

智能無人機：速度與穩定度的改造計畫

研究生：陳品叡、林宥宏、鍾其勳、陳梓叡

摘要



我們購買5台無人機進行測試，並在Thinkin與S4A兩款無人機之間進行比較，最後選擇S4A作為改造對象。我們將S4A改造成冰棒棍無人機，進行許多調整：載重、機身、懸臂、螺旋槳，找出最好的配置效果。再將這4項最好的效果合在一起，成為綜合效能，比較S4A無人機，精進其效能。

改造時，我們遇到許多困難，如：飛控板與電池的擺放位置、懸臂如何加長，後來發現能用小魚尾夾加長懸臂，並量測S4A的懸臂長度以求兩台無人機一樣長。而最辛苦的地方是，為了控制環境因素，不能有學生在場，也要阻隔風力的影響，所以我們連續8個週日早上，借用綜合大樓一樓來進行實測，希望可以打造兼具速度與穩定性的無人機。

壹、前言



一、研究動機

在這一個許多科技的時代，無人機是一個很炫酷的高科技產品，也是一個不成退潮的東西。在我們苦思獨研主題時，品叡去河濱公園看到有人正在玩無人機，便想到：「這個是否能作為獨研主題呢？」於是，品叡便邀請梓叡、其勳、宥宏，一起來進行獨立研究。

此外，我們在資優班有3D列印的選修課，品叡和梓叡在五年級有上過，其勳在六年級會上課，希望可以藉由3D列印幫助研究，可以改變螺旋槳或機身，讓無人機的飛行更為順暢。

二、研究目的

- （一）了解無人機的構造及飛行原理。
- （二）測試5台無人機，挑選Thinkin、S4A無人機，擇優進行改造。
（空轉分貝、一鍵起飛分貝和時間、飛行10公尺的時間）
- （三）改造S4A無人機，提升無人機的速度與穩定度。

三、文獻回顧

一、無人機的簡介

（一）歷史

無人機是一個近年才興起的科技產品，具有休閒、軍事等功能，它的發展歷史如下：

1. 1898年，尼古拉·特斯拉創造無人機基本理論。
2. 美國在1918年研發出歷史上第一台無人機，「凱特靈小飛蟲Kettering Bug」無人機，但飛80km就爆炸了。
3. 1929年成功研發出了四旋翼無人機。
4. 英國在1930年做出當作標靶的無人機。
5. 美國在1939年大量生產當標靶的無人機「無線電飛機」。
6. 美國在1951年研發噴射推進無人機「火蜂」在越戰時用來監視敵陣。
7. 1982年在黎巴嫩戰爭時，無人機則做為尋找雷達站使用。
8. 1983年美國創造能在平流層飛行的無人機，用於研究大氣層。
9. 1995年美國還研製出能使用導彈的無人機「MQ-1掠奪者」。
10. 2010年研發出能輕易操控的無人機，大量生產作為休閒使用的無人機。
11. 在現代，無人機擁有各種高科技的構造，如氣壓計、水平儀、電子調速器等，因此能運用在各種不同領域，如：農用施肥、運輸貨物及緊急物資、巡檢、勘災、監控、偵查及攻擊.....等各式用途。

（二）特色

無人機的特點有：飛行速率不快、體積小、成本低、靈活性強、安全性高、受自然環境及地形影響較小、視角更優等特色。目前使用在不同的領域，包括：科學研究、場地探勘、軍事、休閒娛樂、農業、快遞運輸、救災、測繪、電力巡檢等用途上使用。

（三）原理

1. 升力

無人多旋翼機升力來源是：4個螺旋槳以同樣的轉速轉動，螺旋槳上下的氣壓會產生差異。當螺旋槳上方的氣壓比下方的氣壓小，因伯努利原理，便會產生升力，使無人機上升。

2. 推力

螺旋槳的推力是藉由螺旋槳本身的攻角設計與發動機所輸出的轉速而使無人飛機前進飛行。螺旋槳轉速通常以每分鐘轉數（Revolution Per Minute, RPM）來表示。螺旋槳攻角最大的位置在螺旋槳的根部，從根部（攻角最大）開始遞減到槳尖端（攻角最小）



圖1 升力的產生



圖2 攻角大小

3. 改變方向

1) 螺旋槳的方向

想要讓無人機以順時針方向旋轉，要減弱對角的兩個順時針槳轉速，並加強逆時針槳的速度，透過逆時針槳產生的順時針反作用力旋轉。逆時針則是要減弱對角的兩個逆時針槳轉速，並加強順時針槳的速度，透過順時針槳產生的逆時針反作用力旋轉。

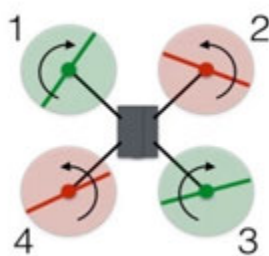


圖3 螺旋槳旋轉方向

2) 升降

上升時需要升力，升力會將螺旋槳往上拉並帶著機體向上，為了產生足夠的升力，螺旋槳的轉速要變快。反之下降時則是減緩螺旋槳轉速，讓升力小於重力，無人機便會下降。

(四) 構造

1. 機身結構

機體機架及槳翼等機體結構件，可以承載動力系統、飛行控制系統、影像、圖傳、遙控器及接收器。



圖4 無人機解剖圖

2. 動力系統

- 1) 電子調速器：把動力電池提供的直流電轉換為可直接驅動電機的三項交流電。電調接收飛控指令後，控制電機轉速，使無人機的傾角改變。
- 2) 馬達：目前主流電機為無刷馬達，馬達的作用就是通過轉動，帶動螺旋槳的轉動，提供升力。
- 3) 螺旋槳：螺旋槳固定在馬達軸上，隨馬達而轉動，為無人機帶來升力。
- 4) 動力電池：目前多使用鋰聚合物為動力，把數片電芯串並聯在一起，提供飛行動力。

3. 飛行控制系統

- 1) GPS：用於獲取無人機的經緯度訊息，確定位置。
- 2) 氣壓計：用於測量當前大氣壓，獲取無人機的高度訊息。
- 3) 陀螺儀：計算出物體的姿態（平衡）。
- 4) 加速度計：測量無人機在三維空間中的角速度和加速度。
- 5) 指南針：用於分辨飛機在世界坐標系中的東南西北朝向。

4. 影像及圖傳

雲台裝設於飛行器之上，用來空拍攝影設備，影像傳輸系統。

5. 遙控器及接收器

- 1) 透過遠程控制技術來操控的飛行動作並由接收器接收遙控器發出的遙控指令訊號，目前主流無線信號是2.4G信號。一般的無人機是使用美國手，其次就是日本手。
- 2) 美國手的遙控器左操縱桿控制向上、向下、左轉、右轉。右操縱桿控制前進、後退、左移、右移。



圖5 無人機遙控器（美國手）



圖6 無人機遙控器（日本手）

6. APP

APP通常是連接相機，也可以用手機 或平板操作無人機。APP是使用Wi-Fi連接無人機的，透過APP可以拍照、紀錄和規劃飛行軌跡。

（五）法規

無人機雖然很方便，但使用時要遵循民用航空法99-14條：

1. 無人機飛航飛行高度不可高於四百呎（約一百二十一公尺）。
2. 無人機不得投擲或噴灑任何物件。
3. 不得裝載依第四十三條公告之危險物品。
4. 依第九十九條之十七所定規則之操作限制。
5. 不得於人群聚集或室外集會遊行飛行。
6. 不得於日落到日出之時間飛航。
7. 在目視範圍內操作，不得用矯正鏡片外之任何工具延伸飛航距離。
8. 不得一次控制二架以上的無人機。
9. 操作人需隨時監視無人機之飛航及週遭狀況。
10. 應防止無人機與其他無人機、障礙物接近或碰撞。

