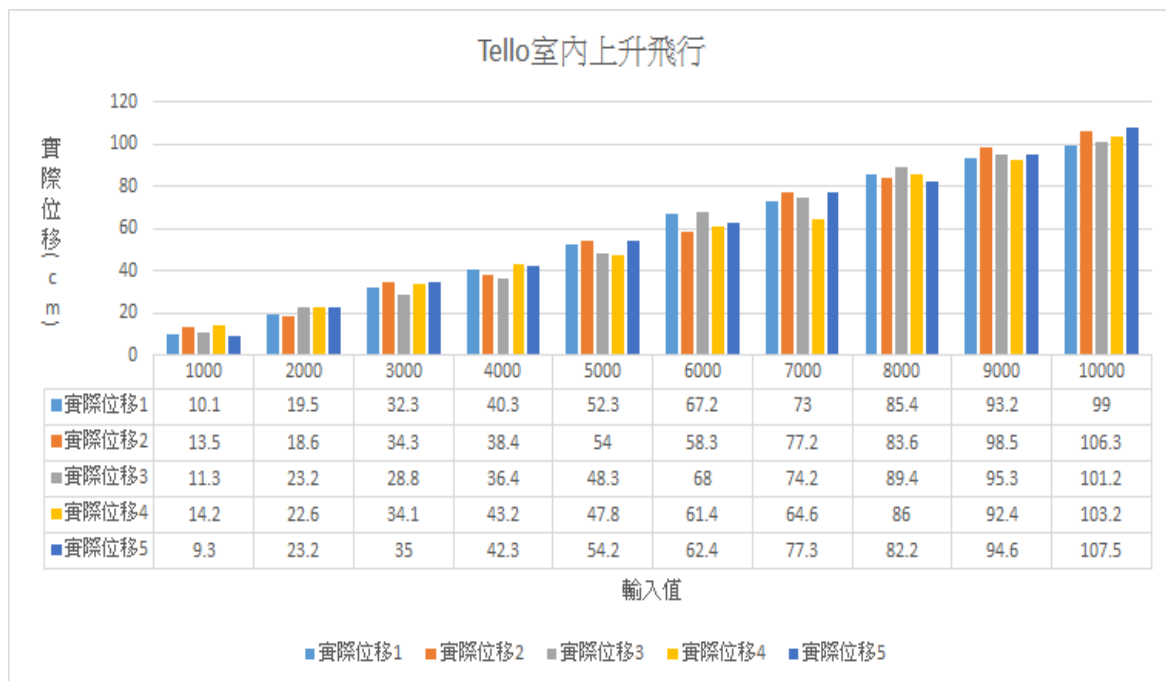


圖 29. Tello 室內高度測試

### 4.1.3 Tello 室外水平移動測試

如表 7. 及圖 30. 為 Tello 空拍機在室外水平飛行數據。

表7. Tello室外水平飛行數據誤差

輸入(單位)	實際位移 1(cm)	實際位移 2(cm)	實際位移 3(cm)	實際位移 4(cm)	實際位移 5(cm)
1000	13.2	14.3	12.3	9.3	15.2
2000	22.1	26.2	26.3	21.3	22.2
3000	31.3	33.2	34.0	35.2	36.3
4000	38.0	42.3	45.2	44.3	41.2
5000	52.3	54.0	55.3	56.3	60.1
6000	67.3	67.8	69.2	54.0	63.2
7000	78.3	73.2	74.3	68.3	73.2
8000	83.2	84.2	85.3	87.8	89.2
9000	93.2	95.2	99.3	98.3	88.0
10000	102.0	105.8	108.3	117.8	114.3

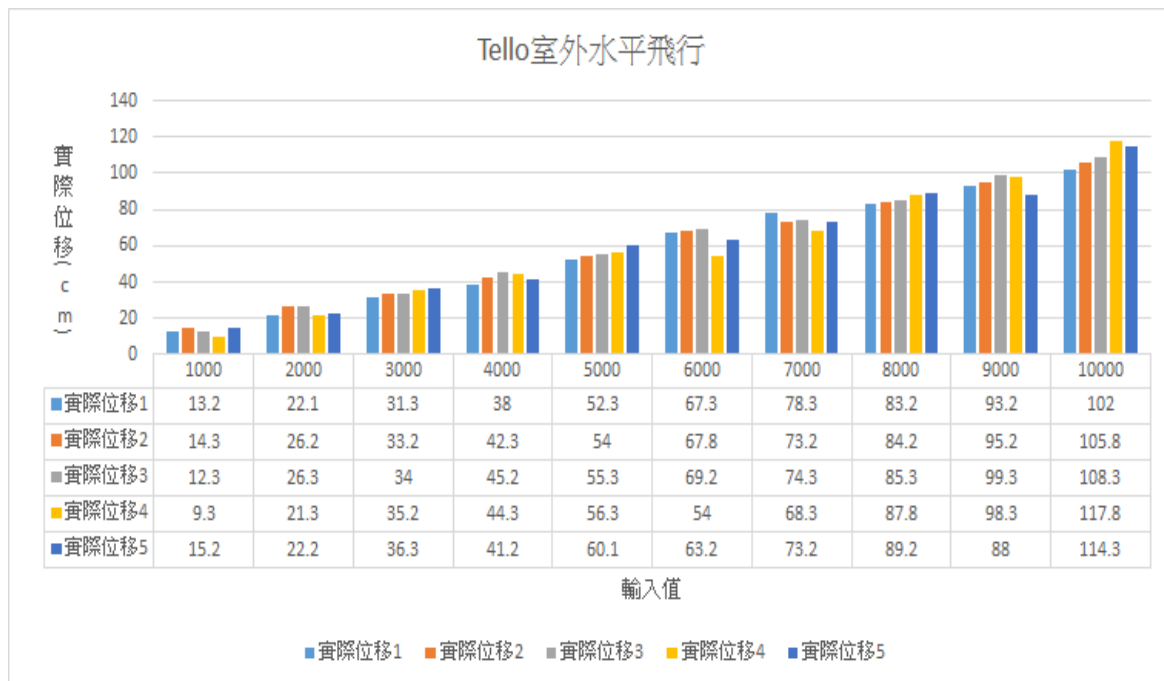


圖 30. Tello 室外水平測試

#### 4.1.4 Tello 室外高度測試

如表 8.及圖 31.為 Tello 空拍機在室外垂直飛行數據。

表8. Tello室外高度測試數據

輸入(單位)	實際位移 1(cm)	實際位移 2(cm)	實際位移 3(cm)	實際位移 4(cm)	實際位移 5(cm)
1000	14.2	13.0	12.3	10.8	13.7
2000	21.1	28.3	23.4	23.5	28.3
3000	33.4	33.3	27.0	29.3	35.3
4000	38.0	43.8	46.2	43.3	41.7
5000	53.0	54.5	53.1	48.0	54.9
6000	62.4	65.3	63.2	58.0	63.5
7000	75.2	73.3	76.2	71.4	68.3
8000	78.2	85.3	83.2	84.5	86.0
9000	92.4	96.3	96.0	89.4	93.2
10000	98.0	103.8	104.3	102.5	104.8

