

專輯
航遙測技術



UAV技術發展及 林業實務應用面之探討

文、圖 | 黃宗仁 | 林務局農林航空測量所技士 (通訊作者)
葉堃生 | 林務局農林航空測量所課長

無人飛行載具 (UAV) 已發展至可結合各類酬載 (感測器) 進行航空攝影、即時影像回傳、自動巡航等功能，而影像後處理部分，有關航照製圖之理論與技術亦有長足之突破。然任何工具之應用，都應對其適用範圍與限制具備正確認知，本文就 UAV 技術發展及林業實務應用面加以探討。

無人飛行載具（Unmanned Aerial Vehicle，以下簡稱UAV）為當今方興未艾之尖端科技，現階段載具部分已發展至可結合各類酬載（感測器）進行航空攝影、即時影像回傳、自動巡航等功能，而UAV影像後處理部分，有關航照製圖之理論與技術亦有長足之突破，所產製之影像已能藉由地理資訊系統及相關影像分析技術，進而得以補足部分林地工作在過去需承擔之人力及生命風險，並獲得相當之資訊準確度，包括樣區調查、野生動物調查、植群調查、造林成效評估、火災防護等，此為過往作業方式所難以企及。然科技絕非萬能，任何工具之應用，都應對其適用範圍與限制具備正確認知，無論將UAV科技應用於任何工作，都必須持續關注載具（即飛行器本身）與酬載（所搭載之感測器或其他工具）等相關技術與知識之發展，本文就UAV技術發展及林業實務應用面加以探討。

UAV類型探討

UAV載重能力通常與機型大小相關，大型機種載重能力強，通常以燃料做為動力來源，且其體型可容納足量之燃料，故通常續航力頗長，惟不具便攜性。以類似直升機之單螺旋槳或多螺旋槳之旋翼機，以及具備固定機翼之定翼機等兩大類別為主，另有可變式之定旋機，惟尚處於發展初期，未有較可靠之商業機種面市。

旋翼機

靠轉軸垂直於地面之旋翼快速旋轉，直接對空氣產生足以抵抗地心引力之反作用力，優點是可以定點懸停，適合需要對標的物進行仔細觀察或監控之作業，對於飛行控制較不具信心之操作員，亦能隨時懸停以便進行操控確認。惟旋翼機依賴旋翼與空氣之反作用力，隨著海拔高度增加，空氣密度降低而需要更大的

表1、UAV浮力產生類型與對應起降方式對照表

UAV類型	起飛方式	降落方式
旋翼機	垂直起降 (VTOL, Vertical Take-off and Landing)	
定翼機	跑道滑行起飛 彈射起飛 拋射起飛	定點開傘降落 滑翔降落 攔截網
混合型定旋機	垂直、滑行起降皆可	

動力以維持反作用力，續航力隨之快速遞減。此外，現行旋翼機之續航力普遍不佳，平均約25-30分鐘，作業半徑不大，故通常需攜帶至目標區附近起飛才敷使用。

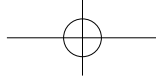
定翼機

通常為單螺旋槳產生向前之推力，利用快速前進時空氣通過機翼斷面而產生向上之浮力，故能以較低之能源耗損而得到較高之續航力，且載重能力較佳，可惟其無法定點使用，故操作員的技術門檻更高。定翼機續航力優異，故通常可以在距離目標區較遠的地方開始作業，然定翼機最關鍵的作業要件即為起降場地，需一定的場域設置跑道或相關彈射設施始能起降。

依控制模式區分為手動控制及利用導控系統自動控制：

一、手動控制：利用遙控器無線訊號，於飛行時傳送控制訊號至動力或轉向系統，藉以操作UAV之方向及高度，較先進的尚可傳送相機畫面及地圖畫面至控制端，使操作者有更多操控研判依據。

