

不同相機率定條件對UAV影像空三精度之探討

The Investigation on Aerial Triangulation of UAV Imagery by Diverse Conditions of Camera Calibration

顏怡和* 邱式鴻** 徐百輝*** 劉正倫**** 蔡季欣***** 施錦揮*****

Yi-Ho Yen Shih-Hong Chio Pai-Hui Hsu Jen-Luan Liu Gi-Sing Tsai Gean-Whei Ci

摘 要

近年來因電子科技的發展迅速，價格較為低廉的 GPS 與 INS 整合型定位系統，不論在體積的精簡或是精度方面的改善，均有長足的進步，也促進無人飛行載具 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)的發展。同時，UAV 搭載非量測型數位相機可克服部分氣候影響，增取時效性並以自動導航設備取得即時數位影像，供防救災、甚至是用於製圖。但非量測型數位相機因其相機參數不精確，且鏡頭畸變差較為嚴重，在進行製圖應用前都必須透過相機率定方式率定其相機參數。本研究目的是針對室內相機率定時，以不同軟體配合不同率定標之不同相機率定條件進行不同方式的相機參數率定，探討其率定結果對 UAV 航拍影像空中三角測量的精度影響，並將其與自率光束法空中三角測量之精度比較。

關鍵字：無人飛行載具、非量測相機、相機率定、空中三角測量

As a result of the rapid development of electronic technology in recent years, the low-cost integrated positioning systems with GPS and INS have made great progress in reducing dimension and improving precision. Meanwhile, it promoted the development of UAV. UAV equipped with non-metric digital camera can collect real-time aerial imagery with autopilot in poor weather. Those collected UAV imagery can be used for disaster preventing and relieving, even for mapping while the camera parameters were calibrated carefully. This study is aimed to investigate the influence on the aerial triangulation with camera parameters calibrated with diverse indoor conditions from different close-rang photogrammetric softwares. Additionally, the results of aerial triangulation with diverse sets of camera parameters will be compared with that from aerial triangulation with self-calibration.

Keywords: UAV, Non-metric Camera, Camera Calibration, Aerial Triangulation

-
- * 國立政治大學地政學系碩士在職專班碩士生
Master student, Department of Land Economics, National Chengchi University
- ** 國立政治大學地政學系副教授
Associate Professor, Department of Land Economics, National Chengchi University
- *** 國立台灣大學土木工程學系助理教授
Assistant Professor, National Taiwan University
- **** 內政部國土測繪中心主任
Director, National Land Surveying and Mapping Center
- ***** 內政部國土測繪中心課長
Supervisor, National Land Surveying and Mapping Center
- ***** 內政部國土測繪中心技士
Technical Specialist, National Land Surveying and Mapping Center

緒論

(一)、研究動機與目的

國內航空攝影測量取像設備由早期的量測型類比框幅相機、進展到的量測型數位片幅相機(如 DMC)、推掃式數位相機(ADS40)，因其造價不菲，再加上國內相關航空法令限制，使得僅只有少數飛行載具能搭載量測型相機進行航空攝影取像任務，導致國內只有極少數測量企業及公部門有能力建置航空攝影取像系統。近年來因電子科技及取像設備發展，航拍取像方式不再侷限大型載具。體積小、構造簡單、具備自動導航之無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicles, 以下簡稱 UAVs)，因其機動性及無須特別後勤支援且可克服某些因氣候因素及起飛條件，有效地進行航拍取像，不僅可提供防救災體系了解災區現況，亦可提供即時環境監測使用，如良好的控制條件下更具備測圖的潛力。

因 UAVs 不論電力供應及酬載能力有限，其搭載取像設備為非量測型數位相機，不論於室內率定或是室外率定時因使用率定軟體所需率定條件如：距離、率定標及佈設方式等不同，導致率定結果不同。因此本研究目的是以非量測型數位相機，針對室內相機率定時，分別以不同軟體配合不同率定標之不同機率定條件進行相機參數率定，進而探討其率定結果對 UAVs 航拍在一般光束法空中三角測量平差(以下簡稱空三平差)精度影響，此外因率定的相機參數並非執行航攝任務時最適參數，且有研究顯示空三平差時可使用附加參數執行自率光束法空三平差提高空三平差精度(謝幸宜, 2011)，因此研究中將比較一般光束法空三平差與自率光束法空三平差之結果。

(二)、文獻回顧

UAVs一種無人駕駛的飛行載具，其應具備了遙控、半自動化、自動化或是具備以上全部功能，UAVs與一般飛行載具之間最大的不同是沒有實際人員位於載具上，飛航操控皆以遙控或是自動導航方式進行(Everaerts, 2008)。近年來UAVs快速發展長導致UAVs攝影測量學科的出現，該學科是在描述UAVs在如何執行攝影測量技術，其中包含了UAVs的種類，取像設備、直接定位系統描述等等[Henri Eisenbeiß, 2009]。然UAVs搭載取像設備為非量測型數位相機，非量測型相機在進行量測運用前皆須先經過軟體率定，率定時如採用相同的附加參數，同一非量測相機因軟體所使用率定標、率定標佈設方式以及率定的方式的不同皆有些差異。鄒芳諭(2011)研究中提及不同的近景攝影測量軟體，其率定標大小、控制點數目、所需影像、拍攝模式、處理程序不同，同一相機率定結果輻射畸變差因軟體的不同差異較大。