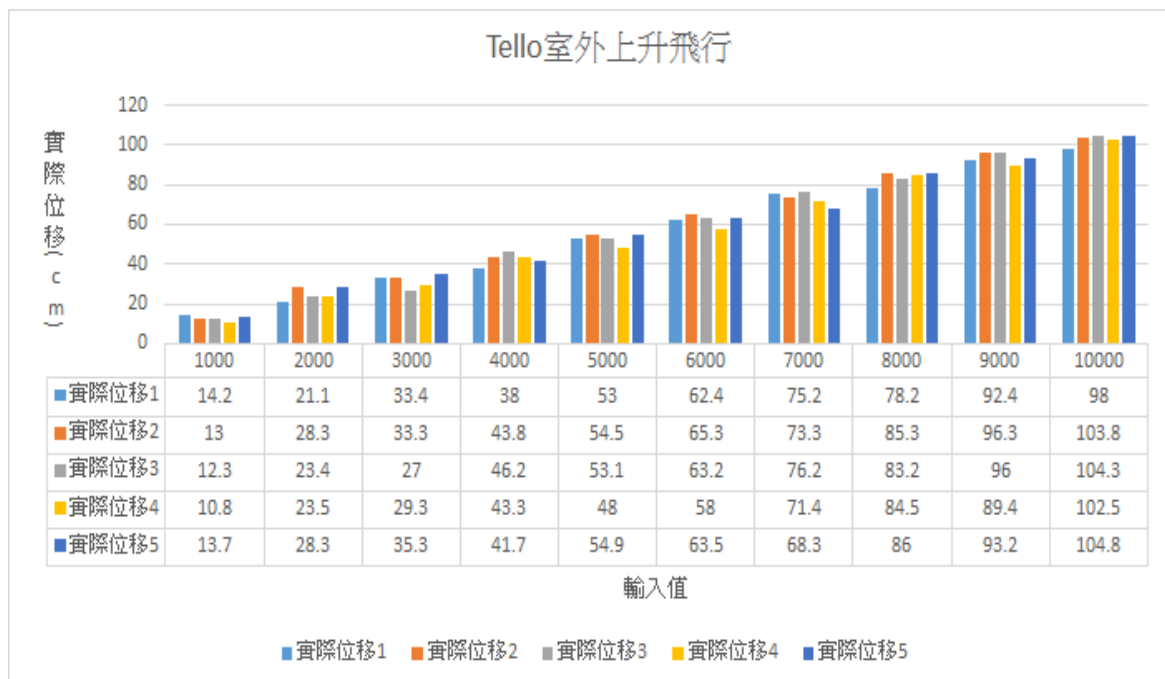


圖 31. Tello 室外高度測試

#### 4.1.5 Tello 室外水平測試時的環境說明

Tello 室外測試位址位於台中市北屯區敦富十二街附近(如圖 32a)，局部放大圖如圖 32b 所示。由於風速可能影響測試的精準度，但是當時並沒有注

意到需量測風速因子的影響，因此只能事後由中央氣象局的測站資料來研判影響性。本實驗的時間為民國 108 年 2 月 27 日下午 2:00 至 5:00，經查詢中央氣象局的氣象測站距離本實驗場所最近的測站名稱為潭子測站，其距離本實驗場地約為 3.5 公里，測站的位置如圖 32c 所示。經查當時測站的大氣條件我們把它做成圖 33。由資料可知當時的風速約 0.5m/sec~0.9m/sec，風速不小，可能會對實驗結果有影響。

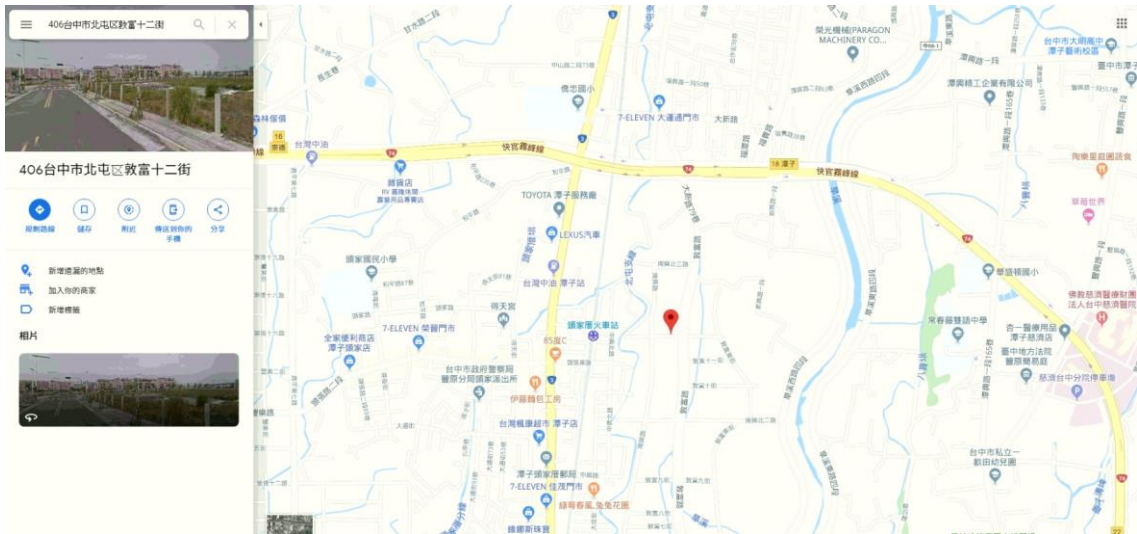


圖 32a. Tello 測試地點圖



圖 32b. Tello 測試地點圖(局部放大)



圖 32c. 測站位置

觀測時間 (hour)	Press		temperature	dew point	RH	WD/WS			
	測站氣壓 (hPa)	海平面氣壓 (hPa)	氣溫 (°C)	露點溫度 (°C)	相對溼度 (%)	風速 (m/s)	風向 (360degree)	最大陣風 (m/s)	最大陣風風向 (360degree)
ObsTime	StnPres	SeaPres	Temperature	Td dew point	RH	WS	WD	WSGust	WDGust
14	993.7	...	25.2	...	58	0.5	310	...	...
15	993.1	...	25.6	...	58	0.7	306	...	...
16	992.4	...	25.6	...	56	0.7	299	...	...
17	992.9	...	24.1	...	62	0.9	290	...	...

圖 33.測試風速(1)

## 4.2 Tello 室內外水平與高度載重測試

以下是我們測試用程式控制 Tello 在室內外水平與高度載重測試。由下表得知，因為 Tello 空拍機裡面沒使用 GPS 輔助，所以移動距離誤差會越來越大。本研究以輸入 1000 至 10000 單位，每間隔 1000 進行一組測試，每組都做五次重複性實驗列表分析之。載重為 15 公克的橡皮擦。

### 4.2.1 Tello 室內載物水平飛行測試

如表 9. 及圖 34. 為 Tello 空拍機在室內水平飛行數據。

表9. Tello室內載物水平飛行數據

輸入(單位)	實際位移 1(cm)	實際位移 2(cm)	實際位移 3(cm)	實際位移 4(cm)	實際位移 5(cm)
1000	8.1	7.2	6.1	5.9	7.3

2000	19.3	17.5	15.3	16.3	18.0
3000	28.3	26.0	24.8	26.3	27.2
4000	37.5	33.8	36.0	37.3	38.1
5000	43.2	41.8	45.3	42.0	47.3
6000	52.2	52.0	58.1	53.0	53.2
7000	61.0	65.3	63.7	59.6	62.3
8000	71.8	72.3	61.8	70.7	71.5
9000	83.1	81.4	81.2	77.4	80.3
10000	89.3	91.3	93.0	88.2	88.7