依據交通部民用航空局的規定，可使用活動區域範圍查詢，紅區代表僅供法人通過能力審查並通過申請才能從事遙控無人機活動。綠區是只要遵守操作限制項目，便可飛行。黃區則是限制飛行高度200呎以下，其他與綠區相同。學校位於於機場四周200呎以上禁止施放範圍（黃區）不得飛超過200呎，但要是室內飛，便可不受限制，不過由於場地是學校，所以飛行時也要格外小心才行。

備註：1呎=約0.30公尺，200呎=約60.96公尺。

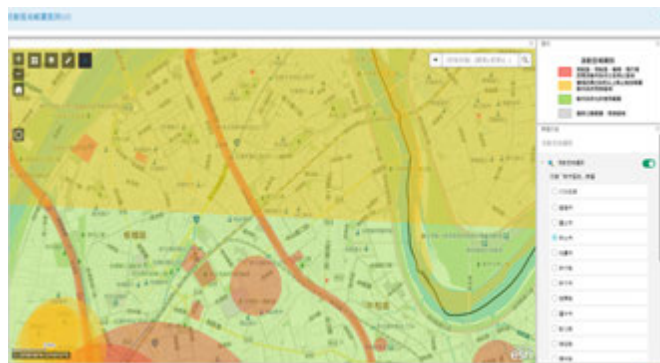


圖7 無人機活動區域範圍

（六）造成事故的5種狀況

1. 通訊問題：無人機的飛行距離太遙遠或被電波干涉，讓無人機無法收到遙控器的訊號而無法操控。
2. 電池沒電：每顆電池都有的續航時間，如果不去注意續航時間而讓電池沒電的話，馬達就會停下來，使無人機墜落地面。

3. 強風或風向突然改變：無人機的飛行高度越高，就越容易受到風的影響，無人機可能會被強風吹落。
4. 操控失誤：操控失誤時，可能會撞到電線、樹木、其他無人機等，使無人機墜落地面。
5. 故障造成墜落：不論何時，我們都不知道什麼時候會發生意外，所以須要做好一定的訓練，防止意外發生。

二、Thinkin、S4A無人機

在進行實驗前，我們已經購買了3台無人機，不過都屬於大陸廠牌，會有資訊安全的疑慮，因此考慮智高的Thinkin無人機、奧斯丁的S4A無人機，擇優進行改造。

（一）Thinkin無人機

1. 基本資料

Thinkin是一款四軸飛行器，是用四個螺旋槳產生升力的多軸飛行器，通過螺旋槳提供的推力使飛機升空、懸停、維持姿態及平飛。它的四個螺旋槳大小相同，分布位置接近對稱。對於簡單的設計來說，調整不同螺旋槳之間的相對速度來調節不同位置的推力，並克服每個螺旋槳之間的反扭力矩，就可以控制飛機維持姿態，或完成各種機動飛行，所以四軸飛行器結合高解析定點非常適合拍攝航拍照片和影片，Thinkin無人機還可以用IOS & Android的平板和手機下載它的APP，並進行空拍。

2. APP操作說明

1) DRONE REMOTE CONTROL

左邊的圈往上是向上，往下是向下，往左和往右分別是逆時針選轉和順時針旋轉；右邊的圈往上是前進往下是後退，往左和往右分別是往左飛、往右飛。

2) DRONE PROGRAMMING

可以讓使用者自己用程式操控無人機方向，左邊往上是向上，往下是向下，往左和往右分別是逆時針選轉和順時針旋轉；右邊往上是前進，往下是後退，往左和往右分別是往左飛、往右飛。程式設計完畢就按START，它就會幫你執行，想在中途暫停的時候按下STOP，它就會停止執行所有程式。

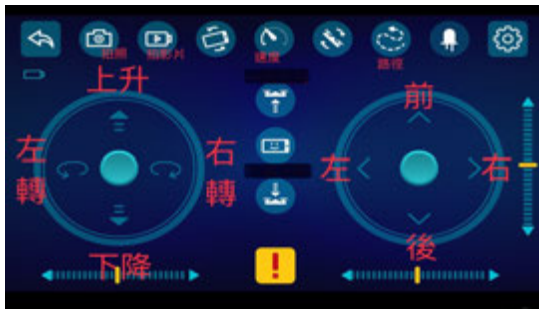


圖8 DRONE REMOTE CONTROL

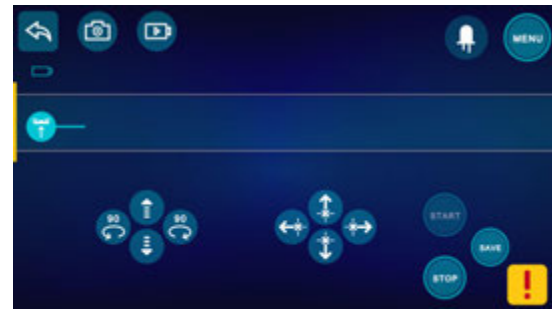


圖9 DRONE PROGRAMMING

(二) S4A無人機簡介

1. 基本資料

S4A練習機是一個由奧斯丁國際代理的無人機，具備雙控特色，使用定高遙控器對頻，可以做低門檻高控制，給初階操作者使用。使用進階無定高遙控器，可以做無定高操控練習，給高階操作者使用。

S4A練習機須全部自行組裝，包含無人機零件（機身、控制板、螺旋槳、馬達、電池等）、遙控器。

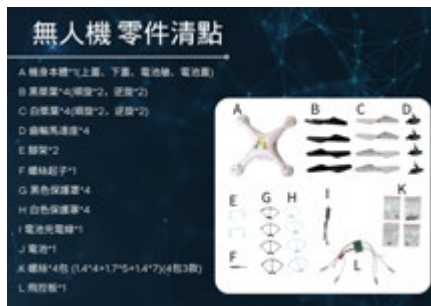


圖10 S4A無人機零件清點圖



圖11 S4A遙控器零件清點

2. 遙控器

S4A的遙控器也是美國手，除此之外，它還能調整檔數，只要按左上角的按鍵，就能調整，按下時會有嗶聲，1聲是1檔，2聲是2檔，3聲則是3檔。3檔的飛行速度最快，其次是2檔，1檔最慢。



