

# 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

陳信安<sup>1</sup>

羅正方<sup>1</sup>

Chen, Hsin-an<sup>1</sup>

Lo, Cheng-Fang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>經緯衛星資訊股份有限公司

### 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 Aircraft 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區域測繪圖資更新。

102年度工作項目，以UAS與作業流程及規範為基礎，針對現有系統設計必須強化之處，提出適用於UAS之GNSS/IMU整合式導航定位定向系統，用以輔助空中三角計算，以期加速產製正射影像作業。另針對相機率定方式對空中三角測量精度之影響進行探討與分析。同時進一步發展適用於UAS之直接地理定位技術，在有效縮短影像幾何鑲嵌校正作業時間的同時，提高幾何校正成果精度。

**關鍵詞：**無人飛行載具系統、整合式導航定位定向系統、e-GPS定位技術、相機率定、直接地理定位技術

### Abstract

This project "Development of UAS aerial mapping technology" is based on a four-year funding from National Science Council. Works of the project are building UAS (Unmanned Aircraft 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. In 2013, we develop GNSS / IMU integrated navigation positioning and orientation system for UAS based on NLSC existing UAS operation procedures, which can speed up the aerial triangulation calculations, and accelerate orthophoto production. Using e-GPS technology of NLSC assisted bundle adjustment with self-calibration of the UAS aerial images. We also analyze the effects of camera calibration methods on the accuracy of aerial triangulation. And further develop UAS direct geo-referencing technology to shorten operating time of image geometric correction, while improving the accuracy of geometric correction.

**Keywords :** Unmanned Aircraft System, Position and Orientation System, e-GPS, Camera calibration, Direct Georeference.

## 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。

102年度工作項目，以UAS與作業流程及規範為基礎，針對現有系統設計必須強化之處，提出適用於UAS之GNSS/ IMU整合式導航定位定向系統，用以輔助空中三角計算，以期加速產製正射影像作業。另針對相機率定方式對空中三角測量精度之影響進行探討與分析。同時進一步發展適用於UAS之直接地理定位技術，在有效縮短影像幾何鑲嵌校正作業時間的同時，提高幾何校正成果精度。

## 二、工作項目與流程

本案主要工作項目計有：

1. UAS 航拍作業
2. UAS 影像處理作業
3. 相機率定方式對空三精度影響與直接地理定位試驗

### 2.1 UAS 航拍作業

本案合計辦理 10 區（如表 1）航拍任務，主要以定翼型 UAS 辦理航拍作業，航拍影像前後重疊率要求為 80%，側向重疊率 40%，重疊率誤差在 15% 以內。UAS 搭載 Canon 5D MKII 數位相機並搭配 20mm、24mm 或 50mm 焦距定焦鏡頭辦理航拍作業，影像解析度（地元尺寸）在 25 公分以內。另面積小於 10 公頃之航拍區域採用旋翼型 UAS 搭配焦距約 18mm 的 Canon EOS 650D 數位相機辦理航拍作業。

表 1、UAS 航拍任務區域彙整表

編號	航拍區域	用途	需求機關	面積 (公頃)	需求項目	UAS 航拍日期
1	花蓮縣秀林鄉(台 8 線 181.4K)	緊急應變	交通部公路總局	3	快速拼接或環景拼接影像	102/05/10
2	嘉義縣阿里山鄉	區域圖資更新	NLSC	0.82	正射影像	102/05/30
	嘉義縣番路鄉	區域圖資更新	NLSC	9.15	正射影像	

編號	航拍區域	用途	需求機關	面積 (公頃)	需求項目	UAS 航拍日期
3	臺東縣大武鄉	區域圖資更新	NLSC	2.2	正射影像	102/07/25
	屏東縣滿州鄉	區域圖資更新	NLSC	0.8	正射影像	102/07/26
4	南投縣南投市	研究測試	NLSC	560	正射影像	102/07/18 102/07/19 102/07/27 102/07/31
5	臺南市七股區(台61線)	監測	交通部公路總局	2200	正射影像	102/08/06
6	臺南市七股區(台江國家公園)	監測	內政部營建署 (台江國家公園管理處)	300	正射影像	102/08/06
7	彰化縣伸港鄉	監測	行政院環保署	700	正射影像	102/08/09
8	屏東縣里港鄉	監測	行政院環保署	300	正射影像	102/09/04 102/09/05
9	桃園縣龜山鄉	土地開發監測	內政部	620	正射影像	102/09/27
10	臺南市安南區	監測	臺南市地政局	300	正射影像	102/10/21