因此率定的相機參數用於一般光束法空三平差其結果將影響空三平差精度，而使用自率光束法空三平差計算將可以提高精度，尤其以高程精度最為顯著(謝幸宜, 2011)。

空中三角測量原理

空中三角測量原理的基本原理是共線條件(Collinearity Condition)，即攝影站、任意物點、像點在三維空間中，理論上位於同一條線；如圖 1 中所示；L、a 與 A 位於一條直線上，其任意物點像點坐標以共線方程式表示：

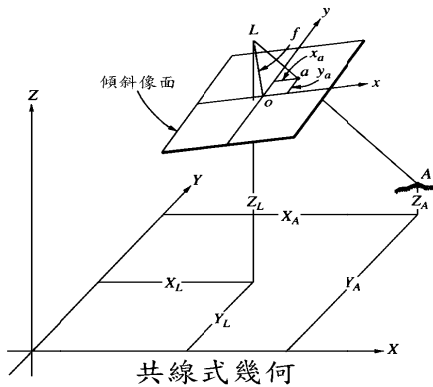


圖 1 共線式

$$x_a - x_o = -f \frac{m_{11}(X_A - X_L) + m_{12}(Y_A - Y_L) + m_{13}(Z_A - Z_L)}{m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Y_A - Y_L) + m_{33}(Z_A - Z_L)} \quad (1)$$

$$y_a - y_o = -f \frac{m_{21}(X_A - X_L) + m_{22}(Y_A - Y_L) + m_{23}(Z_A - Z_L)}{m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Y_A - Y_L) + m_{33}(Z_A - Z_L)} \quad (2)$$

(1)與(2)式中：

x 、 y ：像坐標系坐標軸：其原點為指定像主點(indicated principal point, 簡稱 IPP)，在類比片幅式是指將正片(負片)或經過掃描儀數位化後影像上兩兩相對的框標(fiducial mark)連線交會而得影像中心位置；全數值影像則以影像長、寬之半的交會處為指定像主點。而自準直軸像主點(principal point of autocollimation, 簡稱 PPA)則是使用多鏡照準管率定相機，零度照準管上的記號坐落於相機焦面(focal plane)上的位置。

x_a , y_a ：為像點 a 的像坐標。

x_o , y_o ：為像主點的像坐標(相機率後得知)。

f ：為相機的焦距，經由透鏡中心 L 到焦平面的垂直距離。

X_A , Y_A , Z_A ：為物點 A 的物空間坐標。

X_L , Y_L , Z_L ：曝光站的物空間坐標

M_{ij} ：v 旋轉矩陣元素為三個旋轉角 ω , ϕ , κ 的函數。

在取像過程當中，光線進行會因大氣折光差、地球曲率、焦面平坦度、內方位誤差及透鏡畸變差等影響，致使像幾何變形。若維持共線條件，則須了解其誤差影響並加以改正，以提高攝影測量成果的精度可靠度(何維信，1995)。在本研究當中大氣折光差及地球曲率忽略不計，為了詳細描述相機系統誤差，在共線方程式中加入改正數，如(3)、(4)式中的 Δx 、 Δy

$$x_a - x_o + \Delta x = -f \frac{m_{11}(X_A - X_L) + m_{12}(Y_A - Y_L) + m_{13}(Z_A - Z_L)}{m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Y_A - Y_L) + m_{33}(Z_A - Z_L)} \quad (3)$$

$$y_a - y_o + \Delta y = -f \frac{m_{21}(X_A - X_L) + m_{22}(Y_A - Y_L) + m_{23}(Z_A - Z_L)}{m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Y_A - Y_L) + m_{33}(Z_A - Z_L)} \quad (4)$$

描述像片因相機率定無法完全率定的系統誤差 Δx 、 Δy ，可視為像坐標

的函數，即
$$\begin{cases} \Delta x = f(x, y) \\ \Delta y = f(x, y) \end{cases}$$

一般光束法空三平差是以上述共線式為基礎(Wolf and Dewitt, 2000)，目的是將攝影區域內所有影像的內外方位參數進行空三平差求解共軛光束之最佳點，並同時滿足已知控制點坐標，除了解算各影像之方位外，同時也可解算物空間之點位坐標。自率光束法又稱為附加參數的光束法空三平差，是由一般光束法空三平差發展而來，主要的附加參數為透鏡的幅射畸變差及離心畸變差。附加參數有大致有系統誤差模型與數學模式描述，其中以系統誤差模型運用較為普遍，本實驗中所使用商用軟體 ORIMA 以下列 Brown, 1976 所提出 21 項附加參數模式為基礎做為其附加參數之數學模式。

$$\begin{cases} \Delta x = a_1x + a_2y + a_3xy + a_4y^2 + a_5x^2y + a_6xy^2 + a_7x^2y^2 \\ \quad + \frac{x}{f}[a_{13}(x^2-y^2) + a_{14}x^2y^2 + a_{15}(x^4-y^4)] \\ \quad + x[a_{16}(x^2+y^2) + a_{17}(x^2+y^2)^2 + a_{18}(x^2+y^2)^3] \\ \quad + a_{19} + a_{21}\left(\frac{x}{f}\right) \\ \Delta y = a_8xy + a_9x^2 + a_{10}x^2y + a_{11}xy^2 + a_{12}x^2y^2 \\ \quad + \frac{y}{f}[a_{13}(x^2-y^2) + a_{14}x^2y^2 + a_{15}(x^4-y^4)] \\ \quad + y[a_{16}(x^2+y^2) + a_{17}(x^2+y^2)^2 + a_{18}(x^2+y^2)^3] \\ \quad + a_{19} + a_{21}\left(\frac{y}{f}\right) \end{cases}$$

