



無人飛行載具發展現況與未來趨勢

楊明德／國立中興大學土木工程學系 特聘教授

蔡慧萍／國立中興大學土木工程學系 助理教授

無人飛行載具 (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) 最初於 1970 年代由美國國防部發展使用於軍用途，簡單定義為沒有搭載飛行員的航空器。UAV 之機動性高，且產製之影像較傳統衛星影像和航空攝影有更高之地面解析度 (Ground Sampling Distance, GSD) (圖 1)。近年來民用 UAV (Civil UAV) 的發展隨著相關核心技術的開發，低成本製作技術的研發，飛行安全性的提升，民用 UAV 日漸普及且運用領域愈來愈廣，商業應用效益也愈來愈高。根據美國聯邦航空總署 (Federal Aviation Administration, FAA) [1] 預估，2020 年美國無人飛行載具將有約 700 萬部；而 2022 年時，在美國領空執行任務的商用無人飛行載具數量將上看 45 萬架 (US FAA, 2018)。目前 UAV 之操作已由早期人工於地面手動操作，進步到可於 UAV 上搭載微型飛行控制電腦，同時整合全球定位系統 (Global Positioning System, GPS)、慣性測量單元 (Inertial Measurement Unit, IMU) 和地面控制站或控制器等，透過無線通訊系統進行半自動或全自動導航飛行，此整合的 UAV 飛行系統由美國 FAA 稱之為無人航空系統 (Unmanned Aerial System, UAS)。

UAV 技術

載體

UAV 類型依飛行滯空時間可分為微型、迷你型、近距離、短距離、中距離、高空長滯空型；依飛行方式可分成定翼型及旋翼型。定翼型 UAV 具有較佳續航力、飛行範圍廣、穩定性高等特性；旋翼型 UAV 可垂直起降、停懸於空中定點，適合於地形起伏大、障礙物多之地區飛行，兩者比較如表 1。由於民間業者積極投入研發，台灣開發多樣式定翼及旋翼型機型，具備 GPS、IMU、自動飛行控制、即時影像及資訊傳輸等功能，已可達到監測、監控及搜索等需求。

飛行控制系統 (Flight Control System)

UAV 之飛行控制系統功能類似於人類大腦，具備讀取傳感器數據和計算與控制飛行時 UAV 姿態之功用。一般而言，UAV 之飛行控制系統包含控制器、陀螺儀、加速度計和氣壓計等傳感器。各種 UAV 之飛行

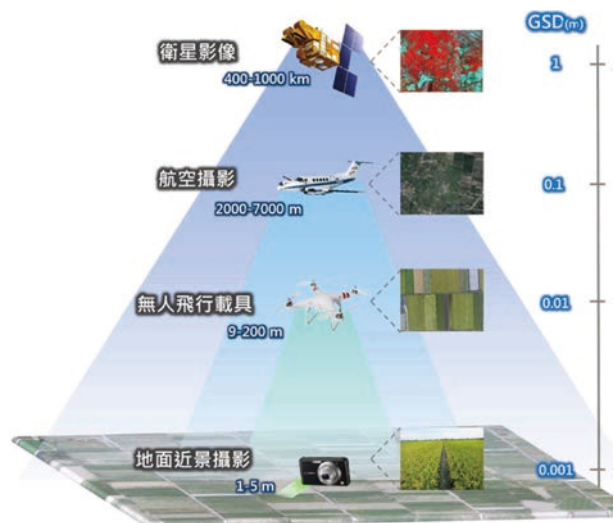




圖 1 遙測影像與飛行載具之地面解析度比較

控制系統皆有其寫入之韌體，韌體分為開源與閉源兩種，開源韌體如 APM 與 Pixhawk 可提供改動飛行參數之功能；閉源韌體如 DJI-NAZA-M 和 DJI-WooKong 及 DJI-A2 等僅支援同品牌之飛機與配件。

表 1 定翼型與旋翼型 UAV 比較表

UAV 種類	定翼型	旋翼型
圖片		
飛航範圍	較廣	較小
續航力	較長	較短
氣候影響	不易抗風	相對穩定
起降方式	跑道或彈射	垂直起降
飛行模式	航線飛行	可定點停懸
震動	較小	較大
適合地區	空曠地區	狹窄或地形起伏較大地區

感測器 (Sensor)

UAV 之感測器功能類似於人類的感知器官，不同機種 UAV 之載重能力與飛行能力皆不盡相同。一般型消費機種 UAV 多搭載可見光相機，涵蓋光譜的範圍為紅綠藍光波段。而在高階或開發型之 UAV 機種，可依據需求搭載多光譜、高光譜、熱影像鏡頭或光達 (LiDAR) 等不同性質、不同等級之感測器。

