



NLSC-108-20

108 年度建置遙控無人機系統與航 拍及影像處理作業採購案

工作總報告

主辦機關：內政部國土測繪中心

執行單位：經緯航太科技股份有限公司

中華民國 109 年 1 月 7 日

摘要

本案自 108 年 2 月 28 日起開始執行，依契約書規定全案原計 240 個日曆天，第 3 階段及第 4 階段履約期限延至 108 年 12 月 22 日及 109 年 1 月 1 日；因本年無緊急航拍作業需求，另選定一般航拍作業辦理。本案總計完成下列工作項目：

本案協助拍攝並製作臺北市士林區、臺南市永康區、臺中市后里區等 3 區正射影像成果；另配合國土測繪一號拍攝之影像進行影像處理作業，進行製作臺南市北門區、嘉義縣布袋鎮(布袋濕地)、宜蘭縣五結鄉、臺南市關廟區、嘉義縣布袋鎮、臺南市下營區、臺南市安南區等 7 區正射影像，相關航拍及成果應用可增進政府機關橫向協調聯繫及提升圖資更新效率等成果效益。

本案完成建置一套飛行時間達 20 分鐘、最大控制距離達 1000 公尺、最大飛行高度 400 公尺以上之多軸四旋翼遙控無人機系統。無人機上搭載設備包含 Sonya7 III 單眼全片幅數位相機及 Carl Zeiss 21mm 鏡頭、本團隊自行整合之定位定向系統 (Trimble BD982 雙頻 GNSS 及 ADIS16488 IMU) 及 GARMIN VIRB 360 全景相機。監控 UAS 之地面控制站使用本團隊開發之 Geosat Mission Planner 航線規劃軟體，功能包含手動或自動方式規劃航點、設定飛行路徑及拍照任務資料、預估作業時間，同時可顯示禁限航區等資訊，並可於飛行前載入臺灣通用電子地圖進行航線規劃；任務執行時可即時顯示載具之飛行高度、速度、姿態及飛行軌跡。另本案提供一套 Pix4Dmapper 影像處理軟體 (含 3D 模型製作模組)，具備處理 UAS 影像產製正射影像及三維模型等功能。

另一方面，以本案建置之多軸四旋翼遙控無人機系統，規劃離地高 150 及 250 公尺兩種不同航拍任務辦理南崗校正場航拍與空中三角測量解算及製作正射影像成果以進行比較及精度驗證，結果顯示離地高 150 公尺空三計算成果平面位置均方根誤差(Root Mean Square Error ,RMSE)為 0.020 及 0.013 公尺；離地高 250 公尺平面位置均方根 RMSE 為 0.026 及 0.016 公尺，驗證正射影像精度可達契約書規定之一般航拍作業之 A 類(平面位置較差均方根值 0.5 公尺以下)標準，可符合局部圖資更新及特定區域國土監測領域應用需求。此外，於精度需求不高且具時效性之防救災應用領域，為快速取得成果，以校正場範圍面積與環境條件為例，使用軸角與固定臂參數計算直接地理定位結果，需時 1 小時，當航拍離地高 150 公尺時，三軸方向定位精度均方根值(Root Mean Square ,RMS)為 2.811、2.222、7.257 公尺；當航

拍離地高 250 公尺時，三軸方向定位精度 RMS 值約為 7.574、8.173、20.712 公尺。

本案三維模型試辦作業以臺中糖廠為指定區域，採用井字型及環拍方式進行航拍，使用 Pix4Dmapper 3D 模組完成產製三維模型，同時彙整相關作業方式研提三維模型產製之標準作業流程。本案 UAS 及 LMS 結合規劃，以臺中糖廠為例，規劃未來 UAS 及 LMS 結合之聯合作業可能方式，主要內容分為拍攝規劃、外業資料取得及內業資料處理等。外業方面，UAS 採用空中井字形及環形拍攝方式，透過兩種航拍模式取得建物上方及側面影像資訊；LMS 則以地面環繞建物拍攝以獲取建物側面光達點雲資訊。內業方面，使用 Metashape 軟體進行 UAS 及 LMS 資料合併計算以建置三維模型，其合併方式是將外部 LMS 點雲及內部 UAS 影像匹配點雲，直接套合一起進行建模，可成功產製三維模型成果。

關鍵字：遙控無人機系統、移動測繪系統、定位定向系統、直接地理定位、三維模型重建

Abstract

Surveying and mapping is important for the development of nation. It is the foundation for various construction plans, land and environmental resources surveys, and disaster prevention systems of the government. In recent years, the development of a low-cost system to collect spatial information has become critical. In this project, the analysis of an UAS borne integrated multi-spectral sensor, lidar, POS are performed.

The total plan of UAS aerial photography and image processing are 10 area with 59.9. km² in 2019. The results can be used for updating the Taiwan e-Map and providing the information for land monitoring in specific areas.

In this project, a Multi-rotor UAS based spatial information acquisition platform including camera (Sony α 7 III), integrated IMU/GNSS system, and panoramic camera (GARMIN VIRB 360). The proposed UAS can operate in ground control point free environments. All necessary calibration procedures are implemented in Nangang Industrial Park. The preliminary results of positioning accuracy in direct georeferencing mode illustrate that x-, y-, and z-axes are around 2.811, 2.222, 7.257 m at 150 m flight height. When the flight height is 350 m, the positioning accuracy are around 7.574, 8.173, 20.712 m.

The trial operation area of the three-dimensional model in this project is Taichyu Factory of Teikoku Seitou K. K. The flight mode uses the orthogonal zone to get images. In addition, UAS takes images by flying

surrounding the building. The preliminary result compares the capability of modeling between the software ContextCapture, Metashape, and Pix4Dmapper. The software ContextCapture is better than others by visual, effective, and delicate.

In this project, a combination of UAS and LMS planning was developed. It combines the images of UAS and lidar point clouds of LMS. The test area is also Taichyu Factory of Teikoku Seitou K. K. The flight mode uses the orthogonal zone and flying surrounding the building to get images. The purpose of combined lidar point clouds by LMS is to aid the details where cannot matched by image-based modeling successfully. The combined algorithm of software is only merging the LMS point clouds and UAS image matching point clouds. It can not edit the data of three-dimensional model. Therefore, the final result depends on the quality of the point clouds that we input. The preliminary results show that there are still some fitting problems. It will be an important issue about improving the accuracy of point clouds in the future.

Keypoint : UAS, Mobile Mapping System, GNSS, INS, Direct Georeferencing, 3D model

目錄

摘要	I
Abstract.....	III
目錄	V
圖目錄	VII
表目錄	XI
第壹章 前言	1
第一節 計畫名稱	1
第二節 計畫緣起	1
第三節 工作項目及內容	1
第四節 工作時程及交付成果	7
第貳章 作業項目及程序與方法	9
第一節 作業執行規劃	9
第二節 UAS 航拍規劃與作業流程說明	17
第三節 空中三角測量及正射影像製作作業規劃	25
第四節 成果檢核	33
第參章 遙控無人機系統航拍及影像處理作業	37
第一節 協助航拍作業	39
第二節 國土測繪 1 號影像處理作業	53
第肆章 建置遙控無人機系統	61
第一節 UAS 及影像處理軟體	61
第二節 校正場航拍	71
第三節 三維模型試辦	83
第四節 UAS 及 LMS 結合規劃	97
第伍章 成果展示作業及教育訓練	103
第一節 成果展示作業	103
第二節 辦理教育訓練	104
第陸章 結論	107

第七章 附錄.....	109
附錄一 工作總報告甲方工作小組意見回覆說明表.....	109
附錄二 作業計畫書甲方工作小組意見回覆說明表.....	112
附錄三 服務建議書委員審查意見回覆說明表.....	114
附錄四 服務建議書甲方工作小組之意見回覆說明表.....	117
附錄五 需求訪談會議紀錄.....	118
附錄六 各次工作會議紀錄回覆說明表.....	121
附錄七 遙控無人機系統型錄規格.....	125
附錄八 數位相機率定報告.....	141
附錄九 南崗校正場無控制點空三計算成果.....	161
附錄十 影像處理軟體授權文件.....	162
附錄十一 教育訓練時間表及簽到表.....	165
附錄十二 公共意外責任保險投保保單.....	169
附錄十三 參考文獻.....	170

圖目錄

圖 2-1 Sky Arrow 55 UAS	9
圖 2-2 多旋翼型 UAS	11
圖 2-3 單旋翼型 UAS	11
圖 2-4 多旋翼型 UAS POS 設計	12
圖 2-5 ADIS 16488	12
圖 2-6 Trimble BD982	12
圖 2-7 Sony α7R 全片幅數位相機	13
圖 2-8 Sonyα7R II 全片幅數位相機	13
圖 2-9 本團隊中科廠房之相機內方位率定實驗室	14
圖 2-10 相機率定拍攝程序示意圖	15
圖 2-11 相機率定拍攝方式(夾角 45 度)俯視圖	15
圖 2-12 相機率定拍攝方式(夾角 45 度)側視圖	15
圖 2-13 相機率定拍攝方式(夾角 90 度)俯視圖	16
圖 2-14 相機率定拍攝方式(夾角 90 度)側視圖	16
圖 2-15 相機率定拍攝範例	16
圖 2-16 UAS 航拍工作標準作業流程規劃	18
圖 2-17 UAS 操作使用程序標準作業流程	19
圖 2-18 UAS 航拍任務執行紀錄	21
圖 2-19 航線規劃示意圖	22
圖 2-20 S 模式航線範例圖	23
圖 2-21 Z 模式航線範例圖	23
圖 2-22 UAS 品保流程	24
圖 2-23 選取後測控制點位置範例	25
圖 2-24 航測標示意圖	25
圖 2-25 自然點選設現場照片	26
圖 2-26 空中三角測量示意圖	26
圖 2-27 空中三角測量平差報表	27
圖 2-28 空中三角測量示意圖	28
圖 2-29 弱匹配區手動加點列表示意圖	29
圖 2-30 像片網形連結範例圖	29
圖 2-31 製作彩色無縫正射影像鑲嵌流程圖	30
圖 2-32 正射影像糾正示意圖	31
圖 2-33 ImageStation Orthopro 空三資料	31
圖 2-34 ImageStation OrthoproDEM 資料	31
圖 2-35 正射影像鑲嵌示意圖	32
圖 2-36 正射影像編修前後比較 (左邊為編修前、右邊為編修後)	32

圖 2-37 直方圖兩端突然停止示意圖	35
圖 3-1 108 年度一般航拍任務及影像處理區域分布	37
圖 3-2 臺北市士林區(陽明山大油坑)飛行航線規劃	39
圖 3-3 臺北市士林區(陽明山馬槽及夢幻湖)飛行航線規劃	40
圖 3-4 臺北市士林區(陽明山大油坑)起降場地作業情形	41
圖 3-5 臺北市士林區(陽明山馬槽及夢幻湖)起降場地作業情形	41
圖 3-6 臺北市士林區(陽明山大油坑)航拍影像中心點分布圖	42
圖 3-7 臺北市士林區(陽明山馬槽及夢幻湖)航拍影像中心點分布圖	42
圖 3-8 臺北市士林區(陽明山大油坑)控制點分布圖	43
圖 3-9 臺北市士林區(陽明山大油坑)正射鑲嵌影像成果	43
圖 3-10 臺北市士林區(陽明山馬槽及夢幻湖)控制點分布圖	44
圖 3-11 臺北市士林區(陽明山馬槽)正射鑲嵌影像成果	44
圖 3-12 臺北市士林區(陽明山夢幻湖)正射鑲嵌影像成果	45
圖 3-13 臺南市永康區飛行航線規劃	45
圖 3-14 臺南市永康區起降場地作業情形	46
圖 3-15 臺南市永康區航拍影像中心點分布圖	47
圖 3-16 臺南市永康區控制點分布圖	47
圖 3-17 臺南市永康區正射鑲嵌影像成果	48
圖 3-18 臺中市后里區飛行航線規劃	49
圖 3-19 臺中市后里區起降場地(11/28)作業情形	50
圖 3-20 臺中市后里區起降場地(12/3)作業情形	50
圖 3-21 臺中市后里區航拍影像中心點分布圖	51
圖 3-22 臺中市后里區控制點分布圖	52
圖 3-23 臺中市后里區正射鑲嵌影像成果	53
圖 3-24 臺南市北門區控制點分布圖	54
圖 3-25 臺南市北門區正射鑲嵌影像成果	54
圖 3-26 嘉義縣布袋鎮控制點分布圖	55
圖 3-27 嘉義縣布袋鎮正射鑲嵌影像成果	55
圖 3-28 宜蘭縣五結鄉控制點分布圖	56
圖 3-29 宜蘭縣五結鄉正射鑲嵌影像成果	56
圖 3-30 臺南市關廟區控制點分布圖	57
圖 3-31 臺南市關廟區正射鑲嵌影像成果	57
圖 3-32 嘉義縣布袋鎮控制點分布圖	58
圖 3-33 嘉義縣布袋鎮正射鑲嵌影像成果	58
圖 3-34 臺南市下營區控制點分布圖	59
圖 3-35 臺南市下營區正射鑲嵌影像成果	59
圖 3-36 臺南市安南區控制點分布圖	60

圖 3-37 臺南市安南區正射鑲嵌影像成果	60
圖 4-1 遙控無人機外型及籌載整合情形.....	62
圖 4-2 遙控無人機收納箱.....	63
圖 4-3 電池及充電設備.....	63
圖 4-4 單眼全片幅數位相機 Sonyα7 III	63
圖 4-5 定焦鏡頭 Carl Zeiss Loxia 2.8/21mm	64
圖 4-6 Sonyα7 III 內方位率定參數.....	65
圖 4-7 GNSS Trimble BD982 外觀及規格表.....	65
圖 4-8 IMU ADIS16488 外觀及規格表.....	66
圖 4-9 定位定向系統整合情形	66
圖 4-10 定位定向系統單點定位精度實測資料蒐集情形	66
圖 4-11 全景相機 GARMIN VIRB 360	68
圖 4-12 地面控制站 Window 筆電	68
圖 4-13 手持式遙控器 Futaba 14SG.....	69
圖 4-14 7 吋液晶顯示器.....	69
圖 4-15 航線規劃功能.....	70
圖 4-16 載入禁限航區圖資	70
圖 4-17 載入國土測繪中心電子地圖顯示	71
圖 4-18 南崗校正場(離地高 150 公尺)飛行航線規劃.....	72
圖 4-19 南崗校正場(離地高 250 公尺)飛行航線規劃.....	72
圖 4-20 南崗校正場起降場地作業情形.....	73
圖 4-21 南崗校正場航拍(離地高 150 公尺)影像中心點分布圖	74
圖 4-22 南崗校正場航拍(離地高 250 公尺)影像中心點分布圖	74
圖 4-23 南崗校正場航拍控制點分布圖.....	75
圖 4-24 南崗校正場航拍檢核點分布圖.....	75
圖 4-25 南崗校正場(離地高 150 公尺)正射鑲嵌影像成果.....	76
圖 4-26 南崗校正場(離地高 250 公尺)正射鑲嵌影像成果.....	76
圖 4-27 南崗校正場航拍(離地高 150 公尺) POS 軌跡.....	77
圖 4-28 南崗校正場航拍(離地高 250 公尺) POS 軌跡.....	77
圖 4-29 直接地理定位程式介面	79
圖 4-30 南崗校正場(離地高 150 公尺)檢核點分布位置.....	80
圖 4-31 南崗校正場(離地高 250 公尺)檢核點分布位置.....	81
圖 4-32 臺中糖廠範圍	83
圖 4-33 航拍影像中心點位置分布	84
圖 4-34 控制點位置分布	84
圖 4-35 Pix4D Mapper 計算相關成果	85
圖 4-36 Pix4D Mapper 正射及 DSM 預覽成果.....	86

圖 4-37 Pix4D Mapper 空三計算結果	86
圖 4-38 Agisoft Metashape Pro 計算相關成果.....	87
圖 4-39 Bentley ContextCapture Center 展示 UAS 拍攝航點圖.....	87
圖 4-40 Bentley ContextCapture Center 模型切割顯示範圍.....	88
圖 4-41 Bentley ContextCapture Center 展示 Mesh 模型	88
圖 4-42 Bentley ContextCapture Center 建模成果.....	88
圖 4-43 三維建模成果比較 1	90
圖 4-44 三維建模成果比較 2.....	91
圖 4-45 三維建模成果比較 3	92
圖 4-46 三維建模成果比較 4.....	93
圖 4-47 三維建模成果比較 5	94
圖 4-48 三維建模成果比較 6.....	95
圖 4-49 三維建模成果比較 7.....	96
圖 4-50 UAS 影像建模情況	98
圖 4-51 UAS 影像+LMS 光達建模情況.....	98
圖 4-52 UAS 影像與 UAS 影像+LMS 光達建模比較.....	99
圖 4-53 點雲比較	100
圖 5-1 監察院實地巡察作業展示(108 年 3 月 26 日).....	103
圖 5-2 第 38 屆測量及空間資訊研討會海報製作.....	103
圖 5-3 遙控無人機系統飛行入門教育訓練現場.....	104
圖 5-4 第 2 梯次教育訓練現場	104
圖 5-5 遙控無人機管理規則	106
圖 5-6 遙控無人機人員操作證申請書.....	106

表目錄

表 1-1 工作時程及交付成果	7
表 2-1 SkyArrow 55 UAS 載具規格	9
表 2-2 Sky Arrow55 UAS 載具特色	10
表 2-3 多旋翼型 UAS 規格表	11
表 2-4 單旋翼型 UAS 規格表	12
表 2-5 Sony α7R 全片幅數位相機規格表.....	13
表 2-6 Sonyα7R II 全片幅數位相機規格表.....	14
表 2-7 相機率定成果.....	17
表 2-8 航空攝影規劃資訊.....	22
表 2-9 可靠度指標	28
表 2-10 正射影像解析度及精度要求對照	35
表 3-1 108 年度一般航拍任務及影像處理區域彙整表.....	38
表 3-2 臺北市士林區(陽明山大油坑)任務執行概況.....	39
表 3-3 臺北市士林區(陽明山馬槽及夢幻湖)任務執行概況.....	40
表 3-4 臺北市士林區(陽明山大油坑)空三計算成果	43
表 3-5 臺北市士林區(陽明山馬槽及夢幻湖)空三計算成果.....	44
表 3-6 臺南市永康區任務執行概況.....	46
表 3-7 臺南市永康區空三計算成果.....	48
表 3-8 臺中市后里區任務執行概況.....	49
表 3-9 臺中市后里區空三計算成果.....	52
表 3-10 臺南市北門區空三計算成果.....	54
表 3-11 嘉義縣布袋鎮空三計算成果	55
表 3-12 宜蘭縣五結鄉空三計算成果.....	56
表 3-13 臺南市關廟區空三計算成果.....	57
表 3-14 嘉義縣布袋鎮空三計算成果.....	58
表 3-15 臺南市下營區空三計算成果.....	59
表 3-16 臺南市安南區空三計算成果.....	60
表 4-1 系統軟硬體需求表.....	61
表 4-2 遙控無人機規格.....	62
表 4-3 Sonyα7 III 全片幅數位相機規格表	64
表 4-4 Carl Zeiss Loxia 2.8/21mm 定焦鏡頭規格表	64
表 4-5 定位定向系統單點定位精度實測.....	67
表 4-6 GARMIN VIRB 360 全景相機規格表.....	67
表 4-7 南崗校正場(離地高 150 公尺)任務執行概況.....	72
表 4-8 南崗校正場(離地高 250 公尺)任務執行概況.....	73
表 4-9 南崗校正場(離地高 150 公尺)空三計算成果.....	75

表 4-10 南崗校正場(離地高 250 公尺)空三計算成果.....	76
表 4-11 南崗校正場(離地高 150 公尺)軸角與固定臂率定成果.....	78
表 4-12 南崗校正場(離地高 150 公尺)軸角與固定臂率定精度.....	78
表 4-13 南崗校正場(離地高 250 公尺)軸角與固定臂率定成果.....	79
表 4-14 南崗校正場(離地高 250 公尺)軸角與固定臂率定精度.....	79
表 4-15 南崗校正場(離地高 150 公尺)直接地理定位精度.....	81
表 4-16 南崗校正場(離地高 250 公尺)直接地理定位精度.....	82
表 4-17 直接地理定位誤差估計.....	83
表 4-18 三維建模軟體比較.....	89
表 5-1 基本級術科測驗項目.....	105

第壹章 前言

第一節 計畫名稱

本計畫名稱為「108 年度建置遙控無人機系統與航拍及影像處理作業採購案」（以下簡稱本案）。

第二節 計畫緣起

遙控無人機系統（Unmanned Aircraft System, UAS；以下簡稱 UAS），同時具備定位系統及自動飛行控制等功能，使得空間資料的蒐集更有效率，可應用於國土保安、環境變遷、土石流即時監測及海洋及森林資源探測保護等工作。

為發展 UAS 技術及推廣應用，內政部國土測繪中心（以下簡稱國土測繪中心）於「發展無人飛行載具航拍技術作業案」（100 至 103 年度），完成建置 1 套定翼型 UAS 及 48 區航拍與影像處理作業、影像處理軟體整合作業及 UAS 航拍作業規範、升級數值航測影像工作站圖資編修軟體等多項工作。延續先前發展及 UAS 建置作業，於「現代化測繪科技發展計畫」中研擬「發展無人飛行載具系統測繪作業計畫」（104 至 107 年度），規劃辦理發展多元化 UAS 載具技術、研究測試搭載多元化感測器、提升 UAS 航拍及影像處理技術、辦理 UAS 航拍及影像處理作業及協助其他政府機關辦理特定區域航拍作業等工作。另為廣續發展 UAS 技術及推廣應用，於「多元測繪科技整合應用計畫」中研提「發展空中及地面移動測繪技術」（108 至 111 年度），規劃辦理發展空中及地面移動測繪技術、整合空中及地面不同載具蒐集空間資訊、提升 UAS 航拍及影像處理技術及協助其他政府機關辦理特定區域航拍作業等。108 年度為該計畫第 1 年，規劃建置一套 UAS，並廣續辦理一般及緊急航拍相關作業。

第三節 工作項目及內容

一、一般航拍作業

- (一) 航拍區域：航拍範圍以區為單位，契約所列數量為預估數量，如未達預估數量，契約期滿即自動失效。
- (二) 使用載具：可採用航空器或本公司自有（或租借）UAS 設備辦理航拍。
- (三) 航拍規定：

1. 航拍時原始影像解析度須優於國土測繪中心指定之解析度 0.25 或 0.10 公尺，含雲量不得超過 5%；影像前後重疊率須達 80%（不得少於 70%），側向重疊率須達 40%（不得少於 30%）。
2. 使用之酬載相機須辦理率定作業，並於決標次日起 30 個日曆天繳交相機率定報告。
3. 採用航空器辦理航拍，本公司應自行申請空域；如採用 UAS 航拍，本公司須於接獲國土測繪中心通知航拍區域後 5 個日曆天內提送空域申請相關資料，由國土測繪中心協助申請，並協助與其他機關協調空域。
4. 每次執行任務須填寫航拍任務紀錄表，記錄每次航拍日期、天氣狀況、風向、風級、飛航方向、飛行時間等資料。
5. 辦理航拍作業前，應依據國土測繪法規定協助製作申請航拍計畫之相關資料。

(四)正射影像：應辦理空中三角測量並製作正射影像成果，不同類別成果解析度及精度要求如下表：

類別	地面解析度 (公尺)	精度		備註
		均方根值 (公尺)	最大偏移量 (公尺)	
A	0.10	0.50	1.50	檢查位於平坦表面無高差位移之明顯地物點平面位置較差
B	0.10	1.00	2.00	
C	0.25	1.25	2.50	

1. 坐標系統：TWD97[2010]坐標系統。
2. A 類別之正射影像需求，本公司須至現地辦理控制點測量，供後續空中三角測量計算使用，並繳交控制測量成果。
3. B 及 C 類別之正射影像需求，由國土測繪中心提供影像控制區塊供本公司辦理空中三角測量。

(五)詮釋資料：產製之正射影像成果應依據內政部訂頒之詮釋資料標準格式（TWSMP2.0）建置詮釋資料。

- (六)繳交成果：原始影像、空中三角測量(含平差與檢核結果書面資料)、正射影像、詮釋資料及任務執行紀錄及相關原始數據資料。
- (七)繳交期限：本公司應於國土測繪中心通知(公文或電子郵件)航拍次日起 40 個日曆天內繳交成果，如航拍區位於高山易多雲地區(海拔 2,000 公尺以上)，繳交期限則為國土測繪中心通知航拍次日起 50 個日曆天內。前開期限如遇天候或其他不可抗力因素無法於期限內完成航拍，須於繳交成果時提出相關佐證資料。

二、緊急航拍作業

- (一)辦理國土測繪中心指定緊急或特定航拍區域 1 區，航拍面積以 3 平方公里為原則，如有特殊情形由國土測繪中心認定。
- (二)使用載具以 UAS 為原則。
- (三)須於國土測繪中心提出且通知航拍區域後，前往現地辦理航拍作業，且須於抵達現地後 24 小時內完成航拍作業。前開期限如遇天候或其他不可抗力因素無法於期限內完成航拍，須於繳交成果時提出相關佐證資料。
- (四)本公司應於航拍完成後 24 小時內繳交原始影像及快速幾何糾正鑲嵌影像。
- (五)如至 108 年 9 月 30 日止國土測繪中心仍無緊急航拍作業需求，由國土測繪中心另指定區域並依「一、一般航拍作業」方式辦理。

三、國土測繪 1 號航拍影像處理作業

- (一)辦理國土測繪中心「108 年度國土測繪 1 號無人飛行載具航拍及維護作業採購案」航拍作業之影像處理，且須於國土測繪中心提出航拍影像與原始數據資料次日起 30 日內完成並繳交成果，包含空中三角測量(含平差與檢核結果書面資料)與正射影像及詮釋資料。
- (二)本項作業流程與成果及精度要求依「一、一般航拍作業(六)正射影像」之解析度 0.25 公尺(C 類)成果精度要求方式辦理。

四、建置遙控無人機系統

(一)UAS 及影像處理軟體

1. UAS

- (1) 本公司應於決標次日起 90 個日曆天內繳交具垂直起降功能之遙控無人機(含操作使用及保養維護手冊)、酬載設備[包含單眼全片幅數位相機(內方位率定報告)、全景相機、定位定向系統]、地面控制站及航線規劃軟體等,其中 UAS 各項設備須為 107 年 6 月後新品且提供證明或出具切結書。
- (2) 如於保固期前(110 年 12 月 31 日)「遙控無人機管理規則」完成立法,本公司應協助國土測繪中心依照該規則相關規定完成遙控無人機檢驗及註冊事宜。

2. 影像處理軟體

- (1) 本公司應於決標次日起 90 個日曆天內繳交 1 套 UAS 影像處理軟體【含軟體使用授權(licence)】。具備處理 UAS 影像、輸出相機內方位參數、影像匹配、空三平差計算、數值地表模型與正射影像產製及精度報表輸出等功能。
- (2) 另提供該軟體 3D 模型(3D Mesh Model)製作模組之授權至 109 年 12 月 31 日。

(二)校正場航拍

1. 以本案建置 UAS 航拍位於南投市南崗工業區國土測繪中心所設置之航空測量攝影機校正場(小校正場),以地面解析度 0.25 公尺及 0.10 公尺分別規劃不同航高並依國土測繪中心「小像幅航拍攝影機航拍校正須知」之相關規定進行航拍。另依「小像幅航拍攝影機校正作業程序」中相關校正步驟辦理空中三角測量及資料分析方法進行計算。
2. 辦理空三平差解算並分析直接地理定位精度,所需地面控制點坐標由國土測繪中心提供。
3. 製作正射影像且精度要求須達「一、一般航拍作業(六)

正射影像」A 類成果之標準。

4. 繳交成果包含航拍原始影像、任務執行紀錄及相關原始數據資料(含電子檔)、空中三角測量(含平差過程與檢核結果之電子檔)、相機參數(自率法解算之結果)、經鏡頭畸變差糾正之航拍影像與其對應之內外方位、相機原廠規格文件、正射影像、直接地理定位精度分析報表、校正場檢核點坐標較差報表等成果。

(三)三維模型試辦

1. 使用本案建置之 UAS 辦理國土測繪中心指定 1 處重要地標(建物或立體道路)航拍,並產製三維模型。
2. 研提使用本案建置之 UAS、航線規劃軟體及影像處理軟體辦理三維模型產製作業之標準作業流程。
3. 配合國土測繪中心展示需求,本公司使用自有(或租用)之 VR 設備進行三維模型成果展示。
4. 提供三維模型之飛行模擬影片,另須配合拍攝 UAS 作業影片。

(四)UAS 與 LMS 結合規劃

蒐集國內外 UAS 及 LMS 聯合作業相關參考文獻,並評估利用空中及地面不同載具優點及互補性,規劃本案建置之 UAS 及本機關 LMS 聯合作業方式,以達快速蒐集所需空間資訊,提供局部圖資更新、國土監測、緊急災害應變使用及未來製作局部區域精緻三維模型相關發展應用。

(五)教育訓練

1. 應辦理至少 2 梯次教育訓練,每梯次訓練人數至少 6 人,且訓練時數至少 6 小時,包含實際飛行、UAS 控制軟體及影像處理軟體課程,教育訓練課程表及場地須經國土測繪中心同意;訓練所需講師、教材、餐飲及場地等費用應由本公司自行負責,教育訓練完成後應將訓練簽到簿送國土測繪中心。
2. 本公司應配合「遙控無人機管理規則」(草案)相關規定,

協助國土測繪中心人員取得 UAS 操作證。

3. 教育訓練應使用國土測繪中心建置之 UAS 為原則，於 UAS 尚未完成驗收前，本公司應提供 1 套 UAS 訓練機供國土測繪中心使用，其飛行作業模式須與本案建置之 UAS 相同。另除國土測繪中心人為故意損壞外，其他因素造成訓練機之毀損，均由本公司負責。

五、各式報告及其他配合事項

- (一)需求訪談及作業計畫：本公司應於決標次日起 10 日曆天內派員至國土測繪中心辦理需求訪談，並於決標次日起 30 個日曆天內將訪談紀錄送交國土測繪中心。另本公司應於決標次日起 30 個日曆天內，依本案工作項目內容、規格標審查與會人員意見及需求訪談紀錄等撰擬作業計畫書，經國土測繪中心審定通過後依計畫書內容辦理相關作業，作業計畫書至少應包含本案各項工作期程規劃、工作項目、工作方法及步驟及對本案執行之建議事項等。
- (二)工作進度：於決標次月起，每月 27 日前以公文提出當月工作執行書面報告交付國土測繪中心，內容包含預定及實際執行工作進度，並視需要提出工作協調事項及工作遭遇困難。
- (三)工作會議：作業期間應定期召開工作會議，時間以每 1 個月 1 次為原則，本公司應指派計畫主持人或主要參與作業人員參加。本案作業期間，本公司如須國土測繪中心函文其他本機關協調者，應以書面向國土測繪中心提出。
- (四)工作總報告：內容應包含項目：中文摘要、前言、工作項目及內容、各項工作執行方法、情形、成果、結論與建議及其他相關資料及附件（含 UAS 與 LMS 結合規劃、各次工作會議結論、數位相機率定報告及遵守性別工作平等法之規定辦理情形及作業人力之性別分析及統計之說明資料等）。
- (五)履約期間本公司應負責本案建置之 UAS 保養維護及其他與本案相關之耗材，若有人為操作疏失、遇天災或不可抗力因素而毀損，或造成第三者人員、財物損失，均由本公司負責。
- (六)應針對本案作業使用之 UAS 投保最高賠償金額至少達新臺幣 5,000 萬元以上之公共意外責任保險，投保期間應為決標

次日起至履約期限止，並於決標次日起 30 個日曆天內繳交相關證明文件。

- (七) 國土測繪中心如有 UAS 操作上問題，於履約期間得請本公司提供 UAS 技術諮詢服務或派員至指定地點協助操作服務。
- (八) 履約期間若發現 UAS 有與契約不符之瑕疵，本公司應免費辦理修復或更新或更換等作業，另前開作業期間應提供（發現瑕疵起 14 個日曆天內）功能等於原設備之替代品供國土測繪中心使用。
- (九) 製作 5 分鐘之 UAS 宣導影片，應配合國土測繪中心相關成果發表會流程內容辦理 UAS 展示（以 3 次為限）。

第四節 工作時程及交付成果

依契約書規定作業期限為決標次日（108 年 2 月 28 日）起 240 個日曆天，本案分 4 階段辦理，其中第 3 階段成果履約期限延長至 108 年 12 月 22 日；第 4 階段成果履約期限延長至 109 年 1 月 1 日。每階段應交付項目、期限如下表：

表 1-1 工作時程及交付成果

階段	交付項目	繳交情形
第 1 階段 108 年 3 月 29 日	作業計畫	108 年 3 月 29 日發文提送
	1.需求訪談紀錄及相機率 定報告	
	2.公共意外責任保險證明	
第 2 階段 108 年 5 月 28 日	UAS 及影像處理軟體	108 年 3 月 29 日發文提送、108 年 7 月 9 日發文提送修訂成果、108 年 9 月 16 日發文提送第二次修訂成果
第 3 階段 108 年 12 月 22 日	校正場航拍成果	108 年 12 月 20 日發文提送
	三維模型試辦成果	
第 4 階段(1) 109 年 1 月 1 日	教育訓練簽到簿	教育訓練簽到簿於 108 年 10 月 25 日發文提送；工作總報告於 108 年 12 月 20 日發文提送

	工作總報告	
第 4 階段(2) 依測繪中心指定 期限內繳交	修正後工作總報告	109 年 1 月 7 日發文提送
其他	緊急航拍作業	依工作項目第二、(五)項，變更為「一、一般航拍作業」方式辦理，108 年 12 月 20 日發文提送
	國土測繪 1 號航拍影像處理作業成果	各區成果分別於 108 年 6 月 6 日、108 年 6 月 13 日、108 年 8 月 2 日、108 年 8 月 21 日發文提送
	一般航拍作業成果	各區成果分別於 108 年 5 月 21 日、108 年 12 月 20 日發文提送

第貳章 作業項目及程序與方法

第一節 作業執行規劃

本案各項航拍工作預定使用之設備規畫如下詳述：

2.1.1 定翼型 UAS

UAS 航拍之作業規劃，配合國土測繪中心圖資更新需求或緊急特定航拍需求上，必須有百分之百之航拍載具妥善率，同時亦遭遇到多處同步拍攝的可能性，本團隊將提供一台自主開發設計的『天箭級』Sky Arrow 55 載具系統，專屬於國土測繪中心本案所使用，做為備用之定翼型 UAS 載具。

Sky Arrow 55(如圖 2-1)為一款中航程後推式定翼型 UAS，機體設計為後推式引擎設計，可避免傳統前置式引擎運轉時產生之廢氣隨氣流向後汙染儀器與相機鏡頭之慮，在機身設計上除符合空氣動力學效率外，兼具酬載重量大與酬載空間寬敞，可快速更換不同酬載構型。載具基本規格資料如表 2-1。



圖 2-1 Sky Arrow 55 UAS

表 2-1 SkyArrow 55 UAS 載具規格

翼展	3.0 公尺	長度	2.4 公尺
最大重量	25 公斤	滯空時間	> 3.5 小時
最高速度	145 公里/小時	最大航程	> 350 公里
巡航速度	105 公里/小時	最大操作高度	4000 公尺
推進系統	O.S GT-55 Gas Engine(5.5 BHP@7000rpm)		

Sky Arrow 55 UAS 在飛控電腦的控制下，可進行視距外遠距長程自主飛行。微波指令鏈路範圍可達半徑 60 公里以上，可供隨時更新飛航任務(On-The-Fly Command, OTFC)，加上長達 3.5 小時以上之有效滯空時間與針對航遙測應用最佳化的性能設計，使得 Sky Arrow 55 UAS 成為最適合航遙測應用的飛行載具。此型式的 UAS 的酬載重量與空間可依任務需求做彈性調整，使任務的調度更為靈活，表 2-2 為本機型特色。

表 2-2 Sky Arrow55 UAS 載具特色

項目	詳細說明
推進系統	引擎型式為 O.S GT-55 Gas Engine 二行程汽油引擎，使用 92 無鉛汽油做為燃料，提供穩定的馬力輸出
巡航速度	105 公里（含）以上
最大航程	大於 350 km，任務半徑 100 km 以上
滯空時間	可達 3.5 小時以上
最大高度	4000 m
抗風能力	蒲福風級 8 級風力(不含)以下(即風速 34 knot 以下)
起降操作	傳統跑道（起飛距離 30 公尺，降落距離 80 公尺）
酬載重量/空間	有效酬載重量 >5 公斤，可搭載： 1. 高畫素數位相機與高縮放倍率攝影模組，及 GPS/INS 設備 2. 數據通訊與即時影像傳輸設備，可將資訊下傳至地面導控站儲存供後處理使用 3. 酬載安裝於機體內均配置被動防振機構，防止設備振動影響功能 4. 40 x 28 x 22 公分的極大化酬載空間，可快速安裝與更換不同酬載構型
搬運方式	機體採模組化設計，可快速拆卸進行運送

2.1.2 旋翼(多旋翼)型 UAS

一、六旋翼型 UAS 航拍系統

本團隊所採用拍攝測區影像之旋翼型 UAS，為六旋翼型 UAS，全機直徑約 120cm，標準酬載設備可搭載 1800 萬畫素以上之數位相機(含影像發射模組)如圖 2-2。旋翼型遙控無人機系統的操作高度可達 500m，每次滯空拍攝作業時間可達 20 分鐘，可有效拍攝小範圍區域之高畫質影像。多旋翼機基本規格資料如表 2-3。



圖 2-2 多旋翼型 UAS

表 2-3 多旋翼型 UAS 規格表

載具寬度	120 公分	最大航高	< 500 公尺
載具重量	5.0 公斤	載具飛行距離	< 1000 公尺
酬載重量	1.0 公斤	酬載搭配	Canon-5DM2、 Canon-550D、 SONY-DV 等
滯空時間	< 20 分鐘		

二、單旋翼型 UAS 航拍系統

本團隊另採用單旋翼型 UAS 搭載感測器進行航拍作業，主旋翼直徑約 200cm，最大起飛重量達 30 公斤，優點為重新設計機體可承載更重的酬載，機體材質也採用更加堅固耐久材料，尾樑經加長使飛行更為穩定，相較於多旋翼型 UAS 可提供更長滯空拍攝作業時間，可有效拍攝小範圍區域之高畫質影像。單旋翼機基本規格資料如圖 2-3 及表 2-4。



圖 2-3 單旋翼型 UAS

表 2-4 單旋翼型 UAS 規格表

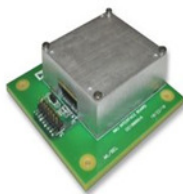
載具尺寸	177 x 53.5 x 52.5 公分	最大航高	< 500 公尺
主旋翼旋轉直徑	200 公分	載具飛行距離	< 7,000 公尺
載具重量	8.5 公斤	滯空時間	< 50 分鐘
酬載重量	30.0 公斤		

2.1.3 定位定向系統(BD982 + ADIS16488)

本團隊針對 UAS 系統開發設計之定位定向系統 (如圖 2-4)，可裝載於多旋翼、單旋翼、定翼型 UAS 上，其運用 GPS 模組與微機電等級之 IMU 整合設計而成。定位定向系統採用本團隊整合優化後之定位定向系統 (Position and Orientation System, POS)，該系統將 GNSS (Trimble BD982) 與 IMU (ADIS16488) 進行整合，分別如圖 2-5 及圖 2-6。Trimble BD982 雙頻 GNSS 可支援北斗獨立計算與航向解算，並具有 RTK (Real Time Kinematic)、低角度追蹤技術與多路徑抑制功能。另系統中使用雙頻 GNSS 所提供之 GNSS 資料與時間對 IMU 資料進行同步並提供相機 Trigger 時脈，使定位資料、相機姿態與拍照時間完全同步，能有效提高航空攝影測量之準確性，且後製處理可擁有更準確之定位定向資訊。



圖 2-4 多旋翼型 UAS POS 設計



Item	ADIS 16488
Function	Accelerometer and Gyroscope
Communication port	Its own PIN design
Sample rate	100 Hertz
Voltage	10 V ~ 30 V
Dimension	47 x 46 x 14 mm ³

圖 2-5 ADIS 16488



Trimble BD982	
Receiver type	GPS: L1 C/A, L2E, L2C, L5 220 Channels
Update rate	50 Hz
Accuracy	DGPS: 0.25m(Horizontal); 0.5m(Vertical) SBAS: 0.5m(Horizontal); 0.5m(Vertical)
Acquisition	Cold start: 45s Warm start: 30s

圖 2-6 Trimble BD982

2.1.4 酬載感測器

本團隊選用 Sony α 7R 及 Sony α 7R II 數位相機如圖 2-7 及圖 2-8，其感光元件同樣為全片幅尺寸(24mm*36mm)規格，配合不同航高及解析度之作業需求，並根據任務調派情形調配使用，詳細規格如表 2-5 及表 2-6。



圖 2-7 Sony α 7R 全片幅數位相機

表 2-5 Sony α 7R 全片幅數位相機規格表

項目	規格
影像感測器	有效畫素 3640 萬畫素 全片幅 Exmor CMOS 感光元件
鏡頭焦距	21mm 焦距定焦鏡頭
記憶卡容量	32GB、64GB CF 記憶卡
影像格式	RAW & JPG
記錄畫素	最高 7360 x 4912 pixels
連拍速度	每秒 1.5 張
快門速度	最快可達 1/8000 秒，提供外部觸發快門
ISO 感光度	ISO 100 ~ 25600



圖 2-8 Sony α 7R II 全片幅數位相機

表 2-6 Sony α 7R II 全片幅數位相機規格表

項目	規格
影像感測器	有效畫素 4240 萬畫素 全片幅 Exmor R CMOS 感光元件
鏡頭焦距	21mm 焦距定焦鏡頭
記憶卡容量	32GB、64GB
影像格式	JPEG/RAW
記錄畫素	最高 7952 x 5304 pixels
連拍速度	每秒 5 張
快門速度	最快可達 1/8000 秒，提供外部觸發快門
ISO 感光度	ISO 100 ~ 102400

2.1.5 相機內方位率定

本案相機內方位率定於本團隊中科廠房室內相機率定場(如圖 2-9)進行，本案航拍作業所使用之相機，已於第一次使用時進行相機內方位率定，率定後則需保持相機與鏡頭間之相對關係，並將於更換鏡頭之後重新率定，相機內方位率定作業方式流程說明如下。



圖 2-9 本團隊中科廠房之相機內方位率定實驗室

1. 攜帶欲率定之相機至相機率定場，並固定鏡頭與機身間連接。
2. 參考文獻 Fraser(1997)，透過旋轉率定圓盤及旋轉相機製造環繞交會式拍攝的效果，圖 2-10 為示意圖。相機拍攝位置不動，僅旋轉圓盤，每旋轉 45 度拍攝，即圓盤於 0、45、90、135、180、225、270、315 度時拍攝，故每 1 組拍攝共 8 張照片。

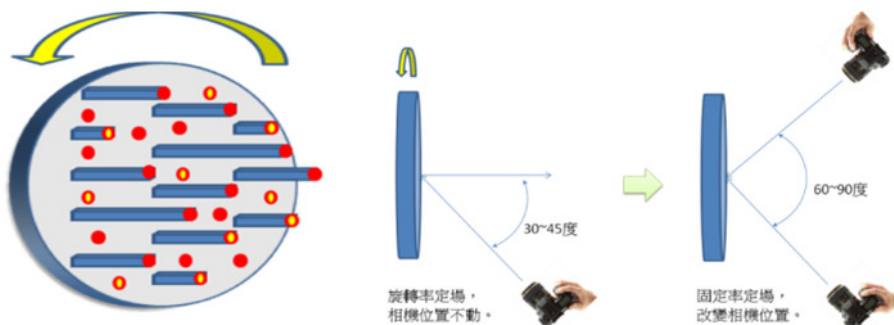


圖 2-10 相機率定拍攝程序示意圖

- 關於相機拍攝位置與方式，首先相機光軸與圓盤夾角約為 30 度至 45 度(圖 2-11)，分別以相機正拍(圖 2-12(a))、機身向右旋轉 90 度(圖 2-12(b))及機身向左旋轉 90 度(圖 2-12(c))3 種角度拍攝，並依前述步驟旋轉圓盤各拍攝 8 張，共 24 張照片。