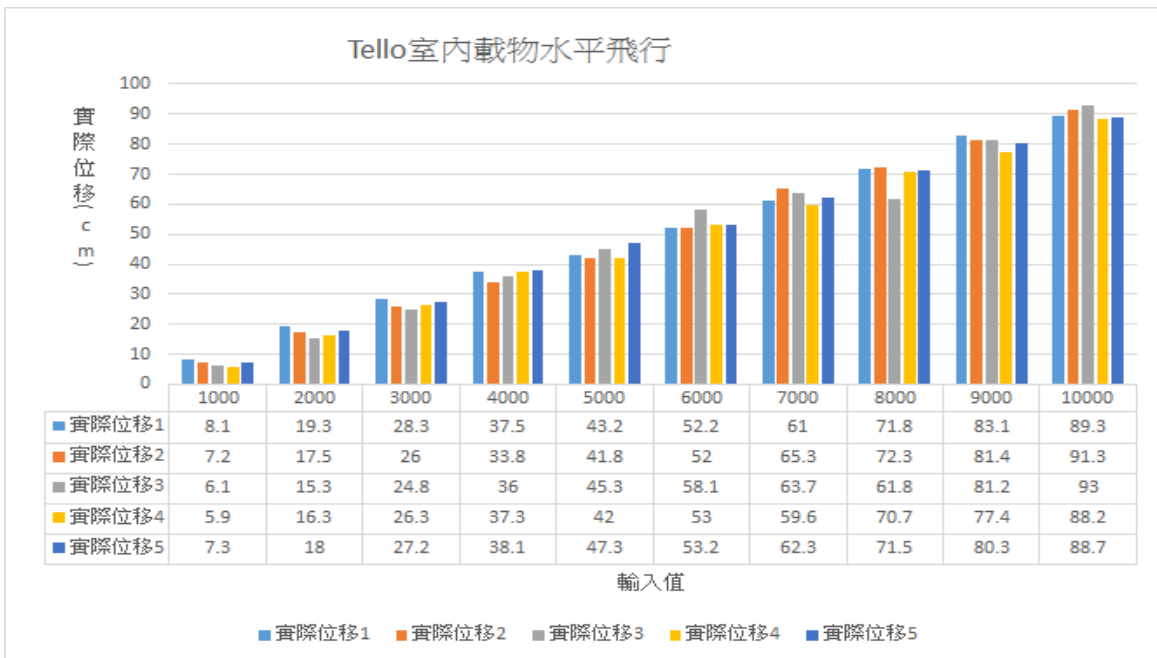


圖 34. Tello 室內載重水平測試

### 4.2.3 Tello 室內載物垂直飛行測試

如表 10. 及圖 35. 為 Tello 空拍機在室內載重垂直飛行數據。

表10. Tello室內載物垂直飛行數據

輸入(單位)	實際位移 1(cm)	實際位移 2(cm)	實際位移 3(cm)	實際位移 4(cm)	實際位移 5(cm)
1000	8.1	7.3	8.9	6.9	7.5
2000	17.2	15.6	18.7	15.6	16.2
3000	21.4	25.3	26.4	26.3	27.0
4000	32.7	37.4	36.2	34.6	35.4

5000	43.4	44.0	44.3	45.5	43.5
6000	54.4	56.3	56.0	54.4	55.6
7000	64.3	61.2	63.0	61.1	66.4
8000	75.8	75.6	72.5	74.0	74.0
9000	82.6	82.5	85.4	86.3	87.4
10000	91.4	93.3	93.1	94.4	94.3

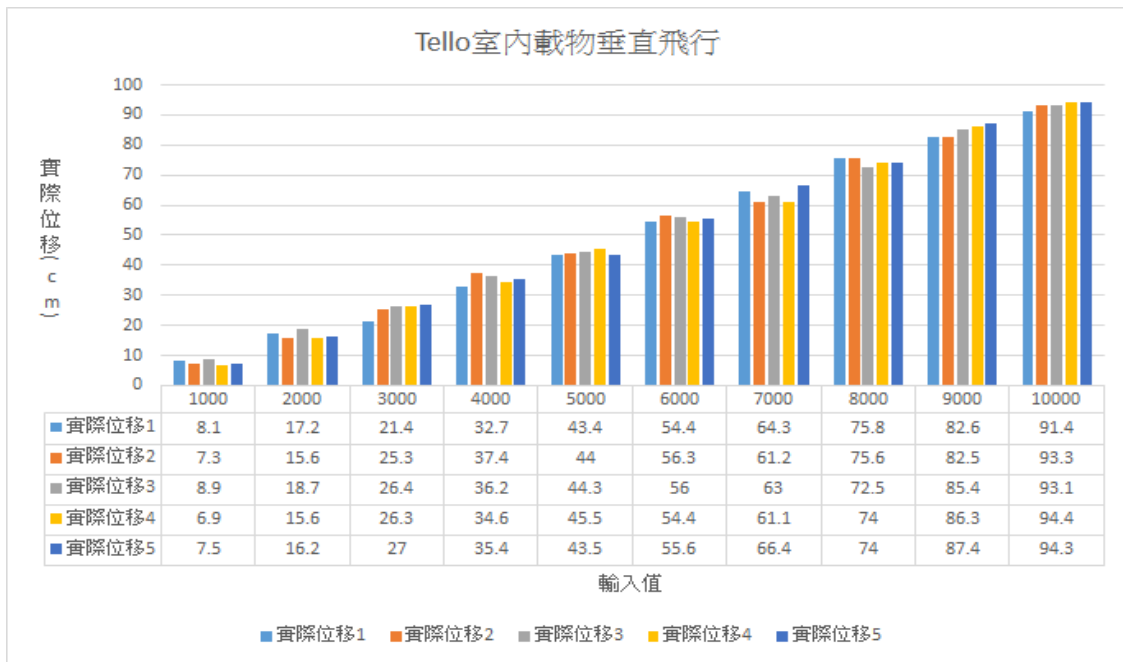


圖 35. Tello 室內載重高度測試

### 4.2.3 Tello 室外載物水平飛行測試

如表 11. 及圖 36. 為 Tello 空拍機在室外載重水平飛行數據。

表11. Tello 室外載物水平飛行數據

輸入(單位)	實際位移 1(cm)	實際位移 2(cm)	實際位移 3(cm)	實際位移 4(cm)	實際位移 5(cm)
1000	8.2	7.0	8.5	6.3	7.7
2000	15.5	17.3	16.7	17.4	18.1
3000	23.0	26.3	25.4	26.2	26.5
4000	31.4	33.8	36.6	33.5	32.7
5000	43.5	44.5	42.7	43.4	44.6
6000	52.7	55.1	53.6	55.1	53.1



7000	60.2	62.3	63.2	61.0	66.1
8000	74.3	73.1	73.1	74.3	76.1
9000	80.4	81.3	84.5	84.1	83.0
10000	88.9	93.8	90.1	92.1	90.1