UAV 影像處理

● 影像分類

傳統影像分類方法可分為監督式與非監督式兩大類，但隨著影像判釋理論與技術之進步，陸續發展出如類神經網路分類 (Neural Networks Classification)、次像元分類 (Subpixel Classification) 以及知識庫分類法 (Knowledge Classification) 等分類方法。在監督式分類方法的應用上，程序為影像分析者先行選定所需類別或分級，然後選擇訓練樣區。訓練樣區的選擇必須具有每一類別之代表性，且訓練資料所導出之每一種分類的統計值，以作為分類時之根據。如果分析者所選定之類屬能夠在光譜空間上有所隔離，並且各類訓練樣區能代表整個的空間資料組，則分類處理通常皆能相當成功。簡而言之，監督式分類法最重要的成功關鍵，即須確保特定之覆蓋類屬其在光譜空間上大致是光譜分離的，常用之監督式分類法包括高斯最大似然分類法 (Gaussian Maximum Likelihood Classifier)、最短距離分類法 (Minimum Distance to Means Classifier)、平行六面體法 (Parallel-piped Classifier) 等。非監督式分類則依據事先給定的類別個

數和各波段之影像像元灰階值，利用數值迭代方式進行影像叢級分類 (Clusters)，常用之非監督式分類法包括 ISODATA 和 K-means 兩種。非監督式分類方法之優點為快速且只需考慮類別數目和迭代之設定的收斂狀況，但缺點為缺乏類別變異度之考量 [2]。

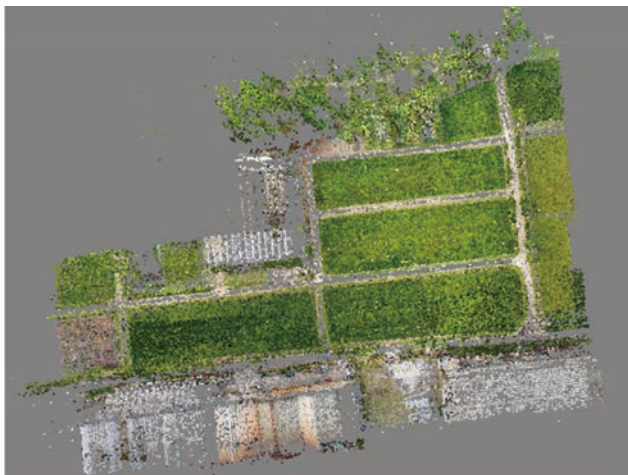
類神經網路分類法利用類神經學習的功能，同時可加入其他資訊輔助判釋，例如空間資訊 [3]，目前以倒傳遞類神經網路 (Back-propagation Neural Network, BPN) 應用較廣 [4]。次像元分類之原理類似於監督式分類，但加入了特徵推導 (Signature Derivation) 進行影像分類 [5]。知識庫分類則為依據專家知識經驗與技術之整合，透過邏輯推演與正規化，將專家知識轉換為知識庫進行分類 [6]。

● 點雲產製

UAV 影像可透過影像式三維模型重建技術中之 SfM (Structure from Motion)，對影像進行類似自我率定之演算，計算出影像拍攝時的內外方位參數；利用不同視角的影像及拍攝時相機軌跡與內外部攝影參數計算影像的對應與投影關係，將相機間的對應關係投射至空間中，並將其投射的三維點投射回相機所拍攝的影像上，以獲得空間中相對應的空間點雲 (疏點雲)。再對 SfM 所產生的成果進行密度優化，產生密點雲。密點雲可再經過網格製備生成三維模型 (圖 2)。

● 影像式三維模型重建技術 (Image-Based Modeling, IBM)

影像式三維模型重建技術包含多種電腦視覺、電腦圖學、影像處理、光學等領域之演算方法 [7,8]，其中以 SIFT (Scale-Invariant Feature Transform)、SfM (Structure from Motion)、Visual Hull 以及 MCOSR (Minimum cuts for optimal surface reconstruction) 演算法應用較廣泛。SIFT 是一種尋找影像特徵點的演算法，利用金字塔分層的方式，把計算量相對大的工作在初期步驟完成，降低計算量方便後續的計算 [9]。SIFT 演算法在資訊量豐富的影像中具有提取大量特徵點且均勻分佈，並提供足夠的資訊以完成物件匹配與識別。SfM 藉由 SIFT 從多張重疊影像部分匹配相同的特徵點位，以核幾何 (Epipolar Geometry) 原理反算出相機拍攝與物體的相對關係，再恢復相機在不同拍攝位置的內外方位參數，並推算出物體明顯邊界結構的稀疏三維點雲，



