

國防大學理工學院資訊工程學系

資訊工程碩士班

碩士學位論文

視訊導引之小型無人飛行器飛控系統研究

The Study of Vision-Guidance Control for UAVs

研 究 生：林宏庭

指 導 教 授：翁旭谷

共 同 指 導：瞿忠正

中 華 民 國 一 〇 三 年 五 月 六 日

國防大學理工學院資訊工程學系
碩士班 碩士論文

視訊導引之小型無人飛行器飛控系統研究

林宏庭

碩士學位論文指導教授推薦書

國防大學理工學院資訊工程學系資訊工程碩士班 林宏庭 君所提

之論文 視訊導引之小型無人飛行器飛控系統研究

係由本人指導撰寫，同意提付審查。

此 致

系主任 王順吉

指導教授：翁旭谷 翟中正

日 期：103 年 5 月 6 日

碩士學位論文口試委員會審定書

國防大學理工學院資訊工程學系資訊工程碩士班 林宏庭 君所提之

論文 視訊導引之小型無人飛行器飛控系統研究

經本委員會審定通過，特此證明。

論文口試委員會

委員：楊景宏
謝朝和
郭忠正
羅忠正
翁旭谷

指導教授：翁旭谷 羅忠正
系主任：王順吉

中華民國 103 年 5 月 6 日

誌謝

寫到這頁，就表示我總算能畢業了，有種如釋重負的感覺，真是開心！

寫著致謝的同時，也將這 2 年的碩士生涯快速回想一遍，果然，回憶裡那種痛苦的感覺就平淡了些，而曾在緊要關頭，讓我突破困境向前衝的關鍵，卻還是記憶尤新，同樣鮮明。一直以來，我都認為完成 UAV 實驗及編寫論文是個不可能的任務，曾經幾度想要放棄，但最後還是如期完成，這都要歸功於我有一群超強卡司的班底，陪著我撐到最後，在此致上最真心的感謝。

回首 2 年間碩士班的求學過程，我受到諸位師長、同學、朋友與家人的協助與鼓勵，實有說不盡的感謝話語。首先要感謝業師瞿忠正及翁旭谷兩位教授的費心指導。瞿老師導引我分析實驗方法、修正研究方法及論文語句，耐心的解釋修改原因與目的，並適時協助我渡過研究及實驗的瓶頸，令我銘感五內。翁老師則提示我腳踏實地研究與做人處事道理，在此感謝老師們的教誨與包容。

在修業期間，也要感謝鄧堯仁老師協助我完成 UAV 實驗數據的獲取及硬體架構的安裝；感謝黃國隆學長（博班）、許智揚（同學）、羅文健（同學）協助技術上的突破及行政上的支援；感謝爸、媽，讓我能無後顧之憂的放心學習；感謝原服務單位的同仁，能義無反顧支持我來到國防大學理工學院資工所進修；感謝任薇伊大美女，感謝她在我求學的這 2 年，給了我安定的生活及最優渥的學習環境，感謝她在我最忙碌研究的同時，沒有無理取鬧，沒有製造糾紛，在此致上我最大的感激，交往 7 年了，至今我還欠她一場轟轟烈烈的求婚...

然後還要感謝很多人，因為當我閱讀任何一篇論文，最認真看的就是誌謝這頁，但輪到自己寫，卻又發現這頁，比論文還難寫。寫著寫著，發現想感謝的人太多了，不如謝天，感謝老天給了我一個好天氣，讓沒有防水功能的 UAV 能順利完成所有的飛行實驗。

最後，感謝曾經幫忙的所有人，謝謝你們。

摘要

近年來，無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)在軍事及民間用途方面均有相當廣泛的應用。本研究提出以視訊導引之小型無人飛行器飛控系統。除了改良及簡化UAV飛行控制系統以強化其抗風性外，並提出地面特徵比對及追蹤方法，使其完成視距外自動飛行任務。

本研究以自製的定翼機，並整合了陀螺儀、GPS及視訊系統，完成視距外飛行任務。為了確保定翼機自主飛行的穩定性和安全性，本文亦提出一套整合型自主飛控演算法，並驗證它的控制參數。本研究除了以實驗驗證演算法外，在實飛的環境下，本研究亦參加2014台灣無人飛機設計競賽，由比賽結果得知本演算法是可行且有效的。



關鍵詞：移動偵測、天際線、無人飛行載具、自動導航。

ABSTRACT

In recent years, the Unmanned Aerial Vehicle (UAV) is generally applied in military and civil operation. The study of vision-guidance control for UAVs is the main purpose. In addition to improving and simplifying the UAV flight control system to make a stouter wind resistance, we bring up the ground feature-matching and tracking methods to achieve the automatical flight by non-LOS (light of sight).

In this thesis, we achieve the ability the non-LOS flight control by a home-made fixed-wing UAV with gyroscope, GPS and video system. In order to ensure the stability and security of flight, we proposes a set of the integrated automatic flight control algorithms. The experiment of real flight shows that the algorithms are very efficient. Additionally, the performance of the home-made UAV with the flight control algorithms is also verified in the 2014 Taiwan innovative UAV competition.



Keywords: Motion Detection, Skyline, Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Auto-Navigation.

目錄

誌謝	ii
摘要	iii
ABSTRACT	iv
目錄	v
表目錄	vii
圖目錄	viii
1. 緒論	1
1.1 研究背景與動機	1
1.2 研究目的	3
1.3 文獻探討與回顧	5
1.4 論文架構	11
2. 研究方法	12
2.1 影像擷取前置處理作業	15
2.1.1 去交錯	15
2.1.2 影像灰階化	15
2.1.3 去除雜訊	16
2.1.4 邊緣點偵測	16
2.2 自主飛控演算法流程	18
2.2.1 特徵點選取	20



2.2.2 特徵點比對及追蹤.....	22
2.2.3 實際偏移量計算.....	24
2.3 建立曲線比例(P)控制法.....	29
2.4 整體控制流程.....	34
2.5 自動導航飛行驗證流程.....	37
3. 系統架構.....	39
3.1 戶外實飛驗證系統（空中部份）.....	41
3.1.1 無人飛行載具(UAV).....	42
3.1.2 空拍攝影機.....	43
3.1.3 機載圖傳發射機.....	44
3.2 戶外實飛驗證系統（地面部份）.....	46
3.2.1 遙控器（搭載433MHz之RF射頻發射器）.....	46
3.2.2 自動追蹤雲台系統.....	47
3.2.3 影像擷取器.....	50
3.2.4 圖傳接收機.....	51
3.2.5 電腦平台及FYGCS-Pilot導航軟體.....	52
4. 實驗結果.....	53
4.1 特徵偏移偵測結果.....	54
4.2 實際飛行驗證.....	72
5. 結論與未來展望.....	76
參考文獻.....	77
自傳.....	80

表目錄

表 2.1 UAV 飛行高度與移動分量強度對照表.....	27
表 2.2 機身偏轉角度與三軸電壓及角度對照表.....	28
表 3.1 酬載裝備暨重量表.....	42
表 3.2 空拍攝影機規格.....	43
表 3.3 影音發射機(5.8GHz)規格.....	44
表 3.4 自主導航飛控模組規格.....	45
表 3.5 Futaba T9CHP遙控器規格.....	46
表 3.6 433MHz之RF射頻發射器規格.....	47
表 3.7 MyFlyDream AAT 自動追蹤雲台規格[33].....	48
表 3.8 TeleFlyOSD規格.....	49
表 3.9 AATDriver規格.....	49
表 3.10 UPG308 規格.....	50
表 3.11 RC805 無線接收機規格.....	51

國防大學

National Defense University

圖目錄

圖 1.1 無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)[1]	1
圖 1.2 中科院自行研發的「戰術型UAV」	2
圖 1.3 美軍研發之UAV	2
圖 1.4 屏東部份地區八八風災後空拍照片	3
圖 1.5 無人飛行載具飛行測試及地面特徵移動量追蹤	6
圖 1.6 距離感應區塊示意圖	7
圖 1.7 以車道線導引飛行	7
圖 1.8 天際線偵測及示意圖	8
圖 1.9 移動物件偵測方法	9
圖 1.10 特徵點擷取	10
圖 1.11 樣板比對方法(判斷瑕疵品)[26]	11
圖 2.1 空拍地面特徵點移動示意圖	13
圖 2.2 飛行軌跡示意圖	13
圖 2.3 視訊導引UAV之自主飛控演算法整體流程圖	14
圖 2.4 交錯處理後的結果	15
圖 2.5 空拍影像灰階化	16
圖 2.6 Sobel遮罩運算子	17
圖 2.7 空拍影像特徵偵測(G_x)	17
圖 2.8 UAV控制示意圖	18
圖 2.9 視訊引導之自主飛控演算法	19
圖 2.10 中央區域特徵點示意圖	20
圖 2.11 中央區域特徵點	21
圖 2.12 鎖定搜尋區域	23

圖 2.13 全域搜尋比對方式	24
圖 2.14 盤旋飛行與空拍影格示意圖	26
圖 2.15 廣角鏡頭空拍示意圖	26
圖 2.16 眾數統計示意圖	27
圖 2.17 飛行方式設計介面	29
圖 2.18 UAV副翼飛行姿態示意圖[31]	30
圖 2.19 UAV升降舵飛行姿態示意圖[31]	30
圖 2.20 UAV方向舵飛行姿態示意圖	31
圖 2.21 固定控制參數與偏轉軸角度關係圖	31
圖 2.22 曲線比例控制（以偏轉軸為例）	32
圖 2.23 曲線比例控制與固定比例控制比較圖	33
圖 2.24 FYGCS-Pilot飛行導航軟體[31]	35
圖 2.25 手動遙控模式	37
圖 2.26 自動導航模式	38
圖 3.1 翼擺測試實驗架構	39
圖 3.2 影像特徵測試	40
圖 3.3 視距外飛行系統架構	41
圖 3.4 視距外飛行-遙控定翼機	42
圖 3.5 空拍攝影機（FPV SONY CCD 鏡頭）	43
圖 3.6 影音發射機(5.8GHz)	44
圖 3.7 自主導航飛控模組總成[31]	45
圖 3.8 Futaba T9CHP遙控器	46
圖 3.9 433MHz之RF射頻發射器	47
圖 3.10 MyFlyDream AAT 自動追蹤雲台系統[32]	48

圖 3.11 TeleFlyOSD	49
圖 3.12 AATDriver	49
圖 3.13 UPG308	50
圖 3.14 RC805 無線接收機	51
圖 3.15 雙電腦平台	52
圖 4.1 本實驗室參加 2013 台灣無人飛機設計競賽 (第 2 組)	53
圖 4.2 本研究參加 2014 台灣無人飛機設計競賽 (第 9 組)	54
圖 4.3 特徵點移動向量與 UAV 的直線飛行關係示意圖	55
圖 4.4 視訊導引 UAV 直線飛行	63
圖 4.5 特徵點移動向量與 UAV 的左盤旋飛行關係示意圖	64
圖 4.6 視訊導引 UAV 左盤旋飛行	72
圖 4.7 擷取 FYGCS-Pilot 導航軟體數據	73
圖 4.8 2014 台灣無人飛機設計競賽規劃航點	73
圖 4.9 GPS 座標推算方法	74
圖 4.10 導航飛行與目標物監測示意圖	75

1. 緒論

1.1 研究背景與動機

國軍已將災害防救列為中心任務之一，於災害發生前本「超前部署、預置兵力、隨時防救」的原則，完成相關整備作為。然而，近年來全球受天候暖化與異常之影響，台灣地區之降雨量相較與往年不僅多且急促，而其所帶來之災害更趨嚴重（如 2008 辛樂克颱風及 2009 莫拉克颱風等），因此若能以成本低、高機動力、易於保養、簡單易學及可降低或避免人員受到傷亡威脅的高科技工具協助救災行動，便可加速國軍救災效率，以減少人民災損。

無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)(如圖1.1)相較於飛行員駕駛的勘災飛機，更具有前述高科技工具的條件，因此，本研究以視訊導引小型無人飛行器之飛控系統研究作為主軸，期能提供國軍一個新的救災科技應用及飛控勘查模式。



圖1.1 無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)[1]

無人飛行載具(UAV)通常是指沒有飛行員於載具上操控，並藉由其他方法（如遙控或自動控制）飛行的載具，然而，較常見的小型無人飛行載具如玩家組裝的遙控飛機或旋翼機等；近年來UAV發展至今已有幾十年歷史且開始被廣泛的應用於災害防救、軍事情蒐、大型慶典...等[2,3]，功能除愈趨於多元化，同時也整合了全球定位系統(Global Positioning System, GPS)及慣性儀系統，操控

方式已經能夠由手動模式切換為自動駕駛的模式，大幅降低整體操控的難度，並且增加了飛行的穩定性與安全性，因UAV機動性高且飛行高度較低，也使得所拍攝的影像更加清晰，所以可快速獲取解析度高且符合需求之影像，以上優勢更加幫助UAV擴大應用範圍。

台灣目前有成大航太系、元智大學、淡大航太系及國家中科院航空研究所...等相關單位，投入相當的研發能量，開發諸多實驗型機體，如中科院所展示的自行研發之UAV（如圖1.2）[4]，而2010年成大灰面鷺號無人飛機，即是亞洲第一架使用鋰電池與燃料電池混合動力試飛成功的實驗機[5]。美國於波灣戰爭後也將UAV做為重點研發項目，如美陸軍在伊拉克及阿富汗戰爭期間，即投入了3種類型的無人飛行載台，分別為徒手發射型、攝影監控型、及攻擊型UAV（如圖1.3）[6]。



圖1.2 中科院自行研發的「戰術型UAV」



圖1.3 美軍研發之UAV

UAV運用在民生用途方面，如屏東地區林邊與佳冬之部分區域災後照片（如圖1.4），災後受損之面積與該區域進出交通受損之情形均可藉由空拍照片迅速評估[7]。由此可知UAV有機動可快速反應、可低空雲下作業，恰可彌補傳統航拍或衛星遙測受限於雲遮影響且無法快速獲取影像資料之缺點，進一步爭取緊急防救災應變的時效性的特點，更有助於災情判斷與分析之效益。

而隨著微機電與資訊科技的進步，更能發展出符合實際需求的攜行式UAV裝備，故吾人加入的實驗室也投入這個領域，並置重點於發展視覺化無人載具飛行控制功能，期望能在這個領域有所貢獻。



圖1.4 屏東部份地區八八風災後空拍照片

1.2 研究目的

UAV具有低成本勘災、低損耗、可重複使用且風險小等諸多優勢，且無人飛機因無人員傷亡之虞，故為近年所廣泛使用之遙控飛行器，其所能擔任之任務非常多，舉凡都市發展建設之探勘、坡地防災監測、環保監測、農漁牧之調查、森林經營、公路偵搜、水土災害與海岸偵防之監控、災前監測與災後調查等，均是UAV的實際應用。

大多數的UAV飛行控制與自主導航，都是依靠飛控電腦做運算。隨著科技突飛猛進，使得無人飛機運用領域擴大且需求提高，採用手動遙控UAV已無法

滿足對多項任務的需求。自主飛行控制系統越來越受到重視；控制技術和導航技術的發展，使得自主導航飛行成為UAV的重要功能之一。

UAV在空中飛行時，最主要藉由控制俯仰軸（升降舵）、側滾軸（副翼）、偏轉軸（方向舵）三軸變化來完成各種動作的飛控任務。而目前研究UAV的發展趨勢及實際應用，多著重於以感測器回饋為主的自動飛控系統，其功能主要提供UAV穩定飛行及導航控制，而其中的關鍵技術就在於慣性導航系統(Inertial Navigation System, INS) 及全球定位系統(Global Positioning System, GPS)的相互支援整合。其作用原理主要仍以INS系統為主，配合GPS系統可持久定位的特性，來輔助INS修正所累積的誤差，然而現今主流發展的INS系統係以慣性感測元件(Inertial Management Unit, IMU)組成，可量測UAV在運動時的加速度與角速度等參數，並透過積分計算，求出UAV目前在空間中的姿態變化，並藉此回饋給系統執行操控。[8]

針對自主飛行控制與導航方法，本研究在UAV搭載空拍地面攝影機，以取得影像資訊，藉由影像分析計算飛行路徑，以獲取UAV的穩定自主飛行，並可透過地面景物的移動量來判別目前自身的移動方向；另在UAV內搭載GPS及陀螺儀，主要功能利用GPS訊號，得知經度及緯度的座標以及距離海平面高度、速度、航向等，再利用空拍影像分析曲線P控制法修正目前的位置，以及計算出離下一個目標的距離，並修正方向來完成自主飛行導航。姿態保持部份則是利用一般的陀螺儀，借由機上電腦運算後，調整UAV的俯仰及側滾姿態。

本研究目的係藉由影像處理分析，強化UAV自主飛行控制系統，並藉由參加2013年及2014年台灣無人飛機設計競賽，驗證本文提出方法及可行性，本文將在最後討論參賽飛行的結果，並探求未來改進與發展的方向。

1.3 文獻探討與回顧

無人飛行載具 (UAV)，以巡航範圍和大小來分，航程約在2公里內、翼展小於50公分的稱為Micro Aerial Vehicle (MAV)，目前的無人飛行載具主要可以分為「遠端即時遙控」及「機載自動駕駛」兩種，前者需要極佳的通訊網路系統，並將高解析度即時影像回傳至地面站，讓控制人員可以藉由影像來操作，後者則需要穩定的飛控電腦掌管自動駕駛等巡航任務。[9]

對於會移動的攝影機，如PTZ (Pan-Tilt-Zoom) 攝影機或裝置在UAV的空拍攝影機，背景相減法[10-12]並不適用來偵測移動物體或估測攝影機移動量。所以，Ken[13]和Liu[14]分別提到，對於機器人視覺系統，因採用時序相減法[15]，結果會呈現整張影像皆是有變動的區域，故再藉由背景補償的方式，找出兩張影像的特徵點比對之後，求得攝影機移動的方向，最後做反方向補償，取得有移動物的部分；Barron et al.[16]提出光流法(Optical Flow)，可偵測出光流變化的移動物部分，光流法相當複雜且耗時，故不適合用在即時系統上。

本研究期能以最低成本，最高效率的飛控模式，在二者之間取得平衡，即結合遠端即時遙控及機載自動駕駛之優點，達到導引UAV視距外飛行之成效。針對此論點，本文彙集及歸納前人相關研究議題，並簡述其優缺點，期能研究領域能有所精進。

(1) 影像變化偵測之UAV飛行控制：

當UAV酬載空拍攝影機飛行時，由空拍影像取得地面的景物特徵點會隨之移動，而透過這些地面景物的特徵點移動量偵測改變，可協助UAV計算自身行進方向，故可藉由地面特徵的移動量變化偵測，來協助UAV修正或判斷自身的移動方向。

德國航太中心 Koch 等研究學者利用 Lucas-Kanade 光流法來追蹤地面特徵 [17]，換算為 UAV 的移動向量 (如圖 1.5)，並透過卡爾曼濾波器(Kalman Filter)

估測方式來獲得 UAV 的移動量，並模擬當 GPS 故障時，透過地面特徵點的移動量偵測，結合 IMU 感測元件控制 UAV 的飛行方向，驗證 UAV 仍可依原設定 GPS 座標點完成飛行任務，探討 Koch 學者提出之方法，優點係可藉由地面特徵達到自主飛行之目的，缺點係運算量過大，針對定翼機飛行速度較快者，無法達到即時飛行控制成效。



圖 1.5 無人飛行載具飛行測試及地面特徵移動量追蹤

德國 Eberhard Karls 大學 Yuan 等研究學者[18]運用圖像光流變化及視覺轉向策略，使小型四旋翼機，於室內未知環境執行飛行任務，主要方法除了透過光流變化來偵測旋翼機移動量外，並可藉由光流變化來偵測與前方物體的差異量，再估算出旋翼機與前方各景物的距離，最後將前方影像劃分為五個距離感應區塊（如圖 1.6），透過差異量的即時影像判斷，來找尋最佳的前進方位，使其能達到於室內前進且可決定轉向的最佳路徑。探討 Yuan 學者提出之方法，其優、缺點與前述 Koch 學者提出之方法相同，惟其以光流控制轉向的最佳路徑係該研究最大之貢獻。

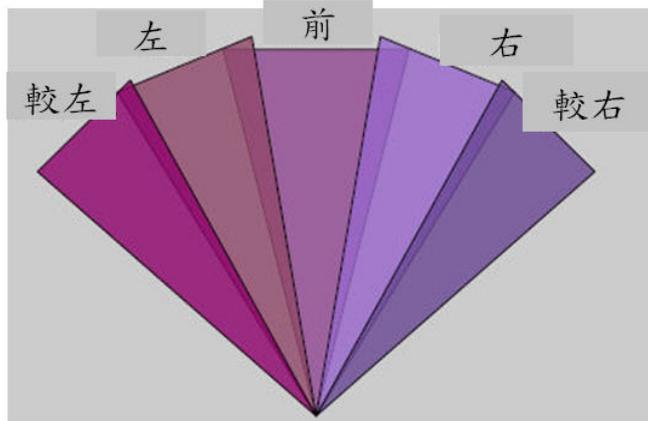


圖 1.6 距離感應區塊示意圖

也有研究學者Yuan et al.[19]運用影像偵測巷道的特徵，再配合陀螺儀的控制，使小型飛行載具達到自主飛行的成效，其研究係利用空拍影像追蹤巷道特徵，並估算UAV和道路之間的相對偏航和側向位移，使其達到依循道路穩定飛行的效果，和遵循的道路，此研究可忽視GPS飛行規劃，藉由偵測道路的方式和飛控策略達到視距外飛行成效。探討其優點係可以藉由硬體的整合搭配及影像偵測達到穩定飛行成效；其缺點係執行自主飛行時，須搭配含有車道線的跑道（如圖1.7）。

國防大學

National Defense University



圖 1.7 以車道線導引飛行

(2) 天際線偵測及飛行控制方式：

本實驗室羅學長於2011年7月在IEEE發表之論文[20]，主要方法係藉由即時影像偵測天際線所在位置，並計算天際線與影像中心點偏差距離及傾斜角度，進而自主修正UAV飛行姿態（如圖1.7）。提出藉由UAV機載攝影機回傳影像至地面電腦，透過天際線偵測演算法換算，搭配比例-積分控制參數設定，即可使UAV能不經由人工控制且在視距範圍內，透過地面電腦控制站傳出的控制訊號，達到自主水平穩定飛行或滯留空中盤旋之成效。探討羅學長提出之方法，其優點係提出之天際線偵測演算法準確度高且運算速度快，與惟其比例-積分控制法，經2013年參加台灣無人飛機設計競賽驗證，抗風性較為不足，故本研究改良其控制方法並簡化程式運算，以強化UAV之抗風性，進而參加2014年參加台灣無人飛機設計視距外飛行競賽。

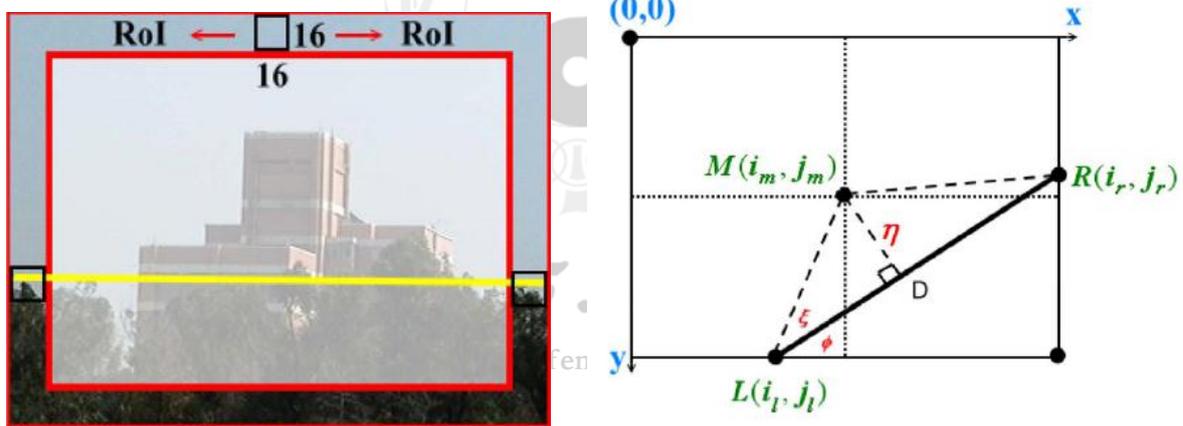


圖 1.8 天際線偵測及示意圖

(3) 移動物件偵測方法：

2010年由W. Zhang與Q.M. Jonathan Wu以及H. Yin提出利用移動向量做為偵測的方式[21]，其主要方法是以整張畫面中所有像素點做移動方向的直方圖(Histogram)統計，並藉此偵測出移動物件（如圖1.9）。探討其優點係可以避免運用色彩資訊當作特徵，改採以較直觀的移動向量(Motion Vector, MV)當作特徵，用來辨識移動物件的方向和位置，避免特徵本身與背景或其他雜訊相互干