二、自動控制：較先進之UAV皆已結合相關導控系統，結合了GPS、電子地圖、感測器連動控制等功能，可輕易的進行航線設計，據以進行點、線、面等拍攝作業規劃，所拍攝之照片並帶有概略坐標，如搭配作業區進行帶有重疊之航帶式拍攝作業，更可據以進行符合航空測量理論之



定位及圖資製作業，大為提升空間資訊之產出效用。

目前各林區管理處在使用 UAV 輔助林業實務作業，大多仍採用前述手動控制方式操控 UAV，主要為因應小規模或點狀的監控所進行之拍照佐證作業，其獲得之少量照片並無法滿足影像定位及製圖要件，故多以照片形式呈現。

裝載於載具上之任何作業器具皆可稱為酬載，在農林應用領域所加裝於 UAV 上之酬載類別，大致上以器械、感測器等為主。器械部分如：投擲、噴灑設備等，主要用途為食餌投遞、農藥噴灑等，其中，農藥噴灑部分已有農業試驗所等相關單位引入測試；另有關感測器方面，目前在市面上各類感測器正蓬勃發展中，同時在學術或調查領域持續有相關研究報告產出。常見安裝於 UAV 之感測器，依其感測類別可概略區分如表 2 所示。

林業實務應用上 UAV 載具與感測器的考量

就感測器之選擇，對於一般紀錄性拍照或簡易製圖功能拍照，消費型 UAV 大致上已能滿足相當之需求，然如有更進階的 UAV 輔助業務，則應先考慮感測器的選擇，如目的為林下地形調查，則應選擇小型光達系統；如有植生光譜反應之調查需求，則帶有紅外光感測或更

多光譜波段之小型高光譜感測器，或為適當之選擇；而對於穿透雲雨之取像需求，或細部地形變形監測等，則可能需考量小型合成孔徑雷達；高精度大範圍之製圖作業，亦需採用較大片幅量測型相機之必要。

另有關載具之選擇，前述各類感測器皆有其重量與電力需求，故此二條件為載具選擇之基本條件，後續再進行相關導控功能、裝載配件及續航力等之考量。同時應考慮相關作業模式，以決定採旋翼機或定翼機：

一、點狀作業：如俯視、環拍目標區域，進行高空定點勘查、拍照攝影等，此類應用僅能採用旋翼機。

二、線狀作業：路線行勘查並進行拍照或錄影等工作模式。

三、面狀作業：區域型態的調查作業，具有一定規模，需依賴航線規劃功能等，如正射影像產製需求、光達掃描需求等。

以 UAV 輔助林業實務應用情形

在 UAV 輔助林業實務作業上，林務局林政管理組「應用無人飛行載具及航攝影像於森林護管可行性方案」請羅東林區管理處、屏東林區管理處及農航所進行相關森林護管議題進行試辦作業，相關應用情形如表 3、農航所相關試辦作業 UAV 拍攝影像如圖 2。

UAV 應用於林務業務之考量因子

一、氣候因素：山區氣候難以預料，風向、風力、地形風、雲霧高度等，皆非可預期因素，雲下作業之機動性仍有其限制條件。

表 2、常見安裝於 UAV 之感測器類型

光學類感測器	非光學類感測器	特殊類型
<ul style="list-style-type: none"> 消費型照相機 航測專業相機 熱感相機 高光譜感測器 	<ul style="list-style-type: none"> 合成孔徑雷達 (SAR) 	<ul style="list-style-type: none"> 光達

表3、森林護管議題進行試辦作業應用情形

羅東林區管理處	屏東林區管理處	農航所
日常巡護	災害勘查	林地案件
礦區勘查	漂流木清查	外業調查
造林地勘查	火點巡查	臺灣水青岡植群分布及物候監控
濫墾地蒐證	盜伐、濫墾蒐證	觀新藻礁分布
深山特遣	工程施作監控	協助UAV影像後製