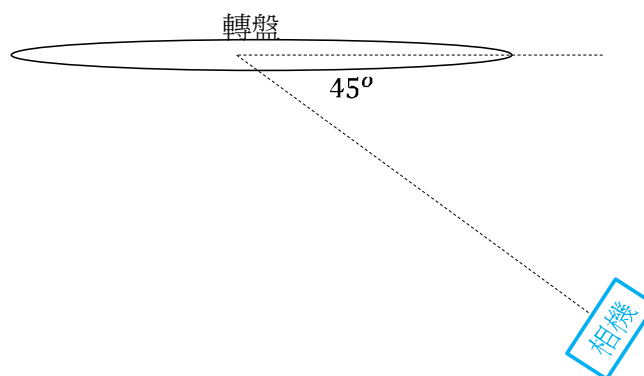


圖 2-11 相機率定拍攝方式(夾角 45 度)俯視圖

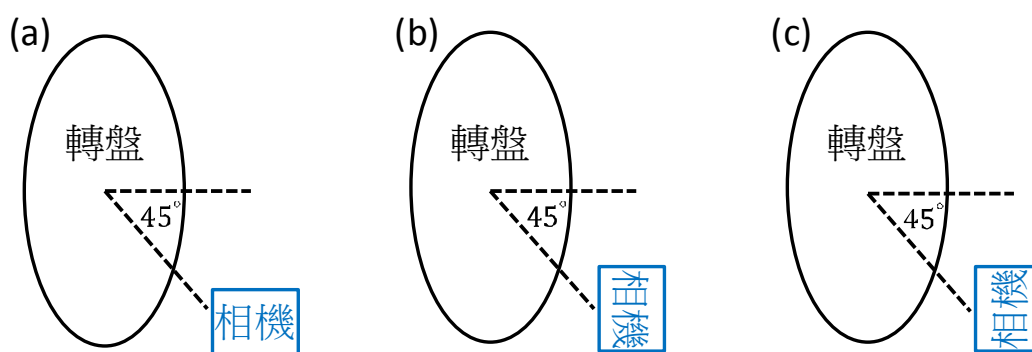


圖 2-12 相機率定拍攝方式(夾角 45 度)側視圖

- 以相機光軸與圓盤夾角為 90 度拍攝(圖 2-13)，分別以相機正拍(圖 2-14(a))及機身向右旋轉 90 度(圖 2-14(b))配合旋轉圓盤各拍攝 8 張，共 16 張照片。

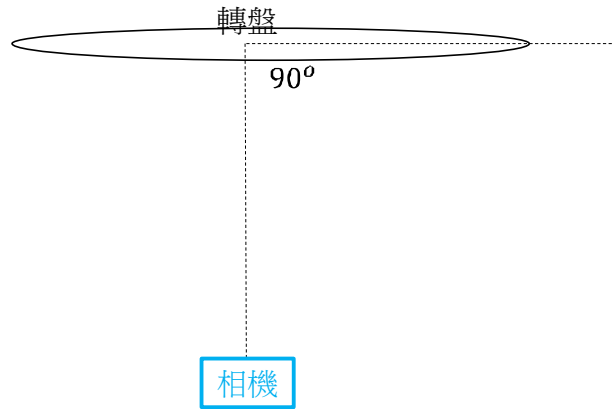


圖 2-13 相機率定拍攝方式(夾角 90 度)俯視圖

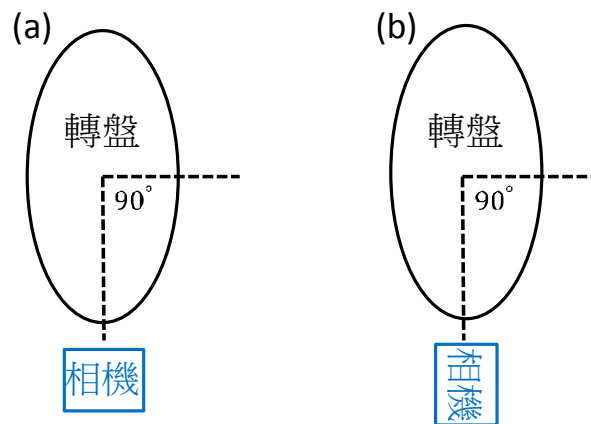


圖 2-14 相機率定拍攝方式(夾角 90 度)側視圖

5. 拍攝作業時，視窗畫面須佈滿率定標且清晰可辨別，如圖 2-15。



圖 2-15 相機率定拍攝範例

6. 將率定影像匯入相機率定軟體 Australis，經率定標辨識及光束法平差計算，得率定成果。

本案相機內方位率定已完成 Sony α 7R 搭配 21 mm 鏡頭、Sony α 7R II 搭配 21 mm 鏡頭之相機內方位率定作業，其率定成果如表 2-7，率定報告如附錄八所示。另本案新採購之 Sony α 7 III 率定結果詳見第四章及附錄八

表 2-7 相機率定成果

相機編號	1		2	
相機型號	Sony α 7R II		Sony α 7R	
解析度	7952 x 5304 pixels		7360 x 4912 pixels	
像元大小	0.0045 mm		0.0049 mm	
	數值	標準差	數值	標準差
焦距 c	21.4918 mm	0.001 mm	21.4915 mm	< 0.001 mm
像主點 xp	-0.0276 mm	< 0.001 mm	-0.1612 mm	< 0.001 mm
像主點 yp	0.0515 mm	< 0.001 mm	0.0685 mm	< 0.001 mm
輻射畸變 k1	1.40129e-04	2.3734e-07	1.42854e-04	1.7309e-07
輻射畸變 k2	-2.75819e-07	1.4988e-09	-2.69432e-07	8.2187e-10
輻射畸變 k3	1.16975e-10	2.9745e-12	1.09469e-10	1.2698e-12
離心畸變 P1	-2.8085e-06	3.413e-07	5.8984e-06	2.291e-07
離心畸變 P2	1.4293e-05	2.506e-07	-5.6737e-06	1.491e-07

第二節 UAS 航拍規劃與作業流程說明

2.2.1 UAS 航拍標準作業流程

UAS 航拍工作的標準流程規劃，主要係依據「無人駕駛航空器系統(UAS)在臺北飛航情報區之作業」飛航情報相關 AIC 公告與「民用航空法」第三十四條以及「交通部民用航空隊機場四周施放有礙飛航安全物體實施要點」等規定進行作業規畫。根據以上相關規範，並參考 97 年度「探測感應器測繪平台架構規劃暨應用作業案」(NLSC-97-28) 之流程，綜整 UAS 航拍規劃標準作業流程如圖 2-16。

本案作業依需求規格書規範，於國土測繪中心通知航拍區域後 5 日內提送空域申請資料，於接獲可辦理航拍通知次日起 40 日內完成辦理航拍作業及影像處理作業並繳交影像處理成果，如航拍區位於高山易多雲地區（海拔 2,000 公尺以上），繳交期限則為本機關通知航拍次日起 50 個日曆天內。前開期限如遇天候或其他不可抗力因素無法於期限內完成航拍，須於繳交成果時提出相關佐證資料。

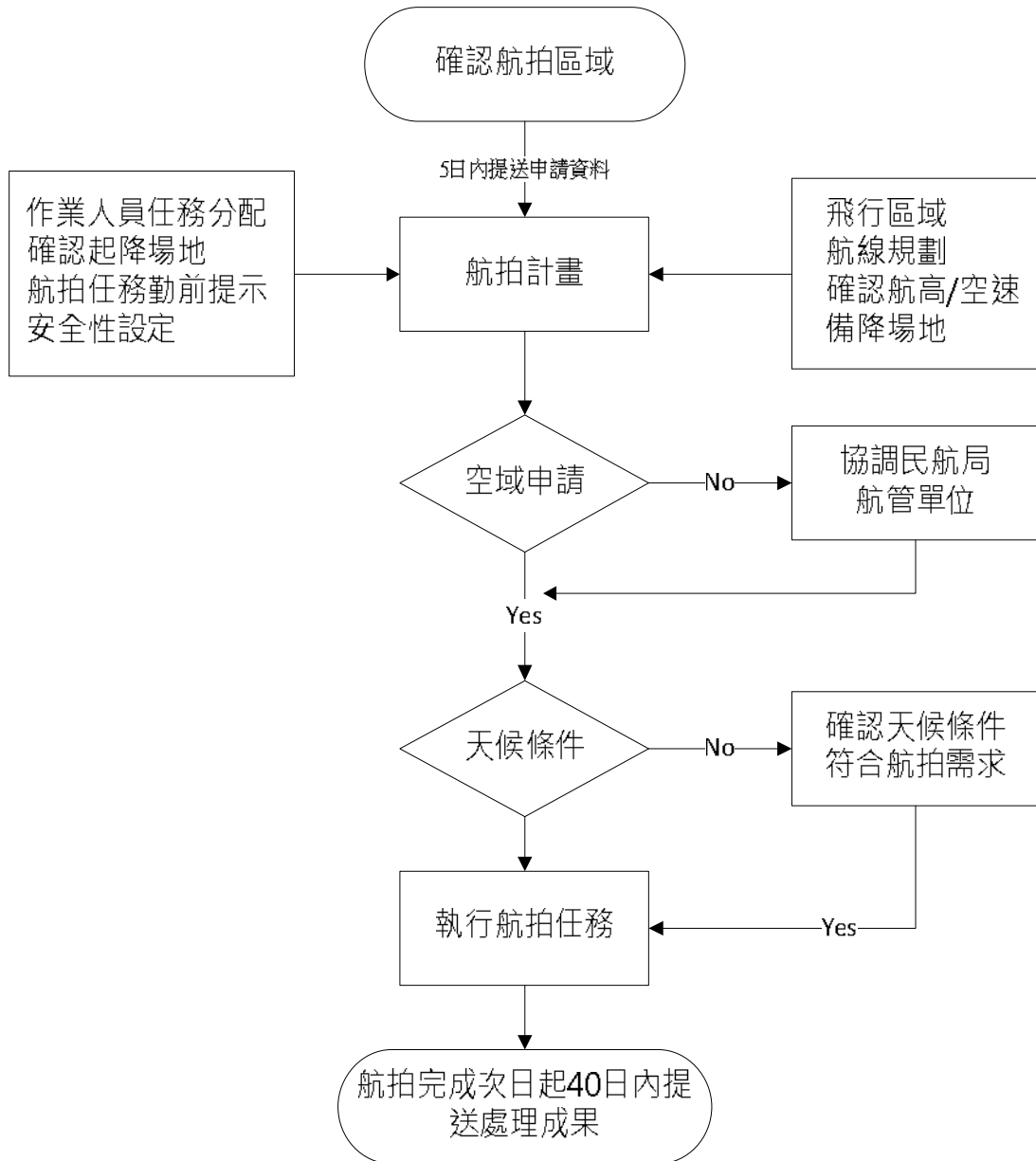


圖 2-16 UAS 航拍工作標準作業流程規劃

UAS 航拍作業依規定需在施測前提出申請空域，另外任務規劃與勤前提示與工作分配亦為重要的工作規畫，執行航拍任務時，還需視天候條件許可下方可執行任務，UAS 操作使用程序標準作業流程規畫可參考可參考圖 2-17。

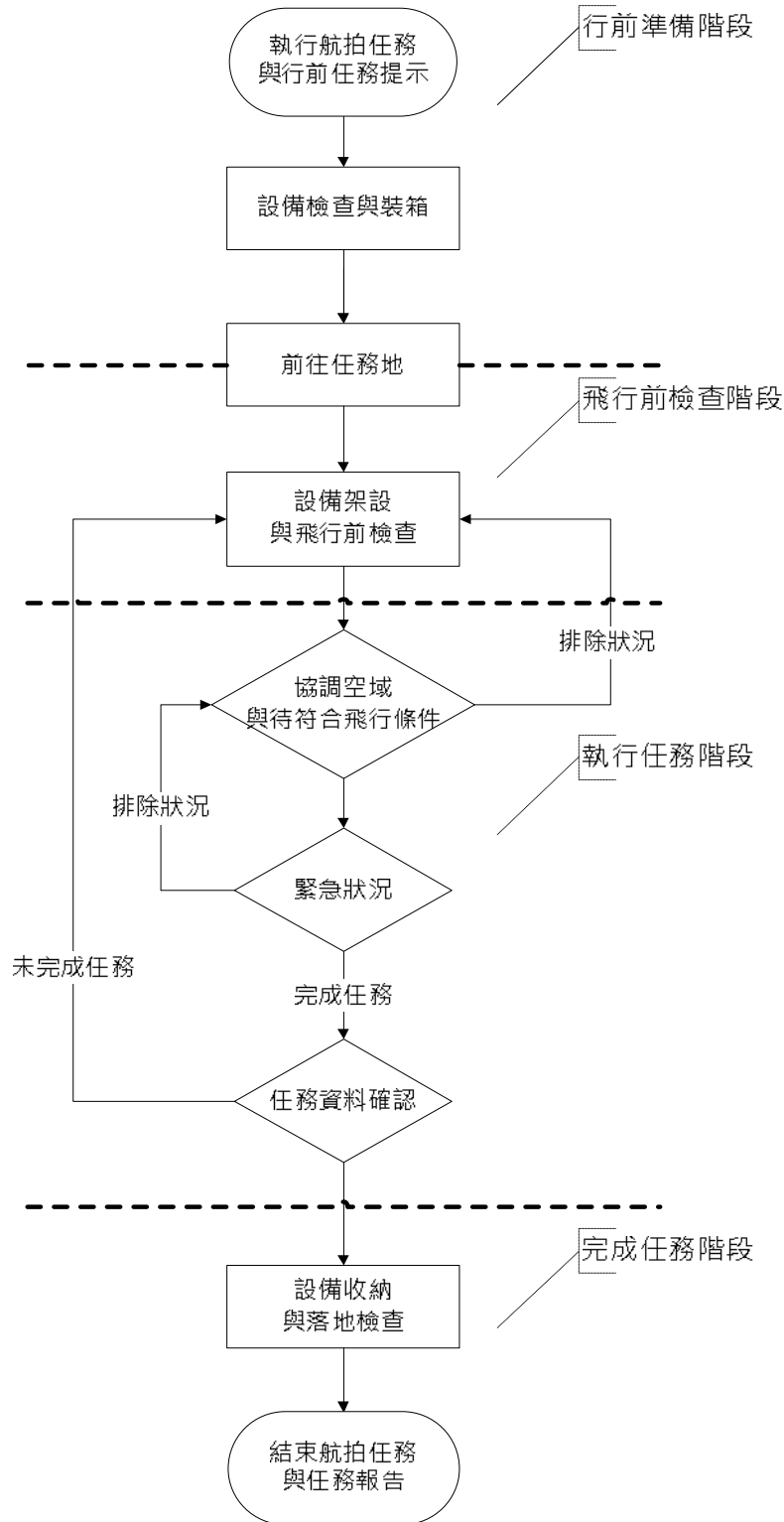


圖 2-17 UAS 操作使用程序標準作業流程

UAS 任務執行時的人力配置、操作程序與地面導控系統的任務模式，其說明如下：

一、GCS(地面控制站)：

由一 GCS 系統、一位外部操作員 (EP、飛行員)、一位內部操作員 (IP、GCS 軟體操作員)，一位專案經理組成為一 GCS 單位。

二、任務自動導引程序：

該程序每次只會有一架飛機在執行，任務自動導引程序負責接替外部操作員降落(Landing)前及起飛(Take off)後的任務。

三、航拍任務：

可以採單架 UAS 的方式，前往指定區域，依航拍計畫航線做地毯式的影像拍攝，或是於同一時間、同地點但不同空層，進行不同的地面解析度的影像拍攝。

四、避走路線：

假如 UAS 要前往執行任務的路徑上，經過敏感性(Sensitivities)地區，地面站軟體會警示該路線為避走路線，且建議與規劃新航道提供給內部操作員參考，如內部操作員同意取代(Replace)原路徑，UAS 於執行任務時會繞過該敏感地區。

經過數年實務上的經驗累積，本團隊已針對航拍流程進行標準化，並針對流程各重要之步驟製作任務規劃、記錄、檢核表格，總共分為以下幾步驟：

步驟 1：於確認航拍區域後，負責專案經理先依據航拍需求提交包含委託單位連絡方式、繳交期限、GSD、用途及空拍範圍的委託空拍申請表，並交由資深同仁評估後，對各空域進行航線評估，內容包含預畫航高、GSD 範圍、涵蓋線近航區/航道、航線說明及 KML 航線規劃圖。

步驟 2：於任務確認後及任務執行前，為了讓任務執行單位充分了解工作內容，於任務執行前需由當次任務負責主管公告 UAS 飛行任務勤前提示單，並對任務執行單位解說任務執行細節及流程，其內容包含任務資訊、天氣預報、航點說明及任務預畫等任務執行細節。

步驟 3：於任務飛行前，必須先依 UAS 飛行前檢查卡檢查 UAS 及地面站系統各個零組件，如機身結構、各個控制翼面、避震墊及飛控系統等功能是否正常。

步驟 4：於每次任務結束後，任務執行單位必須填寫 UAS 航拍任務執行紀錄，詳細記錄任務執行狀況及各諸元使用鐘點，如圖 2-18。

同時根據目前相關法規規範，規劃航拍工作區域時受以下限制：

1. 航拍區域若位於機場周圍禁、限航區，則無法執行任務。
2. 航拍區位於訓練空域、軍方管制空域、目視航線等，則需視與民航局及軍方單位協調後狀況方可執行任務。
3. 鄰近禁、限航區，可能影響民航機或軍機起降及其他航空器安全，亦需與相關單位協調後方能進行航拍。

UAV 航拍任務執行紀錄

一、航拍區域：陽明山火油坑、馬槽、夢幻湖 3 區
 二、日期時間：108/04/23 06:30-13:30
 三、航線規劃：使用電動直升機，規劃飛行 3 架次。



四、天氣狀況：多雲時晴(氣溫 31°C，降雨機率 0%)
 五、風向/風速：偏南風/二級
 六、航拍高度/雲層高度：1150m/1500m
 七、現場狀況：
 4/23 日當日 0630 時由發立目標區於 1010 時到達第一起降點軍天宮遊客中心停車場待命起飛，山區雲霧過低，現場整備飛機及測試裝備後待命。於 1055 時與台北近場台協調空域完成，執行路向車軸管制後 UAV 飛機起飛執行航拍任務，直升機飛行總架次為 1 架次，飛行時間約為 22 分鐘，1130 時飛機任務執行完畢安全降落後讀取拍攝照片確認正常後，前往第二起降點中湖戰備道路。
 1205 時到達航拍區待命，1215 時與台北近場台協調空域完成，執行人員車軸管制後 UAV 飛機起飛執行航拍任務，直升機飛行總架次為 2 架次，飛行時間約為 40-45 分鐘，1315 時飛機任務執行完畢安全降落後與現場台告知本日飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，回報專案經理並結束本日任務。



圖 1 起降場地軍天宮遊客中心停車場(雲霧過低，待命起飛)



圖 2 起降場地為夢幻湖下方中湖戰備道起飛點

圖 2-18 UAS 航拍任務執行紀錄

2.2.2 UAS 航拍計畫

UAS 航拍所使用之數位相機為本團隊自有 Canon 5DSR 全片幅數位相機或 Sony α 7R II 全片幅數位相機，相機感光元件經換算後可得到感光元件上每一像素之實際尺寸為 $4.1 \mu\text{m}$ (5DSR) 或 $4.5 \mu\text{m}$ (α 7R II)。由於每一像素之寬度與焦距長，相對於地面解析度(GSD)與航高 (AGL) 為相似三角形，因此可得式 2-1：

$$\frac{\text{Pixel Size}}{\text{Focal Length}} = \frac{\text{GSD}}{\text{AGL}} \quad (2-1)$$

將相機鏡頭焦距、感光元件像素尺寸及需求之地面解析度帶入上式 2-1 中，即可計算出對應的航高。

以 Sony α 7R II 相機進行地面解析度 25 公分航拍作業的航線規劃範例如下圖 2-19，各項航拍作業應規劃項目範例如表 2-8。經正確規劃後，航拍成果皆可達到 80% 以上的前後重疊率及 40% 以上之側向重疊率。

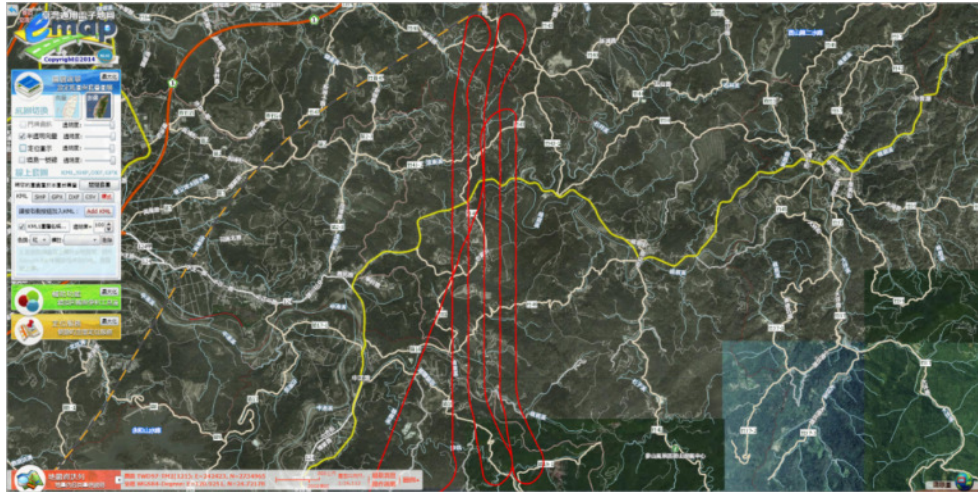


圖 2-19 航線規劃示意圖

表 2-8 航空攝影規劃資訊

項目	資訊	備註
相機	Sony α 7R II	
鏡頭焦距	21 mm	採用高素質手動定焦鏡頭，避免 UAS 震動造成自動對焦位移。
像元解析度	4.5 μ m	
地面解析度	25 公分	
飛航高度	1166 公尺	依照地形高程部分會有所調整
前後/側向重疊	80% / 40%	提高重疊率，降低後續立製時遮蔽情形及提高正射品質
航線間距	1193 公尺	確保側向重疊率 > 40%
航空攝影	以 GNSS/IMU 輔助	提高空三及測圖等精度

而 GCS 介面的航線設定，本團隊已有開發航點產生工具，只要輸入特定參數，如範圍坐標、航帶間隔等參數，即可立即規劃出航線。軟體另有繪圖與標註、航線規劃(S、Z 模式)、航線延長縮短、航線位

移、空拍重疊率及航線匯出/匯入等功能。軟體共可提供之 2 種不同模式航線規劃：

一、S 模式：單向折返。如單一方向有山脈，可採此飛行方式。



圖 2-20 S 模式航線範例圖

二、Z 模式：雙向折返。條件相同情況下（相同範圍與航高設定），所需航程，約為 S 飛法的一半左右。

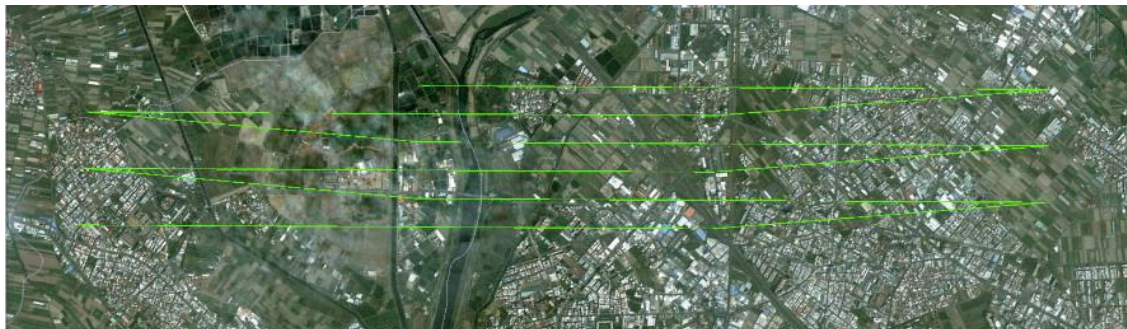


圖 2-21 Z 模式航線範例圖

2.2.3 系統保養

為確保 UAS 之更高安全性，除了依照周期性檢查項目檢查各零組件外，本團隊並制定一套 UAS 品保流程，從各零組件出廠至系統組裝完成，與累計時數的維修與性能評估，以確保最高的系統安全性，如圖 2-22。

於每次執行航拍作業時，除按操作手冊實施相關檢查外，並做成檢查與維護紀錄，另於每次執行任務時，按飛行前、中、後-檢查卡執行 UAS 相關保養維護與檢查工作，當載具飛行時數累積至週期檢查表所列之飛行時數時，按週期檢查與維護手冊執行相關零組件之保養與更換。另於執行航拍任務完成後，依照相關飛行紀錄資料綜整，整

理成 UAS 航拍任務執行紀錄，以落實相關飛行文件與表格之建立。

UAS 品保流程

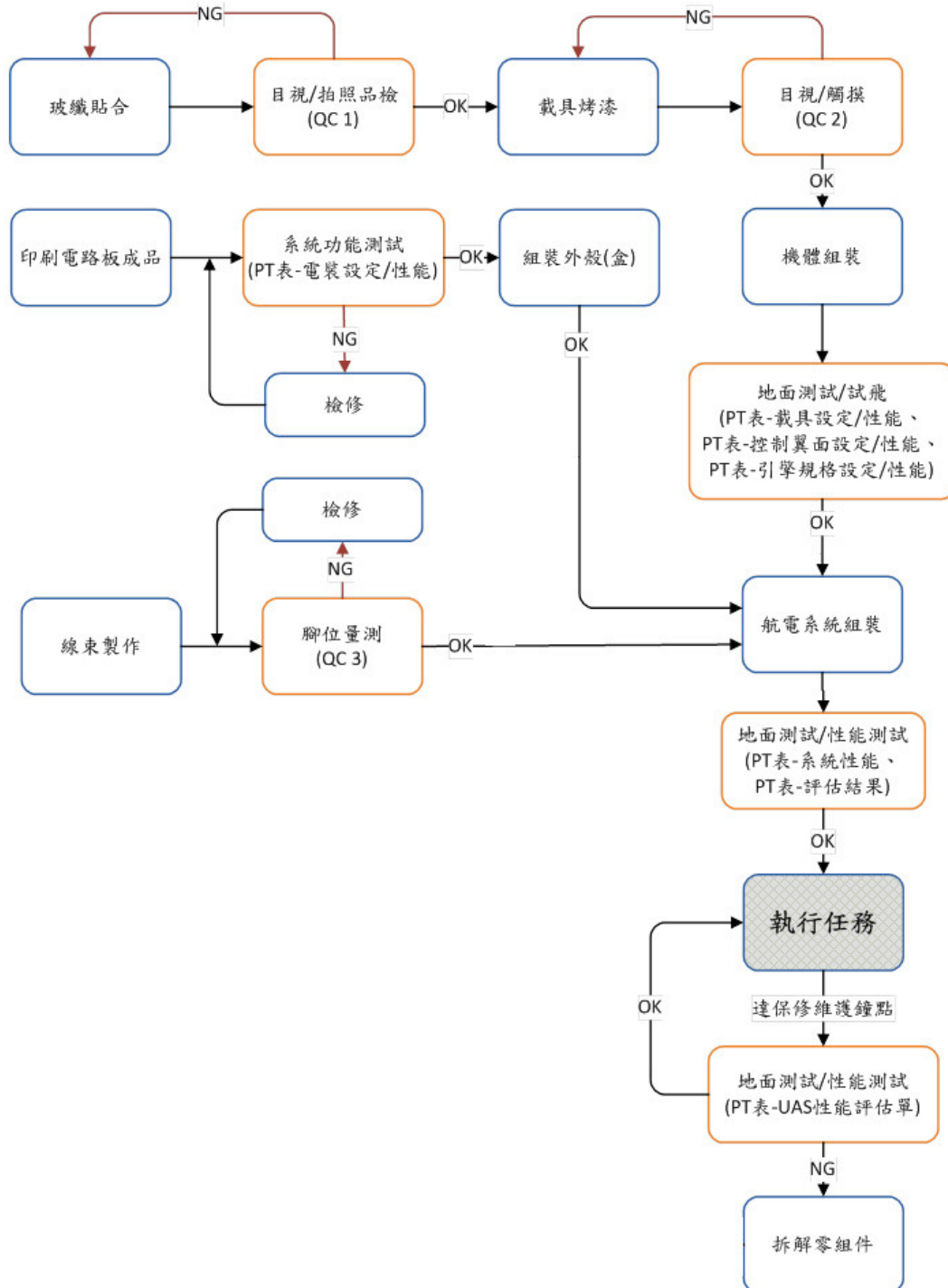


圖 2-22 UAS 品保流程

第三節 空中三角測量及正射影像製作作業規劃

2.3.1 控制點量測規劃

本案預定進行航拍之區域，大部分航測控制點將選擇影像上可判釋之後測點。後測控制點選擇要件如下：

一、優先使用現有航空標及後測點：

確認本團隊於本案所挑選航拍區域可用之現有航空標及後測點於航拍影像中是否可清晰辨識，經與現況比對無誤後予以採用。於專案相片影像上選取與 UAS 拍攝影像之共同點，再經立體量測獲得共同點坐標當作控制點。控制點以選擇比較明顯、不會變動的固定地物、或屋角點為原則。後測控制點選取量測範例如圖 2-23。

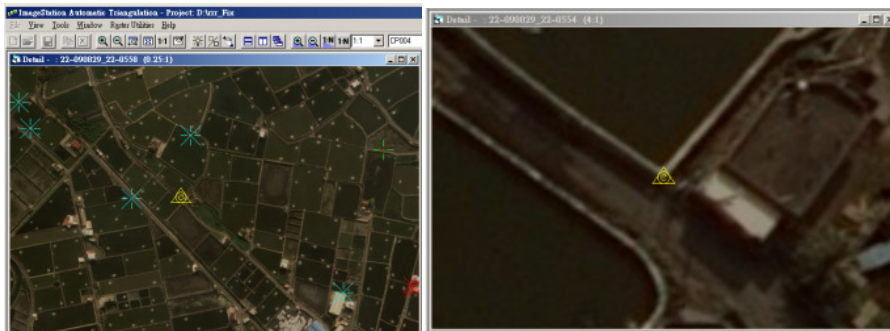


圖 2-23 選取後測控制點位置範例

二、安排事前佈標工作：

本團隊針對本案地面解析度 10 公分(精度 50 公分)之航拍區域，於現有航空標不足處應先安排事前佈標工作。



圖 2-24 航測標示意圖

三、使用目標明確之自然點：

佈標自然點優先選取航拍影像上目標明顯、固定且易辨認之點位(如斑馬線、道路標線、運動場等，如圖 2-25)，並避免選在樹下或樹林邊緣處等透空度不佳之處，後續採用 e-GNSS 進行現地自然點控制測量作業。



圖 2-25 自然點選設現場照片

2.3.2 空中三角測量作業方式

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，同樣係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。本團隊將分別針對協助航拍成果及國土測繪一號航拍成果進行影像處理，並根據地面解析度及作業精度要求的不同，分成 2 種不同作業方式。

一、地面解析度 25 公分及地面解析度 10 公分(精度 1 公尺)：

1. 空中三角測量採用商用軟體 Pix4Dmapper，獲取模型連接點及量測全部設有航空標之控制點坐標。

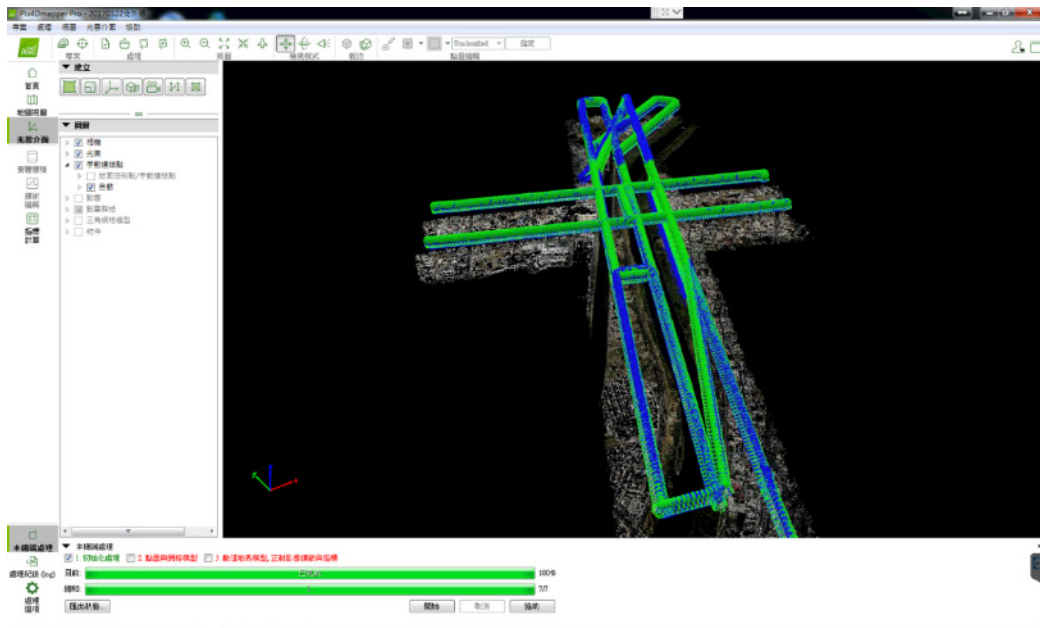


圖 2-26 空中三角測量示意圖

2. 航拍過程中全程採用 GNSS/IMU 輔助空中三角測量，GNSS 每 1 秒觀測 10 筆資料，IMU 每 1 秒觀測 20 筆資料以上，平差作業可加入每張航片經解算之高精度投影中心坐標及姿態角，以提升空三作業精度，並加速影像自動匹配作業時程，可大幅縮短人工選

點作業時間與錯誤。

3. 空三之連結點採 Pix4Dmapper 自動匹配，進行空中三角測量平差計算，並產生空中三角測量平差報表，如圖 2-27。

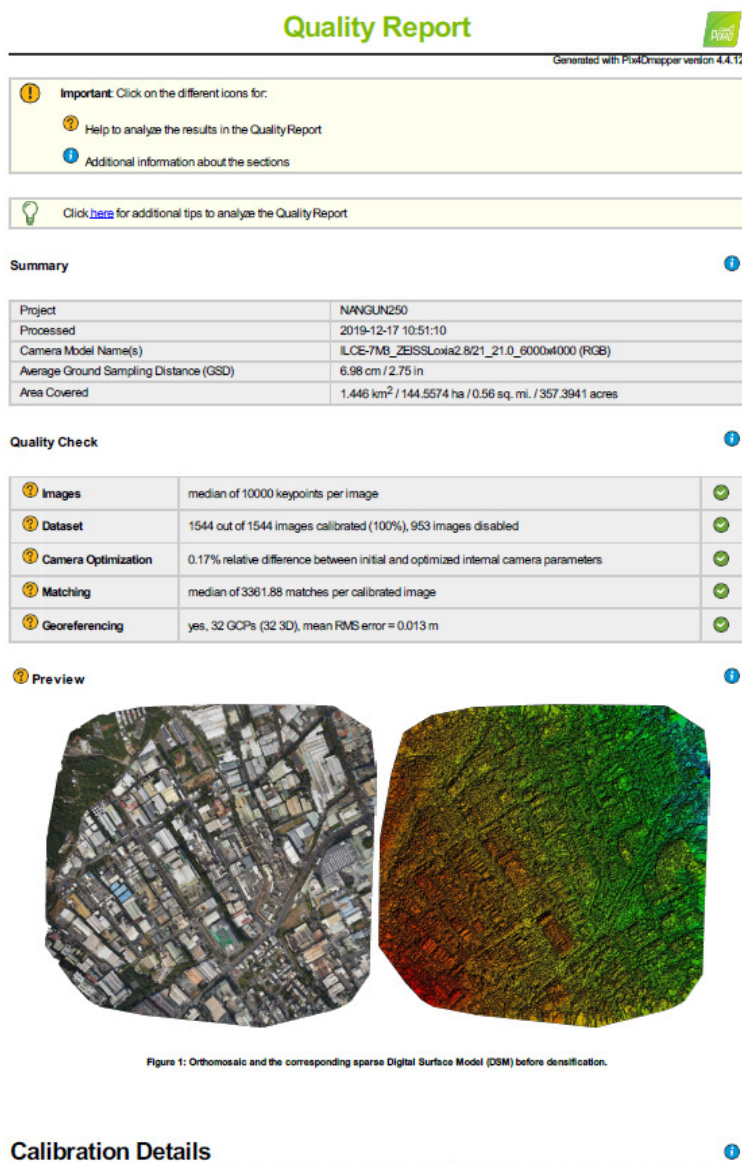


圖 2-27 空中三角測量平差報表

二、地面解析度 10 公分，作業精度 50 公分：

1. 空中三角測量採用航測數值影像工作站，量測模型連接點及全部設有航空標之控制點、水準點之點位坐標。

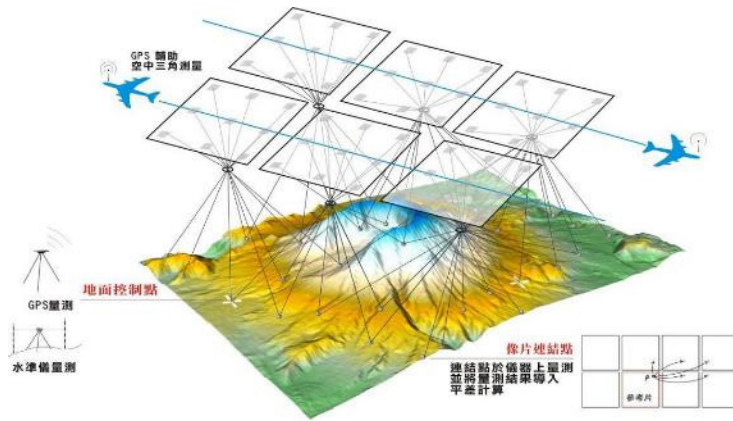


圖 2-28 空中三角測量示意圖

2. 空中三角像片連結點分布每一像片九個標準點以上，先以影像匹配產生連結點，再檢查連結網形補缺漏。每一標準點位以二點以上為原則，空中三角平差偵錯後，每一標準點位至少留存一點。
3. 航拍過程中全程採用 GNSS/IMU 輔助空中三角測量，GNSS 每 1 秒觀測 10 筆資料，IMU 每 1 秒觀測 20 筆資料以上，平差作業可加入每張航片經解算之高精度投影中心坐標及姿態角，以提升空三作業精度，並加速影像自動匹配作業時程，可大幅縮短人工選點作業時間與錯誤。
4. 空三之連結點採自動匹配，自動匹配完後，會表列出匹配點不足處，稱之為弱匹配區；使用者可依表列之點號，手動加點，如圖 2-29。此外，尚會利用自行開發之網形檢核(如圖 2-30)及可靠度計算程式，檢查每張像片間的連結點數以及連結情況，並參考地形圖測製規範之可靠度指標，不足處可手動加點。表 2-9 為可靠度指標。

表 2-9 可靠度指標

前後重疊率 可靠度指標	60%	80%	90%
平均多餘觀測數 (總多餘觀測數/ 總觀測數)	≥ 0.55	≥ 0.6	≥ 0.7
連結點平均光線數 (連結點總光線數/ 總連結點數)	≥ 4	≥ 6	≥ 7
連結點強度指標 (N 重光線以上連 結點數/總點數)	(4 重光線以上連結 點點數)/(總點數)≥ 0.3	(6 重光線以上連結 點點數)/(總點數) ≥ 0.3	(8 重光線以上連結 點點數)/(總點數) ≥ 0.3

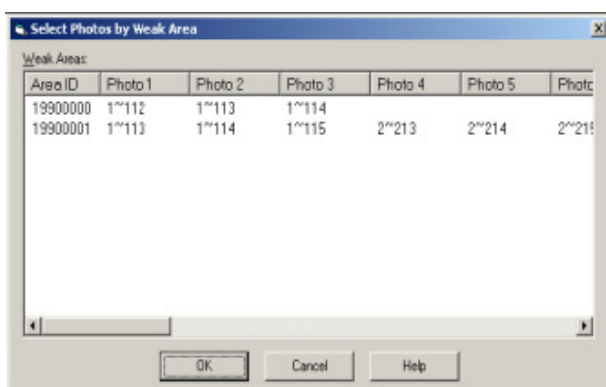


圖 2-29 弱匹配區手動加點列表示意圖

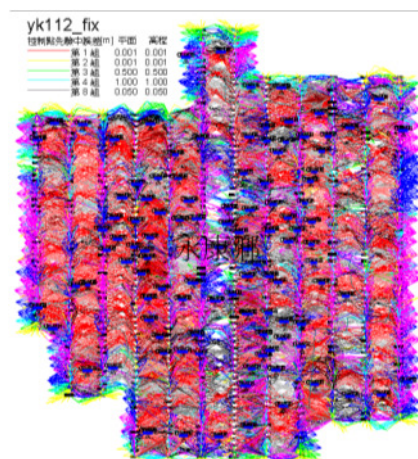


圖 2-30 像片網形連結範例圖

5. 空中三角測量平差計算採用光束法，分 2 個過程進行計算，先以最小約制（或自由網）平差，以進行粗差偵測並得到觀測值精度的估值，其次進行強制附合至控制點上平差。
6. 自由網平差後所得觀測中誤差不超過 $10\mu\text{m}$ ，坡度達 IV 級以上之山地或植被達 IV 以上之平地中誤差不超過 $15\mu\text{m}$ ，強制附合地面控制點後，其驗後觀測值之 R.M.S.E 值不大於 $13\mu\text{m}$ ，坡度達 IV 級以上之山地或植被達 IV 以上之平地中誤差不超過 $20\mu\text{m}$ 。

2.3.3 正射影像製作作業規劃

本案正射影像解析度（地元尺寸）至少需達 25 公分以內；產製精度將參考「基本地形圖測製規範」辦理：

1. 每一像素以使用距離像主點最近之像素為原則。
2. 正射影像位於平坦地表面無高差移位的明顯地物點其位置中誤差應小於 2.5 公尺，最大誤差應小於 10 公尺。如成果應用於通用版電子地圖局部區域正射影像更新，正射影像位於平坦地表面無高差移位的明顯地物點其位置中誤差應小於 1.25 公尺。鐵、公路、橋樑等對地圖判讀有重要意義的基礎建設，必須依其實際測量高度進行正射微分糾正，因而產生之無影像遮蔽區應以相鄰影像補足，若無影像可供補足，得以黑色區塊填補。
3. 彩色正射影像資料圖幅接合處影像接合誤差，相鄰圖幅無高差地物影像接邊相對移位應小於 2.5 公尺。

圖 2-31 為製作彩色無縫正射影像鑲嵌流程圖。

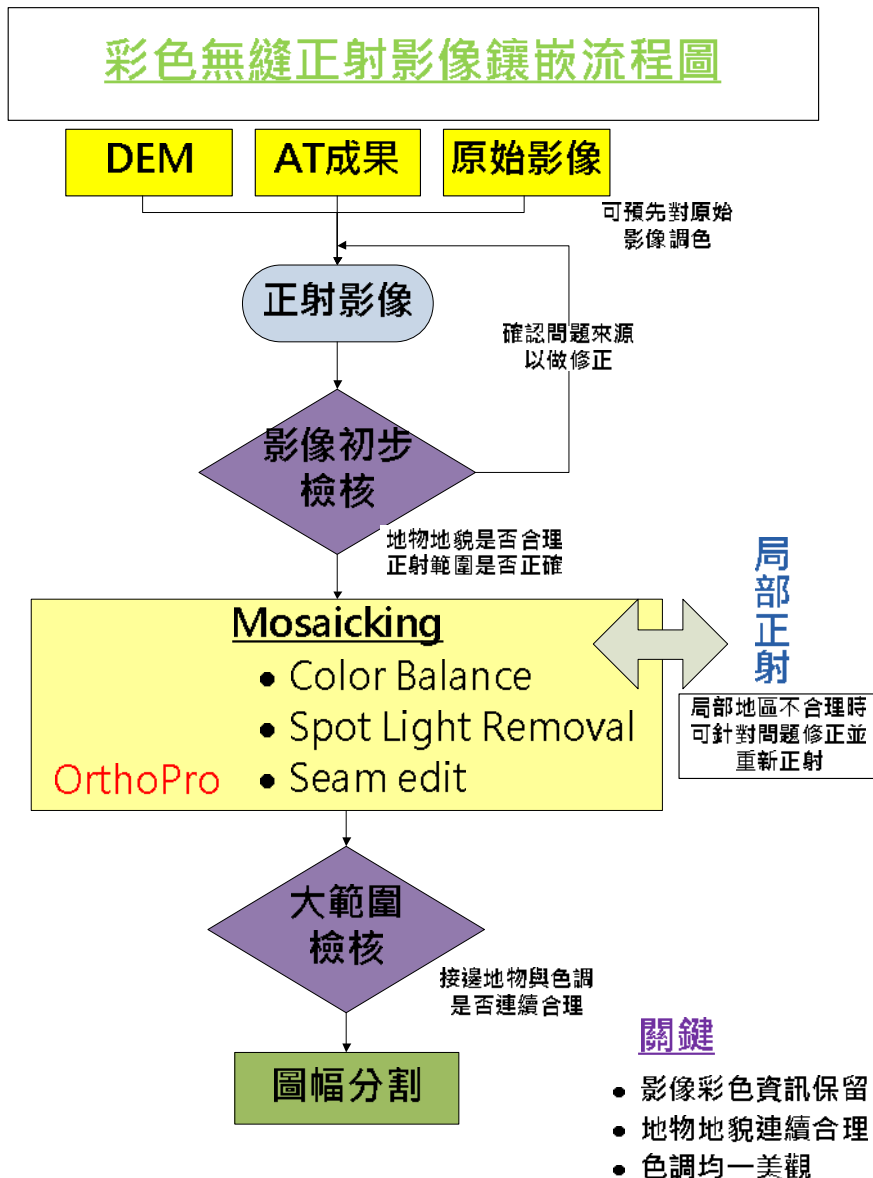


圖 2-31 製作彩色無縫正射影像鑲嵌流程圖

一、正射影像糾正

(一)利用數值航測影像工作站，配合數值高程模型(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，消除像片上投影誤差，製作數位正射影像資料檔，記錄在光碟等電腦磁性媒體。圖 2-32 為正射影像糾正示意圖。