## 2.2 UAS 影像處理作業

在10區航拍任務中，分別製作環景拼接成果、正射影像以及向量圖成果。影像處理除環景拼接成果外，依傳統航測方式辦理，並進行空三計算、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。UAS相片利用空中三角測量進行空間解算，根據少量的現地控制點，再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。另利用數值高程模型(DEM)資料作為正射糾正之高程控制資料，將中心投影之航空像片，糾正成正射投影。再將相鄰影像之數值正射影像切去其邊緣與重複部分，使之互相拼接而成一地表連續之影像，逐一鑲嵌製作成為一張無接縫的正射影像鑲嵌圖。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。

## 2.3 相機率定方式對空三精度影響與直接地理定位試驗

### 2.3.1 相機率定方式對空三精度影響

本案研究相機率定方式對空中三角測量精度影響，針對數位相機內方位參數於室內與室外之不同率定方式，探討不同率定結果對空三精度影響。

室內率定場部分為一可旋轉的圓盤率定場，其上均勻佈置了不同高度的木柱與 Australis 編碼過之人造標(Fraser and Edmundson, 2000)，拍攝時每旋轉圓盤  $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$  拍攝兩張相片，一張正拍，一張旋轉相機  $90^{\circ}$  以避免參數間之高相關性。經過此種拍攝程序後，其效果如同環繞此圓盤四周以交會式拍攝的效果。由於每個標上是由八個特殊排列的白點所組成，因此軟體能透過白點之間的相對關係自動辨識出每個標的代碼，減少人工辨識的時間。除此之外，將部分的特殊標固定在長短不一柱子上，以產生三度空間的率定場，提高焦距率定之精度，而在拍攝時也考慮交會幾何強度，讓平差成果較穩定可靠且提高定位精度。

室外率定校正場位於南投縣南崗工業區(如圖 1)，校正場設計為矩形，矩形之長、短邊分別平行東西及南北方向，校正場內均勻布設大量地面控制點。完整校正場矩形長邊為 2,000 公尺，短邊為 1,750 公尺；區內再劃分一小的矩形場地，其邊長分別為 750 公尺及 600 公尺，供低空飛行之校正用。

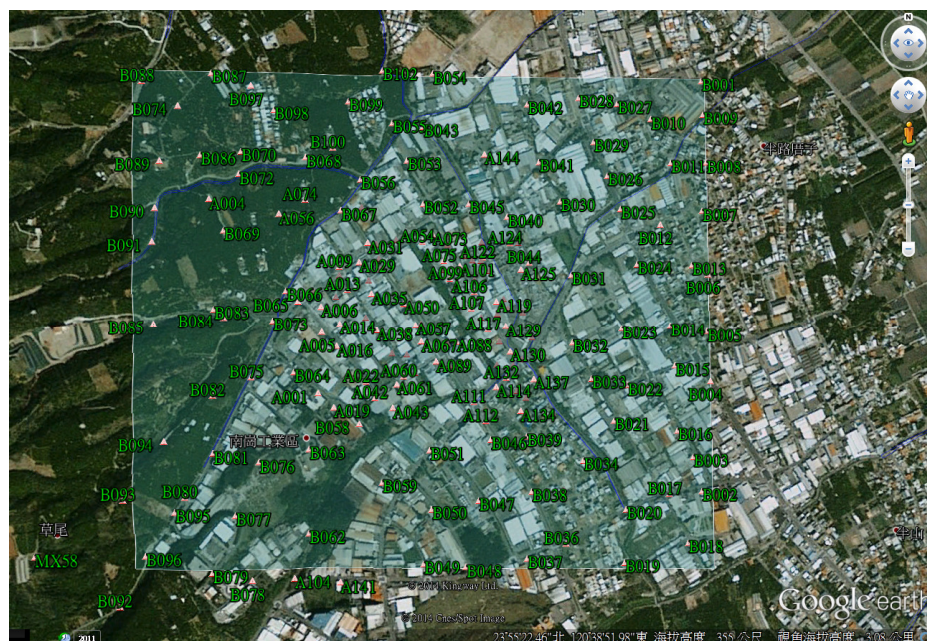


圖 1、室外率定場

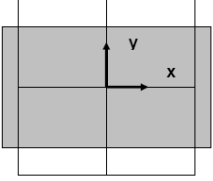
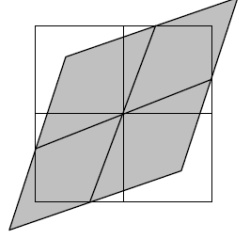
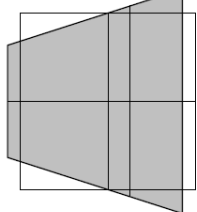
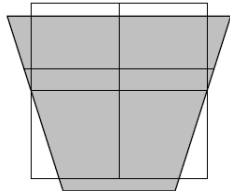
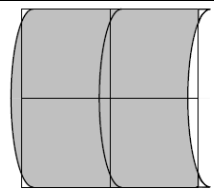
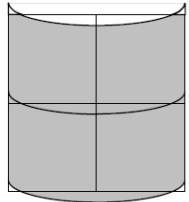
室外率定方式為利用航測專用軟體 Image Station Automatic Triangulation(ISAT)，在計算空三時將鏡頭畸變差之附加參數啟用，使用自率光束法空三平差來計算鏡頭畸變差。ISAT 使用描述鏡頭畸變差之數學式如下式：