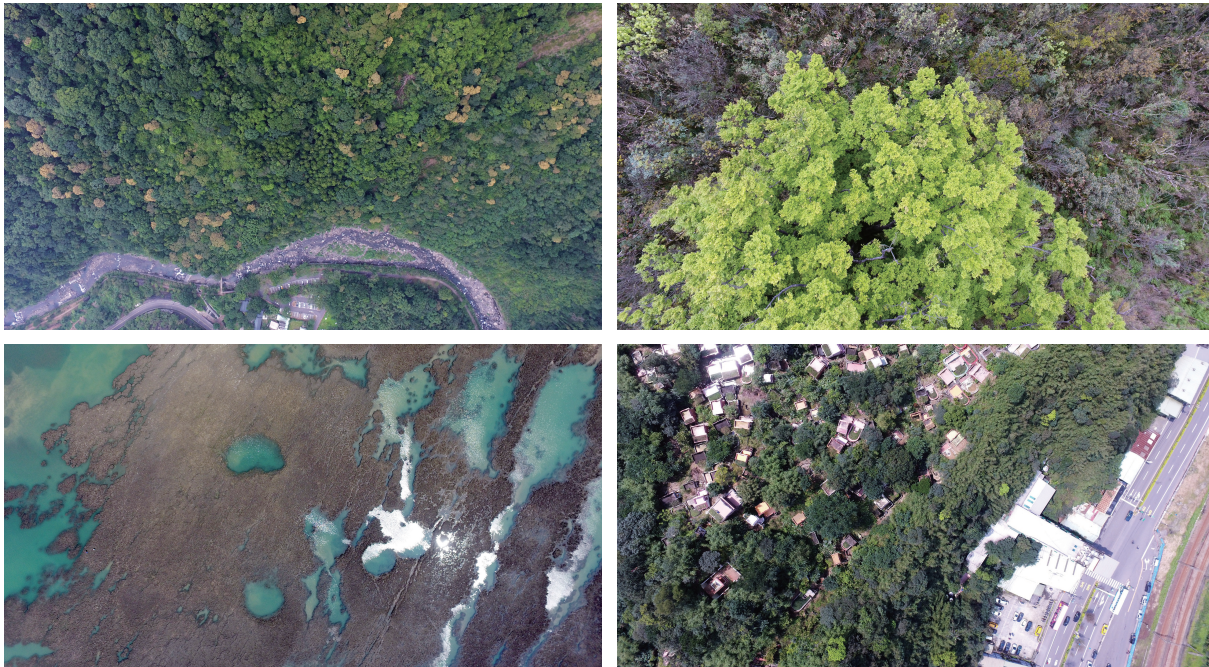


圖2、林地案件勘查（左上）、臺灣水青岡植群物候記錄（右上）
觀新藻礁分布調查（左下）、濫墾地蒐證（右下）。

二、飛行續航力：當前已商業化之最新電池科技，應用於小型UAV單次飛行約20-30分鐘，若現場環境較為惡劣（如強風、高海拔等），則電力消耗更為明顯，續航力降至15分鐘以下，大大減少作業半徑。

三、地勢：臺灣高山地勢起伏大，數百公尺水平距離，就可能出現上百公尺高差。而空氣密度隨海拔高程遞減，亦大大影響其續航力，進而縮點作業半徑。

四、解析度與航高限制：小型UAV所搭載之消費型相機感測晶片通常極小，焦距亦短，故

航高僅能設計至約230公尺，始能達到10公分解析度，其照片涵蓋範圍亦隨之縮小，故作業量能頗受限制。同時，解析度亦因航高降低之故，亦受地形變化影響，當調查區域之地勢高差達100公尺，解析度將達兩倍之差異。此類限制皆為物理定理上之限制，並無任何改善作為可供調整，僅能更換設備為之。

五、交通易達性：臺灣高山地區僅數條公路經過，餘為林道或臨時小徑，較大型之UAV需以車輛載運，必須考慮道路或林道之可及性；而較小型之UAV受限於續航力及有限作業半徑，通常需再步行至攜帶至作業目標附近再行

