

# 利用多軸無人飛行載具製作大比例尺地形圖之研究

林迪詒<sup>1</sup> 謝嘉聲<sup>2\*</sup>

## 摘要

隨著科技進步，多軸無人飛行載具(Multi-Rotor Unmanned Aerial Vehicle, MUAV)發展漸趨成熟，目前已應用在許多領域上(如農業、能源、新聞媒體等)，其中在航空攝影測量的應用已有許多成功的案例發表。但因其載體小且搭載消費型相機，因此在執行航拍的過程中易受環境影響，造成航線傾斜、偏移、航高不一致之現象，且因飛行高度低，造成拍攝影像圖幅小、數量多及鏡頭畸變差不穩定等問題。為解決上述問題，本研究透過計算機視覺方法的從運動中回復結構(Structure from Motion, SFM)和密匹配演算法中以區塊為基礎之多視立體(Patch-based Multi-view Stereo, PMVS)方法進行影像處理，可快速從序列影像中，計算影像的內外方位參數並產製稠密點雲。本研究利用 MUAV 拍攝 1 cm 地面解析度之影像，並根據解析度需求進行航線規劃及影像處理。研究區為高雄市鳳山舊無線電信所，區域內有房屋、道路等建物，屬於平坦地形，最高建物高度為 9 m，最後並以地形圖檢核的程序進行檢核，驗證應用無人飛行載具搭配消費型相機進行航空攝影測量亦可提供高精度的地形圖。

**關鍵詞：**多軸無人飛行載具、大比例尺地形圖、運動中回復結構、區塊為基礎之多視立體

## 1. 前言

無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)成本低、機動性高及可重複利用的優點，使其迅速應用到民生和科學研究的領域，相關的研究成果如農業方面(Haarbrink & Eisenbeiss, 2008)、森林火災的監測(Ollero & Merino, 2006)、考古(Eisenbeiss & Zhang, 2006)等應用。其中 Everaerts *et al.* (2004)的研究評估出 UAV 為最實用的遙測工具，並指出 UAV 的應用創造一個新的遙測市場(Everaerts & Lewyckyj, 2011)。

UAV 體積小、重量輕，飛航過程中容易受到環境、風力影響，造成飛行路徑不穩定、重疊率不一致及影像傾角較大等問題，使 UAV 的飛航穩定度無法與傳統航拍相比，也因搭載消費型相機存在較大的鏡頭畸變差。

為解決 UAV 影像上述特有的問題，才能使二

維影像可重建出三維空間資訊，影像重建技術必須具備內外方位參數，因此本研究透過計算機視覺方法的演算法，由相機以移動的方式進行拍攝，移動過程利用不同視點產生的視差，計算影像與場景之間的關係，得到場景的三維結構，並可自動計算出相機的內外方位參數(Tsingas, 1992、Seitz *et al.*, 2006)。Rosnell & Honkavaara (2012) 比較傳統攝影測量與 SFM 方法處理 UAV 影像的差異，指出傳統攝影測量方法，對於低空和高重疊率影像較易出現匹配失敗的問題，建議以 SFM 方法較適合處理 UAV 拍攝的影像。但 SFM 重建出的點雲為稀疏點雲，稀疏點雲無法完整描述三維模型，因而結合密匹配演算法中，以區塊為基礎之多視立體 (Patch-based Multi-View Stereo, PMVS)作為獲取稠密三維點雲之方法。利用 SFM 配合 PMVS 方法產製三維點雲相關的研究有蔡依庭(2012)利用定翼機拍攝台北

<sup>1</sup> 國立高雄科技大學土木工程系 博士班研究生

<sup>2</sup> 國立高雄科技大學土木工程系 副教授

\*通訊作者，電話: 07-3814526#15245, E-mail: hsieh@cc.kuas.edu.tw

收到日期：民國 105 年 03 月 31 日

修改日期：民國 105 年 07 月 12 日

接受日期：民國 107 年 05 月 24 日

大學旁植被區及土石區之照片計算出三維點雲，翁捷晞(2013)於航拍遮蔽區獲取完整的三維地形資訊，李怡蓁(2014)重建出高雄舊火車站三維資訊，林迪詒(2015)利用自行組裝多軸無人飛行載具，探討不同對地解析度對於成圖精度的影響。