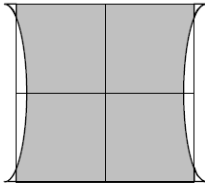
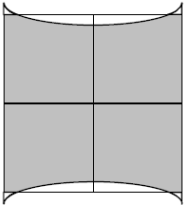
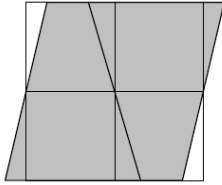
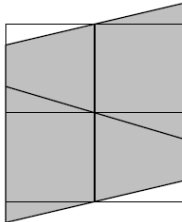
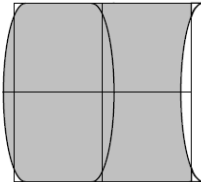
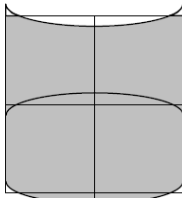
$$\Delta x = b_1x + b_2y - b_3\left(2x^2 - \frac{4b^2}{3}\right) + b_4xy + b_5\left(y^2 - \frac{2b^2}{3}\right) + b_7x\left(y^2 - \frac{2b^2}{3}\right) + b_9y\left(x^2 - \frac{2b^2}{3}\right) + b_{11}\left(x^2 - \frac{2b^2}{3}\right)\left(y^2 - \frac{2b^2}{3}\right)$$

$$\Delta y = -b_1y + b_2x + b_3xy - b_4\left(2y^2 - \frac{4b^2}{3}\right) + b_6\left(x^2 - \frac{2b^2}{3}\right) + b_8y\left(x^2 - \frac{2b^2}{3}\right) + b_{10}x\left(y^2 - \frac{2b^2}{3}\right) + b_{12}\left(x^2 - \frac{2b^2}{3}\right)\left(y^2 - \frac{2b^2}{3}\right)$$

其中  $bn$  係數對於與影像中心點影像軸間矯正關係如下表 2：

表 2 矯正變形方向示意圖

係數	矯正變形方向
1	$\Delta x = +b_1x$ $\Delta y = -b_1y$ 
2	$\Delta x = +b_2y$ $\Delta y = +b_2x$ 
3	$\Delta x = -b_3\left(2x^2 - \frac{4b^2}{3}\right)$ $\Delta y = +b_3xy$ 
4	$\Delta x = +b_4xy$ $\Delta y = -b_4\left(2y^2 - \frac{4b^2}{3}\right)$ 
5	$\Delta x = +b_5\left(y^2 - \frac{2b^2}{3}\right)$ $\Delta y = 0$ 
6	$\Delta x = 0$ $\Delta y = +b_6\left(x^2 - \frac{2b^2}{3}\right)$ 

係數	矯正變形方向
7	$\Delta x = +b_7 x \left( y^2 - \frac{2b^2}{3} \right)$ $\Delta y = 0$ 
8	$\Delta x = 0$ $\Delta y = +b_8 y \left( x^2 - \frac{2b^2}{3} \right)$ 
9	$\Delta x = +b_9 y \left( x^2 - \frac{2b^2}{3} \right)$ $\Delta y = 0$ 
10	$\Delta x = 0$ $\Delta y = +b_{10} x \left( y^2 - \frac{2b^2}{3} \right)$ 
11	$\Delta x = +b_{11} \left( x^2 - \frac{2b^2}{3} \right) \left( y^2 - \frac{2b^2}{3} \right)$ $\Delta y = 0$ 
12	$\Delta x = 0$ $\Delta y = +b_{12} \left( x^2 - \frac{2b^2}{3} \right) \left( y^2 - \frac{2b^2}{3} \right)$ 