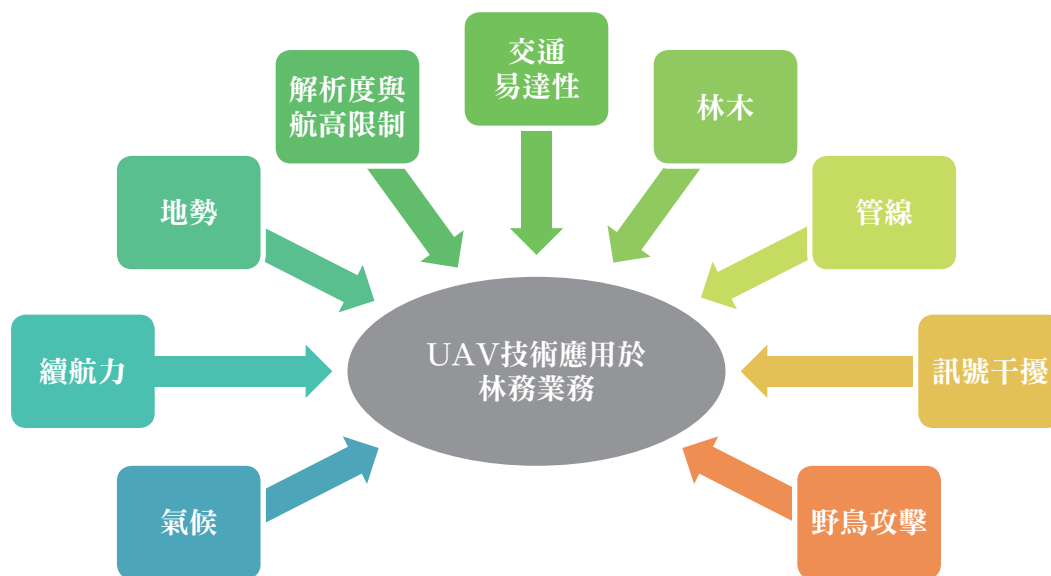
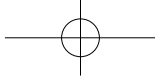


圖3、UAV應用於林務業務之考量因子。

放飛，如需配合深山特遣隊相關調查應用，則需考慮與其他生活必需品之排擠效應，較不建議隨身攜帶。

六、林木：林木茂密，部分單株樹高可達60-80公尺，雖旋翼機可垂直起降，需留意枝條是否可能成為起降之障礙。

七、管線：高壓線、電塔、水管、其他纜線、鳥網等不易由UAV所回傳之影像中辨識出來，為除了氣流條件外的最大飛行風險，若造成高壓線路毀損，所導致的後續問題需嚴肅面對與因應，故於山區採用UAV輔助調查業務，需對作業區域及飛行途徑之相關設施有相當了解。

八、訊號干擾：UAV之零件組成包含大量極為靈敏之傳感器（sensor），作為各項控制訊號之回饋依據。一旦遭受干擾，將發生失聯或失控情形，進而造成財產損失或傷亡意外，常見干擾情形包括：

（一）GPS干擾器、軍方電戰干擾系統、高

壓電塔電磁波干擾、飛航管制（飛航公報AIC04/2012公布禁航區，如機場禁航區、總統府、軍事管制區、軍方演習訓練空域、核能電廠、目視飛行航道）等。

（二）影像傳遞訊號則受地形遮蔽、天候狀態影響而衰減，傳輸距離將大為縮短。

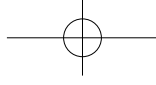
（三）結構含有鋼材之橋樑或壩體等，干擾UAV姿態傳感器之感知數據，進而造成姿態錯誤而導致失控。

