



內政部國土測繪中心

# 發展無人飛行載具航拍技術作業

NLSC-100-30

## 工作總報告書

建置單位：智飛科技有限公司  
國立臺灣大學  
國立政治大學  
印製日期：民國 100 年 12 月



## 中文摘要

100 年度『發展無人飛行載具航拍技術作業』主要目的在於建置一套無人飛行載具系統 (Unmanned Aerial Vehicle System, UAVS) 並建立配套的航拍影像處理流程。過去 UAVS 主要運用於軍事領域，隨著技術發展的成熟逐漸推廣到民生運用。在本案中，國土測繪中心藉由建置自有的系統與流程來驗證 UAVS 運用於航拍影像處理的可行性，並進一步的探討 UAVS 航拍的精確度與可運用範疇。

本年度專案結束後，業已建立一套國土測繪中心自有的 UAVS 設備，並運用此設備完成五次測試拍攝。在另一方面，本專案運用 UAVS 航拍所取得的影像完成航拍影像處理流程的建立，並提出一套航拍影像處理系統的設計建議供後續專案參考。

關鍵字：無人飛行載具、航拍、影像處理、UAVS

## Abstract

The main purpose of this project "Development of Unmanned Aerial Vehicle Aerial Photography Operation Technology" is to establish an Unmanned Aerial Vehicle System (UAVS) and the related Aerial Photography Image Processing Procedure.

In the past, the UAVS is using in the military field mostly. Since the technology of this system is well-developed and can be used on the civil field; NLSC start to verify the possibility of using the UAVS on aerial photography field by building their own system and procedure. Furthermore, NLSC starts to study the accuracy and the possible field of UAVS aerial photography.

After the completion of annual project, NLCS has built its own UAVS equipment; and completed 5 times of test photography by using the equipment. On the other hand, this project helps to establish the Aerial Photography Image Processing Procedure by using the photos from UAVS. It also provides the suggestions of designing an Aerial Photography Image Processing System in future project.

Keyword : UAV, Aerial Photography, Image Processing, UAVS



## 目錄

目錄.....	v
圖目錄.....	ix
表目錄.....	1
第一章 前言.....	3
1.1 計畫緣起.....	3
1.2 計畫期程.....	5
第二章 作業分工規劃、工作項目及內容.....	7
2.1 工作分工.....	7
2.2 執行規劃.....	8
2.3 工作項目.....	11
2.4 工作內容.....	11
2.5 工作成果.....	11
第三章 國內外各類 UAV 案例介紹.....	17
3.1 無人飛行載具系統運用比較(定翼機、旋翼機、多旋翼).....	17
3.2 三年內 UAV 運用資料蒐集.....	22
案例一：UAV 攝影測量技術之發展.....	25
案例二：小型 UAVS 於正射影像製作之應用.....	26
案例三、UAVS 於製圖之應用—以低航高進行攝影測量.....	28
案例四、UAVS 於 DSM 產製之應用-以道路斷面測量為例.....	30
案例五、UAVS 於 DSM 產製及正射影像製作-以古蹟模型建置為例..	33
案例六、UAVS 於 DSM 產製及正射影像製作-以農作生長評估為例..	33
案例七、UAV 搭載高解析度感測器之應用例.....	34
案例八、整合 UAV 之即時環境監測影像於虛擬地球展示.....	37
案例九、岩石崩落監測.....	39
案例十、大陸 UAVS 目前應用現況.....	40
案例十一 高光譜儀運用.....	42
3.3 UAVS 運用資料整理.....	46
第四章 定翼型無人飛行載具系統建置.....	49
4.1 UAVS 建置.....	49
4.2 UAVS 驗收測試.....	60
4.2.1 UAVS 驗收.....	60
4.2.2 UAVS 補充辦理測試.....	69
第五章 無人飛行載具任務規劃及執行.....	73
5.1 航線規劃方法.....	77
5.2 航拍任務規劃與執行.....	88
5.2.1 一般航拍區任務規劃與執行.....	88

5.2.1.1	屏東縣來義鄉航拍區.....	88
5.2.1.2	台中南屯特三號道路航拍區.....	90
5.2.1.3	高雄市桃源區勤和里航拍區.....	92
5.2.2.1	平地測試區規劃.....	94
5.2.2.2	平地測試區任務執行.....	96
5.2.3	山區測試區任務規劃與執行.....	97
5.2.3.1	阿里山飛行航線規劃.....	97
5.2.3.2	氣候與雲況預測.....	100
5.2.3.3	任務執行.....	101
5.3	多旋翼無人飛行載具系統.....	102
5.3.1	系統運用.....	102
5.3.2	多旋翼系統航拍測試.....	108
5.3.3	多旋翼系統航拍任務.....	110
第六章	航拍影像處理.....	113
6.1	一般航拍任務之影像幾何糾正鑲嵌程序評估與實驗結果.....	115
6.1.1	一般航拍任務之影像幾何糾正鑲嵌程序評估.....	115
6.1.2	一般航拍任務之影像幾何糾正鑲嵌實驗結果.....	130
6.1.2.1	彰化鹿港測區.....	130
6.1.2.2	屏東縣來義鄉測區.....	136
6.1.2.3	台中南屯特三號道路測區.....	141
6.1.2.4	高雄市桃源區勤和里測區.....	146
6.1.3	一般航拍任務之影像處理結語.....	152
6.2	航拍測試之航拍影像處理程序評估與實驗結果.....	153
6.2.1	相機率定.....	153
6.2.2	空中三角測量.....	156
6.2.2.1	一般光束法及自率光束法空三平差成果.....	158
6.2.2.2	GPS/IMU 輔助空中三角測量模擬測試.....	164
6.2.2.3	GPS 輔助空中三角測量初步測試.....	174
6.2.3	正射影像製作.....	177
6.2.4	航拍測試之影像處理實驗結果.....	180
6.2.4.1	鹿港測試區.....	181
6.2.4.2	阿里山測試區.....	196
6.2.5	航拍測試之影像處理實驗結語.....	206
第七章	定翼型無人飛行載具飛行安全機制.....	209
7.1	UAVS 起降安全機制考量.....	209
7.2	UAVS 作業安全機制考量.....	214
7.3	UAVS 作業事故報告與後續檢討改善措施.....	218
7.4	安全性考量小結.....	222

第八章 航拍影像處理系統規劃.....	223
8.1 系統需求分析.....	223
8.1.1 系統需求分析.....	223
8.1.2 現況分析.....	223
8.2 航拍影像處理系統整體架構.....	226
8.2.1 航拍任務規劃子系統.....	227
8.2.2 快速影像正射及鑲嵌子系統.....	228
8.2.3 災害判釋分析子系統.....	230
8.2.4 圖資更新子系統.....	232
8.3 軟體元件之活動圖設計.....	234
8.3.1 航線規劃.....	234
8.3.2 建立相機內方位.....	235
8.3.3 空中三角測量.....	236
8.3.4 自動匹配產生 DTM.....	237
8.3.5 製作正射影像.....	239
8.4 邏輯圖設計及資料典.....	240
第九章 教育訓練辦理.....	241
9.1 課程安排.....	241
9.2 課程內容.....	242
9.3 飛行模擬訓練.....	245
第十章 成本分析.....	247
10.1 無人飛行載具建置成本分析.....	247
10.1.1 定翼型無人飛行載具成本分析.....	247
10.1.2 可攜地面控制站系統成本分析.....	248
10.1.3 酬載系統成本分析.....	249
10.1.4 系統整合費用成本分析.....	250
10.2 無人飛行載具出勤成本分析.....	250
10.2.1 任務規劃成本分析.....	251
10.2.2 任務執行成本分析.....	251
10.2.3 布標需求成本分析.....	251
10.3 航拍影像處理作業成本分析.....	252
10.3.1 快速影像幾何糾正鑲嵌技術開發與規劃成本分析.....	252
10.3.2 影像空中三角解算與正射糾正技術開發與規劃成本分析.....	252
10.3.3 其他成果作業成本分析.....	253
10.4 其他作業費用成本分析.....	254
第十一章 結論與建議及下年度作業規劃.....	255
11.1 結論.....	255
11.2 建議.....	256

11.3 101 年度作業建議.....	257
參考文獻.....	259
縮寫符號一覽表.....	261
附錄.....	263
附錄 A 服務建議書委員意見回覆表.....	265
附錄 B 需求訪談紀錄.....	269
附錄 C 工作計畫書審查意見回覆表.....	273
附錄 D 工作會議紀錄.....	285
附錄 E 期中報告委員審查意見回覆表.....	287
附錄 F 期中報告書工作小組意見回覆表.....	295
附錄 G 工作總報告書委員意見回覆表.....	307
附錄 H 工作總報告書工作小組意見回覆表.....	319
附錄 I UAVS 酬載相機率定報告書.....	325
附錄 J UAVS 系統規格表.....	333
附錄 K 慣性量測系統規格.....	345
附錄 L 定翼型 UAV 任務執行安全機制.....	347
附錄 M 教育訓練教簽到表.....	349
附錄 N 無人飛行載具系統運用比較表.....	351
附錄 O 空三平差執行結果.....	353
附錄 P 影像處理系統設計規劃圖.....	359
附錄 Q UAV 失事報告.....	369



## 圖目錄

圖 2-1 團隊架構.....	7
圖 2-2 專案計畫執行流程.....	8
圖 2-3 軟體與資料流整合.....	10
圖 2-4 專案進度表.....	14
圖 3-1 DoDo Pro UAV.....	18
圖 3-2 Yamaha R-MAX 無人直升機.....	19
圖 3-3 遙控空拍直升機.....	20
圖 3-4 MD4-200 多旋翼系統.....	20
圖 3-5 MD4-1000 多旋翼系統.....	21
圖 3-6 智飛多旋翼系統.....	21
圖 3-7 無人航空系統示意圖(Cox et al., 2006).....	22
圖 3-8 美國民用 UAV 之三大任務及相關應用單位(Cox et al., 2006).....	23
圖 3-9 各種可能的 UAVS 應用例(Cox et al., 2006).....	24
圖 3-10 UAV “Carolo P330” (www.mavionics.de).....	27
圖 3-11 UAV 攝影測量之處理流程 (Grenzdörffer, et al., 2008).....	27
圖 3-12 (a) M2 實驗區域中 UAV 影像涵蓋示意圖；(b)正射影像製作成果.....	27
圖 3-13 遙控飛機相關規格.....	28
圖 3-14 無人飛艇相關規格.....	28
圖 3-15 (a)四顆超廣角鏡頭相機外觀；(b)本例相機之四張影像重疊情形.....	28
圖 3-16 (a)本例相機拍攝之四張影像成果；(b)四張影像之實際拍攝範圍.....	29
圖 3-17 (a)貴州省惠水縣案例成果；(b)廣州市案例成果；(c)武漢市案例成果.....	30
圖 3-18 航空攝影及 DSM 成果.....	31
圖 3-19 三維向量資料套合正射影像.....	31
圖 3-20 DSM 成果與現地實測斷面之比對 (黑線：現地、綠線：DSM).....	32
圖 3-21 (a)正射影像成果；(b)DSM 成果.....	33
圖 3-22 (a) SAT-PP 影像匹配成果；(b)結合 DSM 及正射影像之 3D 展示.....	34
圖 3-23 (a) 南極苔蘚植物；(b)UAVS -Align Trex 500 展示.....	35
圖 3-24 (a) UAV 產製之苔蘚植物正射影像；(b) 苔蘚植物與岩石交雜.....	

區.....	36
圖 3-25 (a)進行現地施測 GPS 點位分布；(b)匹配之點雲成果.....	36
圖 3-26 UAV 影像即時整合於虛擬地球之系統運作架構.....	38
圖 3-27 Microdrones md4-200 platform 規格說明.....	38
圖 3-28 (a)既有圖資套疊於虛擬地球；(b)即時影像套合於三維模型 ..	38
圖 3-29 即時影像比對三維模型 .....	39
圖 3-30 (a) Randa 岩石崩落區；(b) Randa 局部 DSM 成果展示 .....	39
圖 3-31 Map 計畫 NDVI.....	43
圖 3-32 Scan Eagle UAV 系統規格 .....	43
圖 3-33 Hyperspec 高光譜儀 .....	44
圖 3-34 Hyperspec 系列產品與對應頻譜 .....	44
圖 3-35 Resonon 空載高光譜儀 .....	45
圖 3-36 空載高光譜儀裝備於 Manta UAV 上.....	45
圖 3-37 哥斯大黎加雨林高光譜影像 .....	46
圖 4-1 UAVS 示意圖 .....	49
圖 4-2 速度控制精度 +/- 8km/hr.....	52
圖 4-3 航高控制 +/- 15 公尺.....	52
圖 4-4 航線精度 +/- 15 公尺 (進入直線航道 1000 公尺 以後).....	53
圖 4-5 俯仰 (pitch) 與 滾轉 (roll) 角 +/- 2 度以內.....	53
圖 4-6 UAV 於 8 級風下作業紀錄 .....	54
圖 4-7 強磁校正作業圖 .....	55
圖 4-8 多基地站控制 .....	58
圖 4-9 任務執行規劃 .....	58
圖 4-10 Canon 5D MKII 與 32GB 高速記憶卡 .....	59
圖 4-11 矽膠避震墊與響應圖 .....	59
圖 4-12 實際測試飛行現場 .....	60
圖 4-13 酬載與重量測試圖 .....	62
圖 4-14 UAV 3000 公尺高度飛行測試軌跡紀錄圖 .....	63
圖 4-15 UAV 自海拔 3000 公尺回傳之濁水溪空拍影象 .....	63
圖 4-16 UAV 飛行路徑(2D).....	64
圖 4-17 UAV 高空飛行數據紀錄 .....	64
圖 4-18 驗收飛行全程空速紀錄 .....	65
圖 4-19 巡航飛行時空速紀錄 .....	65
圖 4-20 屏東機場禁限航區標示 .....	66
圖 4-21 禁限航區航點設定示意圖 .....	66
圖 4-22 UAV 朝禁航區飛行示意圖 .....	67
圖 4-23 UAV 自動迴避軌跡圖 .....	67
圖 4-24 UAV 正常飛行軌跡圖 .....	68

圖 4-25 限航區內航電設定結果 .....	68
圖 4-26 UAV 3000 公尺高度飛行測試軌跡紀錄圖 .....	70
圖 4-27 UAV 自海拔 3000 公尺取得之空拍影象 .....	70
圖 4-28 UAV 飛行路徑(3D).....	71
圖 4-29 UAV 高空飛行數據紀錄 .....	71
圖 4-30 驗收飛行 30 公里監控畫面 .....	72
圖 4-31 UAV 飛行距離示意圖 .....	72
圖 4-32 UAV 自距離 15km 處回傳之即時拍攝影像 .....	72
圖 5-1 UAVS 之軌跡規劃與監控畫面 .....	73
圖 5-2 拍攝路徑規劃程序流程圖 .....	74
圖 5-3 航拍航線自動規劃軟體 .....	76
圖 5-4 航拍計畫計算機畫面 .....	77
圖 5-5 航拍計算機功能視窗配置 .....	78
圖 5-6 以 Google earth 顯示的 UAV 起降點及航拍任務範圍 .....	79
圖 5-7 航拍計算機需求設定步驟 .....	80
圖 5-8 航拍計畫計算機解算之結果 .....	81
圖 5-9 UAV-MP 所讀取航拍計畫計算機之飛行計畫 .....	82
圖 5-10 編修完成之飛行計畫 .....	83
圖 5-11 飛行計畫與航拍目標區(紅框)之比對.....	84
圖 5-12 飛行計畫之立體地形檢視 .....	84
圖 5-13 非東西南北向之河道目標區 .....	85
圖 5-14 整體航帶旋轉及位移編輯功能 .....	86
圖 5-15 航帶旋轉前後之飛行計畫比較 .....	86
圖 5-16 屏東來義航拍區任務規劃 .....	89
圖 5-17 屏東來義航拍區任務設定 .....	89
圖 5-18 台中南屯特三號道路航拍區任務規劃 .....	90
圖 5-19 台中南屯特三號道路航拍區任務設定 .....	91
圖 5-20 台中南屯特三號道路航拍區 3D 航線圖 .....	91
圖 5-21 高雄市桃源區勤和里航拍區任務規劃 .....	92
圖 5-22 高雄市桃源區勤和里航拍區任務設定 .....	93
圖 5-23 彰化縣鹿港鎮 測試航拍區 .....	94
圖 5-24 檢定場坐標與相對現場照片於 Google Earth 圖台 .....	95
圖 5-25 航高 500m 東西向航拍計畫 .....	95
圖 5-26 航高 1000 公尺 東西向航拍計畫 .....	96
圖 5-27 嘉義縣阿里山鄉 測試航拍區 .....	97
圖 5-28 阿里山航拍測試區飛行規劃 .....	98
圖 5-29 阿里山任務區航線規劃 .....	99
圖 5-30 阿里山任務區航線規劃立體呈現 .....	99

圖 5-31 中央氣象局網站提供之即時影像資訊 .....	100
圖 5-32 WindGuru 溫度與雲況預估網頁 .....	101
圖 5-33 多旋翼無人偵查飛行器系統用於生存遊戲監測 (台南龍崎).....	102
圖 5-34 環境拍攝範例 (屏東里港).....	103
圖 5-35 航線拍攝設定示意圖 .....	104
圖 5-36 垂直航拍航線規劃範例 .....	105
圖 5-37 近景攝影量測範例 (國土測繪中心提供).....	106
圖 5-38 720 度空中環景拍攝 (台中科博館 植物園).....	107
圖 5-39 Olympus EP-1.....	108
圖 5-40 多旋翼航拍目標區 .....	109
圖 5-41 運用航拍計算機進行涵蓋區域估算 .....	109
圖 5-42 航拍區照片拼接成果 .....	109
圖 5-43 圓形劇場航拍航線規劃 .....	110
圖 5-44 圓形劇場航拍初步拼接 .....	111
圖 6-1 UAV 一般航拍任務與航拍測試之航拍影像處理程序 .....	114
圖 6-2 UAV 航拍影像測試區域示意圖 .....	116
圖 6-3 測試用 UAV 航拍影像分布狀況 .....	117
圖 6-4 以 Hugin 進行快速幾何糾正影像鑲嵌之流程圖 .....	117
圖 6-5 航帶像片數為 24 張之接合成果 .....	118
圖 6-6 航帶像片數為 32 張的錯誤接合成果圖示 .....	118
圖 6-7 ERDAS IMAGINE advantage 相關模組幾何糾正鑲嵌流程.....	119
圖 6-8 以 LPS 進行快速幾何正射糾正鑲嵌之流程圖 .....	120
圖 6-9 快速自率光束法空三平差連結點與控制點分布情形 .....	121
圖 6-10 快速自率光束法空三平差網形 .....	121
圖 6-11 快速自率光束法空三平差結果 .....	122
圖 6-12 建立 Project.....	122
圖 6-13 相機參數設定(Calibration).....	123
圖 6-14 相機參數設定(Distortion) .....	123
圖 6-15 匯入像片及外方位參數 .....	124
圖 6-16 匹配 DTM 參數設定 .....	124
圖 6-17 自動匹配 25 公尺*25 公尺的 DTM .....	125
圖 6-18 自動匹配 50 公尺*50 公尺的 DTM .....	125
圖 6-19 Terrain Prep Tool 轉檔 .....	126
圖 6-20 Ortho Resampling 產生正射影像.....	126
圖 6-21 Mosaic Tool 進行鑲嵌 .....	127
圖 6-22 Grid Size 25 公尺、Cell Size 25 公分的幾何正射糾正鑲嵌圖.....	127
圖 6-23 Grid Size 50 公尺、Cell Size 25 公分的幾何正射糾正鑲嵌圖.....	128
圖 6-24 檢核點分布圖 .....	129

圖 6-25 UAV 一般航拍任務鹿港測區域示意圖 .....	131
圖 6-26 一般航拍任務鹿港測區 UAV 航拍影像分布圖 .....	131
圖 6-27 自率光束法空三平差連結點與控制點分布情形 .....	132
圖 6-28 自率光束法空三平差網形 .....	132
圖 6-29 自率光束法空三平差結果 .....	133
圖 6-30 自動匹配 25 公尺*25 公尺的 DTM .....	133
圖 6-31 Grid Size 25m、Cell Size 15 公分的幾何正射糾正鑲嵌圖 .....	134
圖 6-32 檢核點分布圖 .....	135
圖 6-33 UAV 一般航拍任務屏東來義測區域示意圖 .....	136
圖 6-34 一般航拍任務屏東來義測區 UAV 航拍影像分布圖 .....	137
圖 6-35 快速自率光束法空三平差連結點與控制點分布圖 .....	137
圖 6-36 快速自率光束法空三平差網形 .....	138
圖 6-37 快速自率光束法空三平差結果 .....	138
圖 6-38 自動匹配 25 公尺*25 公尺的 DTM .....	139
圖 6-39 Grid Size 25 公尺、Cell Size 15 公分的幾何正射糾正鑲嵌圖 .....	139
圖 6-40 檢核點分布圖 .....	140
圖 6-41 UAV 一般航拍任務台中南屯特三號道路測試區域示意圖 .....	141
圖 6-42 測試用 UAV 航拍影像分布狀況 .....	142
圖 6-43 自率光束法空三平差控制點分布情形 .....	142
圖 6-44 自率光束法空三平差網形 .....	143
圖 6-45 自率光束法空三平差結果 .....	143
圖 6-46 自動匹配 25 公尺*25 公尺的 DTM .....	144
圖 6-47 Grid Size 25 公尺、Cell Size 25 公分的幾何正射糾正鑲嵌圖 .....	144
圖 6-48 檢核點分布圖 .....	145
圖 6-49 UAV 一般航拍任務高雄市桃源區勤和村測試區域示意圖 .....	147
圖 6-50 測試用 UAV 航拍影像分布狀況 .....	147
圖 6-51 快速自率光束法空三平差連結點與控制點分布情形 .....	148
圖 6-52 快速自率光束法空三平差網形 .....	148
圖 6-53 快速自率光束法空三平差結果 .....	149
圖 6-54 自動匹配 25 公尺*25 公尺的 DTM .....	149
圖 6-55 Grid Size 25m、Cell Size 為 25 公分的幾何正射糾正鑲嵌圖 .....	150
圖 6-56 檢核點分布圖 .....	151
圖 6-57 iWitness Pro 使用的 20 個黑白率定標 .....	153
圖 6-58 相機率定場 .....	155
圖 6-59 Canon EOS 5D Mark II 24mm 鏡頭相機率定用之率定場影像 .....	155

圖 6-60	不同率定方式 LPS ORIMA 空三平差作業流程 .....	159
圖 6-61	一般光束法空三平差與自率光束法空三平差設定圖示 .....	160
圖 6-62	測試區控制點與檢核點分布圖示 .....	161
圖 6-63	一般光束法與自率光束法空三平差連結點分布概略圖 .....	162
圖 6-64	一般光束法與自率光束法空三平差網形概略圖 .....	162
圖 6-65	模擬資料平差 .....	165
圖 6-66	全測區之網形(左)及航帶間之網形(右).....	166
圖 6-67	模擬資料流程圖 .....	166
圖 6-68	模擬資料控制點(共 10 點)分布圖.....	167
圖 6-69	模擬資料檢核點(共 16 點)分布圖.....	168
圖 6-70	GPS 坐標解算流程圖.....	175
圖 6-71	測量區域分布狀況 .....	175
圖 6-72	坐標解算成果-俯視.....	176
圖 6-73	坐標解算成果-側視.....	176
圖 6-74	第二次試驗坐標解算成果圖 .....	177
圖 6-75	Cell Size 5 公尺之 DTM.....	178
圖 6-76	Grid Size 5m DTM、Cell Size 5 公分正射鑲嵌圖 .....	179
圖 6-77	Grid Size 5 公尺 DTM、Cell Size 25 公分正射鑲嵌圖.....	179
圖 6-78	正射鑲嵌檢核點分布圖 .....	180
圖 6-79	UAV 航拍影像鹿港測試區域範圍示意圖 .....	181
圖 6-80	測試用 UAV 航拍影像分布狀況 .....	182
圖 6-81	測試區 24 控制點( $\Delta$ )與 10 個檢核點( $\circ$ )分布圖示 .....	182
圖 6-82	自由網的自率光束法空三平差結果 .....	183
圖 6-83	自率光束法的空三平差結果 .....	183
圖 6-84	自率光束法空三平差連結點分布概略圖 .....	184
圖 6-85	自率光束法空三平差網形圖 .....	184
圖 6-86	Cell Size 5 公尺之 DTM.....	186
圖 6-87	Grid Size 5 公尺 DTM、Cell Size 10 公分正射鑲嵌圖.....	186
圖 6-88	正射鑲嵌檢核點分布圖 .....	187
圖 6-89	鹿港地區測試用航高 1000 公尺 UAV 航拍影像分布狀況 ....	188
圖 6-90	測試區 50 控制點( $\Delta$ )與 8 個檢核點( $\circ$ )分布圖示 .....	189
圖 6-91	自由網的自率光束法空三平差結果 .....	189
圖 6-92	自率光束法的空三平差結果 .....	190
圖 6-93	自率光束法空三平差連結點分布概略圖 .....	191
圖 6-94	自率光束法空三平差網形圖 .....	191
圖 6-95	Cell Size 5 公尺之 DTM.....	193
圖 6-96	Grid Size 5 公尺 DTM、Cell Size 25 公分正射鑲嵌圖.....	194
圖 6-97	正射鑲嵌檢核點分布圖 .....	195

圖 6-98 UAV 航拍影像阿里山測試區域範圍示意圖 .....	196
圖 6-99 測試用 UAV 航拍影像分布圖 .....	197
圖 6-100 測試區控制點與檢核點分布圖示 .....	197
圖 6-101 自率光束法空三平差連結點分布概略圖 .....	198
圖 6-102 自率光束法空三平差網形圖 .....	198
圖 6-103 自率光束法的空三平差結果 .....	199
圖 6-104 自動匹配 5 公尺*5 公尺的 DTM .....	199
圖 6-105 DTM Grid Size 5m Grid Size 50 公分的幾何正射糾正鑲嵌圖 .....	200
圖 6-106 正射鑲嵌檢核點分布圖 .....	200
圖 6-107 測試用 UAV 航拍影像分布圖 .....	201
圖 6-108 測試區控制點與檢核點分布圖示 .....	202
圖 6-109 自率光束法空三平差連結點分布概略圖 .....	203
圖 6-110 自率光束法空三平差網形圖 .....	203
圖 6-111 自率光束法的空三平差結果.....	204
圖 6-112 自動匹配 5 公尺*5 公尺的 DTM .....	205
圖 6-113 DTM Grid Size 5 公尺 Grid Size 50 公分的幾何正射糾正鑲嵌 圖.....	205
圖 6-114 正射鑲嵌檢核點分布圖 .....	206
圖 7-1 美國海軍陸戰隊 ScanEagle UAV 彈射起飛.....	211
圖 7-2 西班牙 AeroVision UAV.....	211
圖 7-3 AeroSonde UAV .....	212
圖 7-4 Hunter UAV .....	212
圖 7-5 運用彈射起降之測量者一型 UAV (取自優酷網) .....	213
圖 7-6 運用開傘降落之 40cc 靶機 (取自 5imx 網頁) .....	214
圖 7-7 UAV 遠端監控軟體界面 .....	217
圖 7-8 UAV 迫降現場照片 .....	219
圖 7-9 原始測試飛行計畫飛行路線 .....	220
圖 7-10 修改後測試飛行計畫飛行路線 .....	221
圖 8-1 飛行計畫與航拍目標區(紅框)之比對.....	224
圖 8-2 航拍影像處理系統架構圖 .....	226
圖 8-3 UAVS 航拍任務規劃作業流程圖 .....	227
圖 8-4 「航拍任務規劃子系統」之使用案例圖 .....	228
圖 8-5 快速影像正射及鑲嵌之作業流程圖 .....	229
圖 8-6 「快速影像正射及鑲嵌子系統」之使用案例圖 .....	230
圖 8-7 UAVS 應用於災害判釋分析之作業流程.....	231
圖 8-8 「災害判釋分析子系統」之使用案例圖 .....	232
圖 8-9 圖資更新標準作業流程 .....	233

圖 8-10 「災害判釋分析子系統」之使用案例圖 .....	234
圖 8-11 「航線規劃」之使用案例圖 .....	235
圖 8-12 「建立相機內方位」之使用案例圖 .....	236
圖 8-13 「空中三角測量」之使用案例圖 .....	237
圖 8-14 「自動匹配產生 DTM」之使用案例圖 .....	238
圖 8-15 「製作正射影像」之使用案例圖 .....	239
圖 9-1 DTM 製作解說 .....	242
圖 9-2 上機實作 .....	243
圖 9-3 課程解說 .....	243
圖 9-4 UAVS 系統運用說明 .....	244
圖 9-5 UAV 遙測運用說明 .....	244
圖 9-6 遙控飛機模擬系統畫面擷圖 .....	245



## 表目錄

表 2-1 專案執行階段考量 .....	9
表 2-2 專案工作內容與章節對照表 .....	11
表 2-3 成果繳交項目與工作期程 .....	13
表 2-4 專案工作項目權重與執行百分比 .....	15
表 3-1 無人飛行載具系統運用比較表 .....	17
表 3-2 航空攝影測量、近景攝影測量及 UAV 攝影測量之比較(修改自 Eisenbeiss, 2009) .....	25
表 3-3 UAV「Carolo P330」規格表 .....	26
表 3-4 大陸 UAVS 相關硬體規格需求(大陸測繪局, 2010(b)) .....	40
表 3-5 UAV 的飛行品質與獲取影像品質規範(大陸測繪局, 2010(e)) .....	41
表 3-6 UAV 空三精度規範(大陸測繪局, 2010(c)) .....	42
表 4-1 DoDo Pro UAV 系統特色 .....	50
表 4-2 SD-FCC 飛控電腦功能簡表 .....	50
表 4-3 酬載負載測試設備表列 .....	61
表 5-1 拍攝路徑規劃程序流程圖說明 .....	75
表 6-1 ENSO Mosaic 500D 率定的相機參數 .....	116
表 6-2 Hugin 作業耗時統計表 .....	118
表 6-3 以 LPS 模組或搭配 Match-T 幾何糾正鑲嵌作業耗時統計 .....	129
表 6-4 不同網格大小 DTM 之幾何正射糾正影像之 RMSE .....	129
表 6-5 以 LPS 模組或搭配 Match-T 幾何糾正鑲嵌作業耗時統計(單位：分) .....	134
表 6-6 鹿港測區一般航拍任務幾何糾正鑲嵌成果比較表 .....	136
表 6-7 以 LPS 模組或搭配 Match-T 幾何糾正鑲嵌作業耗時統計(單位：分) .....	139
表 6-8 屏東來義測區一般航拍任務幾何糾正鑲嵌成果比較表 .....	140
表 6-9 台中特三測區一般航拍任務幾何糾正鑲嵌成果比較表 .....	146
表 6-10 高雄勤和測區一般航拍任務幾何糾正鑲嵌成果比較表 .....	151
表 6-11 Canon EOS 5D Mark II 相機 24mm 鏡頭率定結果 .....	156
表 6-12 LPS ORIMA 光束法空三平差作業流程 .....	157
表 6-13 不同率定方式所得之相機參數表 .....	158
表 6-14 不同率定方式一般光束法與自率光束法空三平差結果比較 .....	163
表 6-15 不同來源相機參數值經自率光束法空三平差後之參數率定值 .....	163
表 6-16 模擬資料空三平差成果-檢核點各方向均方根誤差 .....	170
表 6-17 目前 UAV 系統具 GPS 精度及 IMU 精度之模擬資料空三平差成	

果-檢核點各方向均方根誤差 .....	170
表 6-18 模擬資料空三平差成果-檢核點平面及高程精度 .....	171
表 6-19 目前 UAV 系統具 GPS 精度及 IMU 精度之模擬資料空三平差 成果-檢核點平面與高程精度 .....	171
表 6-20 IMU 規格 .....	174
表 6-21 正射鑲嵌圖的幾何精度精度檢核表 .....	180
表 6-22 航高 500 公尺自率光束法空三平差結果與 97 年計畫案比較表 .....	185
表 6-23 正射鑲嵌圖的幾何精度精度檢核表與 97 年計畫案比較表 ...	187
表 6-24 航高 1000 公尺自率光束法空三平差結果與 97 年計畫案比較表 .....	192
表 6-25 正射鑲嵌圖的幾何精度精度檢核表與 97 年計畫案比較表 ...	195
表 6-26 航高 500 公尺自率光束法空三平差結果表 .....	199
表 6-27 正射鑲嵌圖的幾何精度精度檢核表 .....	200
表 6-28 航高 1000 公尺自率光束法空三平差結果表 .....	204
表 6-29 正射鑲嵌圖的幾何精度精度檢核表 .....	206
表 7-1 DoDo Pro UAVS 任務執行狀況處理建議表.....	215
表 7-2 事故時間表列 .....	218
表 7-3 原始測試飛行計畫飛行路線數據 .....	220
表 7-4 修改後測試飛行計畫飛行路線數據 .....	221
表 8-1 UAVS 任務規劃軟體一覽表 .....	224
表 8-2 中心現有影像處理軟硬體設備(內政部國土測繪中心，2010).	225
表 8-3 資料典定義說明 .....	240
表 9-1 教育訓練課程配當表 .....	241
表 10-1 DoDo Pro UAV 單價分析                      (單位：千元) .....	247
表 10-2 可攜地面控制站系統單價分析                      (單位：千元) ...	248
表 10-3 酬載系統成本分析                      (單位：千元) .....	249
表 10-4 系統整合費用成本分析                      (單位：千元) .....	250
表 10-5 任務規劃成本分析 (單位 千元) .....	251
表 10-6 任務執行成本分析 (單位 千元) .....	251
表 10-7 布標需求成本分析 (單位 千元) .....	251
表 10-8 快速影像幾何糾正鑲嵌技術開發與規劃成本分析 (單位 元) .....	252
表 10-9 影像空中三角解算與正射糾正技術開發與規劃成本分析 (單位 元) .....	252
表 10-10 其他成果作業成本分析 (單位 元) .....	253
表 10-11 其他作業費用成本分析 (單位 千元) .....	254

## 第一章 前言

### 1.1 計畫緣起

隨著地球環境的變遷，人們對於國土安全、環境保育與土地規劃的關注與興趣日益增加。另一方面，隨著測量與空間資訊技術不斷的進步與普及，人們可以更容易的從網路取得相關的地理環境資訊。尤其近年來的幾個重大天然災害，民眾藉由電視、網路與廣播瞭解到土地環境資訊的運用與自己的生命財產息息相關，更拓展了空間資訊運用的新契機。

本案主要的目的在於使用無人飛行載具系統（Unmanned Aerial Vehicle System, 以下簡稱為 UAVS）作為空間資訊蒐集的平台。利用無人飛行載具自動化、精確、快速、安全與大範圍的特性，配合經過整體規劃的測繪程序，建立一種可以快速取得特定地點地理資訊之創新流程。期能創造一種新的工具鏈，為空間資訊蒐集領域新增一個強有力之工具。

內政部國土測繪中心基於發展測繪科技新技術，於研擬「測繪科技發展後續計畫」中程綱要計畫時，辦理「發展無人飛行載具航拍技術作業」工作，建置無人飛行載具系統，以快速獲取航拍影像，產製相關空間資訊成果。本案主要延續 97 年度「探測感應器測繪平台架構規劃暨應用作業案」進行後續 UAVS 應用更進一步的研究與測試，長期目標為應用 UAVS 航拍影像於測繪圖資更新、防救災快速應變及定期國土監測等三個主要領域，期望達成三大主要目標，分述如下：

#### （一） 建立空間資訊平台，定期應用 UAVS 航拍影像更新基礎圖資

國土利用調查、電子地圖與基本圖修測為國土測繪中心主要業務，這些業務皆以航拍影像為底圖進行測繪製圖，後續維護及更新是延續成果使用效益的重要方法，但實際情形，修測或更新範圍內並非全部地形地物皆有所變動，考量修測更新效率與成本，可以 UAVS 針對發展快速、變異大地區，進行局部圖資修測更新作業。未來 UAVS 建置完成並建立空間資訊平台，可定期空拍影像提供作為各項基礎圖資底圖。

## (二) 建立災害防救決策支援機制

當各種災害發生時，災區資訊獲取為首要，災區資訊完整性影響救災與救人效率。災害發生主要分為前、中、後期，UAV 主要可應用於災害發生前、中期，衛星影像與載人航拍主要應用於災害發生中、後期，三種遙測資訊在救災及災後重建階段均可發揮重要之功效，未來 UAVS 建置完成，將可完成災區資訊獲取的最後一塊拼圖，建立完整災害防救決策支援機制，提供災害應變重要決策參考依據。

## (三) 建立 UAV 航拍影像快速提供機制，應用於國土監測及變異分析

臺灣隨著經濟發展及社會變遷，土地利用型態漸趨複雜，對自然環境的破壞及土地資源的不當使用情形也日趨嚴重，如何有效運用遙測技術來管理土地資源，以達到永續使用的目的，為當前重要國土政策之一。UAV 低空雲下航拍作業及空拍影像解析度高優勢，對於應用於國土監測及變異分析有相當大的助益，相較於衛星與載人飛機遙測，天候影響程度低，並且影像解析度高，更有利於地形地物的判釋分析，雖然現階段仍以衛星影像作為國土監測主要手段，但未來以 UAVS 建立完成影像快速提供機制，將可提供國土監測更即時及有利判釋的影像資料，進一步提昇國土規劃、經營與管理整體效益。

為達上述長期目標和願景，本案主要為規劃建置 UAVS 與影像處理系統兩部分。系統建置完成後朝向國土環境監測、防救災緊急航拍應用及局部圖資修測等三種不同應用方向，辦理相關應用作業。

## 1.2 計畫期程

本案規劃期程自 100 年度至 103 年度，為 4 年期作業，100 年度為第 1 年，預算為 360 萬元，101 年度預算為 450 萬元，102 年度預算為 450 萬元，103 年度預算為 400 萬元（101~103 年度實際採購金額需視預算通過金額而定，如該年度預算未獲通過，則該年度及後續年度工作停止辦理，國土測繪中心將視實際需求再另行辦理採購作業）。

本案係國土測繪中心委託辦理 100 年度「發展無人飛行載具航拍技術作業」案（以下簡稱本案），本案委託辦理工作項目及內容、工作時程及應交付成果、審查及付款方式等規定詳如「內政部國土測繪中心 100 年度發展無人飛行載具航拍技術作業案需求規格書」。本案為 2 年期作業，得標廠商需本年度內執行成效優良，提出 101 年度工作計畫書經國土測繪中心審核同意後，始取得 101 年度優先議價權利。



## 第二章 作業分工規劃、工作項目及內容

### 2.1 工作分工

本團隊係由智飛科技有限公司、國立臺灣大學土木系與國立政治大學地政學系成員所組成，分別就無人飛行載具（系統）的建置、航拍任務、以及航拍影像處理系統的規劃與初期建構以及影像處理的項目進行工作劃分，團隊架構如圖 2-1。

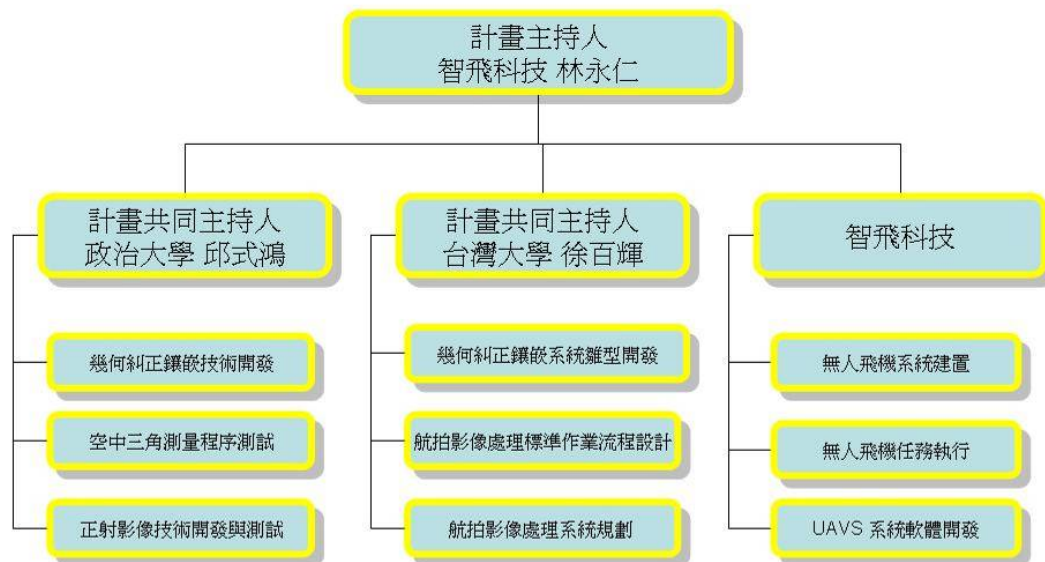


圖 2-1 團隊架構

## 2.2 執行規劃

本案的執行重點在於 UAVS 進行航拍作業，並配合國土測繪中心現有能量，建立一套完整的航拍影像處理系統。本案的整體作業流程規劃與考量如下圖 2-2：

若將各個流程加以細分，可以從流程的執行可行性、安全性考量、精確度提昇、資料流程與最後的教育訓練方法去構思各項工作的不同執行考量（請參考表 2-1）。最後由運用系統的建置與資料流程整合的觀點，來串連本案之各項技術。

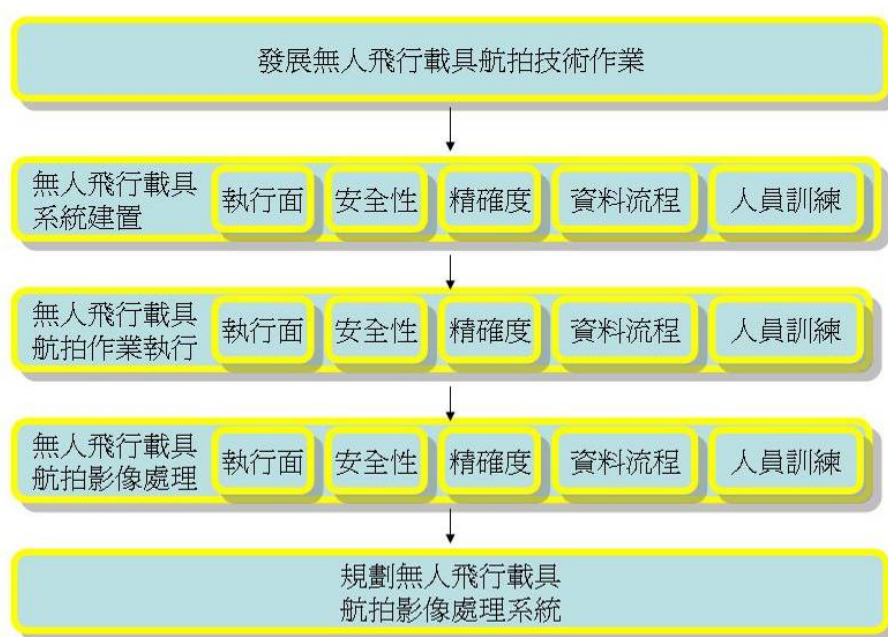


圖 2-2 專案計畫執行流程



表 2-1 專案執行階段考量

UAV 航拍作業 流程	執行面考量	安全性考量	精度考量	人員訓練與 技術轉移考量
1、UAVS 系統建置階段				
1.1 系統設計	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 是否符合國土測繪中心之基本性能需求？</li> <li>2. 是否有備用 UAVS 可調用？</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. UAVS 安全設計</li> <li>2. 飛控電腦安全機制設計</li> <li>3. 地面控制軟體安全性設計(禁限航區迴避功能)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. GPS、IMU 設備選擇</li> <li>2. 相機率定</li> <li>3. 避震與雲台設計</li> <li>4. IMU 裝設校正</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 訓練場地與設備是否充足？</li> <li>2. 提供之軟體硬是否符合國土測繪中心使用需求？</li> </ol>
1.2 系統驗收	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. UAVS 保養手冊</li> <li>2. UAVS 作業手冊</li> <li>3. UAVS 各類檢查表格、電子表格</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. UAVS 保養手冊</li> <li>2. 第三人責任險投保</li> </ol>	UAVS 飛行驗收拍攝	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. UAVS 保養與維護教學</li> <li>2. 各類手冊表單使用方式教學</li> </ol>
2、UAVS 航拍作業執行階段				
2.1 作業前	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 空域申請</li> <li>2. 起降場地找尋</li> <li>3. 飛行前準備</li> <li>4. 飛行計畫擬定</li> </ol>	航線規劃是否符合安全考量？	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 航線涵蓋面是否規劃正確</li> <li>2. 地面控制點布設</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. HIL 模擬訓練</li> <li>2. 飛行任務航線規劃訓練</li> </ol>
2.2 作業執行	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 塔台、近場台作業聯繫</li> <li>2. 緊急狀況處置</li> </ol>	緊急應變流程	同一航次補拍操作(如進雲、能見度差等第一時間處置)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. HIL 模擬訓練</li> <li>2. 塔台聯絡人作業說明</li> <li>3. 緊急情況處置教學</li> </ol>
2.3 作業後	提供航拍影像與空三資料	資料是否完整備份？	快速確認航拍取相是否合乎基本要求	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. HIL 模擬訓練</li> <li>2. 前級影像品質分析軟體使用教學</li> </ol>
3、航拍影像處理階段				
3.1 快速影像 拼接	採 ERDAS 平台建立作業流程	資料備份與資訊安全考量	檢核點均方根誤差是否符合	運用 ERDAS 平台建構人性化操作介面與流

UAV 航拍作業流程	執行面考量	安全性考量	精度考量	人員訓練與技術轉移考量
	2. 使用專案管理檔方便後續管理		精度	程架構
3.2 空中後方交會法	1. 採 ERDAS 平台建立作業流程 2. 使用專案管理檔方便後續管理	資料備份與資訊安全考量	檢核點均方根誤差是否符合精度	運用 ERDAS 平台建構人性化操作介面與流程架構
3.3 GPS/INS 輔助法	1. 採 ERDAS 平台建立作業流程 2. 使用專案管理檔方便後續管理	資料備份與資訊安全考量	檢核點均方根誤差是否符合精度	運用 ERDAS 平台建構人性化操作介面與流程架構

本案最終的目標即是規劃出一套無人飛行載具（系統）航拍影像處理系統，此一系統的目標即是建立運用框架，並統合各階段之資料流程，使之可以配合國土測繪中心現有之軟硬體資源，整合成一套具有一致性的運用架構（詳如圖 2-3）。

這個系統的產出，可一貫化無人飛行載具（系統）航拍技術的流程，使用者在操作系統的同時，就能兼顧無人飛行載具（系統）航拍技術運用的安全性、精確性、資料處理的一致性與操作的便利性。

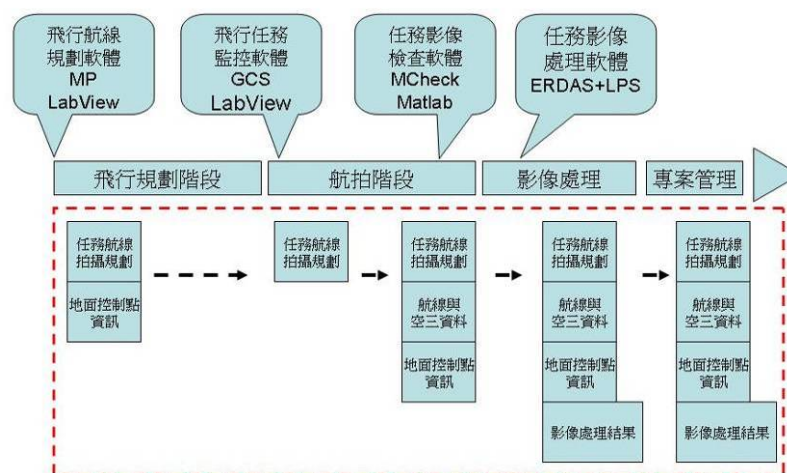


圖 2-3 軟體與資料流整合

## 2.3 工作項目

本案應執行之工作項目如下所列：

1. 需求訪談與資料蒐集
2. 定翼型無人飛行載具（系統）建置
3. 執行一般航拍任務
4. 規劃 UAVS 任務執行安全機制
5. 無人飛行載具（系統）航拍影像處理系統規劃
6. 成本分析
7. 辦理教育訓練

## 2.4 工作內容

表 2-2 專案工作內容與章節對照表

項次	工作項目	工作內容章節對照
1	需求訪談與資料蒐集	第三章
2	定翼型無人飛行載具系統 (UAVS) 建置	第四章
3	執行一般航拍任務	第五章、第六章
4	規劃 UAVS 任務執行安全機制	第七章
5	無人飛行載具系統 (UAVS) 航 拍影像處理系統規劃	第六章 第八章
6	成本分析	第十章
7	辦理教育訓練	第九章

## 2.5 工作成果

本案於100年6月7日完成需求訪談，會議中就國土測繪中心對於本年度作業之需求及期望、一般航拍與航拍測試區選定、航拍影像處理規劃與實際作法、系統規劃設計、100-101年完整規劃後續代操費用、未來發展規劃進行討論，詳細紀錄請參考附錄B。

UAVS 驗收工作於100年9月7日完成，並由該月開始執行本案之飛行任務。同年10月28日本案所使用之UAV因故迫降損毀，新機已於12月5日製作完成並於12月7日完成相關功能測試。

本團隊於100年9月已完成期中報告審查與報告書修改，本次報告主要工作在於完成兩次測試航拍、三次一般航拍與後續的影像處理。並根據資料處理流程規劃 UAV 航拍影像處理系統之流程。本階段的工作因為 UAV 的受損與空域申請、協調行政問題的日程延遲而有所延誤，但在執行團隊的積極作為下業已經完成。

本案工作已於100年11月29日完成所有工作項目，相關期程請參考表2-3，各項工作進度請參考圖2.4與表2-4。業已完成之項目計有：

1. 教育訓練辦理
2. 研討會論文2篇
3. 一般航拍區拍攝任務 3 次
4. 測試航拍區拍攝任務 2 次
5. 工作總報告書初稿遞交

基於資料安全理由，本案所產出之資料與影像資料，除存放於作業用電腦外，尚會同時保存於二處以上之光碟片中，確保資料安全。此外專案已採購兩顆 1TB 硬碟作為資料保存與交換使用。另各次飛行與影像處理之成果將個別儲存於硬碟與光碟中，以確保資料的安全性。而密等資料將使用上述硬碟提供之 ASE128 編碼技術利用密碼進行保護。

表 2-3 成果繳交項目與工作期程

階段	成果繳交項目	單位	數量	成果預定繳交日期	成果實際繳交日期
第 1 階段	作業計畫書	份	10	100 年 6 月 26 日	100 年 6 月 26 日
第 2 階段	定翼型無人飛行載具(系統)(含載具機體、飛控電腦、地面控制系統等)、UAVS 規格書(含機電設計、操作安裝手冊等)	套	1	100 年 7 月 26 日	100 年 7 月 21 日
	期中報告書	份	20	100 年 8 月 25 日	100 年 8 月 25 日
第 3 階段	工作總報告書初稿	份	20	100 年 11 月 23 日	100 年 11 月 29 日
	無人飛行載具(系統)實地航拍影像及各項功能測試原始數據成果(含電子檔)。	式	1	100 年 11 月 23 日	100 年 11 月 29 日
	測試區幾何糾正鑲嵌影像、地面控制測量、空中三角測量、正射影像等成果(含電子檔)。	式	1	100 年 11 月 23 日	100 年 11 月 29 日
	測試區動態飛行模擬或 3D 模擬城市(電子檔)。	式	1	100 年 11 月 23 日	100 年 11 月 29 日
	各項測試作業過程之實錄成果原始影片及展示影片(電子檔)。	式	1	100 年 11 月 23 日	100 年 11 月 29 日
	研討會或期刊論文(初稿)至少一篇。	篇	1	100 年 11 月 23 日	100 年 11 月 18 日
	教育訓練	梯次	1	100 年 11 月 23 日	100 年 11 月 14 日

100 年度發展無人飛行載具航拍技術作業-工作總報告書

NLSC		Project Leader: 林永仁			Project: NLSC 100 UAV (100 年度發展無人飛行載具航拍技術作業)										Date: 2011/06/18																					
Objectives		Major Tasks		權重 (%)	進度	Project Completed By: date												Owner / Priority																		
● ● ● ● ● ●		第一階段																																		
	● ● ● ● ● ●	1	需求訪談	0.79%	預定 0.8%	0.8%													A	B	B															
		● ● ● ● ● ●	2	工作作業書繳交	0.61%	預定 0.6%	0.6%													A	B	B														
		第二階段																																		
	● ● ● ● ● ●	3	無人飛機系統總文	55.42%	預定 55.4%	55.4%	●	●	●	●									A																	
	● ● ● ● ● ●	4	各項系統文件與使用文件繳交	3.03%	預定 3.0%	3.0%	●	●	●									A																		
	○ ○ ○ ○ ○ ○	5	任務執行規劃	0.91%	預定 0.9%	0.9%	●								●	●			A	B																
	○ ○ ○ ○ ○ ○	6	期中報告書繳交	1.67%	預定 1.7%	1.7%						●	●			A	A	A																		
		第三階段																																		
	○ ○ ○ ○ ○ ○	7	任務執行	9.10%	預定 9.1%	9.1%	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	A	B	B	B														
	○ ○ ○ ○ ○ ○	8	無人飛行載具 (UAV) 實地航拍影像及各項功能測試原始檔	7.59%	預定 7.6%	7.6%	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	B	A																
	○ ○ ○ ○ ○ ○	9	測試區幾何糾正鑲嵌影像、地面控制測量、空中三角測量、	7.59%	預定 7.6%	7.6%	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	B	A																
	○ ○ ○ ○ ○ ○	10	測試區動態飛行模擬或3D模擬城市 (電子檔)	1.82%	預定 1.8%	1.8%						●	●	●	●	●	●	●	B	A																
	○ ○ ○ ○ ○ ○	11	各項測試作業過程之實錄成果原始影片及展示影片 (電子檔)	1.21%	預定 1.2%	1.2%						●	●	●	●	●	●	●	A	B																
	○ ○ ○ ○ ○ ○	12	研討會或期刊論文 (初稿) 至少一篇	0.91%	預定 0.9%	0.9%	●	●								●	●	●	●	●	A	A	B													
	○ ○ ○ ○ ○ ○	13	影像處理系統建立完成	5.22%	預定 5.2%	5.2%	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	A	B																
	○ ○ ○ ○ ○ ○	14	教育訓練舉辦	2.46%	預定 2.5%	2.5%											●	●	B	A	A															
	○ ○ ○ ○ ○ ○	15	期末報告書繳交	1.67%	預定 1.7%	1.7%											●	●	A	A	A															
	○ ○ ○ ○ ○ ○	A	每月工作進度會報				●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	A	A	A	B														
	○ ○ ○ ○ ○ ○	B	協同工作流暢度 (團隊)				●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	A	A	A	B															
	○ ○ ○ ○ ○ ○	C	專案溝通				●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	B	B	B	A															
			累積進度	預定 100.0%	100.0%	31.4%	31.8%	48.4%	65.2%	70.5%	75.3%	83.6%	87.4%	93.3%	100.0%	100.0%																				
			# People working on the project:																																	
無人飛機系統建置	無人飛行航拍任務	航拍影像處理	航拍影像處理系統建立	技術轉移, 教育訓練	主要任務		目標日期		2011 06		2011 07		2011 08		2011 09		2011 10		2011 11		智飛科技	台灣大學	政治大學	NLSC	元智大學											
目標				經費運用				<table border="1"> <caption>經費運用表</caption> <thead> <tr> <th>Category</th> <th>Budgeted</th> <th>Expended</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>總經費</td> <td>330</td> <td>226</td> </tr> <tr> <td>UAVS</td> <td>193</td> <td>193</td> </tr> <tr> <td>其他</td> <td>137</td> <td>33</td> </tr> </tbody> </table>																	Category	Budgeted	Expended	總經費	330	226	UAVS	193	193	其他	137	33
Category	Budgeted	Expended																																		
總經費	330	226																																		
UAVS	193	193																																		
其他	137	33																																		
總結與展望				建立無人飛行載具UAV技術進行航拍影像處理流程 驗證UAV運用於局部測繪修正與製圖的可行性 驗證各項技術的精確性 建立UAV標準作業流程																																

圖 2-4 專案進度表

表 2-4 專案工作項目權重與執行百分比

工作項目	權重	執行百分比
第一階段		
需求訪談	0.80%	100%
工作作業書繳交	0.61%	100%
第二階段		
無人飛機系統遞交	55.40%	100%
各項系統文件與使用文件繳交	3.00%	100%
任務執行規劃	0.90%	100%
期中報告書遞交	1.71%	100%
第三階段		
任務執行	9.10%	100%
無人飛行載具 (UAV) 實地航拍影像及各項功能測試原始數據成果		100 %
測試區幾何糾正鑲嵌影像、地面控制測量、空中三角測量、正射影像等成果	7.51%	100 %
測試區動態飛行模擬或 3D 模擬城市 (電子檔)	1.83%	100%
各項測試作業過程之實錄成果原始影片及展示影片 (電子檔)	1.23%	100 %
研討會或期刊論文 (初稿) 至少一篇	0.92%	100 %
影像處理系統規劃完成	5.23%	100%
教育訓練舉辦	2.47%	100 %
工作總報告書初稿遞交	1.68%	100 %





### 第三章 國內外各類 UAV 案例介紹

本章就國內外常用的無人飛行載具系統進行運用比較，並對近年來UAV運用進行資料蒐集。UAV 除了使用一般的數位相機外，也有搭載高光譜設備的可能性，因此就設備的運用與取得進行說明。近年來POS系統(Position and Orientation System)的直接地理定位（Direct Georeferencing, DG）運用逐漸普遍，在本小節也提出相關說明。

#### 3.1 無人飛行載具系統運用比較(定翼機、旋翼機、多旋翼)

近年來使用於非軍事用途的無人飛行載具可分為定翼機、旋翼機與多旋翼系統。以下就本案使用之UAVS與國內外常見之旋翼型UAV與適用範圍、優缺點進行說明，如表3-1，詳細比較請參考附錄N。下一小節內容中，將根據不同型態載具的運用進行相關的說明。

表 3-1 無人飛行載具系統運用比較表

UAV 種類	本案定翼型 UAVS	無人直升機	遙控直升機	大型多旋翼	小型多旋翼	本案使用之多旋翼
功能比較						
優勢	長距離飛行	垂直起降， 自動化操作	垂直起降， 靈活控制	垂直起降， 操作容易	垂直起降， 操作容易	1. 價格優勢 2. 操作容易 3. 靈活性高
弱勢	1. 空域申請流程繁複 2. 需起降跑道	1. 價位高 2. 運用風險高	1. 控制距離短 2. 無法執行自動航線飛行	1. 價位高 2. 無法執行越野任務	1. 抗風能力弱 2. 酬載小	1. 抗風能力弱
適合運用	1.長距離航拍 2.長距離監測	1.中距離航拍 2.小範圍拍攝	1. 短距離監測 2. 短距離空中	1. 軍警用途 2. 小區域拍攝 3. 近景攝影	1. 軍警用途 2. 小區域拍攝 3. 近景攝影	1. 小區域拍攝 2. 無空域飛行 3. 近景攝影

## (一)定翼型無人飛行載具



圖 3-1 DoDo Pro UAV

定翼型 UAV 的優勢在於航程長、抗風能力強、酬載能力高，因此適合用於長距離越野拍攝。目前本案所使用的 DoDo Pro 型 UAV 具備豐富的實戰經驗，其擁有 5 公斤的酬載能力，飛行時間達 3 個小時以上。高展弦比的設計使得該機種具有極高的飛行效率與極佳的抗風性能。現行 UAVS 的使用限制在於每次任務都要申請飛行空域，有迫切性需求的任務需要另行與相關機關進行協調，以維護任務執行之安全性。另一個使用限制是需要跑道進行起降，若無適當的跑道則需由較遠的地方飛進目標區後始可進行航拍任務。

## (二) 自主飛行無人直升機

在臺灣主要生產農藥的興農股份有限公司曾經於民國 94 年導入日本山葉公司所生產的 R-MAX 產業用無人直升機，主要的用途在於搭配其所生產的農藥進行小面積的空中噴灑。R-MAX 無人直升機在國內的運用，最終是因為維護費用高居不下而劃下了句點。隨著科技

的進步，近幾年來所許多國外廠家設計可裝載於小型遙控直升機的飛控電腦。裝載飛控電腦後的遙控直升機即具備有自主停懸、速率控制甚至導航飛行的功能。在擁有這些功能後，使遙控直升機從需要全程由地面人員控制的情況進化到只需要由地面人員進行監控即可。操作的範圍也由目視距離拓展到視距外控制。無人直升機的優點在於不需要起降跑道，在使用上較為靈活。國內曾有一些廠商導入使用無人直升機，但截至目前為止，尚未有實際使用無人直升機進行越野航拍任務的案例產生。無人直升機的使用缺點在於其機械結構較為複雜，因此在維護上需要更加注意。



圖 3-2 Yamaha R-MAX 無人直升機

### (三) 遙控直升機

我國使用遙控直升機進行空拍的歷史可以追溯到民國 70 年代。當時開始有玩家利用遙控直升機搭載傳統底片相機進行空中商業拍攝。相較於無人直升機，遙控直升機需由地面操作人員直接進行目視距離下的直接控制，因此控制距離被限制在地面操作人員的目視距離內。近年來由於電子設備與無線電設備的快速進步，目前利用遙控直升機進行空中拍攝的廠商，可以利用無線電影像傳送系統來增加直升機的操作距離。搭配數位相機更可於單趟任務中拍攝更多的照片。使用遙控直升機的優點在於其造價較為便宜，且取得較為方便。其缺點在於全部由人工進行控制，無法有效的控制載台的速度與位置，因此在需要特定坐標上拍攝的任務上並不適用。



圖 3-3 遙控空拍直升機

#### (四) 多旋翼系統

多旋翼系統係由多個旋翼動力組所組成的飛行器。與直升機一樣，具有垂直起降的功能。根據載台的酬載與滯空能力，又可分為小型與大型兩種型態。小型的多旋翼系統（詳如圖 3-4，為德國 MD 公司所生產 MD4-200 型載具）可以搭載 200g 左右的任務酬載，適合用於短距離的監控任務，因為其雲台具有水平 90 度轉動與自動補償的功能，因此也可用於小範圍的垂直拍攝運用。大型的多旋翼系統（詳如圖 3-5，為德國 MD 公司所生產的 MD4-1000 型載具）可以酬載 1000g 以上之酬載，並進行 30 分鐘以上之飛行，適合用於小範圍長時間的監控任務，或是搭載單眼數位相機，以取得較佳的影像品質。



圖 3-4 MD4-200 多旋翼系統



圖 3-5 MD4-1000 多旋翼系統

#### (五) 智飛多旋翼系統

本團隊所提供的多旋翼系統，系採用德國生產之多旋翼飛行控制核心作為飛控電腦的小型多旋翼載具，搭配本團隊所架構的地面站所形成之近距離空中監測系統。該系統在合理的價位下，提供了無人直升機所能擁有的各項功能，諸如垂直起降，自動補正雲台與高機動性。



圖 3-6 智飛多旋翼系統

### 3.2 三年內 UAV 運用資料蒐集

UAVS 可簡單定義為無搭載飛行員，且可重複使用的航空器 (Eisenbeiss, 2009)。控制 UAVS 飛行的方式可以是由人員於地面手動遙控，半自動或全自動操作。由於不同的研發單位有不同的發展目的，UAVS 尚有其他相似之名稱，如早期美國國防部(Department of Defence, DoD)採用 Remotely Piloted Vehicle (RPV)，而美國航空暨太空總署(NASA)及美國聯邦航空管理局(Federal Aviation Administration, FAA)則使用 Remotely Operated Aircraft (ROA)及 Remotely Piloted Aircraft (RPA)。在 UAVS 的實際應用中，除了空中的無人飛行器之外，尚包含地面控制站及通訊系統，如圖 3-7 所示，因此美國海軍稱這整個系統為 Unmanned Aerial System (UAS，無人航空系統)，目前 FAA 已使用 UAS 取代其他名稱(Cox et al., 2006; Eisenbeiss, 2009)，然而大部分的研究或發展仍習慣沿用 UAVS，因此本報告後續將交互使用 UAS 與 UAVS 這兩個名詞。

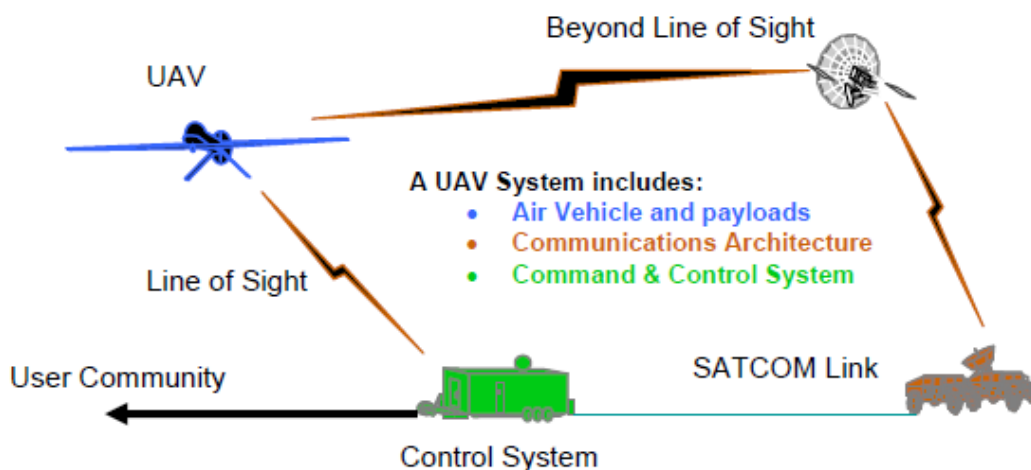


圖 3-7 無人航空系統示意圖(Cox et al., 2006)

UAVS 的發展最初係以軍事用途為主要目的，其概念可追溯自第一次世界大戰，但直到 1970 年代才在美國國防部的主導之下開始進入發展階段；另一方面，美國航空暨太空總署(NASA)亦針對非軍事用途之 UAVS (non-DoD UAVS 或 Civil UAVS)展開一系列的研究與發展。自 2004 年開始，美國航空暨太空總署(NASA)所屬 Dryden 飛行研究中心(Dryden Flight Research Center, DFRC)開始進行民用 UAVS (Civil UAVS) 之相關研究，包括發展相關核心技術、降低 UAVS 製作成本、提昇 UAVS 安全性等，以提昇 UAVS 在各種民間用途之發展及效能(Cox et al., 2006)。NASA 將民用 UAVS 的相關應用簡單區

分為地球科學(earth science)、土地管理(land management)及國土安全(homeland security)等三大任務，各任務之應用單位如圖 3-8 所示(Cox et al., 2006)。圖 3-9 則顯示三個主要任務下各種可能的應用，其中地形製圖(Topographic Mapping)屬於地球科學任務，而災害監測(如野火偵測)工作屬於土地管理任務，以下將針對目前各國所使用 UAVS 之相關應用進行案例蒐集及彙整，其中關於 UAVS 攝影測量及製圖等相關應用，請參考案例一至案例四。

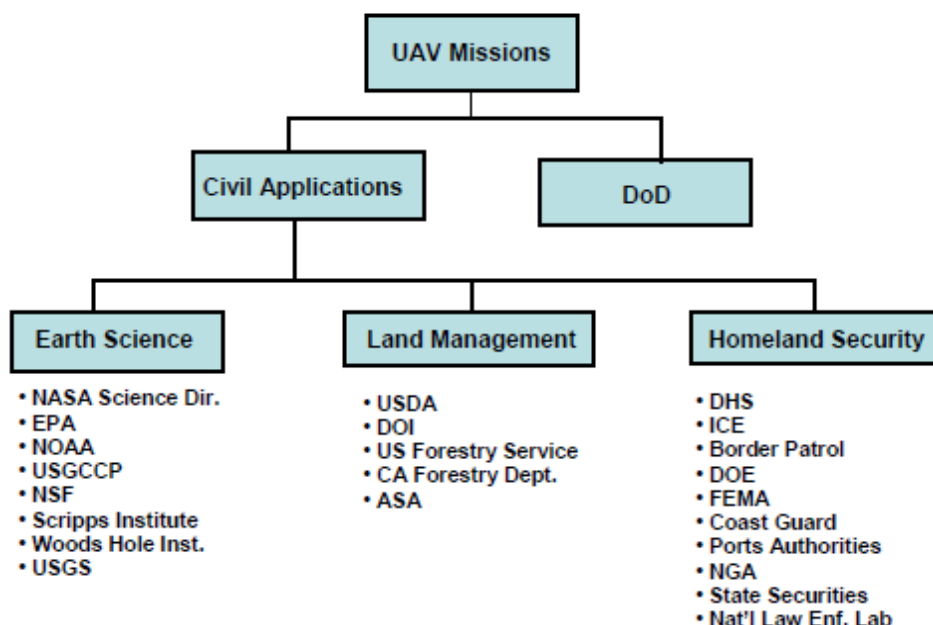


圖 3-8 美國民用 UAV 之三大任務及相關應用單位(Cox et al., 2006)

Earth Science Missions	
Repeat Pass Interferometry for Surface ...	Magnetic Fields Measurements
Cloud and Aerosol Measurements	Cloud Properties
Stratospheric Ozone Chemistry	River Discharge
Tropospheric Pollution and Air Quality	Snow – Liquid Water Equivalents
Water Vapor and Total Water Meas.	Soil Moisture and Freeze/Thaw States
Coastal Ocean Observations	Cloud Microphysics/Properties
Active Fire, Emissions, and Plume Assess.	Focused Observations – Extreme Weather
O2 and CO2 Flux Measurements	Forecast Initialization
Vegetation Structure, Composition, ...	Hurricane Genesis, Evolution, and Landfall
Aerosol, Cloud, and Precipitation Dist.	Physical Oceanography
Glacier and Ice Sheet Dynamics	Tracking Transport and Evolution of Poll.
Radiation - Vertical Profiles of Shortwave...	Clouds/ Aerosol/ Gas/ Radiation Inter.
Ice Sheet Thickness and Surface Def.	Long Time Scale Vertical Profiling of Atmos.
Imaging Spectroscopy	Global 3D Continuous Measurement
Topographic Mapping and Topographic...	Transport and Chemical Evolution in the...
Gravitational Acceleration Measurements	
Antarctic Exploration Surveyor	
Land Management and Coastal Region Missions	
Wildlife Management Population Count	Identification and Tracking of Maritime...
Wildlife Management Telemetry Mission	Shallow Water Benthic Ecosystem
Wildlife Habitat Change Mission	Carbon Dioxide Flux
Precision Agriculture	Wildfire / Disaster: Real-time Comm.
Water Reservoir Management	Wildfire/Disaster: Predict, Measure ...
Range Management	Wildfire: Fire Retardant Application
Urban Management	Wildfire/Disaster: Reducing Risk to Responder
Coastal Water Quality	Wildfire/Disaster: Pre- and Post-Event...
Homeland Security Missions	
Marine Interdiction, Monitoring, Detection	BORTAC Situational Awareness
Tunnel Detection and Monitoring	Coastal Patrol
Broad Area Surveillance	

圖 3-9 各種可能的 UAVS 應用例(Cox et al., 2006)

此外，2008 年 ISPRS 研討會中有數個針對 UAVS 導航及相關硬體控制技術進步發展的研究發表，將 UAVS 的發展宣告進入一個高自動化的階段 (Eisenbeiss 2008)，其最大的特點在於可利用一般消費型相機或攝影機，依據事先的航線規劃進行自主飛行及自動攝影取像，因而可克服極端的氣候及地理條件（如：沙漠、高山、嚴冬酷暑）進行拍攝。後處理部分則有商業軟體提供相關影像空三方位解算，並藉由既有參考資料，產製精確的 DSM 與正射影像等相關產品。

在 Haarbrink 及 Eisenbeiss (2008) 的研究中說明了隨著 UAVS 導航及相關硬體控制技術的進步，目前 UAVS 已可依據航線規劃，進行精確的自主飛行，藉由低航高（海拔 100 公尺）的航拍，獲取高空間解析度的航拍影像，進而產製高密度（可達 50 點/平方公尺）的數值地表模型 (Digital Surface Models, 簡稱 DSM)，及高解析度（可達 GSD 2 公分）的無縫鑲嵌正射影像，甚至產製三維向量圖資，提供了三維建模所需的大量資料，有助於考古建模、遺址保存、都市計畫、... 等



應用。研究最後並以道路斷面測量(見案例四)、堤壩毀損評估(見案例五)、農作生長評估(見案例六，案例十一)、岩石崩落監測(見案例九)等四個實際案例進行說明。茲將各個案例說明如後：

### 案例一：UAV 攝影測量技術之發展

利用 UAVS 系統於製圖應用上之技術一般稱之為 UAV 攝影測量技術(UAV photogrammetry)，顧名思義就是結合 UAVS 與攝影測量技術以進行製圖或其他空間資訊之擷取。其所採用的無人飛行載具若採廣義定義，則可以包含熱氣球、風箏、飛船、旋翼或定翼飛行器等，此外其必須酬載有攝影測量用之儀器，如攝影機、相機、熱紅外或近紅外相機、光達等儀器，由於現代 UAVS 上皆具備 GPS 及 IMU 等導航儀器，可以取得影像拍攝時之載具位置及姿態等方位資訊，因此 UAVS 攝影測量已被當做是一個新的攝影測量工具，其與航空攝影測量及近景攝影測量之比較如表 3-2 所示(Eisenbeiss, 2009)。由表中可以發現，UAVS 攝影測量可應用於大範圍或小範圍區域之製圖或其他應用，其所需經費則根據所使用 UAVS 系統之複雜度及應用目的而定，目前的研究趨勢是如何利用低成本之 UAVS 系統達到小區域製圖、環境及災害監測等目的，此亦為本計畫的目標之一。

表 3-2 航空攝影測量、近景攝影測量及 UAV 攝影測量之比較(修改自 Eisenbeiss, 2009)

	航空攝影測量	近景攝影測量	UAVS 攝影測量
攝影規劃	(半)自動	手動	自動或手動
影像拍攝	輔助/手動	自動/輔助/手動	自動/輔助/手動
區域大小	km <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup> - m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> - km <sup>2</sup>
地面解析度	cm - m	mm - dm	mm - m
與待測物之距離	100 m - 10 km	cm - 300 m	m - km
拍攝方位	垂直/傾斜	垂直/傾斜	垂直/傾斜
起始方位之絕對精度	cm - dm	mm - m	cm - 10 m
影像數目/掃描線數目	10-1000	1-500	1-1000
應用	大範圍區域製圖、森林、3D 城市建模等	小範圍區域或物件、考古、3D 建物模型、工業量測等	大範圍或小範圍製圖、考古、災害監測、3D 建物模型等、其他即時性監測等

## 案例二：小型 UAVS 於正射影像製作之應用

Grenzdorffer 等人(2008)針對小型 UAVS(Micro-UAVS )於製作攝影測量正射影像之應用潛力進行評估及精度分析，研究中的小型 UAVS 指的是總重量小於 5 公斤的無人飛行載具系統，其與一般 UAVS 系統相比較，除了成本較低之外，其使用彈性更佳，且較不易受天候影響。圖 3-10 所示為該研究中所使用的小型 UAVS 之一，其型號為”Carolo P330”，由德國 Mavionics GmbH 所製作，詳細規格如表 3-3 所示。圖 3-11 所示為該研究所提針對 UAVS 攝影測量的資料處理流程，與傳統航空攝影測量類似，先進行地面控制測量、相機率定等程序，並實際拍攝 UAVS 影像；為了進行空中三角測量（以下簡稱空三），必須先量測重疊影像中的連結點(tie points)坐標，此工作可以手動量測，或根據 UAVS 的 GPS 及 INS 資料以自動匹配的方式產生。完成空三計算後，若有數值地形資料，則可據以進行正射糾正及鑲嵌，最後產生正射影像。圖 3-12(a)所示為該研究的實驗區域之一 (M2)，其區域範圍為 1000×750 公尺，共拍攝 45 張影像，照片重疊率設定為 60%，然而受限於 UAVS 航速及風速之影響，實際並沒有達到預先設定相片重疊率，影像解析度約為 0.08 公尺。該研究利用 LPS 軟體進行資料處理，控制點數目為 20 個，連結點數目為 1100 個，空三的成果顯示其內部精度在 X 方向為 ±1.54 像元(約為 ±4.2μm)，在 Y 方向為 ±1.17 像元(約為 ±3.2μm)。地面點位的定位精度在 X 方向為 0.14 公尺，在 Y 方向為 0.08 公尺，Z 方向則為 0.27 公尺，已可達到 1/1000 製圖精度之需求，圖 3-12(b)為最後正射影像成果。

表 3-3 UAV 「Carolo P330」規格表

Type of aircraft	UAV Carolo P330	Synchronisation	Not available
	Model plane	GPS/camera	
Weight	5 kg (max. payload 0.4 kg)	Sensor	Canon PowerShot S60
Speed	16 m/s - 30 m/s	Sensor size (calc.)	7.176 * 5.319 mm
Range	+++	Resolution (pixel)	2,592 * 1,944
Endurance	max. 60 min	Pixel size (calc.)	2.7 μm
Weather and Wind dependency	++	Type of chip	CCD
Sensor platform	Fixed, camera inside model plane	Exposure interval	fixed, every 5 s
GPS transfer / recording	Downlink and onboard storage	Exposure delay	not applied (~ 0.15 s)
		Navigation	autonomously (Way Points)



圖 3-10 UAV “Carolo P330” (www.mavionics.de)

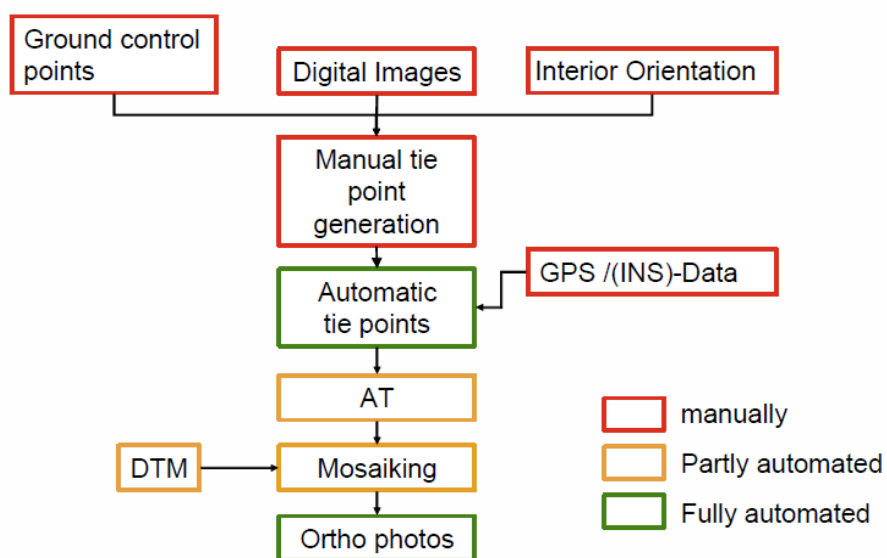


圖 3-11 UAV 攝影測量之處理流程 (Grenzdörffer, et al., 2008)

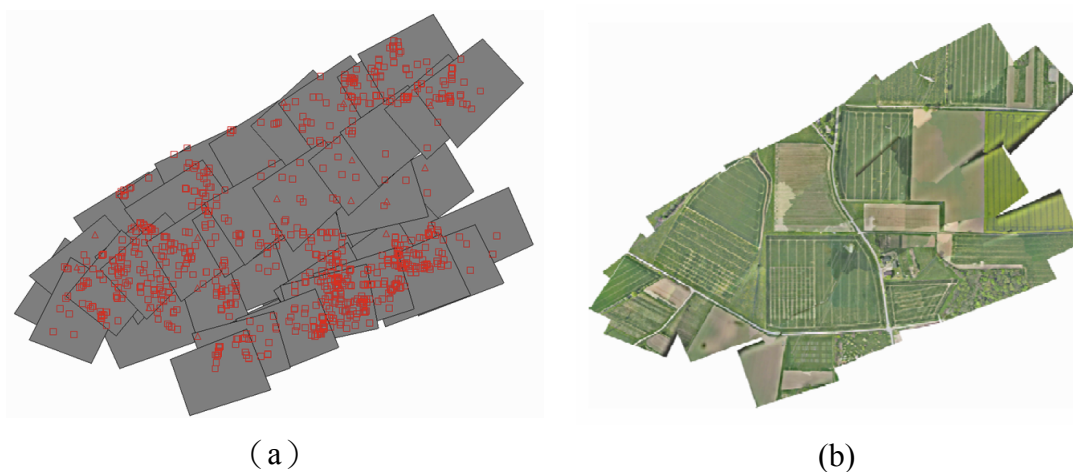
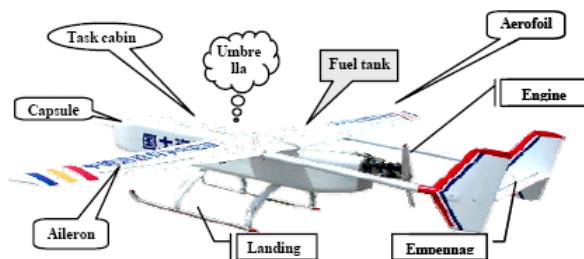


圖 3-12 (a) M2 實驗區域中 UAV 影像涵蓋示意圖；(b)正射影像製作成果

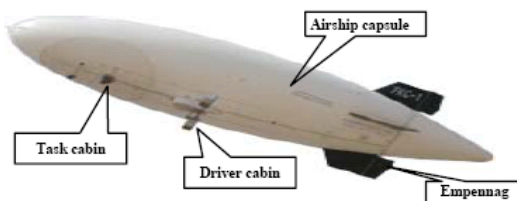
### 案例三、UAVS 於製圖之應用—以低航高進行攝影測量

Lin (2008)提出中國大陸目前的 UAVS 製圖系統中有來自兩種不同載台的成果；一是遙控飛機（如圖 3-13）、另一是無人飛艇（如圖 3-14），且可搭配四顆超廣角鏡頭相機（如圖 3-15），以簡單的機械原理，透過不同方向光軸間的設計配置，經由高精度的相機率定作業，取得大範圍的影像（如圖 3-16）。



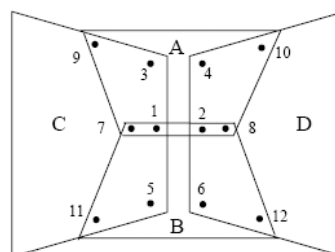
Length of Aircraft	2.8m	Take-off Weight	50Kg
Wingspan	3.6m	Size of Task Cabin	300mm×500mm×300mm
Take-off Speed	70km/h	Speed	70~160km/h
Task Load	>8kg	Navigation Precision	≤80m
Aviation Time	3~4h	Control	Program-controlled, remote-controlled, self-control
Radius of Control	50km		
Height of aviation	100m~4000m		

圖 3-13 遙控飛機相關規格



Length	12~20m	Speed	0~50km/h
Diameter	2~4m	Height of aviation	50m~1000m
Task Load	5~50kg	Radius of Control	10km
Aviation Time	3~5h	Control	Program-controlled, remote-controlled,

圖 3-14 無人飛艇相關規格



(a)

(b)

圖 3-15 (a)四顆超廣角鏡頭相機外觀；(b)本例相機之四張影像重疊情形

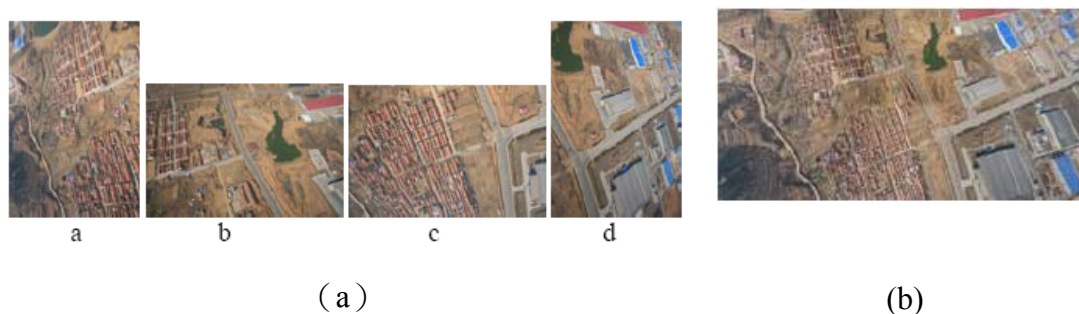


圖 3-16 (a)本例相機拍攝之四張影像成果；(b)四張影像之實際拍攝範圍

另外，為配合本 UAVS 系統特性，該研究亦發展一套特別的空三平差程式，專門處理本 UAVS 系統之成果。該系統之主要特點簡單說明如下：(1) 針對使用之數位相機，制訂一套高精度相機率定程序，以修訂影像幾何畸變問題。(2) 引入 POS 或 GPS 資料進入空三解算，建立影像相對關係，利於前後重疊、甚至跨航帶間之影像匹配。(3) 基於上述作業模式，所有空三作業中之連結點量測均得以自動匹配產生，無須人工介入。(4) 四鏡頭之多視角影像間的相對幾何關係可透過大區域範圍內之多張影像，利用最小二乘法進行平差計算以確立相互關係。(5) 可依據自動產生的影像匹配點，藉由大量多餘觀測數，進行完全自動化之粗差偵錯。(6) 經評估最後空三精度，可達中國大陸 1:500、1:1000、1:2000 製圖作業需求等級。

在 DSM 的成果上則依據空三成果，以切割成小單元進行影像自動匹配，取得影像特徵點，再組成 TIN 模型，透過內插計算產生規則網格資料。但針對 DEM 成果則需引入適當人力以過濾出建物等非地面點資料，再進行合理編修處理。正射影像則可利用空三成果，結合 DEM 資訊，並擷取相片投影中心附近影像進行正射糾正，最後再以無縫拼接技術進行鑲嵌作業。

依據上述之作業程序，該研究建立一 UAVS 製圖系統，稱為 MAP-UAV，並透過三個實際案例驗證：貴州省惠水縣（多為農作區）以航高海拔 1100 公尺，進行 38 平方公里之 UAVS 攝影測量，其正射圖可達 1/2000 精度等級，足以符合國土調查之需求；而在建物密集之都市區的廣州市 1 平方公里測區範圍內，其正射圖甚至可達 1/500 精度等級；另外，在三維建模部分，則以武漢市一處 61 平方公里，超過 20,000 棟建物的區域內，將三維建模成果整合至虛擬實境系統上，得以提供後續都市規劃相關應用。

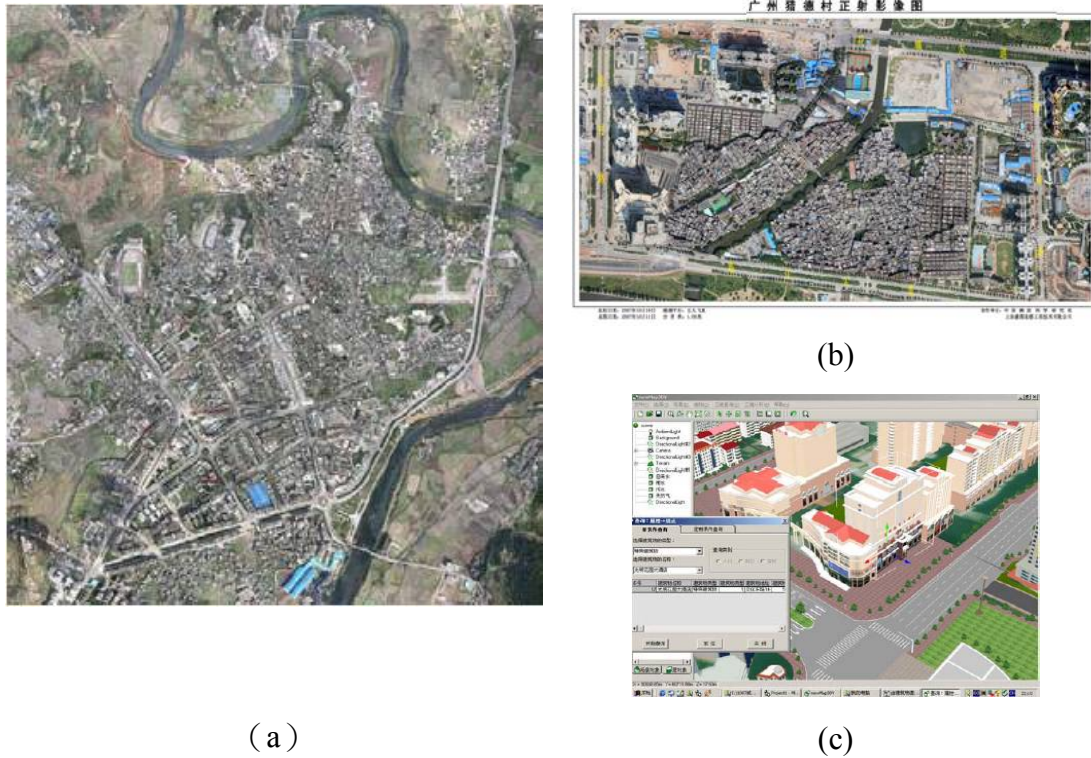


圖 3-17 (a)貴州省惠水縣案例成果；(b)廣州市案例成果；(c)武漢市案例成果

#### 案例四、UAVS 於 DSM 產製之應用-以道路斷面測量為例

荷蘭交通及水資源管理部（Dutch Department of Traffic and Water Management）需針對其主管之交通及水路建置數值地形基礎圖資（Digital Terrain data Base，簡稱 DTB）且不斷進行更新維護。該圖資以 1/1000 比例尺進行測繪，除要求絕對精度應達平面 5 公分、高程 9 公分外，更要求相對精度需達平面 2 公分、高程 4 公分，可謂非常高精度之圖資。其主要作業需求在於交通興建工程完工後，需對周遭既有建設進行影響評估，因而需針對 DTB 進行再次施測更新。為此，Haarbrink 及 Eisenbeiss (2008)等採旋翼 UAVS，考量作業範圍（200×300 平方公尺）及精度需求，搭配相關硬體規格（相機：Fuji FinePix Pro S3、鏡頭：Nikon 28 mm、），進行航線規劃設計（前後重疊：60%、側向重疊：30%、像元尺寸：2 公分）以航高 100 公尺進行三條航線，共計 39 張之航空攝影（圖 3-18）。藉由 14 個地面控制點利用 Match-AT 進行空三量測解算，再以 Match-T 匹配產製 DSM 成果，並經由立測專業人員於 Summit Evolution Pro 產製三維向量圖資，最後利用以上成果於 Inpho's Orthobox 中產製無縫鑲嵌正射影像（圖 3-19）。值得一提的是，一般道路測量中多以現地施測斷面進行變異偵測，本研究中則以 DSM 成果與地面實測斷面成果進行比對（圖 3-20），並進行統計上之 F 測試及 U 測試，以確認兩者之相符性，且

經檢定後確認兩者為一致。

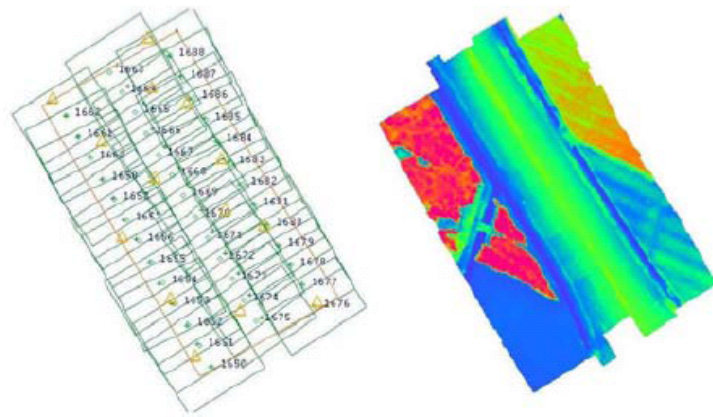


圖 3-18 航空攝影及 DSM 成果



圖 3-19 三維向量資料套合正射影像

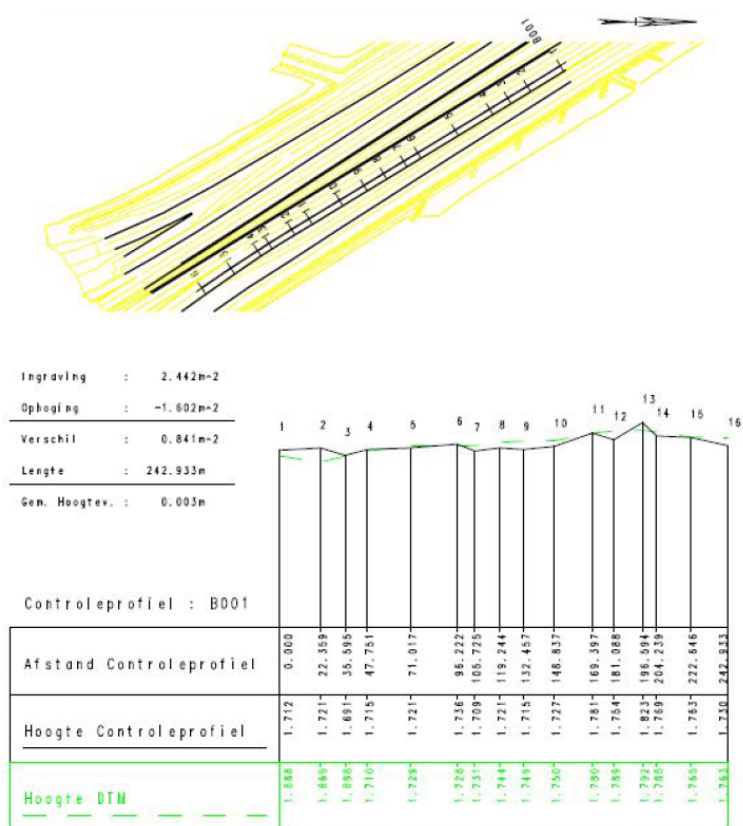


圖 3-20 DSM 成果與現地實測斷面之比對 (黑線：現地、綠線：DSM)



### 案例五、UAVS 於 DSM 產製及正射影像製作-以古蹟模型建置為例

荷蘭早期基於地理位置及特性，地勢低窪、多為洪氾區域，在 1672 年於法國邊境上修築第一條水路，並於水路上興建防洪堤壩；而後為了居民生活及邊境上的軍事考量，陸續廣興水路及堤壩，成為當地特有景致。而今當年興築之堤壩多已成為歷史古蹟，甚至成為極富教育意義的觀光景點。Haarbrink 及 Eisenbeiss (2008) 等藉由 UAVS 攝影測量技術採集高密度 DSM 及高解析度正射影像，再透過虛擬實境的技術，得以重建模型，向大眾展現當年歷史風情。

此案例採全自動之旋翼 UAVS，考量作業範圍（500×300 平方公尺）及精度需求，搭配相關硬體規格（相機：Fuji FinePix Pro S5、鏡頭：Nikon 28 mm、），進行航線規劃設計（前後重疊：60%、側向重疊：30%、像元尺寸：2 公分）以航高 100 公尺進行四條航線，共計 80 張之航空攝影。藉由 20 個地面控制點進行空三量測解算，以 Match-T 匹配產製 DSM 成果，進而產製後續無縫鑲嵌正射影像。相關成果展示如圖 3-21，並可發現該成果的確足以呈現出現場原始樣貌，達到作業預期目標。

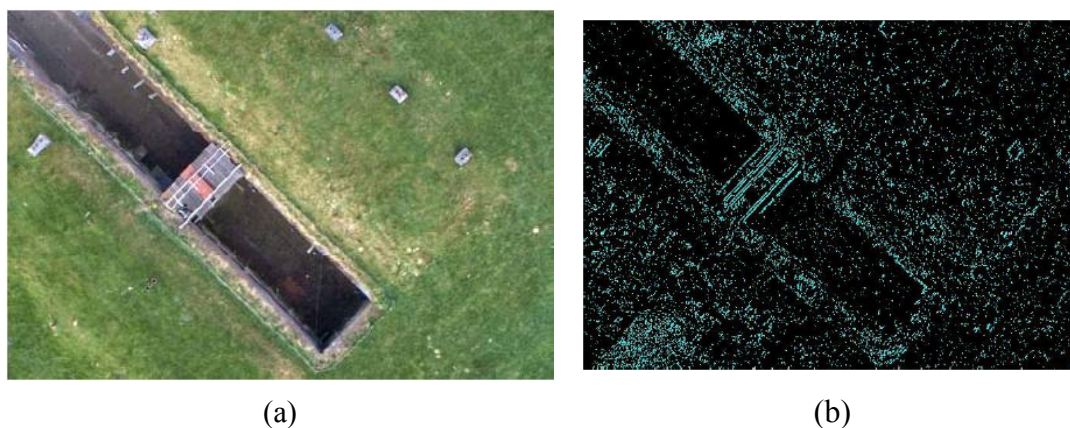


圖 3-21 (a)正射影像成果；(b)DSM 成果

### 案例六、UAVS 於 DSM 產製及正射影像製作-以農作生長評估為例

此案例探討地形因子對於玉蜀黍田異花授粉成功率範圍之影響，於 2005~2006 年間於瑞士蘇黎世進行研究。該案例分別於 2005、2006 年選定兩處以上區域，以航高海拔 450~500 公尺進行前、後期 UAV 航空攝影，並以 LPS (Leica Photogrammetry Suite 9.0, Leica Geosystems Geospatial Imaging, LLC)及 ISDM (Image Station Digital Mensuration, Zeiss Intergraph, 2000)進行空三解算，其空三精度可達

0.5 個像元以上，檢核點之 RMSE 低於 10 公分。另外，透過 SAT-PP software (Satellite Imagery Precision Processing, ETH Zurich, Zhang, 2005)，產製 10 公分網格間距之 DSM，最後以 LPS 結合上述成果產製 3 公分地面解析度之正射影像。而在整體作業上，由於玉蜀黍田影像紋理過於相近，增加空三連結點匹配及量測上的困難度，下圖 3-16(a)表影像匹配產生之特徵點及特徵線。透過 GIS 軟體，利用 DSM 可配合正射影像產生三維模型，圖 3-16(b)，進而測定植物生長高度甚至評估產量。最後，雖然無法藉由植物生長高度驗證 DSM 之精度，但透過前、後期資料比對，得以確認前後期 DSM 成果兩者間具一致性的精度(Haarbrink 及 Eisenbeiss, 2008; Eisenbeiss, 2009)。

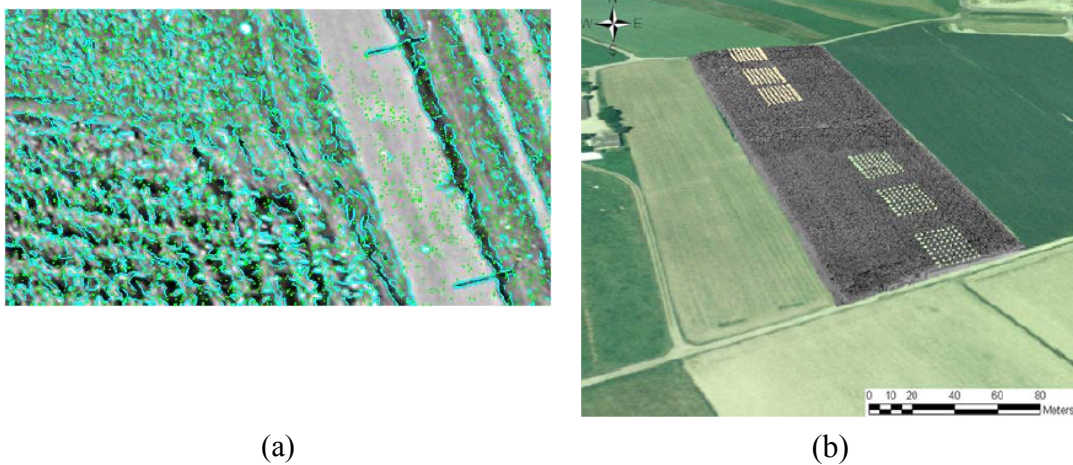


圖 3-22 (a) SAT-PP 影像匹配成果；(b)結合 DSM 及正射影像之 3D 展示

### 案例七、UAV 搭載高解析度感測器之應用例

氣候變遷成為全球關切的重要議題，透過南極河床苔蘚植物的生長範圍的變化得以觀察出氣候變遷的發生，河床苔蘚植物的分布範圍一般多達數十平方公尺，相較於衛星影像的尺度較難據以偵測判釋，更無法清楚觀察其細節上的變化。近年來因 UAVS 以低海拔的航高進行航空攝影，提供了高解析度的影像，得以符合環境監測領域的應用。許多研究均以高解析度（公分等級）之影像進行製圖與監測，甚至更以此資料作為農作物的生長評估與紀錄。

在一個大型的 UAV 系統中，甚至可同時搭載多重感測器（可見光、近紅外光及 LiDAR），同步獲取高空間解析度的資料。其主要優勢除了取得 1~5 公分高空間解析度影像外，作業之便利性，也大大提升了資料的更新頻率。一般認為，全球暖化對高緯度區域的影響較為顯著，而南極大陸更一直是研究氣候變遷的重要指標區域，隨著南極

植物分布的變化，甚至可以看出其溫度已上升攝氏五度的證據，藉由不同時期的影像可以觀察到苔蘚植物漸漸由生意盎然的綠色轉變為垂死瀕臨的紅褐色（圖 3-17(a)）。

Lucieer 等人 (2011) 利用小型電力控制之旋翼模型直升機 (Align Trex 500) 並搭載三種不同感測器 (如圖 3-17(b))，在載重 1.5 公斤時得以飛行 6~10 分鐘，搭配 Helicommand 3A 飛行穩定控制系統下，以人工飛行操作，其飛行軌跡則以 1Hz 之 GPS 進行定位記錄，相機部分則搭載 1500 萬畫素之 Canon Powershot G10 (焦距 28mm、重量 355 克)、以航高 50 公尺拍攝 64m×33m 區域，並以不到 3 秒間隔拍攝一張，地面解析度 1.5 公分，且設定相機與 GPS 為同步記錄。



(a)



(b)

圖 3-23 (a) 南極苔蘚植物；(b)UAVS -Align Trex 500 展示

針對前期已進行拍照選定之研究樣本者(範圍 20 公分×20 公分)，以小塊鋁片進行標記，用以作為變遷偵測標的，藉由不同時期 UAV 攝影測量成果，比較其位置與地域因子間的變化關係。另外以直徑 10 公分的鋁片做成亮橘色標記，共計佈設 24 點作為 UAV 控制之用，並以 GPS 進行現地測量(平面及高程精度等級均在一公分等級，施測點位分布圖 3-19(a))，透過不同視角的多張影像以尺度不變轉換模式 (scale invariant feature transform, 簡稱 SIFT) 進行特徵匹配，經研究證實採用 SIFT 匹配，可於空三平差計算中有效降低相機參數之影響量，順利得到大量且正確的匹配點雲成果，其點雲間距可達 1~2 公分 (圖 3-19(b))，進而產製該區域高解析度的 DEM 成果 (網格間距 1 公分)，藉以評估地域相關因子 (坡度、日照、水文)。最後結合不同位置之研究樣本的苔蘚植物生長情形，進而分析地域相關因子對於苔蘚植物生長之影響。

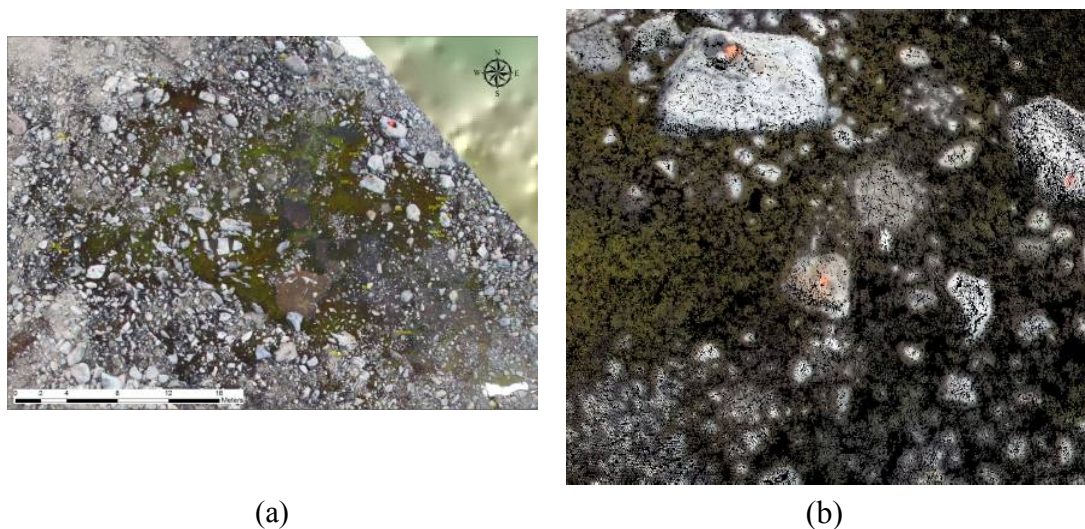


圖 3-24 (a) UAV 產製之苔蘚植物正射影像；(b) 苔蘚植物與岩石交雜區

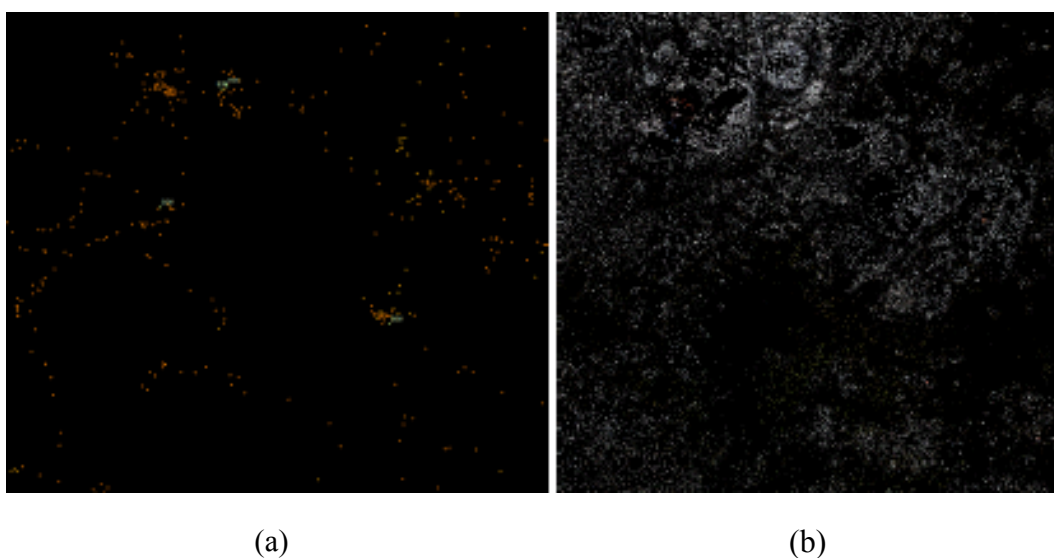


圖 3-25 (a)進行現地施測 GPS 點位分布；(b)匹配之點雲成果

## 案例八、整合 UAV 之即時環境監測影像於虛擬地球展示

低價小型之 UAVS 除搭載一般消費型數位相機外，更開始有利用攝影機作為影像獲取來源的作業方式。近年來由於 Google Earth 的普遍推展應用，改變了一般民眾在地理資訊上貧乏或缺的窘境，其提供不同地理資訊間整合的便利平台，甚至可開放相關資訊於網路平台，透過虛擬地球即可即時獲取興趣區的相關資料。目前一般之小型 UAVS 多搭配簡易型之 GPS/INS，藉以提供後續作業相關地理定位之參考基準。而來自於飛機上即時連續性的攝錄影像，提供了更多關於公共建設監督、森林火災監測及交通流量管制、...等多方面的應用。尤其在緊急響應的救災需求下，往往因圖資過舊或現場發生變動導致既有圖資與現場實況不符，因而影響救災規劃及搶救時效。

