NLSC-104-12）

104 年度發展無人飛行載具系統測繪作業

工作總報告

主辦機關：內政部國土測繪中心

執行單位：經緯航太科技股份有限公司

中 華 民 國 104 年 12 月 30 日

摘　要

為賡續發展 UAS 技術及推廣應用，國土測繪中心於「現代化測繪科技發展計畫」中研擬「發展無人飛行載具系統測繪作業計畫」(104 至 107 年度）計畫，規劃辦理 1.發展多元化 UAS 載具技術、2.研究測試搭載多元化感測器、3.提升 UAS 航拍及影像處理技術、4.辦理 UAS 航拍及影像處理作業與協助其他政府機關辦理特定區域航拍作業等多項作業。

104 年度計畫共計 11 區 UAS 航拍及影像處理作業，總計面積達 6450 公頃以上，應用於通用版電子地圖局部區域圖資更新及提供委託拍攝之政府機關辦理特定區域國土監測。於技術發展部分，完成 GNSS 與 IMU 機電整合，可利用 GNSS 載波相位觀測量進行差分計算後，快速進行直接地理定位。此快速取得資料的能力與精度可應用於環境變遷監控、防救災應變、資源探測保護等各式應用。本年度同時進行多相機組合雲台研究測試實驗，依據多視立體視覺三維重建技術，完成規劃使用傾斜攝影方式進行三維重建之設備與流程，可取得更大覆蓋率之有效影像建立建築物三維重建視覺模型。最後對後續計畫的改進與發展項目提出建議。

關鍵字：GNSS IMU 機電整合、直接地理定位、多相機組合雲台、三維重建

目　錄

摘　要 I
目　錄 I
圖目錄 III
表目錄 IX
第壹章　前言 1
第貳章　作業規劃、工作項目及內容 2
第一節 工作項目 2
第二節 工作時程及交付成果 4
第三節 作業執行規劃 7
第四節 UAS 航拍規劃與作業流程說明 14
第五節 空中三角測量及正射影像製作作業規劃 24
第參章　UAS 航拍任務執行與影像處理作業 33
第一節 104 年度航拍作業情形 33
第二節 正射影像測製作業 36
第肆章　國外應用 UAS 於航拍及測繪業務法規 82
第伍章　GNSS 與 IMU 設備機電整合優化 87
第一節 GNSS 與 IMU 機電整合作業方法 87
第二節 GNSS 與 IMU 機電整合作業過程 90
第三節 航拍測試作業方法 102
第四節 航拍資料處理 110
第五節 直接地理定位成果與分析 114
第陸章　多相機組合雲台研究測試 120
第一節 傾斜式相機設備概述 120
第二節 多相機組合雲台規劃設計及研究方法與流程 122
第三節 航拍測試及影像處理作業 129
第四節 成果比較及分析 136
第五節 小結 150

第柒章　結論與檢討建議 153
第一節 結論 153
第二節 建議 154
參考文獻 157
縮寫符號一覽表 159
附錄 160
附錄一 作業計畫書審查紀錄與意見回覆表 160
附錄二 第 1 階段需求訪談會議紀錄 164
附錄三 各階段成果審查意見與回覆表 166
附錄四 每月工作會議紀錄 174
附錄五 相機及鏡頭率定報告 186
附錄六 公共意外險投保保單 196
附錄七 投稿論文摘要 197
附錄八 正射影像成果精度檢查紀錄 198

圖目錄

圖 2-1 專案執行進度甘特圖 6
圖 2-2 國土測繪一號定翼型 UAS 7
圖 2-3 國土測繪一號 UAS 系統架構 8
圖 2-4 Sky Arrow 55 UAS 9
圖 2-5 旋翼型 UAS 10
圖 2-6 旋翼型 UAS POS 原型設計 11
圖 2-7 ADIS16405 11
圖 2-8 LEA-6T 11
圖 2-9 Canon 5D Mark II 數位相機 12
圖 2-10 Sony α7R 全片幅數位相機 13
圖 2-11 UAS 航拍規劃標準作業流程 14
圖 2-12 UAS 執行航拍任務標準作業流程 15
圖 2-13 委託空拍申請表及委託空拍空域審核建議表 17
圖 2-14 UAS 飛行任務勤前提示單 17
圖 2-15 UAS 飛行前檢查卡 18
圖 2-16 UAS 航拍任務執行紀錄 19
圖 2-17 航線規劃示意圖 20
圖 2-18 S 模式航線範例圖 22
圖 2-19 Z 模式航線範例圖 22
圖 2-20 O 模式航線範例圖 22
圖 2-21 UAS 品保流程 23
圖 2-22 選取控制點位置範例 24
圖 2-23 空中三角測量示意圖 24
圖 2-24 弱匹配區手動加點列表示意圖 25
圖 2-25 像片網形連結範例圖 25
圖 2-26 製作彩色無縫正射影像鑲嵌流程圖 26
圖 2-27 正射影像糾正示意圖 27

