

無人飛行載具掛載消費型攝影機應用於防災可行性研究

白絮成^[1] 劉益誠^{[2]*} 蕭宇伸^[1] 連惠邦^[3] 林秉賢^[4]

摘 要 無人飛行載具 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)發展技術日漸成熟，然透過 UAV 高空攝影技術可安全的、快速地蒐集地面景物資料，過去 UAV 系統多搭載具有高解像力之單眼相機進行拍攝，獲取高精度地面資料，本研究採用低單價消費型攝影機(GOPRO HERO3)進行高空 4K 動態攝影，其動態影像可快速且不間斷存取地面景物資料，錄影資料可連續拼接大圖、製作空中動(靜)720 度環景影像、正射影像、建構立體視圖及地形 DSM 等資料，搭配 Pix4Dmapper 影像處理軟體，獲取地面高程(DSM)資料，與同時期地面斷面測量資料相較誤差，平面精度 X 平均誤差 0.06 公尺，Y 平均誤差 0.03 公尺，Z 平均誤差 0.13 公尺，於一千分之一製圖標準，平面絕對精度須小於 25 公分之規定，高程精度須小於 30 公分之規定，應用於防救災需快速取得地面資料相對可行。

關鍵詞：無人飛行載具、消費型攝影機、Pix4Dmapper 影像處理軟體。

UAV Mount Consumer Camera Feasibility Study Applied to Disaster Prevention.

Chieh-Cheng Pai ^[1] Yi-Cheng Liu ^{[2]*} Yu-Shen Hsiao ^[1]
Hui-Pang Lien ^[3] Ping-Hsien Lin ^[4]

ABSTRACT UAV (Unmanned Aerial Vehicle) development technology matures, through UAV aerial photography can be safely and quickly gather information on the ground scenery, over the past UAV system is equipped with a high resolution of monocular camera to shoot, access high-precision surface data in this study use low-priced consumer camera (GOPRO HERO3) aerial 4K video, which the film can be fast and uninterrupted data access ground scenery, video data can be continuously mosaic big picture, making 720-degree panoramic videos and images, orthophotos, construct three-dimensional view and terrain information such as DSM, with PIX4Dmapper image processing software, get ground elevation (DSM) data, compared with the ground cross-section measurement data, X average error is -0.06 meters plane accuracy, the average error of Y is 0.03 meters Z average error was 0.13 meters in 1/1000 mapping standards, the absolute accuracy of the plane must be less than 25 cm of the provisions, required less than the specified height accuracy of 30 cm, can be applied to disaster prevention must to quickly get information from the ground.

Key Words: UAV, Consumer digital cameras, Pix4Dmapper.

-
- [1] 國立中興大學水土保持學系
Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichng 402, Taiwan
- [2] 逢甲大學營建及防災中心助理研究員 (* 通訊作者 E-mail: kenji700808@gmail.com)
Assistant Researcher. of Construction and Disasters Prevention Research Center, Feng Chia Universtiy, Taichung 407, Taiwan
- [3] 逢甲大學營建及防災中心
Research Assistant Professor. of Construction and Disasters Prevention Research Center, Feng Chia Universtiy, Taichung 407, Taiwan
- [4] 逢甲大學水利工程與資源保育學系
Professor, Dept. of Water Resources Engineering and Conservation, Feng Chia Universtiy, Taichung 407, Taiwan

一、前言

在天然災害發生時，往往需要即時災區之基本資料，其中包含正射影像、大範圍傾斜拍攝及地表三維模型，供救災單位進行應用及決策使用。無人載具除提供防救災外，更可提供應用於環境保護管理、環境監測、環境監察以及生態保護等多元資料(朱京海 2011)。天然災害發生時常受天氣及航線控管，造成傳統航測飛機無法於關鍵時間到達災害目的地，若未來能使用 UAV 高機動性、低單價及快速取得現地資料，為災區即時產製相關地形資料，方可補救決策者對於災害應變決策。

已往無人載具搭載感測器多為單眼數位相機，其造價昂貴、載重高，其單眼數位相機平均售價落於 3~4 萬元，重量約 1~2 公斤，嚴重影響無人載具飛行時間，今無人飛行載具具有高機動性、時效性高、操控所需天氣條件寬鬆，且高安全、可快速取得現地資料等優勢，故對於範圍較小監測、調查以及資料收集更新相當助益，應用廣泛。本研究採用低單價、低載重感測器，且以動態錄影模式，進行地表紀錄及測量，並探討其資料可行性。

