

發展無人飛行載具航拍技術作業

Development of UAS aerial mapping technology

主管單位：內政部國土測繪中心

林永仁¹
Lin, Yun-Jen

邱式鴻¹
Chio, Shih-Hong

徐百輝³
Hsu, Pai-Hui

¹ 智飛科技有限公司

² 國立政治大學地政研究所

³ 國立臺灣大學土木工程研究所

摘要

「發展無人飛行載具航拍技術作業」案為「測繪科技發展後續計畫」工作項目之一，係4年期（100~103年）之延續型計畫，主要工作項目為建置無人飛行載具系統（Unmanned Aerial Vehicle System, UAS）、購置航拍影像處理軟硬體設備、辦理UAS航拍及影像處理作業、製作快速幾何糾正鑲嵌影像、正射影像等成果供各項應用參考。利用無人飛行載具自動化、精確、快速、安全與大範圍的特性，配合經過整體規劃的航拍流程，建立一套可以快速取得特定地點地理資訊之創新作業程序，藉此引進新測繪技術。

本案完成15區航拍任務，並製作幾何糾正鑲嵌、正射影像與基本地形圖成果，分別應用於防救災、局部區域圖資更新與國土監測領域上。另外，本案UAS團隊亦於101年6月15日接受國家災害防救科技中心緊急災害應變的任務，快速完成南投縣和社溪堰塞湖航拍作業，立即製作成影像成果，提供中央災害應變中心作災情研判的參考，對於國內救災勤務發揮了高度的效用。

關鍵詞：無人飛行載具，航拍，測繪

Abstract

This project "Development of UAS aerial mapping technology" based on a four-year founding from National Science Council. Works of the project are building UAS (Unmanned Aerial Vehicle System) and standard operation procedures of aerial photogrammetric using UAS. The main purpose of this project is using of UAS as a platform to collect spatial information, evaluating of aerial image processing software and hardware, UAS aerial operations, developing UAS aerial photography and image processing standard operating procedures, corrective making rapid geometric mosaic image for each orthophoto.

Keywords : Unmanned Aerial Vehicle System, UAS, aerial photogrammetric, Mapping.

一、前言

「發展無人飛行載具航拍技術作業」案（以下簡稱本案）為「測繪科技發展後續計畫」工作項目之一，係4年期（100~103年）之延續型計畫，主要工作項目為建置無人飛行載具系統（Unmanned Aerial Vehicle System，以下簡稱UAS）、購置航拍影像處理軟硬體設備、辦理UAS航拍作業、研擬UAS航拍及影像處理標準作業流程、製作快速幾何糾正鑲嵌影像、正射影像供各項應用參考及局部測繪局部區域圖資更新，輔助國家經濟發展。本案主要目的為運用UAS作為蒐集空間資訊的平台，利用無人飛行載具自動化、精確、快速、安全與大範圍的特性，配合經過整體規劃的航拍流程，建立一套可以快速取得特定地點地理資訊之創新作業程序，藉此引進新測繪技術，應用於國土利用規劃、民生建設及防救災等領域，兼顧環保與輔助經濟發展，達到國土永續經營目標並供各界運用。

二、工作項目與流程

本案主要工作項目計有：

1. 升級 UAS 及影像處理軟硬體
2. UAS 航拍作業
3. UAS 影像處理作業

2.1 升級 UAS 及影像處理軟硬體

本案升級裝載於 UAS 上可接收雙頻以上之全球導航衛星(Global Navigation Satellite System，以下簡稱 GNSS)接收模組與慣性量測元件(Inertial Measurement Unit，以下簡稱 IMU)，並採購 DEM 製作與編修軟體。另針對 GNSS 接收模組 (Trimble BD970) 精度與模擬 UAS 快速移動下其接收狀況與精度進行研究測試。