圖 2-28 ImageStation Orthopro 空三資料 27
圖 2-29 ImageStation OrthoproDEM 資料 27
圖 2-30 正射影像鑲嵌示意圖 28
圖 2-31 正射影像編修前後比較（左: 編修前、右: 編修後）.....28
圖 2-32 空三網形與統計圖 31
圖 2-33 直方圖兩端突然停止示意圖 32
圖 3-1 104 年度航拍任務區域分布 34
圖 3-2 屏東縣里港鄉飛行航線規劃 36
圖 3-3 屏東里港起降場地作業情形 37
圖 3-4 屏東縣里港鄉(國 10 里港交流道)UAS 分布圖 38
圖 3-5 屏東縣里港鄉控制點分布圖 38
圖 3-6 屏東縣里港鄉空三網型圖 39
圖 3-7 屏東縣里港鄉正射鑲嵌影像成果 39
圖 3-8 高雄市前鎮區（氣爆災點）飛行航線規劃 40
圖 3-9 起降場地作業情況，三多一路旁停車場 41
圖 3-10 高雄市前鎮區（氣爆災點）UAS 分布圖 42
圖 3-11 高雄市前鎮區（氣爆災點）控制點分布圖 43
圖 3-12 高雄市前鎮區（氣爆災點）空三網型圖 43
圖 3-13 高雄市前鎮區（氣爆災點）正射鑲嵌影像成果 44
圖 3-14 高雄市前鎮區（經貿園區 65 期）飛行航線規劃 45
圖 3-15 起降場地作業情況，前鎮區時代大道旁 46
圖 3-16 高雄市前鎮區（經貿園區 65 期）UAS 分布圖 46
圖 3-17 高雄市前鎮區（經貿園區 65 期）控制點分布圖 47
圖 3-18 高雄市前鎮區（經貿園區 65 期）空三網型圖 47
圖 3-19 高雄市前鎮區（經貿園區 65 期）正射鑲嵌影像成果 48
圖 3-20 苗栗縣獅潭鄉（汶水橋）飛行航線規劃 49
圖 3-21 起降場地跑道，苗栗後龍飛行場內 (目標區位於正前方)...50
圖 3-22 苗栗縣獅潭鄉（汶水橋）UAS 分布圖 51
圖 3-23 苗栗縣獅潭鄉（汶水橋）控制點分布圖 51

圖 3-24 苗栗縣獅潭鄉（汶水橋）空三網型圖 52
圖 3-25 苗栗縣獅潭鄉（汶水橋）正射鑲嵌影像成果 52
圖 3-26 彰化縣芳苑鄉（台 61 線）飛行航線規劃 53
圖 3-27 彰化縣芳苑鄉航拍區飛行作業情形 54
圖 3-28 彰化縣芳苑鄉（台 61 線）UAS 分布圖 55
圖 3-29 彰化縣芳苑鄉（台 61 線）控制點分布圖 55
圖 3-30 彰化縣芳苑鄉（台 61 線）空三網型圖 56
圖 3-31 彰化縣芳苑鄉（台 61 線）正射鑲嵌影像成果 56
圖 3-32 臺南市新化區、新市區飛行航線規劃 57
圖 3-33 起降場地情形，臺南山上區 58
圖 3-34 臺南市新化區、新市區 UAS 分布圖 59
圖 3-35 臺南市新化區、新市區控制點分布圖 59
圖 3-36 臺南市新化區、新市區空三網型圖 60
圖 3-37 臺南市新化區（台 19 甲線外環）正射鑲嵌影像成果 60
圖 3-38 臺南市新市區（新和重劃區）正射鑲嵌影像成果 61
圖 3-39 苗栗縣造橋鄉（台 13 甲線）飛行航線規劃 62
圖 3-40 苗栗起降場地情形 63
圖 3-41 苗栗縣造橋鄉（台 13 甲線）UAS 分布圖 64
圖 3-42 苗栗縣造橋鄉（台 13 甲線）控制點分布圖 64
圖 3-43 苗栗縣造橋鄉（台 13 甲線）空三網型圖 65
圖 3-44 苗栗縣造橋鄉（台 13 甲線）正射鑲嵌影像成果 65
圖 3-45 高雄市仁武區（國 1 鼎金交流道）飛行航線規劃 66
圖 3-46 起降場地，仁武鄉鼎力陸橋上 67
圖 3-47 高雄市仁武區（國 1 鼎金交流道）UAS 分布圖 68
圖 3-48 高雄市仁武區（國 1 鼎金交流道）控制點分布圖 68
圖 3-49 高雄市仁武區（國 1 鼎金交流道）空三網型圖 69
圖 3-50 高雄市仁武區（國 1 鼎金交流道）正射鑲嵌影像成果 69
圖 3-51 雲林縣虎尾鎮（高鐵雲林站）飛行航線規劃 70
圖 3-52 高鐵雲林站起降點作業情形 71