(二)利用 ImageStation Orthopro 軟體將空三資料(如圖 2-33)、數值高程資料(如圖 2-34)、原始檔案載入，產生正射後的單張影像，在產生前需先設定是否將影像壓縮、影像格式(tif 或 jpg)、是否產生影像金字塔、影像定位檔(tfw 或 jgw)等。

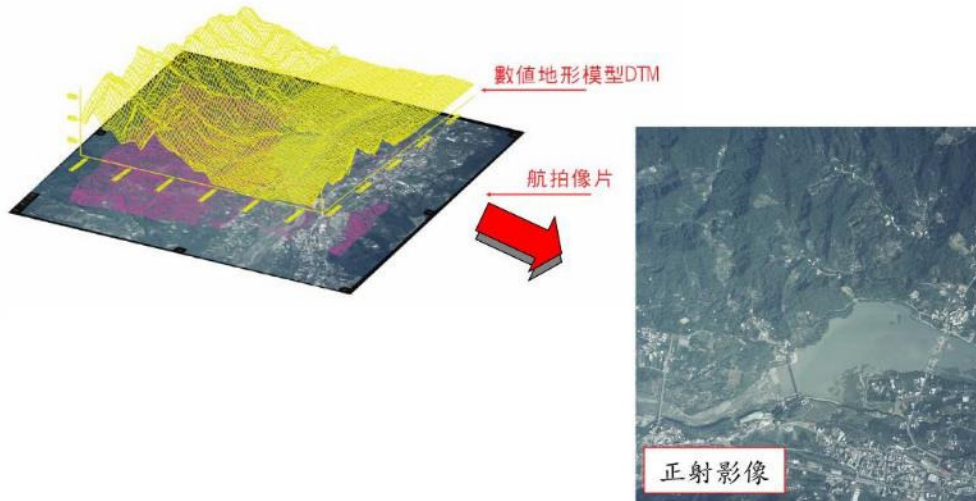


圖 2-32 正射影像糾正示意圖

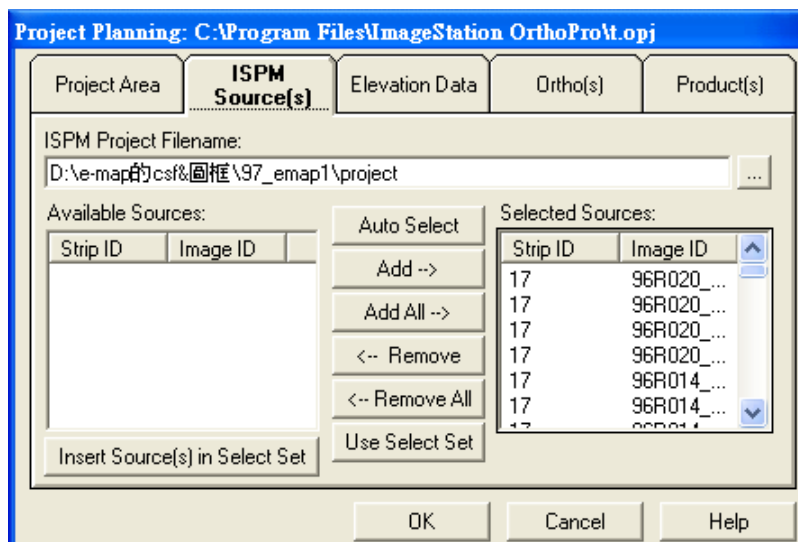


圖 2-33 ImageStation Orthopro 空三資料

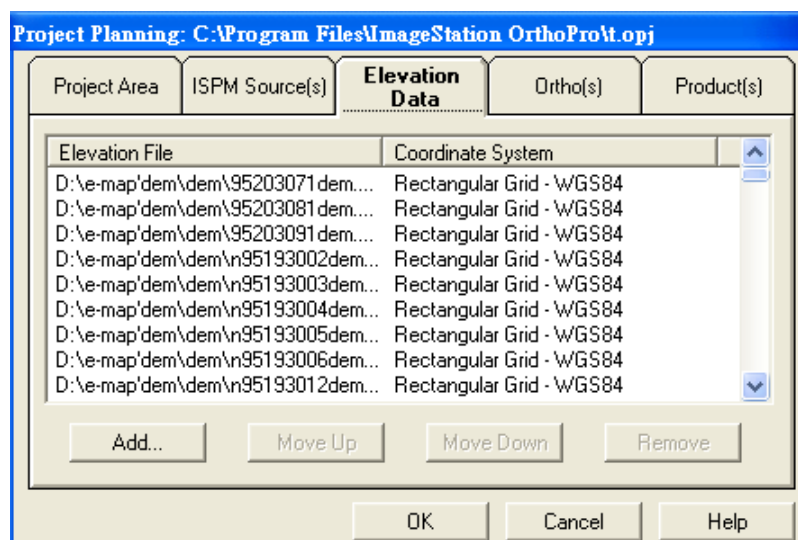


圖 2-34 ImageStation OrthoproDEM 資料

二、正射影像影像鑲嵌作業

- (一)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，如圖 2-35。

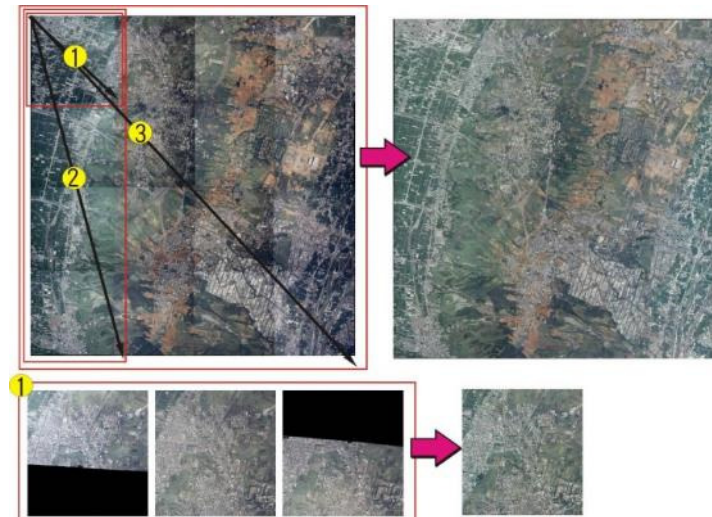


圖 2-35 正射影像鑲嵌示意圖

- (二)正射處理影像需在影像工作站進行無縫式鑲嵌及全區影像色調均化處理。
- (三)正射影像應盡量選取像主點附近之影像，避免傾斜位移大、陰影過長、陰影下影像模糊等區域，鑲嵌之接縫處宜位於水系、平面道路或空曠地區，注意重要地標（高架道路、明顯建物）之銜接，並應力求色調、亮度一致，影像避免反光，保持柔和及清晰。
- (四)正射影像鑲嵌後如造成疊影、錯位、扭曲、雲遮蔽等狀況，都必須再行編修處理，如圖 2-36。



圖 2-36 正射影像編修前後比較（左邊為編修前、右邊為編修後）

第四節 成果檢核

本案依規範之成果檢查作業說明，針對空三測量與正射影像必須完成的檢查項目如下：

一、原始航拍影像檢查

採書面審查，檢查原始影像檢查書面資料(影像解析度、含雲比率、重疊率計算結果)內容是否完整正確。

二、空中三角測量檢查

採書面審查，檢查空中三角測量書面資料內容是否完整正確。

三、正射影像檢查

針對正射影像成果進行查核，說明如下：

- (一)抽查項目及方式：採上機檢查，檢查影像連續地物合理性(地物是否有扭曲變形、影像接邊情形是否連續無縫)及平面位置精度。如正射影像成果應用於更新臺灣通用電子地圖正射影像，另套疊已完成之向量資料辦理檢查。
- (二)抽查數量：全面檢查。
- (三)通過標準：每區影像連續地物合理性及向量套疊缺失總數未超過 5 處，則該區視為合格；所有航拍區域應全面檢查且全數合格，則檢查通過。平面位置精度抽查 5 點，符合本案一般航拍影像處理標準則檢查通過。

因本案 UAS 正射影像成果精度應達臺灣通用電子地圖測製精度，本團隊於精度檢核作業，將參考臺灣通用電子地圖圖資精度檢核及品質管控流程規劃進行。

一、航空攝影影像品質管控及檢核

- (一)檢查項目：航線、航攝像片重疊率及影像品質。
- (二)航線規劃：檢查航線規劃是否涵蓋測區，每幅圖兩個像對，各航線兩端應多加拍攝兩像對。
- (三)航拍檢查：檢查航偏、航傾角及重疊率。
- (四)航拍檢查標準：

1. 航線方向以南北、東西或平行預定路線為原則。
2. 垂直連續攝影，檢查 POS 所記錄之角度資料，攝影軸傾斜應小於 8 度，各航線兩端應多攝兩個像對。
3. 是否重疊度不佳以致像對不能涵蓋全測區或影響製圖精度。
4. 攝影天氣：攝影天氣晴朗無雲，能見度良好，太陽高度大於三十度以上，以減少陰影。
5. 影像有雲，影像模糊，陰影過長，或不能完全消除視差，導致無法用於量測及製圖。

二、彩色無縫鑲嵌正射影像製作品質控管及檢核

以測區需求範圍進行單區正射影像製作，範圍依據 DEM 範圍，且向四周擴大 50 公尺之重疊範圍，並進行無縫式鑲嵌製作，最後接合成一整張影像。

(一)彩色無縫式鑲嵌品質控管

1. 單幅正射影像鑲嵌產生之品質控管：單一區域之正射影像由多張影像鑲嵌而成。
2. 影像成果之品質檢查包含：
 - (1)檢查影像地物是否扭曲變形、或影像中有雲或陰影、影像對比及色彩飽和度。
 - (2)彩色無縫鑲嵌正射影像地面解析度 0.25 公尺。
 - (3)檢核正射用之 DEM 重疊區高程一致性。
 - (4)正射影像資料檔以 TIFF 格式儲存，以每個區域一個檔案為原則。

(二)正射影像製作精度要求

1. 幾何精度

檢查於平坦地表面無高差移位的明顯地物點平面位置較差(如表 2-10)，解析度 0.25 公尺之正射影像，其位置中誤差應在 1.25 公尺以內，最大誤差應在 2.5 公尺以內；

解析度要求為 0.1 公尺且位置中誤差要求為 1 公尺之正射影像，其最大誤差應在 2 公尺以內；而解析度要求為 0.1 公尺且位置中誤差要求為 0.5 公尺之正射影像，其最大誤差應在 1.5 公尺以內。

表 2-10 正射影像解析度及精度要求對照

解析度 (公尺)	精度		備註
	均方根值 (公尺)	最大偏移量 (公尺)	
0.25	1.25	2.5	檢查位於平坦表面無高差位移之明顯地物點平面位置較差
0.1	1	2	
0.1	0.5	1.5	

2. 色調

整張正射影像的色調應均勻，其明亮度(intensity, brightness)的直方圖分布應在 5 至 250 之間，且直方圖的兩端不得有突然停止的現象(如圖 2-37)，亦不得有突然觸到兩端的現象。突然停止的現象可依最端點灰值的像元數 N_e 與其內側鄰近三個灰值平均像元數 N_i 之比值來判斷， N_e 必須小於 N_i 。不同張航拍影像的接邊處色調需一致，不得有肉眼能見到的邊緣。

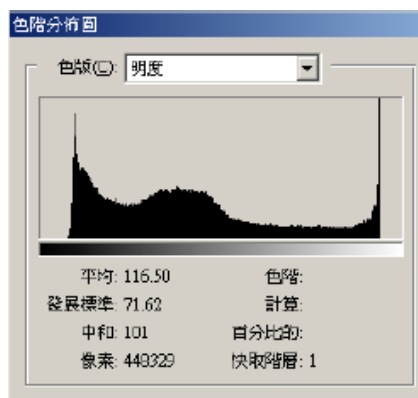


圖 2-37 直方圖兩端突然停止示意圖

3. 色彩平衡

所謂色彩平衡就是不同張的正射影像上所顯示地物

的色彩應於一致。但由於同一地物彩色在不同正射影像上看起來色彩都不一樣，因此色彩平衡要做到整區影像地物顏色連續且均勻自然。

第參章 遙控無人機系統航拍及影像處理作業

本案辦理 3 區航拍與影像處理作業，並針對 7 區國土測繪一號拍攝之影像進行影像處理作業，進行正射影像製作。其主要配合陽明山國家公園管理處(以下簡稱陽管處)、內政部營建署城鄉發展分署(以下簡稱城鄉分署)、國土測繪中心圖資更新進行航拍與影像處理作業。正射影像採用 TWD97[2010]坐標系統，解析度分為 0.25 及 0.1 公尺。

航拍作業區域彙整表如表 3-1，各航拍作業區位置分布圖如圖 3-1。各航拍區任務執行規劃與影像處理作業細節，詳述於本章各小節。

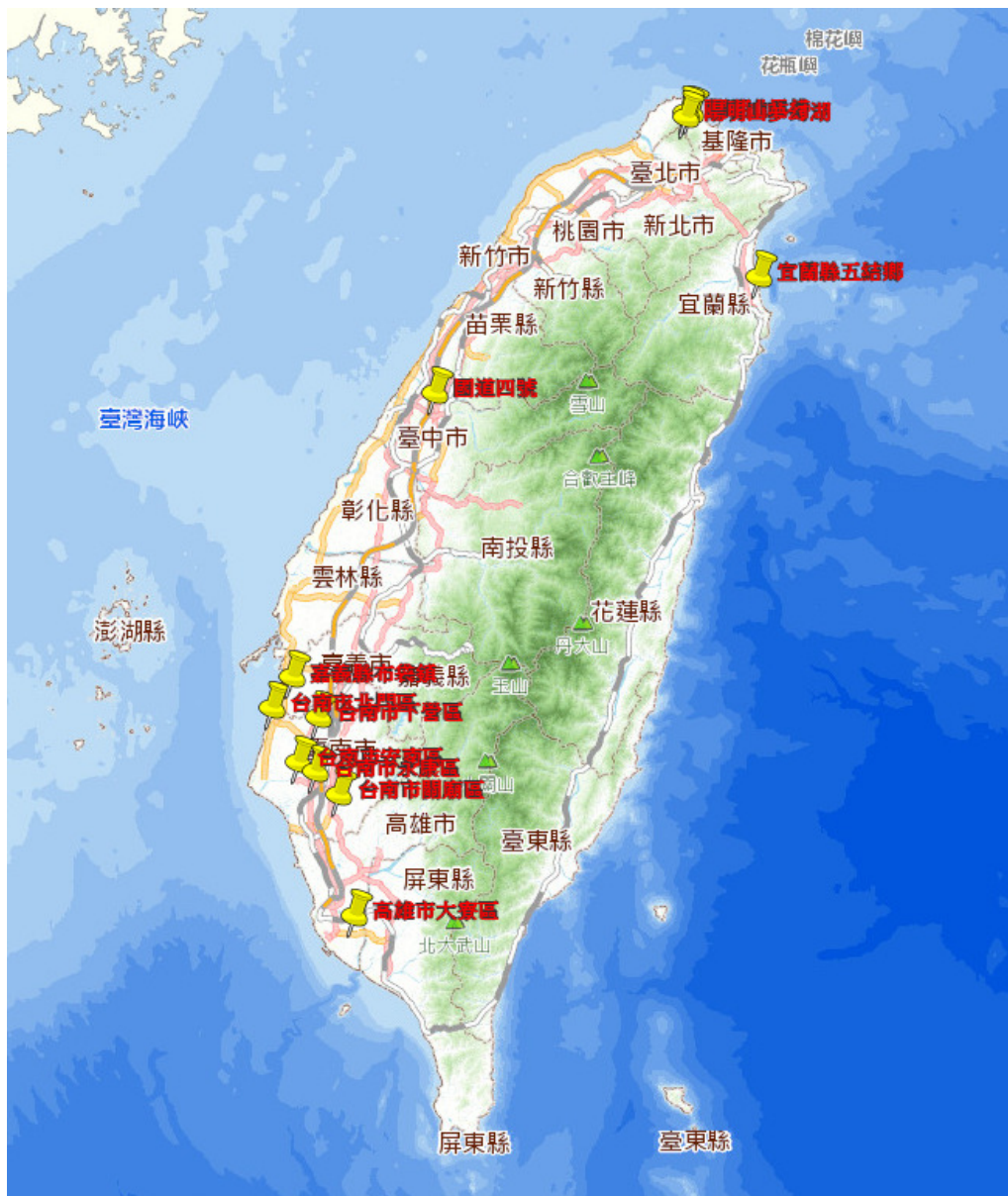


圖 3-1 108 年度一般航拍任務及影像處理區域分布

表 3-1 108 年度一般航拍任務及影像處理區域彙整表

編號	航拍區域	面積 (km ²)	重疊率	相機/ 鏡頭焦距	GSD (公分)	航高 (公尺)	航拍日期	使用相片張數	成果繳交	使用機型	用途
1	臺北市士林區 (陽明山大油坑、馬槽、夢幻湖)	2.4	前後 80% 側向 50%	Sony α 7R II /21mm	9	1150	4/23	984	5/21	電動直升機	配合陽管處協助航拍
2	臺南市永康區	2	前後 80% 側向 50%	Sony α 7R II /21mm	7	340	11/27	431	12/20	電動直升機	配合國土測繪中心圖資更新
3	臺中市后里區	8	前後 80% 側向 50%	Sony α 7R /21mm	8	520	11/28 及 12/3	1789	12/20	電動直升機	配合國土測繪中心圖資更新
4	臺南市北門區	18	前後 80% 側向 40%	Canon 5DSR/ 20mm	18	820	4/9	396	6/6	定翼型 (測繪 1 號)	配合城鄉分署協助航拍
5	嘉義縣布袋鎮 (布袋濕地)	3	前後 80% 側向 40%	Canon 5DSR/ 20mm	18	820	4/10	142	6/6	定翼型 (測繪 1 號)	配合城鄉分署協助航拍
6	宜蘭縣五結鄉	8	前後 80% 側向 40%	Canon 5DSR/ 20mm	13	600	4/29	115	6/13	定翼型 (測繪 1 號)	配合城鄉分署協助航拍
7	臺南市關廟區	4	前後 80% 側向 40%	Canon 5DSR/ 20mm	18	900	6/3	67	8/2	定翼型 (測繪 1 號)	配合國土測繪中心圖資更新
8	嘉義縣布袋鎮	4	前後 80% 側向 40%	Canon 5DSR/ 20mm	18	875	6/5	47	8/2	定翼型 (測繪 1 號)	配合國土測繪中心圖資更新
9	臺南市下營區	4.5	前後 80% 側向 40%	Canon 5DSR/ 20mm	18	880	6/5	51	8/21	定翼型 (測繪 1 號)	配合國土測繪中心圖資更新
10	臺南市安南區	6	前後 80% 側向 40%	Canon 5DSR/ 20mm	17	820	6/29	48	8/21	定翼型 (測繪 1 號)	配合國土測繪中心圖資更新
	合計	59.9									

第一節 協助航拍作業

一、 臺北市士林區(陽明山大油坑、馬槽、夢幻湖)

本區域為陽管處委託國土測繪中心辦理航拍作業並製作正射影像成果，包含陽明山大油坑與馬槽及夢幻湖等。相關航拍任務執行與影像處理作業說明如下：

1. 航拍任務執行

臺北市士林區(陽明山大油坑)航拍區範圍約 0.8 平方公里，地表高程約 549 公尺。航拍任務規劃使用 Sony α 7R II 數位相機(像元大小為 $4.5\mu\text{m}$)搭配 21 mm 焦距鏡頭，航高為 1150 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。區域範圍及航線規劃為 Z 模式如圖 3-2，航拍區域任務執行概況如表 3-2。

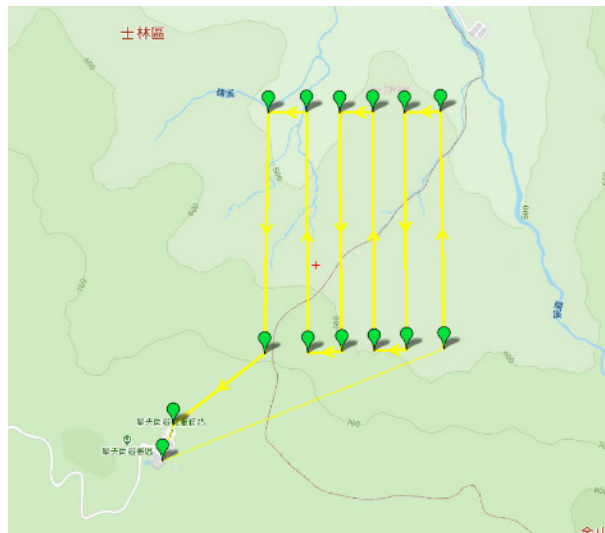


圖 3-2 臺北市士林區(陽明山大油坑)飛行航線規劃

表 3-2 臺北市士林區(陽明山大油坑)任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	臺北市士林區(陽明山大油坑)
二、航拍日期	108/4/23
三、航線航程	總航程約 7.15 公里
四、天氣狀況	多雲時晴(氣溫 31°C ，降雨機率 0%)
五、風向/風級	偏南風/二級
六、航拍高度/雲層高度	1150 公尺/1500 公尺
七、地面解析度	0.08 公尺

八、UAS 載具	電動直升機
----------	-------

臺北市士林區(陽明山馬槽及夢幻湖)航拍區範圍各約 0.8 平方公里，因兩區距離較近，故於一次航拍任務拍攝兩個區域，其地表高程約 780 公尺。航拍任務規劃使用 Sony α 7R II 數位相機(像元大小為 4.5 μm)搭配 21 mm 焦距鏡頭，航高為 1150 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。區域範圍及航線規劃為 Z 模式如圖 3-3，航拍區域任務執行概況如表 3-3。

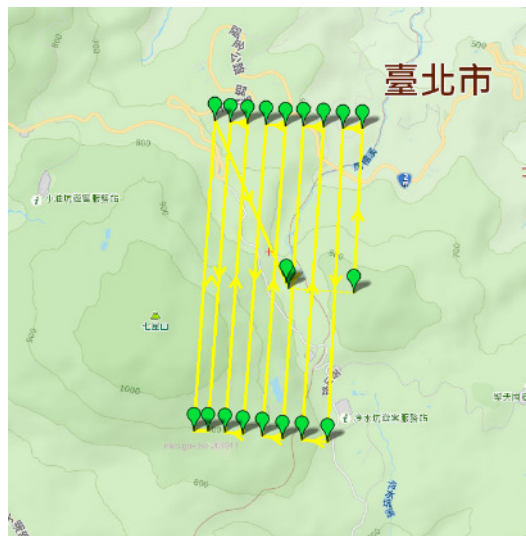


圖 3-3 臺北市士林區(陽明山馬槽及夢幻湖)飛行航線規劃

表 3-3 臺北市士林區(陽明山馬槽及夢幻湖)任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	臺北市士林區(陽明山馬槽及夢幻湖)
二、航拍日期	108/4/23
三、航線航程	總航程約 19.74 公里
四、天氣狀況	多雲時晴(氣溫 31°C，降雨機率 0%)
五、風向/風級	偏南風/二級
六、航拍高度/雲層高度	1150 公尺/1500 公尺
七、地面解析度	0.09 公尺
八、UAS 載具	電動直升機

任務作業於 108 年 4 月 23 日 0630 時出發至目標區於 1010 時到達第一起降點擎天崗遊客中心停車場旁待命起飛，山區雲霧過低，現場整備飛機及測試裝備後待命。於 1055 時與台北近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後 UAV 飛機起飛執行大油坑航拍任務，直升機飛行總架次為 1 架次，飛行時間約為 22 分鐘，1130 時飛機任務執

行完畢安全降落後讀取拍攝照片確認正常後，前往第二起飛點中湖戰備道路。1205 時到達航拍區旁待命，1215 時與台北近場台協調空域完成，執行人員車輛管制後 UAV 飛機起飛執行馬槽及夢幻湖航拍任務，直升機飛行總架次為 2 架次，飛行時間約為 40-45 分鐘，1315 時飛機任務執行完畢安全降落後與近場台告知本日飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，回報專案經理並結束本日任務。作業情形如圖 3-4 及圖 3-5。大油坑共拍攝 6 條航帶計 292 張影像，馬槽及夢幻湖共拍攝 9 條航帶計 692 張影像，地面解析度(GSD)約 9 公分，影像中心點分布如圖 3-6 及圖 3-7。



圖 3-4 臺北市士林區(陽明山大油坑)起降場地作業情形



圖 3-5 臺北市士林區(陽明山馬槽及夢幻湖)起降場地作業情形

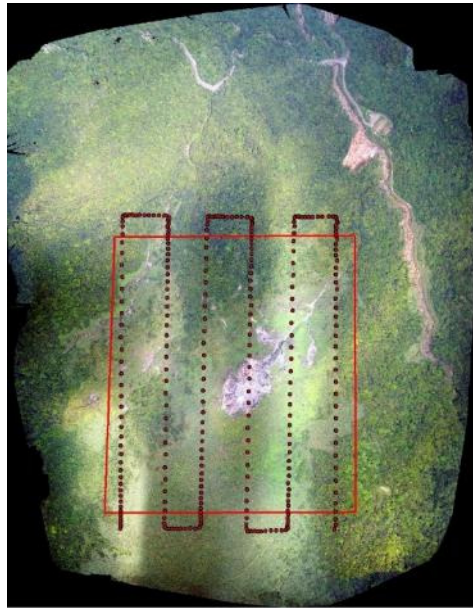


圖 3-6 臺北市士林區(陽明山大油坑)航拍影像中心點分布圖

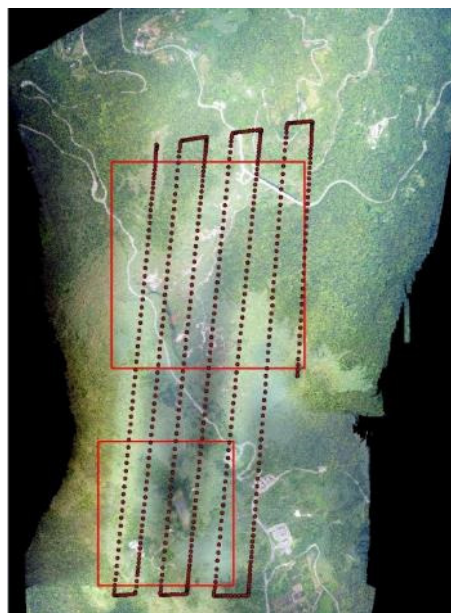


圖 3-7 臺北市士林區(陽明山馬槽及夢幻湖)航拍影像中心點分布圖

2. 影像處理作業

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源為前期影像資料之特徵點，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點(如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等)，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。大油坑控制點位置分布如圖 3-8，成果精度如表 3-4，25 公分解析度之正射鑲嵌影像成果，如圖 3-9。馬槽及夢幻湖一同進行空三解算，控制點位置分布如圖 3-10，成果精度如表 3-5，各自切割其 25 公分解析度之正射鑲

嵌影像成果，如圖 3-11 及圖 3-12。

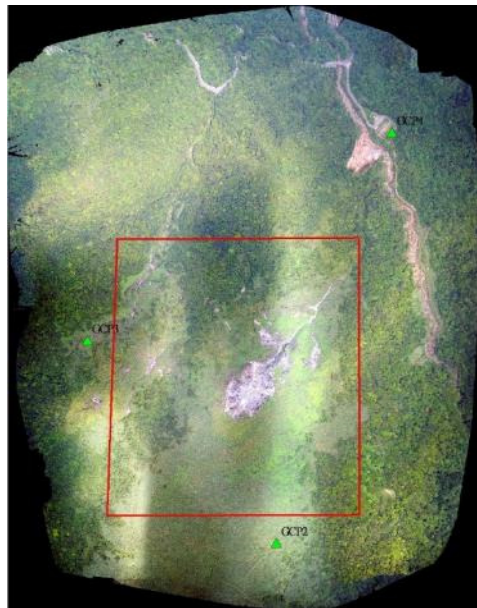


圖 3-8 臺北市士林區(陽明山大油坑)控制點分布圖

表 3-4 臺北市士林區(陽明山大油坑)空三計算成果

作業區	類型	計算成果	
		X	Y
臺北市士林區 (陽明山大油坑)	平均值(mean)	-0.210	-0.091
	中誤差(Sigma)	0.273	0.082
	均方根誤差(RMSE)	0.345	0.122



圖 3-9 臺北市士林區(陽明山大油坑)正射鑲嵌影像成果

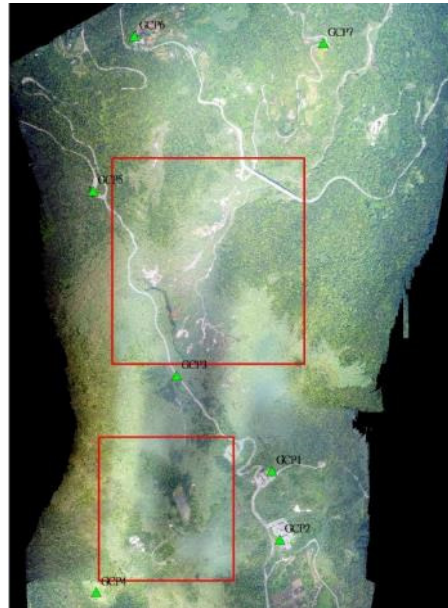


圖 3-10 臺北市士林區(陽明山馬槽及夢幻湖)控制點分布圖

表 3-5 臺北市士林區(陽明山馬槽及夢幻湖)空三計算成果

作業區	類型	計算成果	
		X	Y
臺北市士林區 (陽明山馬槽 及夢幻湖)	平均值(mean)	0.002	0.026
	中誤差(Sigma)	0.127	0.119
	均方根誤差(RMSE)	0.127	0.122

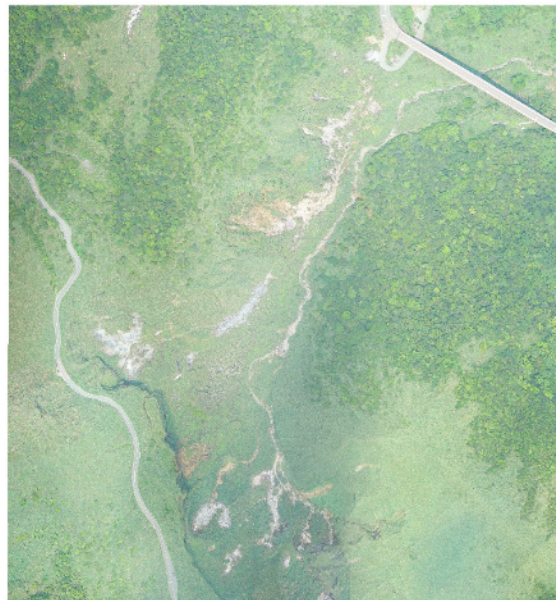


圖 3-11 臺北市士林區(陽明山馬槽)正射鑲嵌影像成果



圖 3-12 臺北市士林區(陽明山夢幻湖)正射鑲嵌影像成果

二、 臺南市永康區

本區域為國土測繪中心臺灣通用電子地圖局部區域正射影像更新需求，相關航拍任務執行與影像處理作業說明如下：

1. 航拍任務執行

臺南市永康區航拍區範圍約 3.95 平方公里，地表高程約 25 公尺。航拍任務規劃使用 Sony α 7R II 數位相機(像元大小為 $4.5\mu\text{m}$)搭配 21 mm 焦距鏡頭，航高為 340 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。區域範圍及航線規劃為 Z 模式如圖 3-13，航拍區域任務執行概況如表 3-6。

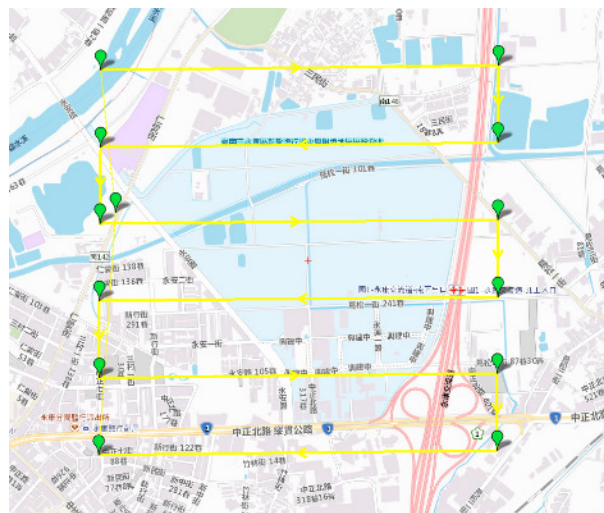


圖 3-13 臺南市永康區飛行航線規劃

表 3-6 臺南市永康區任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	臺南市永康區
二、航拍日期	108/11/27
三、航線航程	總航程約 7.15 公里
四、天氣狀況	多雲時晴(氣溫 31°C，降雨機率 0%)
五、風向/風級	偏南風/二級
六、航拍高度/雲層高度	1150 公尺/1500 公尺
七、地面解析度	0.07 公尺
八、UAS 載具	電動直升機

11/27 當日出發至目標區於 1010 時到達仁德路旁待命起飛，於近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後 UAV 飛機起飛執行航拍任務，直升機飛行總架次為 2 架次，飛行時間各約 15 分鐘，1110 時飛機任務執行完畢安全降落後讀取拍攝照片確認正常後，回報專案經理並結束本日任務，作業情形如圖 3-14。本區共拍攝 6 條航帶，拍攝影像數量合計 648 片，地面解析度(GSD)約 7 公分，影像中心點分布如圖 3-15。



圖 3-14 臺南市永康區起降場地作業情形



圖 3-15 臺南市永康區航拍影像中心點分布圖

2. 影像處理作業

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源為前期影像資料之特徵點，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點(如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等)，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。控制點位置分布如圖 3-16，成果精度如表 3-7，25 公分解析度之正射鑲嵌影像成果，如圖 3-17。

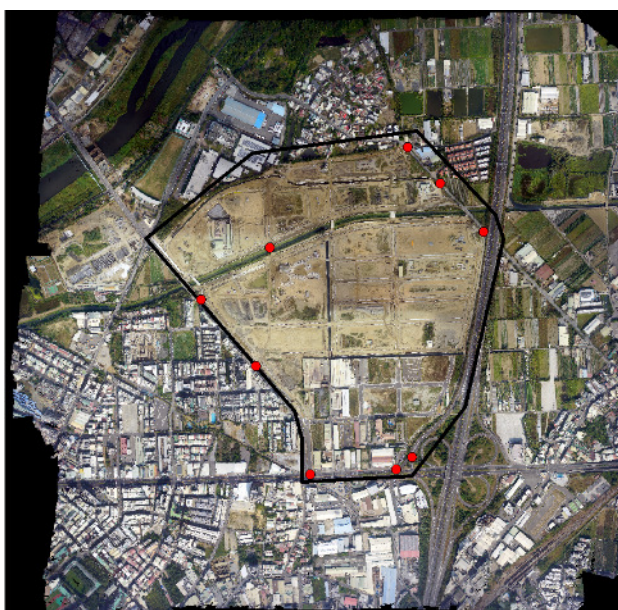


圖 3-16 臺南市永康區控制點分布圖

表 3-7 臺南市永康區空三計算成果

作業區	類型	計算成果	
		X	Y
臺南市永康區	平均值(mean)	-0.037	0.164
	中誤差(Sigma)	0.225	0.381
	均方根誤差(RMSE)	0.228	0.415



圖 3-17 臺南市永康區正射鑲嵌影像成果

三、 臺中市后里區

本區域為國土測繪中心臺灣通用電子地圖局部區域正射影像更新需求，相關航拍任務執行與影像處理作業說明如下：

1. 航拍任務執行

臺中市后里區航拍區範圍約 8.43 平方公里，地表高程約 185 公尺。航拍任務規劃使用 Sony α 7R 數位相機(像元大小為 $4.9\mu\text{m}$)搭配 21 mm 焦距鏡頭，航高為 520 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。區域範圍及航線規劃為 Z 模式如圖 3-18，航拍區域任務執行概況如表 3-8。



圖 3-18 臺中市后里區飛行航線規劃

表 3-8 臺中市后里區任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	臺中市后里區
二、航拍日期	108/11/28 及 108/12/3
三、航線航程	總航程約 42.57 公里
四、天氣狀況	多雲時晴(氣溫 31°C，降雨機率 0%)
五、風向/風級	偏南風/二級
六、航拍高度/雲層高度	520 公尺/800 公尺
七、地面解析度	0.08 公尺
八、UAS 載具	電動直升機

任務作業於 108 年 11 月 28 日出發至目標區堤南路大甲溪旁待命起飛，於近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後 UAV 飛機起飛執行航拍任務，直升機飛行總架次為 1 架次，飛行時間約 15 分鐘，1057 時飛機任務執行完畢安全降落後讀取拍攝照片確認正常後，因風過大，延至 12/3 再次執行任務。12/3 當日出發至目標區於 1000 時到達國道 4 號旁待命起飛，於近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後 UAV 飛機起飛執行航拍任務，直升機飛行總架次為 3 架次，飛

行時間各約 15 分鐘，1152 時飛機任務執行完畢安全降落後讀取拍攝照片確認正常後，回報專案經理並結束本日任務。作業情形如圖 3-19 及圖 3-20，12/18 及 12/3 飛行架次各為 1 及 3 架次，各架次飛行時間約 15 分鐘，飛機任務執行完畢安全降落後與近場台告知本日飛行任務結束，讀取拍攝照片確認正常後，結束本日任務。本區共拍攝 8 條航帶，拍攝影像數量合計 1860 片，地面解析度(GSD)約 8 公分，影像中心點分布如圖 3-21。



圖 3-19 臺中市后里區起降場地(11/28)作業情形



圖 3-20 臺中市后里區起降場地(12/3)作業情形



圖 3-21 臺中市后里區航拍影像中心點分布圖

2. 影像處理作業

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源為前期影像資料之特徵點，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點(如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等)，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。控制點位置分布如圖 3-22，成果精度如表 3-9，25 公分解析度之正射鑲嵌影像成果，如圖 3-23。



圖 3-22 臺中市后里區控制點分布圖

表 3-9 臺中市后里區空三計算成果

作業區	類型	計算成果	
		X	Y
臺中市后里區	平均值(mean)	-0.024	-0.011
	中誤差(Sigma)	0.123	0.076
	均方根誤差(RMSE)	0.126	0.077



圖 3-23 臺中市后里區正射鑲嵌影像成果

第二節 國土測繪 1 號影像處理作業

本項工作為本團隊辦理國土測繪中心（使用國土測繪 1 號 UAS 航拍）影像處理作業，配合製作正射影像成果。國土測繪 1 號搭載 Canon 5DSR 數位相機(像元大小為 $4.1\mu\text{m}$)搭配 20 mm 焦距鏡頭（相機率定參數如附錄八）。UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源為前期影像資料之特徵點，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點(如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等)，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。

一、臺南市北門區

臺南市北門區控制點位置分布如圖 3-24，成果精度如表 3-10，25 公分解析度之正射鑲嵌影像成果，如圖 3-25。



圖 3-24 臺南市北門區控制點分布圖

表 3-10 臺南市北門區空三計算成果

作業區	類型	計算成果	
		X	Y
臺南市北門區	平均值(mean)	-0.011	0.002
	中誤差(Sigma)	0.173	0.050
	均方根誤差(RMSE)	0.173	0.050



圖 3-25 臺南市北門區正射鑲嵌影像成果

二、 嘉義縣布袋鎮（布袋濕地）

嘉義縣布袋鎮（布袋濕地）控制點位置分布如圖 3-26，成果精度如表 3-11，25 公分解析度之正射鑲嵌影像成果，如圖 3-27。



圖 3-26 嘉義縣布袋鎮控制點分布圖

表 3-11 嘉義縣布袋鎮空三計算成果

作業區	類型	計算成果	
		X	Y
嘉義縣布袋鎮	平均值(mean)	0.124	0.002
	中誤差(Sigma)	0.234	0.165
	均方根誤差(RMSE)	0.265	0.165



圖 3-27 嘉義縣布袋鎮正射鑲嵌影像成果

三、 宜蘭縣五結鄉

宜蘭縣五結鄉控制點位置分布如圖 3-28，成果精度如表 3-12，25 公分解析度之正射鑲嵌影像成果，如圖 3-29。



圖 3-28 宜蘭縣五結鄉控制點分布圖

表 3-12 宜蘭縣五結鄉空三計算成果

作業區	類型	計算成果	
		X	Y
宜蘭縣五結鄉	平均值(mean)	0.011	0.036
	中誤差(Sigma)	0.336	0.498
	均方根誤差(RMSE)	0.336	0.500



圖 3-29 宜蘭縣五結鄉正射鑲嵌影像成果

四、 臺南市關廟區

臺南市關廟區控制點位置分布如圖 3-30，成果精度如表 3-13，25 公分解析度之正射鑲嵌影像成果，如圖 3-31。



圖 3-30 臺南市關廟區控制點分布圖

表 3-13 臺南市關廟區空三計算成果

作業區	類型	計算成果	
		X	Y
臺南市關廟區	平均值(mean)	0.054	-0.006
	中誤差(Sigma)	0.179	0.136
	均方根誤差(RMSE)	0.187	0.136



圖 3-31 臺南市關廟區正射鑲嵌影像成果

五、 嘉義縣布袋鎮

嘉義縣布袋鎮控制點位置分布如圖 3-32，成果精度如表 3-14，25 公分解析度之正射鑲嵌影像成果，如圖 3-33。



圖 3-32 嘉義縣布袋鎮控制點分布圖

表 3-14 嘉義縣布袋鎮空三計算成果

作業區	類型	計算成果	
		X	Y
嘉義縣布袋鎮	平均值(mean)	0.009	-0.112
	中誤差(Sigma)	0.321	0.384
	均方根誤差(RMSE)	0.321	0.400



圖 3-33 嘉義縣布袋鎮正射鑲嵌影像成果

六、 臺南市下營區

臺南市下營區控制點位置分布如圖 3-34，成果精度如表 3-15，25 公分解析度之正射鑲嵌影像成果，如圖 3-35。



圖 3-34 臺南市下營區控制點分布圖

表 3-15 臺南市下營區空三計算成果

作業區	類型	計算成果	
		X	Y
臺南市下營區	平均值(mean)	-0.003	-0.017
	中誤差(Sigma)	0.184	0.289
	均方根誤差(RMSE)	0.184	0.289



圖 3-35 臺南市下營區正射鑲嵌影像成果

七、 臺南市安南區

臺南市安南區控制點位置分布如圖 3-36，成果精度如表 3-16，25 公分解析度之正射鑲嵌影像成果，如圖 3-37。



圖 3-36 臺南市安南區控制點分布圖

表 3-16 臺南市安南區空三計算成果

作業區	類型	計算成果	
		X	Y
臺南市安南區	平均值(mean)	-0.072	-0.081
	中誤差(Sigma)	0.983	0.804
	均方根誤差(RMSE)	0.986	0.809