本案藉由提升 UAS 酬載 GPS 之定位精度，並輔助 UAS 航拍影像之空中三角測量作業(以下簡稱空三)，以減少地面控制點人工布設與量測工作。在傳統的航空攝影測量作業方式，執行 GPS 輔助空三時必須於一個已知點上架設固定站，且飛機上移動站位置與主站間的距離不得超過 20 公里，依此方式用於 UAS 航拍時，需尋找一適當位置架設固定站。若配合國土測繪中心已經發展成熟的 e-GPS 電子化全球衛星即時動態定位系統技術，結合 GNSS 接收模組的功能，可節省已知點上架設固定站之流程，亦不須後處理即可得知 UAS 航拍時天線中心的軌跡。本案研究以 e-GPS 輔助 UAS 航拍影像進行自率光束法空三平差作業，並將進一步應用於 UAS 航拍影像製圖。在配合 e-GPS 的服務中，GNSS 接收模組需要收到修正訊號才得以進行 RTK 修正，如果 UAS 與 GCS 失去通訊，就無法使用 e-GPS 服務，因此本年度先在平原區使用該服務進行相關測試，用以確定系統之特性。

2.2 UAS 航拍作業

本案合計辦理 15 區航拍任務，航拍影像前後重疊率要求為 80%，側向重疊率 40%，重疊率誤差應在 15% 以內；影像解析度（地元尺寸）在 25 公分以內，成果精度並應符合基本圖測製規範要求。本案以 Canon 5D MKII 搭配 24mm 焦距之定焦鏡頭，在地面解析度需滿足至少 25 公分影像之條件下，飛行航高離地面平均海拔高度約 800 公尺。

表 1、UAS 航拍任務區域彙整表

編號	航拍區域	用途	需求機關 (單位)	面積 (公頃)	備註
1	苗栗縣卓蘭鎮	監測	經濟部水利署 工務組	693	
2	臺東縣太麻里	監測		651	
3	彰化二水、溪洲、雲林荊桐等	監測	經濟部水利署 水文組	4062	
4	彰化二水、溪洲、雲林西螺等	監測	行政院農委會 農糧署	300	
5	臺南市關廟砲校	開發監測	臺南市政府 地政局	1440	
6	高雄市仁武區	開發監測	高雄市政府 地政局	900	
7	桃園機場捷運 A7 站週邊土地	土地開發 監測	國土測繪中心	620	
8	花蓮縣壽豐鄉	局部圖資 更新	國土測繪中心	300	
9	花蓮縣壽豐 (新豐平大橋)	局部圖資 更新	國土測繪中心	300	
10	南投南崗工業區	相機成像 品質檢定	國土測繪中心	350	
11	苗栗縣後龍	海岸線最 低潮位線	國土測繪中心	300	
12	嘉義縣朴子東石(台 82 線)	局部圖資 更新	國土測繪中心	450	
13	南投縣和社溪	緊急災害 應變需求	國家災害防救 科技中心	210	
14	台中市 黎明重劃區	局部圖資 更新	國土測繪中心	300	
15	高雄市茂林區	監測	國土測繪中心	500	

2.3 UAS 影像處理作業

在15區航拍任務中，分別製作幾何糾正鑲嵌成果、正射影像以及向量圖成果。影像處理除幾何糾正鑲嵌成果外，依傳統航測方式辦理，地面控制測量部分需依基本圖測製規範辦理，以符合控制點精度需求，並進行空三計算、數值地形模型、正射影像製作等作業，同時針對局部區域範圍進行圖資修測或更新作業等。各航拍區影像處理之坐標系統於平面坐標系統採用TWD97坐標系，高程系統採用TWVD2001正高系統。影像處理過程中則使用國土測繪中心所提供以嚴密地面衛星定位控制測量方式完成空三平差的影像，於基高比大於0.3的立體像對中重複量測平面及高程坐標三次取平均值做為正射影像測製作業以及基本圖測製作業所需之控制點與檢核點。而控制點、檢核點之分布與點數則依據「101年基本圖測製說明」相關規定辦理，其中空三成果之檢核依據規定選取5個檢核點計算平面及高程之RMSE，而正射影像亦同樣選取至少5個檢核點檢核正射影像精度。