二、UAV 影像處理可行性評估

1. 概述

本研究提出消費行相機動態錄影快速取得現地資訊，並透過地面已知控制點製作相關圖資，如連續拼接大圖、製作空中動(靜)720 度環景影像、正射影像、地形 DSM，與地面實測資料準確度 99.83%，提供防救災應用更加決策。各相關應用分述如下。

2. 斜拍鳥瞰影像

無人載具設備裝載無刷雲台，其設備主要功能為保持相機動態穩定以及調整鏡頭拍攝方式，藉由斜拍角度，擷取空拍範圍環境資訊，以能有效呈現整體環境現況，並能將斜拍鳥瞰資訊成為後續分析階段，如圖 1 為高雄市六龜區新開大佛，由空拍鳥瞰可清楚掌握保全戶、溪床、邊坡崩塌相對應關係。



圖 1 鳥瞰全區照片範例_高雄市六龜區新開大佛

3. 空拍環景建置(動、靜態)

環景一詞源自於 *panorama*，簡稱 *pano*。環景攝影的概念源自於利用電腦播放軟體，讓使用者能依需求，旋轉照片，產生一種有如身臨其境的視覺效果(維基百科, 2014)。無人載具可進行停懸作業，因此在正確的操作下可利用單台相機進行空中 720 度環景作業，拼接環景照片景需短短 15 分鐘內拼接完成，將高解析度影像利用環景技術製作成全景環繞場景，產生虛擬實境之效果，完整記錄重點地區之全貌，所提供的視覺效果遠比二維地圖佳，成果畫面如圖 2 所示。另動態方面，使用可裝載 6 台 GOPRO 極限運動動態攝影機機架，掛載於無人載具下方，於飛行過程同時錄影捕抓六面向動態資訊，後製專業軟體可將 6 面向動態資訊拼接一部全面像動態影片，可使用電腦免費撥放軟體撥放外，如圖 3 所示，亦可於平板電腦或手機觀看，而手機觀看時可透手機 G-Sensor 感測器進行互動體感，隨時瀏覽環境動態關係。

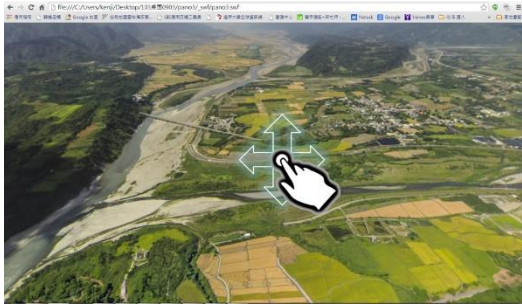


圖 2 720 度空中環景(靜態)_花蓮縣瑞穗鄉阿夜溪

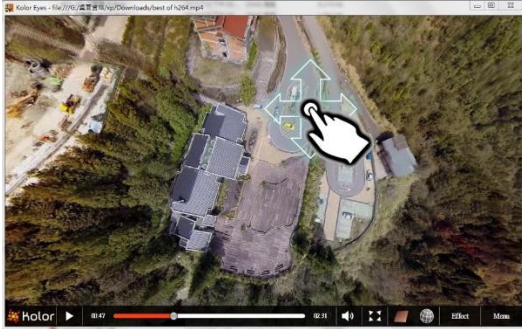


圖 3 720 度空中環景(動態)_宜蘭縣太平山莊

4. 航拍影像製圖

以實際航拍資料探討消費型攝影機動態錄影方式取得現地資料精度，以高雄市那瑪夏區旗山溪主流河道(其主流河段屬達卡努瓦里至瑪雅里，全長約 1.1 公里)作為試驗區。位置如圖 4 所示。

試驗過程選用含有 GPS 飛控系統，飛行高度穩定、動態 GPS 紀錄器、以及搭載高靈敏感測器塔羅無刷雲台，當載具於高空受擾動氣流能自我穩定拍攝方向，並以近垂直拍攝地面景物，整體研究流程圖如圖 5 所示。