圖 3-37 臺南市安南區正射鑲嵌影像成果

第肆章 建置遙控無人機系統

本團隊就國土測繪中心「需求規格書」規格逐項比對，針對所需設備之數量、廠牌、型號等建置遙控無人機系統及影像處理軟體，其規格標準皆為合規。另以本案建置之 UAS 辦理南投市南崗工業區校正場航拍及計算成果精度，並針對國土測繪中心指定地標歷史建築帝國糖廠臺中營業所（以下簡稱臺中糖廠）辦理航拍並產製三維模型。另規劃 UAS 及 LMS 聯合作業及評估不同載具優點及互補性，以下各節進行說明。

第一節 UAS 及影像處理軟體

本案所需設備之軟硬體需求表如表 4-1，選用之型號規格全數合乎本案標準。其中無人機使用之機型乃本團隊自主研發之「國機國造」自有無人機產品。另考量未來國土測繪中心自主操作無人機之操控性與光達式測繪車(LMS)結合出勤執行拍攝任務之收納性，並依需求訪談實際內容及紀錄，本案配合提供多軸四旋翼無人機，詳細介紹如下。

表 4-1 系統軟硬體需求表

一.UAS				
項次	品項		數量	廠牌型號
1	遙控無人機		1 套	多軸四旋翼
2	酬載設備	單眼全片幅數位相機	1 臺	Sony α 7 III 單眼數位相機，Carl Zeiss Loxia 2.8/21mm For E-mount 鏡頭
		定位定向系統	1 套	本團隊整合之 POS 系統，GNSS (Trimble BD982) 及 IMU (ADIS16488)
		全景相機	1 臺	Garmin VIRB 360 全景相機
3	地面控制站		1 組	本團隊研發之旋翼機多功能整合控制系統(GCS)，含商用 Windows 筆電、Futaba 14SG 搖控器
4	航線規劃軟體		1 套	本團隊開發之地面控制站規劃軟體(Geosat mission planner)
二.影像處理軟體				
項次	品項		數量	廠牌型號
1	UAS 影像處理軟體		1 套	Pix4Dmapper
2	3D 模型(3D Mesh Model)製作模組		1 套	Pix4Dmodel

4.1.1 遙控無人機

本案建置之遙控無人機，具備垂直起降功能且酬載重量達 1.5 公斤，具備折疊收納功能，酬載設備飛行時間達 20 分鐘，最大飛行半徑及控制距離達 1000 公尺以上，最大飛行高度 400 公尺以上，配有飛行控制信號傳輸中斷及低電量時自動返航至出發點並自動降落之功能，飛行控制系統具備飛行時數累計功能。詳細規格及無人機整合如圖 4-1 及表 4-2，同時本案建置之遙控無人機已依民航局「遙控無人機管理規則」完成相關註冊事宜。圖 4-2 及 4-3 所示為本案提供之收納箱、電池及充電設備。



圖 4-1 遙控無人機外型及籌載整合情形

表 4-2 遙控無人機規格

項目	多軸四旋翼(本案提供之 UAS)
載具尺寸	110 x 110 公分
旋翼數量	4
操控性	佳
收納性	佳
酬載重量	1.5 公斤
滯空時間	15 ~ 20 分鐘
最大航高	500 公尺
飛行速度	50 公里/小時
抗風	4 級風
動力	電力
噪音	普通



圖 4-2 遙控無人機收納箱



圖 4-3 電池及充電設備

4.1.2 酬載設備

1. 單眼全片幅數位相機

本案選用之單眼全片幅數位相機為 Sony α 7 III，感光元件為全片幅尺寸(24mm*36mm)規格，搭配 Carl Zeiss Loxia 2.8/21mm For E-mount 鏡頭，可提升遙控無人機系統測繪作業之效率與拍攝影像品質。Sony α 7 III 影像感測器有效畫素 2530 萬，具備拍照及錄製影片功能，另安裝記憶卡容量為 64GB，連拍速度達每秒 10 張，快門速度最快達 1/8000 秒並提供外部觸發快門功能，相機詳細規格如圖 4-4 及表 4-3，鏡頭規格如圖 4-5 及表 4-4。相機內方位率定成果如圖 4-6 所示，包含焦距(c)、像主點(xp 及 yp)、輻射畸變差(K1、K2、K3、K4、K5)、離心畸變差(P1、P2)、仿射畸變差(B1、B2)等，詳細率定結果及率定參數解算方程式請參閱附錄八。

圖 4-4 單眼全片幅數位相機 Sony α 7 III

表 4-3 Sony α 7 III 全片幅數位相機規格表

項目	規格
影像感測器	有效畫素 2530 萬畫素 全片幅(35.9mm × 24.0mm) Exmor R CMOS 感光元件
鏡頭焦距	21mm 焦距定焦鏡頭
記憶卡容量	32GB、64GB
影像格式	JPEG/RAW
記錄畫素	最高 6000 x 4000 pixels
儲存張數	依記憶卡容量決定
連拍速度	每秒 10 張
快門速度	最快可達 1/8000 秒，提供外部觸發快門
ISO 感光度	100 ~ 204800



圖 4-5 定焦鏡頭 Carl Zeiss Loxia 2.8/21mm

表 4-4 Carl Zeiss Loxia 2.8/21mm 定焦鏡頭規格表

Loxia 2.8/21	
焦距	21 mm
光圈	f/2.8 — f/22
拍攝距離	0,25 m - ∞
鏡片結構	11 / 9
視場角：對角線/水平/垂直	91° / 81° / 59°
最近距離影像圈	281 x 187 mm
濾鏡規格	M52 x 0,75
鏡頭尺寸 (帶蓋)	85 mm
重量	約 394 g
接口類型	E-Mount

	VALUE	STANDARD ERROR
Principal distance	c = 21.3317mm	< 0.001mm
Principal point offset in x-image coordinate	xp = -0.0243mm	< 0.001mm
Principal point offset in y-image coordinate	yp = 0.0565mm	< 0.001mm
3rd-order term of radial distortion correction	K1 = 1.63764e-004	2.6548e-007
5th-order term of radial distortion correction	K2 = -2.99215e-007	3.3592e-009
7th-order term of radial distortion correction	K3 = 1.15004e-010	1.3023e-011
Coefficient of decentering distortion	P1 = 5.3375e-006	3.111e-007
Coefficient of decentering distortion	P2 = 8.3784e-006	3.143e-007
No significant differential scaling present	B1 = 0.0000e+000	2.572e-020
No significant non-orthogonality present	B2 = 0.0000e+000	2.572e-020
9th-order term of radial distortion correction	K4 = 0.00000e+000	2.5720e-036
11th-order term of radial distortion correction	K5 = 0.00000e+000	2.5720e-040

圖 4-6 Sony α 7 III 內方位率定參數

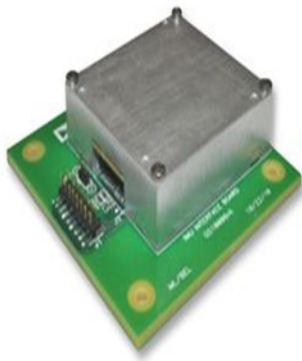
2. 定位定向系統

本公司整合之定位定向系統，GNSS 為 Trimble BD982 雙頻 GNSS，接收頻率達 1 Hz 以上，支援獨立計算位置資訊，並具有 RTK、低角度追蹤技術與多路徑抑制功能；IMU 選用高精度微機電等級慣性量測元件 ADIS16488，採用 SPI 通訊，具有加速度計、陀螺儀、磁力計等感測資訊，其重量輕之優點適合做為酬載重量相對較小的旋翼型 UAS 使用。系統另提供時間對 IMU 資料進行同步並提供相機 Trigger 時脈，使定位資料、相機姿態與拍照時間完全同步，能有效提高航空攝影測量之準確性，且後製處理可擁有更準確之定位定向資訊，相關規格如圖 4-7 及圖 4-8。

定位定向系統整合如圖 4-9，其單點定位實測資料蒐集如圖 4-10 所示，作業方式為將整合系統置於已知點上，每 1 個已知點資料蒐集約 4 分鐘，共 10 個點之資料，求解位置坐標並與已知點坐標比較，計算其三維精度約為 1.335 公尺，符合精度優於 2.5 公尺以上需求，相關成果如表 4-5。

Trimble BD982	
Receiver type	GPS: L1 C/A, L2E, L2C, L5
	220 Channels
Update rate	50 Hz
Accuracy	DGPS:0.25m(Horizontal);0.5m(Vertical)
	SBAS:0.5m(Horizontal); 0.5m(Vertical)
Acquisition	Cold start: 45s
	Warm start: 30s

圖 4-7 GNSS Trimble BD982 外觀及規格表



Item	ADIS 16488
Function	Accelerometer and Gyroscope
Communication port	Its own PIN design
Sample rate	100 Hertz
Voltage	10 V ~ 30 V
Dimension	47 x 46 x 14 mm ³

圖 4-8 IMU ADIS16488 外觀及規格表



圖 4-9 定位定向系統整合情形



圖 4-10 定位定向系統單點定位精度實測資料蒐集情形

表 4-5 定位定向系統單點定位精度實測

ID	UAS-POS定位測量結果(TWD97)			e-GNSS測量結果(TWD97)			誤差分析				
	E	N	H	E	N	H	dE	dN	dH	2D	3D
1	212820.057	2672052.851	117.492	212819.305	2672053.221	116.754	0.752	-0.370	0.738	0.838	1.117
2	212826.192	2672055.061	117.250	212825.212	2672054.997	116.782	0.980	0.064	0.468	0.982	1.088
3	212819.812	2672060.695	118.166	212819.056	2672060.500	116.782	0.756	0.195	1.384	0.781	1.589
4	212824.584	2672060.259	117.463	212823.783	2672060.919	116.808	0.801	-0.660	0.655	1.038	1.227
5	212830.364	2672061.118	117.093	212829.437	2672061.773	116.813	0.927	-0.655	0.280	1.135	1.169
6	212837.381	2672062.356	117.684	212836.351	2672062.633	116.822	1.030	-0.277	0.862	1.067	1.371
7	212821.634	2672066.702	116.276	212820.784	2672067.182	116.764	0.850	-0.480	-0.488	0.976	1.091
8	212828.332	2672067.226	115.391	212827.361	2672067.692	116.763	0.971	-0.466	-1.372	1.077	1.744
9	212835.570	2672068.376	116.324	212834.627	2672067.943	116.782	0.943	0.433	-0.458	1.038	1.134
10	212840.697	2672068.241	115.608	212839.699	2672067.763	116.776	0.998	0.478	-1.168	1.107	1.609
						均方根(m)	0.906	0.445	0.873	1.010	1.335

3. 全景相機

本公司選用之全景相機為 GARMIN VIRB 360 全景運動相機，其具備拍攝 360 度全景照片及 360 度全景 4K 錄影功能。相關規格如表 4-6 及圖 4-11。

表 4-6 GARMIN VIRB 360 全景相機規格表

重量	160 公克(含電池)； 133 公克(不含電池)
裝置尺寸(公分)	3.9 x 5.93 x 6.98 公分
防水等級	10 公尺
溫度範圍	操作溫度 0~40°C； 充電溫度 0~45°C； 儲存溫度 -40~85°C
記憶卡	microSD™ 最高支援128GB,UHS-I，U3級或更高版本 或以上規格(產品不包含)
電池種類	可充電式鋰電池
電池效能	最長達 1小時5分鐘
影片解析度	5.7K/30 fps未拼接、5K/30 fps未拼接、4K/30 fps 360度自動拼接影片、3K/60 fps未拼接
錄影模式	基本、縮時攝影
360度影像自動拼接	✔ 最高達4K/30 FPS
360度環繞音效	有(四向麥克風)
全景影像防震(最大支援4K影像)1	三種模式：穩定、鎖定、跟隨
最大影片位元率(bitrate)	最高可達120 Mbps(5.7K)
手動錄影	✔ (白平衡、曝光補償...等)
相容於虛擬實境(VR)	✔
拍攝視野	涵蓋360度垂直與水平視角
單鏡模式	✔



圖 4-11 全景相機 GARMIN VIRB 360

4.1.3 地面控制站系統

本團隊選用之地面控制站包含商用 Windows 筆電及 Futaba 14SG 遙控器如圖 4-12 及 4-13。手持式遙控器具備電量小於設定之警示值發出警示、飛行控制信號傳輸中斷時自動返航至出發點並自動降落、控制雲臺傾斜及快門功能；地面控制站可即時顯示載具之飛行高度、速度、姿態，並遠端監控飛行軌跡。圖 4-14 所示為 7 吋液晶顯示器，可即時顯示空中影像。



圖 4-12 地面控制站 Window 筆電



圖 4-13 手持式遙控器 Futaba 14SG



圖 4-14 7 吋液晶顯示器

4.1.4 航線規劃軟體

本團隊開發之航線規劃軟體為 Geosat Mission Planner，其具備航線規劃功能，可以手動或自動方式規劃航點如圖 4-15，設定飛行路徑與拍照任務資料及預估作業時間；具備顯示禁限航區及航空站或飛行場四周之一定距離範圍之圖資軟體系統如圖 4-16，並可於飛行前預載指定地區地圖，圖 4-17 所示為可載入國土測繪中心電子地圖作為航線規劃；於飛行任務可執行暫停並回到出發點後重新出發接續任務等。



圖 4-15 航線規劃功能

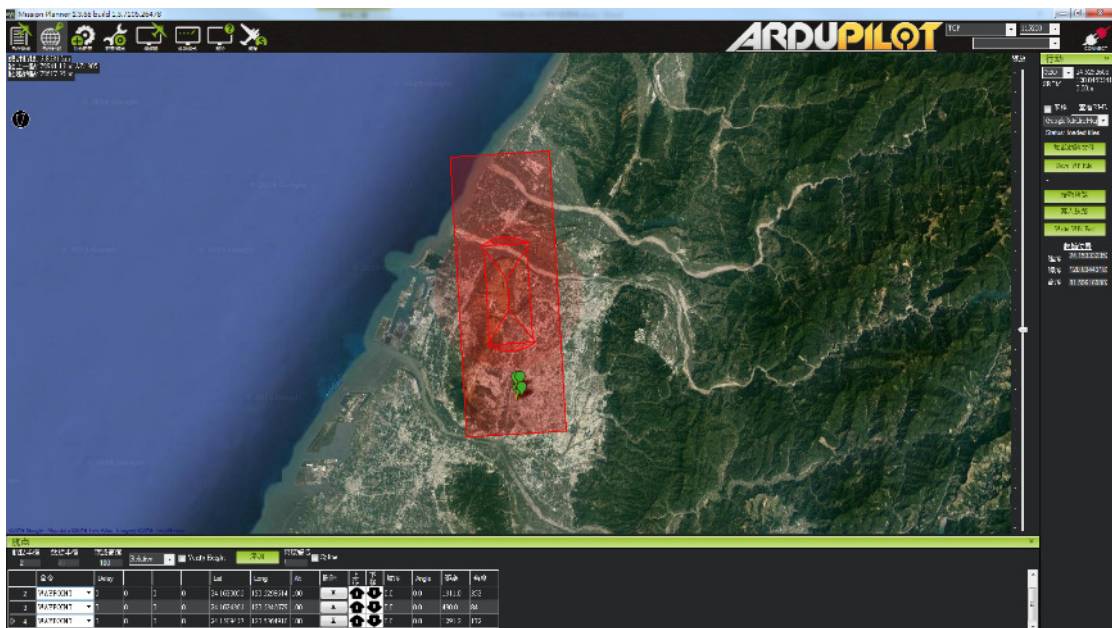


圖 4-16 載入禁限航區圖資

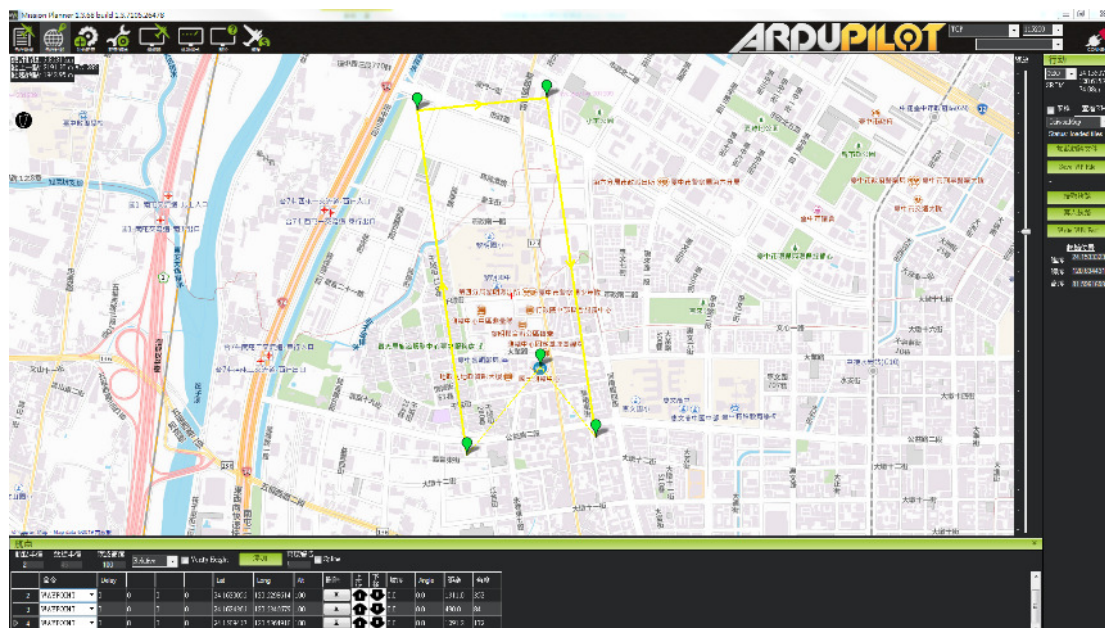


圖 4-17 載入國土測繪中心電子地圖顯示

4.1.5 影像處理軟體

UAS 影像處理軟體，依規格需求提供一套 Pix4Dmapper 軟體使用授權 (licence)。功能具備處理 UAS 影像、輸出相機內方位參數、影像匹配、空三平差計算、數值地表模型與正射影像產製及精度報表輸出等功能。並提供該軟體 3D 模型(3D Mesh Model)製作模組之授權至 109 年 12 月 31 日。影像處理軟體授權文件請參閱附錄十。

第二節 校正場航拍

本案依契約書規定，以建置之 UAS 及籌載設備參照「小像幅航攝影機航拍校正須知」相關規定，辦理南崗校正場航拍並進行空中三角測量解算內、外方位成果，並進一步分析直接地理定位精度。相關航拍任務執行與影像處理作業說明如下：

1. 航拍任務執行

南崗校正場場地長邊為 660 公尺，短邊為 620 公尺，地表平均地面高（橢球高）約 195 公尺。航拍任務規劃使用 Sony α 7R III 數位相機(像元大小為 5.9 μ m)搭配 21 mm 焦距鏡頭，航高分別為 345（離地高 150 公尺）及 445 公尺（離地高 250 公尺）共兩種不同航高任務，影像皆為前後重疊率約 80%、側向重疊率約 60%。區域範圍及航線規劃如圖 4-18 及圖 4-19，航拍區域任務執行概況如表 4-7 及表 4-8。

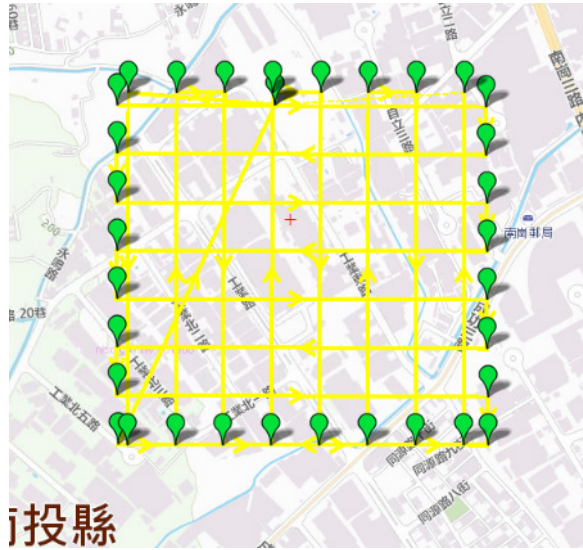


圖 4-18 南崗校正場(離地高 150 公尺)飛行航線規劃



圖 4-19 南崗校正場(離地高 250 公尺)飛行航線規劃

表 4-7 南崗校正場(離地高 150 公尺)任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	南崗校正場
二、航拍日期	108/12/3
三、航線航程	總航程約 12.96 公里
四、天氣狀況	多雲時晴(氣溫 31°C，降雨機率 0%)
五、風向/風級	偏南風/二級
六、航拍高度/雲層高度	345 公尺/800 公尺
七、地面解析度	0.04 公尺
八、UAS 載具	多旋翼機

表 4-8 南崗校正場(離地高 250 公尺)任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	南崗校正場
二、航拍日期	108/12/3
三、航線航程	總航程約 7.2 公里
四、天氣狀況	多雲時晴(氣溫 31°C，降雨機率 0%)
五、風向/風級	偏南風/二級
六、航拍高度/雲層高度	445 公尺/800 公尺
七、地面解析度	0.07 公尺
八、UAS 載具	多旋翼機

任務作業於 108 年 12 月 3 日出發至目標區公路局第二區養護工程處旁待命起飛，於近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後 UAV 於 1200 飛機起飛執行航拍任務，多旋翼機首先飛行航高 250 公尺任務，飛行總架次為 4 架次，各架次飛行時間約 18 分鐘，1323 飛機任務執行完畢安全降落後讀取拍攝照片確認正常後，執行航高 150 公尺任務。同樣於執行路面車輛管制後 UAV 於 1325 飛機起飛執行航拍任務，多旋翼機飛行總架次為 4 架次，各架次飛行時間約 22 分鐘，1454 飛機任務執行完畢安全降落後讀取拍攝照片確認正常後，回報專案經理並結束本日任務。作業情形如圖 4-20。本區航高 345 公尺東西向及南北向各 8 及 8 條共 16 條航帶，航高 445 公尺東西向及南北向各 4 及 5 條共 9 條航帶，拍攝影像數量各為 2907 及 2497 片，地面解析度 (GSD) 約為 4 及 7 公分，影像中心點分布如圖 4-21 及圖 4-22。



圖 4-20 南崗校正場起降場地作業情形

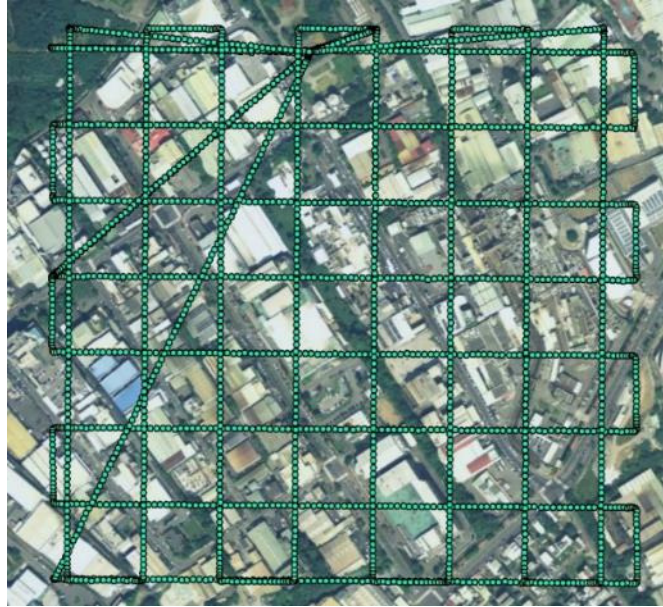


圖 4-21 南崗校正場航拍(離地高 150 公尺)影像中心點分布圖

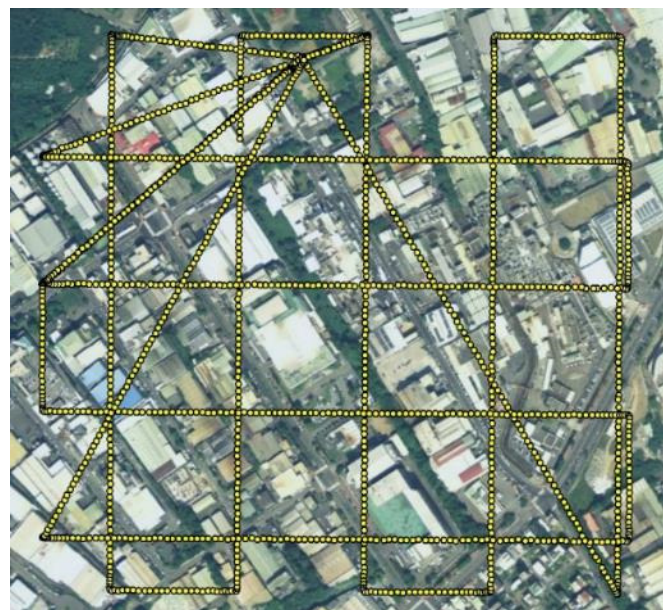


圖 4-22 南崗校正場航拍(離地高 250 公尺)影像中心點分布圖

2. 影像處理作業

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源由國土測繪中心提供。控制點及檢核點位置分布如圖 4-23 及圖 4-24，離地高 150 及 250 公尺空三計算成果精度如表 4-9 及表 4-10，正射鑲嵌影像成果，如圖 4-25 及圖 4-26。



圖 4-23 南崗校正場航拍控制點分布圖



圖 4-24 南崗校正場航拍檢核點分布圖

表 4-9 南崗校正場(離地高 150 公尺)空三計算成果

作業區	類型	計算成果	
		X	Y
南崗校正場 (離地高 150 公尺)	平均值(mean)	-0.001	-0.004
	中誤差(Sigma)	0.020	0.013
	均方根誤差(RMSE)	0.020	0.013

表 4-10 南崗校正場(離地高 250 公尺)空三計算成果

作業區	類型	計算成果	
		X	Y
南崗校正場 (離地高 250 公尺)	平均值(mean)	0.000	-0.002
	中誤差(Sigma)	0.026	0.016
	均方根誤差(RMSE)	0.026	0.016



圖 4-25 南崗校正場(離地高 150 公尺)正射鑲嵌影像成果



圖 4-26 南崗校正場(離地高 250 公尺)正射鑲嵌影像成果

3. 定位定向系統解算作業

圖 4-27 及圖 4-28 所示為整合 GNSS 與 IMU 的 POS 飛行軌跡，藉由 GNSS 與 IMU 軌跡得 POS 系統的外方位，與空三得相機系統的外方位，兩者之間資料比較，獲得固定臂及軸角率定成果。



圖 4-27 南崗校正場航拍(離地高 150 公尺) POS 軌跡



圖 4-28 南崗校正場航拍(離地高 250 公尺) POS 軌跡

4. 軸角/固定臂率定作業

欲實現直接地理定位，必備的關鍵設備為 GNSS 及 IMU，其中 GNSS 定位技術可提供位置資訊，而 IMU 提供姿態參數。然而 GNSS

與 IMU 並非與感測器中心位於相同位置，其位置與姿態資料不能直接當作感測器的位置與姿態。因此，欲達到直接地理定位的目的，須先透過兩項率定工作消除系統性誤差，分別為(1)GNSS 相位中心與感測器間的位置偏移量率定，即固定臂 (Leverarm) 率定；(2)IMU 與感測器觀測向量的軸角 (Boresight) 率定。為了驗證資料成果，本案首先針對優化後之 POS 進行固定臂與軸角率定工作，以消除兩項系統性誤差。此兩項系統性誤差需藉由建立地面控制場取得控制來源，經由空三解算校正場航拍影像得影像外方位後，並與整合 GNSS 與 IMU 解算的外方位資料，藉由自行開發之兩階段率定法程式進行比較，計算得到固定臂與軸角率定成果。

表 4-11 至表 4-14 所示為南崗校正場離地高 150 公尺及 250 公尺，軸角與固定臂率定成果及精度，初步成果顯示，離地高 250 公尺於固定臂 Z 方向成果不合理。其率定成果主要為空三與 POS 之相對關係，分析空三成果皆小於 3 公分，精度符合要求，故可能發生率定成果不佳原因來自於 POS 之軌跡成果。本案採用 UAS 於空中執行航拍任務，其 GNSS 透空良好，整合 GNSS/IMU 成果理應符合要求，然而解算軌跡成果不佳其中原因來自於解算軟體，需調校 IMU 加速度及陀螺儀之偏差和尺度因子等參數，同時需針對飛行作業模式調整容許誤差、初始對準模式、約制條件相關設定等。目前採用之參數參考 IMU 出廠規格及過去無人機類似飛行模式進行設定，故導致 250 公尺率定成果除了軸角/固定臂值外，亦包含 POS 誤差在內，未來需蒐集更多資料，統整所有資料調整參數初始對準模式、約制條件相關設定、符合該 IMU 之參數等。因此後續直接地理定位將以離地高 150 公尺之成果進行分析。

表 4-11 南崗校正場(離地高 150 公尺)軸角與固定臂率定成果

固定臂 (公尺)		軸角 (度)	
X	0.104	Omega	-0.133
Y	0.133	Phi	-0.392
Z	0.286	Kappa	-7.546

表 4-12 南崗校正場(離地高 150 公尺)軸角與固定臂率定精度

固定臂精度 (公尺)		軸角精度 (度)	
X	0.246	Omega	0.988
Y	0.404	Phi	0.908
Z	0.438	Kappa	6.874

表 4-13 南崗校正場(離地高 250 公尺)軸角與固定臂率定成果

固定臂 (公尺)		軸角 (度)	
X	0.292	Omega	-0.346
Y	0.058	Phi	-0.422
Z	0.925	Kappa	-9.501

表 4-14 南崗校正場(離地高 250 公尺)軸角與固定臂率定精度

固定臂精度 (公尺)		軸角精度 (度)	
X	0.871	Omega	0.854
Y	0.553	Phi	0.871
Z	0.526	Kappa	9.888

5. 直接地理定位分析

計算得到固定臂與軸角率定成果後，即可進行直接地理定位解算，評估 POS 直接地理定位成果的精度。圖 4-29 為使用 Visual Studio 及 C++所自行研發之直接地理定位模組，除可匯入地控點坐標、相機外方位及影像外方位資料外，程式具反投影及消除透鏡畸變誤差功能，可使欲量測之地控點坐標顯示在影像上，以減少量測之錯誤。藉此概念，搜尋所有拍到此地控點之影像，一併顯示在視窗底處，以人工挑選適當間距與交會角之多張影像進行前方交會，以評估系統直接地理定位之精度。最後計算之坐標成果則顯現在模組視窗上，將地面測量之三維物空間資料作為參考坐標，並以足量檢核點進行比對，其成果即可作為本系統直接地理定位能力之指標。

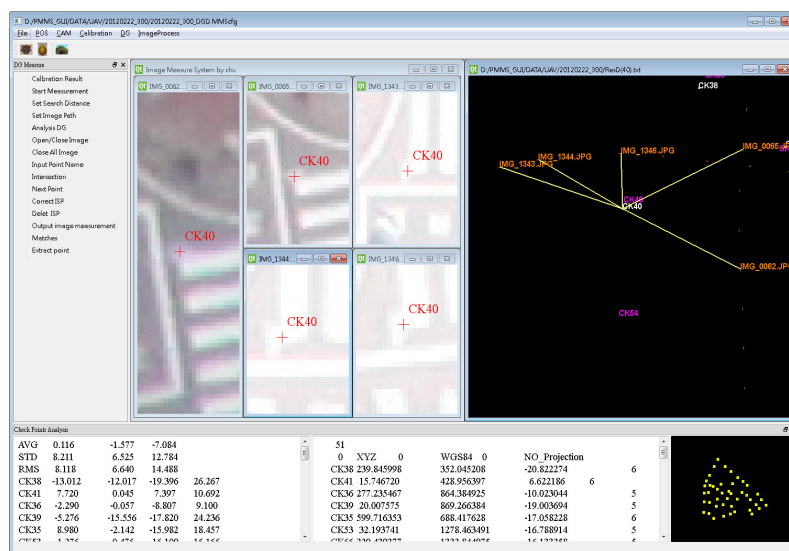


圖 4-29 直接地理定位程式介面

本案依契約書，將本案建置之無人機及籌載設備，至南崗校正場進行軸角與固定臂率定作業，將離地高 150 公尺率定成果分別帶回兩種不同航高求得其直接地理定位成果，直接地理定位精度分析結果如表 4-15 及 4-16 所示，挑選檢核點進行精度分析，檢核點分布如圖 4-30 及 4-31 所示。當飛行高度為 150 公尺（影像 GSD 為 4 公分）時，三軸方向定位精度 RMS（Root Mean Square）值約為 2.811、2.222、7.257 公尺；當飛行高度為 250 公尺（影像 GSD 為 7 公分）時，三軸方向定位精度 RMS（Root Mean Square）值約為 7.574、8.173、20.712 公尺。依結果來看，目前直接地理定位精度相較於空中三角測量而言，雖空三成果精度較佳，直接地理定位仍有提升空間，但因處理時間僅需 1 小時內即可進行量測作業，空三計算則需 1~3 天，於精度需求不高或具時效性應用領域如防救災應變、環境變遷監控、資源探測保護等各式應用上，仍有很大的效益。

本案除了空三製圖及直接地理定位分析外，為了解本案建置之 UAS 設備未來在緊急應變場合時，所產製正射影像成果精度，補充直接使用 UAS 影像及 POS 外方位資料，且在未使用控制點進行空中三角測量計算情況下，進行測試分析，相關報表資料請參閱附錄九。



圖 4-30 南崗校正場(離地高 150 公尺)檢核點分布位置



圖 4-31 南崗校正場(離地高 250 公尺)檢核點分布位置

表 4-15 南崗校正場(離地高 150 公尺)直接地理定位精度

	E(公尺)	N(公尺)	H(公尺)
A035	1.420	-1.784	3.468
A067	-2.628	-5.012	8.450
A115	-3.008	-0.602	-3.135
A121	-5.048	0.735	-7.027
A139	0.420	0.465	-13.022
A161	1.952	0.455	1.951
AVG	-1.148	-0.957	-1.552
STD	2.566	2.005	7.089
RMS	2.811	2.222	7.257
備註：			
誤差：各量測值與已知值之差值， $x' = x_i - X$			

AVG：各誤差值之平均值， $\mu = \frac{x'}{n}$

STD：各誤差值減去誤差之平均值，平方和除以個數， $STD = \sqrt{\frac{\sum(x'-\mu)^2}{n}}$

RMS：各誤差值平方和除以個數，開根號得 RMS 值， $RMS = \sqrt{\frac{\sum(x')^2}{n}}$

其中 x' 為誤差； x_i 為觀測值； X 為已知值； μ 為誤差值之平均值； n 為個數。

表 4-16 南崗校正場(離地高 250 公尺)直接地理定位精度

	E(公尺)	N(公尺)	H(公尺)
A031	-13.005	7.306	-15.24
A067	-4.409	2.538	30.672
A089	3.136	-6.736	-6.108
A151	9.595	-5.144	-3.367
A155	5.173	-6.641	-22.547
A171	5.196	-15.002	29.05
AVG	0.947	-3.946	2.077
STD	7.514	7.157	20.607
RMS	7.574	8.173	20.712

直接地理定位誤差估計可參考表 4-17，此估計誤差來源為本案自行評估，如 GNSS/IMU 定位誤差若為 1~2 公尺，則直接地理定位精度就會有 1~2 公尺的誤差。因此依照開發的定位定向系統規格，與飛行的航高，率定結果等誤差因素來源，將誤差量相加，對照此表評估最終直接地理定位精度屬合理範圍。此誤差可藉由搭載較佳的 IMU、靜態率定、較低的飛行高度等進行改善。同時透過誤差表的統計計算，可驗證本系統於直接地理定位誤差皆屬於合理範圍內。

表 4-17 直接地理定位誤差估計

誤差來源	量級	影響直接地理定位誤差 δr_i^m
GNSS/IMU 定位誤差	1~2 公尺	1~2 公尺
GNSS/IMU 定向誤差	0.5~1 度	航高 600 公尺時 6~12 公尺
率定誤差 δR_m^b	0.5~1 度	航高 600 公尺時 6~12 公尺
率定誤差 δa^b	0.05~0.1 公尺	航高 600 公尺時 1~2 公尺
同步誤差 $V\delta T$	1~2 毫秒	時速 100 公里時 2.7~5.4 公分
同步誤差 $\omega\delta T$	1~2 毫秒	航高 600 公尺，Angular ω 每秒 30 度時 30~60 公分

第三節 三維模型試辦

本案三維模型試辦作業區為臺中糖廠，對該歷史建築及相關設施進行航拍製作三維模型。該區域位置及航拍範圍如圖 4-32 所示。



圖 4-32 臺中糖廠範圍

本次三維重建規劃採用井字飛行航拍整個臺中糖廠範圍，並增加環拍方式對該園區進行拍攝，井字型航拍範圍以規劃 5 公分 GSD (航高約 180 公尺) 進行拍攝，拍攝空中影像共計 498 張；環拍設計以飛行高度 150 公尺，距離目標建築物 100 公尺進行環拍，共計拍攝空中影像 308 張，計算拍攝面積約為 0.47 平方公里，影像中心點位置及控制點分布如圖 4-33 及圖 4-34 所示。

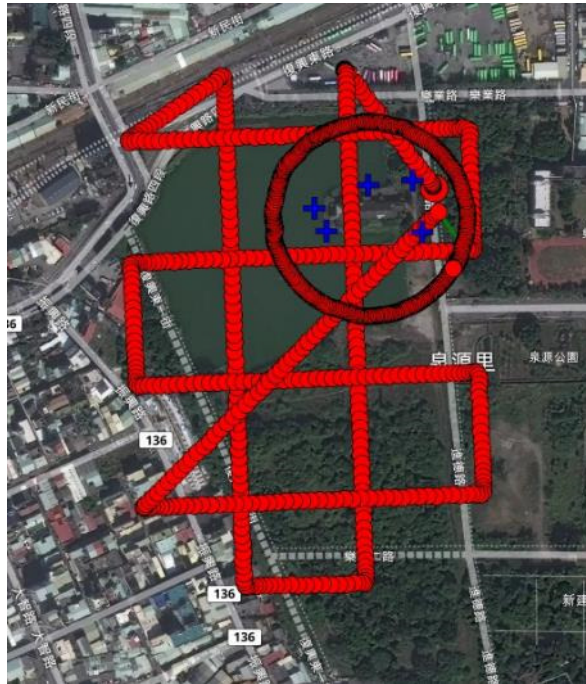


圖 4-33 航拍影像中心點位置分布

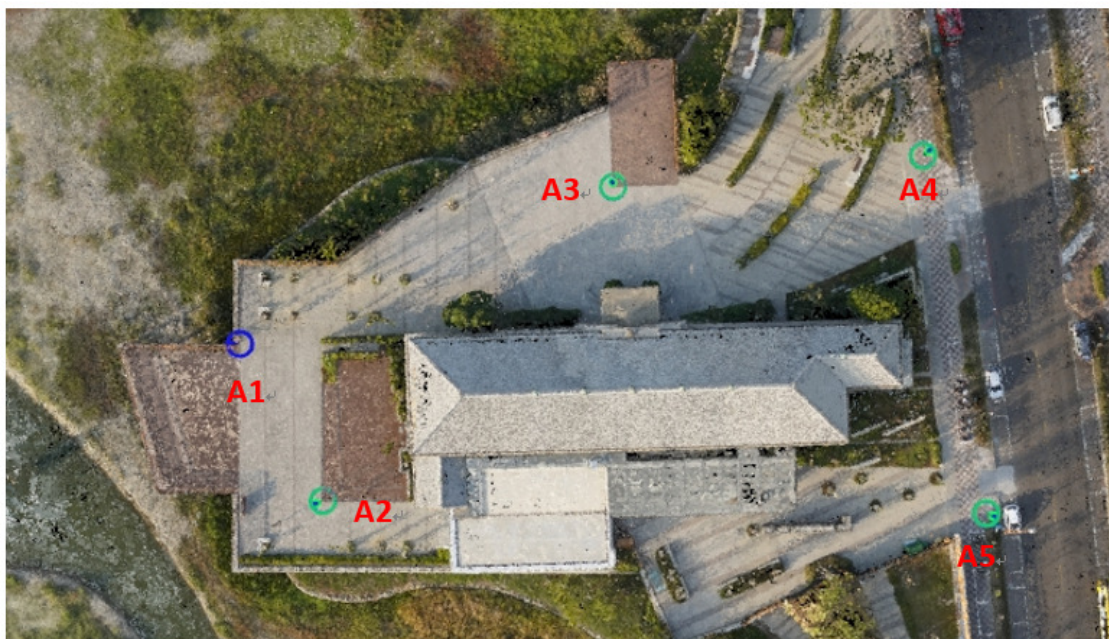


圖 4-34 控制點位置分布

利用本案購置之影像處理軟體 Pix4d Mapper(版本為 V4.4.1.2)產製臺中糖廠三維模型。另一方面，亦以目前常使用的 Agisoft Metashape Pro V1.5.5 及 Bentley ContextCapture Center V4.4.0.344 軟體進行計算，並比較不同軟體產製三維模型之效果。以下依序進行闡述。

4.3.1 Pix4D Mapper

Pix4D Mapper 為目前商用軟體中，量測功能較多的 UAV 三維重建軟體，該軟體提供詳細的空中三角測量書面報告，並可支援全自動控制點量測計算，以下就該實驗區域進行相關說明。

首先將上述航拍影像輸入該軟體計算，設定影像匹配 Keypoints 值為 4000，輸入影像為 807 張影像，各計算步驟相關成果如圖 4-35 所示，計算正射及 DSM 預覽成果如圖 4-36 所示。計算 2D 共軛點 Bundle Block Adjustment 共計 1,089,737 點，計算 3D 共軛點共計 243,756 點，計算 Mean Reprojection Error [pixels] 為 0.133。輸入控制點計算成果控制點 RMSE 為 X : 0.007338m、Y : 0.036310m、Z : 0.001381m，詳細如圖 4-37 所示，因 A1 控制點量測不易無加入計算。

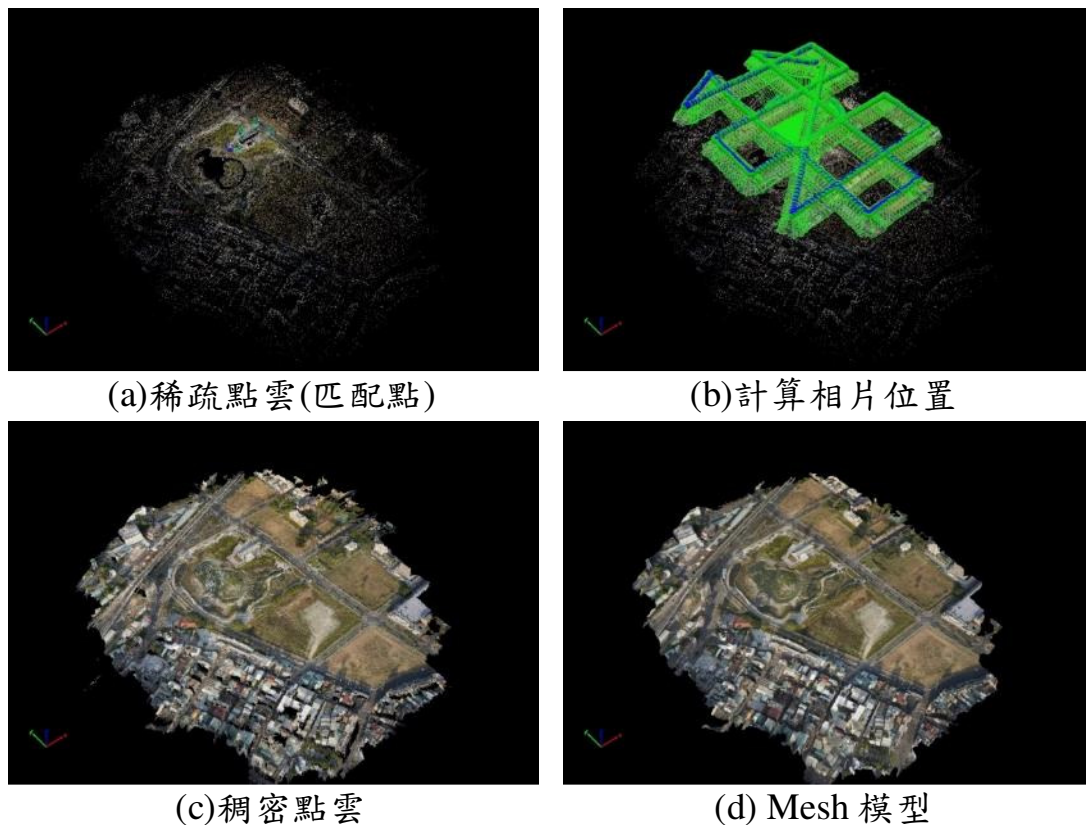


圖 4-35 Pix4D Mapper 計算相關成果

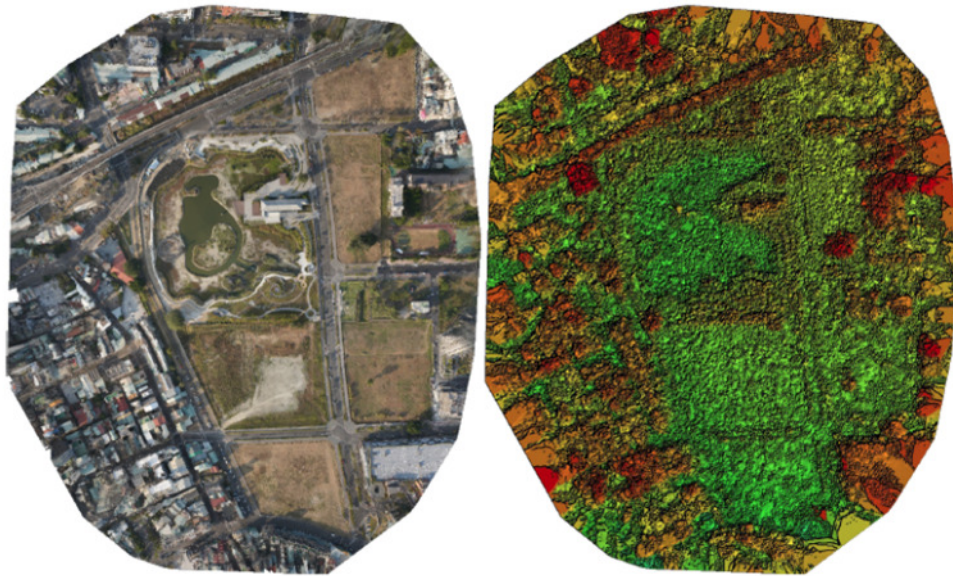


圖 4-36 Pix4D Mapper 正射及 DSM 預覽成果

Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
A2 (3D)	0.020/ 0.020	0.011	0.023	0.001	0.355	449 / 451
A3 (3D)	0.020/ 0.020	-0.009	-0.038	-0.002	0.379	458 / 460
A4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.003	0.048	0.002	0.566	331 / 333
A5 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	-0.032	-0.001	0.572	405 / 409
Mean [m]		-0.000066	0.000150	-0.000134		
Sigma [m]		0.007338	0.036310	0.001375		
RMS Error [m]		0.007338	0.036310	0.001381		