Eugster 和 Nebiker (2008)針對整合 UAVS 動態影像於虛擬地球上，以應用於即時地理環境監測進行了分析探討。藉由 University of Applied Sciences Northwestern Switzerland (FHNW)之 i3D 技術將即時連續攝影影像整合於虛擬地球上，並期望未來能提升成果精度至 0.5 公尺等級。其系統整合及運作架構如下圖 3-20 所示，首先於 UAV 系統中採集 Video Camera 影像資料及 GPS/INS 定位資料，透過無限傳輸技術將相關資料傳送至地面控制站，並以時間序列進行內插計算做為資料對應標記以完成兩者資料之串連整合，進而賦予即時動態影像地理定位資訊，再透過 i3D 技術於虛擬地球平台與其他地理資訊進行套疊展現，有助於提供足夠資訊便於操作控制中心甚至用戶端即時進行拍攝路線及角度之修訂調整。又或者得以離線方式針對已完成拍攝區域，進行錄影播放等相關操作，便於事後的分析評估。

以上作業方式尤其適用於大範圍、需大量人力作業者，如：邊境巡邏、輸油管線巡察、...等應用；尤其在人力無法到達之天然災害（如：地震、洪災、及森林大火...等）現場勘查，能透過現場資訊的即時回報機制，調整拍攝路徑規劃，獲取更多有用資訊，以利後續救災作業進行。而在實作案例中，以四旋翼之 Microdrones md4-200（規格詳如圖 3-21），利用一般消費型數位相機並搭配簡易型的 GPS/INS（4.5Hz），在無任何控制資訊可供參考情形下，相關影像成果套合於虛擬地球上之定位精度達 6~15 公尺等級，已可滿足多方對於即時資訊的需求（相關案例如圖 3-22、3-23）。而在後續的作業建議中，為了克服簡易型的 GPS/INS 定位精度不佳情形，作者建議能透過發展適當的演算法，將即時影像資訊透過影像匹配技術，套合於既有模型資料中以提升成果精度。

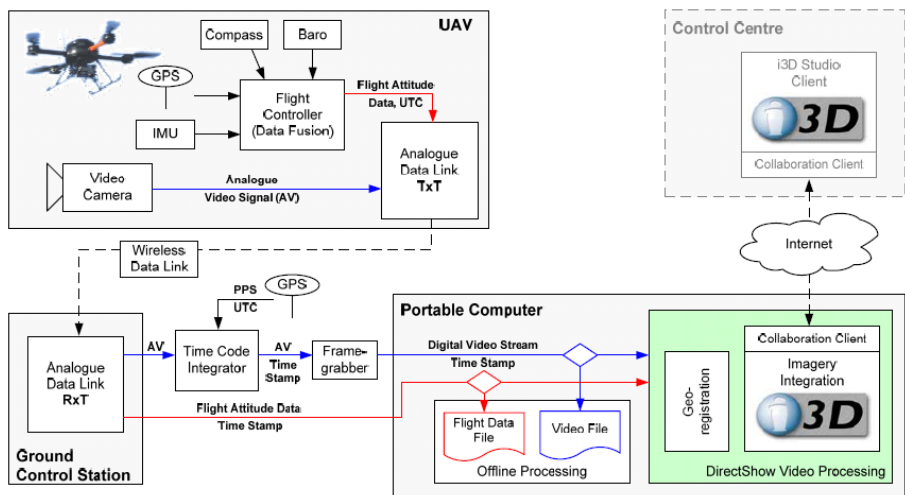
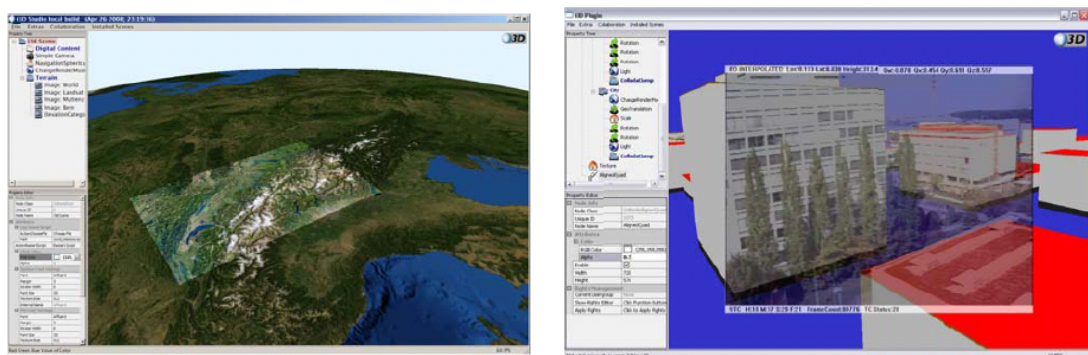


圖 3-26 UAV 影像即時整合於虛擬地球之系統運作架構

<b>Platform</b>	
UAV category:	micro (quadcopter)
max. take off weight:	0.9 kg
max. payload:	0.3 kg
endurance:	20 min
<b>Sensors</b>	
GPS receiver:	u-blox (navigation grade - pseudorange processing)
IMU:	6DOF MEMS based
magnetic compass:	three-axis sensor
barometer	
video camera (payload):	non-metric / PAL output
	resolution: 640x480 pixels
<b>Flight attitude accuracy (After sensor data fusion)</b>	
position:	2.5 m CEP
altitude:	5 m SEP
roll and pitch angle:	1-2°
yaw angle (Heading):	3-5°

圖 3-27 Microdrones md4-200 platform 規格說明



(a)

(b)

圖 3-28 (a)既有圖資套疊於虛擬地球；(b)即時影像套合於三維模型



圖 3-29 即時影像比對三維模型

### 案例九、岩石崩落監測

本案例乃透過 UAV 攝影測量之技術，建立 1991 年五月發生之著名 Randa 岩石崩落區（如圖 3-24(a)）的地表模型。由於岩石崩落後之表面多由大範圍之礫石殘骸所覆蓋，而礫石之分布與堆積面的坡度變化，成為極不穩定的危險因子，甚至可能導致第二次的崩落危機。由於現場施測範圍大、極具危險性，且人力無法到達，非常適合透過 UAV 攝影測量技術，建置崩落區域之高解析度 DSM 成果及立體模型，以助於現場危險因子的判釋。

基於後續分析需求考量，設定 DSM 之空間解析度應達 10-20 公分，且高程精度應達 1-2 公分。鑑於 1-2 公分的高程精度，必須獲取大比例尺的高重疊率航拍影像，並搭配大量的控制點，且其精度應達 1 公分以內。但礙於現場施測困難，僅於範圍周邊佈設控制點。DSM 成果則利用多張影像之影像匹配技術自動產生，並配合正射影像產製三維模型，如下圖 3-24(b)所示，右側則為局部放大 50 倍之影像 (Haarbrink 及 Eisenbeiss, 2008; Eisenbeiss, 2009)。

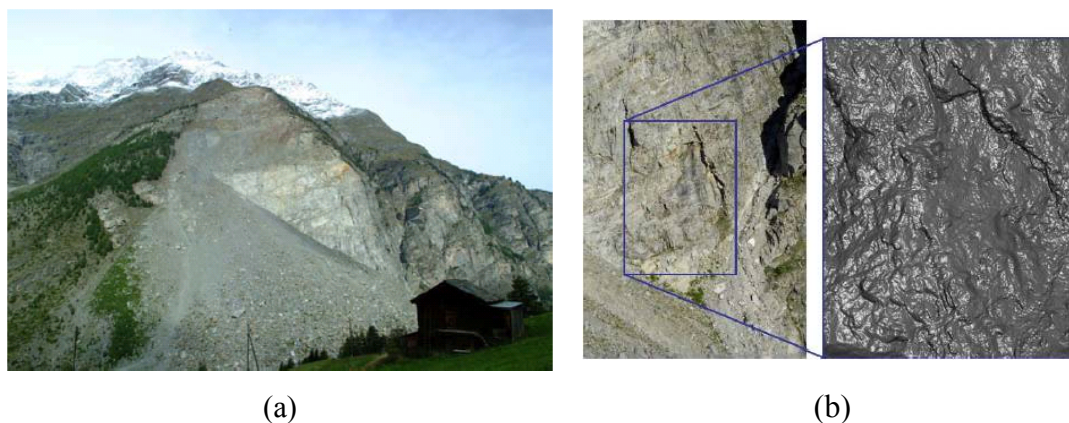


圖 3-30 (a) Randa 岩石崩落區；(b) Randa 局部 DSM 成果展示

## 案例十、大陸 UAVS 目前應用現況

臺灣在 UAVS 攝影測量作業仍屬於初始階段，目前對於 UAV 之相關作業規定並無一個明確具公信力的作業規範可供遵循。中國大陸在 UAVS 的運用方面開始的較早，除了應用於環境監測、考古研究、工程進度監控之外，甚至也開始用來產製高精度圖資、數值地形模型等成果。因此本案例乃以大陸 UAV 相關規範作為內容參考來源，進行整理說明如下：

大陸於 2010 年頒佈了 UAV 航攝相關測量規範，包括：低空數字航空攝影規範、低空數字航空攝影測量內業規範、低空數字航空攝影測量外業規範、無人機航攝安全作業基本要求、無人機航攝系統技術要求及數字航攝儀檢定規程等規範。其中針對「低空數字航空攝影」解釋：「非嚴密概念，僅作為代名詞以區別於大飛機和大幅面數字航攝儀所進行的『數字航空攝影』，其特點有：採用輕小型飛行器，可使用但不依賴機場起降；相對航高較低，一般在 2000 公尺以下；採用 2000 萬像素以上小像幅數碼相機作為傳感器進行航空攝影測量工作。」針對 UAV 航攝系統之主要組成構件及相關規格要求整理於表 3-4（大陸測繪局，2010(b)）。並針對其飛行品質與獲取影像品質規範整理於表 3-5（大陸測繪局，2010(e)）。

表 3-4 大陸 UAVS 相關硬體規格需求(大陸測繪局，2010(b))

組成架構	主要組成構件	相關規格要求
飛行平台	機體、動力系統、執行機構、電氣系統、起落架以及其他保證飛行平台正常工作的設備和部件	任務載重 $\geq 2\text{kg}$ 任務艙尺寸 $\geq 25$ 公分(長)* $20$ 公分(寬)* $25$ 公分(高) 巡航速度 $60\sim 160\text{km/hr}$ 實用升限高於海拔 $3000\text{m}$ 續航時間 $\geq 1.5\text{h}$ 抗風能力應大於 4 級
飛行導航與控制系統	飛行控制板、慣性導航系統、GPS 接收儀、氣壓傳感器、空速傳感器、轉速傳感器等	飛行姿態穩定度：橫滾角度 $\leq \pm 3^\circ$ ， 俯仰角 $\leq \pm 3^\circ$ 航向角誤差 $\leq \pm 3^\circ$ 。 航跡控制精度：偏航距 $\leq \pm 20\text{m}$ 、 航高差 $\leq \pm 20\text{m}$ 、 直線段航跡彎曲度 $\leq \pm 5^\circ$ 。



組成架構	主要組成構件	相關規格要求
地面監控系統	無線電遙控器、RC 接收機、監控電腦系統、地面供電系統以及監控軟體等	可接收、儲存、顯示 UAV 的高度、空速、地速、方位、航向、航跡、飛行姿態等飛行數據。 顯示任務設備的工作狀態。
任務設備	數位相機、數位相機控制系統以及有關的附設裝備	相機鏡頭應為定焦鏡，且對焦無限遠。 鏡頭與相機機身，以及相機機身與成像感測器穩固連接。 成像感測器 $\geq 2000$ 萬畫素。 最高快門速度不低於 1/1000s。
數據傳輸系統	空中與地面數據傳輸無線電發送與接收器	數據傳輸距離 $\geq 10\text{km}$ 。 傳輸速度 $\geq 2400\text{bit/s}$ 。

表 3-5 UAV 的飛行品質與獲取影像品質規範(大陸測繪局，2010(e))

品質類型	成果規格	規範要求
飛行品質	像片重疊度	航向重疊度一般應為 60%~80%，最小不應小於 53%。 側向重疊度一般應為 15%~60%，最小不應小於 8%。
	像片傾角	像片傾角一般不大於 5°，最大不超過 12°，出現超過 8°的片數不多於總數的 10%。特別困難地區一般不大於 8°，最大不超過 15°，出現超過 10°的片數不多於總數的 10%。
	像片旋角	像片旋角一般不大於 15°，在確保像片航向和旁向重疊度滿足的前提下，個別最大旋角不超過 30°，在同一條航線上旋角超過 20°像片數不應超過 3 片，超過 15°旋角的像片數不得超過分區像片總數的 10%。 像片傾角和像片旋角不應同時達到最大值。
	航高保持	同一航線上相鄰像片的航高差不應大於 30m，最大航高與最小航高差不應大於 50m，實際航高與設計航高之差不應大於 50m。
影像品質		1. 影像應清晰、層次豐富、反差適中、色調柔和；能辨識出與地面分辨率相適應的細小地物影像，能夠建立清晰的立體模型。 2. 影像上不應有雲、雲影、煙、大面積反光、污點等缺陷。 3. 因飛機飛行速度的影響，在曝光瞬間造成的像點位移一般不應大於 1 個像素，最大不大於 1.5 個像素。 4. 拼接影像應無明顯模糊、重影和錯位現象。

而在空三精度部分，則規定其平面位置中誤差、高程中誤差如表 3-6，由此不難看出其最終成果品質足以符合產製大比例尺地形圖所需（大陸測繪局，2010(c)）。

表 3-6 UAV 空三精度規範(大陸測繪局，2010(c))

成圖 比例尺	平面位置中誤差(m)		高程中誤差(m)			
	平地、丘陵地	山地、高山地	平地	丘陵地	山地	高山地
1:500	0.4	0.55	0.35	0.35	0.5	1.0
1:1000	0.8	1.1	0.35	0.35	0.8	1.2
1:2000	1.75	2.5	1.0	1.0	2.0	2.5

### 案例十一 高光譜儀運用

數位相機和攝影機因價格低廉且容易取得，使得可見光遙測技術是目前最為普遍的遙測技術，並可有效整合GPS資訊，但數位照相機和攝影機不能有效分辨所有可見光來源。另一種高光譜儀 (Hyperspectral)，此設備可以偵測到的光譜是在電磁波的可見光，近紅外，中紅外和熱紅外波段範圍內，可獲取光譜連續的影像資料。高光譜影像儀，亦是目前最常被應用的遙測技術，「高光譜影像儀」是利用擷取光譜解析影像，然後利用物體特徵光譜來辨識欲測定目標，此儀器比一般數位相機和攝影機有更高的靈敏度和辨識能力，且較為可靠，以往此設備屬於高價設備，且屬於出口管制設備，目前國內儀器科技研究中心已有相關設備製作能量，也讓本設備使用於UAV航拍的可能性增加。

在實際的運用上，英國QinetiQ公司（發音同kinetic）是一家專業的上市國防工業公司，主要業務為提供英、美等先進國家的國防相關的安全與防衛系統。在2008年八月時，該供公司宣佈其與Aberystwyth大學共同執行的U-MAP（UAVs for Managing Agricultural Practice）計畫[5]，這個計畫是由威爾斯議會政府（Welsh Assembly Government）提供經費，希望可以藉由引用UAV科技來進行農地、林區與環境的監控。

在這個專案中，QinetiQ公司扮演系統整合的角色，並配合高光譜儀器取得高解析度的電子影像，並根據此影像建構常態化差值植生指標 (normalised difference vegetation index, NDVI) 地圖(詳如圖3-31)。

隨著時代的演進，農民和林業越來越需要準確和即時的土地的運用資訊。例如通過NDVI地圖可以了解所需使用的化肥區域。根據這些資訊農民可以確保它們只使用確切數額的硝酸鹽化肥，為他們節省開銷並有效防止土地污染。目前這個計畫也同時與波音進行合作，所採用的是更大型的UAV SeanEagle (詳如圖3-32)。

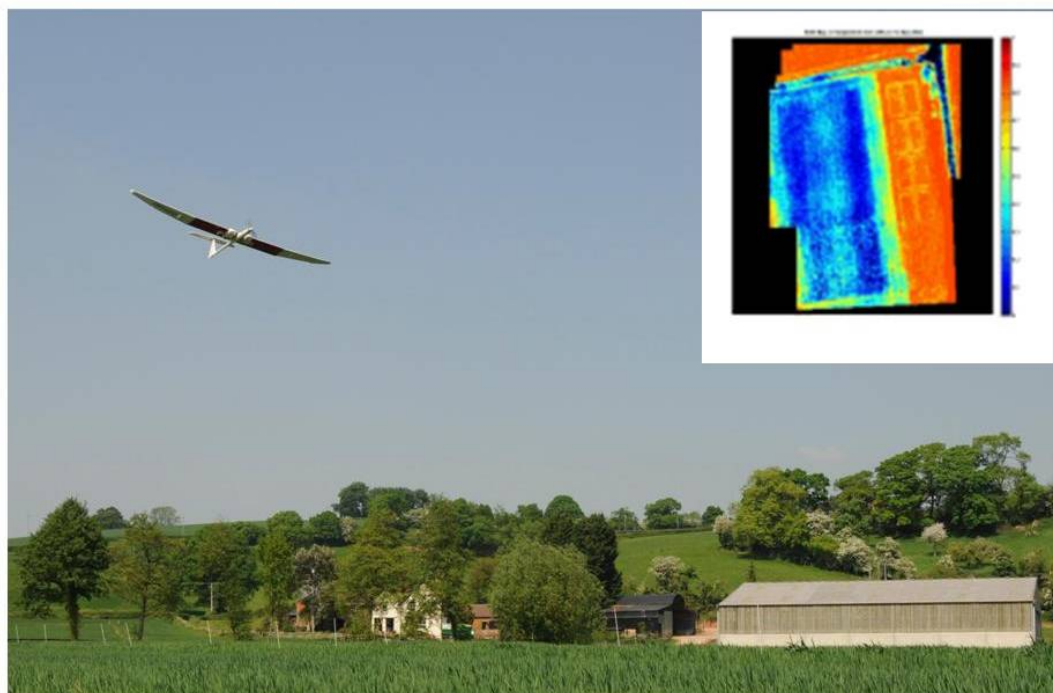


圖 3-31 Map 計畫 NDVI



SeaScan Specifications	
Max Takeoff Weight	37.9 lb / 18 kg
Payload	13.2 lb / 6 kg
Endurance	15 hours
Service Ceiling	16400 ft / 5000 m
Max Level Speed	70 knots / 36 m/s
Cruise Speed	49 knots / 25 m/s
Wing Span	10.2 ft / 3.1 m
Fuselage Diameter	7.0 in / 0.2 m
Length	3.9 ft / 1.2 m

圖 3-32 Scan Eagle UAV 系統規格

檢視市場上的高光譜設備，目前有幾款小型高光譜設備，並有實際運用於UAV上，以下就兩項產品進行說明。

Headwell 公司所生產的Micro-Hyperspe 系列高光譜設備，主要設計給UAV 使用，並有數個頻段可供選擇，可以根據使用者的拍攝需求來進行挑選。該設備網頁中並無提及攝影酬載如何與GPS/IMU系統進行整合，因此資料處理的流程與軟體的需求目前無從得知(詳如圖 3-33)。



圖 3-33 Hyperspec 高光譜儀

Hyperspectral Sensors	Spectral Range
Hyperspec <sup>®</sup> UV	250 - 600 nm
Hyperspec <sup>®</sup> VIS	380 - 825 nm
Hyperspec <sup>®</sup> VNIR	400 - 1000 nm
Hyperspec <sup>®</sup> Extended VNIR	600 - 1600 nm
Hyperspec <sup>®</sup> NIR	900 - 1700 nm
Hyperspec <sup>®</sup> SWIR	900 - 2500 nm
High Efficiency Hyperspec <sup>®</sup> Ext VNIR	550 - 1700 nm
High Efficiency Hyperspec <sup>®</sup> NIR	900 - 1700 nm
High Efficiency Hyperspec <sup>®</sup> SWIR	900 - 2500 nm

圖 3-34 Hyperspec 系列產品與對應頻譜

由Resonon 公司所推出的空用型高光譜儀具備體積小，重量輕，並提供GPS/IMU 整合方案，適合小型UAV系統裝配。相關資料顯示，這套空用系統可以裝設在科研用UAV或小型載人飛機上。下圖3-37呈現該設備拍攝哥斯大黎加雨林的成果照片。



圖 3-35 Resonon 空載高光譜儀



圖 3-36 空載高光譜儀裝備於 Manta UAV 上

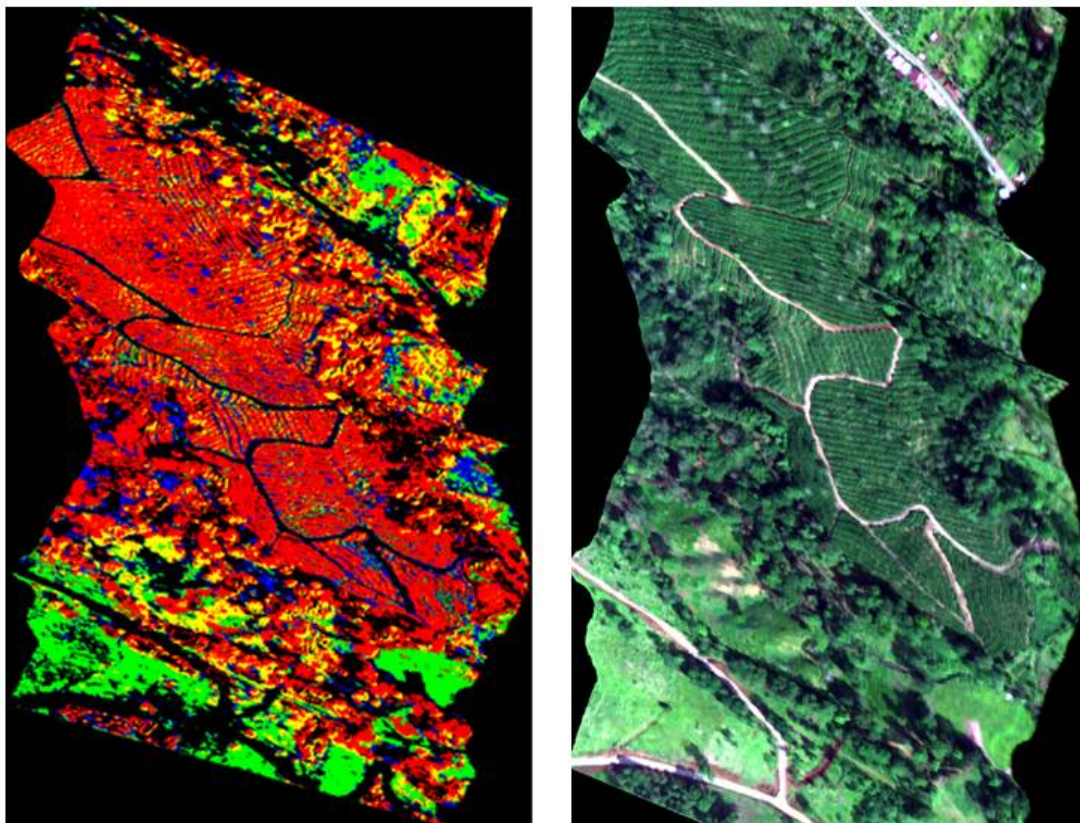


圖 3-37 哥斯大黎加雨林高光譜影像

經詢問Resonon 公司的臺灣代理商新亞洲光學公司，該產品目前屬於出國許可限制，因此無法尋代理商管道取得，若屬國家單位研究性質，應可經由簽署證明進行採購。該設備的價格最低為3 萬美元，價格隨規格與配件而有所不同，該設備的規格可裝載至國土測繪中心之UAV中，若後續有使用需求，僅需改裝酬載平台即可完成設備搭載。

### 3.3 UAVS 運用資料整理

綜合以上案例說明，UAV 系統已可成功地應用於高精度製圖或其他空間資訊之擷取，並實際應用於環境及災害監測上，與傳統航空攝影測量進行比較，UAVS 攝影測量具有以下優點：

1. 對於災區或其他危險區域之影像拍攝，UAVS 系統沒有飛行員性命之風險。
2. 對於人力無法到達之區域，UAVS 可以較低航高取得解析度較佳之影像。
3. 對於具飛航管制之區域，UAVS 若在視線內操作，則有可能是唯一

- 可以進行攝影測量之工具。
4. 在多雲或濛氣較重之天候狀況下，UAVS 可飛行於雲層底下而不受於雲層遮蔽之影響。
  5. 相對而言，UAVS 系統操作人員之訓練比飛行員訓練簡單，且花費較低。
  6. 對資料即時性而言，UAVS 可以快速獲取影像資料，另可藉由通訊系統，於飛行時傳回即時攝影之影像資料。
  7. UAVS 系統在硬體成本上較一般航空攝影測量的硬體成本為低。然而在實際操作成本上，則視應用目的，UAVS 系統有可能會有比較低的成本花費。
  8. 高解析度的 UAVS 影像經適當的幾何改正及正射糾正之後，可應用影像判釋及災害監測。
  9. 配合高精度 GPS 及穩定的導航系統，以及足夠的影像重疊，UAVS 系統在製圖精度上可以達到預期的精度需求。
  10. 高解析度 UAVS 影像可提供 DSM 或三維建物表面紋理貼圖的來源。
  11. 旋翼型 UAVS 系統允許垂直起降及定點拍攝，在某些應用上更具彈性。





## 第四章 定翼型無人飛行載具系統建置

在本章節中，將說明定翼型 UAVS 建置，並針對旋翼機系統的運用進行說明。

### 4.1 UAVS 建置

UAVS 建置分成三大部分，分別為定翼型 UAV、可攜式地面控制站規格、酬載相機，分別敘述如下(詳如圖 4-1)：

#### (一) 定翼型 UAV

本案建置之 UAVS，其 UAV 型號為 DoDo Pro，採用複合材料機身，翼展長 3.3 公尺，展弦比達 11，具有極佳的滑降比與抗風性能，因此適合用於長時間之越野航拍任務。



圖 4-1 UAVS 示意圖

DoDo Pro UAV 空重 18 公斤，最大起飛重量 25 公斤，有效酬載 5 公斤以上，有效酬載空間達 16\*16\*20 (公分)，可同時配置單眼數位相機與慣性量測系統等設備。自 2007 年開始生產，迄今已有 3 架相

同機型服役中，飛行任務區域涵蓋全臺灣本島與外島，是一款成熟之 UAV 載具。

表 4-1 DoDo Pro UAV 系統特色

特色	詳細說明
通訊	配備長距離數據通訊鏈路，控制半徑可達 50 公里以上，即時影像傳輸半徑可達 30 公里以上。
地面控制站	利用無人飛行載具（系統）地面控制站，地面操作人員可在控制半徑內，隨時對無人飛行載具進行監測、變更飛行計畫與控制攝影酬載。
推進系統	採用以無鉛汽油為燃料之二衝程引擎，提供穩定之馬力。
滯空能力	未掛副油箱（4.0 公升）：3 小時以上 加掛副油箱（6.5 公升）：4 小時以上
起降操作	傳統跑道滾行起飛（需 100 公尺柏油跑道），跑道降落。
酬載	可搭載高畫素單眼相機與慣性量測設備或是高縮放倍率攝影模組

DoDo Pro UAV 所搭載之飛控電腦為 SD FCC 飛控電腦（詳如表 4-2），由 2005 年開始使用之 SD FCC 飛控電腦系列，擁有 500 次，500 飛行小時以上之官方飛行任務紀錄。根據本團隊的實際飛行經驗累積，SD FCC 飛控電腦不僅在飛行控制的精度與策略上，可以達到國土測繪中心之航線精度與姿態角需求，最重要的部分在於 SD FCC 飛控電腦蒐集了過去 500 次任務中的所有可能發生問題，強化了系統容錯的邏輯，可以避免 UAVS 於飛行任務中，大部分因為人為或機械錯誤造成的失效問題。

表 4-2 SD-FCC 飛控電腦功能簡表

特色	詳細說明
飛行控制模式	全自動飛行/RPV 飛行/SAS 增穩控制飛行/手控飛行
酬載控制功能	高解析度數位相機/全向式攝影機/電子開關
起降輔助功能	EZ-T/O 與 EZ-Landing 電腦輔助起降
任務控制功能	遠端即時飛行計畫上傳與更改、遠端酬載控制
導航點更新	由無線電上傳或地面人員連線上傳燒錄
安全設計	可設定禁航區，具備迴避禁航區功能
導航設備	可同時追蹤 12 顆衛星之高感度 GPS 接收機
人機介面	中文化地面控制站軟體/機上操作面板

UAV 除了本身之安定性與飛行控制精度外，重點在於如何確保系統使用的安全性、精確性與方便性。下列針對這三個考量點進行說明。

UAV 的安全性，可以由三個方向來進行討論，一為載具本身之可靠度，二為整體系統之可靠度，三為人員之操作熟悉度。飛行器在大氣中飛行，除接觸到不同的程度振動、水氣、鹽分影響外，尚有機件老化之問題。因此定翼飛機的定期維護表格為維持飛行安全之基本要素。DoDo Pro UAV 因屬成熟之載具系統，因此各機件之保養與定檢皆列有表格進行管制，此舉可以保證飛機在每次的飛行都保持在最安全狀態。

而 UAVS 除了載具外，尚包含地面控制站軟硬體才可稱為系統。除了飛行載具本身的可靠度外，如何讓使用者在安全的界線內，有效的控制該飛行載具，即是所謂的系統可靠度。本團隊近五年來運用 UAVS 進行各項監測與測繪任務，發現最安全可靠的運作方式即是運用自動化與表格化的流程，防範各種可能的問題發生。並運用各種電子表格，確保每件事情都有正確被檢查到。因此從出勤前準備表格、任務中檢查與緊急應變表格、任務後航拍品質確認表格、或是地面控制站軟體禁限航區限制功能，皆是利用表單與系統軟體工具來進行限制並提昇系統可靠度的作為。

可靠的系統尚需合適的訓練配合，UAVS 系統的運作有其獨特的作業流程，不熟悉該流程者將無法安全使用 UAV 進行任務。此外，因 UAVS 主要的目的在於航空拍攝，如何使使用者可以在安全的環境下，瞭解並熟悉 UAVS，係提昇系統使用安全性最大的問題。本團隊自 2006 年以來即導入 UAVS 硬體模擬器作為系統開發、系統測試與人員訓練的工具。此工具配合上述之表格流程即可讓使用人員在沒有壓力的狀態下學習如何使用 UAVS。配合本團隊廠房內的實際設備，可以使相關人員在最短的時間內熟悉操作流程，並開始可以將重心轉移至最終之航拍任務中。而最後一道防線即是投保 UAVS 的第三責任險，確保 UAVS 在出事時的責任風險降至最低。

UAV 除飛行外，最重要的即是系統之精確性。UAV 的精確性除了自動飛行航線精確性外，尚需確保航拍時之姿態穩定，以取得扭曲少之照片。目前 DoDo Pro UAV 系統經過飛行控制率的調整，針對航拍運用最佳化。如下列圖 4-2，任務實際飛行空速 60 海里，風速 約 20

~25 海里，約五至六級風；頂風約 13 海里，四級風；側風約 20 海里以上，五級風，航線的精度優於國土測繪中心規格要求之水平誤差 $\pm 15$ 公尺、垂直誤差 $\pm 15$ 公尺、空速誤差 $\pm 8\text{km/hr}$ ，同時俯仰 (pitch) 與滾轉 (roll) 角 $\pm 2$ 度以內，具備優異之姿態保持特性。

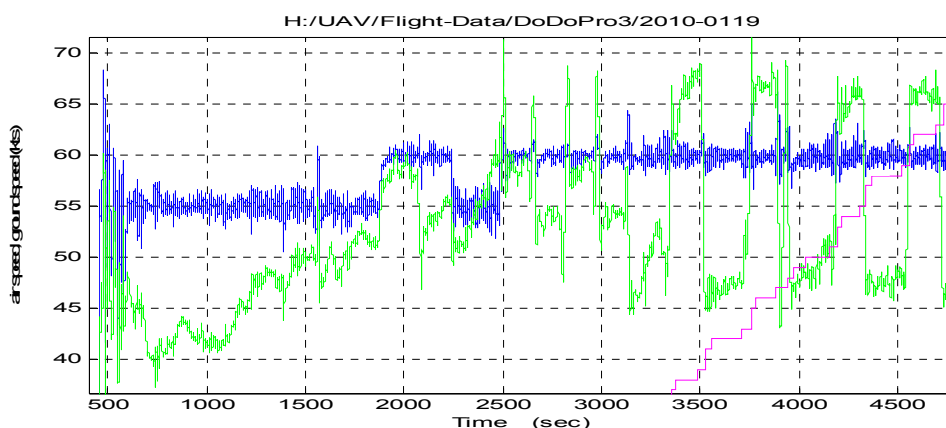


圖 4-2 速度控制精度  $\pm 8\text{km/hr}$

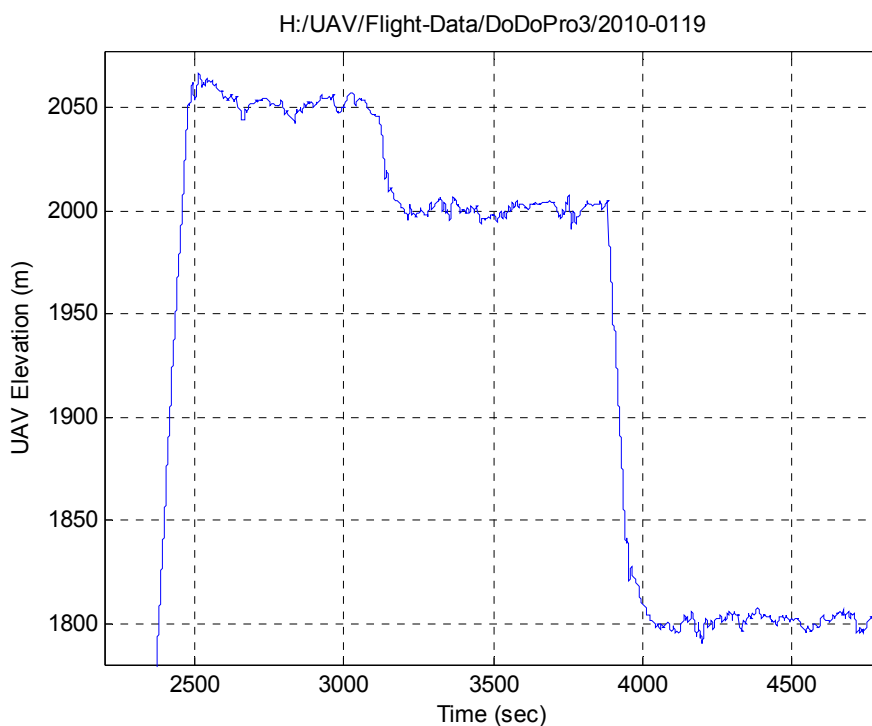


圖 4-3 航高控制  $\pm 15$ 公尺

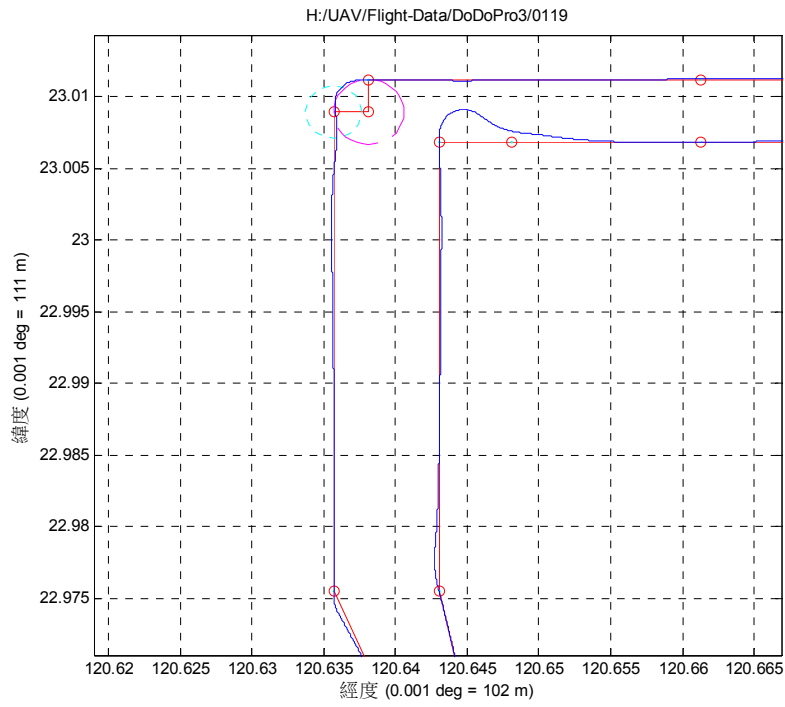


圖 4-4 航線精度 +/- 15 公尺 (進入直線航道 1000 公尺 以後)

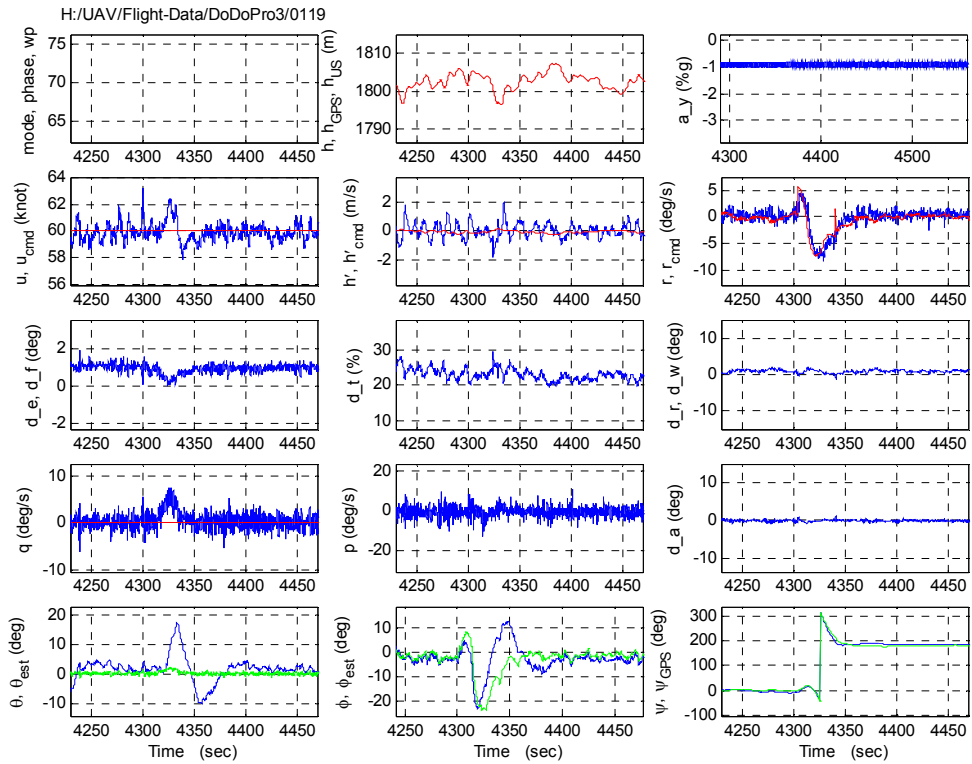


圖 4-5 俯仰 (pitch) 與 滾轉 (roll) 角 +/- 2 度以內

此外，DoDo Pro UAV 曾於東北季風時出海作業，當時季風風力到達時速 40 海里，約八級風，UAV 仍能安全的返航，具備極高之可靠性。

**UAV under strong wind of 40 knots with an air speed of only 55 knot**

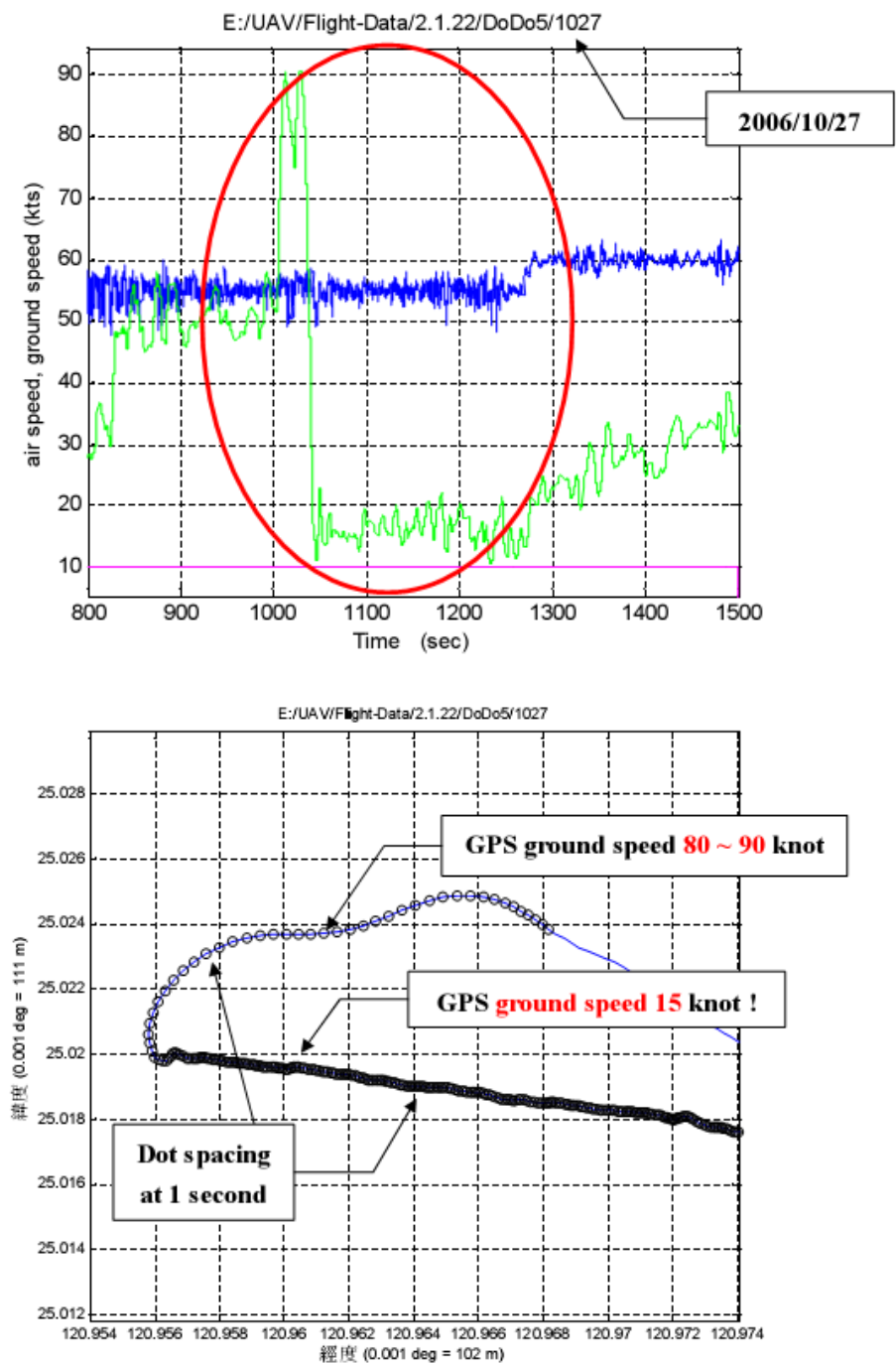


圖 4-6 UAV 於 8 級風下作業紀錄

本案使用 DoDo Pro UAV 曾運用於國土測繪中心 97 年度「探測感應器測繪平台架構規劃暨應用作業工作」一案中，已實際驗證其飛行航線控制性能。在上述專案中採用 MicroStrain 之 3DM-GX1 姿態與指向參考系統(Attitude and Heading Reference System, AHRS)與 BEI 生產之 MMQ-G 作為空三資料取得的來源。測試結果發現 60 萬元以下之 AHRS 系統所宣稱之精度，尚須配合完整的地面裝置校正與無人飛行載具動態的限制(如轉彎後尚須多少穩定時間)才能符合本案所要求精度。因此在本案中，預備採用較 3DM-GX1 較精密之 MicroStrain 之 3DM-GX3-35 或是 XSens 之 MTI-G 等有 GPS 定位資訊輔助之 AHRS 系統外，另外還會針對系統的裝置誤差、系統的強磁校正、系統的穩定時間與航線的規劃進行整體的考量，以期使該系統能提供準確之數據。



圖 4-7 強磁校正作業圖

另一方面，台幣 60 萬元以下的慣性量測系統如 IMU 或是 AHRS，皆採用 MEMS 感測器作為感測元件，其精度與可靠度遠差於裝備雷射陀螺儀或是光纖陀螺儀等戰術級的慣性感測元件。因此在第一年度中，可藉著使用空中後方交會法來交叉比對該慣性量測設備的精確度，並可以對第二年度的慣性量測元件採購提供一個重要的比較基礎。並藉由掌握低價感測器之精確度來提昇在 GPS/INS 輔助法解算時的精確度，相關比較請參考附錄 K。

在方便性的架構設計上，相關的系統軟體與規劃軟體之資訊都可以互相調用，在本案的規劃中，將使無人飛行載具航拍的資訊流程可以與影像處理之資訊流程串接。藉由一貫化的軟體專案管理手法來統一各航拍專案所產生的資料，使之可以在整個航拍專案生命週期中，使用同一份專案文件進行管理。

目前 IMU 與酬載系統的結合使用的方法是利用飛控電腦來紀錄所有的 IMU、GPS 定位、拍攝時間等各項參數，並於飛行降落後下載該次飛行的所有參數。這個方式的好處在於可以簡化系統的複雜度，缺點在於只要更改不同的 IMU/INS 設備後，飛控電腦的程式就需要在更動一次。因此不管選擇的 IMU/INS 的種類為何，要更換硬體設備時，就需要針對不同的軟硬體介面進行修改，但不會影響到其他機內設備的配接。

本案今年度將採用有多次飛行資料的 MicroStrain 3DM GX1 作為測試基礎，並據此建立相關性能參數的評估流程以作為後續選用具有 GPS 輔助的 AHRS 設備的標準。



## (二) 可攜式地面控制站規格

本案所需之可攜式地面控制站為一機動式 UAV 控制設備，其中包含控制 UAV 所需的電腦、無線電、天線、自動追蹤、電源，並需完整的整合於一個箱體內。智飛科技自 2007 年起開始製作可攜式地面控制站設備，深切瞭解該設備在 UAVS 任務操作時的方便性，其設計重點在於可靠度，並可由下面幾個方向來進行設計可靠性的確認。

1. 外箱體堅固性
2. 設備整合度
3. 無線電可靠度
4. 系統靈活度

本案所使用之可攜式地面控制站箱體以美國 Pelican 防水防潮箱製作，配合鋁合金陽極處理之面板，可以提供系統穩固之保護。箱體中的設備以商規配線方式與商規連接器，確保長期使用的可靠性。本案所使用的無線電系統皆為實際驗證過之設備，可以確保在實際飛行時的影像與資料接收品質。

為了對應更靈活的任務使用需求，地面控制系統在設計上即導入多地面站同時監控 UAV 的功能。在面對遠程或複雜航拍任務時，可能因為地形的遮蔽而使單一地面站台無法全程監控 UAV 的狀況。在另一種操作情境中，UAV 需要由甲地起飛，乙地降落，都需要兩組以上之地面控制站協同使用(詳如圖 4-8)。本團隊另外可提供一台地面控制車、一組可攜式地面控制站配合專案使用，該車使用之設備與可攜式地面控制站之系統一致，因此可以互相配合使用。在另一方面，地面站系統在操控軟體的設計上，除了一般的航線規劃流程外，本案所提供的軟體還提供了禁限航區的警示與禁止功能，讓使用者在此架構下可以安全無虞的進行航線的策劃作業。另一方面，由於 UAV 航拍任務可能於山區執行拍攝，為避免發生如碰撞山壁情形等飛安問題，本執行團隊使用的航線規劃軟體內建有全臺灣 100 公尺解析度 DEM 資料，可於航線規劃時即了解任務區內的地形起伏情形，隨時進行飛行高度或航線調整，確保任務順利且安全執行，並可將完成規劃的航線分布圖輸出至其他圖台如 Google Earth 或其他地形繪製軟體進行比對(詳如圖 4-9)。



圖 4-8 多基地站控制

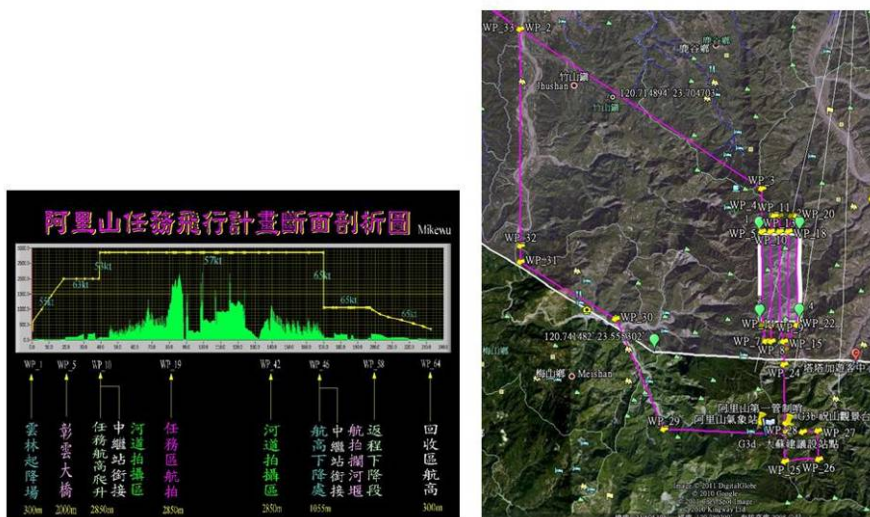


圖 4-9 任務執行規劃

### (三) 酬載相機規格

本案選擇使用 Canon 公司出品之 5D MKII 相機作為本年度計畫之航拍酬載，並搭載相容之 24mm 與 50mm 鏡頭作為不同任務的焦距選擇。所有的鏡頭與相機組合皆會經過地面率定，並根據實際需求實際進行地面率定場航拍，以取得更適合的相機率定參數(詳如圖 4-10)。



圖 4-10 Canon 5D MKII 與 32GB 高速記憶卡

目前 UAVS 所使用之減震系統乃根據飛機發動機之振動頻域選擇矽膠避震墊，其特點為重量輕、耐用，且提供頻率響應圖表，可更精確的根據酬載重量與發動機運作振動範圍選擇適用之規格，確保酬載的穩固性與防震特性。此種避震墊至今已使用 4 年以上，品質穩定，避震效果極佳，可大幅提昇拍攝時相機之穩定性，並產生清晰無振動之影像，拍攝成功率達 98% 以上(詳如圖 4-11)。

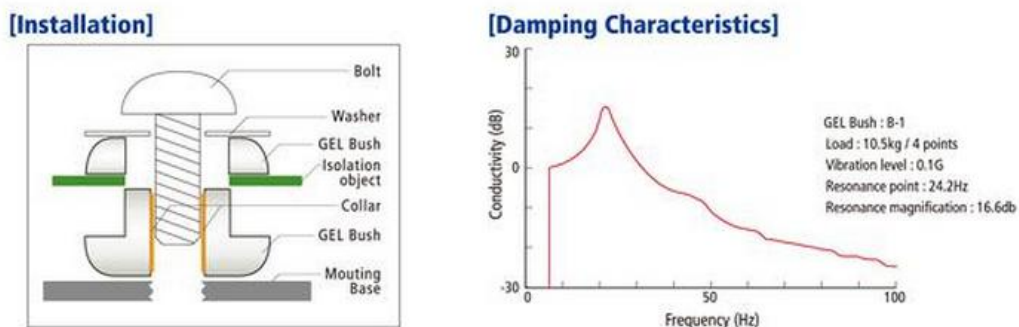


圖 4-11 矽膠避震墊與響應圖

另外 UAVS 之飛行時速約 55 至 65 海里（時速 90 至 120 公里）相較於大型之航拍飛機，飛行速度仍屬較慢，因此受側風之影響而產生之航偏角亦較為顯著。為了避免此一問題產生，本案提出使用單軸向之雲台，而單軸向雲台的設計是針對載具之偏航軸進行修正。飛行控制電腦參考 GPS 定位資訊的航向訊號並與 AHRS 系統之磁羅盤的量測值比對。根據這個差值調整次一單軸雲台，使航偏角對拍攝的差異有效的減小，理論上可以減少側向風對於飛行航偏角的影響。

目前市面上並無販售適用於本案之單軸向雲台，因此將就目前選定之 Canon 5D MKII 相機為基準，進行該雲台的設計。

## 4.2 UAVS 驗收測試

本案需繳交之 UAVS 系統包含飛行載具系統、可攜式地面控制站與 UAV 酬載感測器，已於 7 月 21 日完成系統遞交，並於 8 月 15 日至 8 月 16 日，9 月 4 日及 9 月 7 日陸續完成實測驗收，詳細之規格請參考附錄 J。



圖 4-12 實際測試飛行現場

### 4.2.1 UAVS 驗收

本案於 8 月 15 日至 8 月 16 日進行飛行驗收，並於 9 月 4 日、9 月 7 日補充測試飛行時間、飛行高度及通訊與影像傳輸距離功能項目，主要驗收項目說明如下：

### (一) 飛行時間需大於 150 分鐘以上

合約要求 UAV 需滿載起飛後以時速 100 公里飛行之續航力，應在 150 分鐘(含)以上。8 月 15 日驗收測試飛行 50 分鐘，飛行平均時速 102km/h，降落後統計消耗燃料 1250cc，平均油耗為 25cc/分鐘，以該次 UAV 加入燃油 4000cc 計算，可供 UAV 以時速 102 公里飛行 160 分鐘。

### (二) UAV 酬載重量需大於 5 公斤以上

合約要求機體本身航電及油箱滿載重量不計，需額外搭載重量 5 公斤(含)以上能力。表 4-4 為 8 月 16 日飛行測試所攜帶之設備重量清單，故 UAV 可滿足額外搭載 5 公斤任務酬載之規格需求(詳如圖 4-13，表 4-3)。

表 4-3 酬載負載測試設備表列

搭載項目	品名	重量(公斤)	搭載總重 (公斤)
1	5D Mark-II 相機含鏡頭	1.656	
2	3DM GX-1 姿態儀	0.145	
3	2.4Ghz 影像傳輸模組	0.25	
4	影像傳輸用電池組	0.596	
5	負重測試用副油箱	2.671	
			5.318



圖 4-13 酬載與重量測試圖

### (三) 飛行高度需大於 3000 公尺以上

與本案同型號之 DoDo Pro UAV 於 100 年 1 月 14 日於濁水溪下游滿載起飛後，以 50 海里(90km/h)爬升至海拔 3000 公尺，執行飛行包絡線測試以及控制率測試，空速維持在 55 海里至 60 海里間(100~108 km/h)之經濟巡航速度，並同時回傳空拍影像，由地面站紀錄如下圖 4-14 至 4-17。一共在海拔 3000 公尺以上飛行 20 分鐘，包含 2800 公尺以上飛行時間累計 30 分鐘。

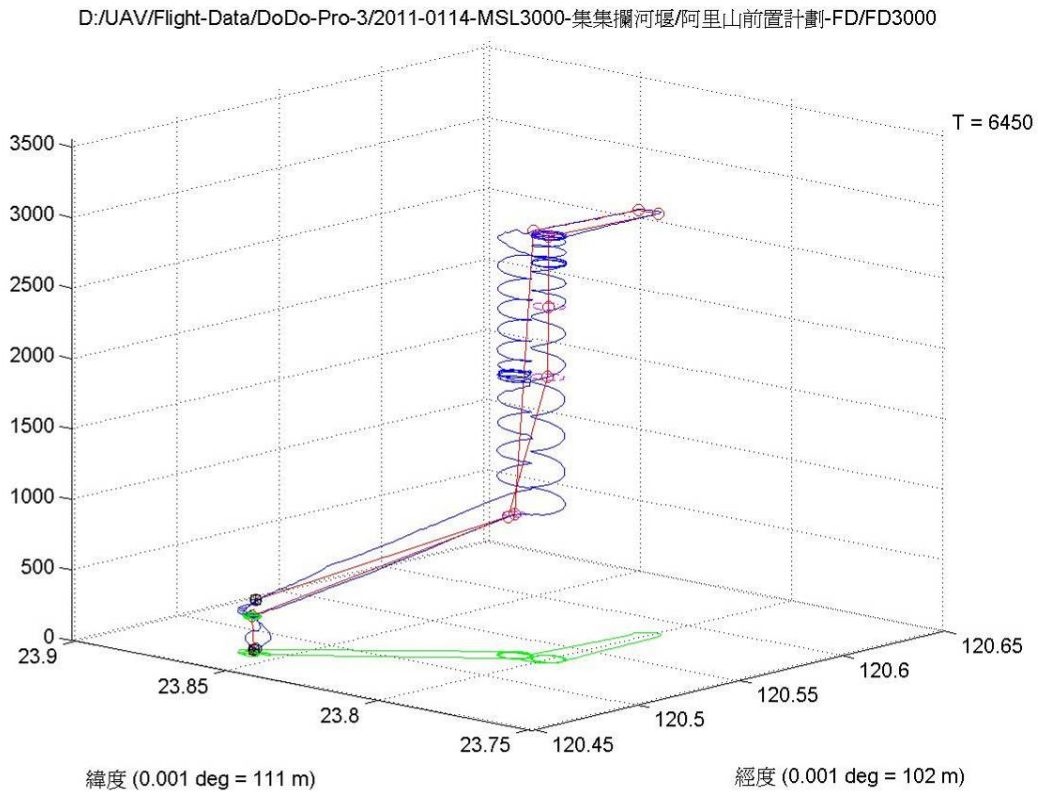


圖 4-14 UAV 3000 公尺高度飛行測試軌跡紀錄圖



圖 4-15 UAV 自海拔 3000 公尺回傳之濁水溪空拍影象

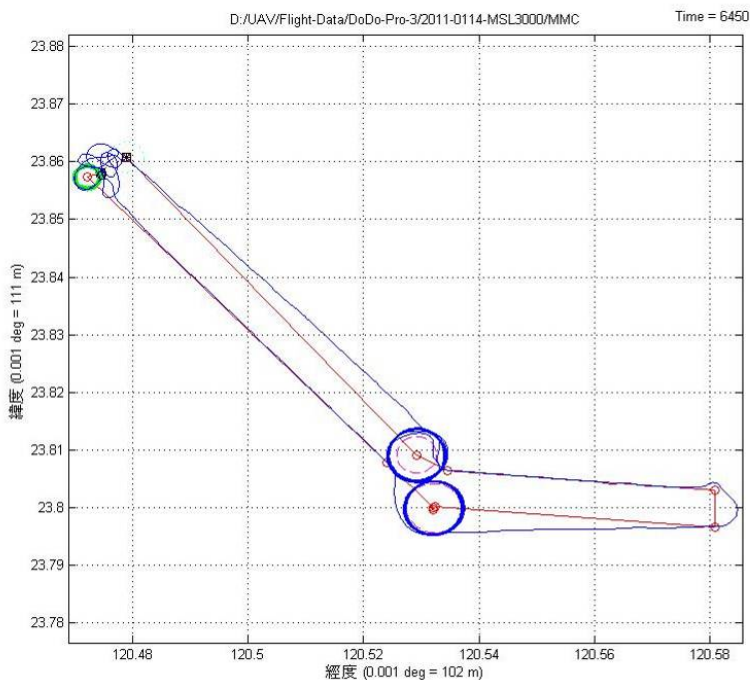


圖 4-16 UAV 飛行路徑(2D)

Pro-3/2011-0114-MSL3000-集集攔河堰/阿里山前置計劃-FD/FD3000

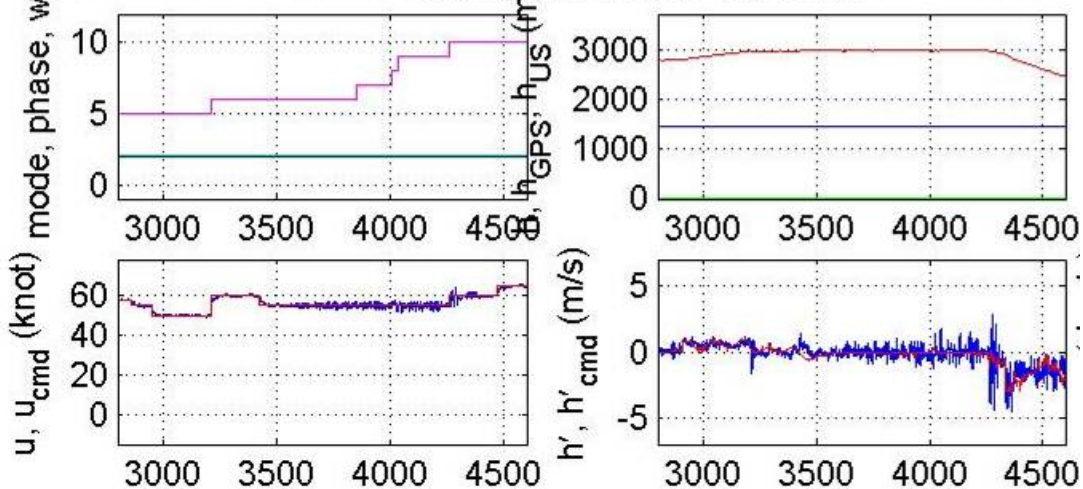


圖 4-17 UAV 高空飛行數據紀錄

(四) 飛行航線控制精確度說明

合約要求空速控制精確度：無風巡航時±8km/hr(含)以內，在 8 月 15 日驗收飛行測試時之風況為 3-7 海里之二級風風況。UAV 飛行全程之速度紀錄如下圖 4-18 所示，紅線為速度指令、藍線為實際空速，



可見到實際飛行速度 95% 以上收斂在空速指令  $\pm 4$  海里之範圍內，即  $\pm 7.4\text{km/hr}$  之範圍，此處尚包括爬升、下降及航線變換等非巡航狀態。

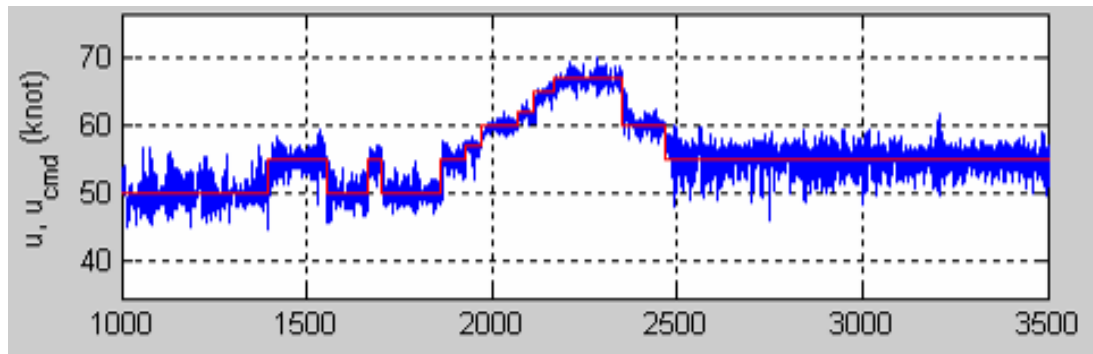


圖 4-18 驗收飛行全程空速紀錄

而將巡航部分資料放大檢視之結果如下，除在 3200-3220 秒之間因受河床上升氣流影響較大之外其餘部分之空速多維持在 53-57，即  $\pm 2$  海里 ( $\pm 3.7\text{km/hr}$ ) 之間 (詳如圖 4-19)。

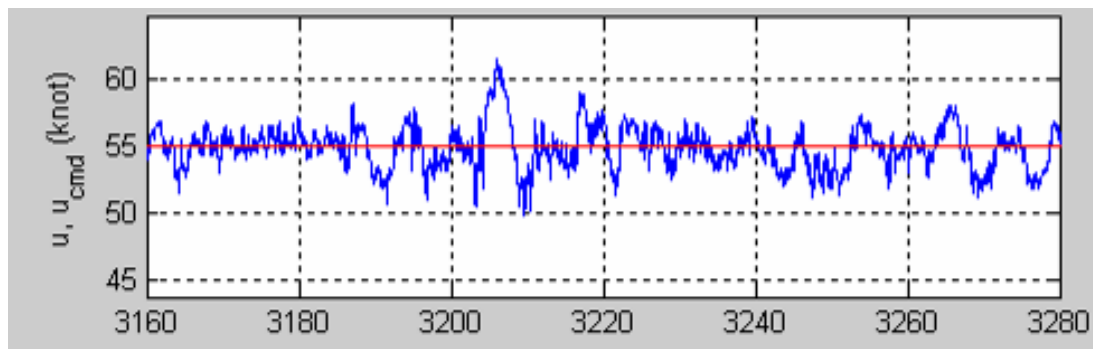


圖 4-19 巡航飛行時空速紀錄

#### (五) 禁限航區迴避功能說明

合約要求飛控電腦具備自動迴避禁航區功能，在禁航區標示後，機載飛控電腦可自動迴避禁航區，即使地面控制站操作人員操作不當，亦有能力自行迴避。

8 月 16 日驗收飛行如圖 4-20 所示，內建之禁航區已標示在地面控制站系統 (Ground Control System, 以下簡稱 GCS) 上，同時機上飛控電腦內亦紀錄有一樣的禁航區資訊。可見到於里港測試區下方有

兩個紅色方框分別代表屏北機場及屏南機場之限航區域。

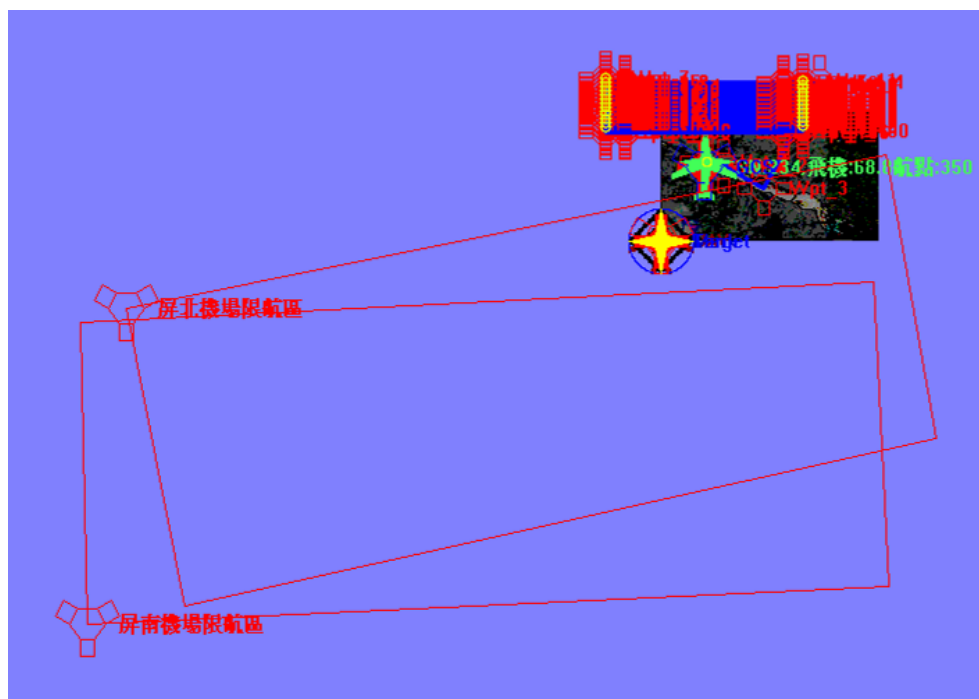


圖 4-20 屏東機場禁限航區標示

將畫面拉近到測試區後如下圖 4-21 所示，可見到禁航區的紅框即在里港測試區東南側，導航點(Wpt)1 及 2 皆在一般測試空域內，而測試人員將導航點 3 設定於禁航區之內以驗證自動迴避功能。

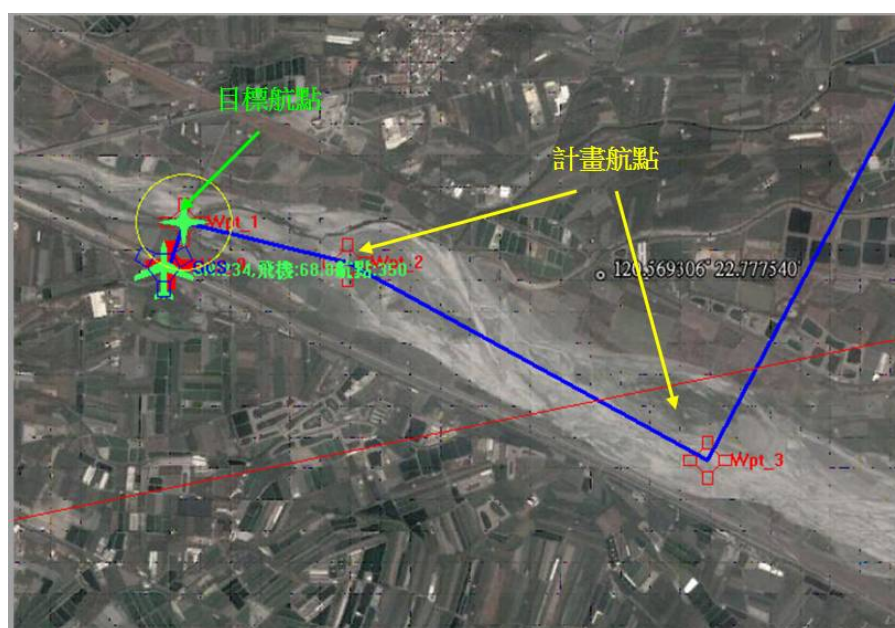


圖 4-21 禁限航區航點設定示意圖

UAV 起飛後在航點 1 檢查完畢後通過航點 2，向著位於禁航區之內的航點 3 行進（如圖 4-22）。

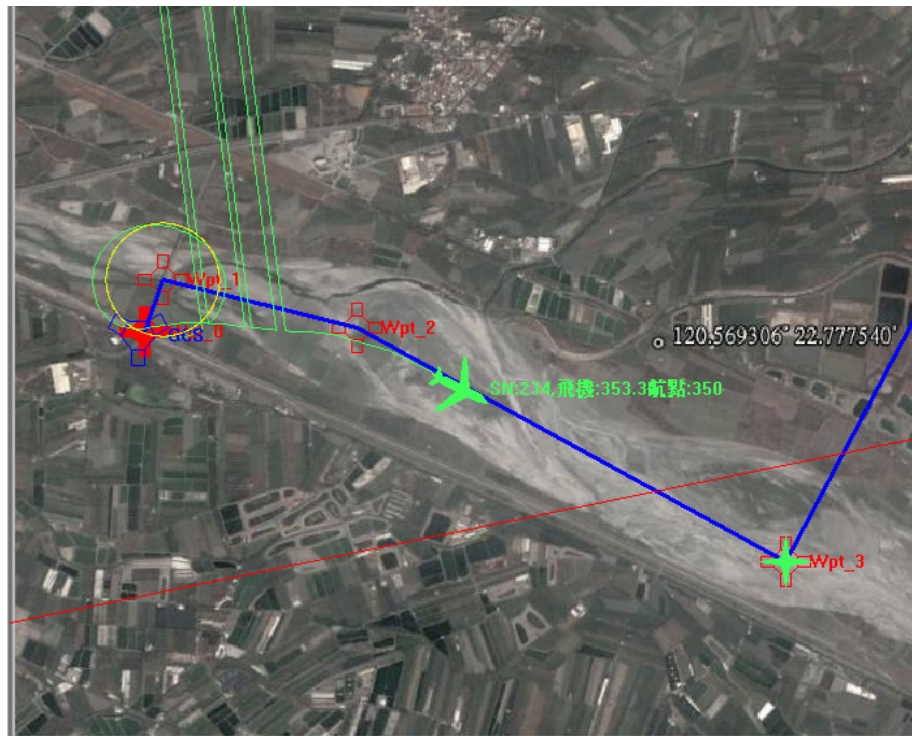


圖 4-22 UAV 朝禁航區飛行示意圖

在飛控電腦發現 UAV 闖入限航區時，即自動啟動返航指令，命令 UAV 立刻返回導航點 0(起飛點)（詳如圖 4-23）。



圖 4-23 UAV 自動迴避軌跡圖

控制人員可重新上傳飛行計畫以解除返航模式，並於此時重新設定導航點 3 使其位於正常空域內，UAV 正常通過航點 3，並在控制人員的指令下前往航點 1 準備降落(詳如圖 4-24)。



圖 4-24 UAV 正常飛行軌跡圖

此時控制人員嘗試以 GCS 將航點 3 再設定回禁航區內，GCS 拒絕此一操作，並顯示以下的警告訊息以防止使用者誤將 UAV 飛入禁航區(詳如圖 4-25)。



圖 4-25 限航區內航電設定結果

#### 4.2.2 UAVS 補充辦理測試

為辦理前次驗收飛行尚未實際驗證的項目，於 9 月 4 日、9 月 7 日在屏東里港補充辦理 UAVS 測試，主要實際飛行測試項目如下：

##### (一) 飛行時間需大於 150 分鐘以上

依契約規定，UAV 需滿載起飛後以時速 100 公里飛行之續航力，應在 150 分鐘(含)以上。9 月 4 日驗收測試飛行 165 分鐘，飛行平均時速 102km/h，該次飛行加入燃油 4500cc，降落後統計消耗燃料 4200cc，平均油耗為 25.5cc/分鐘。

##### (二) 飛行高度需大於 3000 公尺以上

DoDo Pro UAV 於 100 年 9 月 4 日滿載起飛後，以 50 海里(90km/h)爬升至海拔 3100 公尺，執行飛行包絡線測試以及控制率測試，空速維持在 55 海里至 60 海里間(100~108 km/h)之經濟速度巡航，並同時回傳空拍影像(詳如圖 4-26 至 4-29)。

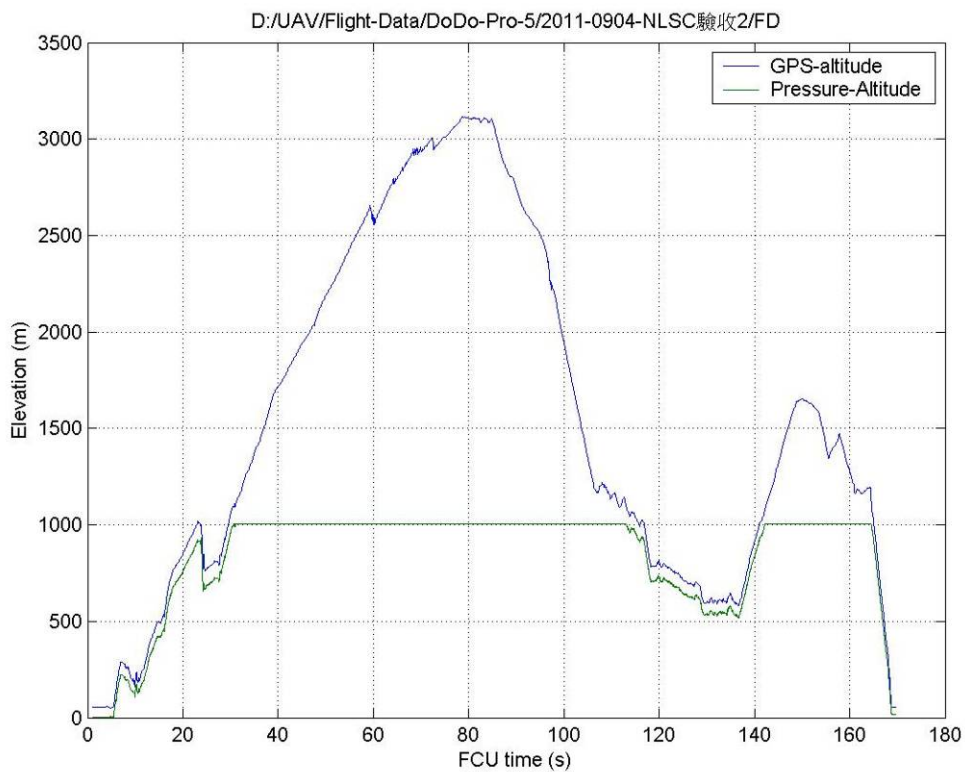


圖 4-26 UAV 3000 公尺高度飛行測試軌跡紀錄圖



圖 4-27 UAV 自海拔 3000 公尺取得之空拍影象

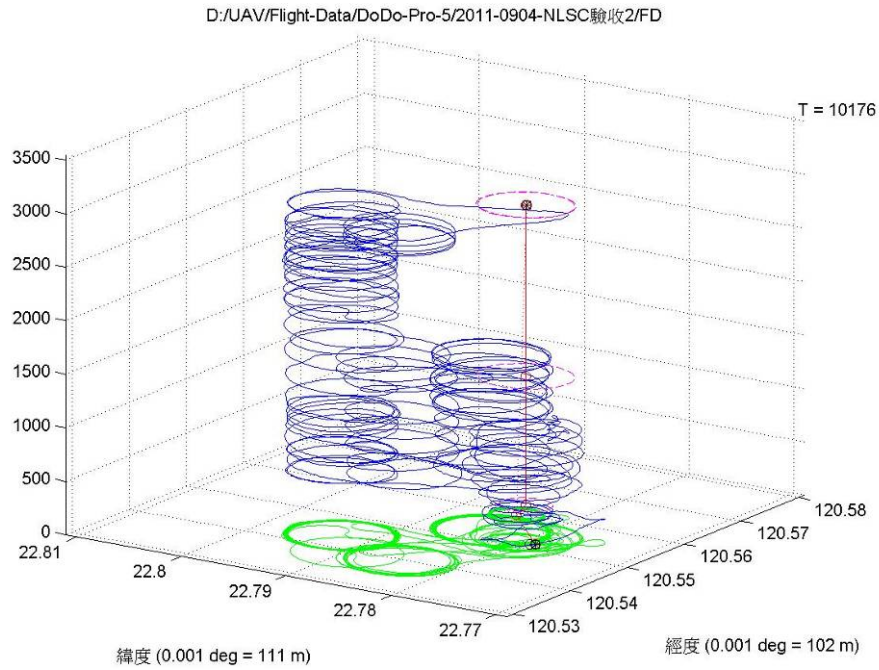


圖 4-28 UAV 飛行路徑(3D)

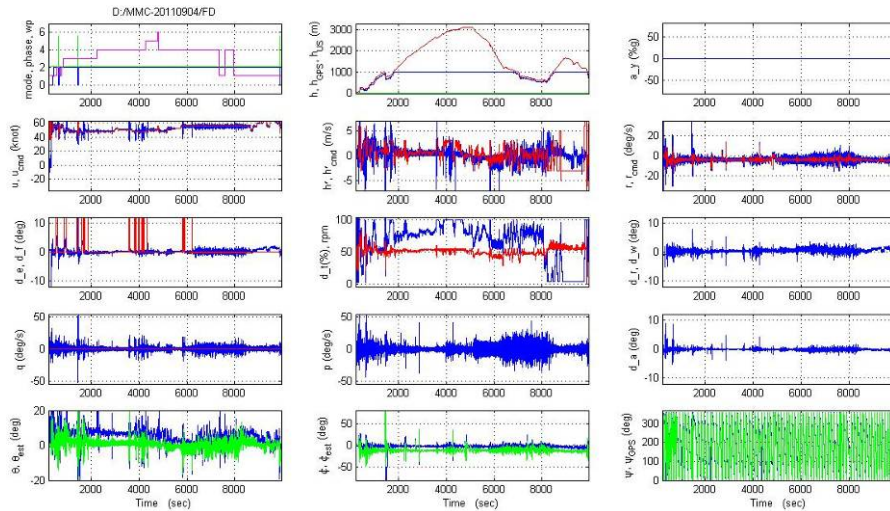


圖 4-29 UAV 高空飛行數據紀錄

(三) 影像傳輸距離證明

依契約書規定，數據通訊設備直線傳輸距離應大於 30 公里，影像傳輸距離應大於 15 公里。在 9 月 7 日的驗收飛行中，UAV 由里港起飛往北飛行至甲仙測試區，並正確回傳監控資料與即時影像，滿足數據 30km、影像 15km 之通訊規格需求(詳如圖 4-30 至 4-32)。

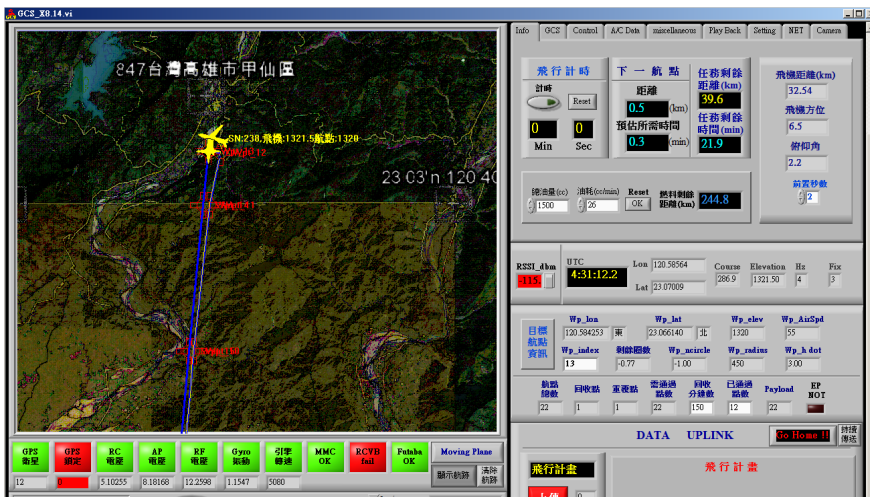


圖 4-30 驗收飛行 30 公里監控畫面



圖 4-31 UAV 飛行距離示意圖



圖 4-32 UAV 自距離 15km 處回傳之即時拍攝影像





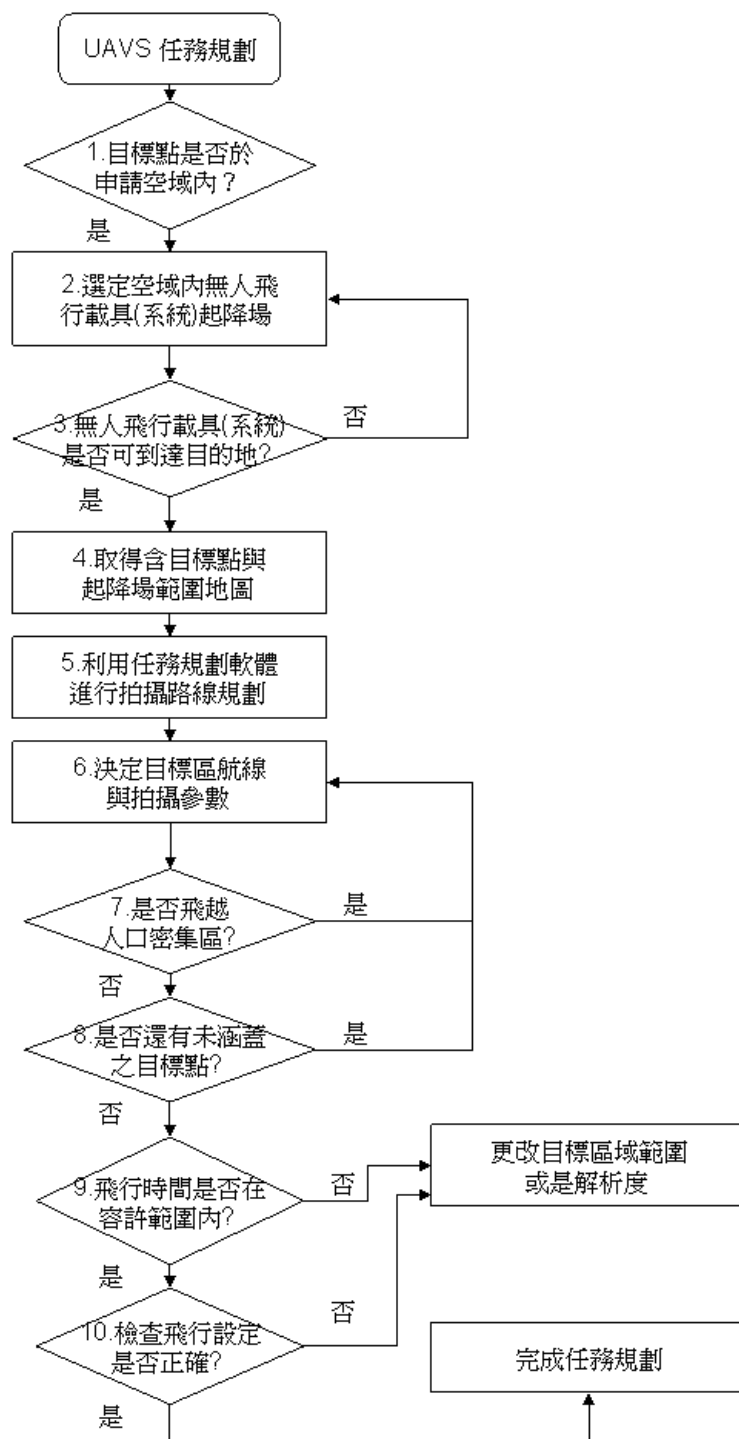


圖 5-2 拍攝路徑規劃程序流程圖

表 5-1 拍攝路徑規劃程序流程圖說明

作業流程	步驟說明
1.目標點是否於申請空域內？	<p>一. UAVS執行任務需在核准申請的空域內，以避免與其他飛行載具產生飛安問題。</p> <p>二. 目標點坐標若不在申請空域內時，須待空域申請核准後，才能進行任務，可參考空域申請流程。</p>
2.決定空域內 UAVS 起降場	<p>一. UAVS僅能於核准的空域內進行起降飛行。</p> <p>二. 若目標空域內於無事先規劃之起降場，任務團隊需往該區進行起降點勘查。</p>
3.UAVS 是否可到達目的地？	<p>一. UAVS之作業半徑為15公里，若起降場地離目標作業區過遠，將減少可執行任務的時間。</p>
4.取得含目標點與起降場範圍地圖	<p>一. 取得得含目標點與起降場範圍地圖來規劃巡察的路徑。</p> <p>二. 可利用市面上的地圖工具軟體來取得。</p>
5.利用任務規劃軟體進行拍攝路線規劃	<p>一. 首先必須先決定UAVS起降場的位置，並將此坐標位置設定為基地站位置。</p> <p>二. 決定拍攝路徑並設定飛行的高度，需注意飛行高度必須高於航線上的地面建物高與地形高度。</p>
6.決定目標點位置與拍攝範圍	<p>一. 將決定的目標點位置設定好，並在目標點上設定盤旋參數與向機的拍攝參數。</p> <p>二. 拍攝範圍參數包含飛行高度，相機性能、航帶重疊率、前後重疊率等。</p>
7.是否飛越人口密集區？	<p>一. UAVS飛行時為避免不可預料的因素使飛機失速故障甚至墜毀，規劃拍攝路徑時，任務團隊需特別留意是否經過人口密集區。</p> <p>二. 若因任務需求不得已必須經過，任務團隊需特別留意此UAVS於航線上的參數設定，並於任務執行時，隨時監看飛機狀態</p>
8.是否還有目標點？	<p>一. 若還有未拍攝的目標點，可再將其加入至拍攝路徑中，並視需求設定盤旋拍攝的參數。</p>
9.飛行時間是否在容許範圍內？	<p>一. 拍攝路徑規劃回到起降場後，需利用規劃軟體來估算UAVS飛行的時間，必須在滯空能力的時間範圍內。</p> <p>二. 若超出飛機的滯空能力，可編修目標點數量，飛行路徑，盤旋圈數等參數來修正飛行時間。</p>
10.檢查飛行設定是否正確？	<p>一. 最後必須進行所有飛行參數的再次確認，以避免人為設定的錯誤發生。</p>

在本案中使用的航線規劃軟體為自行開發之自動化航線設計軟體（請參考下圖5-3）。僅需給予該軟體航拍區坐標、酬載種類、地面解析度需求與影像重疊度，即可自動規劃航線。並可根據風向，調整航向，方便使用者在規劃複雜航拍路徑時使用。航線規劃軟體所產出的航線規畫檔（\*.plan）將會與後續開發的平台進行整合。因此未來在平台的使用上可以直接引入航線規畫檔，作為後續處理之參考基準。

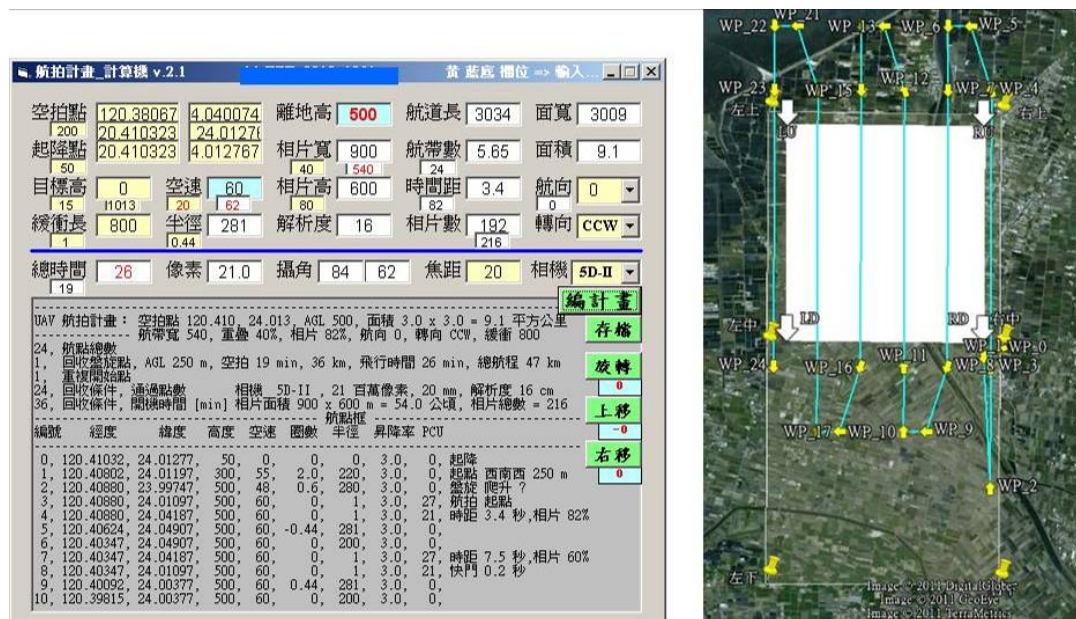


圖 5-3 航拍航線自動規劃軟體

## 5.1 航線規劃方法

因應UAV航拍任務區面積的擴大，飛行計畫的航帶數大幅增加，加上垂直航拍作業對於UAV於航帶轉換前後的飛行穩定性需求，以及照相機拍照間隔指令對於飛行速度的計算等等，都使得飛行任務計畫編寫的複雜度、難度亦跟著增加，原有的『無人載具任務規劃軟體(UAV Mission Planner)』(UAV-MP)軟體在處理此類大面積正射航拍任務時，並無法有效降低使用者的負擔，因此針對正射航拍任務設計了『正射航拍計畫計算機』軟體以輔助UAV-MP軟體快速編輯此類飛行計畫。在這小節中，將會說明正射航拍計畫計算機的功能並藉由範例學習如何運用該軟體。在使用本計算機以前，使用者必須具備使用UAV-MP以及Google Earth的基本技巧。

航拍計畫計算機的構成非常簡潔，只有兩個主要的視窗；分別是1.設定需求視窗2.計算結果視窗。如圖5-4中與5-5所示。

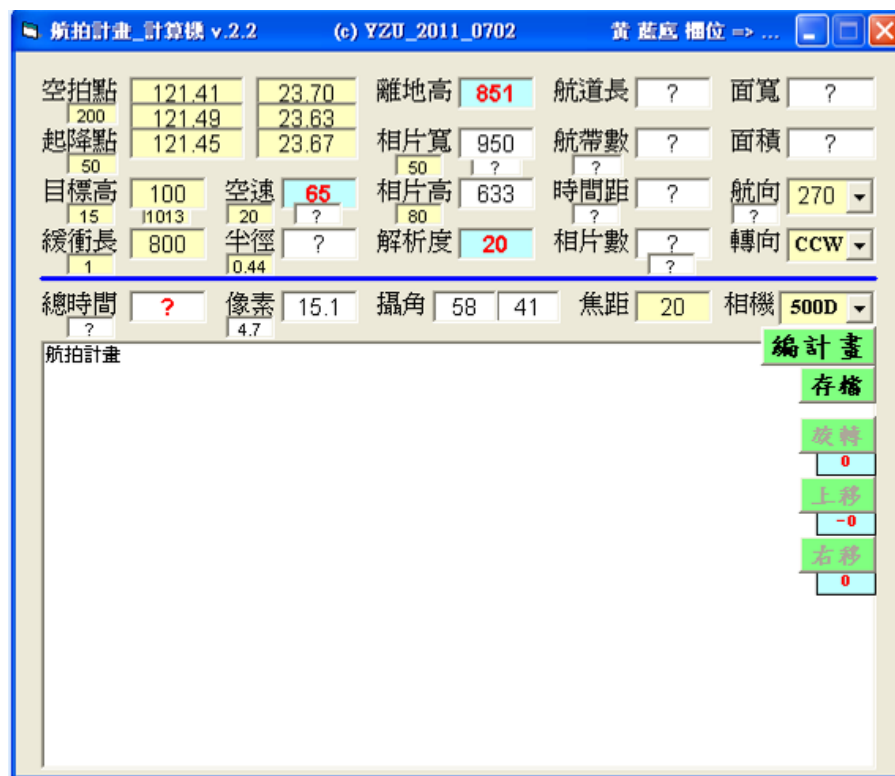


圖 5-4 航拍計畫計算機畫面

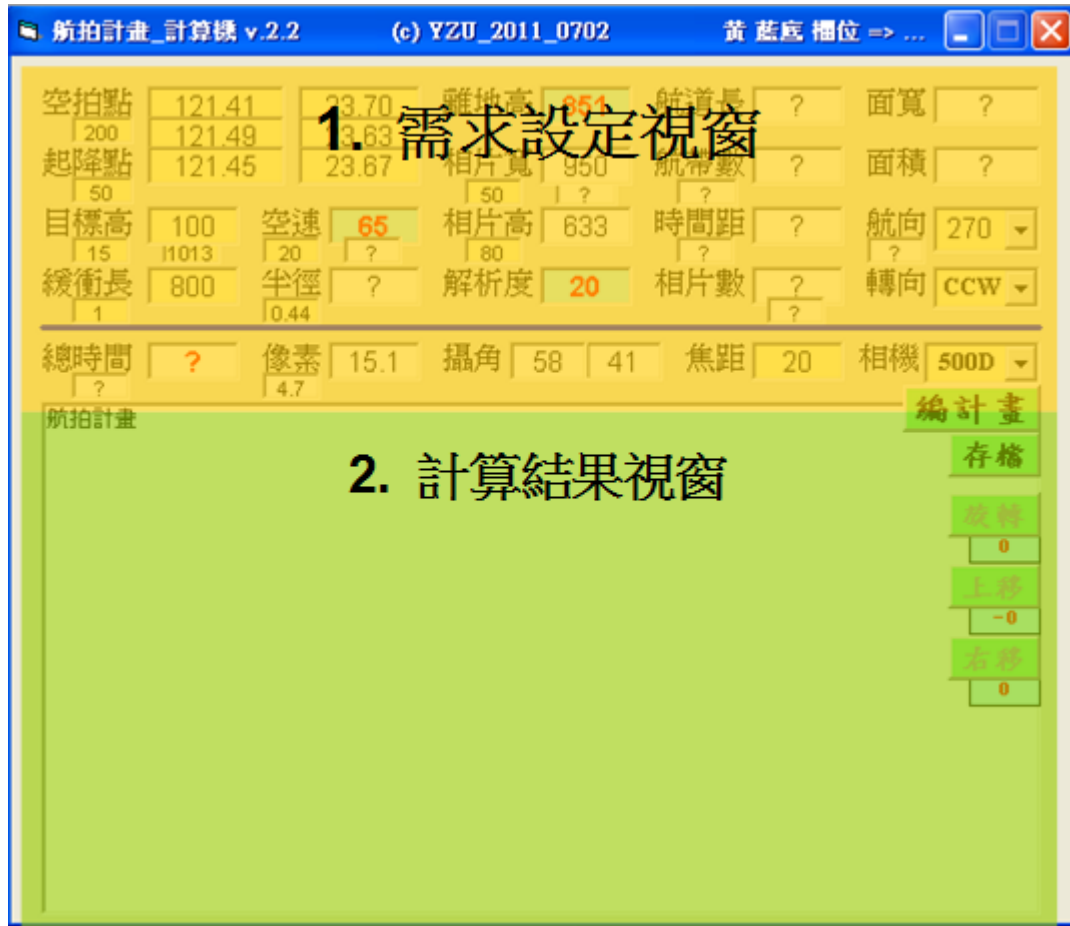


圖 5-5 航拍計算機功能視窗配置

使用方式非常直覺，在需求設定視窗中填入航拍所需的相關設定後，按下右下角之『編計畫』鍵即可產生計算出來之飛行計畫並顯示於結果視窗。『存檔』鍵則能將計算結果儲存以供UAV-MP使用，同時附有可一次將全體航帶一併調整的『旋轉』、『上移』跟『右移』功能。

同時每一個欄位都寫有相對應的註解，只要將鼠標移到欄位上靜置1秒鐘，對於該欄位填入數據的說明就會自動顯示出來，便於快速掌握所需填入的數據以及該欄位所代表的意義。

下列將透過示範任務，說明如何由任務需求所給定的任務區中，以航拍計畫計算機擬定航拍區之航帶飛行計畫，再透過UAV-MP軟體編修為一完整飛行任務計畫，最後透過Google Earth檢視整個預畫航線以確證飛行路線的安全性。

- (1) 建立基本飛行計畫
- (2) 利用UAV-MP完成飛行計畫
- (3) 進階設定

### (1) 建立基本飛行計畫

在著手建立飛行計畫之前，使用者必須握有UAV起降點以及航拍任務範圍資訊，最好準備已經寫入相關資訊的kml檔，明確標示出UAV起降點及任務區，有助於快速掌握所需資訊（請參考圖5-6）。



圖 5-6 以 Google earth 顯示的 UAV 起降點及航拍任務範圍



圖 5-7 航拍計算機需求設定步驟

在計算機中，僅需要填入黃底的欄位，其他欄位會自動生成。規劃飛行計畫的第一步是確定拍攝範圍。位於空拍點標示右側的三組經緯度欄位，由上而下分別填入航拍範圍西北角、航拍範圍東南角以及起降點的經度與緯度，空拍點標示下方的小欄位填入想要向外擴張的範圍(單位為公尺)，假設航拍區南北及東西向長度各為3km，輸入200即表示UAV設定之拍照範圍為3.4 x 3.4 km (兩側各外擴200公尺)，起降點標示下方的小欄位為UAV起降場海拔高度設定，目標高標示右側填入目標區之平均高度，目標高標示下方的兩個小欄位為海平面溫度及海平面大氣壓設定，維持預設值即可。緩衝長標示右邊填入的是UAV在進行航帶變換時所需要的緩衝帶長度，UAV進行180度航向變換之後需要一段直線飛行以將飛行姿態穩定、同時提供姿態儀必要的修正時間，在目前系統架構下以800(單位為公尺)為最小值。緩衝長標示下方之小欄位為UAV在緩衝區飛行是否進行拍照，1為拍0為不拍。空速欄設定UAV在航拍區中使用之飛行速度，最佳巡航速度會因不同UAV機型而有差異，目前的UAV系統約為55(海里)。空速及半徑下面的小欄位為轉彎時UAV滾轉角設定以及航帶變換時之繞圈數，保持預設值即可。

接下來，需依據實際UAV搭載的相機由下拉式選單來設定，並輸入該相機使用之鏡頭焦距。在此範例中使用500D相機搭配20mm鏡頭。



在第三步驟中，需根據GSD 要求來設定離地高度，解析力之數據會跟隨離地高度與地面高度互相連動。依據任務條件(高度限制或解析度需求)擇一輸入，另一方會自動計算出來，此範例中我們以500D相機跟20公分 GSD需求輸入後得到851公尺之對地高度設定。相片寬及相片高下方之小欄位為設定相片間之(寬)及縱向(高)重疊率%，通常狀況下50%及80%可滿足一般航拍之拼圖需求。

在第四步驟中，要設定的是航線的方向與轉向規則，航向影響整個航帶的走向(東西或南北向)，可以選擇讓UAV由0, 90, 180, 270 (北、東、南、西)四個方向進入航拍區，而轉向設定為UAV進入目標區飛完一條航帶後下一條要往左(逆時針CCW)還是往右(順時針CW)方向轉，用以決定之後航帶的排列方向，在此範例中我們以90度(由西向東)進入航拍區並飛完第一條航帶後左轉(CCW)，表示下一條航帶在左側(北方)，即設定航帶為由南向北呈東西向排列，且UAV由西南角以正東航向進入航拍區。

在第五個步驟中，使用者按下編計畫之後會如同圖 5-8之飛行計畫，同時初步自動估算所需的相片數以及飛行所需的時間，此結果確定無誤後點選存檔將飛行計畫輸出，即完成航拍任務區之航帶規劃，可在UAV-MP軟體中繼續寫入往返任務區所需之航點，並依照UAV起降場實際情形修正起降區航點。

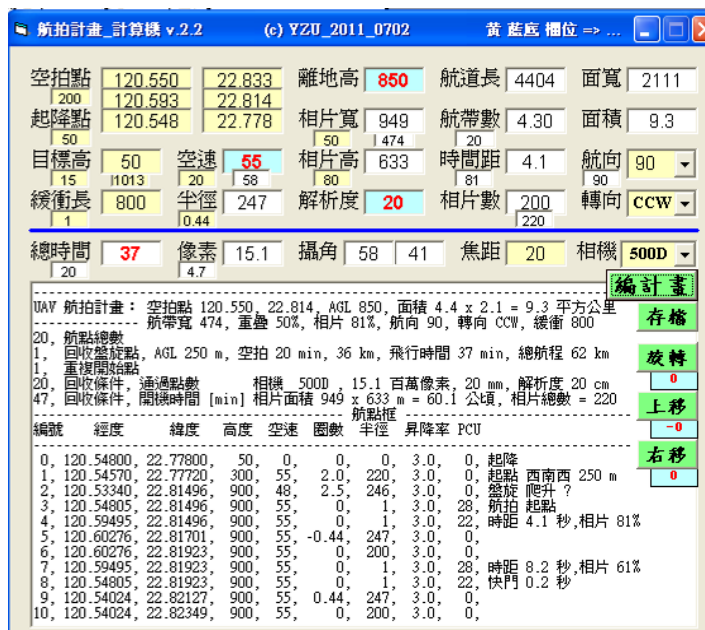


圖 5-8 航拍計畫計算機解算之結果

## (2) 利用UAV-MP完成飛行計畫

航拍計畫計算機負責產生航拍區之飛行計畫，而UAV自起飛降場至航拍區之間的往返航程，就需要靠UAV-MP軟體來規劃後續的作業。

利用UAV-MP讀取上一步驟所輸出的飛行計畫檔，可得到如圖 5-9一般的結果，可以看到航點(WP)1為UAV剛起飛後之原場盤旋點，WP2為航帶起點，兩者很單純的直接連結起來，而航帶結束的WP20之後就沒有返回的航點了，因此我們在此必須依據UAV性能以及當地的飛行需求增補往返所需的航點。

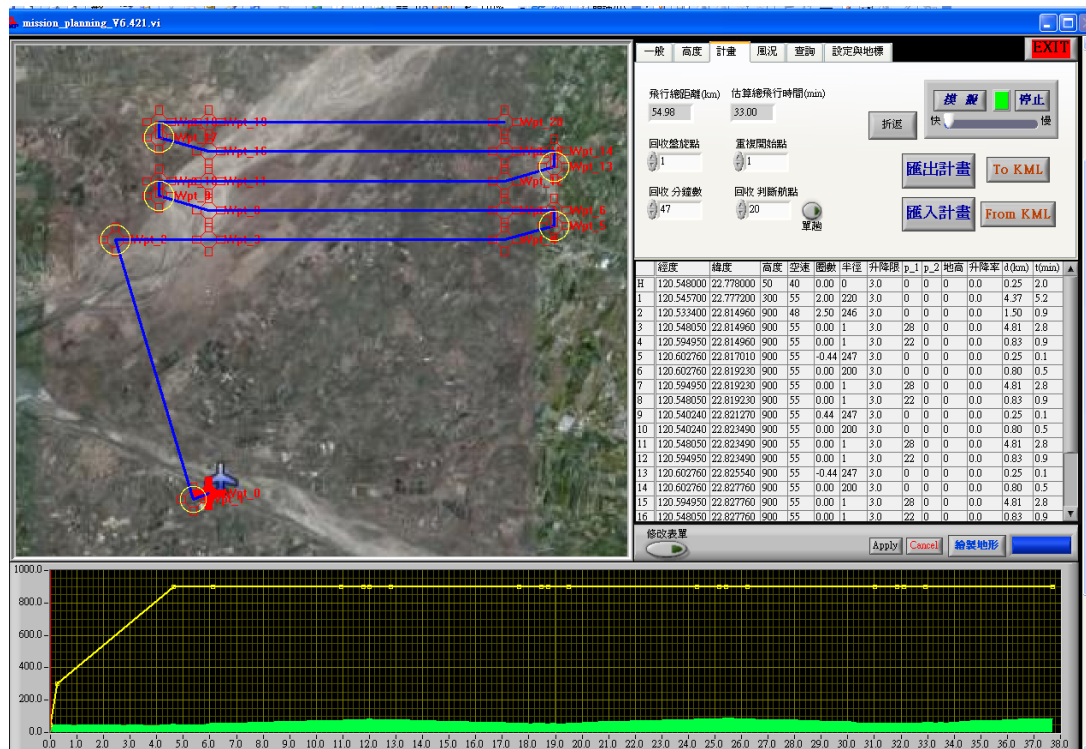


圖 5-9 UAV-MP 所讀取航拍計畫計算機之飛行計畫

在考量到UAV性能以及安全性的前提下，在原本WP1及WP2之間插入一新航點，讓UAV在起降點爬升至目標高度900公尺之後再水平飛往目標區，而在航帶結束的最後一個航點之後，再增加一個航點回到起降場上空，並一路下降高度至回收高度，同時將飛行回收時間依實際狀態再調整過，最後得到如圖 5-10一般之完整飛行計畫。