圖 4 飛行範圍

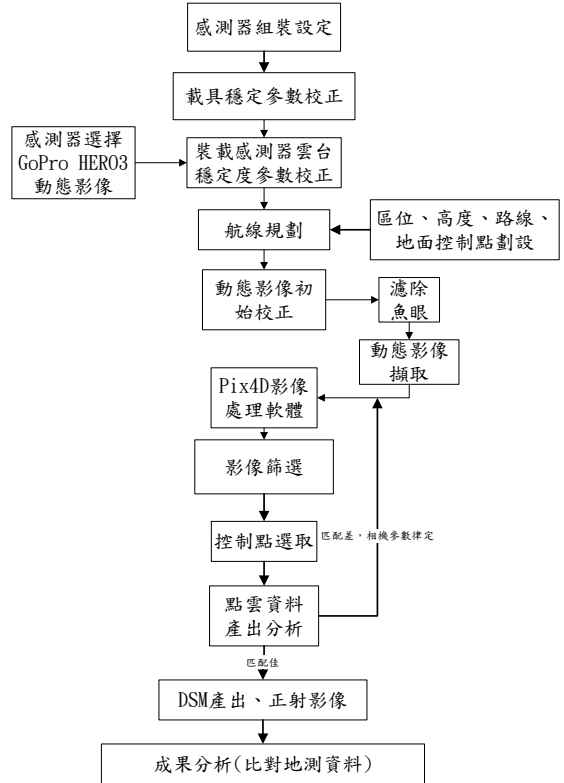


圖 5 航拍影像製作流程圖

(1) 多旋翼組裝設定

本研究使用之多旋翼機型為四軸無人載具，飛控則選用 dji 大疆 NAZA V2 系統，其為自裝設定相關飛控參數，包含俯仰、橫滾、航向角、垂直等參數設定，如表 1 所示，其參數值越大則表示操控性越靈敏。

表 1 飛控參數設定

項目	俯仰	橫滾	航向角	垂直
基礎	180%	180%	150%	150%
姿態	170%	170%	-	-

(2) 相機參數律定及魚眼濾除

空中影像拍攝，由於相機鏡頭像幅大小技術不夠，導致呈像不夠寬廣，單張影像不足以容納整個影像範圍，為了達成所需要的空拍場景，可能將空拍照片拍成數張片段場景之後，再將其接合起來，本研究使用 GOPRO HERO3 魚眼鏡頭，故必先對其呈像照片進行幾何校正，目前魚眼鏡頭視廠大概介訂於 170 度~270 度之間，呈像時需要考慮求面物體和平面像的共軛關係，光學系統理想的像高公式表示為：

$$h = f \times \tan\theta \quad (1)$$

其中 h 為理想像高， f 為系統物方焦距， θ 為物方視場半角。在公式(1)可知，當 $\theta = \pm 90^\circ$ 時， $h = \pm \infty$ ，像面變得無窮大且無法，所以魚眼鏡頭需要人為的加入桶形畸變，其變形被認為投影成像的結果，而不是由像差形成，魚眼鏡頭的桶形畸變對所成像清晰度未有明顯影響，導入固定的桶形畸變會改善魚眼鏡頭的像面照度的均勻性。使用之消費型相機為 Gopro HERO3 選取 4k/15fps 魚眼模式進行空中動態錄影，因魚眼模式所錄下之影片四周變形嚴重，故透過相關軟體濾除變形嚴重區域，濾除後之影片，透過影像截圖軟體取得每秒 1 張影像，由 Pix4Dmapper 重新率定相機參數及重複驗證修正係數，如表 2 所示。

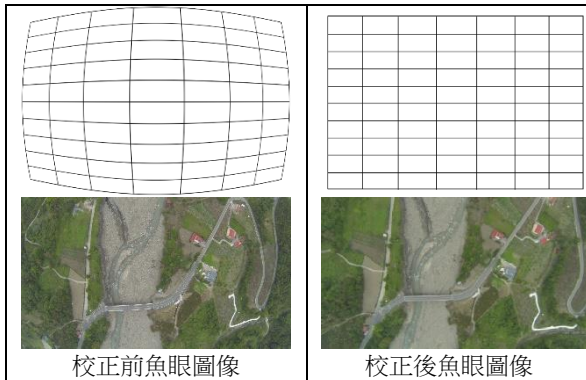


圖 6 魚眼校正範例

表 2 相機率定參數表

項目	內建	修正
相機感測器寬度(mm)	6.24799	6.24799
相機感測器高度(mm)	3.51449	3.51449
相數大小[μm]	1.62708	1.62708
相數大小(mm)	2.98	2.626
相機焦距 x(mm)	3.124	3.161
相機焦距 y(mm)	1.75725	1.655