圖12 切檔圖示

貳、研究設備及器材



1. 3台無人機Drone、Tracker、Daming



2. Thinkin、S4A無人機



3. S4A無人機改造材料

冰棒棍、小魚尾夾、快乾膠、橡皮筋、束帶、砝碼。



一、研究架構圖

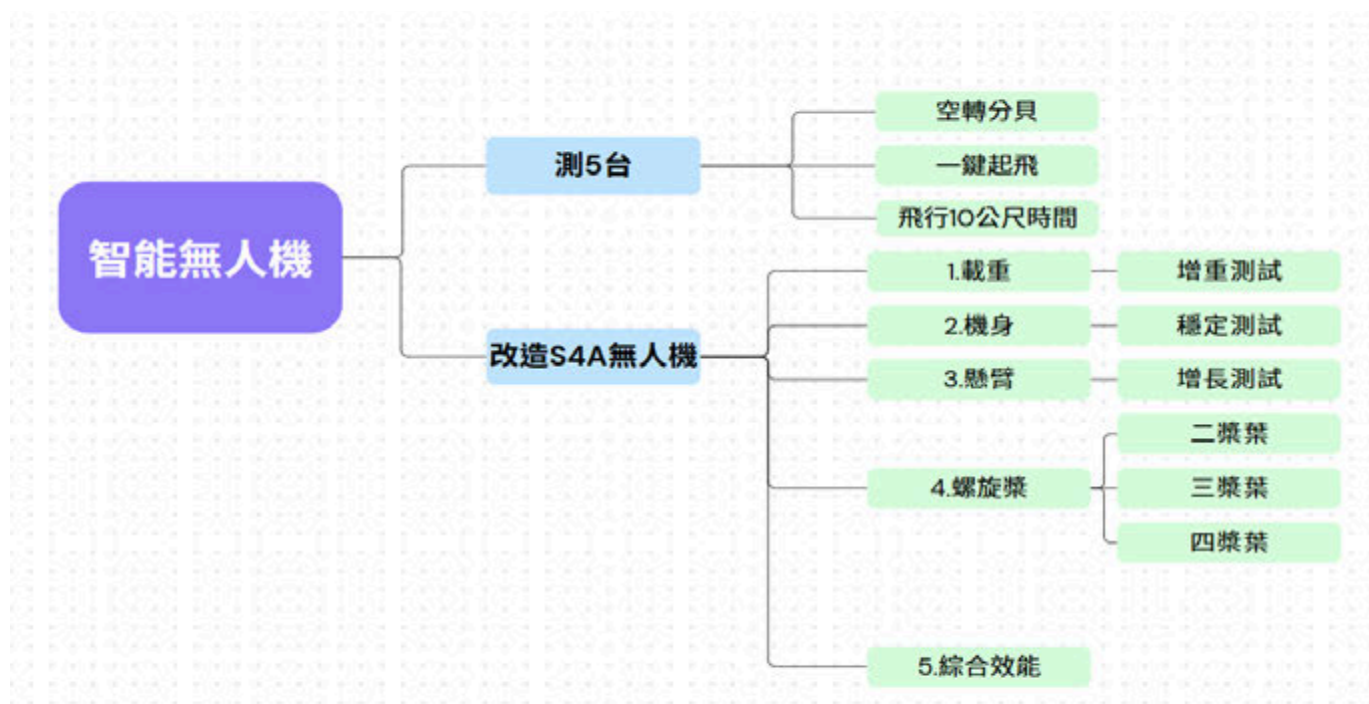


圖13 架構圖

二、介紹5台無人機

（一）5台無人機的基本資料

在進行研究以前，我們買3台無人機進行測試，熟悉無人機的操控。因為3台無人機是大陸廠牌，基於資訊安全問題，不能採用大陸廠牌的無人機，所以我們購買第4號智高的Thinkin無人機。

在113年11月參加臺灣教育科技展，我們參觀無人機展，遇到無人機專家，專家推薦S4A無人機，因此我們購買第5號奧斯丁的S4A無人機。第4號Thinkin無人機、第5號奧斯丁的S4A無人機，都要自行組裝，所以我們打算將4號跟5號無人機做比較，擇優進行改造。

編號	1	2	3	4	5
廠牌	Drone	Tracker	Daming	Thinkin	S4A
軸數	4軸	4軸	4軸	4軸	4軸
螺旋槳保護套	完全包覆	未完全包覆	無	未完全包覆	未完全包覆
電池電壓（V）	4.21	4.16	4.17	4.15	4.18
材質	樂高	塑膠	塑膠	塑膠	塑膠
遙控器	美國手	美國手	美國手	美國手 （以APP操控）	美國手
重量	95g	33g	35g	117g	111g
購買網址	https://reurl.cc/34WE48	https://reurl.cc/WNgO0x	https://reurl.cc/GpvyND	https://reurl.cc/xpOzWZ	https://reurl.cc/DKdWxE

（二）組裝Thinkin、S4A無人機

1. Thinkin無人機

1) 組裝時間：10/18（五），共2節課。

2) 組裝過程：

A. 組裝說明書，共有8個步驟。

B. 需注意第2個步驟。螺旋槳A上有白線，要裝到黑和白線的馬達上。第5個步驟，要將馬達電線穿過洞。

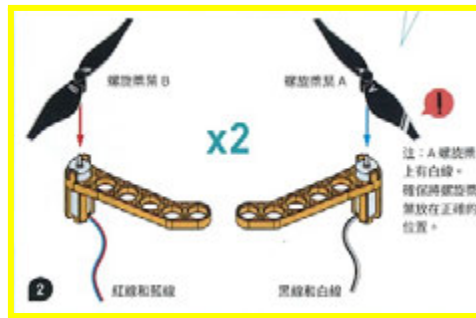


圖14 第2個步驟



圖15 第5個步驟



圖16 Thinkin無人機正面



圖17 Thinkin無人機反面

2. S4A無人機

- 1) 組裝時間：11/27（三），各自帶回家組裝，時間約1個小時。
- 2) 組裝過程：需注意螺絲尺寸。



圖18 S4A無人機正面



圖19 S4A無人機反面

（三）測試5台無人機

1. 無人機空轉時的分貝

（1-1空轉平均分貝、1-2空轉最高分貝）

實驗步驟：

- 1) 無人機在地上空轉，iPad打開分貝計，距離無人機30公分。
- 2) 此實驗由同一人操作，共測量5次，每次10秒，取這10秒的平均值。

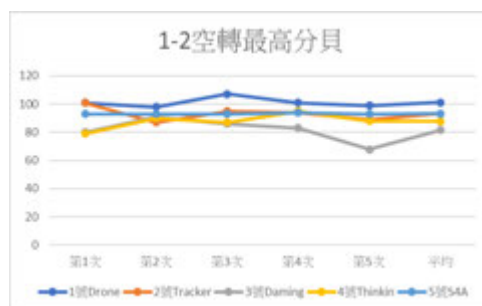
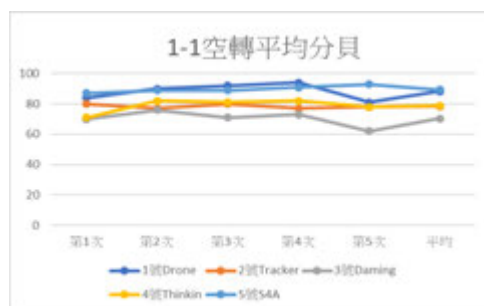
實驗結果：

1號無人機空轉時的平均分貝是88.2，2號是78.4分貝，3號是70.4分貝，4號是78.8分貝，5

號是89.4分貝，平均分貝：5 > 1 > 4 > 2 > 3。為了測試瞬間分貝能達到多高，我們測試了最高的數值，1號能達到101.2分貝，2號是93.2分貝，3號是81.6分貝，4號是87.8分貝，5號是93.2分貝，最高分貝：1 > 5 = 2 > 4 > 3。

量測的分貝為整數，平均用四捨五入取到小數點第1位。

編號	次數	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均
1號 Drone	平均分貝 (dB)	84	90	92	94	81	88.2
	最高分貝 (dB)	101	98	107	101	99	101.2
2號 Tracker	平均分貝 (dB)	80	77	80	77	78	78.4
	最高分貝 (dB)	101	87	95	94	89	93.2
3號 Daming	平均分貝 (dB)	70	76	71	73	62	70.4
	最高分貝 (dB)	80	91	86	83	68	81.6
4號 Thinkin	平均分貝 (dB)	71	82	81	82	78	78.8
	最高分貝 (dB)	79	90	87	95	88	87.8
5號 S4A	平均分貝 (dB)	87	89	89	91	93	89.8
	最高分貝 (dB)	93	93	93	94	93	93.2



2. 無人機一鍵起飛時的分貝、時間

(2-1一鍵起飛平均分貝、2-2一鍵起飛最高分貝、2-3一鍵起飛的時間)