九、野鳥攻擊：林地內常有大冠鷲等領域性強鳥類出現，會有出現攻擊UAV情形發生。

UAV輔助林業實務應用面之後續推動應考量因素與建議

一、技術層面

應用UAV輔助林業業務之執行，非單一專才足以勝任，對於單純勘測業務之執行，除了基本機械操作外，亦須對氣候、地形等因素具備



研判知能。而應用於調查或分析領域者，除須嫻熟特定業務之特性外，尚須熟悉不同感測器之資料特性，並具備資料分析操作與解讀之能力，始能發揮真正效用。故技術層面部分，需著重加強的部分，包括：

（一）飛行專業：除了UAV的基本操作，對於更先進的UAV設備，應對其特性、能力、結構，以及飛行物理有一定的了解，同時對於特殊飛行技巧需有一定的基礎，以便應付各種可能之突發狀況。

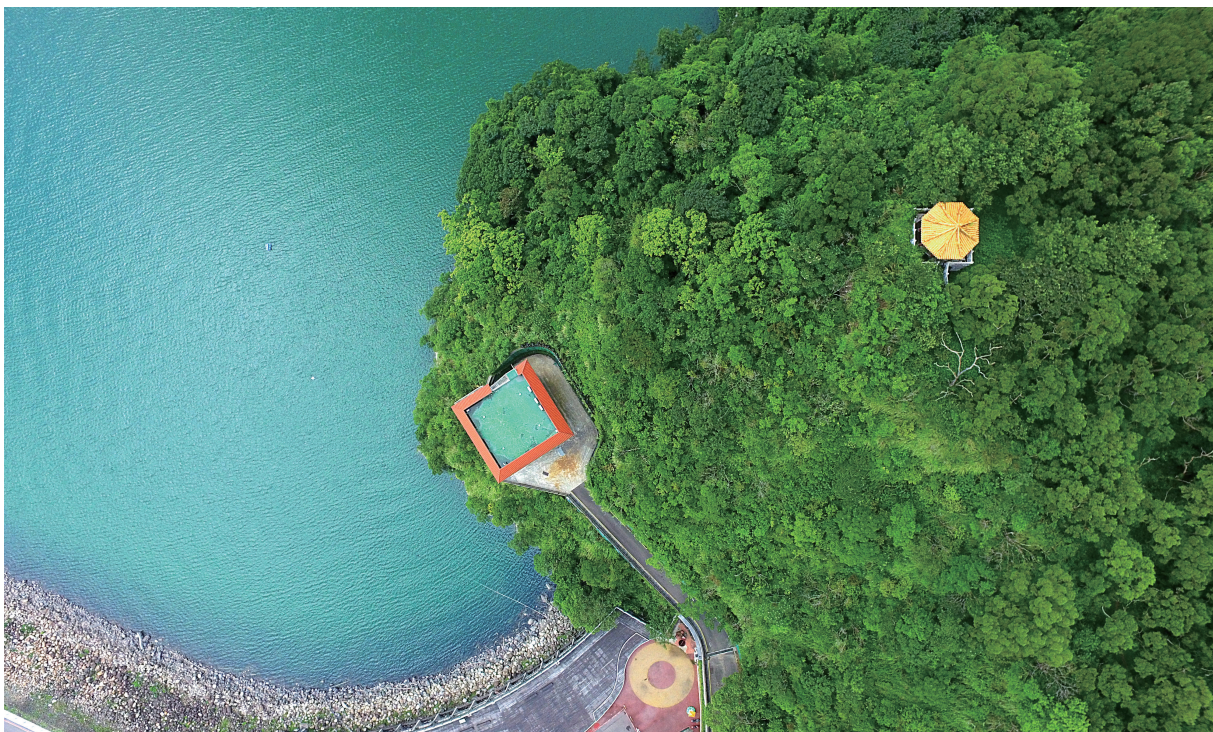
（二）機械常識：即便是消費型UAV，使用者仍應具備基本的機械修復、維護等概念，對於相關物理結構或損耗可能導致之問題有一定認知，並養成正確的使用與保養觀念。