三、UAS 影像處理成果

3.1 緊急災害應變

本中心 UAS 團隊於 6 月 15 日接受國家災害防救科技中心緊急災害應變的任務，快速完成南投縣和社溪堰塞湖航拍作業，並立即製作影像成果（如圖 1），提供中央災害應變中心作災情研判的參考。在取得和社溪航拍影像後，影像處理時間約 2 個小時。另一方面，本次任務亦運用 UAS 側拍影像完成環景拼接影像成果（如圖 2），有利確認堰塞湖土石的由來。



圖 1、堰塞湖區域快速拼接成果



圖 2、堰塞湖區域空中之環景拍攝套疊成果

3.2 正射影像

本中心配合內政部針對桃園機場捷運線 A7 站週邊土地開發監測需求辦理協助航拍作業，測製正射影像成果，提供作為土地開發監測參考。航拍區域及影像處理作業說明如下：

桃園機場捷運線 A7 航拍區範圍約 620 公頃，地表平均高程約 220 公尺。影像資料共 7 條航帶，合計 235 張(分布狀況如圖 3)，地面解析力 GSD 約 15 公分。影像處理過程之空三平差採用 14 個地面控制點(分布狀況如圖 4)，7 個地面檢核點。處理過程中則使用嚴密地面衛星定位控制測量方式完成空三平差的影像，於基高比大於 0.3 的立體像對中重複量測量測平面及高程坐標三次取平均值獲取所需之地面控制點與檢核點。自率光束法空三平差檢核點各方向 RMSE 如表 2。