實驗成果與分析

本研究透過商用攝影測量軟體所具備相機率定功能進行 UAV 航拍相機之率定，但因各商業軟體在率定標設計以及率定標分佈搭配不同距離等進行率定致使所得之相機率定參數亦不同。因此以下試驗將探討其對空三平差精度之影響並與自率光束法空三平差成果相互比較。

(一)相機規格

相機率定參數的是由相機拍攝率定標經由軟體率定而來，本次使用相機為非量測型單眼數位相機 Canon 500D，搭配 20mm 定焦鏡頭其規格如下表 1 所示。

表 1、CANON500D 規格表

影像引擎	DiGiC 4	
感光元件	15MP APS-C CMOS (22.2x14.8mm)	
焦距	20mm	
像元尺寸	0.005mm	
影像尺寸	4752x3168	
焦長轉換	1.6x	
鏡頭接環	Canon EF, EF-S	
快門範圍	30sec - 1/4000sec, 支援 B快門	
同步快門	1/200sec	
LCD螢幕	三吋, 92萬畫素	
儲存媒體	SD/SDHC	
HDMI輸出	支援	
使用電池	LP-E5, CIPA 測試可拍攝 400張	
D機身尺寸	128.8 x 61.9 x 97.5mm	
機身重量	480g	
垂直把手	支援 (BG-E5)	

(二)相機率定

目前非量測型數位相機可使用近景攝影測量軟體中的率定功能，但近景攝影測量軟體各有各的率定方式，本次研究分別以 ENSOMoasic、iWitness Pro、PhotoModeler 於室內率定，並依據其說明書與率定標佈設實驗率定場，搭配上上述數位相機進行室內率定拍攝，其流程圖如圖 2 所示。

室內拍攝前先調整焦距為無窮遠，以膠帶黏貼焦距調整鈕，設定影像最佳解析度(4752x3168 Pixels)，鏡頭光圈設定為最小值 (f 22)。在拍攝過程中，相機安置於相機腳架上，避免手震晃動影響影像品質，並且關閉防手震功能。

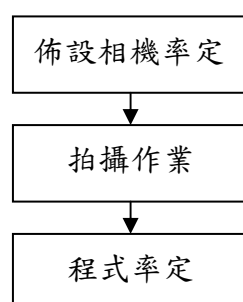


圖 2、相機率定流程圖

2.1、iWitnessPro 相機率定

iWitness Pro 率定的相機參數包含內方位，以及七個描述鏡頭畸變所產生之影像變形的附加參數，參數描述分別如下：

- * 內方位參數(Interior Orientation)：像主距 c 、像主點偏移量(x_p, y_p)
- * 輻射畸變差(Radial Distortion)：K1、K2、K3