(a)



(b)



(c)

圖 2 UAV 影像範例：(a) 疏點雲，(b) 密點雲，與 (c) 三維模型

獲取場景的三維空間坐標^[10,11] (圖 3)。Visual Hull 演算法於 1991 年由 Aldo Laurentini 提出，藉由多張不同視角照片，經交集運算得最接近真實物體的近似值^[12]。

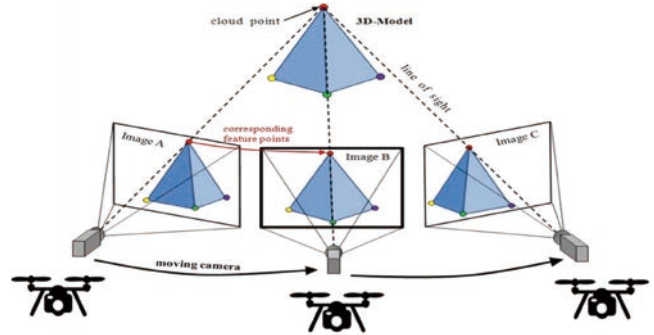


圖 3 SfM 演算法之特徵點連算原理示意圖

點雲建置完成後，需使用三角網格面 (Mesh Triangles) 方式，進行網格製作。Delaunay 三角測量表面重建為一製作網格的方法，MCOSR 演算法可改善 Delaunay 的表面重構法^[13,14]，並優化 Delaunay 的四面體，有益於網格製作。

● 相關軟體與應用程式

UAV 相關之商用軟體與應用程式 (Applications, APPs) 種類繁多，大致可分為飛行前置作業、航線規劃、影像建模、點雲瀏覽與後製美化等種類。飛行前置作業中，瞭解禁航區和限航區資訊非常重要，SkySentry 軟體可提供目前所在的位置是否在禁航區內。另外 Vaavud Wind Meter 風速計可即時量度現場環境的風速和風向，以選擇最佳的飛行路線，降低飛行器被破壞的風險。在航線規劃類別中，DJI GS Pro (Ground Station Pro) 是一款可控制 DJI 飛行器實現自主航線規劃及飛行的 iPad 應用程式，具虛擬護欄功能，可讓飛行器在指定區域內飛行，保障飛行安全。Litchi for DJI Phantom/Inspire 提供追蹤 (Tracking) 與聚焦 (Focus) 功能，可讓使用者設好要拍攝的目標，讓鏡頭追蹤對焦設定目標拍攝，也另有飛行點任務的規劃功能。Altizur 可透過 DJI SDK 控制 DJI 的無人機在指定路徑上飛行並進行定時採集圖像，其自動航拍功能除了採集垂直拍攝圖像用於生成鳥瞰圖，還會採集傾斜拍攝圖像用於產生三維實景模型，圖像也可上傳到 Altizur 網站自動生成三維模型。

在建模方面，Pix4Dmapper 是航遙測的專業軟體之一，可精確至公分級並自動完成所有率定。Agisoft PhotoScan 可應用平面影像進行 3D 模型建立，可對任意照片進行處理；無需控制點，也可透過給予的控制點生成真實坐標的三維模型。Actue3D (Context Capture)

基於高階解析度航空影像、計算機視覺與幾何計算演算法的基礎之下進行三維資訊重建。Meshmixer 於 2011 年間問世，目前已被 Autodesk 收購，提供 3D 物件製作並結合 3D 列印功能。MeshLab 可進行多種 3D 檔案格式的瀏覽、轉檔、基本編輯、修復與優化等功能。點雲瀏覽有兩個免費軟體 Potree 和 CloudCompare 廣受使用；Potree 是一種基於 WebGL 的點雲數據可視化解決方案，包含點雲數據轉化，以及進行可視化的源碼 (source code)。Potree 對點雲數據進行多尺度管理，優化數據傳輸和可視化功能。CloudCompare 是一個三維點雲 (和三角網格) 的處理軟體，最初設計用於三維點雲 (例如用雷射掃描儀獲得的點雲) 之間或點雲與三角網格之間的比較，在大量點雲顯示與加載方面表現良好。3D 場景後製渲染工具如 Lumion 可進行即時的 3D 可視化，用於製作電影和靜幀作品，透過渲染功能，可快速進行 3D 場景的虛擬現實之視覺化。