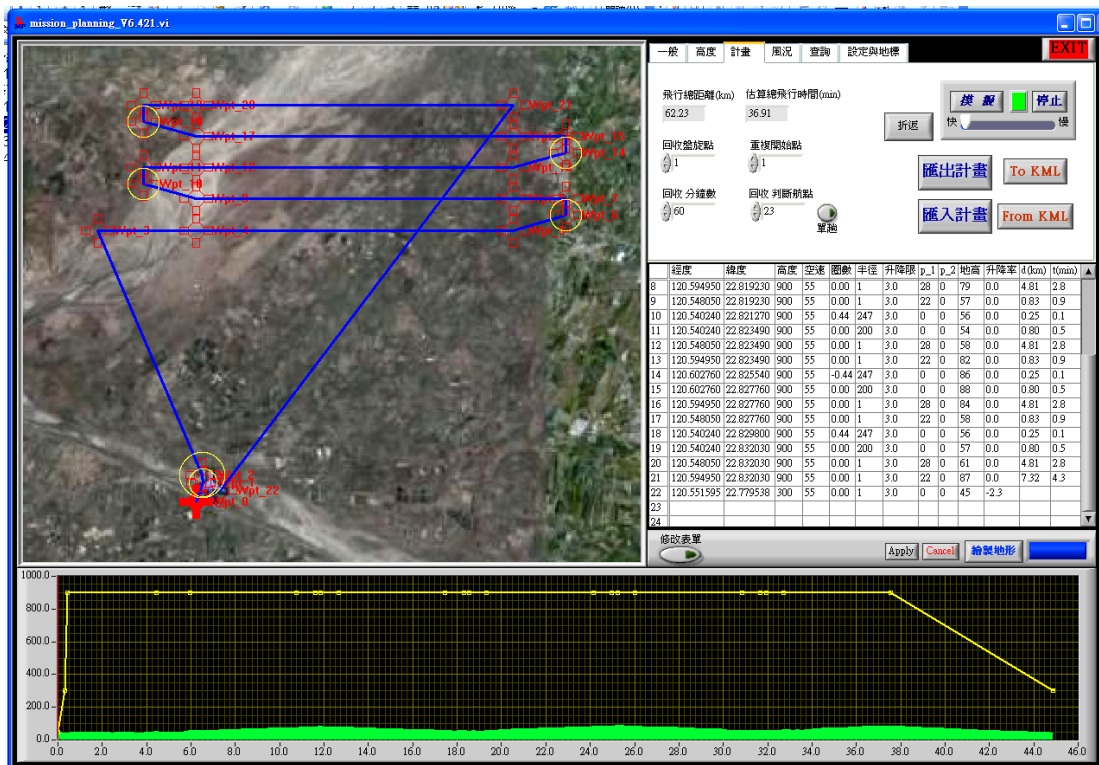


圖 5-10 編修完成之飛行計畫

將完成之飛行計畫透過UAV-MP之To KML輸出，即可產生此計畫之kml檔，雙擊該檔案兩下開啟Google Earth之後即能顯示此飛行計畫於三度空間中之航路規劃。

首先與之前航拍目標區及起降點之kml檔做比較，如果前面的操作都正確的話會出現如圖 5-11一般的結果，飛行計畫的航帶將目標區填滿且航帶轉換用的緩衝區(連接兩條航帶之間轉折的WP)皆分布於設定之目標區外側。

最後旋轉Google Earth之視角，從多方面檢視整個飛行計畫如圖 5-12，確認飛行路徑上沒有地形衝突的疑慮，如果飛行路線位於山區的話，也要確認飛行路徑與周遭有衝突可能的地形，保持至少300公尺以上的安全距離。

在這個階段確證飛行計畫沒有安全上的疑慮之後，此計畫即可應用於實際UAV操作之上。

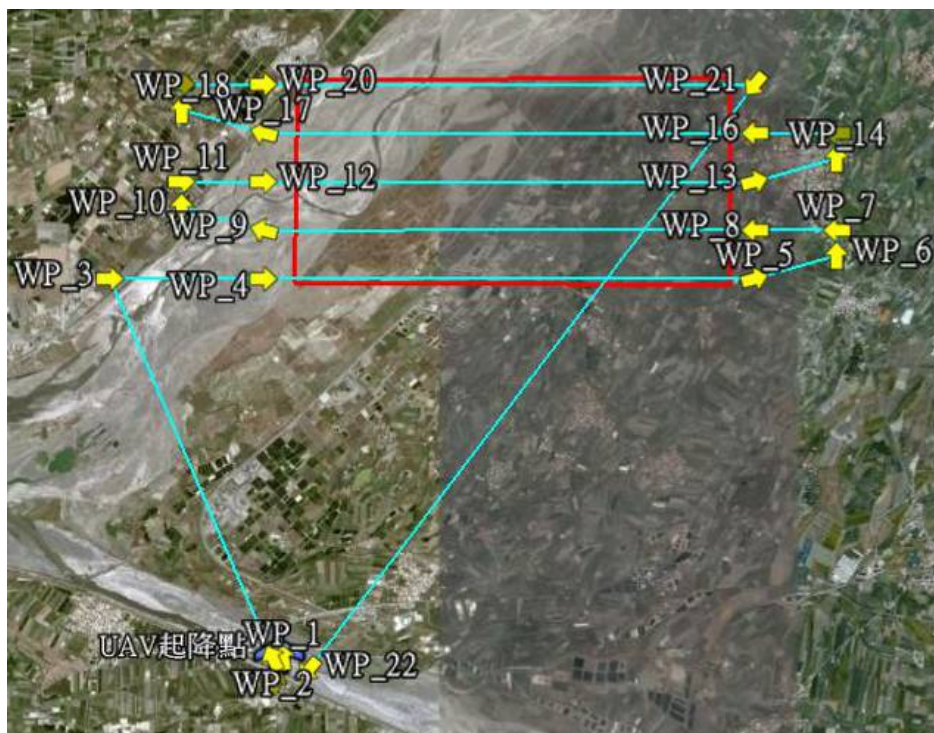


圖 5-11 飛行計畫與航拍目標區(紅框)之比對

+



圖 5-12 飛行計畫之立體地形檢視

### (3) 進階設定



圖 5-13 非東西南北向之河道目標區

有的時候於航拍目標如圖 5-13 所示之河道目標區，並不是航拍計畫計算機所提供的東西向或南北向航帶，此時需利用航拍計畫計算機製作暫定之東西(或南北)向航帶之後，透過軟體之旋轉鍵下方之欄位，輸入航帶的轉向角度後點選旋轉。

在此範例之中我們直接引用在圖 5-10 所產生之原始飛行計畫，原本航帶之朝向為90度，如圖5-14一般將旋轉角設定為-30度，然後按下旋轉後，可從航向選單下面的小欄位確認現在的航帶航向已經由90度減去30度改為60度。



圖 5-14 整體航帶旋轉及位移編輯功能

將計畫存檔後以UAV-MP開啟，可以直接從地圖上確認已經旋轉的航帶，透過To KML將飛行計畫輸出後，與未旋轉之kml檔於Google Earth內比對可以看出航拍計畫計算機之旋轉功能對於飛行計畫的影響(詳如圖5-15)。

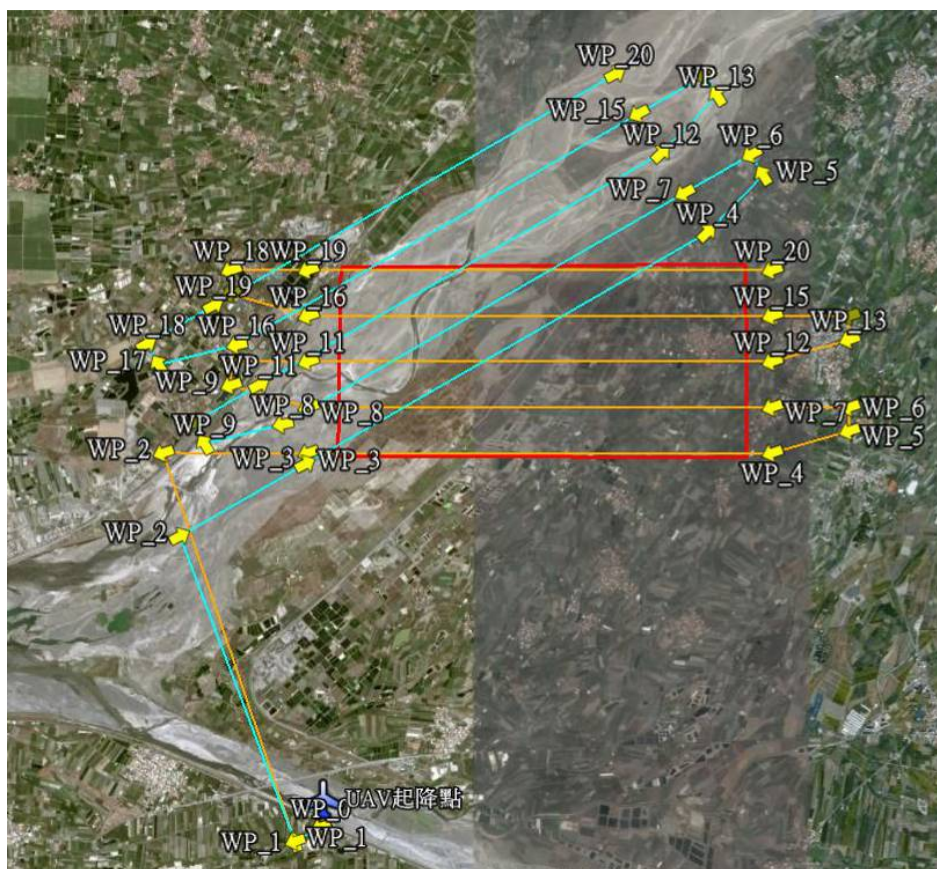


圖 5-15 航帶旋轉前後之飛行計畫比較

除了旋轉以外，航拍計畫計算機亦提供目標區航帶平移的功能，上移及右移分別調整目標區全體航帶向北及向東平移的幅度(單位為公尺)，如果想要向南或向西平移的話輸入負數的數值即可。

需要注意的一點是旋轉、上移及右移功能鍵都屬於累計式功能，代表如果使用者點了兩次上移1000，則整個航帶會向北平移兩次1000公尺，即2公里的距離，同理若旋轉30度點了兩次則一共會旋轉60度，操作次數一多可能容易造成判斷上的混亂，此時如果再點選一次編計畫功能鍵，則所有旋轉及平移設定將被消去，回復成為一開始航拍計畫計算機所產生的版本。這些功能可增加航拍計畫計算機在正射航拍任務規劃上之彈性，使用者可以多加利用。

為瞭解 UAV 飛行性能以及品質管控，本團隊規劃每次航拍時需填列工作表格，並設計軟體於航拍後現場立即以規劃飛行航線與取向位置來分析航拍時航行軌跡、各項飛行姿態是否符合原規劃路徑並由航拍時航行軌跡、各項飛行姿態計算影像重疊率是否符合要求。並且當場製作檢核表格，確實達成任務後將各項紀錄及檢核表格送交國土測繪中心。

## 5.2 航拍任務規劃與執行

本案依契約書規定需辦理一般航拍區及測試區航拍作業，以下說明相關航拍任務之規劃與執行。

### 5.2.1 一般航拍區任務規劃與執行

本案一般航拍區依國土測繪中心相關需求選定為屏東縣來義鄉、台中特三號道路、高雄桃源區勤和里等 3 區辦理航拍作業，相關說明請參考 6.1.2 小節。

#### 5.2.1.1 屏東縣來義鄉航拍區

該任務區平均高度約 250 公尺，任務飛行高度設定為 1000 公尺，任務空速 55 海里，規劃由里港起降場起飛，接近山湖觀高球場時爬到 MSL 500 公尺並往南轉，通過萬巒時到達 MSL 1000 公尺任務高度並加速至 55kt，準備進入任務區，飛完四條航帶，其中地形最高點為第一條航帶最末端之 800 公尺山坡，原路以 60 海里速度一路下降回里港，估計航程 140 公里，飛行時間約 88 分鐘，照片數量 132 張。任務規劃請參考圖 5-16、圖 5-17。

本團隊於 100 年 11 月 13 日進行航拍取像，由於該區之雲蓋率大於 80%，因此於 100 年 11 月 22 日再次進行取像，成功取得該區雲蓋率小於 10%之影像。



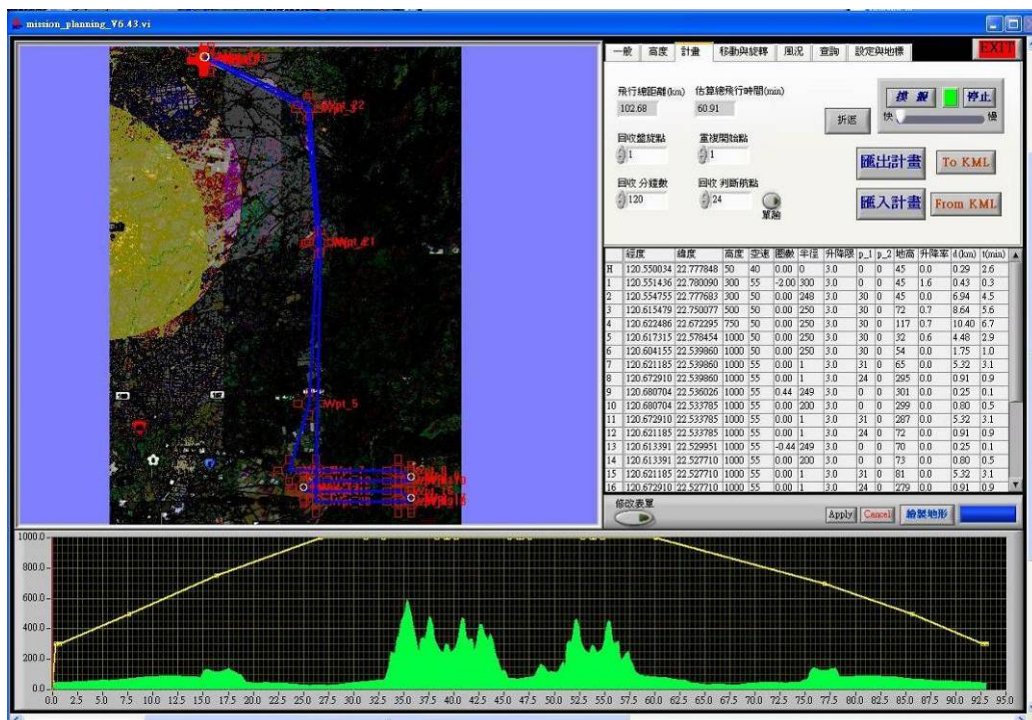


圖 5-16 屏東來義航拍區任務規劃

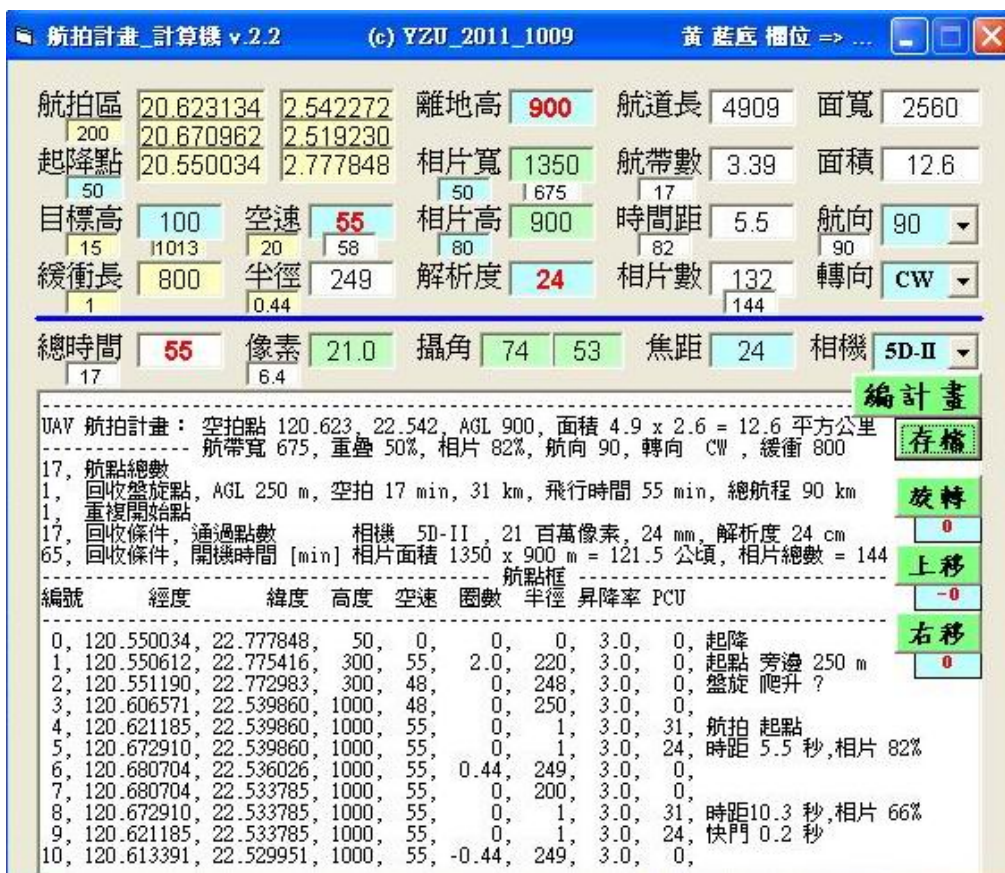


圖 5-17 屏東來義航拍區任務設定

### 5.2.1.2 台中南屯特三號道路航拍區

該航拍區位於人口稠密區，且座落於台中清泉崗機場管制空域內，經與台中清泉崗機場進行協調，僅允許於 11 月 21 日當天，於 13:00 – 14:00 這段時間內進行操作。因此規劃於 12:45 時自鹿港起飛，一路以 55 海里速度，維持 0.6 m/s 升降率爬到目標高度，於 13:00 進入該空域後，以 57 海里速度完成四條航帶之後，以 60 海里速度脫離並以 -0.6m/s 滑降回本場高度 500 公尺，預估航程為 90 公里，飛行時間 44 分鐘，無雲照片數量 116 張。本團隊於 100 年 11 月 21 日進行航拍取像，成功取得該區影像。相關規劃請參考圖 5-18 至 5-20。

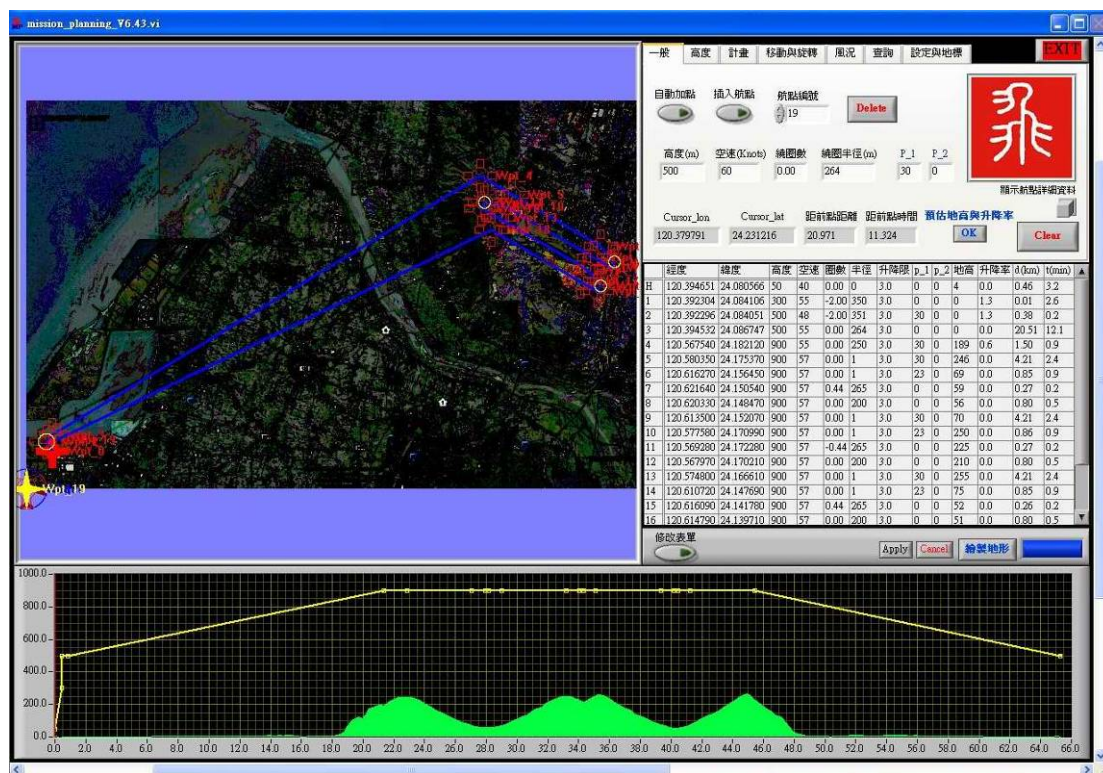


圖 5-18 台中南屯特三號道路航拍區任務規劃

航拍計畫 計算機 v.2.2 (c) YZU\_2011\_1112 黃 藍底 欄位 => ...

航拍區	120.58365	24.177	離地高	750	航道長	3805	面寬	2334	
200	120.62119	24.156							
起降點	120.39465	24.08056	相片寬	1125	航帶數	3.86	面積	8.9	
50			50	1562	17				
目標高	150	空速	57	相片高	750	時間距	4.8	航向	90
15	11013	20	60	80		80		120	
緩衝長	800	半徑	265	解析度	20	相片數	116	轉向	CW
1		0.44		1770		126			

---

總時間 43 像素 21.0 攝角 74 53 焦距 24 相機 5D-II

14 6.4

編計畫

UAV 航拍計畫：空拍點 120.584, 24.177, AGL 750, 面積 3.8 x 2.3 = 8.9 平方公里  
 航帶寬 562, 重疊 50%, 相片 80%, 航向 120, 轉向 CW, 緩衝 800

17, 航點總數  
 1, 回收盤旋點, AGL 250 m, 空拍 14 min, 26 km, 飛行時間 43 min, 總航程 72 km  
 1, 重複開始點  
 17, 回收條件, 通過點數 相機 5D-II, 21 百萬像素, 24 mm, 解析度 20 cm  
 53, 回收條件, 開機時間 [min] 相片面積 1125 x 750 m = 84.4 公頃, 相片總數 = 128

編號	經度	緯度	高度	空速	圈數	半徑	昇降率	PCU	航點標
0,	120.394651,	24.080566,	50,	0,	0,	0,	3.0,	0,	起降
1,	120.396848,	24.081759,	300,	55,	2.0,	220,	3.0,	0,	起點 旁邊 250 m
2,	120.399045,	24.082952,	300,	48,	0,	264,	3.0,	0,	盤旋 爬升?
3,	120.56754,	24.18212,	900,	48,	0,	250,	3.0,	0,	
4,	120.58035,	24.17537,	900,	57,	0,	1,	3.0,	30,	航拍 起點
5,	120.61627,	24.15645,	900,	57,	0,	1,	3.0,	23,	時距 4.8 秒, 相片 80%
6,	120.62164,	24.15054,	900,	57,	0.44,	265,	3.0,	0,	
7,	120.62033,	24.14847,	900,	57,	0,	200,	3.0,	0,	
8,	120.61350,	24.15207,	900,	57,	0,	1,	3.0,	30,	時距 9.6 秒, 相片 61%
9,	120.57758,	24.17099,	900,	57,	0,	1,	3.0,	23,	快門 0.2 秒
10,	120.56928,	24.17228,	900,	57,	-0.44,	265,	3.0,	0,	

圖 5-19 台中南屯特三號道路航拍區任務設定



圖 5-20 台中南屯特三號道路航拍區 3D 航線圖

### 5.2.1.3 高雄市桃源區勤和里航拍區

由於任務區山勢險峻，考量到飛行安全所以決定使用焦距50mm 鏡頭，將對地高提升到AGL 1600公尺，目標區河谷平均海拔為650公尺，因此任務飛行高度設為MSL 2240 公尺，空速設定為55海里。因為勤和里以南有六龜一帶山區阻擋，任務區北半部40%航帶可能都會被遮蔽。預估航程為164公里，飛行時間為95分鐘，照片數量258張。因屬於中高海拔區域可能引擎負載上升，作業時需要嚴密注意轉速狀況。該作業於100年11月28日完成。相關航線設計請參考圖5-21、圖5-22。

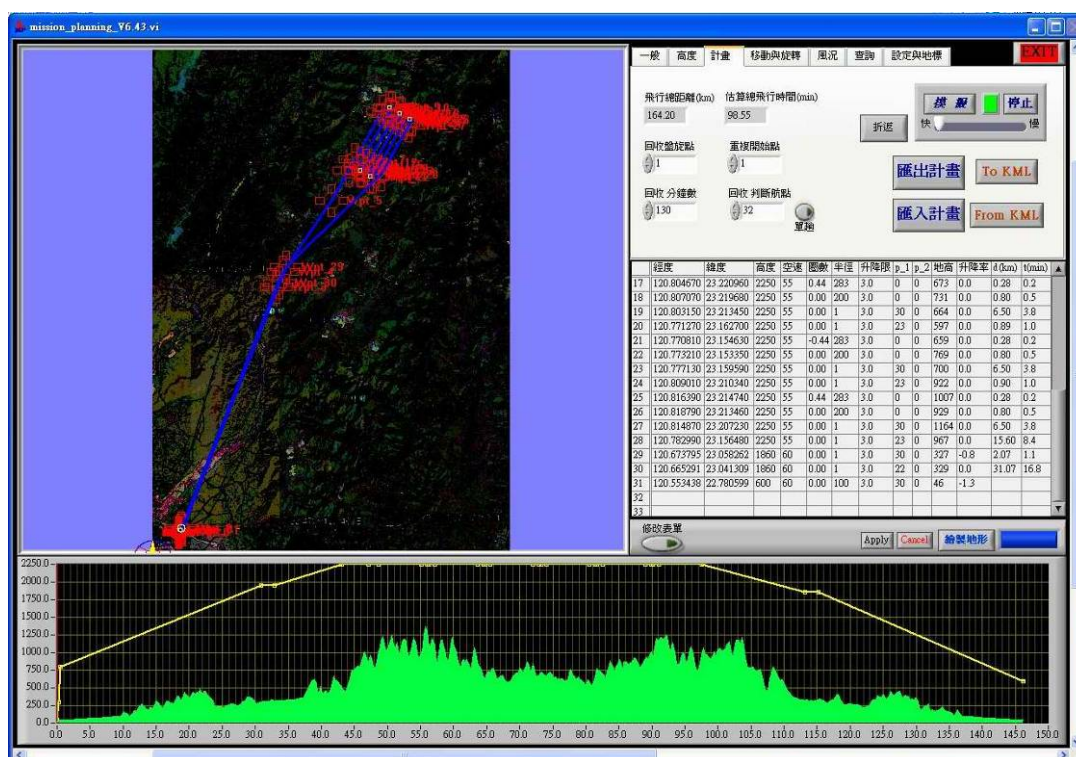


圖 5-21 高雄市桃源區勤和里航拍區任務規劃

航拍計畫\_計算機 v.2.2 (c) YZU\_2011\_1112 黃 藍底 欄位 => ...

航拍區	120.752	23.230	離地高	1600	航道長	6112	面寬	4085		
起降點	120.792	23.175	相片寬	1152	航帶數	5.82	面積	25.0		
目標高	650	空速	55	相片高	768	時間距	4.8	航向	0	
緩衝長	800	半徑	283	解析度	20.5	相片數	258	轉向	CW	
總時間	92	像素	21.0	攝角	40	27	焦距	50	相機	5D-II

UAV 航拍計畫：空拍點 120.752, 23.175, AGL 1600, 面積 6.1 x 4.1 = 25.0 平方公里  
 ----- 航帶寬 691, 重疊 40%, 相片 80%, 航向 30, 轉向 CW, 緩衝 800

25, 航點總數  
 1, 回收盤旋點, AGL 250 m, 空拍 29 min, 54 km, 飛行時間 92 min, 總航程 155 km  
 1, 重複開始點  
 25, 回收條件, 通過點數 相機 5D-II, 21 百萬像素, 50 mm, 解析度 20.5 cm  
 102, 回收條件, 開機時間 [min] 相片面積 1152 x 768 m = 88.5 公頃, 相片總數 = 276

編號	經度	緯度	高度	空速	圈數	半徑	昇降率	PCU	航點框
0,	120.550330,	22.777700,	50,	0,	0,	0,	3.0,	0,	起降
1,	120.551511,	22.779903,	300,	55,	2.0,	220,	3.0,	0,	起點 旁邊 250 m
2,	120.552692,	22.782107,	300,	48,	0,	282,	3.0,	0,	盤旋 爬升 ?
3,	120.74635,	23.16033,	2250,	48,	0,	250,	3.0,	0,	
4,	120.75369,	23.17202,	2250,	55,	0,	1,	3.0,	30,	航拍 起點
5,	120.78557,	23.22278,	2250,	55,	0,	1,	3.0,	23,	時距 4.8 秒, 相片 80%
6,	120.79295,	23.22718,	2250,	55,	0.44,	283,	3.0,	0,	
7,	120.79535,	23.22590,	2250,	55,	0,	200,	3.0,	0,	
8,	120.79143,	23.21967,	2250,	55,	0,	1,	3.0,	30,	時距 9.6 秒, 相片 60%
9,	120.75955,	23.16891,	2250,	55,	0,	1,	3.0,	23,	快門 0.2 秒
10,	120.75909,	23.16084,	2250,	55,	-0.44,	283,	3.0,	0,	

編計畫 存檔 旋轉 30 上移 -0 右移 0

圖 5-22 高雄市桃源區勤和里航拍區任務設定

## 5.2.2 平地航拍測試區域規劃與執行

### 5.2.2.1 平地測試區規劃

平地航拍測試區域為彰化的鹿港檢定場(詳如圖5-23)。該檢定場坐標目前已經根據所給定之坐標與照片，將之彙整為Google Earth kml 格式，以利進行後續的航線規劃。

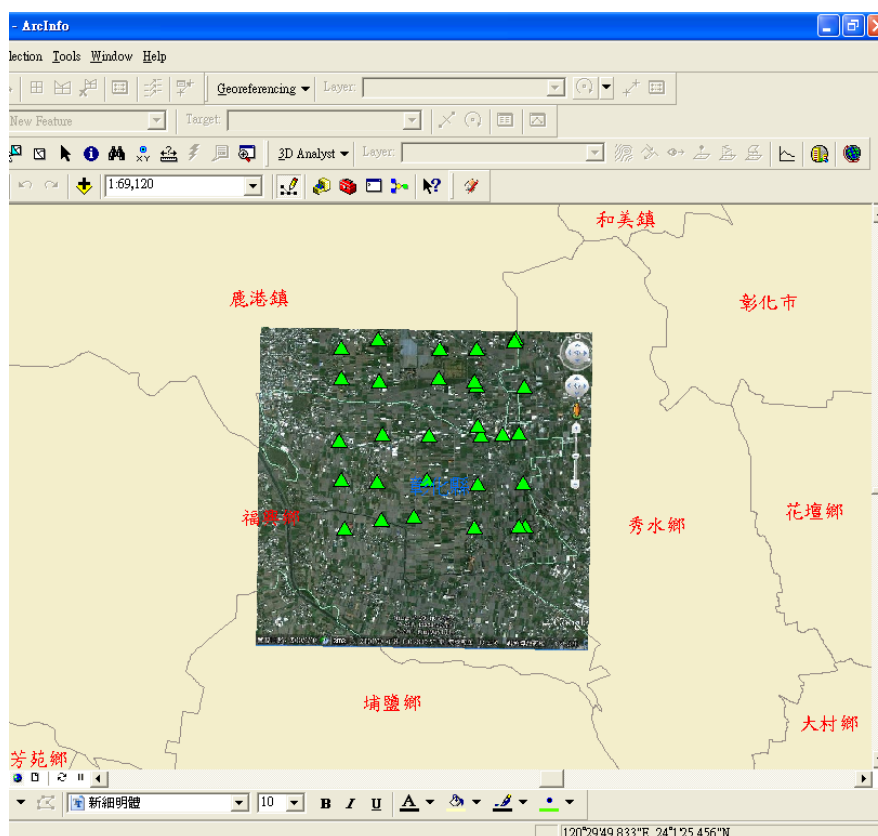


圖 5-23 彰化縣鹿港鎮 測試航拍區

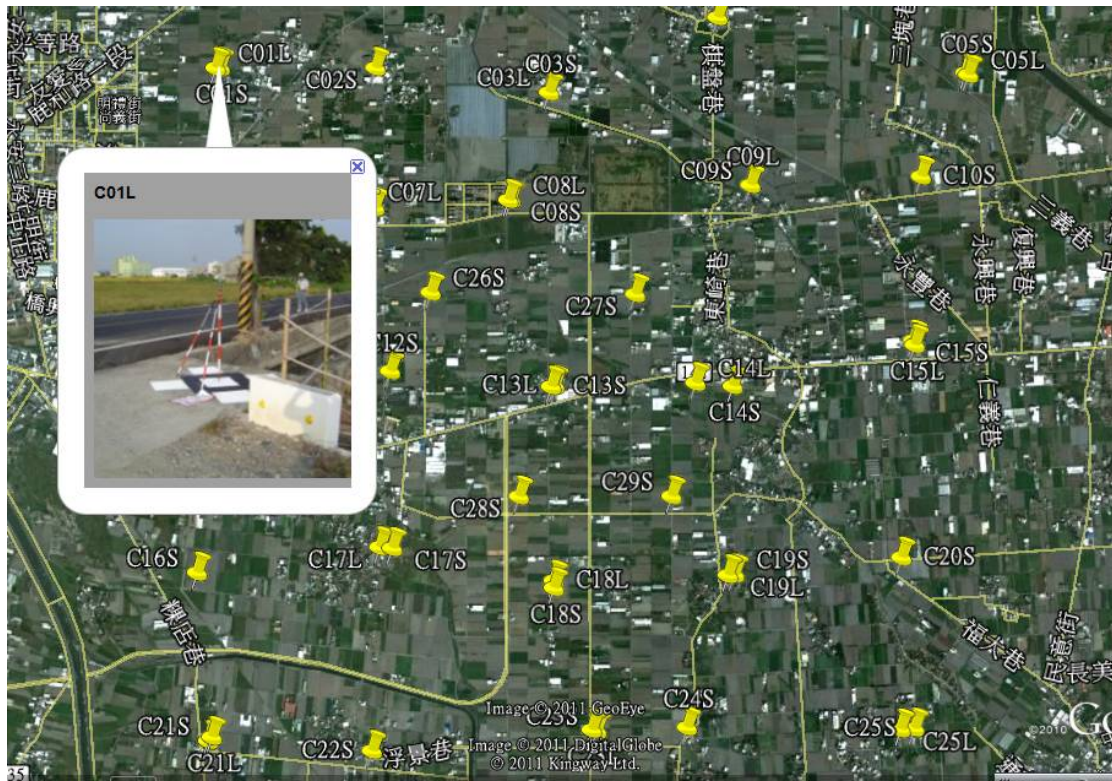


圖 5-24 檢定場坐標與相對現場照片於 Google Earth 圖台

根據檢定場的控制點坐標，所設計的兩個航高計畫如下圖圖5-25與圖5-26所示。主要的設計考量除規定的兩個航高500公尺與1000公尺外每條航線所對應到的控制點坐標需要平均分配於每條航帶上，以利後續計算作業。

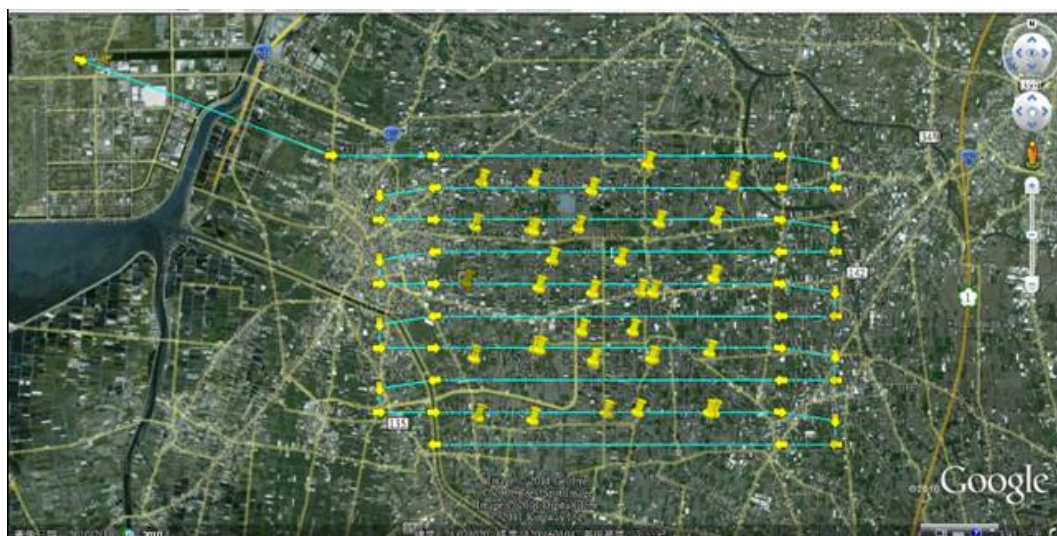


圖 5-25 航高 500m 東西向航拍計畫

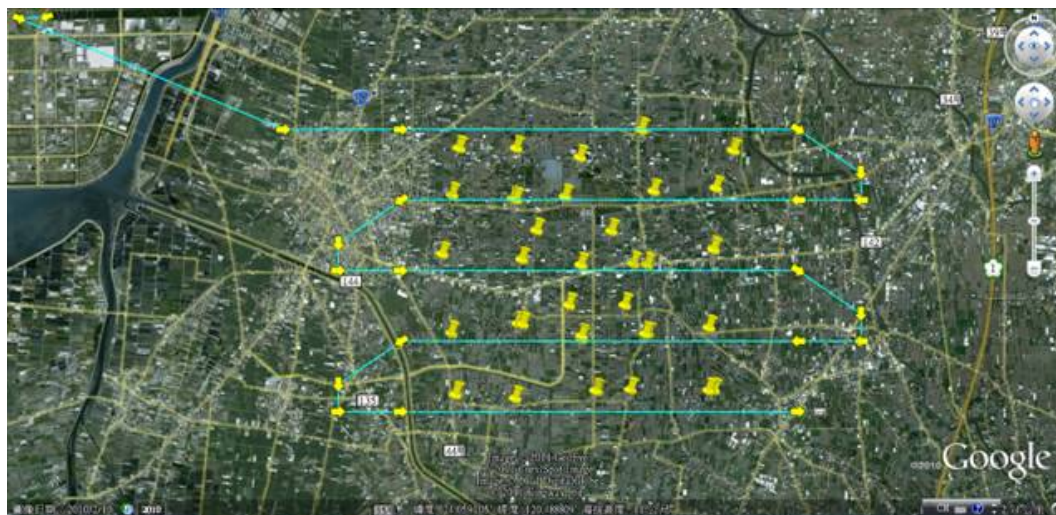


圖 5-26 航高 1000 公尺 東西向航拍計畫

### 5.2.2.2 平地測試區任務執行

鹿港測試區任務因有較多的控制點，並於任務中進行檢定標拍攝，為取得更多的測試資料因此拍攝的範圍由原本之3x3公里加大至5x5公里。由於航帶增加，單趟飛行航程已經超過單次飛行的可滯空時間，因此兩個高程分成兩天次進行。1000公尺航高之飛行任務於100年9月26日完成拍攝，500公尺航高之飛行任務於100年10月6日完成拍攝。相關之影像處理結果請參考6.1小節。



### 5.2.3 山區測試區任務規劃與執行

根據7月份工作會議結論，山區航拍測試區選定為嘉義山區，測試區坐標詳如圖5-27。

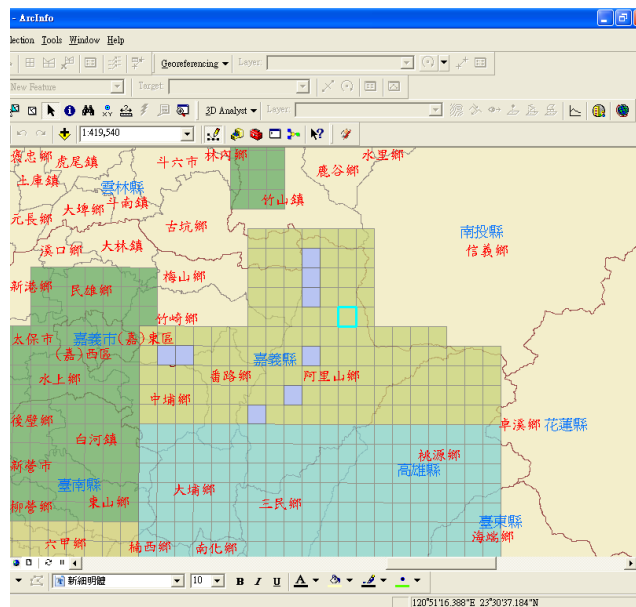


圖 5-27 嘉義縣阿里山鄉 測試航拍區

阿里山任務區的拍攝主要考慮到地形的高差變化與多變雲況，因此本小節就任務的規劃細節與氣候的預測進行說明。

#### 5.2.3.1 阿里山飛行航線規劃

根據100年度1月執行國土測繪中心專案保固飛行的經驗，若要取得該任務區之影像資訊，必須考慮高差造成的影響。任務區內因高差太大，一般而言需提昇飛行高度以減少高差過大造成圖像的比例尺問題。在另一方面，若提高飛行高度，又有被雲遮蔽與載具溫度過低的考量。

為解決上述問題，在任務規劃上所使用的策略為：使用平均地形高作為航高的規劃依據。該地平均地形高約 2200 公尺，拍攝的高度訂於 2800 至 3000 公尺之間。另為確定UAV 是否可以在3000公尺處正常運作，先後進行高空的靜態與動態測試，並確認系統在3000公尺處可以正常作業，始規劃進入山區作業。本案規劃之航線與1月規劃最大的不同在於不採用中繼站。在1月份的飛行中，因需拍攝中

央山脈，因此需在祝山設立一中繼控制站。在本案因只拍攝測試區，因此直接由彰化全程進行UAV之監控，並運用航線規劃的方法，在特定檢查點確認UAV狀態，用以避免在飛行過程中失去通訊聯繫過久。

在任務的規劃上，因需進行兩個高度的飛行，考慮UAV的續航時間並預留安全的回航時間，在目標區內以快速完成為主要前提，規劃之路線如下圖5-28、圖5-29、圖5-30 所示。

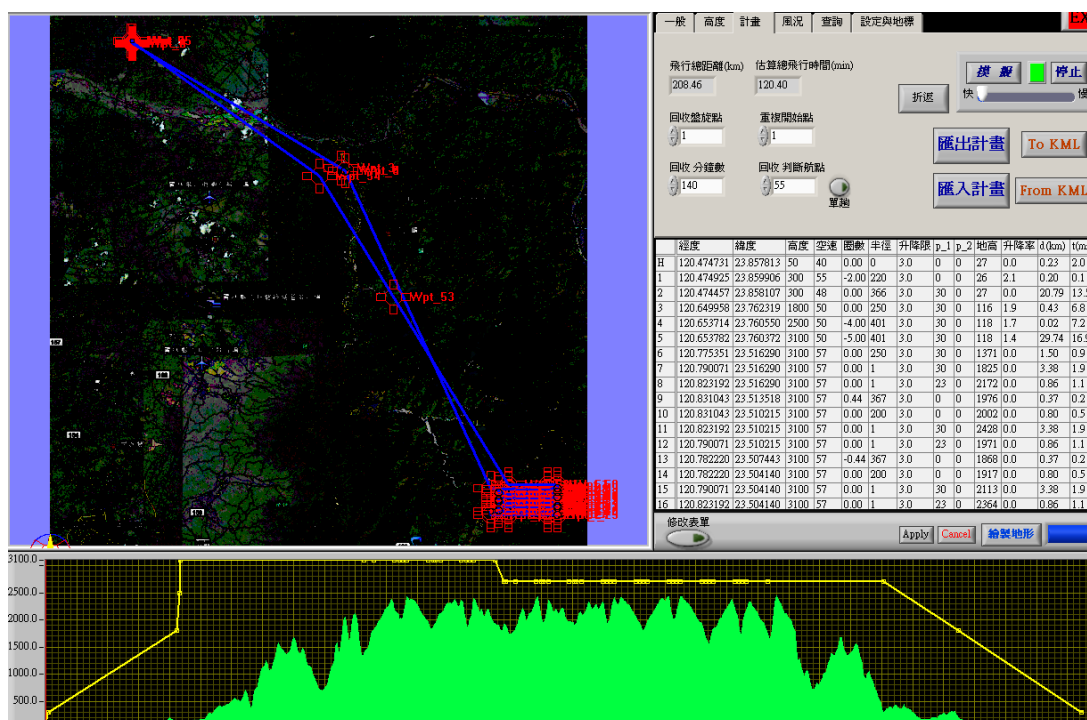


圖 5-28 阿里山航拍測試區飛行規劃

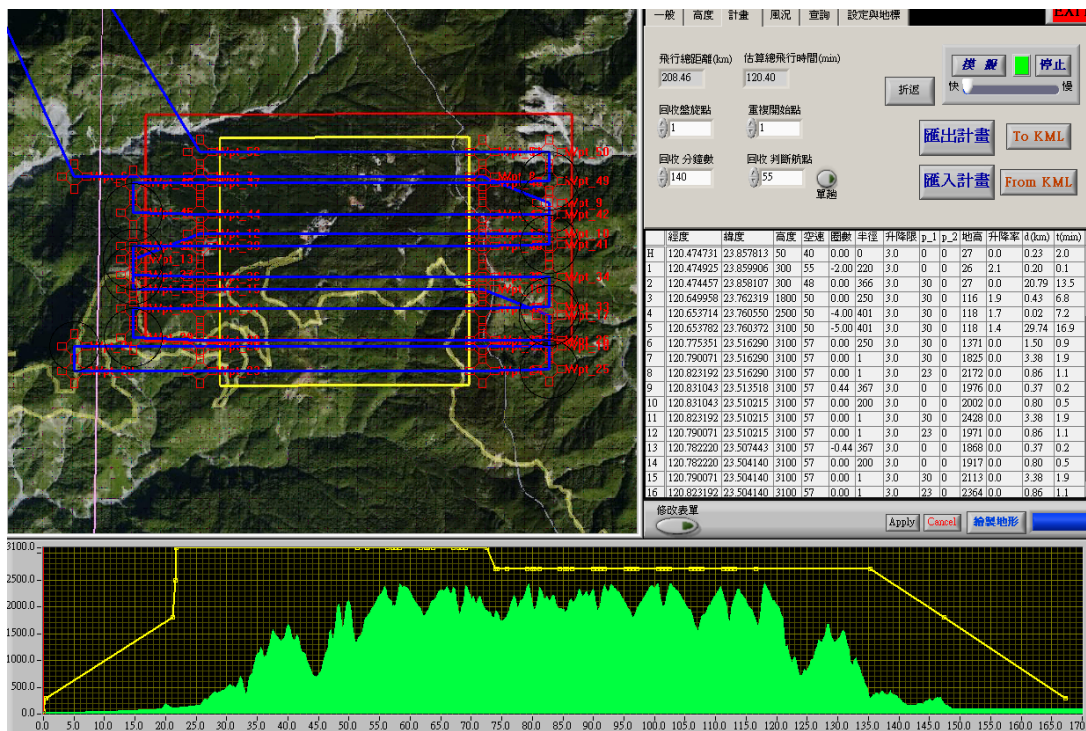


圖 5-29 阿里山任務區航線規劃

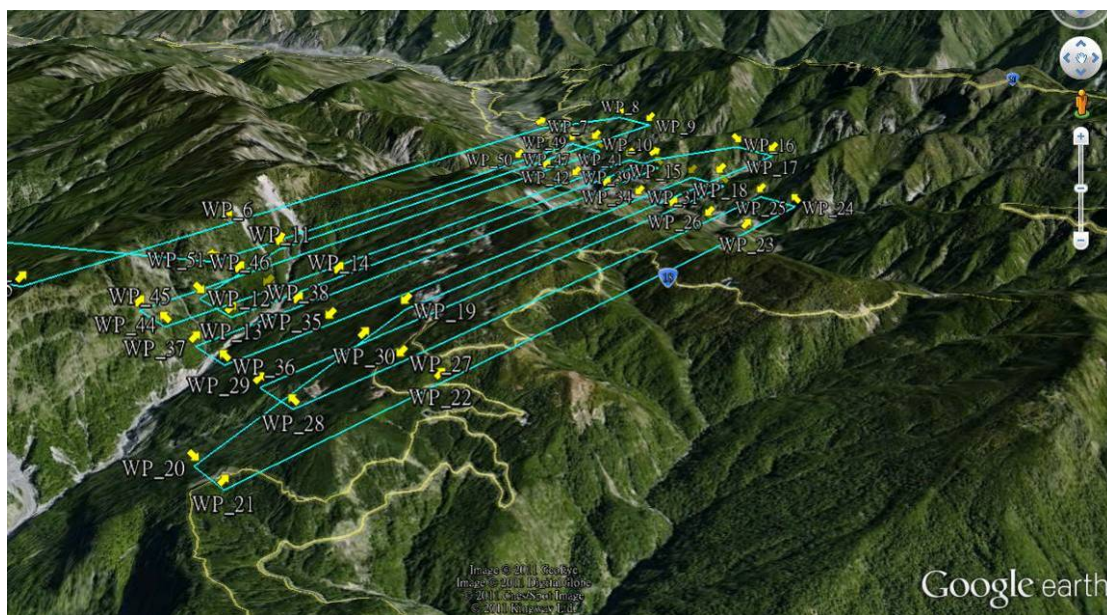


圖 5-30 阿里山任務區航線規劃立體呈現

### 5.2.3.2 氣候與雲況預測

海拔1400~2400公尺之阿里山北側山區，冬季常因鋒面帶來大量雲系，雲蓋率常達50%以上，中午之後常有濃霧籠罩山頭，不容易掌握良好之航拍時機。為正確掌握出勤時機，除事先申請與協調作業空域範圍外，另一方面即是針對天氣進行資料的蒐集。目前資料的蒐集方式主要有三種。一個是運用中央氣象局網頁所提供的衛星雲圖、雷達回波、壓力分佈來推估未來兩天可能的天氣變化。加上該網站提供全台灣部份區域的即時影像天氣觀測更可用於判斷該地區的即時天候，可以用於比較預測資料是否正確（請參考圖5-31）。第二種方式為利用WindGuru 網站的天氣模型來推估任務區的雲蓋率（請參考圖5-32），預測的時間為一個星期，並可提供低中高三個空層的雲蓋率數據。第三種方式為聯絡該區的氣象站，藉由直接詢問最新的氣象資料來確認任務區的即時雲蓋率，更能精準的獲得正確雲蓋率。

根據各項情報蒐集後總結，規劃航拍時間為中午以前。由於峰面因素預期風向為西北風，但由於任務區為南北狹長型地帶，因此航路走向維持南北向。



圖 5-31 中央氣象局網站提供之即時影像資訊

Taiwan - 阿里山 來吉部落 (magana)																						[Options]					
Forecast		Map		Webcams		Wind reports																					
<b>GFS</b>		We	We	We	We	We	We	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Sa	Sa	Sa	Sa	Sa		
01.11.2011		02.	02.	02.	02.	02.	02.	03.	03.	03.	03.	03.	03.	03.	04.	04.	04.	04.	04.	04.	05.	05.	05.	05.	05.		
18 UTC		05h	08h	11h	14h	17h	20h	05h	08h	11h	14h	17h	20h	05h	08h	11h	14h	17h	20h	05h	08h	11h	14h	17h			
Wind speed (knots)		4	4	1	3	2	4	4	4	1	1	1	4	5	5	1	1	1	3	2	2	2	3	2			
Wind gusts (knots)		6	5	5	5	5	6	5	5	4	4	4	5	6	6	5	4	4	4	3	3	3	4	4			
Wind direction		←	←	↘	↘	↓	←	←	←	←	↘	↓	←	←	←	↘	↓	←	←	←	←	←	↘	↓			
*Temperature (°C)		17	21	25	24	21	20	18	21	25	24	21	20	17	21	25	24	21	20	16	21	24	24	21			
Cloud cover (%)		5			10	34	45					7	36	42	6	26	17	19	25	28	28	21	18	16	34		
high / mid / low		15	8	7	15	37	41	8	5			10	35	37					41	45				36			
*Precip. (mm/3h)		0.4	0.6	0.9	4.7	8	9.1	1.2	0.6			1.3	1.3	0.4					0.6	0.6							
Windguru rating																											
<b>GFS</b>		Sa	Su	Su	Su	Su	Su	Mo	Mo	Mo	Mo	Mo	Mo	Mo	Tu	Tu	Tu	Tu	Tu	Tu	We	We	We	We			
01.11.2011		05.	06.	06.	06.	06.	06.	07.	07.	07.	07.	07.	07.	07.	08.	08.	08.	08.	08.	08.	09.	09.	09.	09.			
18 UTC		20h	05h	08h	11h	14h	17h	20h	05h	08h	11h	14h	17h	20h	05h	08h	11h	14h	17h	20h	05h	08h	11h	14h			
Wind speed (knots)		3	4	4	1	2	1	3	4	4	1	2	2	4	3	4	1	3	2	3	3	4	5	5			
Wind gusts (knots)		5	6	5	4	4	5	5	6	5	4	4	5	6	5	5	4	5	5	6	4	5	8	8			
Wind direction		←	←	←	↘	↘	↓	←	←	←	←	↓	↓	←	←	←	↘	↓	←	←	←	↘	↘				
*Temperature (°C)		20	17	21	24	24	21	20	19	21	24	23	21	20	18	20	20	20	19	18	18	19	20	19			
Cloud cover (%)		34			5	19	90	93	99	96	66	47	72	70	90	89	98	96	79	82	97	95	88	89			
high / mid / low		42			6	50	51	19	19		24	65	60	10	6	14	26	46	49	57	57	65	73				
*Precip. (mm/3h)						0.6	0.3	0.7	0.4	0.3	1.3	1.5	0.4			2.6	5.8	5.3	8.9	13.6	11.2	11.9	25.2				
Windguru rating																											
Lat: 23.5252, Lon: 120.7407, Alt: 809 m, Timezone: CST (UTC+8) ☀️ 06:05 - 17:15																											
																										[Detail / Map] [Link]	

圖 5-32 WindGuru 溫度與雲況預估網頁

### 5.2.3.3 任務執行

阿里山航拍區之氣候多變，除任務拍攝的規劃外，另外需就UAV於3100公尺時之運作進行確認，因此本團分別於100年10月14日、100年10月28日進行實機高空測試，以確認飛機的適航性。在確定UAV在該高度的特性後，於100年11月19日進行航拍區航拍，但當天雲蓋率大於50%，因此於100年11月29日進行第二次拍攝，成功取得該航拍區兩個高程之航拍影像。相關之影像處理結果，請參考6.1小節。

### 5.3 多旋翼無人飛行載具系統

本案主要目標為建置定翼型UAVS，但是本團隊將提供一架多旋翼系統進行相關圖資局部更新能力與影像處理成果精度品質測試。

#### 5.3.1 系統運用

本團隊所提供之旋翼機系統係由六組動力系統所構成之飛行平台（詳如圖3-6），具備電腦輔助控制定點懸停、程式化航線飛行與雲台自動補正等功能，可以在小區域內快速進行空中影像取得。只要配合無人飛行載具之自動飛行能力、航線設定與酬載更換來達成各項空中拍攝目的，目前已用於實際任務的拍攝技巧整理如下：

##### （一）機動拍攝

機動拍攝主要用於突發或是無法事先規畫航線之使用情境，因操作人員沒有辦法事先取得環境資訊，因此需要由操作人員進行手動飛行，並經由即時回傳之影像與地面站資訊來輔助進行偵查。機動拍攝的優點在於可以快速的取得現地的資訊，缺點在於由於缺乏當地地形地貌的資訊，可能在操作的過程中誤觸障礙物或訊號被障礙物遮蔽，因此在使用該拍攝方式時，建議由制高點起飛，並開啟增穩飛行模式減輕操作者負擔。



圖 5-33 多旋翼無人偵查飛行器系統用於生存遊戲監測（台南龍崎）

## (二) 盤旋拍攝

盤旋拍攝的目的在於提供興趣點的360度環境資料，操作者可以利用航線規劃軟體設定興趣點，即可進行盤旋拍攝。盤旋拍攝的優勢在於可以提供興趣點的360度環境資訊，讓現場人員可以快速的了解該區的地形地貌，其缺點在於如果該興趣點周圍有障礙物，就無法取得完整之資訊。在上述情況下，就需要配合興趣點上空拍攝的垂直影像來進行輔助(詳如圖5-34)。



圖 5-34 環境拍攝範例 (屏東里港)

### (三) 航線拍攝

航線拍攝主要用於拍攝長條型景物，諸如河川、道路、與大周長土地。操作者如果了解拍攝地區的坐標，即可運用航線規劃軟體進行航線規劃。航線的高度與相機的設定角度會影響拍攝的投影位置，詳細的計算細節目前已經整合至航線計算軟體中，可以有效減少估算時(詳如圖5-35)。

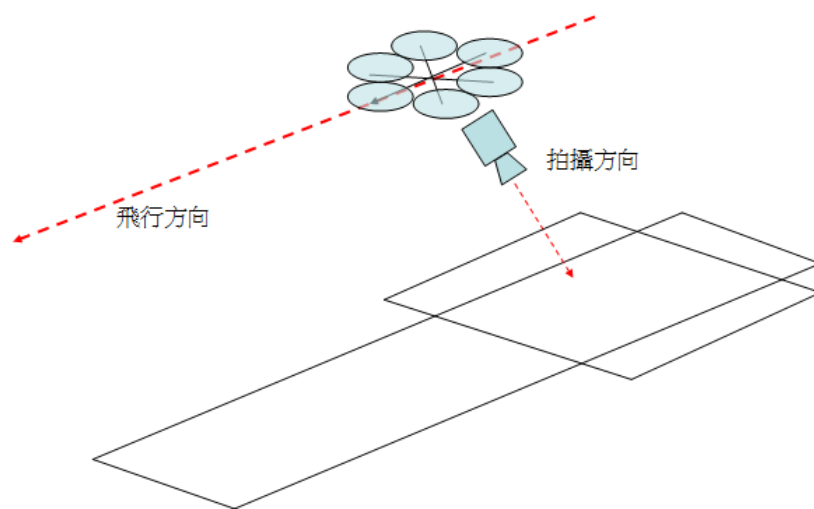


圖 5-35 航線拍攝設定示意圖



### (四) 垂直拍攝

垂直拍攝與航線拍攝同樣都是利用飛行載具的自動航線飛行功能與雲台的設定來達成拍攝的目的，主要的不同在於相機光軸的設定是90度垂直於地面，垂直拍攝的目的在於取得拍攝地點的90度垂直照片，運用影像後處理的技術，可以將序列拍攝的照片拼接成一張較大範圍的地圖。

若需要進行垂直拍攝，航線在設定上就需要更加的嚴謹，本團隊提供航線計算機供使用單位進行快速的計算，僅要提供拍攝區域的範圍、照片前後重疊率與航線重疊率、相機鏡頭參數，就可以自動生成航拍航線(詳如圖5-36)。

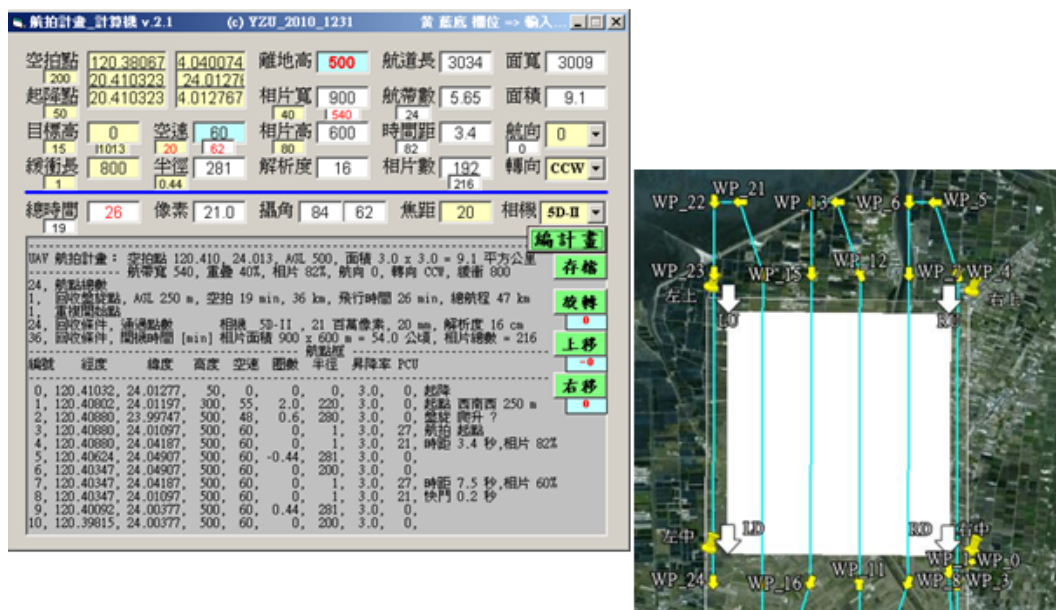


圖 5-36 垂直航拍航線規劃範例

### (五) 近景攝影測量

近景攝影測量所使用的技術在於三角量測。在利用率定方法取得相機內方位參數後，接下來就可利用此台相機進行量測行為。運用三角測量的基礎，使用相機向特定物體進行不同角度拍攝，經計算後可以得到該物體的三維模型。使用該技術主要的關鍵在於取得飛行載具拍攝時的姿態角與當時的坐標，並經由計算取得目標物的資訊。下圖 5-37 為民國 99 年四月發生於基隆七堵北二高順向坡坍塌之近景攝影測量製作結果，除了提供視覺化呈現外，也可以利用地貌模型之變化，並大略計算出土方量，以供後續救援單位參考。



圖 5-37 近景攝影量測範例 (國土測繪中心提供)

### (六) 720 度環景拍攝

本案所提供之載具可以進行空中懸停作業，因此在正確的操作下，可以利用單台相機進行空中360 度的環景拍攝。但根據本團隊實際運用經驗，若拍攝地點有風力影響，所取得的影像需要經過長時間(約 2小時)的處理才能完成環景拼接。為了提升作業效率，本團隊每次升空皆使用5台數位相機同時拍攝。使用者僅要將飛行載具升空至預備拍攝地點，即可順利取得影像。該來源影像再經過環景影像處理軟體處理後，約45分鐘之內即可獲得該區之720 度空中環景，大幅提升作業效率。720度空中環景影像可用於事故地點的全景資料保存，非常適用於媒體的新聞發布與網站的宣傳運用(詳如圖5-38)。



圖 5-38 720 度空中環景拍攝 (台中科博館 植物園)

### 5.3.2 多旋翼系統航拍測試

在5.3.1小節中，已說明多旋翼系統的空中拍攝運用，為了進一步了解多旋翼運用於局部修測運用的可能性，本團隊亦規劃使用多旋翼系統進行區域航線拍攝測試。因多旋翼系統之抗風性不若定翼型 UAV，若風速達到每秒5公尺即需考慮放棄飛行。為確保測試的安全性，主要測試皆在較為寬闊之區域進行，諸如台中的東海大學牧場草原、北部的中正橋河濱公園、台中文心森林公園圓形劇場等地進行。

測試用的相機為Olympus公司所生產的EP-1 可交換鏡頭類單眼相機，相機配備17mm 定焦鏡頭，並已經過室內率定場率定，取得相關之率定參數。選擇該相機的主要原因在於多旋翼系統無法酬載800g以上之重量，因此在以重量考慮為前提下，儘量選擇畫質較為清晰的單眼數位相機作為航拍酬載(詳如圖5-39)。



圖 5-39 Olympus EP-1

第一次進行航線拍攝的場地在新北市永和區的中正橋河濱公園，拍攝的標的與航線設計如下圖5-40與圖5-41所示。EP1 搭配17mm的鏡頭在離地高130m處時的照片涵蓋面積為 132\*99 公尺，因此若以多旋翼對地飛行速度15海里的速度來計算，若照片的前後重疊率需達到50%，則需距離每66公尺拍攝一張。若左右重疊率需到達40%，則航線距離需小於40公尺。依據這些限制進行航線規劃後，航拍之結果如圖5-42 所示。該圖僅經接圖軟體進行拼接，尚未進行幾何校正作業。

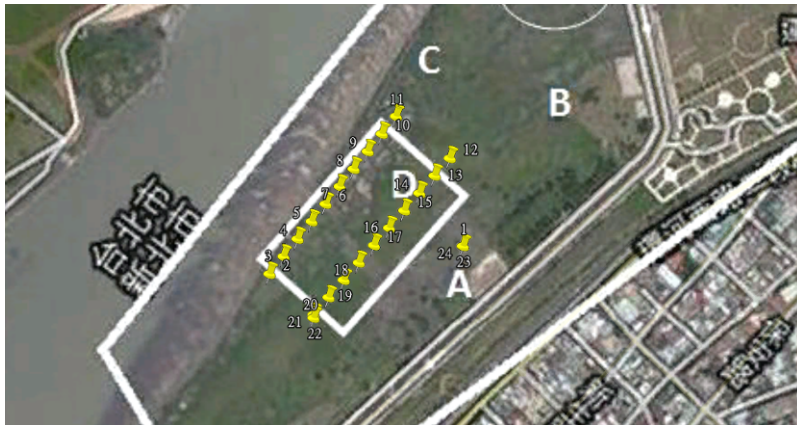


圖 5-40 多旋翼航拍目標區

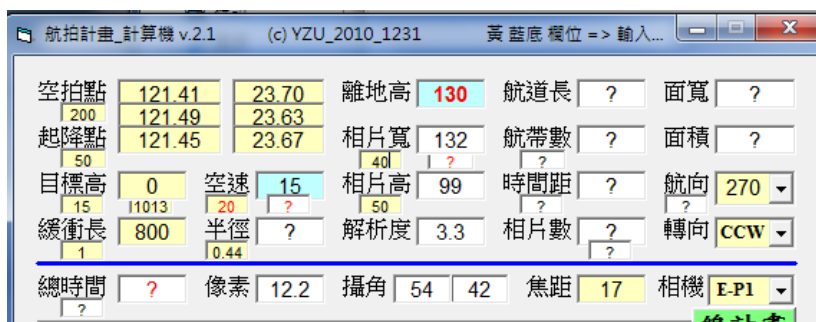


圖 5-41 運用航拍計算機進行涵蓋區域估算

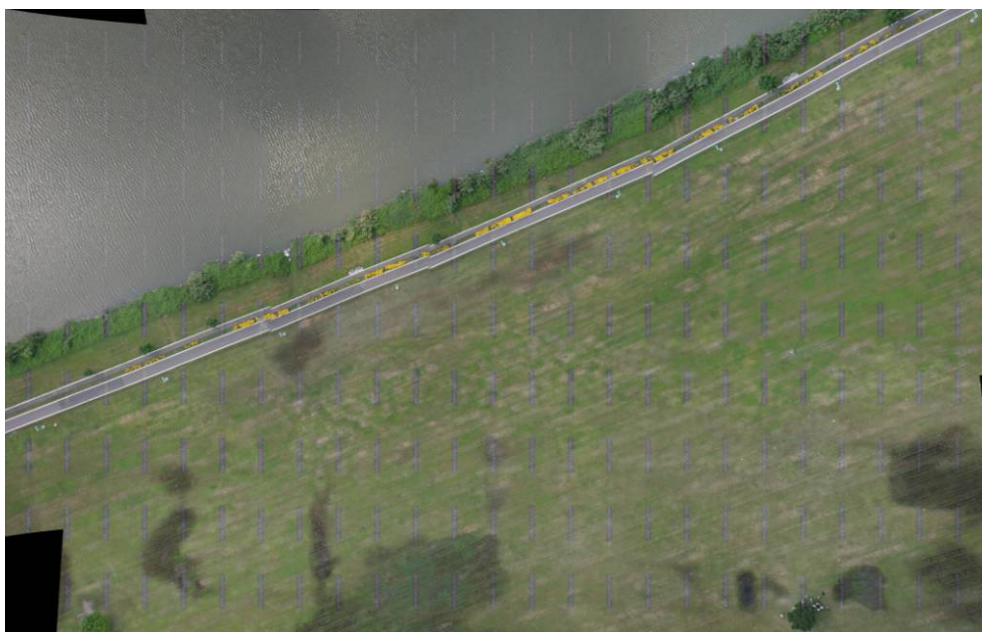


圖 5-42 航拍區照片拼接成果

### 5.3.3 多旋翼系統航拍任務

完成上述測試飛行後，於100年10月6日進行實際航拍任務。主要目標區為台中市文心路上之文心森林公園之圓形劇場。該區域之空拍圖資尚未有圓形劇場之圓頂結構，因此選定該點作為航拍目標。該航拍區面積約200\*200公尺，屬人口稠密區且交通繁忙，因空域請限制，無法使用定翼型無人飛機進行拍攝，正好可以發揮多旋翼系統高機動特性。

在飛行的規劃上，該區附近有約20層高之大樓，估測高度約為70公尺，加上該區屬於路口，推測可能會有較大的風力擾動，因此在飛行高的規劃上，選定為離地高150公尺，根據搭載相機的片幅與重疊度要求，需進行四條航帶的飛行（請參考圖5-43）。為避免強風、陣風、陰影、遊客的影響，特選定一日風力較小的中午時段進行拍攝，拍攝之結果初步拼接如圖5-44，經檢查影像重疊度符合需求，可進行下一階段之影像處理作業。

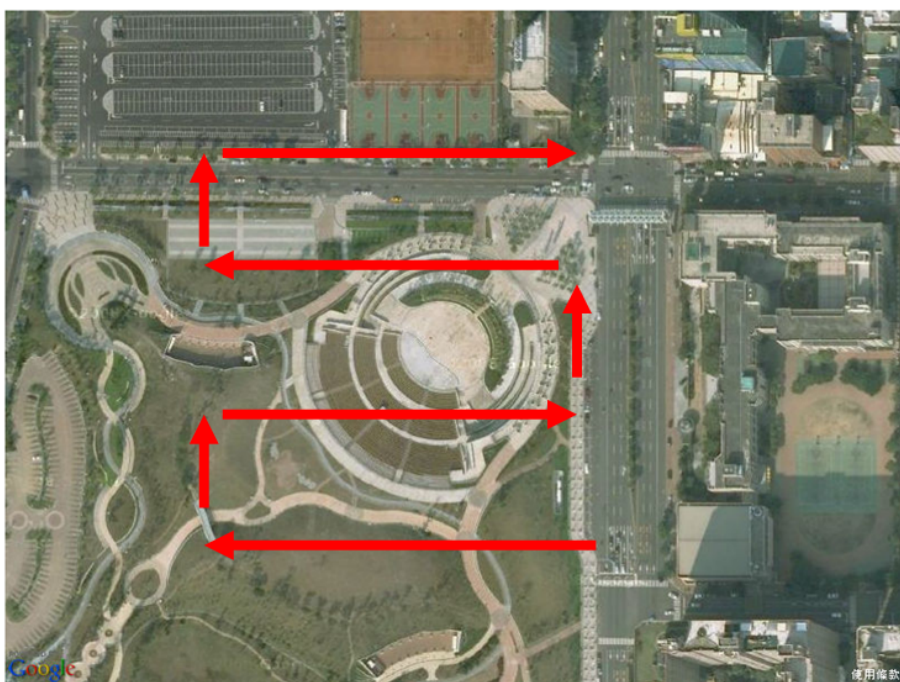


圖 5-43 圓形劇場航拍航線規劃

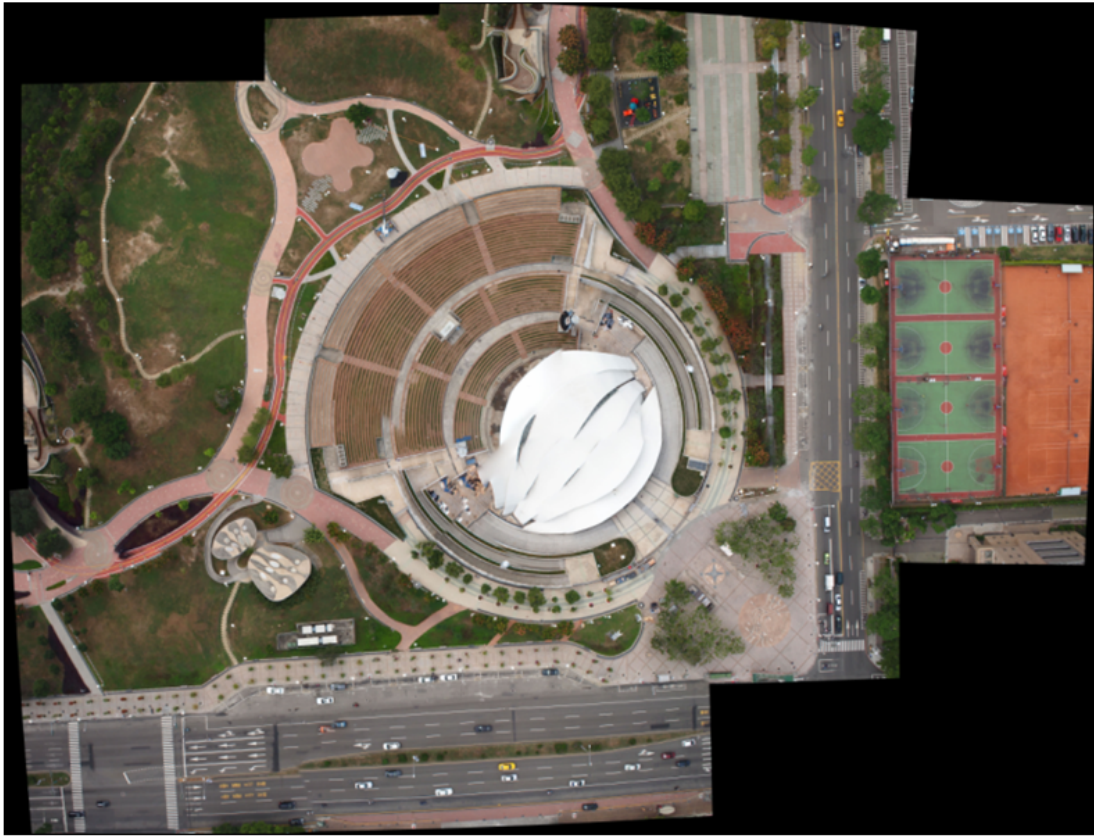


圖 5-44 圓形劇場航拍初步拼接





## 第六章 航拍影像處理

UAV 航拍影像處理分為一般航拍任務以及航拍測試之航拍影像處理。UAV 一般航拍任務目的是快速製作幾何糾正鑲嵌影像供緊急救難之用，其處理程序乃在災害發生期間或災害發生後，急需災區相關災害資訊情況下，快速影像幾何糾正鑲嵌，獲取幾何精度不高之鑲嵌影像供緊急應變及救難之用，滿足大部分災害判釋及分析之需求；航拍測試之工作目的則在於了解 UAV 飛行性能、航拍影像品質以及航拍影像空三及正射影像精度，其影像處理方式比照傳統航測作業程序辦理。

航拍影像處理程序若由現有圖資中取得地面控制資訊以進行空三、產製數值地形模型、製作正射影像、影像鑲嵌，提供災區三維空間資訊量測、變遷偵測、土方估算等災害判釋功能，將有利於防救災單位進一步災情判釋分析與評估，提供災害應變或擬定災害復原計畫使用，並做為災害應變及復原之依據。另一方面，航拍影像處理程序中若比照傳統航測方式辦理，地面控制測量部分需依基本圖測製規範辦理，以符合控制點精度需求，並進行空三計算、數值地形模型、及正射影像製作等作業，同時針對不同製圖精度需求，於不同航高執行航拍任務，以獲取影像進行小範圍圖資修測或更新作業等為主要應用，此外可根據所製作之正射影像進行變異地物偵測，以利於立體模型上進行更新區域之地物分析。

本章針對 UAV 航拍影像相關處理程序進行測試評估，目的是評估國土測繪中心現有軟體進行 UAV 航拍影像後處理，獲取相關圖資的效能，一來期望將現有軟體功能發揮最大功效並供後續 UAV 航拍影像處理系統規劃參考，二來希望達到節省公帑之目標。評估結果顯示，UAV 一般航拍任務的航拍影像處理流程與 UAV 航拍測試的航拍影像處理相同，差異在於一般航拍任務的航拍影像處理要求快速，因此部分工作流程簡化，地面控制點點數以及精度要求較低，因此兩項工作航拍影像處理程序如下圖 6-1 所示，詳細的評估請參見以下各節。

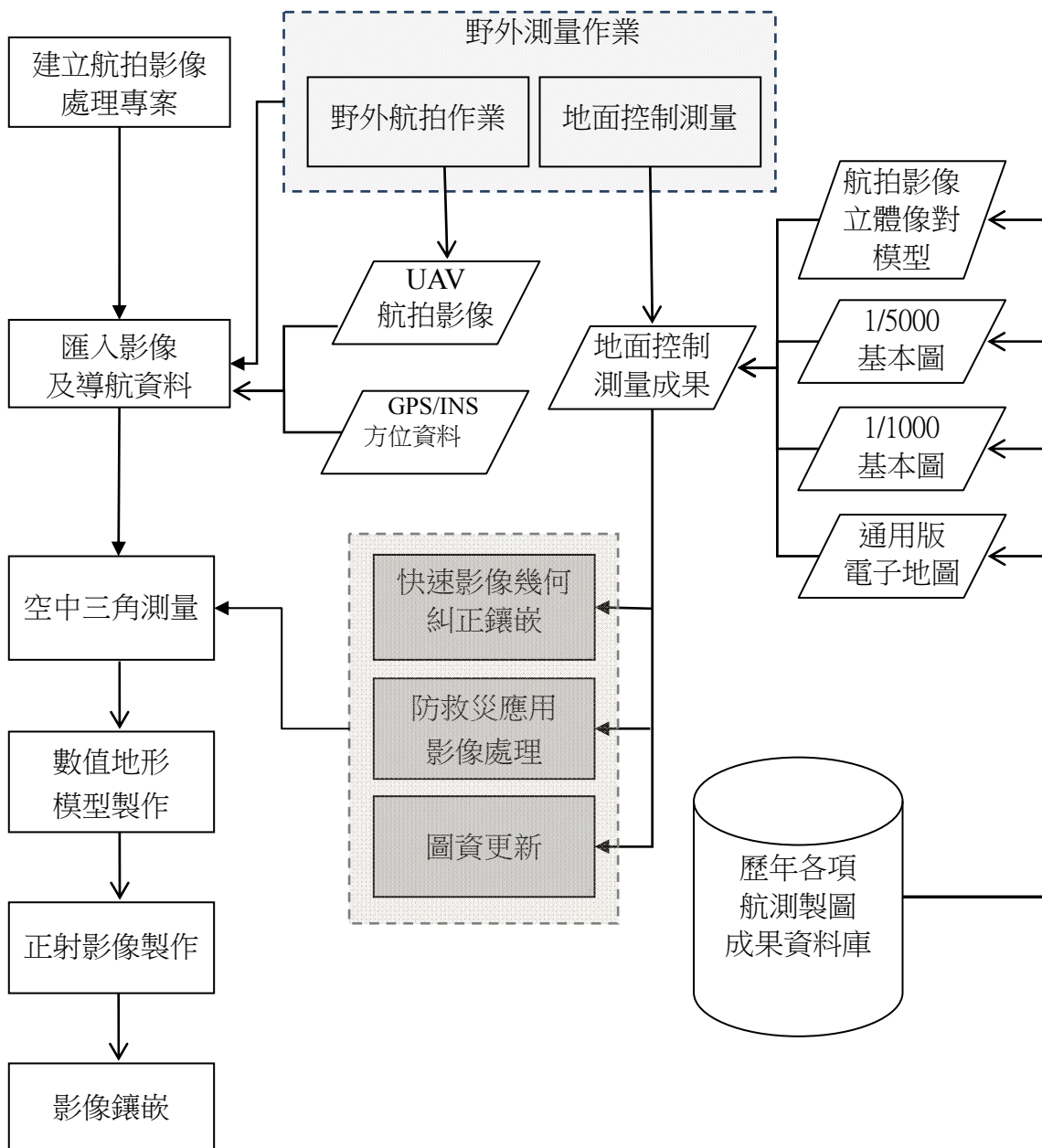


圖 6-1 UAV 一般航拍任務與航拍測試之航拍影像處理程序

(說明：UAV 一般航拍測試適用於防救災應用影像處理與快速影像幾何糾正鑲嵌；UAV 航拍測試適用於圖資更新。其中圖資更新採控制測量成果；快速影像幾何糾正鑲嵌僅使用歷年各項航測製圖成果資料庫；而防救災應用影像處理則可使用控制測量成果或歷年各項航測製圖成果資料庫。)

## 6.1 一般航拍任務之影像幾何糾正鑲嵌程序評估與實驗結果

### 6.1.1 一般航拍任務之影像幾何糾正鑲嵌程序評估

一般航拍任務之航拍影像進行快速幾何糾正鑲嵌的目的在於快速將航拍後影像簡單糾正並地理定位，協助快速了解拍攝區域的狀況，供決策者做出更正確的決策。本案除了測試 97 年『探測感應器測繪平台架構規劃暨應用作業工作總報告書(內政部國土測繪中心，2009)』中所使用的 Hugin 免費軟體外，並在充分利用國土測繪中心既有軟體的前提下，找出最快速有效的處理方式，以下提出三種幾何糾正鑲嵌影像方法進行評估及比較影像處理效率：

1. 以 Hugin 免費軟體幾何糾正鑲嵌。
2. 以 ERDAS IMAGINE advantage 相關模組進行影像幾何糾正鑲嵌。
3. 以 LPS 模組輸入所記錄的拍攝瞬間的 GPS/IMU 資料搭配最少控制點，快速自動匹配產生 DSM 並進行快速正射糾正，以產生精度以及解析度較差的正射影像作為幾何糾正的鑲嵌影像。

試驗過程使用歷史資料作為測試資料，選用之試驗區如圖 6-2 所示，該區位於大高雄荖濃溪上游，約佔四張五千分之一基本圖幅範圍(約 6 公里\* 6 公里)，地表平均高程約 50 公尺，以智飛科技公司 DoDo Pro UAV 進行航拍取像，航拍日期為 2010 年 12 月 28 日。航拍時使用鏡頭焦距約 20mm 的 Canon EOS 500D 數位相機，相機參數是使用 CalCam V.1.1.5.4 相機率定軟體率定所得(如表 6-1)。航拍時，航高約 1300 公尺，前後重疊約 80%，左右重疊約 40%，共航拍四條航帶，取像 112 張(分布狀況如圖 6-3)，地面解析力 GSD 約 30 公分。試驗過程中使用製作五千分之一地形圖時完成空三平差的航拍影像資料進行立體模型量測，獲取 77 個地面點，其中 22 個為地面控制點，55 個為地面檢核點。航拍測試時平面坐標基準採用 1997 坐標系統 (TWD97)；高程坐標基準採用 2001 高程系統 (TWVD2001)。

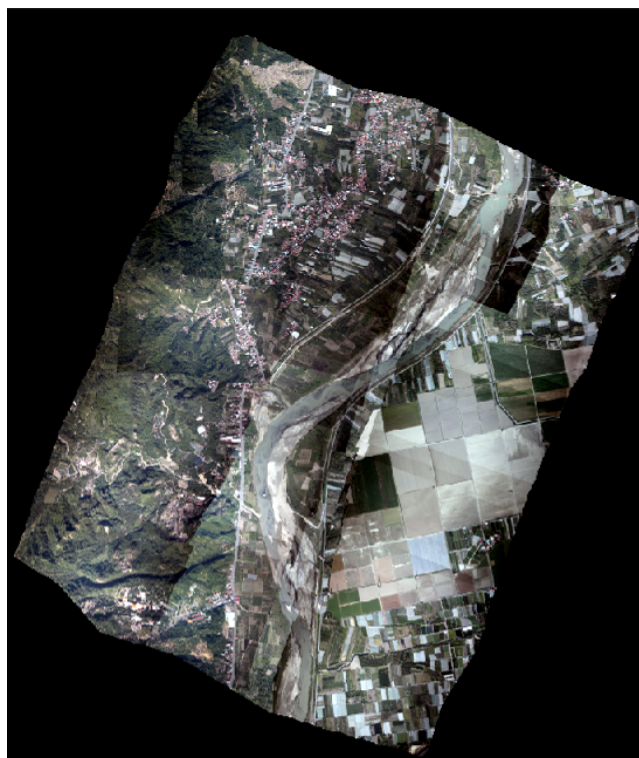


圖 6-2 UAV 航拍影像測試區域示意圖

表 6-1 ENSO Mosaic 500D 率定的相機參數

Parameter	Value		Std.Error	
	[pixel]	[mm]	[pixel]	[mm]
Principal point X	2384.50	11.1899	3.74	0.0175
Principal point Y	1592.00	7.4709	3.84	0.0180
Focal length	4384.93	20.5774	3.37	0.0158

"Standard" analytical form [mm]

$$dr = k1 \cdot r^3 + k2 \cdot r^5 + k3 \cdot r^7$$

where

r = radius with respect to PBS in [mm]

$$k1 = -0.00023842536$$

$$k2 = 0.00000090491$$

$$k3 = -0.00000000219$$

"Standard" analytical form [mm]

$$dx = P1 \cdot x \cdot y + P2 \cdot r^2 \cdot x^2$$

$$dy = P2 \cdot x \cdot y + P1 \cdot r^2 \cdot y^2$$

where

r,x,y = radius/x/y with respect to PBS in [mm]

$$P1 = -0.00001593271$$

$$P2 = -0.00001111480$$

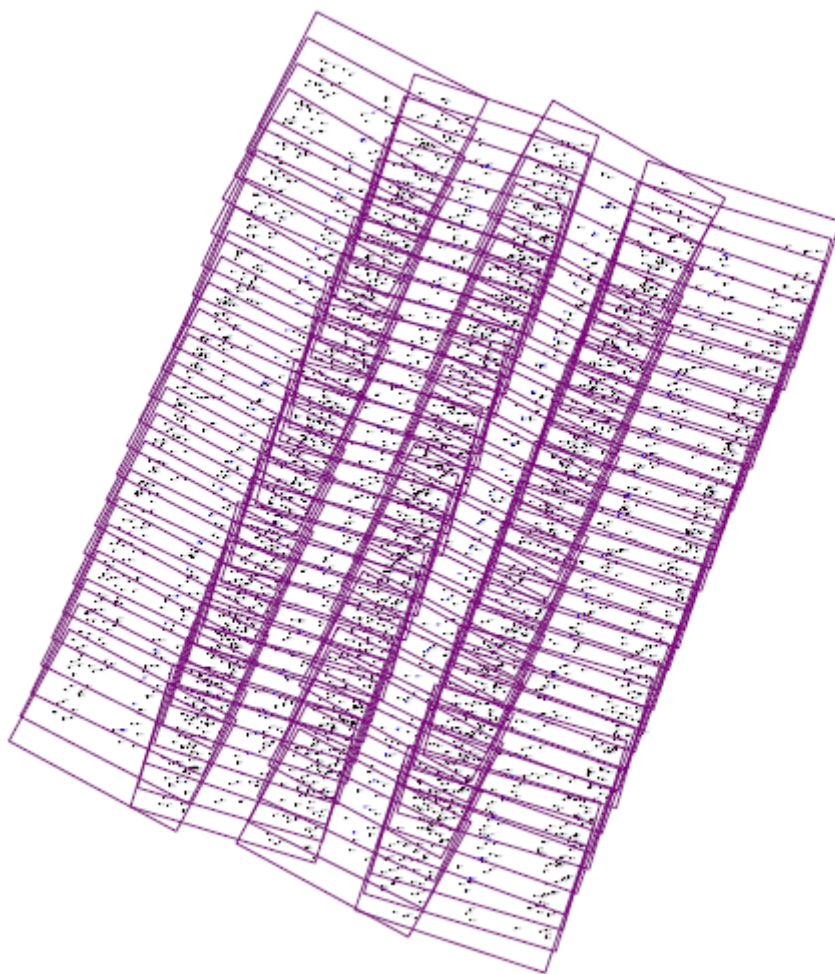


圖 6-3 測試用 UAV 航拍影像分布狀況

第一種是評估免費軟體 Hugin 進行幾何糾正鑲嵌作業。本次試驗以航帶為單位將像片分批，一次拼接一條航帶，將此批次的像片匯入後，使用 autopano 等輔助軟體，自動產生控制點，大致檢查有無錯誤控制點，進行最佳化後接合，完成所有航帶的拼接後，其作業流程如下圖 6-4 所示，圖 6-5 為一條航帶幾何糾正影像鑲嵌成果圖。之後使用各航帶的成果，將其接合為完整之影像圖試驗區。

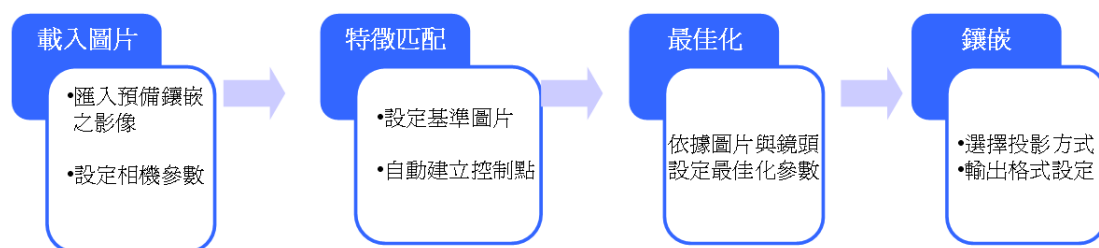


圖 6-4 以 Hugin 進行快速幾何糾正影像鑲嵌之流程圖



圖 6-5 航帶像片數為 24 張之接合成果

基於成本以及使用性的考量，通常航照範圍均具一定規模，有相當數量之像片，以本案為例，此組像片數量為 112 張。Hugin 在處理 30 張以上之像片效率不彰，見表 6-2，相較於 20 張的接合為 20 分鐘，30 張的接合耗時 50 分鐘，所需時間大幅增加；再者，其成果亦發現未將同一批次所有像片納入接合之狀況，如圖 6-6 所示，幾乎將近半數影像未成功納入糾正鑲嵌；此外，分批處理成果之航帶糾正結果無法成功拼接成完整區域，因此使用 Hugin 軟體完成本案任務效率亦相當低。Hugin 雖然有免費之優點，在處理少量像片之接合的表現良好，但對於大量相片的處理效率和其成果品質的比較之下，並不適用。

表 6-2 Hugin 作業耗時統計表

航帶編號	張數	耗時				
		自動匹配 (分)	最佳化 (秒)	接合 (分)	航帶總計 (分)	整體總計 (分)
1	32	3	15	50	53	150
2	25	2	10	20	22	
3	31	3	15	50	53	
4	24	2	10	20	22	



圖 6-6 航帶像片數為 32 張的錯誤接合成果圖示

第二種則是評估以 ERDAS IMAGINE advantage 相關模組進行影像幾何糾正鑲嵌，其作業方式是使用 Image Geometric Correction 和 Mosaic Images 的功能完成幾何糾正的鑲嵌影像。其作法是第一階段首先選擇欲糾正的影像，接著選取幾何糾正的模式(選項中有數種航照影像糾正的 mode，但需要不同點數的控制點)，然後設定控制點坐標系統並點選控制點輸入坐標，若有多餘觀測時則檢查控制點殘差，以確定糾正模式之參數，最後進行設定 cell size 和 Resample Method 將影像重新取樣完成糾正，重複上述動作完成所有影像之幾何糾正；緊接著第二階段是將幾何糾正完的所有影像，以 Mosaic Images 功能進行鑲嵌，過程中需選取顏色糾正模式(如 Dodging 遮光法的 mode)、選取鑲嵌線相關設定(如羽化方式與範圍、平滑罩窗的大小)自動完成鑲嵌，作業流程如圖 6-7。以一階多項式幾何糾正時，每張影像至少需要兩個以上控制點，測試區影像高達 112 張，若每點控制點需要兩分鐘，約四小時才能完成試驗區資料之幾何糾正。

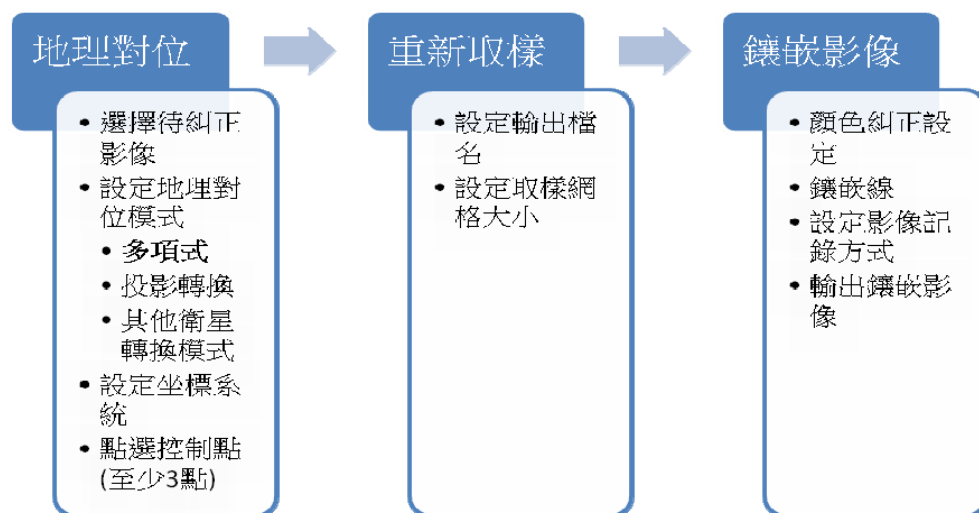


圖 6-7 ERDAS IMAGINE advantage 相關模組幾何糾正鑲嵌流程

第三種幾何糾正影像鑲嵌之作法乃評估以 LPS 模組輸入所記錄拍攝瞬間的 GPS/IMU 資料搭配最少控制點完成空三，並快速自動匹配產生 DSM 及進行快速正射糾正，以產生精度以及解析度較差的正射影像作為幾何糾正的鑲嵌影像。此法與傳統正射糾正作業方式相同，僅在連結點量測時採用最少連結點進行自動匹配量測，之後利用自由網自率光束法空三平差進行粗差偵錯，最後僅以三點控制點進行最小約制自率光束法空三平差求解相片外方位參數供後續程序使用。整個流程如圖 6-8 所示。

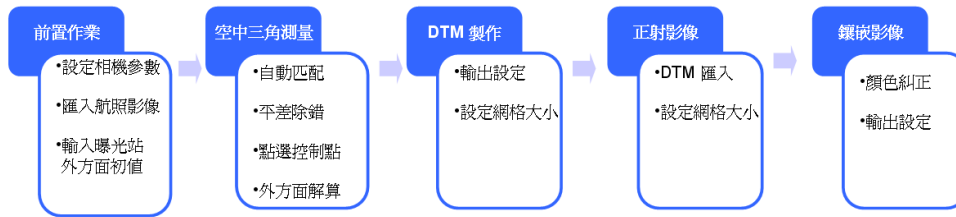


圖 6-8 以 LPS 進行快速幾何正射糾正鑲嵌之流程圖

由於國土測繪中心已購置 2 套數位航測影像工作站硬體設備，軟體設備則有 ERDAS LPS Core、LPS ORIMA、LPS Stereo 等模組，但並無自動匹配與編修 DTM 的 LPS ATE、LPS TE 模組。另外國土測繪中心也已購置兩套 MatchT 軟體可自動匹配 DTM，但並未購買編修 DTM 模組 DTMaster Stereo。理論上自動匹配的結果應為 DSM(Digital Surface Model)，而不為 DTM(Digital Terrain Model)，而目前內政部已將 DTM 正式統一稱為 DEM(Digital Elevation Model)。而以下名稱乃沿用軟體操作時的一般稱謂，即自動匹配 DTM。因此以圖 6-8 進行快速幾何正射糾正鑲嵌時是利用 ERDAS IMAGINE LPS 和 ORIMA，輔以 Match-T 進行作業。作法分成四個階段，分別說明如下：

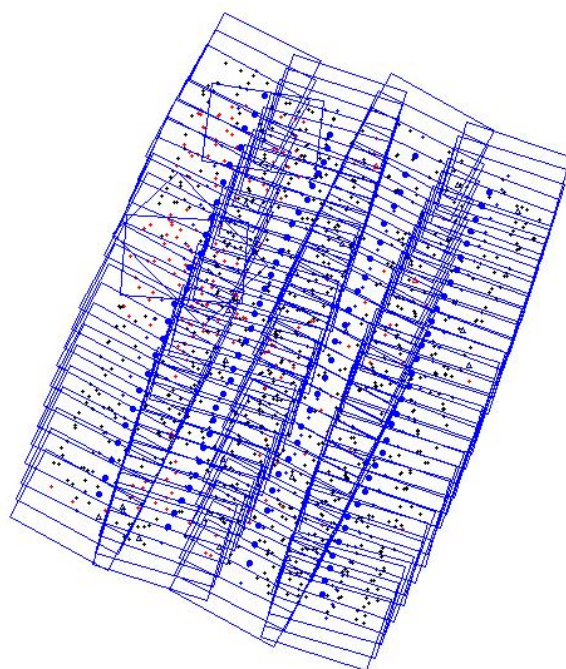
第一階段：匯入欲鑲嵌之航照影像，輸入由導航系統提供之像片外方位參數初值以及相機參數；

第二階段：進入 ORIMA 進行自率光束法空三平差(詳見 6.2.2 節)，採每張影像 5\*5 位置至少一點連結點的分布形式自動匹配連結點，之後以自由網自率光束法空三平差除錯，此時為求快速，對於除錯後網形不佳之位置並不再用人工量取連結點，以節省作業時間，最後再點選三個控制點進行最小約制的自率光束法空三平差計算進行解算外方位參數。

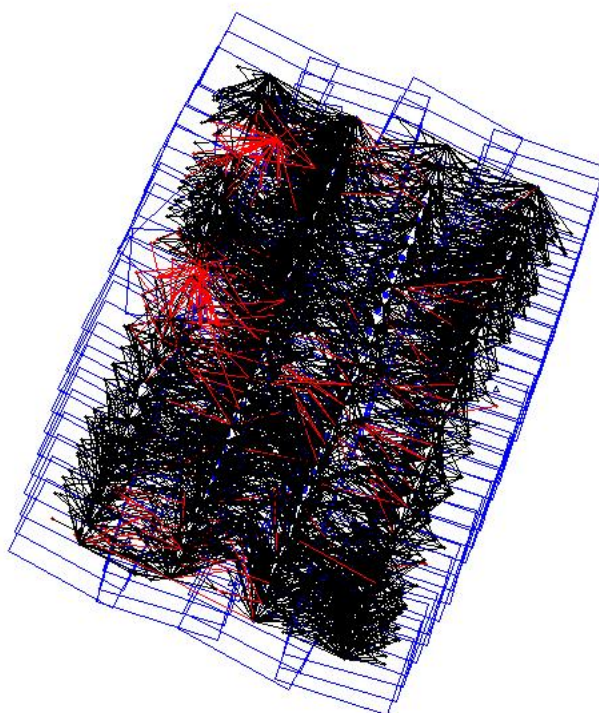
第三階段：製作 DTM，其作法是將 ORIMA 自率光束法空三平差成果擷取外方位元素及相機內方位參數輸入 Match-T 軟體，依需要設定輸出類型及 DTM 網格大小；

第四階段：將自動匹配的 DTM(為求快速，此時匹配之 DTM 並不編修)載入 ERDAS LPS Core，重新取樣製作正射影像；最後為鑲嵌影像，預覽鑲嵌結果和完成顏色糾正後，便可將影像輸出。圖 6-9 和圖 6-10 顯示試驗過程試驗區資料執行自率光束法空三平差計算時連結點、控制點分布情形以及網形狀況。圖 6-11 則顯示自率光束法空三平差結果。





紅色點：自由網平差評斷有錯的連結點      藍色點：正確連結點  
圖 6-9 快速自率光束法空三平差連結點與控制點分布情形



紅色線：錯誤的連結點      藍色點：正確連結點  
圖 6-10 快速自率光束法空三平差網形

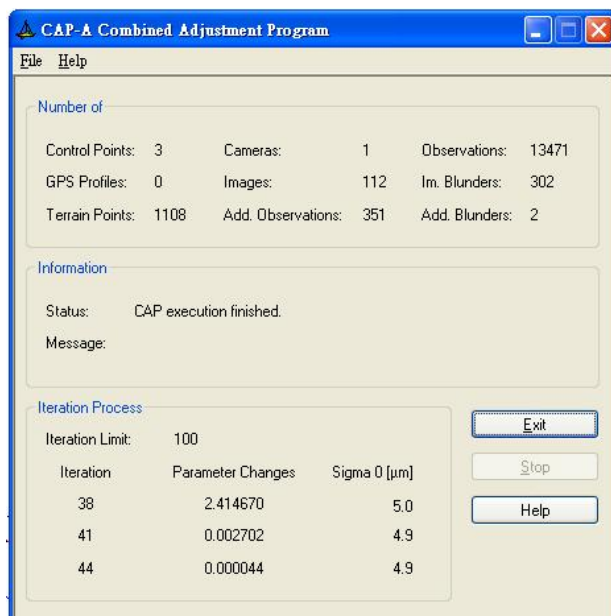


圖 6-11 快速自率光束法空三平差結果

以 ORIMA 執行完快速自率光束法空三平差後，開啟 Applications Master，建立一個 Project(詳如圖 6-12)，設定相機參數(詳如圖 6-13、6-14)，再將影像及外方位參數匯入(詳如圖 6-15)。

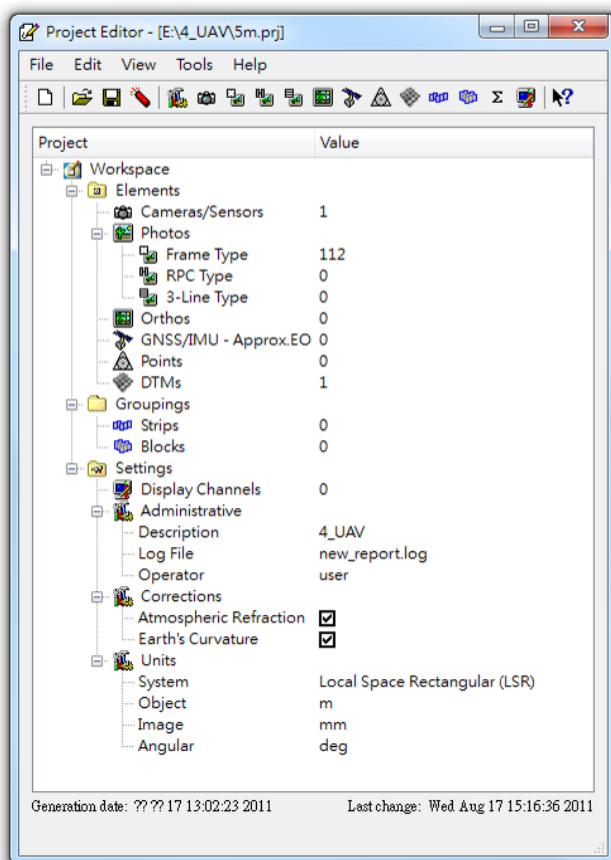


圖 6-12 建立 Project

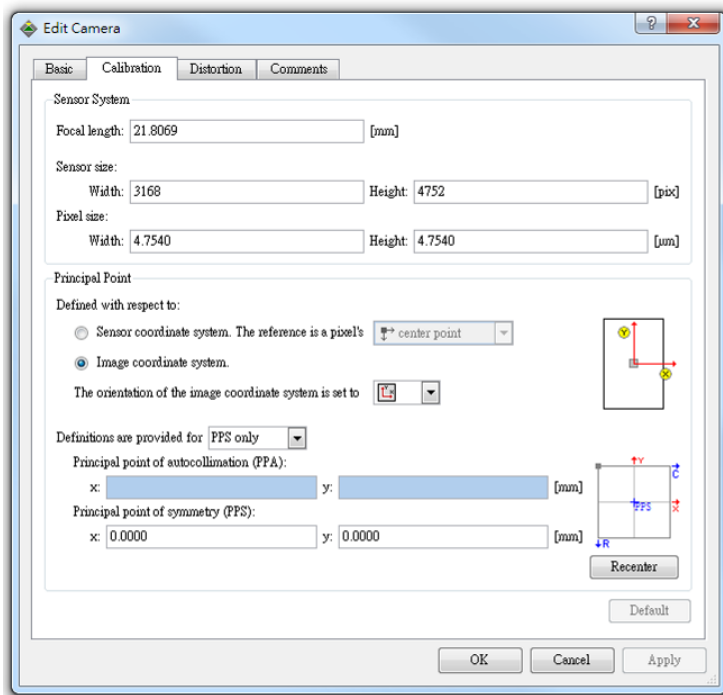


圖 6-13 相機參數設定(Calibration)