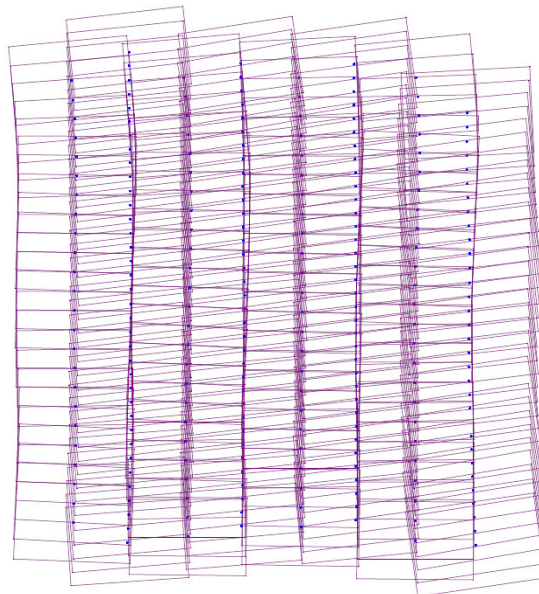


圖 3、桃園機場捷運線 A7 UAS 航拍影像分布圖

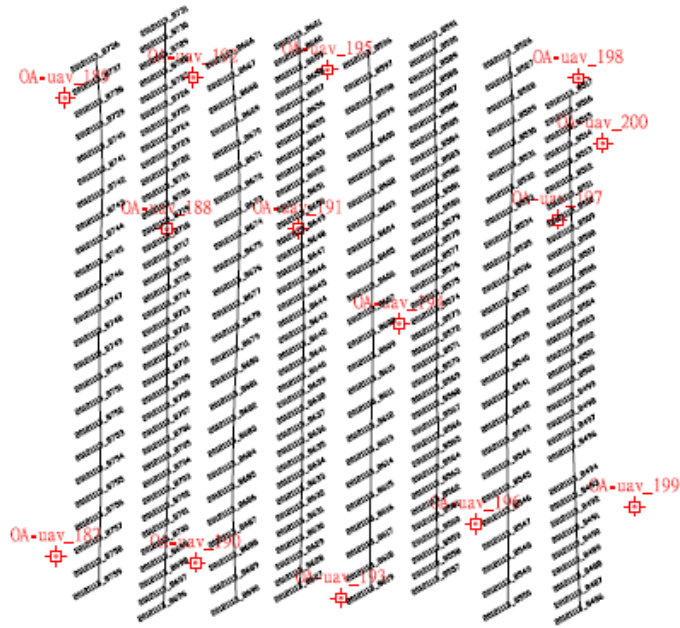


圖 4、桃園機場捷運航拍區控制點分布圖示

表 2、桃園機場捷運 UAS 影像自率光束法空三平差精度檢核表

點號	橫坐標較差	縱坐標較差	高程較差
A7-01	0.03	0.57	0.99
A7-02	0.38	0.30	0.03
A7-03	0.13	0.21	0.08
A7-04	0.41	-0.06	-0.02
A7-05	0.40	0.37	0.39
A7-06	0.25	0.13	0.48
A7-07	0.16	0.48	0.36
RMSE	0.29	0.35	0.46

單位：公尺

自率光束法空三平差後，自動匹配產生並經編修之 5m*5m DEM 成果（如圖 5）。

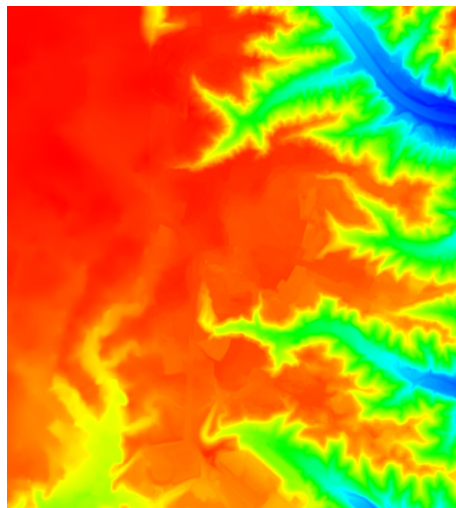


圖 5、桃園機場捷運 UAS 影像產製之 5m*5m 的 DEM

經正射糾正鑲嵌後的影像成果如圖 6。由圖上選取均勻分布的 5 個檢核點(如圖 7)進行檢核，得到如表 3 的精度檢核表。



圖 6、桃園機場捷運 UAS 影像產製之正射影像



圖 7、桃園機場捷運正射影像檢核點分布圖

表 3、桃園機場捷運影像鑲嵌圖的幾何精度檢核表 (單位：公尺)

橫坐標 E 之 RMSE	縱坐標 N 之 RMSE	平面 RMSE
0.54	0.36	0.65

3.3 基本圖測製作業

本區域配合 101 年度基本圖修測作業，因台 9 線拓寬工程跨越壽豐溪之新豐平大橋於 101 年 8 月 11 日通車，基本圖使用之航拍影像為 100 年 6 月 4 日航拍之舊影像，因此選定本區辦理航拍作業，並製作正射影像、數值高程模型、向量圖等成果以作為局部區域圖資更新使用。

花蓮壽豐橋航拍區範圍約 300 公頃，地表平均高程約 130 公尺。UAS 航拍時航高約 600 公尺，前後重疊率約 80%，左右重疊率約 45%，影像資料共 7 條航帶，合計 179 張(分布狀況如圖 8)，地面解析力 GSD 約 12 公分。以 GPS 輔助自率光束法空三平差之成果如下，空三平差過程採用 12 個地面控制點，5 個地面檢核點(分布狀況如圖 9)。處理過程中則嚴密地面衛星定位控制測量方式完成空三平差的影像，於基高比大於 0.3 的立體像對中重複量測量測平面及高程坐標三次取平均值獲取所需之地面控制點與檢核點。GPS 輔助自率光束法空三平差結果檢核點各方向 RMSE 如表 4。