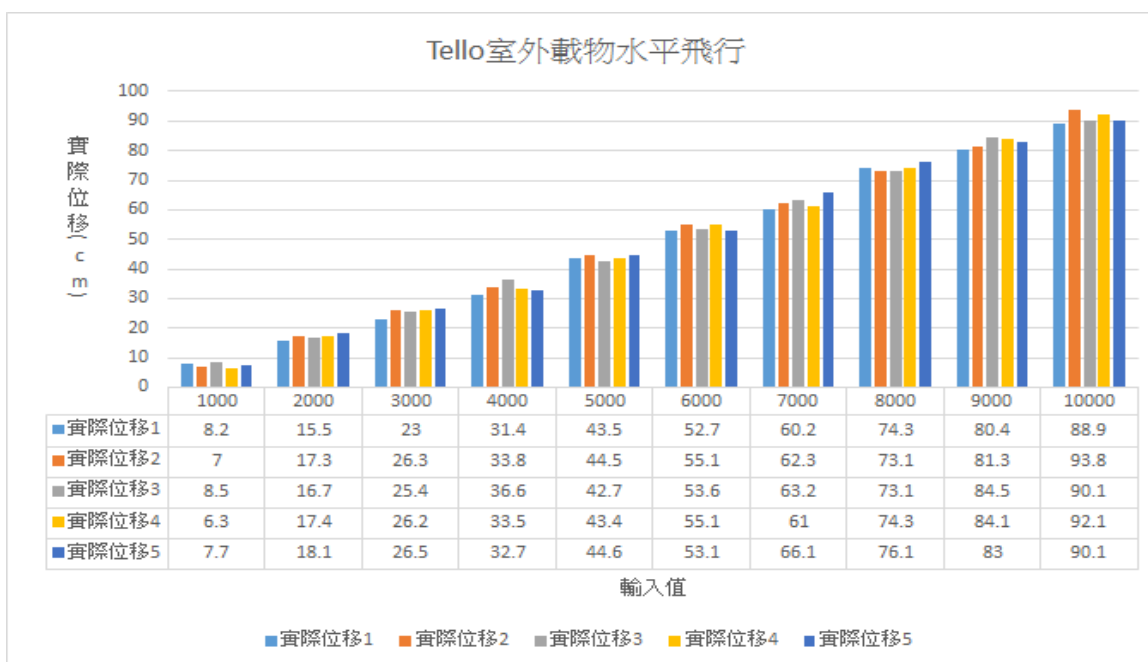


圖 36. Tello 室外載重水平測試

#### 4.2.4 Tello 室外載物垂直飛行測試

如表 12. 及圖 37. 為 Tello 空拍機在室外載重垂直飛行數據。

表12. Tello 室外載物垂直飛行數據

輸入(單位)	實際位移 1(cm)	實際位移 2(cm)	實際位移 3(cm)	實際位移 4(cm)	實際位移 5(cm)
1000	8.3	9.1	7.9	6.4	8.5
2000	18.2	16.6	15.7	17.3	14.9
3000	27.2	28.3	26.0	25.1	24.0
4000	34.5	34.4	37.2	35.6	35.4
5000	43.4	47.0	44.3	44.5	41.7
6000	52.3	52.3	57.2	53.4	53.2
7000	64.3	66.8	63.0	62.3	64.7
8000	71.3	72.6	71.5	74.0	72.6



9000	84.6	83.9	83.4	82.1	85.3
10000	95.4	89.1	93.1	93.4	93.0

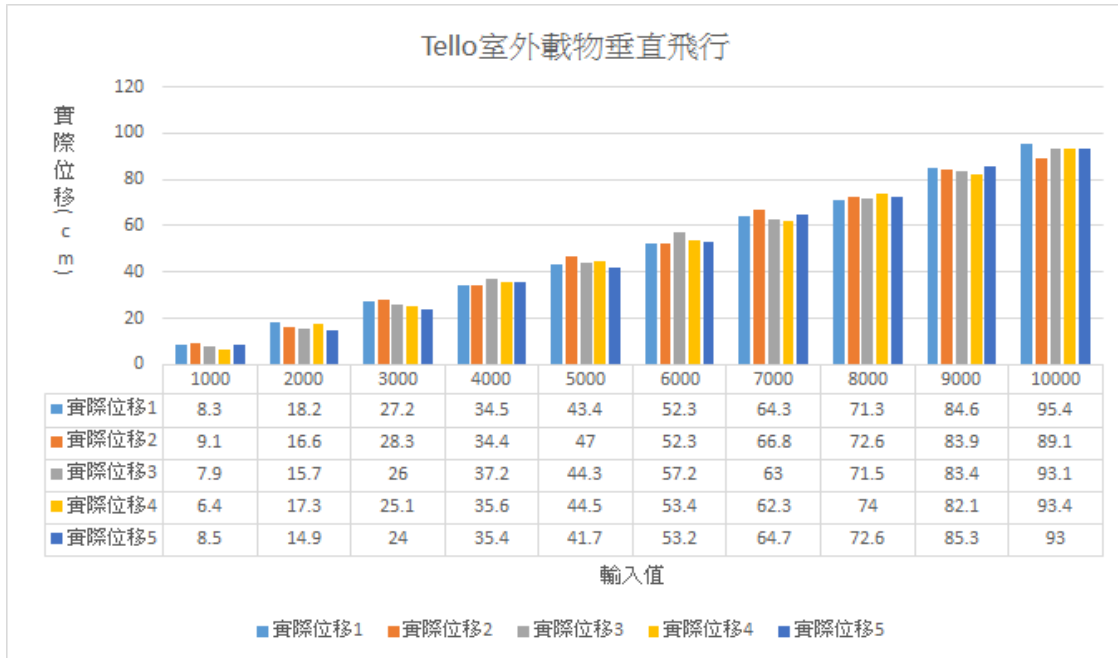


圖 37. Tello 室外載重高度測試

#### 4.2.5 Tello 室外垂直測試時的環境說明

Tello 室外測試位址位於台中市北屯區敦富十二街附近(如圖 38a)，局部放大圖如圖 38b 所示。由於風速可能影響測試的精準度，但是當時並沒有注意到需量測風速因子的影響，因此只能事後由中央氣象局的測站資料來研判影響性。本實驗的時間為民國 108 年 2 月 28 日上午 9:00 至 11:00 及下午 13:00 至 15:00，經查詢中央氣象局的氣象測站距離本實驗場所最近的測站名稱為潭子測站，其距離本實驗場地約為 1.5 公里，測站的位置如圖 38c 所示。經查當時測站的大氣條件用成圖 39 及圖 40。由資料可知當時的風速約 0.5m/sec~1.0m/sec，風速不小，可能會對實驗結果有影響。

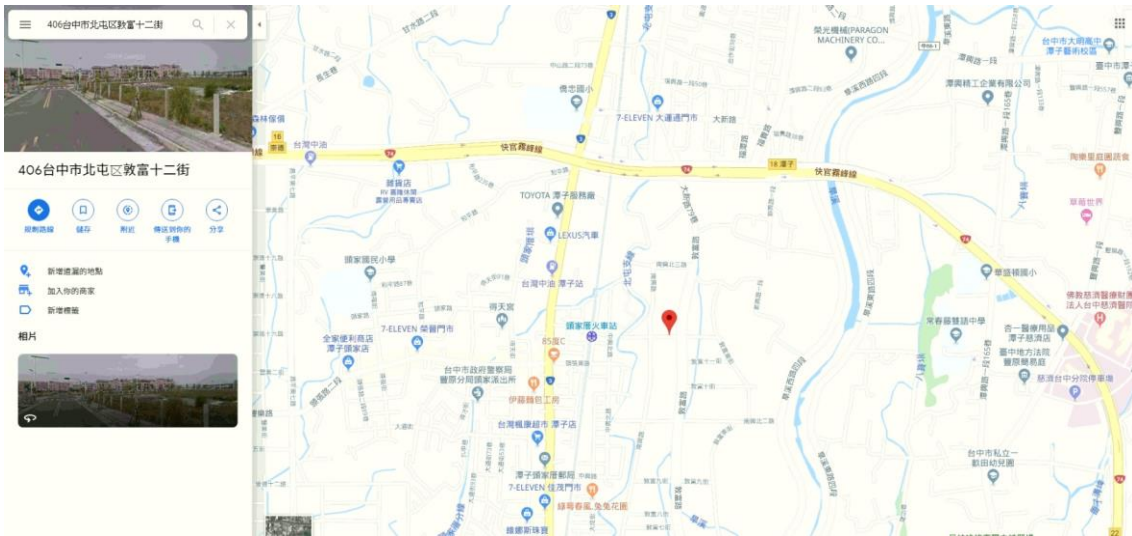


圖 38a. Tello 測試地點圖



圖 38b. Tello 測試地點圖(局部放大)