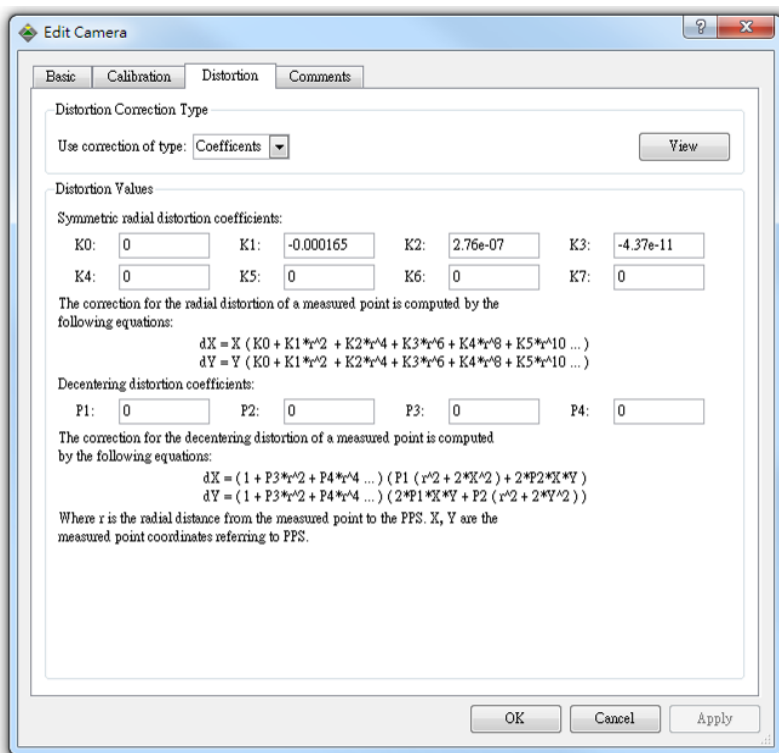


圖 6-14 相機參數設定(Distortion)

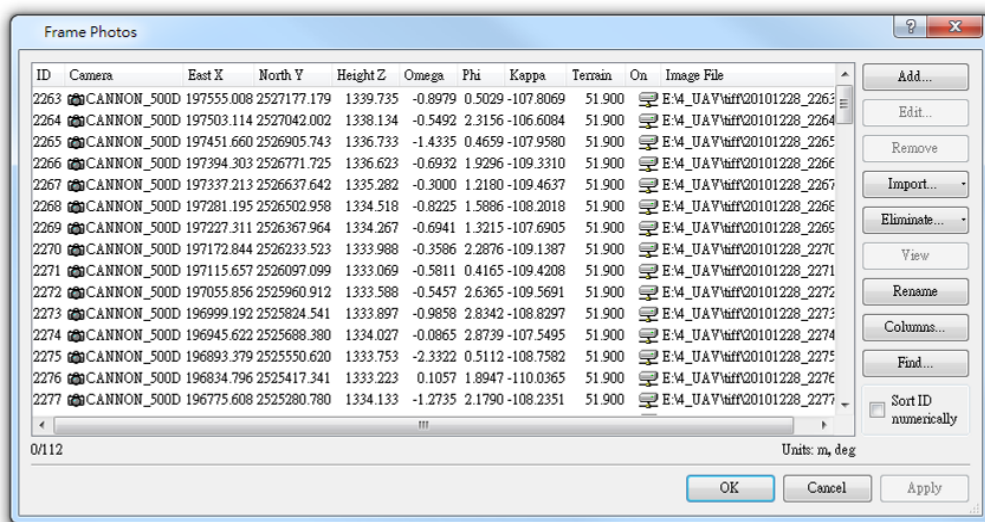


圖 6-15 匯入像片及外方位參數

隨後，以 Applications Master 的 Match-T DTM，設定 Region Type 及 Grid Size 後(如圖 6-16)，即可自動匹配產生 DTM，圖 6-17、6-18 分別是自動匹配產生的 25 公尺\*25 公尺以及 50 公尺\*50 公尺網格的 DTM。

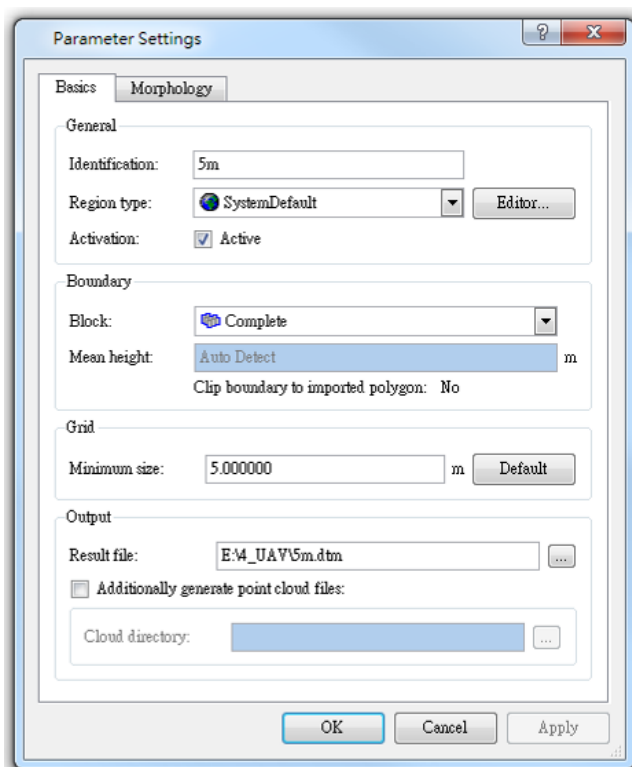


圖 6-16 匹配 DTM 參數設定



圖 6-17 自動匹配 25 公尺\*25 公尺的 DTM



圖 6-18 自動匹配 50 公尺\*50 公尺的 DTM

將 Match-T 匹配之 DTM(\*.las)以 ERDAS 的 Terrain Prep Tool 轉成 img 檔(如圖 6-19)，再匯入 LPS 模組，如圖 6-20 開啟 Ortho Resampling 功能並設定 Output Cell Sizes(本試驗設定為 25 公分\*25 公分)產生正射影像，並以 Mosaic Tool 進行鑲嵌(詳如圖 6-21)。圖 6-22 和圖 6-23 分別是 Grid Size 25 公尺與 50 公尺、Cell Size 均為 25 公分的幾何正射糾正鑲嵌圖。

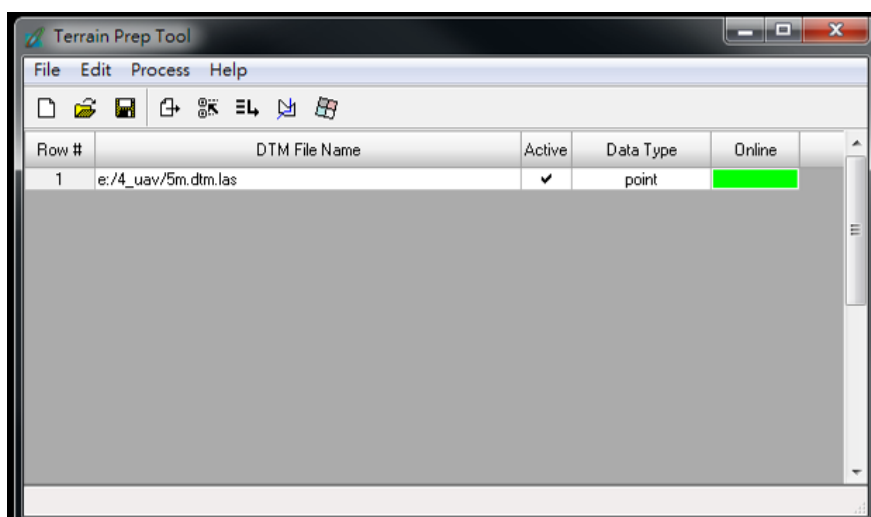


圖 6-19 Terrain Prep Tool 轉檔

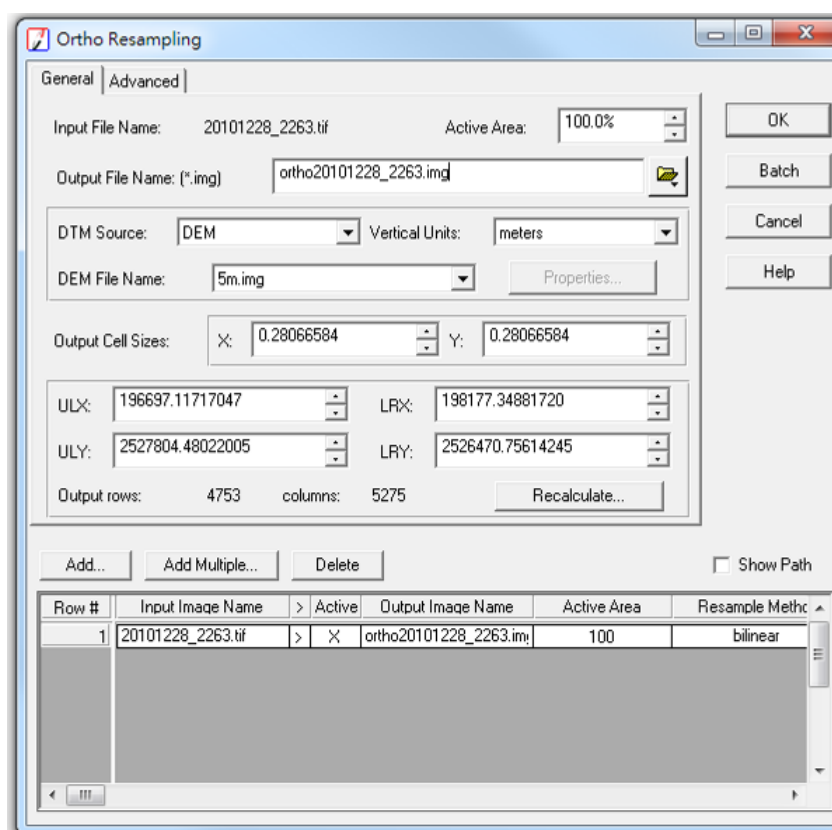


圖 6-20 Ortho Resampling 產生正射影像

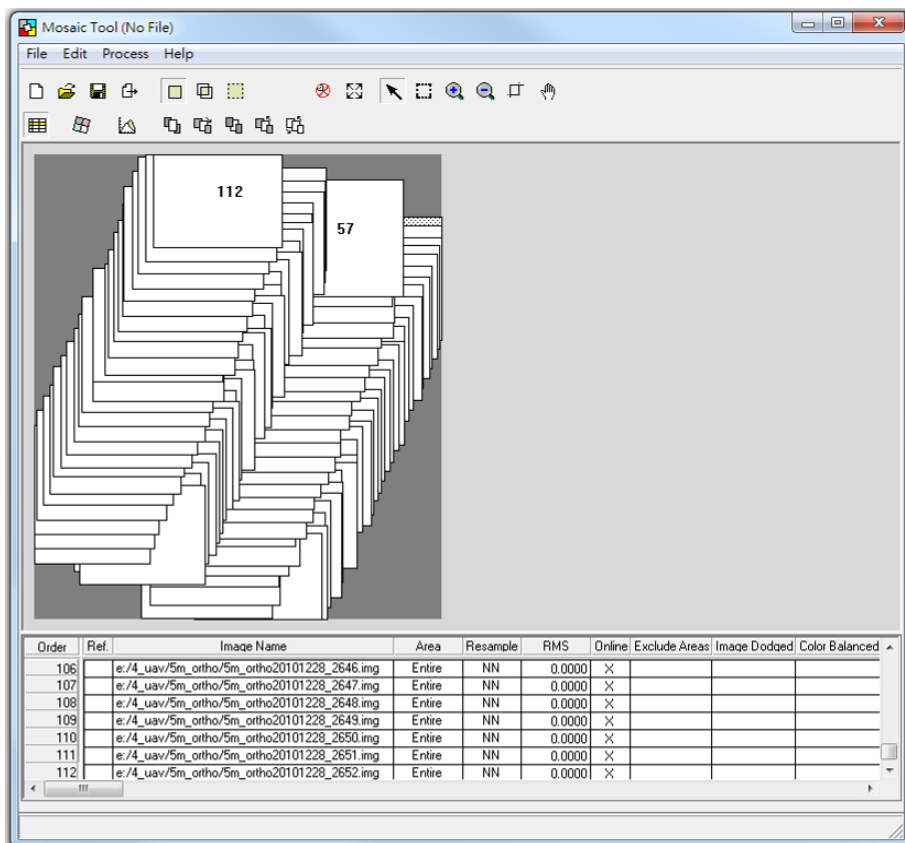


圖 6-21 Mosaic Tool 進行鑲嵌

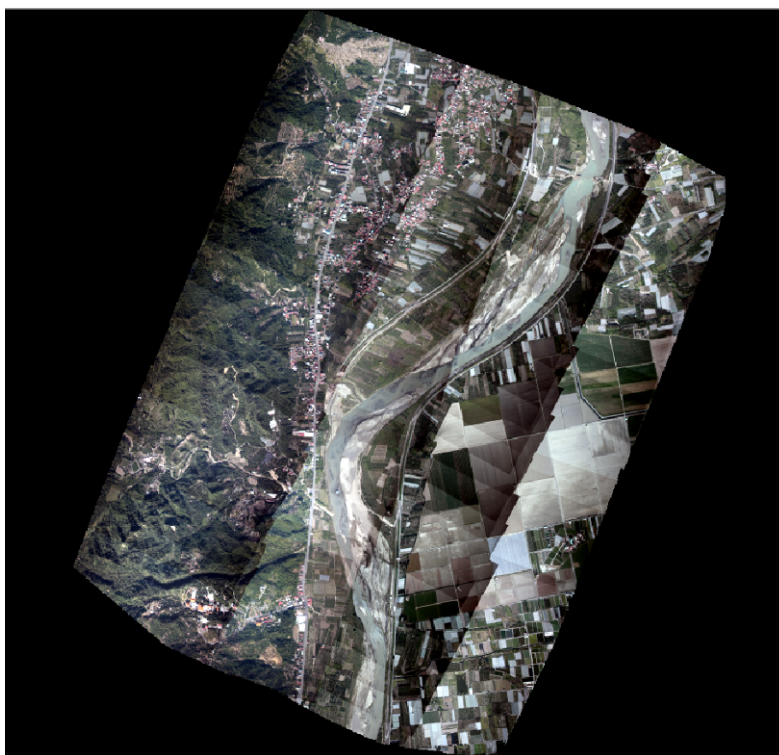


圖 6-22 Grid Size 25 公尺、Cell Size 25 公分的幾何正射糾正鑲嵌圖

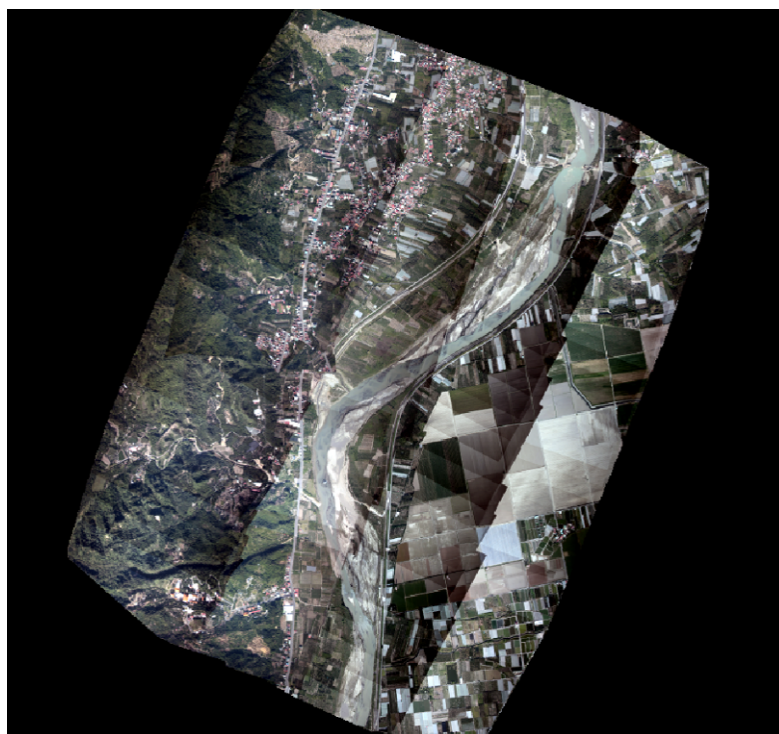


圖 6-23 Grid Size 50 公尺、Cell Size 25 公分的幾何正射糾正鑲嵌圖

為瞭解利用 ERDAS IMAGINE LPS 和 ORIMA，輔以 Match-T 進行製作幾何正射糾正鑲嵌的作業時間是否將來適用於快速作業，分別統計 25 公尺\*25 公尺以及 50 公尺\*50 公尺 DTM 製作正射糾正鑲嵌的時間，其工作細分為前置作業、空三、自動匹配 DTM、製作正射影像、以及鑲嵌。而本統計中亦針對若 DTM 資料是直接由 ERDAS IMAGINE LPS 中 LPS ATE 模組自動匹配產生，但未經 LPS TE 模組編修製作幾何正射糾正鑲嵌影像的作業時間，如表 6-3 中 ATE 表 DTM 是由 LPS ATE 模組自動匹配產生；M 表 DTM 是由 Match-T 模組自動匹配產生。表中統計結果顯示四幅五千分之一地形圖圖幅範圍的幾何糾正鑲嵌作業時間可以控制在兩個小時內，對於一般航拍任務幾何糾正鑲嵌的目的是於航拍後，快速將影像簡單糾正並地理定位，協助快速了解拍攝區域的狀況，供決策者做出更正確的決策有正面的效益。同時為了解如此作法作業精度可達到何種等級，於已完成自率光束法空三平差的影像中立體量測 20 點作為檢核點，點位分布如圖 6-24，檢核點之 RMSE 如表 6-4 所示，表中利用相同的空三平差結果所製作不同網格大小之 DTM，X、Y 方向精度相差至 8~10 倍之多，其原因推測應是不同網格大小自動匹配之點數不同使得內插產生精度不同之 DTM 所引起。由於以 50 公尺\*50 公尺與 25 公尺\*25 公尺 DTM，製作像元解析度 25 公分正射糾正影像的時間相差不大(詳如表 6-4)，因此本案建議以 25 公尺\*25 公尺 DTM 製作像元解析度 25 公分正射



糾正影像作為一般航拍任務所需之幾何糾正影像。

表 6-3 以 LPS 模組或搭配 Match-T 幾何糾正鑲嵌作業耗時統計

DTM 網格大小	前置 作業	空三	自動匹配 DTM		製作正射影像		鑲嵌		總計	
			ATE	M	ATE	M	ATE	M	ATE	M
25 公尺 *25 公尺	10	20	24	30	23	35	35	12	112	107
50 公尺 *50 公尺	10	20	21	30	29	30	38	10	118	100

單位：分



圖 6-24 檢核點分布圖

表 6-4 不同網格大小 DTM 之幾何正射糾正影像之 RMSE

DTM 網格大小		25 公尺×25 公尺	50 公尺×50 公尺
DTM 來源	X 方向	2.40 公尺	17.70 公尺
	Y 方向	1.75 公尺	10.60 公尺

## 6.1.2 一般航拍任務之影像幾何糾正鑲嵌實驗結果

依上述一般航拍任務影像幾何糾正鑲嵌 3 種方法測試結果，以第 3 種處理方式最有效率，本案並以鹿港測區、屏東來義(簡稱屏東來義測區)、台中南屯特 3 號道路(簡稱台中特三測區)、高雄市桃源區勤和里(簡稱高雄勤和測區)等四個地區進一步測試比較其影像幾何糾正鑲嵌後之成果精度並評估糾正方法之實用性。航拍時於鹿港測區、屏東來義測區、台中特三測區使用 Canon EOS 5DII 焦距 24mm 數位相機、於高雄勤和測區則使用 Canon EOS 5DII 焦距 50mm 數位相機，相機參數是使用 6.2.1 節所述之方法率定所得。試驗過程因屏東來義測區及高雄勤和測區航拍航高約 1000 公尺較符合一般航拍測試之快速幾何糾正鑲嵌的目標，而為求快速僅取航帶前後重疊 60%，左右重疊約 40%之航拍影像進行試驗，而地面控制點及檢核點則使用製作五千分之一地形圖時完成空三平差的航拍影像資料立體觀測取得，上述評估過程原僅以三點控制點進行自率光束法空三平差求解相片外方位參數供後續程序使用，為顧及作業陳述之便利性，於屏東來義測區將三點控制點改為測區四角均量測一點控制點進行自率光束法空三平差求解相片外方位參數供後續程序使用，此外亦於高雄勤和測區嘗試無控制 GPS 輔助空三之作法。而台中特三測區則因航拍高度僅 500m，且單張影像涵蓋範圍較小，欲以所建議快速幾何糾正鑲嵌進行具相當難度，因此仍採用航拍測試之影像處理程序進行幾何糾正鑲嵌。試驗中平面坐標基準採用 1997 坐標系統 (TWD97)；高程坐標基準採用 2001 高程系統 (TWVD2001)。但 GPS 輔助空三之成果仍採用橢球高。一般航拍任務影像幾何糾正鑲嵌將與 97 年度「探測感應器測繪平台架構規劃暨應用作業案」之成果比較。6.1.2.1~6.1.2.4 為其一般航拍測試之測試成果。

### 6.1.2.1 彰化鹿港測區

鹿港測區位置分布如圖 6-25 所示，範圍約 8.4 公里 \* 4 公里，地表平均高程約 5 公尺，航拍日期為 100 年 9 月 26 日。測試資料共 8 條航帶，像片 124 張(分布狀況如圖 6-26)，地面解析力 GSD 約 26 公分。試驗過程中使用農航所提供之佈標點以及以 VRS GPS 實測之自然點，其高程均參考內政部公布之大地起伏模式修正為正高系統，選取地面控制點及地面檢核點。

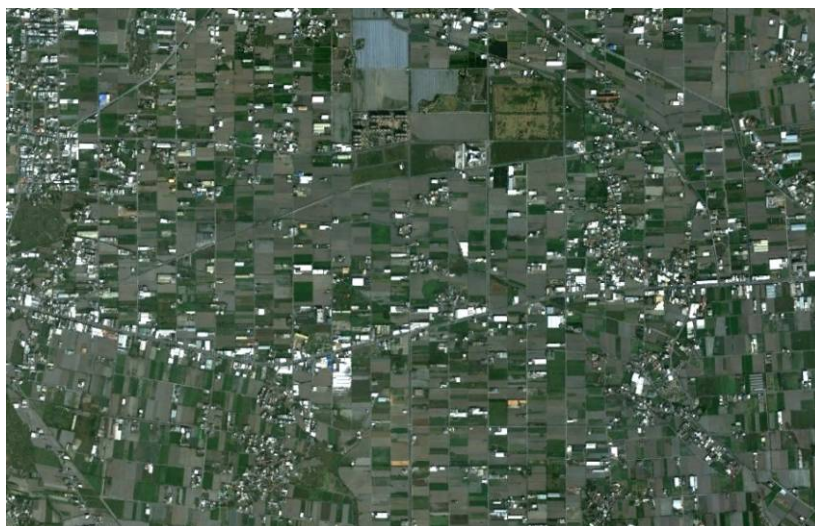


圖 6-25 UAV 一般航拍任務鹿港測區域示意圖

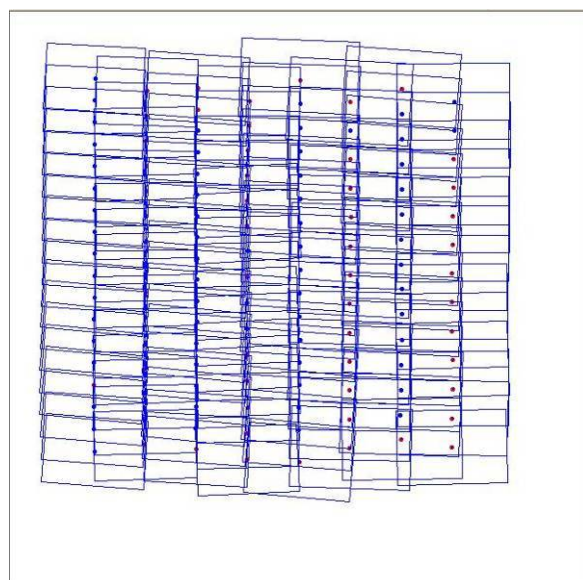


圖 6-26 一般航拍任務鹿港測區 UAV 航拍影像分布圖

以 LPS 模組輸入所記錄之外方位參數近似值資料並進入 ORIMA 進行自率光束法空三平差(詳見 6.2.2 節),過程中採每張影像 9\*9 位置至少一點連結點的分布形式自動匹配連結點,之後以自由網自率光束法空三平差除錯,最後再點選四個控制點進行自率光束法空三平差計算。

圖 6-27 和圖 6-28 顯示整個試驗區資料以 ORIMA 執行自率光束法空三平差計算時連結點、控制點分布情形以及網形狀況。圖 6-29 則顯示自率光束法空三平差結果。

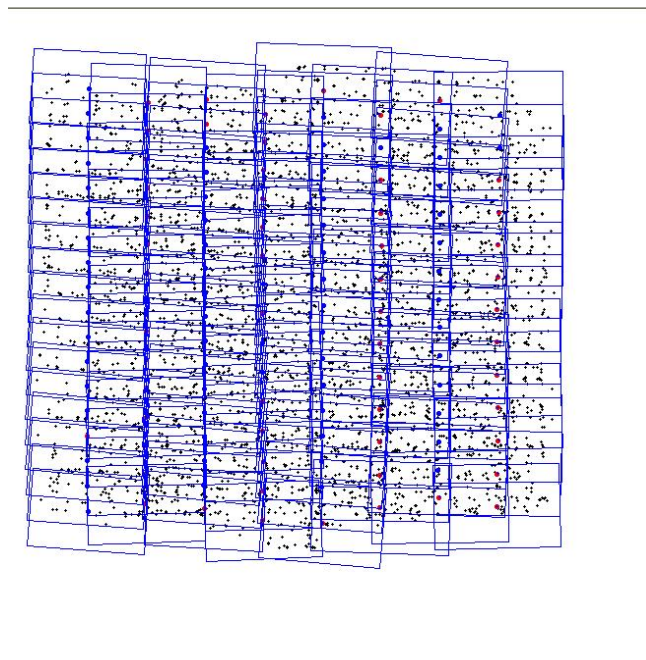


圖 6-27 自率光束法空三平差連結點與控制點分布情形

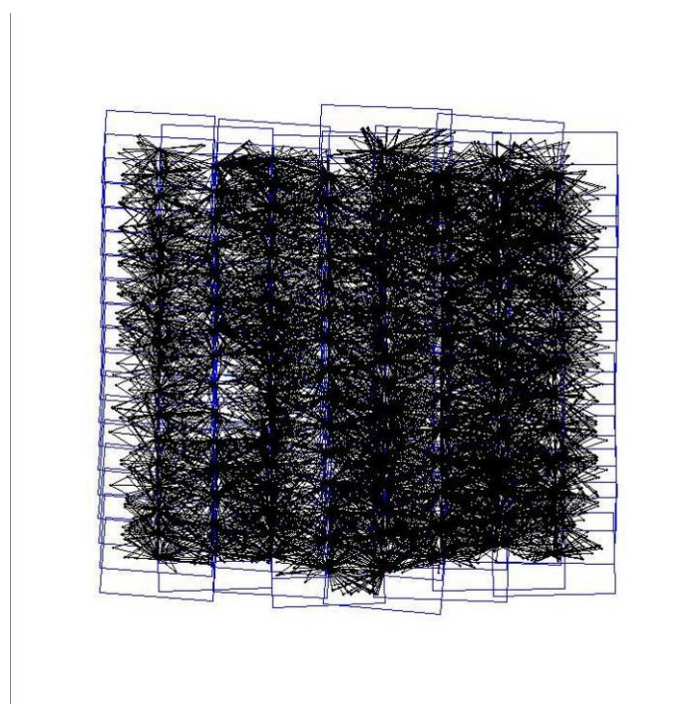


圖 6-28 自率光束法空三平差網形

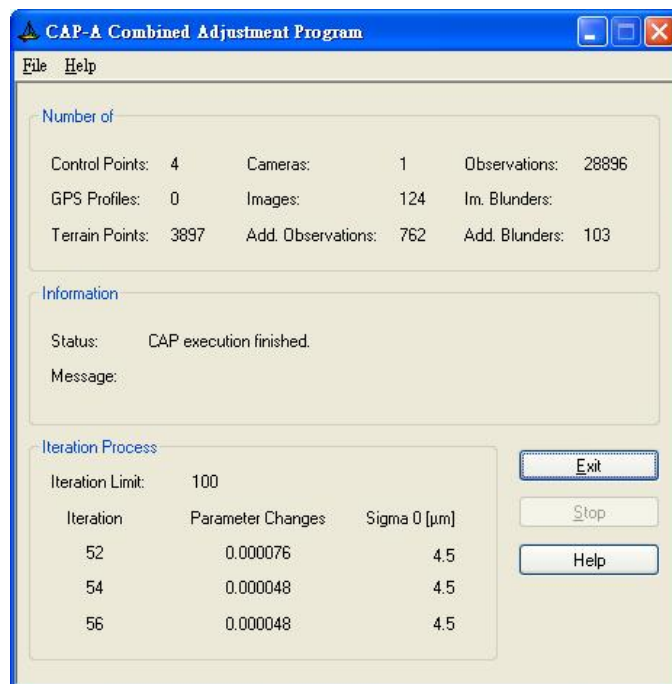


圖 6-29 自率光束法空三平差結果

以 ORIMA 執行完自率光束法空三平差後，開啟 Applications Master，建立一個 Project，設定相機參數，再將影像及外方位參數匯入。隨後，以 Applications Master 的 MATCH-T DTM，設定 Region Type 及 Grid Size 後，自動匹配產生 25 公尺\*25 公尺 DTM（見圖 6-30）。

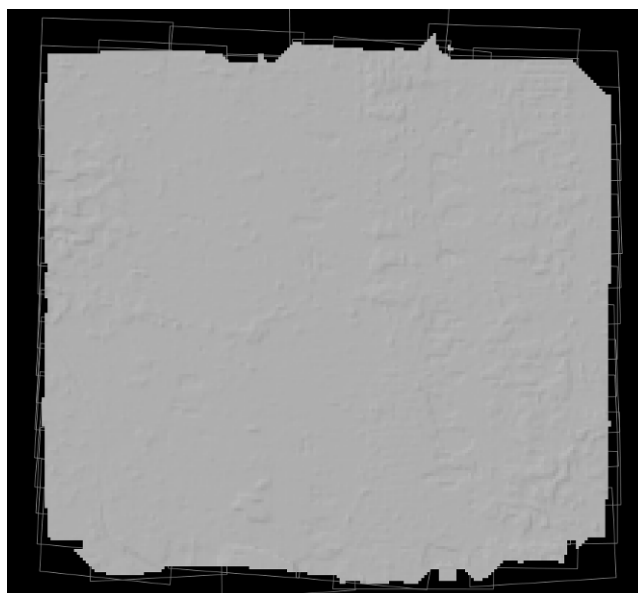


圖 6-30 自動匹配 25 公尺\*25 公尺的 DTM

將 Match-T 匹配之 DTM(\*.las)以 ERDAS 的 Terrain Prep Tool 轉成 img 檔，再匯入 LPS 模組，開啟 Ortho Resampling 功能並設定 Output Cell Sizes 15 公分\*15 公分產生正射影像，並以 Mosaic Tool 進行鑲嵌。圖 6-31 是 Grid Size 25 公尺、Cell Size 為 15 公分的幾何正射糾正鑲嵌圖。



圖 6-31 Grid Size 25m、Cell Size 15 公分的幾何正射糾正鑲嵌圖

利用 ERDAS IMAGINE LPS 和 ORIMA，輔以 Match-T 進行幾何正射糾正鑲嵌的作業時間，如表 6-5 表中統計結果顯示 8.4 公里\* 4 公里範圍(約 4 張五千分之一基本地形圖圖幅範圍)的幾何糾正鑲嵌作業時間可在 2.5 個小時內完成。

表 6-5 以 LPS 模組或搭配 Match-T 幾何糾正鑲嵌作業耗時統計(單位：分)

DTM 網格大小	前置 作業	空三	自動匹配 DTM	製作正射影像	鑲嵌	總計
25 公尺*25 公尺	10	50	30	35	25	150

為檢核精度，由實測自然點坐標中選取 16 點作為檢核點，點位分布如圖 6-32，檢核點之 X、Y 方向之 RMSE 分別為 11.02 公尺、13.33 公尺。比 97 年度「探測感應器測繪平台架構規劃暨應用作業案」成果相比(見表 6-6)，1200 公尺航高製作之幾何糾正影像 X 方向 5.67 公尺、Y 方向 5.89 公尺 RMSE 以及 900 公尺航高製作之幾何糾正影像 X 方向 5.13 公尺、Y 方向 4.14 公尺 RMSE 成果較差，其原因是因自率光束法空三平差過程中為求快速，僅進行粗差偵錯，對於網形較弱處並未加量相片連結點，導致精度較差，但對於一般航拍任務快速了解災區狀況而言，精度應已足夠。

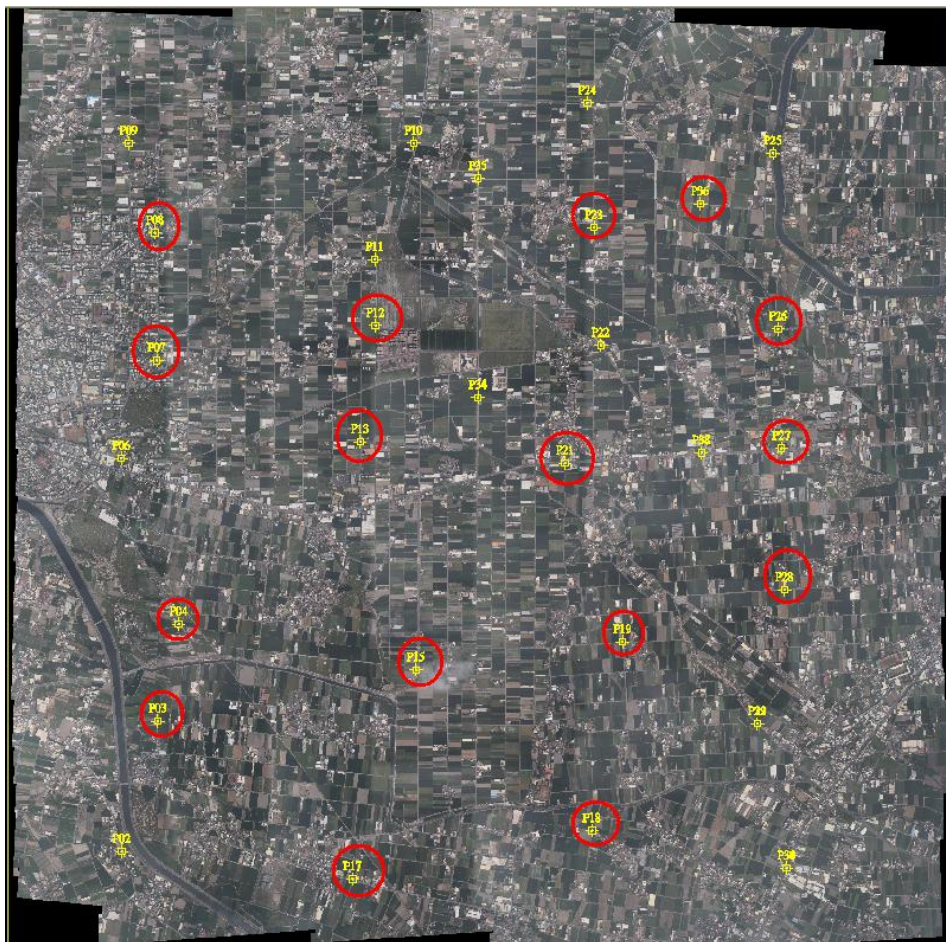


圖 6-32 檢核點分布圖

表 6-6 鹿港測區一般航拍任務幾何糾正鑲嵌成果比較表

	項目	X (公尺)	Y (公尺)	XY (公尺)
97 年度 「探測感 應器測繪 平台架構 規劃暨應 用作業案 」	1200 公尺旋翼型 UAV 幾何糾正影像	4.33	4.48	6.23
	900 公尺旋翼型 UAV 幾何糾正影像	3.43	4.44	5.61
	600 公尺旋翼型 UAV 幾何糾正影像	2.74	2.09	3.45
	1200 公尺定翼型 UAV 幾何糾正影像	5.67	5.89	8.18
	900 公尺定翼型 UAV 幾何糾正影像	5.13	4.14	6.59
	600 公尺定翼型 UAV 幾何糾正影像	3.27	2.08	3.88
本案	1000 公尺定翼型 UAV 幾何糾正影像	11.02	13.33	17.30

### 6.1.2.2 屏東縣來義鄉測區

屏東來義測區位置分布如圖 6-33 所示，範圍約 2 公里 \* 5 公里範圍，地表平均高程約 150 公尺，航拍高度約 1000 公尺，航拍日期為 100 年 11 月 22 日。測試資料共 4 條航帶，像片 67 張(分布狀況如圖 6-34)，地面解析力 GSD 約 26 公分。試驗過程為求快速僅取航帶前後重疊 60%之資料測試，地面控制點及檢核點則使用製作五千分之一地形圖時完成空三平差的航拍影像資料立體觀測取得地面控制點與地面檢核點。

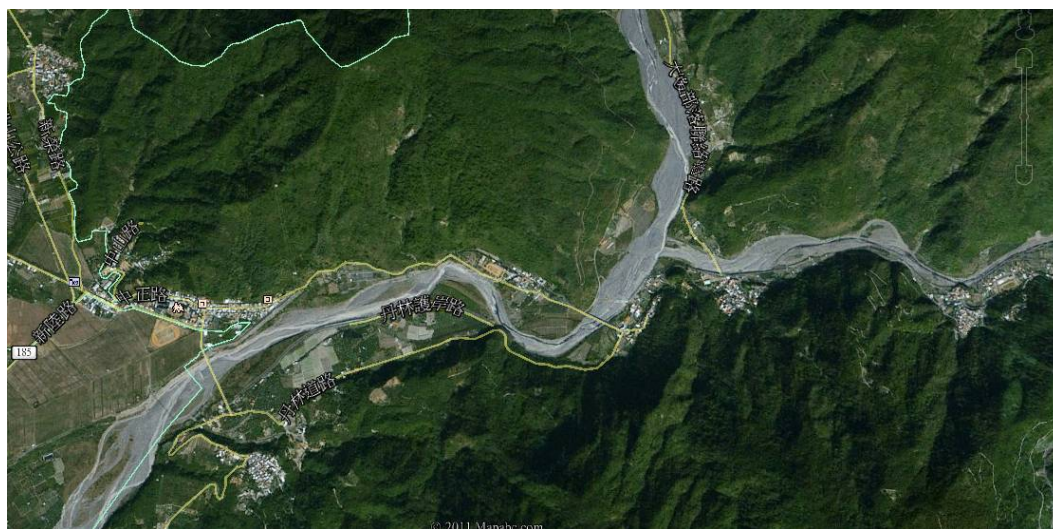


圖 6-33 UAV 一般航拍任務屏東來義測區域示意圖



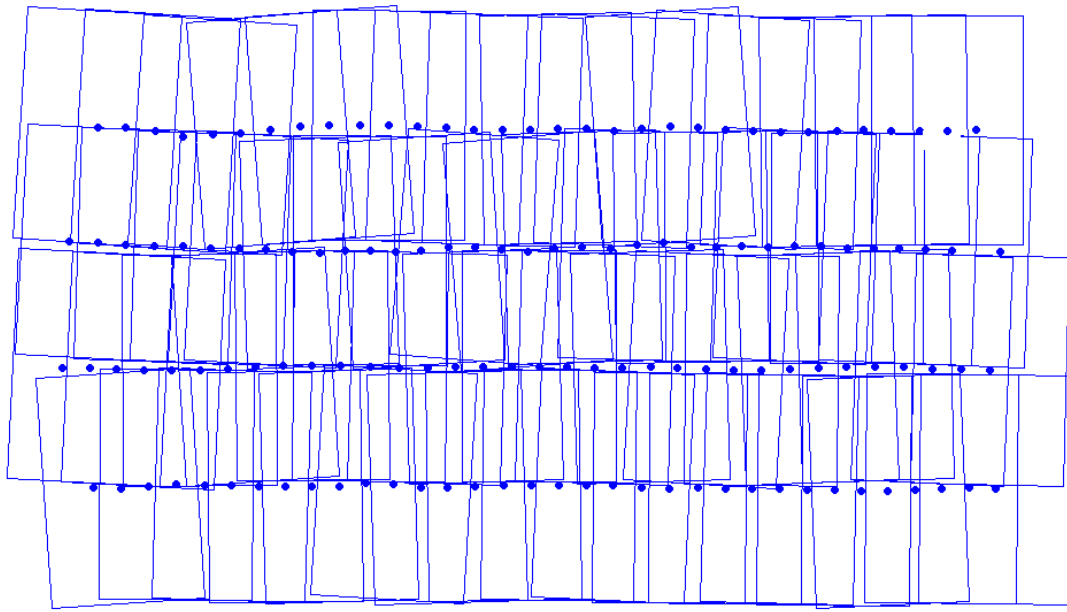


圖 6-34 一般航拍任務屏東來義測區 UAV 航拍影像分布圖

本試驗區位於山區，因此於粗差偵錯過程中很容易將連結點刪除導致無法進行空三平差，因此嘗試將 UAV 上所記錄之曝光時刻 GPS 資料作為輔助空三求解之觀測資料，並將其中誤差設為 20 公尺、20 公尺、30 公尺。加量四點控制點後，則將 GPS 觀測量高程中誤差改設為 50 公尺，以解決高程系統不一致之情形。圖 6-35 和圖 6-36 顯示自率光束法空三平差計算時連結點、控制點分布圖以及網形狀況。圖 6-37 則顯示自率光束法空三平差結果。

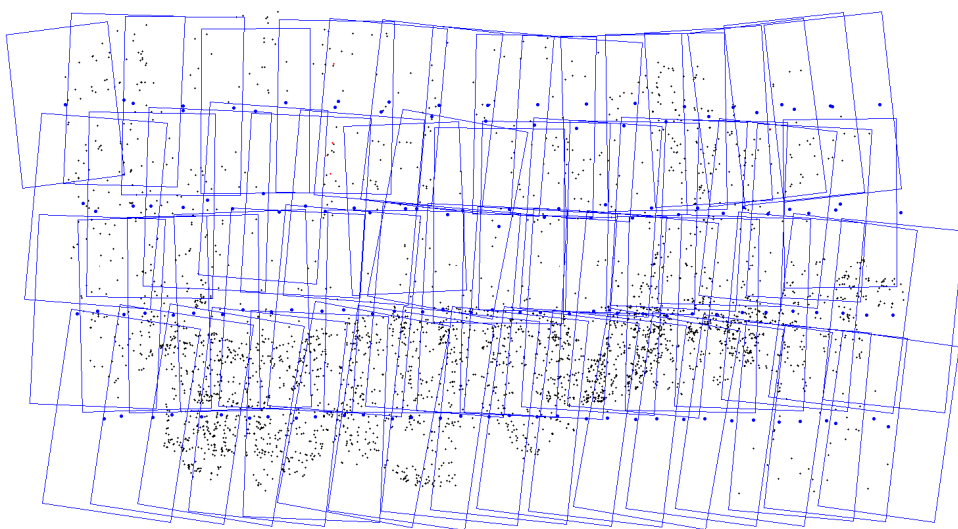


圖 6-35 快速自率光束法空三平差連結點與控制點分布圖

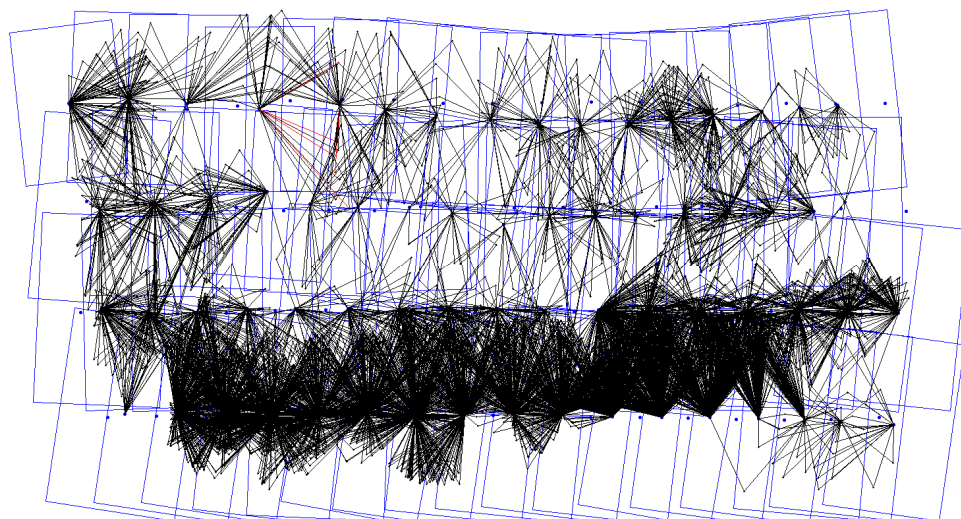


圖 6-36 快速自率光束法空三平差網形

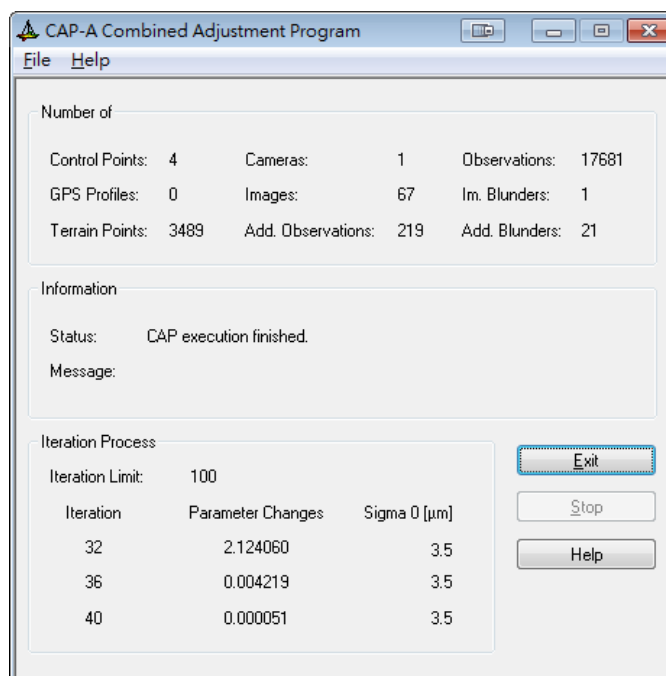


圖 6-37 快速自率光束法空三平差結果

以 ORIMA 執行完快速自率光束法空三平差後，隨後，以 Applications Master 的 Macth-T DTM，自動匹配產生 25 公尺\*25 公尺 DTM（見圖 6-38）。

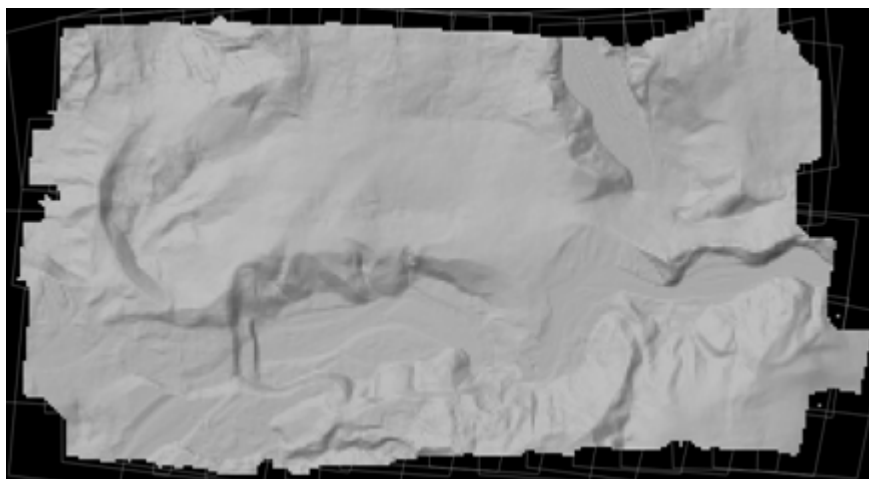


圖 6-38 自動匹配 25 公尺\*25 公尺的 DTM

將 Match-T 匹配之 DTM 轉成 img 檔，再匯入 LPS 模組，產生正射影像並鑲嵌。圖 6-39 是 Grid Size 25 公尺、Cell Size 為 15 公分的幾何正射糾正鑲嵌圖。

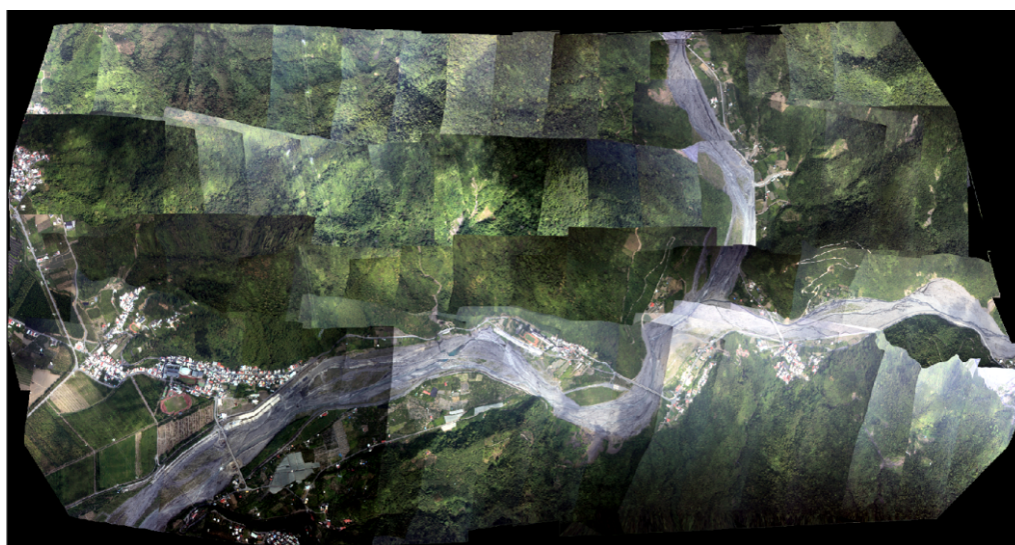


圖 6-39 Grid Size 25 公尺、Cell Size 15 公分的幾何正射糾正鑲嵌圖

表 6-7 中統計結果顯示 2 公里\*5 公里範圍(約 2 張五千分之一基本地形圖圖幅範圍)的幾何糾正鑲嵌作業時間可在 2.5 個小時內完成。

表 6-7 以 LPS 模組或搭配 Match-T 幾何糾正鑲嵌作業耗時統計(單位：分)

DTM 網格式大小	前置 作業	空三	自動匹配 DTM	製作正射 影像	鑲嵌	總計
25 公尺*25 公尺	20	50	20	25	25	140

為檢核精度，選取 5 點作為檢核點，點位分布如圖 6-40，檢核點之 X、Y 方向之 RMSE 分別為 27.64 公尺、18.51 公尺，比 97 年度「探測感應器測繪平台架構規劃暨應用作業案」成果(見表 6-8)，1200 公尺航高製作之幾何糾正影像 X 方向 5.67 公尺、Y 方向 5.89 公尺 RMSE 以及 900 公尺航高製作之幾何糾正影像 X 方向 5.13 公尺、Y 方向 4.14 公尺 RMSE 成果雖較差，但對於一般航拍任務而言，精度應已足夠。

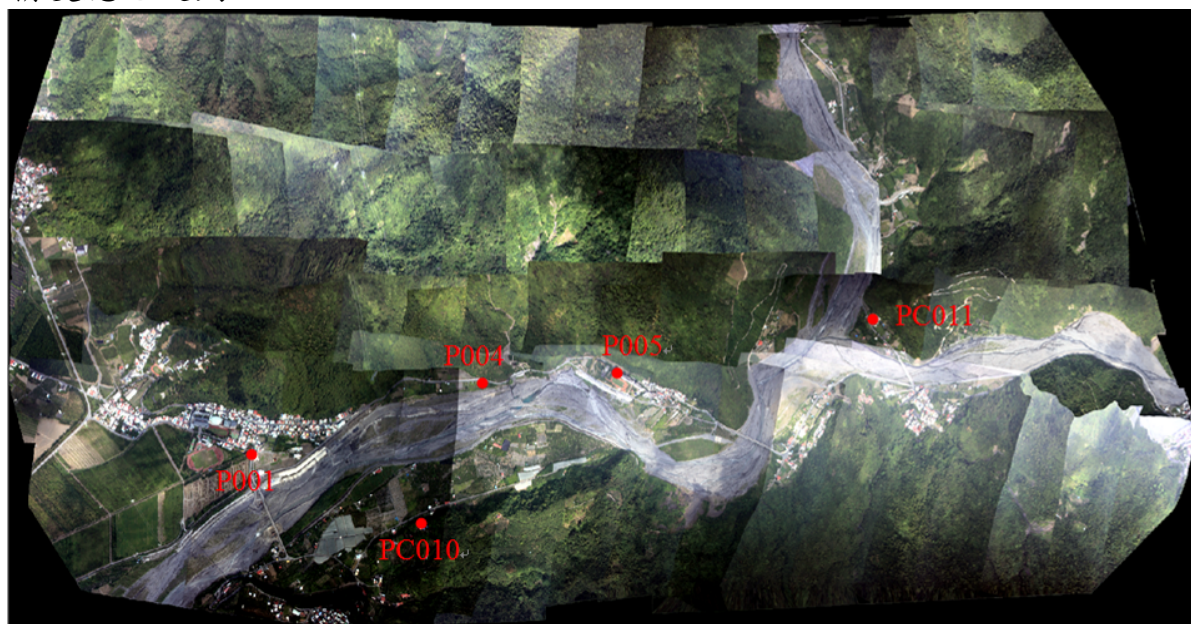


圖 6-40 檢核點分布圖

表 6-8 屏東來義測區一般航拍任務幾何糾正鑲嵌成果比較表

	項目	X (公尺)	Y (公尺)	XY (公尺)
97 年度 探測感應 器測繪平 台架構規 劃暨應用 作業案	1200 公尺旋翼型 UAV 幾何糾正影像	4.33	4.48	6.23
	900 公尺旋翼型 UAV 幾何糾正影像	3.43	4.44	5.61
	600 公尺旋翼型 UAV 幾何糾正影像	2.74	2.09	3.45
	1200 公尺定翼型 UAV 幾何糾正影像	5.67	5.89	8.18
	900 公尺定翼型 UAV 幾何糾正影像	5.13	4.14	6.59
	600 公尺定翼型 UAV 幾何糾正影像	3.27	2.08	3.88
本案	1000 公尺定翼型 UAV 幾何糾正影像	27.64	18.51	33.27

### 6.1.2.3 台中南屯特三號道路測區

台中特三測區位置分布如圖 6-41 所示，範圍約 2.5 公里 \* 5.5 公里範圍，地表平均高程約 150 公尺，航拍高度約 500 公尺，航拍日期為 100 年 11 月 21 日。取得測試資料共 6 條航帶，像片分布狀況如圖 6-42，地面解析力 GSD 約 13 公分。因航拍高度約 500 公尺與一般航拍任務規劃航拍 1000 公尺不符，導致航帶與片數增加無法進行快速幾何糾正鑲嵌作業，因此本次本測區使用航拍測試之處理程序，且僅取 4 條航帶，像片 319 張進行測試，而地面控制點及檢核點則使用製作五千分之一地形圖時完成空三平差的航拍影像資料立體觀測取得地面點作為控制點及地面檢核點。

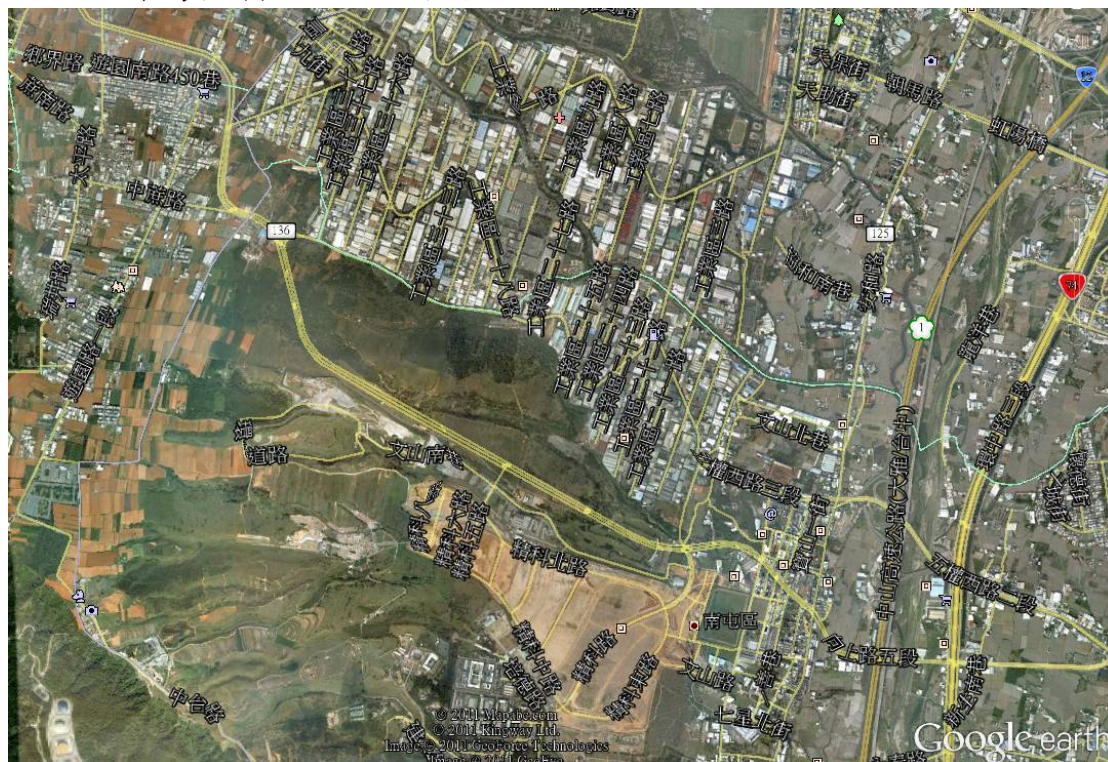


圖 6-41 UAV 一般航拍任務台中南屯特三號道路測試區域示意圖

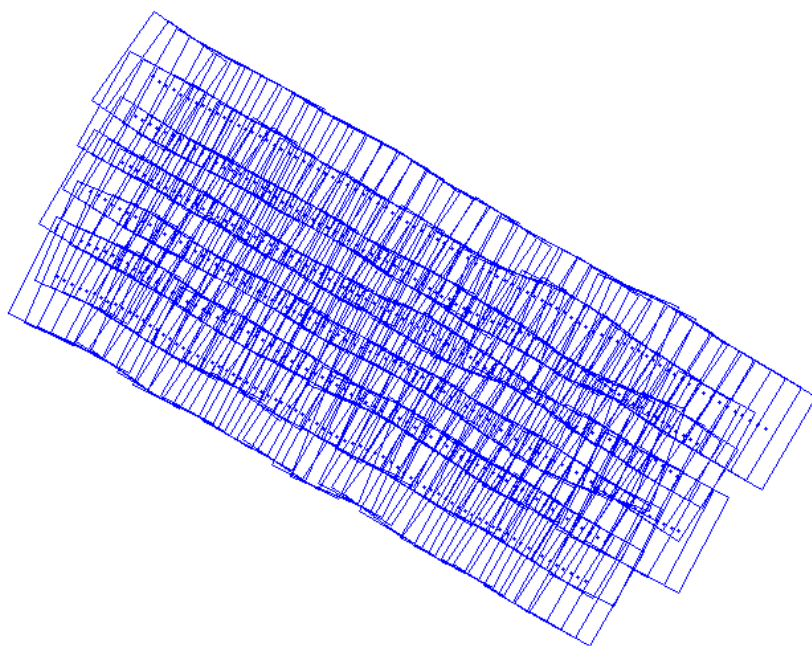


圖 6-42 測試用 UAV 航拍影像分布狀況

圖 6-43 和圖 6-44 顯示以 ORIMA 執行空三平差計算時連結點、控制點分布情形以及網形狀況。圖 6-45 則顯示空三平差結果。

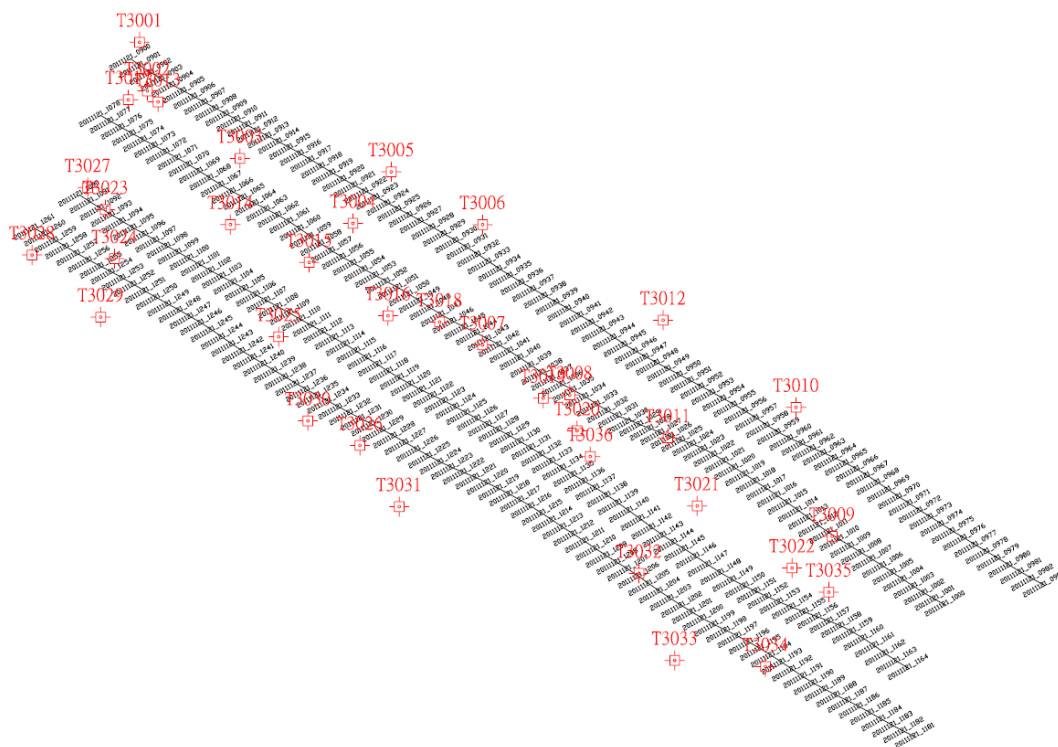


圖 6-43 自率光束法空三平差控制點分布情形

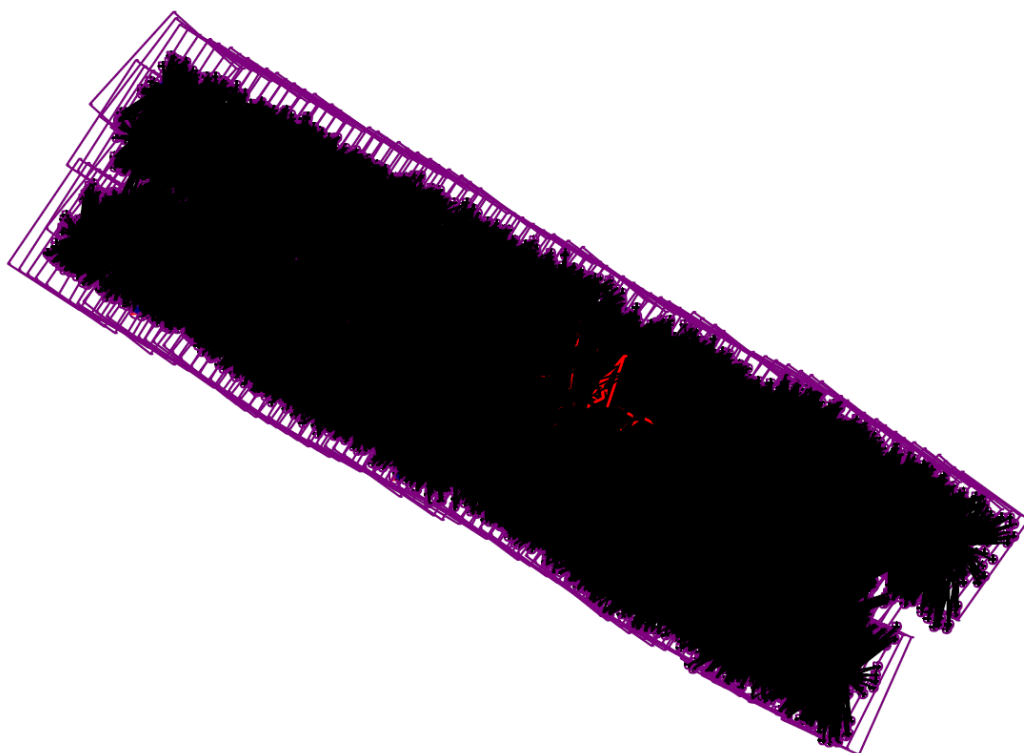


圖 6-44 自率光束法空三平差網形

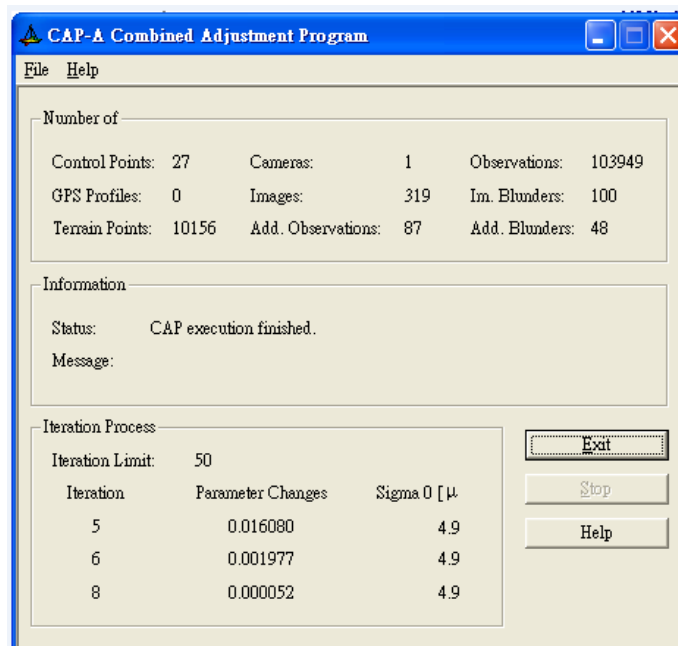


圖 6-45 自率光束法空三平差結果

以 ORIMA 執行完自率光束法空三平差後，隨後，以 Applications Master 的 MATCH-T DTM，自動匹配產生 25 公尺\*25 公尺 DTM(見圖 6-46)。

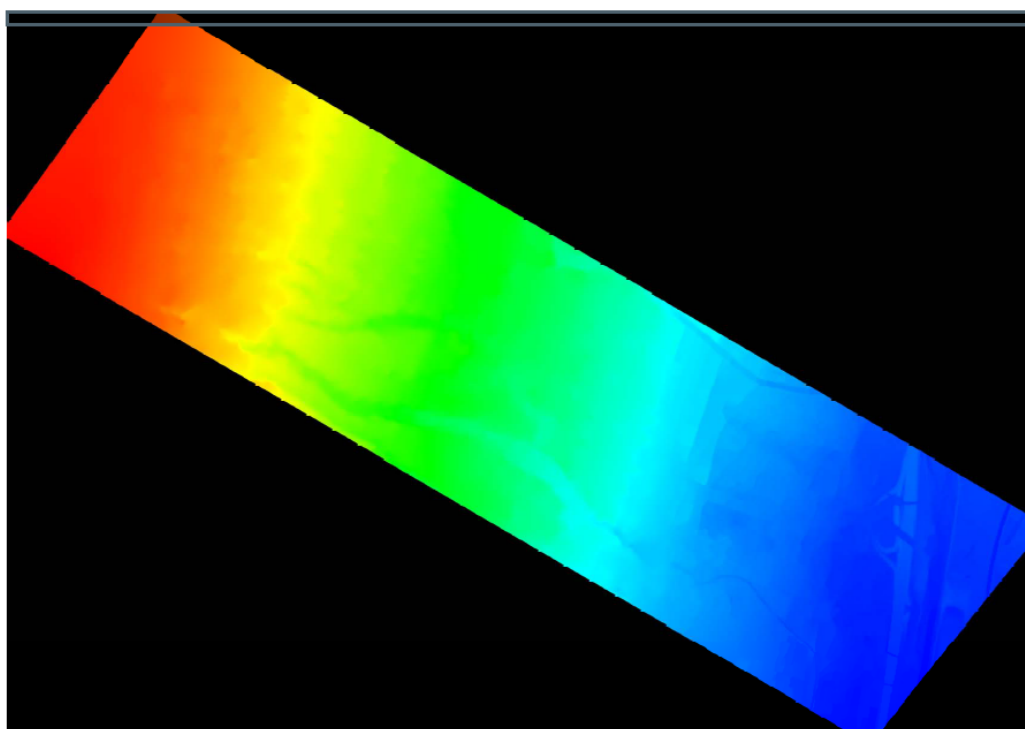


圖 6-46 自動匹配 25 公尺\*25 公尺的 DTM

將 Match-T 匹配之 DTM 轉成 img 檔，再匯入 LPS 模組，產生正射影像並鑲嵌。圖 6-47 是 Grid Size 25 公尺、Cell Size 為 25 公分的幾何正射糾正鑲嵌圖。



圖 6-47 Grid Size 25 公尺、Cell Size 25 公分的幾何正射糾正鑲嵌圖



由於本區採航高 500 公尺進行航拍，已經不在原先規劃快速幾何糾正的採航高 1000 公尺航拍的原則之下，且航拍影像數量相當多，需耗費大量人工進行粗差偵錯與人工量測連結點，因此本區約 2 公里\*5 公里範圍(約 2 張五千分之一基本地形圖圖幅範圍)的幾何糾正鑲嵌作業時間較難於預期時間內完成，不再詳細估算其作業時間。

為檢核精度，選取 8 點作為檢核點，點位分布如圖 6-48，檢核點之 X、Y 方向之 RMSE 分別為 0.68 公尺、1.73 公尺。雖比 97 年度「探測感應器測繪平台架構規劃暨應用作業案」成果(見表 6-9)，1200 公尺航高製作之幾何糾正影像 X 方向 5.67 公尺、Y 方向 5.89 公尺 RMSE 以及 900 公尺航高製作之幾何糾正影像 X 方向 5.13 公尺、Y 方向 4.14 公尺 RMSE 成果佳，但其作法已不屬於原先規畫之幾何糾正鑲嵌作業。

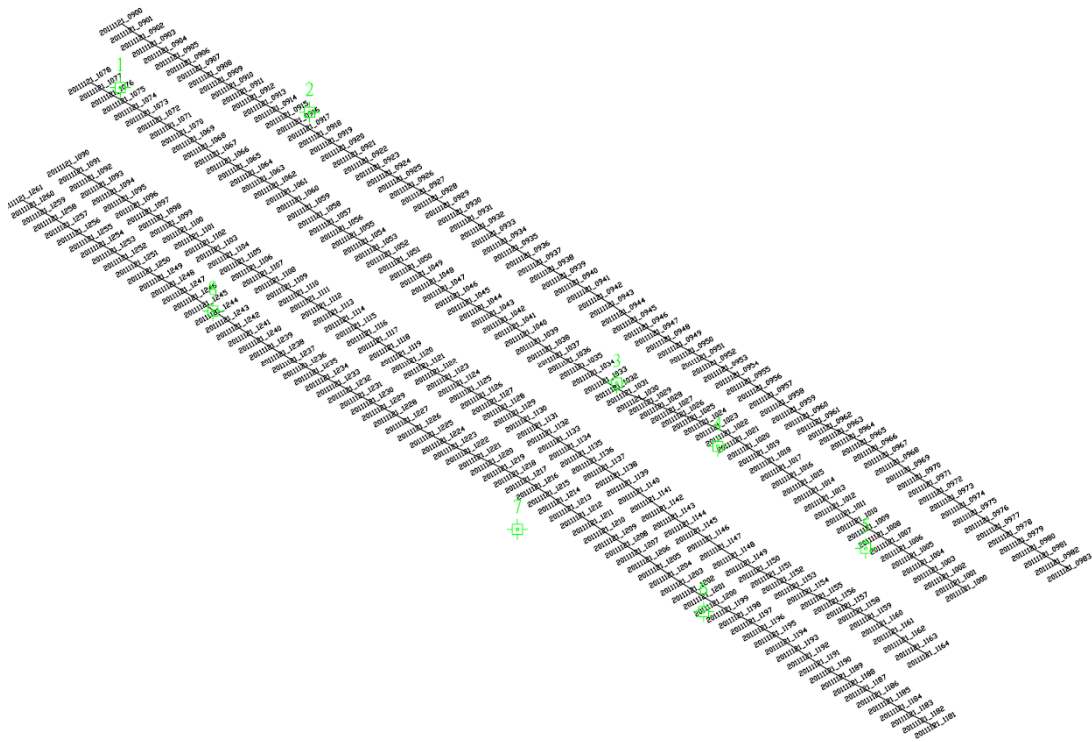


圖 6-48 檢核點分布圖

表 6-9 台中特三測區一般航拍任務幾何糾正鑲嵌成果比較表

	項目	X (公尺)	Y (公尺)	XY (公尺)
97 年度 「探測感 應器測繪 平台架構 規劃暨應 用作業案 」	1200 公尺旋翼型 UAV 幾何糾正影像	4.33	4.48	6.23
	900 公尺旋翼型 UAV 幾何糾正影像	3.43	4.44	5.61
	600 公尺旋翼型 UAV 幾何糾正影像	2.74	2.09	3.45
	1200 公尺定翼型 UAV 幾何糾正影像	5.67	5.89	8.18
	900 公尺定翼型 UAV 幾何糾正影像	5.13	4.14	6.59
	600 公尺定翼型 UAV 幾何糾正影像	3.27	2.08	3.88
本案	500 公尺定翼型 UAV 幾何糾正影像	0.68	1.73	1.86

#### 6.1.2.4 高雄市桃源區勤和里測區

第三試驗區位於高雄市桃源區勤和里，位置分布如圖 6-49 所示，範圍約 8 公里 \*8 公里範圍，地表平均高程約 650 公尺，航拍日期為 100 年 11 月 28 日。航拍資料共 6 條航帶，像片 146 張(分布狀況如圖 6-50)，地面解析力 GSD 約 26 公分。試驗過程為求快速僅取航帶前後重疊 60%之資料測試，而本區試驗嘗試以 GPS 觀測量作為輔助空三求解不加任何控制點，因此嘗試將 UAV 上所記錄之曝光時刻 GPS 資料作為輔助空三求解之觀測資料，並將其中誤差設為 20 公尺、20 公尺、30 公尺，並由製作五千分之一地形圖時完成空三平差的航拍影像資料立體觀測取得地面檢核點。

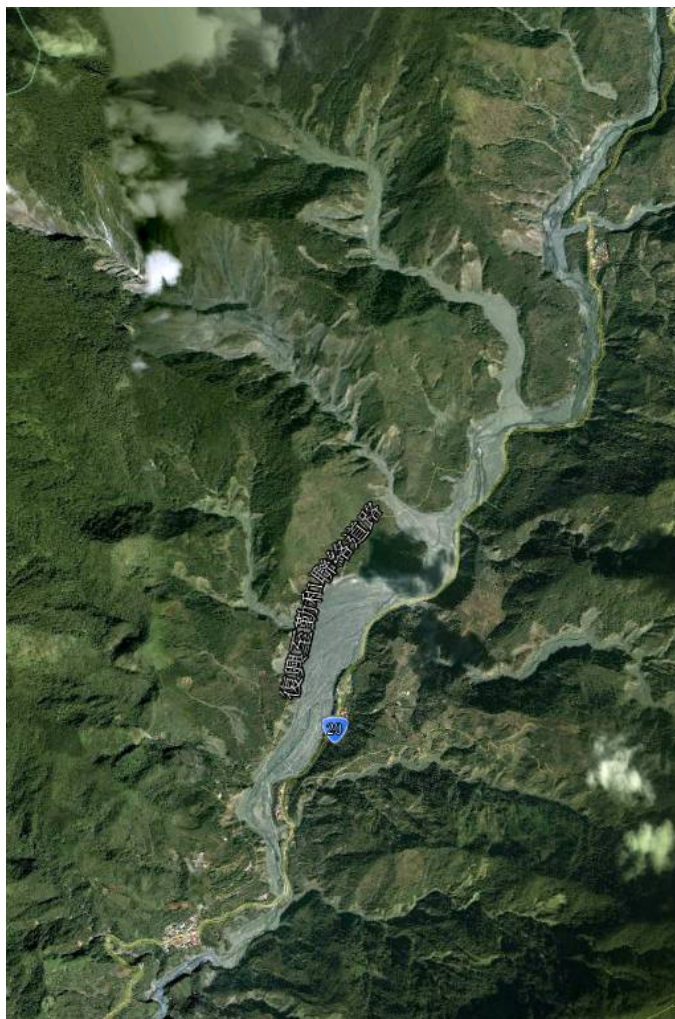


圖 6-49 UAV 一般航拍任務高雄市桃源區勤和村測試區域示意圖

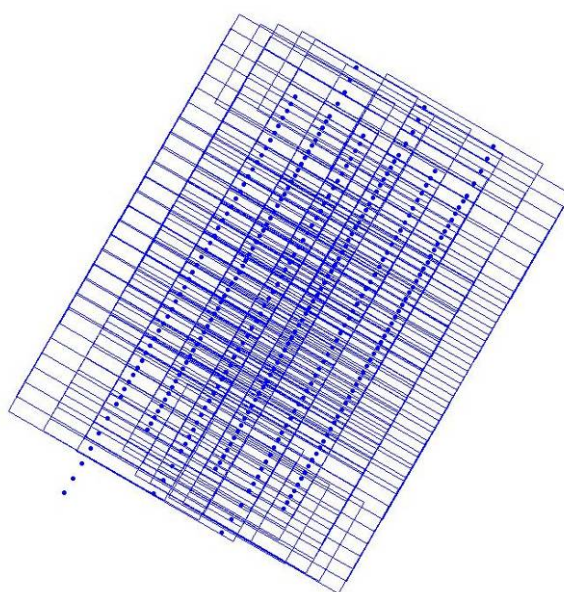


圖 6-50 測試用 UAV 航拍影像分布狀況

試驗過程中發現除第三條航帶與第四條航帶不是涵蓋植被區較易進行所提之幾何糾正鑲嵌正業，其餘航帶位於植被區自動匹配錯誤極多不易進行所提之幾何糾正鑲嵌正業，因此以下針對非植被區之成果進行探討。圖 6-51 和圖 6-52 顯示以 ORIMA 執行自率光束法空三平差計算時連結點、控制點分布情形以及網形狀況。圖 6-53 則顯示自率光束法空三平差結果。

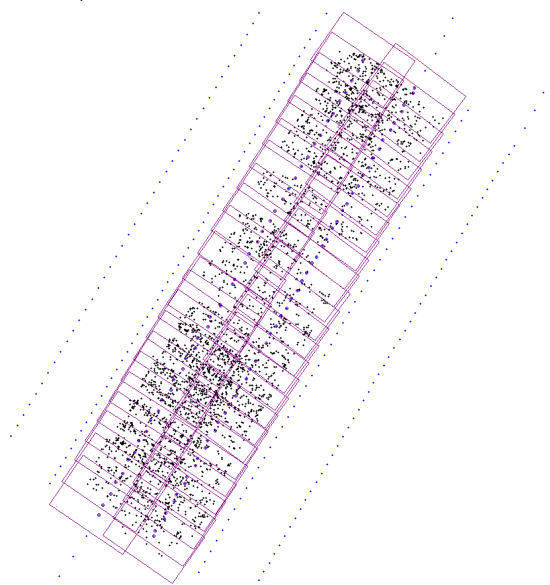


圖 6-51 快速自率光束法空三平差連結點與控制點分布情形

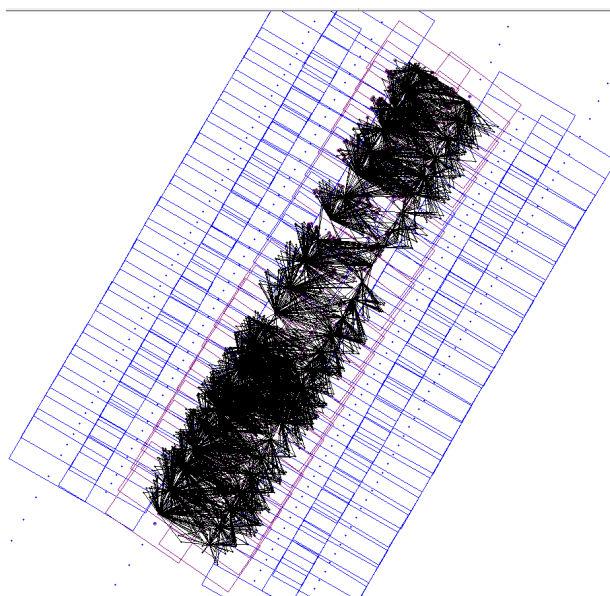


圖 6-52 快速自率光束法空三平差網形

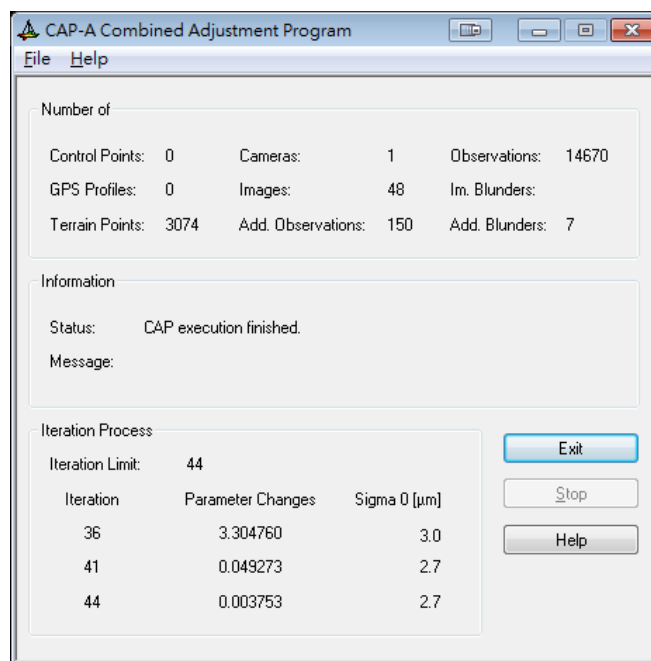


圖 6-53 快速自率光束法空三平差結果

以 ORIMA 執行完快速自率光束法空三平差後，隨後，以 Applications Master 的 MATCH-T DTM，自動匹配產生 25 公尺\*25 公尺 DTM (見圖 6-54)。

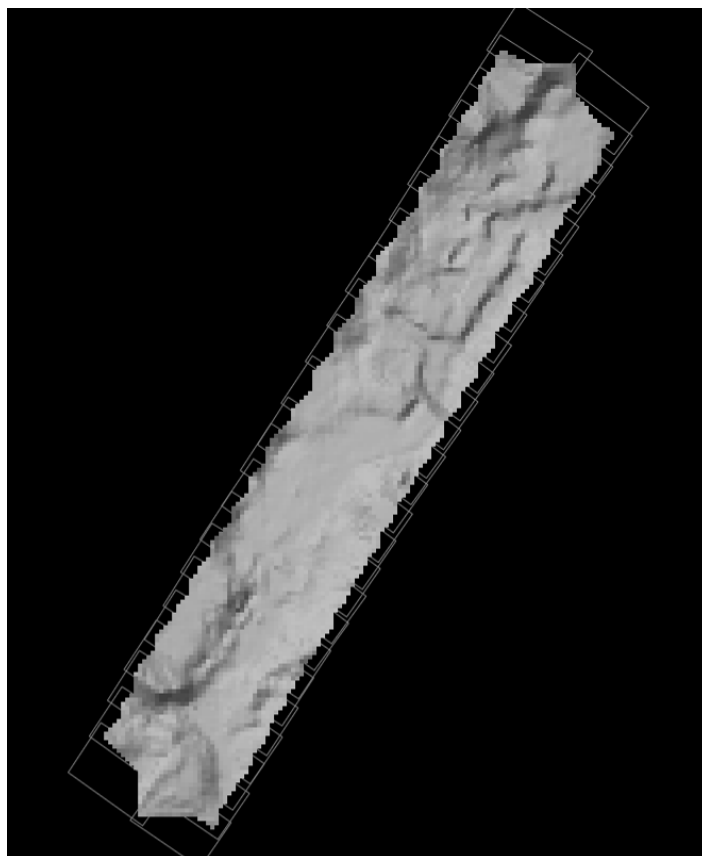


圖 6-54 自動匹配 25 公尺\*25 公尺的 DTM

將 Match-T 匹配之 DTM 轉成 img 檔，再匯入 LPS 模組，產生正射影像並鑲嵌。圖 6-55 是 Grid Size 25 公尺、Cell Size 為 15 公分的幾何正射糾正鑲嵌圖。



圖 6-55 Grid Size 25m、Cell Size 為 25 公分的幾何正射糾正鑲嵌圖

由於本區位於山區，除中央兩條位於河谷地形的航帶較易自動匹配與粗差偵錯之外，位於兩側之另外各兩條航帶均位於植被覆蓋區，並未進行幾何糾正鑲嵌作業，本次試驗約花 120 分鐘完成。

為檢核精度，選擇影像控制實體選取 5 點作為檢核點，點位分布如圖 6-56，檢核點之 X、Y 方向之 RMSE 分別為 127.61 公尺、161.37 公尺。比 97 年度「探測感應器測繪平台架構規劃暨應用作業案」成果(見表 6-10)，1200 公尺航高製作之幾何糾正影像 X 方向 5.67 公尺、Y 方向 5.89 公尺 RMSE 以及 900 公尺航高製作之幾何糾正影像 X 方向 5.13 公尺、Y 方向 4.14 公尺 RMSE 成果均相當差，由此亦可說明以目前 UAV 上所載之 GPS 精度而言無法輔助空三製作較佳精度之幾何糾正鑲嵌。



圖 6-56 檢核點分布圖

表 6-10 高雄勤和測區一般航拍任務幾何糾正鑲嵌成果比較表

	項目	X (公尺)	Y (公尺)	XY (公尺)
97 年度 「探測感 應器測繪 平台架構 規劃暨應 用作業案 」	1200 公尺旋翼型 UAV 幾何糾正影像	4.33	4.48	6.23
	900 公尺旋翼型 UAV 幾何糾正影像	3.43	4.44	5.61
	600 公尺旋翼型 UAV 幾何糾正影像	2.74	2.09	3.45
	1200 公尺定翼型 UAV 幾何糾正影像	5.67	5.89	8.18
	900 公尺定翼型 UAV 幾何糾正影像	5.13	4.14	6.59
	600 公尺定翼型 UAV 幾何糾正影像	3.27	2.08	3.88
本案	1000 公尺定翼型 UAV 幾何糾正影像	127.61	161.37	205.73

### 6.1.3 一般航拍任務之影像處理結語

目前測試結果顯示成果雖比 97 年度「探測感應器測繪平台架構規劃暨應用作業案」成果差，但所採用快速正射幾何糾正程序在測試區並非位於植被區之情形下應可於 1.5 小時內完成航高 1000 公尺對應一張五千分之一基本地形圖圖幅範圍之快速鑲嵌，證實本案所提快速幾何鑲嵌糾正程序之可行性。此外，若為求快速可於快速正射幾何鑲嵌時可只用 60%前後重疊之航拍影像而不必採用 80%前後重疊之航拍影像以加速作業。因此本案建議之作法如下：

第一階段：匯入欲鑲嵌之航照影像，輸入由導航系統提供之像片外方位參數初值以及相機參數；

第二階段：進入 ORIMA 進行自率光束法空三平差(詳見 6.2.2 節)，採每張影像 9\*9 位置至少一點連結點的分布形式自動匹配連結點，之後以自由網自率光束法空三平差除錯，此時為求快速，對於除錯後網形不佳之位置並不再用人工量取連結點，以節省作業時間，最後再點選四個控制點進行自率光束法空三平差計算；實際操作過程中發現山區植被密佈處不易匹配成功，若自率光束法空三平差計算無法收斂仍需人工量測必要之連結點。

第三階段：製作 25 公尺\*25 公尺 DTM，其作法是將 ORIMA 空三平差成果擷取外方位元素輸入 MatchT 軟體，同時輸入相機參數，設定輸出類型及 25 公尺\*25 公尺 網格大小 DTM。

第四階段：將自動匹配的 DTM(為求快速，此時匹配之 DTM 並不編修)載入 ERDAS LPS Core，重新取樣製作地面解析度 25 公分正射影像；最後為鑲嵌影像，預覽鑲嵌結果和完成顏色糾正後，輸出影像。

而由測試中可知鹿港測區以及屏東來義測區之幾何糾正鑲嵌均能於兩小時內完成。但特三測區測區狹長且因航拍高度為 500m 導致片數增加無法運用目前所提之程序快速處理；而高雄勤和測區則由於使用 50mm 鏡頭導致航帶增加且測區兩側為植被林地使得自動匹配難度增加，導致亦無法運用目前所提之程序快速處理。由於航拍高度、影像內容涵蓋範圍以及內容是否為植被區所影響，導致於目前所提之一般航拍任務幾何糾正鑲嵌程序僅適用於航高 1000 公尺且鏡頭為 24mm 之數位相機。



## 6.2 航拍測試之航拍影像處理程序評估與實驗結果

航拍測試之航拍影像處理目的是了解航拍影像空三及正射影像精度，而進行空三計算時需輸入影像之內方位參數，因此必須先進行相機率定作業以求得相關內方位參數。以下將分別描述相機率定、空三以及正射影像之處理程序，其中空三以及正射影像之處理程序與 6.1 節所建議幾何正射糾正鑲嵌處理程序相同。

### 6.2.1 相機率定

目前 UAV 所搭載的取像系統，多為非量測型相機(non-metric camera)。應用 UAV 系統搭載非量測型相機取得的影像於航空攝影測量時，若能事先透過率定(calibration)方法取得描述相機的參數，再於空三平差中以這些參數修正影像上的系統誤差，供後續航拍影像處理之用。本案採用 iWitness Pro 進行相機率定，其特色是全自動率定，率定原理是全自動匹配率定場影像上所佈設由 8 個黑點所組成的 20 個黑白的率定標(詳如圖 6-57)，並以自率光束法平差解算相機參數。

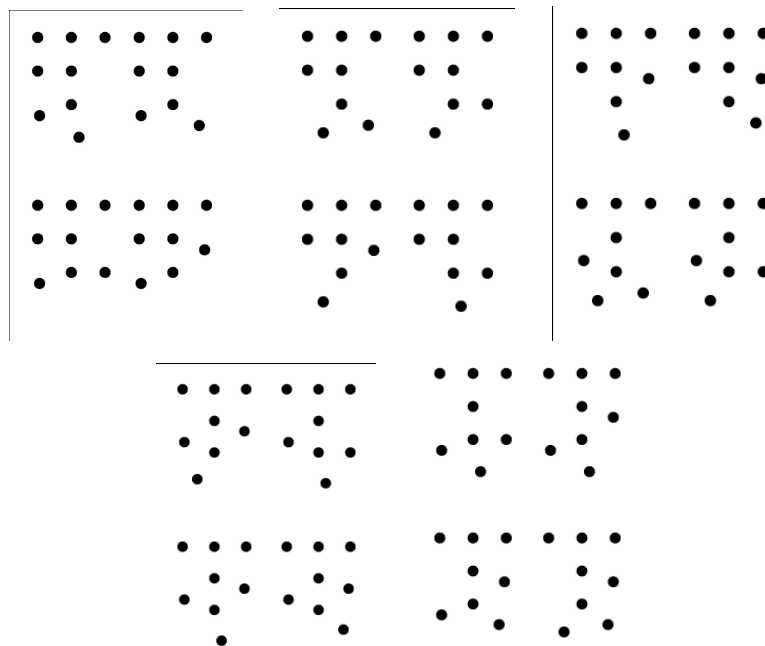


圖 6-57 iWitness Pro 使用的 20 個黑白率定標

iWitness Pro 率定的相機參數中包含內方位參數，以及七個描述鏡頭畸變所產生之影像變形的附加參數，所率定之參數分別描述如下：

- 內方位參數(Interior Orientation)：像主距  $c$ 、像主點偏移量( $x_p$ ,

yp)

- 輻射畸變差參數(Radial Distortion)：K1, K2, K3
- 離心畸變差參數(Decentric Distortion)：P1, P2
- 仿射畸變差參數(Affinity Parameter)：B1, B2

iWitness Pro 所採用的數學模式為：

$$X = X_{meas} - X_p$$

$$Y = Y_{meas} - Y_p$$

$$r^2 = X^2 + Y^2$$

$$dr = K_1 \cdot r^3 + K_2 \cdot r^5 + K_3 \cdot r^7$$

$$\Delta X = X + Xdr/r + P_1(r^2 + 2X^2) + 2P_2 \cdot X \cdot Y - B_1 \cdot X + B_2 \cdot Y$$

$$\Delta Y = Y + Ydr/r + P_2(r^2 + 2Y^2) + 2P_1 \cdot X \cdot Y + B_1 \cdot Y$$

式中 r:像點的輻射距離

x,y:以像主點為原點的像坐標

x<sub>meas</sub>,y<sub>meas</sub>:以影像中心為原點的像坐標觀測量

x<sub>p</sub>,y<sub>p</sub>:像主點偏移量

△x, △y:改正後的像坐標

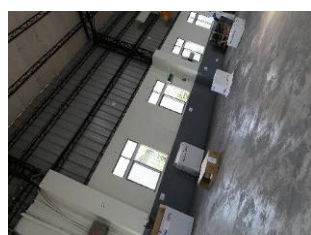
為精確求得相機參數，iWitness Pro 使用手冊中建議相機需設定所需的影像解析度(全解析度最佳)且率定標佈在約 3 公尺\*3 公尺的空間中；率定標之間儘量不要在同一平面上；率定場中的某些率定標與其他標之間的高差位於 15~20 公分之間；先設定好欲進行 3D 量測的焦距；依據設定好的焦距以及成像的距離設定標的大小；拍攝時離率定標至少 3 公尺~6 公尺以上；取像時最外圍的光線交會要介於 70~100 度之間。

本案欲率定相機是 Canon EOS 5D Mark II 24mm 鏡頭，其取像寬是 5616 像元、高是 3744 像元，像元的寬和高均為 0.0064mm。本次率定試驗的率定場設於智飛科技之台中總公司內，將 20 個黑白率定標布設之後所拍攝取的率定影像如下圖 6-58 所示。



圖 6-58 相機率定場

依 iWitness 操作手冊率定時影像取像要點，針對本案使用的 Canon EOS 5D Mark II 24mm 鏡頭率定，取像如圖 6-59 進行 24mm 鏡頭的全自動率定。表 6-11 為 Canon EOS 5D Mark II 相機 24mm 鏡頭率定結果。詳細率定報告書詳見附錄 I。



IMG\_0431.jpg



IMG\_0432.jpg



IMG\_0433.jpg



IMG\_0434.jpg



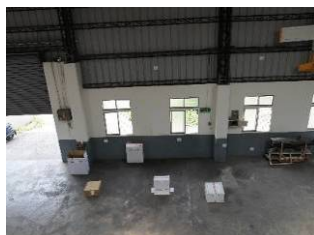
IMG\_0435.jpg



IMG\_0436.jpg



IMG\_0437.jpg



IMG\_0438.jpg



IMG\_0439.jpg

圖 6-59 Canon EOS 5D Mark II 24mm 鏡頭相機率定用之率定場影像

表 6-11 Canon EOS 5D Mark II 相機 24mm 鏡頭率定結果

率定日期		01/09/100	01/09/100
Canon EOS 5D Mark II 相機		24mm 鏡頭	50mm 鏡頭
Principal Distance 像主距 $c$ (mm)		24.5449	52.747695
Principal Point Offsets 像主點位移 $x_p$ (mm)		0.1348	0.092092
Principal Point Offsets 像主點位移 $y_p$ (mm)		0.0225	0.173756
Radial Distortion 輻射畸變差	$K_1$	1.2511e-004	7.4683e-005
	$K_2$	-3.3466e-007	-7.5192e-008
	$K_3$	3.0885e-010	8.0026e-011
Decentering Distortion 離心畸變差	$P_1$	5.1741e-006	3.7446e-006
	$P_2$	9.3367e-006	-1.0776e-005
Affinity Parameter $x$ 、 $y$ 軸尺度比	$B_1$	-1.404e-004	-5.4236e-005
Affinity Parameter $x$ 、 $y$ 軸非正交	$B_2$	1.158e-004	4.3223e-005

### 6.2.2 空中三角測量

空三第一個目的是要求攝影瞬間影像的位置與姿態；第二個目的則是求連結點的地面坐標(McGlone,2004;Wolf and Dewitt, 2000)。其基本原理為共線式：即光線沿直線方向行進則中心透視投影的像點、物點與投影中心應位於同一直線上。透過量測像片連接點及全部人工航空標點或自然點之控制點後，由空三平差計算(目前最常用光束法平差)求航拍瞬間影像的位置與姿態，供後續圖資獲取之運用。

由於 UAV 所搭載的是非量測相機，因此必須先透過率定求得相機的率定參數，詳細率定方式請見 6.2.1 節。本次空三平差計算試驗所須控制點及檢核點詳如 6.1 節所述。空三所需的連結點採影像自動匹配量測，每一影像至少於九個標準位置至少二點連結點，空三平差偵錯後，每一標準位置上至少須有一點連結點，連結點量測中誤差不得大於一像元，山區不得大於 1.5 個像元。

本案中將採光束法空三平差進行空三平差計算，分二階段進行計算，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，接著進行強制附合至控制點上之平差，中誤差之增加量不得超過百分之三十，超過時應重新檢核地面控制點之正確性。

國土測繪中心目前有Erdas LPS Core 的LPS Block Triangulation 與LPS ORIMA均能執行光束法空三平差計算。

LPS Block Triangulation 在連結點自動匹配給定初值的方式有兩種：一是給與外方位參數初值且須至少三個以上的控制點，才能自動匹配出 tie point。二是必須先由人工量測相鄰像片兩個以上相同點，無須先給控制點，即可自動匹配出連結點。此外，LPS Block Triangulation 在自動匹配之後，無法利用自由網平差進行自動粗差偵錯，所以無法將匹配不佳或錯誤的點剔除。而且必須加入三個以上的控制點，才能解算得知是否符合精度。若不符合，就必須以人工方式重新偵錯。又在量測控制點時，無法快速找出與相片相對應控制點位置，必須以人工的方式比對，非常費時。LPS ORIMA 在連結點自動匹配時不須量測控制點及手動量測連結點，只要給定外方位初值即可自動匹配得到連結點；而且 LPS ORIMA 可在自動匹配連結點之後利用自由網平差自動偵測粗差，將有大錯的點剔除。在量測控制點時，LPS ORIMA 會自動找出與相片相對應控制點概略位置，以便操作員快速量測控制點，比 LPS Block Triangulation 省時；且每量測一點控制點，即可解算是否收斂，無須量測三個控制點以上，較 LPS Block Triangulation 快速得知哪些控制點量測不佳，便於改正。此外，LPS ORIMA 軟體又可執行 GPS 輔助空三平差計算，LPS Block Triangulation 並無此項功能，而本案依工作項目要求空三平差計算必須分別以傳統地面控制方式（即為服務徵求書中之空中後方交會法）及 GPS/INS 輔助方式進行光束法空三平差計算，並分析比較成果精度與成本，因此綜合評估本案中較佳的空三平差作業應採用 LPS ORIMA。LPS ORIMA 的光束法空三平差作業流程如表 6-12 所描述。

表 6-12 LPS ORIMA 光束法空三平差作業流程

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 執行LPS建立BLOCK             <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 設定感測器類型</li> <li>(2) 設定坐標系統</li> <li>(3) 載入航拍影像</li> <li>(4) 建立 LPS 相機參數檔</li> <li>(5) 完成內方位</li> </ol> </li> <li>2. 建立ORIMA相機參數檔</li> <li>3. 執行LPS ORIMA建立Project             <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 選擇相機參數檔</li> <li>(2) 匯入資料到LPS ORIMA</li> <li>(3) 設定控制點及GPS/IMU資料的讀取路徑</li> </ol> </li> <li>4. 執行 ORIMA 工作             <ol style="list-style-type: none"> <li>(1).執行 APM 自動連接點量測</li> <li>(2).執行 CAP-A 自由網平差和偵錯</li> <li>(3).重複量測控制點並執行 CAP-A 空三平差計算、偵錯、分析結果，直到符合精度要求</li> </ol> </li> </ol>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

由於本案乃配合國科會「測繪科技發展後續計畫」中程綱要計畫，規劃發展無人飛行載具（UAV）航拍技術作業項目，建立無人飛行載具搭配非量測型相機獲取地面影像資訊，並快速產製正射影像成果，供各界使用，並以前開成果試作國土測繪資訊之更新作業，經費由【測繪科技發展後續計畫】逐年編列預算(內政部國土測繪中心，2010)。為符合國科會「測繪科技發展後續計畫」的精神，本案已由臺灣大學探討不同控制方式對空三精度之影響以及由政治大學探討不同率定方式對空三精度之影響，並已將成果發表於第三十屆測量及空間資訊研討會(SG2012)及 2011 台灣地理資訊學會年會暨學術研討會。

不同率定方式對空三精度將有不同之影響(謝幸宜，2011)。因此，6.2.2.1 節將說明目前不同率定方式對空三平差精度的試驗成果。而因為本案要求進行 GPS/INS 輔助方式進行光束法空三平差計算，因此 6.2.2.2 節將以模擬資料說明以 GPS/INS 之精度輔助空三平差的可行性探討進而說明提升 GPS 精度輔助空三較為實際可行；並以 6.2.2.3 說明採用 GPS 輔助空三平差之試驗進度。

#### 6.2.2.1 一般光束法及自率光束法空三平差成果

本節說明不同率定方式對空三精度影響，三組率定資料分別採用 Photomodeler、EnsoMOSAIC、以及 iWitness Pro 率定所得，其所得率定參數如表 6-13，特別注意各率定方式所得之焦距皆不相同且相異甚大，其原因是不同軟體採用不同方法在室內率定，但無論如何率定，室內率定條件的物距有限(約 3~6 公尺)與 UAV 航拍取像時物距為無限遠有所不同，因此本計畫嘗試用自率光束法平差解決率定不完整的問題，實驗流程如圖 6-60：

表 6-13 不同率定方式所得之相機參數表

相機率定方式	焦距 (mm)	X0 (mm)	Y0 (mm)	K1	K2	K3	P1	P2
EnsoMOSAIC	<b>20.5770</b>	-0.040	0.038	-2.38E-04	9.05E-07	-2.19E-09	-1.59E-05	-1.11E-05
iWitness Pro	<b>21.8700</b>	0.017	0.228	1.78E-04	-2.73E-07	-1.09E-11	1.46E-06	1.92E-05
PhotoModeler	<b>20.7740</b>	-0.048	0.145	1.81E-04	-2.64E-07	0.00E+00	1.89E-05	1.65E-05

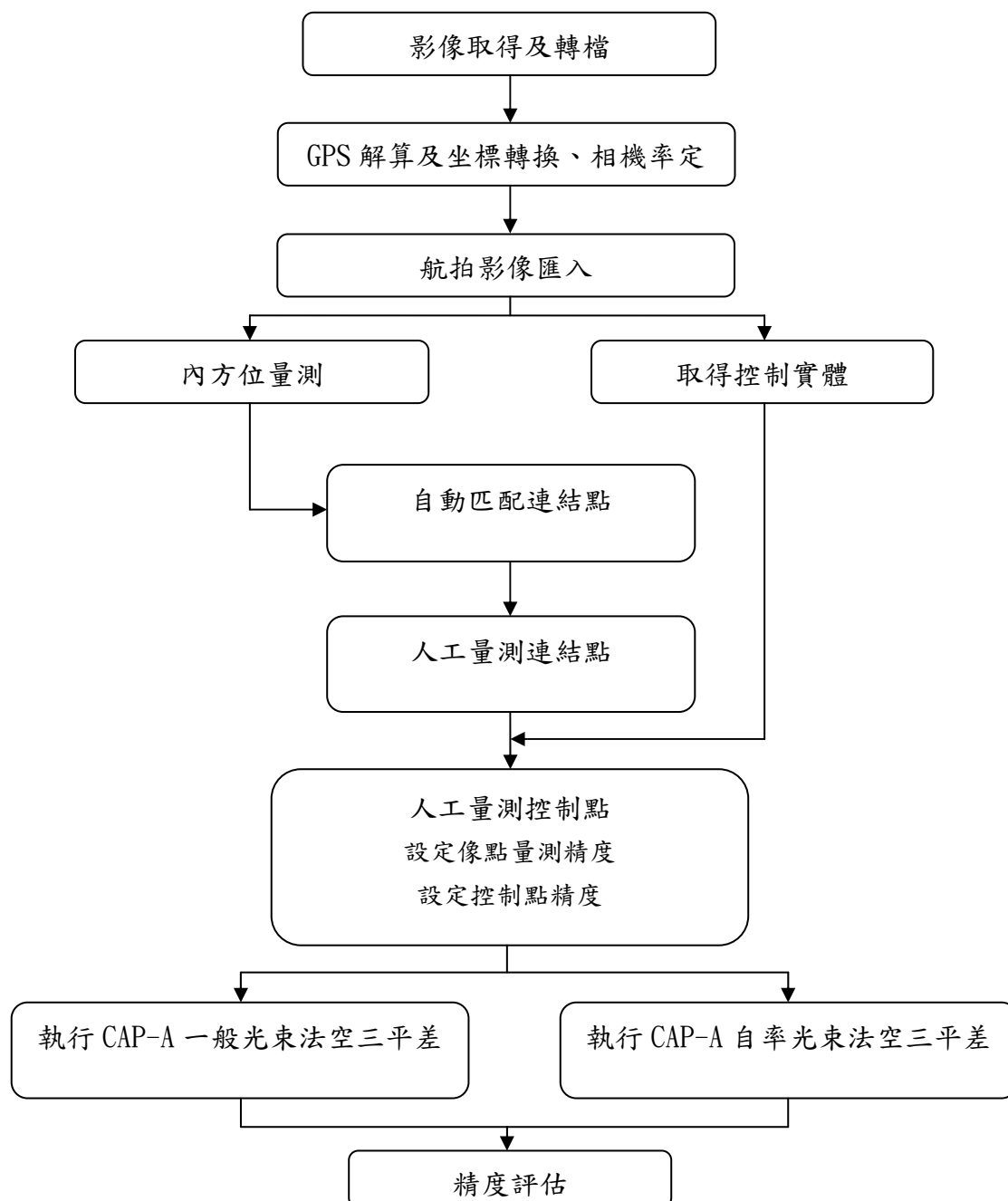


圖 6-60 不同率定方式 LPS ORIMA 空三平差作業流程

本次試驗於 LPS ORIMA 執行 APM 自動連結點時，是以每張影像  $3 \times 3$  標準位置、每位置至少匹配 6 點的方式進行匹配，自動匹配連結點後，設定點位量測精度為  $8.5\mu$ ，以自由網平差粗差偵錯，去除大錯的點，並用人工量測方式補足連結不足處的點。之後量測地面點(含控制點與檢核點)於影中的像坐標執行一般光束法空三平差及自率光束法空三平差，並進行精度評估。LPS ORIMA 一般光束法空三平差方式是在執行 CAP-A 後，由 Input Parameters 的 Lock/Unlock Camera Parameters 頁面中選取 locked，再進行解算，如下圖 6-61 所示。而自