圖 4-37 Pix4D Mapper 空三計算結果

4.3.2 Agisoft Metashape Pro

Agisoft Metashape Pro 軟體以目前最新 V1.5.5 版本進行測試，輸入影像為 806 張影像，自動影像匹配共計採用 367,650 個共軛點，計算 Mean Reprojection Error [pixels] 為 0.384826 (1.73657 pixels)。控制點計算 RMSE 為 0.03774 公尺 (1.343 pixels)。計算航線、稀疏點雲、稠密點雲、Tile Model 如圖 4-38 所示。

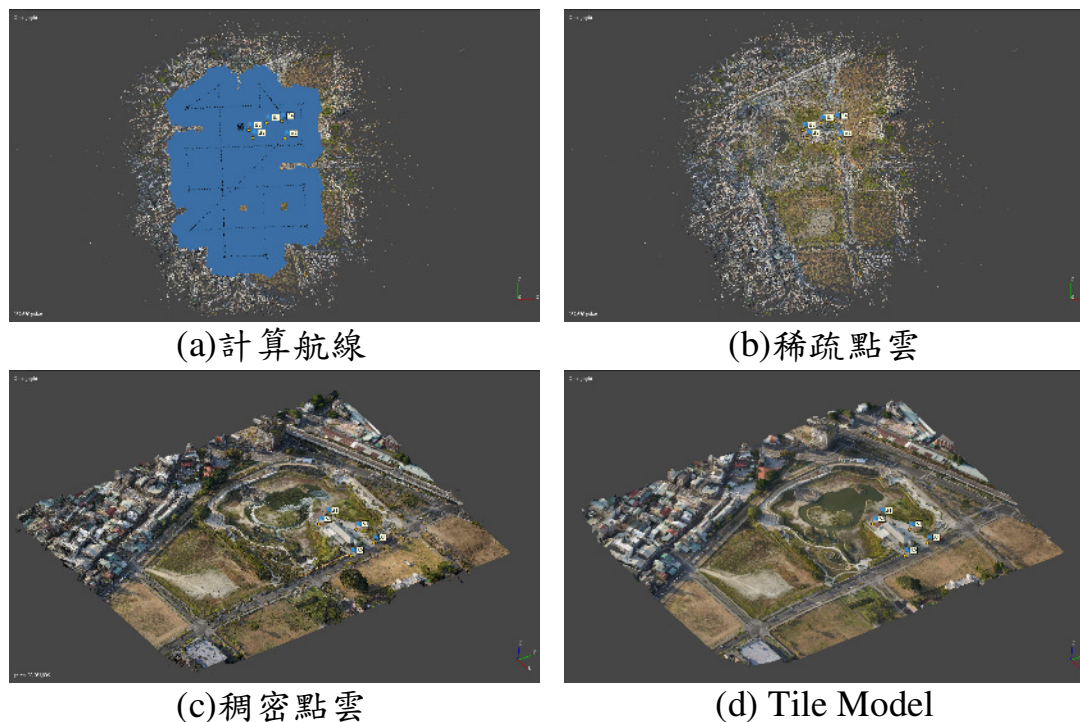


圖 4-38 Agisoft Metashape Pro 計算相關成果

4.3.3 Bentley ContextCapture Center

本案使用之 ContextCapture Center 軟體版本為 4.4.0.3.44，該版本上僅有簡單的計算報表，可進行控制點量測，但介面較上述兩套軟體簡易，需耗費較多人力進行量測，而新版本中將提供詳細計算報告及更友善的量測介面，以下相關操作僅以 4.4.0.3.44 版本進行說明。影像輸入與上述兩套軟體相同為 806 張相片，輸入 UAV 拍攝航點如圖 4-39 所示，計算平均 Keypoint 數量為 44,069 點，共計採用 148,618 共軛點，計算 Mean Reprojection Error [pixels] 為 0.87 pixels，計算控制點 RMSE 為 0.0621 公尺(1.28 pixels)。三維重建過程中需考慮計算主機的記憶體，因此本專案將計算大小設定為 100 x 100 公尺，相關模型切割如圖 4-40 所示。最終計算成果如圖 4-41 及圖 4-42 所示。

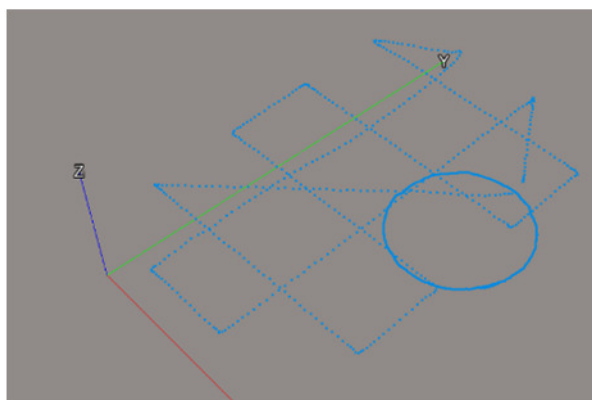


圖 4-39 Bentley ContextCapture Center 展示 UAS 拍攝航點圖

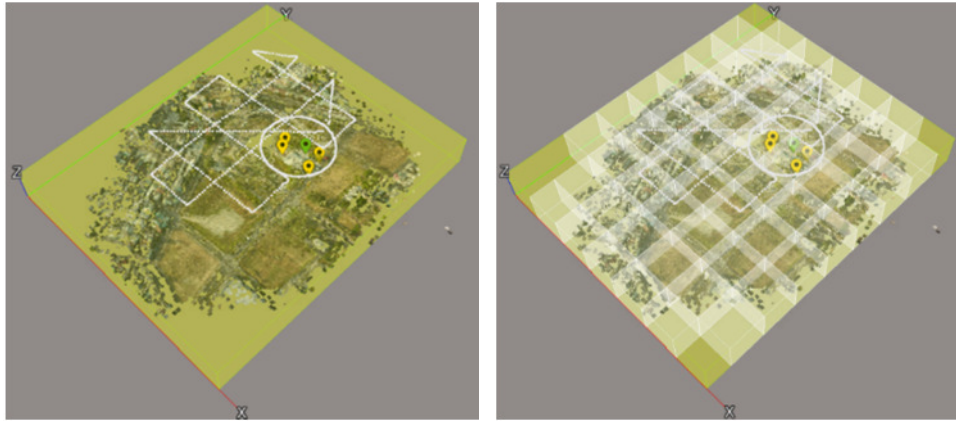


圖 4-40 Bentley ContextCapture Center 模型切割顯示範圍

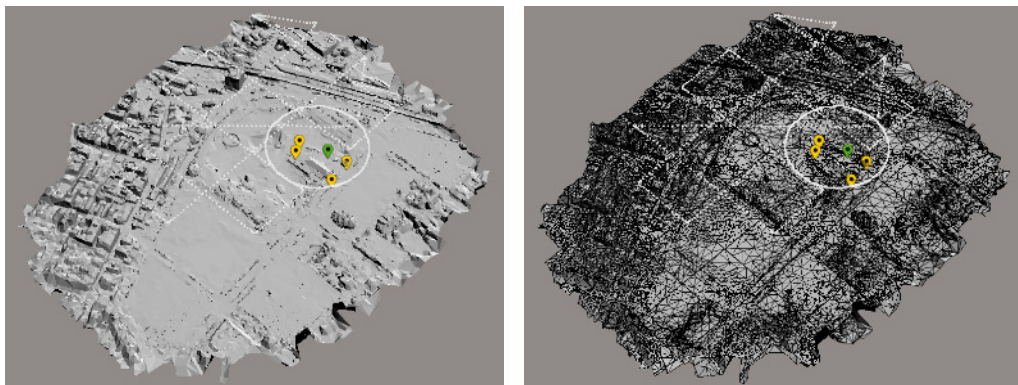


圖 4-41 Bentley ContextCapture Center 展示 Mesh 模型



圖 4-42 Bentley ContextCapture Center 建模成果

4.3.4 建模成果比較

本次三維模型建模成果比較皆參考 Mesh Model 結果，但 Pix4D Mapper 僅可匯出 Model 檔案，Agisoft Metashape 及 Bentley ContextCapture Center 可製作 Tile Model，此兩種 Model 差別在於後續展示的特性，Tile Model 為將一個模型經由分層不同大小來建立模型尺度金字塔，使用者瀏覽該模型時將依據瀏覽的位置，讀取最合適的模型以進行展示，該方式可以節省模型載入的時間，更可降低模型展示時硬體之需求，而目前相關格式於 Metashape 及 ContextCapture 已經支援大多數該檔案格式。以下針對軟體建模後的成果進行比較。

初步成果顯示(如表 4-18)，由於計算 Mesh 能力不同，模型精緻度有所差異，依本次帝國糖廠模型輸出結果，模型細緻度 ContextCapture > Metashape > Pix4Dmapper；製作模型速度可以將三套軟體分為兩類，Pix4Dmapper 僅能使用單一電腦計算，而另外兩套可已經有 Cluster 方式以多台電腦一起計算，就單電腦等級單一主機計算 Metashape > Pix4Dmapper > ContextCapture。

參考各軟體輸出之成果(如圖 4-43 至圖 4-49 所示)，考慮模型精緻程度，影像式建模有拍攝到的區域皆可產製一定程度品質的模型貼圖，此外若探討三套軟體的建模能力，ContextCapture 仍然是這三套軟體中，模型成果視覺效果較佳的軟體，如相關成果圖中之牆壁、圍籬、植物等，ContextCapture 軟體產製之三維模型較符合現狀，惟該軟體售價高達 150 萬。

表 4-18 三維建模軟體比較

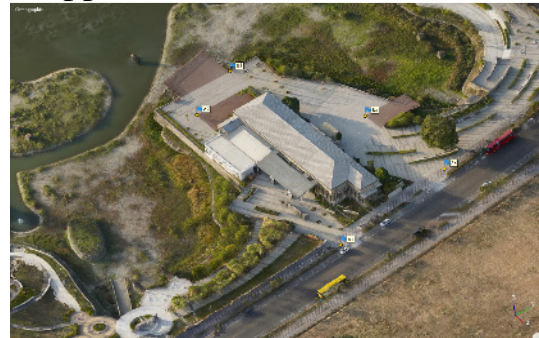
項目	Pix4D Mapper	Agisoft Metashape	Bentley ContextCapture
產製 Mesh Model	是	是	是
製作 Tile Model	否	是	是
模型成果視覺效果 ¹	中	中	高
計算方式	單一電腦解算	單一電腦或多台電腦 Cluster 方式解算	單一電腦或多台電腦 Cluster 方式解算
單一電腦計算速度 ²	中	快	慢
售價 ³	中；約 28 萬	低；約 10 萬	高；約 150 萬
維護費	約售價 1/4	更新至 2.0 版本前無須負擔任何升級費用	約售價 1/4
備註：1.模型成果視覺效果、2.單一電腦計算速度、3.售價，其高中低、快中慢說明僅為三套軟體相對比較，非絕對值。			

點雲

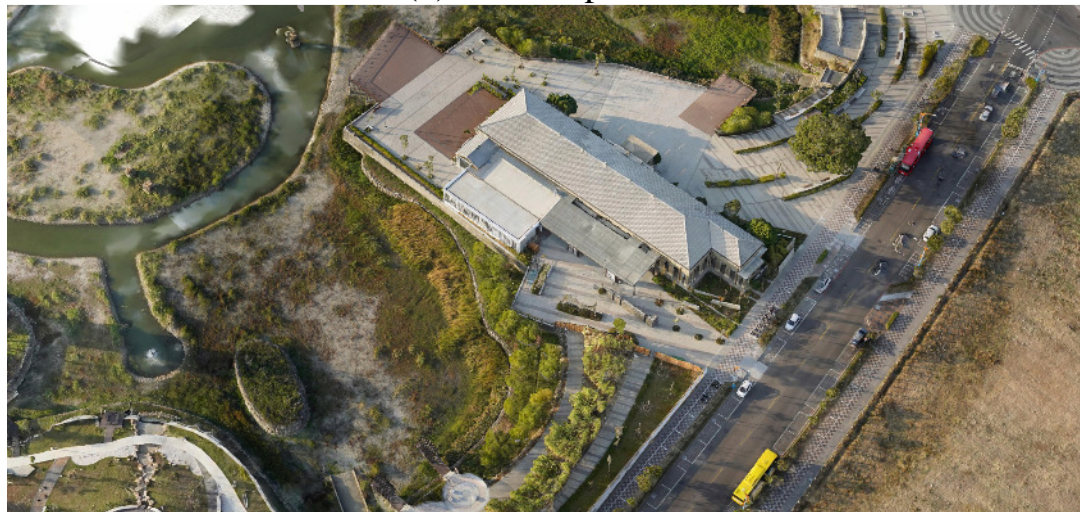
模型



(a) Pix4D Mapper



(b) Metashape Pro



(c) ContextCapture

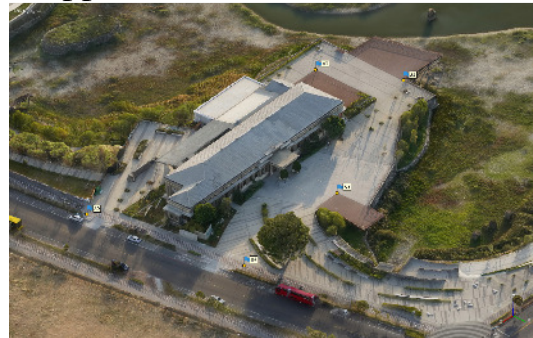
圖 4-43 三維建模成果比較 1

點雲

模型



(a) Pix4D Mapper



(b) Metashape Pro



(c) ContextCapture

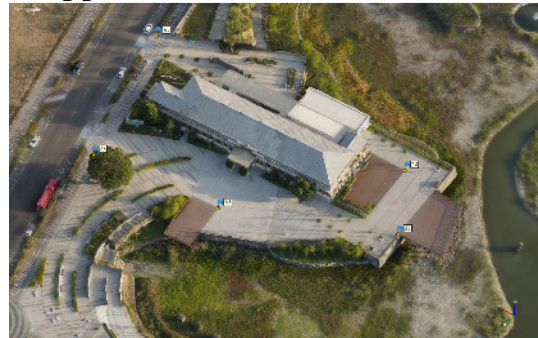
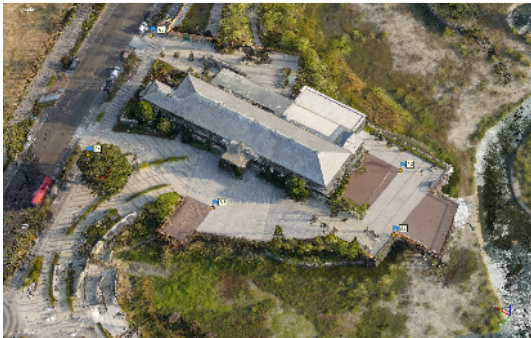
圖 4-44 三維建模成果比較 2

點雲

模型



(a) Pix4D Mapper



(b) Metashape Pro



(c) ContextCapture

圖 4-45 三維建模成果比較 3

點雲

模型



(a) Pix4D Mapper



(b) Metashape Pro



(c) ContextCapture

圖 4-46 三維建模成果比較 4

點雲

模型



(a) Pix4D Mapper



(b) Metashape Pro



(c) ContextCapture

圖 4-47 三維建模成果比較 5

點雲

模型



(a) Pix4D Mapper



(b) Metashape Pro



(c) ContextCapture

圖 4-48 三維建模成果比較 6

點雲

模型



(a) Pix4D Mapper



(b) Metashape Pro



(c) ContextCapture

圖 4-49 三維建模成果比較 7

第四節 UAS 及 LMS 結合規劃

因 UAS 及 LMS 各有載具不同優點及互補性，相關系統及資料結合為未來發展的課題之一，UAS 主要提供大範圍地表、建物屋頂、樹冠等資訊；LMS 可提供地面及地物側面資訊、隧道或高架橋底下 UAS 無法取得資料之地區，光達資料處理技術可快速地重建與管理龐大點雲資料，達到三維製圖與自動化目的，透過 UAS 及 LMS 聯合作業方式，將得以快速蒐集所需空間資訊並產製相關成果。本案 UAS 及 LMS 結合規劃，以臺中糖廠為例，規劃未來 UAS 及 LMS 結合之聯合作業可能方式，主要內容分為拍攝規劃、外業資料取得及內業資料處理等。內業資料處理使用 Metashape 軟體測試結合 UAS 拍攝影像及 LMS 光達點雲合併計算方法，可成功產製三維模型。

拍攝規劃方面，UAS 採用空中井字形（南北及東西向）、影像重疊率前後為 80%、側向為 60% 進行航拍；另規劃環形側面拍攝，透過兩種航拍模式以取得建物上方及側面影像資訊。LMS 則以地面環繞建物拍攝以獲取臺中糖廠側面光達點雲資訊，點雲資訊主要是補足 UAS 影像式建模中無法順利匹配的一些細節資料，如屋簷下、電線、植物、籬笆等。

外業資料取得方面，本次臺中糖廠拍攝作業 UAS 及 LMS 拍攝作業採分別進行，未來在作業上可規劃利用 LMS 同時搭載 UAS 相關設備出勤。另在軟硬體方面，建議可以將 LMS 監控系統及 UAS 地面控制站進行整合，使用同一監控系統，以增加聯合作業之操作便利性；另因 UAS 每顆電池續航力約 15 分鐘，當電池電量用盡後，可規劃使用 LMS 之車載電池進行充電，以因應突發或臨時狀況之備援使用。於現場辦理拍攝作業時，並須針對相關特徵點辦理 eGNSS 測量，以利後續將 UAS 影像匹配產製之點雲及 LMS 光達點雲進行資料套合。

內業資料處理方面，主要使用 Metashape 軟體進行 UAS 及 LMS 資料合併計算以建置臺中糖廠三維模型。Metashape 將 LMS 點雲與 UAS 影像合併計算方式說明如下，(1) 首先先將 UAV 影像建模產製至該區域的三維點雲資料；(2) 再將 LMS 點雲資料匯入專案中合併；(3) 產製三維模型。其合併方式是將外部 LMS 點雲及內部 UAS 影像匹配點雲，直接套合一起進行建模，並非針對兩者資料進行平差計算，因此匯入之點雲是否可完全吻合原本模型將是兩者合併時重要的議題。資料合併是否吻合其中需考慮 UAS 三維重建過程中，模型是否因為拍攝影像而產生些許的差異，LMS 產製點雲過程中的相關誤差等。匯入 LMS 高精度的點雲將可提升 UAS 點雲匹配不足的地方，但若匯

入的點雲有錯誤之點雲資訊，亦可能導致模型產生更多之變形。圖 4-50 至圖 4-51 所示為 UAS 影像、UAS 影像+LMS 光達建模情況。圖 4-52 所示為兩者建模比較，初步成果可知，整合 UAS 及 LMS 進行三維模型對齊後，有些許模型套合問題，可能原因之一為 LMS 點雲精度約 15 公分，本測試區選用之控制點於 LMS 點雲中難以量測，同時因 LMS 點雲未經過分類及過濾雜訊等作業，建模過程選用錯誤點雲，進而影響建模成果。



圖 4-50 UAS 影像建模情況

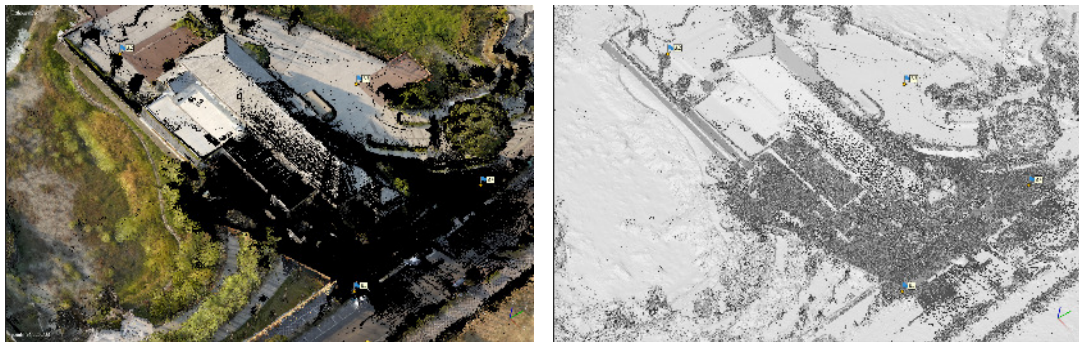
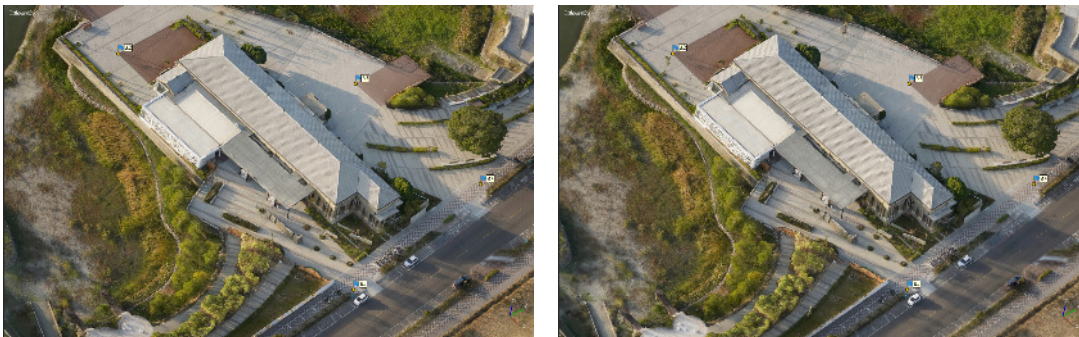


圖 4-51 UAS 影像+LMS 光達建模情況

UAS 影像

UAS 影像+LMS 光達



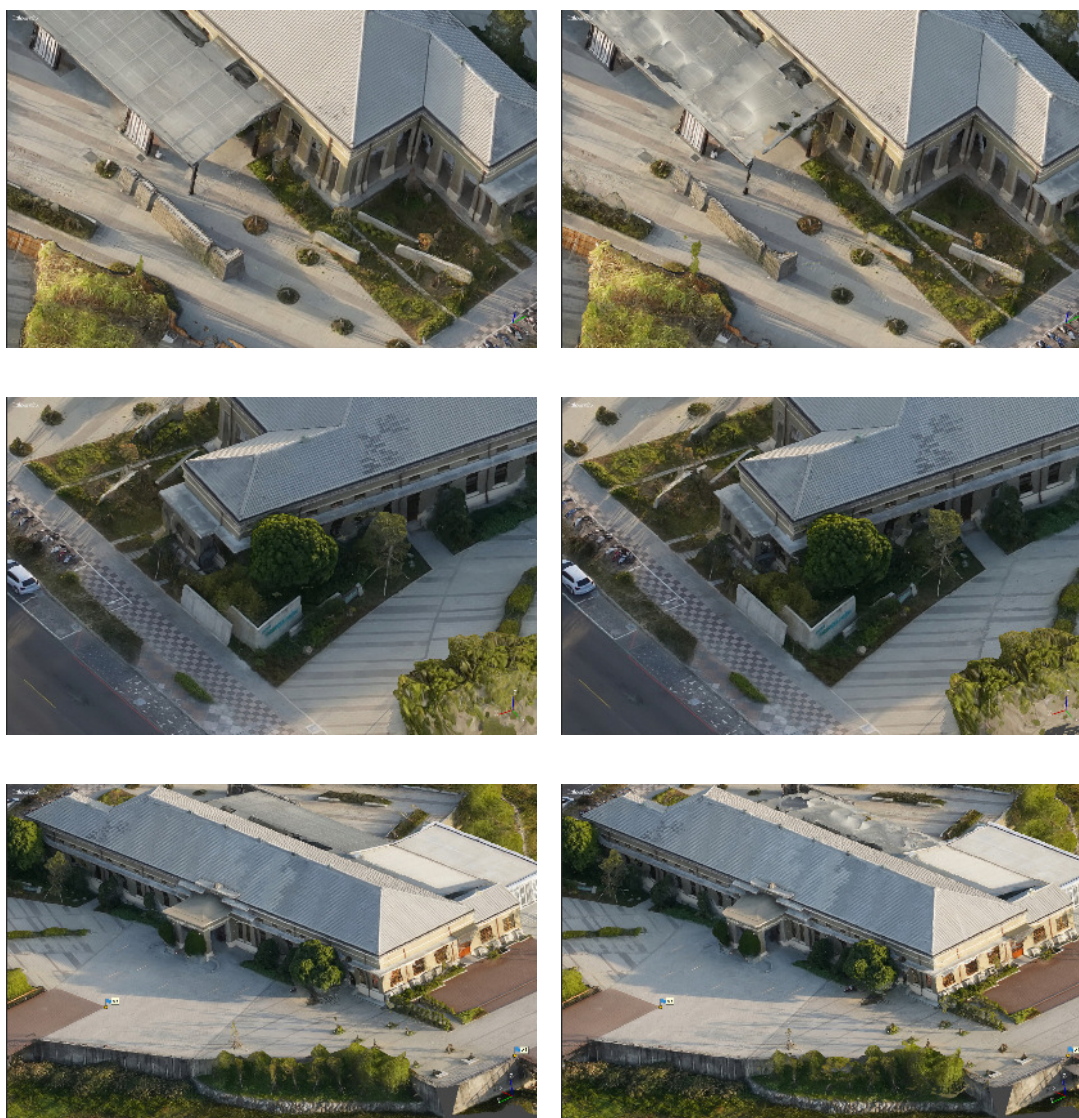
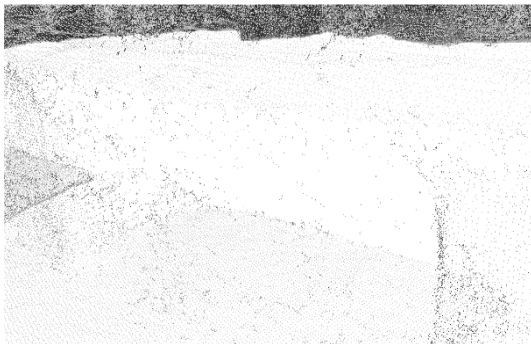
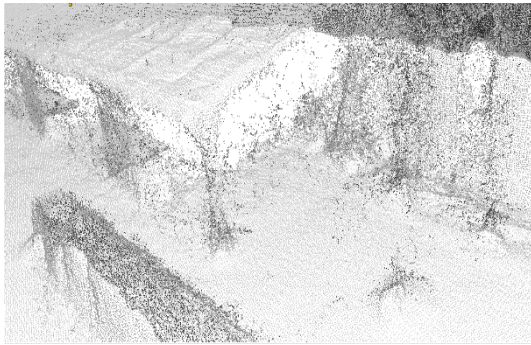


圖 4-52 UAS 影像與 UAS 影像+LMS 光達建模比較

然而 LMS 光達點雲於本次測試，確實能成功補足 UAS 影像無法拍攝之區域，如圖 4-53 所示，UAS 影像由空中進行拍攝時無法拍攝之屋簷底下，LMS 光達點雲可增加該區域點雲資料；此外，影像匹配之點雲，演算法將稀疏點雲視為雜訊，常見如電線、電桿、樹枝等細長形狀，故 LMS 可有效補充相關地物之點雲。未來可增加地面拍攝影像，可藉由 UAS 影像及 LMS 影像同時匹配；亦可於處理 LMS 點雲時提供 RGB 顏色資訊，進一步輸出彩色點雲，再匯入與 UAS 影像匹配之點雲進行建模，後續仍需更多實驗案例，做進一步的分析比較。

UAS 影像



UAS 影像+LMS 光達

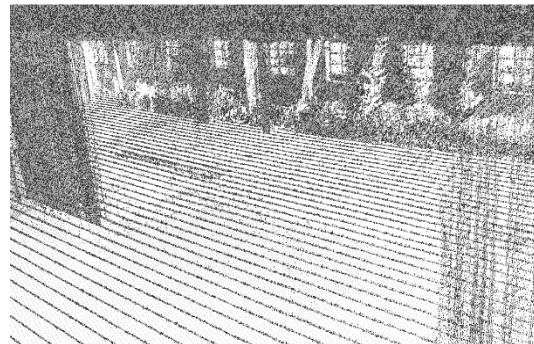
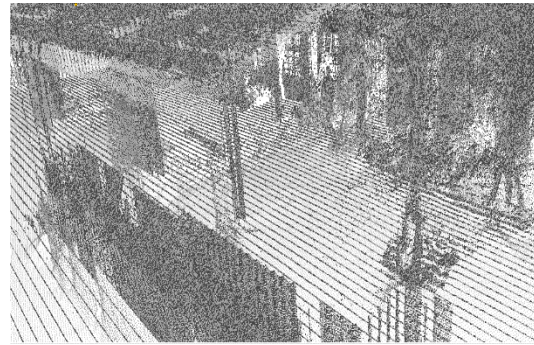


圖 4-53 點雲比較

參考目前市售商業軟體有三套可將 UAS 影像及 LMS 光達點雲合併進行計算，分別為 Bentley contextcapture、Agisoft Metashape、RealityCapture。Bentley contextcapture 是目前軟體中可將 LMS 點雲合併建模功能標註於軟體功能中，分別將軌跡、點雲、UAS 影像合併進行計算，該軟體建模方式將 LMS 點雲藉由控制點糾正至正確位置，並結合 UAS 影像對該模型進行三維重建動作。作業程序上該軟體以 LMS 點雲為基準，UAS 影像參考該 LMS 點雲進行三維重建，即以 LMS 點雲為主，UAS 影像匹配點雲套疊至 LMS 點雲上，最終達到兩部分點雲資訊是一致的，此方法將能有效解決 LMS 點雲與 UAV 影像產製點雲無法完美套合的問題。

RealityCapture 是最早提出模型與點雲合併計算的軟體，目前版本功能可支援地面光達點雲資料匯入合併計算，然而點雲必須事先進行平差，方可與 UAS 影像匹配之點雲套合，後續建模得以更精緻。Agisoft Metashape 同樣支援 UAS 及 LMS 合併計算功能，然而僅提供光達點雲匯入功能，並未做任何資料平差處理，因此使用者同樣須確保光達資料精度並過濾其雜訊，方能與 UAS 資料合併計算，得到較佳之建模成果。

綜合以上，整合 UAS 影像及 LMS 光達資料合併建模，建議可以

UAS 影像為主，LMS 點雲為輔，同時規劃 UAS 及 LMS 皆可清楚辨識及量測之控制點，利於後續點雲資料套和。由於 LMS 點雲資料主要用來補足 UAS 影像於遮蔽區域點雲不足的問題，未來可增加地面拍攝影像，避免該遮蔽區域因無影像計算點雲法線方向及貼圖，並提升 LMS 點雲精度，減少 LMS 點雲匯入讓模型產生更嚴重的扭曲情況發生。

第五章 成果展示作業及教育訓練

第一節 成果展示作業

根據本案契約要求，配合測繪中心相關成果發表會流程內容，協助製作 UAS 成果海報，並派員於展示場協助進行解說。本案於 108 年 3 月 26 日協助辦理監察院實地巡察作業展示如圖 5-1。圖 5-2 所示為協助第 38 屆測量及空間資訊研討會製作之成果海報。



圖 5-1 監察院實地巡察作業展示(108 年 3 月 26 日)



圖 5-2 第 38 屆測量及空間資訊研討會海報製作

第二節 辦理教育訓練

根據合約要求，本案應辦理至少 2 梯次教育訓練。本案於 108 年 5 月 30 日進行遙控無人機系統飛行入門教育訓練，地點位於本公司中科廠房，教育訓練情形如圖 5-3。於 108 年 10 月 24 日辦理第 2 梯次教育訓練，教育訓練地點位於測繪中心，訓練情形如圖 5-4。教育訓練詳細時間表及教育訓練簽到表請參閱附錄十一。



圖 5-3 遙控無人機系統飛行入門教育訓練現場



圖 5-4 第 2 梯次教育訓練現場

教育訓練課程訓練依照本案需求，教育訓練安排學科課程內容包含民航局無人機管理專章、飛行器軟硬體介紹、飛行安全及知識、緊

急處置與飛行決策、飛行模擬器、任務規劃協作概念與架構、航空攝影測量概論、協作任務分派軟體等課程；基本術科教育訓練內容(如表 5-1)亦參考「遙控無人機管理規則」相關規定進行安排，包含飛行前後檢查、定點起降、旋翼機四面停懸、八字水平圖、側面停懸、高度保持五邊飛行、緊急程序處置、姿態模式訓練、設備保養與維護等。

表 5-1 基本級術科測驗項目

術科測驗項目	無人飛機	無人直昇機	多旋翼機
飛行前、後檢查	√	√	√
定點起降及四面停懸		√	√
八字水平圖		√	√
側面停懸及前進、退後		√	√
高度保持五邊飛行	√	√	√
過框飛行		√	√
迫降航線	√	√	
地面滑行及轉彎	√		
起飛航線	√		
降落航線及落地	√		

配合「遙控無人機管理規則」相關規定，本案協助國土測繪中心人員取得 UAS 操作證，遙控無人機管理規則如圖 5-5 所示。依據本案之需求為執行政府機關任務，需取得基本級專業操作證；依據規劃之設備，後續申請遙控無人機專業操作證者，需取得下列資格：

- (一) 申請最大起飛重量二公斤以上、未逾十五公斤之遙控無人機專業操作證者，應領有遙控無人機普通操作證一個月以上之經歷。
- (二) 申請最大起飛重量十五公斤以上、未逾一百五十公斤之遙控無人機專業操作證者，應領有同一構造最大起飛重量二公斤以上、未逾十五公斤之遙控無人機專業操作證三個月以上之經歷。

相關遙控無人機人員操作證參考「遙控無人機管理規則」相關規定，本案協助國土測繪中心人員取得 UAS 操作證，圖 5-6 所示為遙控無人機人員操作證申請書。

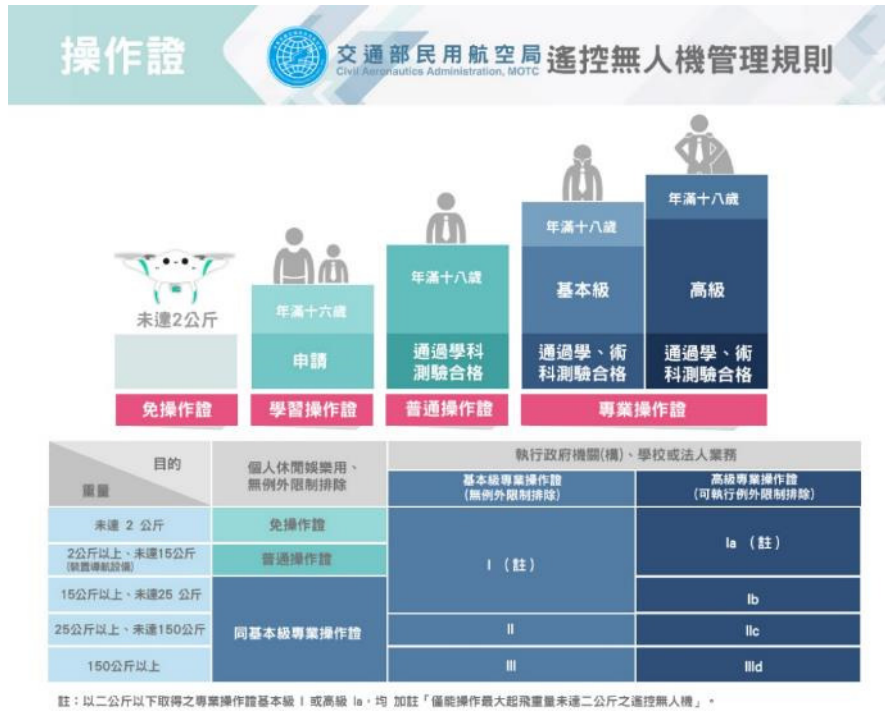


圖 5-5 遙控無人機管理規則

規				定		說	明
姓名 Name	性別 Sex	國籍 Nationality	身分證號碼 I.D Number	黏貼半身最近照片 Recent Photo		明定遙控無人機操作人員申請人員操作證時應提供之基本資料及申請書格式。	
出生日期 Date of Birth	辦公電話 Telephone	私人電話 Telephone					
Year Month Day							
行動電話 Mobile phone	傳真 Fax						
通訊處 Address		電子郵件 E-Mail Address					
申請操作證類別 Sort of certificate							
<input type="checkbox"/> 學習操作證							
<input type="checkbox"/> 普通操作證	重量	<input type="checkbox"/> 2-15 公斤 <input type="checkbox"/> 150 公斤以上 <input type="checkbox"/> 15-25 公斤 <input type="checkbox"/> 25-150 公斤					
<input type="checkbox"/> 專業操作證	重量	<input type="checkbox"/> 2-15 公斤 <input type="checkbox"/> 15-25 公斤 <input type="checkbox"/> 25-150 公斤 <input type="checkbox"/> 150 公斤以上		類別	<input type="checkbox"/> 飛機 Aircraft <input type="checkbox"/> 直昇機 Helicopter <input type="checkbox"/> 多旋翼 Multi-Rotors <input type="checkbox"/> 其它 Other ()		
	通過測驗項目	<input type="checkbox"/> 學科測驗 <input type="checkbox"/> 免學科測驗 <input type="checkbox"/> 一般術科 高級術科： <input type="checkbox"/> 飛航活動之實際高度得逾距地面或水面四百呎。 <input type="checkbox"/> 以遙控無人機投擲或噴灑任何物件。 <input type="checkbox"/> 得裝載依民航法第四十三條第三項公告之危險物品。 <input type="checkbox"/> 管理規則之操作限制 _____。 <input type="checkbox"/> 得於人群聚集或室外集會進行上空活動。 <input type="checkbox"/> 得於日落後至日出前之時間飛航。 <input type="checkbox"/> 得以除矯正鏡片外之任何工具延伸飛航作業距離。 <input type="checkbox"/> 得在同一時間控制二架以上遙控無人機。					
檢附文件		<input type="checkbox"/> 學科合格證明文件。 <input type="checkbox"/> 術科合格證明文件。					
申請日期		申請人簽名		備註			
Year Month Day							

圖 5-6 遙控無人機人員操作證申請書

第陸章 結論

本案自 108 年 2 月 28 日起開始執行，依契約書規定全案原計 240 個日曆天，第 3 階段及第 4 階段履約期限延至 108 年 12 月 22 日及 109 年 1 月 1 日；因本年無緊急航拍作業需求，另選定一般航拍作業辦理。本案總計完成下列工作項目：

本案協助拍攝並製作臺北市士林區、臺南市永康區、臺中市后里區等 3 區正射影像成果；另配合國土測繪一號拍攝之影像進行影像處理作業，進行製作臺南市北門區、嘉義縣布袋鎮(布袋濕地)、宜蘭縣五結鄉、臺南市關廟區、嘉義縣布袋鎮、臺南市下營區、臺南市安南區等 7 區正射影像，相關航拍及成果應用可增進政府機關橫向協調聯繫及提升圖資更新效率等成果效益。此外，本團隊執行 108 年度 UAS 航拍作業，UAS 飛航時數總計達 10 小時以上，航拍期間無發生任何失事或重大意外情形，在任務執行安全度上連續 7 年保持良好安全紀錄。

本案完成建置一套飛行時間達 20 分鐘、最大控制距離達 1000 公尺、最大飛行高度 400 公尺以上之多軸四旋翼遙控無人機系統。無人機上搭載設備包含 Sonya7 III 單眼全片幅數位相機及 Carl Zeiss 21mm 鏡頭、本團隊自行整合之定位定向系統 (Trimble BD982 雙頻 GNSS 及 ADIS16488 IMU) 及 GARMIN VIRB 360 全景相機。監控 UAS 之地面控制站使用本團隊開發之 Geosat Mission Planner 航線規劃軟體，功能包含手動或自動方式規劃航點、設定飛行路徑及拍照任務資料、預估作業時間，同時可顯示禁限航區等資訊，並可於飛行前載入臺灣通用電子地圖進行航線規劃；任務執行時可即時顯示載具之飛行高度、速度、姿態及飛行軌跡。另本案提供一套 Pix4Dmapper 影像處理軟體 (含 3D 模型製作模組)，具備處理 UAS 影像產製正射影像及三維模型等功能。

另一方面，以本案建置之多軸四旋翼遙控無人機系統，規劃離地高 150 及 250 公尺兩種不同航拍任務辦理南崗校正場航拍與空中三角測量解算及製作正射影像成果以進行比較及精度驗證，結果顯示離地高 150 公尺空三計算成果平面位置均方根誤差(Root Mean Square Error ,RMSE)為 0.020 及 0.013 公尺；離地高 250 公尺平面位置均方根 RMSE 為 0.026 及 0.016 公尺，驗證正射影像精度可達契約書規定之一般航拍作業之 A 類(平面位置較差均方根值 0.5 公尺以下)標準，可符合局部圖資更新及特定區域國土監測領域應用需求。此外，於精

度需求不高且具時效性之防救災應用領域，為快速取得成果，以校正場範圍面積與環境條件為例，使用軸角與固定臂參數計算直接地理定位結果，需時 1 小時，當航拍離地高 150 公尺時，三軸方向定位精度均方根值(Root Mean Square ,RMS)為 2.811、2.222、7.257 公尺；當航拍離地高 250 公尺時，三軸方向定位精度 RMS 值約為 7.574、8.173、20.712 公尺。

本案三維模型試辦作業以臺中糖廠為指定區域，採用井字型及環拍方式進行航拍，使用 Pix4Dmapper 3D 模組完成產製三維模型，同時彙整相關作業方式研提三維模型產製之標準作業流程。另比較一般常用三維模型製作軟體 ContextCapture 及 Metashape。初步成果顯示，由於計算 Mesh 能力不同，模型精度有所差異，模型精緻度及視覺效果比較結果，ContextCapture > Metashape > Pix4Dmapper；另就單電腦等級單一主機計算，模型製作速度比較結果 Metashape > Pix4Dmapper > ContextCapture。

本案 UAS 及 LMS 結合規劃，以臺中糖廠為例，規劃未來 UAS 及 LMS 結合之聯合作業可能方式，主要內容分為拍攝規劃、外業資料取得及內業資料處理等。外業方面，UAS 採用空中井字形及環形拍攝方式，透過兩種航拍模式取得建物上方及側面影像資訊；LMS 則以地面環繞建物拍攝以獲取建物側面光達點雲資訊。內業方面，使用 Metashape 軟體進行 UAS 及 LMS 資料合併計算以建置三維模型，其合併方式是將外部 LMS 點雲及內部 UAS 影像匹配點雲，直接套合一起進行建模，可成功產製三維模型成果。