### 2.3.2 直接地理定位試驗

在 UAS 酬載的 POS 中，GNSS 定位技術可提供位置資訊，而 INS 則可提供姿態參數。而 GNSS 與 INS 之位置與姿態都存在著系統性誤差，不能直接當作感測器的位置與姿態，要達到直接地理定位的目的，仍必須透過率定工作以消除兩項系統性誤差，分別為：(1) GNSS 相位中心與感測器間的位置偏移量率定，也就是固定臂 (Lever Arm) 率定，以及 (2) INS 與感測器觀測向量的軸角 (Boresight) 率定。其中固定臂偏移量之率定方式有幾種方式 (Ellum and El-Sheimy, 2003)：



- (一) 「兩階段率定法」，也就是利用地面控制點進行空三平差，其成果再與 GNSS 定位成果比較，將兩者位置的差異量取平均而得。此方法的基本要求就是必須有合適的地面控制場，必須同時滿足空三平差所需的控制點分布，以及 GNSS 觀測時不會有訊號遮蔽及多路徑效應的現象，才能確保成果精度。
- (二) 「整合率定法」，也就是將固定臂偏移量三個分量當作未知數與影像一起進行光束法平差求解。然而所增加的三個位移參數會與相機的內、外方位參數有高相關問題，尤其是焦距與透視中心位置，導致 Z 方向之位移量誤差會較大。就近景影像而言，由於相機可以擺設較大的交會角，因此可減少此問題。不管空載或近景攝影，都必須將 GNSS 位置觀測量納入平差，才可避免焦距與 Z 方向位移量高相關的問題。

軸角之率定方式則無法透過接觸式直接量測而得，亦必須利用「兩階段率定法」與「整合率定法」進行求解：

- (一) 在「兩階段率定法」中，可將空三平差成果與 INS 定向成果的旋轉矩陣進行相乘，再取平均而得 (Skaloud, 1999)。
- (二) 「整合率定法」則是將三個軸角量當作未知數，與拍攝之影像一起進行空三平差求解 (Mostafa, 2002; Pinto and Forlani, 2002)。

本案藉由兩階段率定法與整合率定法，運用空中三角網形平差相關成果，與校正場檢核比較，探討最佳 UAS 固定臂偏移量與軸角率定之求解，其結果可用於後續 UAS 航拍作業所用。

### 三、作業及研究成果

#### 3.1 作業成果

##### 3.1.1 緊急災害應用之環景影像

本案於 102 年 5 月 10 日配合交通部公路總局提出之緊急災害應變航拍作業需求，針對台 8 線 181.4K (花蓮太魯閣白沙橋) 的道路邊坡崩塌進行快速應變，並於航拍後立即製作動態環景影像成果 (如圖 2)，提供該單位參考使用。



圖 2、崩塌區域環景影像成果

##### 3.1.2 正射影像

航拍區中之臺南市七股區為配合內政部營建署台江國家公園管理處提出之監測需求辦理協助航拍作業，並製作正射影像成果，提供該單位參考使用。

臺南市七股區航拍範圍約 700 公頃，航拍時使用焦距約 20mm 的 Canon EOS 5DII 數位相機。航高約 750 公尺，航拍影像成果前後重疊率約 85%，左右重疊率約 55%，影像分布圖如圖 3，此區資料共使用 5 條航帶，地面解析力 GSD 約 23 公分。



圖 3、臺南市七股區台江國家公園 UAS 影像分布圖

臺南市七股區空中三角測量計算成果如下表 3。

表 3 臺南市七股區台江國家公園空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
臺南市七股區 (台江國家公園)	自由網平差	3.8 $\mu\text{m}$	$\leq 10 \mu\text{m}$
	強制附合平差	3.9 $\mu\text{m}$	$\leq 12 \mu\text{m}$

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像。經幾何正射糾正鑲嵌的影像成果圖如圖 4，正射影像較差均方根為 1.21 公尺。



圖 4、臺南市七股區台江國家公園正射鑲嵌影像成果



### 3.3 基本圖局部區域圖資更新作業

嘉義縣阿里山鄉、屏東縣滿州鄉以進行莫拉克災區基本圖重建區之局部區域圖資更新為目的，規劃進行航拍作業，測製正射影像成果，並用以更新此兩需求範圍之災區基本圖正射影像、向量圖與出圖檔。

嘉義阿里山鄉重建區範圍約為 0.82 公頃面積，地表高程約 1150 公尺；屏東縣滿州鄉重建區範圍約為 0.8 公頃面積，地表高程約 25 公尺。採用旋翼型 UAS 搭配焦距約 18mm 的 Canon EOS 650D 數位相機辦理航拍作業，並測試在旋翼型 UAS 上搭配輕量化之定位定向 POS 系統，同樣使用所記錄的 GPS 與 IMU 資料輔助空中三角計算作業。因旋翼型 UAS 飛行姿態相較定翼型 UAS 而言較不穩定，為確保實際航拍影像重疊率符合要求，規劃航拍影像前後重疊率提高至約 90%，左右重疊率約 70%。原始影像地面解析力 GSD 分別達 2 公分（嘉義縣阿里山鄉）、及 3 公分（臺東縣大武鄉、屏東縣滿州鄉），航拍影像分布圖如圖 5、圖 6。