* 離心畸變差(Deccentric distortion)：P1、P2

* 仿射畸變差(Affinity Parameter)B1、B2

2.1.1 率定標佈設

iWitnessPro 率定標是以 20 片白色為底，圖片上有 8 個圓形黑點，每張排列方式不盡相同。如圖 3 所示

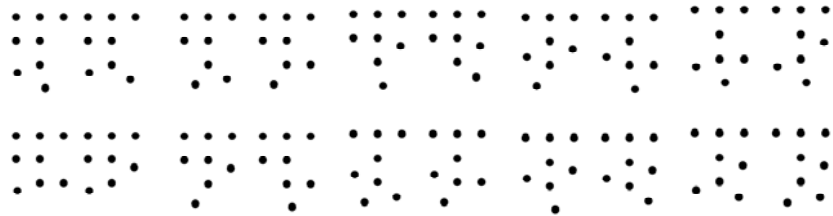


圖 3、iWitnessPro 率定標

佈設時以不同角度牆面分別貼附 8 片及 12 片率定標，最大範圍約 2.5m 左右，如圖 4 所示

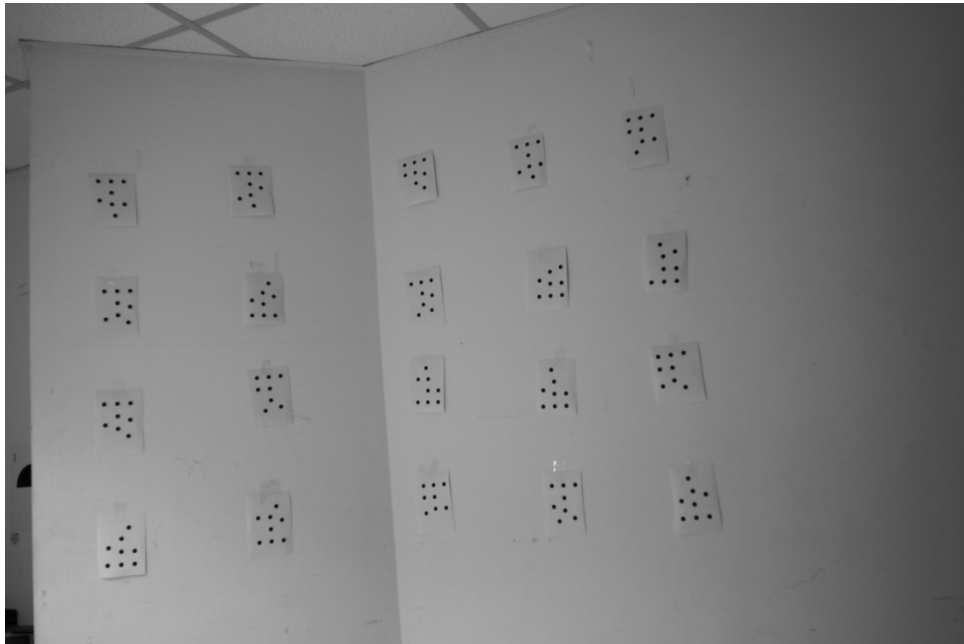


圖 4、iWitnessPro 室內率定標佈設

2.1.2 拍攝作業

於率定標 4 邊及 4 個角拍攝，每個攝影站分別以正拍及沿攝影角度旋轉 90 度至少各拍一張，拍攝距離有 2.5 公尺與 2 公尺不等距離拍攝，礙於室內空間狹長，有些角度無法拍攝，拍攝取得率定影像下圖 5 所示，合計 14 張。

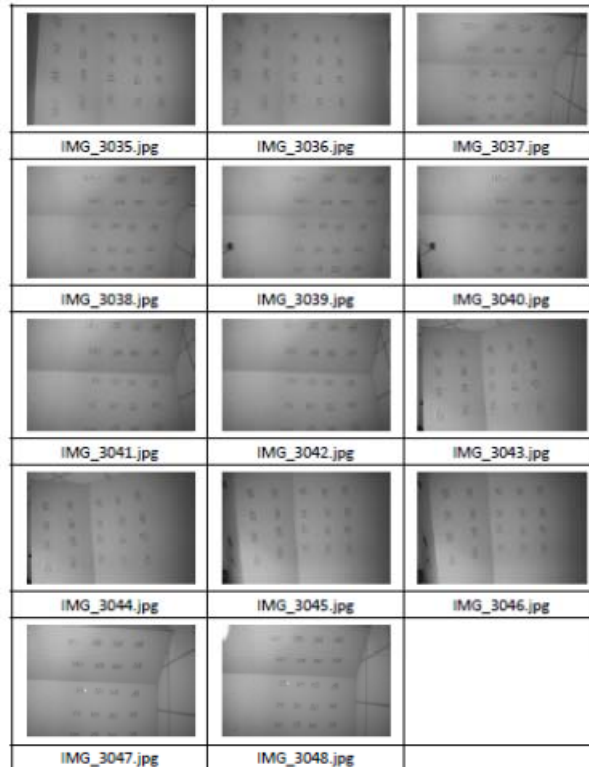


圖 5、iWitnessPro 相機率定用之率定標影像

2.2. PhotoModeler 相機率定

PhotoModeler 率定的相機參數包含內方位，以及五個描述鏡頭畸變所產生之影像變形的附加參數，參數描述分別如下：

- * 內方位參數(Interior Orientation)：像主距 c 、像主點偏移量 (x_p, y_p)
- * 輻射畸變差(Radial Distortion)： K_1 、 K_2 、 K_3
- * 離心畸變差(Deccentric distortion)： P_1 、 P_2

PhotoModeler 軟體內附兩種規格率定標，一為邊長 21.0cm，另一為邊長 91.44cm，本次率定標佈設採取 91.44cm，其率定標如下圖 6 所示。

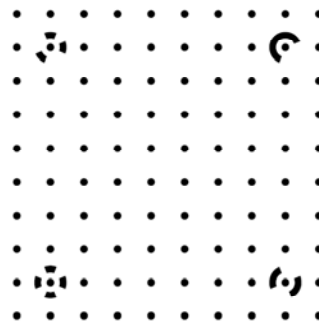


圖 6、PhotoModeler 率定標

2.2.1 拍攝作業

率定標以繪圖機輸出，平整拉直黏貼於白板上，四角以透明膠帶固定。拍攝時正面及四邊拍攝，每個攝影站分別以正拍及沿攝影角度旋轉 90 度至少各拍一張，距離大約 2 公尺左右，能夠全幅涵蓋率定標拍攝，合計 18 張。其分佈如圖 7 下：

