

發展無人飛行載具系統測繪作業

Development of UAS mapping technology

主管單位：內政部國土測繪中心

執行單位：經緯航太科技股份有限公司

摘要

內政部國土測繪中心(以下簡稱國土測繪中心)於 100 年已完成臺灣地區(含金門、馬祖)臺灣通用電子地圖之建置,並自 103 年起,以 2 年更新頻率辦理圖資更新。一般製圖係運用行政院農業委員會農林航空測量航所以航空攝影測量所拍影像據以辦理製圖工作,此外亦利用移動測繪系統具備高機動性的空間資料蒐集能力,對於無法或不易取得參考影像或圖資的局部變動區域,運用無人飛行載具系統(Unmanned Aircraft System, 簡稱 UAS)執行空中拍攝,獲取變動區域最新影像,辦理局部區域圖資更新。本文主要在介紹國土測繪中心無人飛行載具系統應用於局部圖資更新作業及 107 年實際航拍應用成果,未來相關影像資料亦可作為災害應變前期參考資料。107 年並配合中央災害應變中心—空間情報小組任務,接獲國家災害防救科技中心通報後,航拍花蓮米崙斷層地震災點並製作影像及三維模型(統帥飯店及雲門翠堤)提供參考。

另一方面,為了解 UAS 搭載光達設備應用於圖資更新可行性,107 年度完成整合 UAS 及光達設備並掃瞄測試區中興新村,研究測試以獲取之點雲資料進行道路及建物等地物資料繪製向量圖。在測試過程中發現率定作業困難且因大量樹木與道路及建物點雲重疊致邊界線辨識不易及須人工編修問題影響後續繪製向量圖成果,未來如針對前述相關問題改善與精進,在圖資更新應用上將有較大潛力。

關鍵字：無人飛行載具、局部圖資更新、光達、點雲

Abstracts

This paper describes the Unmanned Aircraft System (UAS) used in the local map data update. In the future, the UAS is potentially applicable in providing 3D emergency disaster response information to assist in decision-making, the environment and landscape simulation or engineering planning and evaluation purposes use. The integration of UAS and LiDAR was completed. The integrated system was used to scan and get the point cloud. The data processing and application was established. The workflow include data pre-processing, boresight/leverarm calibration, matching/adjustment of point cloud, and classification/filing. The test shows that the efficiency can be improved by using LiDAR.

Keywords : Unmanned Aircraft System, LiDAR, Point cloud

一、前言

航空攝影測量具有可大面積施測、成圖速度快、精度高等優點，內政部國土測繪中心（以下簡稱國土測繪中心）辦理國土利用調查、臺灣通用電子地圖與基本地形圖修測等業務，皆以飛機實施航空攝影獲取影像進行圖資測製，惟傳統載人飛機航拍較易受天候條件限制，影響影像獲取時效及後續作業進度。近年來，無人飛行載具系統（Unmanned Aircraft System，以下簡稱 UAS）在民用領域發展快速，應用領域廣及空間資訊、海岸防衛、環境監測、科學、農漁業、交通控制、危險任務等，UAS 除具有機動性高、操作與維護較載人航空器成本相對低廉等特性，且可在低空雲下作業，相較傳統航遙測載具所受天候及雲層影響程度小，可輔助傳統航拍與衛星遙測快速取得特定區域影像。

國土測繪中心於 100 年已完成臺灣地區（含金門、馬祖）臺灣通用電子地圖之建置，並開發臺灣通用電子地圖查詢系統提供線上瀏覽地圖及相關定位查詢等功能。由於臺灣地區經濟發展快速，土地高度開發，已測製之空間圖資若無持續更新，將與現地不符影響後續規劃分析使用，因此，自 103 年起，以 2 年更新頻率辦理圖資更新，並針對局部重大變動地區，並規劃採用 UAS 辦理圖資更新作業，以 UAS 快速取得該地區影像，更新該局部地區臺灣通用電子地圖正射影像或向量圖，未來更將持續推動 UAS 輔助辦理局部圖資更新。