圖 5 嘉義縣阿里山鄉 UAS 影像分布圖

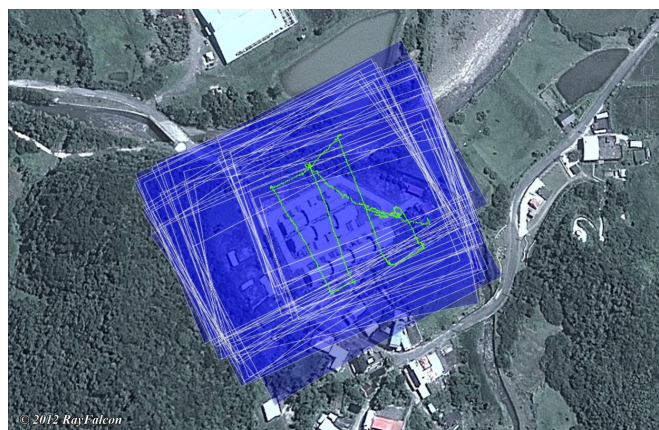


圖 6 屏東縣滿州鄉 UAS 影像分布圖

UAS 相片利用空中三角測量進行空間坐標解算，係根據後測控制點，再利用室內新建相片間的匹配點位資訊，解算求得影像點位之空間位置。空中三角測量成果如表 3、表 4。

表 4 嘉義縣阿里山鄉空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
嘉義縣阿里山鄉 樂野楓紅	自由網平差	2.1 $\mu\text{m}$	$\leq 10 \mu\text{m}$
	強制附合平差	2.0 $\mu\text{m}$	$\leq 12 \mu\text{m}$

表 5 屏東縣滿州鄉空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
屏東縣滿州鄉	自由網平差	2.2 $\mu\text{m}$	$\leq 10 \mu\text{m}$
	強制附合平差	2.2 $\mu\text{m}$	$\leq 12 \mu\text{m}$

正射影像產製解析度為 10 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像。但本區為災後新建社區，其地形地貌已跟既有地形圖高程資料相差甚大，以致無法套用既有高程資料製作正射影像，因此另外進行數值高程模型以及等高線測繪作業後，再重新製作正射影像。接著套疊現有災區基本圖之道路及建物圖層，圈選兩者相異區域，並向外圈選至可進行無縫鑲嵌之區域，再使用正射影像及圈選範圍進行影像鑲嵌、調色以更新舊有基本圖正射影像，如圖 7、8。