擾，以達到有效減少錯誤的判斷產生，同時能有效偵測出移動物件；其缺點以整張畫面中所有像素點做運算，所需耗損的記憶體空間及運算量過大，較不適合做即時偵測。

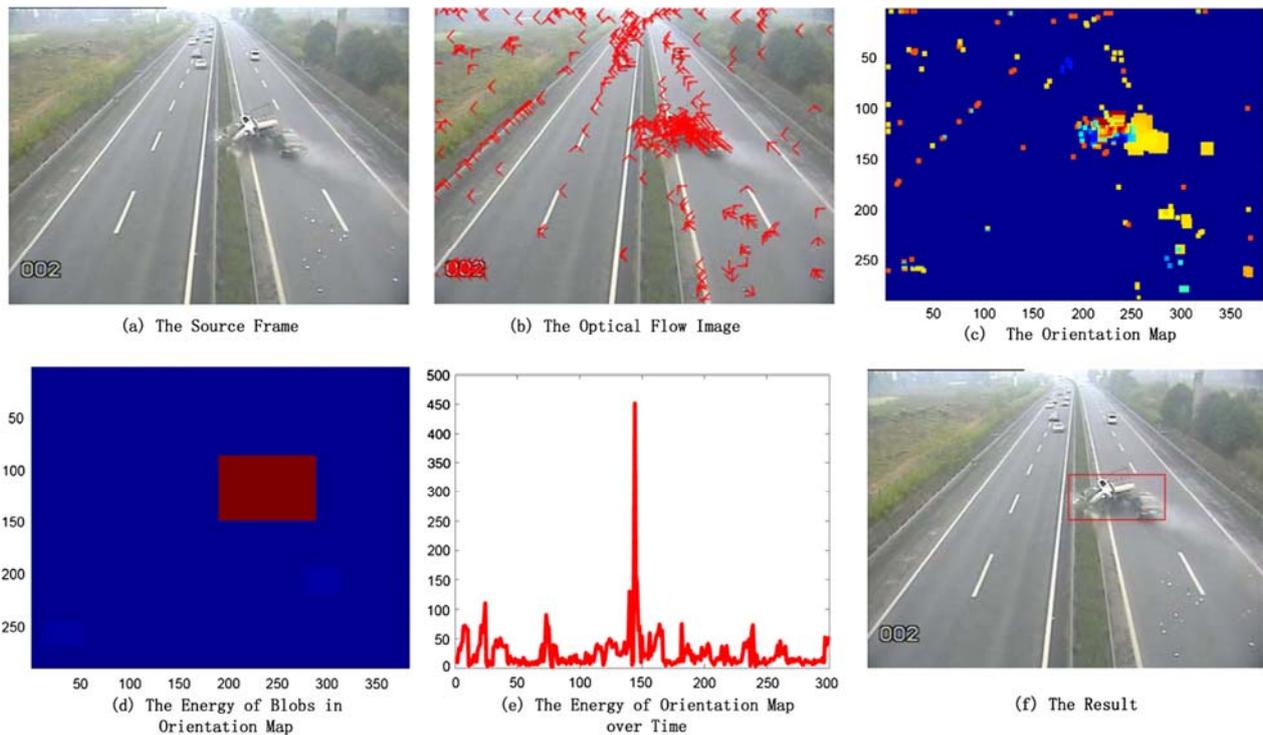


圖 1.9 移動物件偵測方法

(4) 擷取特徵點的方式：

影像搜索工作包含了幾個主要的部份，意義區域的劃分、特徵擷取(如圖 1.10)、特徵的標示方式…等，其主要目的是快速且有效的搜索出想要的影像。在影像比對或搜索程序中，特徵擷取佔著極重要的部分[22,23]，如果取得影像特徵的資訊過於繁雜，往往會增加比對上的時間，甚至是造成過多的錯誤資訊，故如何快速且有效的擷取出影像的特徵，用以加強影像比對的正確率，亦是本研究感興趣的議題。

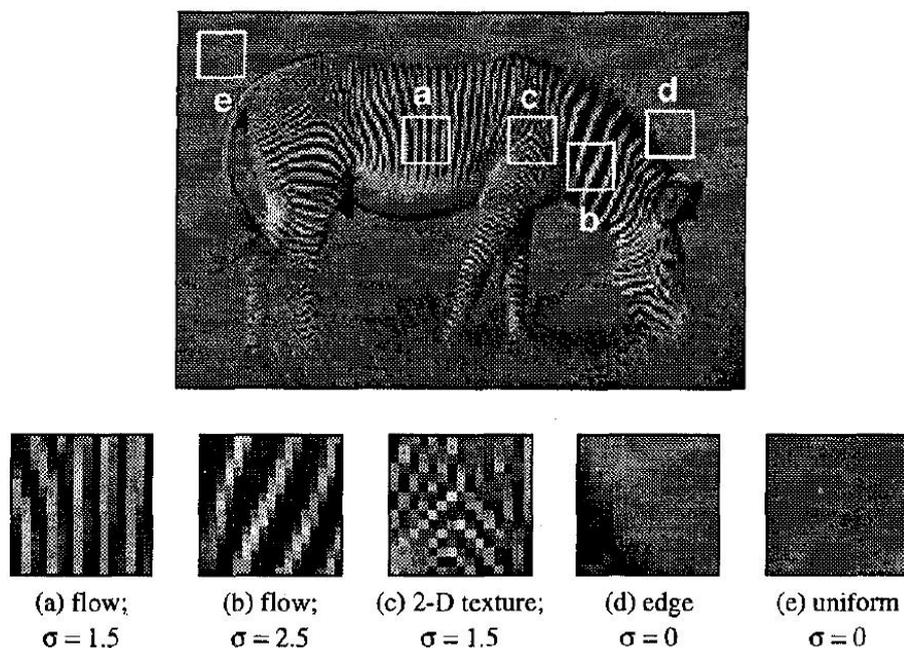


圖 1.10 特徵點擷取

(5) 特徵比對方式：

特徵比對的方法有許多學者均已提出相關的研究，例如「樣板比對方法 (Template Matching)[24]」，其多半是利用預先定義的標準樣板，透過平移搜尋的方式，在被比對的圖像上找尋到可能的物件位置(如圖1.11)。樣板比對法的優點在於步驟容易且實現簡單，因其比對時，就是把兩個圖形放置在同一個位置上，然後令兩個影像相減，或是計算兩個影像之間重疊的面積，但其缺點是須建立大量的標準樣板資料，且當比對的物件有所不同時，將導致比對的遺漏和錯誤。

因此有相關研究[25]提出在影像偵測比對前，應對標準圖形作一些結構的分析，然後根據結構的特徵，來進行辨識或比對作業，更有助於簡化整個影像比對或辨識的流程。

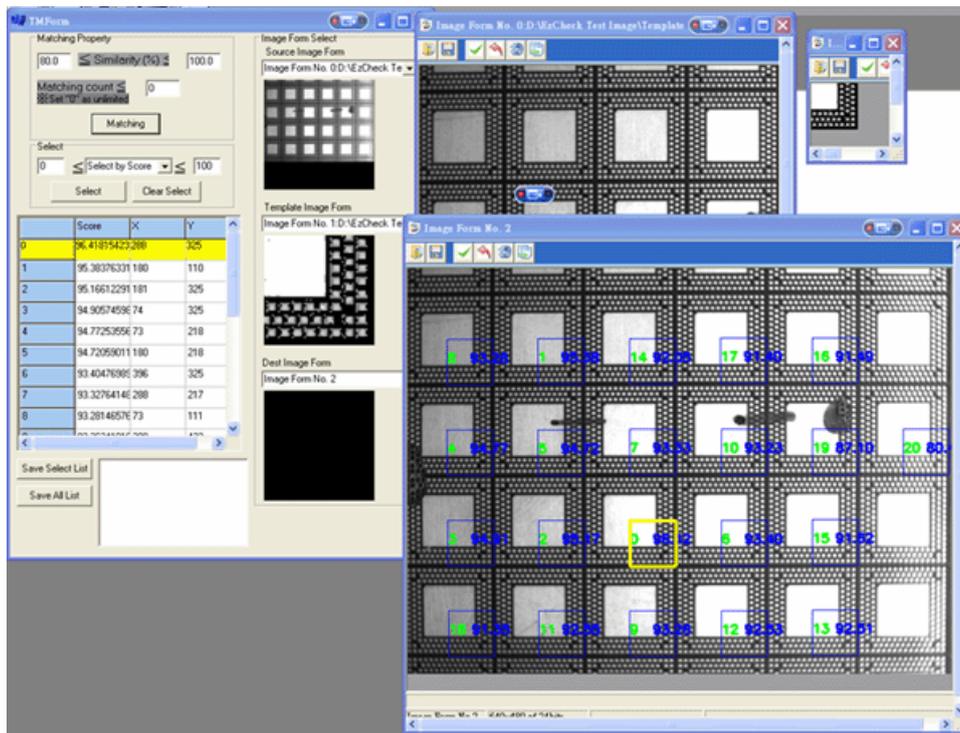


圖 1.11 樣板比對方法(判斷瑕疵品)[26]

1.4 論文架構

論文內容共區分為五個章節，並包括參考文獻，內容列述如後：

第一章、緒論：闡述本文之研究動機、研究目的、文獻探討及論文的整體架構。

第二章、研究方法：詳述本論文提出之演算法及整體控制流程。

第三章、系統架構：說明及介紹本論文實驗驗證所需軟、硬體架構。

第四章、實驗結果：針對驗證方式及實驗結果詳加說明。

第五章、結論與建議：就本論文研究成果提出總結，並探討爾後精進方向。

2. 研究方法

本研究主要目的在提出以視覺影像資訊，引導UAV完成自動飛行控制之方法。其原理利用空拍影像偵測地面特徵點移動向量及利用陀螺儀資訊，藉以換算UAV的方向舵、副翼及升降舵控制參數，最後再搭配曲線P控制方法，給予適當的動力設定，使其達到於空中穩定直行前進或盤旋飛行。

當UAV位於低空飛行時（高度約為距地表50~100公尺），本研究藉由機頭前端的空拍地面CMOS攝影機，拍攝地面資訊後，藉由無線裝置回傳影像，傳送至地面電腦進行影像處理，取得地面影像特徵點，並分析改變控制參數，然而，取得的地面影像特徵點，隨著UAV的移動與飛行姿態改變，可觀察出空拍影像特徵點亦隨之產生移動量變化。

其中，吾人最感興趣的係地面特徵點的變化，而空拍地面景物通常可取得許多明顯特徵，且隨著UAV的偏移，空拍地面的景物或特徵點也會產生相對的移動量變化，如同搭乘汽車前進時，由窗戶向外觀察，我們可觀察到景物往反方向移動，UAV在直行或盤旋時，觀察空拍影像亦是如此，我們所取得的地面影像或特徵點會如圖2.1所示往UAV反方向移動。

本研究提出一套空拍地面特徵點偵測演算法，來分析其與UAV的相對偏移資訊，進而累計為直線飛行或盤旋轉向角度，並提供地面控制系統對UAV方向舵（偏移軸）操控進行分析及修正，詳細作法將於本章節說明。

另本文延續先期學長的研究[27-30]，為提升UAV抗風性及簡化其飛控方式，本研究特提出以曲線P控制法，將地面特徵移動量及陀螺儀傾斜度，依frame_n與frame_{n+1}的差異量分別換算為三軸控制電壓，進而推算三軸控制角度，俾使UAV能平穩於空中飛行，詳細作法亦將於本章節說明。

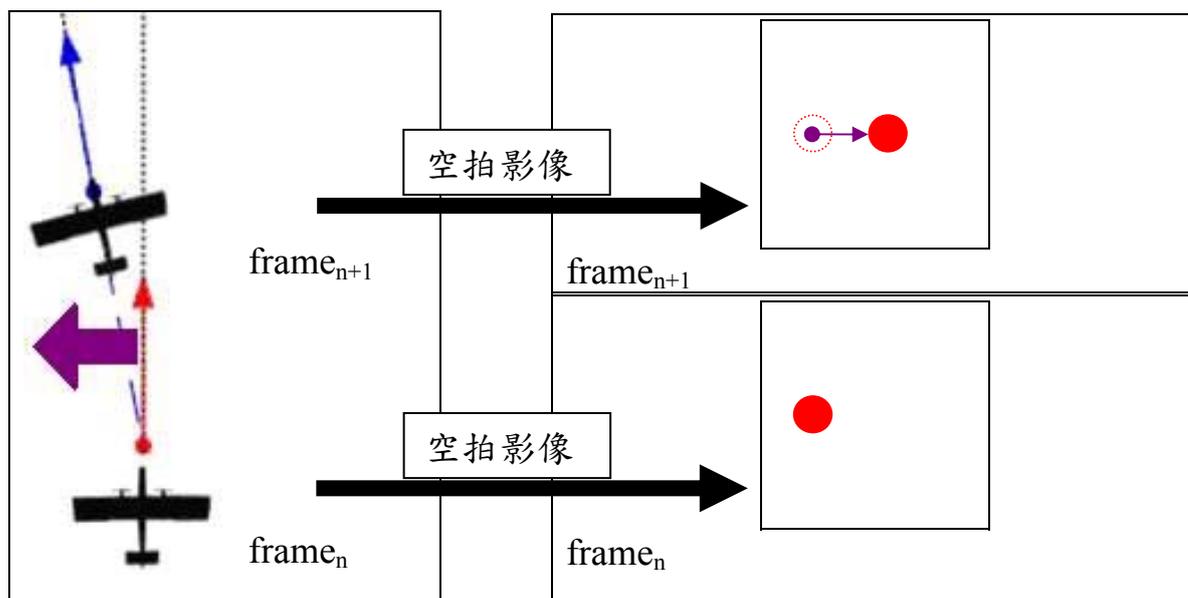


圖2.1 空拍地面特徵點移動示意圖

綜整上述論點，本研究藉由空拍攝影機回傳之影像，透過演算法將地面特徵移動量及陀螺儀變化量，分別換算為UAV之三軸控制訊號，再搭配程式自動修正UAV的控制參數，即可整合出使UAV自主飛行之控制流程，即由地面控制站自動控制UAV左盤旋飛行→水平直線穩定飛行→右盤旋飛行…等自主飛行連續操作（如圖2.2），於空域內執行直線或盤旋飛行。

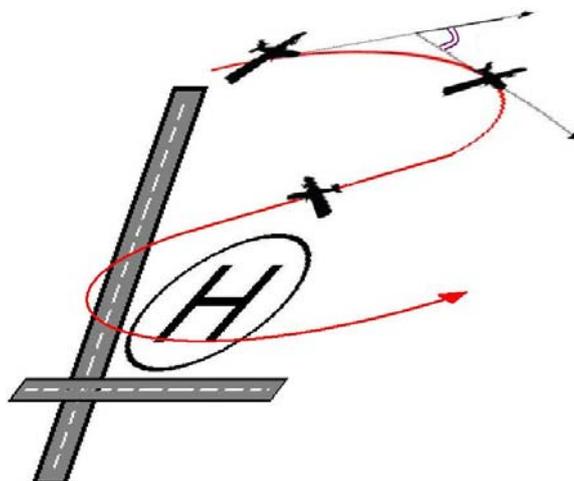


圖2.2 飛行軌跡示意圖

本研究提出視訊導引之小型無人飛行器飛控系統演算法流程圖(如圖2.3)，詳細作法亦將於本章節說明。

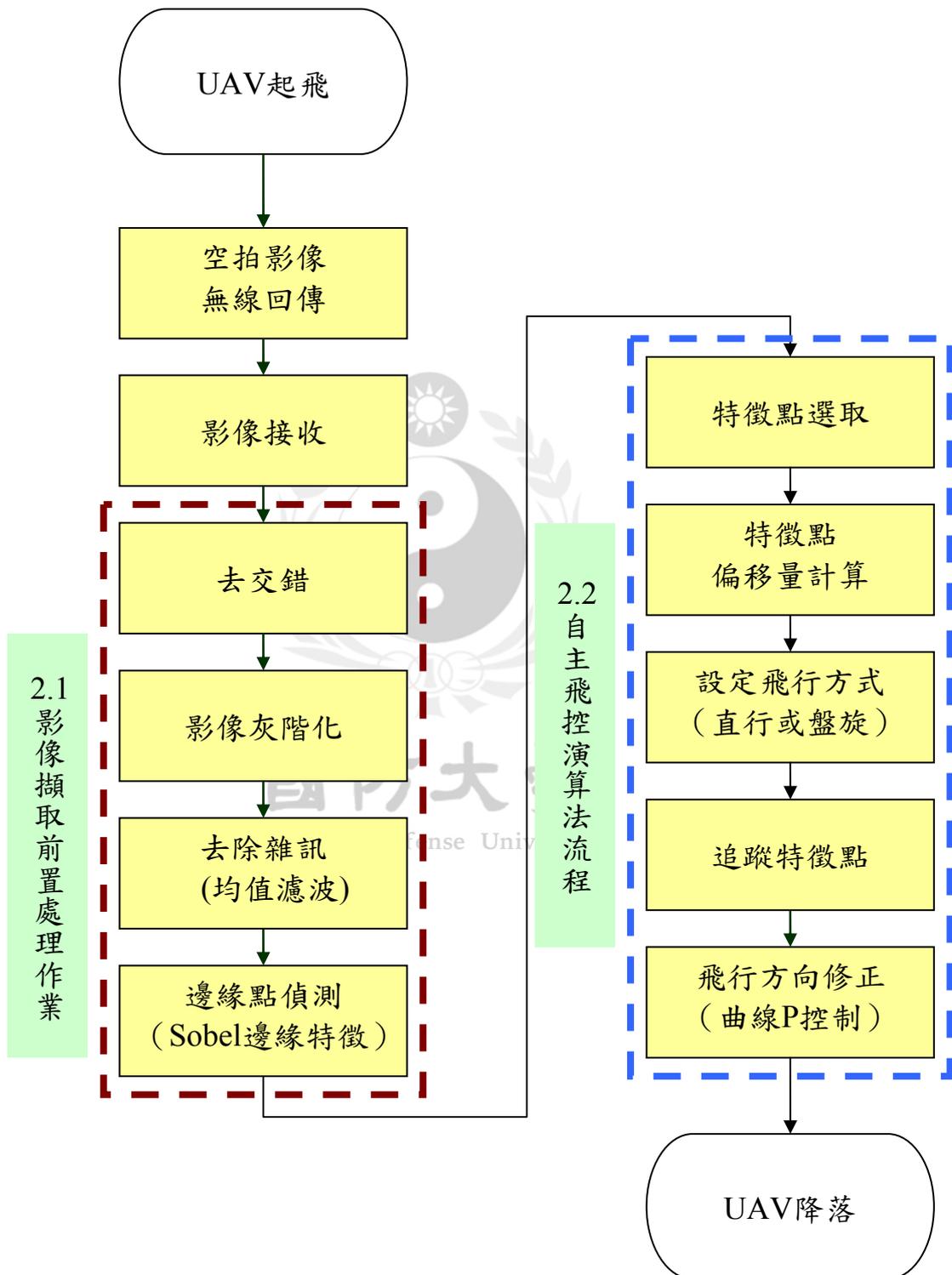


圖2.3 視訊導引UAV之自主飛控演算法整體流程圖

2.1 影像擷取前置處理作業

教授常言：「機器視覺的第一要務，便是擷取一幅最佳品質的影像，以簡化後續的影像處理程序，並提高機器視覺任務的成功率。」所以本研究將空拍影像擷取後，均須完成前置處理作業，俾利提高飛行成功率，說明如下。

2.1.1 去交錯

本研究選用的COMS空拍攝影機屬交錯式掃描(Interlace)類型，影像的掃描順序從1、3、5…等奇數線掃描後，再掃描2、4、6…等偶數線，最後由奇數與偶數掃描兩圖場(Field)組合一張影格(Frame)。

當UAV在快速的移動狀況下，空拍地面影像會清楚地出現橫線，此現象將會造成追蹤特徵點的錯誤，所以本研究在空拍影像前置處理過程，亦必須進行去交錯處理(Deinterlace)，如圖2.4所示。

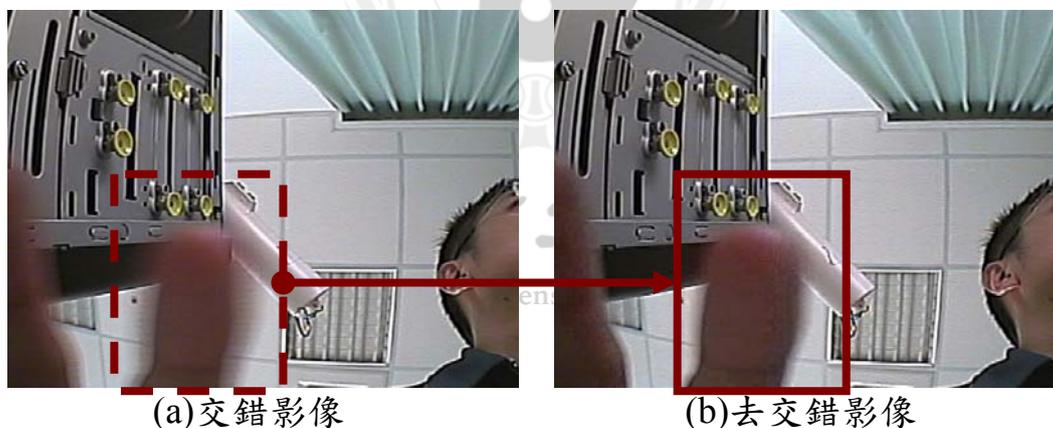


圖2.4 交錯處理後的結果

2.1.2 影像灰階化

本研究所用空拍無線回傳設備，可取得彩色影像解析度 640*480，且由紅、綠及藍三原色(Red、Green、Blue, RGB)組成，若將這三原色分別處理及運算，將會降低運算效能，故本研究在能達到運算效能且不影像分析結果的情況下，

將空拍的彩色影像即時灰階化處理（如圖 2.5），俾利後續分析作業及減少龐大運算量。



圖2.5 空拍影像灰階化

2.1.3 去除雜訊

當影像必需從甲地無線傳送至乙地時，在傳遞的過程中，視訊信號極有可能受到干擾(Interference)，且傳送的距離愈長，隨機雜訊出現的機率相對愈高，故本研究選用「均值濾波(Mean Filter)」去除隨機雜訊（例如：高斯雜訊、鹽巴與胡椒雜訊…等），且其效果已足夠完成後續分析流程。

本研究選用3*3均值濾波器，其方法是把灰階影像中的每個像素(R)，都與周圍的8個像素(X_i)的灰階值來做均值操作，並取代本身灰階值如2.1式。

$$R = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 X_i \quad (2.1)$$

2.1.4 邊緣點偵測

針對空拍影像選用的候選特徵點，經吾人分析空拍影像樣本後，查覺選用偵測邊緣的遮罩運算子，可符合地面特徵點追蹤成效；另考量即時運算效果，

因此本研究選用3*3的Soble遮罩運算子(Soble Operator Masks)，如圖2.6所示，取得空拍影像邊緣特性後，並將其作為候選追蹤目標。

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

(a) G_y

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

(b) G_x

圖2.6 Soble遮罩運算子

G_x 和 G_y 為Soble遮罩運算子如公式(2.2)及(2.3)，處理結果如圖2.7所示。

$$G_x = (z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7) \quad (2.2)$$

$$G_y = (z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3) \quad (2.3)$$

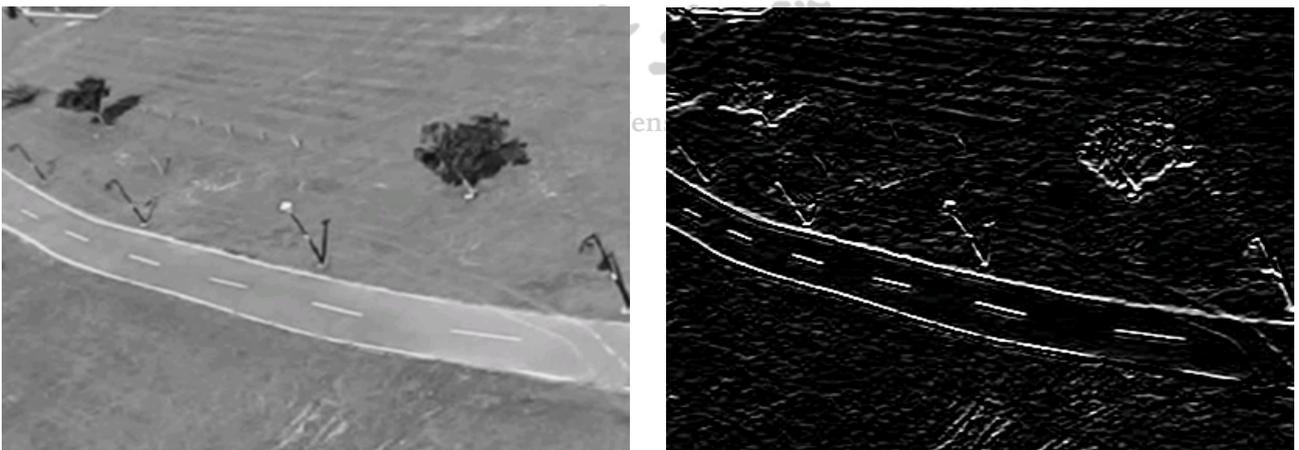


圖2.7 空拍影像特徵偵測(G_x)