Harwin & Lucieer (2012) 研究指出根據良好的影像拍攝及地面控制點分佈，所產製的三維點雲其平面絕對精度約為 1 至 2 倍的 GSD、高程絕對精度約為 2.5 至 4 倍的 GSD，Haala *et al.* (2013) 也指出越小 GSD 利用 SFM 演算法處理的精度越好。

本研究的實驗區為海軍鳳山無線電信所，利用 UAV 搭配消費型相機進行拍攝，藉由 SFM-PMVS 演算法處理航拍影像，並輸出正射影像圖和數值地表模型，並檢核正射影像圖和數值地表模型成果。

## 2. 研究方法

### 2.1 四軸無人飛行載具及相機設備

本研究以四軸無人飛行載具進行拍攝作業，因多軸無人機可垂直起降，方便航拍作業使用。為確保拍攝作業過程及飛航的安全性，利用自行組裝的四軸無人機(如圖 1)進行拍攝。本四軸無人機軸距為 75 cm，配備自主飛行器及導航用 GPS，並搭配 6S 12000 mAh 電池作為電力輸出，續航力 25 分鐘。機載雲台選擇二軸雲台，因拍攝影像僅需垂直拍攝，因此只要穩定 Roll、Pitch 姿態即可符合拍攝需求，且二軸雲台較三軸雲台輕量化，可增加機體續航力。雲台上搭載 Canon EOS M 相機，相機搭配 EF-M 22mm f/2 STM 的定焦鏡，且將焦距調整為無限遠定焦。拍攝過程為避免震動模糊選擇快門先決模式，拍攝參數設定快門 1/1000 秒、ISO 值 100、像素 1 千 8 百萬(5184 × 3456 Pixel)。本研究所設定快門和 ISO，為先前經驗中最清晰之設定參數。

計算影像移動量為曝光時間(1/1000 sec) × UAV 航速(4 m/sec) × 影像比例尺(22 mm / 50

m)= $1.76 \times 10^{-3}$  mm= 0.4 Pixel，本研究使用的相機為 CMOS 影像感應器，經由電子訊號處理過程，可讓影像變得更明快、更加清晰，可以減少曝光模糊問題。



圖 1 自行組裝四軸無人飛行載具

### 2.2 SFM-PMVS 處理方法

研究中的影像是經由相機記錄空間的訊息，而影像在直覺上可得知內容為二維，因此相機能將原本屬於三維空間的資訊轉換成二維，轉換過程從模擬針孔成像的簡單描述，演變到實際鏡頭成像的透視投影方法。

利用 SFM 演算法的目的就是要計算出三維點和拍攝影像時相機參數，計算過程先由 SIFT(Scale-invariant feature transform)提取影像特徵點，利用影像匹配建立影像間基礎矩陣關係，再挑選出一組像對做為初始像對，初始像對由 SVD 分解出相機參數、稀疏三維點雲，逐步將每幅影像加入分解計算並加入光束法平差，求得每一幅影像拍攝時相機參數和稀疏點雲。

由 SFM 演算法計算出場景為稀疏點雲，但稀疏點雲無法詳細描述物體的形狀，因此將影像經密匹配成稠密點雲，本研究選擇較廣泛使用的 PMVS 方法(Furukawa *et al.*, 2010)進行處理，其處理方式為將 SFM 的稀疏點進行對應、擴展、過濾，計算出稠密點雲。