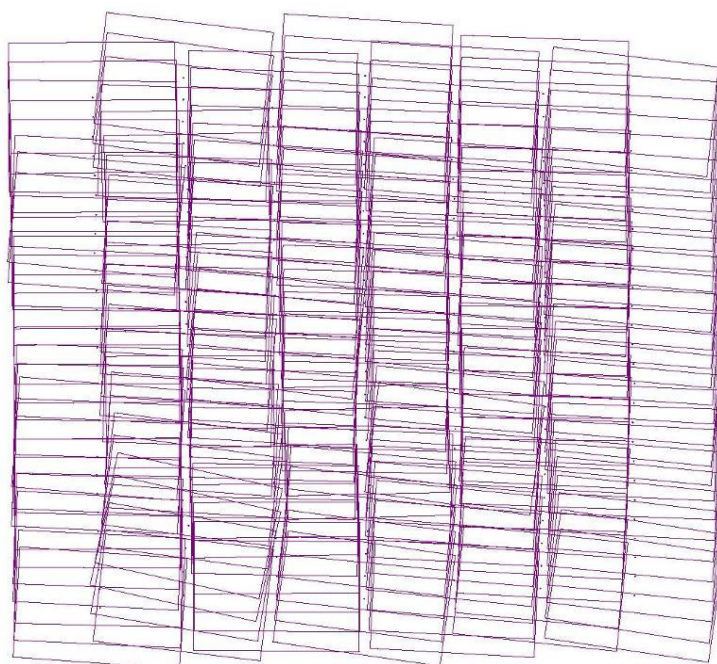


圖 8、花蓮壽豐新豐平大橋 UAS 航拍影像分布圖

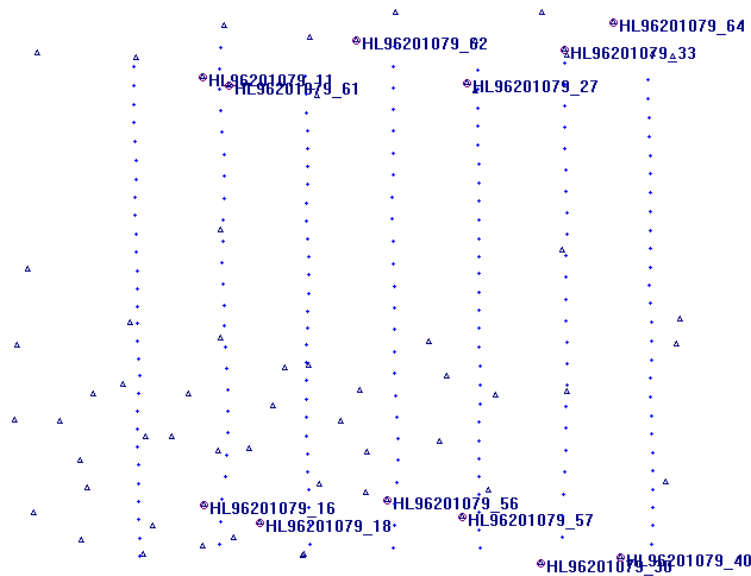


圖 9、花蓮壽豐橋 GPS 輔助自率光束法空三平差控制點分布圖示
 表 4、花蓮壽豐橋 UAS 影像 GPS 輔助自率光束法空三平差精度檢核表

點號	橫坐標較差	縱坐標較差	高程較差
HL96201079_46	-0.11	-0.01	-0.82
HL96201079_50	0.27	0.28	-0.20
HL96201079_53	-0.03	-0.13	-0.25
HL96201079_55	-0.23	0.02	0.36
HL96201079_58	-0.03	0.15	-0.13
RMSE	0.17	0.14	0.39