本文主要在介紹國土測繪中心無人飛行載具系統應用於局部圖資更新作業及 107 年實際航拍應用成果。另一方面，因應未來多元化感測器發展，利用無人飛行載具系統搭載光達設備辦理研究測試，完成整合 UAS 及光達設備並掃瞄測試區中興新村，以獲取之點雲資料進行道路及建物等地物資料繪製向量圖。在測試過程中發現率定作業困難且因大量樹木與道路及建物點雲重疊致邊界線辨識不易及須人工編修問題影響後續繪製向量圖成果，未來如針對前述相關問題改善與精進，在圖資更新應用上將有較大潛力。

二、無人飛行載具系統

無人飛行載具系統是指無人飛行載具（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）及其地面相關控制組件，早期研製無人飛行載具的目的是在軍事用途，20 世紀 80 年代以來，隨著資訊科技的迅速發展及各種新型感測元件的不斷問世，無人飛行載具系統的性能不斷提高，發展趨勢為低價化、微型化、自動化操作，由於其具有輕便、隱蔽性好、機動靈活、使用成本低等特點，應用領域也越來越廣泛，從早期軍事運用擴展至海岸防衛、環境監測、交通控制、危險任務監控、災後影像獲取及球賽轉播、電影製作、極限運動拍攝等娛樂方面應用。另一方面，無人飛行載具可酬載包含數位相機、雷射掃描、多光譜、高光譜、熱感應及微波等日趨小型化設備，能進行洪水及土壤水分、植被、濕地、土地覆蓋及目標檢測等環境監測應用。

國土測繪中心採用的無人飛行載具可分為定翼型（以下簡稱定翼機）及旋翼

型（以下簡稱旋翼機）無人飛行載具系統。定翼機的優勢在於航程長、抗風能力強、酬載能力高，因此適合用於長距離、大範圍拍攝，惟定翼機需要跑道進行起降，若無適當的跑道則需自較遠的地方飛進目標區進行航拍任務，致油耗、拍攝時間及飛行風險相對增加。國土測繪中心於 100 年完成建置國內測繪機關第 1 套應用於測繪領域之無人飛行載具系統（國土測繪 1 號），其主要組成架構包括定翼機及地面控制系統，架構如圖 1；該定翼機規格如表 1。另搭配使用之旋翼機則具有垂直起降的功能，不需起降跑道，且具備滯空停懸能力，適合較小範圍特定地區航拍任務，旋翼機規格如表 2，定翼機及旋翼機照片如圖 2、3。



圖 1 國土測繪 1 號無人飛行載具系統架構



圖 2 定翼型無人飛行載具 圖 3 旋翼型無人飛行載具

表 1 定翼機規格

翼展	2.5 公尺	長度	2.0 公尺
載具重量	25 公斤	滯空時間	約 4 小時
酬載重量	約 5 公斤	最大航程	可達約 250 公里
速度	90 km/hr	飛行高度上限	4000 公尺

表 2 旋翼機規格

載具寬度	120 公分	最大航高	約 500 公尺
載具重量	5.0 公斤	載具操作距離	約 1000 公尺
滯空時間	約 20 分鐘		

三、局部區域圖資更新應用

(一) 酬載設備—數位單眼相機

局部圖資更新應用使用之酬載為數位單眼相機 Canon 5D Mark II (如圖 4) 搭配 20mm 定焦鏡頭，感光元件 CMOS 大小為 36x24mm、像素約 2200 萬、像元大小為 6.40 μ m。無人飛行載具上另搭載衛星定位系統 (Global Positioning System ,GPS) 與慣性導航儀 (Inertial Measurement Unit ,IMU)，以紀錄無人飛行載具空間位置與姿態相關資訊，可用於後續影像處理輔助空中三角測量之解算。另外，因使用非量測型相機，須先辦理相機率定作業，求得相機焦距、像主點偏移及透鏡畸變差等內方位參數，以利於後續影像處理作業中修正系統誤差。