### 2.3 數值地表模型(DSM)和正射影像圖

本研究之影像解析度較高，由 PMVS 產生的點雲數量龐大，且在建物邊緣會有密集的點雲產生。因此本研究產製 DSM 的方法，為先利用點雲

高度及密集度判斷建物邊緣，將點雲組成有建物邊界的不規格三角網(3D TIN)，再將網格內建物邊界部分強制垂直於地面，可組成與現況較符合之 DSM，本研究中使用產製 DSM 的方法，是全自動化的判斷出建物邊緣中心組成網格。設定 DSM 網格尺寸為 1 cm × 1 cm GSD 輸出，構成精細地表資訊模型。

因拍攝影像具有足夠的影像涵蓋率，配合產製的 DSM，糾正拍攝的原始影像為正射影像，輸出的正射圖解析度為 1 cm × 1 cm GSD。

## 2.4 繪製地形圖

單純以正射影像圖人工描繪邊界時，不易清晰判斷地類邊界狀況，在此利用地物的高度，先以 DSM 產製等高線，使地物類別邊緣會有等高線線條，因此將等高線條套疊正射影像，協助人工判斷邊界。

因等高線的間距在地形圖的表達上需條條清晰可辨，且要盡可能的清楚描繪地貌起伏變化，本研究中依比例尺計算得 6 cm 間距產製等高線，在實務過程大部分地物的高差(建物、花圃、圍牆)會大於 6 cm，大部分等高線在建物、花圃、道路區都可提供良好邊界參考。但部分等高線如草地、樹木以及建物被樹木遮蔽處會出現重疊狀況。

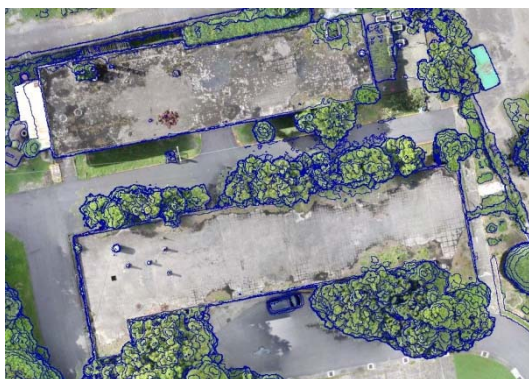


圖 2 等高線套圖於正射影像

## 3. 研究區介紹和資料處理

### 3.1 研究區域

本研究區位於台灣高雄市鳳山區，其早期為

無線電信所，現今已成為國定古蹟，開放一般民眾參觀。研究區內主要地物為建物、道路、圍牆、樹林、農作物和植生，區域為平坦地形，最高建物高度為 9 m，實驗區域範圍為 750 m × 480 m，面積約為 36 公頃。

該區內無線電信塔臺早已被破壞，為量測出無線電信塔臺的位置，未來可以在該位置上重建當年塔台，作為觀光發展使用，需要有大比例尺地形圖作為開發使用之依據。

在利用 UAV 航拍製作地形圖之作業中，在研究區內佈設 12 個航標點，航標為圓形紅黑相間塑膠板，直徑為 21 cm，21 cm 為 A4 紙張尺寸，方便製作使用，其中 6 個為全控點、其餘 6 個為檢核點，航標點樣式如圖 3 所示。



圖 3 航標點樣式圖

量測航標點方式，是先利用 GPS 量測建物頂樓和門口兩點坐標為控制點，再於建物頂樓架設全站儀，利用門口點位當後視已知點，後續觀測 12 點航標點之位置，點位分佈如圖 4 所示。