率光束法空三平差則是執行 CAP-A 後，由 Input Parameters 的 Lock/Unlock Camera Parameters 頁面中將欲率定參數勾選 free，再進行解算。本次試驗將大多數鏡頭畸變差來源認為來自輻射畸變差，因此自率光束法平差時所率定的參數分別是焦距 CFL、像主點坐標 (x0,y0)、以及鏡頭的輻射畸變差參數(a1,a2,a3)。

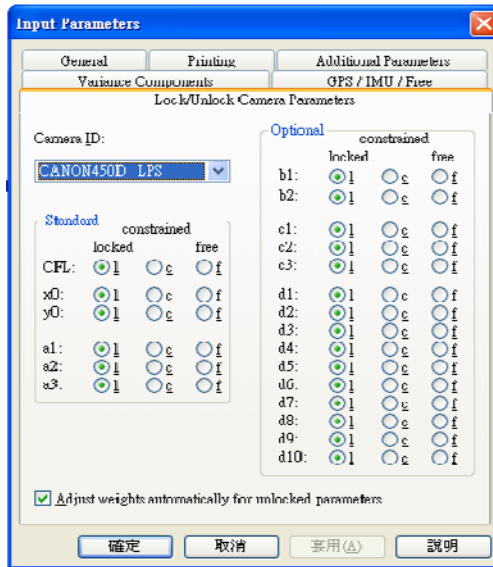


圖 6-61 一般光束法空三平差與自率光束法空三平差設定圖示

LPS ORIMA 於空三平差時，由於使用製作五千分之一地形圖時完成空三平差的航拍影像資料進行立體模型量測地面點作為控制點於檢核點，其控制點之精度為 X、Y 坐標約為 0.35 公尺，Z 坐標約為 0.5 公尺。因此將若地面點 X、Y 坐標精度均設定為 0.35 公尺，Z 坐標精度設定為 0.5 公尺，則 LPS ORIMA 將其視為控制點；而於 LPS ORIMA 執行空三平差時若將所加入的地面點 X、Y 坐標精度設定為 50 公尺，Z 坐標精度設定為 100 公尺即可將其視為檢核點使用，本次試驗共點選 22 個地面控制點以及 55 個地面檢核點，其分布情形如下圖 6-62 所示。





圖 6-62 測試區控制點與檢核點分布圖示

各不同方式相機率定參數(分別由 EnsoMOSAIC、iWitness Pro 以及 Photomodeler 率定所得)執行自由網的一般光束法空三平差及自率光束法空三平差以及加入控制點之後的一般光束法空三平差及自率光束法空三平差執行結果如附錄 M 所示，各結果中或許因粗差偵錯刪掉不等數量之像點觀測量，但其空三平差的連結點分布及網形概略相似，圖 6-63 與圖 6-64 分別圖示概略的連結點分布及空三平差網形概略圖。而各空三平差結果的檢核點 RMSE 如表 6-14 所示，自率光束法空三平差後各不同來源之相機參數最終率定值見表 6-15。

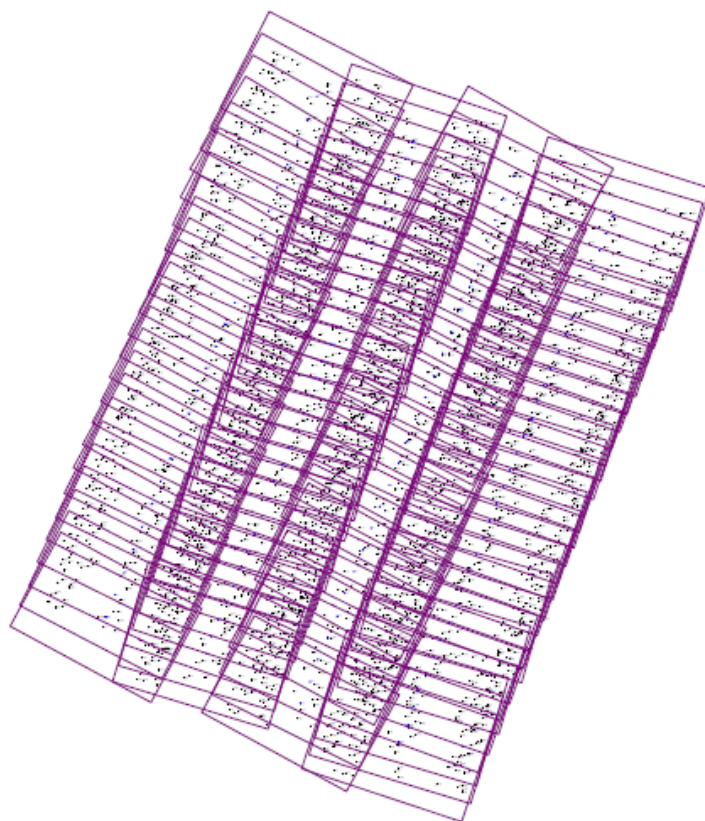


圖 6-63 一般光束法與自率光束法空三平差連結點分布概略圖

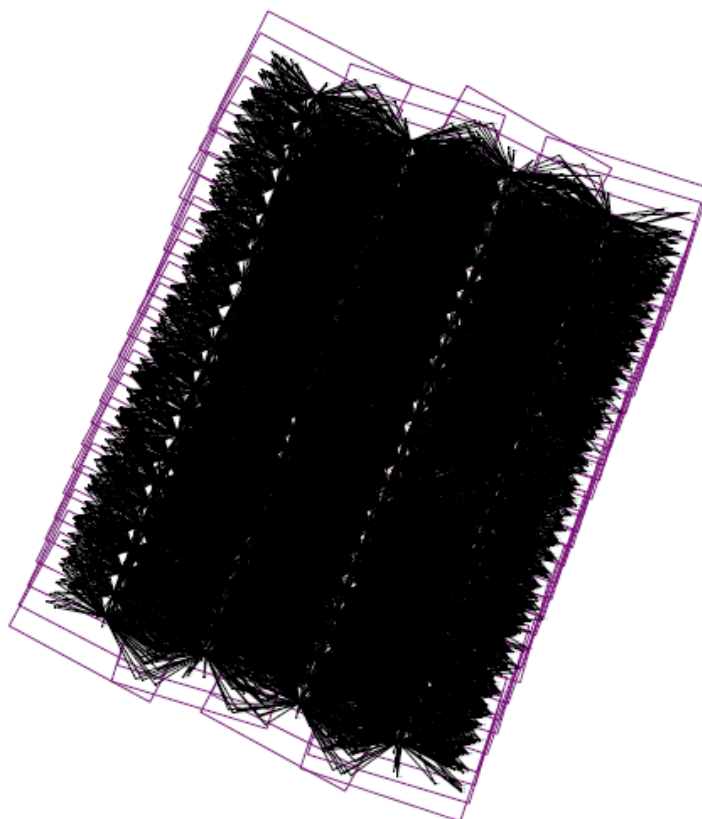


圖 6-64 一般光束法與自率光束法空三平差網形概略圖

表 6-14 不同率定方式一般光束法與自率光束法空三平差結果比較

相機率定 方式	空三平差 方式	焦距(mm)	X 坐標 RMSE(公尺)	Y 坐標 RMSE(公尺)	Z 坐標 RMSE(公 尺)
EnsoMOSAIC	一般光束法	20.5770	0.87	0.67	2.24
	自率光束法	21.7446	0.49	0.94	0.52
iWitness Pro	一般光束法	21.8700	10.39	2.06	39.21
	自率光束法	21.8158	0.49	0.94	0.52
PhotoModeler	一般光束法	20.7740	10.49	3.20	48.41
	自率光束法	21.7552	0.48	0.94	0.52

由表 6-14 及表 6-15 可知，不同來源相機參數率定值經自率光束法空三平差後之檢核點坐標在各方向的 RMSE 相當一致，平面約 1.06 公尺，高程約 0.52 公尺；且不論何種來源的相機參數，其自率光束法空三平差結果均比一般光束法空三平差結果好。而由表 6-15 可知自率光束法空三平差所修正的相機參數亦相當一致。此外，由表 6-14 可知三組室內率定的結果所執行的一般光束法空三平差於高程的 RMSE 均偏大，因此三組室內率定結果均不適用，但使用自率光束法空三平差後不僅可以修正室內率定結果，高程精度也明顯提升。因此後續應可採用自率光束法進行空三平差解算。然此次試驗，控制點來源是以製作五千分之一地形圖時所完成空三平差的航拍立體影像量測而得，若控制點精度提昇，對於一般光束法空三平差以及自率光束法空三平差影響為何？以及不同控制點分布形式對於空三平差影響為何？且本次試驗將大多數鏡頭畸變差來源認為來自輻射畸變差，因此自率光束法平差時僅考慮焦距 CFL、像主點坐標(x0,y0)、以及鏡頭的輻射畸變差參數(a1,a2,a3)，尚有其他參數並未探討，將來應該進一步測試探討。

表 6-15 不同來源相機參數值經自率光束法空三平差後之參數率定值

相機參數 來源	焦距 (mm)	X0(mm)	Y0(mm)	a1	a2	a3
ENSOMosaic 率定	21.7446	-0.2347	-0.08	-1.66E-04	2.76E-07	-3.85E-11
Iwitness Pro 率定	21.8158	-0.2315	-0.0832	-1.66E-04	2.77E-07	-4.22E-11
PhotoModeler 率定	21.7552	-0.2342	-0.0804	-1.66E-04	2.76E-07	-3.90E-11

### 6.2.2.2 GPS/IMU 輔助空中三角測量模擬測試

地面控制點的地面坐標通常必須由外業實地測量獲得，而對於常規性的控制點佈設及量測等外業工作而言，須耗費相當的經費、人力與時間。而且近年來，由於國土規劃、民生建設、自然保育、災害監控等對於空間圖資的需求量與日俱增，對於航空測量業務而言，地面控制點的佈設和量測往往需要耗費相當多的人力和成本花費。傳統空中三角測量是透過地面佈設足夠數量且分佈良好的地面控制點和從測區影像中量測的影像共軛連結點資料，再利用空中三角測量計算獲得全測區航空影像的外方位參數，這屬於間接地理定位法(Indirect Georeferencing)。近來，結合 GPS(Global Positioning System) 與 IMU(Inertial Measurement Unit)的儀器裝設於航空攝影載具上，稱為「定位定向系統」(Position and Orientation System, POS)，可直接使用感測器的定位與率定參數來決定外方位參數，這種方式稱為「直接地理定位」(Direct Georeferencing)。此法除提供了一種直接獲取外方位參數的方式，亦即由 GPS 取得位置參數，由 IMU 取得姿態參數，而且也完全不必量測影像的像坐標，有助於提昇空中三角測量作業效率、節省成本(周尚弘，2005)。利用直接地理定位獲取外方位參數的優點如下(Cramer, 2005)：

1. 可快速獲取航空影像外方位參數
2. 減少航線規劃的限制
3. 避免在自動匹配時產生的問題

裝設於航空載具的直接地理定位系統包含 GPS、IMU、攝影機等裝置，三者的幾何關係因儀器中心均不相同，因此其相對關係必須經過精密率定，才能有效獲得高準確的外方位參數。理論上，若從 GPS 與 IMU 系統中取得的外方位參數準確度夠高，而且 GPS、IMU 及攝影機均經過精密的率定時，將可以在空中三角測量作業時，不再需要任何的地面控制點，免除航標點和控制點的佈設和測量工作，更甚至也有可能免除整個空中三角的量測及計算等流程(Bilker, 1998)。然而，在實際應用上，除感測器須經精密之率定外，尚未能達成完全免除地面控制點的理想，但已能有助於減少對於地面控制點的需求，確實提昇了整體航空攝影測量的作業效率。

GPS 輔助空三作業時乃以 DGPS 後處理方式取得航拍軌跡資料，再以時間內插取得拍照瞬間之 GPS 位置並將其視為觀測量帶入空三平差解算。而 DGPS 是利用差分方式消除大部分 GPS 誤差，進而得到較高精度定位資料。

本小節擬以模擬資料說明 GPS 輔助空三之可行性，模擬資料乃使用已完成平差之區域，區域於高雄荖濃溪山區，其地形起伏較大，已自動匹配出共軌像點，四條航帶，共計 112 張影像，共軌像點約 3700 點，將模擬資料進行像片及地面控制點之坐標改正，再使用空三平差軟體 Orima 進行平差解算，使其標準差為 0 如圖 6-65，檢查像點及地面控制點無殘差，確保地面控制點、像點觀測量及曝光站位置及姿態符合共線式，便可在像點、地面控制點及曝光站位置(GPS 搭配 IMU)加上隨機誤差，即可進行試驗；本次模擬資料之平差網形結構強(如圖 6-66)，可保證模擬平差結果不受弱網形結構之影響。

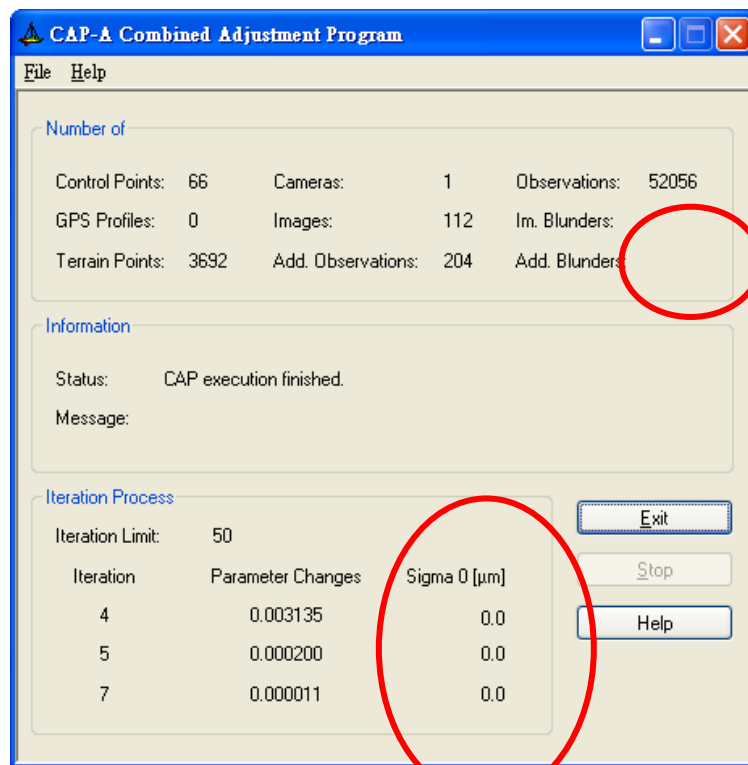


圖 6-65 模擬資料平差

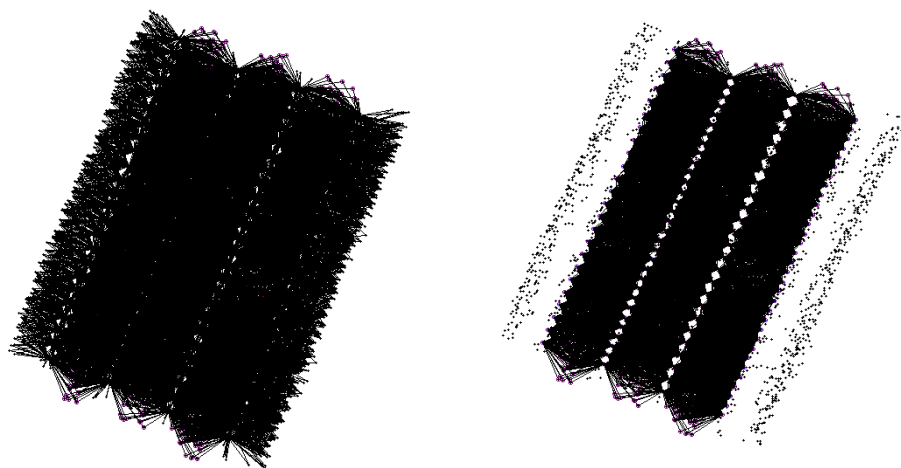


圖 6-66 全測區之網形(左)及航帶間之網形(右)

本試驗資料模擬程序如下圖 6-67 所示：



圖 6-67 模擬資料流程圖

根據內政部核定一千分之一地形圖作業之規定：

採用衛星定位測量（Global Positioning System;GPS）輔助空中三角測量時，則可在測區四角各布設 1 組（2 個）全控制點，並於測區首尾（航線端處）布設橫貫測區（正交航線方向）之高程控制鍊，除測區左右側邊外，鍊上之高程控制點應位於航線重疊區內。高程控制鍊得以加飛正交方向航帶取代，惟此正交航帶內，每片 9 個標準點位中，必須至少有 5 個與原測圖用航帶連結。另測區中央必須均勻測設 5 個以上檢核點，以驗證空中三角測量品質。因此模擬資料之控制點及檢核點分佈如圖 6-68 及圖 6-69 所示。

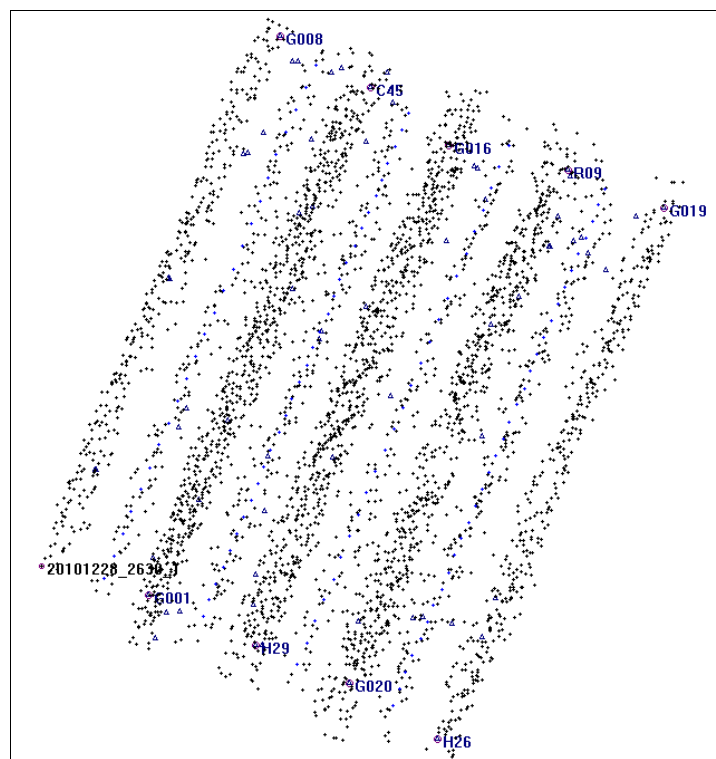


圖 6-68 模擬資料控制點(共 10 點)分布圖

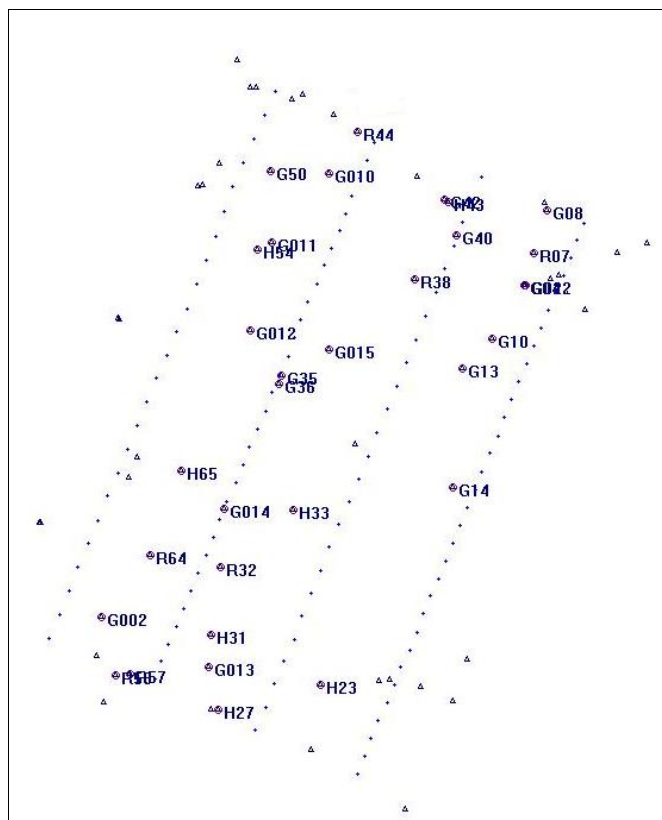


圖 6-69 模擬資料檢核點(共 16 點)分布圖

由無誤差之模擬資料及所需控制點分佈型態，先假設 GPS 天線中心位置與 IMU 儀器中心位置與像機投影中心並無偏移量，亦即模擬之 GPS 位置資料與 IMU 姿態資料即為相片曝光站位置與姿態，依據像點觀測精度為 $\pm 3\mu\text{m}$ ；控制點與 GPS 位置各方向觀測精度為( $\pm 5$  公分,  $\pm 5$  公分,  $\pm 10$  公分)；IMU 則依據在 X、Y、Z 三方向分別是( $0.1^\circ$ ,  $0.1^\circ$ ,  $0.2^\circ$ )、( $0.01^\circ$ ,  $0.01^\circ$ ,  $0.02^\circ$ )、以及( $0.003^\circ$ ,  $0.003^\circ$ ,  $0.006^\circ$ )精度下加入對應之隨機誤差。最後依據 GPS 輔助空三資料是否加入地面控制點及地面控制點為測區 4 角落控制或為測區 4 角加上測區首尾兩條全控之控制，搭配不同精度之 IMU 姿態精度之資料共模擬出 12 組資料，加上本計畫現階段使用之 GPS 精度( $\pm 2.5\text{m}$ ,  $\pm 2.5\text{m}$ ,  $\pm 2.5\text{m}$ )及 IMU 精度( $\pm 0.5^\circ$ ,  $\pm 0.5^\circ$ ,  $\pm 0.5^\circ$ )，模擬資料分別是

- 佈地面控制點，精度為(0.05 公尺, 0.05 公尺, 0.1 公尺)
  - 僅測區四角佈全控點
- IMU 資料：
  - ◆ 無 IMU 姿態資料



- ◆ 具 IMU 姿態精度 ( $\pm 0.1^\circ$  ,  $\pm 0.1^\circ$  ,  $\pm 0.2^\circ$  )之資料
- ◆ 具 IMU 姿態精度 ( $\pm 0.01^\circ$  ,  $\pm 0.01^\circ$  ,  $\pm 0.02^\circ$  )之資料
- ◆ 具 IMU 姿態精度( ( $\pm 0.003^\circ$  ,  $\pm 0.003^\circ$  ,  $\pm 0.006^\circ$  )之資料
- 測區四角與測區首尾航帶重疊處佈全控點
  - IMU 資料：
    - ◆ 無 IMU 姿態資料
    - ◆ 具 IMU 姿態精度 ( $\pm 0.1^\circ$  ,  $\pm 0.1^\circ$  ,  $\pm 0.2^\circ$  )之資料
    - ◆ 具 IMU 姿態精度 ( $\pm 0.01^\circ$  ,  $\pm 0.01^\circ$  ,  $\pm 0.02^\circ$  )之資料
    - ◆ 具 IMU 姿態精度 ( $\pm 0.003^\circ$  ,  $\pm 0.003^\circ$  ,  $\pm 0.006^\circ$  )之資料
- 無地面控制點
  - IMU 資料：
    - ◆ 無 IMU 姿態資料
    - ◆ 具 IMU 姿態精度 ( $\pm 0.1^\circ$  ,  $\pm 0.1^\circ$  ,  $\pm 0.2^\circ$  )之資料
    - ◆ 具 IMU 姿態精度 ( $\pm 0.01^\circ$  ,  $\pm 0.01^\circ$  ,  $\pm 0.02^\circ$  )之資料
    - ◆ 具 IMU 姿態精度( $\pm 0.003^\circ$  ,  $\pm 0.003^\circ$  ,  $\pm 0.006^\circ$  )之資料
- 目前 UAV 系統具備 GPS 精度及 IMU 精度之模擬資料

**地面控制點精度為(0.05 公尺, 0.05 公尺, 0.1 公尺)**

- 測區四角與測區首尾航帶重疊處佈全控點
  - GPS 位置精度( $\pm 2.5$  公尺,  $\pm 2.5$  公尺,  $\pm 2.5$  公尺)
  - IMU 姿態精度 ( $\pm 0.5^\circ$  ,  $\pm 0.5^\circ$  ,  $\pm 0.5^\circ$  )
- 僅測區四角佈全控點
  - GPS 位置精度( $\pm 2.5$  公尺,  $\pm 2.5$  公尺,  $\pm 2.5$  公尺)
  - IMU 姿態精度( $\pm 0.5^\circ$  ,  $\pm 0.5^\circ$  ,  $\pm 0.5^\circ$  )

將上述 14 組模擬資料進行一般光束法空三平差解算，得下表 6-16~6-19 平差結果之檢核點各方向之 RMSE：

表 6-16 模擬資料空三平差成果-檢核點各方向均方根誤差  
(GPS 位置精度(±5 公分, ±5 公分, ±10 公分);  
控制點精度(±5 公分, ±5 公分, ±10 公分))

地面控制點佈設方式	IMU 精度(單位:度) (roll, pitch, yaw)	RMSE(單位:公尺)		
		X	Y	Z
測區四角落與首尾航帶重疊處佈設六個全控點	無 IMU 資料	0.41	0.65	1.65
	(±0.1, ±0.1, ±0.2)	0.41	0.65	1.65
	(±0.01, ±0.01, ±0.02)	0.32	0.82	1.49
	(±0.003, ±0.003, ±0.006)	0.28	0.82	1.50
僅測區四角落佈全控點	無 IMU 資料	2.36	3.20	3.18
	(±0.1, ±0.1, ±0.2)	2.36	3.20	3.18
	(±0.01, ±0.01, ±0.02)	0.91	1.42	1.90
	(±0.003, ±0.003, ±0.006)	0.36	0.78	1.49
無地面控制點	無 IMU 資料	0.53	0.99	1.53
	(±0.1, ±0.1, ±0.2)	0.53	0.99	1.53
	(±0.01, ±0.01, ±0.02)	0.46	0.97	1.44
	(±0.003, ±0.003, ±0.006)	0.31	0.84	1.47

表 6-17 目前 UAV 系統具 GPS 精度及 IMU 精度之模擬資料空三平差成果-  
檢核點各方向均方根誤差

(GPS 位置精度(±2.5 公尺, ±2.5 公尺, ±2.5 公尺))

控制點精度(±5 公分, ±5 公分, ±10 公分)

地面控制點佈設方式	IMU 精度(單位:度) (roll, pitch, yaw)	RMSE(單位:公尺)		
		X	Y	Z
測區四角落與首尾航帶重疊處佈設六個全控點	(±0.50, ±0.5, ±0.5)	0.40	0.73	8.52
僅測區四角落佈全控點	(±0.50, ±0.5, ±0.5)	1.53	0.74	18.46

表 6-18 模擬資料空三平差成果-檢核點平面及高程精度

(GPS 位置精度( $\pm 5$  公分,  $\pm 5$  公分,  $\pm 10$  公分);控制點精度( $\pm 5$  公分,  $\pm 5$  公分,  $\pm 10$  公分))

地面控制點佈設方式	IMU 精度(單位:度) (roll pitch, yaw,)	精度(單位:公尺)	
		平面	高程
測區四角落與首尾航帶重疊處佈設六個全控點	無 IMU 資料	0.769	1.655
	( $\pm 0.1, \pm 0.1, \pm 0.2$ )	0.769	1.655
	( $\pm 0.01, \pm 0.01, \pm 0.02$ )	0.882	1.486
	( $\pm 0.003, \pm 0.003, \pm 0.006$ )	0.868	1.503
僅測區四角落佈全控點	無 IMU 資料	1.124	1.525
	( $\pm 0.1, \pm 0.1, \pm 0.2$ )	1.124	1.525
	( $\pm 0.01, \pm 0.01, \pm 0.02$ )	1.073	1.440
	( $\pm 0.003, \pm 0.003, \pm 0.006$ )	0.894	1.466
無地面控制點	無 IMU 資料	3.978	3.175
	( $\pm 0.1, \pm 0.1, \pm 0.2$ )	3.978	3.175
	( $\pm 0.01, \pm 0.01, \pm 0.02$ )	1.684	1.895
	( $\pm 0.003, \pm 0.003, \pm 0.006$ )	0.857	1.490

表 6-19 目前 UAV 系統具 GPS 精度及 IMU 精度之模擬資料空三平差成果-

檢核點平面與高程精度

(GPS 位置精度( $\pm 2.5$  公尺,  $\pm 2.5$  公尺,  $\pm 2.5$  公尺))控制點精度( $\pm 5$  公分,  $\pm 5$  公分,  $\pm 10$  公分)

地面控制點佈設方式	IMU 精度(單位:度) (roll pitch, yaw,)	精度(單位:公尺)	
		平面	高程
測區四角落與首尾航帶重疊處佈設六個全控點	( $\pm 0.50, \pm 0.5, \pm 0.5$ )	0.834	8.517
僅測區四角落佈全控點	( $\pm 0.50, \pm 0.5, \pm 0.5$ )	1.701	18.456


從表 6-16 及表 6-19 可看出，模擬資料高程精度差異大，原因來自於模擬測區為山區，當交會條件，如像點坐標、曝光站位置略有變化，交會到地面上的高程便會有很大的差異。在相同 GPS 精度下，地面控制點的有無對平差結果的影響的確是存在的，在無 IMU 的輔助下差異最大，當地面控制點越多，其平面可從 4.0 公尺提升到 0.8 公尺左右，而高程可從 3.2 公尺提升至 1.7 公尺，而依內政部所規定之空三作業程序，仍需地面控制點，而由模擬資料也顯示出地面控制點的確能夠提升平面及高程精度，當控制點越多，IMU 精度差異對空三之影響也能夠降到最小，平面差異約 10 公分，高程差異約 15 公分。再另一方面 IMU 的確也能夠提升平面及高程精度，但在無 IMU 及 IMU 三個姿態角的精度為(0.1°, 0.1°, 0.2°)平差後的 RMSE 在公分級下是沒有差異的，必須將 IMU 提升至 0.01° 平面與高程精度才能有明顯的提升，在無控制點的情況下差異最明顯，平面可從 4.0 公尺提升至 1.7 公尺，而高程可從 3.2 公尺提升至 1.9 公尺。而現階段使用之 GPS 及 IMU 在僅 4 個控制點的情況下所得之平面精度為 1.7 公尺，而高程精度相當不理想為 18.5 公尺，如表 6-19；當控制點增加測區四角落與首尾航帶重疊處佈設六個全控點，其平面精度可提升到 0.8 公尺，高程精度提升至 8 公尺，其高程精度仍不理想。

從儀器精度與儀器體積來看，如附錄 K 與表 6-20，現今高精度之 IMU 如 AEROcontrol-III 精度雖可達±0.003°，其體積過大，超出 UAV 所能承載的重量及體積限制，另一方面 IMU 價格差異也相當大，陽春的 IMU 數百元就可購買，長寬約 10 公分左右；但是精度高之 IMU，體積大，儀器價格甚至可達數百萬元。且 UAV 飛行時必須負擔飛行風險，必須考量飛機有墜落的風險，不能無上限的，一味選擇精度高之儀器，而附錄 I 所列之輕量級 IMU 其精度雖可達 0.3°，但從模擬資料便可知 IMU 精度必須提高到 0.01° 才能夠有效提升平面及高程精度。

而一般 UAV 所使用之定位方式為單點定位，其精度約數十米，透過單頻差分定位精度可提升至±50 公分，以模擬成果來看，提升 GPS 精度對於平面及高程精度改善較多，本研究欲使用 GPS 雙頻差分以提升定位效果，只需在地面任一控制點架設 GPS 儀器，而於 UAV 上搭載雙頻之接收器，進行觀測，其風險相當小，其價錢相對於高精

度之 IMU 不僅便宜亦較具經濟效益，接收到的觀測資料再以後處理方式，便可大幅提升 UAV 之定位精度輔助空三平差計算，因此改善 GPS 精度進行 GPS 輔助空三的確是實際較可行之方案。

表 6-20 IMU 規格

AEROcontrol-III		
<b>Name</b>		
<b>Attitude accuracy</b>	0.003 deg 1-sigma roll & pitch 0.007 deg 1-sigma heading	
<b>Dimensions</b>	<b>AEROcontrol</b>	<b>Computer</b>
	262 * 208 * 1332 mm	146.5 * 126.5 * 98 mm
<b>Weight</b>	<b>AEROcontrol</b>	<b>Computer</b>
	4.0 kg	2.2 kg

### 6.2.2.3 GPS 輔助空中三角測量初步測試

由上節可知，本案要求進行 GPS/INS 輔助方式進行 UAV 航拍影像之光束法空三平差計算，但目前所發展 UAV 上所載之 GPS/IMU 精度輔助空三計算精度仍差(尤其是在山區的高程精度)且目前 UAV 因載體承載量有所限制，造成所承載之 INS 及 GPS 精度尚無法滿足製圖之定位需求。因此本案擬以提升 GPS 之定位精度用以測試 GPS 輔助空三之可行性並探討其精度。

UAV 上的若以可接收差分定位(Differential Global Positioning System, DGPS)資料消除 GPS 定位之系統誤差將可提升 UAV 上 GPS 之定位精度。目前測試以選用 Topcon GRS-1 作為可搭載於 UAV 上之 GPS 接收儀，此接收儀具備體積小及重量輕之特性，為 UAV 可乘載之 GPS 接受器，以 PP Kinematic 模式可接收 L1/L2 載波相位觀測值，並與主站之 L1/L2 載波相位觀測值進行差分計算，求得更高精度之定位成果。而主站選用 Leica GPS1200 儀器，採靜態測量方式接收 L1/L2 載波相位。於室內後處理兩接收器所接收之觀測值，先將兩接收機之原始觀測量轉換成 GPS 通用格式 RINEX(Receiver Independent

Exchange Format)後，即可以差分運算方式，消除衛星鐘差、接收儀鐘差、周波未定值及對流層電離層改正量，以求解出較高精度之移動站軌跡資料，流程如圖 6-70。



圖 6-70 GPS 坐標解算流程圖

在本年度試驗初期於政大校園內使用此兩部接收儀進行測試，測試區域如圖 6-71，移動站繞操場行走兩圈，而主站架設於校內控制點上，於圖中右下方黃點處。操場周遭有高樓及樹蔭遮蔽情形發生，如圖中紅色圈選區域。導致室內後處理所解算之坐標，在黃色圈選區域中，接收儀收訊不佳，坐標解算錯誤，在高程值上有相當大的偏移量。

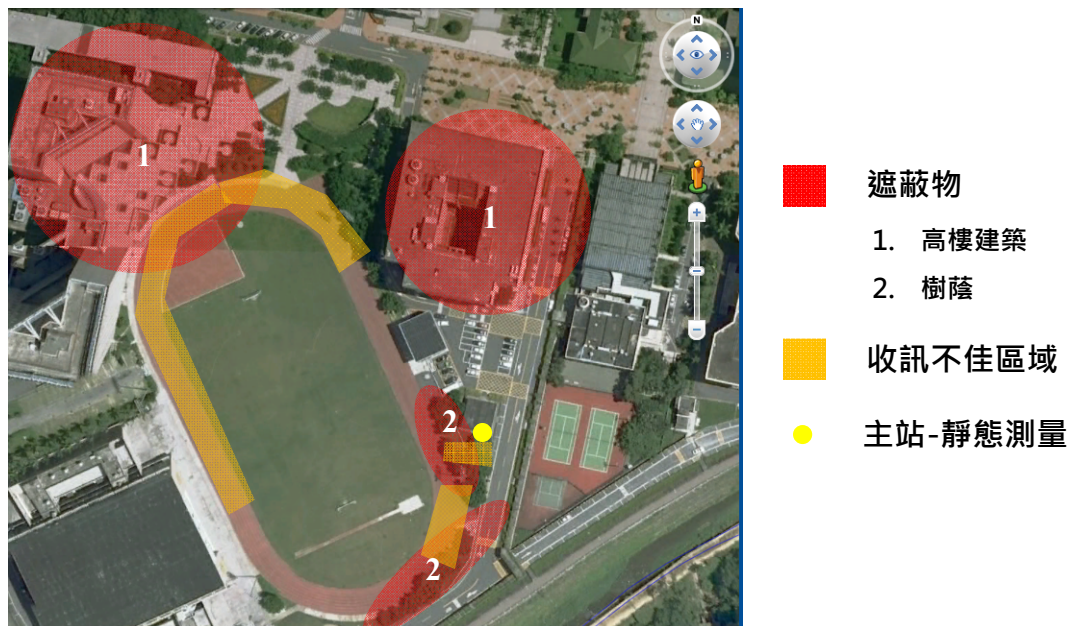


圖 6-71 測量區域分布狀況

因資料測試期間，原擬以 GPS 動態 RTK 測量移動站軌跡點為坐標，因測量時其 2D-CQ 及 3D-CQ 高達 4 公尺，精度過差，無法用以檢核移動站之解算坐標，便僅以視覺方式檢核其構成幾何圖型及高程解算結果來判定。其後處理成果如圖 6-72 及圖 6-73，圖 6-72 為俯視圖，圖 6-73 為側視圖。差分處理後，由圖 6-76 便可發現在建築物及樹蔭附近，坐標解算皆有問題，即使有接收到 GPS 訊號，但因其訊息品質不佳，隨著遮蔽物高程越高，其坐標偏移量越高，如圖 6-72 紅色點位。而其餘點位因無建物遮蔽問題，且收訊品質良好，以視覺方式檢視，其坐標解算皆屬合理範圍。

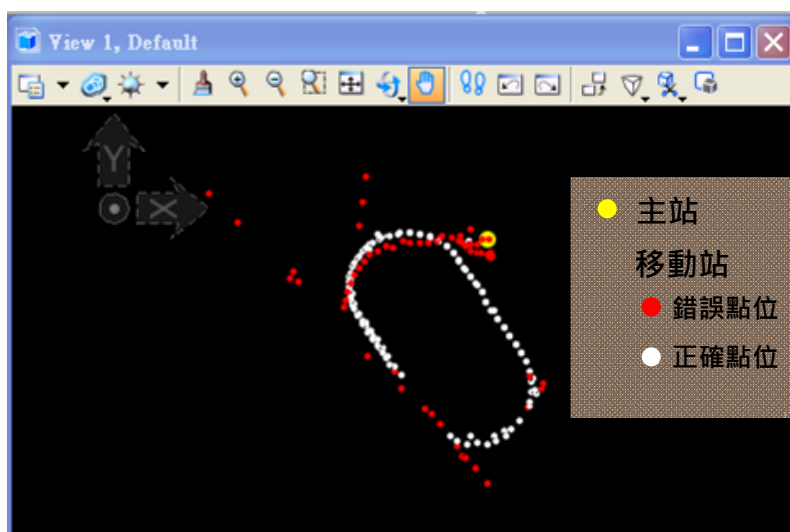


圖 6-72 坐標解算成果-俯視

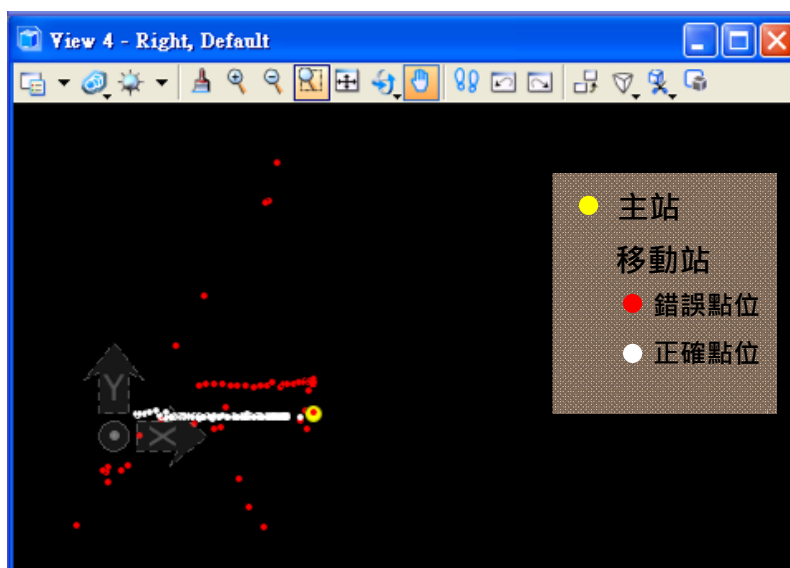


圖 6-73 坐標解算成果-側視



考量移動速度是否影響坐標解算，後續實驗以滑板車上乘載 Topocon GRS-1 接收儀繞操場滑行，然而由圖 6-74 可看出平面解算出操場輪廓，但高程部分似乎存在問題，此將於明年度後續實驗中探討並解決。

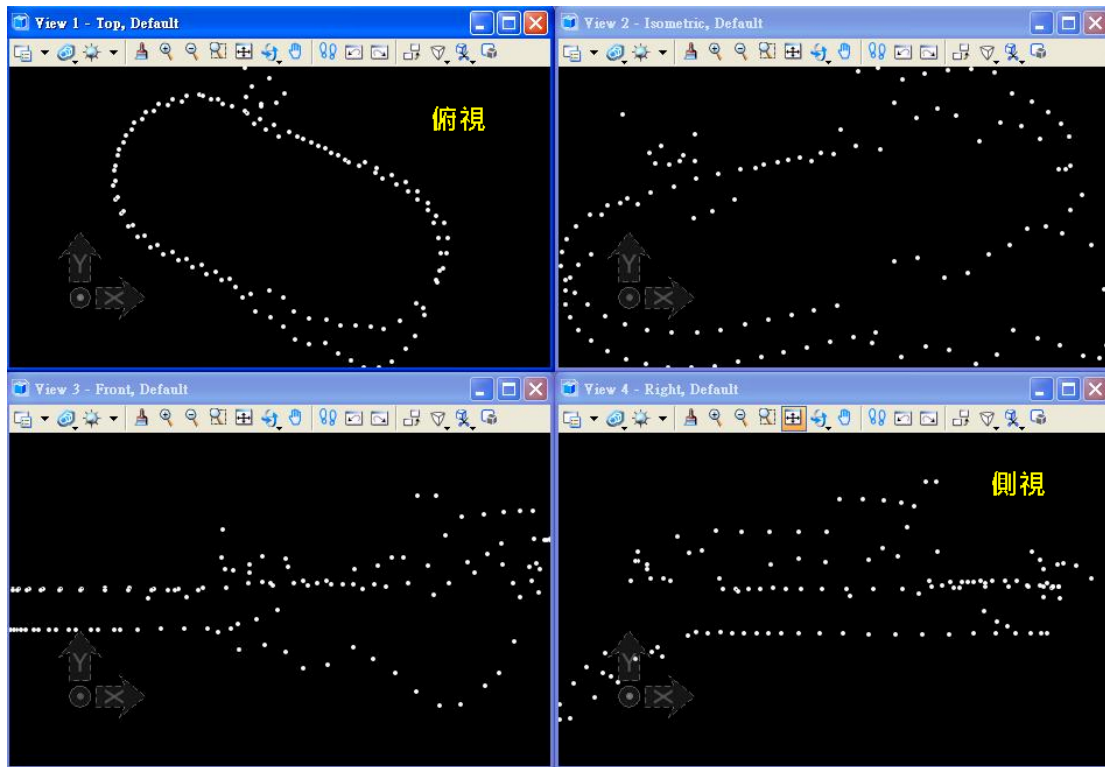


圖 6-74 第二次試驗坐標解算成果圖

### 6.2.3 正射影像製作

正射影像製作時需先有精確的數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)。測繪中心雖有 Erdas LPS core，但並無自動匹配與編修 DTM 的 LPS ATE、LPS TE 模組。然而測繪中心也已購置 MatchT 軟體可產製 DTM。因此航拍測試的正射影像製作可用快速幾何正射糾正鑲嵌的方式進行，因此本工作項建議利用 ERDAS IMAGINE LPS 和 ORIMA，輔以 Match-T 進行作業。亦即利用 Match-T 模組自動匹配產生 DSM 並進行編修，量測地形特徵點（如山頂、山窪、鞍部等）、地形特徵線（如山脊線、山谷線）及地形斷線（地面傾斜角劇烈變化分界線）等資料內插產製 5m 網格 DEM 供後續製作正射影像用。獲取 DEM 之後，利用 DEM 資料以及已知方位參數的航拍影像於 LPS 模組上進行正射糾正及鑲嵌，產生彩色正射影像。

本試驗參照上述流程之作法，得到 5m\*5m 網格的未編修的 DTM 如圖 6-75。此時影像的內外方位參數採用輸入 ENSOMosaic 率定相機參數且經自率光束法空三平差所得的相機參數和外方位元素。接著將 Match-T 匹配之 DTM(\*.las)以 ERDAS 的 Terrain Prep Tool 轉成 img 檔，再匯入 LPS，產生正射影像，並進行鑲嵌。本次試驗設定影像解析度分別是 5 公分與 25 公分，得到如圖 6-76 和圖 6-77 之未經色彩調整的正射影像。為檢核兩正射鑲嵌圖的幾何精度，選取均勻分布的 20 個檢核點(如圖 6-78)進行檢核，得到如表 6-21 的精度檢核表。以 20 個檢核點進行檢核不論是 Cell Size 5 公分和 25 公分的正射鑲嵌影像均可得到 X 方向之 RMSE 為 2.0 公尺，Y 方向之 RMSE 約 1.5 公尺幾何精度的正射影像鑲嵌圖。



圖 6-75 Cell Size 5 公尺之 DTM

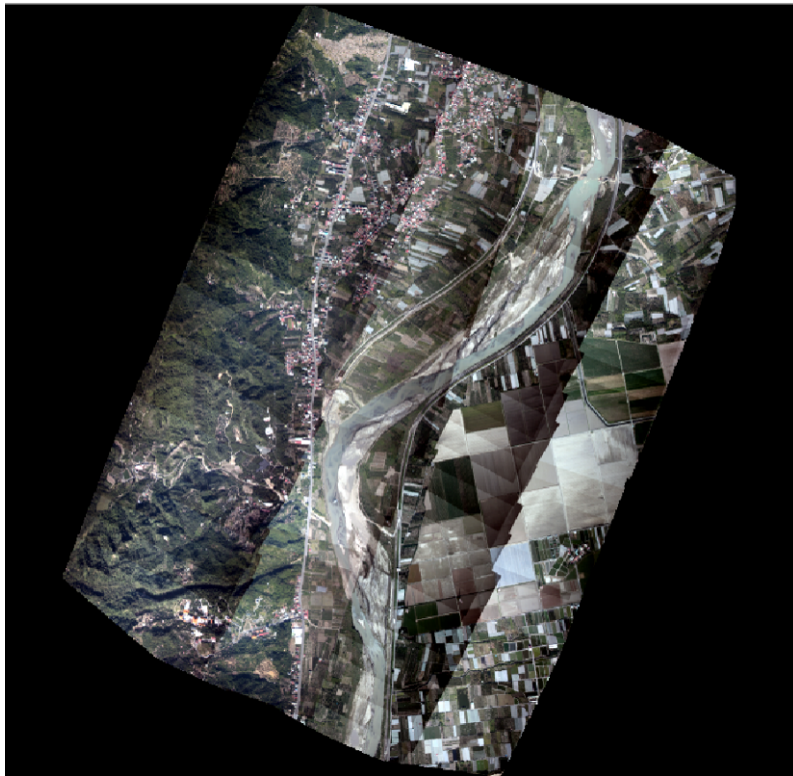


圖 6-76 Grid Size 5m DTM、Cell Size 5 公分正射鑲嵌圖

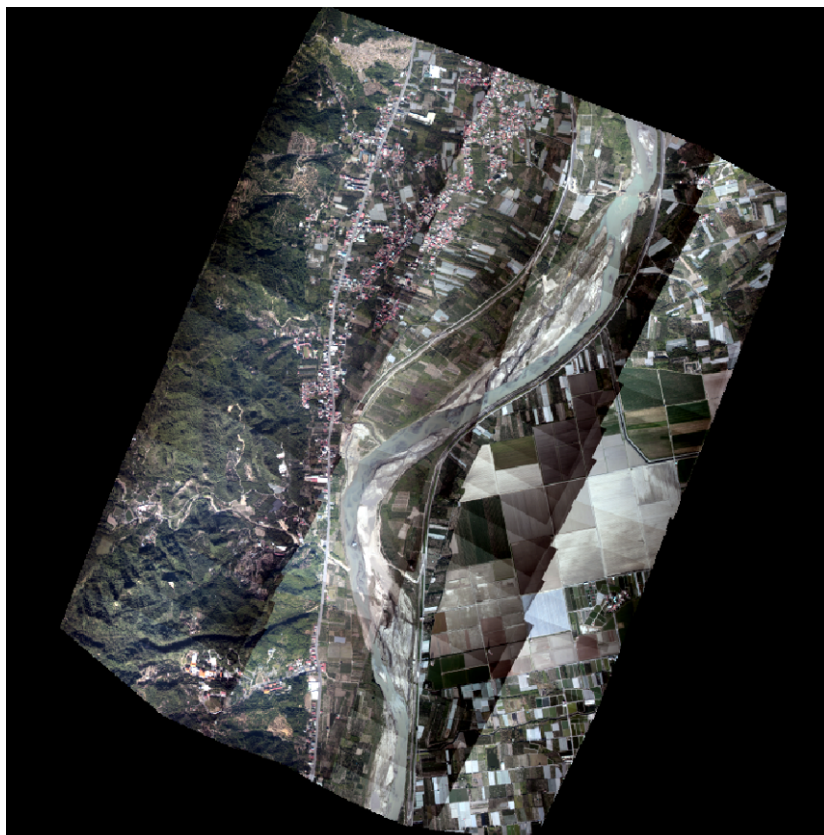


圖 6-77 Grid Size 5 公尺 DTM、Cell Size 25 公分正射鑲嵌圖



圖 6-78 正射鑲嵌檢核點分布圖

表 6-21 正射鑲嵌圖的幾何精度精度檢核表

DTM Grid Size	正射影像 Cell Size	X 方向之 RMSE	Y 方向之 RMSE
5 公尺	5 公分	2.00	1.45
5 公尺	25 公分	2.17	1.56

#### 6.2.4 航拍測試之影像處理實驗結果

本計畫案選擇彰化鹿港、阿里山地區作為測試區進行測試；依 6.2.2.1 節一般光束法及自率光束法空三平差成果比較，航拍測試任務影像處理將採用自率光束法平差解決像機率定不完整的問題。航拍時使用鏡頭焦距約 24mm 的 Canon EOS 5DII 數位相機，相機參數是使用 6.2.1 節所述之方法率定所得。航拍時航高分別約 500 公尺及約 1000 公尺，前後重疊約 80%，左右重疊約 40%。航拍測試時平面坐標基準採用 1997 坐標系統（TWD97）；高程坐標基準採用 2001 高程系統（TWVD2001）。若以 GPS 實測之地面控制點及檢核點高程均依據內政部地政司所公布之大地起伏模式修正為正高系統。航拍影像影像處理之空三平差成果與正射糾正成果將與 97 年度「探測感應器測繪平台架構規劃暨應用作業案」之成果比較。

### 6.2.4.1 鹿港測試區

鹿港試驗區位置分布如圖 6-79 所示，範圍約 8.4 公里 \*4 公里範圍，地表平均高程約 5 公尺。試驗過程中使用農航所提供之佈標點與以 VRS GPS 實測之自然點作為控制點與檢核點。GPS 實測之地面控制點及檢核點高程均修正為正高系統。

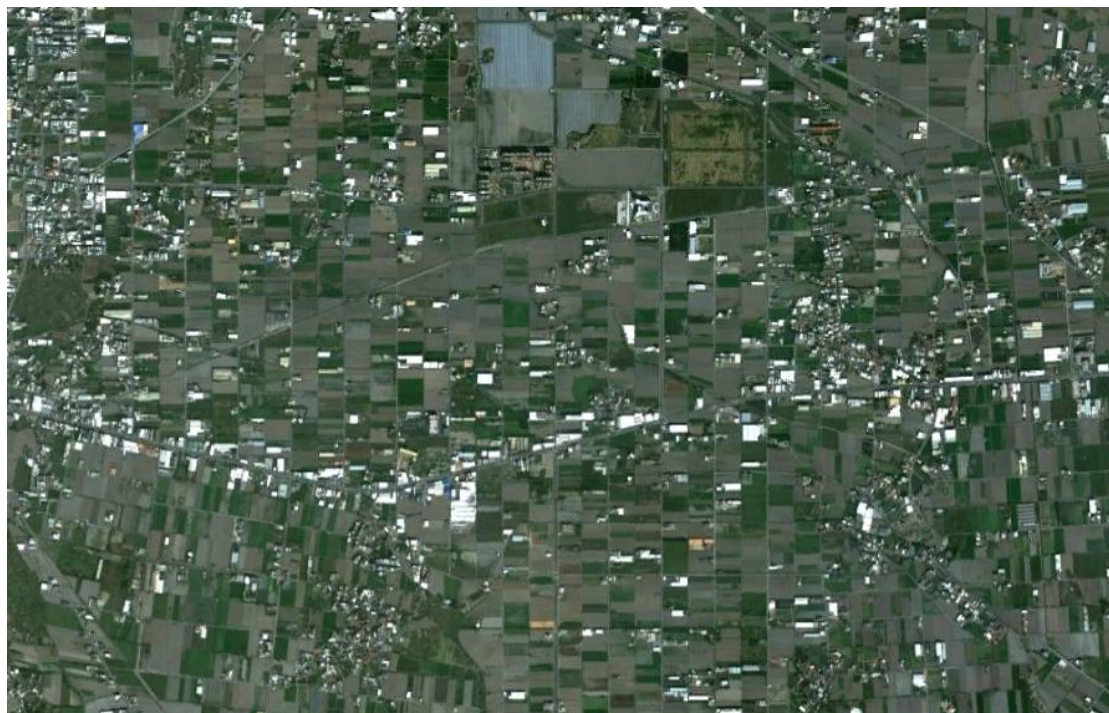


圖 6-79 UAV 航拍影像鹿港測試區域範圍示意圖

#### 6.2.4.1.1 500公尺航拍影像測試結果

航高500公尺之拍影像於100年10月6日航拍取得。測試資料共13條航帶，取像695張(分布狀況如圖6-80)，地面解析力GSD約13公分。試驗過程空三平差採用24地面控制點，10個地面檢核點(分布狀況如圖6-81)。

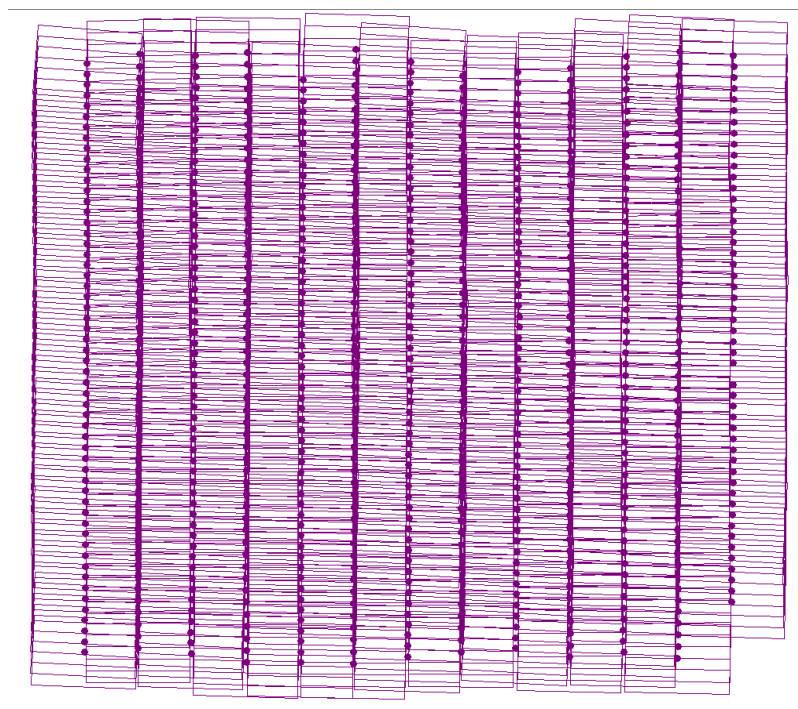


圖 6-80 測試用 UAV 航拍影像分布狀況

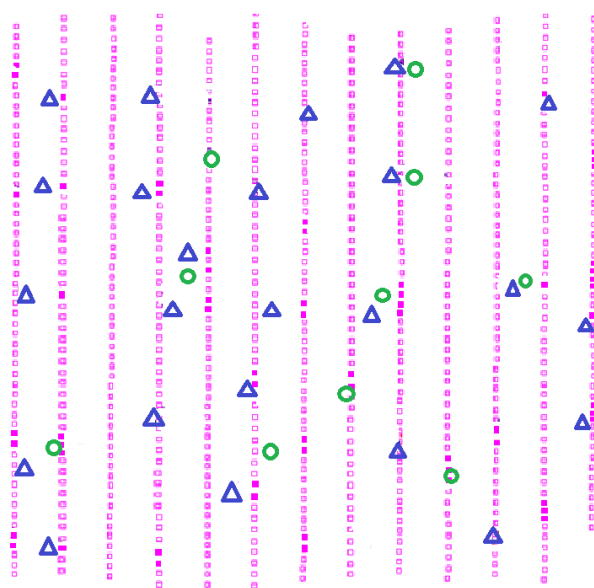


圖 6-81 測試區 24 控制點(△)與 10 個檢核點(○)分布圖示

以 LPS 模組輸入所記錄經內插所得之外方位參數近似值資料進入 ORIMA 進行自率光束法空三平差(詳見 6.2.2 節)，圖 6-82 為自由網自率光束法空三平差除錯結果畫面，圖 6-83 是加入控制點進行自率光束法空三平差解算畫面。

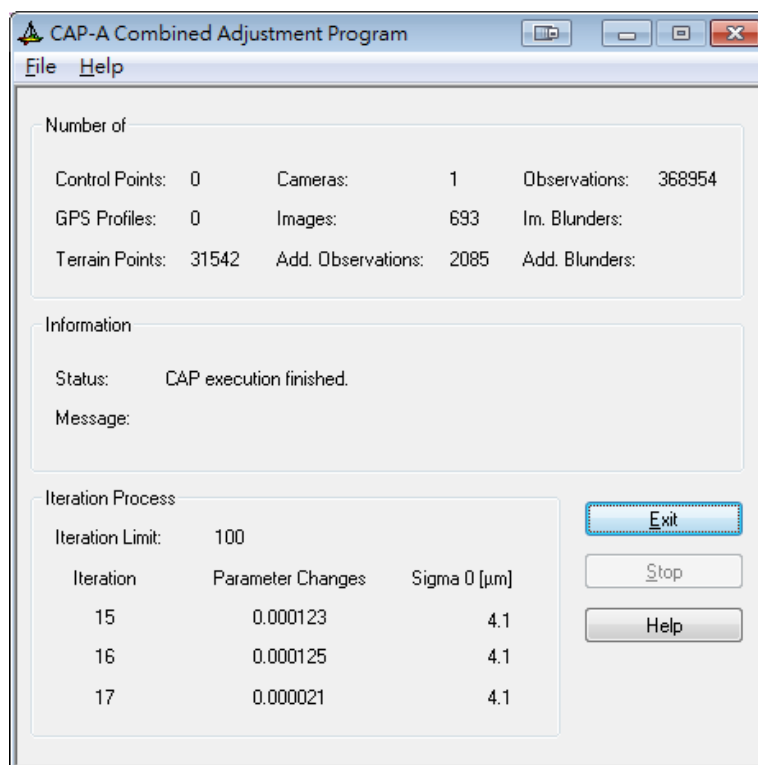


圖 6-82 自由網的自率光束法空三平差結果

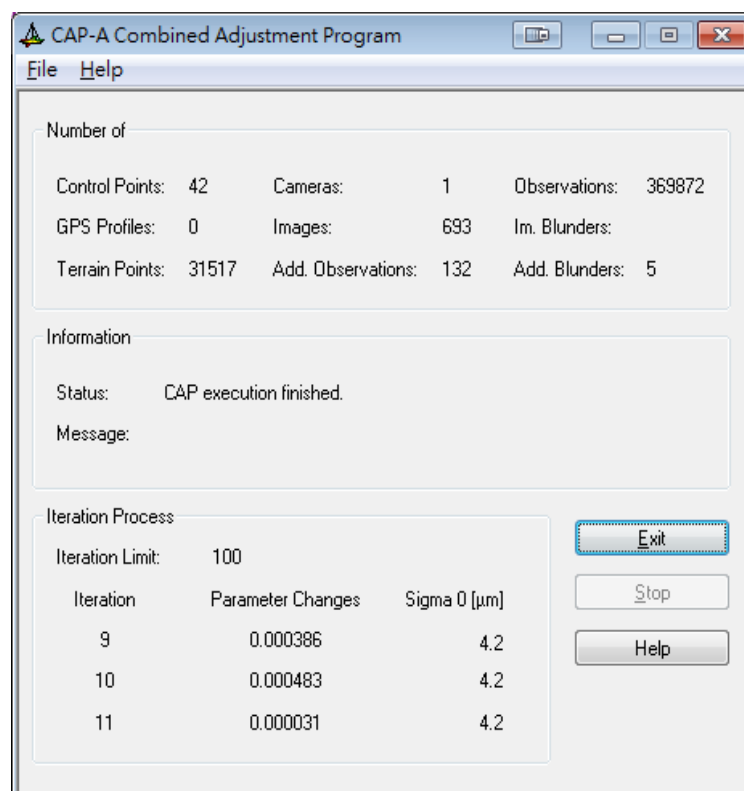


圖 6-83 自率光束法的空三平差結果

圖 6-84 和圖 6-85 顯示整個試驗過程試驗區資料以 ORIMA 執行自率光束法空三平差計算時連結點、控制點分布情形以及網形狀況。自率光束法空三平差控制點與檢核點各方向之均方根誤差見表 6-22。由表 6-22 可看出與 97 年度「探測感應器測繪平台架構規劃暨應用作業案」相關成果精度相比，檢核點平面精度相當，僅高程精度稍差。

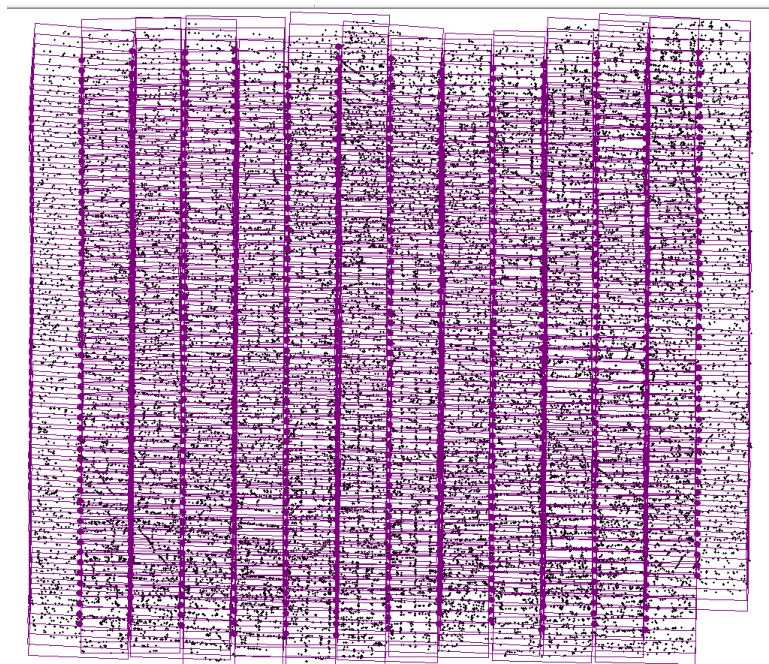


圖 6-84 自率光束法空三平差連結點分布概略圖



圖 6-85 自率光束法空三平差網形圖



表 6-22 航高 500 公尺自率光束法空三平差結果與 97 年計畫案比較表

		X(公尺)	Y(公尺)	Z(公尺)	XY(公尺)
97 年計畫案 (航高 600m)	RMS Control (25)	0.04	0.04	0.08	0.06
	RMS Check (16)	0.187	0.197	0.283	0.27
	GSD : 13 公分、自由網 Sigma : 1.3 um、固定網 Sigma : 1.7 um				
本案 (航高 500m)		X(公尺)	Y(公尺)	Z(公尺)	XY(公尺)
	控制點 RMSE (24)	0.04	0.03	0.07	0.05
	檢核點 RMSE (10)	0.17	0.18	0.40	0.24
	GSD : 13 公分、自由網 Sigma : 4.1 um 控制點固定網 Sigma : 4.2 um				

完成航拍影像自率光束法平差之後依據測試程序，得到 5 公尺\*5 公尺網格的 DTM(圖 6-86)。此時影像的內外方位參數採用輸入經自率光束法空三平差所得的相機參數和外方位元素。接著將 Match-T 匹配之 DTM(\*.las)以 ERDAS 的 Terrain Prep Tool 轉成 img 檔，再匯入 LPS，產生正射影像，並進行鑲嵌。試驗設定影像解析度 10 公分，得到如圖 6-87 經色彩調整的正射影像。為檢核正射鑲嵌圖的幾何精度，選取均勻分布的 17 個檢核點(如圖 6-88)進行檢核，得到如表 6-23 的精度檢核表。其 X 方向 RMSE 為 0.20 公尺，Y 方向 RMSE 為 0.15 公尺，與 97 年度「探測感應器測繪平台架構規劃暨應用作業案」精度(見表 6-23)相比，精度均較佳。

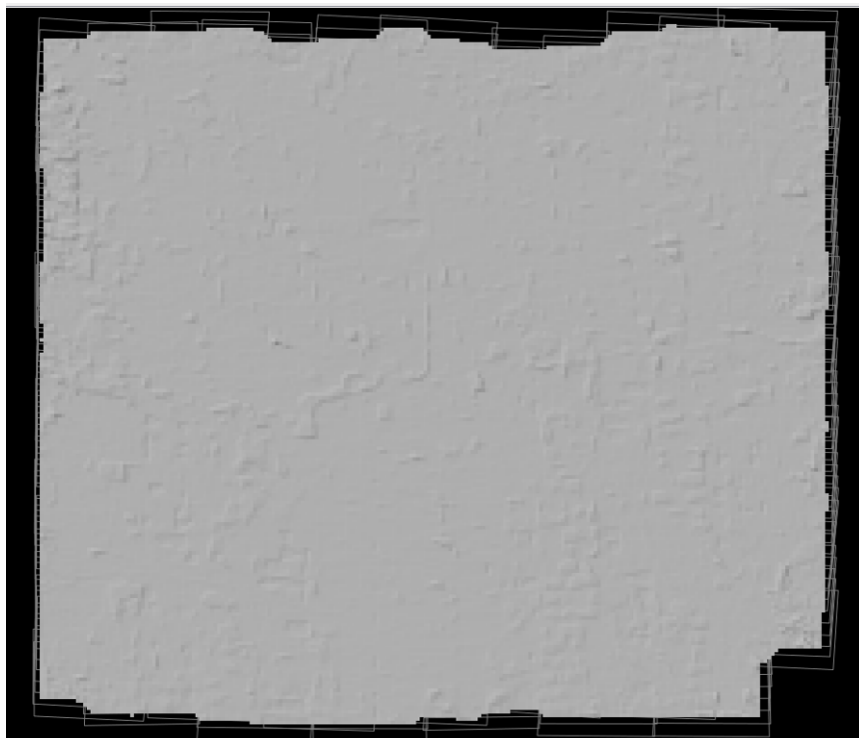


圖 6-86 Cell Size 5 公尺之 DTM



圖 6-87 Grid Size 5 公尺 DTM、Cell Size 10 公分正射鑲嵌圖

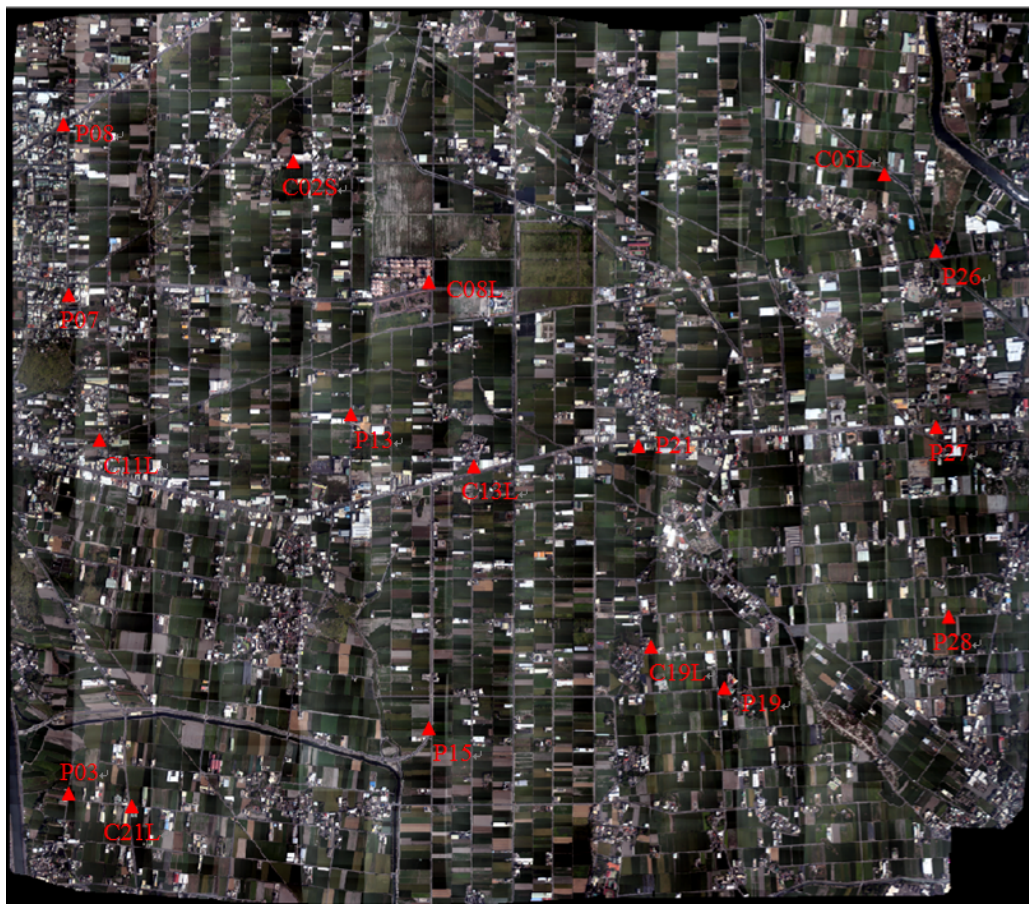


圖 6-88 正射鑲嵌檢核點分布圖

表 6-23 正射鑲嵌圖的幾何精度精度檢核表與 97 年計畫案比較表

	項目	X(公尺)	Y(公尺)	XY(公尺)
97 年計畫案	1200m 定翼型 UAV 正射影像	0.39	0.32	0.51
	900m 定翼型 UAV 正射影像	0.39	0.35	0.52
	600m 定翼型 UAV 正射影像	0.35	0.32	0.47
本案 (DTM Grid Size 5 公尺 Cell Size 10 公分)	500m 定翼型 UAV 正射影像	0.20	0.15	0.25

#### 6.2.4.1.2 鹿港地區航高1000公尺航拍影像測試結果

鹿港地區航高1000公尺之拍影像於100年9月26日航拍取得。測試資料共8條航帶，取像247張(分布狀況如圖6-89)，地面解析力GSD約26公分。試驗過程空三平差採用50地面控制點，8個地面檢核點(分布如圖6-90)。

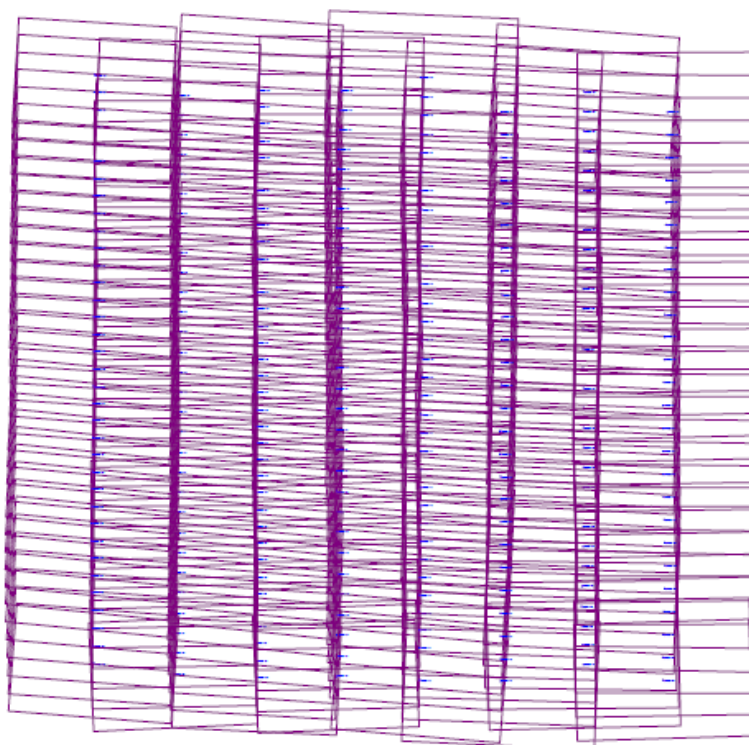


圖 6-89 鹿港地區測試用航高 1000 公尺 UAV 航拍影像分布狀況

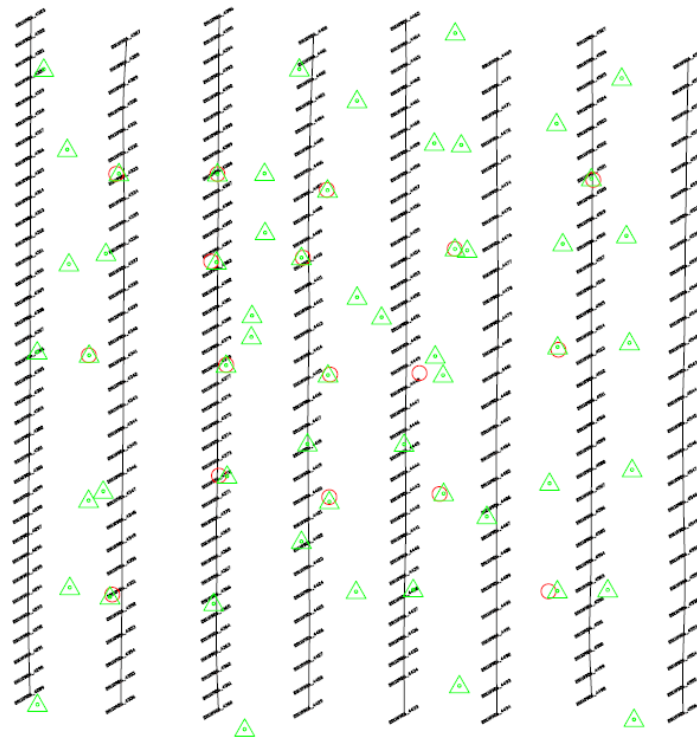


圖 6-90 測試區 50 控制點(△)與 8 個檢核點(○)分布圖示

以 LPS 模組輸入所記錄經內插所得之外方位參數近似值資料進入 ORIMA 進行空三(詳 6.2.2 節)，圖 6-91 為自由網自率光束法空三平差除錯結果畫面，圖 6-92 是加入控制點進行自率光束法空三平差解算畫面。

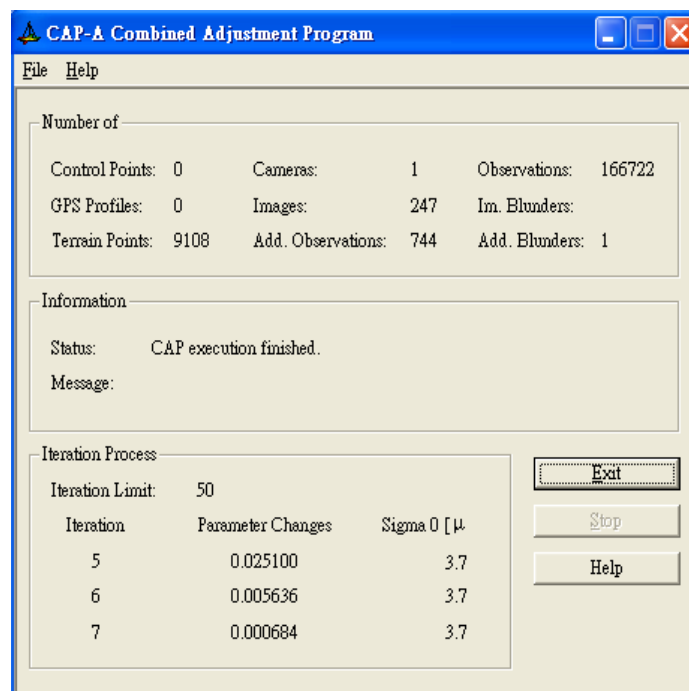


圖 6-91 自由網的自率光束法空三平差結果

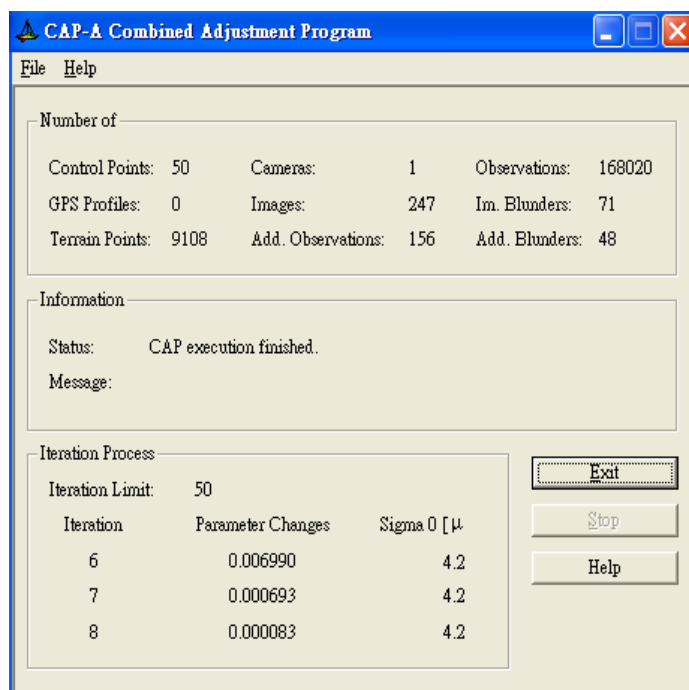


圖 6-92 自率光束法的空三平差結果

圖 6-93 和圖 6-94 顯示整個試驗過程試驗區資料以 ORIMA 執行空三平差計算時連結點、控制點分布情形以及網形狀況。自率光束法空三平差控制點與檢核點各方向之均方根誤差見表 6-24。與 97 年度「探測感應器測繪平台架構規劃暨應用作業案」比較(見表 6-24)，檢核點平面精度比航高 1200 公尺航拍影像空三成果平面精度 0.48 公尺較佳；與航高 900 公尺航拍影像空三成果平面精度 0.33 公尺相當；高程精度 0.22 公尺均比較航高 1200 公尺空三之 0.41 公尺與 900 公尺航高空三精度 0.42 公尺均較佳。

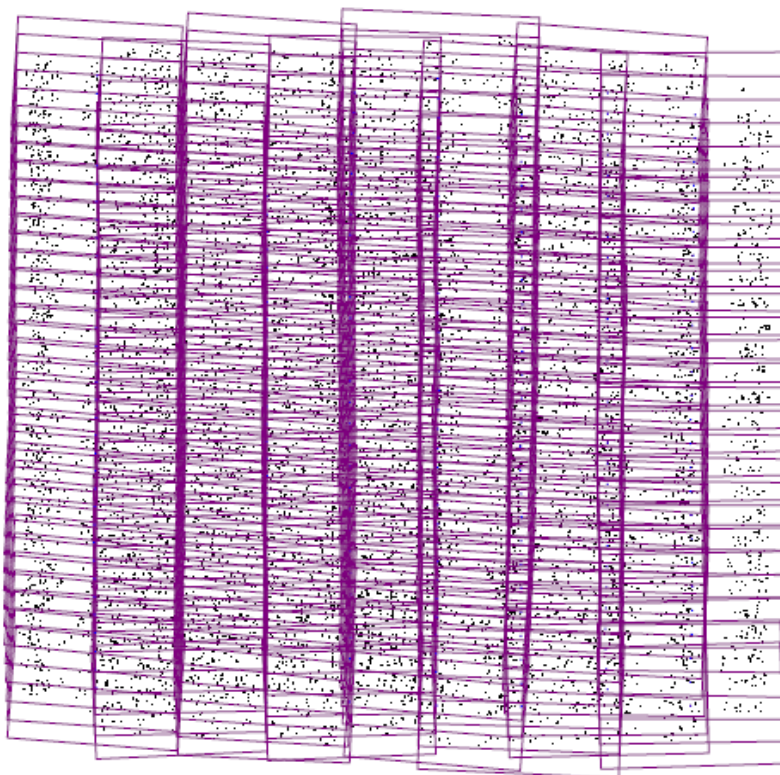


圖 6-93 自率光束法空三平差連結點分布概略圖

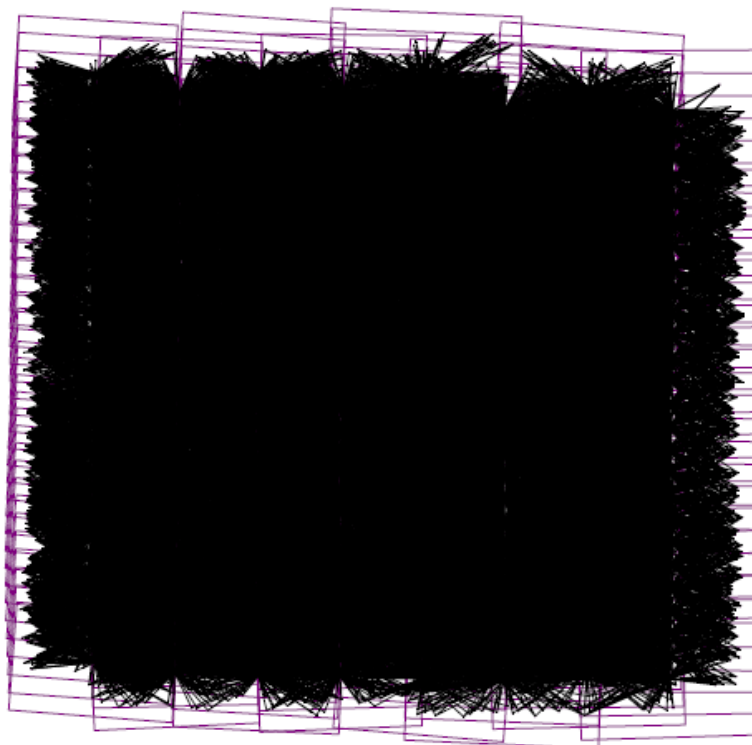


圖 6-94 自率光束法空三平差網形圖

表 6-24 航高 1000 公尺自率光束法空三平差結果與 97 年計畫案比較表

97 年計畫案	Parameter	X(公尺)	Y(公尺)	Z(公尺)	XY(公尺)
航高 1200 公尺	RMS Control	0.346	0.261	0.472	0.44
	RMS Check	0.361	0.311	0.414	0.48
	GSD：26 公分、自由網 Sigma：1.5 um、固定網 Sigma：1.6 um				
	Parameter	X(公尺)	Y(公尺)	Z(公尺)	XY(公尺)
航高 900 公尺	RMS Control	0.221	0.188	0.054	0.29
	RMS Check	0.220	0.240	0.418	0.33
	GSD：19 公分、自由網 Sigma：1.6 um、固定網 Sigma：1.8 um				
本案		X(公尺)	Y(公尺)	Z(公尺)	XY(公尺)
航高 1000 公尺	控制點 RMSE (50)	0.21	0.12	0.18	0.24
	檢核點 RMSE (8)	0.34	0.11	0.22	0.35
	GSD：26 公分、自由網 Sigma：3.7um 固定網 Sigma：4.2 um				

完成航拍影像自率光束法平差之後依據測試程序，得到 5 公尺\*5 公尺網格的 DTM 如下圖。此時影像的內外方位參數採用輸入經自率光束法空三平差所得的相機參數和外方位元素。接著將 Match-T 匹配之 DTM(\*.las)以 ERDAS 的 Terrain Prep Tool 轉成 img 檔，再匯入 LPS，產生正射影像，並進行鑲嵌。試驗設定影像解析度 25 公分，得到如圖 6-96 經色彩調整的正射影像。為檢核正射鑲嵌圖的幾何精度，選取均勻分布的 12 個檢核點(如圖 6-97)進行檢核，得到如表 6-25 的精度檢核表。X 方向 RMSE 為 0.18 公尺，Y 方向 RMSE 為 0.16 公尺與 97 年度「探測感應器測繪平台架構規劃暨應用作業案」相關成果精度(見表 6-25)均來的佳。



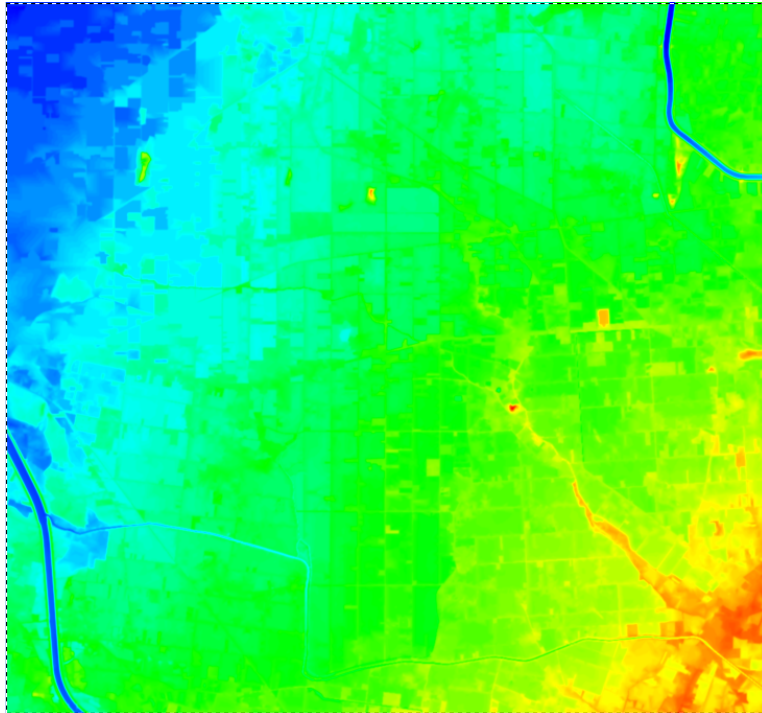


圖 6-95 Cell Size 5 公尺之 DTM



圖 6-96 Grid Size 5 公尺 DTM、Cell Size 25 公分正射鑲嵌圖

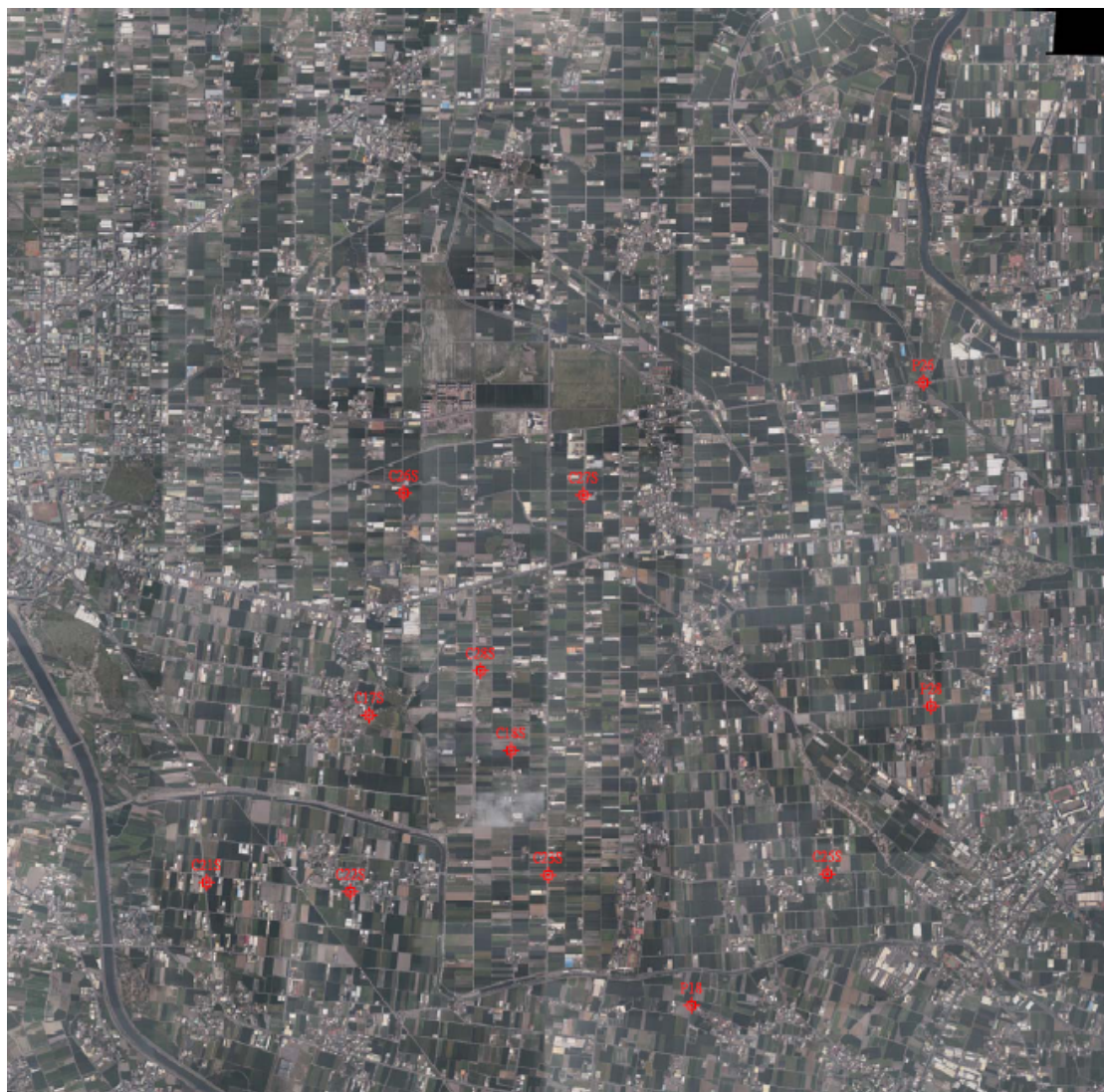


圖 6-97 正射鑲嵌檢核點分布圖

表 6-25 正射鑲嵌圖的幾何精度精度檢核表與 97 年計畫案比較表

	項目	X(公尺)	Y(公尺)	XY(公尺)
97 年計畫案	1200m 定翼型 UAV 正射影像	0.39	0.32	0.51
	900m 定翼型 UAV 正射影像	0.39	0.35	0.52
	600m 定翼型 UAV 正射影像	0.35	0.32	0.47
本案 (DTM Grid Size 5m Cell Size 25 公 分)	1000m 定翼型 UAV 正射影像	0.18	0.16	0.24

#### 6.2.4.2 阿里山測試區

阿里山試驗區位置分布如圖 6-98 所示，範圍約 4.7 公里\* 3.3 公里範圍，地表平均高程約 2210 公尺。試驗過程中以製作五千分之一地形圖時完成空三平差的航拍影像資料進行立體模型量測，獲取地面控制點與地面檢核點。

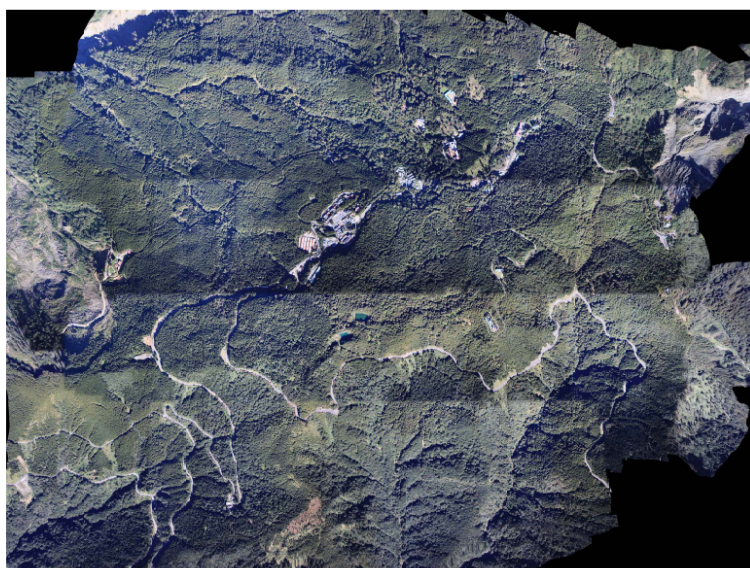


圖 6-98 UAV 航拍影像阿里山測試區域範圍示意圖

##### 6.2.4.2.1 500公尺航拍影像測試結果

航高500公尺之拍影像於100年11月29日航拍取得。航拍時使用焦距約24mm的Canon EOS 5DII數位像機。航拍航高約500公尺，前後重疊約80%，左右重疊約40%，測試資料共3條航帶，取像116張(分布狀況如圖6-99)，地面解析力GSD約15公分。試驗過程空三平差採用22地面控制點，5個地面檢核點(分布狀況如圖6-100)。

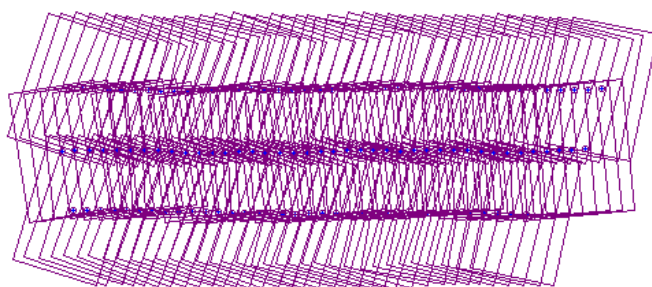
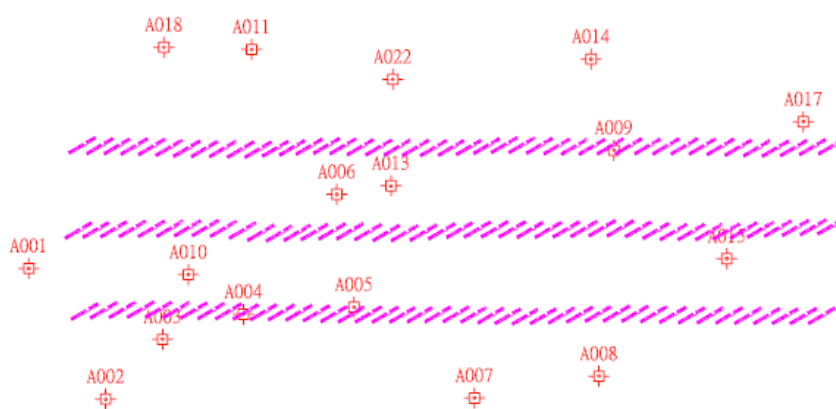


圖 6-99 測試用 UAV 航拍影像分布圖



(a) 控制點分布圖



(b) 檢核點分布圖

圖 6-100 測試區控制點與檢核點分布圖示

圖 6-101 和圖 6-102 顯示整個試驗過程試驗區資料以 ORIMA 執行自率光束法空三平差計算時連結點、控制點分布情形以及網形狀況。圖 6-103 則顯示自率光束法空三平差結果。自率光束法空三平差控制點與檢核點各方向均方根誤差見表 6-26。97 年度「探測感應器測繪平台架構規劃暨應用作業案」並無山地測試區相關成果精度，因此無法比較。

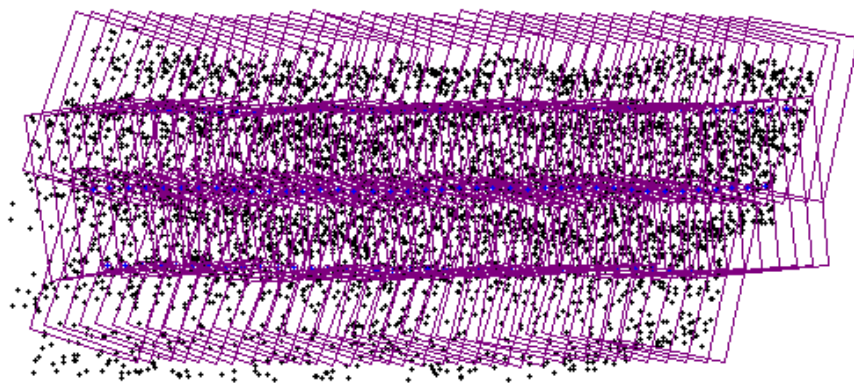


圖 6-101 自率光束法空三平差連結點分布概略圖

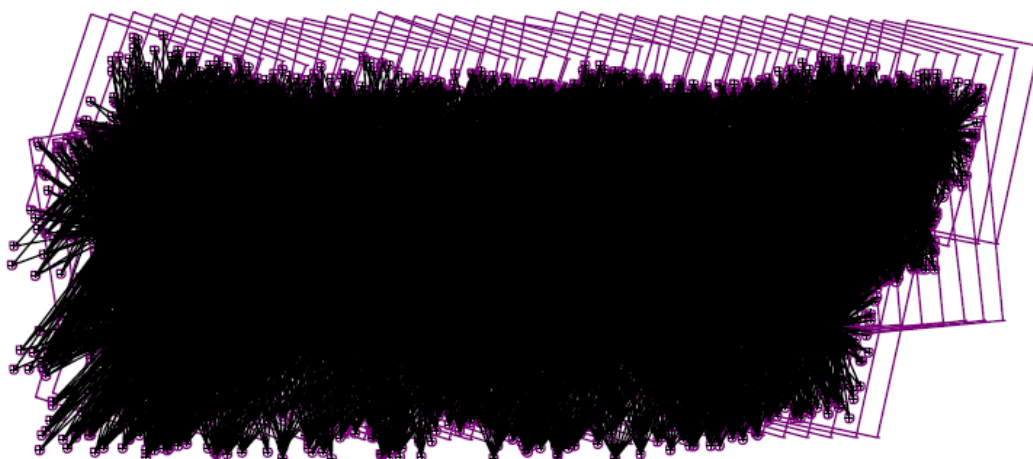


圖 6-102 自率光束法空三平差網形圖

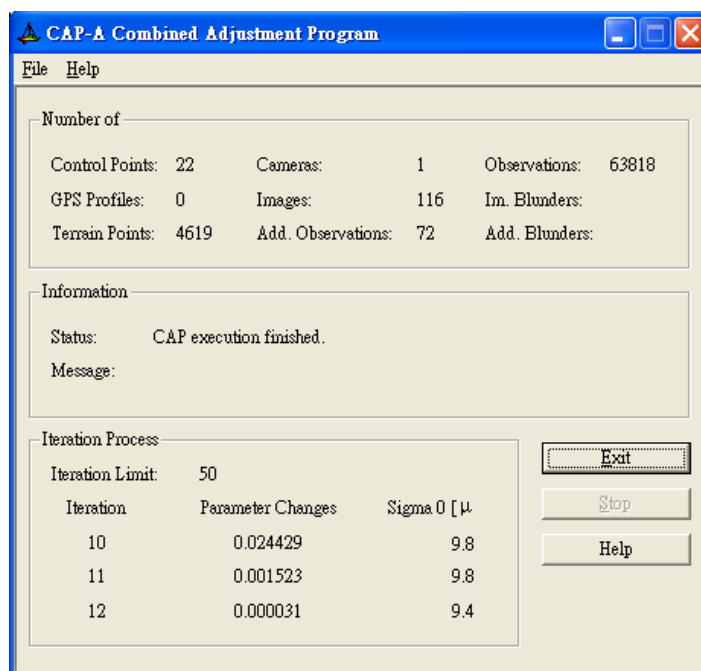


圖 6-103 自率光束法的空三平差結果

表 6-26 航高 500 公尺自率光束法空三平差結果表

	X(公尺)	Y(公尺)	Z(公尺)	XY(公尺)
控制點 RMSE (22)	0.33	0.18	0.48	0.38
檢核點 RMSE (5)	<b>0.48</b>	<b>0.45</b>	<b>0.94</b>	<b>0.66</b>
GSD : 26 公分                      控制點固定網 Sigma : 9.4 um				

以 ORIMA 執行完自率光束法空三平差後，以 Applications Master 的 MATCH-T DTM，設定 Region Type 及 Grid Size 後，自動匹配產生 5 公尺\*5 公尺 DTM (見圖 6-104)。

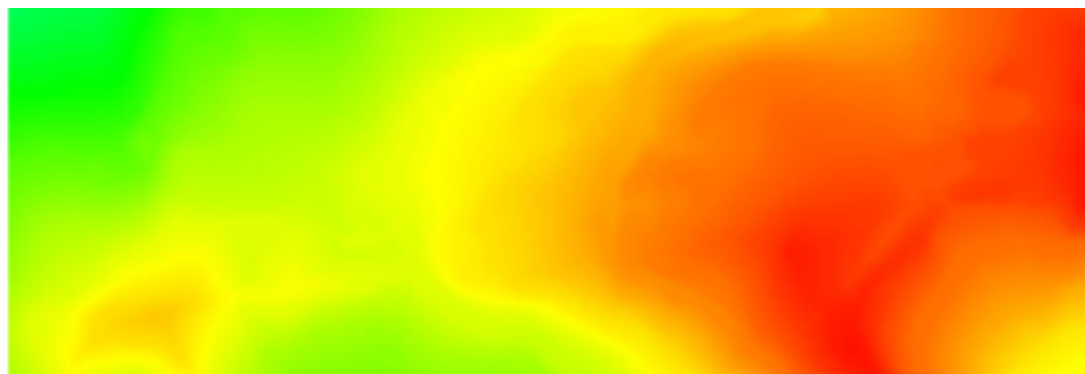


圖 6-104 自動匹配 5 公尺\*5 公尺的 DTM

將 Match-T 匹配之 DTM(\*.las)以 ERDAS 的 Terrain Prep Tool 轉成 img 檔，再匯入 LPS 模組，開啟 Ortho Resampling 功能並設定 Output Cell Sizes 50 公分產生正射影像，並以 Mosaic Tool 進行鑲嵌。圖 6-105 是 Grid Size 5 公尺、Cell Size 為 50 公分的幾何正射糾正鑲嵌圖。選取均勻分布的 5 個檢核點(如圖 6-106)進行檢核，得到如表 6-27 的精度檢核表。X 方向 RMSE 為 0.53 公尺，Y 方向 RMSE 為 0.96 公尺。97 年度「探測感應器測繪平台架構規劃暨應用作業案」並無山區試驗區相關成果，因此無法比較，但本試驗區正射平面精度尚符合『彩色正射影像鑲嵌圖製作規範（草案）』。



圖 6-105 DTM Grid Size 5m Grid Size 50 公分的幾何正射糾正鑲嵌圖



圖 6-106 正射鑲嵌檢核點分布圖

表 6-27 正射鑲嵌圖的幾何精度檢核表

DTM Grid Size	正射影像 Cell Size	X 方向之 RMSE	Y 方向之 RMSE	XY RMSE
5 公尺	50 公分	0.53	0.96	1.10



#### 6.2.4.2.2 1000公尺航拍影像測試結果

航高1000公尺之拍影像於100年11月29日航拍取得。測試資料共4條航帶，取像95張(分布狀況如圖6-107)，地面解析力GSD約30公分。試驗過程空三平差採用25地面控制點，7個地面檢核點(分布狀況如圖6-107)。