圖 38c. 測站位置

觀測時間 (hour)	Press		temperature	dew point	RH	WD/WS			
	測站氣壓 (hPa)	海平面氣壓 (hPa)	氣溫 (°C)	露點溫度 (°C)	相對溼度 (%)	風速 (m/s)	風向 (360degree)	最大陣風 (m/s)	最大陣風風向 (360degree)
ObsTime	StnPres	SeaPres	Temperature	Td dew point	RH	WS	WD	WSGust	WDGust
09	994.8	...	24.2	...	68	0.4	82	...	...
10	995.1	...	26.5	...	56	0.5	310	...	...
11	995.7	...	24.0	...	72	0.8	313	...	...

圖 39. 測試風速(2)

觀測時間 (hour)	Press		temperature	dew point	RH	WD/WS			
	測站氣壓 (hPa)	海平面氣壓 (hPa)	氣溫 (°C)	露點溫度 (°C)	相對溼度 (%)	風速 (m/s)	風向 (360degree)	最大陣風 (m/s)	最大陣風風向 (360degree)
ObsTime	StnPres	SeaPres	Temperature	Td dew point	RH	WS	WD	WSGust	WDGust
13	994.2	...	24.9	...	67	0.9	359	...	...
14	993.4	...	24.9	...	67	1.0	302	...	...
15	993.4	...	24.2	...	69	0.6	326	...	...

圖 40. 測試風速(3)

#### 4.2.6 Tello 室內外有無載重平均水平位移

如表 13.及圖 41. 圖 42.為 Tello 空拍機在室內外有載重無水平飛行平均數據。

表13. Tello室內外有無載重水平位移數據

輸入(單位)	室內(cm)	室內載物(cm)	室外(cm)	室外載物 (cm)
1000	11.6	6.6	12.8	7.4
2000	20.6	16.8	24	17.4
3000	31.9	26.1	34.7	26.1
4000	41.2	36.3	43.2	34.2
5000	49.5	44.1	56.4	43.8
6000	62.7	54.1	63.6	54.2
7000	75.3	62.7	72.3	63.2
8000	85.7	69.1	86.6	74.2
9000	95.0	80.1	95.2	83.2
10000	106.0	90.3	111.6	91.5

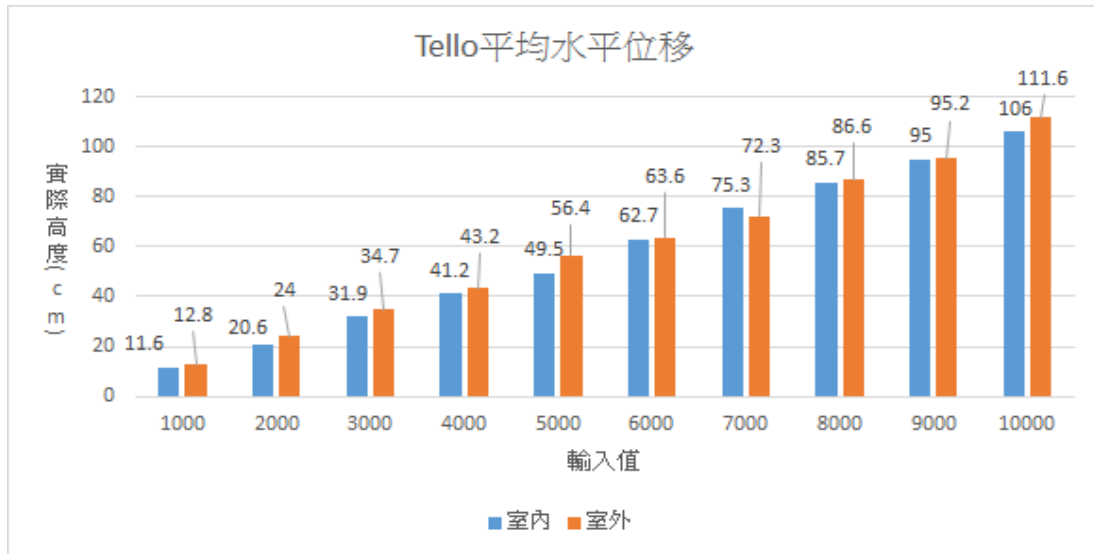


圖 41. Tello 平均水平位移

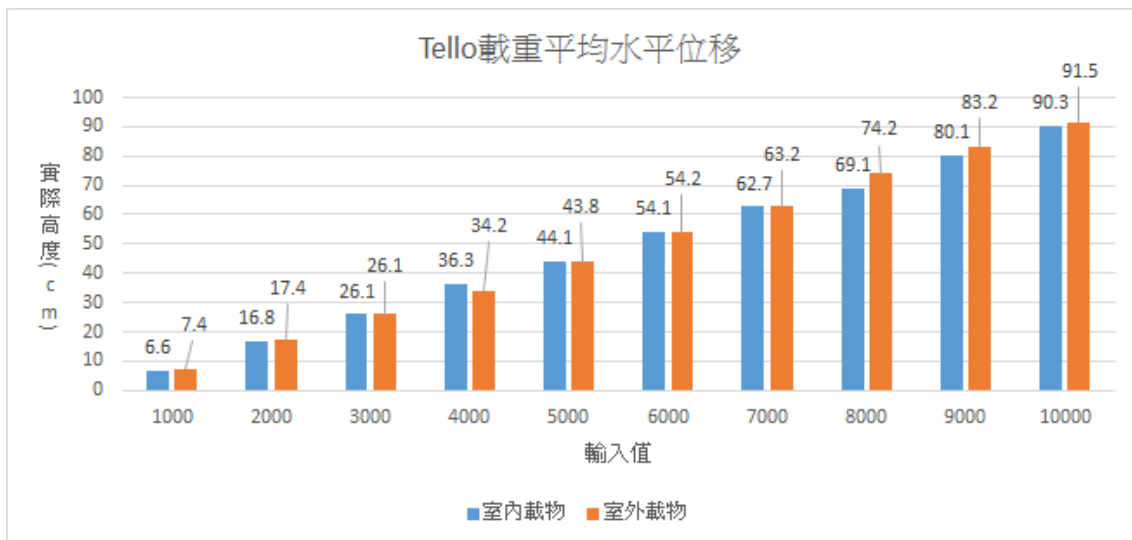


圖 42. Tello 載重平均水平位移

#### 4.2.7 Tello 室內外有無載重平均垂直位移

如表 14.及圖 43. 圖 44.為 Tello 空拍機在室內外有無載重垂直飛行平均數據。

表14. Tello室內外有無載重垂直位移數據

輸入(單位)	室內(cm)	室內載物(cm)	室外(cm)	室外載物 (cm)
1000	12.1	7.7	12.5	8.0
2000	21.9	16.5	25.9	16.1
3000	33.1	26.3	31.2	25.9
4000	40.1	36.0	43.8	35.7
5000	51.1	44.3	52.6	44.4