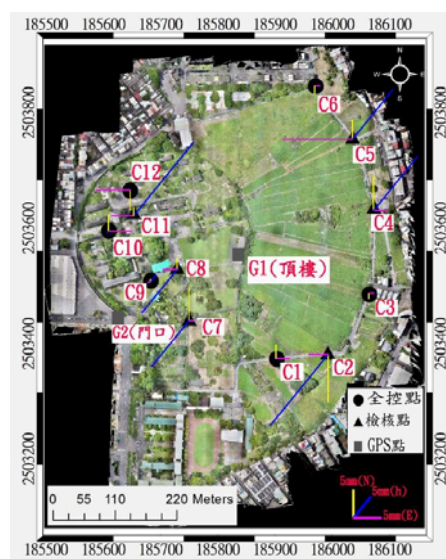


圖 4 研究區現況與航標點分佈及量測誤差圖

## 3.2 航線規劃

### (1) 飛航高度

通常 UAV 搭載的相機為消費型相機，每一款相機的焦距、解析度都不同，且隨著拍攝距離的改變其成像幾何會變化。因此在進行航高設計及飛行路線規畫前，先考量成圖比例需要的 GSD 大小，並透過相機的幾何條件計算航高。以本研究使用的 Canon EOS M 相機為例，其搭載的鏡頭焦距為 22 mm，感光元件上每一像素尺寸為 4.38  $\mu\text{m}$ 。本研究設計 1 cm GSD，推算航高為 50 m。

### (2) 影像重疊率

由本研究的機體飛航經驗得知，當水平速度為 4 m/s 時，為電量損耗及拍攝穩定度較佳的設定，且相機拍攝影像後存儲至記憶卡需要 1 秒時間，才能執行下一張影像拍攝，因此考量上述因素，本研究中最短攝影基線為 4 m，以航高 50 m 進行計算得最高前後重疊率為 88.35%，為使拍攝影像作業有些許緩衝，選擇前後重疊 85%、側向重疊 75%。

## 3.3 執行航拍作業

以地面站系統 Ace Waypoint 結合 Google Earth 地圖進行航線規劃，航線規劃成果如圖 5。飛航任務規劃完成後，由地面站系統與 Google Earth 結合可判斷是否為禁航區，並判斷機體飛航過程是否會撞擊高處地形，再確認航線規劃安全後，執行全自動的起飛和降落。

在製作大比例尺地形圖時，因其 GSD 要求較高，使對應的飛行高度較低，故越低的航拍為滿足重疊率需更多航帶，造成飛航時間增加。飛航過程中，依機體續航時間及安全返回考量，每一顆電池飛行約為 20 分鐘。執行拍攝前，先將全部飛行路線整體規劃完畢，再依 20 分鐘進行航線切割，本研究區實際拍攝時間為 6 小時，共拍攝 3,008 張影像。

為瞭解影像的分辨率，由航拍所得影像中，挑選影像內有拍攝到斑馬線、停車格等、明顯道路標線的影像，計算 MTF 在 20 lp/mm 平均為 0.85，

模糊參數值為 0.8 Pixel，。



圖 5 航線規劃圖

## 3.4 影像處理

拍攝之影像採用以 SFM 演算法為架構之 Agisoft PhotoScan Pro 商業軟體進行處理，處理程序首先將航拍的序列影像，透過 SFM 計算出影像的場景和內外方位初始值，再由手動方法從序列影像中，挑選出有航標點之影像，加入該航標點的坐標值。本研究實作中共有 12 個航標點，其中 6 個作為全控點、6 個作為檢核點進行光束法平差，點位分佈如圖 4。

由 SFM 演算法獲得的點雲為稀疏點雲，提供 PMVS 演算法執行對應、擴展、過濾等處理過程，從稀疏點計算出稠密點雲，最後再將點雲錯誤點(地表以下點、最高建物以上點)消除，產製有效點雲共 353,737,580 個點。大部分地物點雲分布均勻，僅位於樹木、草地區域的點雲較稀疏。

將點雲以 Kriging 內插法組成不規格三角網，建置出研究區的 DSM，原始影像再根據 DSM 糾正得正射影像圖。本研究以 1 cm GSD 解析度製作正射影像圖及 DSM，其成果可供後續繪製地形圖使用。

## 4. 成果分析

### 4.1 航標點精度分析

本研究航標點之坐標分別利用全站儀及 UAV 影像以 SFM 方法處理獲得。首先利用 GPS 量測位於門口和建物頂樓的兩個控制點(圖 4)。因測區範圍小，為量測方便，於頂樓控制點架設全站儀後視門口已知點，直接量測全區航標點坐標。在量測過程中並探討不同距離所造成的平面及高程誤差。