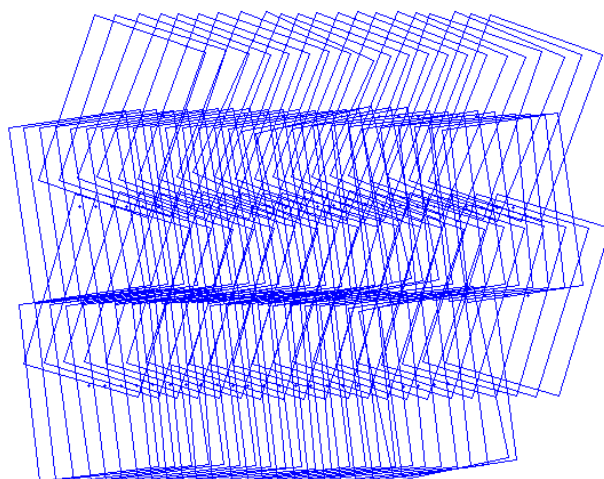
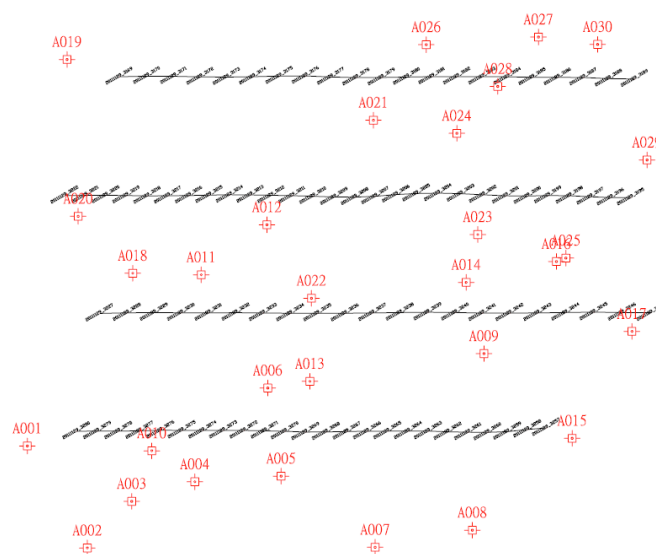
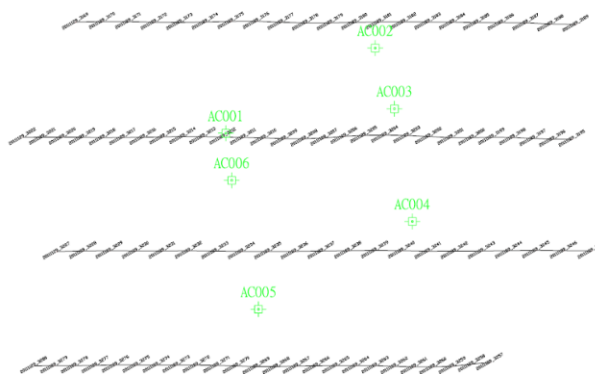


圖 6-107 測試用 UAV 航拍影像分布圖



(a) 控制點分布圖



(b) 檢核點分布圖

圖 6-108 測試區控制點與檢核點分布圖示

圖 6-109 和圖 6-110 顯示整個試驗過程試驗區資料以 ORIMA 執行自率光束法空三平差計算時連結點、控制點分布情形以及網形狀況。圖 6-111 則顯示自率光束法空三平差結果。自率光束法空三平差控制點與檢核點各方向之均方根誤差見表 6-28。97 年度「探測感應器測繪平台架構規劃暨應用作業案」並無山地測試區相關成果精度，因此無法比較。

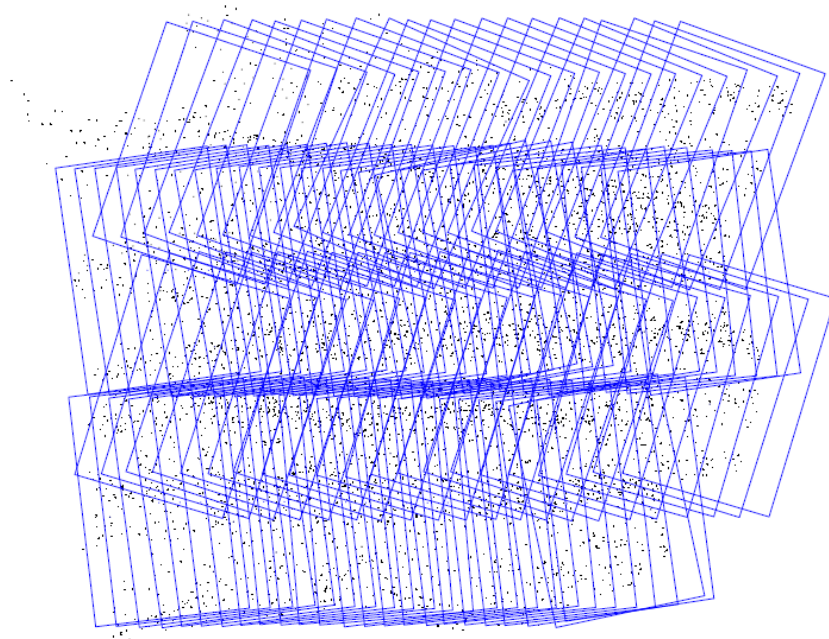


圖 6-109 自率光束法空三平差連結點分布概略圖

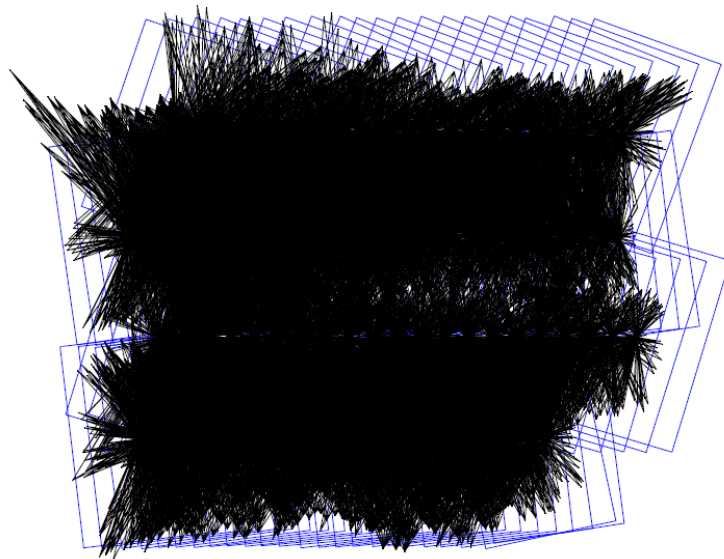


圖 6-110 自率光束法空三平差網形圖

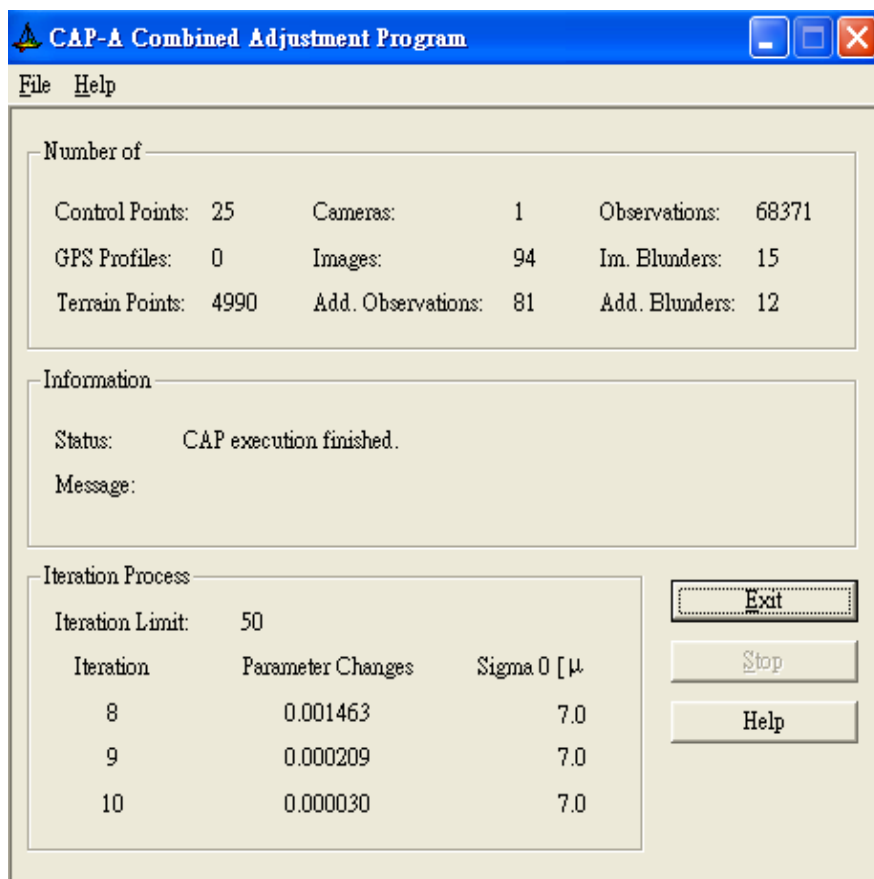


圖 6-111 自率光束法的空三平差結果

表 6-28 航高 1000 公尺自率光束法空三平差結果表

	X(公尺)	Y(公尺)	Z(公尺)	XY(公尺)
控制點 RMSE (25)	1.05	1.12	1.18	1.53
檢核點 RMSE (7)	<b>0.58</b>	1.04	0.95	1.19
GSD : 26 公分、自由網 Sigma : 6.8 um 控制點固定網 Sigma : 7.0 um				

以 ORIMA 執行完自率光束法空三平差後，以 Applications Master 的 MATCH-T DTM，設定 Region Type 及 Grid Size 後，自動匹配產生 5 公尺\*5 公尺 DTM (見圖 6-112)。

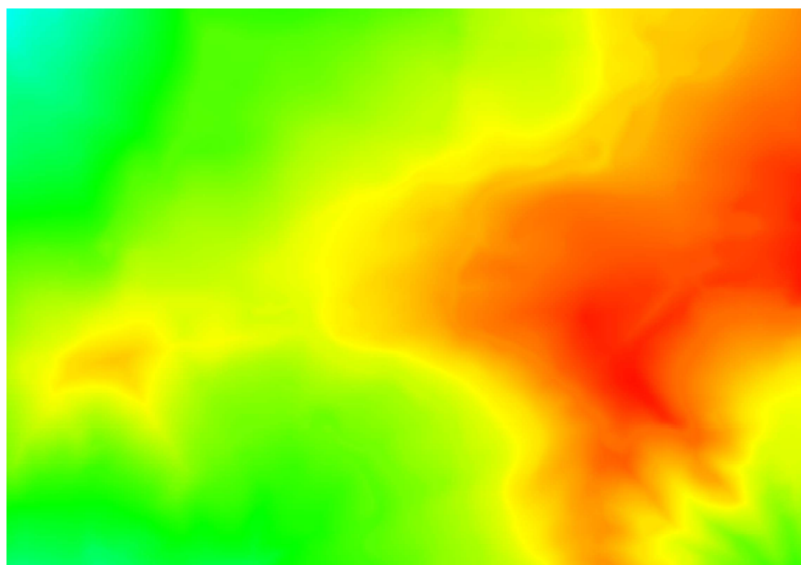


圖 6-112 自動匹配 5 公尺\*5 公尺的 DTM

將 Match-T 匹配之 DTM(\*.las)以 ERDAS 的 Terrain Prep Tool 轉成 img 檔,再匯入 LPS 模組,開啟 Ortho Resampling 功能並設定 Output Cell Sizes 50 公分產生正射影像,並以 Mosaic Tool 進行鑲嵌。圖 6-113 是 Grid Size 5 公尺、Cell Size 為 50 公分的幾何正射糾正鑲嵌圖。選取均勻分布的 7 個檢核點(如圖 6-114)進行檢核,得到如表 6-29 的精度檢核表。X 方向之 RMSE 為 0.60 公尺,Y 方向之 RMSE 0.71 公尺幾何精度的正射影像鑲嵌圖。97 年度「探測感應器測繪平台架構規劃暨應用作業案」並無山區試驗區相關成果,因此無法比較,但本試驗區正射平面精度尚符合『彩色正射影像鑲嵌圖製作規範(草案)』。

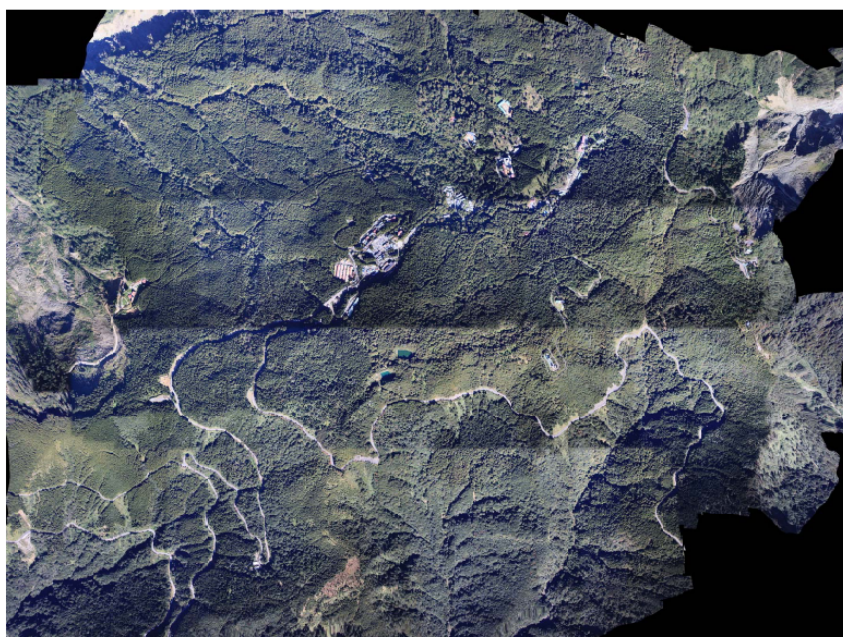


圖 6-113 DTM Grid Size 5 公尺 Grid Size 50 公分的幾何正射糾正鑲嵌圖

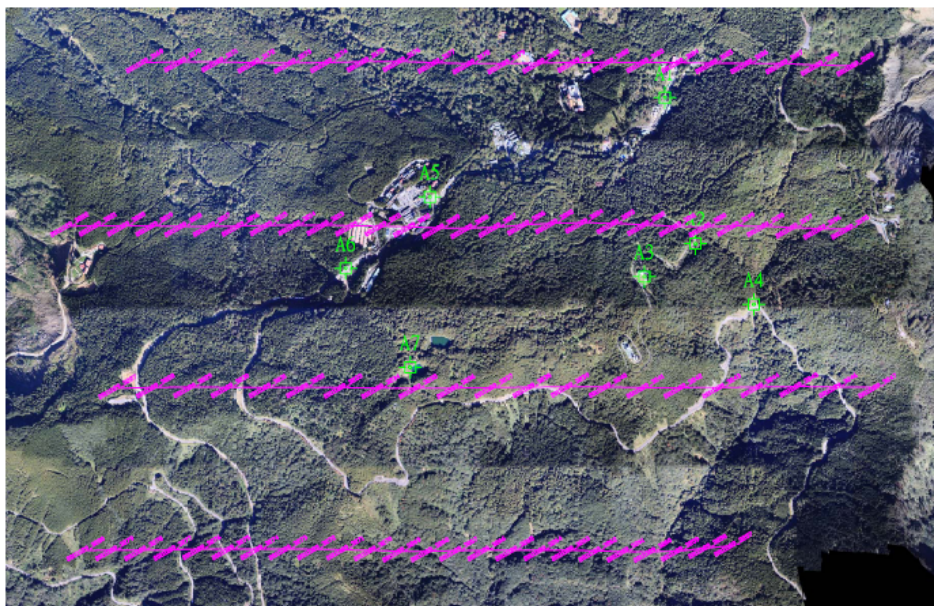


圖 6-114 正射鑲嵌檢核點分布圖

表 6-29 正射鑲嵌圖的幾何精度精度檢核表

DTM Grid Size	正射影像 Cell Size	X 方向之 RMSE	Y 方向之 RMSE	XY RMSE
5 公尺	50 公分	0.60	0.71	0.98

### 6.2.5 航拍測試之影像處理實驗結語

經模擬資料顯示目前 UAV 上所記錄之 GPS/IMU 精度對於山區輔助空三平差精度，檢核點平面精度約 1~2 公尺、高程精度 9~19 公尺(表 6-17)，對於製圖而言空三平差精度仍顯不足；模擬資料也證實提升 GPS 精度比提升 IMU 精度對於輔助空三平差精度更有效益，因此後續計畫可朝向 GPS 輔助空三進行實作。

而由鹿港平地測試區航高 500 公尺與 1000 公尺航拍影像處理實驗中，控制點與檢核點為 GPS 或 VRS-GPS 實測的佈標點或自然點，採自率光束法空三平差，其平差精度與 97 年度「探測感應器測繪平台架構規劃暨應用作業案」相關成果精度比較相當、甚至更佳；而不論航拍高度是 500 公尺或 1000 公尺之航拍影像經編修的 DEM 所產製之正射影像精度，其位置精度均在 0.25 公尺以內，對於推動後續計畫有相當助益。

由阿里山山地測區航高 500 公尺與 1000 公尺航拍影像處理實驗中，控制點與檢核點為製作五分之一地形圖時完成空三平差的航拍

影像資料進行立體模型量測而得之自然點，採自率光束法空三平差，航高500公尺航拍影像5個檢核點之位置精度0.66公尺、高程精度0.99公尺；航高1000公尺航拍影像7個檢核點之位置精度1.19公尺、高程精度0.95公尺；而經編修的DEM所產製之航高500公尺正射影像位置精度1.10公尺(5個檢核點)、航高1000公尺正射影像位置精度0.98公尺(5個檢核點)。由於97年度「探測感應器測繪平台架構規劃暨應用作業案」相關成果並無山區試驗區，因此無法比較，但是由本試驗區正射平面精度尚符合『彩色正射影像鑲嵌圖製作規範(草案)』，這對於推動後續計畫亦有相當助益。

此外，於山區空三平差實際作業中發現航高500公尺需花更多的人力進行作業，建議將來除非特殊需要，否則山區航拍測試之影像可朝航拍高度800公尺方式進行航拍。





## 第七章 定翼型無人飛行載具飛行安全機制

運用 UAV 執行航拍任務，因沒有作業人員於飛機上直接監控任務，如何確保任務之安全，為 UAV 作業重大課題之一。而影響 UAV 任務安全之因素敘述如下：

UAV 係由電腦自動控制飛行之飛行器，需克服當時環境之影響，諸如風力、陣風、溫度與因高度產生的空氣密度差異，才能取得良好之影像拍攝品質。因此不論是飛機機體本身或是飛控電腦本身，都需要具備合理之可靠度。一般飛行器之可靠度的評量方式為幾個飛行小時/失事，並以這個指標來衡量一架飛行器的可靠度。

本團隊執行任務達 600 次以上，累積飛行時數亦達 600 小時以上。任務包含海上、陸上、山區之各種監控與航拍任務。任務執行期間亦曾因機械故障、飛控電腦程式錯誤或飛行控制失誤等原因造成 UAV 之失事，並由錯誤經驗中累積提昇整體可靠度之方式。本章節將探討如何提昇定翼型 UAVS 任務可靠度之細節，茲說明如下，相關因應辦法整理如附錄 L。

1. 起降安全性
2. UAV 本體之可靠度
3. 飛控電腦強健性
4. 操作團隊任務經驗
5. 緊急狀態處理機制

### 7.1 UAVS 起降安全機制考量

UAVS 的任務最危險之階段為飛機起飛與降落階段，其中尤以降落階段為最容易發生狀況之階段。本案使用之 UAV 採取傳統之滾行起飛與輪式落地，相較於彈射起飛的機體高加速度與降落傘降落的落點不確定性，使用傳統方式進行起降的機體與酬載設備損傷會達到最小，落地的精確度最高，但其缺點是必須在任務區附近找到起降跑道。為了改善此一缺點，增加任務執行效率，本團隊依據之前的任務執行經驗擬定起降場地選擇標準，已經在全臺灣標定多個合格之起降

跑道可供使用。以本團隊執行阿里山任務為例，UAV 可以在彰化二水起飛，進入阿里山山區後再行歸航，此一基地的有效作業半徑可達 56 公里，亦可免除在緊急狀況時還需深入災區進行起降場找尋的問題。

若 UAV 進入完全無法控制之狀態，使用降落傘進行緊急降落應該是唯一之方法。為確保 UAVS 值勤之可靠性，除在一般保養時進行週期性檢查外，在擬定飛行任務的同時亦須事先選定緊急迫降點，並進行模擬演練。待真正有突發事件發生時，若是沒有事先的考量，僅進行開傘降落，亦有可能造成地面目標之危險。因此界定降落傘的使用與否或與使用時機，也是使用該技術需討論的課題之一。

下列將說明無人飛機不用跑道即可進行起飛與降落的方式，分別是彈射起飛與開傘降落方法分析介紹如下。

### (一) 彈射起飛

UAV 運用彈射起飛的例子多見於軍用 UAVS，其優勢在於不需要跑道就可讓飛機完成起飛。一般而言，要使用彈射起飛的飛機，需針對機體與酬載內裝進行強化，以避免在高加速度的起飛過程中，造成機體與酬載系統的損壞或是位移。

彈射的方式一般分成三種，一種為軌道式彈射，一種為載具輔助起飛，一種為火箭輔助起飛。以民生用途而言，軌道式彈射與載具輔助起飛因不需使用爆裂物，在運用上較為可行。彈射根據發射原理，可以分成：

- (1) 氣動彈射
- (2) 橡皮筋彈射
- (3) 載具輔助彈射
- (4) 火箭輔助起飛

氣動彈射的原理為利用高壓空氣加壓於氣動缸，使其拉動一系列的滑輪組，讓飛機可以在短距離內達到起飛速度，以完成起飛動作。這種設計的好處在於其作動力道強，可以彈射大型 UAV，缺點是設備較為笨重複雜。下圖 7-1 為美國海軍陸戰隊 ScanEagle UAV 所使用的氣動彈射架。



圖 7-1 美國海軍陸戰隊 ScanEagle UAV 彈射起飛

運用橡皮之拉伸位能作為彈射能量來源的優勢在於，不需要攜帶大型的壓縮空氣設備，因此在佈署上較為單純，但缺點在於橡皮筋拉伸產生的能量較小，因此需要較長的軌道來達成起飛速度。下圖7-2為西班牙AeroVision UAV 所採用之橡皮筋彈射系統。



圖 7-2 西班牙 AeroVision UAV

另外，尚有運用車輛進行起飛輔助之方法與火箭輔助起降方法。車輛輔助起降方法可用於沒有起降輪機構之UAV，如台灣曾用於研究颱風的無人飛行載具AeroSonde UAV（請參考下圖7-3）即是以此種方式進行起飛。火箭輔助起降方式常用於需要無跑道或是艦上起降之軍用UAV，如下圖7-4為以色列Hunter UAV。



圖 7-3 AeroSonde UAV



圖 7-4 Hunter UAV

大陸的航拍UAV也有採用彈射起飛，開傘降落的设计。主要的原因在於大部分拍攝區缺乏良好的道路鋪設，如柏油道路或是水泥道路，因此採用不需跑道的彈射起飛是合理的運用選擇。同時也因為缺乏平坦的降落場地，因此採用開傘降落也符合實際運用需求。

本案所使用的DoDo Pro UAV主要用於航拍拍攝使用，配合台灣特有之執行環境，設計為輪式起降方式。其優點在於在正常的起降狀態下，載具的使用壽命可以延長，其缺點在於若無法找到適當地起降跑道時，就無法執行任務。



圖 7-5 運用彈射起降之測量者一型 UAV（取自優酷網）

## （二）開傘降落

回收傘的主要原理是利用傘面面積來產生足夠的阻力，讓載具維持一個安全的垂直速度下降。若垂直速度可以控制在機體設計範圍內，理論上並不會受損。但若因為開傘後飛機被障礙物阻擋、或是降落時以不正常的姿態著陸，都容易造成載具的損失。

開傘降落主要用於三種情況，一為沒有跑道時降落方式、一為 UAV 原來就設計成傘降降落、一為緊急狀態時之迫降方式。一般使用開傘降落時，降落地點需要有開闊的場地，周圍避免障礙物，諸如高壓電塔、植物聚落、人工建築物等以免飛機被障礙物勾住。另一方面也需注意地面是否平整，防止飛機落地時因地面不平整而受損。

開傘降落的開傘高度決定了回收傘是否可以正常開啟並發揮功能，一般小型 UAV 所使用的圓形回收傘需在離地 100 公尺處開傘，以確保回收傘可以正常開啟。圓形回收傘並不具備控制功能，因此在進行開傘回收前需對該高層的風速與預期的降落地點進行評估，以避免降落點的不確定性，因而造成損失。

根據上述的要求，使用回收傘需要從機體設計、回收場地與天候三個層面來進行考量。以目前在台灣的執行環境來說，重量大於 20 公斤的 UAV 要在非軍事管制區找到適當地傘降著陸場地，可能就要從稻田或是大片的空地尋找，反而不如尋找適當地跑道來的方便。反觀大陸地區，因為地廣人稀，就適合開傘降落的配置。



圖 7-6 運用開傘降落之 40cc 靶機 (取自 5imx 網頁)

## 7.2 UAVS 作業安全機制考量

UAV 本體即 UAVS 之機構部分，包含飛機的外殼，各舵面之連桿，發動機（引擎）之性能與起落架之強度直接影響到飛機本身的控制性、剛性與重複使用性。本案中所採用之 UAV 係由複合材料打造之機體結構，在強度與剛性上面足夠提供一定之均一性，確保飛機在相同的狀態下進行拍攝任務。此外強化的舵面與連桿機構，也讓飛機的入場保養時間可以延長至每 50 個飛行小時回廠檢修一次。

飛控電腦除飛行控制與酬載拍攝外，尚須處理意外狀況，諸如發動機熄火、GPS 衛星定位訊號漏失、強陣風反應等。智飛科技之飛控電腦歷經 500 小時以上的實際任務驗證後，已可掌握實際可飛行氣候極限，因此可以在安全的前提下正確的行使任務。在另一方面，因為曾經有 GPS 定位訊號漏失之狀況發生，本案所提供之飛控電腦安裝有兩套之 GPS 衛星接收機，已防止該問題再次發生。

UAVS 的飛行安全除了依靠機具的可靠度外，操作人員的經驗亦屬重要關鍵之一，目前就現場人員之操作經驗與緊急應變程序，亦有編列標準訓練計畫與緊急事件處置表，避免人為之疏失產生。

UAV 在空中值勤，一旦發生問題無法像地面車輛一般，可停靠於

路邊等待救援，因此執行團隊需要在事先擬定相關的緊急處理程序，以因應可能發生的意外。

UAV 進行飛行任務時，最可能發生的問題可分為 UAV 系統問題與空域侵入問題，下面就上述兩點進行討論。

### (一) UAV 系統問題

UAV 在任務期間，主要由飛行電腦進行操作，地面控制人員經由無線電訊號監看 UAV 的飛行狀況與即時任務影像。如果 UAV 在任務中發生問題，地面人員需在第一時間進行問題排除，否則將會導致 UAV 故障，甚至墜毀的情勢。為避免操作人員無法在第一時間進行處理，必須擬定相關處理程序，本案中使用之 DoDo Pro UAVS 狀況處理建議表如表 7-1：

表 7-1 DoDo Pro UAVS 任務執行狀況處理建議表

UAVS 任務執行狀況處理建議程序		
狀況	可能原因	處理方式
GPS 衛星警示	鎖定衛星小於 4 顆	等待重新定位
GPS 鎖定警示	接收機未定位	等待重新定位
長時間不壓線飛行	Gyro 振動過大	召回 UAV，切回手動模式
UAV 未按應有軌跡飛行	導航端當機	切回 Manual，降落 UAV
UAV 不追點	GPS 接收異常	檢查 GPS 定位，若仍有異常召回 UAV
RC 電壓不足	RC 電壓不足	緊急召回 UAV
AP 電壓不足	AP 電壓不足	緊急召回 UAV 並切回 Manual 模式
RF 電壓不足	RF 電壓不足	估計回收時間，待 UAV 進入回收區後切回 Manual 模式
Gyro 振動過大	手動飛行振動過大	等待切入導航模式並觀察一段時間，若仍舊過高召回 UAV
Gyro 值卡在 9.21	Gyro 值卡在 9.21	Reset AP
RSSI_dbm 低於 -85	訊號強度不足	不建議傳送任何指令
RSSI_dbm 高於 -85 但無接收資料	Datalink modem 當機	Reset datalink modem
RCVB 警示	UAV 未接收到遙控器訊號	下指令讓 UAV 到回收點，確認遙控器所有狀況是否正常
影像接收不清晰	影像接收天線固定過低	將影像天線調至與天線座垂直

UAVS 任務執行狀況處理建議程序		
狀況	可能原因	處理方式
	天線接收方位不正	若軟體仰角顯示為"-":高度設定過高
		天線方位修正(Offset):-10~+10
天線無法自動追蹤	天線 Driver 燒毀	更換 Driver
	Driver 連接線斷裂	回去重新連接
	車頭方向與任務方向同向	
飛行器失控	UAV 系統故障	確認最後出現點，根據飛行軌跡研判可能失事地點，快速移動至該點進行回收與後續處理。
飛行器失控後無法尋回	UAV 系統故障	聯絡當地派出所
目標區空域過於繁忙	當天氣候良好	考慮停止執行該次任務
現場干擾太多	外力影響地面人員進行操作	召回 UAV，並立即停止執行該次任務
油料不足	因特殊原因造成載具滯空時間過長	考慮緊急迫降

目前 UAV 值勤時，除現場 IP 可以立即進行載具的監控外，本案也同時導入遠端即時監看功能。遠端監看除了可以提供即時的飛行動態外，另外也輸出到 Google Earth 圖台進行三維的動態顯示（請參考圖 7-7）。



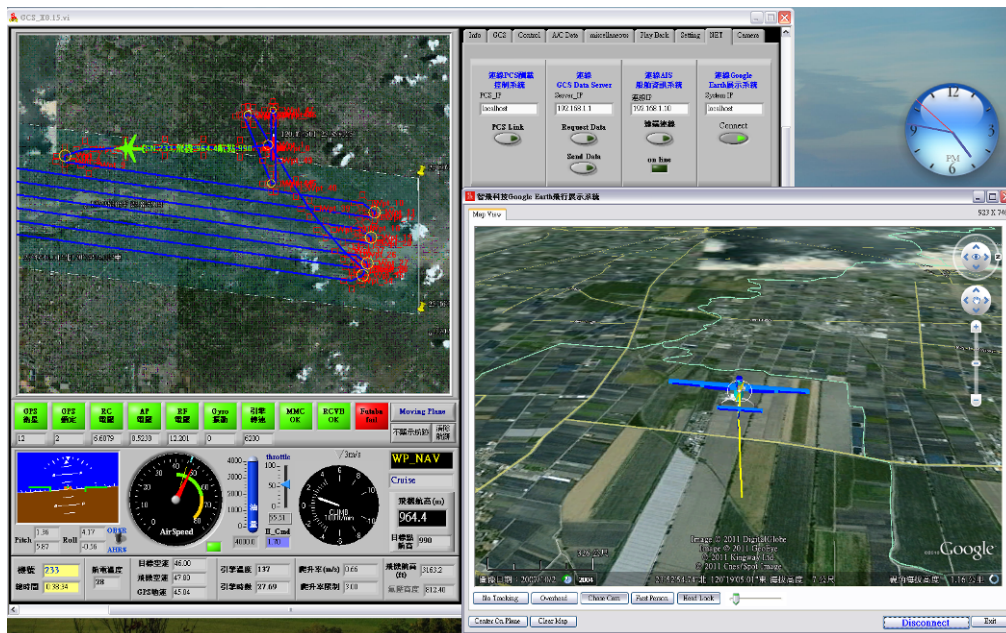


圖 7-7 UAV 遠端監控軟體界面

導入遠端即時監控的優勢在於(1)除 IP 本身進行載具的任務監控外,有一名或是多名人員同時進行監控可以增加任務的安全性。(2)可以遠端多人同時進行任務監控,省去舟車勞頓,提昇任務執行效率。(3)任務紀錄可以透過該系統進行回放,可以用於進行各種任務解說或是後續資料分析。

## (二) 空域侵入問題

為確保 UAV 值勤的合法性與安全性,目前的每次任務皆有申請飛行空域,以維護載人飛行器的飛行安全。除現場人員持續的監聽目視航道無線電頻率外,派駐於塔台的聯絡人員也需持續的與現場作業人員進行聯繫。

雖然有上述的程序確保 UAV 的飛行安全,但載人飛行器仍有可能在不知情的狀況下飛入作業空域,因現場作業人員無法直接聯絡該飛行載具,此時的建議作法如下:

1. 確認該機機型與可能前進路徑。
2. 聯絡塔台或近場台,請航管人員儘速通知在該範圍內的作業載具注意與迴避,並同時報請入侵航機回報當時作業之海拔高度(MSL)。
3. 若可目視確認入侵航機的高度,需視情況調整 UAV 的作業高度。

4. 若無法確認入侵航機的作業高度，則維持目前作業高度。
5. 若該區域之活動過於頻繁，建議放棄該時段任務，因航管作業皆是以載人飛行器為優先。

### 7.3 UAVS 作業事故報告與後續檢討改善措施

本案於 100 年 10 月 28 日進行 UAV 飛行性能測試，主要目的在於測試 UAV 於海拔高度 3100 公尺長時間飛行時之飛行性能與相機酬載是否仍可以正常運作。飛行任務於當天 12:00 開始執行，並於 14:30 完成任務。UAV 完成任務高度測試時欲返回起降場降落時，因空域繁忙，航管人員指示 UAV 需於濁水溪上空盤旋等待進場指示。UAV 於盤旋等待期間因燃油耗盡，被迫降落於濁水溪北岸之產業道路上。迫降時因地形因素，造成機身斷裂，除此之外現場無任何人員與財物之損失。詳細之失事報告請參考附錄 Q，失事時間表列請參考表 7-2。

表 7-2 事故時間表列

時間	UAV 狀態	事件說明
09:00	預定起飛時間	因空域內有直昇機作業與火砲射擊作業致起飛時間延後
12:30	引擎啟動	航管允許起飛
12:32	UAV 起飛	
12:48	3900 英尺高度盤旋	等待航管放行
12:50		航管許可，開始爬升
13:13	到達 1 萬英尺作業區	
14:00	於任務區、剩 10 圈完成任務	IP 詢問 MD 是否可以提前結束，MD 認為不需要
14:15	高度 1 萬英尺	完成 1 萬英尺，1 小時飛行測試
14:30	降至 3900 英尺	等待航管放行
14:33	飛機因燃油耗盡而熄火	現場與遠端通訊中斷
14:34		現場與遠端通訊恢復
14:35	高度 1800 英尺	IP 重新掌握 UAV
14:36	高度 1200 英尺	IP 重新設定航線
14:36		IP 設定迫降航線
14:39	高度 150 英尺	往後無通訊



圖 7-8 UAV 迫降現場照片

檢討本次失事原因分析為當地空中交通過於繁忙與燃油消耗高於預估兩大因素。

本次飛行之油耗估計資訊來自 100 年 1 月份阿里山保固飛行，該次飛行任務一開始加入 4000cc 之燃油，以平均空速 57 海里速度飛行 120 分最後還剩餘 900cc 油料，平均油耗約為 26cc/分鐘。比較本年度 9 月 26 日鹿港測試資料，飛行總時間 124 分鐘，消耗燃油 4000cc，油耗 32.26 cc/分鐘。其中時速 60 海里巡航計 31 分鐘, 63 海里計 41 分鐘, 69 海里計 52 分鐘，而此次飛行在以平均 55 海里速度於 3000 公尺飛行之油耗為 33cc/分鐘，顯然遠超過此一估計值。

當時 IP 曾向 MD 反應是否可讓飛機提早 20 分鐘降落，但 MD 認為飛機應該還有油料，可依原訂計畫在 3000 公尺飛完剩下航程，GCS 監控軟體以油耗 26cc/分鐘計算，推估飛機應還有 1000cc 燃油，因此請 IP 讓飛機繼續飛完原本的計畫，最後因空域管制因素於濁水溪河床上空盤旋等待進場指示時，因燃油耗盡造成緊急迫降的結果，飛行計畫修改前後之差異請見圖 7-9、圖 7-10，表 7-3、表 7-4。

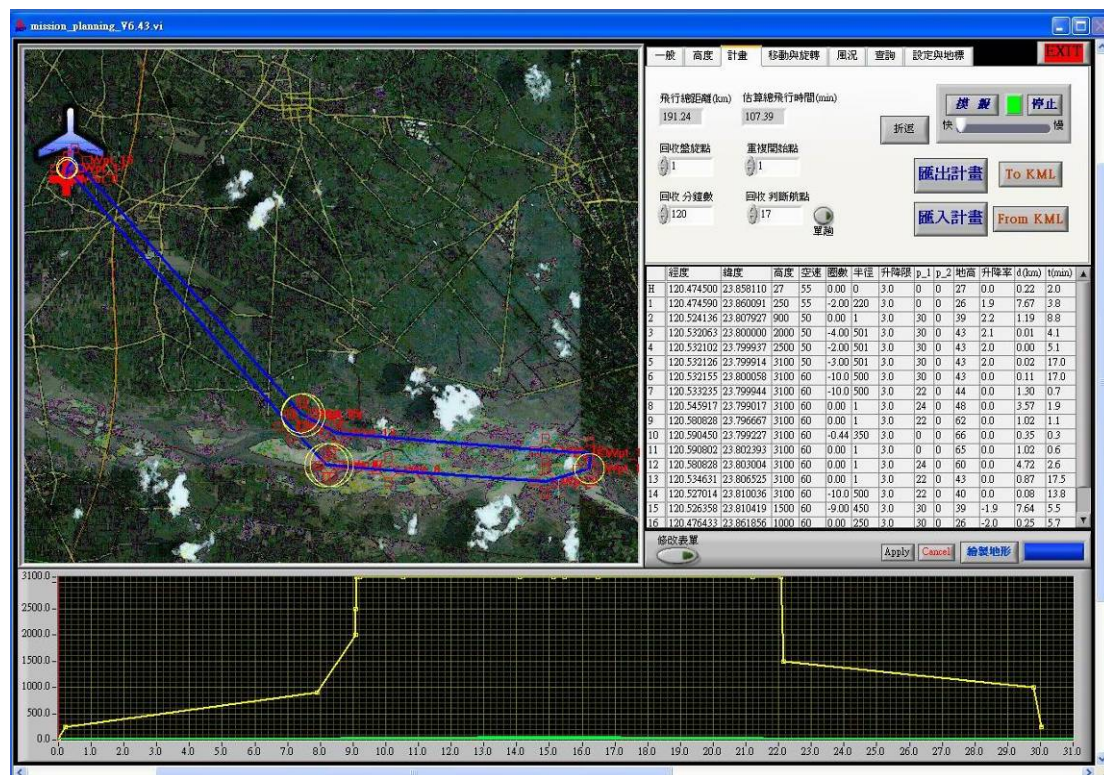


圖 7-9 原始測試飛行計畫飛行路線

表 7-3 原始測試飛行計畫飛行路線數據

項目	數值	說明
飛行總距離	191.24 公里	
估算飛行時間	107.39 分鐘	估計安全飛行總時間為 120 分鐘

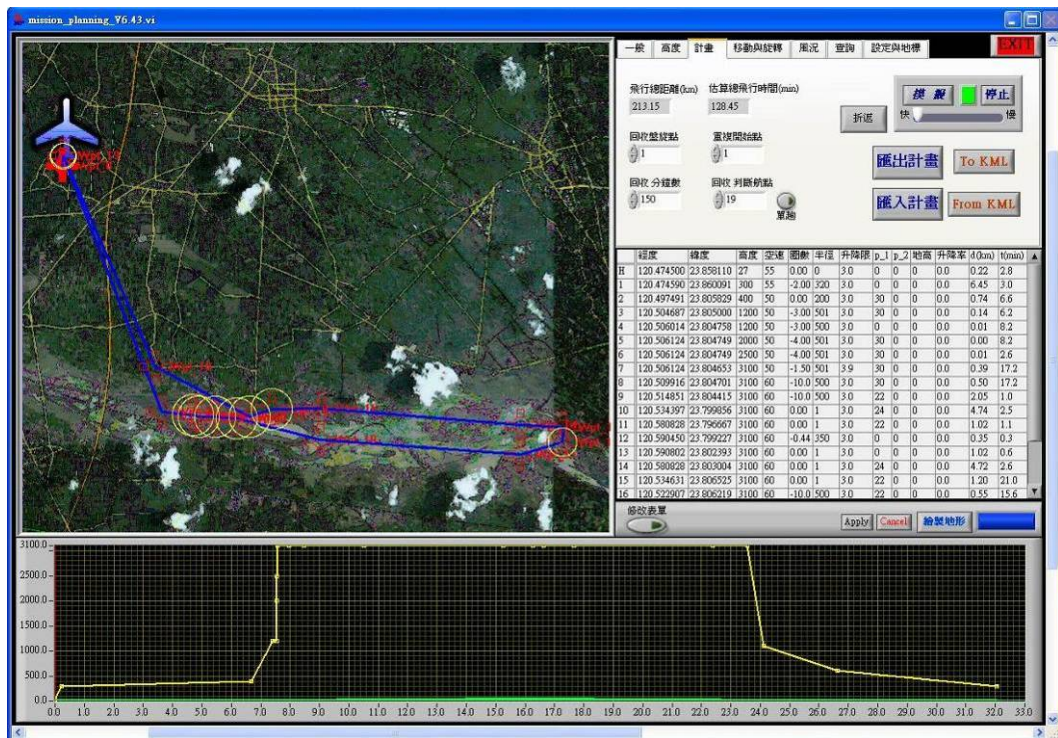


圖 7-10 修改後測試飛行計畫飛行路線

表 7-4 修改後測試飛行計畫飛行路線數據

項目	數值	說明
飛行總距離	213.15 公里	較原本之計畫多出 21.91 公里
估算飛行時間	128.45 分鐘	較原本之飛行計畫多出 21.06 分鐘

原規劃 UAV 在最後的 20 分鐘飛回起降場上空海拔高 3100 公尺處盤旋下降，因航管不允許而被迫在濁水溪上空待命，若在起降場上空自海拔高 3100 公尺盤旋下降，在 UAV 引擎熄火時尚有反應時間。本事件後續檢討結論與改進措施如下：

- a. 更新油量監控方式，並根據測試資料進行監控參數的調整
- b. 若當日飛行空域空中交通過度繁忙，建議可以放棄該次任務
- c. 飛行任務設定時，需預先選定緊急迫降點，確保第三人安全

## 7.4 安全性考量小結

UAV 的作業安全是由許多的環節串連而成，除了 UAV 系統本身的可靠度外，作業人員也需要遵守作業流程，並定期的進行機體的維護以確保任務的執行安全。本章節就起飛、作業、降落階段所需注意的事項與可能的起降替代方案進行探討，作為後續執行任務或設計系統時的參考。

在本年度的專案執行過程中，因油料用盡的因素導致 UAV 迫降，所幸因正確的操作而沒有產生人員與第三人財產的損失。整起事件的肇因與後續的改進處理方式，也是提昇作業安全的過程之一。藉由這種修正循環，制定出更周全的 UAV 任務執行標準作業程序，才是安全作業的關鍵。

## 第八章 航拍影像處理系統規劃

### 8.1 系統需求分析

#### 8.1.1 系統需求分析

本計畫的工作項目之一為規劃一適用於無人飛行載具系統之「航拍影像處理系統」，依據100年6月7日之需求訪談會議結論及歷次工作會議討論，獲致「航拍影像處理系統」之需求描述如下：

1. 本系統之影像處理流程發展將以中心現有軟體（ERDAS LPS及MATCH-T）為基礎，進行規劃設計。
2. 本系統流程應盡可能簡化，且容易使用。
3. 本系統需針對原軟體功能不足之處進行擴充。
4. 本系統應針對防救災相關應用提出一處理流程。
5. 本系統需有快速進行影像拼接之功能。
6. 本系統需有產生正射影像之功能。
7. 本系統需有立體製圖之功能。

#### 8.1.2 現況分析

本計畫依據上述需求1，首先調查並分析目前國土測繪中心與本團隊所使用之軟體說明如下：

在UAVS任務規劃方面，配合本計畫之無人飛行載具各項標準作業程序及任務執行方式，已由智飛科技有限公司發展一系列UAVS任務規劃軟體，如表8-1所示。其中在航拍計畫方面，係先利用Easy Planner（即航拍計畫計算機）擬定航拍區之航帶飛行計畫，再透過UAV-MP軟體編修為一完整飛行任務計畫，最後透過Google Earth檢視整個預畫航線以確證飛行路線的安全性，如圖8-1所示。

在影像處理方面，經訪查國土測繪中心目前已有2套數位航測影像工作站硬體設備，軟體設備則有ERDAS LPS Core、LPS ORIMA、LPS Stereo 及2套 INPHO MATCH-T DSM軟體，如表8-2所示。其中

ERDAS LPS Core可用來處理UAVS航拍影像之內方位解算、自率光束區域法空中三角計算、及產生正射影像等；ERDAS ORIMA軟體則在空中三角計算上提供較佳的視覺化介面及強健(Robust)的偵錯工具，因此可以用來提昇UAVS航拍影像之空中三角解算精度；LPS Stereo則為 LPS 之外掛程式，搭配數位航測影像工作站，可進行地形及地物之立體測繪工作，在本計畫中可用來進行相關圖資之更新作業。而INPHO MATCH-T DSM則用來進行數值覆蓋面模型(Digital Surface Model, DSM)或數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM)之製作及編修。

表 8-1 UAVS 任務規劃軟體一覽表

軟體名稱	說明	使用程式語言
UAV-MP (Mission Planner)	無人飛行載具航線規劃軟體	NI LabView，智飛科技自行研發
GCS v8.7	無人飛行載具監控軟體	NI LabView，智飛科技自行研發
Easy Planner	空拍航線規劃軟體	VB，智飛科技自行研發
Mission Debriefing	飛行精度與航跡解算軟體	Matlab，智飛科技自行研發
Google Earth	高程參考用圖台	Google Earth

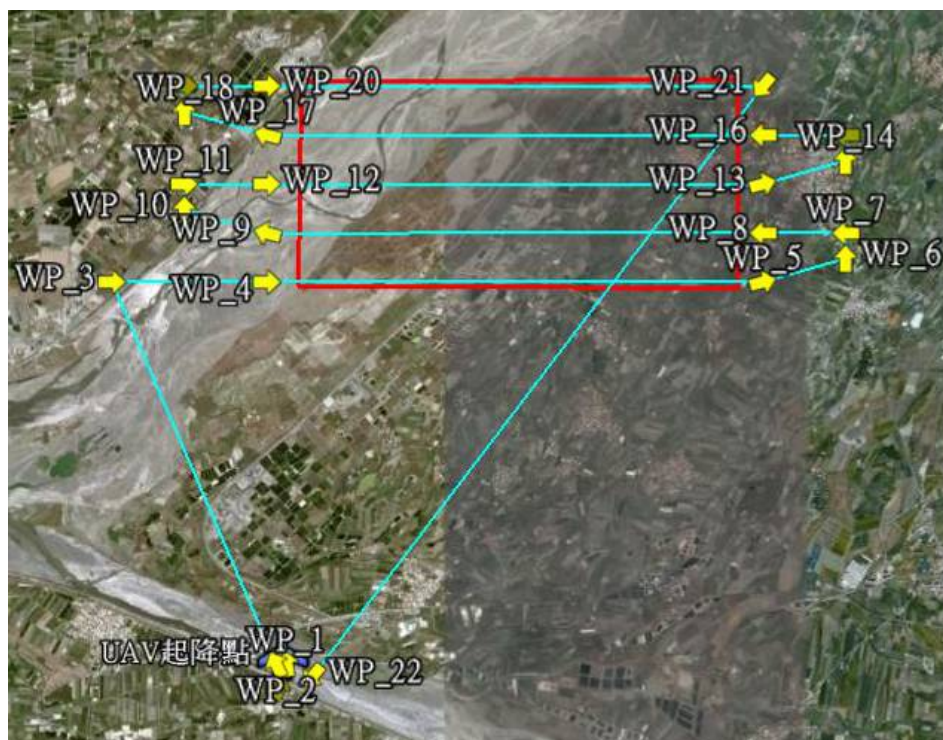


圖 8-1 飛行計畫與航拍目標區(紅框)之比對



表 8-2 中心現有影像處理軟硬體設備(內政部國土測繪中心，2010)

設備	名稱	說明
硬體	高階繪圖伺服器工作站	因影像資料量龐大，需特定圖形顯示卡及伺服器等級電腦，方能加快影像處理效率。
	三維立體螢幕	用於立體觀測製圖。
	三維滑鼠	用於等高線、地物測繪製圖等處理。
	測圖輸入板	可建立常用圖式規格，便於地物測繪時使用。
軟體	ERDAS LPS Core	LPS 為影像處理及攝影測量提供了高精度及高效能的生產工具，其可以處理航空影像、衛星影像或近景影像等不同感測器之定向及空中三角解算及加密，同時可以產生DTM及正射影像。
	ERDAS ORIMA	ORIMA為ERDAS的外掛程式，其在空中三角解算方面提供更穩健的偵錯及視覺化工具，可以產生較佳的空中三角解算精度。
	ERDAS LPS Stereo	LPS Stereo為 LPS 之外掛程式，搭配數位航測影像工作站，可進行地形及地物之立體測繪工作。
	INPHO MATCH-T DSM	MATCH-T DSM 為一自動萃取地形資訊之軟體，可以自動匹配產生DSM或DTM資料。

本系統之影像處理流程發展需以國土測繪中心及本團隊現有軟體進行規劃設計，由於各軟體之間無論是在資料格式或資料處理流程上，皆具有其差異性，因此必須建立一致的資料處理流程及介面，並設計適當的資料格式，以利於各軟體之間進行資訊傳遞，達到使用者無縫使用本系統之目的。

## 8.2 航拍影像處理系統整體架構

根據8.1節之系統功能需求分析，本系統將分成四個子系統，分別為「航拍任務規劃子系統」、「快速正射及鑲嵌子系統」、「災害判釋分析子系統」、以及「圖資更新子系統」等，如圖8-2所示。每一個子系統又分別由許多軟體組件(Computer Software Component, CSC)或軟體單元(Computer Software Unit, CSU)所組成，本章各小節將分別敘述各子系統所對應之工作流程，並利用UML中之使用案例圖(Use Case Diagram) 描述系統功能，以及系統與使用者之互動關係。

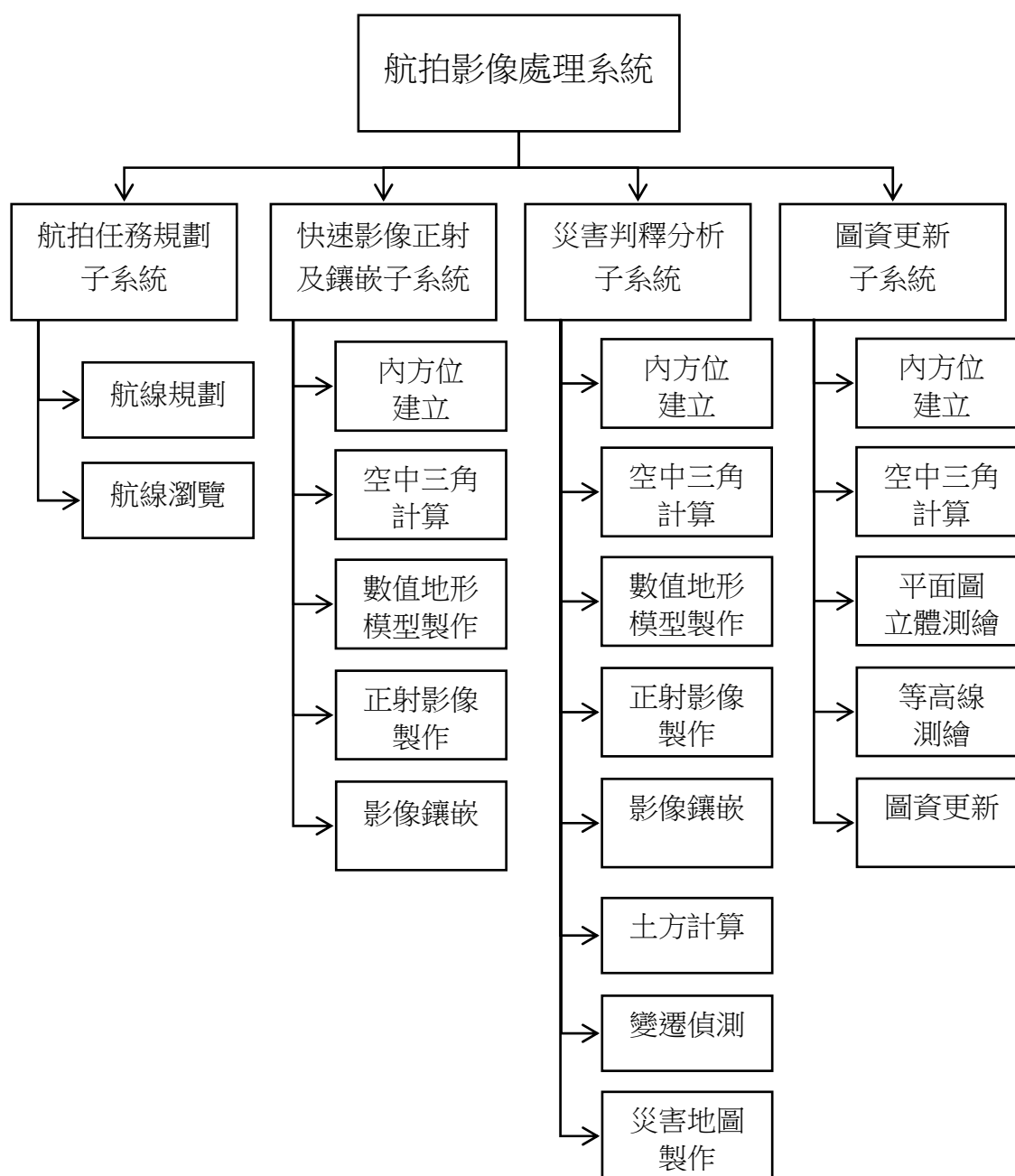


圖 8-2 航拍影像處理系統架構圖

### 8.2.1 航拍任務規劃子系統

圖8-3為UAVS航拍任務規劃作業流程圖。

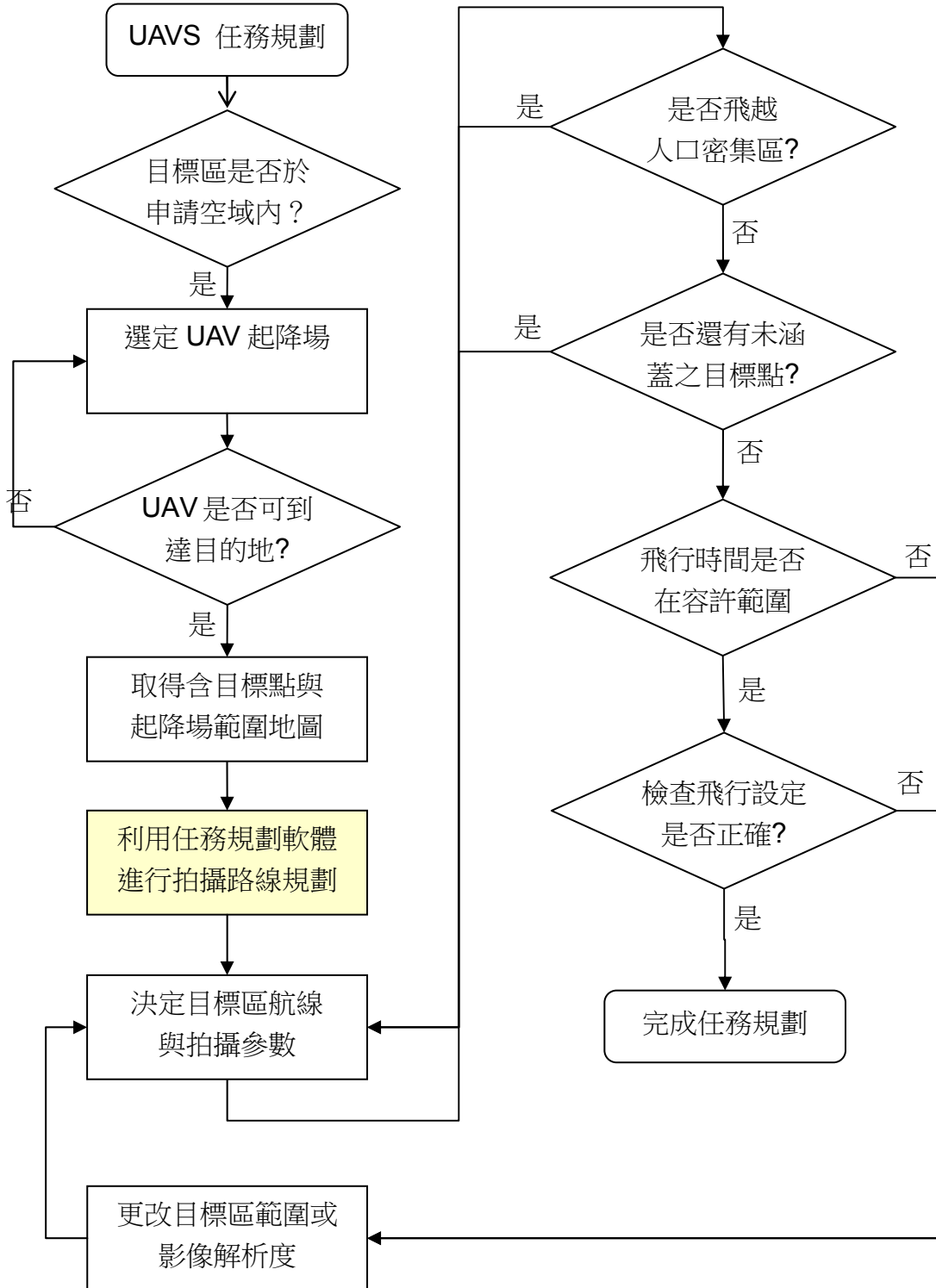


圖 8-3 UAVS航拍任務規劃作業流程圖

「航拍任務規劃子系統」的主要任務是根據航拍目標區範圍及相關航拍任務參數進行任務規劃，並產生飛行計畫檔，其對應到圖8-3之UAVS航拍任務規劃作業流程圖。由圖8-3可知，本系統的輸入將包括目標區範圍、相機資訊（包括相機種類、鏡頭焦距等）、航拍任務參數（包括航高、地面解析度、前後及側向重疊率等），系統功能包括航線規劃、飛行計畫製作、瀏覽及修改等，而系統輸出則為飛行計畫檔，圖8-4所示之使用案例圖說明了各項系統功能及與使用者間之關係。

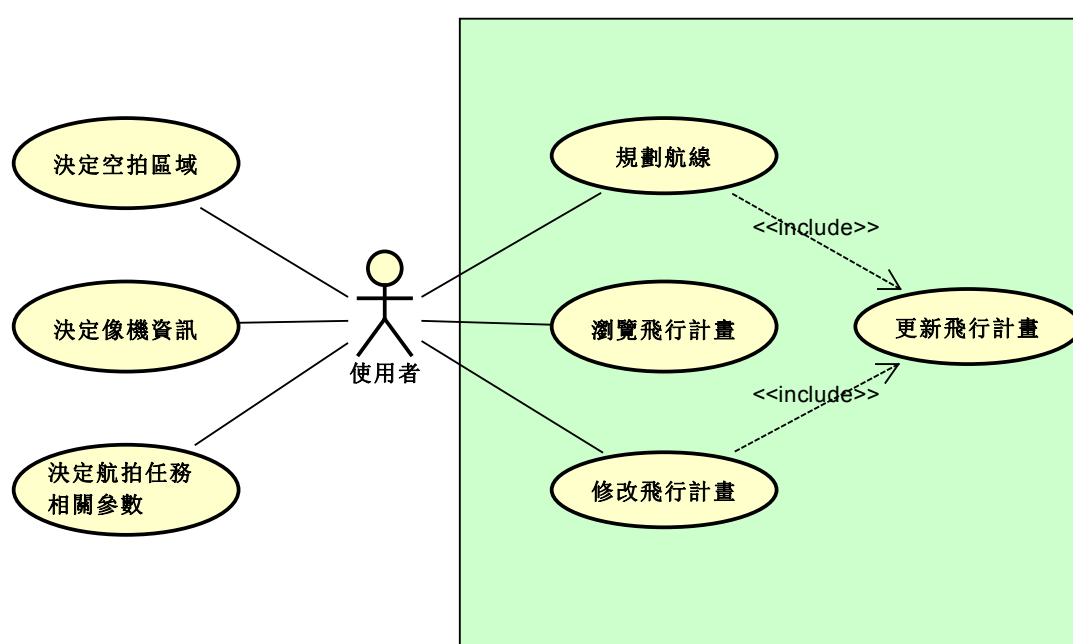


圖 8-4 「航拍任務規劃子系統」之使用案例圖

## 8.2.2 快速影像正射及鑲嵌子系統

「快速影像正射及鑲嵌子系統」的主要目的是在執行UAVS影像拍攝之後，快速進行影像空中三角解算、製作正射影像及完成影像鑲嵌等，其作業流程如圖8-5所示。在災害發生期間或災害發生後，有時極需瞭解災區相關資訊，以在最短時間內進行相關災害救援或應變之決策。此時即可採用此系統快速獲取災區之正射影像，雖然幾何精度並不高，但已可以滿足大部分災害判釋及分析之需求。

由圖8-5可知，本系統的輸入將包括UAVS航拍影像及GPS觀測資料，相機內方位資訊及少量的控制點，系統功能包括空中三角計算、數值地形模型製作及影像鑲嵌等，其輸出則為正射影像。圖8-6所示之使用案例圖說明了各項系統功能及與使用者間之關係。

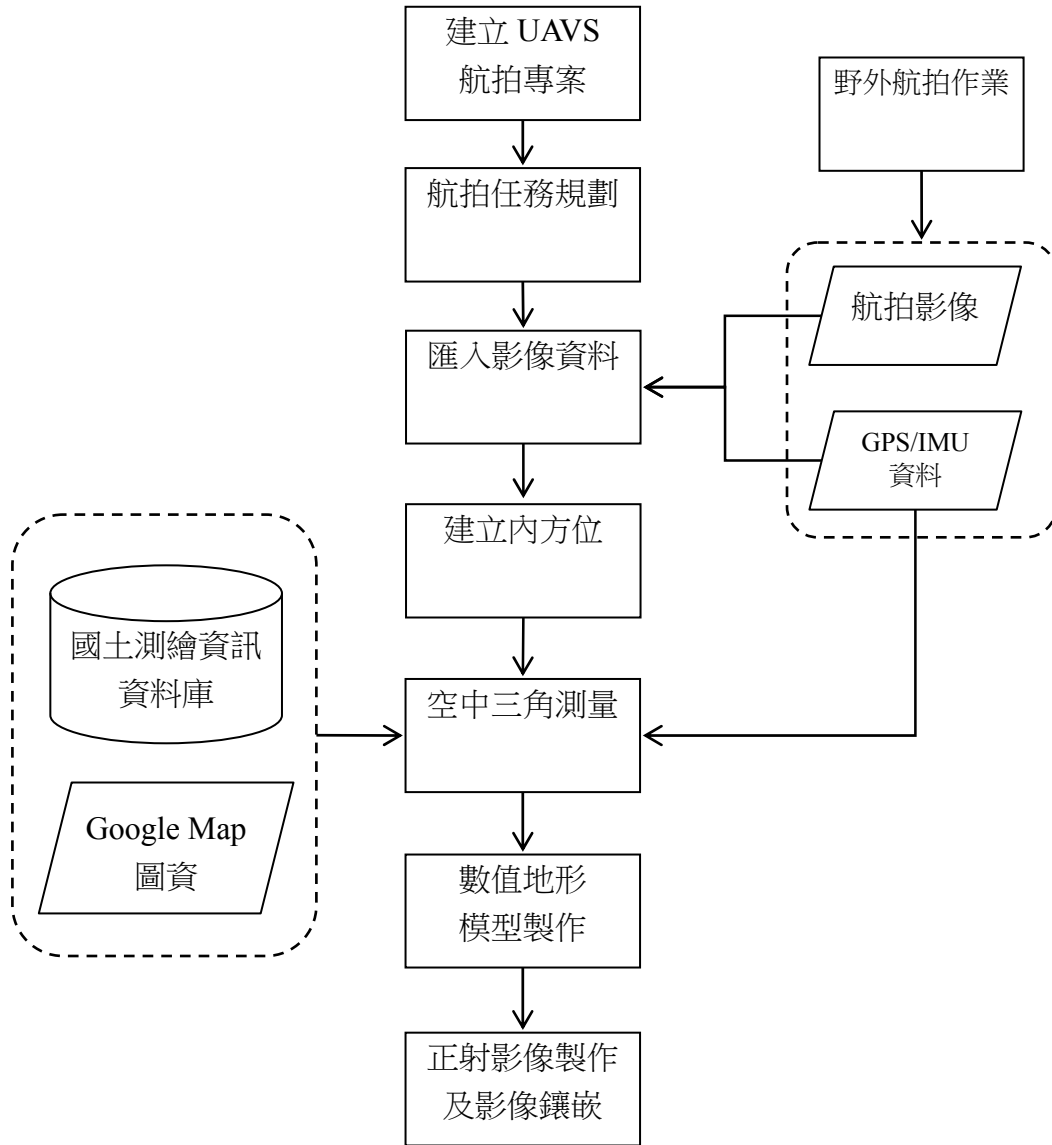


圖 8-5 快速影像正射及鑲嵌之作業流程圖

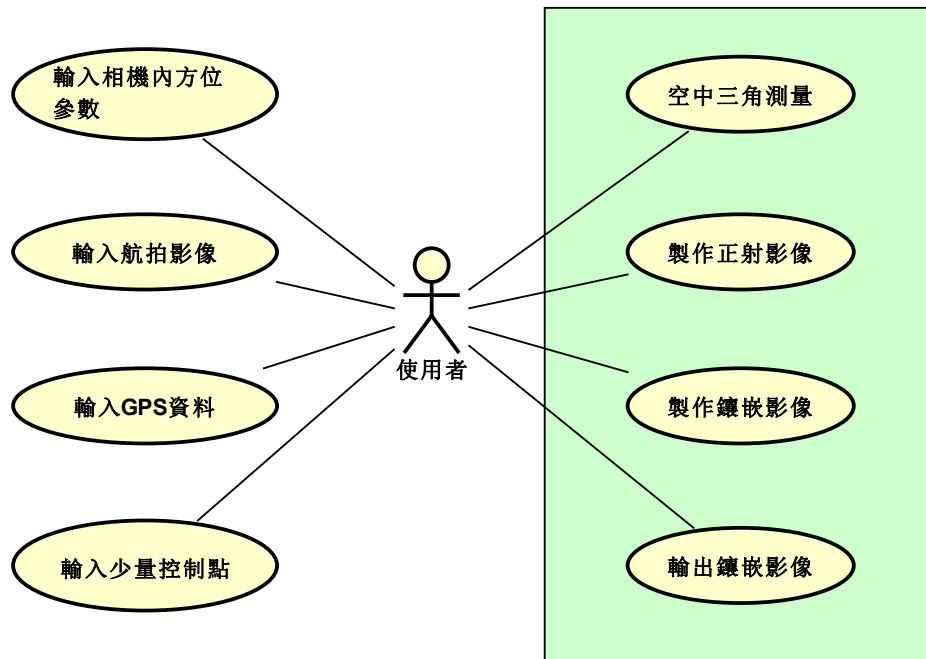


圖 8-6 「快速影像正射及鑲嵌子系統」之使用案例圖

### 8.2.3 災害判釋分析子系統

「災害判釋分析子系統」的主要目的是以嚴密的方式進行空中三角計算，並完成數值地形模型及鑲嵌影像之製作，提供災害判釋及分析之用，如土方計算、變遷分析、災害地圖製作等等，其作業流程如圖8-7所示。初步掌握相關災情資訊後，若欲進一步進行災情判釋分析與評估，產製災區之三維空間資訊以利更進一步進行災情判釋分析與評估之時，可採用本子系統。此作業流程需要建立或蒐集已知控制點來供緊急測繪使用。

由圖8-7可知，本系統的輸入將包括UAVS航拍影像及GPS觀測資料，相機內方位資訊及足夠的控制點資訊，控制點資料可來自地面測量（測量事先布設好的人造航測標，或事後對自然點進行測量）、一千分之一及五千分之一基本圖，通用版電子地圖，或對歷史航照資料進行立體觀測取得物體坐標等。系統功能包括空中三角計算、數值地形模型製作、及影像鑲嵌等，其輸出則為數值地形模型、正射及鑲嵌影像、土方計算結果及災害地圖等可進一步應用於防救災之圖資。圖8-8所示之使用案例圖說明了各項系統功能及與使用者間之關係。

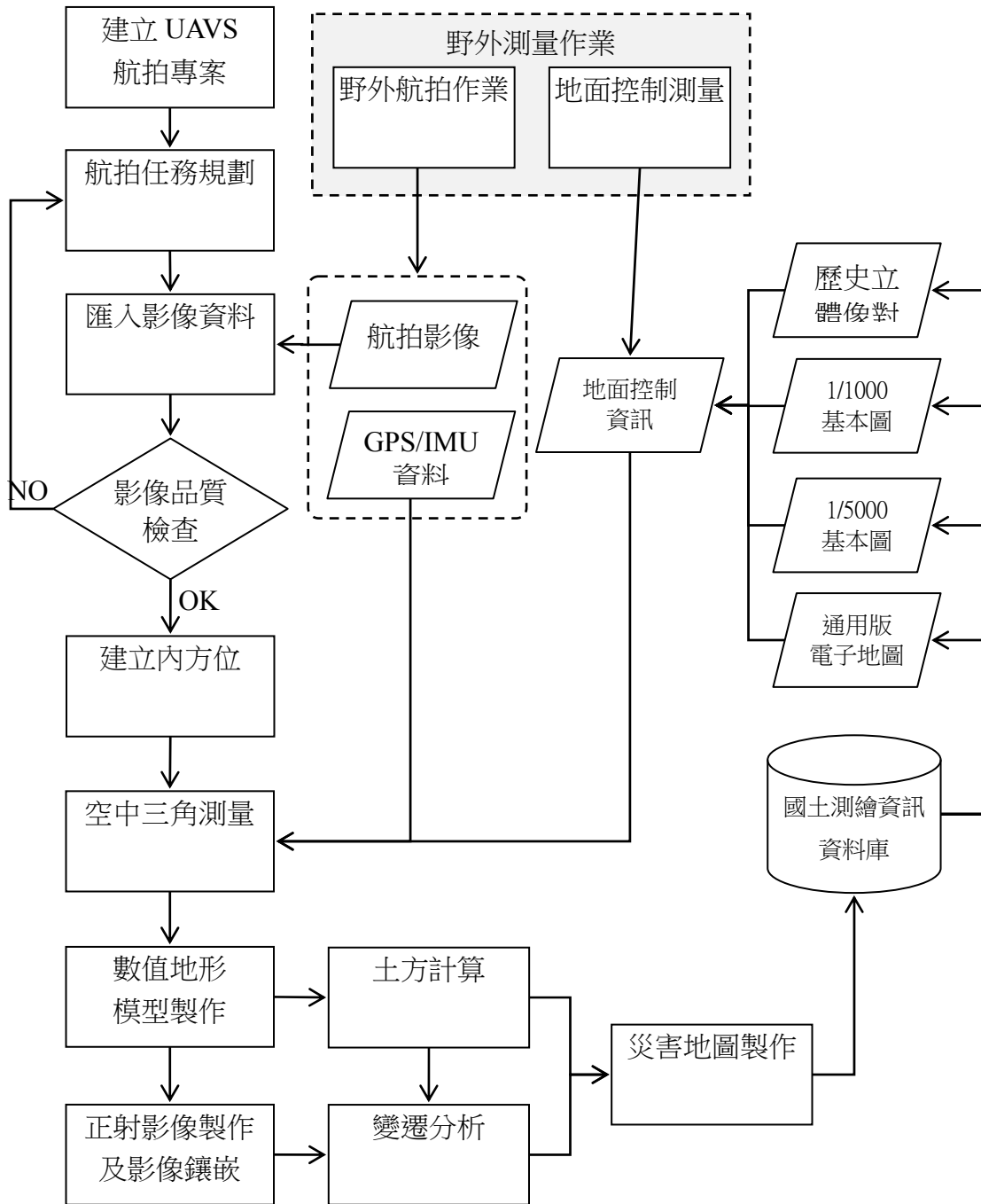


圖 8-7 UAVS 應用於災害判釋分析之作業流程

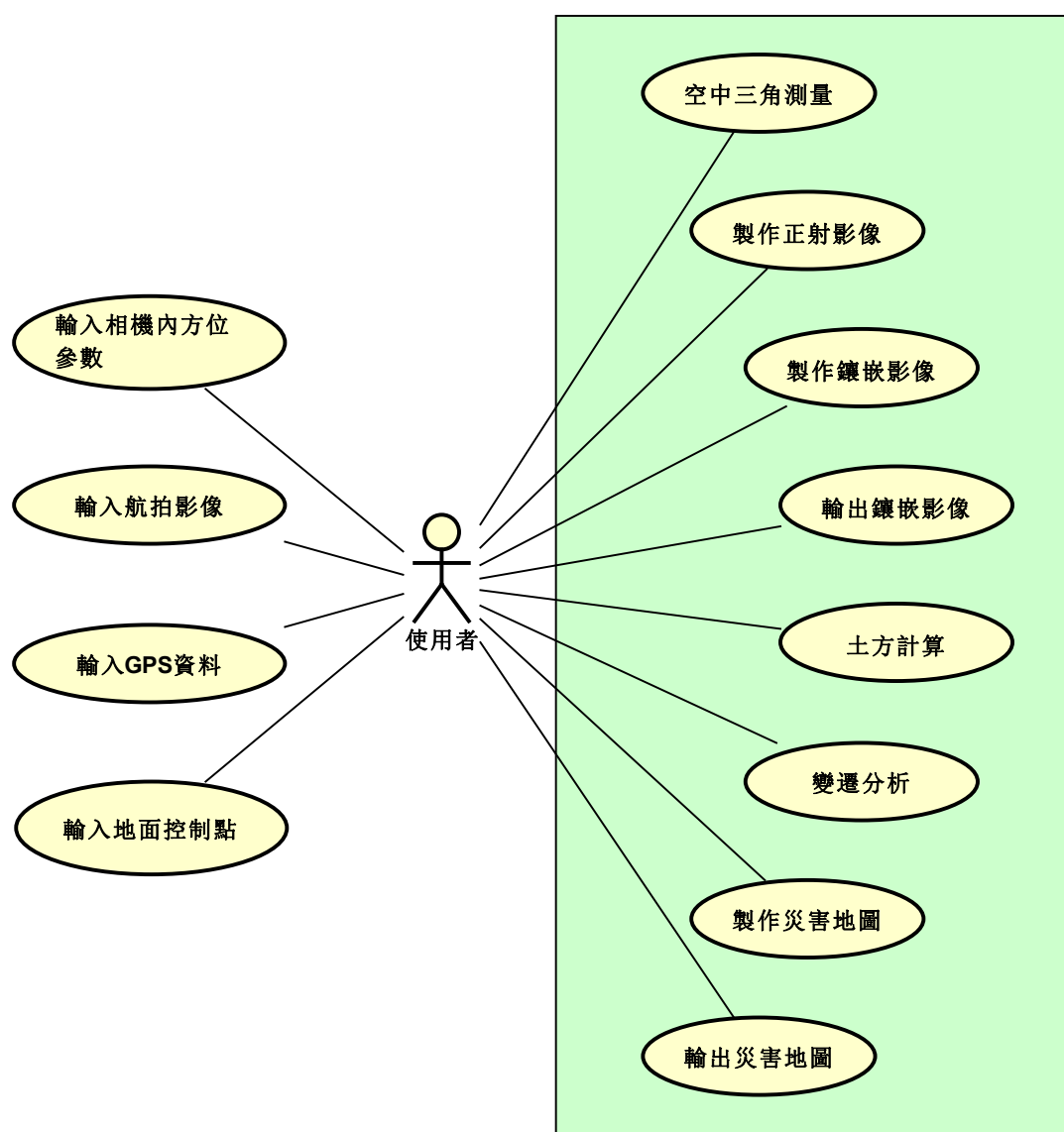


圖 8-8 「災害判釋分析子系統」之使用案例圖

### 8.2.4 圖資更新子系統

「圖資更新子系統」的主要目的是以嚴密的方式進行空中三角計算，並針對欲更新之區域進行平面圖之立體測繪及等高線測繪，最後對舊有圖資進行局部更新，其作業流程如圖8-9所示。此作業流程需精度較高的地面控制資訊，因此地面控制測量部分需依基本圖測製規範辦理，以符合控制點精度需求。



由圖8-9可知，本系統的輸入將包括UAVS航拍影像及GPS觀測資料，相機內方位資訊及足夠的地面控制點資訊，控制點資料需來自地面控制測量。系統功能包括空中三角測量、立體測繪平面圖、測繪等高線及更新圖資等。其輸出則為依據不同等級之基本圖測製規範所製作之地形圖，以更新特定之舊有圖資。圖8-10 所示之使用案例圖說明了各項系統功能及與使用者間之關係。

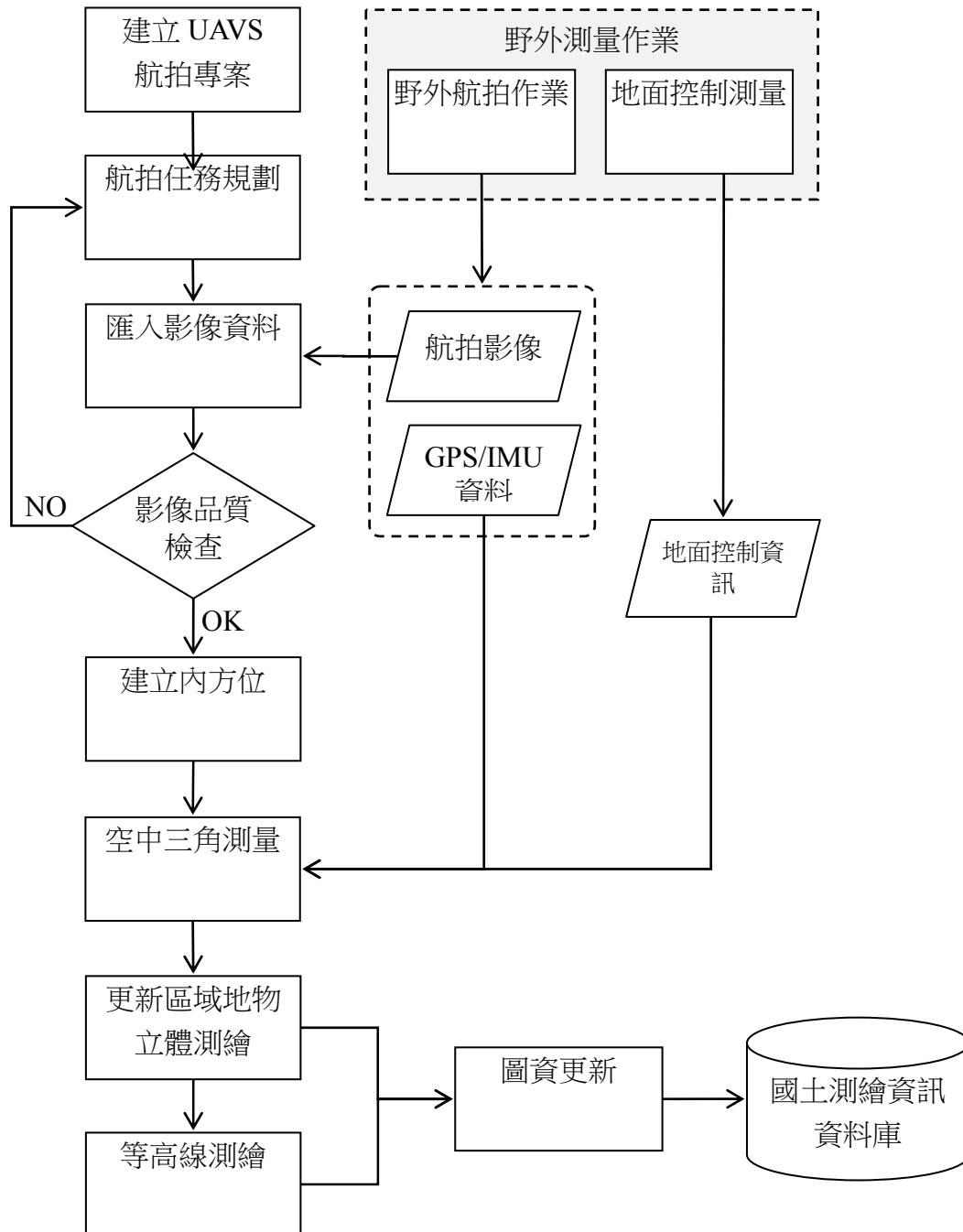


圖 8-9 圖資更新標準作業流程

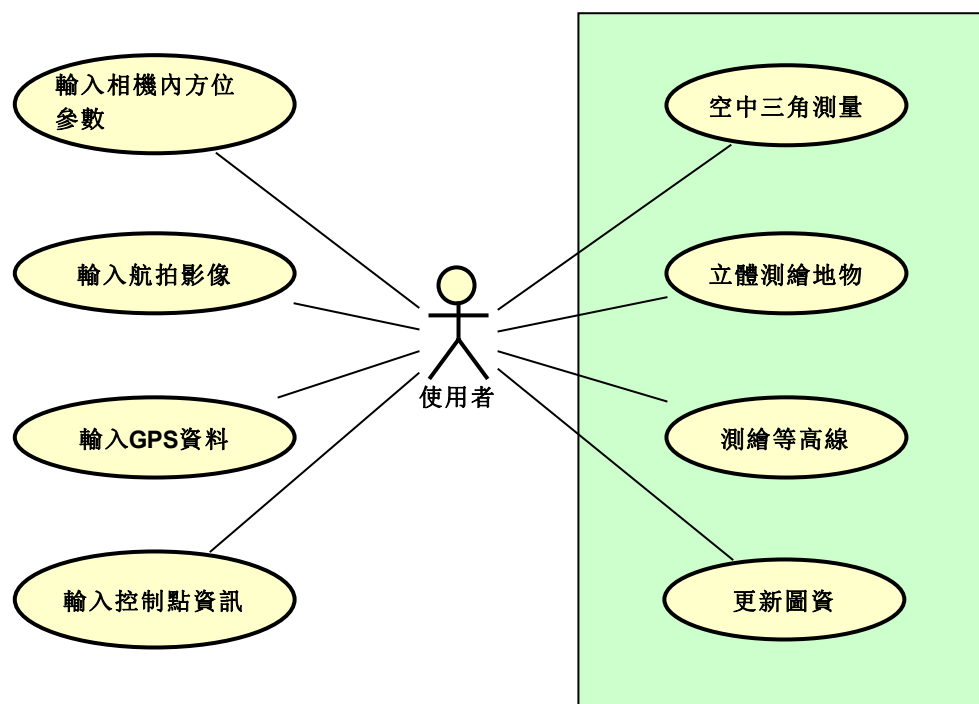


圖 8-10 「災害判釋分析子系統」之使用案例圖

### 8.3 軟體元件之活動圖設計

本節針對8.2節中特定系統功能之軟體元件，利用UML之活動圖 (Activity Diagram)說明其細部流程，以利後續系統開發參考使用。由於本系統係架構在現有軟體上，因此在各個活動圖中，除了描述所使用資料、使用者及系統間之關係之外，亦將列出所使用軟體名稱(如 UAV-MP、ERDAS LPS、ERDAS ORIMA或MATCH-T等)，或軟體所提供之功能名稱(如APM及CPA-A)。

#### 8.3.1 航線規劃

圖8-11所示為航線規劃之活動圖，使用者輸入空拍區資訊、相機資訊及航拍任務參數後，利用EP (Easy Planning)及UAV-MP (Mission Planner)進行航線規劃，輸出飛行計畫之後可利用Google Earth 瀏覽，亦可根據不同航拍任務需求更新飛行計畫。

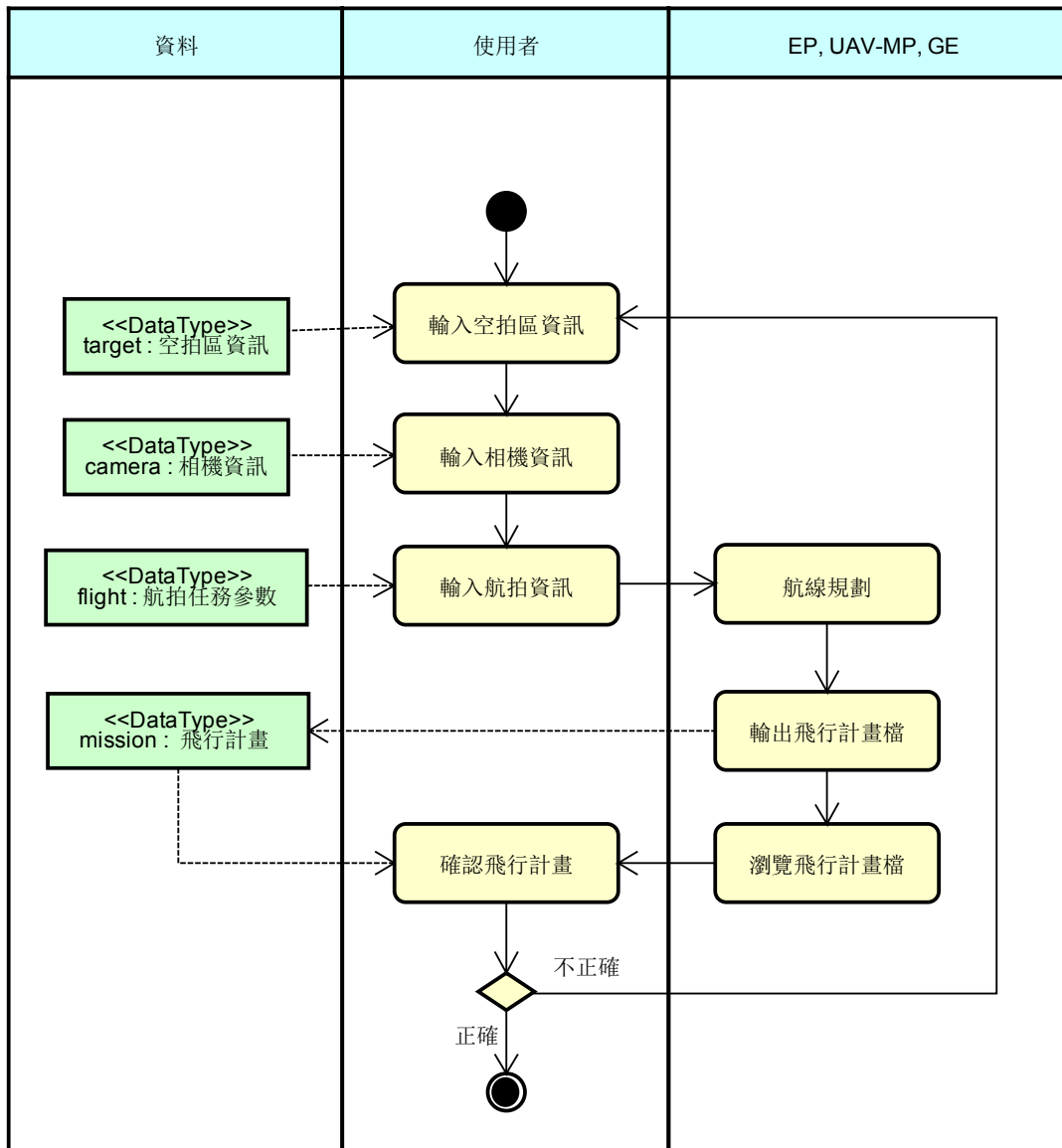


圖 8-11 「航線規劃」之使用案例圖

### 8.3.2 建立相機內方位

圖8-12示為建立相機內方位之活動圖，使用者先建立LPS專案、接著設定坐標系統參數（包括投影方式、大地基準、中央子午線及尺度比例、坐標原點平移量等）及設定相機參數（包括相機名稱、焦距及像主點偏移量等）後，可由LPS設定相機內方位，最後由使用者儲存LPS專案，此專案檔可供後續不同航拍任務使用。

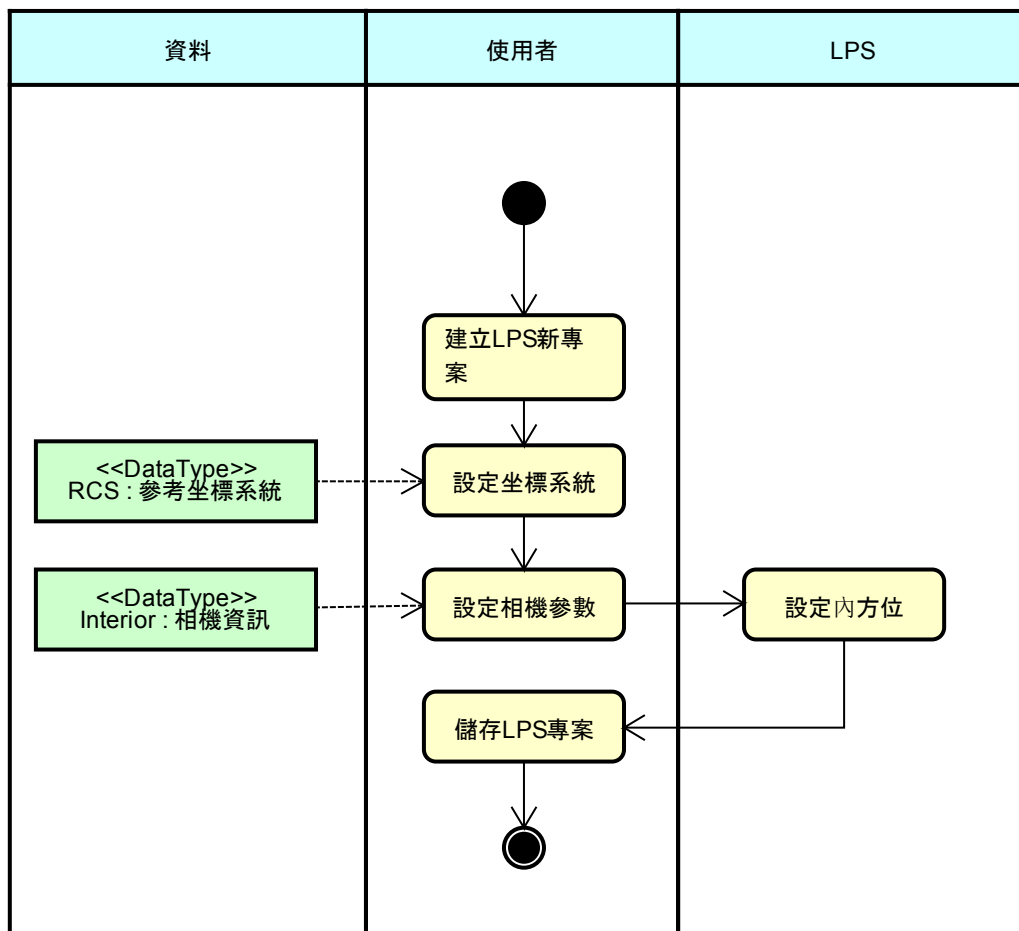


圖 8-12 「建立相機內方位」之使用案例圖

### 8.3.3 空中三角測量

圖8-13所示為空中三角測量之活動圖，為本系統中較為複雜之活動圖，首先使用者先開啟事先已經建立好的舊LPS專案，或建立新的LPS專案，由LPS軟體建立相機內方位，使用者匯入影像資料後，由LPS建立影像金字塔，使用者設定像元解析度之後建立新的ORIMA專案，匯入相機資訊及GPS觀測資料，並在ORIMA所提供的介面中進行航帶編輯以及連結點自動匹配(APM)後，即可進行自率光束法自由網平差及偵錯(CPA-A)，若平差計算結果無法收斂，則必須逐條航帶進行偵錯，並匹配側向連結點之後，再利用自率光束法自由網進行平差及偵錯，如此重複直到平差結果收斂為止。接著進行控制點量測並輸入地面控制點資訊，再利用CPA-A進行自率光束法平差，即可儲存並輸出空中三角計算結果，最後儲存ORIMA及LPS專案檔，以備後續使用。

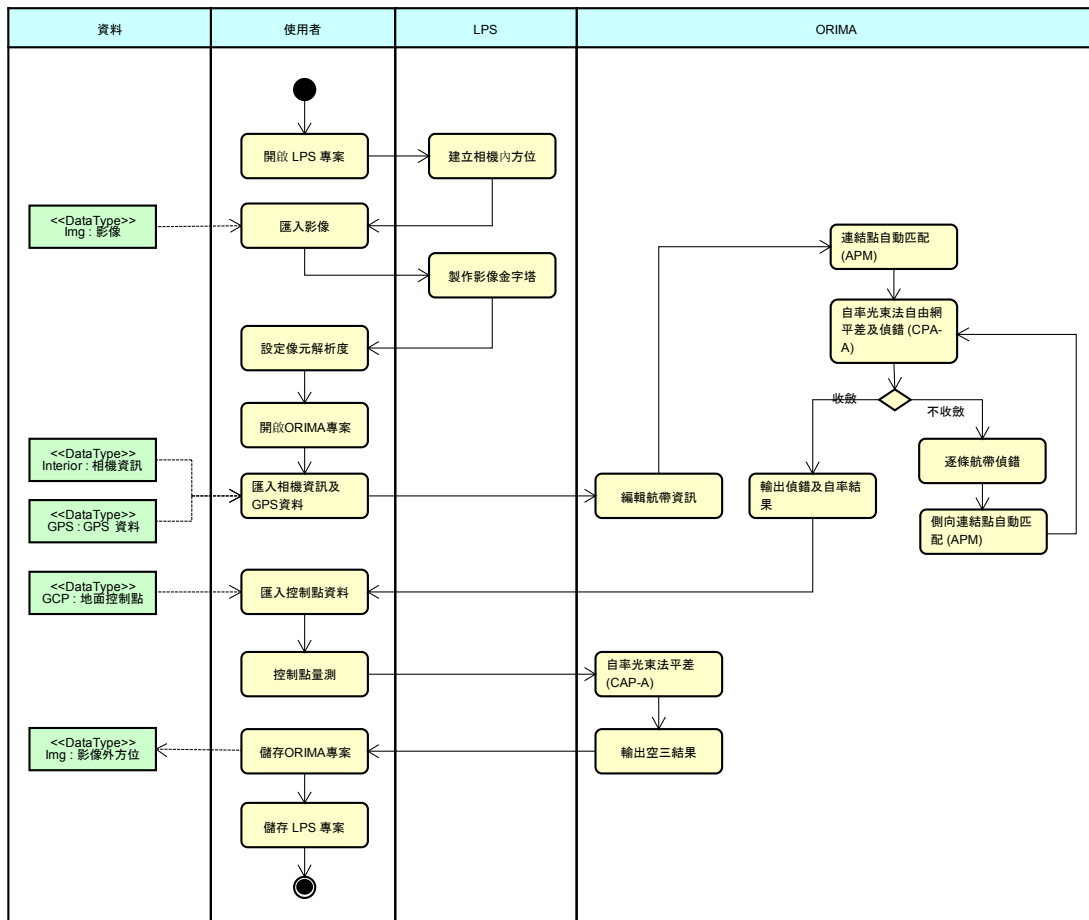


圖 8-13 「空中三角測量」之使用案例圖

### 8.3.4 自動匹配產生 DTM

圖8-14所示為自動匹配產生DTM之活動圖，使用者先建立 MATCH-T專案，設定相機參數並匯入影像及空中三角計算結果（包括相機自率參數及影像外方位參數等），接著設定地形資料之匹配模式後，由MATCH-T進行自動匹配產生DTM資料，使用者可進一步在 MATCH-T 中進行DTM除錯及編修。最後使用者檢查DTM 資料無誤之後，即可輸出DTM資料，並儲存MATCH-T專案後續使用。

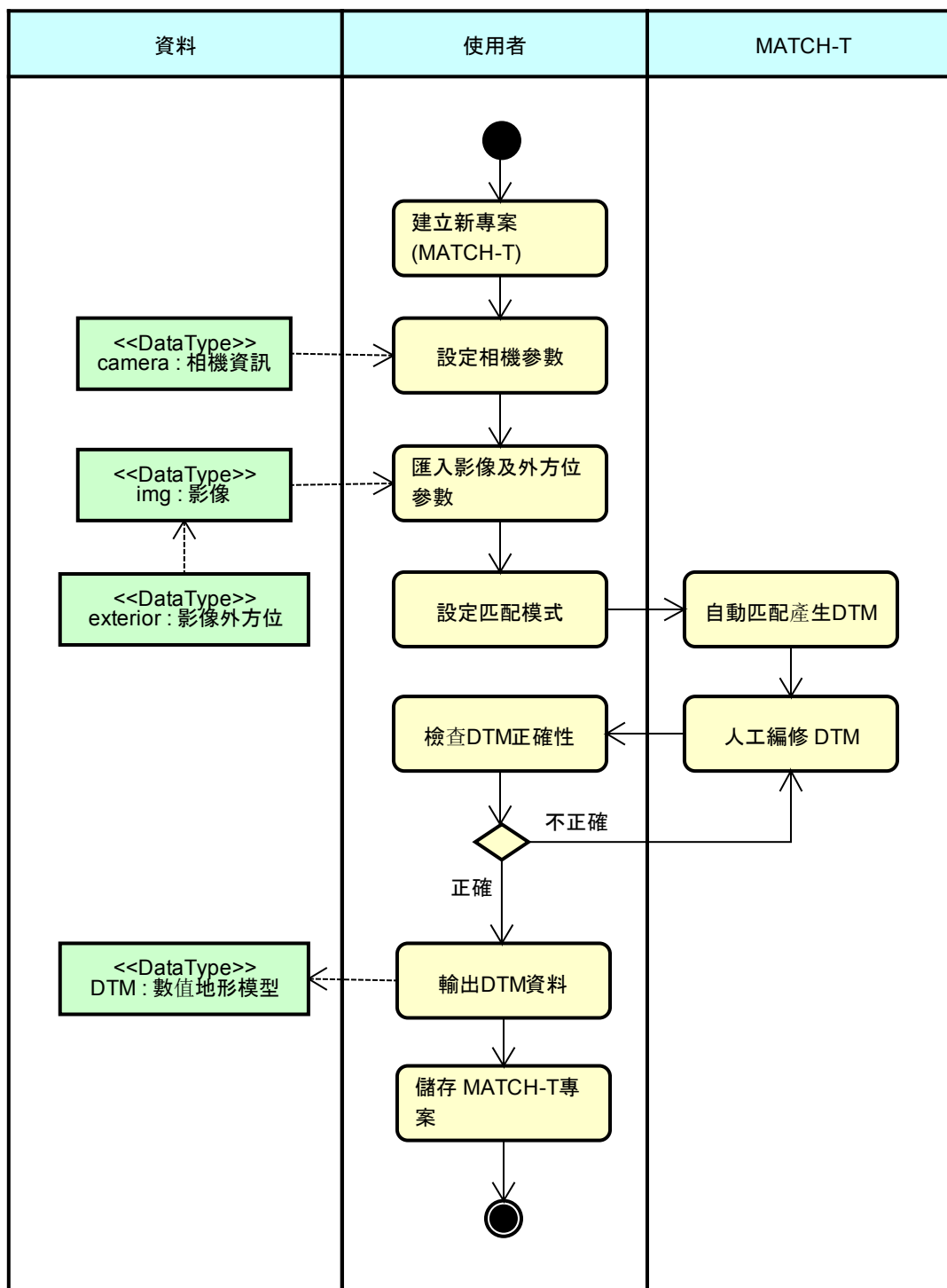


圖 8-14 「自動匹配產生DTM」之使用案例圖

## 8.3.5 製作正射影像

圖8-15 所示為製作正射影像之活動圖，使用者先開啟LPS專案，匯入影像資料及DTM資料後，由LPS製作正射影像及影像鑲嵌，最後輸出鑲嵌後的正射影像，並儲存LPS專案供後續使用。

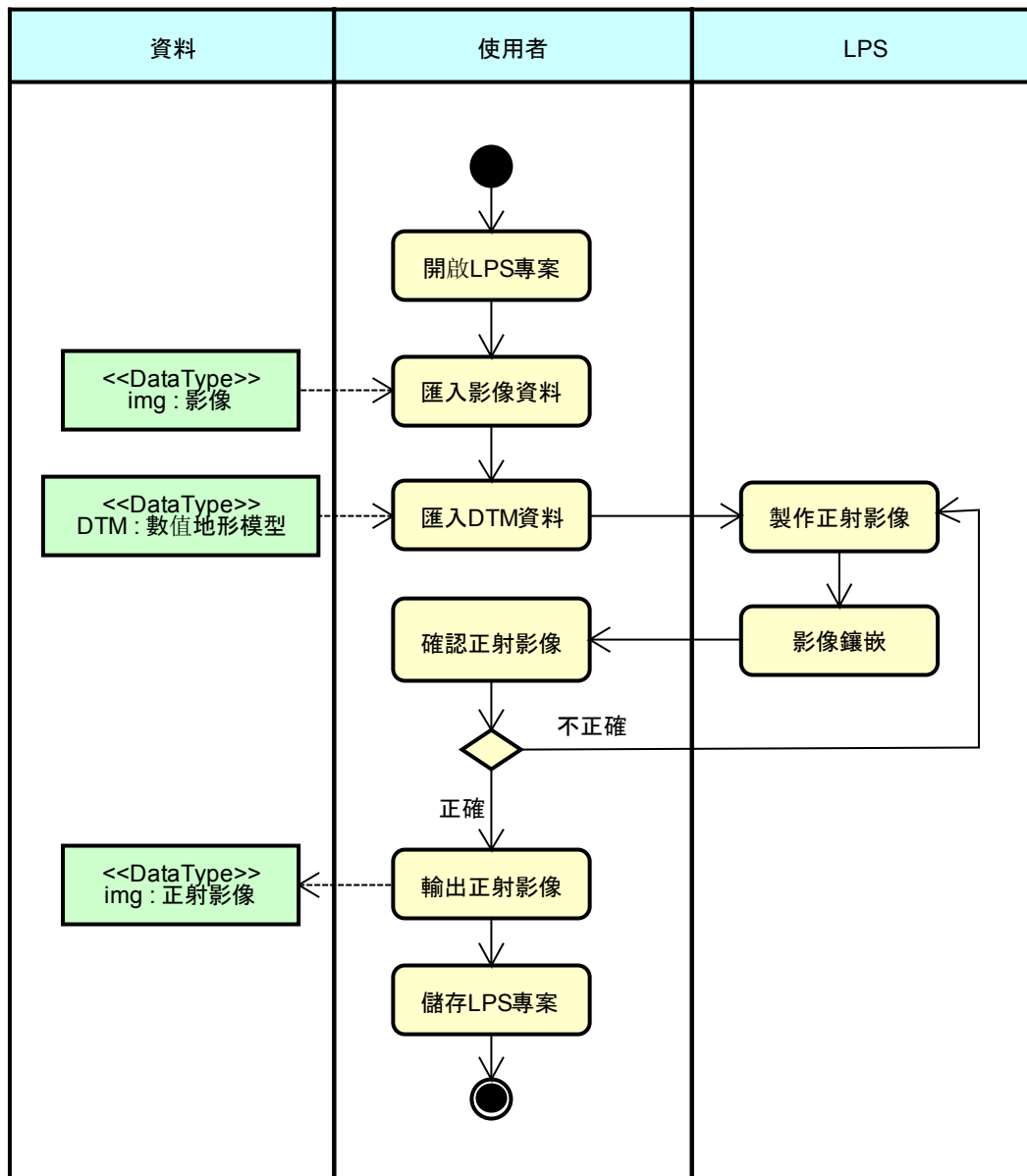


圖 8-15 「製作正射影像」之使用案例圖

## 8.4 邏輯圖設計及資料典

本系統係建立在現有的軟體上，因此將利用專案管理(Project Management)的方式進行每一次UAVS航拍影像處理流程的管理，8.2節已針對各子系統的工作流程利用UML的使用案例圖進行詳細的描述，8.3節亦針對常用的軟體元件以UML的活動圖詳細說明其流程，其中扮演非常重要角色的是穿梭在各流程中的資料項目。因此本節針對系統中所有使用到的資料項目，利用UML中的類別圖(Class Diagram)進行規劃及設計，形成系統邏輯圖，其中包括資料類別名稱及其包含的屬性名稱等（詳見附錄P），所有類別的屬性定義、所對應的資料型別及值域等特性則列於附錄P資料典中。此系統邏輯圖及資料典將為後續系統開發之主要參考依據。

表8-3列出資料典中各類別及屬性名稱、定義、選填條件、發生次數、資料型別及值域之說明。

表 8-3 資料典定義說明

項目	說明
類別	記錄類別之名稱
屬性名稱	記錄屬性之名稱
定義	以文字方式說明該屬性代表之意義，提供使用者了解該屬性記錄資料之內容
選填條件	可區分為「必要」(Mandatory, M)、「視狀況而定」(Conditional, C)及「選擇性」(Optional, O)等三種種況。「必要」表示該屬性值一定必須填寫，一定不可省略，
可發生次數	說明該屬性值可能出現之最大次數。
資料型別	說明屬性之資料型別，例如整數、浮點數或文字等資料型別
值域	表示該資料型別記錄值容許範圍



## 第九章 教育訓練辦理

## 9.1 課程安排

為使本案之成果可以推廣至國土測繪中心，已於民國 100 年 11 月 14 日至 15 日，假國立政治大學綜合院館 6F 地政學系 270610 地理資訊系統研究室進行教育訓練，課程安排如下表 9-1 所列，參與本訓練之人員與簽到資料如附錄 M 所列，請參閱。

表 9-1 教育訓練課程配當表

日期 時間	100 年 11 月 14 日 (星期一)	100 年 11 月 15 日 (星期二)
08:30 - 09:00	報 到	
09:00 - 10:00	航拍影像處理理論基礎 講師：台灣大學 徐百輝教授	數值地形模型製作 講師：政治大學 邱式鴻教授
10:20 - 11:00	空中三角測量實機操作 講師：政治大學 邱式鴻教授	無人飛行載具概論 講師：智飛科技林永仁總經理
11:10 - 12:00		
12:00 - 13:30	午 餐	午 餐
13:30 - 14:20	正射糾正鑲嵌實機操作 講師：政治大學 邱式鴻教授	無人飛行載具航線規劃 講師：智飛科技有限公司 林永仁總經理
14:30 - 15:20	飛行模擬實機操作 講師：政治大學 邱式鴻教授	無人飛行載具任務監控 講師：智飛科技林永仁總經理
15:30 - 16:30	影像快速幾何糾正鑲嵌實機操作 講師：政治大學 邱式鴻教授	多旋翼無人機實際操作 講師：智飛科技 林永仁總經理
16:30 -		賦 歸
備註	1. 本次訓練課程內容以 UAV 影像資料處理訓練為主 2. 訓練場地：國立政治大學綜合院館 GIS 教室	