2.2 自主飛控演算法流程

UAV執行飛行任務時，必然需要維持機體穩定及執行轉向動作，而本研究所使用的定翼機，是由副翼、升降舵、方向舵及油門等4頻道，操控載具執行各種飛行動作（如圖2.8所示）。

本篇論文的主要目的是要建立一個整合陀螺儀、GPS及視訊系統，自主導引定翼機完成視距外飛行控制系統。為了建立一個能確保定翼機自主飛行的穩定性和安全性，在此提出一套整合型自主飛控演算法，並通過實驗調整控制參數及特徵追蹤之增益值後，在真實飛行環境中驗證它的性能。

主要方法是以自製定翼機上的無線電影音發射機及攝影機將即時空拍影像回傳地面控制站，經地面控制站以程式選取地面影像有效特徵點，特徵點比對及追蹤，計算特徵點偏移角度及偏移分量 Δx 、 Δy 後，換算成定翼機實際偏移量，最後藉由飛行設定（直行或盤旋），程式將自動換算為控制參數傳送給定翼機的飛行伺服器，藉以控制副翼、升降舵、方向舵及油門，俾利完成視距外穩定自主飛行任務；另本研究提出視訊引導之自主飛控演算法（如圖2.9），如後詳述。

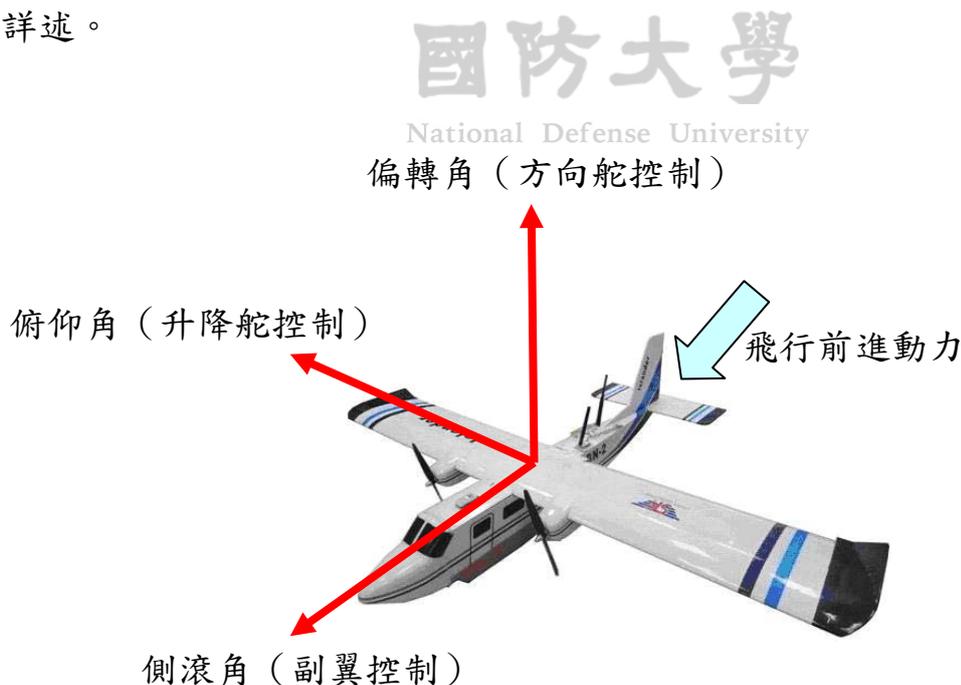


圖2.8 UAV控制示意圖

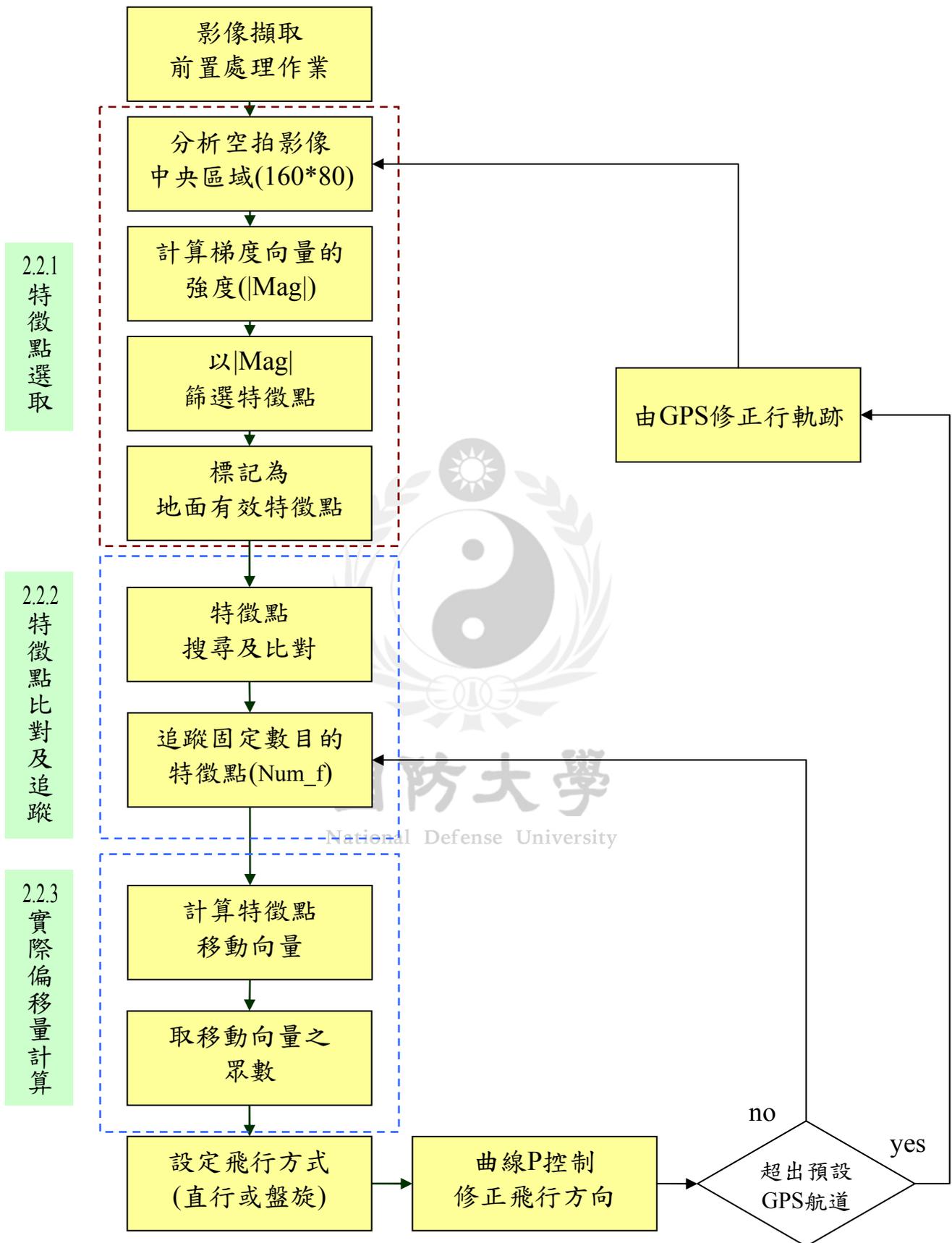


圖2.9 視訊引導之自主飛控演算法

2.2.1 特徵點選取

針對本研究提出之演算法流程圖(如圖2.8)之特徵點選取部分,說明如下:

(1)分析空拍影像中央區域(160*80):

經觀察空拍特徵點樣本,因空拍距離平均在50公尺以上,考量本研究選用之鏡頭影像中央區域(160*80)變形量最少,在未處理空拍影像變形校正前,鎖定空拍影像中央區域(160*80)如圖2.10紅框區域,進行特徵點選取,此法亦可加速程式運算。

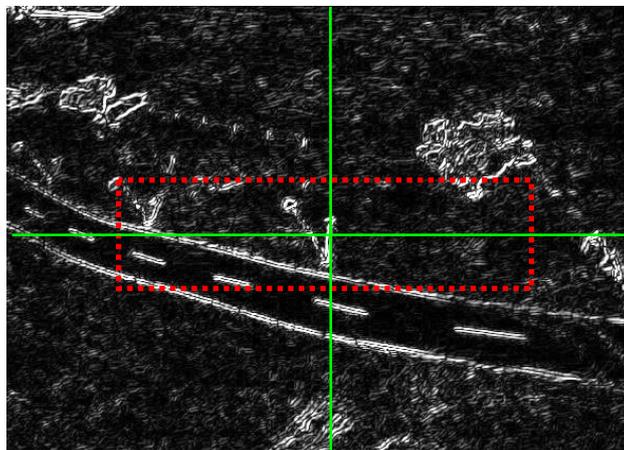


圖2.10 中央區域特徵點示意圖

國防大學

(2)計算梯度向量的強度($|\text{Mag}|$) Defense University

考量空中之拍攝距離較遠,本研究僅以梯度向量的強度(Magnitude),進行運算、追蹤、分析及設定,俾達即時飛控成效。

由(2.2)及(2.3)式可知,梯度向量的強度(Magnitude)值為(如公式2.4):

$$\text{mag}(\nabla f) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (2.4)$$

其中， ∇f 如2.5式：

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

針對梯度向量的強度，本研究為加速程式運算，取以絕對值方式其近似值（如2.6式）。

$$mag(\nabla f) \cong |G_x| + |G_y| \quad (2.6)$$

(3)以梯度向量的強度(|Mag|)篩選特徵點：

另針對中央區域(160*80)特徵點選取，考量邊緣梯度值較大，本研究為濾除雜訊且能保留有效地面特徵點，故自定義有效特徵點須滿足公式(2.7)，以濾除無效之地面特徵點（如圖2.11）。

$$mag(\nabla f) > Th1 = 100 \quad (2.7)$$



圖2.11 中央區域特徵點

(4)標記地面有效特徵點：

當地面特徵點滿足前述說明條件，則標記為有效特徵點，並記錄於記憶體，俾利後續之比對及追蹤。

2.2.2 特徵點比對及追蹤

針對本研究提出之演算法流程圖（如圖2.8）之特徵點比對及追蹤部分，說明如下：

(1)特徵點搜尋及比對：

針對特徵點此流程，主要區分2步驟為「搜尋方式」及「比對方式」，相關說明如下：

1.搜尋方式：

經梯度向量運算後，在空拍連續影像中，可進行兩兩影像指定搜尋範圍的區塊影像比對。

近年來許多專家學者提出不同的比對方法，其中，區塊比對演算法(Block-Matching Algorithm, BMA)為目前最常用的方法之一，亦廣泛運用於目標物位移與運動估測上，其目的在於找尋兩張連續影像間，所劃分的搜尋區域進行相似度比對，當比對區域統計誤差值總和最小時，則相似度最高，如此便可計算區塊與相似區塊間之座標差距，即為二維的運動向量(Motion Vector, MV)，也稱為移動向量。

針對相似區塊搜尋方法，最常用的就是全域搜尋法，意即針對指定搜尋區域內的每個區塊與參考區塊進行比對，進而得到運動向量，因每個區塊都進行比對，故更能提升比對準確度，惟運算量相對龐大，常會花費過多的運算時間，為了改善上述問題，本研究考量定翼機採「只進不退」的方式在空中直線或盤旋飛行，並無法定點滯空，故本文採取比對中央參考區域之位置(160*80)，並定義全域搜尋範圍為(320*160)，如圖2.12所示，此定義搜尋範圍，主要目的除可

解決全域搜尋法耗時且運算量龐大的問題外，亦可保留其比對準確度的優勢。

另依圖2.12所示，統計地面特徵點移動向量強度及偏移角之眾數，並藉以推算UAV相對偏移角度及飛行距離。

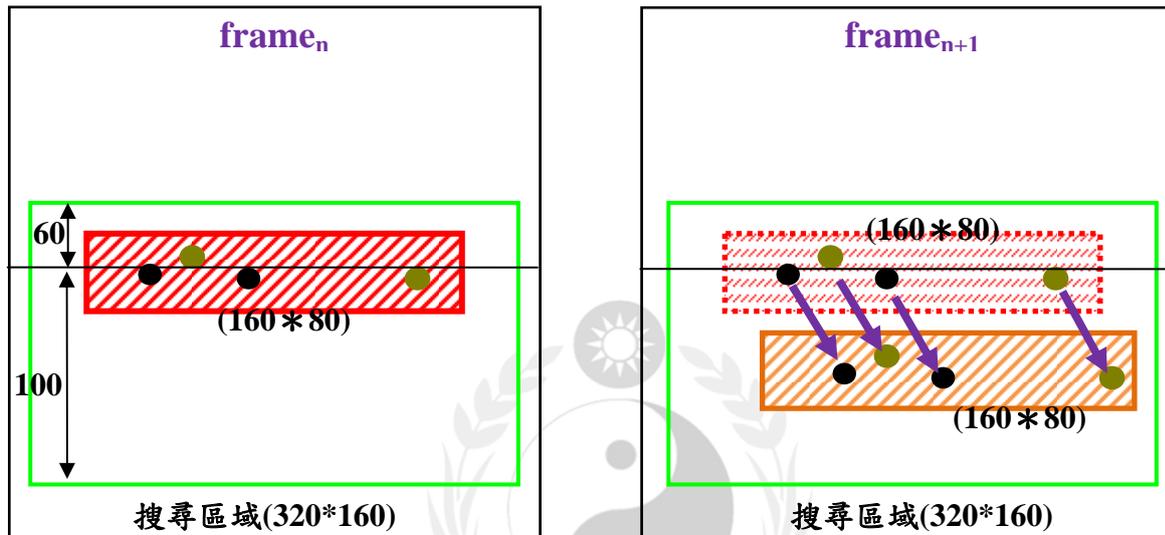


圖2.12 鎖定搜尋區域

2. 比對方式：

有關區塊比對的方法，最常使用的評估函數的包含「絕對誤差和(Sum Of Absolute Difference, SAD)」、「平方絕對誤差(Mean Absolute Error, MAE)」、「最小均方誤差(Mean Square Error, MSE)」或「正規交互關聯度(Normalized Cross Correlation, NCC)」等方法進行相似度匹配。

本研究取得中央參考區域 (160×80) 之有效特徵向量強度值後，鎖定固定區域 (320×160) 採取「由上而下、由左至右」的全域搜尋法(如圖2.13)及絕對誤差和法(SAD)進行梯度區塊比對，比對結果可計算出特徵點的運動向量，其中包含有角度(方向)與強度的資訊；再特徵運動向量的角度與強度進行眾數統計，即為中央參考區域的運動向量。

(2) 追蹤固定數目的特徵點：

本研究選用視角為80度的廣角鏡頭進行空拍，且飛行高度為100公尺時(如圖2.15)，經由實際飛行測試之統計表換算 Δx 及 Δy 數據。以圖2.14為例，特徵移動分量強度($\Delta x=-1$, $\Delta y=-1$)時，則分量夾角(α)，藉此可推算出地面特徵點相對於UAV移動量為 $(0.15 * \sqrt{2})$ 公尺，反之，當地面特徵靜止時，則可推算UAV實際飛行距離約 $(0.15 * \sqrt{2})$ 公尺(如2.9式)，且UAV機身向左偏移角度(β)為45度(即-45度，吾人定義向左偏移角為負，反之)；另本研究亦建立飛行高度與移動分量強度對照表(如表2.1)，俾利完成飛測實驗。

$$\text{UAV實際飛行距離} = \text{分量換算單位} * \cos\alpha \quad (2.9)$$

本研究透過機載伺服器控制模組，將UAV飛行時速設定為45公里(v ，即每秒飛行速率為12.5公尺)，盤旋半徑(r)為50公尺，經實飛測試，可推算出每秒偏轉角(θ)平均約為28.8度(趨近 $\theta = 2\pi / v$)。

以圖2.14為例， frame_n 機身軸心為0度，當 frame_{n+1} 時經地面特徵點換算後，機身軸心變化為-45度，若此時飛行方式設定為左盤旋飛行， frame_{n+1} 的UAV機身偏轉標準值(-28.8度)，其偏轉修正差異值為($\Delta\beta = -28.8 - (-45) = 16.2$)，由程式自動對應控制P曲線(如表2.2)換算出偏轉軸電壓值為3.12伏特(線性內插法)，藉此傳輸控制訊號給UAV，以修正其飛行方向。

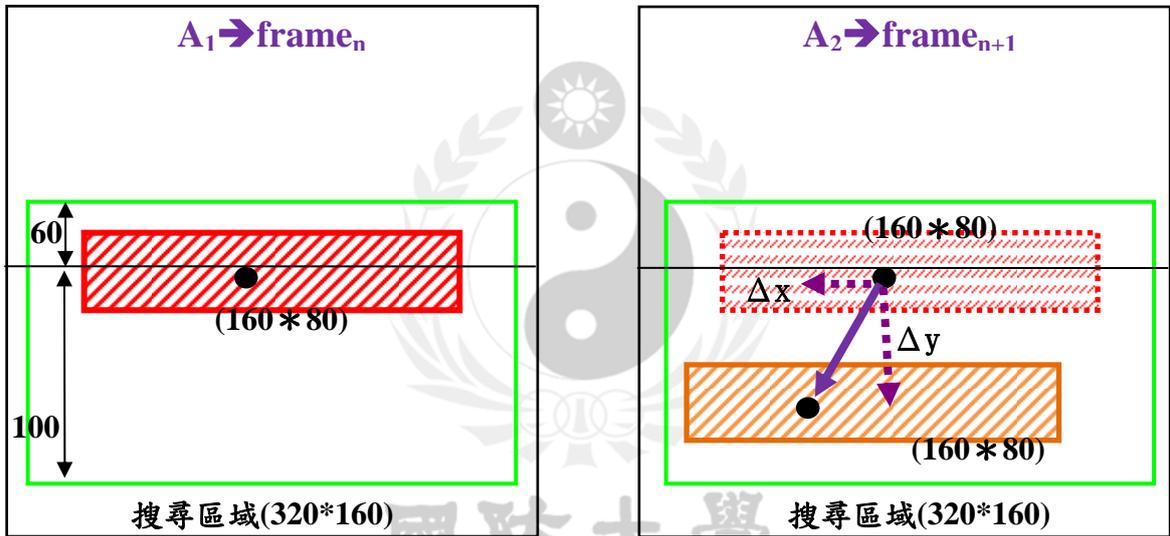
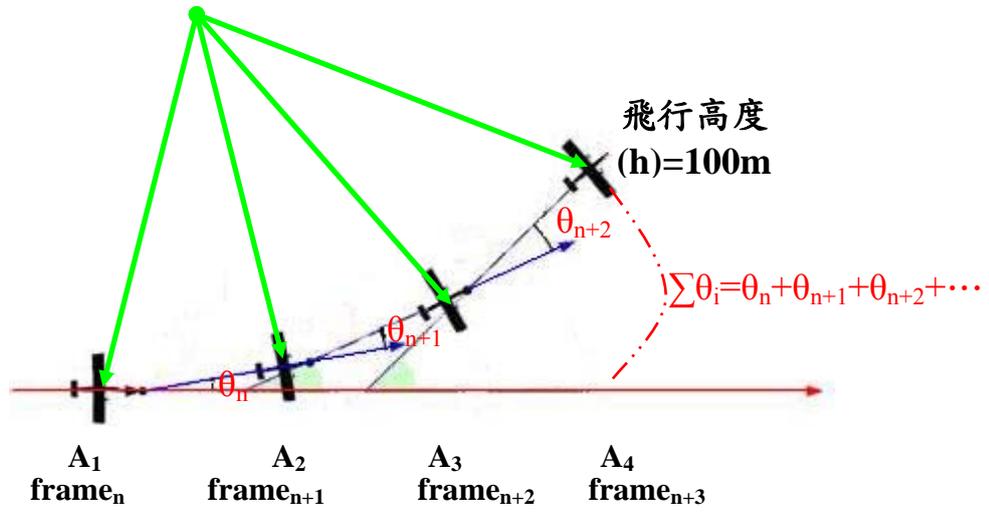


圖2.14 盤旋飛行與空拍影格示意圖

National Defense University

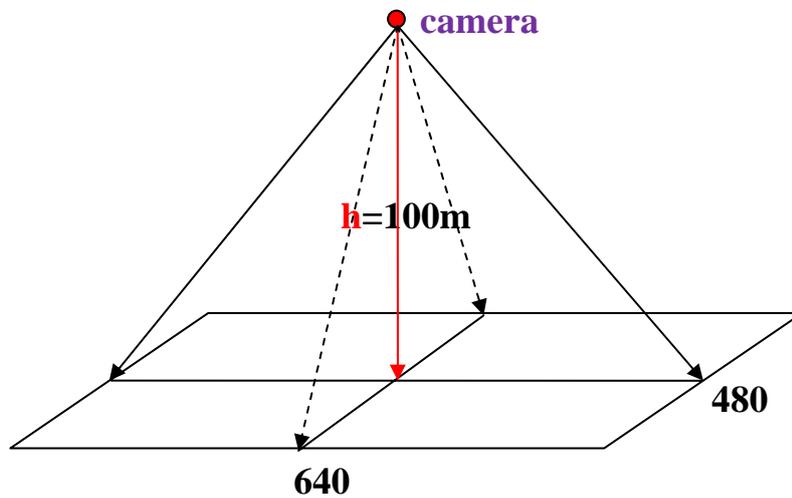


圖2.15 廣角鏡頭空拍示意圖

表2.1 UAV飛行高度與移動分量強度對照表

廣角鏡頭(最大視角80度)	
飛行高度	分量換算單位
30m	0.015
40m	0.035
50m	0.055
60m	0.075
70m	0.09
80m	0.12
90m	0.14
100m	0.15

2.自主導航之直線穩定飛行：

以圖2.14為例， $frame_n$ 機身軸心為0度，當 $frame_{n+1}$ 時經地面特徵點換算後，機身軸心變化為-28.8度，若此時飛行方式設定為直線飛行，其偏轉修正差異值為-28.8度($\Delta \beta = -28.8 - (0) = -28.8$)，由程式自動對應控制P曲線（如表2.2）換算出偏轉軸電壓值為1.41伏特（線性內插法），藉此傳輸控制訊號給UAV，以修正其飛行方向。

(2)取移動向量之眾數：

把固定數量的特徵移動向量之量值各別求其 $|\sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}|$ 之量值，再取其眾數（如圖2.16），統計最終控制訊號對應值，藉以修正UAV飛行方向。