自率光束法空三平差後，自動匹配產生並經編修後之 5m*5m DEM (如圖 10)。

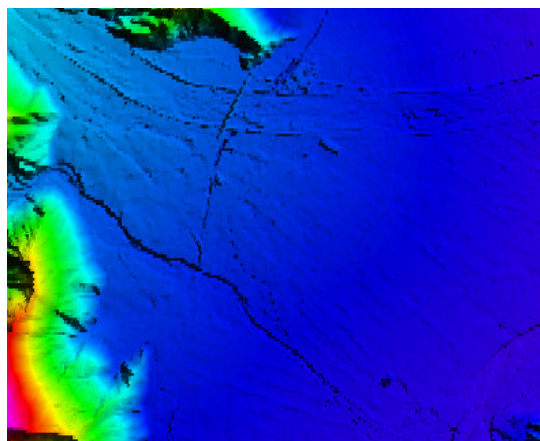


圖 10 花蓮壽豐橋 UAS 影像產製之 5m*5m 的 DEM

圖 11 是經正射糾正鑲嵌後的影像成果圖。在圖上選取均勻分布的 5 個檢核點(如圖 12)進行檢核，得到如表 5 的精度檢核表，橫坐標 E 之 RMSE 為 0.44 公尺，縱坐標 N 之 RMSE 為 0.32 公尺。

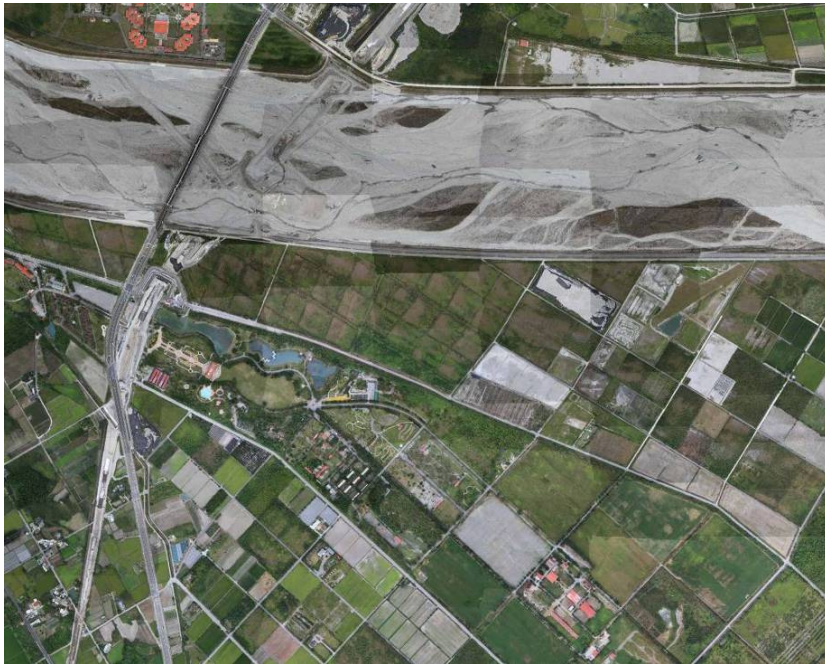


圖 11、花蓮壽豐新豐平大橋 UAS 影像產製之幾何正射糾正鑲嵌影像

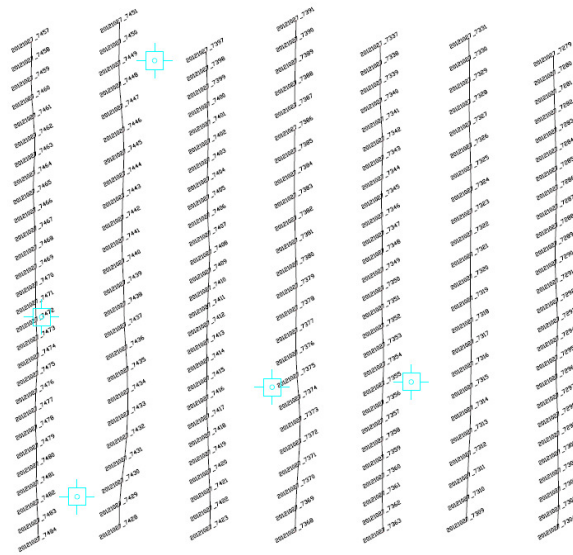


圖 12、花蓮壽豐新豐平大橋正射影像檢核點分布圖

表 5、花蓮壽豐橋正射影像鑲嵌圖的幾何精度檢核表 (單位：公尺)