UAV 應用

農業應用

農業為自然環境影響極大之產業，UAV 搭載不同型式感測器進行影像拍攝，再搭配影像分析技術，以協助農作物生長監測、農作物災損判釋與農作物產量預估。台灣最重要的糧食作物為水稻，但其常因颱風或豪雨事件發生水稻倒伏，影響水稻產量與農民生計 (圖 4)。許多國家對自然災害造成的農業損失採取補償措施 [15,16]，但都以人工判定方式進行農地現場災害評估。台灣根據「農業天然災害救助辦法」，鄉鎮公所必須在災後 3 天內進行初步災情評估，並在 7 日內完成全面的災情調查。向縣政府報告後，鄉鎮公所必須在 2 週內進行抽樣調查。單一坵塊倒伏率 20% 以上的水稻田才被認定為災區，在抽樣調查中必須達成準確率 $\geq 90\%$ 才可發放補償金。由於土地面積廣大和人力限制，所有評估均通過估算和隨機抽樣進行。因此，礙於時間和人力勞動限制，評估通常會有準確和損失報告逾期的問題。此外，不規則的受損農田很難透過人為判定就直接計算出面積。再者，受影響的農民必須在評估過程中保存證據，至少在 2 週內不可復耕，影響農民災損處理及後續生計重大。不準確的損失報告則會影響災害控制和救災政策。因此，為了提供定量

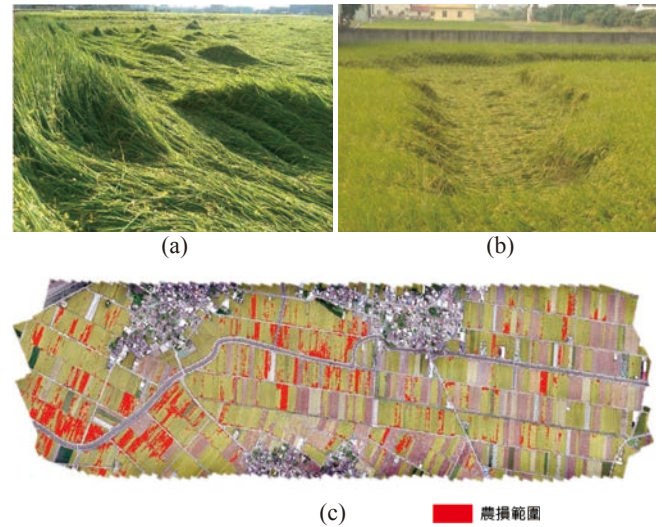


圖 4 UAV 影像應用於農業水稻倒伏管理範例：(a) 倒伏現地照片、(b) 倒伏現地照片與 (c) 農損範圍判釋

評估和快速減輕農民負擔，應用 UAV 進行影像拍攝，根據農作物與各種地物的光譜反映不同，以 UAV 影像的光譜信息與影像式三維模型重建技術 (IBM) 所產製之數值地表模型 (digital surface model, DSM)，配合紋理分析與影像之特徵機率計算等分析，可提供科學證據受損農地面積精確計算，全面且有效率地協助評估農業災損且加速救災進程 [17]。

農作物產量預估也可應用 UAV 影像協助 (圖 5)，例如西瓜田可依據西瓜的尺寸與形狀進行影像判釋，推估西瓜產量。預估產量有助於農業總量管理與市場穩定調配機制。對於農作物生長狀態也可利用 UAV 進行不同生長時期之拍攝 (圖 6)，判釋出植株位置與相關環境影響因子之套疊分析，後續可追蹤每株生長狀態。