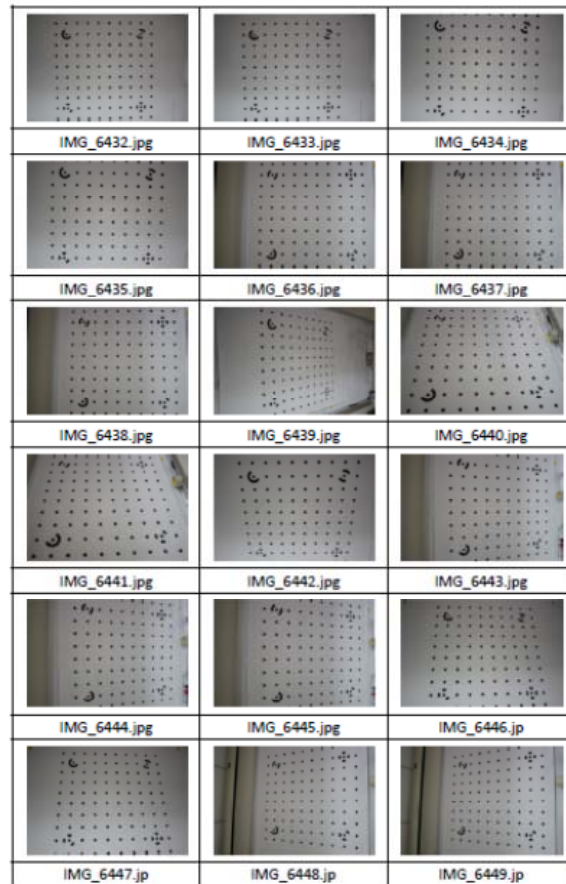


圖 7、PhotoModler 相機率定用之率定標影像

2.3. ENSOMosaic 相機率定

ENSOMosaic 率定的相機參數包含內方位，以及七個描述鏡頭畸變所產生之影像變形的附加參數，參數描述分別如下：

- * 內方位參數(Interior Orientation)：像主距 c 、像主點偏移量 (x_p, y_p)
- * 輻射畸變差(Radial Distortion)： K_1 、 K_2 、 K_3
- * 離心畸變差(Decentric distortion)： P_1 、 P_2

ENSO Mosaic 率定標如圖 8 所示：

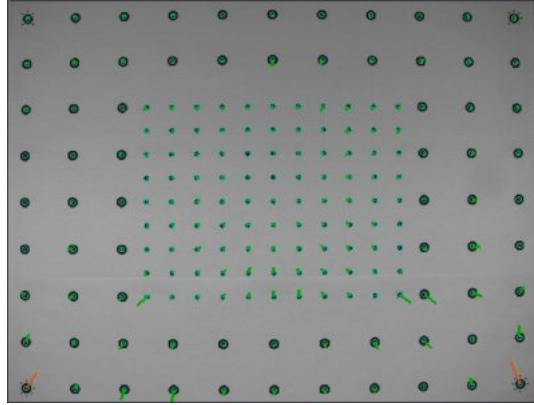


圖 8、ENSO Mosaic 相機率定用之率定標影像

3. 率定成果

經由不同軟體、不同率定標佈設、不同條件之相機率定成果如表 2

表 2、相機率定參數成果表

相機率定方式	焦距	X0	Y0	K1	K2	K3	P1	P2
IWitness Pro	21.870	0.017	0.228	1.78E-04	-2.73E-07	-1.09E-11	1.46E-06	1.92E-05
PhotoModeler	20.774	-0.048	0.145	1.81E-04	-2.64E-07	0.00E+00	1.89E-05	1.65E-05
ENSO Mosaic	20.577	-0.04	0.038	-2.38E-04	9.05E-07	-2.19E-09	-1.59E-05	-1.11E-05

(三)航空攝影作業

本次使用之 UAVs 建置分成二大部份，分別：1.為定翼型無人飛行載具（系統），2. 地面導控載台規格敘述如下：

1. 定翼型無人飛行載具（系統）

本實驗採用定翼型無人飛行載具，如下圖 8 所示。機身為複合材料，翼展長 3.3 公尺，展弦比達 11，UAVs 空重 18 公斤，最大起飛重量 25 公斤，有效酬載 5 公斤。



圖 9、定翼型無人飛行載具

2. 地面導控載台規格

導控載台本體採用商用 2000cc 車輛底盤，並設計車廂使其可以容納無人飛機、任務工具、控制工作站、發電機、天線與操作人員空間。



圖 10、地面導控載台

(四)空中三角測量

本次實驗區位於大高雄荖濃溪上游，航拍日期為 2010 年 12 月 28 日，航拍資訊如下表 3 所示：地面控制點運用既有立體像對量測平面及高程坐標，每一點重複量測三次，取平均值為控制點及檢核點。坐標系統平面基準採用 1997 坐標系統 (TWD97)，高程基準採用 2001 高程系統 (TWVD2001)。

表 3、 航拍資訊

航線數	4 條	檢核點	50 點
航線重疊	80%	像比例尺	1:58939
側向重疊	35%	地表平均高程	35 公尺
航高(正高)	1350 公尺	地面解析力	0.295 公尺
全控制點	22 點		

空三平差解算時先以一般光束法空三平差進行解算，解算時以自由網平差進行粗差偵錯並人工量測不足之連結點，待解算符合先驗精度要求後加入控制點及檢核點，檢驗分析其殘差。後續再以自率光束法進行空三平差解算。