橫坐標 E 之 RMSE	縱坐標 N 之 RMSE	平面 RMSE
0.44	0.32	0.54

由於 UAS 航拍使用的相機屬非量測型數位相機，雖經自率光束法空三平差改善機率定參數無法描述實際航拍時相機狀況之問題，但測圖過程中發現整張影像周圍之鏡頭畸變差仍存在且會影響立體測圖作業，因此本次測製過程中，嘗試以模型的有效測製範圍解決上述問題。所謂模型的有效測製範圍是由每兩相鄰影像以其中心 70% 涵蓋範圍所組成的模型，如圖 13 是一上下重疊的立體像對所組的立體模型，以第一張影像為中心的 70% 範圍為淺綠色、以第二張影像為中心的 70% 範圍為紅色，兩張影像 70%

範圍重疊的區域(即圖中虛線框所圍之紅色區域)即為模型的有效測製範圍。花蓮壽豐新豐平大橋 UAS 航拍影像以模型有效測製範圍立體測圖成果如圖 14 所示。

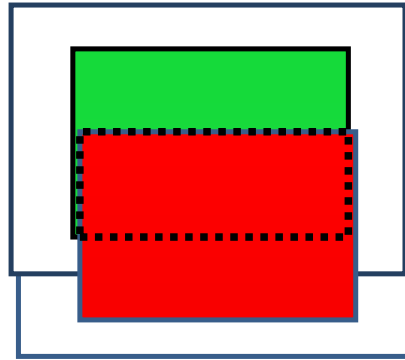


圖 13、UAS 航拍影像模型有效測繪範圍示意圖

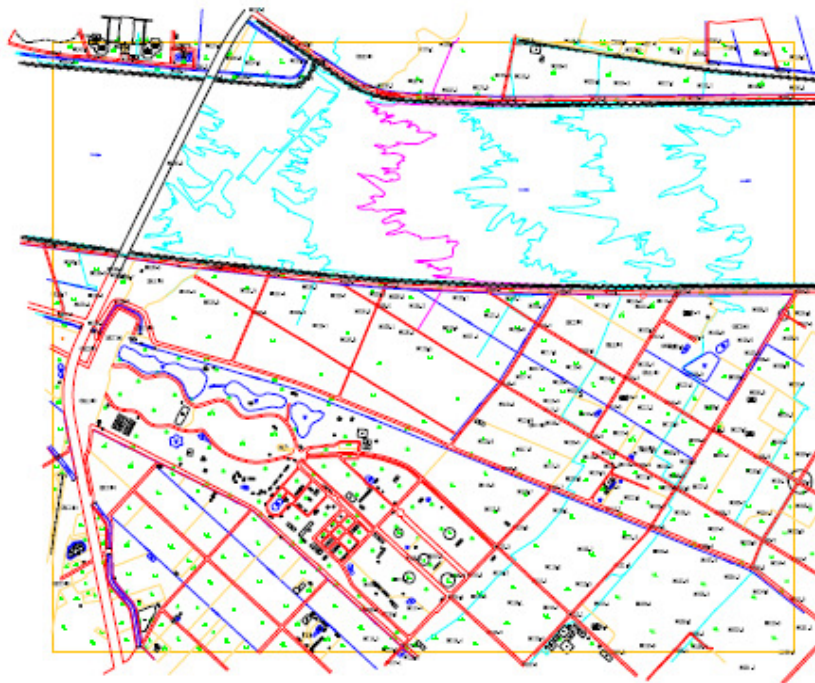


圖 14 花蓮壽豐橋 UAS 航拍影像立體測圖成果

四、結論與建議

在任務的執行上，本案完成15區之航拍任務，並取得相關原始影像。15區航拍區中，包含緊急災害應變與國土監測拍攝作業3區、正射影像測製作業9區、基本圖測製作業2區、航遙測感應器系統校正場航拍作業1區。其中緊急災害應變航拍業於101年6月15日由國土測繪中心首度配合救災作業，接受國家災害防救科技中心緊急災害應變的任務，並在本團隊配合下，快速完成南投縣和社溪堰塞湖航拍作業，立即製作成影像成果，提供中央災害應變中心作災情研判的參考，對於國內救災勤務發揮了高度的效用。

另外，正射影像測製作業有6個航拍區屬於協助航拍區，總計拍攝公里數約600公里，協助航拍面積達4,764公頃，初步達成運用國土測繪1號UAS協助其他政府機關進行航拍的目標。未來若持續由國土測繪中心協助相關需求機關航拍，不僅可增加政府各部

門橫向聯繫，由國土測繪中心統籌局部區域監測、開發監測等圖資需求，協調政府機關間航拍與影像處理作業，以國土測繪中心之UAS進行航拍取像及影像後處理，亦可以避免資源浪費，節省政府之經費支出。

本案完成UAS及影像處理軟硬體升級，所採購的BD970 GNSS接收模組業已完成功能測試，並於花蓮航拍區任務中首次啟用。e-GPS 整合GCS進行虛擬修正量上傳已完成地面測試，將實際上機測試e-GPS輔助UAS航拍影像之空中三角測量平差試驗，若能順利完成，將是國內首次採用e-GPS進行航拍的先例。

參考文獻

1. 內政部，2007，基本測量實施規則，中華民國九十六年十一月十五日。
2. 內政部國土測繪中心，2010(b)，研發廣域差分定位系統作業工作總報告書，中華民國 99 年 12 月。
3. 周尚弘，2005，GPS 與 INS 結合同軸數位量測相機之外方位精度分析，國立成功大學地球科學研究所碩士論文。
4. 魏瑞軒、李學仁，無人機系統及作戰使用，國防工業出版社，2009
5. Cox, T. H., Somers, I. and Fratello, D. J., 2006, "Earth observations and the role of UAS: A capabilities assessment version 1.1," Civil UAV Assessment Team, NASA, Hanover, MD.