6000	62.5	55.6	62.5	54.0
7000	73.3	62.9	72.3	64.2
8000	85.3	74.0	84.8	72.7
9000	95.2	85.4	93.7	83.7
10000	104.6	93.8	103.9	92.2

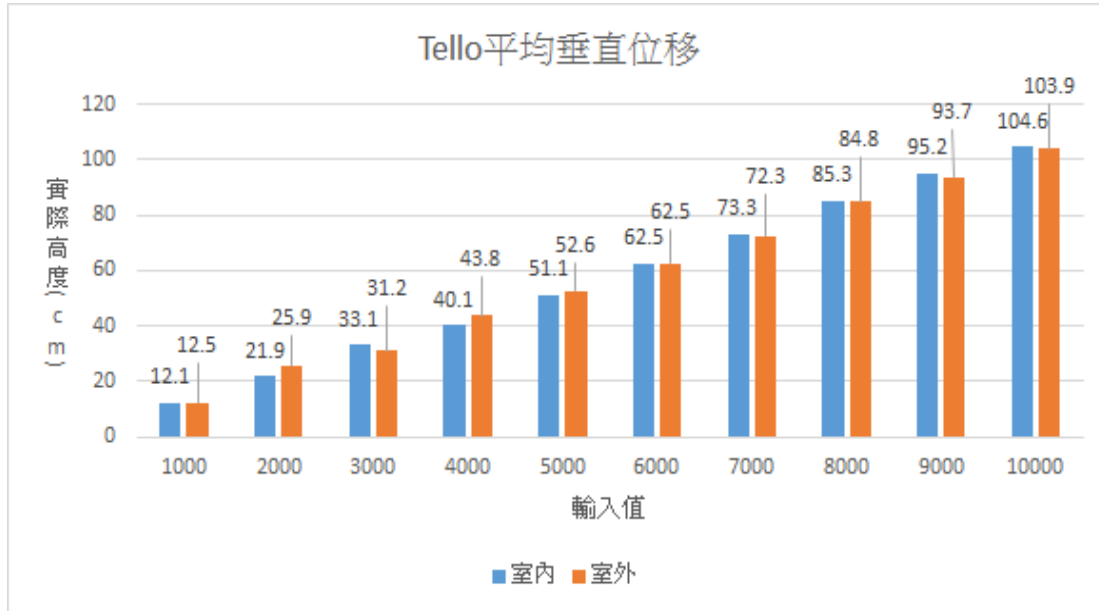


圖 43. Tello 平均垂直位移

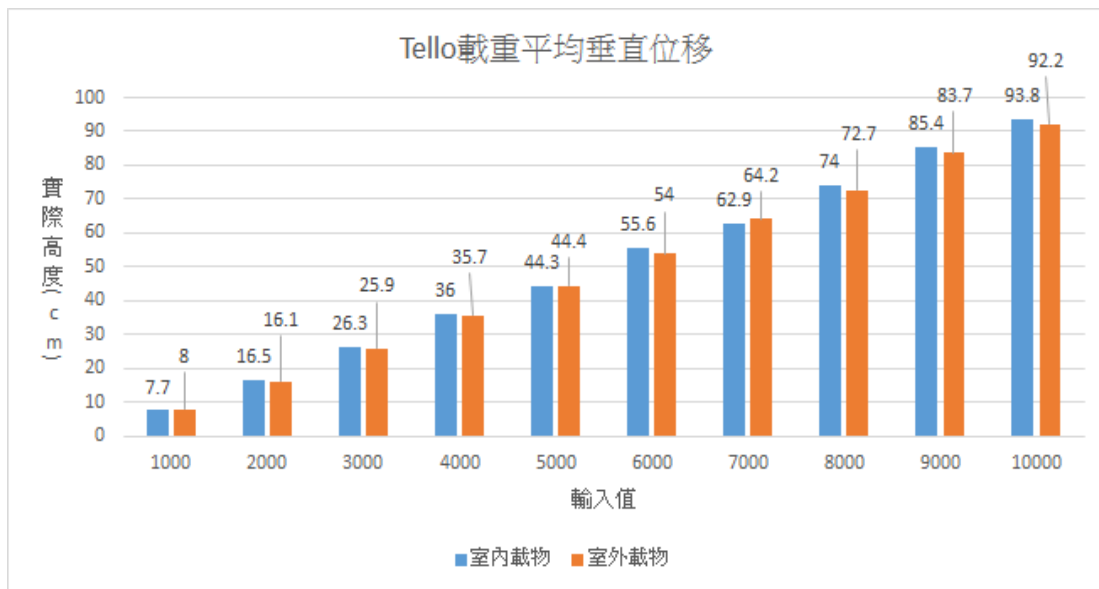


圖 44. Tello 載重平均垂直位移

### 4.3 PHANTOM3 降落落差測試

因為 PHANTOM3 起飛高度不適合在室內飛行，所以我們只在戶外進行研究。由於 PHANTOM3 裡面有內建 GPS，所以我們使用 GPS 設定來測試；以下是我們測試的結果。以直線 50 公尺降落(單位:公尺)。4.3.1 及 4.3.2 為 PHANTOM3 空拍機有無載重的降落差。

### 4.3.1 PHANTOM3 固定距離降落落差

表 15.及圖 45.為我們預先設定好降落位置，並在 50 公尺外做垂直上升到限制航高為止，再啟動返航預設位置。

表15. PHANTOM3降落差

高度	落差距離 1(m)	落差距離 2(m)	落差距離 3(m)	落差距離 4(m)	落差距離 離 5(m)
30	0.12	0.13	0.14	0.15	0.13
40	0.09	0.11	0.12	0.14	0.18
50	0.12	0.16	0.07	0.14	0.22
60	0.13	0.11	0.09	0.11	0.14
70	0.17	0.14	0.13	0.18	0.09
80	0.14	0.08	0.12	0.24	0.12
90	0.12	0.13	0.15	0.12	0.14
100	0.24	0.12	0.13	0.11	0.17

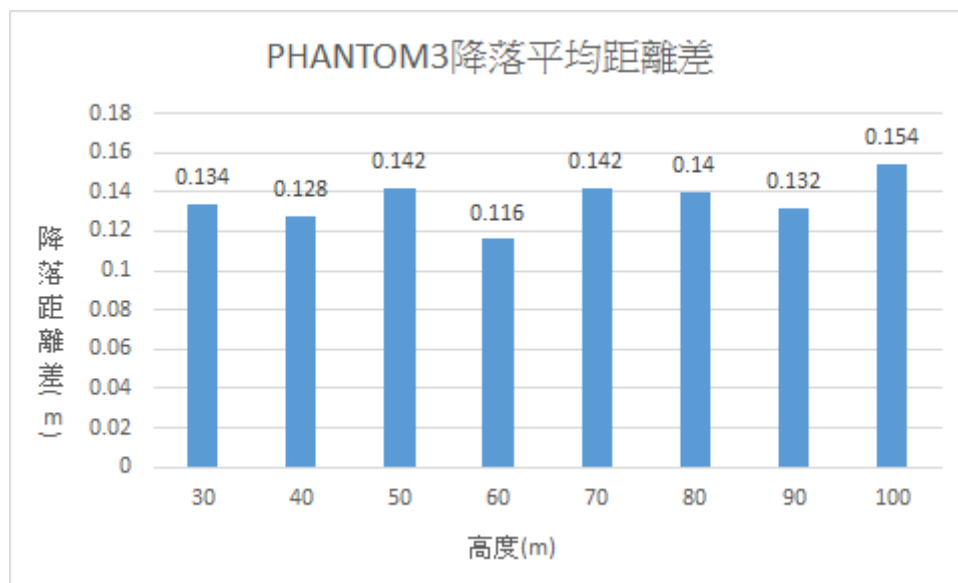


圖 45. PHANTOM3 降落距離差

### 4.3.2 PHANTOM3 固定距離載重降落落差

表 16.及圖 46.為我們預先設定好降落位置，並在 50 公尺外做垂直載重上升到限制航高為止，再啟動返航預設位置。載重內容物為彈珠，載重為 160 公克。

表16. PHANTOM3載重降落差

高度	落差距離 1(m)	落差距離 2(m)	落差距離 3(m)	落差距離 4(m)	落差距離 離 5(m)
30	0.13	0.18	0.09	0.16	0.12