圖 4 UAS 酬載設備

(二) 航拍及影像處理作業流程

國土測繪中心無人飛行載具系統應用於局部區域圖資更新，主要以定翼機辦理航拍，部分小區域面積 (如面積小於 1 平方公里之航拍區域) 以旋翼機航拍，影像解析度 (地元尺寸) 在 25 公分以內，航拍影像前後重疊率要求為 80%，側向重疊率 35%。無人飛行載具搭載數位相機並依不同區域或地形需求搭配 20mm 或 24mm 或 35mm 焦距之定焦鏡頭辦理航拍作業，並依解析度及重疊率需求在航拍前規劃無人飛行載具飛行航高及航線，於空域及天候許可條件下，執行航拍任務取得目標區域影像，航拍作業流程如圖 5。

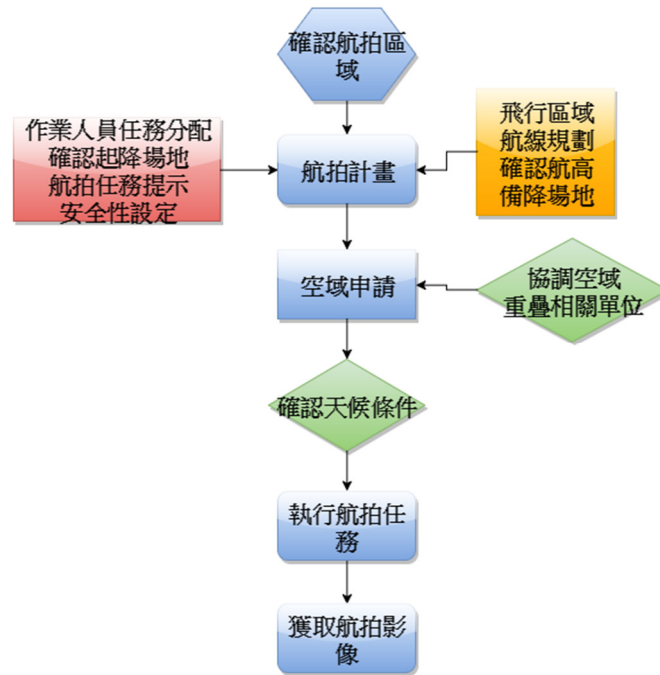


圖 5 UAS 航拍作業流程圖

UAS 航拍影像依航測處理方式辦理，使用數值航測影像工作站進行空中三角測量計算及製作正射影像。控制點部分主要為引用向量圖資或影像資料之特徵點為主。每一航拍區原則上挑選至少 5 點控制點，控制點選擇向量圖資或影像資料上比較明顯、不會變動的固定地物、易辨認之特徵點位（斑馬線、道路標線等）且於 UAS 影像上可辨識之共同點；其分布以可包圍測區且減少影像校正之外插情形為原則。另挑選至少 3 點檢核點，均勻分布於測區範圍內。控制點選定後於向量圖資或影像資料之特徵點上量測坐標資訊，以作為後續空中三角測量解算使用。另一方面，利用數值航測影像工作站將 UAS 航拍影像與初始外方位參數及相機率定後內方位參數資訊輸入後，並量測控制點及連結點進行空中三角測量解算，主要使用控制點及影像間的匹配點位資訊，以後方交會法計算出每張影像外方位參數，並以前方交會法求得影像中點位之空間位置。最後將中心投影之相片，糾正成正射投影，並進一步鑲嵌製作成 1 張全區無接縫的正射影像（作業流程如圖 6）。