測試原地空轉後，思考空轉跟起飛的分貝應該不同，所以我們測試一鍵起飛、一鍵降落的分貝，以及所需的時間。

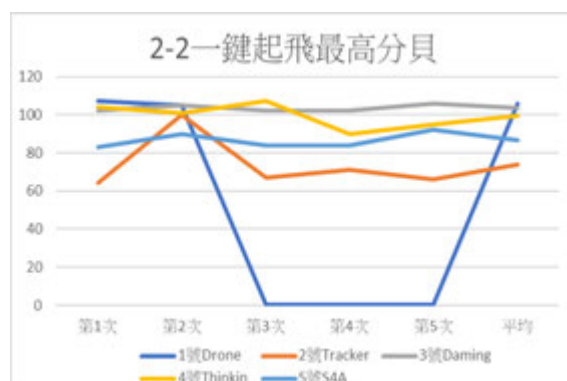
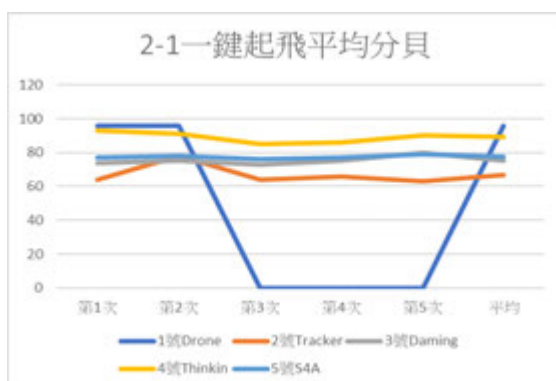
實驗步驟：

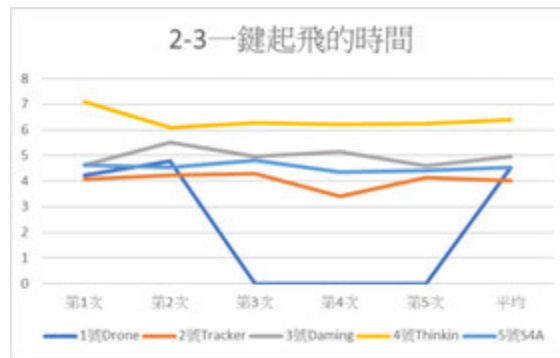
- 1) iPad打開分貝計後，無人機按下一鍵起飛並立刻降落。
- 2) iPad距離無人機30公分。
- 3) 此實驗由同一人操作，共測量5次，取這段時間的平均值。

實驗結果：

1號一鍵起飛時的平均分貝是96，2號是67分貝，3號是75.4分貝，4號是89分貝，5號是77.4分貝，平均分貝：1 > 4 > 5 > 3 > 2。1號的最高分貝是106，2號是73.6分貝，3號是103.4分貝，4號是99.4分貝，5號是86.6分貝，最高分貝：1 > 3 > 4 > 5 > 2。而飛行的秒數，平均時間1號是4.51秒，2號是4.02秒，3號是4.97秒，4號是6.39秒，5號是4.54秒，平均時間：4 > 3 > 5 > 1 > 2（最快）。量測的時間為小數點第2位，四捨五入取到小數點第2位。

編號		次數	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均
1號 Drone	平均分貝 (dB)		96	96	因無人機故障無法測量			96.0
	最高分貝 (dB)		107	105				106.0
	時間 (秒)		4.24	4.77				4.53
2號 Tracker	平均分貝 (dB)		64	78	64	66	63	67.0
	最高分貝 (dB)		64	100	67	71	66	73.6
	時間 (秒)		4.07	4.22	4.28	3.41	4.14	4.02
3號 Daming	平均分貝 (dB)		74	75	73	75	80	75.4
	最高分貝 (dB)		102	105	102	102	106	103.4
	時間 (秒)		4.63	5.51	4.97	5.14	4.60	4.97
4號 Thinkin	平均分貝 (dB)		93	91	85	86	90	89.0
	最高分貝 (dB)		104	101	107	90	95	99.4
	時間 (秒)		7.1	6.1	6.29	6.23	6.24	6.39
5號 S4A	平均分貝 (dB)		77	78	76	77	79	77.4
	最高分貝 (dB)		83	90	84	84	92	86.6
	時間 (秒)		4.64	4.53	4.8	4.34	4.41	4.54





3. 無人機飛行距離10公尺，所需要的時間。

(3-1飛行10公尺的時間)

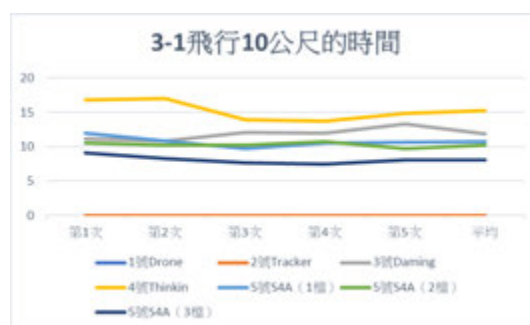
實驗步驟：

- 1) iPad打開碼表後，無人機按下一鍵起飛。
- 2) 無人機飛行5公尺後，返回，共飛10公尺。
- 3) 此實驗由同一人操作，共測量5次，取這段時間的平均值。

編號		次數	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均
3號Daming	時間 (秒)		11.13	10.82	12.12	11.95	13.29	11.86
4號Thinkin	時間 (秒)		16.76	16.97	13.94	13.69	14.85	15.24
5號S4A	1檔 (秒)		12.02	10.84	9.67	10.57	10.6	10.74
	2檔 (秒)		10.54	10.25	10.2	10.7	9.68	10.27
	3檔 (秒)		9.11	8.28	7.67	7.43	8.04	8.11

實驗結果：

1、2號因無人機故障無法測量，3號的平均秒是11.86秒，4號秒是15.24秒，5號無人機3個檔次的平均秒分別是10.74秒、10.27秒、8.11秒。結果是：4 > 3 > 5的1檔 > 5的2檔 > 5的3檔（最快）。



4. 小結

1) 空轉時的分貝

平均分貝：5 > 1 > 4 > 2 > 3，最高分貝：1 > 5 = 2 > 4 > 3。

空轉時，5號S4A的平均分貝、最高分貝，均高於4號Thinkin。

2) 無人機一鍵起飛時的分貝、時間

平均分貝：1 > 4 > 5 > 3 > 2，最高分貝：1 > 3 > 4 > 5 > 2。

飛行的時間：4 > 3 > 5 > 1 > 2（最快）。

一鍵起飛時，5號S4A的平均分貝、最高分貝，均低於4號Thinkin，且飛行時間比4號Thinkin還快。

3) 無人機飛行距離10公尺，所需要的時間

1、2號因無人機故障無法測量，結果是：4 > 3 > 5的1檔 > 5的2檔 > 5的3檔（最快）。飛行距離10公尺時，5號S4A的3檔、2檔、1檔，都比4號Thinkin還快。

4) 比較4號Thinkin、5號S4A，發現空轉時，5號S4A的分貝較大，但一鍵起飛時，4號Thinkin的分貝反而比較大。而飛行時間的比較，無論是一鍵起飛的時間，或是飛行距離10公尺的時間，5號S4A都比4號Thinkin還快，所以我們決定以5號S4A進行改造。

5) 此外，我們觀察到2號Tracker的電池必須要從背面連結連接，否則會導致裡面的陀螺儀將背面設為正面，使無人機在起飛後會翻覆。



圖20 2號Tracker的電池連接



圖21 3號Daming的電池連接

三、改造S4A無人機

（一）增加載重

1. 加掛紙盒

我們嘗試將盒子裝在S4A的下方，測試後發現因為S4A的向下風的升力會把小盒子往下壓，導致S4A無法順利起飛。



圖22 S4A裝上盒子

2. 加掛貨架

經過第一次的失敗經驗，我們開始在網路參考載貨無人機的結構，發現最多形式的載貨無人機大多安裝於無人機正下方起落架位置，且體積不會阻礙螺旋槳風的升力，如圖23。



圖23 節錄自交通部運輸研究所-無人機整合示範計畫（Ⅱ）-物流運送之深化應用 P.17

所以我們利用冰棒棍於S4A起落架下方，製作一個貨架並掛載於起落架上，體積不超過貨架，重量僅6g，不影響飛行且不阻礙螺旋槳升力風流。



圖24 掛載貨架的S4A

3. 載重飛行測試

經過安裝貨架成功飛行後，我們想嘗試著比照圖23圖內下方文字說明【最大酬載】，測試S4A無人機的最大酬載，還有裝載貨物後的飛行時間，我們以每個10g的砝碼作為1份貨物，用橡皮筋固定貨物避免貨物掉下來或滾動影響飛行。