(3) GPS 雙頻動態軌跡紀錄器(Venus858F-GL)

進行航拍時為了紀錄航拍器 Gopro HERO3 動態錄影位置資料，所搭載 GPS 紀錄器為雙頻動態軌跡紀錄器，如圖 7 所示，紀錄每一秒動態錄影格相片位置，而其 GPS 優點在於可同時接收 GPS/GLONASS 兩種衛星定位資訊，最佳精度可達 2.5 公尺，平均 29 秒定位完成，熱起動僅需 1 秒鐘。裝載位置於動態攝影機正上方約 11 公分，如圖 8 所示。

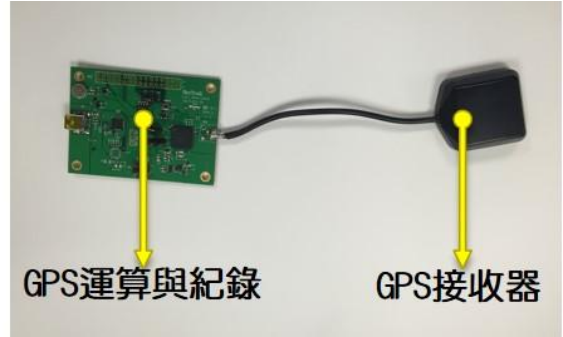


圖 7 GPS 雙頻動態軌跡紀錄器(Venus858F-GL)



圖 8 無人載具 GPS 雙頻動態軌跡紀錄器裝載位置

(4) 航線規劃與地面控制點布設

規劃航拍時首先考量單趟飛行時間、距離以及航拍面積範圍，單趟平均飛行時間約 17 分鐘，單趟飛行距離 1~2 公里，飛行高度最高可達 800 公尺，故航線規劃 2 條航帶，另因使用動態錄影形式(每秒 15 張靜態影像)前後兩照片資訊內容需重疊 70~80%以上，左右重疊率則以 50%，飛行高度 200 公尺，規劃位置如圖 9 所示。



圖 9 飛行規劃位置

進行空中三角測量平差時的平面與高程地面控制點(ground control point,GCPs)，於規劃位置前中後各設置一處，總計三處，位置如圖 10 所示。控制點位坐標以電子化全球衛星即時動態定位(RTK)系統 e-GPS 進行控制點量測，平面坐標系統採用 TWD97 坐標，高程坐標系統採用正高。

飛行路徑以人為影像回傳資料控制航線循跡，並以近垂直進行航空動態錄影，將影片截取空拍影像套入於 Pix4Dmapper 中，在以人工挑選影像平面與高程地面控制點(ground control point,GCPs)，總計挑選 3 處地面控制點，檢核點位 5 處，再以 Pix4Dmapper 自動量測連結點的功能增加連結點數，製作之成果與人工測量斷面進行比對高程誤差精度，因成果資料包含地表所有資料，如植被、水面、建築物、道路以及河床裸露地等資料，而人工斷面測量所量測資料維裸露地區域，故比較精度值僅探討河床裸露地。