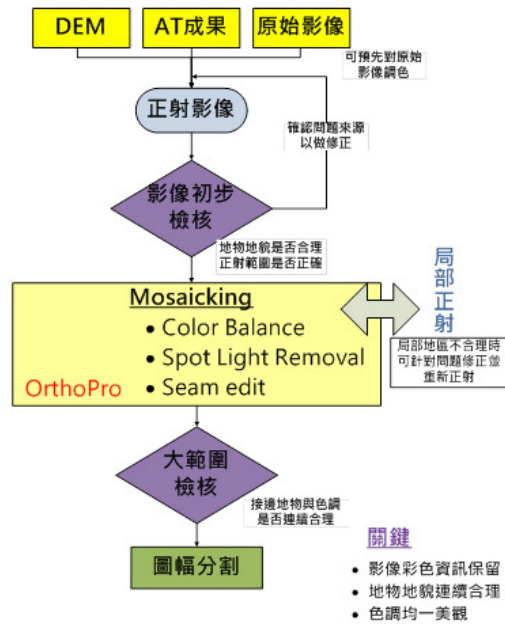


圖 6 正射影像製作流程圖

(二) 作業成果與圖資更新

透過上述航拍及影像處理方法，國土測繪中心 107 年完成 14 個區域合計 7,500 公頃（如表 3）無人飛行載具系統航拍及影像處理作業，並製作正射影像成果。正射影像檢查採重複量測平面無高差之地物點，每區抽查至少 5 點，抽查點位置量測之平面位置（正射影像坐標）與原平面位置（上機坐標）較差之均方根值不大於 1.25 公尺。在完成製作正射影像後，除與原有圖資進行比對確認外，針對局部更新區域採重新製作 Map Cache，並發布至國土測繪圖資網路地圖服務圖臺上，完成更新臺灣通用電子地圖正射影像圖資（圖資更新示意如圖 7）。另一方面，無人飛行載具系統相關資訊及成果可至國土測繪中心無人飛行載具系統專區網頁（<https://www.nlsc.gov.tw/UAS/index.html>）進行瀏覽查詢。



圖 7 更新正射影像示意圖

表 3 107 年度 UAS 航拍區域彙整表

編號	航拍區域	用途	面積 (公頃)	製作 成果	備註
1.	臺中市龍井區	監測	1917	正射 影像	協助內政部營建署 城鄉發展分署航拍 區
2.	彰化縣伸港鄉	監測	1900	正射 影像	
3.	新竹縣新豐鄉	監測	318	正射 影像	
4.	新竹縣尖石鄉	監測	374	正射 影像	
5.	宜蘭縣南澳鄉	監測	346	正射 影像	
6.	臺北市士林區	監測	126	正射 影像	協助陽明山國公園 管理處航拍區
7.	新北市金山區	監測	332	正射 影像	
8.	新竹市	監測	156	正射 影像	協助新竹市地政事 務所航拍區
9.	臺中市和平區	監測	793	正射 影像	協助臺中市政府都 市發展局航拍區
10.	南投縣南投市	圖資更新	41	校正 影像	
11.	苗栗縣銅鑼鄉	圖資更新	42	正射 影像	
12.	苗栗縣通霄鎮	圖資更新	905	正射 影像	
13.	臺中市大安區	圖資更新	149	正射 影像	
14.	屏東縣九如鄉	圖資更新	101	快速 拼接 影像	
	合計		7,500		

四、整合 UAS 與光達應用研究測試

本研究整合 UAS 及光達進行航拍掃瞄，取得光達點雲資料，評估光達資料進行圖資更新的可行性。利用酬載重量可達 15 公斤之單旋翼 UAS 搭載定位定向系統、光達、控制電腦及電力系統等設備(如圖 8)進行相關研究測試。光達掃瞄後點雲資料處理流程如圖 9。