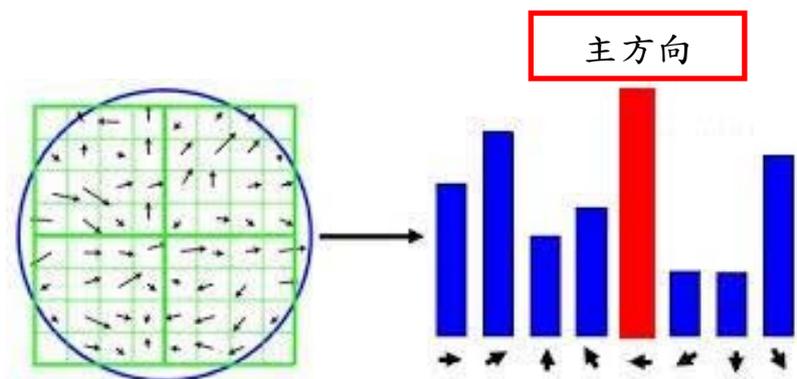


圖2.16 眾數統計示意圖

表2.2 機身偏轉角度與三軸電壓及角度對照表

UAV飛行時速：45km		單位：電壓(V)；角度(度)		
遙控電壓值	俯仰軸角度	側滾軸角度	偏轉軸角度	機身偏轉角度(β)
0.8	-20	-17	-25	-45
0.9	-20	-16	-23.54	-42.36
1	-20	-15	-22.08	-39.72
1.1	-20	-14	-20.62	-37.08
1.2	-18.53	-13	-19.16	-34.44
1.3	-17.06	-12	-17.7	-31.8
1.4	-15.59	-11	-16.24	-29.16
1.5	-14.12	-10	-14.78	-26.52
1.6	-12.65	-9	-13.32	-23.88
1.7	-11.18	-8	-11.86	-21.24
1.8	-9.71	-7	-10.4	-18.6
1.9	-8.24	-6	-8.94	-15.96
2	-6.77	-5	-7.48	-13.32
2.1	-5.3	-4	-6.02	-10.68
2.2	-3.83	-3	-4.56	-8.04
2.3	-2.36	-2	-3.1	-5.4
2.4	-0.89	-1	-1.64	-2.76
2.5	0.58	0	-0.18	-0.12
2.6	2.05	1	1.28	2.52
2.7	3.52	2	2.74	5.16
2.8	4.99	3	4.2	7.8
2.9	6.46	4	5.66	10.44
3	7.93	5	7.12	13.08
3.1	9.4	6	8.58	15.72
3.2	10.87	7	10.04	18.36
3.3	12.34	8	11.5	21
3.4	13.81	9	12.96	23.64
3.5	15.28	10	14.42	26.28
3.6	16.75	11	15.88	28.92
3.7	18.22	12	17.34	31.56
3.8	19.69	13	18.8	34.2
3.9	20	14	20.26	36.84
4	20	15	21.72	39.48
4.1	20	16	23.18	42.12
4.2	20	17	24.64	44.76

(3)設定飛行方式：

本研究編寫之程式介面(如圖2.17)，可用來設定UAV直線或盤旋之自主導航模式，無論飛行設定是直線或盤旋，當飛行路徑超過GPS航道預設範圍時，則以GPS飛航軌跡重新修正飛行路徑，如圖2.8所示，以避免脫序飛行及飛安事故發生。



圖2.17 飛行方式設計介面

2.3 建立曲線比例(P)控制法

本實驗室設計之UAV飛行控制方式，在絕對理想的環境下，採比例及積分控制(Proportional-Integral Control, PI)飛行方法，其飛行姿態如圖2.18～圖2.20所示，經2013年參加台灣無人飛機設計競賽驗證，編寫程式若以固定權重值調整PI控制參數，當風速較大或瞬間風速變化大時，其抗風特性較弱，UAV在實驗室進行風洞實驗時，發現風速變化較大的狀態下，針對偏轉軸而言，其恢復

平穩狀態約需10秒（如圖2.21），其原因係因固定控制參數權重值，導致UAV調變跟不上風速變化，造成預期以外的飛行狀況。

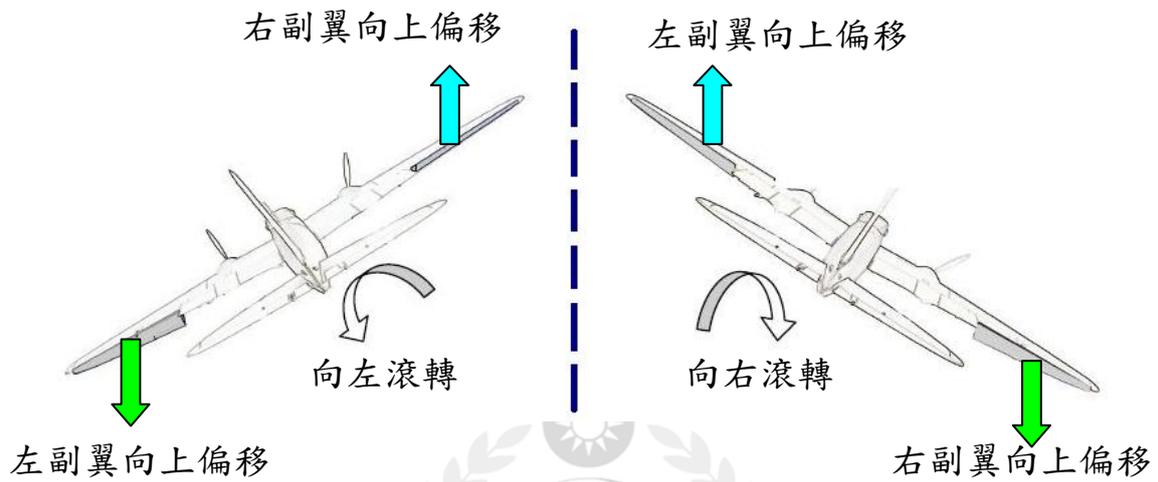


圖2.18 UAV副翼飛行姿態示意圖[31]

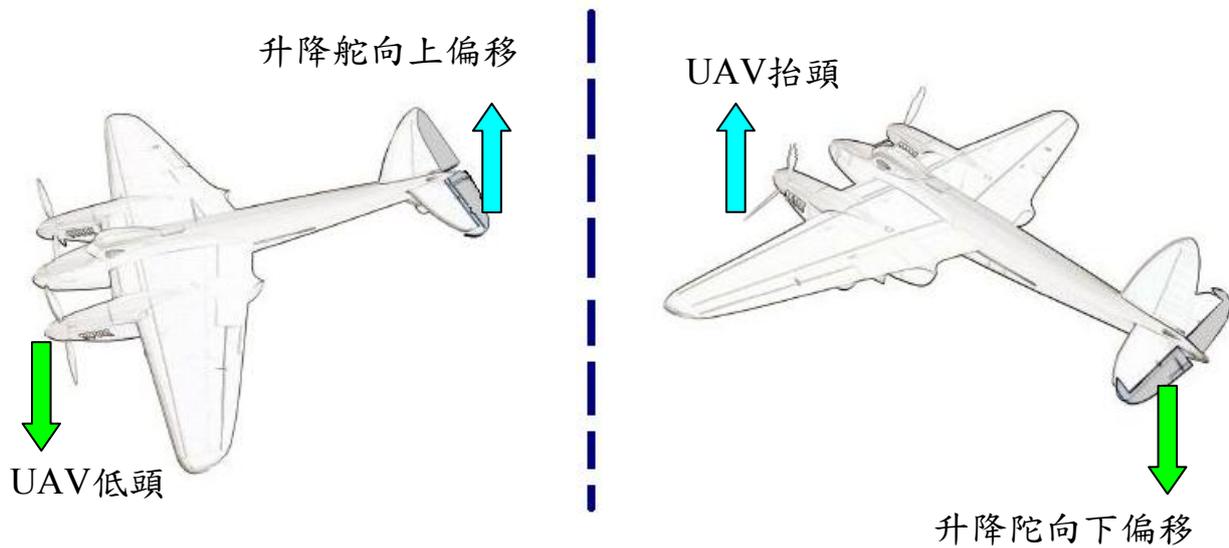


圖2.19 UAV升降舵飛行姿態示意圖[31]

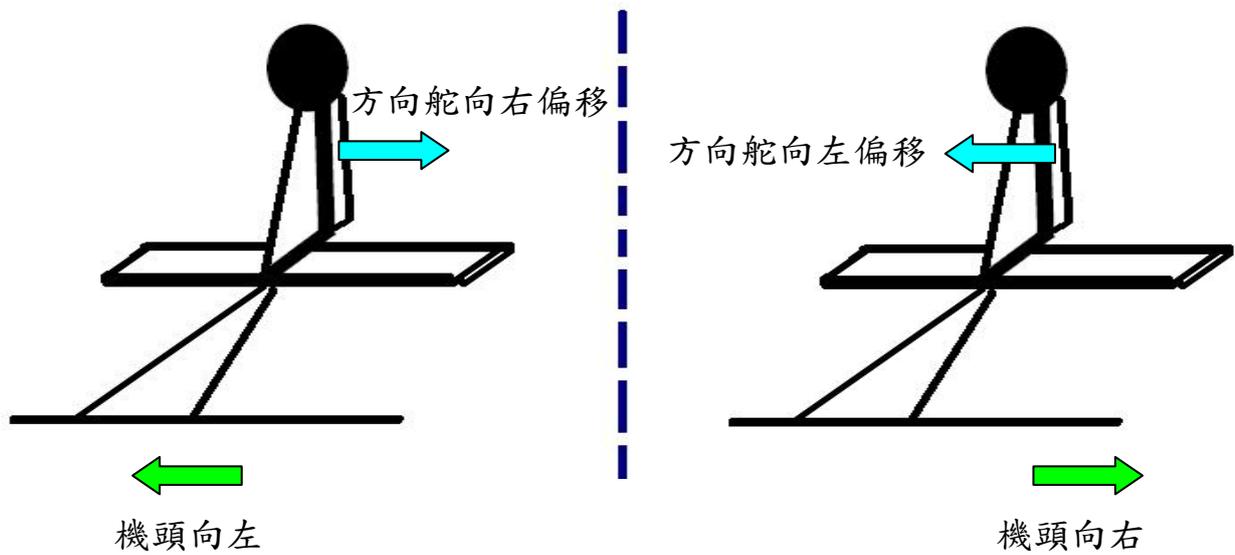


圖2.20 UAV方向舵飛行姿態示意圖

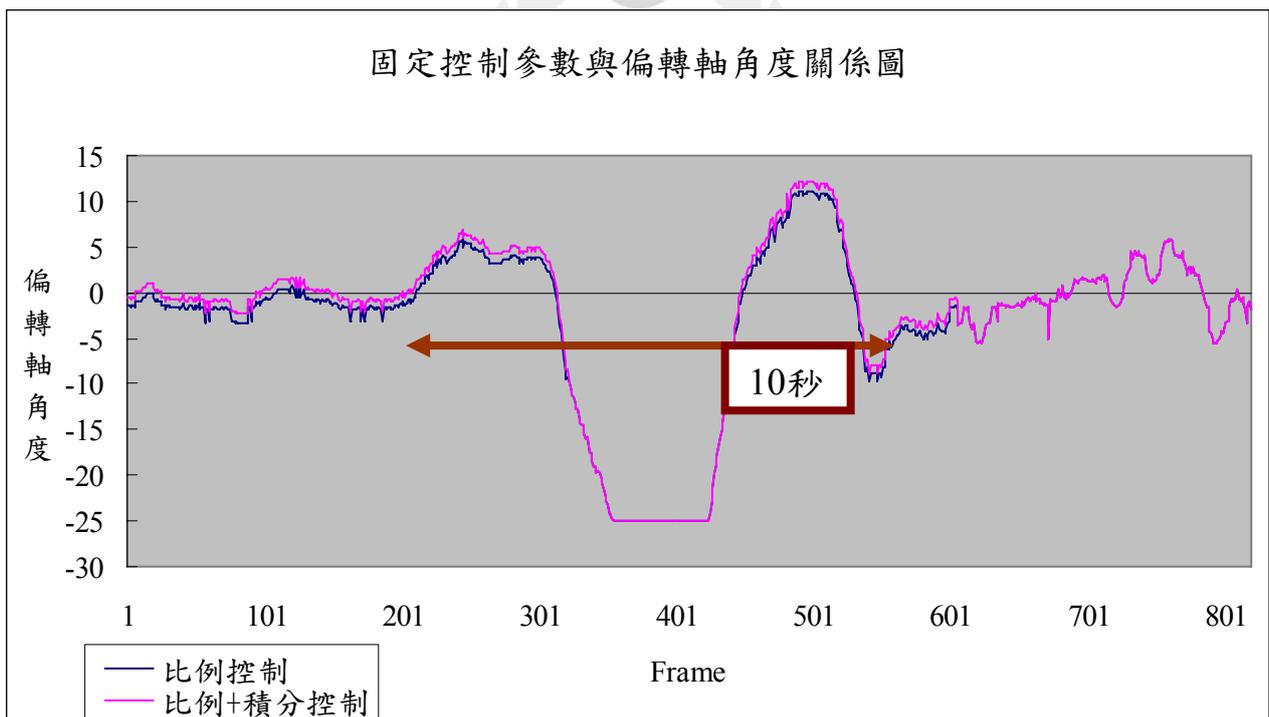


圖2.21 固定控制參數與偏轉軸角度關係圖

為使UAV強化其抗風特性，並達到即時運算控制，本研究簡化PI控制，採曲線比例控制法（如圖2.22，吾人稱「曲線P控制法」），方向舵依地面特徵移動向量及副翼與升降舵依陀螺儀變化量，分別採直線分段斜率之比例控制權重

值，藉以控制電壓輸出，並於實驗室製作「機身偏轉角度與三軸電壓及角度」對照表（如表2.2），俾利於實驗中獲取更穩定的控制參數。

每台自製UAV抗風特性曲線並不全然相同，本研究針對三軸分別採直線分段斜率之比例控制權重值，其優點係以一維直線方程式代替二維方程式運算，除可加速運算外，更強化其抗風性；另經風洞實驗時，以同樣風速變化的狀態下，針對偏轉軸而言，其恢復平穩狀態約需4秒（如圖2.23），其原因係以非固定控制參數權重值，使UAV調變跟上風速變化，以穩定的飛行狀況。

當UAV進入自動導航階段時，陀螺儀俯仰及側滾角度變化量，本研究代入不同自定義的曲線P控制，偏轉軸（垂直尾翼）電壓值依地面特徵移動量轉換成垂直尾翼偏轉角度，因本文採用不同斜率變化值，當強風或瞬風來襲時，斜率值愈大，反之知，藉以抵抗強風飛行穩定性（主翼及水平尾翼亦同）。

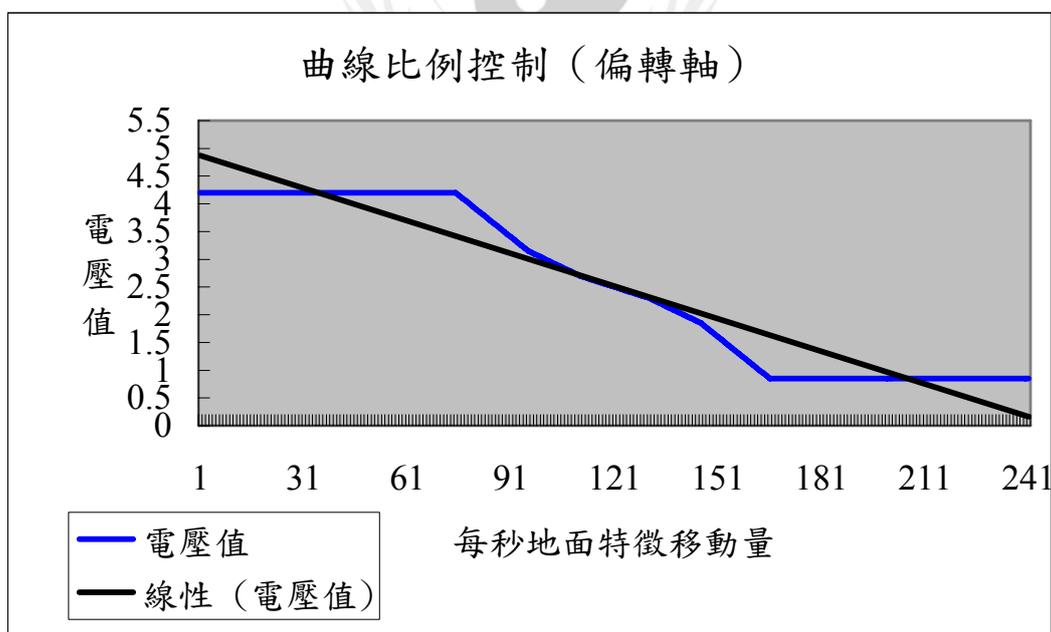


圖2.22 曲線比例控制（以偏轉軸為例）

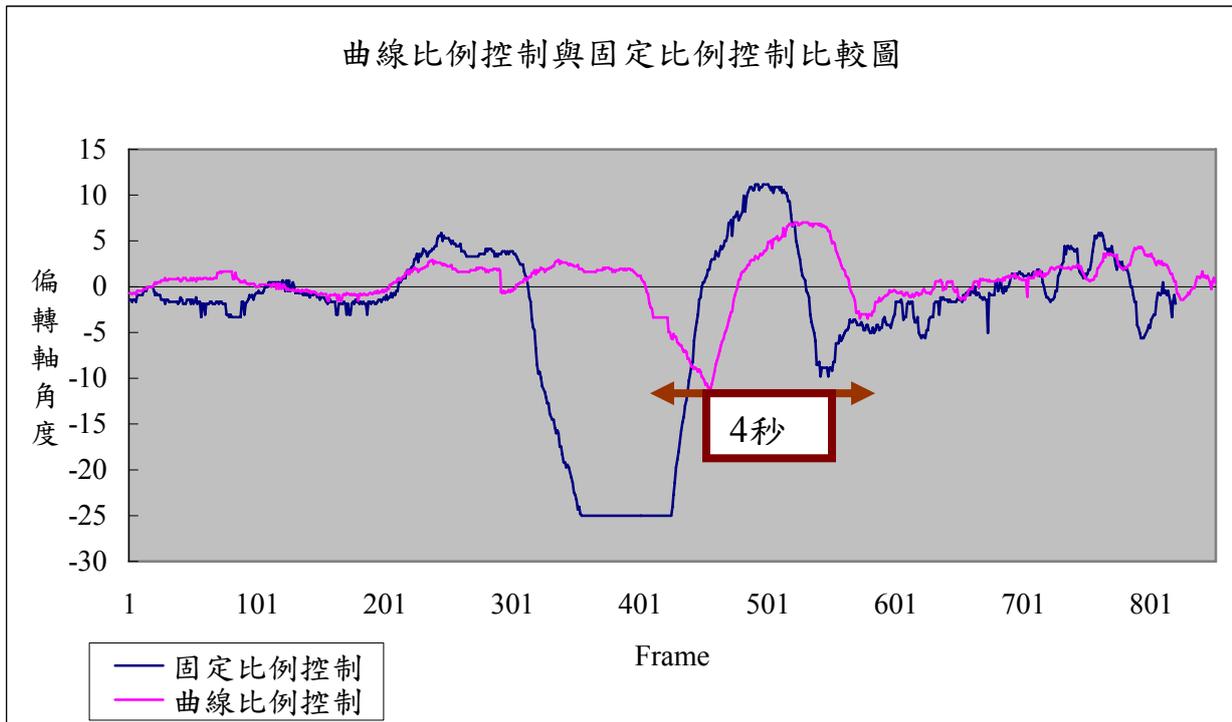


圖2.23 曲線比例控制與固定比例控制比較圖



2.4 整體控制流程

整體控制流程的執行順序為飛行員在跑道上先進行手動起飛、滑行測試，用以確認起飛後連線或其他狀態正常。手動起飛後，進入預劃飛行的GPS航道後，再切換為自動導航模式，並進行空拍。UAV將依導航點之設定完成飛行路徑，返航後再切換回手控模式，進行降落。

主要流程可分2個模式：「手動遙控模式」及「自動導航模式」，不管何種模式，影像均能即時透過5.8G無線傳輸即時回傳，俾利地面特徵點偵測。

- (1)手動遙控模式：遙控器的信號直接透過無線電操控UAV，地面控制站亦接受空拍影像進行處理及分析後，惟不對UAV進行操控動作，此時飛行員及地面站操作員依UAV實際載重及天候影響飛行的狀況，定義伺服器中立點及各個控制參數值歸零值，此時設定的「中立點」及「歸零值」即UAV斷訊或超出飛行姿態狀況下，導正平穩飛行的預設值；另須輸入預劃飛行的GPS導航點，完成飛行準備作業。
- (2)自動導航模式：主要目的是使UAV在自主的模式下，依設定航點座標，飛往設定的數個座標，當任務完成後飛回原點。當飛行教練將遙控器開關切換成自動導航模式時，此時地面操控員於圖2.15操作介面設定「直線」或「左、右盤旋飛行」，即可完成自動導航模式操作。

進入自主導航模式後，UAV以本文提出的演算法執行飛行，本研究同時擷取載具上的GPS所測得之座標點，以程式計算出航線方位角的偏差量以及偏離航線之距離，作為偏差移動量的最大門檻值，並以地面特徵移動量或GPS偏航軌跡修正其飛行方向與偏航角之度數，其最終計算結果均來自地面電腦控制站，藉由分析及計算出結果，透過無線控制對UAV的伺服馬達下達之控制命令，以達自主飛行目的。

本研究依特徵點移動向量情況，導入曲線P控制方式，更可穩定UAV飛行姿

態，使其穩定直線移動或盤旋轉向，由 $frame_n$ 及 $frame_{n+1}$ 移動向量強度差異值，得知目前是否穩定移動或盤旋飛行中，若非穩定飛行則表示有外力因素介入，則以對應曲線P控制參數加以修正飛行。

本研究為能順利導入曲線P控制方式，故選用的FYGCS-Pilot套裝軟體（如圖2.24），具有地面控制站與UAV斷訊時的預設自動歸航能力，更修改源程式代碼，俾利驗證演算法之可行性，以減少實驗失敗時的額外支出經費。

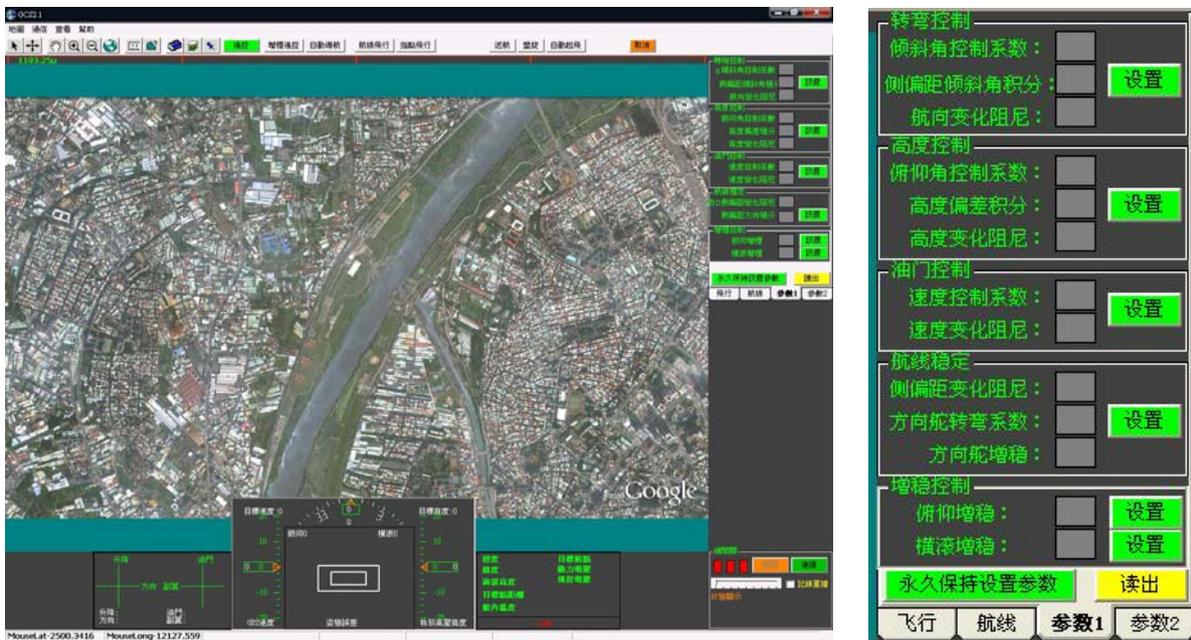


圖2.24 FYGCS-Pilot飛行導航軟體[31]

本研究所修改之中立點預設值，係考量當UAV因遙控干擾或不正常飛行現象時，所須使用之歸零回穩預設值，其在自動導航模式下，均會導入控制P曲線加以自動修改，相關參數說明如下：

(1)轉彎控制：

傾斜角控制係數：飛機轉彎時傾斜的角度比例係數。設定值越大，UAV轉彎時傾斜的角度越大，設定範圍在0~99之間，當設定值為30，其轉彎角度 18° ；當設定值為50（本研究使用之中立點預設值），其轉彎角度 30° 。

側偏距傾斜角積分：UAV偏離航線的容忍的垂直距離。設定值越大，UAV修正控制速度越快，設定範圍在0~9之間。只要UAV偏離航線，該值就會起作用，本研究使用之中立點預設值為2，代表平穩貼近GPS航線飛行。

航向變化阻尼：設定範圍在0~99之間，本研究不做修改，採軟體預設值45。

(2)高度控制：

俯仰角控制係數：主要用來UAV飛行爬升或者降低高時的俯仰角比例係數。設定值越大，爬升或者下降角度越大，設定範圍在0~99之間。本研究所使用之定翼機最大的爬升俯仰角為 $+20^\circ$ ，下降俯仰角為 -20° ，故中立點預設值為50。假設飛機需要爬升10米，俯仰角控制係數設定為30，則爬升角度為 6° ；俯仰角控制係數設定為50，則爬升角度為 10° 。