本研究採用的全站儀為 Nikon DTM-322，儀器的測距精度為 $\pm(3\text{mm}+2\text{ppm} \times \text{量測距離})$ 、最小讀數為 1"。現場觀測最遠航標的距離約為 300 m，並考量人為和環境誤差，假設角度觀測標準差為 5"，以誤差傳播計算其平面、高程誤差，得平面精度為 0.024 m，高程精度為 0.046 m。

經上述方法量測 12 個航標點，其中 6 個航標點作為全控點、另 6 個作為檢核點。控制點計算結果如表 1 所示，平面 RMSE 為 0.007 m，高程 RMSE 為 0.001 m，整體控制點精度為 0.008 m。

本實驗影像 GSD 為 1 cm，所得控制點精度約為 0.8 倍 GSD。檢核點計算結果如表 2，平面 RMSE 為 0.010 m，高程 RMSE 為 0.026 m，整體檢核點精度為 0.030 m，約為 3 倍 GSD。控制點、檢核點之坐標差值顯示如圖 4。圖 4 中將全控點坐標差值、檢核點坐標差值透過向量表示，黃色向量為 N 方向的坐標差、洋紅向量為 E 方向的坐標差、藍色向量為 H 方向的坐標差。

表 2 結果顯示檢核點的坐標檢核較差，經分析可能因 6 個檢核點中，有 3 個位於控制點範圍外(C2、C4、C5)，所以產生較大平面誤差，但因誤差仍在觀測誤差範圍內，故仍視為可接受的值，因此並無剔除誤差較大點。

### 4.2 製圖檢核

本研究以繪製 1/250 比例尺地形圖，參考 1/1000 地形圖規範(內政部國土測繪中心，2011)，有關地類內容參照 1/1000 地形圖示規定，不足使用部分使用文字進行註解，對於不同主體縮編，則依據該地區需求進行繪製。

表 1 控制點坐標檢核表(單位：m)

點號	UAV 量測坐標			實際全控點坐標			坐標較差		
	N 坐標	E 坐標	H 坐標	N 坐標	E 坐標	H 坐標	$\Delta N$	$\Delta E$	$\Delta H$
C1	2503374.424	185903.666	15.304	2503374.419	185903.663	15.304	0.005	0.003	0.000
C3	2503485.466	186064.921	15.226	2503485.468	186064.919	15.226	-0.002	0.002	0.000
C6	2503846.110	185971.241	14.942	250384.614	185971.239	14.942	-0.003	0.002	0.000
C9	2503508.984	185683.521	14.809	2503508.983	185683.524	14.808	0.001	-0.003	0.001
C10	250359.600	185610.022	14.678	2503596.294	185610.014	14.679	0.006	0.008	-0.001
C12	2503665.469	185646.885	14.382	2503665.476	185646.897	14.382	-0.007	-0.012	0.000
各方向均方根誤差(RMSE)							0.004	0.006	0.001
總均方根誤差(Total RMSE)							0.008 m		

表 2 檢核點坐標檢核表(單位：m)

點號	UAV 量測坐標			實際檢核點坐標			坐標較差		
	N 坐標	E 坐標	H 坐標	N 坐標	E 坐標	H 坐標	$\Delta N$	$\Delta E$	$\Delta H$
C2	2503384.406	185992.720	15.326	2503384.423	185992.727	15.359	-0.017	-0.007	-0.033
C4	2503637.564	186073.900	15.352	2503637.552	186073.895	15.327	0.012	0.005	0.025
C5	2503758.239	186035.924	15.090	2503758.232	186035.949	15.047	0.007	-0.025	0.023
C7	2503443.482	185750.734	14.984	2503443.470	185750.732	15.005	0.012	0.002	-0.021
C8	2503531.737	185729.964	14.888	2503531.733	185729.969	14.908	0.004	-0.005	-0.020
C11	2503627.486	185653.737	14.680	2503627.483	185653.745	14.646	0.003	-0.008	0.034
各方向均方根誤差(RMSE)							0.010	0.010	0.026
總均方根誤差(Total RMSE)							0.030 m		