第柒章 附錄

附錄一 工作總報告甲方工作小組意見回覆說明表

審查意見	意見答覆
P.7, 第 4 階段教育訓練簽到簿繳交日期應為 10 月 25 日, 請修正。	遵照工作小組建議修正為教育訓練簽到簿於 108 年 10 月 25 日發文提送; 工作總報告於 108 年 12 月 20 日發文提送, 如 P.7 至 P.8 說明。
P.8, 緊急航拍作業因本年無需求而變更為一般航拍, 其成果繳交日期應為 12 月 20 日, 請修正。	遵照工作小組建議修正為 108 年 12 月 20 日發文提送, 如 P.7 至 P.8 說明。
P.16, 以相機光軸與圓盤夾角為 90 度拍攝... 是否會照不到圓盤上標點? 請補充說明。	遵照工作小組建議補充相機率定拍攝方式俯視圖及側視圖, 如 P.15 至 P.16 說明。
P.17, 表 2-7 相機率定成果中, 相機 1 列 2 組標準差但未列率定數值, 請修正。	遵照工作小組建議修正 Sony α 7R II 相機率定成果, 如 P.17 說明。
P.37, 文敘述辦理 3 區(陽明山國家公園及城鄉分署)及 7 區國土測繪中心。與【P105 所述 4 區+6 區, P38 表 3-1 所列 4 區+6 區】不符, 請更正。	遵照工作小組建議修正為辦理 3 區航拍與影像處理作業, 並針對 7 區國土測繪一號拍攝之影像進行影像處理作業, 進行正射影像製作, 如 P.37 及 P.107 說明。
P.38, 表 3-1, 臺南市永康區及臺中市后里區成果繳交日期與 P.7~8 表 1-1 工作時程內容不一致, 請修正。另請補充航線模式為模式 S 或模式 Z。	遵照工作小組建議修正文字內容, 並補充航線模式為 Z 模式, 如 P.38 至 P.53 說明。
P.39-49, 臺北市士林區的航拍, 分成陽明山大油坑、馬槽、夢幻湖三個區域均分別敘述航拍及影像處理, 但看起來飛航任務係一併規劃執行, 請依實際情形, 航拍任務部分合併論述, 影像處理及結果分節敘述 OK。另表 3-5 馬槽空三計算與表 3-7 夢幻湖空三計算成果完全一樣, 是否合併計算? 請補充說明。	遵照工作小組建議補充說明, 臺北市士林區航拍任務於同一天完成, 首先執行大油坑區域任務, 馬槽及夢幻湖因區域距離較近, 故兩個區域於同一任務同時航拍, 內業資料處理亦同時進行處理, 僅最後輸出範圍內之正射影像各別切割其範圍。相關文字調整如 P.39 至 P.45 說明。
P.65, 請補充本案建置之遙控無人機已依民航局「遙控無人機管理規則」完成相關註冊事宜。	遵照工作小組建議補充文字說明, 本案建置之遙控無人機已依民航局「遙控無人機管理規則」完成相關註冊事宜, 如 P.62 說明。
P.68, 圖 4-6, 請補充說明, 所列之畸變差參數是哪種參數模型, 請註	遵照工作小組建議補充內方位率定參數, 包含焦距(c)、像主點(xp 及 yp)、

<p>明模式名稱。</p>	<p>輻射畸變差(K1、K2、K3、K4、K5)、離心畸變差(P1、P2)、仿射畸變差(B1、B2)等，詳細率定結果及率定參數解算方程式請參閱附錄六，如 P.63 說明。</p>
<p>P.69 表 4-5 定位定向系統單點定位實測精度，所測試的 10 點位置及如何測試，請予以補充說明。另表下方的 AVG,STD,RMS 是 dE 或 dN 或 dH 或 dS(空間距)的統計值？請予以補充說明。</p>	<p>遵照工作小組建議補充說明單點定位實測精度測試作業流程，將整合系統置於已知點上，每 1 個已知點資料蒐集約 4 分鐘，共 10 個點之資料，求解位置坐標並與已知點坐標比較，並補充表 4-5 誤差分析資料，包含 E、N、H、平面 2D、三維 3D 之均方根值，如 P.65 至 P.67 說明。</p>
<p>P.77，請補充校正場檢核點分布圖及相關檢核結果；另為了解本案建置之 UAS 設備未來在緊急應變場合時，所產製正射影像成果精度，請補充直接使用 UAS 影像及 POS 外方位資料且未使用控制點進行空中三角測量計算結果，相關報表資料請置於附錄。</p>	<p>遵照工作小組建議補充空三解算檢核點分布及空三計算成果，如 P.75 至 P.76 說明。另 UAS 影像及 POS 外方位資料且未使用控制點進行空中三角測量計算結果補充於附錄九，如 P.161 說明。</p>
<p>P.80，依據表 4-11~ 表 4-14 固定臂與軸角，為何會因航高不同而有不同，請補充說明。</p>	<p>遵照工作小組建議補充南崗校正場率定成果分析說明，率定成果主要為空三與 POS 之相對關係，分析空三成果皆小於 3 公分，精度符合要求，故可能發生率定成果不佳原因來自於 POS 之軌跡成果。解算軌跡成果不佳其中原因來自於解算軟體，需調校 IMU 加速度及陀螺儀之偏差和尺度因子等參數，同時需針對飛行作業模式調整容許誤差、初始對準模式、約制條件相關設定等。未來需蒐集更多資料調整相關參數，詳細內容如 P.79 至 P.83 說明。</p>
<p>P.82，圖 4-28、圖 4-29 無法看出點位位置，請更換成以臺灣通用電子地圖為底圖。</p>	<p>遵照工作小組建議修正檢核點顯示大小，如 P.80 至 P.81 說明。</p>
<p>P.83，表 4-15 及 4-16，為何所使用之檢核點不同？請補充說明。</p>	<p>謝謝工作小組建議，本案南崗校正場任務分為 150 及 250 公尺兩個航高，因拍攝角度及任務時被行人或車輛遮蔽等因素，故選用可清楚辨識之檢核點為主，故部分選擇之檢核點不同。</p>
<p>P.91，表 4-18 模型精度如何評估？請補充說明。</p>	<p>謝謝工作小組建議，本案表 4-18 模型精度為誤植，主要仍以模型視覺化為</p>

	原則，故刪除精度部分內容，如 P.89 說明。
P.99，有關 UAS 及 LMS 結合規劃內容，請補充未來 2 種設備在拍攝規劃及外業或軟硬體方面的可能結合方式。	遵照工作小組建議補充 UAS 及 LMS 結合規劃內容，作業方式需提升 LMS 光達點雲精度、點雲分類及過濾、增加地面拍攝影像等，軟體建議包含 Bentley contextcapture、Agisoft Metashape、RealityCapture 說明，如 P.97 至 P.101 說明。
P.100，有關 UAS 及 LMS 整合，請補充成果、分析、結論及解決方案等內容。	遵照工作小組建議補充 UAS 及 LMS 整合分析討論等內容，LMS 光達點雲於本次測試，確實能成功補足 UAS 影像無法拍攝之區域，未來仍需提升 LMS 光達點雲精度、點雲分類及過濾、增加地面拍攝影像等建議，如 P.97 至 P.101 說明。
P.104，請補充檢附「遙控無人機管理規則」相關學術科考試項目。	遵照工作小組建議補充「遙控無人機管理規則」相關規定及學術科考試項目等，如 P.104 至 P.106 說明。
P.105，結論請配合上開相關補充內容進行修正。	遵照工作小組建議修正摘要及結論部分章節，如 P.I 至 P.IV 及 P.107 至 P.108 說明。
P.37，標題無人飛行載具系統請統一用詞為「遙控無人機系統」。圖 3-1 請修正以本中心臺灣通用電子地圖呈現。	遵照工作小組建議統一修正「無人飛行載具系統」用詞為「遙控無人機系統」，並修正圖 3-1 底圖以測繪中心臺灣通用電子地圖呈現，如 P.37 說明。
P.103，監察院實地評審，請修正為巡察，請全面檢視修正。	遵照工作小組建議修正為監察院實地巡察，如 P.103 說明。

附錄二 作業計畫書甲方工作小組意見回覆說明表

審查意見	意見答覆
<p>P.21, 倒數第 1 行, 航拍重疊率請配合需求規格寫法【影像前後重疊率須達 80% (不得少於 70%), 側向重疊率須達 40% (不得少於 30%)】修正; P.22, 表 2-8 請配合修正。</p>	<p>遵照工作小組建議修正文字內容及表 2-8, 如 P.21 至 P.22 說明。</p>
<p>P.26, 請補充所採用航測數值影像工作站之軟體名稱。</p>	<p>遵照工作小組建議補充本公司採用航測數值影像工作站軟體名稱為 ImageStation Automatic Triangulation (ISAT), 如 P.26 說明。</p>
<p>P.33, 表 2-11, 多軸六旋翼及四旋翼圖片有誤植, 請修正並填列實際照片圖。另請補充說明本案依需求訪談內容及紀錄配合提供四軸多旋翼機。</p>	<p>遵照工作小組建議修正表 2-11 內多軸六旋翼及四旋翼圖片內容, 如 P.33 說明。補充說明教育訓練提供操作模式相同之無人機實機供測繪中心使用, 如 P.46 至 P.47 說明。</p>
<p>P.39, 請依本案提供之相機 (Sony α 7 III) 及鏡頭 (焦距 21mm) 規格, 分別補充不同地面解析度 0.25 公尺及 0.10 公尺之航拍高度及航線規劃圖。</p>	<p>遵照工作小組建議補充不同解析度之航拍高度及航線規劃, 如 P.38 至 P.39 說明。</p>
<p>P.40, 補充三維模型航拍之航線規劃方式 (如井字型或環型等)。另請補充 Context Capture 及 Photoscan 軟體介面、功能說明、產出項目及價格; P.42, Reality Capture 軟體亦請一併補充。</p>	<p>遵照工作小組建議補充三維模型航拍之航線規劃方式, 以井字型搭配環繞特定建築物方式進行拍攝, 如 P.39 說明。補充 Pix4Dmapper、Context Capture、Photoscan、Reality Capture 軟體介面及功能說明等資訊, 如 P.40 至 P.42 說明。</p>
<p>P.44, 表 2-14, 請補充第 1 梯次教育訓練所提供之實機規格及功能說明、訓練模擬機示意圖及功能說明、遙控無人機管理規則 (草案) 學科測驗相關內容, 並說明學科及術科規劃於哪一梯次辦理。另最後 1 行「本案安排教育訓練」文字, 請刪除。</p>	<p>遵照工作小組建議補充各梯次學科及術科課程內容, 學科課程內容包含民航局無人機管理專章、飛行器軟硬體介紹、飛行安全及知識、緊急處置與飛行決策、飛行模擬器、任務規劃協作概念與架構、航空攝影測量概論、協作任務分派軟體等; 術科教育訓練包含飛行前後檢查、定點起降、旋翼機四面停懸、八字水平圖、側面停懸、高度保持五邊飛行、緊急程序處置、姿態模式訓練、設備保養與維護等。新增飛行模擬器示意圖如圖 2-53 說明, 並刪除「本案安排教育訓練」文字。如 P.46 至 P.48 說明。</p>

<p>P.50，圖 3-1 說明文字，「計畫」請修正為「本案」進度甘特圖；另因決標日已確定，請補充各階段成果繳交實際日期（如決標日 D 修正為 2/27；D+30 為 3/29，以此類推）。另請依 3 月份進度月報甘特圖修正作業計畫甘特圖以符合正確及一致性。頁首請修正為「108 年度國土測繪 1 號無人飛行載具航拍及維護作業採購案」。</p>	<p>遵照工作小組建議修正說明文字、甘特圖內容、頁首等，如 P.52 說明。</p>
<p>P.53~63，第五章第二節以後及第陸章內容請刪除。另第五章標題請配合修正為「廠商背景及人員組成」。</p>	<p>遵照工作小組建議刪除第五章第二節及第陸章內容，並修正第五章標題為廠商背景及人員組成，如 P.55 說明。</p>
<p>P.77，本案提供之新相機及鏡頭應於第 2 階段繳交設備時，一併提供率定報告並說明率定方法，請補充。</p>	<p>遵照工作小組建議於第 2 階段繳交設備時一併提供率定報告，率定方法參考第貳章第一節之伍、相機內方位率定小節執行，如 P.13 說明。</p>
<p>P.84，影像處理軟體 Pix4Dmapper 功能表為英文說明，請針對本案規格所列功能項目標示清楚。</p>	<p>遵照工作小組建議補充影像處理軟體功能對應項目，如 P.78 至 P.82 說明。</p>
<p>P.116，公共責任保險證明之經營業務種類請修正為本採購案名稱。</p>	<p>遵照工作小組建議修正公共責任保險證明之經營業務種類為本採購案名稱，如 P.113 說明。</p>
<p>作業計畫文字修正意見如下，請全面檢視修正： 「5.060」請修正為「5,060」(P.11)； 「佈」標請修正為「布」標 (P.24)； 「通用版」請修正為「臺灣通用」(P.28)；「答」標請修正為「達」標 (P.35、37)；分「佈」請修正為分「布」(P.39)；「期」規劃內容請修正為「其」規劃內容 (P.43)； 「基」本級請修正為「基」本級 (P.45)。</p>	<p>遵照工作小組建議全面檢視及修正文字。</p>

附錄三 服務建議書委員審查意見回覆說明表

委員	審查意見	意見答覆
吳委員水吉	建置遙控無人機系統貴公司提供生產的 Geosat ALPAS 2 單旋翼機，其中搭配 Geosat POS 2.0 的定位定向系統，請詳述該 POS 的規格及精度？	遵照委員建議補充定位定向系統相關資訊，本案 Geosat POS 2.0 定位定向系統，GNSS 選用 Trimble BD982、IMU 為 ADIS16488，相關規格及精度補充於附錄四。
	採購規範要求遙控無人機系統必須要能證明 107 年度產製之新品，其中旋翼機是貴公司生產，要如何證明是 107 年後新品？	本案所產製之無人機皆會提供出廠證明 COC (Certificate of Conformity)，以證明為該年度之新品。
	採購規範需求提供之無人機系統必需能夠容易拆卸收納，貴公司提供之無人機是否可達此要求？	本案繳交之無人機包含無人機本體(含飛控電腦)、數位通訊傳輸、螺旋槳、電池 3 顆及充電器 1 組、遙控器，並提供攜行箱及工具箱，故本案提供之無人機系系可拆卸收納，符合本案規範需求。
張委員嘉強	建置 UAS 及影像處理軟體部分，UAS 擬提供自產 Geosat ALPAS 2，有無考量國土測繪中心之作業需求，主要考量點為何？在軟體部分選用 Pix4Dmapper 之限制條件及優缺點為何？	<p>測繪中心之任務主要為圖資更新及緊急航拍需求，中心於 100 年起建立自有定翼型 UAS，100 年至 107 年度有效應用於執行大範圍任務。針對小範圍任務及緊急航拍需求，定翼型 UAS 需跑道起降將影響作業效率。本案規劃之旋翼型 UAS，其酬載重量、飛行時間及距離、依重疊率/地面解析度/相機/鏡頭選擇規劃所需航線等，功能適合執行小範圍任務，而垂直起降功能，針對緊急航拍需快速取得影像資訊等任務，有很大的幫助。過去本案規劃之旋翼型 UAS 執行小範圍任務(面積累積 4000 公頃以上)，航拍作業完成後之空中三角測量及正射影像成果精度皆符合作業需求。</p> <p>Pix4Dmapper 軟體為目前 UAV 處理軟體中較為主流的軟體之一，提供較為完整的量測功能，並可輸出相關精度報表，其相關軟體功能同樣較為符合招標規範中所制定的內容。此外，該軟體提供標準軟體操作流程，可提供使用者快速獲得成果，但若成果不符合</p>

		預期時，人工較難以介入修改。
	UAS 及 LMS 結合部分是否提供實作成果?針對國土測繪中心之可能作業需求，如圖資更新、國土監測、災害應變及 3D 建模等，是否會分別加以實作或進行需求之評估?	本公司已於前期計畫實作 UAS 與 LMS 之影像合併計算，其成果顯示加入 LMS 可有效補足 UAS 側面建模資訊不足的問題。本年度嘗試規劃以 LMS Lidar 點雲資訊來補足 UAS 建模於地面資訊不足之問題，並於本年度計畫中加入相關實驗探討，後續該如何以此功能協助圖資更新、國土監測等將在後續評估後加入規劃。
夏委員榮生	建議說明採用單旋翼型而未採用六旋翼型之原因?並說明所採用之單旋翼型在折疊或拆解收納功能是否能符合採購需求?	本案依需求訪談會議確認提供之無人機機型為多軸四旋翼 UAS，包含無人機本體(含飛控電腦)、數位通訊傳輸、螺旋槳、電池 3 顆及充電器 1 組、遙控器，並提供攜行箱及工具箱，故本案提供之無人機系系可拆卸收納，符合本案規範需求。
	建議能說明本案能解決或改善前幾年(104 至 107 年)之案子的哪些部分?	測繪中心之任務主要為圖資更新及緊急航拍需求，中心於 100 年起建立自有定翼型 UAS，100 年至 107 年度有效應用於執行大範圍任務。針對小範圍任務及緊急航拍需求，定翼型 UAS 需跑道起降將影響作業效率。本案規劃之旋翼型 UAS，其酬載重量、飛行時間及距離、依重疊率/地面解析度/相機/鏡頭選擇規劃所需航線等，功能適合執行小範圍任務，而垂直起降功能，針對緊急航拍需快速取得影像資訊等任務，有很大的幫助。過去本案規劃之旋翼型 UAS 執行小範圍任務(面積累積 4000 公頃以上)，航拍作業完成後之空中三角測量及正射影像成果精度皆符合作業需求。
	建議在繳交的成果報告能提供操作程序、作業及檢核標準以供作業人員有所依據。	遵照委員建議將補充操作程序、作業及檢核標準等於繳交成果報告內，供作業人員執行任務參考。
吳委員至誠	請確認本案提供給甲方的無人機機型為何?	遵照委員建議確認提供之無人機機型為多軸四旋翼 UAS，相關規格及精度補充於第貳章第五節及

		附錄四。
	本案提供之影像處理為 Pix4D，是否考慮其他軟體？原因為何？	依本案採購規格需求中，Pix4D 為較符合本案需求之軟體，該軟體提供全功能 UAS 解算方案，且可輸出符合航測需求的相關報表及航測軟體專案使用。
	在訊號 (e-GPS) 不良地區的應變方式為何？	本案規劃之無人機，資料處理為後處理，無即時 RTK 功能，於訊號不良地區無影響。若執行地面控制點測量，於 e-GPS 訊號不良地區，將改用靜態 GNSS 測量等相關方式進行施測。
鄭委員彩堂	本案需蒐集國內外有關 UAS 及 LMS 結合規劃相關文獻，請說明貴公司之規劃及目前掌握國內外之概況情形為何？	本公司已於前期計畫實作 UAS 與 LMS 之影像合併計算，其成果顯示加入 LMS 可有效補足 UAS 側面建模資訊不足的問題。本年度嘗試規劃以 LMS Lidar 點雲資訊來補足 UAS 建模於地面資訊不足之問題，並於本年度計畫中將加入相關實驗探討，後續該如何以此功能協助圖資更新、國土監測等，遵照委員建議蒐集國內外相關 UAS 及 LMS 結合規劃及應用文獻，於後續評估後納入工作總報告供測繪中心參考。。
	P42 所敘本案 UAS 與 LMS 結合影像處理方式有 2 種方式，請說明該 2 方式對本案之適用性與優缺點及貴公司選擇採 UAS 影像、LMS 影像與 LMS LIDAR 合併解算方式之原因？對於所選用軟體，有無其他選擇搭配組合？另針對貴公司所選擇方案之外業作業規劃為何？	因應前期 UAS 及 LMS 以影像方式結合解算成果得知，LMS 地面影像可有效補足 UAS 側面資訊不足的問題，但 LMS 難以獲取無地面干擾(車輛、植物搖晃等)之影像並獲得良好的地面三維資訊。因此，本年度提出 LMS Lidar 資料來補足地面三維資訊之方法，該合併解算方案中已有多家商業軟體提出並進行應用，本公司將以 Bentley ContextCapture 軟體作為合併解算使用。考慮模型尺度差異問題，若後續發生相關解算問題，將考慮加入 Reality Capture 軟體協助進行解算。

附錄四 服務建議書甲方工作小組之意見回覆說明表

審查意見	意見答覆
1.第 8 頁列出所採用之定翼型 UAS 設備，請說明使用該設備執行航拍任務時，所搭載之定位定向系統（POS）為何。	遵照工作小組建議補充說明本案採用之定位定向系統 (BD982+ADIS16488)，可裝載於多旋翼、單旋翼、定翼型 UAS 上，如 P.10 至 P.11 說明。
2.第 25-26 頁提出空中三角測量作業方式，另請說明國土測繪一號影像處理作業流程。	遵照工作小組建議補充說明國土測繪一號影像處理作業流程與成果及精度要求需依「一、一般航拍作業（六）正射影像」之解析度 0.25 公尺（C 類）成果精度要求方式辦理，故參考一般航拍作業之空中三角測量及正射影像製作作業規劃辦理，如 P.23 至 P.31 說明。
3.第 34 頁表 2-10 僅列出提供之定位定向系統型號為 Geosat POS 2.0，請補充表列該 POS 規格。	遵照工作小組建議補充定位定向系統相關資訊，本案 Geosat POS 2.0 定位定向系統，GNSS 選用 Trimble BD982、IMU 為 ADIS16488，相關規格及精度補充於附錄四。
4.第 42-44 頁主要針對 UAS 及 LMS 內業資料方面的合併解算與處理進行規劃，另請說明結合兩種不同載具執行外業任務以獲取空間資料的想法或規劃。	本公司於前期計畫已實作 UAS 及 LMS 影像三維重建實驗，其成果顯示 LMS 可有效提供 UAS 缺乏的地面三維資訊，唯難以獲取無干擾之影像來計算三維點雲資訊，若加入 LMS Lidar 三維資料期能補足缺少的資訊。實作上必須先於地面挑選以 UAS 及 LMS Lidar 共同可以觀測的位置做為共軌點，提供 Lidar 點雲坐標轉換使用，後續將這些點雲資料經由法線推估及表面重建流程，加入 UAS 專案中來獲取更加精細的建模資訊。
5.第 47-48 頁提及 UAS 成果展示，未說明製作 5 分鐘之宣導影片作業，請補充說明。	遵照工作小組建議補充說明製作宣導影片作業，如 P.46 至 P.47 說明。
6.因本案無人機機體需求須具備折疊或拆解收納功能，請補充說明第 34-37 頁所提無人機規格是否符合前開需求，若未符合需求，請說明是否有其他機型可提供？	本案繳交之無人機包含無人機本體（含飛控電腦）、數位通訊傳輸、螺旋槳、電池 3 顆及充電器 1 組、遙控器，並提供攜行箱及工具箱，故本案提供之無人機系系可拆卸收納，符合本案規範需求。

附錄五 需求訪談會議紀錄

內政部國土測繪中心

「108 年度建置遙控無人機系統與航拍及影像處理作業採購案」

需求訪談會議紀錄

壹、時間：108 年 3 月 4 日下午 2 時

貳、地點：內政部國土測繪中心 5 樓第 2 會議室

參、主持人：王課長敏雄

肆、出席單位及人員：(詳如簽到簿)

內政部國土測繪中心	林技正世賢、鍾課員文彥、施技士錦揮
經緯航太科技股份有限公司	蔡孟倫、張庭榮、朱建勳

伍、會議結論：

有關需求規格書工作項目之一般航拍作業、緊急航拍作業、國土測繪 1 號航拍影像處理作業、各式報告及其他配合事項經確認後悉依規定辦理。另建置遙控無人機系統工作項目，經本公司及貴中心討論協議結果，相關細節說明如下：

一、UAS 及影像處理軟體具體提供項目分述如下，細部規格內容將納入作業計畫書中。

(一)無人機系統硬體：考量人員操作便利性及未來與 LMS 結合規劃，將於 3 月 20 日前提供多旋翼機系統詳細規格內容及成本分析予貴中心確認。並將蒐集及交通部民用航空局預告之「遙控無人機管理規則」草案相關檢驗及註冊部分內容，協助貴中心新購置無人機完成註冊及檢驗事宜。

(二)影像處理軟體：將提供 1 套 Pix4Dmapper 及其製作三維模型 Pix4DModel 模組使用授權。

二、2 梯次教育訓練以規劃入門及進階等循序漸進課程方式辦理：

(一)第 1 梯次(入門)規劃於交機前辦理，並將提供訓練模擬機及操作模式相同之無人機實機供貴中心操作使用；第 2 梯次(進

階) 規劃於交機後辦理。實際課程之時間與地點及內容俟規劃完成後，於4月底前送貴中心同意後展辦。

(二)教育訓練時將一併規劃與「遙控無人機管理規則」草案操作證考試相關之課程。

三、三維模型試辦工作，將使用 Pix4DModel 製作三維模型，另亦將使用 ContextCapture 及 Photoscan 等軟體產製，測試比較其模型產出效果。

四、有關 UAS 及 LMS 結合規劃，將蒐集國外有關 2 種載具結合之案例資料，包含聯合執行外業任務及內業資料結合處理，針對未來貴中心 UAS 及 LMS 結合作業方式提出具體建議，並納入工作總報告。

五、成果展示作業，本公司將配合貴中心 3 月 26 日監察院巡視，協助 UAS 成果展示事宜。另本案須製作 5 分鐘 UAS 宣導影片，將規劃於各次作業過程中拍攝工作過程錄影或照片為素材，並剪輯成宣導影片。

陸、散會：下午 4 時 50 分

附錄六 各次工作會議紀錄回覆說明表

第 1 次工作會議		
時間：108 年 4 月 3 日(星期三) 上午 11 時		
地點：經緯航太科技股份有限公司(臺中分公司)		
會議結論	辦理情形	
1	請於本案提供之四軸多旋翼新機交機前完成機殼相關塗裝（機殼上須有本中心 LOGO），並於 108 年 4 月 30 日前將塗裝設計圖送本中心審視。	遵照指示辦理，機殼塗裝設計如 P.12 說明。
2	本案三維模型試辦作業，請蒐集國內外相關文獻資料，於 108 年 5 月 31 日前規劃完成並提出重要地標（建物或立體道路）之具體航拍（如井字型或環型等）及製作三維模型影像處理方法。另請於 6 月份工作會議時提出合適之試辦區域供本中心參考選定。	遵照指示辦理，三維模型文獻蒐集及影像處理方法如 P.17 至 P.21 說明。
3	有關 UAS 及 LMS 整合規劃，請於 108 年 5 月 31 日前蒐集國內外相關文獻資料，並規劃最佳整合作業方式於 6 月工作會議簡報。	遵照指示辦理，蒐集 UAS 及 LMS 整合規劃文獻如 P.22 至 P.31 說明。
4	有關蒐集遙控無人機管理規則（草案）相關內容，請針對政府機關操作活動與專業術語（如射頻裝置及識別）及應注意事項相關部分列表說明，供本中心參考。另請彙整無人機作業經驗提供四軸多旋翼機保養與維護相關項目及費用予本中心後續作業參考。	遵照指示辦理，整理無人機管理規則(草案)基本級術科測驗項目等內容如 P.33 至 P.36 說明。相關無人機維護項目及費用待工作總報告提供中心參考。
5	請彙整本案作業成果製作展示海報 2 張（內容應呈現科技計畫研究性質重點成果），並於第 4 階段期限內送交本中心審視。	遵照指示辦理，將於第 4 階段期限內製作展示海報 2 張。
第 2 次工作會議		
時間：108 年 5 月 14 日(星期二) 上午 10 時 30 分		
地點：內政部國土測繪中心第 2 會議室		
會議結論	辦理情形	
1	有關一般航拍作業(臺北陽明山)及國土測繪 1 號影像處理(臺南)	遵照指示辦理，臺北陽明山於 108/5/21 繳交，臺南北門與嘉義布袋於 108/6/6 繳交，宜蘭五結於

	北門與嘉義布袋及宜蘭五結)作業，請依本中心通知日期並掌握契約規定繳交期程辦理，如有提早完成可提前繳交，以利本中心儘早將成果提供委託航拍機關。	108/6/13 繳交，如 P.9 至 P.14 說明。
2	本案除依契約規定辦理 2 梯次教育訓練，另請協助規劃無人機操作及考照之學、術科完整訓練課程並提供本中心參考。	遵照指示辦理，第 1 梯次教育訓練於 108/5/30 辦理，如 P.22 說明。
3	請於 5 月 17 日完成本案四軸多旋翼組裝時，一併拍攝前後左右及頂視相片並提供本中心，以利確認機殼相關塗裝設計方式及效果。另請於提交 UAS 軟硬體設備 (108 年 5 月 28 日) 前，先提供相關應備規格文件供本中心確認審視。	遵照指示辦理，提交 UAS 軟硬體設備如 P.15 至 P.19 說明。
4	有關三維模型試辦及 UAS 與 LMS 結合規劃作業，請預先規劃作業流程，並於 6 月份工作會議時提出合適之試辦區域供本中心參考選定。前開作業應測試出解決方案，且相關三維模型製作技術及流程應以本中心現有軟硬體作規劃，倘有不足處再提出建議，並於本案履約期限內將技術移轉本中心。	遵照指示辦理，台南市關廟區相關測試情形如 P.20 及 P.21 說明。
第 3 次工作會議		
時間：108 年 6 月 19 日(星期三) 上午 10 時 30 分		
地點：內政部國土測繪中心第 2 會議室		
會議結論		辦理情形
1	國土測繪 1 號影像處理作業之臺南北門與嘉義布袋及宜蘭五結正射影像成果，請於成果驗收合格後協助提供利於製作圖磚之切割後正射影像檔予本中心。	遵照指示辦理，交付切割後正射影像檔予測繪中心。
2	有關臺南關廟高架道路三維模型製作，請於成果繳交時一併提供空三平差後影像之內外方位與率定糾正後影像及影像匹配點雲 (DSM) 資料。	遵照指示辦理，交付臺南關廟相關率定及影像等資料。
3	有關三維模型試辦及 UAS 與 LMS 結合規劃作業，目前區域規	遵照指示辦理，三維模型試辦區域建議為國土測繪中心、文山水資源中心、港研中心、台中舊市政府供



	劃以選定之 LMS 率定場中建物(1 處)為主,如下月工作會議時相關場地部分仍未確定,請於 7 月 31 日前提出 3 處合適之試辦區域供本中心參考選定。	中心參考選定;台南關廟試辦 UAS 與 LMS 結合規劃作業如 P.15 至 P.20 說明。
4	針對 UAS 之 POS 解算軟體改善事項,請每週五以電子郵件將相關改善作業預計進度及相關辦理情形通報本中心	遵照指示辦理,於每週五回報測繪中心相關改善作業及辦理情形,如簡報 P.12 至 P.14 說明。
第 4 次工作會議		
時間:108 年 9 月 5 日(星期四) 下午 2 時		
地點:內政部國土測繪中心第 2 會議室		
	會議結論	辦理情形
1	交通部於 108 年 7 月 23 日公布遙控無人機管理規則,並自 109 年 3 月 31 日施行,於施行前交通部民用航空局將陸續辦理遙控無人機操作證學術科預評鑑作業。為因應前開預評鑑及依本案契約書相關規定,請配合提供本中心 UAS 訓練模擬器及訓練機各 1 套,並協助訓練本中心 UAS 操作人員取得操作證。另第 2 梯次教育訓練亦請配合前開相關規定且使用 UAS 新機規劃課程內容及辦理。	遵照指示辦理,辦理教育訓練等相關事宜,協助訓練操作人員取得操作證。
2	本案緊急航拍與一般航拍作業及 107 年度保固航拍之航拍區,目前配合本中心電子地圖正射影像更新需求,規劃臺中市神岡區與高雄市大寮區及臺南市永康區等區域,請預先規劃及製作空域申請資料,本中心將於簽奉核定後另行通知展辦相關航拍作業。	遵照指示辦理,規劃及製作空域申請資料,待通知後執行航拍作業。
3	有關三維模型試辦及 UAS 與 LMS 結合規劃作業,目前區域規劃為臺中糖廠歷史建築,請預先規劃及製作空域申請資料,本中心將於簽奉核定後另行通知展辦相關航拍作業。	遵照指示辦理,規劃及製作空域申請資料,待通知後執行航拍作業。
第 5 次工作會議		
時間:108 年 10 月 9 日(星期三) 下午 2 時		

地點：內政部國土測繪中心第 2 會議室		
會議結論	辦理情形	
1	<p>第 2 梯次 UAS 教育訓練請配合遙控無人機管理規則相關規定規劃，並以操作本案 UAS 新機為主安排相關課程內容，依契約規定於 10 月 25 日前辦理完竣。另請配合協助訓練本中心 UAS 操作人員，以通過交通部民用航空局術科預評鑑並取得操作證。</p>	<p>遵照指示辦理，於 10 月 24 日辦理第 2 梯次教育訓練，並藉由實機操作練習，協助訓練測繪中心人員 UAS 操作。</p>
2	<p>本案依契約規定須研提產製三維模型之標準作業流程，請以本中心現有軟硬體進行規劃及研擬相關作業流程，並於第 4 階段繳交工作總報告成果時一併提送。</p>	<p>遵照指示辦理，三維模型規劃以 Pix4D Mapper V4.4.1.2、Agisoft Metashape Pro V1.5.5 及 Bentley ContextCapture Center V4.4.0.344 進行規劃及研擬作業流程，相關成果及比較將納入工作總報告。</p>
3	<p>有關校正場航拍作業，請依下列原則分別預先規劃 2 種不同航高之航拍任務，於 10 月 22 日前送交本中心：1.本案 UAS 新機執行該區航拍任務成本效率最佳之最大航高；2.以本案 UAS 新機航拍可達最佳解析度之航高。</p>	<p>遵照指示辦理，校正場航拍規劃以航高 150 及 250 公尺，GSD 為 4 及 7 公分進行航拍。</p>
4	<p>有關三維模型試辦及 UAS 與 LMS 結合規劃作業，已確定拍攝帝國製糖廠臺中營業所歷史建築，請於 10 月 22 日前預先完成規劃 UAS 航拍任務與 UAS 及 LMS 結合方式並送交本中心，另結果及未來結合建議並請納入本案工作總報告。</p>	<p>遵照指示辦理，三維模型試辦及 UAS 與 LMS 結合，規劃影像式拍攝方式皆為採用井字飛行航拍整個帝國糖廠範圍，並增加環拍方式對該園區帝國糖廠營業所位置進行拍攝；結合 LMS 點雲資訊主要是補足影像式建模中無法順利匹配的一些細節資料，相關成果及建議將納入工作總報告。</p>
5	<p>依契約規定須彙整本案成果資料製作 5 分鐘展示影片及 2 張展示海報，請於使用本中心 UAS 執行航拍任務時，拍攝相關作業影片為素材進行製作，並於第 4 階段繳交工作總報告成果時一併提送。</p>	<p>遵照指示辦理，於第 4 階段時一併提送展示影片及展示海報。</p>

附錄七 遙控無人機系統型錄規格

多軸四旋翼無人機

	多軸四旋翼(本案提供之 UAS)
無人機	
載具尺寸	110 x 110 公分
旋翼數量	4
酬載重量	1.5 公斤
滯空時間	15 - 20 分鐘
最大航高	500 公尺
飛行速度	50 公里/小時
抗風	4 級風
動力	中等(電力)
噪音	普通

單眼全片幅數位相機 Sony α 7 III



型號：α7III (ILCE-7M3)		
鏡頭	鏡頭相容性	Sony E 接環鏡頭
	鏡頭接環	E 接環
影像感光元件	長寬比	03:02
	像素(有效)	約 2420 萬像素
	像素總數	約 2420 萬像素
	類型	35 mm 全片幅 (35.6 × 23.8 mm) · Exmor R CMOS 感光元件
	防塵系統	光學濾鏡上的抗靜電鏡膜與感光元件位移機制
錄製系統	智慧型手機的位置資訊連結	有
	媒體	Memory Stick PRO Duo、Memory Stick PRO-HG Duo、Memory Stick Micro (M2)、SD 記憶卡、SDHC 記憶卡 (相容 UHS-I/II)、SDXC 記憶卡 (相容 UHS-I/II)、microSD 記憶卡、microSDHC 記憶卡、microSDXC 記憶卡 (另購)
	記憶卡插槽	插槽 1：SD 記憶卡插槽 (相容 UHS-I/II)；插槽 2：Memory Stick Duo/SD (相容 UHS-I) 記憶卡的多插槽
	使用 2 張記憶卡的錄製模式	同步錄製 (靜態影像)，同步錄製 (影片)，同步錄製 (靜態/影片)、排序 (JPEG/RAW)、排序 (靜態/影片)、自動切換媒體 (開啟/關閉)、複製
對焦	對焦類型	高速混合式自動對焦 (相位式偵測自動對焦/對比式偵測自動對焦) 1
	對焦感應器	Exmor R® CMOS 感光元件
	對焦點	35 mm 全片幅：693 點 (相位式偵測自動對焦)，APS-C 模式搭載全片幅鏡頭：299 點 (相位式偵測自動對焦)，搭載 APS-C 鏡頭：221 點 (相位式偵測自動對焦) / 425 點 (對比式偵測自動對焦)
	對焦靈敏度範圍	EV -3 至 EV 20 (相當於在 ISO 100 時使用 F2.0 鏡頭) (另購)
	對焦模式	AF-A (自動對焦)、AF-S (單次自動對焦)、AF-C (連續自動對焦)、DMF (直接手動對焦)、手動對焦
	對焦區域	廣角 (693 點 (相位式偵測自動對焦)、425 點 (對比式偵測自動對焦)/局部/中央/彈性定點 (小/中/大)/擴充的彈性單點/鎖定自動對焦 (廣角/局部/中央/彈性定點 (小/中/大)/擴充的彈性定點)
	其他功能特色	眼部啟動自動對焦 (只能使用 LA-EA2 或 LA-EA4 (單獨售賣))、鎖定自動對焦、眼部偵測自動對焦功能、自動對焦微調 (使用 LA-EA2 或 LA-EA4 (單獨售賣))、預測控制、對焦鎖定、自動對焦追蹤感應器、Swf.V/H 自動對焦區域、自動對焦區域登錄。
	AF 照明器	有 (搭配內建式 LED)
	AF 照明範圍	約 0.3 m 至 3.0 m (裝上 FE 28-70mm F3.5 - 5.6 OSS 時) (另購)
	LA-EA3 對焦類型 (另售)	可選擇 (相位式偵測、對比式偵測)

觀景窗	觀景窗類型	1.3 cm (0.5 型) 電子觀景窗 (彩色) + XGA OLED
	點數	2,359,296 點
	亮度控制 (觀景窗)	自動/手動 (5 級, 介於 -2 和 +2 之間)
	色溫控制	手動 (5 級)
	視野覆蓋率	100%
	放大	約 0.78 x (使用 50 mm 鏡頭對焦無限遠, -1m-1) (另購)
	屈光調節	-4.0 至 +3.0 m ⁻¹
	視點	在 -1 m-1 下, 從接目鏡約為 23 mm, 從目鏡軸約為 18.5 mm (CIPA 標準)
	觀景窗影格率選擇	-
	顯示幕內容	圖形化顯示、顯示所有資訊、不顯示資訊、數位水平儀、長條圖

LCD 螢幕	類型	7.5 cm (3.0 型) TFT
	點數	921,600 點
	觸控面板	有
	亮度控制	手動 (5 級, 介於 -2 和 +2 之間)、晴天模式
	可調角度	往上約 107 度, 往下約 41 度
	顯示器選擇 (觀景窗/LCD)	有 (自動/手動)
	即時影像調整顯示	開啟/關閉
	QUICK NAVI	有
	對焦放大鏡	有 (35 mm 全片幅): 5.9x、11.7x、APS-C: 3.8x、7.7x)
	斑馬紋	是 (可選等級 + 範圍或下限作為自訂設定)
	峰值手動對焦	有 (等級設定: 高/中/低/關閉, 顏色: 白色/紅色/黃色)
	其他	格線 (第 3 條格線規則/正方形格線/示意圖 + 正方形格線/關閉)、影片標記 (中央/長寬比/安全區域/提示框)
	顯示幕內容	圖形化顯示、顯示所有資訊、不顯示資訊、數位水平儀、長條圖、觀景窗模式、螢幕關閉

曝光	測光類型	1200 區評價測光
	測光感應器	Exmor R® CMOS 感光元件
	測光靈敏度	EV -3 至 EV 20 (相當於在 ISO 100 時使用 F2.0 鏡頭) (另購)
	測光模式	多重、中央加權、定點、定點標準/放大、整個畫面平均、亮部
	曝光補償	+/- 5.0EV (可選擇 1/3 EV 或 1/2 EV 級), (曝光補償轉益為: +/- 3 EV (1/3 EV 級))
	包圍曝光	包圍曝光: 連拍/包圍曝光: 單張, 可選擇 3/5/9 張。選擇 3 或 5 張時, 可使用 1/3、1/2、2/3、1.0、2.0 或 3.0 EV 階段曝光範圍, 選擇 9 張時, 可使用 1/3、1/2、2/3 或 1.0 EV 階段曝光範圍。
	AE 鎖定	半按快門按鈕時會鎖定。可使用 AE 鎖定按鈕。(開/關/自動)
	曝光模式	自動 (iAuto)、程式化自動曝光 (P)、光圈先決 (A)、快門速度先決 (S)、手動 (M)、影片 (程式化自動曝光 (P) / 光圈先決 (A) / 快門速度先決 (S) / 手動 (M))、慢動作與快動作 (程式化自動曝光 (P) / 光圈先決 (A) / 快門速度先決 (S) / 手動 (M))
	ISO 感光度 (推薦曝光指數)	靜態影像: ISO 100-51200 (ISO 50 至 ISO 204800 的 ISO 數值可設定為擴展 ISO 範圍)、自動 (ISO 100-12800, 可選擇上下限), 影片: 相當於 ISO 100-51200 (ISO 102400 以下的 ISO 數值可設定為擴展 ISO 範圍), 自動 (ISO 100-12800, 可選擇上下限)
	抗閃爍拍攝	有
場景選擇	人像、體育賽事、微距、風景、夕陽、夜景、夜景人像	
影像穩定系統	類型	具備 5 軸補償的感光元件位移機制 (補償效果視鏡頭規格而定)
閃光燈控制	類型	-
	閃光指數	-
	閃光燈範圍	-
	控制	預閃 TTL
	閃光燈補償	+/-3.0 EV (可在 1/3 與 1/2 EV 級間切換)
	包圍閃光	可選擇 3/5/9 張。選擇 3 或 5 張時, 可使用 1/3、1/2、2/3、1.0、2.0 或 3.0 EV 階段曝光範圍, 選擇 9 張時, 可使用 1/3、1/2、2/3 或 1.0 EV 階段曝光範圍。
	閃光燈曝光 (FE) 鎖定	有
	無線控制	有 (光線訊號: 可提供強制閃光、慢速同步、高速同步 / 無線電訊號: 可提供強制閃光、後簾同步、慢速同步、高速同步)

介面	PC 介面	大量儲存裝置、MTP、電腦遙控
	多介面 / MICRO USB 端子	有 (支援 Micro USB 相容裝置。)
	USB Type-C™ 端子	有 (相容 SuperSpeed USB (USB 3.1 第 1 代))
	NFC™	有 (相容 NFC Forum 3 型標籤)、一觸遙控、一觸分享
	無線 LAN (內建)	相容 Wi-Fi, IEEE 802.11b/g/n (2.4GHz 頻帶), 可在智慧型手機上觀看: 有, 可傳送至電話: 有, 可在電視上觀看
	BLUETOOTH	有 (Bluetooth 標準版本 4.1 (2.4 GHz 頻段))
	HD 輸出	HDMI Micro 接頭 (D 型)、BRAVIA 同步 (HDMI 控制)、PhotoTV HD、4K 影片輸出/4K 靜態影像 PB
	麥克風端子	有 (3.5 mm 立體聲迷你插孔)
	同步端子	有
	耳機端子	有 (3.5 mm 立體聲迷你插孔)
	垂直握把接頭	有
	電腦遙控	有
	LAN 端子	-
電源	隨附電池	一套充電電池組 NP-FZ100
尺寸與重量	重量 (包含電池與記憶卡)	650 g
	尺寸 (寬 X 高 X 深)	約 126.9 mm x 95.6 mm x 73.7 mm、約 126.9 mm x 95.6 mm x 62.7 mm (從握把至螢幕)

設計及規格可能會根據不同情況而改變,恕不另行通知。

以上規格與附件僅供參考,詳細功能規格請洽相關入口網站皆有標示

Carl Zeiss Loxia 2.8/21 For E-Mount 鏡頭



Loxia 2.8/21	
焦距	21 mm
光圈	f/2.8 – f/22
拍攝距離	0,25 m - ∞
鏡片結構	11 / 9
視場角：對角線/水平/垂直	91° / 81° / 59°
最近距離影像圈	281 x 187 mm
濾鏡規格	M52 x 0,75
鏡頭尺寸（帶蓋）	85 mm
重量	約 394 g
接口類型	E-Mount

全景相機 Garmin VIRB 360

GARMIN.