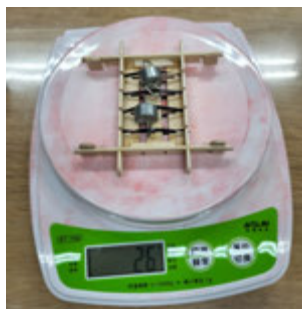


圖25 掛載2份貨物的貨架

實驗步驟：

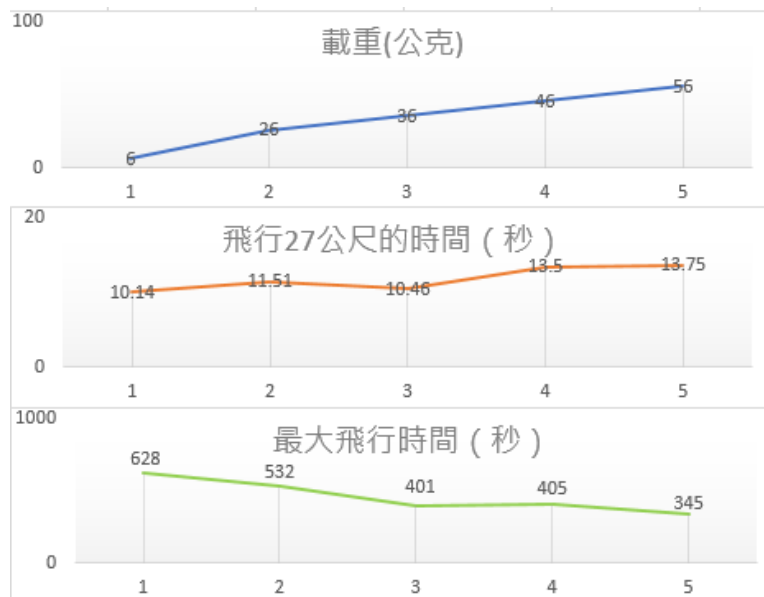
- 1) 放兩個角錐，距離27公尺。
- 2) 無人機載不同數量的砝碼，放在其中一個角椎旁。
- 3) 飛行27公尺的時間，測量從起點飛27公尺所需要的時間。
- 4) 最大飛行時間，操作者按一鍵起飛，過起點時開始計時，飛到27公尺的位置時，按下分圈，來回飛行，當無人機閃燈時代表快沒電，紀錄時間停止，操作者按一鍵降落。

實驗結果：

測試項目	載重	貨架無掛載貨物 (6g)	2份貨物加貨架 (26g)	3份貨物加貨架 (36g)	4份貨物加貨架 (46g)	5份貨物加貨架 (56g)
飛行狀態觀察 (*錄影並目視觀察)		穩定飛行且左右偏移正常。	起飛時稍有延遲，左右移動時上下偏移量增大。	起飛時明顯延遲，左右移動時會有往下偏移的情形。	起飛時明顯吃力，飛行高度會持續因重量往下偏移，需不時操控往上。	起飛時相當吃力，飛行高度僅能往上約10cm，會一直往下觸地。
飛行27公尺的時間 (*以1檔原地加速飛行27公尺)		10.14秒	11.51秒	10.46秒	13.50秒	13.75秒
最大飛行時間 (*以1檔均速，27公尺持續往返測試)		10分28秒50	8分52秒09	6分41秒61	6分45秒62	5分45秒09

4. 小結

我們發現S4A能維持飛行的最大載重約36g，裝載最大載重後因為需要更多的升力，使得驅動馬達的電力消耗更快，最大飛行時間也會隨著其重量增加而減少，飛行27公尺的時間也跟著增長。



(二) 機身改造

1. 改造準備

我們購置的S4A無人機屬於零件包，每個部件都需要自行組裝，在組裝的同時我們也在網路影片上看到有人用冰棒棍加上零件（如圖35），製造出一台小型的無人機，所以我們很好奇，如果我們將S4A的零件仿造影片，用冰棒棍組裝起來，是否也能順利飛行。

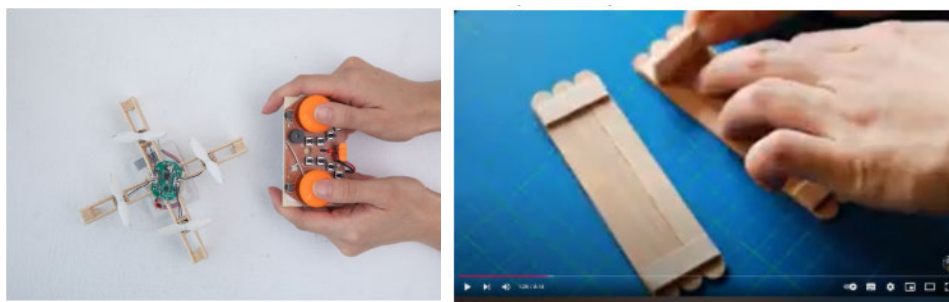


圖26 截圖自網路影片 [低成本無人機 | 製作流程](#)

我們這次的實驗測試中，另外需設計無人機懸臂延伸，因為S4A的機身是一體成形無法調整，所以載改造機身的同時，一併將可調整式的懸臂納入本次改造條件內，以下是我們的改裝材料、設備跟改裝構思：

- 1) 材料：
 - 鋸齒冰棒棍、一般冰棒棍、束帶、瞬間膠、小魚尾夾
- 2) 設備：
 - 電子秤、三角尺規、烙鐵焊錫、手動鑽孔鑽頭、螺絲起子（S4A內附）、美工刀、切割墊、斜口鉗
- 3) 構思：
 - A. 目標以裸裝S4A飛控板+馬達+電池，安裝於冰棒棍完成之無人機機體，懸臂部分以活動式可調節設計或利用冰棒棍加魚尾夾變更長度。

- B. 量測並記錄S4A個臂件重量（機殼、飛控板+馬達……）、機臂置中心距離、腳架高度、其他……等尺寸。
- C. 利用冰棒棍組裝飛控板艙、電池艙、懸臂、螺旋輪組架、腳架，量測刪減（或增加）重量，控制冰棒棍組裝的機體重量與S4A原機殼重量相符。
- D. 懸臂部分以活動式或調節式方式設計組裝。
- E. 安裝飛控板、LED燈、螺旋輪組+馬達，鎖定螺旋槳，裝上電池。
- F. 測試冰棒棍自製機體是否能飛行。

2. 改造作業

我們將S4A無人機的零件，用冰棒棍來做改造。以量測的S4A尺寸，用鋸齒冰棒棍製作無人機的機身與懸臂，用長冰棒棍固定飛控板與電池。



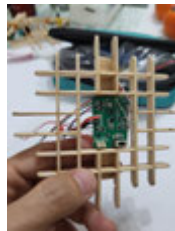
設計機身



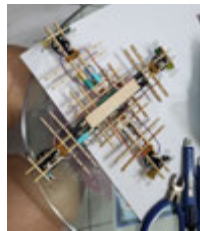
設計活動式懸臂



部件重量量測



安裝飛控板



魚尾夾固定活動懸臂



束帶加固機身

3. 測試修改

我們將改造好的無人機測試飛行，無人機飛行無法順利起飛或起飛後一直下降，量測重量發現組裝完成加上電池總重136g，比S4A原機含電池113g超重許多，所以我們進行第一次修改，去掉魚尾夾魚尾跟不必要的冰棒棍部件，使冰棒棍機體重量跟原S4A相符，重113g。