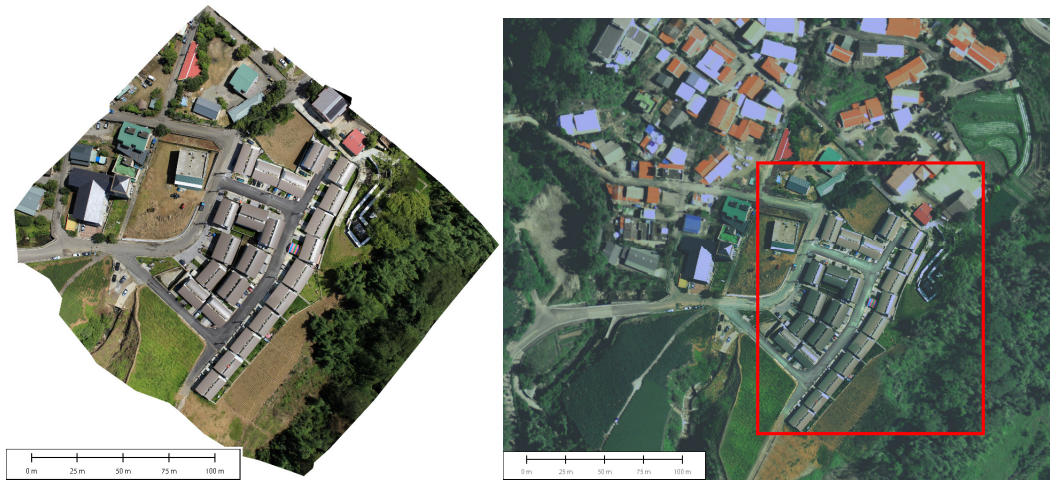


圖 7、嘉義縣阿里山鄉正射影像（左）與局部更新後基本圖正射影像成果（右）

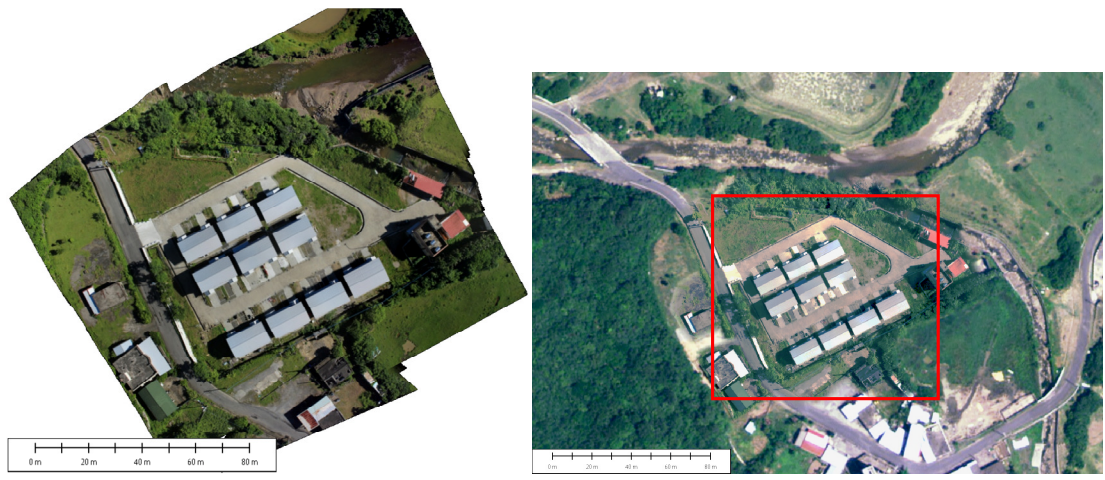


圖 8、屏東縣滿州鄉正射影像（左）與局部更新後基本圖正射影像成果（右）

另一方面，對已有明顯變異的區域進行地物測繪（數值立體測圖），更新向量圖層資料，如圖 9、圖 10。

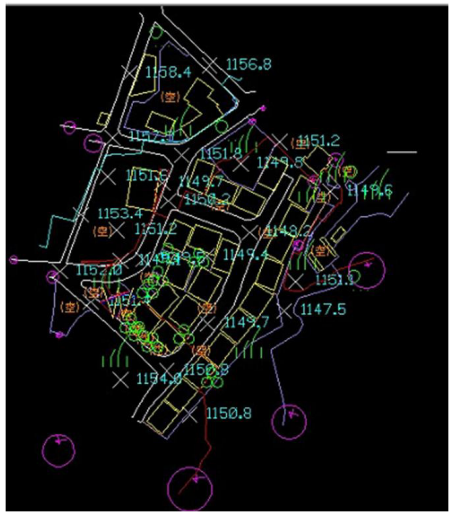


圖 9、更新嘉義縣阿里山鄉基本圖向量圖層



圖 10、更新屏東縣滿州鄉基本圖向量圖層



## 3.2 研究成果

### 3.2.1 相機率定方式對空三精度影響

本案的相機內方位參數室內率定成果如表 6 所示。

表 6、相機內方位參數室內率定成果

項目	20mm鏡頭	24mm鏡頭	50mm鏡頭
Principal distance	c = 20.6478mm	c = 24.6764mm	c = 51.5036mm
Principal point offset in x-image coordinate	xp = -0.0819mm	xp = -0.2382mm	xp = -0.1414mm
Principal point offset in y-image coordinate	yp = -0.0792mm	yp = 0.1480mm	yp = 0.0937mm
3rd-order term of radial distortion correction	K1 = 2.38021e-04	K1 = 1.24030e-004	K1 = 5.11552e-005
5th-order term of radial distortion correction	K2 = -4.75072e-07	K2 = -2.50567e-007	K2 = -1.36279e-009
7th-order term of radial distortion correction	K3 = 5.80760e-11	K3 = 1.71226e-010	K3 = -2.44035e-011
Coefficient of decentering distortion	P1 = 1.0121e-05	P1 = 6.4336e-006	P1 = 1.3480e-005
Coefficient of decentering distortion	P2 = 2.7671e-06	P2 = 3.3638e-006	P2 = 5.3063e-006
No significant differential scaling present	B1 = 0.0000e+00	B1 = -3.7200e-010	B1 = -3.7199e-010
No significant non-orthogonality present	B2 = 0.0000e+00	B2 = 4.8025e-010	B2 = 4.8037e-010