空中三角測量作業流程如圖 10 所示：

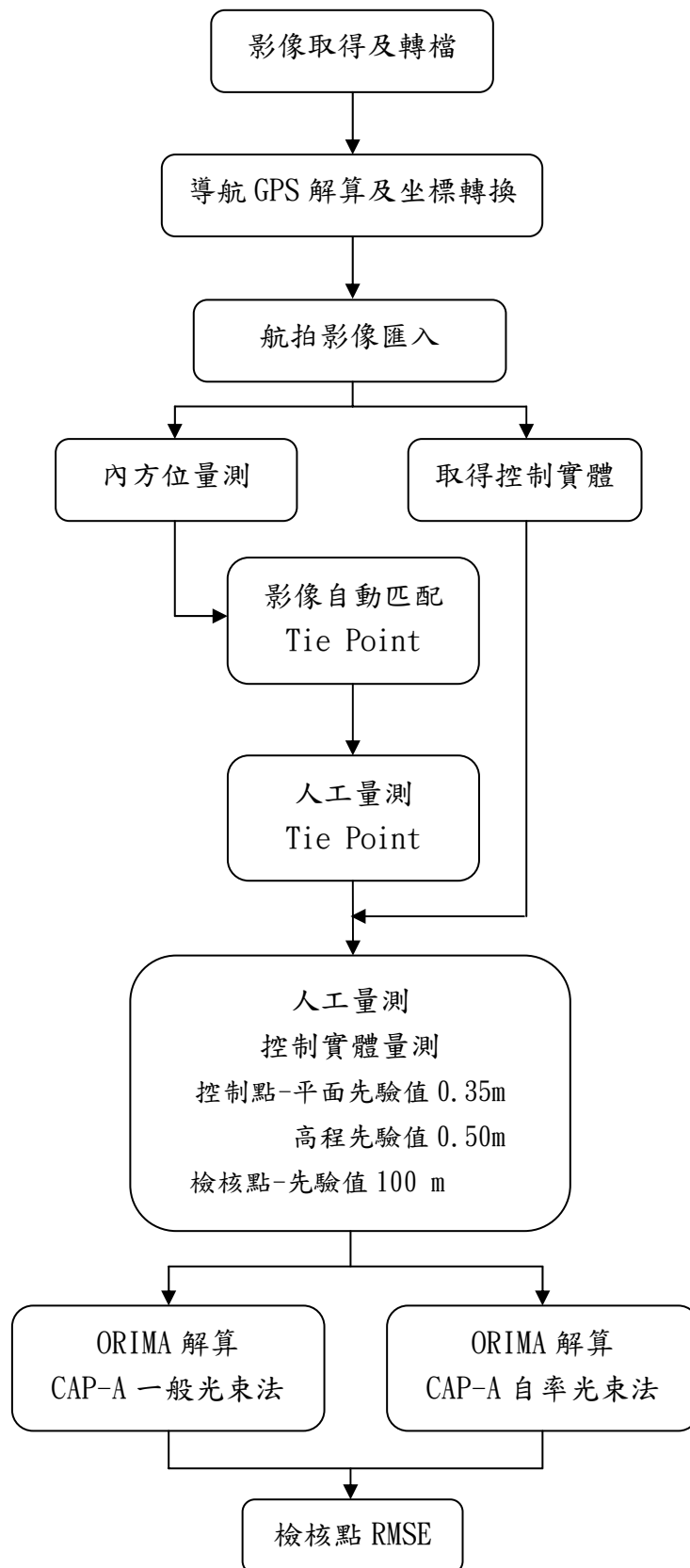


圖 9、空中三角測量作業流程圖

本研究以商用軟體 Leica Geosystems ORIMA 進行空三平差計算，ORIMA 提供自動影像匹配，每一片幅設定 9 標準位，每一標準設定自動匹配 9 點，粗差偵錯後每一標準位至少存留 3 點以上，點位佈設圖如下圖 10 所示。

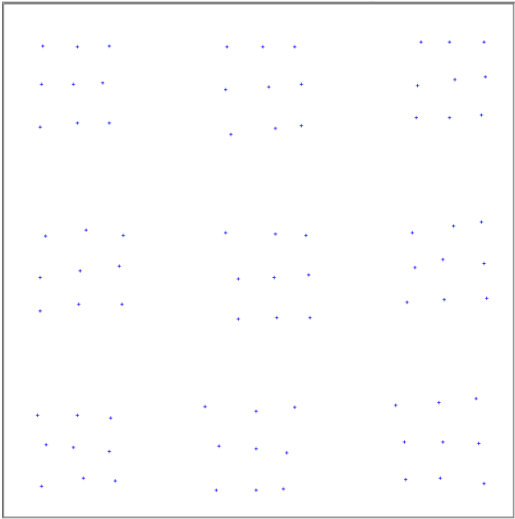


圖 10、Tie points 佈設圖

Semi Auto 控制點量測功能，自動偵錯剔除，且提供自率參數啟動基本(Standard)選項(Locked、Constrained、Free)描述於下表 X

表 6、ORIMA 相機參數表，

自率光束法參數	參數說明
Locked	相機率定值權最大,自率參數不會改變
Constrained	相機率定值權較小,自率參數僅小幅變動
Free	相機率定值權極小,自率參數可以大幅改變
CFL	Focal Length 焦距
x0、y0	Principal Point Off-Sets 像主點
a1,a2,a3	Radial Lens Distortions 輻射畸變差