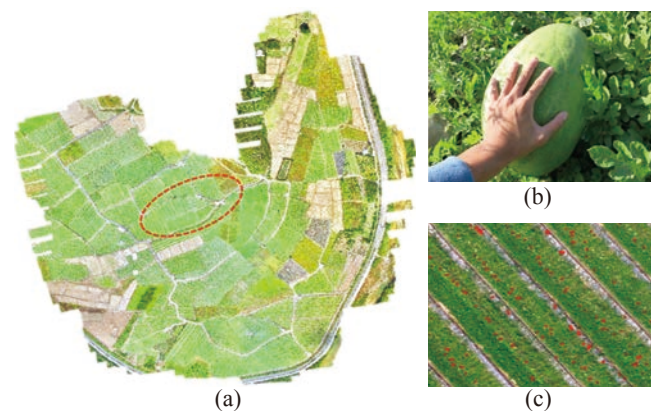


圖 5 UAV 影像應用於西瓜田產量監測範例：(a) 西瓜田正射影像、(b) 西瓜實際尺寸照片與 (c) 西瓜判釋成果

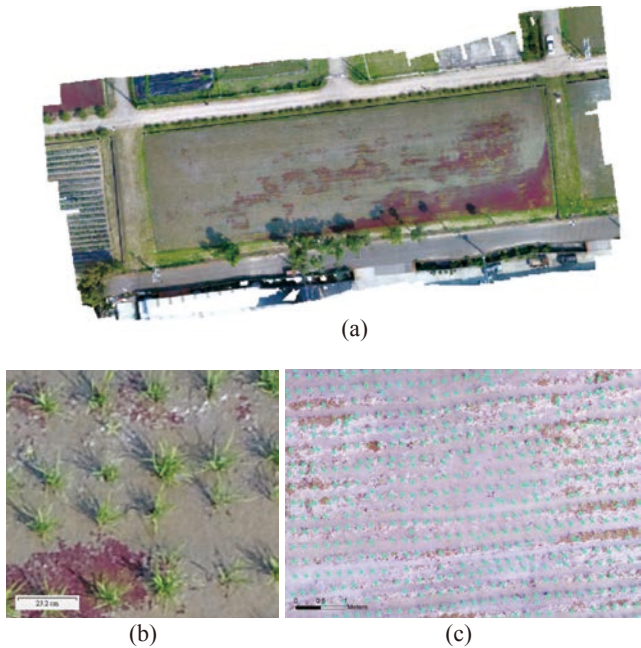


圖 6 UAV 影像應用於水稻稻株生長管理範例：(a) 水稻田正射影像、(b) 水稻植株近照與 (c) 水稻植株判釋成果

漁業應用

漁業受天然條件影響極大，逢遇颱風等氣候事件也常發生大面積災損（圖 7）。目前，漁業災損評估也是以人為評估方式進行，評估過程大約需要 40 到 50 天。首先，鄉鎮公所需要在災後 3 天內進行初步的現場損害評估。隨後，當地縣政府在 30 天內進行抽樣調查，抽樣準確度需 $\geq 90\%$ ，再向中央政府報告結果。之後，中央政府宣布就地損失評估結果，相關漁民需要在 10 天內申請補貼。在人為評估過程中，鄉鎮和當地縣政府的工作人員需與相關漁民一起乘坐竹筏或漁船，進行現場災損評估^[18]，現場災損評估的方式甚為主觀且容易受到漁民的意見左右。又因於漁業養殖的面積廣大，現場災損評估耗時耗力，人為評估結果也經常有爭議，產生偏差的災損評估，進而使政府提供財政援助的速度與標準受到質疑。應用 UAV 進行影像拍攝，除了可拍攝大面積的災損範圍，加上影像分析與套疊漁業權，可精確評估受損面積與確立賠償對象，協助快速評估漁業災損^[19]。

環境監測

UAV 可搭載空污無線偵測儀，可於不同飛行高度內偵測空氣污染物，包括一氧化碳 (CO)、一氧化氮

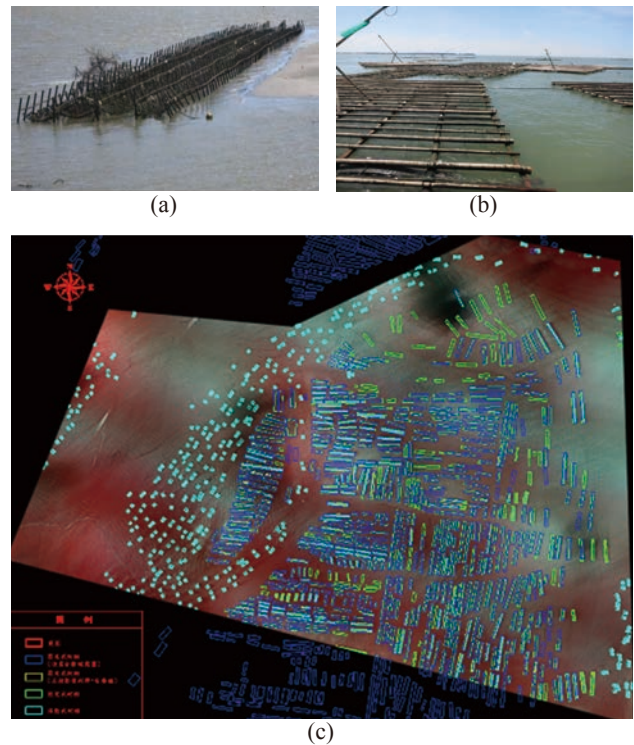


圖 7 UAV 影像應用於漁業蚵棚管理範例：(a) 固定式蚵棚、(b) 浮筏式蚵棚與 (c) 蚵棚災損判釋結果

(NO)、二氧化硫 (SO₂)、PM₁、PM_{2.5} 等，並即時回傳資料，協助稽查人員快速精確找到空氣污染源。2008 年北京奧運期間之嚴重的空氣污染，為人詬病並成為國際焦點。相關組織遂與美國先進陶瓷研究公司合作，使用無人飛行載具進行空中照相，監測北京上方空氣污染源及污染程度。另外廣西環境監測中心也發展出無人機氣體監測系統，搭配氣體檢測儀，進行包括 CO、SO₂ 與可燃氣體等 23 種氣體檢測；此系統也具備人工智慧 (AI) 技術，可自動偵查污染點。目前桃園市環保局以觀音工業區為示範場域，開發單架次 UAV 巡邏監測空氣品質，未來也將規劃以無人飛行機隊，進行大範圍長時間之偵測巡邏。