減重前無人機



去除部件



減重後無人機

減重後的無人機再次量測機體尺寸，發現螺旋槳懸臂距離20cm，與原S4A螺旋槳懸臂距離18cm不同，所以進行第2次修改，使冰棒棍機能與原機相符，成品如圖36。



圖27 冰棒棍無人機

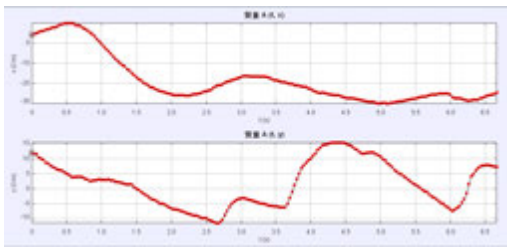
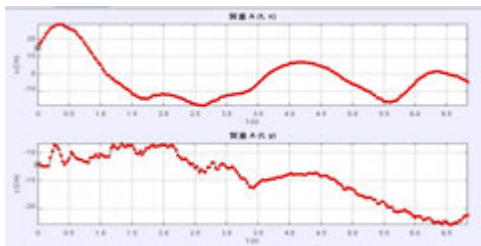
4. 穩定度測試

我們設置一個黑板牆，標示水平跟垂直測試線，高度是以S4A一鍵起飛的高度，以錄影方式觀察S4A原機跟冰棒棍機飛行穩定度，並依照校內113.12.18獨立研究初步審查評審委員的意見，並參考楊仲準中原大學物理系網路文章【Tracker軟體安裝與使用教學】，由我們拍攝影片，老師協助將影片透過Tracker軟體量測穩定度軌跡。



圖28、29、30、31 拍攝穩定度量測照片

S4A原機與冰棒棍機影片量測差異表如下：

	飛行觀察	Tracker軌跡	小結
S4A原機	飛行穩定，但因為本身只有氣壓定位，會有上下前後左右的偏移。		(1) 飛行穩定，但會有上下前後左右的偏移。 (2) 量測馬達軌跡較為平穩。
冰棒棍機	飛行較不穩定會抖動，上下前後左右的偏移量較大。		(1) 飛行較不穩定，上下前後左右偏移量大。 (2) 量測馬達軌跡Y軸上下變量不平穩的狀態明顯。

實驗結果：冰棒棍無人機可以飛行，但飛行的穩定度較弱（抖動），偏移相對頻率較多，偏移量也較大。

5. 維修紀錄

因為冰棒棍無人機為組裝機，飛行測試時常有部件故障，以下是維修紀錄。

日期	故障原因	維修結果
113.12.01	組裝後發現左前方馬達線與中控板間的焊接點脫焊	烙鐵加焊，馬達順利運轉
113.12.15	無人機翻落，右下方腳架斷裂	再重新用快乾膠加裝1根腳架
113.12.22	無人機降落，右下方腳架摔斷	用快乾膠加固
113.12.22	無人機左下方LED燈遭螺旋槳打斷	更換備品

（三）懸臂長度改造

1. 冰棒棍機第3度改造，改成懸臂可調整的方式。

依照當初我們研究架構中希望能測試無人機螺旋槳懸臂長度，是否對飛行有所影響，所以我們對冰棒棍無人機進行第3度改造。為了使懸臂能順利延伸，我們進行下列改造構思：

- 1) 冰棒棍交疊，若需加長，就把冰棒棍向外拉，加長懸臂每段加一公分會比較剛好。
- 2) 用魚尾夾固定跟放開調整，做常可活動延長的懸臂。
- 3) S4A的馬達距離18公分，冰棒棍機也是18公分，可以測試18、19、20、21公分。
- 4) 預設定延長三個級距，每個級距1公分，所以是可調整為對稱螺旋槳距離從原本的18

公分，調整可延伸至19公分、20公分、21公分三個級距。

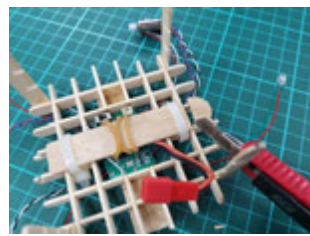
因為原本冰棒棍無人機沒有可延伸的部件，所以我們在上方加裝1組延伸架，並將四個懸臂加裝一個冰棒棍可交疊的零件，讓交疊的部位能在延伸架上調整固定長度，最終成品量測增加5g重量。



改造構思



製作延伸架



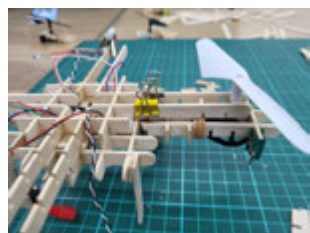
去除機身會卡住的部件



固定延伸架



懸臂加裝零件



懸臂加固於延伸架上



完成品測試重量



調整各延伸距離



測試飛行

2. 改變懸臂長度，量測飛行27公尺的時間。

（4-1使用1檔飛行27公尺的時間、4-2使用2檔飛行27公尺的時間、4-3使用3檔飛行27公尺的時間）

實驗步驟：

- 1) 用貼紙標記27公尺的距離，由一個人站在那裡，檢查無人機飛到27公尺。
- 2) 此實驗由同一人操作，共測量5次，取這27公尺所需時間的平均值。

實驗結果：

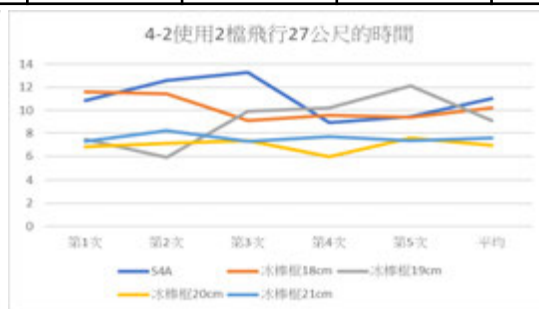
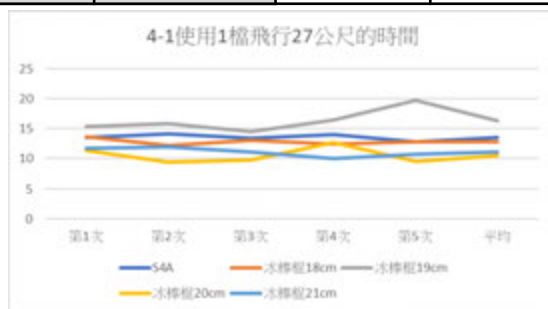
S4A無人機1檔飛行27公尺的平均時間是13.56秒，18cm的冰棒棍無人機是12.81秒，19cm是16.39秒，20cm是10.52秒，21cm是11.07秒，平均時間：19cm > S4A無人機 > 18cm > 21cm > 20cm（最快）。

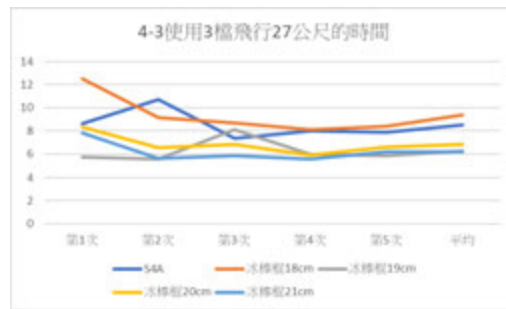
S4A無人機2檔飛行27公尺的平均時間是11.02秒，18cm的冰棒棍無人機是10.22秒，19cm是9.13秒，20cm是6.98秒，21cm是7.59秒，平均時間：S4A無人機 > 18cm > 19cm > 21cm >