6. Eisenbeiss, H., 2009, "UAV Photogrammetry", PhD. Thesis, Institute of Geodesy and Photogrammetry, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Switzerland.
7. Eugster, H. and Nebiker, S., 2008, "UAV-based augmented monitoring - real-time georeferencing and integration of video imagery with virtual globes," The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII, Part B1, Beijing, pp. 1229-1236.
8. Biler, M., Honkavaara, E. and Jaakkola, J., 1988, "GPS supported aerial triangulation using untargeted ground control", ISPRS Commission III Symposium, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 32(3/1) pp 2-9.
9. Grenzdörffer, G. J., Engel, A. and Teichert, B., 2008, "The photogrammetric potential of low-cost UAS in forestry and agriculture," The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII, Part B1, Beijing, pp.1207-1214.
10. Lin, Z., 2008, "UAV for mapping—low altitude photogrammetric survey," The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing, pp. 1183-1186.
11. Lowe, D.G., 1999. Object recognition from local scale-invariant features. In: Proceedings of the International Conference on Computer Vision, pp. 1150 - 1157, Corfu, Greece.
12. Lucieer, A, Robinson, S., Turner, D., 2011, "Unmanned aerial vehicle (UAV) remote sensing for hyperspatial terrain mapping of antarctic moss beds based on structure from motion (SfM) point clouds", Proceedings of the 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Australia.