高度偏差積分：設定的飛行高度有偏差時，設定的俯仰角修正量。設定值越大，控制速度越快，設定範圍在0~9之間，本研究使用之中立點預設值為2，代表平穩貼近飛行預設高度。

高度變化阻尼：設定範圍在0~99之間，本研究不做修改，採軟體預設值45。

(3)油門控制：主要在控制UAV飛行速度，考量飛行速度亦會影響本研究分析結果，軟體預設範圍在0~99之間，故本研究設定值在40~55之間。

(4)航線穩定

側偏距變化阻尼：設定範圍在0~9之間，本研究不做修改，採軟體預設值3。

方向舵轉彎控制係數：本研究採用「副翼及方向舵」混合控制轉彎，以期平穩取得空拍影像，設定範圍在0~99之間，本研究使用之中立點預設值為50。

方向舵增穩：飛機的繞Z軸旋（垂直於機身的軸，橫滾是X軸，俯仰是Y軸）轉時，所設定阻止旋轉的控制量。設定值越大，控制量越大，設定範圍在0~99之間。本研究不做修改，採軟體預設值45。

(5)增穩控制：本研究不做修改，採軟體預設值45。

綜上述參數設定說明後，接著依次頁說明完成電腦導控連線，並經地面訊號連通測試正常後，即可實際進行視距外控制。

2.5 自動導航飛行驗證流程

遙控器或地面電腦均有設定切換開關，可切換為手控飛行模式及自動導航模式，系統運作流程分述如下。

在手控飛行模式下（如圖2.25），遙控器的控制訊號直接傳送至機上遙控伺服器，如同一般遙控飛機的運作，完全由地面人員控制，起飛及降落階段亦採用此模式。

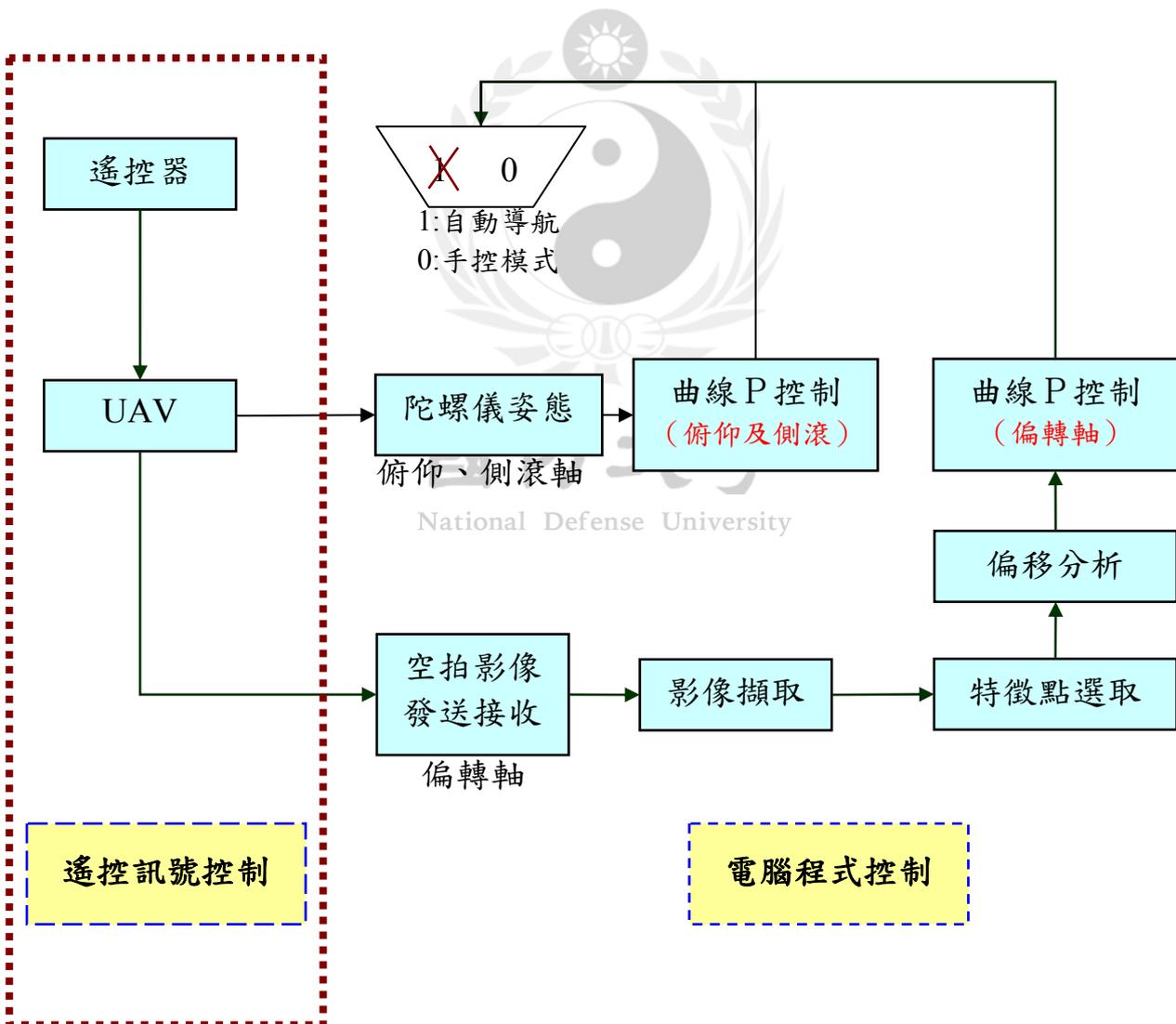


圖2.25 手動遙控模式

在自動導航模式下（如圖2.26），針對UAV遙控伺服器的運作，本研究為驗證影像自動導航可行性，特要求飛行教練將遙控器關閉，以符合自主飛行要求。

本研究提出之自動導航模式，係由地面電腦接收空拍特徵運算偏移分析及依陀螺儀姿態分析UAV平穩姿態，再由程式分別運算偏轉、俯仰、側滾軸對應曲線P控制參數，運算結果透過FY-606遙控傳輸模組，傳送至UAV內裝之遙控伺服器，使其維持定高度、定速度的穩定直線或盤旋飛行。

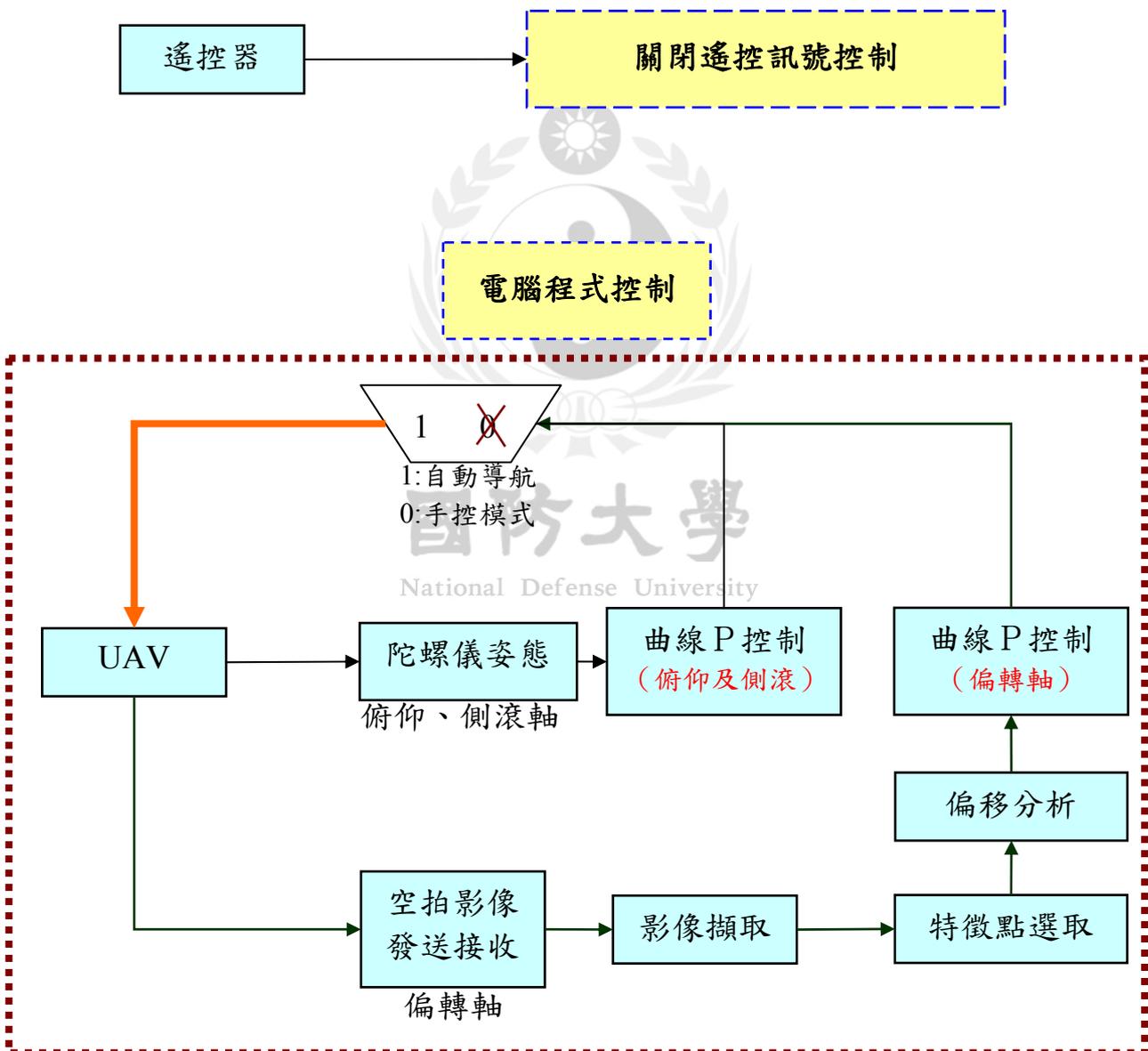


圖2.26 自動導航模式

3. 系統架構

本研究共分為兩大系統，分別為室內實驗及戶外實飛驗證系統，室內實驗主要用來檢驗程式編寫與UAV飛行控制之正確性，戶外實飛驗證主要用來驗證理論飛行與實際飛行是否正確，並實際飛行數值加以修正，俾達視距外穩定飛行目標，兩大系統架構說明如下：

- (1) 室內實驗系統：目的用來將UAV飛行空拍影像與控制P曲線比例控制參數結合，推算出最理想飛行控制P曲線比例控制參數。主要可分為「翼擺測試」(如圖3.1)及「影像特徵測試」(如圖3.2) 2項模式。其中，在翼擺測試方面，藉由空拍影像特徵偏移量，推算控制P曲線方程式與對應控制角度是否相符，並檢視各機翼擺動方向是否正確，俾提高視距外飛行驗證之準確性及飛行成功率；另在影像特徵測試方面，UAV先於戶外手動飛行取得空拍影像後，以本文第2章所述方法，在實驗室分析空拍地面特徵，取得飛行方向偏差值，檢視空拍影像特徵比對、追蹤及分析是否正確。

國防大學
National Defense University

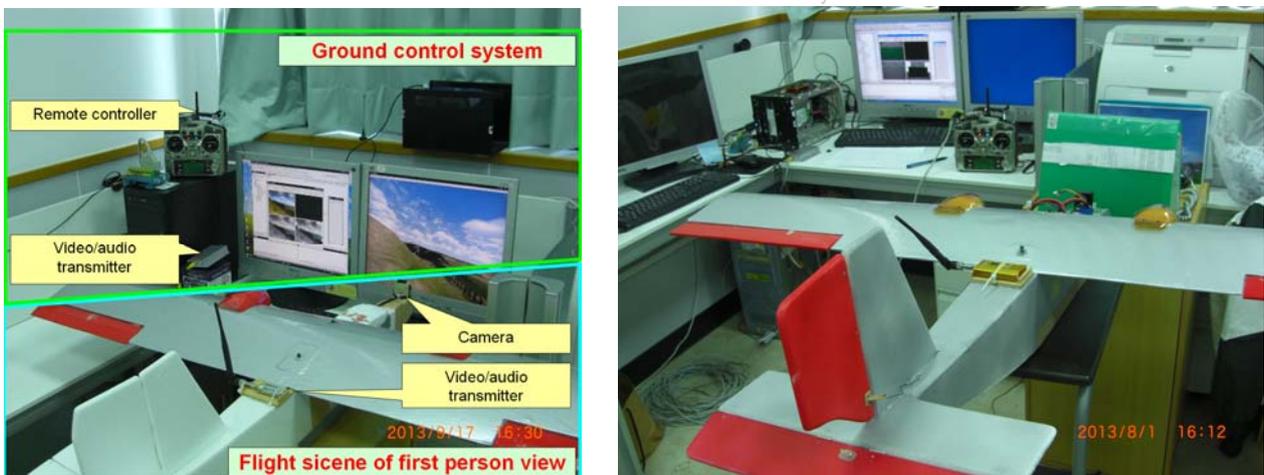


圖3.1 翼擺測試實驗架構



圖3.2 影像特徵測試

National Defense University

- (2) 戶外實飛驗證系統（如圖3.3）：主要目的用來驗證本研究提出方法之可行性，並以視距外飛行（2km以上之距離）為目標。以實驗分析取得UAV飛行P曲線比例控制參數值後，將曲線方程式參數值以編寫程式方式自動輸入FYGCS-Pilot飛行導航軟體，俾利完成視距外穩定飛行控制。作業方式係於UAV機身裝設空拍地面之小型攝影機，拍攝畫面透過機載5.8GHz影音發射器回傳影像，並由地面影音接收機取得空拍影像後，透過USB影像擷取器轉換為數位影像資料，提供給地面電腦分析影像，並進行控制參數運算與處理，所計算出控制參數自動代入

FYGCS-Pilot 導航軟體，再藉由 FY-606 控制訊號傳輸模組傳送至 UAV，使其穩定且能依控制參數飛行，並由陀螺儀輔助飛行姿態控制，俾達自主飛行效果，本章將就各硬體設備進行介紹。



圖3.3 視距外飛行系統架構

3.1 戶外實飛驗證系統（空中部份）

戶外實飛驗證之 UAV 搭載小型攝影空拍鏡頭、影音發射器及自主導航飛控模組，作為地面影像特徵分析及自主飛行的裝備，各項硬體細部規格介紹如下。

3.1.1 無人飛行載具(UAV)

本研究使用之UAV由本院國防科學研究所兵器工程組博士班學生鄧堯仁先生設計，委請承商製作之遙控定翼飛機（如圖3.4），翼展1.5m，機身長1.1mm，空機重量1.5kg；酬載空間為長95公分、寬10公分、高10公分，酬載裝備如表3.1，總計全機酬載總重量為530克，全機總重低於3公斤，以強化機動性及節省電力。



圖3.4 視距外飛行-遙控定翼機

表3.1 酬載裝備暨重量表

項目	名稱	重量(克)
(1)	空拍攝影機及 5.8GHz 發射機（含天線及電源線）	80
(2)	12V Li-Po Battery*2（引擎用電）	180
(3)	12V Li-Po Battery*1（發射機及攝影機用電）	90
(4)	自主導航飛控模組（含陀螺儀、飛行控制器、AHRS&GPS 模組、GPS 接收模組及 FY-606 遙控傳輸模組）	180
總 計		530

3.1.2 空拍攝影機

選購市售半球型彩色廣角攝影機（如圖3.5），裝設至定翼機機首下方空拍適當位置，硬體規格如表3.2。



圖3.5 空拍攝影機（FPV SONY CCD 鏡頭）

表3.2 空拍攝影機規格

項目	規格
有效畫素	PAL:752(H)×582(V) NTSC:768(H)×492(V)
感光晶片	1/3" SONY Super HAD CCD
最小照度	0.1LUX (F1.2)
訊號 / 雜訊比	> 48 dB
視角	80 度
尺寸	(40 x 28 x 28) mm
重量	45 克
電源供應	DC 12V
工作溫度	-20 度 to 50 度

3.1.3 機載圖傳發射機

選購市售5.8GHz視頻/音頻同步傳輸（相容PAL和NTSC）影音發射機（如圖3.6），裝設於定翼機靠近機尾處，主要目的係將空拍影像傳送至地面電腦；另因考量本研究採視距外飛行，故選購2000mw影音發射機，俾強化影像傳輸距離及品質，硬體規格如表3.3。



圖3.6 影音發射機(5.8GHz)

表3.3 影音發射機(5.8GHz)規格

項目	規格
發射頻率	5725 - 5865MHz; 8 個頻道
發射距離	>6km
發射功率	33dBm/500mW
重量	68.5g (含天線，且不含線材時)
尺寸	55mm x 26mm x 17mm
電源供應	DC 12V

3.1.4 自主導航飛控模組

自主導航飛控模組總成如圖3.7，裝設於UAV機腹酬載空間內，由上而下分別係GPS接收模組、AHRS&GPS模組（含陀螺儀）、飛行控制器、及FY-606遙控傳輸模組，最右則為433MHz遙控接收伺服器，主要目的係輔助控制UAV飛行姿態、接收GPS訊號及接收地面電腦傳送之飛行控制參數，硬體規格如表3.4。

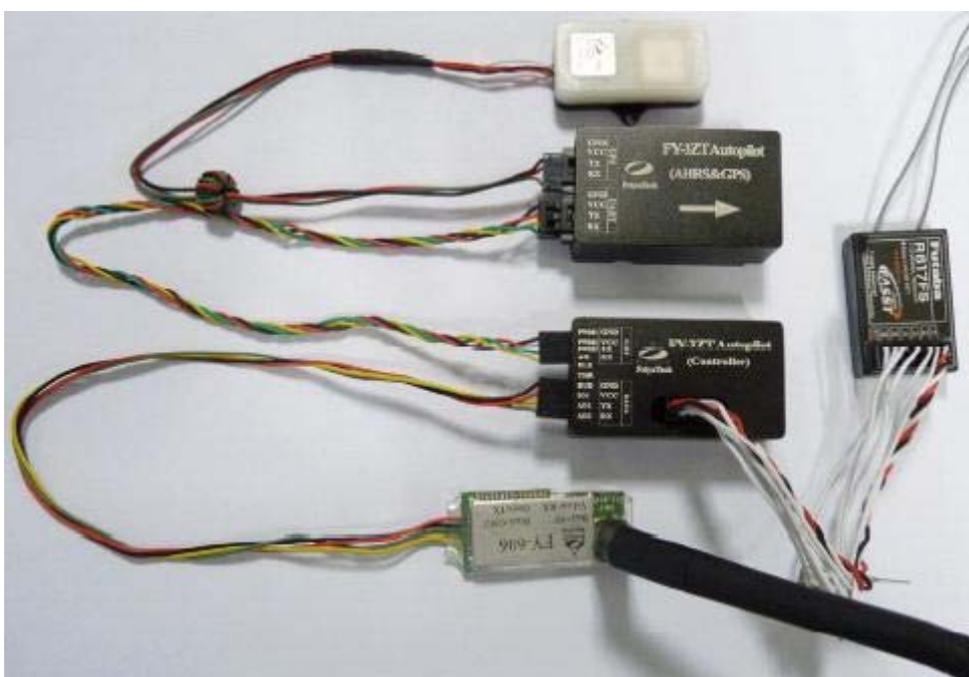


圖3.7 自主導航飛控模組總成[31]

表3.4 自主導航飛控模組規格

項目	規格
工作頻率	GPS 接收模組：1.2GHz FY-606 遙控傳輸模組：2.4GHz Futaba 遙控伺服器：433MHz
訊號傳送距離	自主導航總成無阻擋有效距離約 4km
重量	180g (含電線)
電源供應	DC 12V

3.2 戶外實飛驗證系統（地面部份）

3.2.1 遙控器（搭載433MHz之RF射頻發射器）

選購Futaba T9CHP之九頻道遙控器（如圖3.8），考量圖傳頻段(2.4GHz)、GPS(1.2GHz)頻段及遙控訊號頻段之干擾現象，特選用433MHz之RF射頻發射器（如圖3.9），並裝設於遙控器內，俾解決干擾問題，硬體規格如表3.5及表3.6。



圖3.8 Futaba T9CHP遙控器

表3.5 Futaba T9CHP遙控器規格

項目	規格
重量	1.1Kg (不含電池及 RF 射頻發射器)
尺寸	230mm x 128mm x 282mm
電源供應	DC 12V



圖3.9 433MHz之RF射頻發射器

表3.6 433MHz之RF射頻發射器規格

項目	規格
重量	1.1Kg (不含電池及 RF 射頻發射器)
尺寸	230mm x 128mm x 282mm
電源供應	DC 12V

3.2.2 自動追蹤雲台系統

因高功率的天線訊號接收的有效角度通常較狹窄，為了解決UAV飛行時，定向天線難以保持在最佳接收影像訊號的問題，故選購市售MyFlyDream AAT自動追蹤雲台系統（如圖3.10）主要目的是為了獲得更好的視頻訊號接收品質。

搭配自動追蹤雲台系統，亦需在UAV上安裝TeleFlyOSD模組（如圖3.11），TeleFlyOSD從UAV上的GPS讀取數據後，把座標和高度資訊進行編碼調製，透過無線的音頻通道發射回來。

地面5.8GHz影音接收器把收到的音頻訊號傳給AATDriver（如圖3.12），此時AATDriver將對訊號進行解調和解碼，取得UAV的位置資訊，再和初始座標比較後，得到飛機目前相對雲台的方位角、距離、高度等相關資訊，AATDriver再把這些資訊發送給追蹤雲台，雲台驅動內部的轉動機件，使定向天線對準飛

機所在的位置，硬體規格如表3.7～表3.9。



圖3.10 MyFlyDream AAT 自動追蹤雲台系統[32]

表3.7 MyFlyDream AAT 自動追蹤雲台規格[33]

項目	規格
重量	905 克
尺寸	165mm x 107mm x 40mm
最大負載	1KG(無平衡) / 3KG(帶平衡)
俯仰範圍	0~90 度
俯仰速度	100 度/秒
水準旋轉範圍	0~360 度無限制
水準旋轉速度	200 度/秒
電源供應	DC 12V



圖3.11 TeleFlyOSD

表3.8 TeleFlyOSD規格

項目	規格
重量	8 克
尺寸	45mm x 25mm
電源供應	DC 12V



圖3.12 AATDriver

表3.9 AATDriver規格

項目	規格
重量	58 克
尺寸	78mm x 44mm x 23mm
電源供應	DC 12V

3.2.3 影像擷取器

選購UPMOST公司之UPG308影像擷取器（如圖3.13），其主要功能是將空拍影像轉為數位格式傳入電腦，俾利處理分析，其提供1組CVBS、1組S-Video影像輸入端子，以及1組RCA立體聲聲音輸入端子，俾利連接其它影音設備，更便於未來研究開發使用，硬體規格如表3.10。



圖3.13 UPG308

表3.10 UPG308規格

項目	規格
重量	51.5 克
尺寸	77mm x 18mm x 14mm
影像功能	提供 H.264 動態影片錄製功能，最大可錄製 720×576(PAL)或 720×480(NTSC)解析度，並提供 VBR 及 CBR 壓縮模式，亦可儲存為 BMP、JPG 檔案格式。
電源供應	個人電腦 USB 電源供電

3.2.4 圖傳接收機

選購市售之5.8GHz圖傳無線接收機RC805（如圖3.14），主要功能係接收空拍影像，並傳至UPG308執行數位影像轉換功能，RC805提供8組傳輸切換頻道，本研究主要使用頻率為5.8GHz，無障礙環境下直線傳輸距離約為6km，硬體規格如表3.10。



圖3.14 RC805無線接收機

表3.11 RC805無線接收機規格

項目	規格
工作頻率	共 8 個工作頻率 CH1:5705GHz CH2:5685GHz CH3:5665GHz CH4:5645GHz CH5:5885GHz CH6:5905GHz CH7:5925GHz CH8:5945GHz
重量	55 克（含天線及訊號線）
天線增益	2dBi
尺寸	72.5 x 54.2 x 15.5mm
電源供應	DC 12V

3.2.5 電腦平台及FYGCS-Pilot導航軟體

本研究須同時使用的2台電腦，硬體規格均為Intel Q9400 2.67GHz 雙核心CPU，記憶體為4GB RAM（如圖3.15），操作系統為WindowsXP系統，顯示器有1280 x 1024之解析度。2台電腦間須架設內部有線區域網路及遠端操作程式，俾利將影像分析程式計算出的飛行控制參數，自動傳送FYGCS-Pilot導航軟體，使UAV其能達到視距外飛行效果。



圖3.15 雙電腦平台

整體程式是在Microsoft Visual Studio 2005的C/C++環境下開發，程式主要功能有「分析地面特徵」、「計算飛行控制參數」及「自動輸入飛行控制參數」；另因實驗成果，可符合2014年參加台灣無人飛機視距外飛行競賽規定，惟須於程式中補足「計算空拍物GPS座標」方法，故本文直接以參加競賽成果，展示本研究之實驗結果。

4. 實驗結果

本實驗室藉由視訊影像之天際線偵測導引UAV自動飛行，經地面模擬程式驗證及空中飛行測試，得知其可行性極佳，並由博士畢業班羅學長於2011年7月在IEEE發表之論文[19]後，本實驗室為達成眾人認可之實飛目標，特參加2013台灣無人飛機設計競賽（國際性比賽），以視訊影像導引UAV視距內自動飛行獲得第2名（如圖4.1）惟當時UAV飛控系統穩定性不佳，僅達預期目標。



The image shows two screenshots of the competition website. The left screenshot shows the 'Results' section with a table of winners. The right screenshot shows the full 'Results' table with columns for rank, school name, Chinese name, English name, and status.