- 片幅式相機的率定大致可分為三部分來說明：
1. 像主距(Principal distance)：CFL
 2. 像主點(Coordinates of Principal point)：x0, y0
 3. 透鏡畸變差(Lens distortion)包含輻射畸變差及離心畸變差：a1,a2,a3
- 本研究針對像主距、像主點及透鏡畸變差為自率光束法空三平差時待求之相機參數，按照公式 1、公式 2 表示，依序對 ENSOMosaic、iWitness Pro、PhotoModeler、進行一般光束法空三平差：影像自動匹配 Tie points、自由網平差、Tie points 偵錯、人力介入增減 Tie points、偵錯；Tie points 分布圖如圖 11 所示 Tie points 約有 3700 點。本次研究針對控制點分佈採傳統空三方式，控制點同時具備平面及高程坐標，測區周圍界線上 2 至 4 空中攝影基線(基線以重疊 60%為準計算)佈設，控制點先驗精度為平面 0.35 公尺，高程 0.5 公尺，人力介入量測控制點、偵錯；控制點及航分布圖如

下圖 12 所示

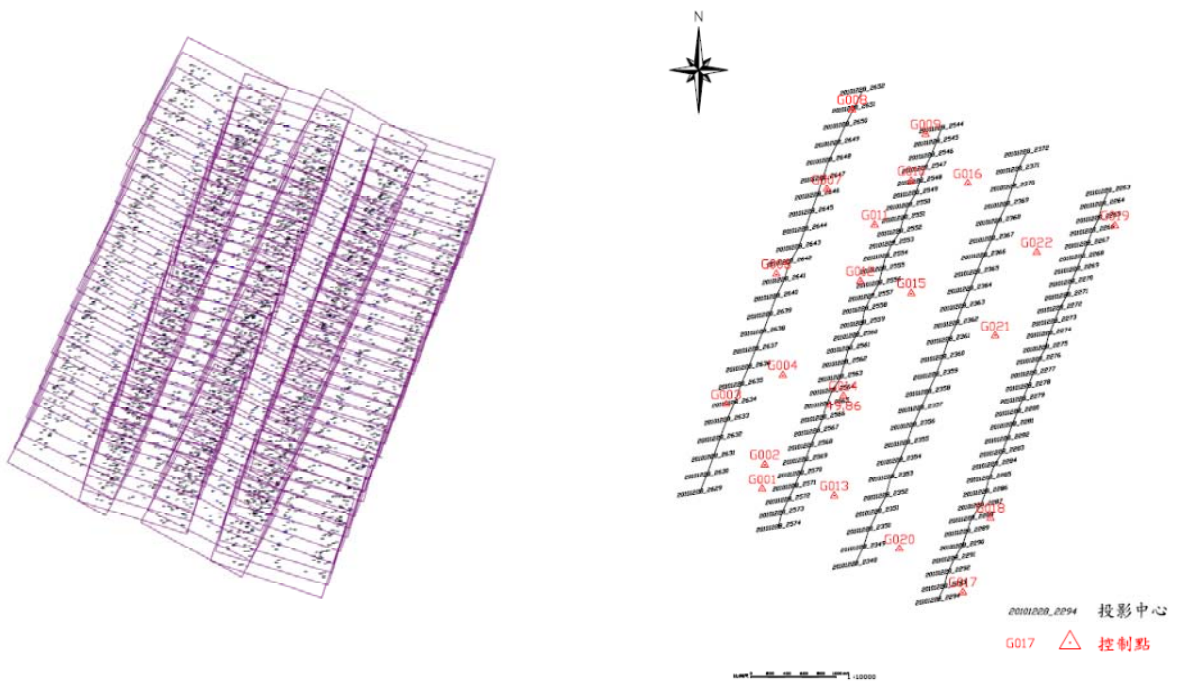


圖 11、Tie points 分佈圖

圖 12、航攝影像及控制點分佈圖

設定檢核點先驗精度平面及高程均為 100 公尺，檢核點分布如下圖 13 所示。一般光束法空三平差成果如下表 7 所示。

表 7、一般光束法檢核點 RMSE

單位(公尺)

率定方式	橫坐標 RMSE	縱坐標 RMSE	高程 RMSE
ENSOMosaic	0.8662	0.6749	2.2398
iWintessPro	10.3879	2.9606	39.2086
PhotoModeler	10.4852	3.2040	39.2086

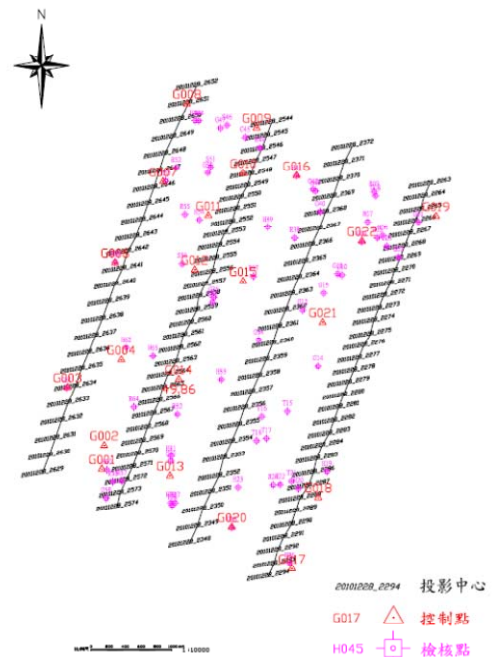


圖 13、控制點及檢核點分佈圖

一般光束法空三平差時設定像點觀測先驗精度 Sigma0 為 8.5um 迭代計算終止後，迭代次數均小於 10 後且無大錯，依公式 3、公式 4 分別對三種率定方式相機參數進行自率光束法空三平差計算，迭代次數及像點觀測