20cm（最快）。

S4A無人機3檔飛行27公尺的平均時間是8.50秒，18cm的冰棒棍無人機是9.37秒，19cm是6.23秒，20cm是6.84秒，21cm是6.19秒，平均時間：18cm > S4A無人機 > 20cm > 19cm > 21cm（最快）。

編號	次數	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均
5號 S4A	1檔（秒）	13.56	14.12	13.39	14	12.75	13.56
	2檔（秒）	10.82	12.6	13.26	8.93	9.48	11.02
	3檔（秒）	8.63	10.7	7.32	7.98	7.87	8.5
冰棒棍 無人機 (18cm)	1檔（秒）	13.64	12.21	13	12.4	12.82	12.81
	2檔（秒）	11.6	11.41	9.13	9.59	9.39	10.22
	3檔（秒）	12.55	9.13	8.71	8.1	8.38	9.37
冰棒棍 無人機 (19cm)	1檔（秒）	15.32	15.86	14.55	16.47	19.73	16.39
	2檔（秒）	7.47	5.93	9.89	10.21	12.15	9.13
	3檔（秒）	5.71	5.55	8.09	5.98	5.84	6.23
冰棒棍 無人機 (20cm)	1檔（秒）	11.38	9.34	9.79	12.63	9.48	10.52
	2檔（秒）	6.86	7.11	7.36	5.98	7.59	6.98
	3檔（秒）	8.32	6.51	6.83	5.92	6.62	6.84
冰棒棍 無人機 (21cm)	1檔（秒）	11.69	11.89	11.06	9.96	10.74	11.07
	2檔（秒）	7.32	8.24	7.31	7.72	7.36	7.59
	3檔（秒）	7.80	5.58	5.84	5.57	6.16	6.19





3. 小結

我們發現S4A的延伸懸臂後，在1檔的情況下飛行27公尺，20cm最快，2檔20cm最快，3檔21cm最快。且在2檔中，18、19、20、21cm，都比S4A快。

(四) 螺旋槳改造

1. 3D列印螺旋槳

預計使3用Thinkin cad網站進行3D列印改造螺旋槳，可以改變攻角、螺旋槳的長度。機身會先用冰棒棍測試機身的重量、懸臂的位置，最後再以3D列印出來。

我們完成的設計圖但是因為學校的3D列印機故障，導致時間無法完成，最後只能放棄印出螺旋槳。

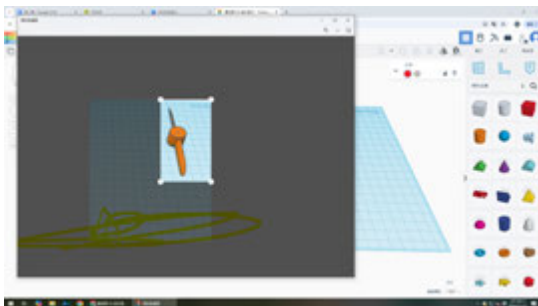


圖32 3D列印螺旋槳參考設計圖

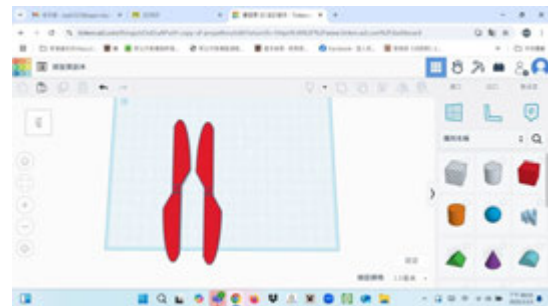
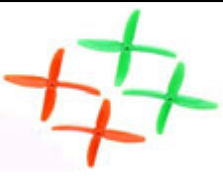
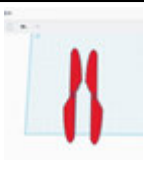


圖33 3D列印螺旋槳自製設計圖

2. 挑選螺旋槳

因為我們曾經到世貿場館參觀無人機、穿越機展覽，看到有三葉槳跟四葉槳不同的槳葉，所以也想嘗試看看。在網路研究了螺旋槳的一些基本知識，請品叡爸爸在網路找了規格相類似的槳葉，以下是我們準備使用的槳葉。

旋槳類型	S4A原槳	三葉槳	四葉槳	3D列印槳
------	-------	-----	-----	-------

外觀				
改裝完成照				3D列印機故障 無法完成
材質	熱塑塑料	硬質塑料	硬質塑料	X
重量(單位g)	6	23	18	X
直徑(單位英吋)	4.7	5	5	X
螺距(單位英吋)	4.7(*估算)	4.5	4	X
規格	4747(*估算)	5045	5040	X

3. 測試分貝

實驗步驟：

- 1) 無人機在地上空轉，iPad打開分貝計，距離無人機30公分。
- 2) 此實驗由同一人操作，共測量5次，每次10秒，取這10秒的平均值。

實驗結果：

S4A原槳空轉時的平均分貝是89.8，三葉槳是83分貝，四葉槳是83.4分貝，平均分貝：
S4A原槳 > 四葉槳 > 三葉槳。S4A原槳的最高分貝是93.2，三葉槳是89分貝，四葉槳是88分貝，最高分貝：S4A原槳 > 三葉槳 > 四葉槳。

槳葉		次數	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均
S4A原槳 (原數據)	平均分貝 (dB)		87	89	89	91	93	89.8
	最高分貝 (dB)		93	93	93	94	93	93.2
三葉槳	平均分貝 (dB)		88	79	77	85	86	83
	最高分貝 (dB)		91	93	86	88	88	89.2
四葉槳	平均分貝 (dB)		82	81	88	82	84	83.4
	最高分貝 (dB)		90	85	92	87	86	88

4. 測試一鍵起飛時的分貝、時間

實驗步驟：

- 1) iPad打開分貝計後，無人機按下一鍵起飛並立刻降落。

2) iPad距離無人機30公分。

3) 此實驗由同一人操作，共測量5次，取這段時間的平均值。

實驗結果：

S4A原槳一鍵起飛時的平均分貝是77.4，三葉槳是92.4分貝，四葉槳是94.6分貝，平均分貝：四葉槳 > 三葉槳 > S4A原槳。S4A原槳的最高分貝是86.6，三葉槳是103分貝，四葉槳是102.8分貝，最高分貝：三葉槳 > 四葉槳 > S4A原槳。而飛行的秒數，平均時間S4A原槳是4.54秒，三葉槳是4.97秒，四葉槳是5.37秒，平均時間：四葉槳 > 三葉槳 > S4A原槳（最快）。

槳葉		次數	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均
S4A原槳 (原數據)	平均分貝 (dB)		77	78	76	77	79	77.4
	最高分貝 (dB)		83	90	84	84	92	86.6
	時間 (秒)		4.64	4.53	4.8	4.34	4.41	4.54
三葉槳	平均分貝 (dB)		98	92	93	90	89	92.4
	最高分貝 (dB)		104	101	102	102	106	103
	時間 (秒)		5.43	4.80	5.06	5.18	4.40	4.97
四葉槳	平均分貝 (dB)		91	95	95	95	97	94.6
	最高分貝 (dB)		97	107	101	106	103	102.8
	時間 (秒)		4.58	5.09	6.03	5.60	5.56	5.37