名次	學校名稱	隊名
第一名	國立台北科技大學	北科能源所
第二名	國防大學理工學院	香檳島
第三名	明達大學	明達之光

編號	學校名稱	中文隊名	英文隊名	報名費
1	明達大學	明達之光	Mingdao-shine	已繳
2	國防大學理工學院	香檳島	CVIP	已繳
3	高苑科技大學	隱舞者	Hidden dancer	已繳
4	國立台北科技大學	北科能源所	Taipei Tech ERAC	已繳
5	國立成功大學	藍天	Blue Sky	已繳
6	中華科技大學	小飛象	S F E	已繳
7	國立虎尾科技大學	閃耀之星	Dazzle star	已繳
8	臺灣理工大學		Transformer	
9	國立虎尾科技大學	夢想號	Air Dream	

圖4.1 本實驗室參加2013台灣無人飛機設計競賽（第2組）

承上說明，本研究藉由此次比賽實飛經驗，再次改善飛控系統，並以空拍視訊影像結合陀螺儀及GPS導航系統實際飛行，針對突破性的實驗成果、驗證方式、預期目標及突破性的實驗成果概述如下：

- (1) 本研究提出之空拍追蹤特徵偵測約為 $2\text{ms}/\text{frame}$ ，偏移角估算所需時間約為 $15\sim 20\text{ms}/\text{frame}$ 。整體而言，可達到每秒25次的即時處理速度。
- (2) UAV飛行過程中，除起飛及降落，須藉由手動控制外，餘飛行控制參數，均由地面電腦程式自動分析及設定，使UAV可依地面電腦控制站的設定，在空中維持穩定或盤旋飛行；另透過GPS及導航軟體控制參數記錄資料分析結果，驗證本研究整體控制流程符合預期目標。

(3) 在自動導航的模式下，本研究透過空拍影像，即時擷取地面特徵點，運用SAD-min影像比對方式，計算出相對移動量，最後以地面特徵的移動向量，藉由幾何關係與廣角校正換算出特徵點相關的偏移量，再傳送相關控制參數，使其達到由視訊影像導引UAV自動飛行成效；另為客觀驗證實驗成效，實驗除以本院橄欖球場上空，作為飛行空域執行測試外，本研究亦參加2014台灣無人飛機設計競賽（如圖4.2）[34]，藉由參賽結果驗證本研究提出之方法是合理且有效可行的。

編號	學校名稱	中文隊名	英文隊名	結果	排名
1	臺灣理工大學	鷹犬飛鷹	Poly Eagle	巴奧	
2	臺灣理工大學	精工飛航	Polymers	巴奧	
3	高階科技大學	凱特林轟子	Katherine Bug	巴奧	巴奧
4	高階科技大學	羅勒威羅	Roswell	巴奧	巴奧
5	國立虎尾科技大學	凱瑟琳回家	I want go home	巴奧	巴奧
6	國立虎尾科技大學	飛吧之翼	Fly away	巴奧	巴奧
7	國立虎尾科技大學	機動靈虎	G.O.W.H.	巴奧	巴奧
8	國立高雄大學	天空飛行者	Sky Walker	巴奧	巴奧
9	國立大學理工學院	狂錘	CVP	巴奧	巴奧

圖4.2 本研究參加2014台灣無人飛機設計競賽（第9組）

4.1 特徵偏移偵測結果

在自動導航模式下，遙控器會依據陀螺儀姿及空拍影像分析特徵點後，態輸入相關控制參數。陀螺儀用來穩定UAV飛行姿態，然而飛行方向的改變主要是經由偏轉角的控制來完成。

另本研究提出之演算法及程式運算速度可達即時處理成效，在無特殊環境外力干擾下（如電磁波、遙控訊號蓋台...等），隨著飛行載具持續轉向及平穩飛行，所回傳的連續地面影像特徵，會產生相對的移動量變化。

吾人定義空拍地面影像特徵點移動向量與UAV的直線飛行方向關係示意圖（如圖4.3），鎖定取樣及比對空拍特徵範圍為中央紅色區域(160*80)，其中，圖

4.4(a)~(f)為連續7張影像直線飛行及偵測地面特徵點的移動向量狀況，相關說明如下：

- (1) 當地面特徵點往X與Y軸為正值移動時，代表UAV為向左、向後移動，反之知。本研究針對定翼機驗證，故當空拍鏡頭固定向地面拍攝時，特徵點移動分向量 Δy ，多數僅向「Y軸之負值」移動，當 Δy 非此移動向量者，則視為雜訊，不再分析。
- (2) 統計空拍地面特徵點取得移動向量分佈情況，可得知當UAV處於穩定轉向或直線飛行時，移動向量之量值大小及角度均有集中的趨勢，取移動向量量值及角度資訊的眾數，推算出UAV的移動或盤旋方向，並修正控制參數。
- (3) 依特徵點移動向量分佈分佈情況，導入曲線P控制參數，更可穩定UAV飛行姿態，使其穩定直線移動或盤旋轉向，由連續影格移動向量之量值大小差異值，得知目前是否穩定移動或盤旋飛行中，餘詳細說明如後。

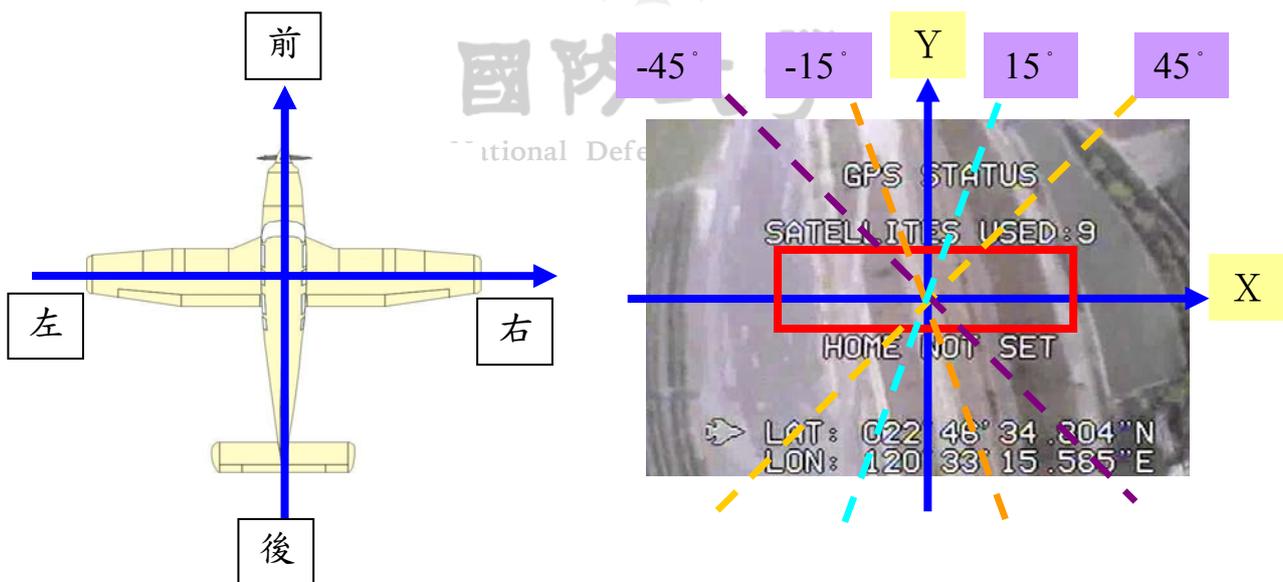


圖4.3 特徵點移動向量與UAV的直線飛行關係示意圖

圖4.4(a)~(f)主要在測試實際直線飛行成效，說明如下：

- (1) 圖4.4(a-1)~圖4.4(a-3)：frame_n代表第n張影格，frame_{n+1}代表第n+1張影格，以此類推。
- (2) 圖4.4(a-4)：偏轉角(θ)代表地面特徵移動向量之角度，定義座標如圖4.3所示，主要用來修正飛行方向，須與控制P曲線對應換算電壓值。
- (3) 圖4.4(a-5)：|Mag-move|代表地面特徵移動向量之量值，其值為 $\sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$ ，主要用來控制方向舵偏轉速率，由導航軟體之「測偏距變化阻尼」設定。
- (4) 圖4.4(a-6)：機身偏轉電壓修正值代表係依程式分析偏轉角(θ)及其量值之偏移資訊後，所換算出的修正電壓值，當UAV直線飛行時，偏轉舵中心電壓值應為2.5Volt。
- (5) 測試方式：frame_n~frame_{n+6}主要測試項目為自動導控直線飛行，由飛行教練手動控制UAV起飛至適當高度後，再由地面控制站人員確認UAV與地面站通訊連線正常，並告知飛行教練將遙控器開關切換為自動飛行控制模式，即可完成自動導控模式，地面控制站人員在自動導控飛行時，可隨時檢視空拍影像是否依飛行設定修正航道，若發生預期外的飛行狀況，可至導航軟體手動下達返航指令，避免危安。
- (6) 測試結果：本次測試過程常有雜訊影響回傳影像，但並未對偵測演算法造成嚴重的影響；另本研究設定直線飛行方向為圖片正上方，即UAV往前直線飛行，影像導引飛行為即時系統，統計表採離線分析。

圖4.4(a)：經由程式分析frame_n及frame_{n+1}影格，並於frame_n中央紅色區域選取之100個特徵點(梯度強度量值>55)比對至frame_{n+1}時，其移動向量如圖4.4(a-3)綠色標記處(本研究考量圖片呈現方式，由程式設定標示特徵移動量須小於30)，統計100個特徵點移動向量之偏轉角(θ)如圖4.4(a-4)所示，其

眾數值為-72度；另統計其移動向量之量值如圖4.4(a-5)所示，眾數值為9.85，最後由程式自動對應表2.2換算出電壓修正值，並取其眾數為4.2Volt，再由地面控制站無線傳送控制電壓至UAV，由電壓修正值可知，此時UAV須大角度修正其飛行方向，俾利回到原飛行軌跡。



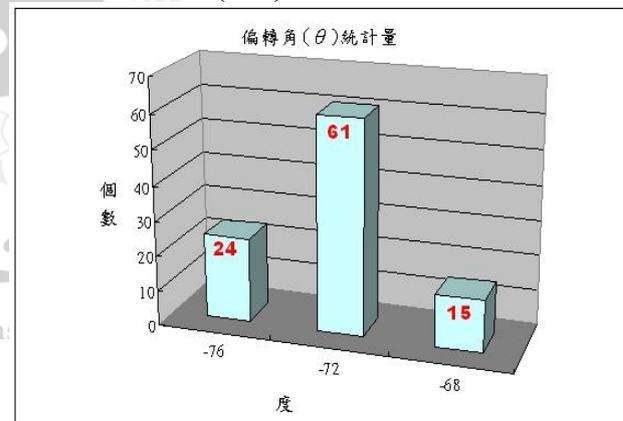
(a-1) frame_n



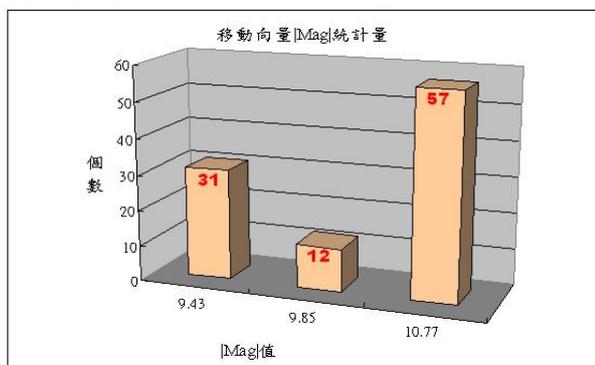
(a-2) frame_{n+1}



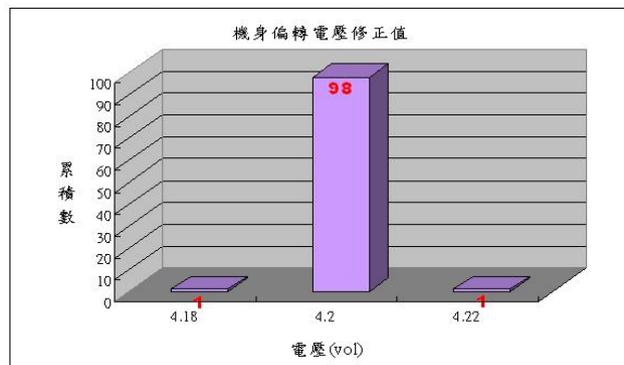
(a-3) (frame_n, frame_{n+1})特徵移動向量



(a-4) 偏轉角(θ)之統計值



(a-5) |Mag-move|之統計值



(a-6) 機身偏轉電壓修正值

圖4.4(a)

圖4.4(b)：經由程式分析 $frame_{n+1}$ 及 $frame_{n+2}$ 影格，並記錄 $frame_{n+1}$ 中央紅色區域原選取之100個特徵點，同上頁圖4.4(a)說明，比對至 $frame_{n+2}$ 時，其移動向量如圖4.4(b-3)綠色標記處（本研究考量論文圖片呈現方式，由程式設定標示特徵移動量須小於30），統計100個特徵點移動向量之偏轉角(θ)如圖4.4(b-4)所示，其眾數值為-46度；另統計其移動向量之量值如圖4.4(b-5)所示，眾數值為13.60，最後由程式自動對應表2.2換算出電壓修正值，並取其眾數為4.2Volt，再由地面控制站無線控制UAV，由電壓修正值可知，此時UAV仍須大角度修正其飛行方向，惟比較 $frame_{n+1}$ 及 $frame_{n+2}$ 行角度已有收斂趨勢。



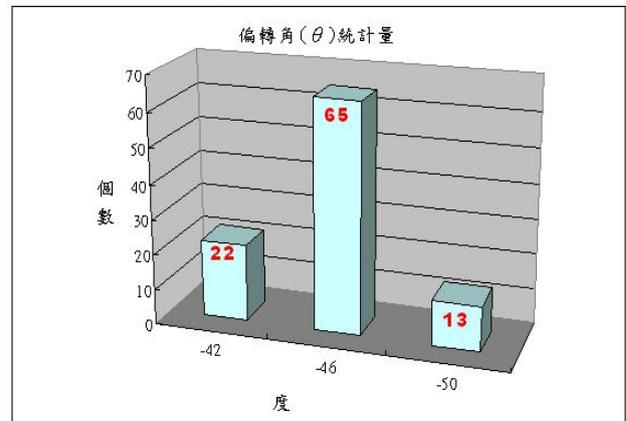
(b-1) $frame_{n+1}$



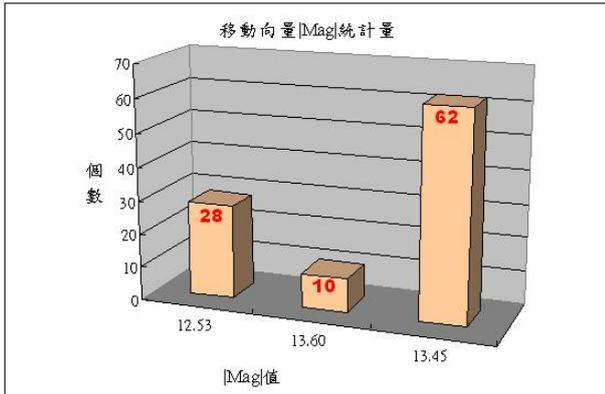
(b-2) $frame_{n+2}$



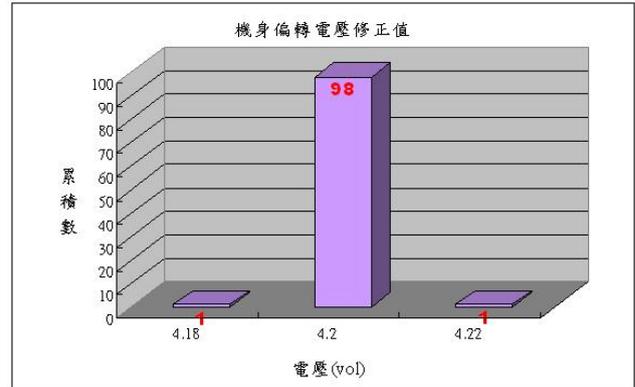
(b-3) ($frame_{n+1}$, $frame_{n+2}$)特徵移動向量



(b-4) 偏轉角(θ)之統計值



(b-5) |Mag-move|之統計值



(b-6) 機身偏轉電壓修正值

圖4.4(b)

圖4.4(c)：經由程式分析 $frame_{n+2}$ 及 $frame_{n+3}$ 影格，同上頁圖4.4(b)說明，比對至 $frame_{n+3}$ 時，其移動向量如圖4.4(c-3)綠色標記處（本研究考量論文圖片呈現方式，由程式設定標示特徵移動量須小於30），統計100個特徵點移動向量之偏轉角(θ)如圖4.4(c-4)所示，其眾數值為16度；其移動向量之量值如圖4.4(c-5)所示，眾數值為5.39，最後由程式自動對應表2.2換算出電壓修正值，並取其眾數為3.17Volt，再由地面控制站無線控制UAV，由電壓修正值可知，此時比較 $frame_{n+2}$ 及 $frame_{n+3}$ 之飛行方向，可查覺UAV飛行角度更趨收斂。



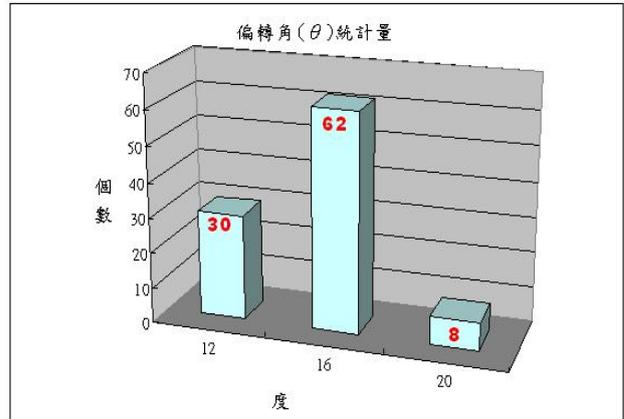
(c-1) $frame_{n+2}$



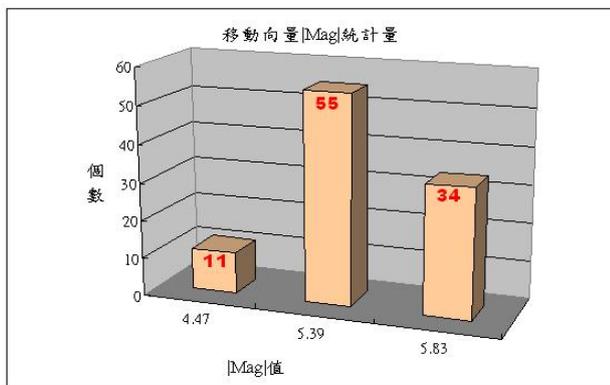
(c-2) $frame_{n+3}$



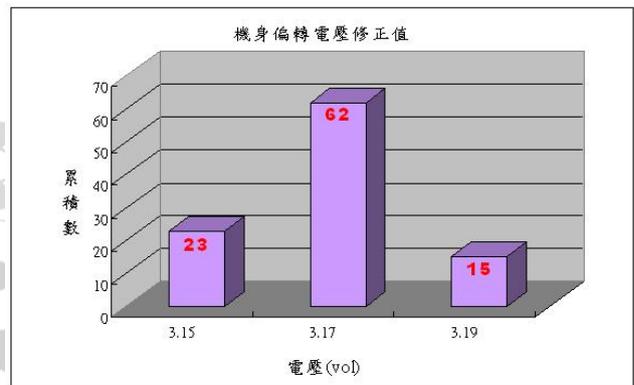
(c-3) (frame_{n+2} , frame_{n+3})特徵移動向量



(c-4)偏轉角(θ)之統計值



(c-5) $|\text{Mag-move}|$ 之統計值



(c-6) 機身偏轉電壓修正值

圖4.4(c)

圖4.4(d)~(f)：同上述說明，可查覺UAV飛行角度更趨直線飛行，亦收斂不再發散，惟圖4.4(f)似有風力造成些微偏移，並不影響UAV飛行，故經賽後驗證本研究提出之自主飛控演算法，順利完成視距外飛行成效，惟當地面站與UAV通訊訊號中斷時，返航模式須在遙控可控範圍內（約15公里），才得以順利返航，若地面站及遙控器均與UAV通訊訊號中斷，本研究於無人載具內部裝設歸航裝備，當訊號均中斷時，則UAV飛往指定GPS座標點，執行盤旋動作，直到訊號連通正常後，再由地面站或遙控器接手完成飛控作業。



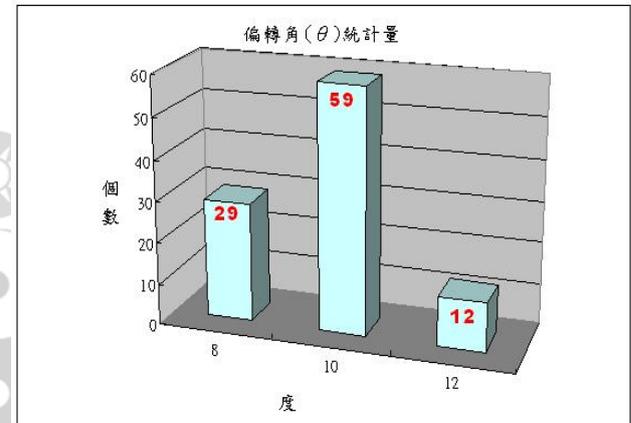
(d-1) frame_{n+3}



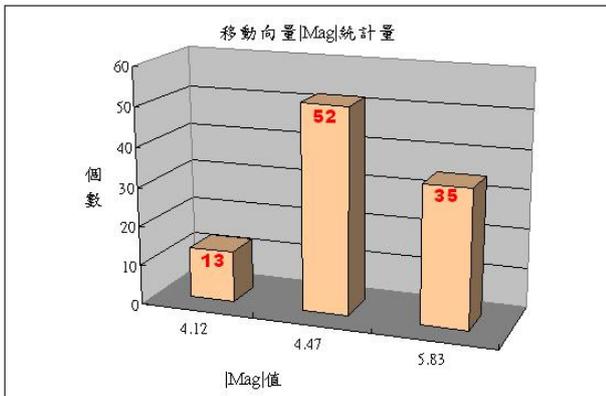
(d-2) frame_{n+4}



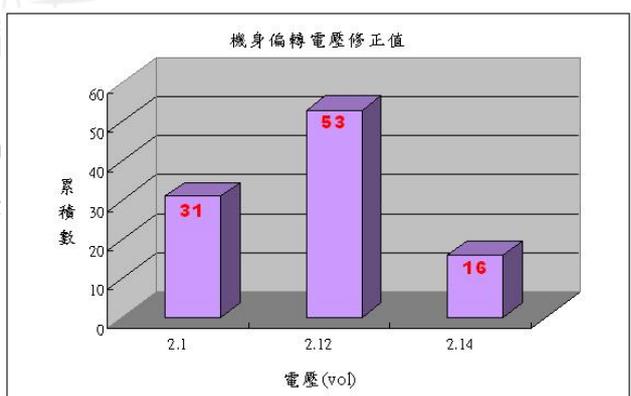
(d-3) (frame_{n+3}, frame_{n+4})特徵移動向量



(d-4) 偏轉角(θ)之統計值



(d-5) |Mag-move|之統計值



(d-6) 機身偏轉電壓修正值

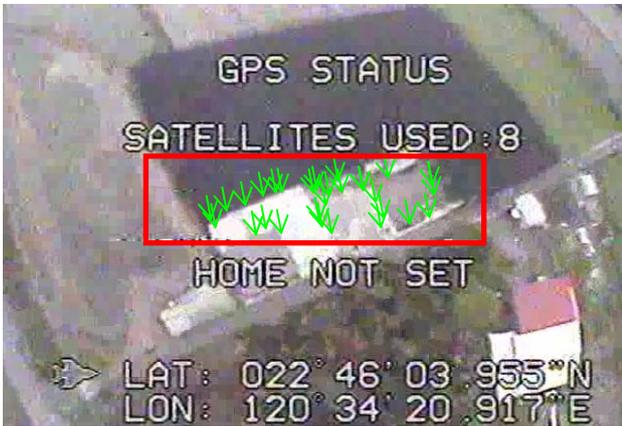
圖4.4(d)