另本案相機內方位參數室外率定結果，以 20mm 焦距鏡頭為例，計算後所得率定參數如下表 7：

表 7 自率光束法空三平差率定成果

Parameter	Value	Status
Param 1	-1.32E-04	Used
Param 2	1.54E-04	Used
Param 3	7.80E-07	Used
Param 4	--	Removed
Param 5	3.31E-06	Used
Param 6	-2.26E-06	Used
Param 7	-2.21E-06	Used
Param 8	-4.47E-07	Used
Param 9	--	Removed
Param 10	2.20E-07	Used
Param 11	-4.09E-08	Used
Param 12	--	Removed

針對室內與室外率定參數對空三成果精度之影像比較的計算結果如表 8。若以本案之率定成果比較來看，室內與室外率定參數對空三精度影響並無顯著差別。(控制點點數 19 點，檢核點點數 8 點)

表 8 比較室內與室外率定參數之空三成果數據

率定方式 項目	室內率定	室外率定
Sigma	3.2 $\mu$ m	3.2 $\mu$ m
RMS Control X	0.058 公尺	0.062 公尺
RMS Control Y	0.047 公尺	0.047 公尺
RMS Control Z	0.280 公尺	0.209 公尺
RMS Check X	0.042 公尺	0.032 公尺
RMS Check Y	0.062 公尺	0.078 公尺
RMS Check Z	0.398 公尺	0.310 公尺

### 3.2.2 直接地理定位試驗

本次直接地理定位實驗區域位於屏東縣里港，藍色方框為測試區範圍，約 4 公里乘以 4 公里。透過影像拍攝實驗區域以評估 POS 系統之直接地理定位成果精度。圖 11 與圖 12 分別所示為飛行軌跡與快門拍照情形，航拍時間為 102 年 9 月 5 日。



圖 11、實驗區域與 UAS 飛行軌跡

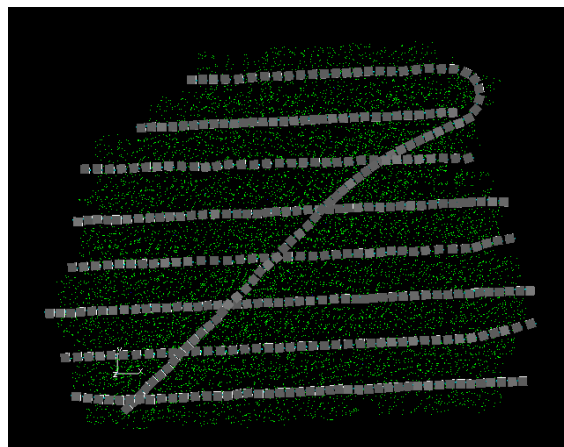


圖 12、實驗區快門拍攝情形

透過空三計算得外方位率定成果如圖 13 所示。初步成果可知，當飛行高度為 600 公尺時，其影像參考精度為 0.61 個像元大小，影像三維定位精度約為 0.11 公尺。藉由



空三計算與 POS 軌跡得到的外方位參數兩者之間資料比較，可得固定臂及軸角率定成果，如表 9 所示。

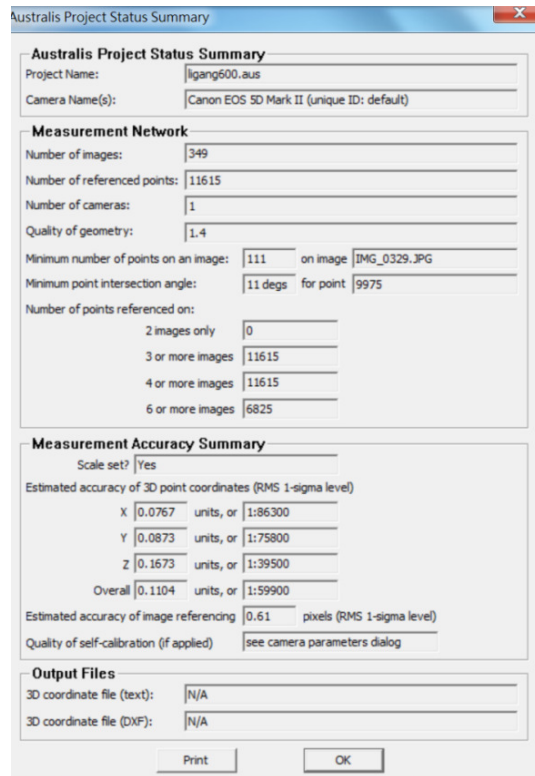


圖 13、外方位參數率定成果

表 9 (左)固定臂(右)軸角率定成果

	Lever arm (m)		Boresight angle (degree)
X	1.137380	Omega	3.744169
Y	4.336497	Phi	2.556634
Z	-0.205810	Kappa	-0.229010
X std	2.9584	Omega Std	6.4646
Y std	1.6059	Phi Std	3.4385
Z std	3.3832	Kappa Std	8.2502