坡地災害監測

台灣天然災害種類繁多，其中堰塞壩潰決常於颱風雨季時造成大量的土砂災害，影響民生安全。UAV 可精進傳統測量，呈現地形地物資訊的二維影像，應用 IBM 技術進行三維模型建置，提供細部體積與尺寸變化資訊，對於研究壩體結構穩定度與相關潰壩機制相當重要。惠蓀林場潰壩實驗為世界首座原尺寸之堰塞壩實驗，目前已應用 UAV 進行堰塞壩三維模型建置與壩體體積精度之評估（圖 8）^[20]。

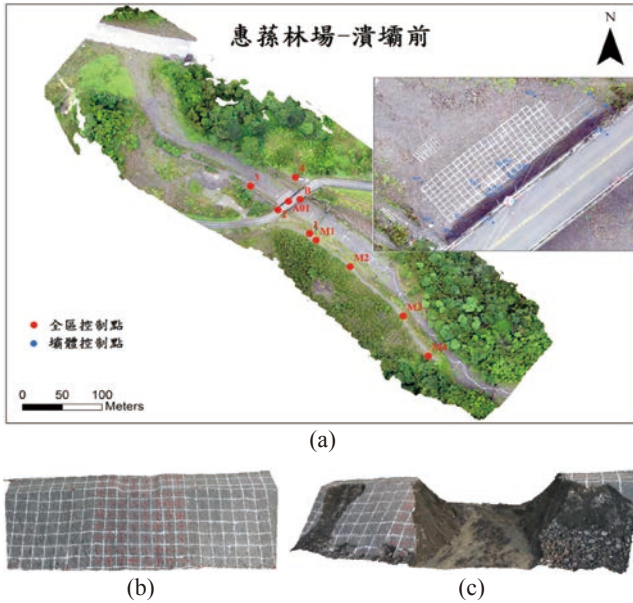


圖 8 惠蓀林場堰塞壩體影像三維模型：(a) UAV 產製之全區與壩體正射影像（含控制點）、(b) 潰壩前與 (c) 潰壩後

2013 年 6 月 2 日台灣發生芮氏規模 6.3 級地震，造成南投縣鳳凰谷鳥園上游南清水溝流域內邊坡崩塌（圖 9），阻礙南清水溝溪形成一天然堰塞壩。為分析此崩塌之堆積土方量及堰塞壩穩定性，評估其對下游住戶之影響性，使用 UAV 拍攝現場照片，以影像式三維模型重建技術（IBM）快速重構崩塌邊坡與堰塞壩之三維場景模型，經線性約制後可獲得一絕對尺度，但為相對坐標系之模型，再利用所獲得之三維資訊，使用無因次阻塞指標（Dimensionless Blockage Index, DBI）計算崩塌土方量，並進行崩塌影響範圍安全評估。成果顯示崩塌土方量為 136,588 m³，堰塞壩 DBI 值為 3.37，屬不穩定的狀態，此成果可提供管理單位作為鳳凰谷崩塌邊坡與堰塞壩後續處置依據^[21]。

UAV 操作相關法規

UAV 的相關軟硬體產業正在蓬勃發展，UAV 的應用也逐漸地被多元開發，有關無人載具的安全與個人隱私保護議題也屢受挑戰。立法院已於 2018 年 4 月 3 日通過《民用航空法》部分條文修正，增訂「遙控無人機」的控管專章與有關罰則。此修正之條文參酌許多美國聯邦的航空法規，包括 250 公克以上的遙控無人機皆須辦理註冊，並將註冊號碼標明在機體上明顯處；遙控無人機的操作者必須經過測驗合格，由民航局發給操作證後才能夠操作遙控無人機；另外在飛行場域、飛行高