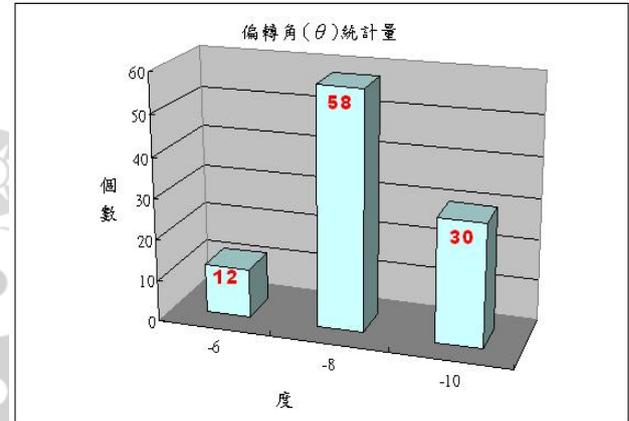
(e-1) frame_{n+4}



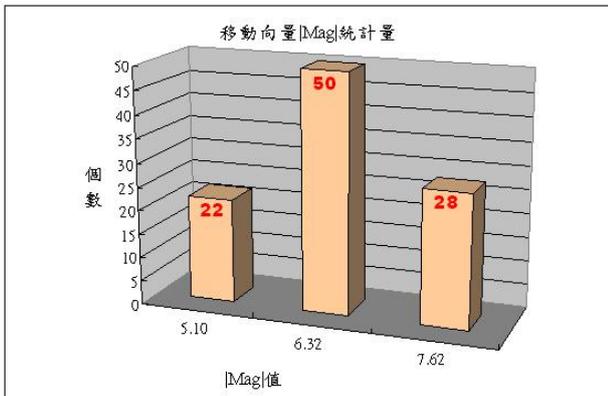
(e-2) frame_{n+5}



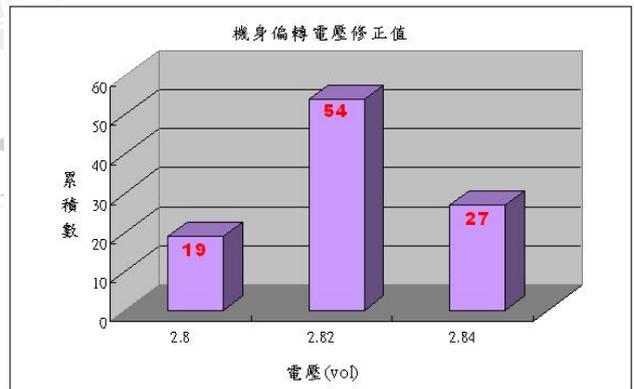
(e-3) (frame_{n+4}, frame_{n+5}) 特徵移動向量



(e-4) 偏轉角(θ)之統計值



(e-5) |Mag-move|之統計值



(e-6) 機身偏轉電壓修正值

圖4.4(e)



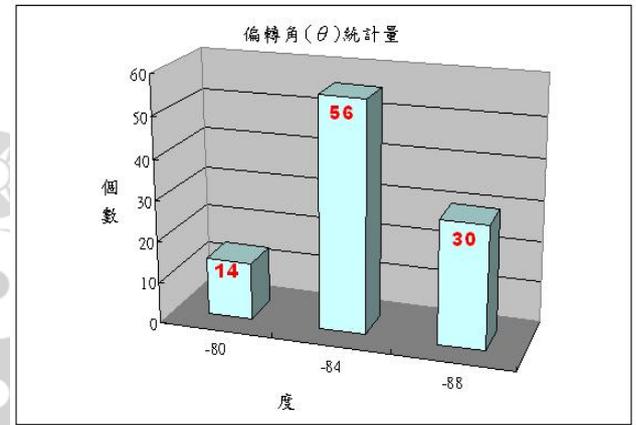
(f-1) frame_{n+5}



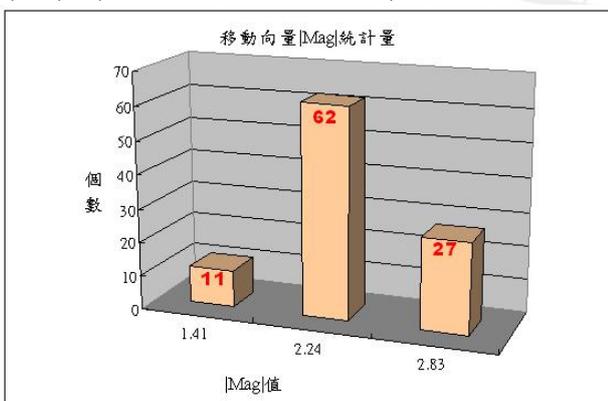
(f-2) frame_{n+6}



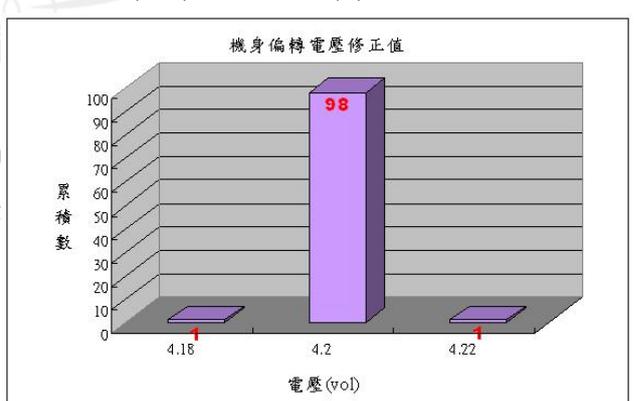
(f-3) (frame_{n+5}, frame_{n+6})特徵移動向量



(f-4) 偏轉角(θ)之統計值



(f-5) |Mag-move|之統計值



(f-6) 機身偏轉電壓修正值

圖4.4(f)

圖4.4 視訊導引UAV直線飛行

吾人定義空拍地面影像特徵點移動向量與UAV的盤旋飛行方向關係示意圖(如圖4.5)，鎖定取樣及比對空拍特徵範圍為中央紅色區域(160*80)，其中，圖4.6(a)~(f)為連續7張影像盤旋飛行及偵測地面特徵點的移動向量狀況，主要在測

試實際左盤旋飛行成效，說明如下：

- (1) 圖4.6(a-1)~圖4.6(a-3)：frame_n代表第n張影格，frame_{n+1}代表第n+1張影格，以此類推。
- (2) 圖4.6(a-4)：偏轉角(θ)代表地面特徵移動向量之角度，定義座標如圖4.5所示，主要用來修正飛行方向，須與控制P曲線對應換算電壓值。
- (3) 本驗證自導航軟體設定UAV飛行時速設定為45公里，盤旋半徑(r)為50公尺，飛行高度100公尺。

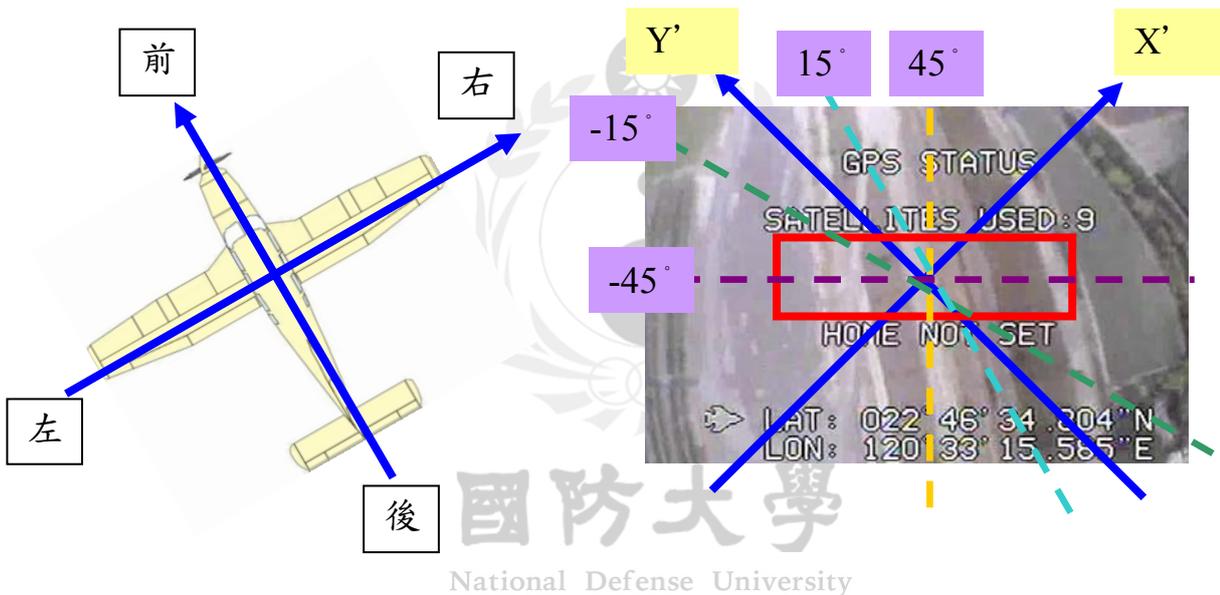


圖4.5 特徵點移動向量與UAV的左盤旋飛行關係示意圖

- (4) 圖4.6(a-5)：|Mag-move|代表地面特徵移動向量之量值，其值為 $\sqrt{(\Delta x')^2 + (\Delta y')^2}$ ，主要用來控制方向舵偏轉速率，由導航軟體之「測偏距變化阻尼」設定。
- (7) 圖4.6(a-6)：機身偏轉電壓修正值代表依程式分析移動向量之偏轉角(θ)及其量值之偏移資訊後，所換算出的修正電壓值；另UAV偏轉舵中心電壓值為2.5Volt，設定左盤旋飛行半徑為50公尺之電壓值為1.43Volt。

- (8) 測試方式：frame_n~frame_{n+6}主要測試項目為自動導控左盤旋飛行，餘測試方式與直線飛行測試方式相同。
- (9) 測試結果：本次測試過程常有雜訊影響回傳影像，但並未對偵測演算法造成嚴重的影響；另本研究設定左盤旋飛行半徑為50公尺，吾人定義參考座標原點為(X',Y')=(0,0)，故圖片正上方偏右45度角為X'軸，正上方偏左45度角為Y'軸，即UAV往左盤旋飛行時，應往Y'方向持續偏轉，測試結果如圖4.6(a)~(f)。

圖4.6(a)：經由程式分析frame_n及frame_{n+1}影格，並於frame_n中央紅色區域選取之100個特徵點(梯度強度量值>55)比對至frame_{n+1}時，其移動向量如圖4.6(a-3)綠色標記處（本研究考量圖片呈現方式，由程式標示特徵移動量值須小於30），統計100個特徵點移動向量之偏轉角(θ)如圖4.6(a-4)所示，眾數值為-30度，其量值如圖4.6(a-5)所示，眾數值為8.00，由程式自動對應表2.2換算出電壓修正值，取其眾數為3.68Volt，再由地面控制站無線傳送控制電壓至UAV，由電壓修正值與盤旋電壓參考值1.43Volt差異可知，此時UAV須修正其飛行方向，俾利回到原飛行軌跡。



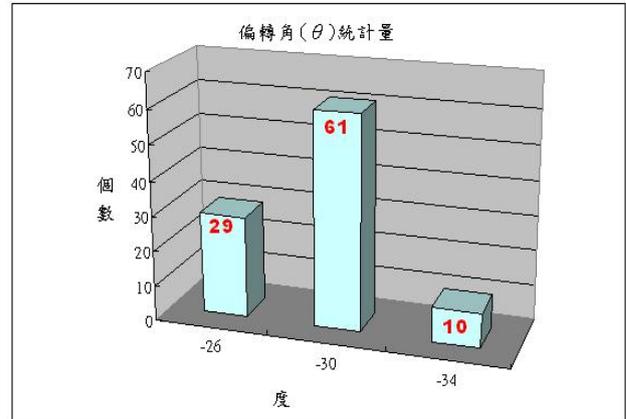
(a-1) frame_n



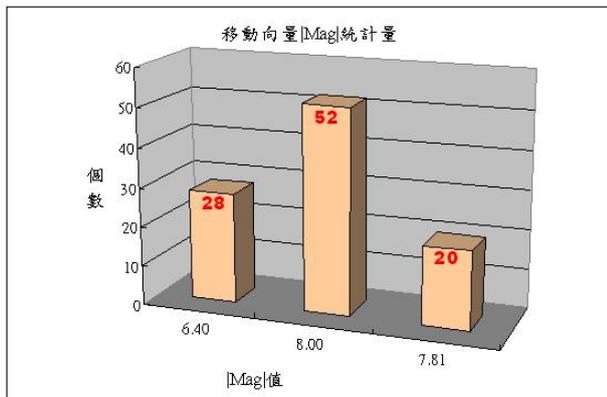
(a-2) frame_{n+1}



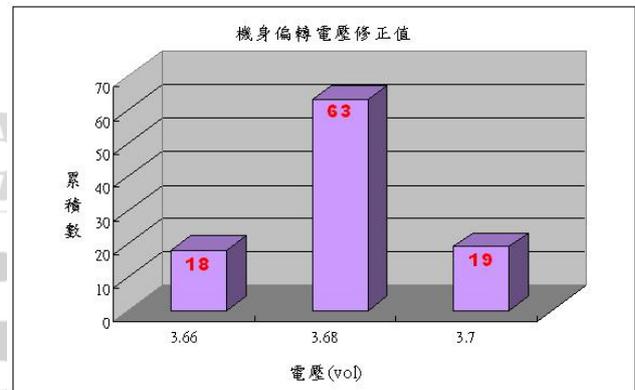
(a-3) ($frame_n$, $frame_{n+1}$)特徵移動向量



(a-4) 偏轉角(θ)之統計值



(a-5) $|Mag-move|$ 之統計值



(a-6) 機身偏轉電壓修正值

圖4.6(a)

圖4.6(b)：經由程式分析 $frame_{n+1}$ 及 $frame_{n+2}$ 影格，並記錄 $frame_{n+1}$ 中央紅色區域原選取之100個特徵點，同上頁圖4.6(a)說明，比對至 $frame_{n+2}$ 時，其移動向量如圖4.6(b-3)綠色標記處（本研究考量圖片呈現方式，由程式設定標示特徵移動量須小於30），統計100個特徵點移動向量之偏轉角(θ)如圖4.6(b-4)所示，其眾數值為-8度；另統計其量值如圖4.6(b-5)所示，眾數值為2.83，最後由程式自動對應表2.2換算出電壓修正值，並取其眾數為2.82Volt，再由地面控制站無線控制UAV，由電壓修正值與盤旋電壓中心參考值1.43Volt差異可知，此時UAV仍修正其飛行方向。



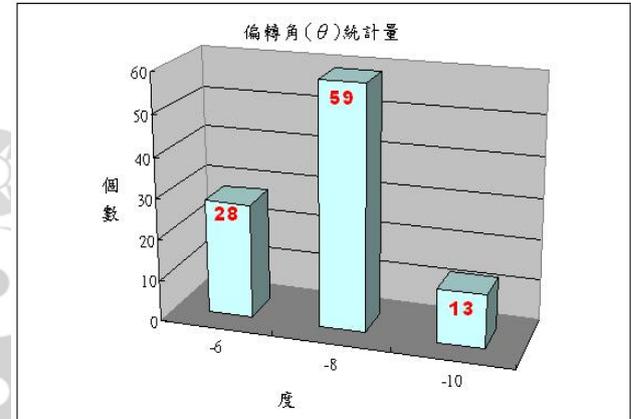
(b-1) frame_{n+1}



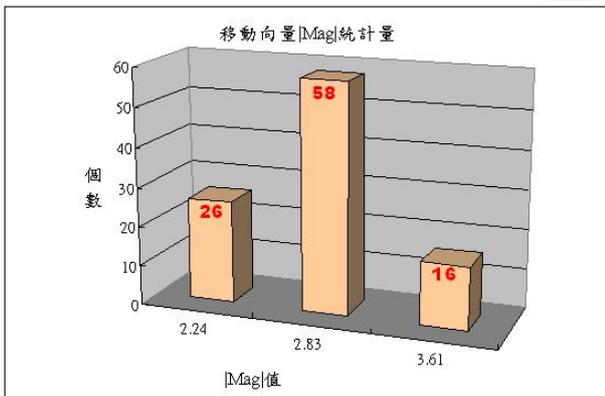
(b-2) frame_{n+2}



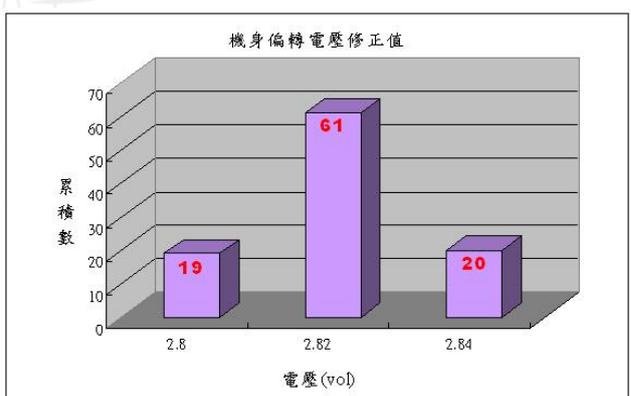
(b-3) (frame_{n+1}, frame_{n+2}) 特徵移動向量



(b-4) 偏轉角(θ)之統計值



(b-5) |Mag-move|之統計值



(b-5) 機身偏轉電壓修正值

圖4.6(b)

圖4.6(c)：經由程式分析frame_{n+2}及frame_{n+3}影格，同上頁圖4.6(b)說明，比對至frame_{n+3}時，其移動向量如圖4.6(c-3)綠色標記處（本研究考量圖片呈現方式，僅標示特徵移動量小於30向量），統計100個特徵點移動向量之偏轉角

(θ)如圖4.6(c-4)所示，眾數值為-18度；其移動向量之量值如圖4.6(c-5)所示，眾數值為2.83，最後由程式自動對應表2.2換算出電壓修正值，並取其眾數為3.18Volt，與盤旋電壓中心參考值1.43Volt差異可知，此時UAV仍修正其飛行方向。



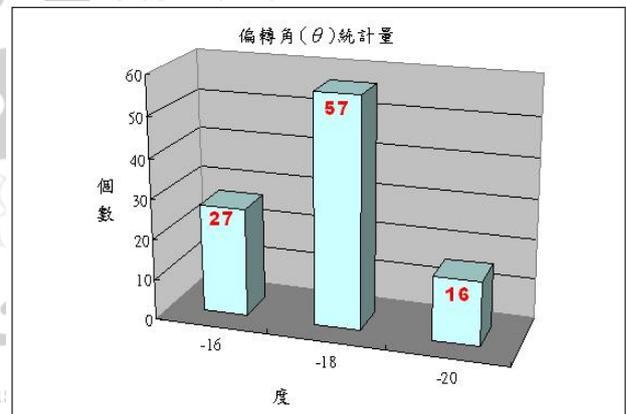
(c-1) frame_{n+2}



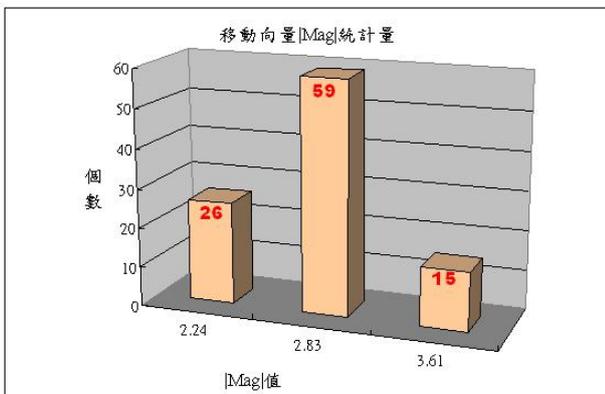
(c-2) frame_{n+3}



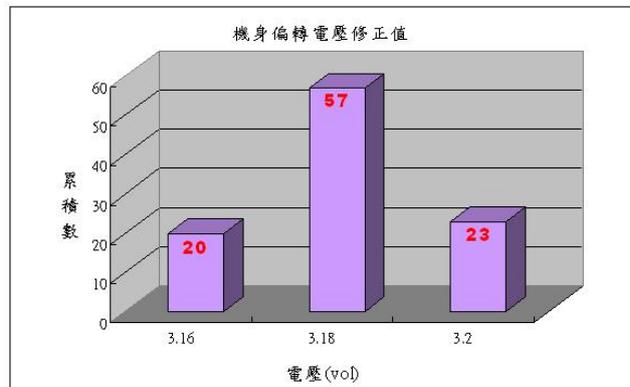
(c-3) (frame_{n+2}, frame_{n+3})特徵移動向量



(c-4) 偏轉角(θ)之統計值



(c-5) |Mag-move|之統計值



(c-6) 機身偏轉電壓修正值

圖4.6(c)

圖4.4(d)~(f)：同上述說明，可查覺UAV左盤旋飛行角度雖能穩定飛行，但均未能達到盤旋中心電壓1.43Volt，探究其因素，係因盤旋時陀螺儀亦會控制副翼擺動，以維持飛行平衡，故始終無法趨近盤旋中心電壓1.43Volt，惟視訊仍控制盤旋穩定飛行，使其收斂不再發散，故經飛行驗證本研究提出之演算法可穩定完成盤旋任務。



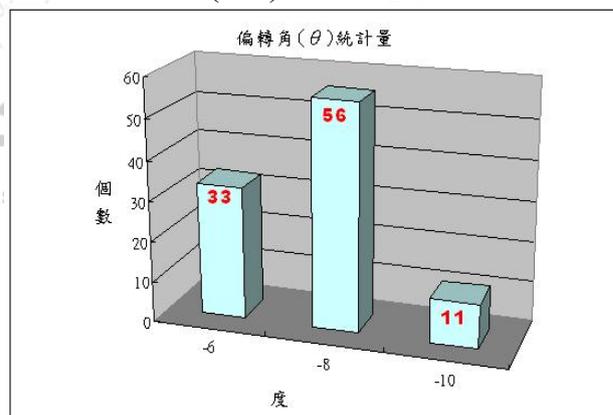
(d-1) frame_{n+3}



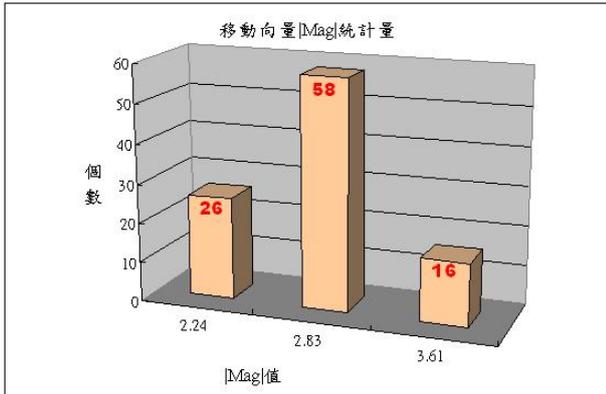
(d-2) frame_{n+4}



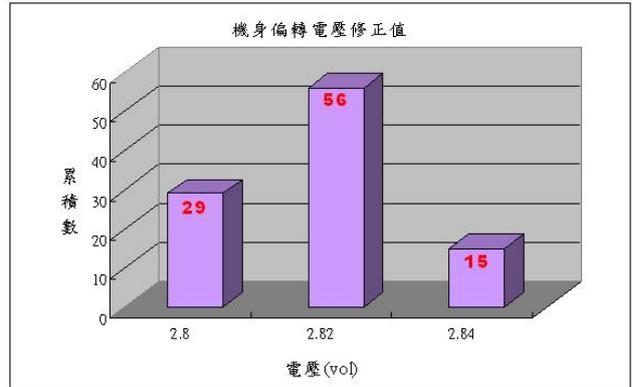
(d-3) (frame_{n+3}, frame_{n+4})特徵移動向量



(d-4) 偏轉角(θ)之統計值



(d-5) |Mag-move|之統計值



(d-6) 機身偏轉電壓修正值

圖4.6(d)