將 POS 系統解算之影像位置、姿態參數消除固定臂及軸角偏移等兩項系統誤差後，再與利用地面控制點解算之影像位置、姿態參數比較，得到直接地理定位成果如表 10 所示。由成果可知，當飛行高度為 600 公尺時，三軸定位精度 RMS 值約為 11.819、8.676、14.572 公尺。

表 10、直接地理定位成果

Mode	Height	600 m		
		DX (m)	DY (m)	DZ (m)
DGPS	Mean	3.327	1.457	-3.417
	RMS	11.819	8.676	14.572
	STD	11.804	8.902	14.744

#### 四、結論與建議

本案在航拍作業執行上，總計完成 10 區域的航拍任務工作，分別取得各區域之所需影像、姿態紀錄資料或空拍影片等。10 區航拍區中包括配合公路總局需求之緊急災害應變作業 1 區、正射影像測製作業 8 區、航遙測感應器系統校正場航拍作業 1 區。其中莫拉克災區基本圖區域圖資更新部分，因區域面積較小，本案運用旋翼型 UAS 進行該新建完成重建區域之航拍作業，並製作相關影像成果更新局部區域正射影像及向量圖，顯現 UAS 小區域圖資更新應用特性與優勢。另緊急災害應變航拍為首次配合公路總局的緊急拍攝需求，於 102 年 5 月 8 日接獲通知後，於 48 小時內就完成道路邊坡崩塌情形的拍攝取像，並提供給公路總局做為參考資料。正射影像測製作業有 6 區屬於協助各需求單位（交通部公路總局、內政部營建署、行政院環保署、內政部地政司、臺南市地政局）航拍區，總計協助航拍面積達 4,800 公頃以上，飛行航線總長約 750 公里，有效增進政府機關間橫向聯繫。

本案已有效使用機載 POS 系統所記錄之外方位姿態資料，運用於各正射影像測製作業，提升空中三角計算作業的效率，在有時效性要求的航拍任務時，也可在減少地面控制點的情況下獲得精度相當之成果，提高作業效率。另一方面，直接地理定位試驗結果，未來可望應用於防救災緊急應變作業，在無地面控制點情況下，快速產製災區影像成果。另發現 POS 新系統仍存在系統誤差與部分問題，後續研究將進一步修正，期望精度可進一步提升達到 5~10 公尺以內，以利提升防救災緊急應變作業效益。

#### 參考文獻

1. Ellum, C. M. and El-Sheimy, N., 2003, The Calibration of Image-Based Mobile Mapping Systems, Proceedins of 6th Conference on Optical 3D Measurement Techniques, Switzerland, on CD-ROM, Sep. 22-25.
2. E. Gülch, 2012, PHOTOGAMMETRIC MEASUREMENTS IN FIXED WING UAV IMAGERY, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B1, 2012 XXII ISPRS Congress, 25 Aug. - 01 Sep. 2012, Melbourne, Australia
3. Fraser, C.S., and Edmundson, K.L., 2000, Design and implementation of a computational processing system for off-line digital close-range photogrammetry, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.55, pp.94-104.
4. Johannes B. Stoll, 2013, UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS FOR RAPID NEAR

SURFACE GEOPHYSICAL MEASUREMENTS, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1/W2, 2013 UAV-g2013, 4 – 6 September 2013, Rostock, Germany

5. Mostafa, M., 2002, Camera/INS Boresight Calibration: New Advances and Performance Analysis, in ASPRS Annual Meeting, Washington, D.C., USA.
6. Morin, K. W., 2002, Calibration of Airborne Laser Scanners, Master Degree Thesis, University of Calgary.
7. Pinto, L. and Forlani, G., 2002, A single step calibration procedure for INS/GPS in aerial photogrammetry, Photogrammetric Computer Vision, ISPRS Commission III, Graz, Austria.
8. Schenk, T., 2001, Modeling and Analyzing Systematic Errors in Airborne Laser Scanners”, Technical Notes in Photogrammetry, No.19.
9. Skaloud, J., 1999, Optimizing Georeferencing of Airborne Survey Systems by INS/DGPS, Ph.D Thesis, Geomatics Engineering, University of Calgary, Canada.
10. T. Hormigo, J. Araújo , 2013, A MICRO-UAV SYSTEM FOR FOREST MANAGEMENT, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1/W2, 2013 UAV-g2013, 4 - 6 September 2013, Rostock, Germany