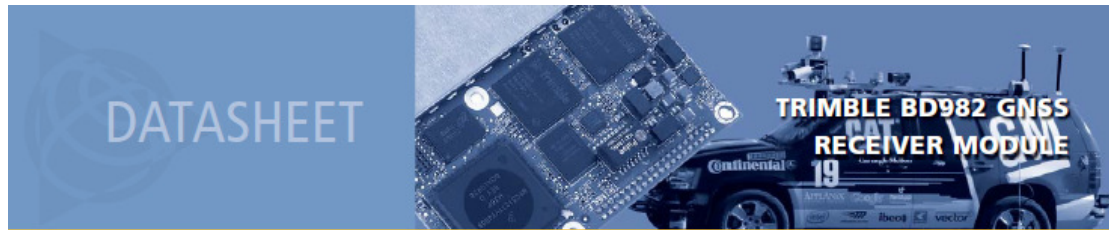


VIRB® 360 產品規格

錄影解析度	5.7K/30 fps未拼接，5K/30 fps未拼接，4K/30 fps 360度自動拼接影片
錄影模式	基本、縮時攝影
360度影像自動拼接	最高達4K / 30 FPS
360度環繞音效	四向麥克風
全景影像防震(最大支援4K影像)	三種模式：穩定、鎖定、跟隨
G-Metrix動態感知	●
防水等級	水下10公尺
替換式玻璃鏡頭保護罩	●
支援VIRB® Mobile app 與 VIRB® Edit應用程式	可執行編輯、全景防震、分享並加入G-Metrix數據
Facebook® 與 Youtube® 直播串流	僅相容Apple® 裝置
無線連接	Wi-Fi®, Bluetooth®, NFC (支援Android®快速連結), ANT+®
拍攝視野	涵蓋360度垂直與水平視角
相容 Android® 與 Apple® 裝置	●
電池效能	可充電式鋰電池，最長可達1小時05分鐘

語音聲控	●
最大影片位元率(bitrate)	最高可達120 Mbps (5.7K) 或 80 Mbps (4K)
照片解析度	最高可拍攝1500萬畫素照片(已於機台內拼接為360影像)
照片模式	單張、連拍、縮時攝影
遙控操作	Garmin相容配件, VIRB Mobile app
GPS、GLONASS雙衛星接收	10 Hz
內建感測器	氣壓式高度計、加速度計 & 陀螺儀、電子羅盤
VIRB Mobile app 預覽360度影像	●
手動專業模式	白平衡、曝光補償與更多進階設定
相容VR裝置	●
VIRB Mobile app VR 眼鏡模式	可即時於 VR 頭戴式配件觀看
microSD [®] 記憶卡	最大支援128GB microSD [®] ; UHS-I, class U3 以上產品 (產品不包含)
相容標準三腳架與通用固定架	●

定位定向系統-GNSS (Trimble BD982)



KEY FEATURES

Dual-antenna inputs for precise heading calculation

Multi-Constellation GNSS Support

OmniSTAR VBS/XP/G2/HP support

Flexible RS232, USB, Ethernet or CAN Interfacing

Centimeter level position accuracy



COMPACT, DUAL-ANTENNA GNSS RECEIVER DESIGNED TO DELIVER CENTIMETER ACCURATE POSITIONS AND PRECISE HEADING TO CHALLENGING GUIDANCE AND CONTROL APPLICATIONS.

THE LATEST IN GNSS TECHNOLOGY FROM TRIMBLE IS NOW AVAILABLE TO ORIGINAL EQUIPMENT MANUFACTURERS (OEM) AND SYSTEM INTEGRATORS.

The Trimble® BD982 GNSS system is a single board solution for precise position and heading. The product delivers the latest in GNSS signal support delivering multi-constellation RTK baselines between the two connected antennas and to a remote base station. With the Trimble BD982, OEM's and integrators can be assured their investment is sound today and into the future. The Trimble BD982 GNSS supports GPS L1/L2/L5 and GLONASS L1/L2 signals. In addition, Trimble is committed to the next generation of modernized GNSS configurations by providing Galileo-compatible products available for customers well in advance of Galileo system availability. In support of this plan, the new Trimble BD982 is capable of tracking the experimental GIOVE-A and GIOVE-B test satellites for signal evaluation and test purposes.^{1,2}

With the option of utilizing OmniSTAR VBS, XP, G2 and HP services, the BD982 delivers varying levels of GNSS performance right down to the sub-decimeter level, even without the use of a base station.

DUAL-ANTENNA INPUT

Single antenna GNSS systems have difficulty determining where the antenna is positioned relative to the vehicle and object of interest, especially when dynamics are low. External sensors can be used to augment this however these tend to drift when static. Heading derived from dual-antenna GNSS measurements overcomes these issues and is

now economically the right choice. The BD982 harnesses the power of the 220 channel Trimble Maxwell 6 Technology with dual chips supporting two antennas connected to the board. Independent observations from both antennas are passed to the processor where multi-constellation RTK baselines are computed. A single connection to the board via RS232, USB, Ethernet or CAN delivers both centimeter accurate positions and less than a tenth of a degree (2 meter baseline) heading accuracy.

FLEXIBLE INTERFACING

The Trimble BD982 was designed for easy integration and rugged dependability. Customers benefit from the Ethernet connectivity available on the board, allowing high speed data transfer and configuration via standard web browsers. Just like other Trimble embedded technologies; easy to use software commands simplify integration and reduce development times. All software features are password-upgradeable, allowing functionality to be upgraded as your requirements change.

COMPACT DESIGN

The compact form factor is suitable for applications where lightweight is a necessity. The BD982 is rigorously tested to perform in the harsh environments your products are built for, with the reliability you expect from Trimble.



TRIMBLE BD982 GNSS RECEIVER MODULE

TECHNICAL SPECIFICATIONS

- Position Antenna based on 220 Channel Maxwell 6 chip:
 - GPS: Simultaneous L1 C/A, L2E, L2C, L5
 - GLONASS: Simultaneous L1 C/A, L1 P, L2 C/A, L2 P
 - SBAS: Simultaneous L1 C/A, L5
 - GIOVE-A: Simultaneous L1 BOC, ESA, E5B, ESAItBOC¹
 - GIOVE-B: Simultaneous L1 CBOC, ESA, E5B, ESAItBOC¹
 - GALILEO: Disabled²
 - Vector Antenna based on second 220 Channel Maxwell 6 chip:
 - GPS: Simultaneous L1 C/A, L2C
 - GLONASS: Simultaneous L1 C/A, L1 P, L2 C/A, L2 P
 - Advanced Trimble Maxwell Custom GNSS Technology
 - High precision multiple correlator for GNSS pseudorange measurements
 - Unfiltered, unsmoothed pseudorange measurements data for low noise, low multipath error, low time domain correlation and high dynamic response
 - Very low noise GNSS carrier phase measurements with <1 mm precision in a 1 Hz bandwidth
 - Signal-to-Noise ratios reported in dB-Hz
 - Proven Trimble low elevation tracking technology
 - Initialization time³ typically <10 seconds
 - Initialization reliability³ typically >99.9%
 - 1 USB port
 - 1 CAN port
 - 1 LAN Ethernet port:
 - Supports links to 10BaseT/100BaseT networks
 - All functions are performed through a single IP address simultaneously—including web GUI access and raw data streaming
 - Network Protocols supported
 - HTTP (web GUI)
 - NTP Server
 - NMEA, GSOE, CMR etc over TCP/IP or UDP
 - NtripCaster, NtripServer, NtripClient
 - mDNSuPnP Service discovery
 - Dynamic DNS
 - eMail alerts
 - Network link to Google Earth
 - Support for external modems via PPP
 - 4 x RS232 ports
 - Baud rates up to 460,800
 - 1 Hz, 2 Hz, 5 Hz, 10 Hz, 20 & 50 Hz positioning outputs (depends on installed option)
 - Up to 50 Hz raw measurement & position outputs
- Reference outputs CMR, CMR+, RTCM 2.1, 2.2, 2.3, 3.0, 3.1
 Navigation outputs ASCII: NMEA-0183 GSV, AVR, RMC, HDT, VGK, VHD, ROT, GKG, GGA, GSA, ZDA, VTG, GST, PJT, PJK, BPQ, GLL, GRS, GBS and Binary: Trimble GSOE
- Control Software
 - HTML web browser. Internet Explorer 7.0 or later
 - Firefox 3.5 or later
 - Safari 4.0
 - Opera 9
 - Google Chrome
 - 1 Pulse Per Second Output
 - Event Marker Input Support

LED drive support 3 (Indicating Power, Satellite Tracking, and Differential Data)

POSITIONING SPECIFICATIONS

Mode	Accuracy ⁴	Latency ⁵	Maximum Rate
Single Baseline RTK (<30km)	8 mm + 1 ppm Horizontal	<20 ms	50 Hz
	15 mm + 1 ppm Vertical		
DGPS	0.25 m + 1 ppm Horizontal	<20 ms	50 Hz
	0.50 m + 1 ppm Vertical		
SBAS ⁶	<5 m 3DRMS	<20 ms	50 Hz

HEADING SPECIFICATIONS

Baseline	Accuracy ⁴	Maximum Rate
2 m	<0.09°	50 Hz
10 m	<0.05°	50 Hz

PHYSICAL CHARACTERISTICS

Size 100 mm X 84.9 mm X 11.6 mm
 Power 3.3V DC +5%/−3%
 Typical 2.1W (L1/L2 GPS)
 Typical 2.3W (L1/L2 GPS and G1/G2 GLONASS)
 Weight 92 grams
 Connectors
 I/O 40-pin header
 Antenna 2 x MMCX receptacle

ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS⁷

Temperature
 Operating −40 °C to +75 °C
 Storage −55 °C to +85 °C
 Vibration MILB10F, tailored
 Random 6.2 gRMS operating
 Random 8 gRMS survival
 Mechanical shock MILB10D
 ±40 g operating
 ±75 g survival

ORDERING INFORMATION

Module Trimble BD982 GNSS available in a variety of configurations from L1 DGPS upwards
 Evaluation Kit Includes interface board and power supply

¹ Galileo GIOVE-A and GIOVE-B test satellite support uses information that is unrestricted in the public domain and is intended for signal evaluation and test purposes.
² The hardware is compliant to Galileo OS S5 ICD, Draft 1, February 2008. Commercial sale of Galileo technology requires Trimble to acquire a Commercial license from the EUI. At the time of writing there is no process for obtaining a license. Therefore to comply with the ICD Copyright/PPR terms all Galileo firmwar/hardware functionality have been disabled. Depending upon the terms of the license an upgrade to full Galileo (L1 CBOC, ESA, E5B, ESAItBOC) may be offered. This will require an additional fee.
³ May be affected by atmospheric conditions, signal multipath, and satellite geometry. Initialization reliability is continuously monitored to ensure highest quality.
⁴ 1 sigma level.
⁵ At maximum output rate.
⁶ Depends on SBAS system performance.
⁷ Dependent on appropriate mounting/enclosure design.

© 2010, Trimble Navigation Limited. All rights reserved. Trimble and the Globe & Triangle logo are trademarks of Trimble Navigation Limited, registered in the United States and in other countries. Maxwell is a trademark of Trimble Navigation Limited. All other trademarks are the property of their respective owners. 02210

Specifications subject to change without notice.



AMERICAS & ASIA-PACIFIC
 Pacific Crest Corporation
 510 DeGulne Drive
 Sunnyvale, CA 94085
 USA
 +1-408-481-8070 Phone
 +1-408-481-8984 Fax

EMEA
 Pacific Crest Corporation
 HAL Trade Center
 Bevelandseweg 150
 1703 AX Heerhugowaard
 THE NETHERLANDS
 +31-725-724-408 Phone
 +31-725-348-288 Fax



NORTH AMERICA
 Trimble Navigation
 935 Stewart Drive
 Sunnyvale, CA 94085
 USA
 +1-408-481-8000 Phone
 +1-408-481-8984 Fax

ASIA-PACIFIC
 Trimble Navigation
 China - Shanghai
 311 Fute (M) Road, 3/F
 Wal Gaoqiao Free Trade Zone
 Pudong, Shanghai 200131
 +86-21-5046-4200 Phone
 +86-21-5046-0630 Fax

M0084101

定位定向系統-IMU (ADIS16488)



Tactical Grade Ten Degrees of Freedom Inertial Sensor

Data Sheet

ADIS16488

FEATURES

- Triaxial, digital gyroscope, $\pm 450^\circ/\text{sec}$ dynamic range
- $< \pm 0.05^\circ$ orthogonal alignment error
- $6^\circ/\text{hr}$ in-run bias stability
- $0.3^\circ/\text{hr}$ angular random walk
- 0.01% nonlinearity
- Triaxial, digital accelerometer, $\pm 18 g$
- Triaxial, delta angle and delta velocity outputs
- Triaxial, digital magnetometer, ± 2.5 gauss
- Digital pressure sensor, 300 mbar to 1100 mbar
- Fast start-up time, ~ 500 ms
- Factory-calibrated sensitivity, bias, and axial alignment
- Calibration temperature range: -40°C to $+70^\circ\text{C}$
- SPI-compatible serial interface
- Embedded temperature sensor
- Programmable operation and control
- Automatic and manual bias correction controls
- 4 FIR filter banks, 120 configurable taps
- Digital I/O: data-ready alarm indicator, external clock
- Alarms for condition monitoring
- Power-down/sleep mode for power management
- Optional external sample clock input: up to 2.4 kHz
- Single-command self-test
- Single-supply operation: 3.0 V to 3.6 V
- 2000 g shock survivability
- Operating temperature range: -40°C to $+85^\circ\text{C}$

APPLICATIONS

- Platform stabilization and control
- Navigation
- Personnel tracking
- Instrumentation
- Robotics

GENERAL DESCRIPTION

The ADIS16488 iSensor® device is a complete inertial system that includes a triaxis gyroscope, a triaxis accelerometer, triaxis magnetometer, and pressure sensor. Each inertial sensor in the ADIS16488 combines industry-leading iMEMS® technology with signal conditioning that optimizes dynamic performance. The factory calibration characterizes each sensor for sensitivity, bias, alignment, and linear acceleration (gyroscope bias). As a result, each sensor has its own dynamic compensation formulas that provide accurate sensor measurements.

The ADIS16488 provides a simple, cost-effective method for integrating accurate, multi-axis inertial sensing into industrial systems, especially when compared with the complexity and investment associated with discrete designs. All necessary motion testing and calibration are part of the production process at the factory, greatly reducing system integration time. Tight orthogonal alignment simplifies inertial frame alignment in navigation systems. The SPI and register structure provide a simple interface for data collection and configuration control.

The ADIS16488 uses the same footprint and connector system as the ADIS16375, which greatly simplifies the upgrade process. It comes in a module that is approximately $47 \text{ mm} \times 44 \text{ mm} \times 14 \text{ mm}$ and has a standard connector interface.

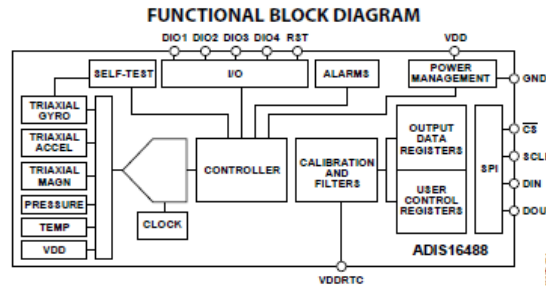


Figure 1.

Rev. G [Document Feedback](#)
 Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
 Tel: 781.329.4700 ©2011–2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved.
[Technical Support](#) www.analog.com

影像處理軟體 Pix4dmapper

項目	功能要求
(1)	須可同時處理空中垂直攝影與傾斜攝影及地面拍攝影像
(2)	須可自動匯入或自行設定相機的內方位參數
(3)	須可自動匯入具定位定向資訊的 UAS 影像。另須可匯入影像後手動匯入定位定向資訊
(4)	具備控制點、檢核點及手動增點的編修功能
(5)	支援包含 WGS84 及 TWD97 坐標系統
(6)	支援 GPU 計算，提升運算速度
(7)	具備相機自率定與空三平差功能
(8)	須可輸出率定成果、精度報表及空三計算出之外方位參數
(9)	須可進行點雲編修，點位精度與匹配準確性的確認與改善
(10)	具備影像匹配功能，可生成高解析度之數值地表模型 (DSM)
(11)	具備影像鑲嵌線編輯功能
(12)	具備生成三維模型 (mesh) 功能



Pix4Dmapper 4.2 / FEATURE LIST

	Features	Advantages	
INPUTS	Aerial (nadir & oblique) & terrestrial imagery	☁️ 📷 Process images taken from any angle with from aerial or terrestrial, manned or unmanned platform	(1)
	Video (mp4 or avi format)	📷 Automatically extracts still frames from videos to create a project	
	Any camera (compact, SLR, thermal, multispectral, GoPro, 360°, Tetracam, large-frame, etc.) images in .jpg or .tiff	☁️ 📷 Use images acquired with any camera, from small to large frames, from consumer-grade to highly specialized cameras	
	Multi-camera support in the same project	☁️ 📷 Create a project using images from different cameras and process them together	
	Camera rig support	📷 Process images using known rig relatives from multiple synchronized cameras	
	Ground control point edit and import	📷 Import and edit ground control points to improve the absolute accuracy of your project	(4)
	Known or custom reference coordinate system support in imperial or metric units	📷 Select EPSG code from known coordinate systems or define your own local system	(5)
	Camera exterior orientation support	☁️ 📷 Optimize camera exterior orientation parameters starting from GPS and IMU input parameters	(3)
	External point cloud import	📷 Import point clouds from different sources, such as LIDAR, to generate DSMs & orthomosaics	
PROCESSING	Processing templates	📷 Automate processing and generation of outputs by using standard or customized templates	
	Rapid Check with Quality Report	📷 Rapid processing template for a quick dataset-check while still on site	
	Camera self-calibration	☁️ 📷 Optimize internal camera parameters, such as focal length, principal point of autocollimation and lens distortions	(7)
	Rolling shutter effect correction	📷 Correct the warp of images taken with rolling shutter cameras (like GoPro, DJI Phantoms, etc.) to maintain accuracy, even when flying fast and low.	
	Automatic Aerial Triangulation (AAT) and Bundle Block Adjustment (BBA)	☁️ 📷 Process automatically with or without known camera exterior orientations: (x, y, z, w, f, k)	
	Automatic point cloud densification	☁️ 📷 Produce a dense and detailed 3D point cloud, which can be used as a basis for DSM and 3D mesh	
	Automatic point cloud filtering & smoothing	☁️ 📷 Use presets for point cloud filtering and smoothing options	
	Machine-learning point cloud classification	📷 Automatically classify the RGB dense point cloud into five groups: ground, road surfaces, high vegetation, buildings and human-made objects	
	Automatic DTM/DEM extraction	📷 Remove above-ground objects from DSM and create a bare-Earth model	
	Automatic brightness and color correction	☁️ 📷 Compensate automatically for change of brightness, luminosity and color balancing of images	
	Automatic outlier detection	📷 Detect and visualize incorrectly-clicked MTPs (Manual Tie Points)/GCPs (Ground Control Points)	
	Quality Report	☁️ 📷 Assess the accuracy and quality of projects	
	Project merging and splitting	📷 Combine multiple projects into one or split large projects into several for more efficient processing	
	Project area definition	📷 Import (.shp) or draw specific areas to faster generate results inside specific boundaries	
Custom number of keypoints	📷 Set the number of keypoints to filter noise or speed up processing		
Multiprocessor CPU + GPU support	📷 Increase the processing speed by leveraging the power of CPU cores and threads, as well as GPUs	(6)	
	Radiometric processing and calibration	📷 Calibrate and correct the image reflectance, taking the illumination and sensor influence into consideration	
RAYCLOUD EDITOR	Project visualization	📷 Assess quality of optimized camera positions, 3D point cloud and mesh	
	Navigation modes	📷 View 3D point cloud and mesh in standard, trackball, or first person viewing modes	
	Scale Constraint	📷 Accurately scale projects with no or imprecise geolocation by defining one/multiple distances	
	Orientation Constraint	📷 Orientate projects with no or imprecise geolocation by defining directions of one/multiple axes	
	Ground control point (GCP) / Manual tie point (MTP) editing	📷 Annotate and edit 2D and 3D GCPs, check points, and MTPs with the highest accuracy, using both original images and 3D information at the same time	
	Ellipsoid error visualization	📷 Visually assess the size of the error of the computed position of a GCP or MTP	
	Project reoptimization	📷 Reoptimize camera positions and/or rematch images based on GCPs & MTPs to improve reconstruction	
	Image masking	📷 Carve: Remove points from 3D point cloud and create filters based on image content.	
		📷 Mask: Clear the unwanted background in orthoplane results.	
	Point cloud editing	📷 Select, classify or delete points from the point cloud using various selection tools	(9)
	Orthoplane creation	📷 Define a plane to generate a DSM and orthomosaic from building facades, bridge piles, etc	(10)
	Polyline and surface object creation	📷 Annotate and measure polylines and surfaces in the point cloud.	
		📷 Accurately refine vertexes in multiple original images.	
3D mesh and DSM editing	📷 Annotate & create surfaces in the point cloud to flatten an area or fill up holes in the mesh and DSM	(12)	
Fly-through animation	📷 Create a virtual camera trajectory, play the animation in real-time and export it		

VOLUME MANAGER	Volume object creation	☒	Annotate and measure volumes based on the DSM
	Volume object management	☒	Import and export selected volume bases in .shp files to enable easy monitoring of stockpiles on site.
	Base adjustment	☒	Adjust the reference base to fit different terrain and obtain accurate measurement.
MOSAIC EDITOR	Region editing	☒	Create and edit regions on the orthomosaic, choose the best content from multiple underlying images and projection type to remove moving objects or artifacts (11)
	Local blending	☒	Edit only the desired portion of the orthomosaic, blend it in real-time and get the improved orthomosaic within minutes (11)
	Planar or ortho projection selection	☒	Select planar or ortho projection for each created region to remove artifacts
INDEX CALCULATOR	Radiometric adjustment interface	☒	Make the indices more reliable and accurate by correcting illumination effects using a radiometric target
	Reflectance map	☒	Generate an accurate Reflectance map at the preferred resolution as a basis of index maps
	Multiple region management	☒	Improve your analysis by managing and visualizing Index values per region
	Automatic NDVI map	☒	Generate singleband and NDVI maps based on pre-defined formulas without user intervention
	Index formula editing	☒	Create and save your own formulas choosing among each available input band and generate custom index maps
	Class management	☒	Create a basis of your annotated vector map by segmenting the data into classes using statistical algorithms (equal spacing, equal area, Jenks)
	Prescription annotation	☒	Match on-site scouts and observations by assigning annotations based on your decisions
	Prescription map export	☒	Put your data into action and export the prescription map in .shp format
OUTPUT RESULTS	2D output results:	☒ ☒	Nadir orthomosaics in GeoTIFF output format
		☒	Orthomosaics from user-defined orthoplane in GeoTIFF output format
		☒	Google tiles export in .kml and .html output formats
		☒	Index maps (Thermal, DVI, NDVI, SAVI, etc.) in GeoTIFF and GeoJPG format
	2.5D output results:	☒ ☒	Nadir DSMs and DTMs in GeoTIFF format
		☒	DSMs from user-defined orthoplane in GeoTIFF output format
	3D output results:	☒	<ul style="list-style-type: none"> • 3D PDF for easy sharing of 3D mesh • Full 3D textured mesh in .obj, .ply, .dxf, and .fbx format • Tiled Level-of-detail (LOD) mesh in osgb and slpk (Esri) format • Point cloud in .las, .laz, .xyz and .ply output format • Contour lines in .shp, .dxf, .pdf format • User-defined vector objects in .dxf, .shp, .dgn and .kml format
☒		<ul style="list-style-type: none"> • Full 3D textured mesh in .obj and .fbx format • Point cloud in .las output format • Georeferenced annotations in .csv, GEOjson, and .shp format 	
☒		Export the animation in .mp4 and .avi formats and the fly-through waypoints and path in .csv format	
	Optimized camera position, external orientation and internal parameters, undistorted images	☒	Export Aerial Triangulation results into traditional photogrammetry software solutions (e.g. INPHO, Leica LPS, DAT/EM Summit Evolution) (8)
CLOUD PLATFORM	Web processing, visualization, inspection and collaboration	☒	Process on the cloud -using any web browser-
		☒	Visualize 2D maps and 3D models -mesh & point cloud visualization options-
		☒	Instant measurement of distances and surfaces
		☒	Inspect objects: visually connect a 3D point and the original images used to compute its location
		☒	Share Projects with annotations via a simple link
		☒	Embed project output in a webpage
MULTI-LINGUAL	Language Options	☒	English, Spanish, Mandarin (zh-CN, zh-TW), Russian, German, French, Japanese, Italian and Korean
	Cloud platform Desktop platform	☒	English, Japanese

2 | 2

HARDWARE SPECS



CPU: (quad-core or hexa-core Intel i7/ Xeon recommended)



HD: (SSD recommended)



GPU: Compatible with OpenGL 3.2 (GeForce 2 GB RAM recommended)



OS: Windows 7, 8, 10 64 bits
Linux (Enterprise only)



Pix4D SA
EPFL Innovation Park, Building F
1015 Lausanne, Switzerland
+41 21 552 0596

General inquiries: info@pix4d.com
Sales inquiries: sales@pix4d.com

www.pix4d.com



🔍 Search in support site, articles, community posts...

Support > Desktop > Manual

Menu Project > Image Properties Editor... > Selected Camera Model

Follow

Index > Interface > Menu Project > Image Properties Editor...

◀ Previous | Next ▶

📖 Access: On the menu bar, click Project > Image Properties Editor...

📖 Access via the New Project wizard: When creating a new project, the *Image Properties* window appears after loading the images.

The *Selected Camera Model* section is used to describe the selected camera model(s) associated with the images.

Image Properties Editor

Image Geolocation

Coordinate System

✔️ Datum: World Geodetic System 1984; Coordinate System: WGS 84 Edit...

Geolocation and Orientation

✔️ Geolocated Images: 127 out of 127 Clear From EXIF From File... To File...

Geolocation Accuracy: Standard Low Custom

Selected Camera Model

✔️ CanonIXUS220HS_4.3_4000x3000 (RGB) Edit...

Enabled	Image	Group	Latitude [degree]	Longitude [degree]	Altitude [m]	Accuracy Horz [m]	Accuracy Vert [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
<input checked="" type="checkbox"/>	IMG_1146.JPG	group1	6.54318705	46.65611328	783.649	5.000	10.000	1.89489	6.71999	90.81948
<input checked="" type="checkbox"/>	IMG_1147.JPG	group1	6.54235243	46.65602724	778.432	5.000	10.000	-0.68792	4.37147	100.75500
<input checked="" type="checkbox"/>	IMG_1148.JPG	group1	6.54153660	46.65609830	780.023	5.000	10.000	4.78740	2.96335	94.67581
<input checked="" type="checkbox"/>	IMG_1149.JPG	group1	6.54066732	46.65609371	779.153	5.000	10.000	4.56705	4.41950	101.12925
<input checked="" type="checkbox"/>	IMG_1150.JPG	group1	6.53981693	46.65614777	780.264	5.000	10.000	4.35986	3.08310	90.84544
<input checked="" type="checkbox"/>	IMG_1151.JPG	group1	6.53895543	46.65619302	779.011	5.000	10.000	4.41374	2.92741	93.45951
<input checked="" type="checkbox"/>	IMG_1152.JPG	group1	6.53810604	46.65621426	781.004	5.000	10.000	4.89944	2.05931	94.70718
<input checked="" type="checkbox"/>	IMG_1153.JPG	group1	6.53723190	46.65624990	780.753	5.000	10.000	8.45570	3.47016	90.57303

OK Cancel Help

(2)

The status indicator is represented with the left icon:

- ✔: The camera model is valid, if it is retrieved from Pix4Dmapper's camera model database, from the user's camera model database, from a project file, or from the image EXIF data if enough information exists in the data.
- ✘: The camera model is invalid if the camera model does not correspond to any model of the camera model databases and if the EXIF data of the images does not have sufficient information about the camera model.

On the right of the status indicator, there is an icon that describes the source of the camera model:

- 📁: Camera model taken from the Pix4Dmapper's camera model database.
- ✎: Camera model taken from the Pix4Dmapper's camera model database with some user-edited values. **(2)**
- 👤: Camera model taken from the user's camera model database.
- 📷: Camera model taken from the image EXIF data when the camera model does not exist in the Pix4Dmapper's or the user's database and there is valid information in the EXIF data.
- 📄: Camera model taken from the .p4d project file when a .p4d file is opened and its camera model does not exist in the Pix4Dmapper's or the user's database.

Beside the status indicator, appears the EXIF ID (*CameraModel_ FocalLength_ResolutionWidthxResolutionHeight*) and the band configuration.

On the right of the *Selected Camera Model* section there are the following buttons:

- Edit...**: Opens the *Edit Camera Model* pop-up which allows the user to edit the corresponding camera model. For more information about the *Edit Camera Model* window: [Menu Project > Image Properties Editor... > Selected Camera Model > Edit Camera Model](#).
- Assign** (optional): Appears if more than one camera models are detected (e.g. multiple flights with different cameras or merged projects). By clicking it, the corresponding camera model is assigned to other detected camera models that have the same image width and height.

[Index > Interface > Menu Project > Image Properties Editor...](#)

[◀ Previous](#) | [Next ▶](#)

Was this article helpful?   0 out of 0 found this helpful

Related articles

[Menu Project > Image Properties Editor... > Selected Camera Model > Edit Camera Model](#)
[Menu Project > Image Properties Editor... > Image Geolocation](#)
[Pix4Dmapper Software Manual > Table View](#)

Article feedback (for troubleshooting, post [here](#))

0 comments

Please [sign in](#) to leave a comment.



附錄八 數位相機率定報告

一、Sony α7R III 搭配焦距 21mm 鏡頭

CAMERA CALIBRATION REPORT

PROJECT DETAILS

Camera: SONY ILCE-7M3

Filename: D:\20190510_A7III_NCSL\20190510_A7III_NCSL.aus

Calibration Date: 10/05/2019 9:50am

METRIC CALIBRATION PARAMETERS

Resolution = 6000 x 4000 pixels

Pixel width = 0.0059mm, Pixel height = 0.0059mm

	VALUE	STANDARD ERROR
Principal distance	c = 21.3317mm	< 0.001mm
Principal point offset in x-image coordinate	xp = -0.0243mm	< 0.001mm
Principal point offset in y-image coordinate	yp = 0.0565mm	< 0.001mm
3rd-order term of radial distortion correction	K1 = 1.63764e-004	2.6548e-007
5th-order term of radial distortion correction	K2 = -2.99215e-007	3.3592e-009
7th-order term of radial distortion correction	K3 = 1.15004e-010	1.3023e-011
Coefficient of decentering distortion	P1 = 5.3375e-006	3.111e-007
Coefficient of decentering distortion	P2 = 8.3784e-006	3.143e-007
No significant differential scaling present	B1 = 0.0000e+000	2.572e-020
No significant non-orthogonality present	B2 = 0.0000e+000	2.572e-020
9th-order term of radial distortion correction	K4 = 0.00000e+000	2.5720e-036
11th-order term of radial distortion correction	K5 = 0.00000e+000	2.5720e-040

STANDARD CORRECTION EQUATION

The corrected image coordinates $x(\text{corr})$ & $y(\text{corr})$ can be calculated from the measured coordinates $x(\text{meas})$ & $y(\text{meas})$ by using the formulas:

$$x = x(\text{meas}) - xp$$

$$y = y(\text{meas}) - yp$$

x and y are now with respect to the principal point,

$$r^2 = x^2 + y^2$$

$$dr = K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7 + K4 \cdot r^9 + K5 \cdot r^{11}$$

$$x(\text{corr}) = x(\text{meas}) - xp + x \cdot dr / r + P1 \cdot (r^2 + 2x^2) + 2 \cdot P2 \cdot x \cdot y$$

$$y(\text{corr}) = y(\text{meas}) - yp + y \cdot dr / r + P2 \cdot (r^2 + 2y^2) + 2 \cdot P1 \cdot x \cdot y$$

Camera self-calibration determined in a network of 24 images and 895 points, to an image measurement accuracy (RMS 1-sigma) of 0.12 pixels or 0.73 um, and of 1.0.

Produced by Australis from Photometrix - <http://www.photometrix.com.au>

PAGE 1 of 10

CAMERA CALIBRATION REPORT

GAUSSIAN RADIAL DISTORTION CORRECTION PROFILE (dr)

For principal distance c , Gaussian radial distortion correction dr (microns) is given for any radial distance r (mm) as:

$$dr = K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7 + K4 \cdot r^9 + K5 \cdot r^{11}$$

$$\text{correction } dx = x \cdot dr/r$$

$$\text{correction } dy = y \cdot dr/r$$

	VALUE	STANDARD ERROR
$c =$	21.332mm	0.0010mm
$K1 =$	1.63764e-004	2.6548e-007
$K2 =$	-2.99215e-007	3.3592e-009
$K3 =$	1.15004e-010	1.3023e-011
$K4 =$	2.45430e-054	2.5720e-036
$K5 =$	3.26417e-060	2.5720e-040

$r(\text{mm})$	$dr(\text{microns})$
0.00	0.0
2.00	1.3
4.00	10.2
6.00	33.1
8.00	74.3
10.00	135.0
12.00	212.7
14.00	300.6
16.00	387.9
18.00	460.1
20.00	499.8



CAMERA CALIBRATION REPORT

BALANCED RADIAL DISTORTION CORRECTION PROFILE(dr)

For 'balanced' principal distance cb , radial distortion correction dr (microns) is given for any radial distance r (mm) as:

$$dr = K0 \cdot r + K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7 + K4 \cdot r^9 + K5 \cdot r^{11}$$

$$cb = 20.8548\text{mm}$$

$$K0 = -2.23566\text{e-}002$$

$$K1 = 1.60103\text{e-}004$$

$$K2 = -2.92525\text{e-}007$$

$$K3 = 1.12433\text{e-}010$$

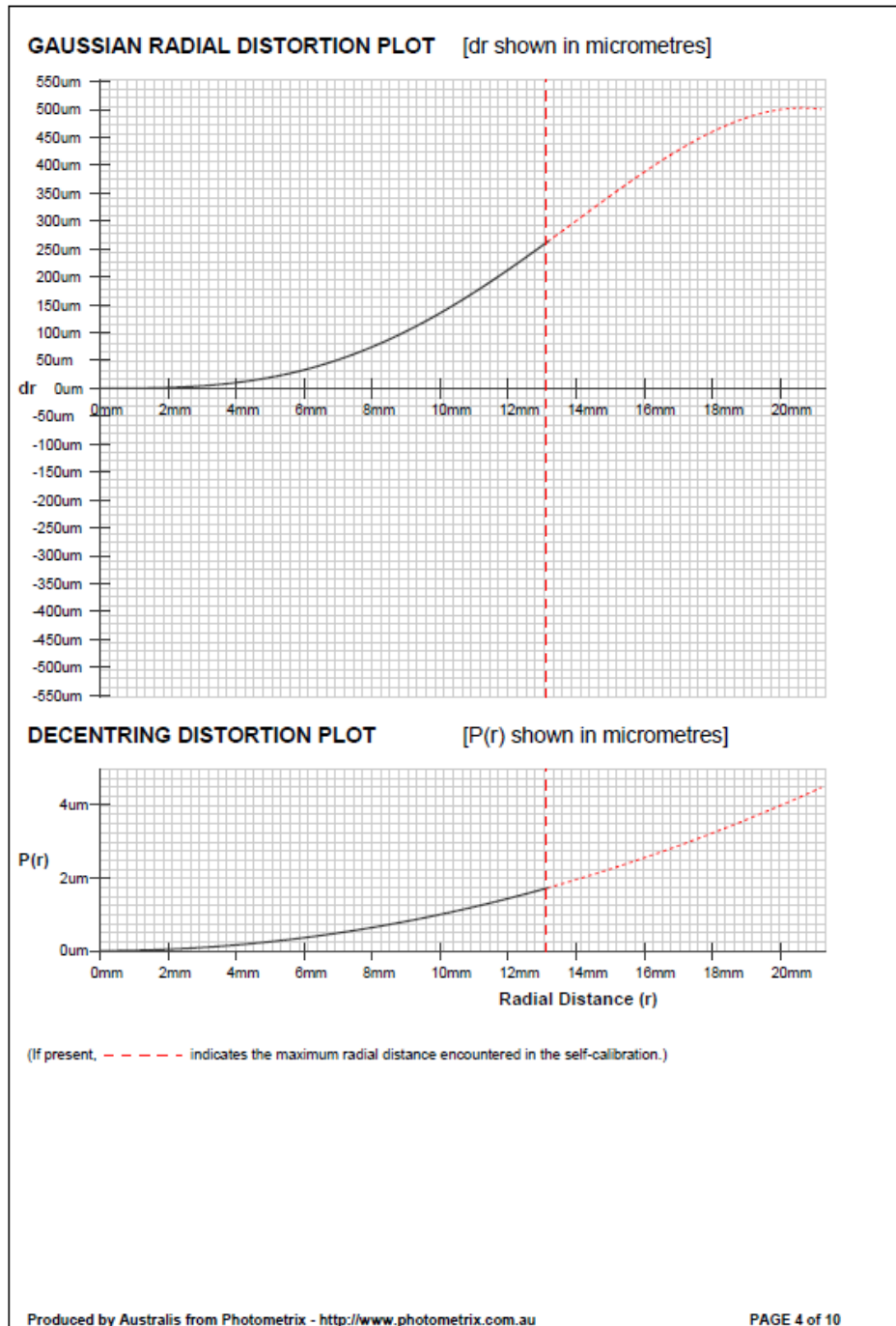
$$K4 = 2.39943\text{e-}054$$

$$K5 = 3.19119\text{e-}060$$

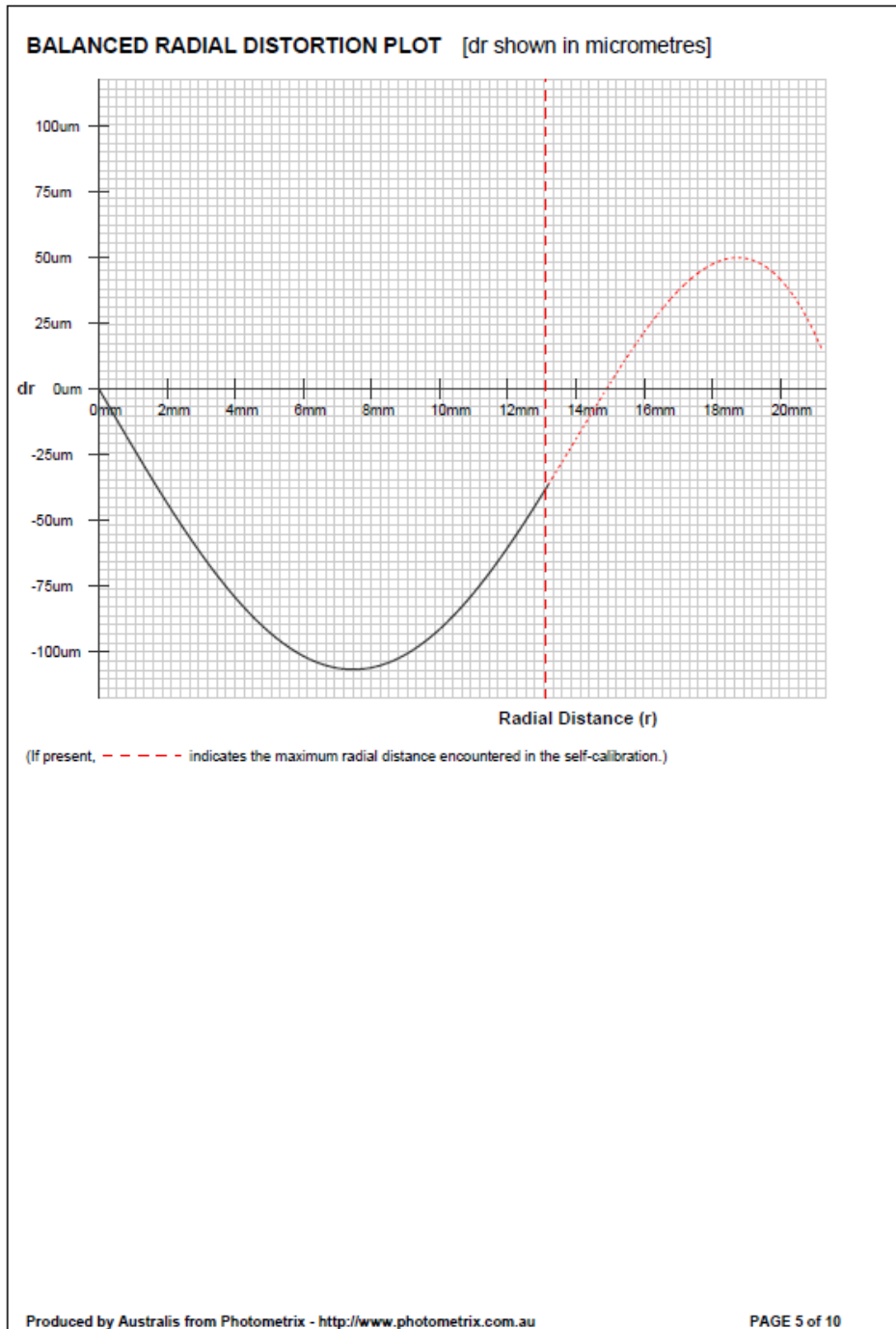
r(mm)	dr(microns)
0.00	0.0
2.00	-43.4
4.00	-79.5
6.00	-101.8
8.00	-106.2
10.00	-91.6
12.00	-60.4
14.00	-19.1
16.00	21.5
18.00	47.4
20.00	41.5

Distortion profile is 'balanced' ($dr = 0.0$) about a radial distance of $r = 14.9\text{mm}$

CAMERA CALIBRATION REPORT



CAMERA CALIBRATION REPORT



二、Sony α7R II 搭配焦距 21mm 鏡頭

CAMERA CALIBRATION REPORT

PROJECT DETAILS

Camera: SONY ILCE-7RM2

Filename: E:\work\客戶\20180615_A7RII_21mm(2)\20180615_A7RII_21mm(2).aus

Calibration Date: 15/06/2018 17:50pm

METRIC CALIBRATION PARAMETERS

Resolution = 7952 x 5304 pixels

Pixel width = 0.0045mm, Pixel height = 0.0045mm

	VALUE	STANDARD ERROR
Principal distance	c = 21.4918mm	0.001mm
Principal point offset in x-image coordinate	xp = -0.0276mm	< 0.001mm
Principal point offset in y-image coordinate	yp = 0.0515mm	< 0.001mm
3rd-order term of radial distortion correction	K1 = 1.40129e-04	2.3734e-07
5th-order term of radial distortion correction	K2 = -2.75819e-07	1.4988e-09
7th-order term of radial distortion correction	K3 = 1.16975e-10	2.9745e-12
Coefficient of decentering distortion	P1 = -2.8085e-06	3.413e-07
Coefficient of decentering distortion	P2 = 1.4293e-05	2.506e-07
No significant differential scaling present	B1 = 0.0000e+00	5.332e-20
No significant non-orthogonality present	B2 = 0.0000e+00	5.332e-20
9th-order term of radial distortion correction	K4 = 0.00000e+00	5.3316e-36
11th-order term of radial distortion correction	K5 = 0.00000e+00	5.3316e-40

STANDARD CORRECTION EQUATION

The corrected image coordinates $x(\text{corr})$ & $y(\text{corr})$ can be calculated from the measured coordinates $x(\text{meas})$ & $y(\text{meas})$ by using the formulas:

$$x = x(\text{meas}) - xp$$

$$y = y(\text{meas}) - yp$$

x and y are now with respect to the principal point,

$$r^2 = x^2 + y^2$$

$$dr = K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7 + K4 \cdot r^9 + K5 \cdot r^{11}$$

$$x(\text{corr}) = x(\text{meas}) - xp + x \cdot dr/r + P1 \cdot (r^2 + 2x^2) + 2 \cdot P2 \cdot x \cdot y$$

$$y(\text{corr}) = y(\text{meas}) - yp + y \cdot dr/r + P2 \cdot (r^2 + 2y^2) + 2 \cdot P1 \cdot x \cdot y$$

Camera self-calibration determined in a network of 40 images and 611 points, to an image measurement accuracy (RMS 1-sigma) of 0.25 pixels or 1.12 um, and of 1.0.