圖 7 單旋翼型 UAS 整合光達設備

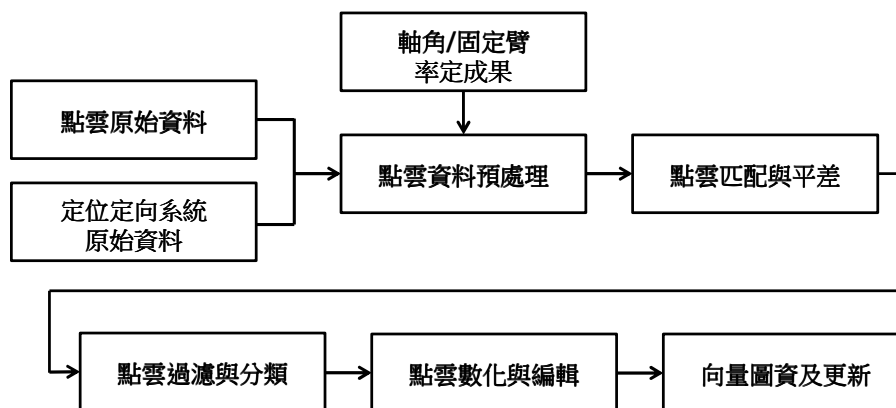


圖 8 光達點雲資料處理流程

本研究以南投中興新村為測試區域進行光達掃瞄作業，航線規劃如圖 10 所示，航帶寬度為 120 公尺，並以每秒 6 公尺飛行速度進行掃瞄，作業範圍面積約為 103 公頃，共分為 3 個架次，6 個航帶進行作業，每架次作業時間各約 25 分鐘，實際作業時間約 105 分鐘。現場作業情況如圖 11 所示，光達掃描點雲資料展示如圖 12 所示。

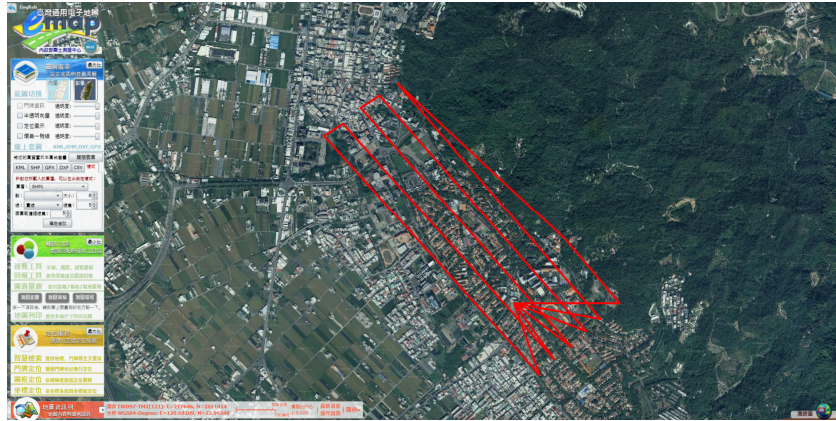


圖 9 中興新村光達掃瞄航線規劃



圖 10 現場作業情形

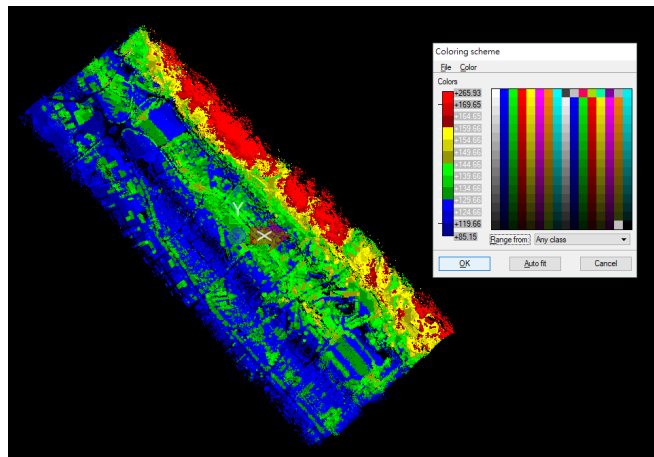


圖 11 光達掃瞄點雲資料展示

本研究光達掃描作業範圍面積約為 103 公頃，可計算得作業範圍之點雲密度約為每平方公尺 80 點。將光達點雲資料及定位定向資料透過 GPS 時間進行資料整合，賦予點雲資料三維定位資訊，並轉換為光達點雲通用格式 las。本次研究測試取得之光達點雲資料，以不同顏色顯示高程差異，局部放大並對照正射影像，如圖 13 至圖 14 所示。