為進行製圖成果的檢核，從正射影像圖、DSM 中分別挑選出 50 個平面點和 50 個高程點，其位置包含建物邊角、水溝蓋邊角、道路交叉處、花園、階梯及地面特徵處，並與現地使用全站儀量測坐標值進行比較。

檢核後得平面絕對精度為 4.0 cm，平面最大值誤差為 5.3 cm，該點位於建物邊角點；高程絕對精度為 3.9 cm，高程最大誤差值為 6.0 cm，該點同樣位於建物邊角點上。

檢核平面和高程的分布位置如圖 6 所示，黑字十字形為檢核高程點位置，綠色菱形為檢核平面坐標位置。

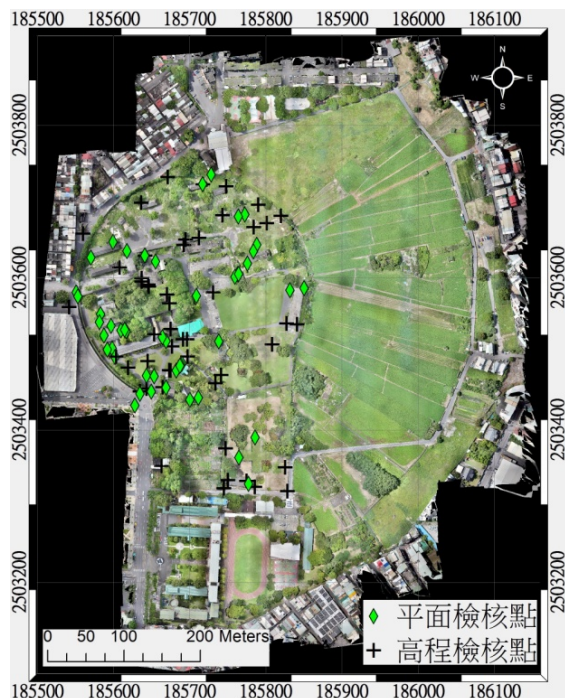


圖 6 檢核絕對坐標點分佈圖

## 4.3 全站儀量測和 UAV 製圖作業比較

### 4.3.1 作業時間比較

研究區總共佈設 12 個航標點，航標點為塑膠材質，需要人工在現場使用釘子固定，固定後以全站儀進行量測作業，固定航標和量測時間共 2 小時。UAV 研究區拍攝含更換電池時間共 6 小時，拍攝後的影像處理時間為 36 小時，綜合整體飛航

拍攝和處理時間共 44 小時，上述過程中僅於地面量測航標點時需 2 人作業，其餘飛航和影像處理由 1 人即可作業。

以全站儀量測作業需三人為一組，以一天 8 小時的現場測量作業，本研究區需要 5 天時間。因此從作業過程得知透過 UAV 拍攝影像提供較多資訊，更方便製作大比例尺地形圖。

### 4.3.2 全站儀測繪地形圖與正射影像比較

為比較全站儀及 UAV 航拍之測繪成果，將全站儀測繪地形圖直接套疊於正射影像圖上，分析其細部差異之方法，挑選 6 處地物放大展示(如表 3 所示)。該 6 處分別為建物邊界、道路邊界線以及研究區內一圓形圍牆。

全站儀量測的地形圖邊界線以色線表示，總體成果呈現出邊界線與影像邊界線相當一致。

為更詳細比較差異量，由人工於每一幅影像中選取 5 處，量測影像邊緣和色線的差異並計算平均差異值(如表 3)。

經比較此三類地物結果，建物的差異值相對較大，最大差異為 3.6 cm，因為屋頂材質為瓦片，較難確認影像之邊緣，而水泥材質較好量測，差異為 2.2 cm。道路部分兩者差異小，平均約為 1 Pixel(1 cm)。圍牆部分受到周圍地物雜亂且圍牆寬度小，量測差異為約 3 Pixel (2.6 cm、3.2 cm)。