Produced by Australis from Photometrix - <http://www.photometrix.com.au>

PAGE 1 of 5



CAMERA CALIBRATION REPORT

GAUSSIAN RADIAL DISTORTION CORRECTION PROFILE (dr)

For principal distance c , Gaussian radial distortion correction dr (microns) is given for any radial distance r (mm) as:

$$dr = K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7 + K4 \cdot r^9 + K5 \cdot r^{11}$$

$$\text{correction } dx = x \cdot dr/r$$

$$\text{correction } dy = y \cdot dr/r$$

	VALUE	STANDARD ERROR
$c =$	21.492mm	0.0011mm
$K1 =$	1.40129e-04	2.3734e-07
$K2 =$	-2.75819e-07	1.4988e-09
$K3 =$	1.16975e-10	2.9745e-12
$K4 =$	-2.70954e-53	5.3316e-36
$K5 =$	-1.10154e-58	5.3316e-40

$r(\text{mm})$	$dr(\text{microns})$
0.00	0.0
2.00	1.1
4.00	8.7
6.00	28.2
8.00	63.0
10.00	113.7
12.00	177.7
14.00	248.5
16.00	316.2
18.00	367.7
20.00	388.1

CAMERA CALIBRATION REPORT

BALANCED RADIAL DISTORTION CORRECTION PROFILE(dr)

For 'balanced' principal distance cb , radial distortion correction dr (microns) is given for any radial distance r (mm) as:

$$dr = K0 \cdot r + K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7 + K4 \cdot r^9 + K5 \cdot r^{11}$$

$$cb = 21.0911\text{mm}$$

$$K0 = -1.86438\text{e-}02$$

$$K1 = 1.37517\text{e-}04$$

$$K2 = -2.70677\text{e-}07$$

$$K3 = 1.14794\text{e-}10$$

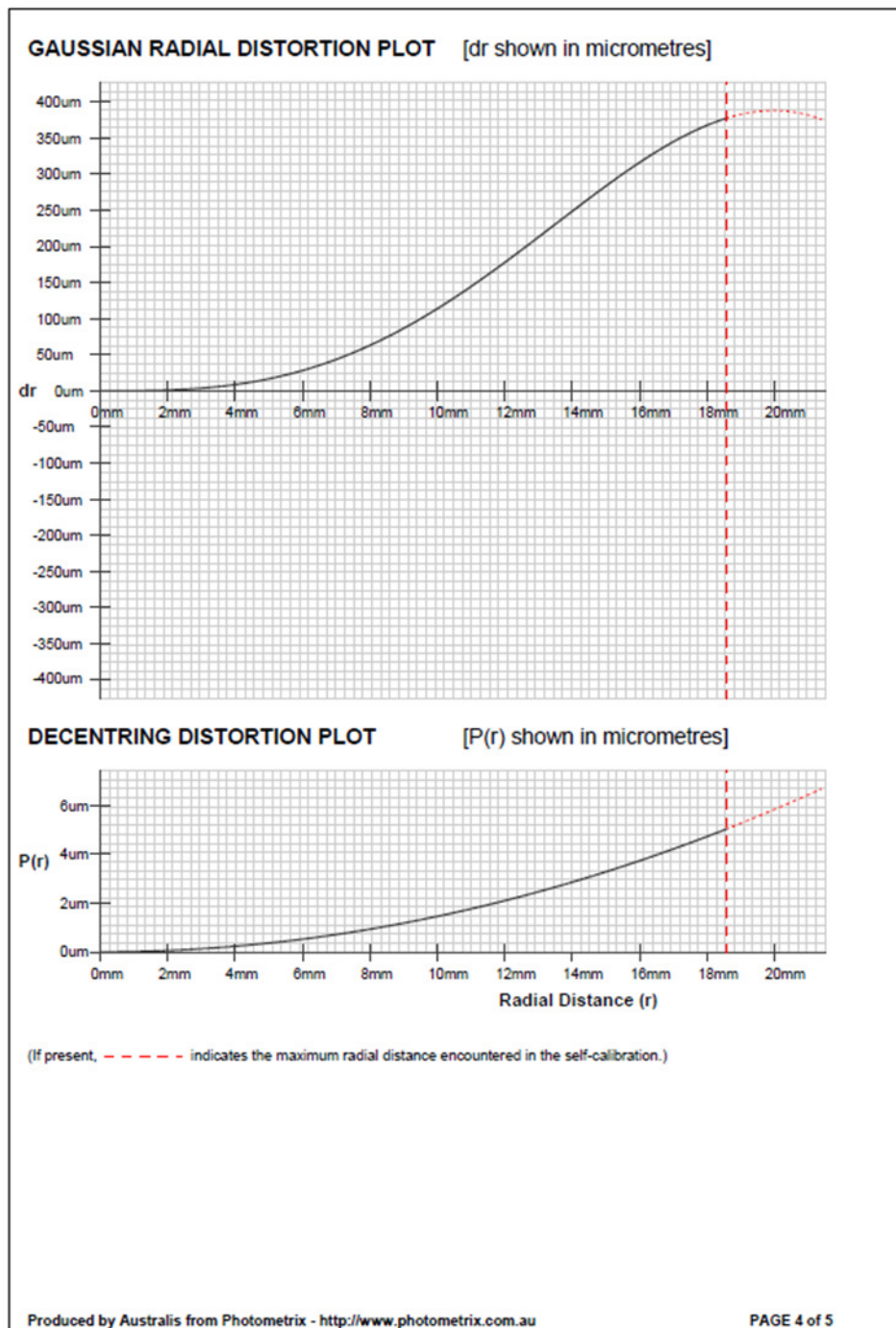
$$K4 = -2.65902\text{e-}53$$

$$K5 = -1.08100\text{e-}58$$

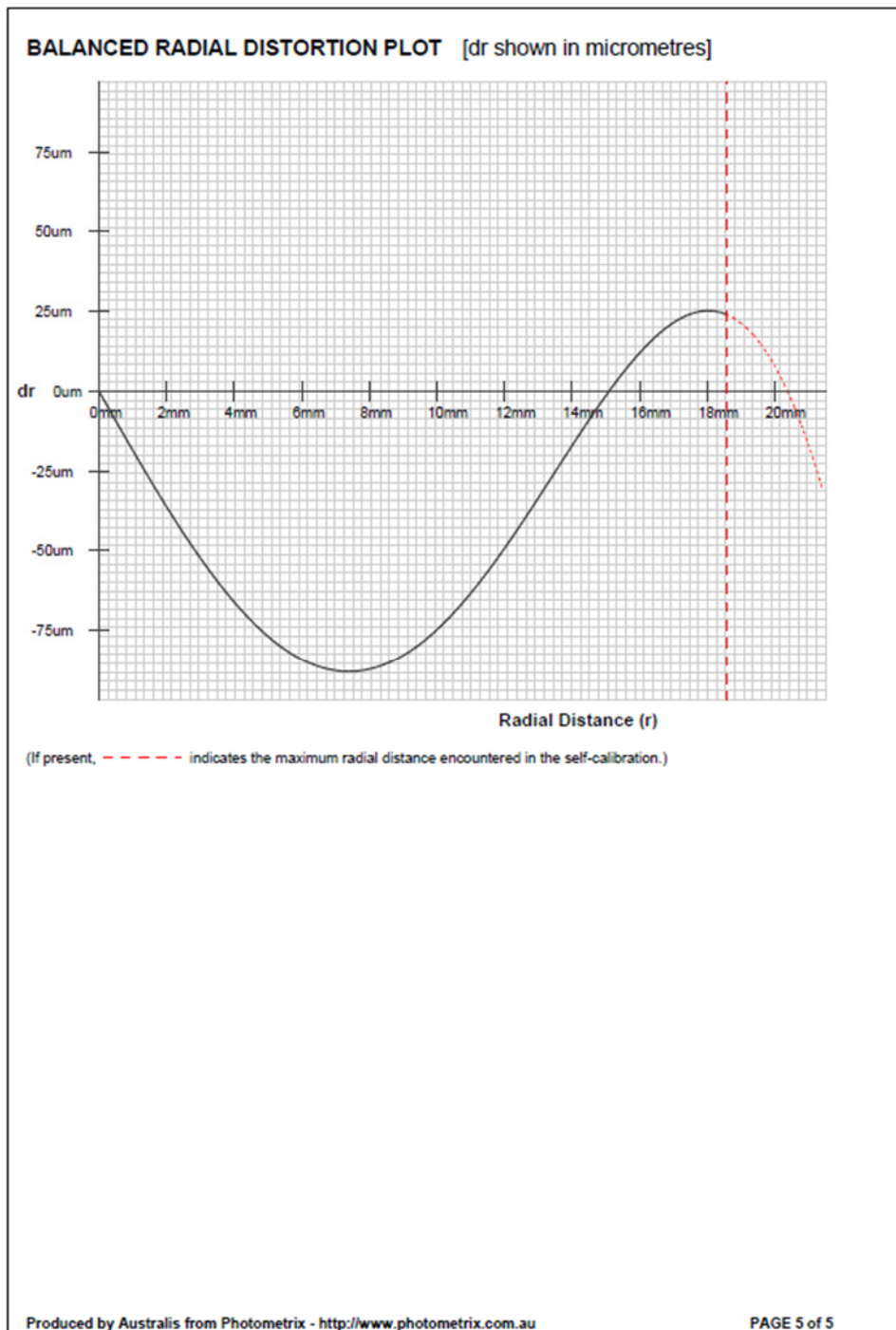
r(mm)	dr(microns)
0.00	0.0
2.00	-36.2
4.00	-66.0
6.00	-84.2
8.00	-87.4
10.00	-74.8
12.00	-49.3
14.00	-17.1
16.00	12.0
18.00	25.2
20.00	8.0

Distortion profile is 'balanced' ($dr = 0.0$) about a radial distance of $r = 15.1\text{mm}$

CAMERA CALIBRATION REPORT



CAMERA CALIBRATION REPORT



三、Sony α7R 搭配焦距 21mm 鏡頭

CAMERA CALIBRATION REPORT

PROJECT DETAILS

Camera: SONY ILCE-7R
 Filename: C:\Data\Sonya7r21mm_20160523.aus
 Calibration Date: 23/05/2016 14:58pm

METRIC CALIBRATION PARAMETERS

Resolution = 7360 x 4912 pixels
 Pixel width = 0.0049mm, Pixel height = 0.0049mm

	VALUE	STANDARD ERROR
Principal distance	c = 21.4915mm	< 0.001mm
Principal point offset in x-image coordinate	xp = -0.1612mm	< 0.001mm
Principal point offset in y-image coordinate	yp = 0.0685mm	< 0.001mm
3rd-order term of radial distortion correction	K1 = 1.42854e-04	1.7309e-07
5th-order term of radial distortion correction	K2 = -2.69432e-07	8.2187e-10
7th-order term of radial distortion correction	K3 = 1.09469e-10	1.2698e-12
Coefficient of decentering distortion	P1 = 5.8984e-06	2.291e-07
Coefficient of decentering distortion	P2 = -5.6737e-06	1.491e-07
Differential scaling between x & y	B1 = 1.1166e-04	3.085e-06
Non-orthogonality between x & y axes	B2 = -1.2010e-04	3.098e-06
9th-order term of radial distortion correction	K4 = 0.00000e+00	5.8430e-36
11th-order term of radial distortion correction	K5 = 0.00000e+00	5.8430e-40

STANDARD CORRECTION EQUATION

The corrected image coordinates x(corr) & y(corr) can be calculated from the measured coordinates x(meas) & y(meas) by using the formulas:

$$x = x(\text{meas}) - xp$$

$$y = y(\text{meas}) - yp$$

x and y are now with respect to the principal point,

$$r^2 = x^2 + y^2$$

$$dr = K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7 + K4 \cdot r^9 + K5 \cdot r^{11}$$

$$x(\text{corr}) = x(\text{meas}) - xp + x \cdot dr/r + P1 \cdot (r^2 + 2x^2) + 2 \cdot P2 \cdot x \cdot y$$

$$y(\text{corr}) = y(\text{meas}) - yp + y \cdot dr/r + P2 \cdot (r^2 + 2y^2) + 2 \cdot P1 \cdot x \cdot y$$

Camera self-calibration determined in a network of 40 images and 873 points, to an image measurement accuracy (RMS 1-sigma) of 0.28 pixels or 1.35 um, and of 1.0.

Produced by Australis from Photometrix - <http://www.photometrix.com.au>

PAGE 1 of 5

CAMERA CALIBRATION REPORT

GAUSSIAN RADIAL DISTORTION CORRECTION PROFILE (dr)

For principal distance c , Gaussian radial distortion correction dr (microns) is

given for any radial distance r (mm) as:

$$dr = K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7 + K4 \cdot r^9 + K5 \cdot r^{11}$$

$$\text{correction } dx = x \cdot dr/r$$

$$\text{correction } dy = y \cdot dr/r$$

	VALUE	STANDARD ERROR
$c =$	21.492mm	0.0007mm
$K1 =$	1.42854e-04	1.7309e-07
$K2 =$	-2.69432e-07	8.2187e-10
$K3 =$	1.09469e-10	1.2698e-12
$K4 =$	-1.50167e-52	5.8430e-36
$K5 =$	-5.75399e-58	5.8430e-40

r(mm)	dr(microns)
0.00	0.0
2.00	1.1
4.00	8.9
6.00	28.8
8.00	64.5
10.00	117.0
12.00	183.7
14.00	258.6
16.00	332.0
18.00	391.0
20.00	420.8

CAMERA CALIBRATION REPORT

BALANCED RADIAL DISTORTION CORRECTION PROFILE(dr)

For 'balanced' principal distance cb , radial distortion correction dr (microns) is given for any radial distance r (mm) as:

$$dr = K0 \cdot r + K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7 + K4 \cdot r^9 + K5 \cdot r^{11}$$

$$cb = 21.0729\text{mm}$$

$$K0 = -1.94756e-02$$

$$K1 = 1.40072e-04$$

$$K2 = -2.64185e-07$$

$$K3 = 1.07337e-10$$

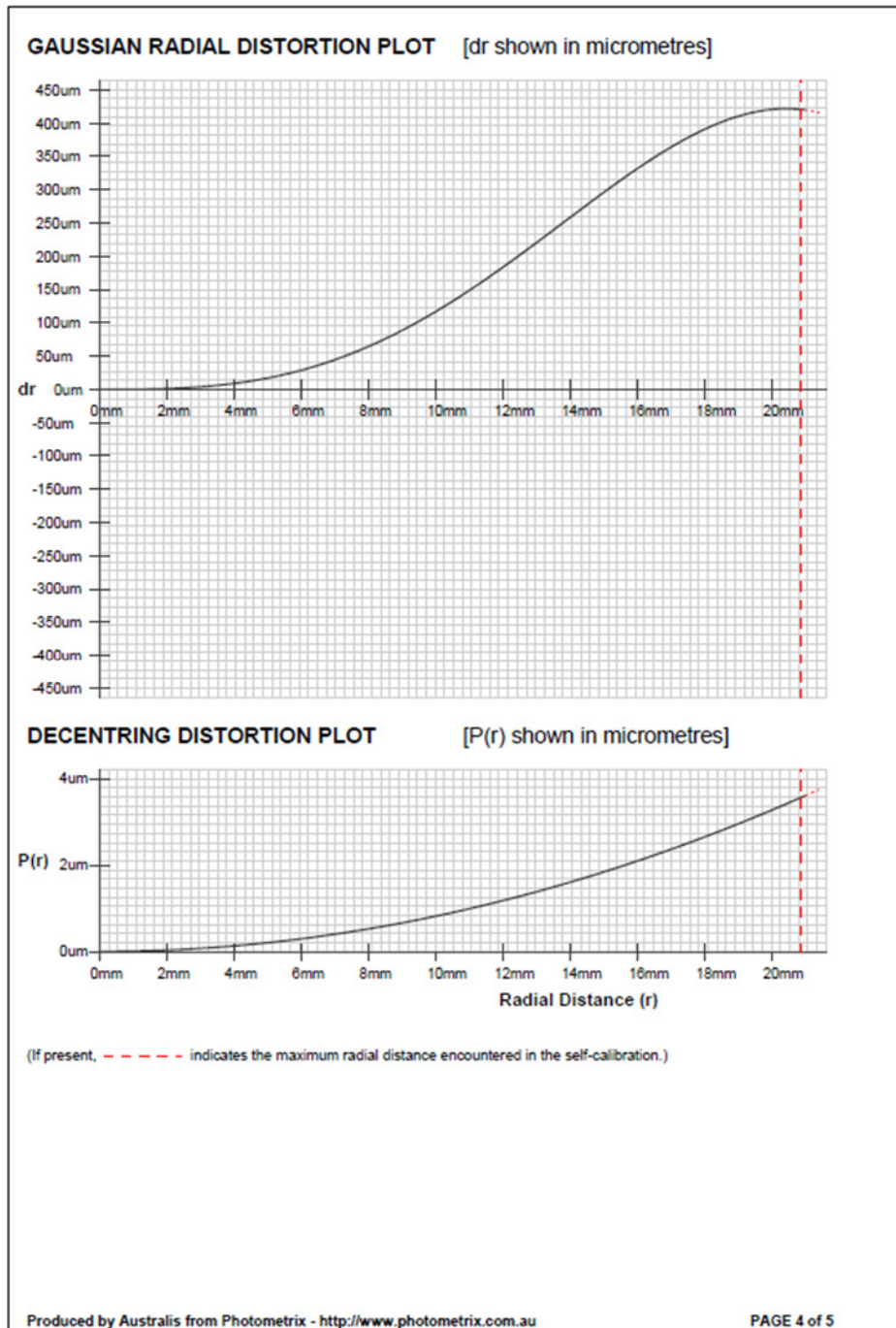
$$K4 = -1.47242e-52$$

$$K5 = -5.64193e-58$$

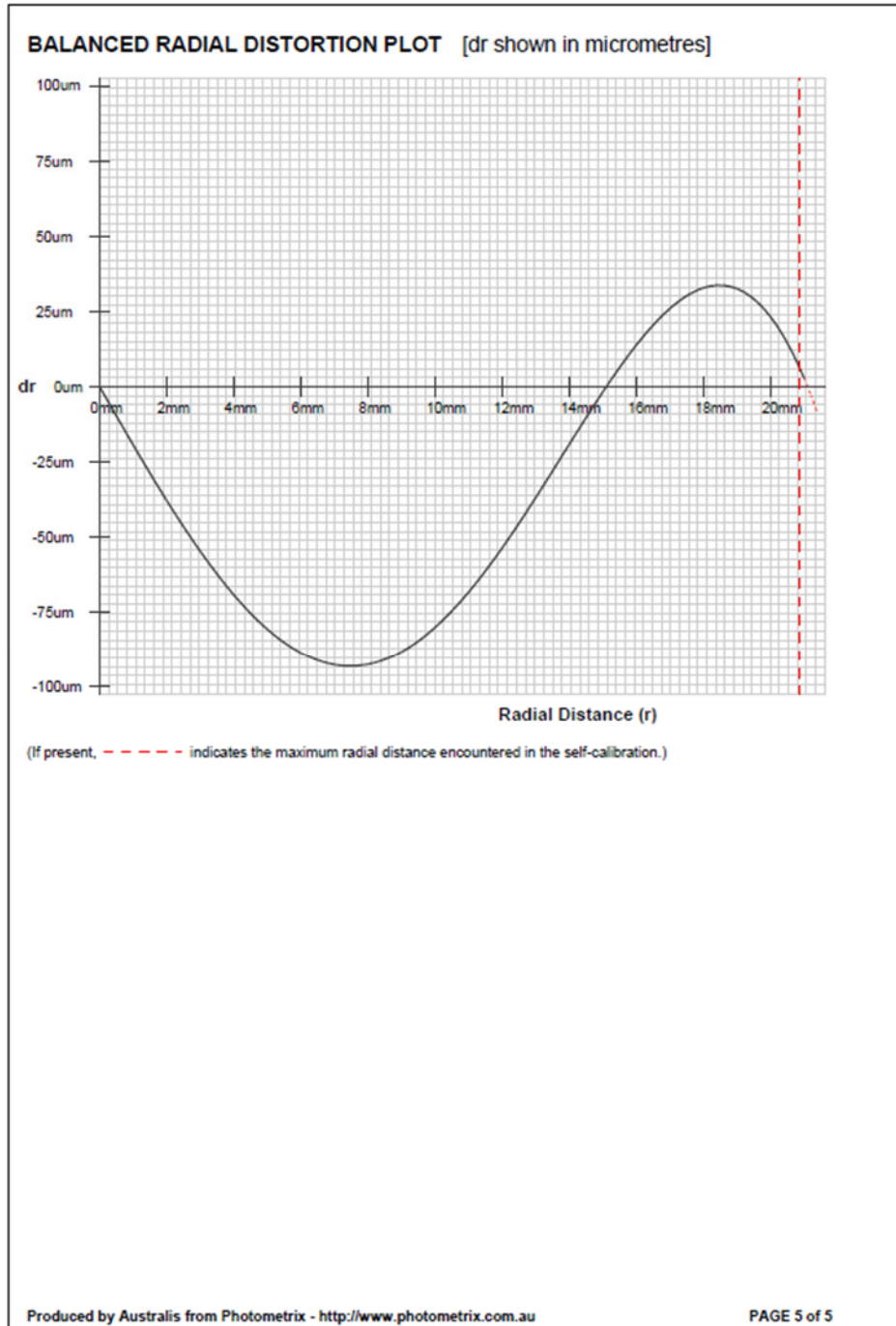
r(mm)	dr(microns)
0.00	0.0
2.00	-37.8
4.00	-69.2
6.00	-88.6
8.00	-92.5
10.00	-80.0
12.00	-53.6
14.00	-19.1
16.00	13.9
18.00	32.9
20.00	23.1

Distortion profile is 'balanced' ($dr = 0.0$) about a radial distance of $r = 15.1\text{mm}$

CAMERA CALIBRATION REPORT



CAMERA CALIBRATION REPORT



四、Canon 5DSR 搭配焦距 20 mm 鏡頭

CAMERA CALIBRATION REPORT

PROJECT DETAILS

Camera: Canon EOS 5DS R

Filename: ...ork\k\...v\w20170606_5DSR_20mm_ChiFei\20170606_5DSR_20mm_Chifei.aus

Calibration Date: 06/06/2017 18:28pm

METRIC CALIBRATION PARAMETERS

Resolution = 8688 x 5792 pixels

Pixel width = 0.0041mm, Pixel height = 0.0041mm

	VALUE	STANDARD ERROR
Principal distance	c = 20.4835mm	0.002mm
Principal point offset in x-image coordinate	xp = -0.0279mm	< 0.001mm
Principal point offset in y-image coordinate	yp = 0.0821mm	< 0.001mm
3rd-order term of radial distortion correction	K1 = 2.04503e-04	2.6006e-07
5th-order term of radial distortion correction	K2 = -3.92462e-07	1.5583e-09
7th-order term of radial distortion correction	K3 = 7.45716e-11	2.9291e-12
Coefficient of decentering distortion	P1 = 1.7260e-06	4.353e-07
Coefficient of decentering distortion	P2 = 2.5184e-05	3.118e-07
No significant differential scaling present	B1 = 0.0000e+00	8.036e-20
No significant non-orthogonality present	B2 = 0.0000e+00	8.036e-20
9th-order term of radial distortion correction	K4 = 0.00000e+00	8.0362e-36
11th-order term of radial distortion correction	K5 = 0.00000e+00	8.0362e-40

STANDARD CORRECTION EQUATION

The corrected image coordinates $x(\text{corr})$ & $y(\text{corr})$ can be calculated from the measured coordinates $x(\text{meas})$ & $y(\text{meas})$ by using the formulas:

$$x = x(\text{meas}) - xp$$

$$y = y(\text{meas}) - yp$$

x and y are now with respect to the principal point,

$$r^2 = x^2 + y^2$$

$$dr = K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7 + K4 \cdot r^9 + K5 \cdot r^{11}$$

$$x(\text{corr}) = x(\text{meas}) - xp + x \cdot dr/r + P1 \cdot (r^2 + 2x^2) + 2 \cdot P2 \cdot x \cdot y$$

$$y(\text{corr}) = y(\text{meas}) - yp + y \cdot dr/r + P2 \cdot (r^2 + 2y^2) + 2 \cdot P1 \cdot x \cdot y$$

Camera self-calibration determined in a network of 40 images and 610 points, to an image measurement accuracy (RMS 1-sigma) of 0.38 pixels or 1.57 um, and of 1.0.

Produced by Australis from Photometrix - <http://www.photometrix.com.au>

PAGE 1 of 5



CAMERA CALIBRATION REPORT

GAUSSIAN RADIAL DISTORTION CORRECTION PROFILE (dr)

For principal distance c, Gaussian radial distortion correction dr (microns) is given for any radial distance r (mm) as:

$$dr = K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7 + K4 \cdot r^9 + K5 \cdot r^{11}$$

correction dx = x·dr/r

correction dy = y·dr/r

	VALUE	STANDARD ERROR
c =	20.484mm	0.0015mm
K1 =	2.04503e-04	2.6006e-07
K2 =	-3.92462e-07	1.5583e-09
K3 =	7.45716e-11	2.9291e-12
K4 =	-9.48435e-53	8.0362e-36
K5 =	-3.67449e-58	8.0362e-40

r(mm)	dr(microns)
0.00	0.0
2.00	1.6
4.00	12.7
6.00	41.1
8.00	92.0
10.00	166.0
12.00	258.4
14.00	357.9
16.00	446.1
18.00	496.7
20.00	475.6

CAMERA CALIBRATION REPORT

BALANCED RADIAL DISTORTION CORRECTION PROFILE(dr)

For 'balanced' principal distance cb , radial distortion correction dr (microns) is given for any radial distance r (mm) as:

$$dr = K0 \cdot r + K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7 + K4 \cdot r^9 + K5 \cdot r^{11}$$

$$cb = 19.9429\text{mm}$$

$$K0 = -2.63936\text{e-}02$$

$$K1 = 1.99105\text{e-}04$$

$$K2 = -3.82103\text{e-}07$$

$$K3 = 7.26034\text{e-}11$$

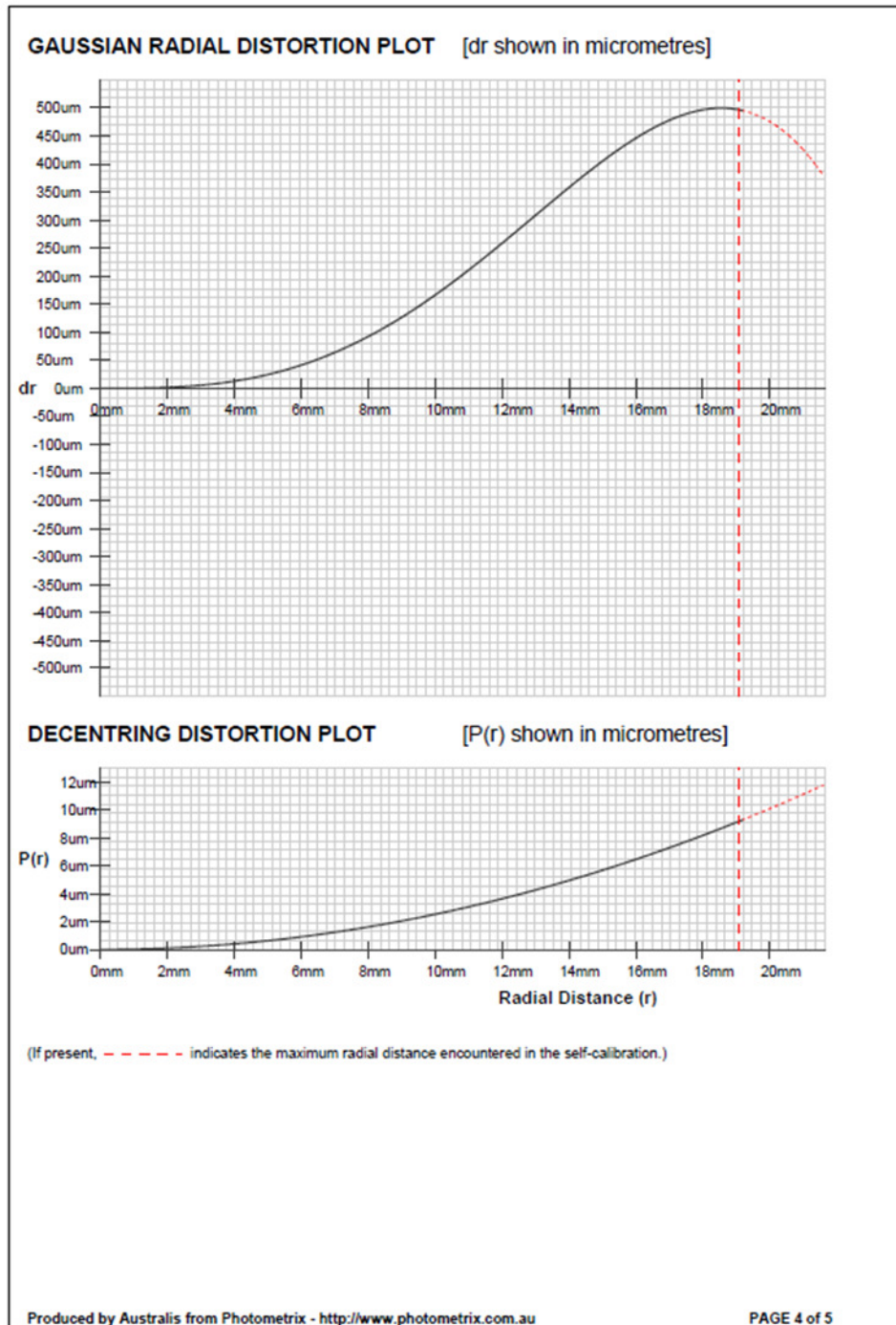
$$K4 = -9.23402\text{e-}53$$

$$K5 = -3.57750\text{e-}58$$

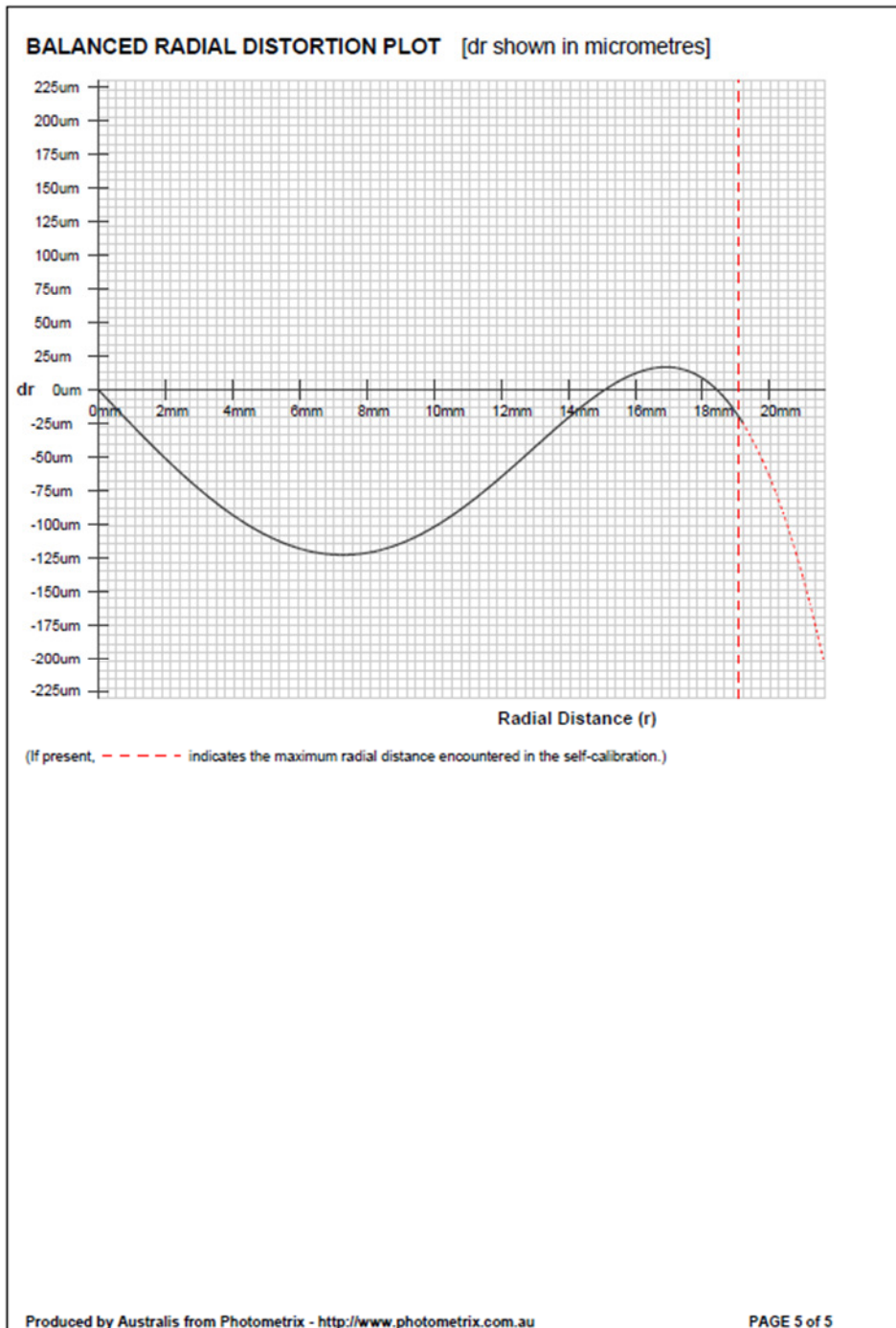
$r(\text{mm})$	$dr(\text{microns})$
0.00	0.0
2.00	-51.2
4.00	-93.2
6.00	-118.3
8.00	-121.6
10.00	-102.3
12.00	-65.1
14.00	-21.0
16.00	12.1
18.00	8.5
20.00	-64.8

Distortion profile is 'balanced' ($dr = 0.0$) about a radial distance of $r = 15.1\text{mm}$

CAMERA CALIBRATION REPORT



CAMERA CALIBRATION REPORT



附錄九 南崗校正場無控制點空三計算成果

本案除了空三製圖及直接地理定位分析外，為了解本案建置之 UAS 設備未來在緊急應變場合時，所產製正射影像成果精度，補充直接使用 UAS 影像及 POS 外方位資料，且在未使用控制點進行空中三角測量計算情況下，進行測試分析，相關成果如下。

表 1 南崗校正場(離地高 150 公尺)無控制點空三計算成果

作業區	類型	計算成果	
		X	Y
南崗校正場 (離地高 150 公尺)	平均值(mean)	0.158	-0.036
	中誤差(Sigma)	0.101	0.084
	均方根誤差(RMSE)	0.188	0.091

表 2 南崗校正場(離地高 250 公尺) 無控制點空三計算成果

作業區	類型	計算成果	
		X	Y
南崗校正場 (離地高 250 公尺)	平均值(mean)	0.069	-0.171
	中誤差(Sigma)	0.025	0.022
	均方根誤差(RMSE)	0.073	0.173

附錄十 影像處理軟體授權文件



LICENSE CERTIFICATE

License key: 7f4643d9

Product: Pix4Dmapper Desktop, Perpetual license

Terms of service: Commercial

Device(s): (1) Desktop can run on 2 devices simultaneously

Generated on: 03.04.2019

Activation instructions

Please go to https://account.pix4d.com/redeem/?license_key=7f4643d9& and log in or create a new user account. Enter the License key that comes with this certificate to activate the license.

Software download

Download the latest Pix4Dmapper at <https://cloud.pix4d.com/download/> and use your Pix4D account to login.

We also recommend you to have a look at the '**Getting started**' guide on our Knowledge base at <https://support.pix4d.com/entries/26825498>. You will find all the necessary information on system requirements, software download, installation and first project creation as well as special articles that we recommend to new users in order to get the best out of their projects.

Pix4D is your solution to convert thousands of aerial images, taken by lightweight UAV or aircraft into geo-referenced 2D mosaics and 3D surface models and point clouds.

Pix4D SA - EPFL Innovation Park - Building F - 1015 Lausanne - Switzerland
www.pix4d.com - +41 21 552 05 90



LICENSE CERTIFICATE

License key: 6f153851

Product: Pix4Dmodel, Yearly rental license

Terms of service: Commercial

Device(s): (1) desktop or laptop

Generated on: 04.04.2019

Activation instructions

Please go to https://account.pix4d.com/redeem/?license_key=6f153851& and log in or create a new user account. Enter the License key that comes with this certificate to activate the license.

Software download

Download the latest Pix4Dmapper at <https://cloud.pix4d.com/download/> and use your Pix4D account to login.

We also recommend you to have a look at the '**Getting started**' guide on our Knowledge base at <https://support.pix4d.com/entries/26825498>. You will find all the necessary information on system requirements, software download, installation and first project creation as well as special articles that we recommend to new users in order to get the best out of their projects.

Pix4D is your solution to convert thousands of aerial images, taken by lightweight UAV or aircraft into geo-referenced 2D mosaics and 3D surface models and point clouds.

Pix4D SA - EPFL Innovation Park - Building F - 1015 Lausanne - Switzerland
www.pix4d.com - +41 21 552 05 90



LICENSE CERTIFICATE

License key: 476fff95

Product: Pix4Dmodel, Monthly rental license

Terms of service: Commercial

Device(s): (1) desktop or laptop

Generated on: 05.04.2019

Activation instructions

Please go to https://account.pix4d.com/redeem/?license_key=476fff95& and log in or create a new user account. Enter the License key that comes with this certificate to activate the license.

Software download

Download the latest Pix4Dmapper at <https://cloud.pix4d.com/download/> and use your Pix4D account to login.

We also recommend you to have a look at the 'Getting started' guide on our Knowledge base at <https://support.pix4d.com/entries/26825498>. You will find all the necessary information on system requirements, software download, installation and first project creation as well as special articles that we recommend to new users in order to get the best out of their projects.

Pix4D is your solution to convert thousands of aerial images, taken by lightweight UAV or aircraft into geo-referenced 2D mosaics and 3D surface models and point clouds.

Pix4D SA - EPFL Innovation Park - Building F - 1015 Lausanne - Switzerland
www.pix4d.com - +41 21 552 05 90

附錄十一 教育訓練時間表及簽到表

遙控無人機系統飛行入門教育訓練時間表

內政部國土測繪中心 108 年度教育訓練
108 年度建置遙控無人機系統與航拍及影像處理作業採購案
課程配當表

日期 時間	1 0 8 年 5 月 3 0 日 (星 期 四)
9:00 § 9:10	報到
9:10 § 10:00	無人機飛行安全及知識學科說明
10:10 § 11:00	飛行器軟硬體及任務規劃協作概念
11:10 § 12:00	影像處理軟體 Pix4D 介紹說明
12:00 § 13:00	午休
13:00 § 13:50	飛行模擬器操作訓練
14:00 § 14:50	飛行模擬器操作訓練
15:00 § 15:50	無人機實機入門基礎操作
備註	1. 本次訓練課程內容為多旋翼四軸機介紹及操作訓練。 2. 訓練人數：國土測繪中心各業務課，計 6 人。 3. 訓練場地：經緯航太科技股份有限公司(台中公司)。 (地址：臺中市大雅區科雅路 43 號 3 樓)

遙控無人機系統飛行入門教育訓練簽到表

5/30 108年度建置無人機系統與航拍及影像處理作業採購案教育訓練						
						108/05/29
編號	單位	職稱	姓名	上午簽到	下午簽到	備註
1	地形及海洋測量課	課長	王敏雄	王敏雄	王敏雄	
2	地形及海洋測量課	技正	林世賢	林世賢	林世賢	
3	地形及海洋測量課	課員	許展祥	許展祥	許展祥	
4	地形及海洋測量課	課員	鍾文彥	請假	請假	
5	地形及海洋測量課	技士	施錦輝	施錦輝	施錦輝	
6	地形及海洋測量課	技士	朱德原	朱德原	朱德原	
7	地形及海洋測量課	技士	林宛蓉	林宛蓉	林宛蓉	
8	地形及海洋測量課	技士	簡秀羽	簡秀羽	簡秀羽	
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

講師： 許子倫 林世賢 工作人員： _____

第 2 梯次教育訓練時間表

內政部國土測繪中心 108 年度教育訓練
108 年度建置遙控無人機系統與航拍及影像處理作業採購案
第 2 梯次教育訓練課程配當表

日期 時間	1 0 8 年 1 0 月 2 4 日 (星 期 四)
9:00 § 9:10	報到
9:10 § 10:00	影像處理軟體 Pix4D 作業流程說明
10:10 § 11:00	影像處理軟體 Pix4D 實作
11:10 § 12:00	影像處理軟體 Pix4D 實作
12:00 § 13:00	午休
13:30 § 14:20	多旋翼遙控無人機系統航線規劃及操作說明
14:30 § 15:20	飛行模擬器操作訓練
15:30 § 16:20	多旋翼遙控無人機實機操作
備註	1. 本次訓練課程內容為多旋翼機及影像處理軟體操作訓練。 2. 訓練場地：內政部國土測繪中心第 2 會議室及現地。 3. 訓練人數：地形及海洋測量課，計 8 人。


第 2 梯次教育訓練簽到表

10/24 108年度建置無人機系統與航拍及影像處理作業採購案教育訓練(第2梯次)						
編號	單位	職稱	姓名	上午簽到	下午簽到	備註
1	地形及海洋測量課	課長	王敏雄	(請假)	王敏雄	
2	地形及海洋測量課	技正	林世賢	(請假)	(請假)	
3	地形及海洋測量課	課員	許展祥	許展祥	許展祥	
4	地形及海洋測量課	課員	鍾文彥	鍾文彥	鍾文彥	
5	地形及海洋測量課	技士	施錦揮	張錦揮	張錦揮	
6	地形及海洋測量課	技士	朱德原	朱德原	(請假)	
7	地形及海洋測量課	技士	林宛蓉	林宛蓉	林宛蓉	
8	地形及海洋測量課	技士	簡秀羽	簡秀羽	簡秀羽	
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

講師：蔡白倫 陸敏捷
 工作人員：林世賢

附錄十二 公共意外責任保險投保保單


108年2月22日(108)產壽字第028號函備查
(公會函)
108.06.01(108)新產府發字第014號函備查



新光產物保險

SHINKONG INSURANCE

消費者應詳閱各種銷售
文件內容，如要詳細了
解其他相關資訊，請洽
本公司業務員、各服務
據點，以保障您的權益。
免付費服務電話：0800-789-999



正本

公共意外責任保險

保單號碼： 130708AHP0000469 本單係 130707AHP0000622 續保

要保人： 經緯航太科技股份有限公司

要保人地址： 臺南市東區東門路三段253號12樓

被保險人： 經緯航太科技股份有限公司 統一編號：27285850

通訊地址： 臺南市東區東門路三段253號12樓

保險期間： 自民國 108 年 02 月 28 日 00 時起至民國 108 年 12 月 31 日 00 時止

經營業務種類： 108年度建置遙控無人機系統與航拍及影像處理作業採購案


經營業務處所： 台灣全區

承 保 範 圍	保 險 金 額
每一個人體傷責任：	NT\$2,000,000*
每一意外事故體傷責任：	NT\$10,000,000*
每一意外事故財物損失責任：	NT\$2,000,000*
本保險契約之最高賠償金額：	NT\$50,000,000*

每一意外事故自負額：每一事故 NT\$2,500

總保險費：NT\$28,000*


附加或特約條款：



被保險人注意事項：


- 一、本保險單所記載事項，如有變更，被保險人應立即向本公司辦理批改手續，否則如有任何意外事故發生，本公司不負賠償責任。
- 二、保險單之交付以本(分)公司蓋發之正式收據為憑。
- 三、本保險單非經加蓋本公司出單專用章，不生效力。

中華民國 108 年 03 月 21 日 立於 台南 覆核





新光產物保險股份有限公司

總經理 **何英蘭** 

A 0449090

附錄十三 參考文獻

1. 遙控無人機管理規則草案，2019，交通部民用航空局。
2. Fraser, C.S. (1997): Digital Camera Self-Calibration, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 52, Issue 4, Page 149-159.