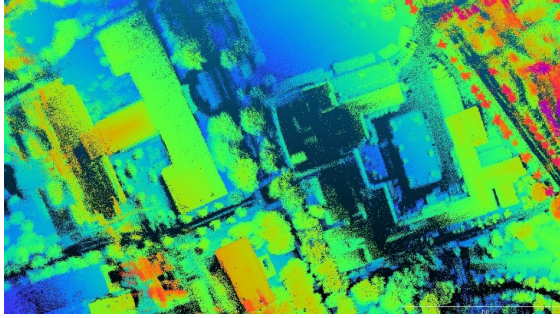


圖 12 光達點雲資料局部放大



圖 13 光達點雲資料影像對照

於光達點雲資料完成前處理及轉檔輸出至 las 格式後，進一步將點雲資料匯入至 TerraSolid 等點雲編輯軟體，可進行點雲分類作業，主要分類成地表、地上物（建物及道路等）、雜訊等三類，分類後經由 AutoCAD 讀取 las 格式之軟體，依道路及建物邊線繪製向量圖，同時利用不同視角檢視選取之點雲，增加繪製作業正確性。道路繪製成果如圖 15 及圖 16 所示。



圖 14 光達資料道路數化成果套疊電子地圖

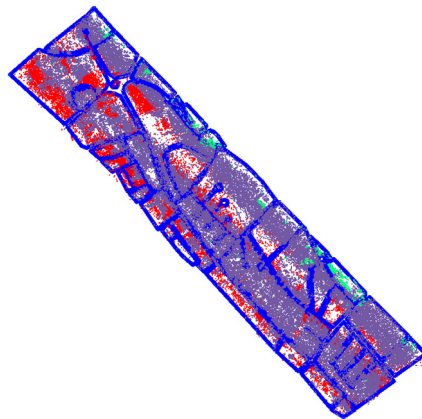


圖 15 光達資料道路數化成果套疊點雲

五、結論與建議

國土測繪中心目前定期以 2 年週期辦理臺灣通用電子地圖圖資更新，並規劃以無人飛行載具系統針對重要地物變異地區航拍取得影像，快速辦理局部區域圖資更新，縮短圖資更新時間，提升圖資正確性。而國土測繪中心無人飛行載具系統於局部區域圖資更新應用，已建立更新模式流程機制並於臺灣通用電子地圖局部區域圖資更新中實際採用。無人飛行載具系統未來仍將依實際航拍區域需求搭載多元化酬載設備獲取相關空間資訊，作為輔助圖資更新或其他應用強有力工具。

在光達研究測試方面，利用單旋翼 UAS 搭載定位定向系統、光達、控制電腦及電力系統等設備掃瞄中興新村測試區(面積約 103 公頃)，並以獲取之點雲資料繪製道路與建物等地物向量圖。本研究完成 UAS 及光達設備整合並辦理圖資更新應用航拍測試，依相關測試流程建立 UAS 光達局部圖資更新應用作業流程。光達掃瞄雖較影像匹配方式可直接快速產出點雲資料，內業可直接於點雲繪製向量圖，然在測試過程中也發現率定作業困難、道路邊界線與建物辨識不易及須人工編修問題影響後續繪製向量成果，未來針對定位定向系統硬體及軟體精進與無人機振動影響點雲成果等因素進行改善及精進；另一方面，繪製向量成果另搭配影像資料輔助進行道路及建物等地物辨識，以確保繪製成果之正確性，並朝研究結合人工智慧(AI)自動化處理及萃取繪製方式發展，在圖資更新應用上將有相當大潛力。

七、參考文獻

1. 內政部國土測繪中心,2018,內政部國土測繪中心 107 年發展無人飛行載具系統測繪作業工作總報告。
2. S. Khan, L. Aragão & J. Iriarte, 2017. A UAV-lidar system to map Amazonian rainforest and its ancient landscape transformations, *International Journal of Remote Sensing*
3. Sithole, G. , 2001. Filtering of laser altimetry data using a slope adaptive filter. *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34(3/W4), 203-210.
4. Wallace, L., Lucieer, A., Malenovský, Z., Turner, D., & Vopěnka, P. , 2016. Assessment of forest structure using two UAV techniques: A comparison of airborne laser scanning and structure from motion (SfM) point clouds. *Forests*, 7(3), 62. The 10th International Conference on Mobile Mapping Technology
5. G. J. Tsai, M. C. Tsai, K. W. Chiang & N. El-Sheimy, 2017. The performance analysis of LiDAR-based Unmanned Aerial Vehicles for disaster reduction mapping application, *Secssion (C3)- Hall (C)*, 12-14.