5. 測試飛行能力

實驗步驟：

1) 用貼紙標記27公尺的距離，由一個人站在那裡，檢查無人機飛到27公尺。

2) 此實驗由同一人操作，共測量5次，取這27公尺所需時間的平均值。

實驗結果：

S4A原槳1檔飛行27公尺的平均時間是13.56秒，三葉槳是8.27秒，四葉槳是9.13秒，平均時間：S4A原槳 > 四葉槳 > 三葉槳（最快）。

S4A原槳2檔飛行27公尺的平均時間是11.02秒，三葉槳是6.22秒，四葉槳是6.63秒，平均時間：S4A原槳 > 四葉槳 > 三葉槳（最快）。

S4A原槳3檔飛行27公尺的平均時間是8.50秒，三葉槳是7.10秒，四葉槳是8.21秒，平均時

間：S4A原槳 > 四葉槳 > 三葉槳（最快）。

槳葉		次數	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均
S4A原槳 (原數據)	1檔 (秒)		13.56	14.12	13.39	14	12.75	13.56
	2檔 (秒)		10.82	12.6	13.26	8.93	9.48	11.02
	3檔 (秒)		8.63	10.7	7.32	7.98	7.87	8.50
三葉槳	1檔 (秒)		7.92	7.92	8.27	7.92	9.31	8.27
	2檔 (秒)		6.76	6.11	6.15	5.92	6.16	6.22
	3檔 (秒)		7.89	5.87	7.45	6.57	7.74	7.10
四葉槳	1檔 (秒)		9.63	8.96	9.42	8.83	8.84	9.13
	2檔 (秒)		8.00	6.18	6.02	6.65	6.30	6.63
	3檔 (秒)		8.85	7.68	8.36	8.73	7.41	8.21

（三葉槳與四葉槳於3檔飛行有時會失控、偏移、翻落等狀況）

6. 小結

我們發現原地空轉時三葉槳的分貝最小，但一鍵起飛時的分貝是S4A原槳（二葉槳）最小。飛行能力部分，三葉槳的飛行能力最優，但是三葉槳與四葉槳在三檔（高速）下不穩定。

（四）綜合效能改裝

1. 前4項改造

- 1) 載重：我們測試了6g、26g、36g、46g、56g，發現6g的飛行速度最快，但36g的飛行速度也跟6g差異不大。
- 2) 機身：將S4A改造成冰棒棍無人機。
- 3) 懸臂：我們測試了S4A、冰棒棍無人機的懸臂18cm、19cm、20cm、21cm，發現20cm的飛行速度最快。
- 4) 螺旋槳：我們測試了S4A原槳、三葉槳、四葉槳，發現三葉槳的飛行速度最快。

綜合前面4項結論，所以我們將（1）冰棒棍機的機身，（2）懸臂延伸至20cm，（3）機身裝上36g的載重，將（4）螺旋槳換上三葉槳。



圖34 綜效改裝機1

綜效改裝機完成後，我們測試飛行發現，無人機在起飛的時候，原本冰棒棍無人機的抖動幅度變很大，無人機無法起飛。所以我們嘗試著把三葉槳換回S4A原槳，再做一次測試，可以起飛，但是會一直往下降，無法測試飛行。

我們回到S4A機身進行改造，將槳葉改為三葉槳，增加貨架加一份貨物，讓全機重量達到144g，作為綜效改裝機3進行測試。



圖35 綜效改裝機3

2. 比較S4A、冰棒棍無人機綜合效能改裝後的飛行效能

機體	改裝項目	載重	全機重量 (含貨架電池等)	機身	懸臂	螺旋槳
	S4A	0g	111g	S4A	18cm	S4A原槳
	綜效改裝機1	30g	146g	冰棒棍	20cm	三葉槳
	綜效改裝機2	30g	146g	冰棒棍	20cm	S4A原槳
	綜效改裝機3	16g	144g	S4A	18cm	三葉槳

機體		次數	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均
S4A	1檔 (秒)		13.56	14.12	13.39	14	12.75	13.56
	2檔 (秒)		10.82	12.6	13.26	8.93	9.48	11.02

	3檔 (秒)	8.63	10.7	7.32	7.98	7.87	8.50
綜效改裝機3 (S4A改造)	1檔 (秒)	11.17	9.18	9.03	8.89	7.46	9.15
	2檔 (秒)	6.82	6.82	7.23	7.21	7.99	7.21
	3檔 (秒)	5.81	6.6	6.13	6.68	6.11	6.27

3. 小結

綜效改裝機3是用S4A的機身，載重16g，使用三葉槳，設定3檔，飛行27公尺的平均時間是6.27秒，比原S4A的3檔8.5秒還快。表示改造後的S4A，效能較原S4A佳，不僅飛行速度較快，又可以增加載重。

整體而言，綜效改裝機3的飛行能力最佳，既可以載重16g，還減少飛行的時間，飛行27公尺只要6.27秒。

肆、研究結果



一、改造S4A無人機

改造項目	改造條件	最佳效能
1.載重	6g（只有貨架）、26g、36g、46g、56g	6g，飛行27公尺需要10.14秒。
2.機身	S4A原機、冰棒棍	S4A馬達軌跡較平穩。
3.懸臂	18、19、20、21公分	2檔時，20公分飛行27公尺需要6.98秒。
4.螺旋槳	S4A原槳、三葉槳、四葉槳、3D列印槳	三葉槳，飛行27公尺需要6.22秒。

二、綜合效能改造

編號	項目	改造內容				是否飛行	飛行27公尺時間	速度排名
		載重	機身	懸臂	螺旋槳			
綜效改裝機1		30g	冰棒棍	20cm	三葉槳	否	無法測試	2
綜效改裝機2		30g	冰棒棍	20cm	S4A原槳	否	無法測試	2
綜效改裝機3		16g	S4A	18cm	三葉槳	是	6.27秒	1



圖36 綜效改裝機1



圖37 綜效改裝機2



圖38 綜效改裝機3

伍、討論



先前的研究	先前科展的研究，飛天奇蹟，以氦氣氣球作為浮力，具有創意性，但穩定度不高。
我們的改造	將載重、機身、懸臂、螺旋槳4個改造項目中，最好的結果做成綜效改裝機。測試綜效改裝機1、2、3號，只有綜效改裝機3可以飛行，飛行27公尺時間為6.27秒，相較原S4A的飛行時間8.50秒，速度比較快，所以改造成功！
未來可以研究	1. 更換轉速更快的馬達，希望可以提升飛行的效能。 2. 調整重心，並利用Tracker紀錄飛行穩定度。 3. 改造螺旋槳，希望能達到降噪功效。

陸、結論



綜效改裝	只有綜效改裝機3可以飛行，綜效改裝機3：載重16g、S4A原機、懸臂18公分、三葉槳。
比較S4A的效能	原S4A無人機，飛行27公尺需要8.50秒，綜效改裝機3，飛行時間只要6.27秒，速度比較快，且可以載重16g，所以改造成功！



一、網址

交通部民用航空局

<https://reurl.cc/Kdvjrn>

全國法規資料庫-民用航空法

<https://reurl.cc/yDW2Ny>

【TDA001】S4A Stem雙姿態練習機 無人機 組裝套件

<https://reurl.cc/qnaviR>

交通部運輸研究所 陳奕廷、鄭惟晃、張惠淑、陳彥佑、賴威伸、許修豪、王怡婷. (2023). 無人機整合示範計畫(Ⅱ)-物流運送之深化應用

<https://reurl.cc/WAN4zD>

uj class. (2021). 低成本無人機 | 製作流程.

<https://reurl.cc/xpedi5>

楊仲準. (2020). Tracker軟體安裝與使用教學

<https://reurl.cc/G5g7qD>

縮短網址產生器

<https://reurl.cc/main/tw>

APA格式產生器

<https://reurl.cc/V0qX55>

二、書籍

Thinkin說明書

尹相爽. (2022). 無人機. 新苗文化事業有限公司.

名倉真悟. (2022). 世界第一簡單無人機. 世茂出版有限公司