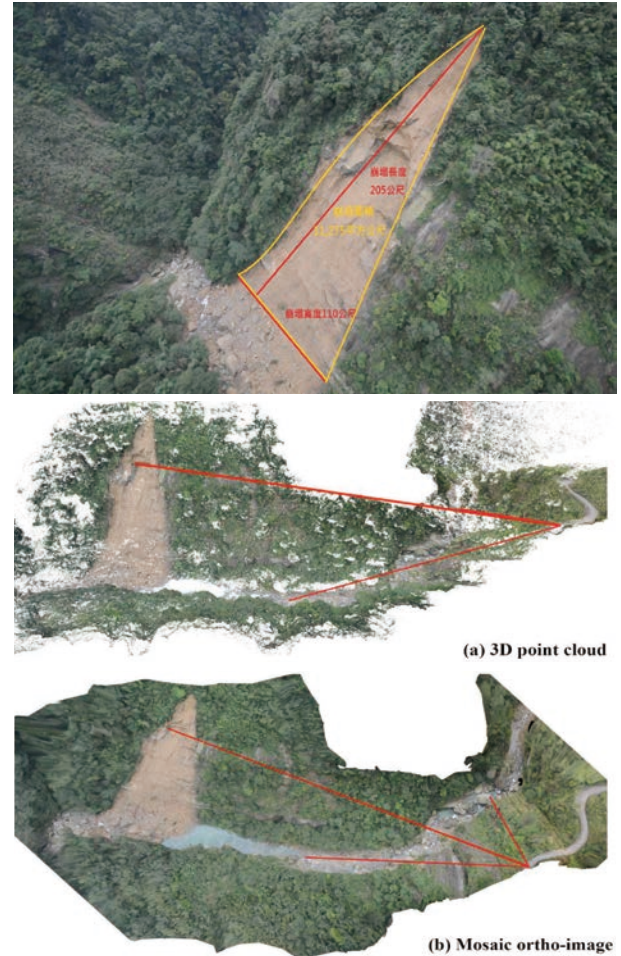


圖 9 UAV 影像監測鳳凰谷堰塞壩範例：(a) 3D 點雲與 (b) 正射影像

度、飛行時間和裝載物品方面皆有詳細規範。但為使產學研各界仍能在合理安全的環境下進行無人載具的創新應用發展，行政院會於 2018 年 5 月 18 日通過「無人載具科技創新實驗條例草案」^[22]，引進監理沙盒精神（Regulatory Sandbox），主旨希望於實際場域進行無人載具的科技、服務及營運模式的創新實驗時，能暫時排除適用相關監理規範，促進相關產業發展，以因應無人載具科技興起及國際發展趨勢，營造合理且安全的創新測試場域。此條例將由經濟部召開審查會議，原則上對無人載具給予 1 年創新實驗期，必要時可申請延長 1 年，若經審查全程最多以 4 年為限。此條例也希望成為首例科技沙盒典範，建立無人載具技術供應鏈體系，帶動台灣產業發展。

UAV 未來趨勢

UAV 影像解析度高且機動性強，可針對特定時間與地點進行拍攝，應用領域越來越廣。目前於 UAV 影像即時傳輸發展和運算上，5G 技術和 Edge Computing

已展開一傳輸速率之新紀元，未來於需要即時偵測與即時反饋之行動任務上，例如防救災現場需要快速搜救，UAV 上搭載之感測器可利用 5G 技術即時傳回影像，並利用裝載於 UAV 上的微型電腦進行 Edge Computing 初步影像分析篩選，再依據分析結果進行自動化的 UAV 行動模式。在 UAV 產製的資料中，點雲為具備空間資訊的最小單元，未來可透過分析點雲特性進行分類，於疏點雲階段進行特徵篩選，可根據分類目標進行點雲加密，以節省資料運算與儲存空間。未來 UAV 更可與生活結合，例如智慧城市 (smart city) 中可應用 UAV 搭載不同感測器，進行溫濕度、噪音、亮度等不同項目監測，利用其機動性高的優點，推動智慧城市中空域的整體規劃。

隨著國家綠能政策推動，風能與太陽能可利用 UAV 進行巡檢，透過 UAV 搭載的可見光與紅外線熱像儀，配合 GPS 定位可判斷光電板溫度並找出異常區域，例如彰濱工業區之設置 140 公頃 (34 萬片) 的太陽能光電板，日漸蓬勃發展且面積越來越大，利用 UAV 進行有效率且大範圍的巡檢，可達到省時省工的目的。另外，風機的維護運作也是台灣目前面臨的挑戰，由於風機高度有 70 至 100 公尺高，葉片長度也有 30 公尺，造價高且替換新品不易，未來可應用 UAV 進行巡檢，監測葉片是否有龜裂現象，以便及早規畫修復，降低損壞率。對於陸域風機與離岸風機也應規畫不同的 UAV 巡檢流程，以配合環境條件不同之需。另外在清掃輸電線路礙子方面，目前皆透過直升機搭配人工進行，安全性不佳，未來可透過具穩定懸停功能之 UAV，替代人工方式進行清掃，降低人員風險。