從研究成果可知，UAV 拍攝影像可產製正射影像圖和 DSM，且可讓現地量測作業更加方便。但是本研究中消費型相機進行拍攝，在樹木遮蔽處無法量測(如圖 7)，另也受到樓高與太陽角度影響於陰影處較難辨識(如圖 8)。

## 5. 結論

使用機動性高的多軸無人飛行載具執行航拍作業獲取影像前，需先執行拍攝規劃，且航高要符合飛航規定。本研究中以地形圖的規定檢核研究區平面和高程的絕對坐標，分別檢核 50 個點位，平面絕對精度為 4.0 cm，高程的絕對精度為 3.9 cm，證實 UAV 製圖成果符合精度。UAV 影像處理後某

些資訊受到遮蔽(如樹木遮蔽處、陰影處)無法提供現況點資訊，這些部分目前需利用全站儀補測繪坐標，方能完成地形圖之製作。

大比例尺地形圖通常使用在細部設計圖和工程圖上，可提供相當龐大圖資訊息，從本研究以 UAV 拍攝高解析度影像成果，可清晰了解現地資訊，判讀更多影像細節，如資訊不足處亦能協助快速現場調繪。

表 3 細部正射影像圖與全站儀測繪地形圖線條差異圖

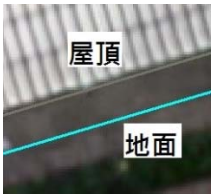
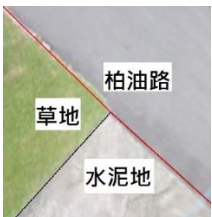

建物		
	437x489 Pixel	248x226 Pixel
	差異 2.2 cm	差異 3.6 cm
道路		
	608x636 Pixel	594x615 Pixel
	差異 1.4 cm	差異 1.3 cm
圍牆		
	301x278 Pixel	131x155 Pixel
	差異 2.6 cm	差異 3.2 cm



圖 7 樹木遮蔽處



圖 8 陰影區

## 參考文獻

- 內政部國土測繪中心，2011。建置都會區一千分之一數值航測地形圖作業工作手冊。[National Land Surveying and Mapping Center, Ministry of the Interior, R.O.C. Taiwan, 2011. Manual of Aerial Photogrammetry for Cartographing 1/1000 Digital Topography Maps in Urban Areas. (in Chinese)]
- 李怡蓁，2014。基於多視立體視覺的三維重建與真正射影像製作，國立高雄應用科技大學碩士論文。[Lee, Y.C., 2014. 3-D reconstruction and true orthophoto generation based on multiple view stereo, Master Thesis, National Kaohsiung University of Applied Sciences, Taiwan, ROC. (in Chinese)]
- 林迪詒，2015。利用自組多軸無人飛行載具製作不同比例正射影像圖之研究，國立高雄應用