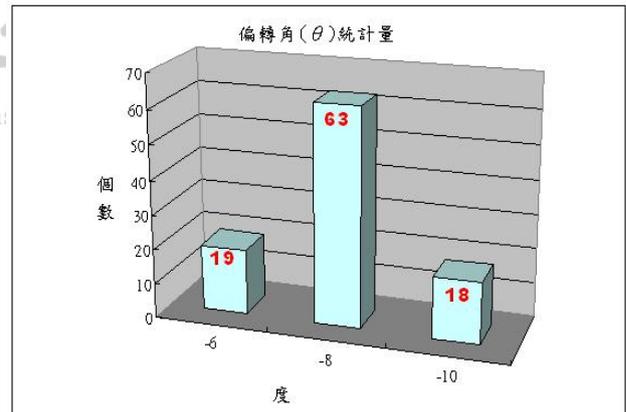
(e-1) frame_{n+4}



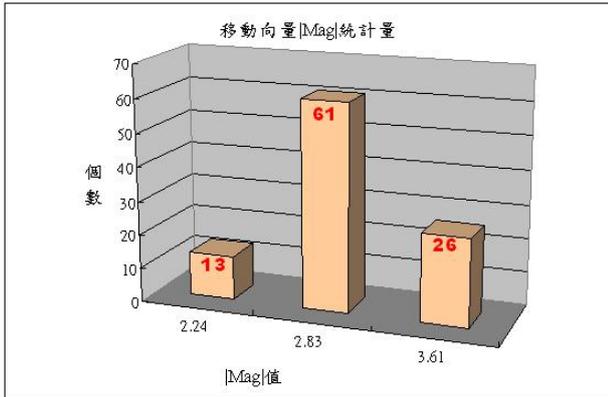
(e-2) frame_{n+5}



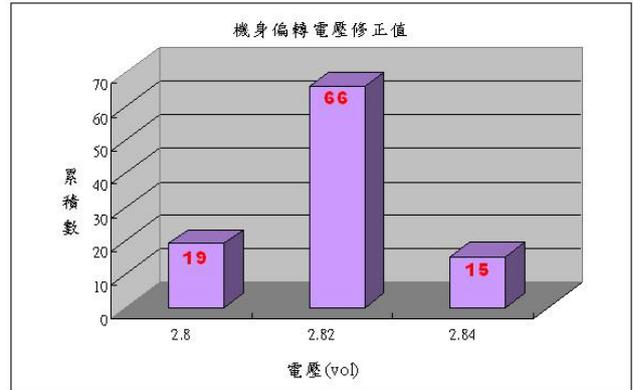
(e-3) (frame_{n+4}, frame_{n+5})特徵移動向量



(e-4) 偏轉角(θ)之統計值



(e-5) |Mag-move|之統計值



(e-6) 機身偏轉電壓修正值

圖4.6(e)



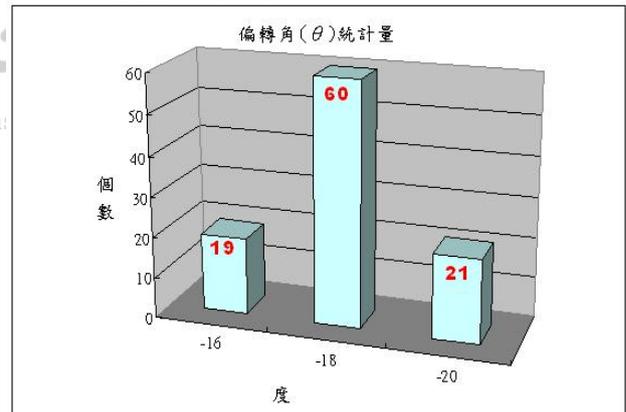
(f-1) frame_{n+5}



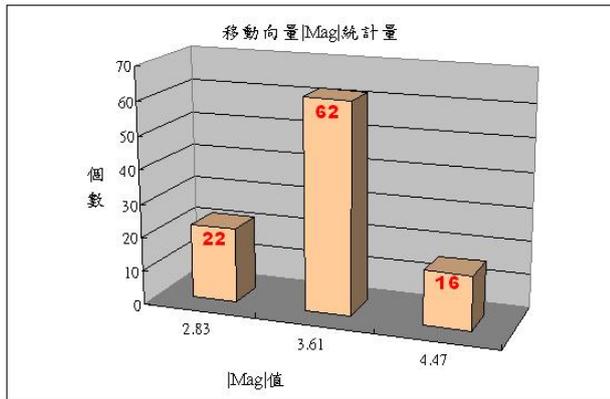
(f-2) frame_{n+6}



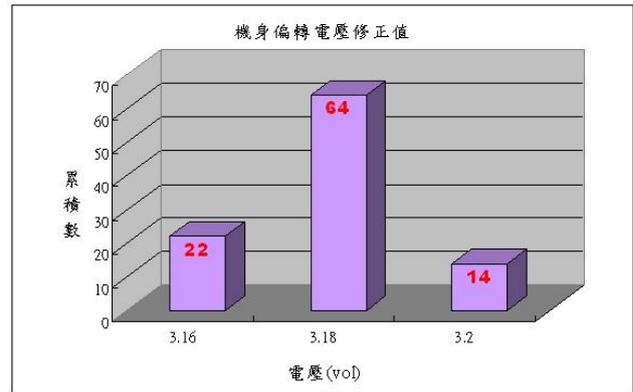
(f-3) (frame_{n+5}, frame_{n+6})特徵移動向量



(f-4) 偏轉角(θ)之統計值



(f-5) |Mag-move|之統計值



(f-6) 機身偏轉電壓修正值

圖4.6(f)

圖4.6 視訊導引UAV左盤旋飛行

4.2 實際飛行驗證

經本研究擷取FYGCS-Pilot導航軟體數據（如圖4.7之紅框處），並修改相關控制參數及解析陀螺儀姿態之源代碼後，再將2014台灣無人飛機設計競賽規劃飛行路線，以程式代碼結合Google Earth 匯入FYGCS-Pilot導航軟體中，並依比賽要求，賽前應依規定完成航點規劃（如圖4.8），最後再依本研究提出之演算法實際參與飛行，並經驗證UAV飛行至視距外指定地點後順利返航。

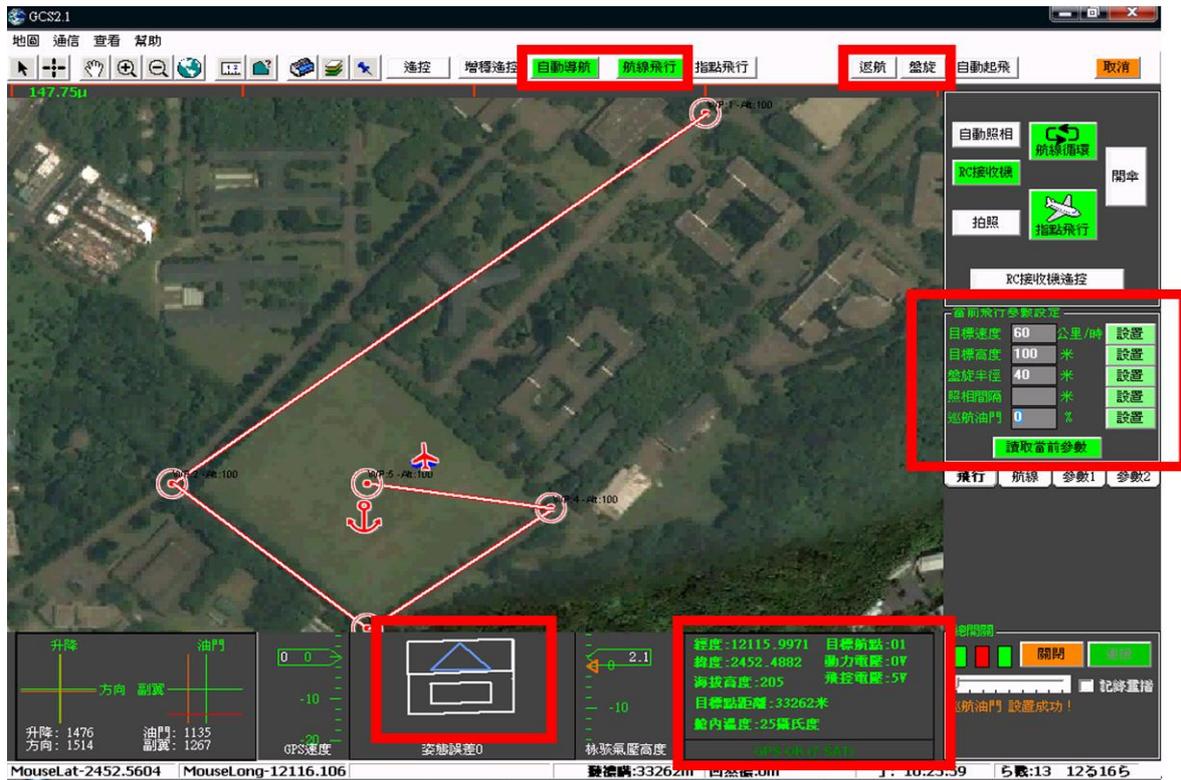


圖4.7 擷取FYGCS-Pilot導航軟體數據

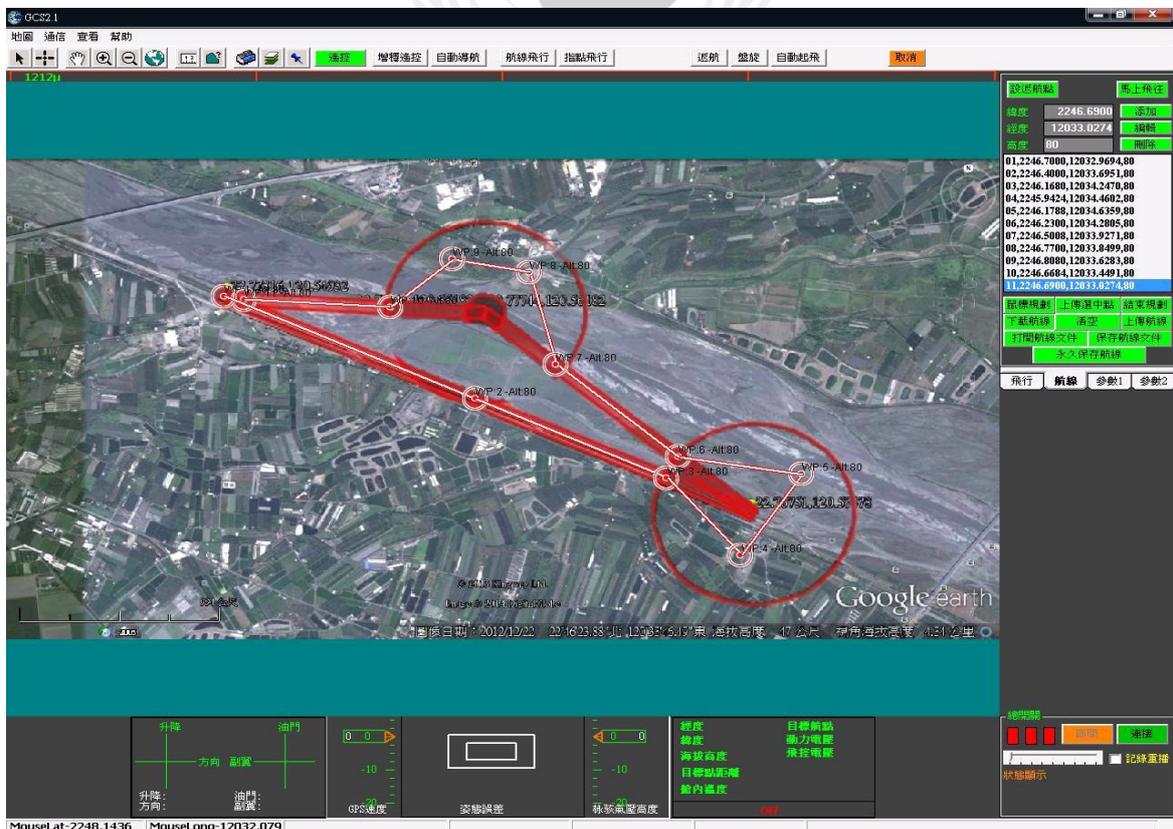


圖4.8 2014台灣無人飛機設計競賽規劃航點

另依2014台灣無人飛機設計競賽規要求，空拍影像須辨析目標物，並推算其GPS座標，本文除了提出視訊導引UAV飛控系統外，考量參賽要求，故補足空拍目標物GPS座標推算方法(如圖4.9及圖4.10)，說明如下：

- (1) 空拍目標物後，即時影像須透過無線方式傳送到地面控制站，本研究使用Microsoft Visual Studio 2005編寫程式，自USB影像擷取器取得即時影像及GPS訊號，並即時截圖紀錄。
- (2) 圖4.9係分析目標物相關資訊後，最後搭配FYGCS-Pilot取得飛行高度位置，自鏡頭拍攝高度及三角函數換算，依影格畫分區域，定義GPS座標值，並由程式自動計算出正確GPS座標，考量此為參賽要求，與本研究無直接相關性，故不再詳述。

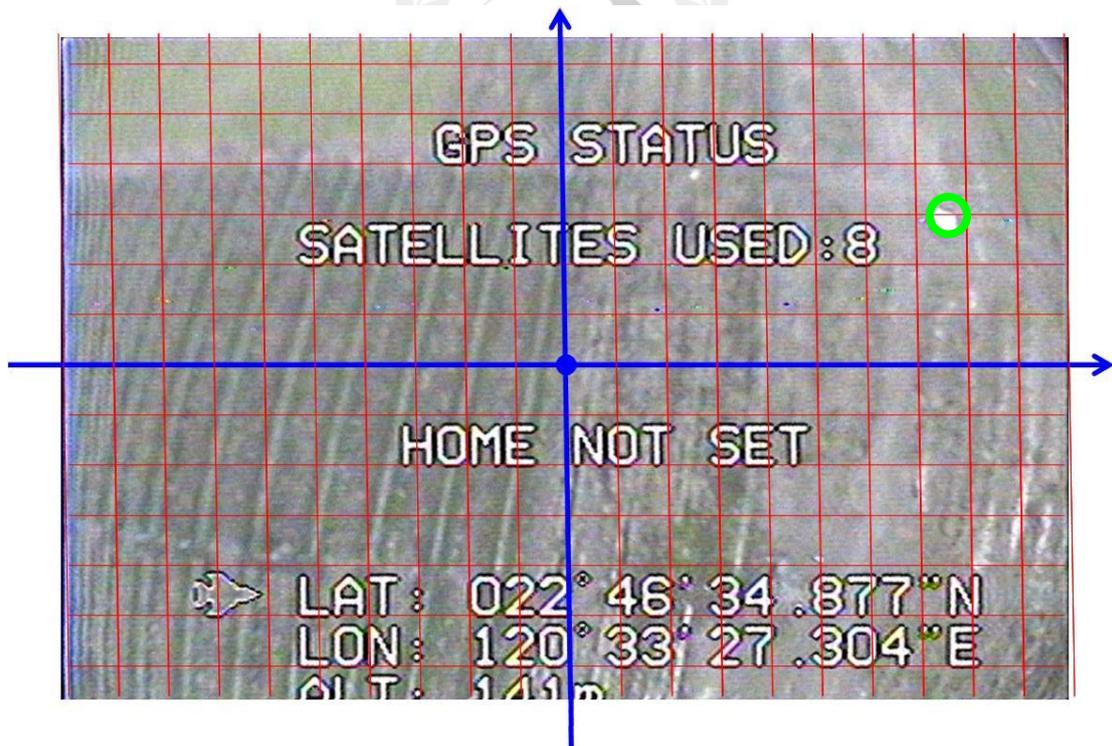


圖4.9 GPS座標推算方法

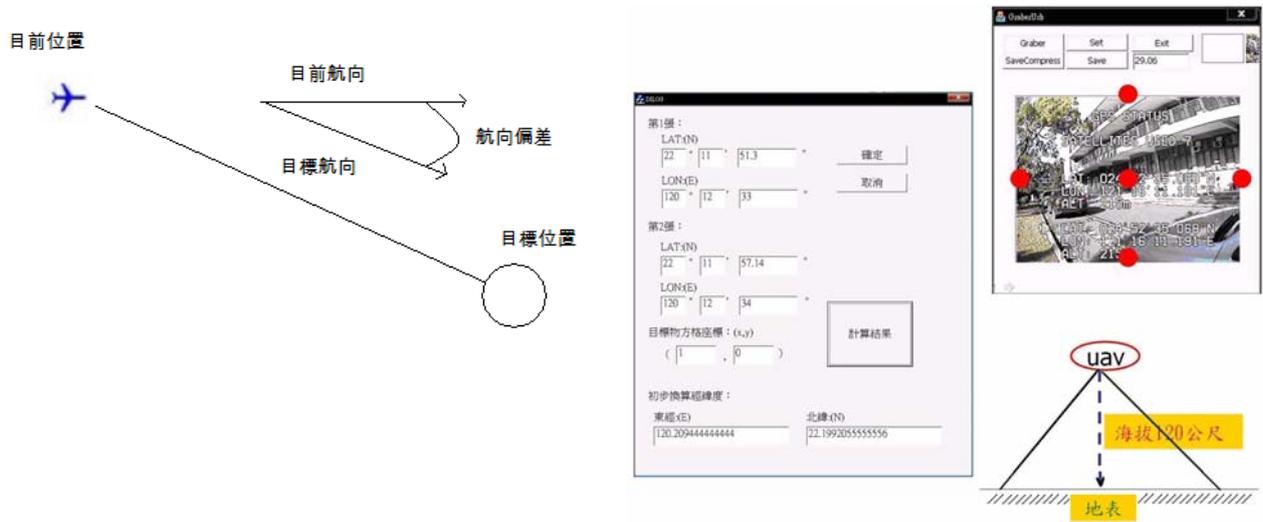


圖4.10 導航飛行與目標物監測示意圖



5. 結論與未來展望

依據任務需求的不同，UAV的發展也會慢慢趨向於功能性的考量，未來發展及突破目標例如滯空時間的長短、起飛距離的長短、負載的大小限制、飛行高度的要求…等，每項都是重要的課題，如此高度整合性的系統，各個子系統也都持續發展與精進，UAV將會有更多的應用出現，值得持續去深入研究。

當UAV的功能逐漸增加，系統更加穩定時，被採用的機會才會越來越大，除了本文篇介紹以視訊導控UAV之外，各項子系統功能也可配合突破性發展，如攝影裝備、航電系統、穩定載具的方法…等，利用其發展優點，完成另一個任務，均是很好的議題。

本研究團隊第一次突破以影像導引視距外飛行，此突破性的發展對未來的實際應用有很大的幫助，因為小型的無人載具在起降與便利性方面，遠比大型載具來的更快、更方便，在視距外飛行對地面做監控與探索，更能發揮其優勢。

而本研究團隊未來將持續強化系統架構，使其朝向智慧型無人飛行載具研究邁進，主要可朝向下述方向進行精進：

- (1) 搭載適當的嵌入式系統，並整合相關軟硬體，以期本系統能有更廣泛的運用空間。
- (2) 結合地面特徵辨識，朝目標物鎖定飛行或地形地貌重建等功能研究。
- (3) 導入曲面鏡頭校正處理方法，俾提高比對準確度。
- (4) 改善動力來源，以提高飛行航程。

參考文獻

- [1] <http://uavcommunity.com>(2014.03.12)
- [2] <http://www.auvsi.org>(2014.03.14)
- [3] 郭光輝，航太，行政院國家科學委員會科學技術資料中心，台北，第 42-44 頁，2001。
- [4] <http://cs.mnd.gov.tw/Publish.aspx?cnid=978&p=10899&Level=2>(2014.03.14)
- [5] <http://news.secr.ncku.edu.tw/files/14-1054-66096>(2013.01.14)
- [6] Steele, D.，"拓展情監偵與打擊戰力的無人飛行載具"，國防譯粹，第三十八卷，第十二期，第 47-50 頁，2011。
- [7] <http://88flood.www.gov.tw>(2013.11.14)
- [8] <http://zh.wikipedia.org/wiki/無人航空載具>(2014.03.14)
- [9] http://www.robotworld.org.tw/data/for_trade1-d.php?News_ID=4411(2014.04.11)
- [10] Chen, S.Y., Ma, S. Y., and Chen, L. G., "Efficient moving object segmentation algorithm using background registration technique," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, pp. 577-586, 2002.
- [11] Chung, Y. C., Wang, J. M., and Chen, S. W., " Progressive Background Image Generation. " in *Proc. of 15th IPPR Conf. on Computer Vision, Graphics and Image Processing*, pp. 858-865, 2002.
- [12] Maddalena, L., and Petrosino, A., "A Self-Organizing Approach to Background Subtraction for Visual Surveillance Applications," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 17, pp. 1168-1177, 2008.
- [13] Ken, K. K., Cho, S. H., Kim, H. J., and J. Y. Lee, "Detecting and tracking moving object using an active camera." in *Proc. of 7th International Conference of Advanced Communication Technology, ICACT*, Vol 2, pp. 817-820, 2005.

- [14]Liu, H., Dong, N., and Zha, H., "Omni-directional vision based human motion detection for autonomous mobile robots," in Proc. of IEEE International Conference of Systems, Man and Cybernetics, Vol 3 , pp. 2236-2241, Oct. 2005 .
- [15]Ghidary, S. S., Nakata, Y., Takamori, T., and Hattori, M.," Human Detection and Localization at Indoor Environment by Home Robot," in Proc. of IEEE International Conference of Systems, Man, and Cybernetics, Vol 2, pp. 1360-1365, Oct. 2000.
- [16]Barron, J. L., Fleet, D. J., and Beauchemin, S. S., "Performance of optical flow techniques," *International Journal of Computer Vision*, pp. 43-77, 1994.
- [17]Koch, A., Wittich, H., and Thielecke, F., "A Vision-Based Navigation Algorithm for a VTOL-UAV," AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit, Keystone, Colorado, August, 2006.
- [18]Todorovic, S., Nechyba, M.C., and Ifju, P., "Sky/Ground Modeling for Autonomous MAV Flight," Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Taipei, Taiwan, pp. 1422-1427, May, 2003.
- [19]Frew, E., McGee, T., Kim, Z.W., Xiao Xiao, Jackson, S., Morimoto, M., Rathinam, S., Padiyal, J., and Sengupta, Raja, "Vision-based road-following using a small autonomous aircraft," Proceedings of the IEEE Aerospace Conference, pp. 3006-3015 Vol.5, 2004.
- [20]Chiu, C.C., and Lo, C.T., "Vision-Only Automatic Flight Control for Small UAVs," *IEEE Transactions On Vehicular Technology*, Vol. 60, No. 6, July 2011.
- [21]Zhang, W., Wu, Q.M.J., and Yin, H.b., "Moving vehicles detection based on adaptive motion histogram," *ELSEVIER, Digital Signal Processing*, Vol 20, No 3, pp. 793-805, May 2010.
- [22]Lin, H.J., Kao, Y.T., Yen, S.H., and Wang, C.J., "A Study of shape-Based Image Retrieval," IEEE Proceedings of the 24th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCSW'04), 2004.

- [23]Birgale, L., Kokare, M., and Doye, D. “Colour and Texture Features for Content Based Image Retrieval,” Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualisation (CGIV'06), 2006.
- [24]Bajcsy, R., and Kovacic, S., “Multiresolution elastic matching,” *Computer Vision Graphics Image Processing*, vol.46, pp.1-21, 1989.
- [25]陳育菘、廖育昇、徐子建，“立體視覺特徵點比對演算法分析與實現”，財團法人車輛研究測試中心，中華民國第十六屆車輛工程學術研討會，國立臺北科技大學車輛工程系，台灣台北，2011年11月11日。
- [26]http://www.icpdas.com/root/product/solutions/software/development_tools/ezcheck/ezcheck_introduction_tc.html(2014.04.11)
- [27]蕭俊杰，“應用於無人飛行器或載具之視訊影像分析與辨識技術研究”，碩士論文，國防大學理工學院，桃園，2008。
- [28]林貞言，“微飛行器之視訊遙控整合電路之硬體實現與避障技術研究”，碩士論文，國防大學理工學院，桃園，2009。
- [29]蔡忠憲，“無人飛行器之視訊飛控與視覺量測系統之研究”，碩士論文，國防大學理工學院，桃園，2010。
- [30]羅慶同，“小型無人飛行載具之影像導控與辨識系統之研究”，博士論文，國防大學理工學院，桃園，2011。
- [31]<http://www.feiyudz.cn>(2014.03.15)
- [32]<http://www.troybuiltmodels.com/category/MFD0/MyFlyDream.html>(2014.03.16)
- [33]<http://www.myflydream.com/>(2013.11.14)
- [34]<http://www.iaa.ncku.edu.tw/~whlai/uav/2014/>(2013.03.14)
- [35]<http://yester-place.blogspot.tw/2008/09/opencv-cvnorm1.html>(2013.01.14)