## 9.2 課程內容

課程講義內容部份，因篇幅較多，另外以電子檔遞交。下列列出部份上課照片。



圖 9-1 DTM 製作解說



圖 9-2上機實作



圖 9-3課程解說



圖 9-4 UAVS 系統運用說明



圖 9-5 UAV遙測運用說明

### 9.3 飛行模擬訓練

UAV 的作業流程中，分成起飛、作業、降落三大階段。其中起飛與降落都是 UAV 作業中需由人工進行飛機操作的階段，也是最危險的階段。為強化參與人員對飛機飛行特性的認知，並了解飛機飛行控制的原理，已於國土測繪中心裝設一套遙控飛機模擬系統，藉由擬真的 3D 效果來達成飛行訓練的目的。這套系統可用於了解手動飛行控制需遵守的程序與可能遭遇的問題。該系統由模擬軟體與擬真遙控器組成，讓學員可以在擬真的環境下實際感受飛行控制的方式與並了解遙控飛機在空中飛行的遠近感與方向感。

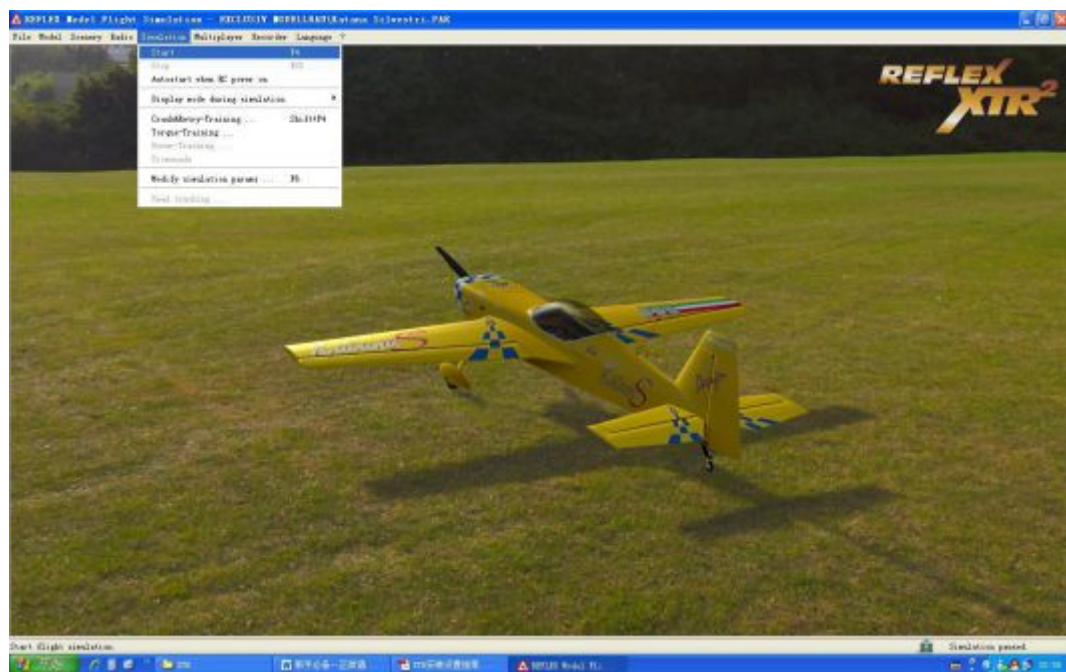


圖 9-6 遙控飛機模擬系統畫面擷圖



## 第十章 成本分析

### 10.1 無人飛行載具建置成本分析

無人飛行載具建置成本分析，包涵定翼型無人飛行載具成本分析、可攜地面控制站系統成本分析、酬載系統成本分析與系統整合費用成本分析合計需求為新臺幣 192.6 萬元整，分述如下：

#### 10.1.1 定翼型無人飛行載具成本分析

在無人飛行載具製作上，需至少有一名資深工程師參與無人飛行載具的進度管制與系統組裝測試工作，週邊的零件與機體在發包予協力廠商初步完成後，即由此工程師統籌進行系統的組裝與測試。

表 10-1 DoDo Pro UAV 單價分析 (單位：千元)

項 目	單位	單價	數量	總價	備註
DODO PRO UAV (空機)	架	230	1	230	含製作、加工、噴漆、隔間處理
SD FCC 飛控電腦	套	300	1	300	飛行控制電腦本體
引擎	組	20	1	20	含施工
電力系統	組	40	1	40	含電池、配線
起落架系統	組	15	1	15	含加工、熱處理費用
伺服器控制系統	個	3	9	27	含施工費用
資料無線電	組	50	1	50	上下傳資料用
影像無線電	組	30	1	30	即時影像下傳
控制無線電	組	30	1	30	即時控制命令上傳
酬載雲台	組	60	1	60	含設計、製作
線束	組	3	3	9	含電力、控制、天線系統

合計 811 (千元)

### 10.1.2 可攜地面控制站系統成本分析

表 10-2 可攜地面控制站系統單價分析 (單位：千元)

項 目	單位	單價	數量	總價	備註
地面控制站外殼	套	10	1	10	Pelican 防水防潮箱體
主控電腦	套	50	1	50	筆記型電腦
資料無線電	組	50	1	50	上下傳資料用
影像無線電接收端	組	50	1	50	即時影像下傳
控制無線電發射端	組	30	1	30	即時控制命令上傳
遙控控制器	組	20	1	20	外部飛行員直接控制使用
21.6 吋監控螢幕	組	10	1	10	即時影像監控用
4 衝程靜音發電機	台	30	1	30	戶外任務電員供應
加工費用	次	100	1	100	線束製作、箱體、水切、陽極處理
系統工具箱	套	66	1	66	充電站、手工具、引擎啟動、加油工具
系統收納箱	箱	20	1	20	
追蹤天線系統	套	100	1	100	含天線、旋轉台、驅動器、控制器

合計 536 (千元)



## 10.1.3 酬載系統成本分析

表 10-3 酬載系統成本分析 (單位：千元)

項 目	單位	單價	數量	總價	備註
Canon 5D MK2	台	80	1	80	
EOS EF24mm 定焦 鏡頭	個	55	1	55	
EOS EF50mm 定焦 鏡頭	個	50	1	50	
鏡頭保護鏡	個	2.5	2	5	
32GB 記憶卡	張	9	2	18	CF 記憶卡
快門線組	組	0.5	2	1	
酬載雲台	組	60	1	60	含設計、製作

合計 269 (千元)

### 10.1.4 系統整合費用成本分析

表 10-4 系統整合費用成本分析 (單位：千元)

項 目	單位	單價	數量	總價	備註
UAV 系統整合	人/月	50	2	100	
UAV 系統測試	人/月	50	2	100	
軟體設計費用	人/月	50	2	100	
相機率定費用	人/時	1	10	10	

合計 310

### 10.2 無人飛行載具出勤成本分析

定翼機的成本可分成人力成本、無人飛行載具成本折舊、儀器設備成本以及其他雜項支出。在人力成本方面，無人飛行載具的運作需要有四個人始得進行，組長負責與飛行相關的任務準備與空域申請作業，並需擔任與外界的協調介面。UAVS 的任務運作需兩名熟練的技術人員，一人負責進行無人飛行載具的起落操作，一人負責無人飛行載具的任務運行。為維護飛行安全，並合乎民航局之無人飛行載具飛行管理方法之要求，尚需有一員進駐該空域之管理單位，諸如各區域之近場台，作為任務執行時地面控制站與空域管制席之間的聯繫窗口。

單次出勤所需考慮的成本除人力支出外，尚須將無人飛行載具折舊、第三人保險、差旅費用、燃油費用等計入，以單次飛行一小時進行計算，所需費用為 7~8 萬。全天同一地點飛行作業合理價格應落於 10~12 萬之間。下列表格單就本合約中出勤 5 次之費用加以估算。因飛機屬於國土測繪中心所有，保險費用在其他項目中列入，因此就人員費用與耗材費用進行分析。計算共需新臺幣 30.8 萬元整。

### 10.2.1 任務規劃成本分析

表 10-5 任務規劃成本分析 (單位 千元)

項 目	單位	單價	數量	總價	備註
任務規劃與空域協調	人/時	1	25	25	以 5 次飛行任務計算
合計				25	

### 10.2.2 任務執行成本分析

表 10-6 任務執行成本分析 (單位 千元)

項 目	單位	單價	數量	總價	備註
外部飛行員	人/時	1.5	30	45	以五次飛行任務計算
內部飛行員	人/時	1.5	30	45	以五次飛行任務計算
任務指揮員	人/時	1.6	30	48	以五次飛行任務計算
塔台聯絡員	人/時	1	30	30	以五次飛行任務計算
交通費用	次	3	5	15	以五次飛行任務計算
出勤耗材費用	次	5	5	25	以五次飛行任務計算
合計				208	

### 10.2.3 布標需求成本分析

表 10-7 布標需求成本分析 (單位 千元)

項 目	單位	單價	數量	總價	備註
佈署地面控制點	點	3	25	75	預備佈署地面控制點
合計				75	

### 10.3 航拍影像處理作業成本分析

航拍處理作業之成本分析分成下列三大類，估計所需之經費為新臺幣 77.1 萬元整，各項經費需求分析如下：

#### 10.3.1 快速影像幾何糾正鑲嵌技術開發與規劃成本分析

表 10-8 快速影像幾何糾正鑲嵌技術開發與規劃成本分析（單位 元）

項 目	單位	單價	數量	總價	備註
快速影像幾何糾正 鑲嵌技術開發與規 劃成本分析					
ERDAS IMAGE Advantage 模組測 試與規劃	人時	300	100	30,000	
ERDAS LPS Core 模 組測試與規劃	人時	300	100	30,000	
雛型系統開發	人時	560	200	112,000	
合計				172,000	

#### 10.3.2 影像空中三角解算與正射糾正技術開發與規劃成本分析

表 10-9 影像空中三角解算與正射糾正技術開發與規劃成本分析（單位 元）

項 目	單位	單價	數量	總價	備註
影像空中三角解算 與正射糾正技術開 發與規劃成本分析					
影像空三技術測試 與規劃(ERDAS LPS Core)	人時	500	200	100,000	
影像空三技術測試 與規劃(ERDAS LPS ORIMA)	人時	500	200	100,000	
影像 GPS/IMU 空三	人時	500	250	125,000	

項 目	單位	單價	數量	總價	備註
技術測試與規劃 (ERDAS LPS Core)					
影像 GPS/IMU 空三 技術測試與規劃 (ERDAS LPS ORIMA)	人時	500	250	125,000	
正射糾正技術測試 與規劃(ERDAS LPS Core)	人時	500	100	50,000	
合計				500,000	

### 10.3.3 其他成果作業成本分析

表 10-10 其他成果作業成本分析 (單位 元)

項 目	單位	單價	數量	總價	備註
測試區動態飛行模 擬與 3D 模擬城市(電 子檔)	人次	9000	5	45,000	
各項測試作業過程 之實錄成果原始影 片及展示影片(電子 檔)	人次	9000	4	36,000	
研討會或期刊論文 (初稿)至少一篇	次	9000	2	18,000	
合計				99,000	

## 10.4 其他作業費用成本分析

本案執行除上述無人飛行載具建置、飛行任務執行與影像處理分析作業外，尚需進行資料蒐集、需求訪談、教育訓練辦理、工作會議與審查會議辦理與其他配合事項，估計所需經費為新臺幣 29 萬元整，各項經費需求於下表中呈現。

表 10-11 其他作業費用成本分析 (單位 千元)

項 目	單位	單價	數量	總價	備註
<b>1. 資料蒐集</b>				<b>77</b>	
1.1 相關資料蒐集	人/時	0.5	77	38.5	
1.2 相關資料分析	人/時	0.5	77	38.5	
<b>2 教育訓練辦理</b>				<b>78</b>	
2.1 場地	天	10	2	20	以兩天次計算
2.2 講員費用	人/次	2.5	8	20	以兩天次計算
2.3 餐費	人/元	0.5	20	10	以兩天次計算
2.4 其他開銷	天	14	2	28	以兩天次計算
<b>3. 相關報告費用</b>				<b>86</b>	
3.1 需求訪談	次	4	4	16	與需求訪談相關之費用
3.2 進度報告	次	5	6	30	與每月進度報告相關之各項費用
3.3 期中報告	次	20	1	20	與期中報告相關之費用
3.4 期末報告	次	20	1	20	與期末報告相關之費用
<b>4. 其他費用</b>				<b>49</b>	
4.1 第三責任保險	年	30	1	30	一個年度之無人飛機任務第三責任險
4.2 稅金	元	9	1	9	含印花稅等稅捐
4.3 郵電	元	10	1	10	相關郵電費用

合計 290

## 第十一章 結論與建議及下年度作業規劃

### 11.1 結論

本案已完成一套 UAVS 之建置，並配合國土測繪中心業務需求，運用此系統來進行航拍作業以獲取特定區域航拍影像，並針對航拍測試區驗證其影像成果精度。雖執行期間因空域管制作業問題導致 UAV 迫降而機體受損，本團隊亦已於同年 12 月完成 UAV 新機製作及相關功能測試。

綜合本案相關作業與測試結果，歸納數點具體結論，分述如下：

- 一、本案共進行五個區域的拍攝，其中包含兩個測試區分別為彰化鹿港平地測試區與阿里山山區測試區。另外 3 個一般航拍區分別為台中市南屯區特三號道路、高雄市桃源區勤和里與屏東縣來義鄉等地。航拍之影像經過影像處理流程後，已經初步完成實用性驗證。另一方面，本案所遭遇如空域申請時間過長、空域限制等執行環境問題目前都已經克服，並從中修正作業方式，並將新的作業流程運用於後續計畫的航拍作業上。
- 二、本案所提「快速影像正射及鑲嵌」之處理程序，在影像品質良好前提下，可於 2 小時內完成航高 1000m 對應一張五千分之一基本地形圖圖幅範圍（約 3x3 公里）之快速鑲嵌。
- 三、由鹿港平地測試區航高 500 公尺與 1000 公尺航拍影像處理實驗中，控制點與檢核點採用 GPS 或 VRS-GPS 實測的布標點或自然點，並以自率光束法進行空三平差，平差成果與 97 年度「探測感應器測繪平台架構規劃暨應用作業案」相關成果進行比較，航高 500 公尺之平面精度約 25 公分，高程精度約 40 公分，平面精度相當但高程精度稍差；航高 1000 公尺之平面精度約 35 公分，高程精度約 25 公分，平面精度相當但高程精度較佳。另一方面，不論航拍高度是 500 公尺或 1000 公尺之航拍影像，利用編修後的 DEM 所產製之正射影像精度，其位置精度均在 0.25 公尺以內，對於推動後續計畫有相當助益。
- 四、在系統流程的規劃上，目前根據作業流程與軟體使用的相依性，提出航拍影像處理系統整體性之架構，未來可以根據這

個軟體架構來進行系統的開發。除此之外，也利用本案教育訓練的機會，將 UAV 航拍的整體流程與注意事項透過實作的方式進行實際教學。

## 11.2 建議

綜整本案作業執行與成果，本團隊提出幾點相關建議，分述如下：

- 一、進行一般航拍任務影像處理時，建議採用「快速影像正射及鑲嵌」程序，但實際應用於山區影像拍攝時，於影像匹配及空三解算過程中仍有一定之難度。此外，一般航拍任務通常應用於災害緊急應變階段，航拍時可能遭受天候狀況不佳或其他環境因素所影響，此時所建議的程序將因影像品質不佳而無法順利進行影像正射及鑲嵌。因此建議後續計畫可自行開發快速影像正射及鑲嵌之處理介面，利用 UAVS 所記載之 GPS 與姿態等資訊，搭配以人工方式進行影像量測、旋轉與縮放之快速正射及鑲嵌，雖精度不高但應可加速作業，甚至將來可於野外航拍結束後，即可進行快速影像鑲嵌之作業。
- 二、經模擬資料顯示目前 UAV 上所記錄之 GPS/IMU 精度對於山區輔助空三平差精度，檢核點平面精度約 1~2m、高程精度 9~19m，對於製圖而言空三平差精度仍顯不足。另模擬資料也證實提升 GPS 精度比提升 IMU 精度對於輔助空三平差精度更具效益，因此建議後續計畫可在 UAV 載具上酬載具接收雙頻訊號之 GPS 接收板並朝向 GPS 輔助空三進行實作與研究。
- 三、本案初步證實以自率光束法空三平差可提升 UAV 航拍影像之空三精度，但仍有不足之處，建議未來應可加強探討影響自率光束法精度之因素，並訂定 UAV 航拍影像製圖的規範。
- 四、本案所規劃之航拍影像處理系統係針對國土測繪中心之需求，利用工作流程及介面整合的方式，同時訂定資料類別最為不同作業程序串接的的媒介。對於實際作業之使用者，本系統將可縮減其作業流程，加速作業時間。然而本系統係架構在現有專業航測處理軟體上，使用者本身仍須具備足夠的航空攝影測量基本常識、空中三角除錯及解算經驗，才能順利使用此系統進行各種航拍影像處理作業。



### 11.3 101 年度作業建議

根據計畫進程，主要規劃的工作項目為：

1. 影像處理整合
2. 硬體提昇
3. 操作訓練方式
4. 航拍任務執行
5. 評估合理飛行次數或時數與成本

針對101年度之計畫目標，規劃經費約為450萬，其中包含軟硬體的購置與飛行任務的執行，本團隊就各作業項目的執行提出建議，分述如下：

- 一、在影像處理整合項目中，根據今年的成果試驗過程，後期發現國土測繪中心雖購置兩套 Match-T 軟體可自動匹配 DTM，但並未購買編修 DTM 的模組-DTMaster Stereo。明年度計畫可針對此部份詳加評估是否需要購買編修 DTM 模組 DTMaster Stereo，或者購置 LPS ATE、LPS TE 等 DTM 編修模組，以利後續影像處理作業。
- 二、在硬體的提升上，可針對 e-GPS、VRS-GPS 等技術研究其協助即時航拍定位之可行性，並將此資訊運用於 GPS 輔助 UAV 影像空三處理以及一般緊急航拍影像快速鑲嵌作業。
- 三、有關 UAVS 的操作訓練，因本年度執行著重於系統的建置，在明年度的計畫中將規劃一系列週期性的操作訓練。另配合任務的執行，安排參與人員由模擬器開始熟悉系統，逐漸導入實際的任務流程中，目標是參與人員最終可擔任 IP 與 MD 之角色，實際主導任務。
- 四、在 UAV 航拍任務的執行上，本年度共進行 5 次任務，其中包含 2 次測試區航拍任務與 3 次一般航拍任務。就 UAV 的飛行規劃難度與成本來說，執行測試區航拍與一般航拍並無差異，最大的差異是航拍後進行影像處理的時間，主要是後製人力的投入。因此就 101 年度的飛行任務安排來說，可參考今年度的實際執行結果來分別估算執行不同形式的任務所需投入的人力、物力成本，並推估可執行的任務次數。



## 參考文獻

1. 內政部，2007，基本測量實施規則，中華民國九十六年十一月十五日。
2. 內政部國土測繪中心，2009，探測感應器測繪平台架構規劃暨應用作業工作總報告書（修正版），中華民國九十八年十一月。
3. 內政部，2010，建置都會區一千分之一數值航測地形圖作業工作手冊，中華民國99年1月。
4. 內政部國土測繪中心，2010，內政部國土測繪中心「測繪科技發展後續計畫」-發展無人飛行載具航拍技術作業執行計畫（草案）（100年~103年），中華民國99年12月。
5. QinetiQ achieves UK's first unmanned flight for agricultural crop monitoring ,  
[http://www.qinetiq.com/home/newsroom/news\\_releases\\_homepage/2008/3rd\\_quarter/qinetiq\\_achieves\\_uk.html](http://www.qinetiq.com/home/newsroom/news_releases_homepage/2008/3rd_quarter/qinetiq_achieves_uk.html)
6. Cox, T. H., Somers, I. and Fratello, D. J., 2006, "Earth observations and the role of UAVS: A capabilities assessment version 1.1," Civil UAV Assessment Team, NASA, Hanover, MD
7. Eisenbeiss, H., 2008. "The Autonomous Mini Helicopter: A powerful Platform for Mobile Mapping, " The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII, Part B1, Beijing, pp. 977-983.
8. Eisenbeiss, H., 2009, "UAV Photogrammetry", PhD. Thesis, Institute of Geodesy and Photogrammetry, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Switzerland.
9. Eugster, H. and Nebiker, S., 2008, "UAV-based augmented monitoring – real-time georeferencing and integration of video imagery with virtual globes," The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII, Part B1, Beijing, pp. 1229-1236.
10. Grenzdörffer, G. J., Engel, A. and Teichert, B., 2008, "The photogrammetric potential of low-cost UAVS in forestry and agriculture," The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII, Part B1, Beijing, pp.1207-1214.
11. Haarbrink, R. B. and Eisenbeiss, H., 2008, "Accurate DSM production from unmanned helicopter systems," The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing., pp. 1259-1264.
12. Lin, Z., 2008, "UAV for mapping—low altitude photogrammetric

- survey," The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing, pp. 1183-1186.
13. Lucieer, A, Robinson, S., Turner, D., 2011, "Unmanned aerial vehicle (UAV) remote sensing for hyperspatial terrain mapping of antarctic moss beds based on structure from motion (SFM) point clouds", Proceedings of the 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment (ISRSE34), Sydney, Australia.
  14. 國家測繪局，2010(a)，無人機航攝安全作業基本要求，中華人民共和國測繪行業標準化指導性技術文件，CH/Z 3001-2010。
  15. 國家測繪局，2010(b)，無人機航攝系統技術要求，中華人民共和國測繪行業標準化指導性技術文件，CH/Z 3002-2010。
  16. 國家測繪局，2010(c)，低空數字航空攝影內業規範，中華人民共和國測繪行業標準化指導性技術文件，CH/Z 3003-2010。
  17. 國家測繪局，2010(d)，低空數字航空攝影外業規範，中華人民共和國測繪行業標準化指導性技術文件，CH/Z 3004-2010。
  18. 國家測繪局，2010(e)，低空數字航空攝影規範，中華人民共和國測繪行業標準化指導性技術文件，CH/Z 3005-2010。
  19. 國家測繪局，2010(f)，數字航攝儀檢定規程，中華人民共和國測繪行業標準，CH/T 8021-2010。
  20. 智飛科技有限公司網頁，<http://www.taiwan-uav.com>
  21. 京商 KyoshoCaliberZG，<http://www.foxmod.cn/product-1650.html>
  22. MicroDrone, <http://www.microdrones-asia.com/cn/products.asp?id=1238&nCont=jssj>
  23. 周尚弘，2005，GPS 與 INS 結合同軸數位量測相機之外方位精度分析，國立成功大學地球科學研究所碩士論文。
  24. Cramer, M. (2005). Digital Airborne Cameras-Status and Future. ISPRS Hannover Workshop on High resolution Earth imaging for geospatial information, Proceedings, Volume XXXVI Commission I WGI/1, ISPRS Hanover workshop, Hanover 17-20 May, ISSN No. 1682-1777.
  25. Biler, M., Honkavaara, E. and Jaakkola, J., 1988, "GPS supported aerial triangulation using untargeted ground control", ISPRS Commission III Symposium, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 32(3/1) pp 2-9.

## 縮寫符號一覽表

縮寫	英文名稱	中文說明
AHRS	Attitude and heading reference system	姿態與航向參考系統
DEM	Digital elevation model	數值高程模型
DG	Direct Georeferencing	直接地理定位
DGPS	Differential Global Positioning System	差分全球定位系統
DHS	United States Department of Homeland Security	美國國土安全部
DOD	Department of Defence	美國國防部
DOE	Department of Energy	美國能源部
DOI	United States Department of the Interior	美國內政部
DSM	Digital Surface Model	數值覆蓋面模型
DTB	Digital Terrain data Base	數值地形資料庫
DTM	Digital terrain model	數值地形模型
EP	External Pilot	外部飛行員
EPA	United States Environmental Protection Agency	美國環保署
FAA	Federal Aviation Administration	美國聯邦航空管理局
FEMA	Federal Emergency Management Agency	聯邦緊急事務管理署
GCS	Ground Control Station	地面控制站，使用無線電控制與監控 UAV 的狀態
GPS	Global Positioning System	全球定位系統
IMU	Inertial measurement unit	慣性測量單元
INS	Inertial navigation system	慣性導航系統
IP	Internal Pilot	內部飛行員，主要負責 UAV 之任務控制
ISDM	Image Station Digital Mensuration	Zeiss Intergraph 公司出品的航拍影像處理軟體，詳見 <a href="http://www.intergraph.com/cgi/products/default.aspx">http://www.intergraph.com/cgi/products/default.aspx</a>
LPS	Erdas LPS Core	Erdas 平台中的 LPS 核心模組，用於進行航拍後製處理，詳見 <a href="http://www.erdas.com/products/LPS/LPSCore/Details.aspx">http://www.erdas.com/products/LPS/LPSCore/Details.aspx</a>
MD	Mission Director	任務總指揮
MSL	Mean Sea Level	平均海平面高

縮寫	英文名稱	中文說明
NASA	National Aeronautics and Space Administration	美國航空暨太空總署
NDVI	normalised difference vegetation index	常態化差值植生指標
NGA	National Geospatial-Intelligence Agency	美國國家地理空間情報局
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration	美國國家海洋和大氣管理局
NSF	National Science Foundation	國家科學基金會
POS	Position and Orientation System	位置與姿態系統
RPV	Remotely Piloted Vehicle	無人遙控載具
SIFT	scale invariant feature transform	是一種電腦視覺的演算法用來偵測與描述影像中的局部性特徵，它在空間尺度中尋找極值點，並提取出其位置、尺度、旋轉不變數，此演算法由 David Lowe 在 1999 年所發表
TIN	Triangulated irregular network	不規則三角網
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	無人飛行載具
UAV-MP	UAV Mission Planner	智飛科技的 UAV 飛行計畫編輯軟體，用於飛行任務的編排與驗證
UAVS	Unmanned Aerial Vehicle System	無人飛行載具系統
U-MAP	UAVs for Managing Agricultural Practice	運用 UAV 進行農業生產管理運用，由英國 QinetiQ 公司與威爾斯議會政府聯合執行
USDA	United States Department of Agriculture	美國農業部
USGS	United States Geological Survey	美國地質調查局

## 附錄

- 附錄 A 服務建議書委員意見回覆表
- 附錄 B 需求訪談紀錄
- 附錄 C 工作計畫書審查意見回覆表
- 附錄 D 工作會議紀錄
- 附錄 E 期中報告書委員意見回覆表
- 附錄 F 期中報告書工作小組意見回覆表
- 附錄 G 工作總報告書委員意見回覆表
- 附錄 H 工作總報告書工作小組意見回覆表
- 附錄 I UAVS 酬載率定報告書
- 附錄 J UAVS 系統規格表
- 附錄 K 慣性量測系統規格
- 附錄 L 定翼型 UAV 任務執行安全機制
- 附錄 M 教育訓練教簽到表
- 附錄 N 無人飛行載具系統運用比較表
- 附錄 O 空三平差執行結果
- 附錄 P 影像處理系統設計規劃圖
- 附錄 Q UAV 失事報告





附錄 A 服務建議書委員意見回覆表

委員	問題與意見	回覆說明
陳哲俊	<p>1. 本服務計畫書第3章大致和作業需求規格書-貳.工作項目及內容大致相同，為了完整性，建議提供 Compliance Matrix，列出每一個項目對應之章節位置。</p>	<p>1. 已於作業計畫書中補充。</p>
	<p>2. 預定工作時程，建議依作業需求規格書中之工作項目為準，而應交付之成果 (P.8) 應視為檢核點，也應附在工作時程上。</p>	<p>2. 謝謝委員指導，已補列該檢核點。</p>
	<p>3. P.112，邱式鴻教授應為計畫共同主持人，請修正。</p>	<p>3. 已修正。</p>
艾群	<p>1. 請確認服務建議書中 P26-28 及 P38-40 等中，提供之規格是否正確？</p>	<p>1. 規格正確。</p>
	<p>2. 貴公司之 UAV 是否確實可耐八級風？</p>	<p>2. 本團隊提供之飛機可於八級風下飛行，但應該避免於該狀態下飛行，以確保飛行品質與安全。</p>

委員	問題與意見	回覆說明
	<p>3. 此系統有關資料保存與儲存機制為何？</p>	<p>3. 專案將採購兩顆 1TB 硬碟作為資料保存與交換使用。另各次飛行與影像處理之成果將個別儲存於硬碟與光碟中，以確保資料的安全性。</p>
	<p>4. 有關團隊人力分工請再說明一下。</p>	<p>4. 本案人力支配配置為：智飛科技負責 UAV 系統之製作與維護、並根據中心需求進行任務之規劃與執行。政大團隊負責空拍影像處理之研究與技術發展，台大團隊負責整體系統與介面之開發。專案之管理由智飛科技統管，並由政大與台大團隊協力完成。</p>

委員	問題與意見	回覆說明
王成機	<p>1. 未來應評估當災害發生時，應用 UAV 航拍影像，以無地面控制點與有地面控制點產製成果，其成果精度差異？</p>	<p>1. 單獨使用 UAV 紀錄的 GPS / IMU 資料經測試製作正射影像，顯示精度明顯不足。</p> <p>2. 為了簡化救災時的拍攝流程，應採用最少的控制點，本期中報告 6.2 節已提出快速製作幾何鑲嵌流程，請參考。</p>
劉正倫	<p>1. 未來是否規劃評估 UAV 和直接地理定位結合的可行性？</p>	<p>1. 本次報告僅就提昇 GPS 精度進行討論，請參考 6.3.1.2 GPS 輔助空中三角測量小節。</p> <p>2. INS 需達到何種精度使得作為 UAVS 之直接地理定位運用，將於期末報告中提出完整評估數據。</p>

委員	問題與意見	回覆說明
	<p>2. 有關旋翼機部分，請補充說明如何規劃進行測試，並如何與定翼機成果比較？</p>	<p>3. 目前旋翼機主要規劃用於進行小範圍的局部修測與近景拍攝等任務。旋翼機因酬載重量的限制，其所搭載的相機與 IMU 解析度皆不及定翼 UAV 所搭載設備的水準，因此在成果的比較上仍需設定若干的評比標準，但其優勢為可以快速的在小區域中取得需求影像。</p>
	<p>3. 針對教育訓練課程內容部分，團隊是否有其他更進一步的建議？</p>	<p>4. 教育訓練的目標有二，一為讓參與訓練的人員瞭解本案的系統流程與適用範圍。另一個目標是訓練國土測繪中心人員可以實際使用該系統進行航拍作業。因此在訓練內容的編排上會有不同的考量。</p>
朱杏修	<p>1. 業務實績中有關測圖的實績描述較少，以往執行中是否有相關經驗？未來執行上有何構想？</p>	<p>1. 本團隊中的成員有測圖的實績與能量，因此在與測圖相關的工作上可以提供相關的建議。</p>

## 附錄 B 需求訪談紀錄

### 需求訪談紀錄與回覆

討論事項	回覆說明	章節對照
<p>一、 國土測繪中心 對於本年度作 業期程之要求 及期望</p>		
<p>1. UAVS 建置部分之規 劃設計與不同酬載相 容性考量：</p>	<p>目前UAV 之酬載設計為可替換式。只要在設計的酬載容積內，可進行不同酬載之裝配，而不同的酬載可經由修改酬載架進行配裝，因此在相容性上並無問題。</p>	
<p>1. 成果交付與時程再次 確認與討論：</p>	<p>成果的交付與時程將遵照合約書進行辦理，並於期中報告近三年內的UAV運用整理。</p>	<p>期中報告 第3章</p>
<p>二、 一般航拍與航 拍測試區選定</p>		
<p>1. UAVS 航拍測試區域 選定，預定由國土測 繪中心選取99災區基 本地形圖範圍其中2 幅為測試區。</p>	<p>遵照辦理。</p>	
<p>2. 第1次航拍區：預定 拍攝99災區基本地形 圖已重建完成部分。</p>	<p>遵照辦理。</p>	
<p>3. 第2次航拍區：配合 國土測繪中心業務如 電子地圖與國土利用 調查更新，由國土測 繪中心選定區域拍 攝，並製作正射影 像。</p>	<p>遵照辦理。</p>	
<p>1. 第3次航拍區：暫保 留供防救災緊急航 拍使用，若年度內 無緊急航拍需求，</p>	<p>遵照辦理。</p>	

討論事項	回覆說明	章節對照
則另選 100 年度災區基本圖範圍進行拍攝。		
三、 航拍影像處理 規劃與實際作法、系統規劃設計。		
1. 影像處理軟體流程發展：	本案中影像處理流程發展將以中心現有軟體(ERDAS LPS)進行規劃設計、處理流程簡化與擴充。	期中報告 6.1~6.2
1. UAV 航拍相機率定：	執行團隊將利用不同的方式來評估不同的相機率定作業對UAV 影像處理結果的影響，並於期中報告中提出初步結論。	期中報告 6.3
四、 100-101 年完整 規劃		
1. 中心業務如國土利用調查、電子地圖與基本地形圖局部修測，規劃影像處理作業流程並進行測試作業。局部修測之航拍與影像處理、基本圖修測結果應納入期中報告。	執行團隊將利用航拍成果，配合本計畫設計之流程，進行局部修測作業。	
五、 後續代操費用		
1. 關於 103 年度之後續代操作費用評估。	建議根據本年度執行經驗提出相關代操作費用之項目與預算需求，並於期末報告時提出。	
六、 未來發展規劃		
1. 規劃搭配直接地理定位技術。	DG 技術所需要之POS系統精度將對DG之結果有很大的影響，在本工作中	

討論事項	回覆說明	章節對照
	可利用本計畫之地面控制點反推低價位POS之系統性誤差，藉以建立一套評估低價位POS 系統精度之作業流程與評估方式，並將相關結果於期末報告中提出。	
1. 搭載高光譜感測器可行性評估。	本次會議中已就目前市面已推出之設備進行尋找，並將於期中報告中提出相關設備規格與使用可能性評估。	期中報告 3.2
1. 旋翼 UAV 應用評估：	本團隊可提供一部多旋翼自主飛行載具供本計畫進行相關技術研發使用，並於期中報告提出不同載具的性能極限與可能的適用範圍，作為後續載具選用之參考。	期中報告 4.4
<b>七、待協調或建議事項</b>		
1. 建議本案可導入協同作業平台，可強化專案協調溝通管道與訊息交換速度。	已建置完成。	
1. 相關的地面參考點彙整與後續整理方式可於後續執行時討論處理方式。	已取得第一次測試航拍與第二次測試航拍所需要之控制點坐標。	期中報告 5.2~5.3
3. 惠請中心提供97年度探測感應器測繪平台架構規劃暨應用作業案工作資料，作為影像處理流程開發之參考用數據。	已取得該資料。	





附錄 C 工作計畫書審查意見回覆表

問題與意見	回覆說明	對應章節
<p>1. 請將服務建議書委員及工作小組意見與需求訪談會議紀錄及回覆辦理情形檢附於附件。</p>	<p>遵照辦理</p>	<p>附錄 A 附錄 B</p>
<p>2. 報告書中多有「本案、本案、本計畫等」請統一用詞，建議使用「本專案」；「執行團隊」建議修改成「本團隊」；「無人飛行載具、無人飛機；無人飛行載具系統、無人飛機系統」建議統一修改成「無人飛行載具(系統)」；「相機、相機」建議統一修改成「相機」；報告書中多有「內政部國土測繪中心、土地測繪中心、土測中心、貴中心、中心等」請統一用詞為「貴中心」。</p>	<p>已修正。</p>	
<p>3. 有關 GPS/INS 機電整合規劃設計及建議搭載 GPS/INS 型號敘述較少，請補充說明。</p>	<p>目前 IMU 與酬載系統的結合使用的方法是利用飛控電腦來紀錄所有的 IMU、GPS 定位、拍攝時間等各項參數，並於飛行降落後下載該次</p>	<p>作業計畫書 3.3.1</p>

問題與意見	回覆說明	對應章節
	<p>飛行的所有參數。這個方式的好處在於可以簡化系統的複雜度，缺點在於只要更改不同的 IMU / INS 設備後，飛控電腦的程式就需要在更動一次。因此不管選擇的 IMU/INS 的種類為何，要更換硬體設備時，就需要針對不同的軟硬體介面進行修改，但不會影響到其他機內設備的配接。本案今年度將採用有多次飛行資料的 MicroStrain 3DM GX1 作為測試基礎，並據此建立相關性能參數的評估流程以作為後續選用具有 GPS 輔助的 AHSR 設備的標準。</p>	
<p>4. 作業計畫書修正版圖片請用彩色列印。</p>	<p>遵照辦理。</p>	
<p>5. 計畫書中部分資料引用圖片，圖片品質不佳且文字部分模糊不清（如 P27 圖 2.9），請全部重新檢視修正。</p>	<p>已修正。</p>	
<p>6. P.2 第一段文字內容為服務建議書寫法，建議刪除。</p>	<p>已修正。</p>	
<p>7. P.7「詳細作業項目請詳服</p>	<p>已修正。</p>	

問題與意見	回覆說明	對應章節
<p>務建議徵求書」,P.54( 第三段) 出現服務建議書文字不適宜, 請刪除。</p>		
<p>8. 若選定航拍測試區內無航測標, 請補充說明進行布標作業內容(如航測標的大小與數量)為何?</p>	<p>航拍測試時所需航測控制點原則上由中心所指定試驗區內提供現有航測標, 其平面坐標基準採用 1997 坐標系統 (TWD97); 高程坐標基準採用 2001 高程系統(TWVD2001), 航測控制點分布, 為適合空中三角區域平差之要求, 於平地測試區規劃每 4 個空中攝影基線(基線長以重疊 60%為準計算)佈設一航測標, 航測標佈設規定除依建置都會區一千分之一數值航測地形圖作業工作手冊規定之外(內政部, 2010), 空標之尺寸應配合航高、立體測圖儀量測標尺寸及測圖精度等條件之考量, 以可清楚辨認且同時適用於兩不同飛行高度為原則, 空標設置完成後, 需製作空標紀錄表。</p> <p>於不易佈標處或如山區測試區則儘量依據 4 個空中攝影基線(基線長以重疊 60%為準計算)為原則選取明確自然點(地面特徵點)取代空標作為空三控制點, 以確保空三精度要求。</p>	

問題與意見	回覆說明	對應章節
9. 作業計畫書 P.14 資料保全部分，內容請再加強。	專案已採購兩顆 1TB 硬碟作為資料保存與交換使用。另各次飛行與影像處理之成果將個別儲存於硬碟與光碟中，以確保資料的安全性。而密等資料將使用上述硬碟提供之 ASE128 編碼技術利用密碼進行保護。	
10. 作業計畫書 P.17，...皆是利用流程工具來進行限制並提升系統可靠度的作為，請補充所用流程工具為何？	以修正文字為”皆是利用表單與系統軟體工具來進行限制並提昇系統可靠度的作為” 較能貼和預表達之意義。	作業計畫書 3.3.2 P.14
11. 作業計畫書 P.23 「...無人飛機曾於東北季風時出海作業...」，建議修改為「DoDo Pro UAV 曾於東北季風時出海作業...」。	已修正。	
12. 作業計畫書 P.25(第 7 行)「...才有可能到達規格所宣稱之精度...」，建議修改為「才能符合本案所要求精度」。	已修正。	

問題與意見	回覆說明	對應章節
<p>13. 作業計畫書 P.28(倒數 1-6 行) 建議修改為「由於 UAV 航拍任務可能於山區執行拍攝，為避免發生如碰撞山壁情形等飛安問題，本執行團隊使用的航線規劃軟體內建有全臺灣 100 公尺解析度 DEM 資料，可於航線規劃時即了解任務區內的地形起伏情形，隨時進行飛行高度或航線調整，確保任務順利且安全執行，並可將完成規劃的航線分布圖輸出至其他圖台如 Google Earth 或其他地形繪製軟體進行比對」。</p>	<p>已修正。</p>	
<p>14. 作業計畫書 P.35 (倒數第 2 行) 對於側風處理部分，提出可增加一個軸向之雲台，請補充說明執行團隊目前選用解決方案。</p>	<p>單軸向雲台的設計是針對載具之偏航軸進行修正。飛控控制電腦參考 GPS 定位資訊的航向訊號並與 AHRS 系統之磁羅盤的量測值比對。根據這個差值調整次一單軸雲台，使航偏角對拍攝的差異有效的減小，理論上可以減少側向風對於飛行航偏</p>	<p>作業計畫書 3.3.2 P.31</p>

問題與意見	回覆說明	對應章節
	<p>角的影響。目前市面上並無販售適用於本案之單軸雲台，因此將就目前選定之 Canon 5D MKII 相機為基準，進行該雲台的設計。</p>	
<p>15. 作業計畫書 P.36(第三段)與 P37(第 2 段)內容部分重複，建議整併撰寫。</p>	<p>已修正。</p>	
<p>16. 作業計畫書 P.37，在全臺灣標定多個合格之起降跑道可供使用，請補充圖片說明位置所在。</p>	<p>以補充於附錄 D</p>	<p>作業計畫書 附錄 D</p>
<p>17. 作業計畫書 P.38 (表 10) 提出建立標準之緊急事件處置流程，請於適當章節補充相關處置流程。</p>	<p>已補充說明於 3.3.4。</p>	<p>作業計畫書 3.3.4 P.42</p>
<p>18. 作業計畫書 P.41 與 P.43 (表 11) 內容部分重複，建議整併撰寫。</p>	<p>已修正。</p>	<p>作業計畫書 3.3.3</p>
<p>19. 作業計畫書 P.47，請補充說明地面解析度 16 公分與 32 公分是使用何種焦</p>	<p>該解析度為使用 20mm 鏡頭為基準所計算之結果。</p>	<p>作業計畫書 作業計畫書</p>

問題與意見	回覆說明	對應章節
距？		3.3.3 P.38
20. 作業計畫書 P.48，請補充旋翼機相關規劃之航拍測試與應用說明。(局部修測的拍攝、環景...)	已補充於 3.3.3 小節中。	作業計畫書 3.3.3 P.41
21. 作業計畫書 P.50 目前中心購置 DTM 軟體為 Mach-T，並非 LPS ATE、LPS TE 等，請修改。	已修正。	作業計畫書 3.3.5 P.48
22. 作業計畫書 P.55，自率光束法相機率定，係針對哪些內方位元素進行率定？自率光束法空三平差，對於提升空三精度，請補充較詳細說明，建議可將引述之論文重點部分摘錄；...控制點及檢核點由已完成空三立體模型量測...，請補充說明實際作法。	相機率定只要是率定像主距、像主點、以及鏡頭畸變差參數。其餘說明詳見已修正之計畫書 3.3.5 小節。	作業計畫書 3.3.5 P.50
23. 作業計畫書 P.55 提到自率光束法區域平差精度比光束法空三平差好，	詳見已修正之計畫書 3.3.5 小節。	作業計畫書 3.3.5

問題與意見	回覆說明	對應章節
但 P54(第 2 段)還是提出以光束法空三平差進行空三平差計算，是否有其他考量，請補充說明。		P.51
24. 作業計畫書 P.56(第 2 段)「在 LPS 軟體中打開已建立內、外方位之政大專案」，「政大專案」文字請修正調整。	已修正。	作業計畫書 3.3.5 P.53
25. 作業計畫書 P.65，圖 41 系統架構圖有誤，野外航拍作業與地面控制測量應分開進行，請修正。	已修正。	作業計畫書 3.3.6 P.62
26. 作業計畫書 P.68，有關教育訓練部分，建議提出較具體之日期、時間與地點規劃內容。	已修正。	作業計畫書 3.3.7 P.65
27. 建議計畫書中各項空白檢核表格(如作業計畫書 P.77~81)可置於附件中。因本案無監審單位，各檢查表中有關監審單位字詞請刪除。另 P.80~81 檢查表單位，	已修正，並將表格移至附錄 E。	作業計畫書 4.2 附錄 E



問題與意見	回覆說明	對應章節
<p>因測試區以 1 幅大小為原則，資料檢查應以格來劃分，建議將幅修改為格。</p>		
<p>28. 作業計畫書 P.70 (第 1 段、第 6 段) 內容部分重複，建議整併撰寫。</p>	<p>已修正。</p>	
<p>29. 作業計畫書 P.83，請於專案進度時程表成果繳交日期右側加 1 欄位，項目為實際完成日期</p>	<p>已修正。</p>	<p>作業計畫書 P.73</p>
<p>30. 作業計畫書 P.84，計畫執行甘特圖，請於每一項工作項目後面加註百分比配比 (如第 1 階段工作 (25%) ...)，並加列實際進度長條圖，另查核點請標註於圖中</p>	<p>已修正。</p>	<p>作業計畫書 P.74</p>
<p>31. 作業計畫書 P.89~P97 是否要寫計畫經費估算，請考量</p>	<p>已修正。</p>	
<p>32. 作業計畫書 P.99~P121 廠商背景及人員組成經</p>	<p>遵照辦理</p>	<p>作業計畫書 7.2-7.4</p>

問題與意見	回覆說明	對應章節
歷，內容請酌以縮減擇要撰寫。		
33. 作業計畫書計畫書中多處錯、漏字部分，如 P.15，...系統建制(置)； P.17，...禁線(限)航區限制功能，請全面檢視修正。計畫書封面部分，作業計畫書請修改成作業計畫書，投標單位請修改成建置單位，印製日期請修改成民國 100 年 6 月。	已修正。	
34. 有關計畫書內容格式部分，請全面檢視修正： (1) 段落首行請空 2 格。(2) 段落間距多處不一致，請修正。(3) 表格說明格式請置中對齊。(4) P.89，陸、計畫經費估算，本章內容字體大小與其他章節明顯不一致。	已修正。	
35. 執行團隊為作業管控及溝通，提出以 Google 文	已將協作平台之運用增列於 5.3 進度管理小節。	作業計畫書 5.3

問題與意見	回覆說明	對應章節
件專案控管平台部分，可增列納入作業計畫書。		P.77
36. 對於航線規劃軟體是否會整併於本案開發的平台上不太明確，請補充說明。	航線規劃軟體所產出的航線規畫檔 (*.plan) 將會與後續開發的平台進行整合。因此未來在平台的使用上可以直接引入航線規畫檔，作為後續處理之參考基準。	作業計畫書 3.3.3 P.35



附錄 D 工作會議紀錄

討論事項	回覆說明	章節對照
<p>一、 為測試旋翼型 UAV 辦理測繪圖資局部修測作業能力與成果精度品質，由國土測繪中心選定下列地區，請廠商協助配合辦理航拍，並將航拍成果送交國土測繪中心。</p> <p>1. 台中市政府新市政大樓。</p> <p>2. 台中市圓滿戶外劇場。</p> <p>3. 台中市南屯區大墩國小。</p>	<p>遵照辦理。</p>	
<p>二、 有關本案 UAVS 航拍測試區，平地選定農林航空測量所於彰化縣鹿港、福興、秀水地區設置之航攝相機率定場範圍；山區則選定嘉義縣阿里山鄉（圖幅號 95202092）地區，請廠商規劃籌辦相關航拍任務作業。</p>	<p>遵照辦理。</p>	
<p>三、 航拍測試區內已布設航測標之高程系統，請採用正高系統；山區測試區請</p>	<p>遵照辦理。</p>	

討論事項	回覆說明	章節對照
以自然點作為控制點，毋需另行布標。		
四、 本案建置之 UAVS 交付國土測繪中心前請進行飛行任務測試，並通知國土測繪中心人員到場瞭解。	遵照辦理。	
五、 本案 UAV 影像處理分別採用光束法與自率光束法進行空中三角測量計算作業，請將兩種作業方法之比較分析結果納入期中報告書中。	遵照辦理。	期中報告書第六章
六、 有關本案需投稿期刊部分，同意廠商以所提 2 篇論文主題投稿 SG2011 及 TGIS2011 期刊。	已經投稿一篇測量及空間資訊研討會，論文題目為無人飛行載具系統之空中三角測量精度分析。	
七、 UAV 影像處理系統部分，廠商應以國土測繪中心現有 ERDAS 軟體為架構，整合相關軟體至同一程式介面，簡化影像處理操作流程。	遵照辦理。	

附錄 E 期中報告委員審查意見回覆表

期中報告書委員意見回覆表

問題與意見	回覆說明	章節對照
廖法銘委員		
1. 報告書中有許多語意不清與錯字之處，如大範圍的特性、新的工具鏈，何謂大範圍？何謂工具鏈？請補充與修正。	1. 本案所使用的UAV作業半徑為60公里，有效滯空時間達2小時，並可依據拍攝地點進行跑道的選擇，可有效的涵蓋拍攝區域。 2. 工具鏈包含前端的影像取得與後續的影像處理。本案的目標即是建立一套無人飛行載具航拍的作業流程與工作流程，以此構成一工具鏈。	
2. P.5，文字內容與圖片無法對應。	已修正。	
3. P.10，2.5 缺各項工作進度百分比。	已補充。	期中報告書 2.5小節P.13
4. P.11，第2階段有關UAVS部分，包含繳交UAVS規格書（含機電設計、操作安裝手冊），相關規格書內容如機電設計，應檢附於附錄。	另附UAVS規格書（含機電設計、操作安裝手冊）一冊，以方便查閱。	
5. P.13各類UAV規格與3大應用領域對應與分析，請補充。	已遵照工作小組建議，將三大應用領域予以合併說明及分析。	期中報告書 3.2小節
6. 第三章內容，如案例四、五、六缺文獻出處；案例九之文獻年代是否合乎規定？	案例四、五、六所缺文獻已補充，另案例九之參考文獻分別為2008及2009，合乎規定。	

問題與意見	回覆說明	章節對照
7. P.36, UAVS 通訊系統可能會受到其他頻率干擾, 如何處理頻率干擾問題?	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 目前避免干擾的方法為在既有的通訊頻道上使用數位編碼, 強化訊號的可靠度。另外在控制模式的切換上也有特定的程序, 以避免其他無線訊號干擾, 而產生失控現象。</li> <li>2. 在任務執行的同時也會開啟全頻道無線電掃描儀對重要的無線電頻道進行掃描監控。</li> </ol>	
8. P.41, 本案為何出現多旋翼系統? 請說明。	契約內有規範執行團隊需提供旋翼機作航拍使用, 並依7月份工作會議紀錄, 國土測繪中心選定特定地區並請本團隊辦理旋翼UAV相關測試。	<p>期中報告書</p> <p>4.4小節</p> <p>P.81</p>
9. P.43, 3.2.3 高光譜儀運用的評估準則為何? 另有關光譜範圍、重量、介面請一併補充?	本案中之高光譜設備相關資料僅供使用參考, 在本案中並無使用計畫。	<p>期中報告書</p> <p>3.2小節</p> <p>P.42</p>
10. P.57, POS、IMU/INS、AHRS、GPS/INS, 各名詞的定義為何? 請補充。	已增列縮寫符號一覽表。	縮寫參考表
11. P.61, 有關單軸向雲台, 如何驗證品質?	單軸雲台的目的是消除航偏角。航偏角的產生主要為側風產生, 因UAV的巡航速度為50海里至60海里之間, 如果側風大於10海里就會對航偏角產生影響。而校正此航偏角的資料來源為GPS接收機的航向資訊與IMU所提供的指向資訊差異。如果此雲台可以正確動作, 則可在影像處理後看到航偏角檢小的效果。因此規劃尚在測試階段, 因此是否可以減少後處理工作的工作量, 增加航拍得成功率, 還有待後續測試。	
12. P.110, 多旋翼系統測試, 採用何種軟體接圖? P.116, 相關軟體很多, 為何選這四個軟體進行評估?	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 多旋翼系統所使用的拼接軟體為ptGUI。</li> <li>2. 評估乃以”探測感應器測繪平台架構規劃暨應用作業工作總報告書</li> </ol>	



問題與意見	回覆說明	章節對照
	(內政部國土測繪中心, 2009)"中所使用的Hugin免費軟體外, 並在充分利用中心既有軟體的前提下進行測試, 文中已修正。	
13. P.138~P.144 可用表格方式呈現。	感謝委員建議, 平差結果以執行畫面呈現可以易於了解程式操作結果並可以清楚明白相關平差結果及進行對照。	

問題與意見	回覆說明	章節對照
楊維楨委員		
1. 報告書中所用縮寫符號如 DOD、FAA...等 (含圖 3-2 中各符號) 宜另附縮寫符號一覽表加以註釋。	已增列縮寫符號一覽表。	縮寫參考表
2. P.18 小型 UAVS 指總重小於 5 公斤, 目前已開發的 UAVS 重量介於哪一範圍?	UAV 的分級有國際規範, 目前本案使用的 UAV 依據航程的分類介於小型 UAV 與戰術級 UAV 之間, 稱為 NATO Type, 飛行高度為 3000 公尺, 作業半徑 50 公里。	
3. 原 P36 提低成本 UAVS 的缺點, 計畫提出解決辦法, 然則 UAVS 的合理成本約需多少?	UAVS 的成本除載具本身之外, 其定位系統及酬載之成本則視應用需求而定, 目前尚無法給定一個可以涵蓋所有應用之合理成本。本計畫期末將分別針對製圖及防災應用, 依據實際拍攝影像之處理及精度分析, 給予適當之成本估算, 以最為後續年度計畫提昇相關硬體設備之依據。	
4. 對本計畫欲達成之三大主要目標, 請於期末將執行結果與現況作比較分析。	遵照辦理。	
5. UAVS 的操作需受良好的訓練, 本計畫對應施予訓練的對象及應訓練的內容 (手冊、教材) 建議宜早作準備。	謝謝委員指導, 目前已逐步進行相關資料的準備與課程的安排。並安排於任務執行的同時進行相關流程的說明與軟體的操作教學。	

問題與意見	回覆說明	章節對照
6. P.33 提 UAV 相關作業規定並無 1 個明確具公信力的作業規範可供遵循，請團隊針對執行作業應作的風險管理提出說明或 SOP。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 目前已經有各執行流程的標準作業程序 SOP。</li> <li>2. 針對執行規範，需待本案執行第三年計畫後始可有足夠資訊擬定相關規範。</li> </ol>	

問題與意見	回覆說明	章節對照
周天穎委員		
1. 建議報告書中對有關國內外旋翼 UAV 理論及應用可再蒐集較近期資訊補充，包含目前可酬載重量、抗風、航高、甚至自動導航、姿態修正等等技術皆已有重大突破。	將更深入瞭解國內旋翼機現況與實際運用，並於期末報告中一併說明。	
2. 報告書中對國際及國內使用 UAV 之應用及可酬載之儀器建議可更新資訊，包含超光譜酬載儀。	感謝委員指導，後續將於期末報告中蒐集更多相關資料。	
3. 航線規劃圖台採用 100m 解析度 DEM 之原因為何？為何不採用精度較高資料？	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 該資料為取自網路之公開資料，沒有密等規範。</li> <li>2. 該 DEM 資料主要用於輔助規劃航線的高度參考，100m 解析度已經足夠。</li> </ol>	
4. 建議後續報告可加強描述如何讓國土測繪中心妥善應用已添購之硬體設備？如何維護？未來可能運用模式？	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本年度的主要目標在於建立系統，相關的維護程序與手冊也將逐步建立。</li> <li>2. 未來將配合國土測繪中心的發展方向，將 UAVS 導入相關的航拍業務中。</li> </ol>	

問題與意見	回覆說明	章節對照
吳水吉委員		
1. 報告內容有圖編碼與內容不符的地方，文字的錯誤也應檢視更正。	感謝委員指正，已進行修正。	
2. UAV 航拍工作近幾年來在災害上的應用相當成熟，但若要在基本圖的更新上，成果精度相當重要。一般相機的畸變修正亦相當重要，另 GPS 與 IMU 的搭配對於山區的更新方面，應為不可或缺的工具。	UAV 航拍工作在基本圖的更新成果精度相當目前由自率光束法空三平差測試結果應可解決一般相機的畸變修正的問題，由於本案經費有限 因此將採提升GPS精度並朝向GPS輔助空三方式替代GPS與IMU的搭配，期亦能對於山區的圖資更新方面有所貢獻。	
3. 一般相機鏡頭減光情形相當嚴重，要如何處理？若在不改變光譜結構時要如何處理？另需注意影像調色的問題。	感謝委員提醒，將於期末報告前測試中心現有軟體調色之功能。	
4. 報告書裡酬載部分有提到高光譜，目前國內儀器科技研究中心有生產高光譜儀，但光譜感應範圍只到 1.1 $\mu$ m，可參考相關資訊。	儀科中心目前有兩套高光譜儀，分別為ISIS及FUHSI，兩者之光譜範圍皆為435-950 nm。其中僅有FUHSI有機會搭載於UAVS上，本計畫將持續蒐集其資料及可行性評估，並整理於期末報告中。	
5. 報告中提到 DTM，依內政部已有明確的規定，應該是 DEM，但本計畫正射影像用的應該是 DSM，而且是自動匹配而成的，其精度如何？若要作基本圖更新，必須要製作 DEM，如何處理？	文中已補充說明DSM、DTM與DEM之關係。目前是初步程序測試，因此所使用自動匹配的DTM均未經編修(即DSM)。將來將測試人工編修功能，因此製作基本圖更新時，自動匹配的DSM將由人工編修為DEM。	
6. 山區航拍計畫之航線規劃，有無把地形因	感謝委員提醒，航拍取像時已經提高前後重疊至80%左右重疊至40%克服	

問題與意見	回覆說明	章節對照
素考慮進去？	地形因素。	

問題與意見	回覆說明	章節對照
陳哲俊委員		
1. 依需求規格書第 5 項「UAV 航拍影像處理系統規劃」分為兩子項：(1) 研擬 UAVS 航拍影像...。(2) 規劃符合本中心需求之航拍影像處理系統...。雖然整個系統規劃在期末報告詳細說明，現階段似乎應該有一個整個系統之總圖，說明目前已完成 3 項標準作業流程，彼此之間的關係。	「UAV 航拍影像處理系統」之整體規劃總圖及三項標準作業流程之相互關係於「工作計畫書」中已有詳細說明，遵照委員建議，已針對此部分進行些微修正並補充於期中報告書中，細部功能規劃將依據實際航拍影像之測試過程及中心需求，於期末報告中完整呈現。	
2. 報告格式內容，有 2 項缺失： (1) 圖、表與本文不一致：每一張圖表都應在本文內說明，而圖或表之編號應依在本文中出現先後次序進行排序，請全面檢視修正。 (2) 報告書內容有多處錯字，請全面檢視修正。  以上詳細內容，將交給承辦單位在未來修正版本中查對。	感謝委員指正，已進行修正。	

問題與意見	回覆說明	章節對照
艾群委員		
1. 建議 UAVS 規格書可將 P77-82 頁之量化數	已另列於機電設計及操作安裝手冊	

問題與意見	回覆說明	章節對照
<p>據納入，且應含有機電設計及操作安裝手冊，以利後續使用。</p>	<p>中，以利後續使用。</p>	
<p>2. 建議航拍技術與系統實際飛行結合之性能測試，期使能找到系統使用之最佳操作條件。</p>	<p>感謝委員指導，將於後續實測中找尋最佳操作條件。</p>	
<p>3. 建議實地航拍影像測試時，宜找出最高飛行高度、速度時，最佳之影像精度及環境條件。</p>	<p>實地航拍時將根據任務需求規劃航線的參數，以符合計畫需求規格。</p>	



## 附錄 F 期中報告書工作小組意見回覆表

## 期中報告書工作小組意見回覆表

問題與意見	回覆說明	章節對照
1. 建議報告書內容各章節調整修正為：第一章前言，第二章作業分工規劃、工作項目及內容，第三章國內外各類 UAV 案例介紹，第四章定翼型無人飛行載具系統建置，第五章定翼型無人飛行載具任務規劃及執行，第六章航拍影像處理，第七章結論與建議。	已修正。	
2. 報告書中出現「貴中心」、「本中心」、「NLSC」用詞請統一修正為「國土測繪中心」，如 P.3，第 11 行，經本中心審核同意；文中出現「空中三角計算」、「空中三角測量」、「空三」等名稱，文中初次出現請寫全名「空中三角測量（以下簡稱空三）」，後續統一用詞為「空三」，如 P.18；「坐標」、「座標」，請統一使用「坐標」，如 P.105。「本案」、「本專案」請統一使用「本案」。請全面檢視修正。	已修正。	
3. P.3，各階段工作與 P.11 表 2-3 無法對應，請修正。	因於第二章中也提及本年度各階段工作之項目，因此刪除第一章中出現之重複之內容。	
4. P.12，表 2-3 中，成果繳交日期請修正	已修正	P.12、13

問題與意見	回覆說明	章節對照
<p>為成果預定繳交日期，驗收通過日期請修正為成果實際繳交日期；另請補充工作進度甘特圖。</p>		
<p>5. P.13，會議中指示...，蒐集案例至少10例以上。蒐集各國案例為契約書規定，並非會議中指示項目，建議修正為依據契約書規定除工作項目...；另依需求訪談會議結論承辦員指示需針對高光譜運用...。3.1需求訪談此節請併入第二章2.5目前工作進度內容中。</p>	<p>1. 已修正。 2. 已併入工作進度內容中。</p>	P.10
<p>6. P.14，無人飛行載具(Unmanned Aircraft Vehicles, UAVS)與P.6(Unmanned Aerial Vehicles System)名稱不同，是否兩種說法皆可，或有不同涵義，請補充說明。</p>	<p>已統一修改為(Unmanned Aerial Vehicles, UAVS)</p>	P.21
<p>7. P.17，3.2.1.1 UAV於製圖上之應用，案例內容並非皆是製圖應用案例，建議修正為UAV各類應用案例，並將3.2.1.2、3.2.1.3整併入此節，條列案例一～十；案例十標題建議修正為大陸UAVS目前應用現況。</p>	<p>第三章已重新編排，相關案例依據運用領域已重新編排。</p>	<p>期中報告書 3.2小節</p>
<p>8. P.22，依據上述MAP-UAV...，何謂MAP-UAV？請於文中補充相關說明。</p>	<p>MAP-UAV為該研究案例所建立UAVS製圖系統之名稱，已於文中補充說明。</p>	P.29



問題與意見	回覆說明	章節對照
9. 附錄部分之需求訪談與相關會議記錄結論，請用表列方式呈現並補充回覆或處理情形。	已修正完成。	附錄B，附錄D。
10. P.35，表 3-5 UAV 空三資料精度規範，此應為大陸方面規範，請加註資料來源；另為何 1/1000、1/2000 高程精度優於平面精度？	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 資料來源已加註。</li> <li>2. 一般而言，航測平面精度將優於高程精度，但其仍會受飛行高度及控制點佈設而有所差異。表3-5為大陸根據其「低空數字航空攝影」之結果所訂定之內部精度，從規範中並無從得知其高程精度優於平面精度之詳細原因，本計畫後續將以實際UAVS航拍影像，針對不同航高及不同控制點佈設狀況分析其空三精度，以做為後續訂定相關規範之依據。</li> </ol>	P.41
11. P.36，有關 UAV 系統本身的限制，此段落建議併入第七章結論與建議中。	已修正。	7.2 P.160
12. P.37，表 3-6 內容參考網址一列，建議列於參考文獻中。	已修正。	參考文獻
13. P.39，固定翼 UAV 的使用限制在於每次任務都要申請飛行空域...，應非僅限於定翼型 UAV，請修正文字內容。	已修正。	P.17
14. P.42，本團隊提供之多旋翼系統，此段落建議併入第四章定翼型無人飛行載具系統建置之章節中。	遵照辦理。	期中報告書 4.4小節 P.81
15. P.43，3.2.3 高光譜儀運用可能性評估，此小節並無相關評估	遵照辦理。	P.42

問題與意見	回覆說明	章節對照
內容，建議作為 UAV 案例併入第三章國內外各類 UAV 規格及案例介紹中。		
16. P.48，建議補充說明文字如本案建置之 UAVS，其 UAV 型號為 DoDo Pro，採用複合材料機身...。另「DoDoProUAV」、「DoDoPro」請統一用詞為「DoDo Pro UAV」，如 P.49，請全面檢視修正。	已修正。	P.49
17. P.51，任務實際飛行空速 60 節，風速約 20~25 節，約五至六級風，頂風約 13 節，約四級風；側風 20 節以上，約五級風...P53 風力達到時速 40 節，約八級風，無人飛行載具仍能安全返航...無法明確表達本 UAVS 系統之作業能力，請分別說明本 UAVS 系統可正常起降之最大風力為何？可正常航拍之最大風力為何？航拍結果可用於測量製圖之最大風力為何？	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本案 UAV 正常再地面上可安全起降的風速為頂風 20 節，正側風 10 節內，超出此範圍則建議放棄飛行。</li> <li>2. UAV 一但起飛，則可等抗約 30 節的風速，但考量側風會造成飛機的航偏角，因此在航線的設計上要符合當地的風向來作調整。</li> <li>3. 為使航偏角不超過八度，在飛行速度 60 節的情況下，正側風需小於 8 節以內。</li> </ol>	P.52
18. P.56，表 3-9 建議可置於附錄中。	已修正。	附錄 I
19. 定焦鏡頭規格 P60 24mm & 50mm 與 P81 20mm & 50mm 不一致，請查明修正。	已修正完成。	
20. P.61，3.3.2 安全機制考量，本節應為敘述	1. 已修正完成。	期中報告書

問題與意見	回覆說明	章節對照
<p>本案建置之 UAVS 航拍任務安全機制，建議於文中註明；另旋翼型 UAV 安全機制是否相同？請補充說明。P.64「無人飛機」用詞，請統一修正為「UAV」。</p>	<p>2. 旋翼機UAV的相關安全機制與定翼型UAV 類似，但因旋翼機無法在失去動力後持續飛行，需特別注意。</p> <p>3. 已統一修正。</p>	<p>4.3小節</p>
<p>21. P.68，圖 3-51，圖中飛行高度並未達 3000 公尺，請檢視修正。</p>	<p>該圖為3D 立體圖，高度確為3000公尺，因視角問題造成誤解，可參考圖 4-17。</p>	<p>期中報告書 4.2 小節 P.64</p>
<p>22. P.72，導航點 3 以原廠工程師特殊手段硬寫入禁航區之內以驗證自動迴避功能，本段文字語意不清，建議修正為而原廠工程師將導航點 3 設定於禁航區之內以驗證自動迴避功能。</p>	<p>已修正。</p>	<p>期中報告書 4.3.1小節 P.68</p>
<p>23. P.77~82，表 3-13~3-15，建議置於附錄中。</p>	<p>已修正。</p>	<p>附錄H</p>
<p>24. P79 發電機與 P81 定焦鏡頭之廠牌及型號請予以註明。</p>	<p>已增列於附錄H。</p>	<p>附錄H</p>
<p>25. P.83，建議修正為 3.4 無人飛行載具任務規劃及執行。</p>	<p>已變更為第5章 定翼型無人飛行載具任務規劃及執行。</p>	<p>P.91</p>
<p>26. P.99，「根據工作指示...」，建議修正為根據 7 月份工作會議結論；P.101，3.4.3 山區航拍測試區域亦請加註根據 7 月份工作會議結論之說明。</p>	<p>已修改。</p>	<p>P.106 P.108</p>
<p>27. P.102，檢定標是否自行布設？若否，請</p>	<p>已修正。</p>	<p>P.108</p>

問題與意見	回覆說明	章節對照
註明資料來源。		
28. P.103, 3.4.4 多旋翼系統運用, 建議併入第三章。P.109, 3.4.5 多旋翼系統航拍測試建議併入第四章。	該章節已移至4.4 小節	P.81
29. P.109 何謂 720 度空中環景? 同時使用 5 台數位魚眼相機是否超過負載?	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 720度空中環境義指水平360度拍攝加上垂直360度拍攝之全景拍攝。</li> <li>2. 該酬載重量含雲台為700g, 尚可負荷, 但不能進行長時間飛行, 實際飛行時間約為7分鐘。</li> </ol>	P.87
30. P.113, 圖 3-99, 此圖內容流程有誤, 快速影像幾何糾正鑲嵌、防救災應用影像處理、圖資更新等並非僅使用控制測量成果製作, 請檢視修正。	已修正圖6-1, 其中圖資更新僅採控制測量成果; 快速影像幾何糾正鑲嵌僅使用歷年各項航測製圖成果資料庫; 而防救災應用影像處理則可使用控制測量成果或歷年各項航測製圖成果資料庫。	P.112
31. P.114, 約佔四張五分之一基本圖範圍, 建議補充敘述範圍大小數字, 如約 6x6km 範圍; 航拍時使用鏡頭焦距約 21mm 的...; 另本測試區採用何種 UAV 執行航拍? 請補充說明。	已修正與補充。	P.113
32. P.116, 3.5.2, 本小節未依所列軟體順序進行評估且未明確說明評估的原則與項目為何? 如處理時間、成果品質、是否為中心已有軟體等? 請補充, 並於結論說明何者最佳及建議採用何種軟	文中已修正說明, 評估原則最主要的是中心已有之軟體為主, 其次是處理時間, 並以地面檢核點說明成果品質; 至於EnsoMOSAIC軟體之評估說明已從文中移除。	期中報告書 6.1小節 P.116

問題與意見	回覆說明	章節對照
<p>體。第 3 種軟體 ENSO 的之建議說法不妥適，建議不納入評估或可納入評估但應在相同評估原則與項目基準之下，提出具體結論與建議。</p>		
<p>33. P.120，進行幾何糾正鑲嵌之作法，建議將 4 階段作法以條列式方式撰寫。</p>	<p>已修正。</p>	<p>期中報告書 6.1小節 P.119</p>
<p>34. P.131，表 3-20，利用相同的空三結果所製作不同網格大小之 DTM，為何 X、Y 方向精度相差至 8~10 倍之多，其原因為何，請補充說明。</p>	<p>原因推測應是不同網格大小自動匹配之點數不同使得內插產生精度不同之 DTM 所引起。</p>	<p>期中報告書 6.1小節 P.129</p>
<p>35. P.134 採用三種不同方式率定相機所得之焦距相差甚大，何種方法較為可靠？有無其他率定方法？</p>	<p>其原因是不同軟體採用不同方法在室內率定，但無論如何率定，室內率定條件的物距有限(約3~6m)與UAV航拍取像時物距為無限遠有所不同，後續將會在航拍測試區之鹿港率定場進行相關航拍測試，利用已知地面控制點坐標以自率光束法空三解算相機內方位參數，並把所得焦距與室內率定結果作一比較。</p>	<p>期中報告書 6.2.2.1 P.135</p>
<p>36. P.137，若設定地面點精度為 X、Y 坐標均為 0.35m，Z 坐標為 0.5m，為何設定此值？是否代表原始資料本身精度？請補充說明。</p>	<p>LPS ORIMA 執行空三平差時若將所加入的地面點 X、Y 坐標精度設定為 50 m，Z 坐標精度設定為 100 m 即可將其視為檢核點使用。</p>	<p>期中報告書 6.2.2.1 P.139</p>
<p>37. P.137，圖 3-125 點編號不清，無法清楚辨識，請修正。</p>	<p>已儘量將圖放大，然此圖主要說明控制點和檢核點分布情形，因此點號並不強調。</p>	<p>P.140</p>
<p>38. P.146，表 3-23 中，不同軟體採用不同</p>	<p>此次試驗，控制點來源是以製作五分之一地形圖時所完成空三平差的航</p>	<p>期中報告書</p>

問題與意見	回覆說明	章節對照
空三平差方式所率定出之焦距誤差似乎偏高，原因為何？是否可得知何種率定方式較佳？請於本方案中提出建議。	拍立體影像量測而得，若控制點精度提昇，對於一般光束法空三平差以及自率光束法空三平差影響為何？以及不同控制點分布形式對於空三平差影響為何？將在期末報告中提出。	6.2.2.1 P.150
39. P147 目前承載之 INS 及 GPS 上無法滿足製圖之定位需求，似須採購更高精度之戰術級產品，可能因輸出管制，造成採購困難，其採購方式及所需時間請納入評估。	目前 UAV 因載體承載量有所限制，造成所承載之 INS 及 GPS 精度尚無法滿足製圖之定位需求，此部分本計畫案中未來將用模擬資料輔助說明之。採購更高精度之戰術級產品可能導致成本高於計畫案預算，因此本案擬以提升 GPS 之定位精度用以測試 GPS 輔助空三之可行性並探討其精度。	P.150
40. P.148，何謂 PP Kinematic 模式？請補充說明。	PP Kinematic 模式指的是可接收 L1/L2 載波相位觀測值的觀測模式，已於文中說明。	期中報告書 6.2.2.2 P.151
41. P.159，工作遭遇困難與解決方案請併入第七章結論與建議內容中；解決方案並未針對工作遭遇困難進行說明，請補充；另請於第七章內容補充目前期中工作已完成哪些工作項目？期末或未來要完成哪些工作項目？	已修改。	P.159

文字及圖、表相關錯漏部分修正建議

問題與意見	修改說明
1. P.2、P.33,「台灣」請修正為「臺灣」。	已修改。
2. P.9,圖 2-3,再軟體與資料流整合。	已修改。
3. P.10, 作業計畫書。	已修改。
4. P.13、P.166 「個次飛行」請修正為「各次飛行」。「會議記錄」請修正為「會議紀錄」。	已修改。
5. P.14, 圖片編號錯誤,圖 3-1 所示。	已修改。
6. P.15, 而災害監測(如野火偵測)工作,屬於土地管理任務,...。圖片編號錯誤,圖 3-2、圖 3-3。	已修改。
7. P.18, ...與傳統航空攝影測量類似...。	已修改。
8. P.19,「um」請修正為「 $\mu\text{m}$ 」。	已修改。
9. P.20,( <del>是</del> 圖 3-7)、( <del>是</del> 圖 3-8)、( <del>是</del> 圖 3-9)、( <del>是</del> 圖 3-9),請全面檢視修正。	已修改。
10. 報告書中出現有彩色圖說之圖片,如 P.25,請用彩色列印。	遵照辦理。
11. P.27, 農作物的生長評估與紀錄。	已修改。
12. P.28, 報告書中多處出現分佈用詞,請統一修正為 <u>分布</u> 。可於空三平差計算中有效抵抗相機參數之影響量,建議修正為有效降低相機參數之影響量。	已修改。
13. P.33, 相較於對岸大陸,對於 UAV 的應用開始的較早...,建議修正為 <u>中國大陸在 UAV 的應用方面</u> ,開始的較早...。整理於干表 3-3、干表 3-4,請全面檢視修正。	已修改。
14. P.36, UAVS 的操作者仍須受過良好的訓練,以儘量避免安全相關議題,建議修正為以儘量 <u>達到任務執行之安全</u> 。	已修改。
15. P.39, 近年來許多國外廠家設計...。	已修改。

問題與意見	修改說明
16. 文中多處出現 <u>正射</u> 拍攝一詞，如 P41，請全面檢視並修正為 <u>垂直</u> 拍攝。	已修改。
17. P.46，相關資料顯示就 <u>網頁上的子解</u> ，這套空用系統...。	已修改。
18. P.49...「部份」請修正為「部分」。	已修改。
19. P.50，因此定翼飛機的定期維護...。	已修改。
20. P.61 「海涅」請修正為「海里」或「涅」。	已修改。
21. P.62，本案 <del>次標案中所採用</del> 提供之 UAV...。	已修改。
22. P.65，回報當時作業高度(MSL)。	已修改。
23. P.68，DoDo Pro UAV# <del>3</del> 於...。	已修改。
24. P.77 「在向上爬升」請修正為「再向上爬升」。	已修改。
25. P.80 「可進行水平 450 度，垂直 +/-90 度追蹤」，請修正為「可進行水平 360 度，垂直 90 度追蹤」。	已修改。
26. P.103，具備電腦輔助控制定點懸停...。(6) 720 度環景拍攝。	已修改。
27. P.106，文字建議修正為詳細的計算細節目前已經 <u>整合至航線計算軟體</u> 中。	已修改。
28. P.107，可以將 <u>序列</u> 拍攝的照片拼接成一張較大範圍的地圖。	已修改。
29. P.109，本團隊採用五台高畫質數位魚眼相機 <u>作為影像來源，在固定的幾何安排下</u> ...。	已修改。
30. P.112，UAV 航拍影像處理依 <u>契約書</u> 內容分為...。	已修改。
31. P.113，圖 3-99，此圖內容流程有誤，快速影像幾何糾正鑲嵌、防救災應用影像處理、圖資更新等並非僅使用控制測量成果製作，請修正。	已修改。
32. P.117~119，相關流程圖格式請統一。	已修改。
33. P.130，...立體量測共 20 點作為 <u>檢核點</u> ...；DTM 製作 25 <del>公分</del> *25m	已修改。



問題與意見	修改說明
為目標。	
34. P.135，圖 3-123，設定像點量測精度。	已修改。
35. P.148，...度。UAV 上的 GPS...；在計畫初期於政大校園...。	已修改。
36. P.149，原擬以 GPS 動態...。	已修改。



附錄 G 工作總報告書委員意見回覆表

工作總報告書委員意見回覆表

問題與意見	回覆說明	章節對照
劉正千委員		
1. 報告內容豐富，值得肯定。但結論部分，請針對原設定之目標，評估本計畫之成果是否可以達成設定之目標。	感謝委員肯定，結論部份已就目標與結果進行說明。	11.1小節， P.255
2. 許多測試區都是在高低起伏不大的平原區（如鹿港），不易完全驗證正射影像及DEM的精度，未來可補強驗證方式。	本專案對於正射影像及DEM精度均以均勻分布之檢核點計算之，雖無法完全驗證但已足以說明。	
3. 今年的屏東滿州老佛地區的土石流災害為何沒有去拍？	本案所選一般航拍區除台中特3號道路為配合本中心業務需求辦理外，其餘為防救災中心評估後建議拍攝之監測重點區域，與老佛地區相較之下，更需先取得航拍影像。本團隊另一專案有前往屏東縣老佛山、龍鑾潭一帶進行空中監測。	
4. UAV 航拍有空域與安全限制問題，未來如何長期推動？	UAV 在運作時必須迴避載人飛行器，除此之外，僅需遵守空域使用規範進行任務，即可避免不必要之困擾。另外發生緊急災害時，空域統一由防災中心進行調度，在運用面上不會與載人飛行器發生衝突。	
5. 屏東來義地區的影像處理無法收斂，如何排除？為何可以如此排除？這是否是誤差較大的主要原因？	屏東來義測區採一般航拍任務所建議的程序進行空三平差時，由於測區位於山區，於粗差偵錯過程中很容易將連結點刪到不足以進行自率光束法空三平差，因此嘗試將UAV上所記錄之曝光時刻GPS資料作為輔助空三求解之觀測資料，設定適當之權，此即相當空中增加控制點，雖精度不高但可增加自率光束法空三平差之約制條	

問題與意見	回覆說明	章節對照
	件，只要連結點並無太多錯誤匹配存在仍可以協助完成精度不高之自率光束法平差。	
6. 作出來的 DEM 應與現有的 LIDAR 產製之 DEM 比較，正射影像應與現有的正射影像去比對，這樣才能評估產品是否可用。	雖然製作出的 DEM 可與 LIDAR 產製的 DEM 比對其精度，但需有該區之 LIDAR 產製之 DEM 資料；正射影像已有檢核點檢核其精度，並進行驗證。	
7. 正射影像是否有裁切？邊緣為何非常平整？	部分測試區正射影像製作的確有裁切，所以邊緣平整。	
8. 成本應再加入 ERDAS LPS 軟硬體等價錢。	本案使用之 ERDAS 軟體分屬國土測繪中心與政治大學所有，在實際運用上並不建議使用單位添購。一則價格昂貴，一則需要專業使用知識。往後推動運用若有後製需求，建議在進行航拍取像後，將資料交由專業機構進行處理，比較能發揮經濟效益。	
9. 從各次航拍影像排列分布圖來看，風況對 UAV 飛行幾乎無任何的影響，似乎不太可能，請補充說明。	一般航拍任務測試區與航拍任務測試區之航拍影像分布圖是以 LPS 之 ORIMA 軟體，以各航拍影像拍攝瞬間 GPS 所記錄之位置資料以及相機參數計算繪出航拍影像涵蓋分布圖，並無載入 IMU 所記錄之姿態資料，所以分布圖上未呈現拍攝當時的影像姿態，因此圖上較看不出風況對 UAV 飛行的影響。	

問題與意見	回覆說明	章節對照
楊維楨 委員		
1. 對於 UAV 的緊急處理在 P.124 列了 SOP，但失事原因的分析（17 頁）部分未在 SOP 考慮之列，對於軟硬體意外事故原因也請列檢查表。	已增列於表 7-1。	7.1 小節 P.216

問題與意見	回覆說明	章節對照
<p>2. 專案計畫目的僅要建置 UAVS 航拍系統，P. 75 寫主要目標為建置定翼型 UAVS，但將提供一架多旋翼系統進行相關圖資局部更新能力（智飛多旋翼系統），這次失事的 UAV 係屬哪一種型式？附錄 0 失事報告 P. 18 損失分析建議也可概列費用作參考；表中 UAV 機身「新重新製作」應改為「需重新製作」；失事影響工作進度多少亦請補充說明。</p>	<p>1. 本案失事之飛行器係定翼型飛行器。 2. 損失分析已增列成本供後續參考。 3. 已修正錯字。 4. 由於本案合約要求需有備用機，因此飛機失事所影響到的時程為改裝備用飛機酬載系統與測試時間，約十個工作天。</p>	
<p>3. 「縮寫參照表」可改為「縮寫符號一覽表」列在後面，部分需補充說明，如 P. 33，LPS、ISDM 是什麼軟體？可進行空三解算？建議可比照附錄 P. 11 名詞說明表解說較好。</p>	<p>已修改與增列。</p>	<p>縮寫符號一覽表，P.261</p>
<p>4. 漏列之縮寫符號不少，如 P. 182，DGPS；P. 30，DTB；P. 67，GCS；P. 42，NDVI；P. 35，SIFT；P. 91，UAV-MP；P. 42，U-MAP 等等，請補充。</p>	<p>已增列於縮寫符號一覽表內。</p>	<p>縮寫符號一覽表，P.261</p>

問題與意見	回覆說明	章節對照
吳水吉 委員		
1. 本計畫目標在於 UAV 的推廣，在報告內所列之案例飛行結果之影像都相當整齊，應該是在天候條件良好下之結果，建議未來應該加入各種天候條件下作測試。	目前進行航拍任務主要以影像成像清楚為前提，因此會以天候優良與否作為出勤考量。根據本團隊過去其他專案經驗，雨天時成像品質差、多雲時無法拍攝到目標區，空氣品質差時可用影像處理方式強化圖像。側風超過巡航速度20% 時則有操作安全考量。	
2. UAV 影像涵蓋的範圍小，在重疊率的設計上是否有遇到困難，若有，應如何解決？	目前目標區影像的重疊率設計皆為前後80%，左右50%，可符合目前影像處理之要求。	
3. 山區的匹配相當困難，本計畫開始有提供 GPS、IMU 之輔助，但是報告書內容都未提及，是否應該作測試？請補充說明。	本專案於6.2.2.2 進行GPS/IMU 輔助空中三角測量模擬測試，以目前GPS/IMU精度仍不足以輔助空三平差計算，而提升GPS精度比提升IMU精度進行輔助空三平差更具經濟效益；亦於6.2.2.3 進行GPS輔助空中三角測量初步測試，明年度將以提升GPS精度進行輔助空三平差。	6.2.2.2小節， P.164 6.2.2.3小節， P.176
4. 快速幾何糾正鑲嵌成果實在很差，不過由影像來看，航拍效果還不錯，但不同航帶誤差相當大，若有誤差向量圖，應找出原因。	原快速幾何糾正鑲嵌目的是為求快速，因此對於影像匹配之影像連結點僅以自動粗差方式連續除錯，過程中儘量不以人工量測連結點，亦不以人工方式觀察像點除錯，由於空三平差自動除錯受限於正確匹配數量是否多到足夠可以將錯誤匹配點偵測出，由其是山區的航拍影像，此導致快速自率光束法平差於山區還拍影像仍存在大量錯誤匹配點或者連結強度不足，此都導致快速幾何糾正鑲嵌成果很差，此部分於明年度計畫將再與國土測繪中心詳細討論一般航拍任務之目的以及另行於Erdas Imagine環境下再開發較適合的鑲嵌程式。	
5. 不同相機是否每一部	本專案採自率光束法空三平差進行空	

問題與意見	回覆說明	章節對照
相機都需要作相機之率定工作，由誰來作？請補充說明。	三平差解算，不同相機皆需作率定工作但僅需率定一次即可，本專案於期中已由本團隊完成兩個鏡頭之相機率定工作。	
6. 報告為黑白印刷且相片數量相當多，無法展現良好效果，建議加入報告 CD 片，增加可讀性。	已改正，並檢附電子檔供後續參考與使用。	

問題與意見	回覆說明	章節對照
王成機 委員		
1. 期末報告中，有些流程圖中之文字不完整，請修正。	已修正。	
2. 本案測試區 GPS 實測之地面控制點及檢核點高程修正為正高系統，應說明如何修正及其精度。	本專案以內政部所公布之大地起伏模式進行高程改正，已於報告中補充修正。	
3. 一般航拍區，在無控制點時，幾何糾正影像精度很差，無法符合本案目標，應檢討原因，並提出解決方法，是否以國土測繪中心之 e-GPS 站資料進行解算，以提高曝光時載具 GPS 精度，請參考。	一般航拍區，在無控制點時，幾何糾正影像精度很差，其原因是一般航拍區是為求快速幾何糾正鑲嵌，因此對於影像匹配之影像連結點僅以自動粗差方式連續除錯，過程中儘量不以人工量測連結點，亦不以人工方式觀察影像點除錯，由於空三平差自動除錯受限於正確匹配數量是否多到足夠可以將錯誤匹配點偵測出，由其是山區的航拍影像，此導致快速自率光束法平差於山區還拍影像仍存在大量錯誤匹配點或者連結強度不足，此都導致快速幾何糾正鑲嵌成果很差，此部分於明年度計畫將再與國土測繪中心詳細討論一般航拍任務之目的以及另行於 Erdas Imagine 環境下再開發較適合的鑲嵌程式。而明年度亦將以提升 GPS 精度進行輔助空三平差。(詳見 6.2.2.2 GPS/IMU 輔助空中三角測量模擬測試，以及 6.2.2.3 GPS 輔助空中三角測量初步測試)	
4. P. 255，有關 101 年度作業建議，請詳加說明如何改進及如何作業。	1.本專案於一般航拍任務之影像處理建議所採用快速正射幾何糾正程序於山區時仍有一定之難度且一般航拍任務應用於緊急救難時，航拍時可能是在天候不佳的狀況下，此時所建議的程序將因影像品質不佳而無法進行鑲嵌，因此建議後續計畫可自行開發一	第十一章， P.257



問題與意見	回覆說明	章節對照
	<p>套架構Erdas Imagine環境下利用UAV所記載之GPS/IMU資料，搭配以人工方式進行旋轉與縮放之快速鑲嵌，雖精度不高但應可加速作業，甚至將來可發展即時快速鑲嵌作業系統。</p> <p>2.經模擬資料顯示目前UAV上所記錄之GPS/IMU精度對於山區輔助空三平差精度，檢核點平面精度約1~2m、高程精度9~19m(表7-13(b))，對於製圖而言空三平差精度仍顯不足；模擬資料也證實提升GPS精度比提升IMU精度對於輔助空三平差精度更具效益，因此後續計畫可在UAV載具上酬載具接收雙頻訊號之GPS接收板並朝向GPS輔助空三進行實作與研究。甚至將來可朝向以e-GPS、VRS-GPS協助即時航拍定位，並將此資訊運用於GPS輔助UAV影像空三處理以及一般緊急航拍影像快速鑲嵌作業。</p> <p>3.本案初步證實以自率光束法空三平差可提升UAV航拍影像之空三精度，但仍有不足之處，後續應可加強探討影響自率光束法精度之因素，並訂定UAV航拍影像製圖的規範。</p> <p>4.試驗過程後期發現測繪中心雖購置兩套MatchT軟體可自動匹配DTM，但並未購買編修DTM模組DTMaster Stereo。明年度計畫可針對此部份詳加評估是否購買編修DTM模組DTMaster Stereo，或者購買購置LPS ATE、LPS TE等DTM模組，以利後續影像後製處理作業。</p>	

問題與意見	回覆說明	章節對照
艾群 委員		
1. 建議宜將操作使用儘量智慧化，如相機焦距使用與飛行高度、速度、風速等環境條件應可自己設定，讓使用者可以更容易操作。	目前航拍相關的相關參數與航拍路徑可使用航拍計算機這套軟體進行計算，而航拍細節的微調與飛行安全的考量則在任務規劃這套軟體中進行。大部分的重要參數皆可自動化生成，使用者可以藉由這兩套軟體完成任務規畫工作。	
2. 建議耗油監控宜朝飛行器之飛行安全為主進行考量。	已開始嘗試改進措施，並計畫於完成驗證後開始使用。	

問題與意見	回覆說明	章節對照
周天穎 委員		
1. P. 75，驗收照片，圖 4-32 UAV 自 15km 處回傳即時拍攝影像，已錄影時間 3:24，以時速 100 公里，飛行時間 3.5 分鐘應該不會超過 6 公里，但圖示為自 15KM 傳回的訊息，請補充說明。	該圖示為 UAV 到達 15 公里處時開啟錄影機開始錄影之時間。該次測試地面站有全程監控，但僅就重要時間點進行錄影，方便後續進行影像剪輯。	P.72
2. P. 81，720 度環景，第五行，一次使用五台數位相機同時拍攝，超出 P. 62 頁描述的起飛酬載重量；前後的說明不一致。請補充。	P.62 提及之酬載規格為定翼機所使用，P.109 提及旋翼機進行 720 環景拍攝所使用的數位相機單機約 90 公克，五台相機連同機架重約 700 公克，尚能進行任務。	
3. P. 89，表 5-1 拍攝路徑規劃，建議納入專業的航空用氣象資	目前進行任務規劃時會引用多種氣象資訊，包含中央氣象局預報資料、氣	

問題與意見	回覆說明	章節對照
<p>料，因高度最高可達3000公尺以上(1萬英尺)，在如此大的高度變化下，不同高度的風場會大幅影響無人載具的飛行距離及穩定度。</p>	<p>象站即時資料與網路氣象模型資料作為主要資訊，同時也會詢問近場台航管人員作業空域附近的雲高與風力，但上述資料僅限於航道內載人航空器回報之資訊，並不完整。另外在飛行計畫軟體中有風力預估的功能，可以根據估測的風向風力進行航程的估算，避免不必要的危險。</p>	
<p>4. 第八章的系統規劃，雖說明採用 UML 的 Use Case Diagram 來描述系統功能，但每一個 UML 規劃的使用案例圖和作業流程圖架構內容幾盡相同？未達系統規劃的目的。建議補充說明。</p>	<p>一般UML的Use Case Diagram 是用來描述使用者的系統需求，因此針對原先與使用者溝通時所繪製的作業流程圖來繪製 use case diagram，說明系統將會有哪些功能，因此會與流程圖有類似的內容。</p> <p>至於詳細的系統功能規劃則以 Activity Diagram (活動圖)及系統邏輯圖(類別圖)來呈現。</p> <p>由於本案所謂的系統將建立在現有軟體上，利用上述兩種圖形來描述系統功能規劃已經足夠，因此不再利用物件圖或循序圖來描述如何進行系統實作。</p>	
<p>5. 在成本分析中，建構一套完整的定翼型無人載具及地面控制系統需要190餘萬元，市場上也有類似的產品，建議說明此產品設計使用的優勢及有別其他已市場化定翼機產品之處。</p>	<p>本案所使用系統包含載具、通訊與酬載系統，單就載具與控制系統來說約130萬元，以價格性能比來說，在國內外市場皆具有競爭力。另外本案所使用之同型載具具備完整的航拍專用控制軟體配套流程，亦是和其他定翼機 UAV 不同之處。</p>	

問題與意見	回覆說明	章節對照
鄭彩堂 委員		
1. 封面部分文字重複，請修正。	已修正。	封面
2. 部分圖片建議改彩色列印呈現，以提高可讀性。	已修正。	
3. P. 12，進度表文字過小，建議放大。	已修正。	
4. P. 61，提出單軸向雲台可降低側向風對航偏影響，將選定相機進行設計，其結果為何？若尚無結果，是否可列入爾後工作項目？	加入單軸向雲台的優勢是可以減少側向風對相機指向所產生的影響。而加入單軸向雲台主要的變數在於機械結構校準問題，本年度中尚未就本項議題進行系統系探討，預期於下一年度工作中進行。	
5. P. 40，敘述 UAV 在八級風下仍能安全返航，具極高可靠性，可再補充敘述是否可正常執行任務，並提出具體成果或數據佐證。	八級風作業屬特殊案例，一般而言在先前規劃階段會避免在極端天氣進行航拍任務，因為會嚴重影響飛行品質。	
6. P. 62 及 P. 71，對 UAV 飛行時間所作測試中，UAV 內置最大燃油數似有不同，原因為何？	原內置油箱容量為4000cc，但為確保飛行安全，在9月4日的功能測試中有增掛一個900cc油箱。	
7. 本案預定執行至 103 年請提供未來 3 年規劃方向及目標，以協	101年 1.開發一套架構Erdas Imagine環境下利用UAV所記載之GPS/IMU資料，搭	

問題與意見	回覆說明	章節對照
<p>助本中心未來推動建置 UAV 之運作、管理、維護參考，其中 101 年內容應較為具體完整。</p>	<p>配以人工方式進行旋轉與縮放之快速鑲嵌</p> <p>2.在UAV載具上酬載具接收雙頻訊號之GPS接收板並朝向GPS輔助空三進行實作與研究。</p> <p>3.訂定UAV航拍影像製圖的規範。</p> <p>4.評估是否購買編修DTM模組DTMaster Stereo?或者購買購置LPS ATE、LPS TE等DTM模組，以利後續影像後製處理作業。</p> <p>102年</p> <p>1. 以e-GPS、VRS-GPS協助即時航拍定位，並將此資訊運用於GPS輔助UAV影像空三處理以及一般緊急航拍影像快速鑲嵌作業。</p> <p>103年</p> <p>1.發展即時快速鑲嵌作業系統。</p>	
<p>8. 部分內容資料有誤或不一致，如目錄之附錄名稱及次序與 P. 259 附錄順序不一致；第十一章標題名稱與頁首的名稱不一致。</p>	<p>已修改。</p>	



## 附錄 H 工作總報告書工作小組意見回覆表

### 工作總報告書工作小組意見回覆表

問題與意見	回覆說明	章節對照
1. 建議增加中英文摘要說明。	已增列。	P.261
2. 目錄頁，縮寫參照表 P.17-18，中文說明項下多個文字對齊格式有誤，請修正。	已修正。	P.261
3. P.7 提及專案各階段考量及 P.255 提及操作訓練，未來本中心有可能自行操作 UAV 飛行及航拍，可否就人員專業飛行方面需要那些教育訓練及認證，1 年內或 3 年內如何規劃培訓本中心人員有自行操作能力，請於 101 年度工作計畫書提出完整規劃及課程安排。	將於101年度計畫中提出配套方案。	
4. 第六章定翼型無人飛行載具飛行安全機制，建議調整至第七章；第七章航拍影像處理請調整至第六章。	已調整。	第六章 第七章
5. 報告書中出現「中心」「貴中心」「測繪中心」「國土測繪中心」用詞請統一修正為「國土測繪中心」；「飛行控制電腦」、「飛控電腦」用詞請統一修正為「飛控電腦」，如	已修正。	

問題與意見	回覆說明	章節對照
<p>P.122;「1/5000 地形圖」請統一修正為「五千分之一地形圖」,如 P.133;「相機」、「像機」,請統一用詞,如 P.186; P.105~107、P.163 文中出現「高雄桃源區」「高雄勤和村」、「高雄市桃源區勤和村」名詞,請統一修正為「高雄市桃源區勤和村」。請全面檢視修正。</p>		
<p>6. P.10, 工作項目第 1 項需求訪談與資料蒐集,應補充需求訪談相關作業情形於報告書中;2.5 工作進度部分,文字內容建議修正為「<u>本案已完成 3 階段工作,並已提送相關作業成果,工作之相關期程...</u>。」</p>	<p>已修正。</p>	<p>P.11</p>
<p>7. P.12-13, 各工作項目權重加總未達 100%, 請檢視修正。</p>	<p>已修正。</p>	<p>P.15</p>
<p>8. P.93, 文字建議修正為「...相關資訊的 kml 檔,<del>一般</del>明確標示出 UAV 起降點及任務區,有助於快速掌握所需資訊,如圖 5-6。」</p>	<p>已修正。</p>	<p>P.79</p>
<p>9. P.123, 表 6-1。Emergency Procedure SOP 建議翻譯成中文。</p>	<p>已修正。</p>	<p>表 7-1, P.215</p>
<p>10. P.126, <u>事故時間表</u>如表 6-2, 詳細之失</p>	<p>已修正。</p>	<p>表 7-2, P.218</p>



問題與意見	回覆說明	章節對照
事報告請參考附錄 O。		
11. P.127, 第一段文字內容請補充阿里山保固飛行之油耗, 以便與鹿港測試飛行之油耗進行比較。	已修正。	P.219
12. P.129, 事件檢討結論提到應更新油量監控方式, 其具體作法為何? 請補充說明。	目前預備採用油位計來進行流量偵測, 尚要經過實驗測試才會導入實際運用。	
13. P.149、P.199, 表 7-5 只列出 97 年專案的檢核成果, 未列出本年度檢核成果, 建議應將兩年度的結果皆列入表格中以進行比較。	已經將『97年專案的檢核成果』單獨表格刪去, 並將本年度成果中加列”97年專案的檢核成果”以方便進行比較。	6.1 小節, P.115 6.2 小節, P.153
14. P.153, 本案成果與 97 年專案成果比較, 精度差異約 2 倍, 請補充說明原因為何。	已補充說明。	6.1 小節, P.115 6.2 小節, P.153
15. P.204, 有關「DSM」名詞定義請依「內政部基本圖測製規範(草案)」規定, 統一修正為「數值覆蓋面模型」。	已更正。	P.224
16. P.206, 表 7-22 <del>4</del> 航高 500 公尺正射鑲嵌...。	已經補充。	表 6-22, P.185
17. P.213, 表 7-24 <del>6</del> 航高 1000 公尺正射鑲嵌...。	已更正。	表 6-24, P.192
18. P.214, 阿里山測試區請比照鹿港測試區, 區分兩個航高(約 500、1000 公尺)進行相關作業	已經補充。	6.2 小節, P.153

問題與意見	回覆說明	章節對照
成果說明。		
19. P.218、P.253,「..產製之正射影像精度也達一定精度..」,請補充數據資料以輔助說明。	已補充說明。	P.206
20. P.246,建議修正為「 <del>廠商合理之收費價格應</del> 所需費用落於7~8萬」。	已修正。	P.250
21. P.249,10.3.3計畫推廣項目,建議文字修正為「10.3.3其他成果作業成本分析」。	已修正。	P.253
22. P.251,10.5計畫成本估算,本章應為成本分析而非成本估算,此小節建議刪除。	已修正。	
23. P.257-258,重要參考文獻(如編號8、14-19),請提供電子檔併同本案所有成果儲存於應繳交之外接硬碟中。	遵照辦理。	
24. P.259,附錄目錄與實際所附資料順序有誤,如附錄K應為教育訓練簽到表,請檢視修正。	已修正。	
25. 報告書中多處圖、表標號錯誤,如P.169,圖7-55應為圖7-56,請全面檢視修正。	已修正。	

文字及圖、表相關錯漏部分修正建議

問題與意見	修改說明
37. P.15，本章就 <u>純</u> 國內外...	已修正，請參閱 P.17。
38. P.112，兩個高度的飛行。	已修正，請參閱 P.98。
39. P.114，海拔 1400~2400 <u>公尺</u> 之阿里山北側山區...。資料的 <u>蒐</u> 集。雲 <u>蓋</u> 率。	已修正，請參閱 P.100。
40. P.120，飛機使用壽命可以 <u>延長</u> ...	已修正，請參閱 P.212。
41. P.123，...狀況處理建議表如表 <u>6-1</u> 。	已修正，請參閱 P.215。
42. P.125， <u>(2)</u> 空域侵入問題。	已修正，請參閱 P.217。
43. P.126，...無任何人員與財物之損失。	已修正，請參閱 P.218。
44. P.127， <u>計畫</u> 。	已修正。
45. P.132，圖 7-1，圖片不清，請修正。	已修正，請參閱 P.114。
46. P.133， <u>荖</u> 濃溪；...既有軟體的前提下。	已修正，請參閱 P.115。
47. P.137，Resample Method。	已修正，請參閱 P.119。
48. P.144，如圖 7-20 <u>開啟</u> Ortho...	已修正，請參閱 P.126。
49. P.146，對於一般航拍 <u>任務</u> 幾何糾正。	已修正，請參閱 P.128。
50. P.157，表 7-7 <u>表</u> 中統計結果顯示...	已修正，請參閱 P.132。
51. P.170，...輸出影像 <u>輸出</u> 。	已修正。
52. P.199~218，表格標號有誤，請修正。	
53. P.235，「 <u>新</u> 臺幣 192.6 萬元 <u>整</u> ， <u>分</u> 述如下：」。	已修正，請參閱 P.247。
54. P.237，...政治大學綜合院館...	已修正，請參閱 P.241。
55. P.240，「各項經費需求 <u>分析</u> 如下：」。	已修正，請參閱 P.252。
56. P.246~P.250，「 <u>新</u> 臺幣」。	已修正。



## 附錄 I UAVS 酬載相機率定報告書

### Canon EOS 5D Mark II 24mm 相機率定報告書

iWitness Project Summary (01/09/2011 13:21pm)

---

Project Name: .

Camera name(s): Canon EOS 5D Mark II (unique ID: default)

Scale Set?: Warning, no scale set

Number of images: 9

Number of referenced points: 150

Number of cameras: 1

Quality of geometry: 1.1 (good)

Minimum number of points on an image: 181 on image: IMG\_1635.JPG

Minimum point intersection angle: 45 degs for point: BW20\_B7

Number of points referenced on:

2 images only: 0

3 or more images: 150

4 or more images: 150

6 or more images: 81

Estimated accuracy of 3D point coordinates (RMS 1-Sigma):

X: 0.0804 units, or 1:78300

Y: 0.1587 units, or 1:39700

Z: 0.0759 units, or 1:83000

Overall: 0.1050 units, or 1:60000

Estimated accuracy of image referencing: 0.10 pixels

Quality of self-calibration (if applied): 1.1

3D coordinate text file: N/A.