- 科技大學，碩士論文。[Lin, D.Y., 2015. The study of using self-made MUAV to produce multi-scale orthophoto maps, Master Thesis, National Kaohsiung University of Applied Sciences, Taiwan, ROC. (in Chinese)]
- 翁婕晞，2013。應用多視角影像於 UAV 航拍遮蔽區之地形重建，國立臺北大學碩士論文。[Weng, C.H., 2013. The application of topography reconstruction from multi-view images on the tree coverage of UAV aerial photogrammetry, Master Thesis, National Taipei University, Taiwan, ROC. (in Chinese)]
- 蔡依庭，2012。UAV 航拍影像點雲產生 DSM 之研究，國立臺北大學碩士論文。[Tsai, Y.T., 2012. The study on DSM generated from point clouds by UAV image, Master Thesis, National Taipei University, Taiwan, ROC. (in Chinese)]
- Eisenbeiss, H., and Zhang, L., 2006. Comparison of DSMs generated from mini UAV imagery and terrestrial laser scanner in a cultural heritage application, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 35(5):90-96.
- Everaerts, J., and Lewyckij, N., 2011. Obtaining a permit to fly for a HALE UAV in Belgium, *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXVIII-1/C22, Zurich, Switzerland, pp.1-5.
- Everaerts, J., Lewyckij, N., and Fransær, D., 2004. PEGASUS: Design of a stratospheric long endurance UAV system for remote sensing, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 35:Part B.
- Furukawa, Y., Curless, B., Seitz, S. M., and Szeliski, R., 2010. Towards internet-scale multi-view stereo, *In Computer Vision and Pattern Recognition, 2010 IEEE Conference, USA*, 1434-1441.
- Haala, N., Cramer, M., and Rothermel, M., 2013. Quality of 3D point clouds from highly overlapping UAV imagery, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Germany, XL-1/W2: 183-188.
- Haarbrink, R. B., and Eisenbeiss, H., 2008. Accurate DSM production from unmanned helicopter systems, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(B1):1259-1264.
- Harwin, S., and Lucieer, A., 2012. Assessing the accuracy of georeferenced point clouds produced via multi-view stereopsis from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery, *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4(6): 1573-1599.
- Ollero, A., and Merino, L., 2006. Unmanned aerial vehicles as tools for forest-fire fighting, *Forest Ecology and Management*, 234(1):263-274.
- Rosnell, T., and Honkavaara, E., 2012. Point cloud generation from aerial image data acquired by a quadcopter type micro unmanned aerial vehicle and a digital still camera, *Sensors*, 12(1):453-480.
- Seitz, S. M., Curless, B., Diebel, J., Scharstein, D., and Szeliski, R., 2006. A comparison and evaluation of multi-view stereo reconstruction algorithms, *2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, USA*, 6(1):519-528.
- Tsingas, V., 1992. Automatisierung der punktÜbertragung in der aerotriangulation durch mehrfache digitale bildzuordnung, Ph.D. Thesis, Universität Stuttgart.



# The Study of Using Multi-Rotor UAV To Produce Large-Scale Topographic Map

Di-Yi Lin<sup>1</sup>Chia-Sheng Hsieh<sup>2\*</sup>

## Abstract

Accompanied by the advancement of technology, multi-rotors unmanned aerial vehicle (MUAV) becomes mature gradually, and is applied to agriculture, energy, and media. There are many publications in the application of aerial photogrammetry field. However, the small and light platform with consumer camera is easily influenced by environmental factors during the process of aerial photogrammetry so to cause the inconsistent of flight height, tilt, and offset. Also, the low flight height results in narrow frame, lens distortion, and a large number of photos. In order to solve the problems, the research uses Structure from Motion (SFM), and dense matching by Patch-based Multi-view stereo (PMVS) to process the images. This process can calculate the interior and exterior orientation of image, and produce the dense point cloud. In this study, we obtained MUAV imagery with 1 cm resolution, and executes the flight planning and image processing according to the resolution requirements. The study area is the old wireless telecommunications station of Fengshan, Kaohsiung City. There are houses, roads and other buildings in the area, which belong to flat terrain, and the highest building is 9 meters. Finally, by examining the results by the standard of topographic map, the study proves that proceeding aerial photogrammetry with UAV and consumer camera can provide high-accuracy topographic maps.

**Keywords:** Multi-rotor UAV, Large-scale topographic maps, SFM, PMVS

---

<sup>1</sup> PhD Student, Department of Civil Engineering, National Kaohsiung University of Science and Technology

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Civil Engineering, National Kaohsiung University of Science and Technology

\* Corresponding Author, Tel: 886-7-3814526#15245, E-mail: hsieh@cc.kuas.edu.tw

Received Date: Mar. 31, 2016

Revised Date: Jul. 21, 2016

Accepted Date: May. 24, 2018