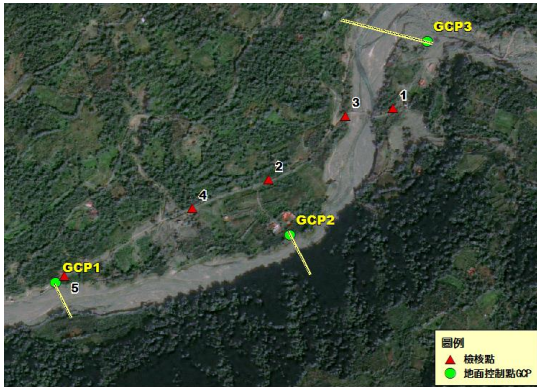


圖 10 地面控制點位及檢核點位置

(5) 精度檢核

A. 人工測量斷面

檢核斷面使用上述地面控制點(ground control point,GCPs) 搭配採用 TOPCON GTS-226 電子光波測距經緯儀進行大斷面測量，總計測量三斷面，分別位於 3 處控制點，檢核斷面位置如圖 10 所示。各斷面檢測資料如圖 11~13 所示。檢測成果 GCP1 斷面裸露地平均誤差 0.17 公尺，標準偏差 0.12 公尺；GCP2 斷面裸露地平均誤差 0.12 公尺，標準偏差 0.10 公尺；GCP3 斷面裸露地平均誤差 0.43 公尺，標準偏差 0.18 公尺。三斷面檢核以 GCP2 斷面誤

差最小，GCP3 斷面誤差最大，由上述資料顯示製作之地形資料越往中間值精度越佳，越邊緣精度相對較差。

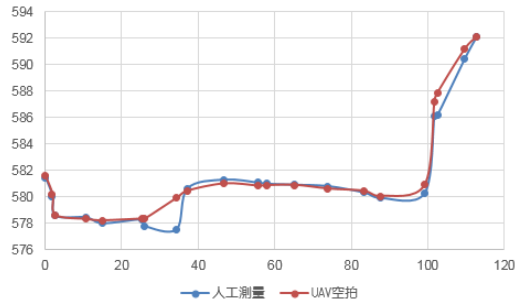


圖 11 GCP1 斷面檢測

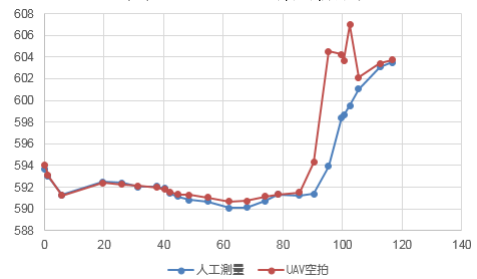


圖 12 GCP2 斷面檢測

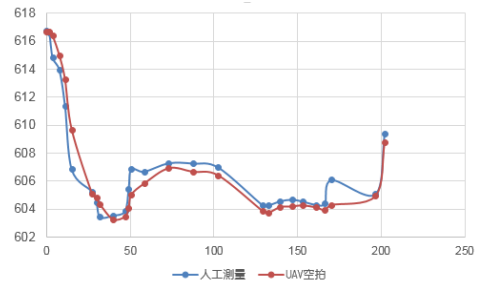


圖 13 GCP3 斷面檢測

B. 控制點位

航空攝影測量時點選 3 處地面控制點，控制點位坐標以電子化全球衛星即時動態定位(RTK)系統 e-GPS 進行控制點量測。3 處地面檢核點如圖 10 所示，X 平均誤差 0.05 公尺，標準偏差 0.1 公尺；Y 平均誤差 -0.04 公尺，標準偏差 0.1 公尺；Z 平均誤差 0.20 公尺，標準偏差 0.43 公尺。地面控制點誤差如表 3 所示。

表 3 地面控制點誤差表

點位	誤差值		
	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	-0.017	-0.010	-0.151
2	-0.002	0.062	-0.032
3	-0.005	-0.090	0.171
平均誤差	0.045	-0.044	0.206

標準偏差	0.099	0.096	0.433
------	-------	-------	-------

B. 檢核點位

航空攝影測量時點選 5 處地面檢核點，其篩選原則以易變動之控制點如道路、橋梁等區域。五處地面檢核點如圖 4 所示，X 平均誤差-0.06 公尺，標準偏差 0.05 公尺；Y 平均誤差 0.03 公尺，標準偏差 0.09 公尺；Z 平均誤差 0.13 公尺，標準偏差 0.25 公尺。地面檢核點誤差如表 4 所示。

表 4 地面檢核點誤差表

點位	誤差值		
	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	-0.1115	-0.0958	-0.1974
2	0.0001	0.1504	-0.5144
3	-0.0858	0.0524	0.0551
4	-0.0123	0.0062	-0.1186
5	-0.0921	0.0165	0.1252
平均誤差	-0.0603	0.0259	-0.1300
標準偏差	0.0505	0.0887	0.2501