後驗精度成果如表 8 所示。自率光束法空三平差檢核點 RMSE 成果如下表 9 所示。自率光束法空三平差可解算出另一組相機率定值，如表 10 所示

表 8、迭代次數及後驗值

率定方式	空三量平差方式	迭代次數	Sigma0
ENSO Mosaic	自由網一般光束法	5	4.9
	自由網自率光束法	7	4.8
	一般光束法	5	5.2
	自率光束法	7	4.8
iWitness Pro	自由網一般光束法	6	9.4
	自由網自率光束法	7	4.8
	一般光束法	6	9.4
	自率光束法	6	4.8
PhotoModeler	自由網一般光束法	6	9.0
	自由網自率光束法	7	4.8
	一般光束法	5	21.2
	自率光束法	7	4.8

表 9、自率光束法檢核點 RMSE

自率光束法		單位(公尺)		
率定方式	橫坐標 RMSE	縱坐標 RMSE	高程 RMSE	
ENSOMosaic	0.4900	0.9418	0.5157	
iWintessPro	0.4889	0.9425	0.5208	
PhotoModeler	0.4823	0.9419	0.5164	

表 10、自率光束法空三平差後之相機率定值

率定方法	焦距	X0	Y0	A1	A2	A3
ENSOMosaic	21.7446	-0.2347	-0.08	-1.66E-04	2.76E-07	-3.85E-11
iWitness Pro	21.8158	-0.2315	-0.0832	-1.66E-04	2.77E-07	-4.22E-11
PhotoModeler	21.7552	-0.2342	-0.0804	-1.66E-04	2.76E-07	-3.90E-11

(五)、研究分析

由上述數據可歸納出以下幾點：

1. 由表 2 中可得知，即使相機鏡頭為定焦，但不同軟體受到率定標的不同、率定維度的不同，率定成果差異甚大，尤其以焦距最為明顯。
2. 無論在一般光束法或是自率光束法空三平差，觀測量的改正在地形較為嚴苛情況下皆需要人工介入改正，如山區高程變化較為劇烈之區域。
3. 由表 2 中 ENSOMosaic 率定值與 iWintessPro、PhotoModeler 在焦距方面有高達 1.1mm 的差距，經自率光束法空三平差解算後焦距與 Enso Mosaic

軟體率定值較為接近，從表 7 亦可得知 ENSOMosaic 率定之相機參數進行一般光束法空三平差後檢核點 RMSE 為最佳。其原因是在一般光束法自由網平差粗差偵錯時是以 ENSOMosaic 率定之相機參數進行，當迭代收斂後，再分別置換 iWintessPro、PhotoModeler 率定之相機參數進行一般光束法空三平差計算，導致 iWintessPro 及 PhotoModeler 相機參數用於一般光束法空三平差時其檢核點殘差較 ENSOMosaic 相機參數來得大。

4. 不論哪一軟體率定，由表 9 中得知；經由自率光束法空三平差標準 (Standard) 選項中 CFL、 x_0 、 y_0 、 a_1 、 a_2 、 a_3 之相機參數以 Free 方式解算，皆能有效提升空三精度，尤其以高程精度最為明顯且其均方根誤差均相當一致。
5. 由表 10 中得知，不論是何種軟體率定參數帶入自率光束法空三平差解算後其率定所得之相機參數亦相當一致。自率光束法空三平差的確可以提升精度，與謝幸宜(2011)以自率光束法提升四旋翼 UAV 航拍影像之定位精度一文中空三平差結論一致。

結論

由實驗中證實不同相機率定結果對空三平差成果均無法達到先驗精度，尤其是高程精度影響較大。而以附加參數進行自率光束法空三平差時不論何種軟體率定以自率光束法空三平差均能得到相當一致之成果。

然而本實驗當中控制點來源是由既有之空三成果，其像比例尺為 1/20000，測圖比例尺為 1/5000，影像地面解像力大約 0.30 公尺左右之立體觀測所得。對於控制點精度若提升對空三平差精度之影響則於將來擬以 E-GPS 或是同等級測量方式提高控制點及檢核點之精度探討之，並進而評估立體測圖之可行性。此外，本次實驗中於一般光束法自由網平差粗差偵錯時是以 ENSOMosaic 率定之相機參數進行，當迭代收斂後，再分別置換 iWintessPro、PhotoModeler 率定之相機參數進行一般光束法空三平差計算，導致 iWintessPro 及 PhotoModeler 相機參數用於一般光束法空三平差時其檢核點殘差較 ENSOMosaic 相機參數來得大，後續將針對此問題進行改善。

參考文獻

何維信，1995，『航空攝影測量學』，國立編譯館主編，大中國圖書公司：台北。

謝幸宜，2010，「以自率光束法提升四旋翼 UAV 航拍影像之定位精度」，國立政治大學地政學系碩士論文：台北

鄒芳諭，2010，「以非量測性相機進行近景攝影測量探討」，國立交通大學土木工程研究所碩士論文：新竹。