（三）氣候知識：任何飛行器的使用或是空中照相等業務，皆脫離不了氣象因素，使用者

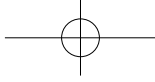
應對氣象局發布之天氣預報、天氣圖以及相關預測模式有一定的認識，同時能夠掌握地形造成之區域天氣變異，藉以掌握作業成敗之重要關鍵。

（四）地圖研判：UAV飛行前需具體掌握作業途徑及目標區域等之地形條件，必要時應預作路線探勘，避免因地形遮蔽造成斷訊、或高壓電塔、變電箱等訊號干擾，以及輸電線、流籠纜線等導致撞擊意外之情事發生，而地圖研判變成為一項需具備之重要基本能力。

（五）資料分析處理及判讀專業：感測器所獲得之資料，需經過處理始具備供為後續分析處理之條件。惟不同調查目的所使用之不同感測器，資料型態各異，呈現方式亦不相同，各自產生不同的判讀專業，此部分多數公務機關多以委外辦理方式達成，故通常較難於公務機關有效推行。



UAV 拍攝石門水庫。



(六) 航測製圖專業：UAV空拍影像如有製圖需求，其拍攝過程即必須就精度與解析度等需求，滿足相關航拍條件，後續亦需人力進行相當之錯誤排解與量測處理，始能獲得理想之成果。此部分農航所已建置專業人力及相關軟硬體設備，並提供相關協助管道供林管處同仁申請UAV航照後處理及技術諮詢服務。

二、行政層面

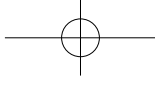
(一) 操作證照取得途徑：目前《民用航空法》部分條文修正草案尚未正式通過實施，相關認證規則亦尚未確立，僅有少數民間團體自行設立培訓機構，援用國外認證制度或自行提供認證，經過學科、術科訓練並取得其認證，惟在國內仍非屬具有效力之證明。

(二) 保險及理賠：操作UAV對自身與他人具有一定的傷害風險，且UAV飛行中亦有一定之故障風險而墜落或遺失，惟目前國內較具規模之保險業者，仍不願提供相關財務及人身保險項目。因而若同仁操作UAV輔助林業實務執行而造成自身或他人之傷害，或是墜毀遺失等，將無法獲得有效之保障，此亦為推行UAV輔助林業業務之一大阻力。

(三) 保固維護：當前UAV市場仍處於快速變化的階段，小型UAV持續推陳出新，產品週期通常少於一年，各式零件備品倉儲期間較短，此類UAV通常被當作耗材使用；而高規格UAV以進口居多，國內代理商雖或能具備維修能力，然因國內市場規模因素，難以大量儲備



UAV 拍攝觀新藻礁。



料件，維修替換仍需一段待料期間。

綜上，UAV科技究竟能在林業哪些業務發揮確實效用，需有充分資訊來源與專業背景，就科技、市場、相關技術及成本等要素，針對各個業務特質進行深入分析與試作，始能獲得客觀而具備推動潛力之方案。

結語

現階段基於重量與續航力的考量，UAV適合作為減省或解決短程卻無法到達地點之有限距離勘查調查輔助，包括崩場地調查、火場勘測、樣區及樹種調查、造林成效確認、巡護、野生動物調查等。

由於目前UAV仍處於快速發展階段，載具類型、功能變化快速，未來對載具之安全設計亦有一定之要求，惟尚待相關配套法規成熟，而適合小型使用之UAV感測器類型更處於多樣化發展的階段，造價極為高昂，需有穩定性高故障率低之載具搭配以降低風險。復以UAV種類繁多、功能各異，並無法以單一機種推廣至林務業務使用，須視任務需求，考量限制因素（起降場、拍攝解析度、作業規模、作業模式、採購、維護經費等），選擇或設計適合之UAV機型。同時，亦須了解，UAV乃是業務應用的輔具，正確選擇適合目的的酬載（感測器），搭配合適的載具，才能真正發揮作用。 🚀