40	0.08	0.14	0.20	0.09	0.11
50	0.16	0.12	0.15	0.19	0.13
60	0.09	0.11	0.13	0.17	0.22
70	0.21	0.16	0.18	0.11	0.15
80	0.13	0.08	0.19	0.13	0.16
90	0.09	0.18	0.11	0.10	0.13
100	0.12	0.11	0.19	0.18	0.14

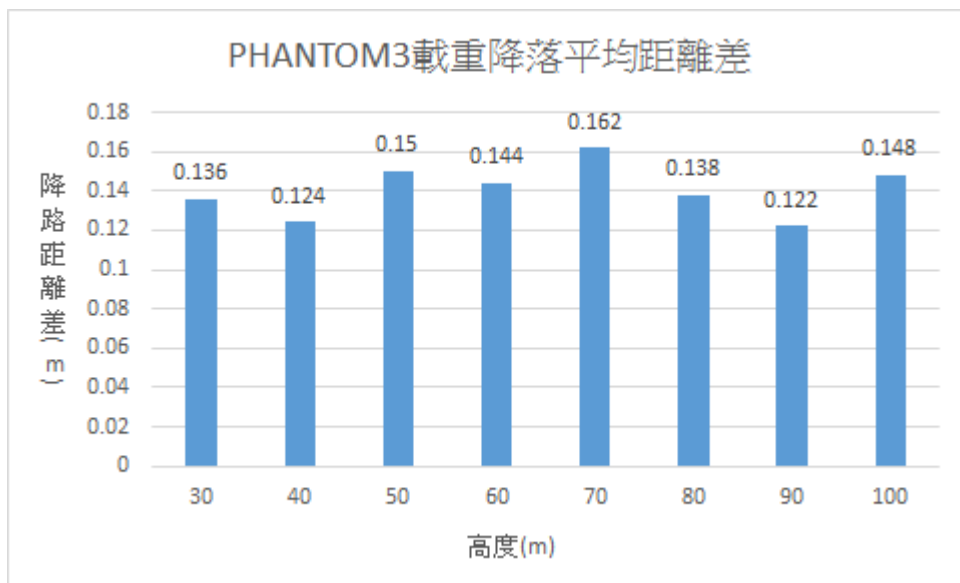


圖 46. PHANTOM3 載重降落距離差

### 4.3.3 PHANTOM3 測試時的環境說明

PHANTOM3 測試位址位於嶺東科大寶文校區(如圖 47a) ，局部放大圖如圖 47b 所示。由於風速可能影響測試的精準度，但是當時並沒有注意到需量測風速因子的影響，因此只能事後由中央氣象局的測站資料來研判影響性。本實驗的時間為民國 108 年 3 月 17 日上午 8:00 至 12:00 及下午 14:00 至 17:00，經查詢中央氣象局的氣象測站距離本實驗場所最近的測站名稱為烏日測站，其距離本實驗場地約為 4.5 公里，測站的位置如圖 47c 所示。經查當時測站的大氣條件用成圖 39 及圖 40。由資料可知當時的風速約 0.5m/sec~1.0m/sec，風速不小，可能會對實驗結果有影響，但因為 PHANTOM3 內有 GPS 所以會調整自己的飛行。



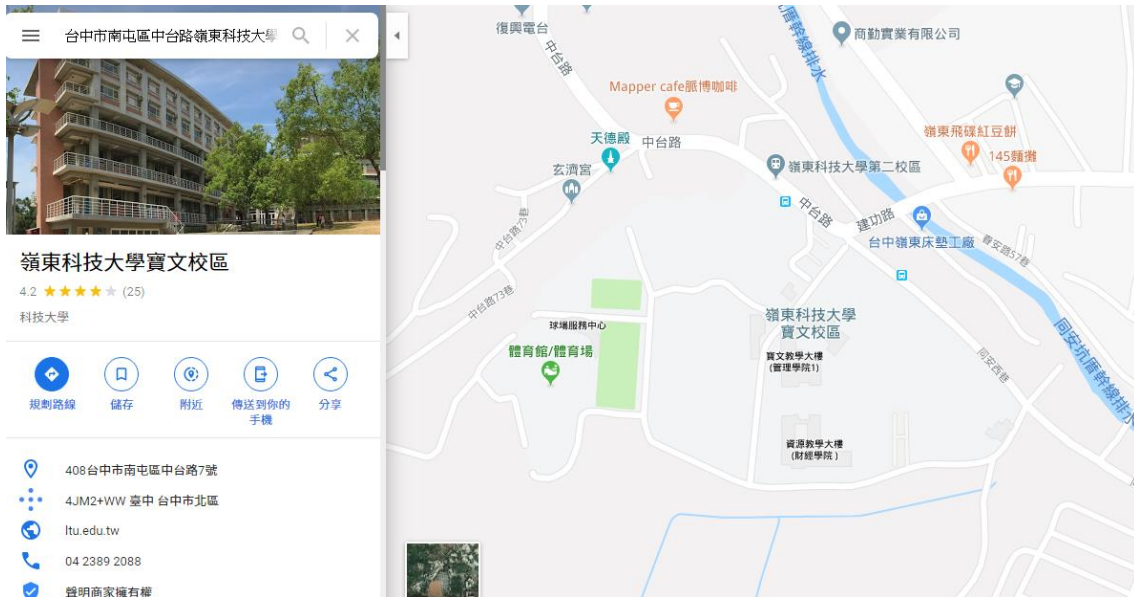


圖 47a. PHANTOM3 測試地點圖

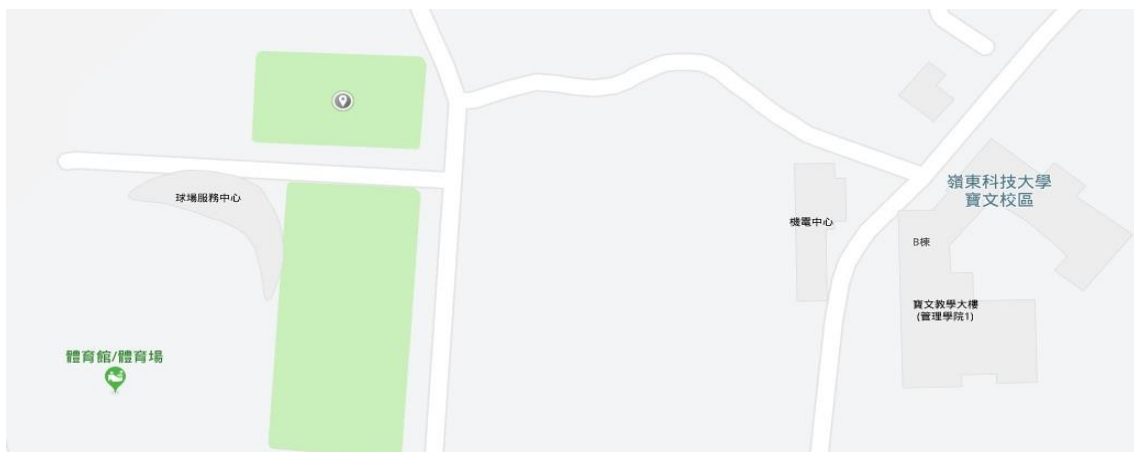


圖 47b. PHANTOM3 測試地點圖(局部放大)