3D coordinate DXF file: N/A

---

Camera Name: Canon EOS 5D Mark II

Unique ID: default

Calibration Date: 01/09/2011 13:20pm

Resolution: Width = 5616 pixels, pixel width = 0.0064 mm  
Height = 3744 pixels, pixel height = 0.0064 mm

Principal Distance  $c = 24.5449$  mm

Principal Point Offsets  $x_p = 0.1348$  mm  
 $y_p = 0.0225$  mm

Radial Distortion  $K_1 = 1.2511e-004$   
 $K_2 = -3.3466e-007$   
 $K_3 = 3.0885e-010$

Decentering Distortion  $P_1 = 5.1741e-006$   
 $P_2 = 9.3367e-006$

Affinity Parameter  $B_1 = -1.404e-004$   
 $B_2 = 1.158e-004$

Radial Distortion Correction Profile

r (mm)	dr (microns)
0.0	+0.0
2.0	+1.0

4.0	+7.7
6.0	+24.5
8.0	+53.7
10.0	+94.7
12.0	+144.0
14.0	+195.9
16.0	+244.4
18.0	+286.4
20.0	+325.3

Project 3D Points

	Label	X	Y	Z	SX	SY	
SZ							
	BW19_3	-2809.9626	5148.1885	2293.4530	0.0735	0.1679	0.0858
	BW19_2	-2809.8846	5147.3526	2269.0733	0.0728	0.1671	0.0851
	BW19_1	-2809.8365	5146.9577	2244.9274	0.0721	0.1664	0.0844
	BW19_B15	-2777.6803	5146.8907	2292.2150	0.0729	0.1667	0.0853
	BW19	-2785.6446	5146.6105	2269.1821	0.0723	0.1662	0.0848
	BW19_5	-2761.5297	5145.9692	2269.2880	0.0720	0.1655	0.0844
	BW19_B11	-2746.5228	5145.4464	2288.3367	0.0723	0.1655	0.0848
	BW19_B5	-2753.4760	5145.2071	2246.5206	0.0712	0.1647	0.0837
	BW3_1	-2190.8035	3624.6903	-469.5203	0.0708	0.0963	0.0665
	BW3_B1	-2190.0778	3624.7543	-493.7777	0.0709	0.0964	0.0671
	BW3_2	-2166.7292	3625.5424	-468.9977	0.0706	0.0959	0.0663
	BW3_B5	-2187.9551	3625.1159	-525.9096	0.0732	0.0988	0.0686
	BW3	-2166.0394	3625.4489	-492.9621	0.0728	0.0982	0.0676
	BW3_3	-2142.3583	3626.2541	-468.3004	0.0726	0.0978	0.0668
	BW3_5	-2165.4446	3625.7442	-517.2680	0.0729	0.0983	0.0682
	BW3_B13	-2141.0877	3626.4428	-516.5842	0.0706	0.0956	0.0672
	BW16_B11	-2835.2651	5140.1098	1088.4767	0.0554	0.1473	0.0648
	BW16_B15	-2839.4934	5140.5893	1057.0895	0.0553	0.1473	0.0646
	BW16_5	-2816.5873	5139.7532	1073.1145	0.0534	0.1392	0.0620
	BW16_3	-2841.1708	5140.6576	1024.9800	0.0532	0.1394	0.0618
	BW16	-2816.8548	5139.7529	1048.9347	0.0533	0.1392	0.0619
	BW16_2	-2817.0900	5139.7389	1024.7061	0.0553	0.1471	0.0644

## 100 年度發展無人飛行載具航拍技術作業-工作總報告書

BW16_B3	-2793.7257	5139.0159	1064.9473	0.0535	0.1391	0.0619
BW16_1	-2792.7939	5138.7355	1024.4484	0.0555	0.1469	0.0643
BW17_3	-2920.8959	4594.4160	-150.6318	0.0538	0.1245	0.0655
BW17_2	-2921.0633	4594.5089	-174.9785	0.0539	0.1247	0.0659
BW17_1	-2921.2081	4594.6637	-199.0796	0.0540	0.1248	0.0663
BW17	-2897.0408	4593.0764	-175.0681	0.0538	0.1242	0.0657
BW17_B13	-2872.9012	4591.4567	-150.8043	0.0536	0.1235	0.0651
BW17_5	-2873.0028	4591.5520	-175.1671	0.0537	0.1237	0.0655
BW17_B5	-2865.1222	4591.1563	-198.0092	0.0537	0.1237	0.0659
BW17_B9	-2849.4486	4590.1523	-169.8335	0.0536	0.1232	0.0653
BW14_3	-2168.8928	5410.1924	26.9160	0.0749	0.1631	0.0710
BW14_2	-2168.8999	5409.8111	2.8001	0.0750	0.1634	0.0714
BW14_1	-2168.7834	5409.8370	-21.2943	0.0751	0.1636	0.0717
BW14	-2144.7950	5408.2090	2.9439	0.0755	0.1636	0.0715
BW14_B13	-2120.8090	5407.4165	27.1698	0.0758	0.1636	0.0713
BW14_5	-2120.7521	5406.8995	3.1734	0.0759	0.1638	0.0716
BW14_B3	-2128.5845	5407.5468	-19.8300	0.0759	0.1640	0.0719
BW14_B9	-2097.3531	5406.0121	8.7189	0.0763	0.1640	0.0717
BW9_3	-1198.4794	5134.2112	-138.9162	0.0908	0.1733	0.0788
BW9_2	-1198.9018	5134.0604	-163.2677	0.0844	0.1647	0.0773
BW9_1	-1199.1748	5133.5947	-187.3109	0.0908	0.1734	0.0795
BW9_B15	-1166.5583	5132.1098	-140.6720	0.0941	0.2122	0.0943
BW9	-1174.8472	5132.6527	-163.5814	0.0911	0.1738	0.0793
BW9_B1	-1175.1783	5132.0619	-187.6190	0.0911	0.1739	0.0797
BW9_5	-1150.6655	5130.9344	-163.8903	0.0914	0.1743	0.0795
BW9_B9	-1127.1287	5129.5586	-158.7352	0.0917	0.1747	0.0796
BW10_3	-1658.3720	5392.8905	1371.3386	0.0750	0.1606	0.0681
BW10_2	-1658.0620	5393.0304	1347.2818	0.0751	0.1607	0.0681
BW10_1	-1657.7564	5393.0737	1323.0672	0.0753	0.1609	0.0680
BW10	-1634.1056	5391.5390	1347.6144	0.0755	0.1611	0.0682
BW10_B1	-1633.7259	5391.7207	1323.4468	0.0790	0.1687	0.0724
BW10_B15	-1626.5062	5391.0029	1370.5117	0.0754	0.1610	0.0683
BW10_5	-1609.9654	5390.4149	1348.1503	0.0791	0.1689	0.0726
BW10_B11	-1595.1752	5389.5828	1367.1734	0.0792	0.1691	0.0728
BW4_B5	-331.9778	5441.7055	2078.8929	0.0881	0.1558	0.0781
BW4_5	-324.0379	5442.0028	2056.0543	0.0881	0.1559	0.0782
BW4_B15	-307.9832	5441.4849	2033.0977	0.0912	0.1612	0.0835
BW4_B1	-299.9084	5441.4581	2080.0423	0.0882	0.1559	0.0782



BW4	-299.8973	5441.2957	2055.8763	0.0808	0.1562	0.0794
BW4_1	-275.8530	5441.2247	2080.0781	0.0913	0.1611	0.0836
BW4_2	-275.7949	5441.1902	2055.8520	0.0809	0.1563	0.0795
BW4_3	-275.8923	5441.3417	2031.7084	0.0913	0.1613	0.0836
BW1_1	1593.6641	4938.0810	1492.5197	0.0692	0.1547	0.0678
BW1_2	1594.6252	4937.9170	1516.5761	0.0693	0.1547	0.0679
BW1_3	1595.6218	4938.2502	1540.9057	0.0693	0.1547	0.0681
BW1_B1	1617.5535	4936.4678	1491.4893	0.0690	0.1542	0.0677
BW1	1618.5348	4936.8329	1515.6428	0.0691	0.1543	0.0678
BW1_5	1642.6149	4935.3181	1514.5270	0.0689	0.1539	0.0677
BW1_B5	1649.6455	4934.7059	1491.3935	0.0688	0.1537	0.0675
BW1_B9	1666.3015	4933.9551	1519.1178	0.0687	0.1535	0.0676
BW11_3	1063.2689	3152.0623	-488.9684	0.1247	0.1105	0.0660
BW11_2	1063.2383	3151.6240	-464.5924	0.1249	0.1105	0.0656
BW11_B11	1000.2260	3157.6974	-483.7649	0.1231	0.1095	0.0656
BW11	1039.2237	3153.3599	-464.5755	0.1243	0.1100	0.0655
BW11_5	1015.2445	3156.1006	-464.6609	0.1266	0.1113	0.0660
BW11_1	1063.1112	3150.9282	-440.4676	0.1251	0.1104	0.0652
BW11_B7	994.7883	3157.5753	-451.6201	0.1232	0.1093	0.0651
BW11_B3	1023.0841	3154.7502	-441.8724	0.1240	0.1097	0.0650
BW7_B1	-318.1636	3646.0195	-371.3696	0.0912	0.1393	0.0782
BW7_B7	-273.6452	3644.2460	-360.0837	0.0936	0.1490	0.0803
BW7_1	-342.4129	3646.7947	-371.5767	0.0908	0.1390	0.0781
BW7_5	-294.2020	3644.2541	-346.9380	0.0916	0.1394	0.0777
BW7	-318.4394	3645.1262	-347.3591	0.0931	0.1483	0.0797
BW7_2	-342.5840	3645.7967	-347.4321	0.0909	0.1388	0.0774
BW7_B15	-310.6627	3643.5904	-324.2920	0.0914	0.1390	0.0770
BW7_3	-342.7461	3644.4775	-323.0762	0.0929	0.1478	0.0789
BW13_B3	2773.9879	5180.8842	-476.7947	0.0822	0.1767	0.0829
BW13_B7	2802.4367	5179.7186	-467.3199	0.0827	0.1768	0.0825
BW13_1	2733.7062	5182.6039	-477.8714	0.0812	0.1765	0.0831
BW13_5	2782.0850	5180.4481	-454.0912	0.0819	0.1765	0.0822
BW13	2757.9715	5181.4165	-453.9791	0.0813	0.1763	0.0822
BW13_2	2733.8494	5182.1829	-453.7236	0.0807	0.1762	0.0823
BW13_B15	2766.0456	5181.2203	-430.9202	0.0810	0.1761	0.0815
BW13_3	2734.1961	5182.4062	-429.2852	0.0803	0.1759	0.0815
BW18_B5	1758.2127	4923.9756	-172.0091	0.0707	0.1366	0.0699

## 100 年度發展無人飛行載具航拍技術作業-工作總報告書

BW18_1	1702.1090	4926.0363	-172.8901	0.0713	0.1371	0.0703
BW18_5	1750.4958	4923.6871	-149.0044	0.0708	0.1366	0.0696
BW18_B9	1774.0177	4922.3815	-143.7070	0.0706	0.1363	0.0694
BW18	1726.3834	4924.9285	-148.7540	0.0711	0.1368	0.0698
BW18_2	1702.3852	4926.2537	-148.5508	0.0713	0.1370	0.0700
BW18_B15	1734.4726	4923.3474	-126.1181	0.0710	0.1366	0.0694
BW18_3	1702.4899	4924.8004	-124.5882	0.0682	0.1326	0.0681
BW20_1	1591.9403	4929.6351	459.1546	0.0734	0.1642	0.0690
BW20_B7	1660.6737	4928.6675	471.0874	0.0757	0.1820	0.0739
BW20_5	1640.0982	4929.0025	484.0497	0.0690	0.1542	0.0662
BW20	1615.8428	4929.4166	483.7235	0.0692	0.1546	0.0664
BW20_2	1591.6709	4929.7102	483.3485	0.0734	0.1641	0.0689
BW20_B11	1654.8312	4928.4207	503.0897	0.0688	0.1539	0.0660
BW20_B15	1623.5199	4929.4043	506.5440	0.0691	0.1544	0.0662
BW20_3	1591.3986	4930.1361	507.4276	0.0695	0.1550	0.0664
BW15_B3	2843.9441	5289.2469	2146.4722	0.0761	0.1747	0.0998
BW15_1	2803.5053	5291.0597	2145.5993	0.0733	0.1630	0.0927
BW15_5	2852.0517	5288.6873	2169.0517	0.0765	0.1750	0.1009
BW15	2827.9214	5290.0392	2169.3549	0.0761	0.1746	0.1002
BW15_2	2803.7267	5290.8849	2169.6366	0.0736	0.1631	0.0935
BW15_B9	2875.5803	5288.2786	2174.2364	0.0771	0.1754	0.1017
BW15_B15	2836.0049	5289.5435	2192.1915	0.0766	0.1749	0.1013
BW15_3	2803.9652	5290.8159	2193.9033	0.0760	0.1745	0.1006
BW5	-1000.7164	5365.4317	1013.3021	0.0976	0.1971	0.0813
BW5_5	-976.6660	5364.4969	1012.7283	0.0979	0.1977	0.0815
BW5_1	-1025.2461	5366.5982	989.6952	0.0974	0.1967	0.0809
BW5_B7	-956.5080	5363.3852	999.0483	0.0861	0.1759	0.0733
BW8_1	-319.2161	5334.5811	680.8012	0.0884	0.1635	0.0776
BW8_2	-294.9936	5333.0235	680.4784	0.0897	0.1582	0.0788
BW8_3	-270.9351	5331.9478	680.3061	0.0883	0.1635	0.0777
BW8_B1	-319.5955	5333.5074	656.5995	0.0799	0.1537	0.0723
BW8	-295.3165	5332.6138	656.4056	0.1032	0.1677	0.0858
BW8_5	-295.6293	5331.9013	632.1292	0.0857	0.1581	0.0749
BW8_B13	-271.5090	5330.6480	631.9490	0.0884	0.1638	0.0776
BW8_B9	-290.4565	5331.1017	608.5945	0.0821	0.1590	0.0745
BW12_B7	481.5258	5293.7182	1336.0772	0.0867	0.1749	0.0818
BW12_5	502.0968	5293.0291	1323.2737	0.0894	0.1872	0.0864
BW12_B13	502.3925	5293.7150	1299.1371	0.0868	0.1752	0.0816

BW12_B3	509.7828	5292.0855	1346.2490	0.0809	0.1691	0.0767
BW12	526.2548	5291.8803	1323.5541	0.0894	0.1872	0.0863
BW12_1	550.0712	5289.9148	1348.0003	0.0810	0.1691	0.0766
BW12_2	550.4174	5290.4755	1323.7661	0.0810	0.1694	0.0766
BW12_3	550.6324	5291.0170	1299.6558	0.0774	0.1696	0.0759
BW6_B7	2388.4727	5208.4740	1294.9029	0.0722	0.1796	0.0779
BW6_B13	2409.1067	5208.1864	1257.8928	0.0694	0.1667	0.0716
BW6_5	2408.9727	5207.6959	1281.9546	0.0667	0.1679	0.0718
BW6	2433.1260	5207.0093	1282.0326	0.0693	0.1667	0.0720
BW6_B1	2433.0251	5206.6220	1306.2308	0.0643	0.1579	0.0679
BW6_1	2457.0786	5205.7157	1306.4388	0.0718	0.1794	0.0784
BW6_3	2457.1653	5206.3046	1258.0502	0.0692	0.1666	0.0719
BW6_2	2457.1662	5206.1571	1282.1931	0.0718	0.1793	0.0780
BW2_B5	336.0745	5295.6041	-84.4977	0.0933	0.2820	0.1037
BW2	304.2520	5296.3502	-61.2361	0.0954	0.3304	0.1082

---



## 附錄 J UAVS 系統規格表

### 一、定翼型無人飛行載具系統



DoDo Pro UAV 規格說明

特色	規格說明
通訊	配備長距離數據通訊鏈路，控制半徑可達 50 公里以上，即時影像傳輸半徑可達 30 公里以上。
地面控制站	利用無人飛行載具（系統）地面控制站，地面操作人員可在控制半徑內，隨時對無人飛行載具進行監測、變更飛行計畫與控制攝影酬載。
推進系統	採用以無鉛汽油為燃料之二衝程引擎，提供穩定之馬力。
滯空能力	未掛副油箱（4.0 公升）：3 小時以上 加掛副油箱（6.5 公升）：4 小時以上
起降操作	傳統跑道滾行起飛（需 100 公尺柏油跑道），跑道降落。
酬載	可搭載高畫素單眼相機與慣性量測設備或是高縮放倍率攝影模組

### SD FCC 規格說明

特色	詳細說明
飛行控制模式	全自動飛行/RPV 飛行/SAS 增穩控制飛行/手控飛行
酬載控制功能	高解析度數位相機/全向式攝影機/電子開關
起降輔助功能	EZ-T/O 與 EZ-Landing 電腦輔助起降
任務控制功能	遠端即時飛行計畫上傳與更改、遠端酬載控制
導航點更新	由無線電上傳或地面人員連線上傳燒錄
安全設計	可設定禁航區，具備迴避禁航區功能
導航設備	可同時追蹤 12 顆衛星之高感度 GPS 接收機
人機介面	中文化地面控制站軟體/機上操作面板

二、可攜式地面控制站



控制站電腦規格		
系統功能規格 / 功能	國土測繪中心需求規格	遞交規格
地面站電腦運算能力	Intel P2 Due Core 1.6GHz, 2G DDR2-533 RAM	Intel Core i5 2.3GHz, 2G DDR3-RAM, 獨立顯示卡
地面站電腦運算 連接能力	1. RS232*4 2. 硬體影像壓縮設備	1. RS232*4 2. 硬體影像壓縮使用 SSD HD
地面站電腦儲存 裝置	固態硬碟 SSD	128GB 固態硬碟 SSD
電源供應	1. 100W 足瓦電源供應器 2. 連續工作 5 個小時電源 供應	1. 150W 足瓦電源供應器 2. ELEMEX SHX1000 1KW 四衝程靜音發電機
導控站顯示器	12 吋以上液晶螢幕	12 吋液晶螢幕
即時影像顯示器	12 吋以上液晶螢幕	21.6 吋液晶螢幕
音效	系統內建音效輸出	立體聲喇叭
系統功能規格 / 功能	國土測繪中心需求規格	遞交規格
自動追蹤天線	天線需可經由控制器控制 進行水平角度 360 度, 垂直 角度 90 度之轉動, 用以追 蹤無人飛行載具發送之無 線電電波	具備自動追蹤 UAV 之功能, 可 進行水平 450 度, 垂直 +/-90 度 追蹤
天線收納	需具備可伸縮與收納之天 線架	1. 天線具備收納功能 2. 另外提供天線收納箱
天線連接	需與本體整合	與本體進行防水裝配整合
無線電規格	1. 影像無線電, 直線傳輸	1. 影像無線電, 直線傳輸距離

	距離大於 15 公里，影像尺寸 640*480 以上 2. 數據通訊無線電，直線傳輸距離大於 30 公里	大於 30 公里，影像尺寸 640*480 2. 數據通訊無線電，直線傳輸距離大於 50 公里
系統功能規格 / 功能	國土測繪中心需求規格	遞交規格
中文化操作界面	無人飛行載具地面控制站軟體需具備中文化介面，並可同時監控無人飛行載具之位置、高度、速度與航向	中文化介面，並可根據使用者要求重新設計使用者介面
天線自動追蹤功能	系統軟體需可根據無人飛行載具所在位置，控制無線電天線進行無人飛行載具自動追蹤，以延伸通訊距離	1. 可自動進行 UAV 追蹤 2. 可搭配多個地面站進行多地面站中繼控制
限制性空域防護功能	無人飛行載具(系統)地面控制站軟體需有強制避開敏感區域之設計，地面控制站軟體進行航路規劃時應強制迴避敏感空域，使無人飛行載具(系統)無法進入敏感空域(諸如機場上空等)	1. 可依據使用者規範，設置敏感空域，使用者無法在此區域進行航線設計 2. 飛控電腦內建禁限航區飛行範圍，UAV 無法超出此範圍進行操作
3D 地形高資料	地面控制站軟體需有 3 維高度資訊，提供無人飛行載具(系統)飛行高度設定參考	1. 航線規劃軟體提供全台 3D 地形高，供使用者進行航線規劃時參考使用 2. 飛行計畫可輸出至其他圖台，驗證飛行計是否設定於安全高度
飛行資料紀錄功能	地面控制站軟體需可全程紀錄無人飛行載具(系統)狀態，供後續參考比對使用	1. 地面控制軟體以 1.5Hz 速度更新即時飛行狀態 2. 飛控電腦以 35Hz 速率紀錄飛行與航拍資訊
酬載控制功能	地面控制站軟體需可動態控制無人飛行載具(系統)之酬載設備，使其進行拍攝動作。	1. 地面控制站除可事先進行酬載拍攝計畫外，另可動態更動酬載拍攝設定，增加航拍靈活度
即時影像顯示功能	需具備傳輸即時影像功能	地面站具備即時影像傳輸功能
飛行計畫即時變更功能	地面控制站軟體需可動態變更飛行計畫	地面站可根據需求即時變更航點或是整個飛行計畫



## 三、酬載相機規格 Canon 5D MK2



UAV 酬載感測器（數位相機）基本規格		
系統功能規格 / 功能	需求規格	遞交規格
酬載相機種類	數位單鏡反光相機 (DSLR)	數位單鏡反光相機 (DSLR)
感測器尺寸	有效畫素 2000 萬畫素 (含) 以上之全片幅 CMOS 感測器	2110 萬像素 CMOS 全片幅相機
鏡頭焦段	焦距範圍在 20~35mm 及 45~90mm 範圍之定焦鏡頭 2 個	提供 Canon EF50 1.4 USM 50mm 與 EF24 F1.4L II USM 24mm 定焦鏡頭各一顆
記憶容量	16GB (含) 以上	32 GB
影像格式	JPEG/RAW	JPEG/RAW
紀錄畫素	5616x3744 (含) 以上	5,616 x 3,744 pixels
最大儲存張數	1500 張 (含) 以上	大於 1500 張
連拍速度	每秒 2 張 (含) 以上	3.9 張/秒
外部觸發快門	提供外部觸發快門，快門速度 1/1000 秒以上	1. 提供外部觸發快門 2. 快門速度達 1/8000 秒
ISO 感光度	至少 100~800 (含) 以上	50~25600
防震需求	上述設備安裝於機體內均需配置被動防振機構，防止相機振動	1. 裝置於飛行驗證過之被動減震機構上，拍攝成功率達 98% 以上 2. UAV 出廠前調校鏡頭光軸角度
相機率定程序	相機於執行空拍任務前需經過相機率定程序，率定報告需送交國土測繪中心	1. 各鏡頭使用 PhotoModeler 或是 iwittiness 進行相機室內率定



Canon 5D Mark II 規格			
類型	自動對焦及自動曝光數位單鏡反光相機		
記錄媒體	Type I 或 II CF 記憶卡，支援 UDMA		
	* 記錄至接駁到無線檔案傳輸器 WFT-E4/E4A 的 USB 外置媒體		
影像感應器尺寸	約 36 x 24mm		
適用鏡頭	Canon EF 系列鏡頭(EF-S 系列鏡頭除外)		
	(鏡頭有效焦距與鏡頭標示的相同)		
鏡頭接環	Canon EF 鏡頭接環		
影像感應器			
類型	CMOS 影像感應器		
畫素	有效畫素：約 2110 萬畫素		
	總畫素：約 2200 萬畫素		
長寬比	03:02		
色彩濾鏡系統	RGB 原色濾鏡		
低通濾鏡	固定於 CMOS 影像感應器前方		
除塵功能	(1) 影像感應器自動清潔裝置		
	(2) 手動清潔影像感應器		
	(3) 除塵資料附加至拍攝的影像		
記錄系統			
記錄格式	相機檔案系統設計規格 DCF 2.0		
影像類型	JPEG 及 RAW (14 位元, Canon 原創)		
RAW+JPEG 同時記錄	可隨意設定 3 種 RAW 及 6 種 JPEG 的組合		
4 檔案大小	(1) 大/精細：	約 2100 萬畫素(5616 x 3744)	
		約 6.1 MB	
	(2) 大/普	約 2100 萬畫素(5616 x 3744)	

	通：	約 3.0 MB	
	(3) 中/精細：	約 1110 萬畫素(4080 x 2720)	
		約 3.6 MB	
	(4) 中/普通：	約 1110 萬畫素(4080 x 2720)	
		約 1.9 MB	
	(5) 小/精細：	約 520 萬畫素(2784 x 1856)	
		約 2.1 MB	
	(6) 小/普通：	約 520 萬畫素(2784 x 1856)	
		約 1.0 MB	
	(7) RAW：	約 2100 萬畫素(5616 x 3744)	
		約 25.8MB	
	(8) sRAW1：	約 1000 萬畫素(3861 x 2574)	
		約 14.8MB	
	(9) sRAW2：	約 520 萬畫素(2784 x 1856)	
		約 10.8 MB	
	* 確實檔案大小因拍攝主體、ISO 感光度及相片風格等而異		
資料夾設定	可建立及選擇資料夾		
檔案編號	連續編號、自動重設、手動重設		
配合 WFT-E4/E4A 記錄功能	當相機已裝有 CF 卡及已將 USB 外置媒體連接至 WFT-E4/E4A 時，可使用以下記錄功能：		
	(1) 標準		
	(2) 自動切換記錄媒體		
	(3) 按照影像記錄畫質分別記錄		
	(4) 記錄相同影像		
	(5) 備份至外置記錄媒體		
影像處理			
色彩空間	sRGB、Adobe RGB		
相片風格	標準、人像、風景、中性、忠實、單色及使用者定義 1-3		
白平衡	自動、日光、陰影、陰天、鎢絲燈、螢光燈、閃光燈、自訂，色溫設定(2500-10000K)		
自動白平衡	影像感應器具有自動白平衡功能		
色溫補償	白平衡修正：在+/-9 級間以整級調節		
	白平衡包圍：在+/-3 級間以整級調節		
	* 可選擇為藍/琥珀色偏移或洋紅/綠色偏移		
色溫資料傳送	有		

消除雜訊功能	可應用於長時間曝光影像及高 ISO 感光度影像	
影像亮度自動修正	自動亮度優化	
高光色調優先	有	
鏡頭周邊亮度校正	有	
加入原始影像確認資料	有 (透過另購的原始資料安全套裝 OSK-E3 確認)	
取景器		
類型	眼平五稜鏡	
覆蓋範圍	垂直/水平方向約 98%	
取景器放大率	約 0.71 倍 (以 50mm 鏡頭作無限遠距離對焦)	
視點	約 21 mm (由接目鏡鏡片中央計算)	
內置屈光度矯正	-3.0 至 +1.0 m <sup>-1</sup> (屈光度)	
對焦屏	可更換(可選配另外兩種類型)，附有 Eg-A 標準對焦屏	
反光鏡	快速回彈半透反光鏡 (傳送:反射比率 40:60，使用 EF 600mm f/4L IS USM 或焦距更短的鏡頭時，不會出現取景器變黑情況)	
取景器資料	自動對焦資料(自動對焦點、對焦確認指示燈)， 曝光資料(快門速度、光圈、ISO 感光度、自動曝光鎖、曝光程度、重點測光圈、曝光警告)，閃光燈資料(閃光燈就緒、高速同步、閃光燈曝光鎖、閃光燈曝光補償)，影像資料(高光色調優先 (D+)，單色拍攝，白平衡修正，最大連續拍攝數量，CF 卡資料)， 電量檢查	
景深預覽	使用景深預覽按鈕啟動	
自動對焦		
類型	TTL-CT-SIR 自動對焦專用 CMOS 感應器 (TTL 輔助影像重合, 相位檢測)	
自動對焦點	9 個主要自動對焦點及 6 個輔助自動對焦點	
工作範圍	EV -0.5-18 (ISO 100，攝氏 23 度)	
對焦模式	(1) 單張自動對焦	
	(2) 人工智能伺服自動對焦	
	(3) 人工智能自動對焦	
	(4) 手動對焦	
自動對焦點選擇	自動選擇、手動選擇	
選定自動對焦點顯示	在取景器中對焦點重疊顯示，並在液晶面板上顯示	
自動對焦輔助燈	透過 EOS 專用外接閃光燈發射	
自動對焦微調	有	
曝光控制		
測光模式	TTL 光圈全開 35 區測光系統	
	(1)	評價測光 (與任何對焦點連動)

	(2)	局部測光 (覆蓋取景器中央的 8% 區域)	
	(3)	點測光 (覆蓋取景器中央的 3.5% 區域)	
	(4)	中央加權平均測光	
測光範圍	EV 1-20 (攝氏 23 度, EF 50mm f/1.4 USM 鏡頭, ISO 100)		
曝光控制	程式自動曝光(全自動、創意自動、程式), 快門先決自動曝光、光圈先決自動曝光、手動曝光、B 快門曝光、E-TTL II 自動閃光		
ISO 感光度範圍	全自動、創意自動: 在 ISO 100-3200 之間自動設定		
(建議曝光指數)	P、Tv、Av、M、B: ISO 100-6400 (以 1/3 級調整)、自動、或可擴展至 ISO 50(L)、ISO 12800(H1)或 ISO 25600(H2)		
曝光補償	手動及自動包圍曝光 (可與手動曝光補償配合設定)		
	可設定值: 在 +/-2 級間以 1/3 或 1/2 級為單位調整		
自動曝光鎖定	自動: 使用單張自動對焦模式和評價測光時, 對焦後自動鎖定		
	手動: 於任何測光模式下使用自動曝光鎖按鈕		
快門			
類型	電子操作, 焦平面快門		
快門速度	1/8000 秒至 30 秒、B 快門(整個快門速度範圍。可用範圍隨拍攝模式而改變)		
	閃光燈同步: 1/200 秒		
快門釋放	輕觸式電磁釋放		
外置閃光燈			
適用閃光燈	Canon EX 系列外置閃光燈		
閃光燈測光	E-TTL II 自動閃光		
閃光燈曝光補償	+/- 2 級, 每次以 1/3 級 或 1/2 級調整		
閃光燈曝光鎖定	有		
外置閃光燈設定	閃光燈功能設定, 閃光燈自訂功能(C.Fn) 設定		
PC 端子	有		
驅動系統			
驅動模式	單張拍攝、連續拍攝、10 秒自拍/遙控、2 秒自拍/遙控		
連續拍攝速度	最快約每秒 3.9 張		
最大連續拍攝數量	JPEG(大/精細): 約 78 張(約 310 張)		
	RAW: 約 13 張(約 14 張)		
	RAW+JPEG(大/精細): 約 8 張(約 8 張)		
	* 以 Canon 標準, 使用 2GB CF 記憶卡、ISO 100 及標準相片風格作測試		
	* 括號內數字是以 Canon 標準及使用 2GB UDMA CF 記憶卡的測試結果		




即時觀看功能	
拍攝模式	靜止影像拍攝及影片拍攝
對焦	(1) 快速模式 (相位檢測)
	(2) 即時模式 (反差檢測)
	(3) 即時臉孔偵測模式 (反差檢測)
	(4) 手動對焦 (可作 5 倍或 10 倍放大)
測光模式	以影像感應器作評價測光(靜止影像)/ 中央加權平均測光(影片)
測光範圍	EV 0-20 (攝氏 23 度, EF 50mm f/1.4 USM 鏡頭, ISO 100)
放大影像	在自動對焦點放大 5 倍或 10 倍
格線顯示	提供兩種格線選擇
曝光模擬	有
靜音拍攝	有(靜止影像拍攝)
影片	MOV (視頻: H.264、音頻: 線性 PCM)
	記錄大小: 1920 x 1080(全高清)、640 x 480(標清)
	連續影片拍攝時間: 全高清時約 12 分鐘, 標清時約 24 分鐘
	* 以 Canon 測試標準及使用 4GB 記憶卡作測試
液晶螢幕	
類型	TFT 彩色液晶螢幕
螢幕大小	3.0 吋型
螢幕點數	約 920,000 點 (VGA)
覆蓋範圍	100%
亮度調節	自動(較暗/標準/較亮)、手動(7 級)
界面語言	25 種
影像重播	
影像顯示格式	單一影像, 單一影像+資料(影像記錄畫質、拍攝資料、直條圖), 4 格或 9 格影像索引、可以旋轉影像
放大倍率	約 1.5 倍-10 倍
影像瀏覽方法	單張、以 10/100 張影像、1 個畫面、拍攝日期、資料夾、影片或靜止影像跳轉
高光警告	有 (曝光過度的高光區域將閃爍)
直條圖	亮度, RGB
自動對焦點顯示	有
影片播放	有(液晶螢幕、視頻/音頻輸出、HDMI 輸出)
影像保護及刪除	
保護	可選擇是否保護單一影像

刪除	單一影像、已選取的影像、資料夾內所有影像或 CF 卡內所有影像可一次過刪除(已保護的影像除外)			
直接印相				
適用印相機	適用 PictBridge 的印相機			
可印相影像	符合相機檔案系統設計規格的 JPEG 影像(相容 DPOF 印相)及 EOS 5D Mark II 拍攝的 RAW / sRAW 影像			
列印指令	適用 DPOF 1.1 版			
自定				
自定功能	25 個			
相機用戶設定	在模式轉盤的 C1、C2 及 C3 位置註冊			
註冊我的選單	有			
介面				
數位端子	用於連接電腦和直接印相(USB 2.0 高速)			
視頻/音頻輸出	直徑 3.5 mm 立體聲迷你插孔(可選擇 NTSC/PAL)			
迷你 HDMI 輸出端子	C 型(解像度自動切換)			
外接麥克風輸入端子	直徑 3.5 mm 立體聲迷你插孔			
遙遠控制端子	適用 N3 類型端子遙控開關			
無線遙控	遙控器 RC-1/RC-5			
擴展系統端子	用於連接無線檔案傳輸器 WFT-E4/E4A			
電源				
電池	LP-E6 鋰電池一個			
	* 交流電供應可經由交流電轉接器 ACK-E6 提供(另購)			
	* 安裝電池把手 BG-E6(另購)時，可使用三號(AA) 電池			
電池拍攝數量	拍攝模式	溫度		
(根據 CIPA 標準測試)		攝氏 23 度	攝氏 0 度	
	取景器拍攝	約 850 張	約 750 張	
	即時觀看拍攝	約 200 張	約 180 張	
電量測試	自動			
電池資訊	顯示剩餘電量、快門釋放次數及電池充電效能			
省電模式	有。電源能在 1, 2, 4, 8, 15 或 30 分鐘後自動關閉			
日期/時間電池	CR1616 鋰電池一枚			
開機時間	約 0.1 秒			

尺寸及重量	
尺寸	152 (寬) x 113.5 (高) x 75 (深) mm
重量(大約)	810 克 (淨機身，電池重約 80 克)
操作環境	
工作溫度	攝氏 0 度-攝氏 40 度
工作濕度	85%或以下



附錄 K 慣性量測系統規格

GPS/INS 規格	MicroStrain 3DM-GX1	MicroStrain 3DM-GX3-35	XSens MTI-G	MemsIC Nav440
				
感測器種類\ 感測器特性	AHRS	GPS enhanced AHRS	GPS enhanced AHRS	GPS enhanced AHRS
Orientation range	360° full scale (FS)	360° about all axes	360° about all axes	+/-180 Roll +/-90 Pitch
Orientation Accuracy	±0.5° typical for static test conditions,  ±2° typical for dynamic (cyclic) test conditions and for arbitrary orientation angles	+/- 0.5° typical for static test conditions  +/- 2.0° typical for dynamic (cyclic) test conditions	+/- 0.5° typical for static test conditions  1.0° RMS Dynamic test	< 0.2° @ level steady Flight, 1σ error
Orientation resolution	0.1°	<0.1°	<0.05°	<0.02°
Repeatability	0.2°	0.2°	N/A	N/A
GPS receiver type	No GPS receiver	50 Channels, L1 frequency, GPS C/A Code SBAS: WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN	50 Channels, L1 frequency, GPS C/A Code	N/A
GPS Navigation update rate	No GPS receiver	Up to 4Hz	Up to 4Hz	N/A
GPS Horizontal position Accuracy	No GPS receiver	< 2.5 m Autonomous  < 2.0 m SBAS	< 2.5 m CEP	< 2.5 m CEP
GPS Velocity Accuracy	No GPS receiver	0.1 m/sec	0.1 m/sec	0.1 m/sec
GPS Heading Accuracy	No GPS receiver	0.5°	0.5°	N/A
AHRS Output Rate	100Hz	1-1000Hz	1-1000Hz	>100Hz



附錄 L 定義型 UAV 任務執行安全機制

影響飛行安全之因素	可能產生之問題	目前之解決方案
UAVS 本體之可靠性	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 機體無法承受外界劇烈與長時間擾動</li> <li>2. 發動機（引擎）無法到達任務高度</li> <li>3. 連動機構無法承受高頻率出勤次數</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 使用堅固之複合材料結構</li> <li>2. 事先驗證該引擎之升限（高度限制）與化油器結冰點</li> <li>3. 強化之舵面連桿機構</li> </ol>
飛控電腦強健性	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 飛控電腦無法處理特定之意外狀況</li> <li>2. 飛控電腦循線飛行精度差</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 由實際飛行累積之經驗融入飛控程式中</li> <li>2. 使用 2 個 GPS 接收機，預防單點失效</li> <li>3. 根據飛行任務調整飛行控制參數，使飛機在要求範圍內進行飛行</li> </ol>
操作團隊任務經驗	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 操作團隊無法規劃安全飛行計畫</li> <li>2. 操作團隊無法應付緊急事件</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 運用大量之實例與線上模擬機制，使操作人員得以瞭解任務規劃之要點，並在任務前確認計畫可行性</li> <li>2. 建立標準之緊急事件處置流程</li> </ol>
起降跑道安全性	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 跑道不適合運用於任務起飛</li> <li>2. 跑道無法涵蓋可能之任務範圍</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建立全台可使用 UAV 機場資料庫</li> <li>2. 研究彈射起飛之可能性（可行性探討中）</li> </ol>
緊急狀態處理機制	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 失控狀態下無法進行最之處置（如開降落傘）</li> <li>2. 失事現場之緊急處置流程</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 降落傘降落容易造成飛機之損傷，是否利用降落傘進行回收，需進行可行性探討</li> <li>2. UAV 在發動機失效後能需利用高度差進行飛行，爭取飛行至安全地帶之機會</li> <li>3. 失事現場緊急處置流程建立</li> </ol>



附錄 M 教育訓練教簽到表

發展無人飛行載具航拍技術作業研習會						100/11/14 全天
編號	單位	職稱	姓名	上午簽到	下午簽到	備註
1	北區第一測量隊	技士	楊永安	楊永安	楊永安	筆
2	北區第一測量隊	技士	林晉弘	林晉弘	林晉弘	筆
3	北區第二測量隊	技士	陳銘川	陳銘川	陳銘川	筆
4	南區第一測量隊	技士	李政隆	李政隆	李政隆	筆
5	南區第二測量隊	技士	吳峻宇	吳峻宇	吳峻宇	筆
6	東區測量隊	課員	李昇翟	李昇翟	李昇翟	筆
7	地形及海洋測量課	技正	林世賢	林世賢	林世賢	筆
8	地形及海洋測量課	專員	黃英婷	黃英婷	黃英婷	筆
9	地形及海洋測量課	技士	游政恭	游政恭	游政恭	筆
10	地形及海洋測量課	技士	施錦揮	請假	請假	筆
11	地形及海洋測量課	技佐	呂冠萱	呂冠萱	呂冠萱	筆
12	企劃課	測量助理	陳中生	陳中生	陳中生	筆

講師：

工作人員：

發展無人飛行載具航拍技術作業研習會						100/11/15 全天
編號	單位	職稱	姓名	上午簽到	下午簽到	備註
1	北區第一測量隊	技士	楊永安	楊永安	楊永安	筆
2	北區第一測量隊	技士	林晉弘	林晉弘	林晉弘	筆
3	北區第二測量隊	技士	陳銘川	陳銘川	陳銘川	筆
4	南區第一測量隊	技士	李政隆	李政隆	李政隆	筆
5	南區第二測量隊	技士	吳峻宇	吳峻宇	吳峻宇	筆
6	東區測量隊	課員	李昇麗	李昇麗	李昇麗	筆
7	地形及海洋測量課	技正	林世賢	林世賢	林世賢	筆
8	地形及海洋測量課	專員	黃英婷	請假	請假	筆
9	地形及海洋測量課	技士	游政恭	游政恭	游政恭	筆
10	地形及海洋測量課	技士	施錦揮	施錦揮	施錦揮	筆
11	地形及海洋測量課	技佐	呂冠萱	呂冠萱	呂冠萱	筆
12	企劃課	測量助理	陳中生	陳中生	陳中生	筆

講師：

工作人員：

附錄 N 無人飛行載具系統運用比較表

UAV 種類	本案定翼型 UAV	無人直升機	遙控直升機	大型多旋翼	小型多旋翼	本案使用之多旋翼
規格						
長寬高 (cm)	180*330*60	145*45*74	na	120*120*50	70*70*30	60*60*40
動力配置	62 CC 二衝程汽油引擎	26 CC 二衝程汽油引擎	10cc 木精引擎	250W 電動無刷馬達*4	電動無刷馬達*4	100W 電動無刷馬達*6
控制	自主飛控電腦	自主飛控電腦	遙控目視控制	自主飛行控制電腦	自主飛行控制電腦	自主飛行控制電腦
空機重量 (kg)	20	6	5	2.6	1.2	1.5
表現						
酬載重量 (kg)	5	5	5	1.2	0.3	0.7
起降方式	跑道起降	VTOL 垂直起降	VTOL 垂直起降	VTOL 垂直起降	VTOL 垂直起降	VTOL 垂直起降
巡航速度 (km/hr)	110	70	70	54	40	40
滯空能力 (小時)	2.5	1	0.3	1	0.25	0.25
抗風能力 (m/s)	20	10	10	10	4	5
價格 (新臺幣 萬)	160	90	20	230	200	55
操控距離(km)	> 50	>10	< 6	>1	0.5	0.5
功能比較						
優勢	長距離越野飛行	垂直起降，自動化操作	垂直起降，靈活控制	垂直起降，操作容易	垂直起降，操作容易	1. 價格優勢 2. 操作容易 3. 靈活性高
弱勢	1. 空域申請流程繁複 2. 起降需要跑道	1. 價位高 2. 運用風險高	1. 控制距離短 2. 無法執行自動航線飛行	1. 價位高 2. 無法執行越野任務	1. 抗風能力弱 2. 酬載小	1. 抗風能力弱
適合運用	1.長距離正射航拍 2.長距離側拍監測任務	1.中距離航拍 2. 小範圍自動拍攝	1. 短距離監測拍攝 2. 短距離空中攝影	1. 軍警監控用途 2. 小區域垂直拍攝 3. 近景攝影	1. 軍警監控用途 2. 小區域垂直拍攝 3. 近景攝影	1. 小區域垂直拍攝 2. 無空域飛行 3. 近景攝影





附錄 O 空三平差執行結果

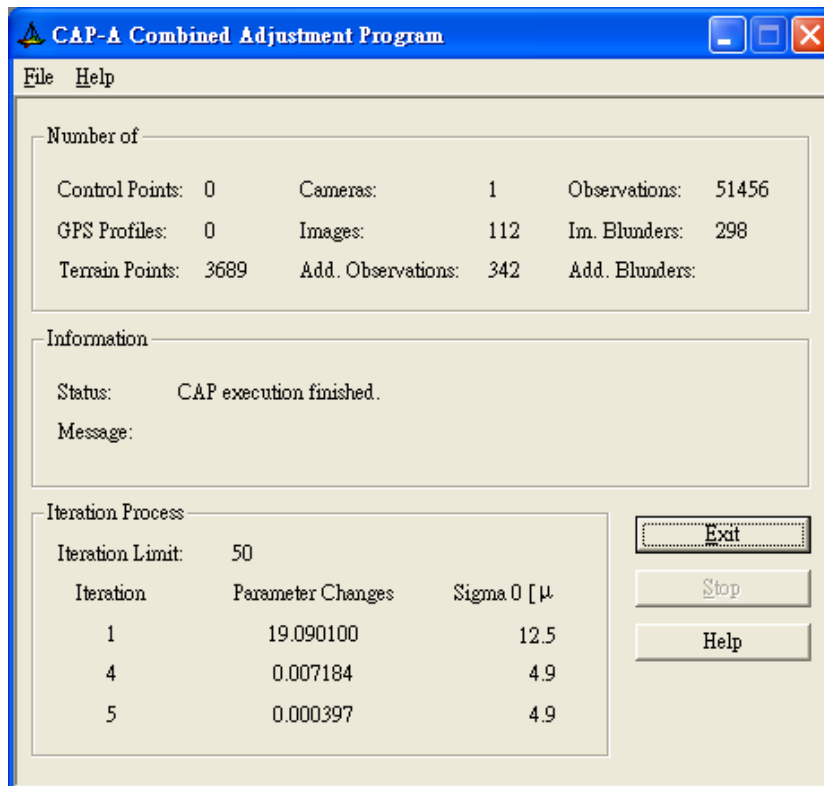


圖 N-1 自由網的一般光束法空三平差結果(相機參數：EnsoMOSAIC 率定)

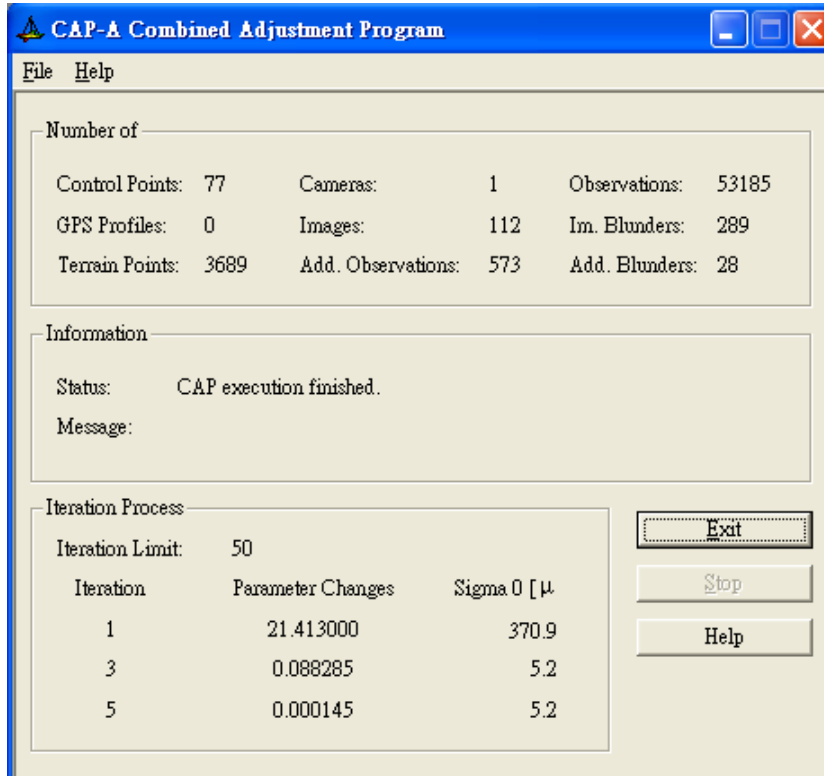


圖 N-2 一般光束法空三平差結果(相機參數：EnsoMOSAIC 率定)

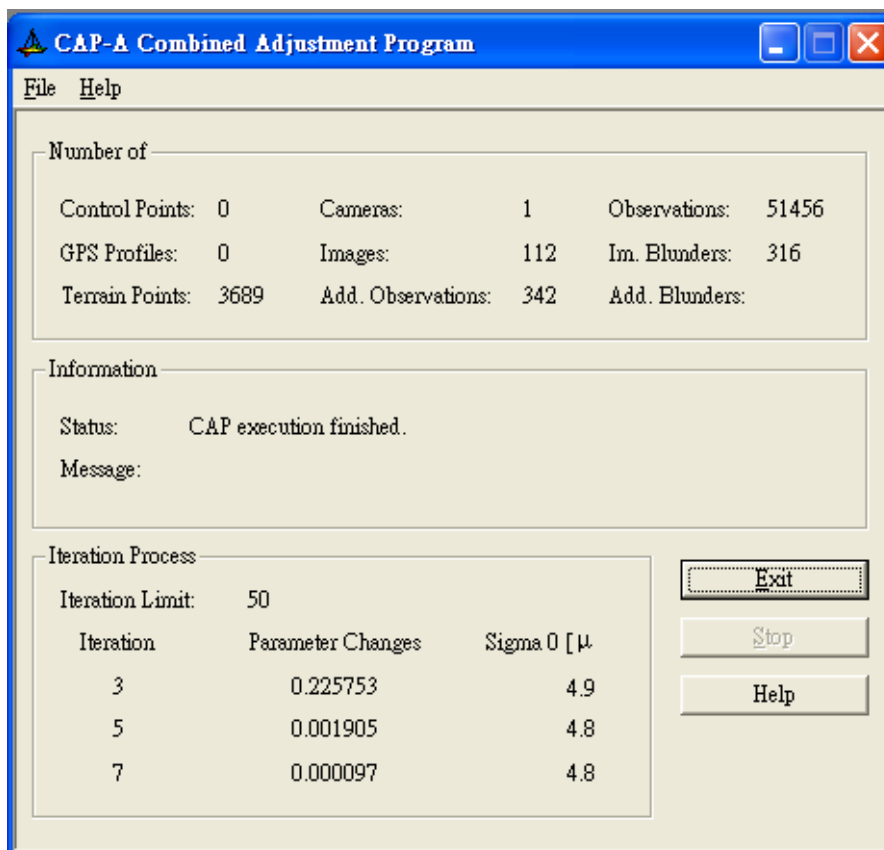


圖 N-3 自由網的自率光束法空三平差結果(相機參數：EnsoMOSAIC 率定)

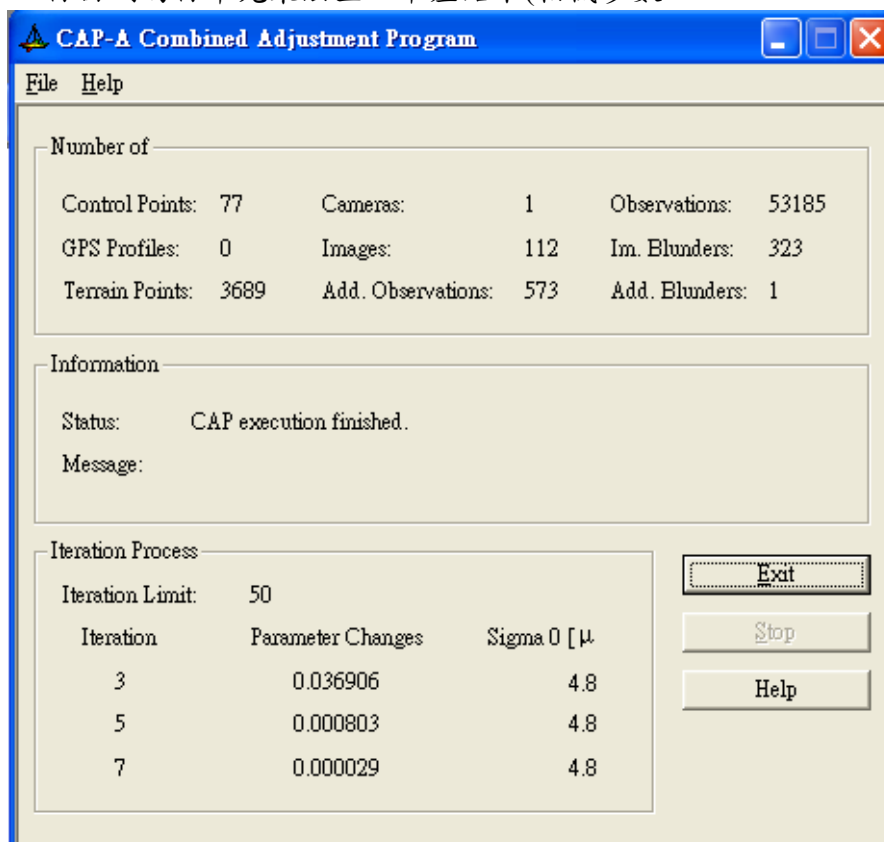


圖 N-4 自率光束法的空三平差結果(相機參數：EnsoMOSAIC 率定)

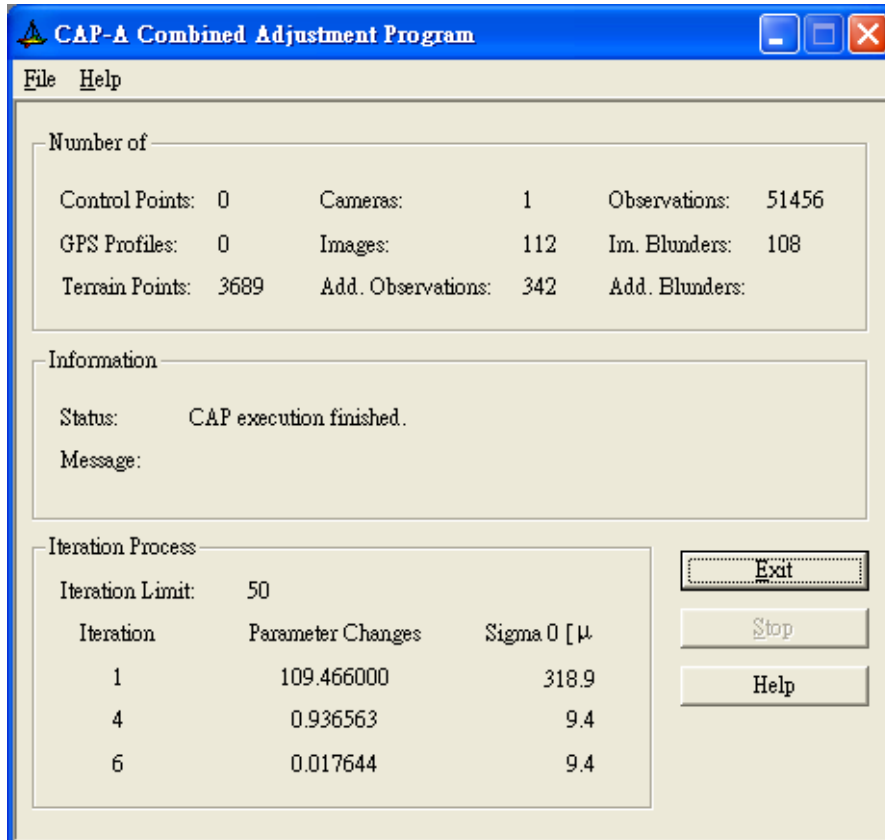


圖 N-5 自由網的一般光束法空三平差結果(相機參數：iWitness Pro 率定)

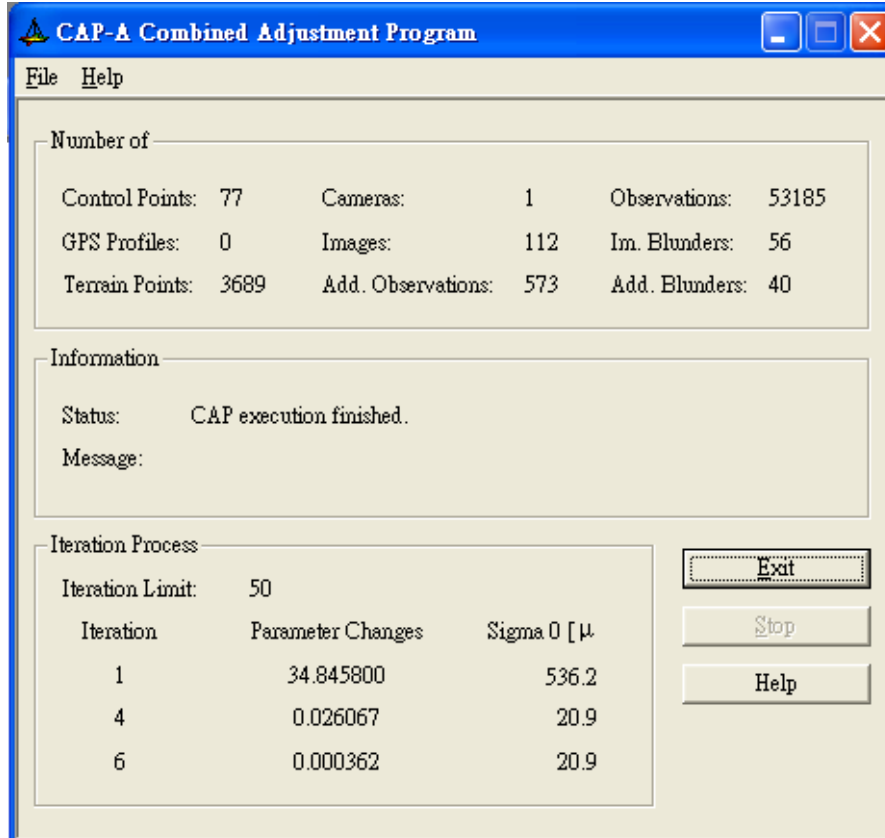


圖 N-6 一般光束法空三平差結果(相機參數：iWitness Pro 率定)

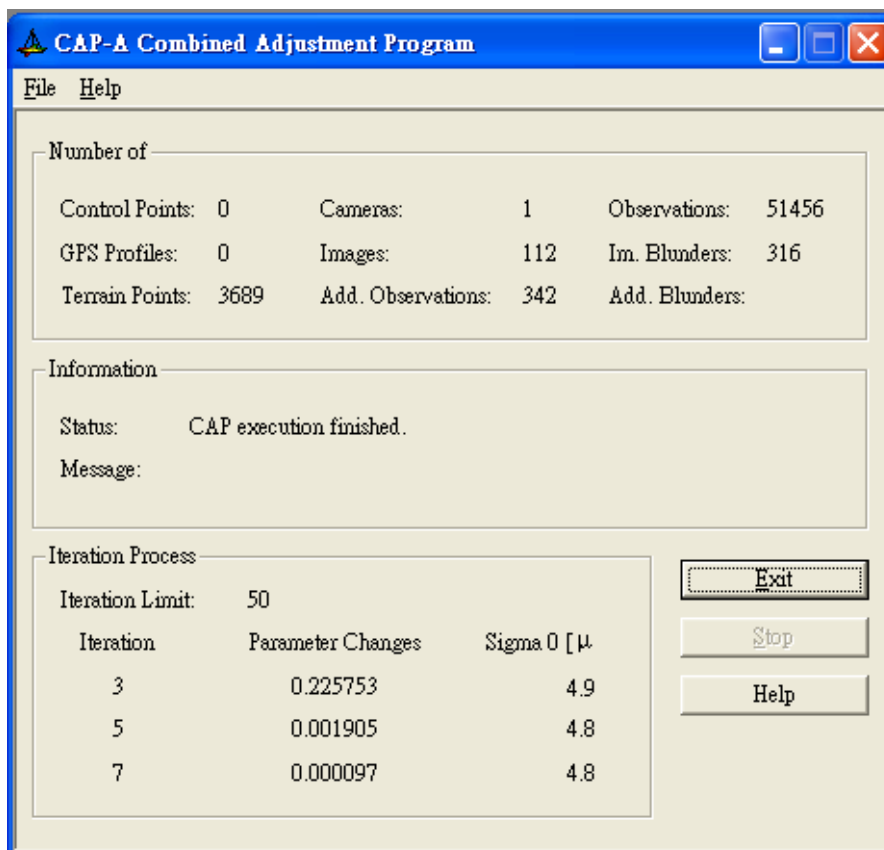


圖 N-7 自由網的自率光束法空三平差結果(相機參數：iWitness Pro 率定)

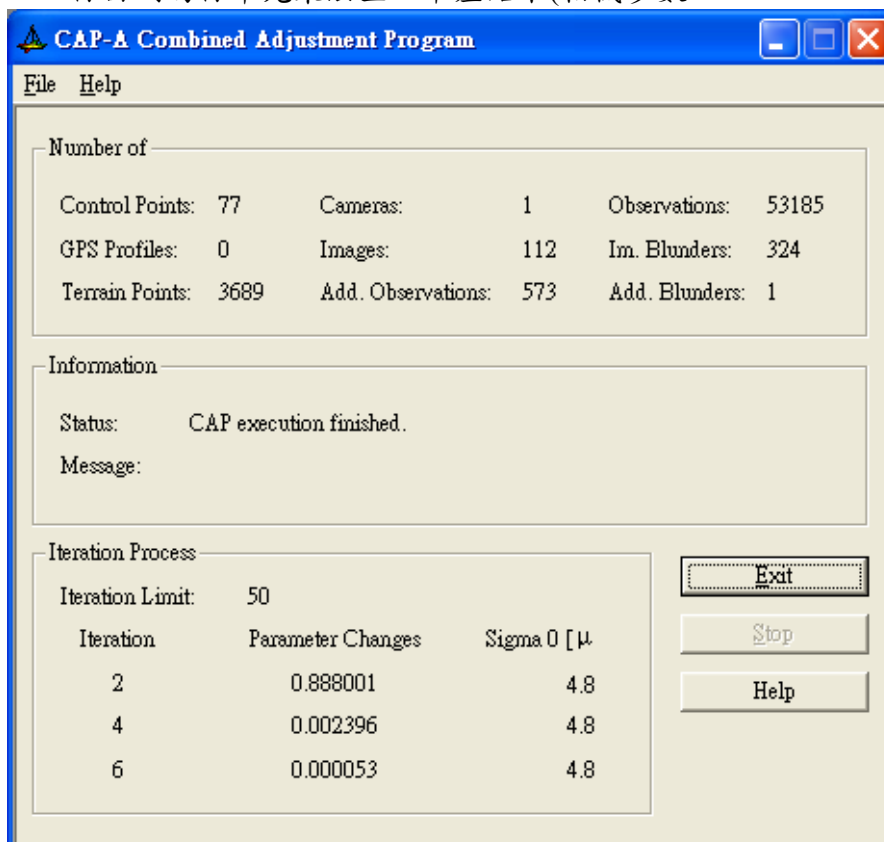


圖 N-8 自率光束法的空三平差結果(相機參數：iWitness Pro 率定)

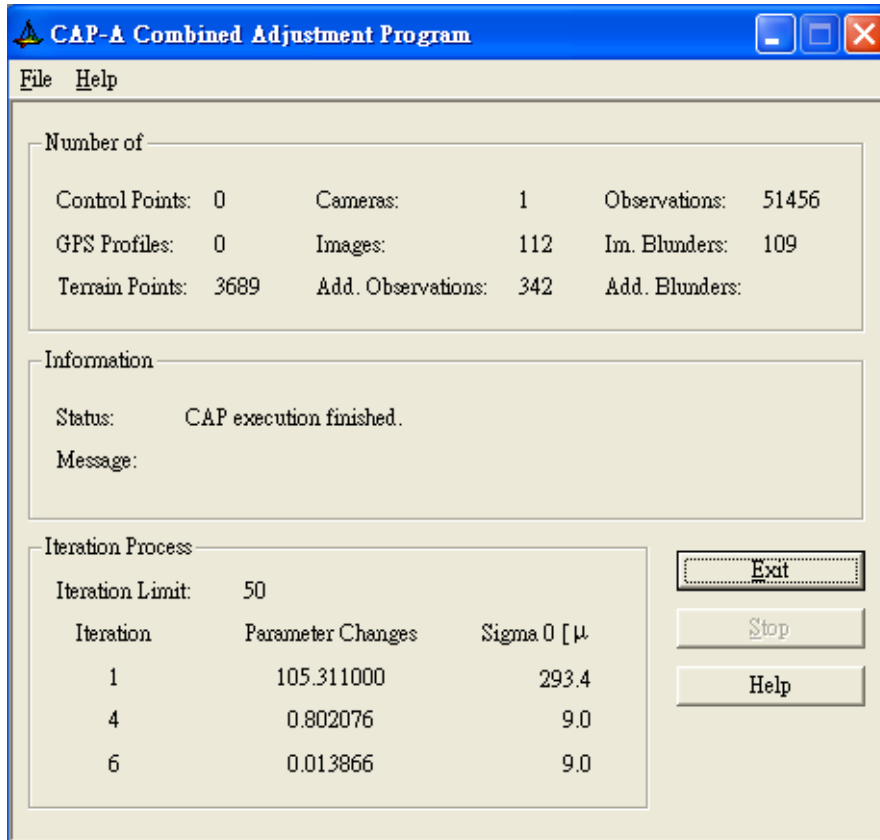


圖 N-9 自由網的一般光束法空三平差結果(相機參數：Photomodeler 率定)

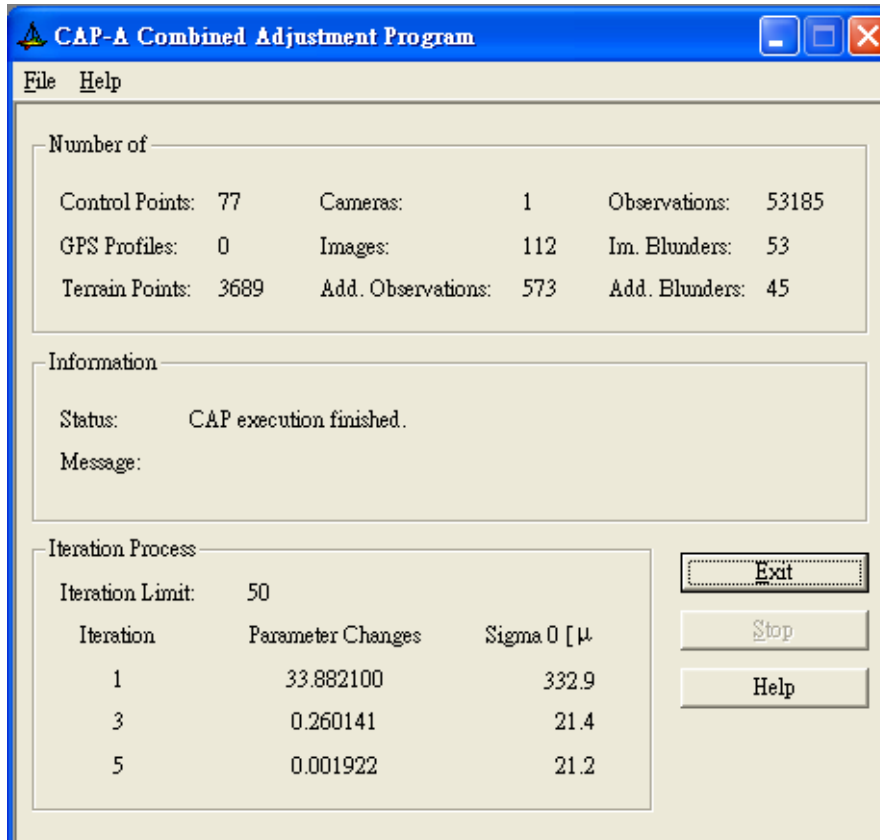


圖 N-10 一般光束法空三平差結果(相機參數：Photomodeler 率定)

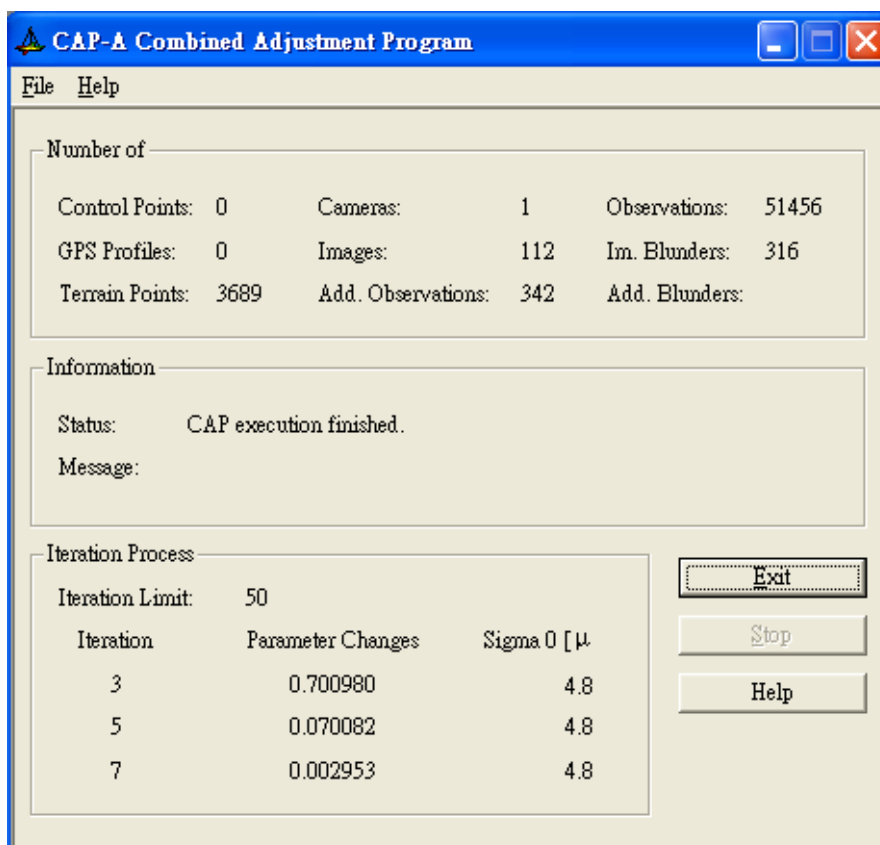


圖 N-11 自由網的自率光束法空三平差結果(相機參數：Photomodeler 率定)

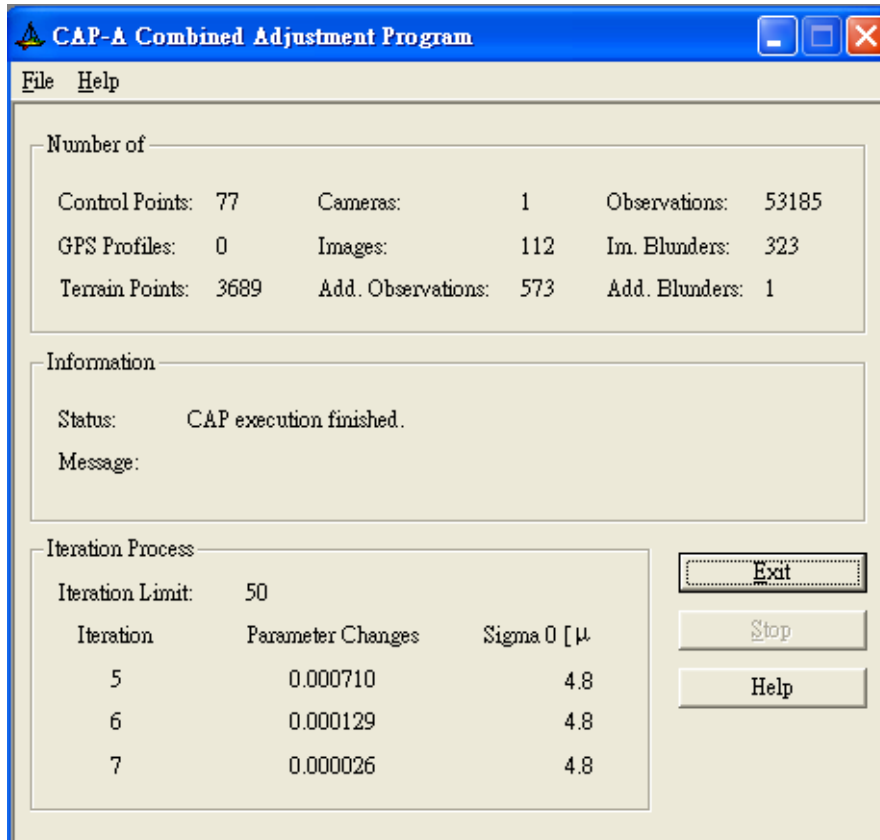
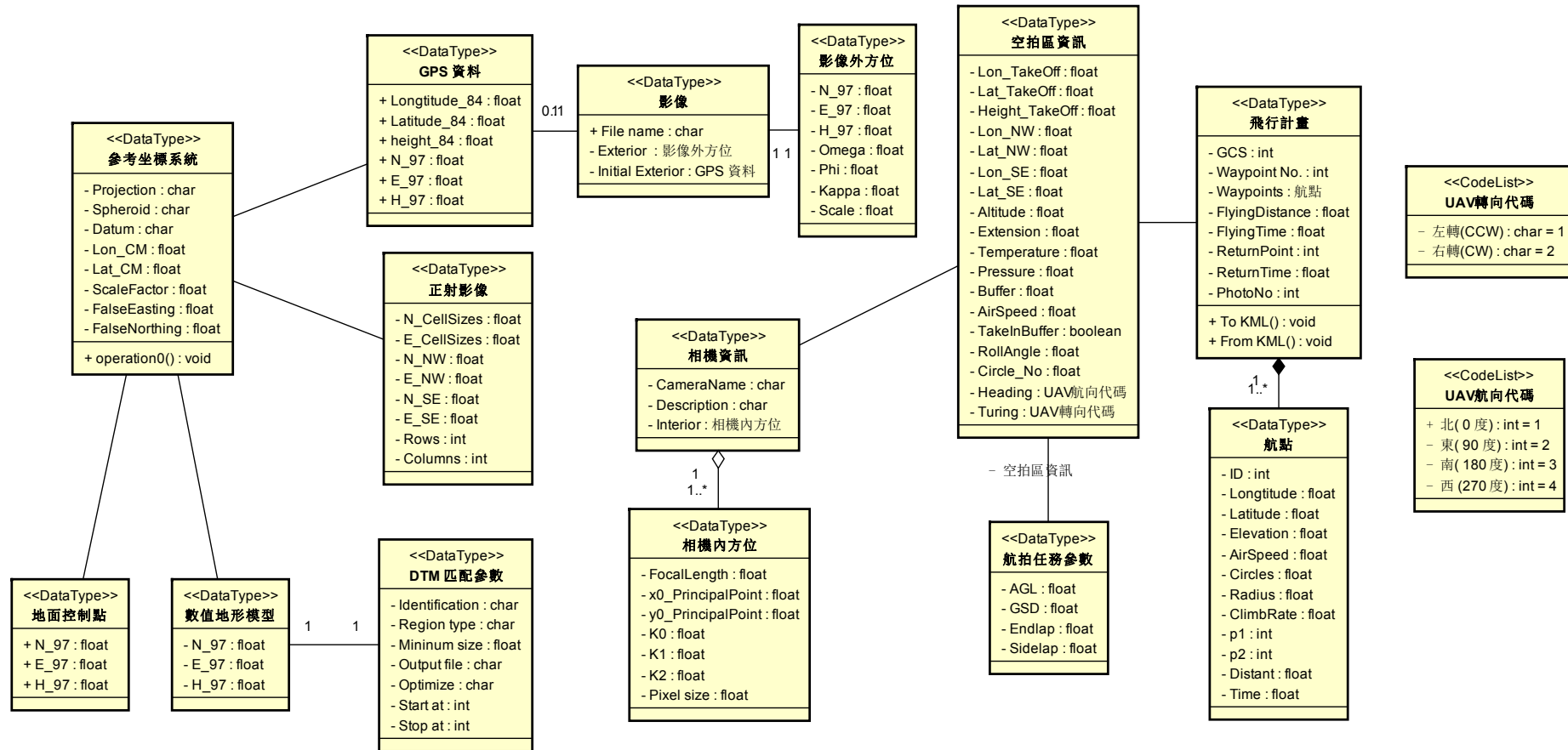


圖 N-12 自率光束法的空三平差結果(相機參數：Photomodeler 率定)

附錄 P 影像處理系統設計規劃圖



圖O-1 航拍影處理系統之資料類別及邏輯圖

表O-1 航拍影像處理系統資料典

項次	類別	屬性、關係或操作	說明	選填條件	最多發生次數	資料型別	值域	附註
1	參考坐標系統	Projection	投影方法	M	1	char	自由文字	預設值(='Transverse Mercator')
2		Spheroid	參考橢球名稱	M	1	char	自由文字	預設值(='GRS 1980')
3		Datum	大地基準名稱	M	1	char	自由文字	預設值(='TWD97')
4		Lon_CM	中央子午線經度	M	1	float	-180≤數值<180	預設值(=121),單位為度
5		Lat_CM	中央子午線緯度	M	1	float	-90≤數值<90	預設值(=0),單位為度
6		ScaleFactor	中央子午線尺度比例	M	1	float	數值>0	預設值(=0.9999)
7		FalseEasting	坐標東西平移距離	M	1	float	數值≥0	預設值(=250000),單位為公尺(m)
8		FalseNorthing	坐標南北平移距離	M	1	float	數值≥0	預設值(=0,單位為公尺(m))
9	地面控制點	N_97	TWD97 N 坐標	M	1	float	數值>0	單位為公尺(m)
10		E_97	TWD97 E 坐標	M	1	float	數值>0	單位為公尺(m)
11		H_97	正高	M	1	float	數值>0	單位為公尺(m)



項次	類別	屬性、關係或操作	說明	選填條件	最多發生次數	資料型別	值域	附註
1	航拍參數	AGL	離地高	C	1	float	數值>0	本項與GSD(地面解析度)擇一輸入，單位為公尺(m)
2		GSD	地面解析度	C	1	float	數值>0	本項與AGL(離地高)擇一輸入，單位為公分(cm)
3		Endlap	相片前後重疊率	M	1	float	60<數值<100	單位為%
4		Sidelap	相片側向重疊率	M	1	float	40<數值<100	單位為%
	空拍區資訊	Lon_TakeOff	UAV起降點經度	M	1	float	數值>0	單位為度
		Lat_TakeOff	UAV起降點緯度	M	1	float	數值>0	單位為度
		H_TakeOff	UAV起降場海拔高度	M	1	float	數值>0	單位為公尺(m)
		Lon_NW	航拍範圍西北角經度	M	1	float	數值>0	單位為度
		Lat_NW	航拍範圍西北角緯度	M	1	float	數值>0	單位為度
		Lon_SE	航拍範圍東南角經度	M	1	float	數值>0	單位為度
		Lat_SE	航拍範圍東南角緯度	M	1	float	數值>0	單位為度

項次	類別	屬性、關係或操作	說明	選填條件	最多發生次數	資料型別	值域	附註
	空拍區資訊	Extension	空拍區向外擴張的範圍	M	1	float	數值>0	單位為公尺(m)
		Altitude	目標區平均高度	M	1	float	數值>0	單位為公尺(m)
		Temperature	海平面溫度	M	1	float	數值>0	預設值(=15)
		Pressure	海平面大氣壓	M	1	float	數值>0	預設值(=1013)
		Buffer	UAV在進行航帶變換時所需要的緩衝帶長度	M	1	float	數值>800	單位為公尺(m)
		AirSpeed	UAV在航拍區中使用之飛行速度	M	1	float	數值>0	單位為節(kt)或公里/小時(km/hr)
		TakeInBuffer	UAV在緩衝區飛行是否進行拍照	M	1	boolean	1或0	1為拍，0為不拍
		RollAngle	UAV轉彎時的滾轉角	M	1	float	數值>0	預設值(=20)
		Circle_No	航帶變換時之繞圈數	M	1	float	數值>0	預設值(=0.44)
		Heading	第一條航帶的航向	M	1	Codelist	UAV航向代碼	
		Turning	UAV進入目標區飛完一條航帶後下一條的轉向	M	1	Codelist	UAV轉向代碼	

項次	類別	屬性、關係或操作	說明	選填條件	最多發生次數	資料型別	值域	附註
1	航點	ID	編號	M	1	int	數值≥0	
2		Longitude	航點經度	M	1	float	數值>0	單位為度
3		Latitude	航點緯度	M	1	float	數值>0	單位為度
4		Elevation	航點高度	M	1	float	數值>0	單位為公尺
5		AirSpeed	盤旋中的空速	M	1	float	數值>0	單位為節(kt)或公里/小時(km/hr)
6		Circles	盤旋的圈數	M	1	float	無限制	“+”代表順時針，“-”代表逆時針
7		Radius	盤旋半徑	M	1	float	數值>0	單位為公尺
8		ClimbRate	升降率	M	1	float	數值>0	
9		p_1		O	1	float		
10		p_2		O	1	float		
11		Distant	此航點與下一航點之距離	M	1	float	數值>0	單位為公里(km)
12		Time	此航點到下一航點所需之時間	M	1	float	數值>0	單位為分鐘(min)

項次	類別	屬性、關係或操作	說明	選填條件	最多發生次數	資料型別	值域	附註
	飛行計畫	GCS	地面控制站的位置	M	1	int	無限制	航點編號，通常設為0
		WaypointNo	航點總數目	M	1	int	數值>0	單位為度
		Waypoints	航點記錄	M	N	class	<<DataType>> 航點	參考「航點」類別」
		FlyingDistance	飛行總距離	M	1	float	數值>0	單位為公里 (km)
		FlyingTime	飛行總時間	M	1	float	數值>0	單位為分鐘 (min)
		ReturnPoint	回收盤旋點的位置	M	1	int	數值>0	航點編號
		ReturnTime	回收分鐘數	M	1	float	數值>0	單位為分鐘(min)
		PhotoNo	總相片數	M	1	float	數值>0	

項次	類別	屬性、關係或操作	說明	選填條件	最多發生次數	資料型別	值域	附註
	相機資訊	CameraName	相機名稱	M	1	char	文字	航點編號，通常設為0
		Description	相機描述	O	1	char	自由文字	單位為度
		Interior	相機內方位參數	M	N	class	<<DataType>> 相機內方位	參考「相機內方位」類別」
	相機內方位	FocalLength	焦距	M	1	float	數值>0	單位為公釐(mm)
		x0_PrincipalPoint	像主點x方向改正數	M	1	float	數值>0	單位為公釐(mm)
		y0_PrincipalPoint	像主點y方向改正數	M	1	float	數值>0	單位為公釐(mm)
		K0	鏡頭竟像畸變差係數	M	1	float	數值>0	
		K1	鏡頭竟像畸變差係數	M	1	float	數值>0	
		K2	鏡頭竟像畸變差係數	M	1	float	數值>0	

項次	類別	屬性、關係或操作	說明	選填條件	最多發生次數	資料型別	值域	附註
	影像資料	FileName	影像檔案名稱	M	1	char	文字	影像檔案名稱
		Exterior	影像外方位	M	1	class	<<DataType>> 相機外方位	參考「相機外方位」類別
		Initial Exterior	影像外方位起始值	M	N	class	<<DataType>> GPS資料	參考「GPS資料」類別
	影像外方位	N_97	投影中心 N 坐標 (TWD97)	M	1	float	數值>0	單位為公尺(m)
		E_97	投影中心E坐標 (TWD97)	M	1	float	數值>0	單位為公尺(m)
		H_97	投影中心高程(正高)	M	1	float	數值>0	單位為公尺(m)
		Omega	相機	M	1	float		單位為度
		Phi	鏡頭竟像畸變差係數	M	1	float		單位為度
		Kappa	相機旋轉角	M	1	float		單位為度
		Scale	尺度	M	1	float	數值>0	

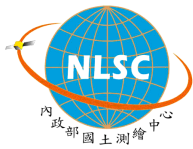
項次	類別	屬性、關係 或操作	說明	選填 條件	最多發 生次數	資料型 別	值域	附註
	GPS資料	Longitude_84	WGS84 經度坐標	M	1	float	數值>0	單位為度
		Latitude_84	WGS84 緯度坐標	M	1	float	數值>0	單位為度
		height_84	WGS84 橢球高	M	1	float	數值>0	單位為公尺(m)
		N_97	TWD97 N 坐標	C	1	float	數值>0	單位為公尺(m)
		E_97	TWD97 E 坐標	C	1	float	數值>0	單位為公尺(m)
		H_97	正高	C	1	float	數值>0	單位為公尺(m)

項次	類別	屬性、關係或操作	說明	選填條件	最多發生次數	資料型別	值域	附註
	數值地形模型	N_97	TWD97 N 坐標	M	1	float	數值>0	單位為公尺(m)
		E_97	TWD97 E 坐標	M	1	float	數值>0	單位為公尺(m)
		H_97	正高	M	1	float	數值>0	單位為公尺(m)
	正射影像	N_CellSizes	N方向影像解析度	M	1	float	數值>0	單位為公尺(m)
		E_CellSizes	E方向影像解析度	M	1	float	數值>0	單位為公尺(m)
		N_NW	正射影像西北角N坐標	M	1	float	數值>0	單位為公尺(m)
		E_EW	正射影像西北角E坐標	M	1	float	數值>0	單位為公尺(m)
		N_SE	正射影像東南角N坐標	M	1	float	數值>0	單位為公尺(m)
		E_SE	正射影像東南角E坐標	M	1	float	數值>0	單位為公尺(m)
		Rows	影像總列數	M	1	int	數值>0	
	Columns	影像總行數	M	1	int	數值>0		



## 附錄 Q UAV 失事報告





內政部國土測繪中心

## 發展無人飛行載具航拍技術作業

NLSC-100-30

### UAV 失事報告

委託單位：內政部國土測繪中心

採購案號：NLSC-100-30

建置單位：智飛科技有限公司

國立台灣大學

國立政治大學

報告日期：民國 100 年 11 月



## 目錄

目錄.....	3
圖目錄.....	5
表目錄.....	7
1. 報告摘要.....	9
2. 事實資料.....	11
2.1 名詞說明.....	11
2.2 事實資料.....	12
2.2.1 執行背景.....	12
2.2.2 事實資料.....	12
3. 事故分析.....	17
3.1 失事原因分析.....	17
1、燃油耗盡.....	17
2、航管協調問題.....	17
3、IP 分身乏術.....	17
4、警告燈號過於頻繁.....	18
3.2 損失分析.....	18
4. 後續改進事項.....	19
4.1 執行流程改善.....	19
1、當日航管資訊獲得.....	19
2、航管協調工作需安排專人執行.....	19
3、航管連絡單一窗口化.....	19
4、確認測試任務執行風險.....	20
4.2 飛行器性能改善建議.....	21
1、油耗估計錯誤.....	21
2、監控軟體之警示修正.....	21
附錄.....	23
附錄 A 原始飛行規劃.....	25
附錄 B 變更後飛行規劃.....	27



## 圖目錄

圖 1 藍色區域為火炮射擊區.....	13
圖 2 UAV 最後盤降迫降之軌跡 3D 示意圖.....	15
圖 3 迫降現場照片.....	15





## 表目錄

表 1 名詞解釋.....	11
表 2 事件時序表.....	12



## 1. 報告摘要

標 題： 國土測繪中心 100 年度「發展無人飛行載具航拍技術作業」案 UAV 迫降事件  
事故類型： 飛行器燃油耗盡迫降  
機 型： 智飛科技 DoDo Pro UAV  
發生時間： 100 年 10 月 28 日 下午  
發生地點： 彰化濁水溪  
事故簡介： 本案 UAV 因空域調度問題無法於預定時間進場降落，最後燃油耗盡迫降於濁水溪北岸產業道路上。

本專案於 100 年 10 月 28 日進行 UAV 飛行性能測試，主要目的在於測試 UAV 於海拔高度 3100 公尺長時間飛行時之飛行性能與相機酬載是否仍可以正常運作。飛行任務於當天 12:00 開始執行，並於 14:30 完成任務。UAV 完成任務高度測試時欲返回起降場降落時，因空域繁忙，航管人員指示 UAV 需於濁水溪上空盤旋等待進場指示。UAV 於盤旋等待期間因燃油耗盡，被迫降落於濁水溪北岸之產業道路上。迫降時因地形因素，造成機身斷裂，除此之外現場無任何人員與財務之損失。

## 1. 報告摘要

## 2. 事實資料

### 2.1 名詞說明

在此說明報告內使用名詞之解釋。

表 1 名詞解釋

簡稱	名詞解釋	備註
EP	External Pilot，內部飛行員	主要負責 UAV 之任務控制
IP	Internal Pilot，外部飛行員	主要負責 UAV 之起降作業
UAV	Unmanned Aerial Vehicle, 無人飛行載具	此次使用之 UAV 為 DoDo Pro 型 UAV
MD	Mission Director，任務總指揮	主要負責任務規劃與執行環境維護，此次任務中由台中進行遠端連線監控
MSL	Mean Sea Level，平均海平面高	此次任務之飛行高度為海平面高 3100 公尺，略高於 1 萬英尺
航管人員	泛指指揮空中交通之官方人員	此次任務之航管人員位於高雄小港近場台。
飛行空域	指可合法飛行之範圍	此次飛行之範圍皆位於申請之飛行空域內
近場台聯絡員	指任務團隊指派於航管機關之聯絡人	近場台聯絡員進駐於高雄小港近場台。

## 2.2 事實資料

### 2.2.1 執行背景

任務日期：100 年 10 月 28 日（星期五）

任務目標：UAV 高海拔 3100 公尺 MLS 飛行測試

天 候：晴

起降地點：彰化濁水溪北岸

作業人員：智飛科技 陳冠志（IP）、羅欣志（EP）、陳沛仲（MD）、  
林（進場台聯絡員）

### 2.2.2 事實資料

表 2 10 月 28 日事件時序表

時間	UAV 狀態	事件說明
09:00	預定起飛時間	因空域內有直昇機作業與火砲射擊作業致起飛時間延後
12:30	引擎啟動	航管允許起飛
12:32	UAV 起飛	
12:48	3900 英尺高度盤旋	等待航管放行
12:50		航管許可，開始爬升
13:13	到達 1 萬英尺作業區	
14:00	於任務區、剩 10 圈完成任務	IP 詢問 MD 是否可以提前結束，MD 認為不需要
14:15	高度 1 萬英尺	完成 1 萬英尺，1 小時飛行測試
14:30	降至 3900 英尺	等待航管放行
14:33	飛機因燃油耗盡而熄火	現場與遠端通訊中斷
14:34		現場與遠端通訊恢復
14:35	高度 1800 英尺	IP 重新掌握 UAV
14:36	高度 1200 英尺	IP 重新設定航線
14:36		IP 設定迫降航線
14:39	高度 150 英尺	往後無通訊

10月28日執行當天，由現場人員聯絡航管人員後，得知該區域另有火炮射擊，射擊高度申請到3000英尺。另有兩架德安航空航拍機，高度約4500英尺（約1371公尺），航拍區域正好位於飛行區域的左右兩邊。本團隊已於10月27日先行聯絡德安航空，並給予本次測試飛行範圍資料。

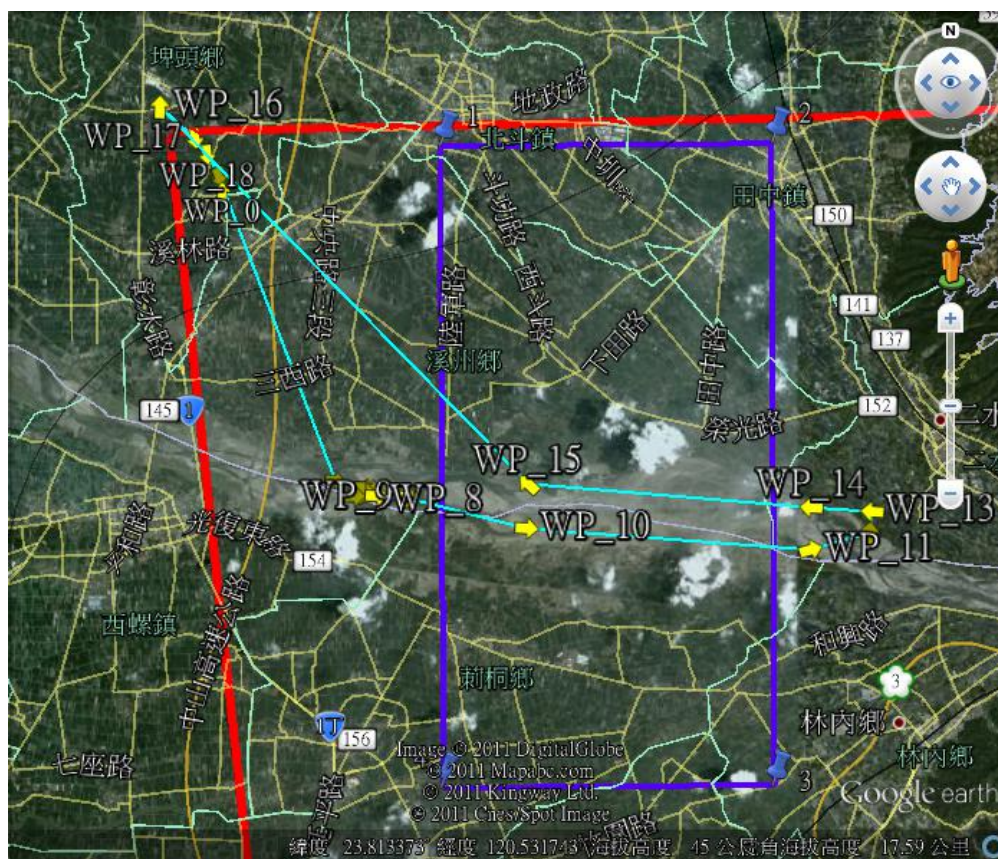


圖 1 藍色區域為火炮射擊區

此次火炮射擊區(請見圖 1 藍線框處)恰與任務飛行區域重疊，航管人員於 12:00 前禁止 UAV 進入該區，12:00 後此區允許 UAV 進行飛行爬升，只是屆時需再聯繫；另外，航管人員並要求變更飛行計畫，由原本飛行之時間 109 分鐘，延長為 128 分鐘(請參閱附錄 A 與附錄 B)。

12:00 後，航管允許以高度 1000 英尺(300 公尺)飛行，12:32 起飛並飛行到河床再盤旋升高。UAV 爬升到 4000 英尺(1200 公尺)後向航管回報，並確認 4000 英尺到 10000 英尺的空層淨空。12:50 獲得航管許可後，開始進行 1 萬英尺的爬升飛行。

UAV 於 13:13 達到 1 萬英尺目標區後，開始模擬任務的飛行

時間，在 1 萬英尺高空飛行滯留 1 小時，進行相關的飛行性能與酬載測試。

在任務區滯留一小時後於 14：15 開始下降作業，航管人員原本僅允許在河床盤降到 1000 英尺，再回到起降場。因為在 4500 英尺高度有一架航拍機在起降場附近飛行，無法由 1 萬英尺盤降到 1000 英尺。經與航管協調後需於河床上空盤降到 3900 英尺（1100 公尺）以下，並再次跟航管確認空域淨空後才能緩降回起降場附近。

任務團隊表示僅需 20~30 分鐘即可讓 UAV 由 1 萬英尺降到 1000 英尺，希望航管允許 UAV 可降低飛行高度以返回起降場，但未獲得航管接受。其後，航管人員指示若可在 10 分鐘內由 3900 英尺滑降回到起降場高度到 1000 英尺，方可妥協，但到 3900 英尺以下時須等待塔台確認才能滑行回起降點。

待飛機高度即將達到 3900 英尺且將執行完最後 2 圈飛行時，IP 聯絡航管，詢問是否可以滑降到起降場，並在航管確認前增加盤旋圈數，讓飛機在河床上方等待航管消息。14：33，GCS 聯外網路中斷，於台中遠端監控之 MD 緊急來電，當時現場 IP 正與航管進行聯繫，馬上先向航管結束通話，並開始回復 GCS 網路連結並回撥電話給遠端監控 IP，同時發現飛機熄火，趕緊請 EP 準備緊急接手程序。

IP 發現並取回控制時 UAV 高度僅剩下 500 公尺高度，變更目標使 UAV 改變方向返回起降場，並將飛行速度降為 50 海里。但此時高度只剩 300 公尺，現場判斷無法回到起降場，即時更動導航點使 UAV 向西飛行，最後迫降於濁水西北岸之堤防道路上，於距離濁水溪北岸約 650 公尺處 ( $120.502267^{\circ}\text{e}$   $23.814581^{\circ}\text{n}$ ) 迫降，迫降後現場並無人員與財產之損失。



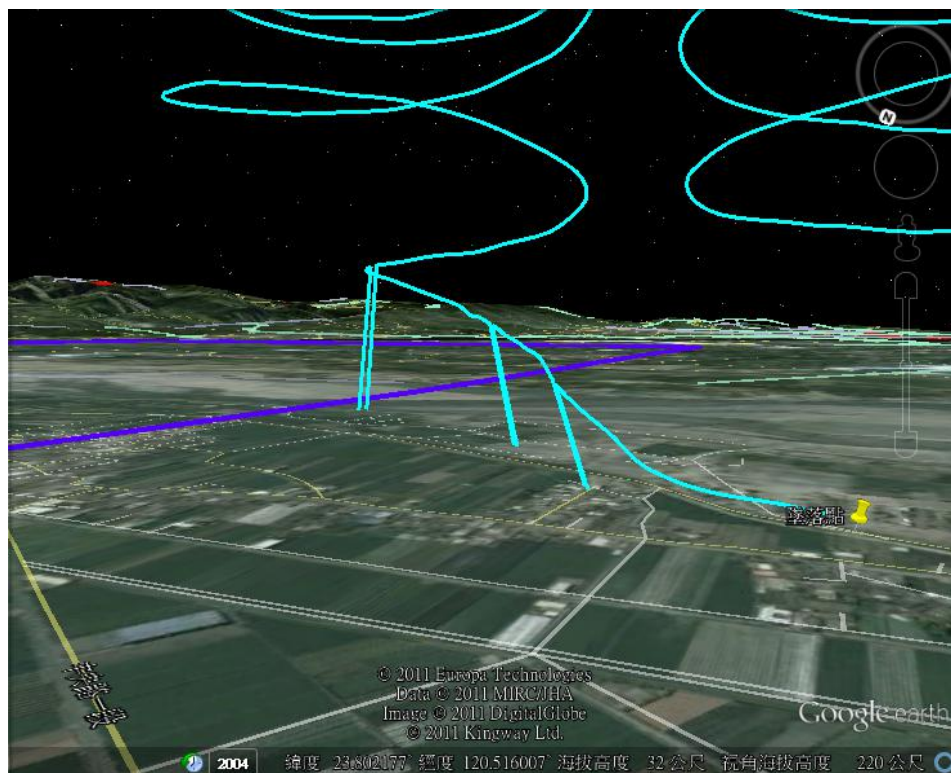


圖 2 UAV 最後盤降迫降之軌跡 3D 示意圖



圖 3 迫降現場照片



### 3. 事故分析

#### 3.1 失事原因分析

##### 1、燃油耗盡

原本之飛行計劃對於油耗估計資訊來自 100 年 1 月份阿里山保固飛行，該次飛行任務以 57 海里飛行 120 分最後剩餘 900cc 油料。比較本年度 9 月 26 日鹿港測試資料，飛行總時間 124 分鐘，消耗燃油 4000cc，油耗 32.26 cc/分鐘，其中時速 60 海里巡航計 31 分鐘，63 海里計 41 分鐘，69 海里計 52 分鐘，而當時飛行高度為 1000 MSL，此次在 3000 MSL 飛行之油耗為 33cc/分鐘顯然遠超過此一估計值。

當時 IP 有向 MD 反應是否可讓飛機提早 20 分鐘降落，但 MD 認為飛機應該還有油料可依計劃在 3000 公尺飛完剩下的 10 圈，GCS 監控軟體以 26cc/分鐘計算，推估飛機應還有 1000cc 燃料，因此請 IP 讓飛機繼續飛完原本的計劃，最後因空域管制因素於濁水溪河床上空盤旋等待進場指示時，因燃油耗盡造成需進行迫降的結果。

##### 2、航管協調問題

原規劃 UAV 在最後的 20 分鐘飛回起降場上空海拔高 3100 公尺處盤旋下降，因航管不允許而被迫在濁水溪上空待命，若在起降場上空自海拔高 3100 公尺盤旋下降，在 UAV 引擎熄火時尚有反應時間。

##### 3、IP 分身乏術

由於 IP 持續與航管人員進行通聯以致沒在第一時間發現飛機失去動力之問題。若當下於飛機失去動力 30 秒內反應，使飛機往降落點移動且航速設為 45 海里還有機會能夠返回起降場。

#### 4、警告燈號過於頻繁

因為 GPS 接收警報過於頻繁，加上轉速計估測值一直亮紅燈。到真正到引擎熄火時 RPM 突然拉高並歸零時反而因為警告音一直響而沒產生第一時間提醒 IP 的作用。

### 3.2 損失分析

項次	項目	損失情況	價格（萬元）
1	UAV 機身	機身斷裂，需重新製作	23
2	5D MK II 相機	鏡頭斷裂，已送原廠進行檢修	13.5
3	UAV 發動機	化油器損壞，需更新	2
4	UAV 控制伺服	內部定位齒輪損壞，需更換	3
5.	航空電子設備	待檢修	30

## 4. 後續改進事項

### 4.1 執行流程改善

#### 1、當日航管資訊獲得

UAV 任務組到達現場與航管連繫後，才被告知上午有火炮射擊任務禁止起飛，到下午更因周邊有兩架以上有人機航拍作業，航路管制等因素造成飛行計劃一再修改而延長滯空時間，如能於任務執行日決定時先行獲得相關資訊，即能選擇避開尖鋒時段或是依此擬定更安全之飛行計劃。

#### 2、航管協調工作需安排專人執行

此次任務 IP 同時兼具與航管協調工作，工作繁重且壓力隨著飛行時間而增加，並因此錯過了第一時間搶救飛機的機會，本來 IP 或 EP 即不被允許在任務執行期間分心，因此需要 IP/EP 以外之第三人擔負現場回報航管之職責。

#### 3、航管連絡單一窗口化

為使 EP/IP 能專心進行任務，高風險任務需要專人負責現場航管協調連絡作業。

近場台聯絡員僅屬於聯絡角色，由於沒有飛行概念加上不在現場也不知實際之飛行方式等，事故當天是由近場台聯絡員將手機轉交予近場台督導，並由現場 IP 與督導進行協調。根據上述情況，後續預擔任近場台聯絡員之人員需進行最基本之教育訓練，才能確保雙方之溝通正常。

#### 4、確認測試任務執行風險

測試任務的主要目標即是拓展飛行器之飛行性能包絡線，因此除在任務前需推估各種可能性，並擬定應變措施外，另外現場也需就執行環境進行是否可以執行的評估。在本次測試中，因空域的使用造成任務執行時間的延長，加上高度測試讓油耗大增，兩個原因造成燃油耗盡之最後結果。

本次任務執行之作業環境較之前執行過任務更為複雜，也因此加重操作人員之精神負擔，後續若有相同情勢，可以考慮放棄該次任務，擇日再進行。

專案任務之時程都有一定的時限，加上要取得空域與天候條件都允許的作業窗口不易，常常造成現場人員急於想要把任務完成的壓力，此一因素也是造成執行人員沒有意願放棄飛行的最主要原因。

## 4.2 飛行器性能改善建議

### 1、油耗估計錯誤

目前飛行之油耗數據係由過去之實際飛行數字而來。過去之油耗數據平均為 26cc/ 分鐘，本次飛行任務因在海平面 3100 公尺處進行一小時測試，油耗提昇為 33cc/ 分鐘，誤差高達 21%，後續除可將本次測試的數值納入飛行規劃參數外，也應考量如何正確取得油量存量，或使用更準確的油耗計算方式。

### 2、監控軟體之警示修正

GCS 警示系統軟體可以重構，依優先次序列表並設定為可由手動方式解除此一警報，避免類似 GPS 脫鎖, 轉速計爆表之類系統先天缺陷警告頻繁，造成 IP 狀況警覺遲鈍。





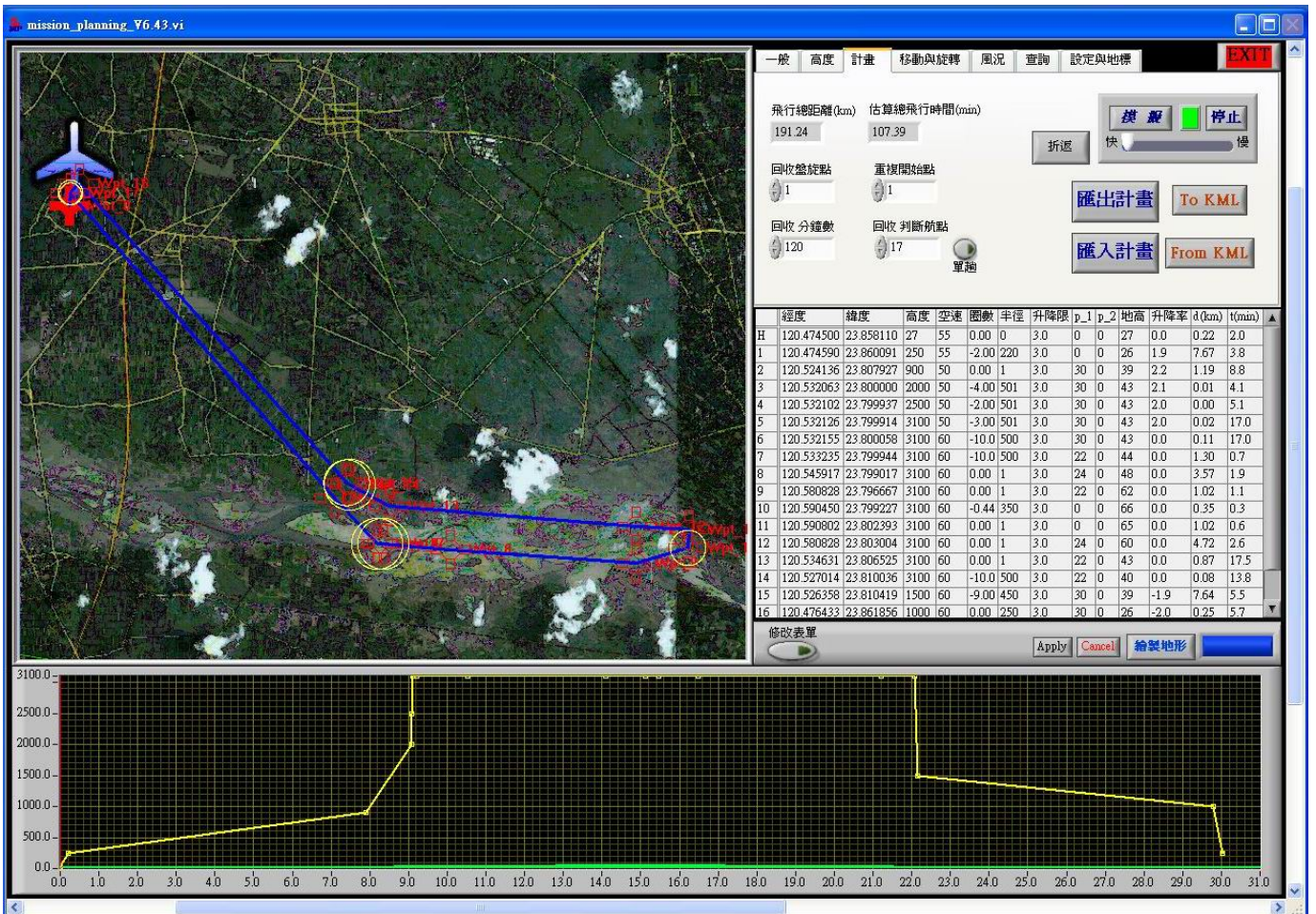
## 附錄

附錄 A 原始飛行規劃

附錄 B 變更後飛行規劃



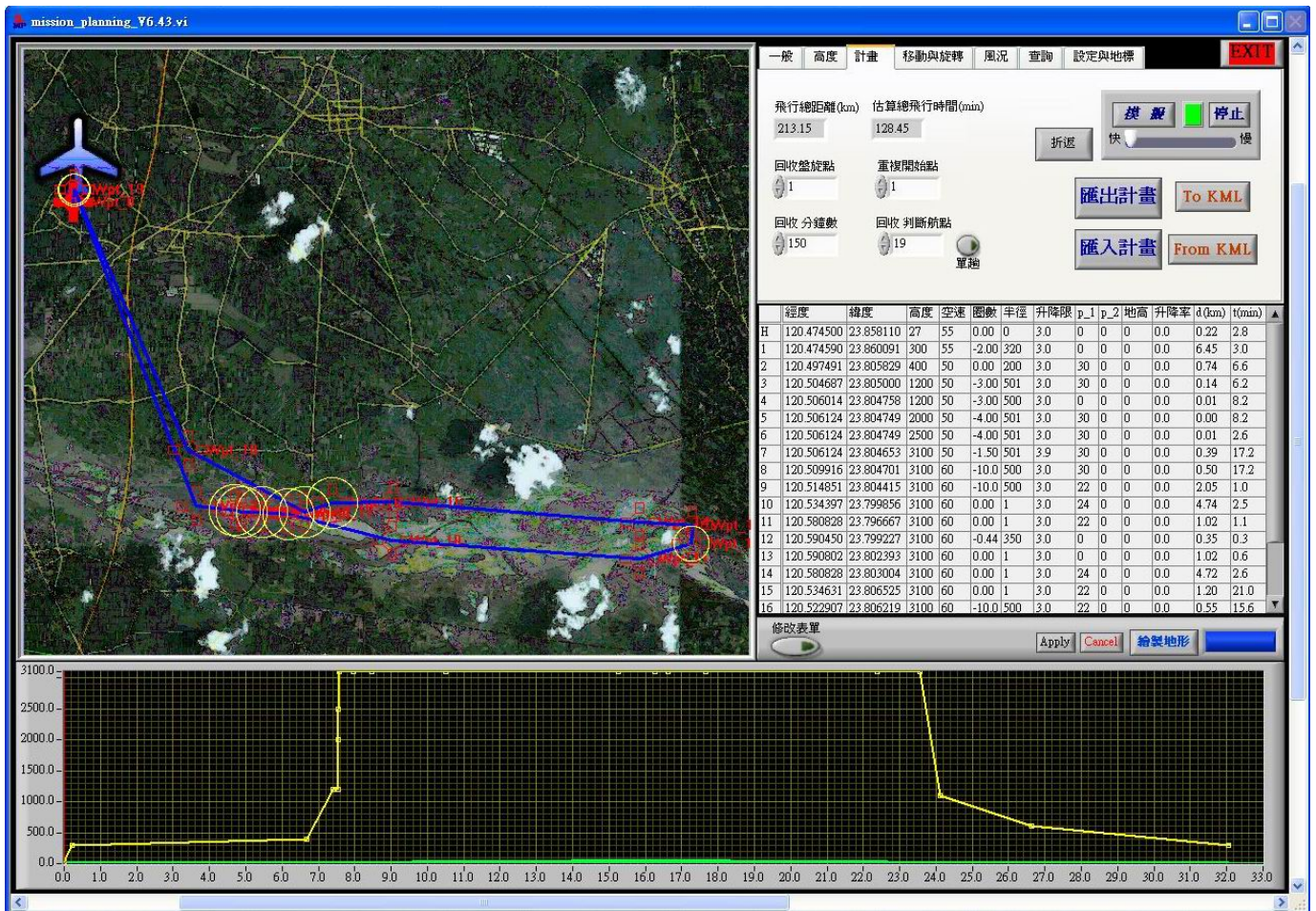
附錄 A 原始飛行規劃



項目	數值	說明
飛行總距離	191.24 公里	
估算飛行時間	107.39 分鐘	估計安全飛行總時間為 120 分鐘



附錄 B 變更後飛行規劃



項目	數值	說明
飛行總距離	213.15 公里	較原本之計畫多出 21.91 公里
估算飛行時間	128.45 分鐘	較原本之飛行計畫多出 21.06 分鐘