UAV 的相關軟硬體開發雖有一定的技術門檻，但土木人還是有一定參與的角色，如空間資訊與測量人員可參與 3D 模型方法開發與 UAV 影像處理暨分析。然而，UAV 的多元應用更是人人可以投入，包括結構、水利、大地、交通、營管等領域，都有待開發應用情境。

參考文獻

1. U.S. Federal Aviation Administration (FAA) (2018). Aerospace Forecast Fiscal Years (FY) 2018-2038, https://www.faa.gov/news/fact_sheets/news_story?newsId=22594
2. Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2014). Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons.
3. Zhang, H., Li, Y., Zhang, Y., & Shen, Q. (2017). Spectral-spatial classification of hyperspectral imagery using a dual-channel convolutional neural network. *Remote Sensing Letters*, 8(5), 438-447.
4. Li, L., Chen, Y., Xu, T., Liu, R., Shi, K., & Huang, C. (2015). Super-resolution mapping of wetland inundation from remote sensing imagery based on integration of back-propagation neural network and genetic algorithm. *Remote Sensing of Environment*, 164, 142-154.
5. Lu, T., Li, S., Fang, L., Jia, X., & Benediktsson, J. A. (2017). From subpixel to superpixel: A novel fusion framework for hyperspectral image classification. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55(8), 4398-4411.
6. Shukla, A., & Ali, I. (2016). A hierarchical knowledge-based classification for glacier terrain mapping: A case study from Kolahoi Glacier, Kashmir Himalaya. *Annals of Glaciology*, 57(71), 1-10.
7. Yang, M. D.; Chao, C. F.; Lu, L. Y.; Huang, K. S.; and Chen, Y. P. (2013). Image-based 3D scene reconstruction and exploration in augmented reality. *Automation in Construction*. 33, 48-60
8. Yang, M. D.; Chao, C. F.; Huang, K. S. (2013). 3D model construction on imagery shot by mobile devices. *Journal of Aeronautics, Astronautics and Aviation*, 45(3), 219-224.
9. David, G. L. (1999). Object recognition from local Scale-invariant features. *Computer Vision*, 2, 1150-1157.
10. Noah S., Steven, M. S. and Richard, S. (2007). Modeling the world from internet photo collections, *International Journal of Computer Vision*, 80(2), 189-210.
11. Okutomi, M. and Kanade, T. (1993). A multiple-baseline stereo system. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 15(4), pp. 353-363.
12. Aldo, L. (1994). The visual hull concept for silhouette-based image understanding. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 16(2), 150-162.
13. David, N. (2004). An efficient solution to the five-point relative pose problem. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 26(6), 756-770.
14. Yasutaka, F. and Jean, P. (2009). Carved visual hulls for image-based modeling, *International Journal of Computer Vision*, 81, 53-67.
15. Chang, H.; Zilberman, D. (2014). On the political economy of allocation of agricultural disaster relief payments: Application to Taiwan. *European Review of Agricultural Economics*, 41, 657-680.
16. Jia, Y.; Su, Z.; Shen, W.; Yuan, J.; Xu, Z. (2016). UAV remote sensing image mosaic and its application in agriculture. *International Journal of Smart Home*, 10, 159-170.
17. Yang, M. D.; Huang, K. S.; Wan, J.; Tsai, H. P.; Lin, L. M. (2018). Timely and Quantitative Damage Assessment of Oyster Racks Using UAV Images. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. doi: 10.1109/JSTARS.2018.2839767(in press)
18. Lin, W. and Huang, Y. (2014). Automatic recognition of oyster racks in the aerial image, *Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing*, 2014 IEEE 9th International Conference on, 2014, pp. 1-6.
19. Yang, M. D., Huang, K. S., Kuo, Y. H., Tsai, H. P., & Lin, L. M. (2017). Spatial and spectral hybrid image classification for rice lodging assessment through UAV imagery. *Remote Sensing*, 9(6), 583.
20. 楊明德、陳韋廷、黃凱翔 (2016)，「應用 UAV 影像建置現地堰塞壩三維模型」，*中華水土保持學報*，46(2)，88-95。
21. 楊明德、黃凱翔、趙智凡 (2018)，「應用 UAV 影像於鳳凰谷崩塌與堰塞壩之分析」，*中華水土保持學報*，49(1)，40-48。
22. 行政院 (2018)，行政院新聞：行政院會通過「無人載具科技創新實驗條例」草案，<https://www.ey.gov.tw/Page/9277F759E41CCD91/60a8e74e-d09e-4fac-b7c8-a0f1b3c2e1ab>。