圖 47c. 測站位置

	Press		temperature	dew point	RH	WD/WS			
觀測時間 (hour)	測站氣壓 (hPa)	海平面氣壓 (hPa)	氣溫 (°C)	露點溫度 (°C)	相對濕度 (%)	風速 (m/s)	風向 (360degree)	最大陣風 (m/s)	最大陣風風向 (360degree)
ObsTime	StnPres	SeaPres	Temperature	Td dew point	RH	WS	WD	WSGust	WDGust
08	1011.3	...	20.7	...	72	1.9	50	...	...
09	1012.0	...	21.7	...	68	1.2	277	...	...
10	1012.1	...	21.6	...	65	1.5	34	...	...
11	1011.4	...	22.5	...	61	1.6	70	...	...
12	1011.0	...	23.3	...	57	1.7	11	...	...

圖 48. 測試風速(4)

	Press		temperature	dew point	RH	WD/WS			
觀測時間 (hour)	測站氣壓 (hPa)	海平面氣壓 (hPa)	氣溫 (°C)	露點溫度 (°C)	相對濕度 (%)	風速 (m/s)	風向 (360degree)	最大陣風 (m/s)	最大陣風風向 (360degree)
ObsTime	StnPres	SeaPres	Temperature	Td dew point	RH	WS	WD	WSGust	WDGust
14	1008.9	...	24.5	...	55	1.7	4	...	...
15	1008.2	...	24.2	...	58	0.8	42	...	...
16	1008.2	...	23.5	...	63	1.5	36	...	...
17	1008.3	...	23.6	...	63	0.8	70	...	...

圖 49. 測試風速(5)

## 第五章 結論與建議

本專題我們希望可以研究比較出由程式控制距離以及高度的精準度以及由 GPS 控制距離及高度的精準度哪一種較能使用進行物流的飛行。程式控制的測試，我們使用 Tello 空拍機，其空拍機程式撰寫，我們使用 Scratch 撰寫控制；GPS 控制的測試，我們使用 PHANTOM3 空拍機，PHANTOM3 空拍機 GPS 控制是由 DJI 大疆公司開發的 app 進行控制。結果發現如果有內建 GPS 的空拍機，會比只使用程式控制來的精準許多，誤差值也比較小。

人生中第一次面臨這樣的專題 真的不知道該如何著手去做。起初為了要做什麼樣的項目而頭痛，雖然是讀資管系的，但對空拍機一點概念都沒有，於是想到最近空拍機的物流運送滿好玩的，於是網購訂了一台 Tello 空拍機，一開始買回來先自己玩看看，玩的過程中又在網路上搜尋到可以用程式控制，所以就去看能用什麼程式控制，發現能用 Scratch 控制但試飛後發現，因為環境很容易造成飛行距離誤差，另一個就是輸入的值也有誤差，之後跟老師討論後，決定使用本系的 PHANTOM3 進行比較，PHANTOM3 雖然大台，但它裡面有 GPS 及 DJI 研發的 DJI Point app 來操控。測試後發現，用程式控制的空拍機可能因為連線問題有所誤差，這誤差可能很小也可能很大，可是使用 GPS 控制的誤差就沒有程式的那麼的大，誤差值可能只有差一點點，但在測試過程中也是經歷過數次的反覆測試導致電池耗電量一下就沒電了，必須充飽後才繼續測試。

由這次的專題研究發現物流的最大問題就是精準度及電容量還有載重物限制，因為如果要進行物流精準度就必須誤差小，才能送到指定的目的，另外還有環境影響，因為空拍機如果沒有內建 GPS 的話，只要受到環境影響就會造成偏差，並且無法自動修正原設定路線。而電容量也是物流的一大考驗，如果載重太重的話消耗的功率就更大，消耗功率越大所需要的電池也必須更大，所以如果把電池縮小但功率不變，使用空拍機進行物流服務就變的可行。關於載重物的部分，由於空拍機起飛最重要的就是平衡，當載重物重心不在正中間的話，容易使飛行時過度傾斜，這對於載重物配置時也遇到很多難題，要避免遮蔽底部偵測器否則造成飛行錯誤。

## 參考文獻

- [1] 特洛 Tello 迷你無人機  
<https://www.esentra.com.tw/product/ryze-tello-drones/>
- [2] 大疆創新  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%A4%A7%E7%96%86%E5%88%9B%E6%96%B0>
- [3] 四軸飛行器  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%9B%9B%E8%BD%B4%E9%A3%9E%E8%A1%8C%E5%99%A8>
- [4] 【科普小知識】無人機怎麼飛起來？用簡單的高中物理就可以懂啦～  
<https://buzzorange.com/techorange/2017/05/26/drone-2/>
- [5] 到底是遙控飛機還是無人機？從演進歷史說分明  
<http://technews.tw/2016/08/10/uav-drone-name/>
- [6] 深入體驗 Tello 無人機，這是你可以用台幣 3500 元買到最不像玩具的玩具無人機  
<https://www.techbang.com/posts/56891-deep-experience-tello-unmanned-aerial-vehicle-this-is-shenzhen-engineer-challenge-chaoshan-toy-factorys-newest-masterpiece>
- [7] 除了空拍和送貨，無人機還能做什麼？  
<http://technews.tw/2015/01/04/uav-application/>
- [8] Tello 與 Scratch 的第一次接觸  
<https://blog.everlearn.tw/tello-%E7%A9%BA%E6%8B%8D%E6%A9%9F/tello-%E8%88%87-scratch-%E7%9A%84%E7%AC%AC%E4%B8%80%E6%AC%A1%E6%8E%A5%E8%A7%B8>
- [9] 影／無人機農村送貨 智慧物流解決偏鄉困境  
<https://www.ettoday.net/news/20180727/1221680.htm>
- [10] 無人機飛阿里山 10 分鐘運送血清！克服地形限制救人命  
<https://hsszn.com/archives/61233>
- [11] 工研院攜手警政署與臺中市警局 長效繫留無人機「空中警車」協助臺中花博維安  
<https://www.itri.org.tw/chi/Content/NewsLetter/contents.aspx?&SiteID=1&MmmID=620605426331276153&SSize=10&SYear=2018&Keyword=&MSID=1002570120235035110>
- [12] 茶農擁抱無人機技術  
<https://dronesplayer.com/droneuse/%E5%8F%B0%E7%84%A1%E4%BA%BA%E6%A9%9F%E9%81%8B%E8%9B%87%E6%AF%92%E8%A1%80%E6%B8%85%E5%AE%9C%E8%98%AD%E8%8C%B6%E8%BE%B2%E7%94%A8%E7%84%A1%E4%BA%BA%E6%A9%9F%E6%96%BD%E8%82%A5/>