(6) 影像製圖

透過上述步驟與流程可生產正射影像、地形資料(DSM)，正射影像及地形資料主要用途為分析前後時期環境變遷分析、地形變動分析、量測目標物平面尺寸、套匯 GIS 相關圖層，相關圖資如圖 14~16 所示。



圖 14 正射影像製圖成果



圖 15 正射影像前後時期套匯

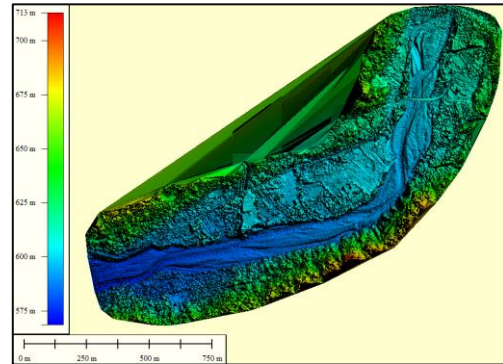


圖 16 DSM 製圖成果

5. 建構立體視圖

利用照片率定方法取得相機內方位參數，搭配外方外空間資訊，進行地表量測，運用三角測量為基礎，使用相機向特定物體進行不同角度拍攝，經計算後可獲得該量測區三維立體模型。使用該技術主要的關鍵在於取得飛行載具，拍攝時的姿態角以及記錄當時飛行照片坐標，並經由計算取得目標物的資訊。

如下圖為透過 UAV 無人載具進行多角度拍攝下取得高雄市那瑪夏區達卡魯瓦里民生大橋測量製圖成果，測量製作結果，除了提供視覺化呈現外，亦可掌握環境整體概況，由圖可明顯瞭解河道水流流向與邊坡相對應關係。



圖 17 建構立體視圖_近景攝影量測

三、成果與討論

本研究主題以簡易消費型攝影機進行空拍任務，所取得資料進行防救災可行性研究，而它具有下列優點：

- (一)透過無人飛機可以即時掌握現地資訊。
- (二)由影像後處理可量測套匯地表相關資料，如環境變遷、地形變動、溪床坡度等。
- (三)取用高畫質影像瞭解不易到達環境概況，如構造物調查、邊坡崩塌地等。
- (四)720 度影像拼接，掌握前後時期環境比對。
- (五)後製快速影像拼接，即時傳輸現地概況以及災前災後套匯。

缺點有：

- (一)飛行時間受電池限制影響。
- (二)天氣不穩拍攝成果不佳及風速過大無人載具易失控

過去無人載具採高單價感測器及飛行器進行地面空間量測，相關費用開銷相對重，本研究使用機動性高、低成本 UAV 無人載具進行大面積觀測，除可降低成本開銷外，所獲得影像資訊並未因採用低成本感測器造成精度不佳，本研究所製作精度地形高程平面精度 X 平均誤差-0.06 公尺，Y 平均誤差 0.03 公尺，Z 平均誤差 0.13 公尺，於一千分之一製圖標準，平面絕對精度須小於 25 公分之規定，高程精度須小於 30 公分之規定，應用於防救災需快速取得地面資料相對可行。

參考文獻

1. 朱京海(2011)无人机遥感系统在环境保护领域中的应用研究，環境保護與循環經濟，09-0045-04。
 2. 曾義星 (1997) 航空攝影測量如何邁向資訊時代，航測及遙測學刊，2(1):103-112。
 3. 謝幸宜(2013)以自率光束法提升四旋翼 UAV 航拍影像之空三平差，航測及遙測學刊，16(4):245-260。
 4. 蘇伯軒(2013)無人載具系統(UAS)航拍應於高精度製圖的可行性研究，社團法人中華水土保持學會。
 5. 維 基 百 科 ，
<http://zh.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:%E9%A6%96%E9%A1%B5>(2014).
 7. Bay H., 2006,From Wide-baseline Point and Line Correspondences to 3D. Ph.D. Thesis, ETH Zurich.
 8. Bay H., Fasel B., van Gool L.,2006, Interactive museum guide: fast and .
 9. Simard P., Bottou L., Haffner P. et al.1999, Boxlets, A fast convolution algorithm for signal processing and neural networks, Advances in Neural Information Processing Systems.
-