圖 3-53 雲林縣虎尾鎮（高鐵雲林站）UAS 分布圖 71
圖 3-54 雲林縣虎尾鎮（高鐵雲林站）控制點分布圖 72
圖 3-55 雲林縣虎尾鎮（高鐵雲林站）空三網型圖 72
圖 3-56 雲林縣虎尾鎮（高鐵雲林站）正射鑲嵌影像成果.....73
圖 3-57 臺南市安南區（九份子重劃區）飛行航線規劃.....74
圖 3-58 起降場地跑道，臺南安南區本田路二段馬路.....75
圖 3-59 臺南市安南區（九份子重劃區）UAS 分布圖 76
圖 3-60 臺南市安南區（九份子重劃區）控制點分布圖 76
圖 3-61 臺南市安南區（九份子重劃區）空三網型圖 77
圖 3-62 臺南市安南區（九份子重劃區）正射鑲嵌影像成果.....77
圖 3-63 臺南市安平區飛行航線規劃 78
圖 3-64 臺南市安平區 UAS 分布圖 79
圖 3-65 臺南市安平區控制點分布圖 80
圖 3-66 臺南市安平區空三網型圖 80
圖 3-67 臺南市安平區正射鑲嵌影像成果 81
圖 5-1 GNSS/IMU 緊耦合架構示意圖 88
圖 5-2 研究流程圖 89
圖 5-3 硬體設備整合作業流程圖 90
圖 5-4 ADIS16488 規格表 92
圖 5-5 Trimble BD970 雙頻 GNSS.....92
圖 5-6 ARM+GPS 電路設計圖.....94
圖 5-7 PWM 電路設計圖.....94
圖 5-8 IMU 電路設計圖 95
圖 5-9 LED 指示燈電路設計圖 95
圖 5-10 MicroSD 電路設計圖 95
圖 5-11 POS 外殼與上蓋實體圖 96
圖 5-12 POS 外殼實體圖.....96
圖 5-13 直接地理定位模組電路板空間架構示意 97
圖 5-14 直接地理定位系統模組於機艙內分布情況.....97

圖 5-15 機電整合系統硬體架構圖 98
圖 5-16 系統整合硬體-電子電路整合外殼.....99
圖 5-17 系統整合硬體-外殼、電路與上蓋結合.....100
圖 5-18 GSOF 接收畫面 100
圖 5-19 UAS 機身圖(a) 與 POS 裝載空間(b).....101
圖 5-20 POS 裝載於 UAS 完成圖 101
圖 5-21 UAS 透過 GNSS/IMU 直接定位的概念圖 103
圖 5-22 相機 EOS 5D Mark II 104
圖 5-23 單相機率定法拍攝方式示意圖 104
圖 5-24 單相機率定光束交會情況 105
圖 5-25 屏東里港地面控制場 106
圖 5-26 地面控制點現地標形照片 107
圖 5-27 屏東里港控制場飛行航線規劃 107
圖 5-28 屏東里港 UAS 航拍相片涵蓋範圍分布圖 108
圖 5-29 航拍測試準備情形 109
圖 5-30 航拍任務實際飛測情形 109
圖 5-31 控制點/檢核點分布圖 111
圖 5-32 屏東測試區空三網型圖 111
圖 5-33 空三解算外方位率定結果 112
圖 5-34 正射糾正及鑲嵌成果 112
圖 5-35 整合 GNSS/IMU 之飛行軌跡 113
圖 5-36 本團隊台中地面控制場 114
圖 5-37 GPS 主站架設情形.....114
圖 5-38 旋翼型 UAS 及 GNSS/IMU 機電整合模組.....115
圖 5-39 定位定向系統解算軌跡 116
圖 5-40 空中三角解算結果 116
圖 5-41 直接地理定位程式介面 117
圖 6-1 實驗步驟及規劃流程 122
圖 6-2 多相機組合雲台攝影系統設計圖 123

圖 6-3 傾斜攝影系統設計圖 124
圖 6-4 無人飛行載具搭載自製多相機組合雲台 124
圖 6-5 拍攝覆蓋率示意圖 125
圖 6-6 點雲疏化及表面重建流程 125
圖 6-7 傾斜攝影三維重建步驟 127
圖 6-8 實驗步驟模型產製成果 128
圖 6-9 實驗區範圍圖 129
圖 6-10 用於建模影像詳細資訊 129
圖 6-11 實驗程序介紹 130
圖 6-12 台中歌劇院三維重建模型(視角 1) 132
圖 6-13 台中歌劇院三維重建模型(視角 2) 134
圖 6-14 台中歌劇院三維重建模型(視角 3 表面模型紋理貼附) 134
圖 6-15 台中歌劇院三維重建模型(視角 4 表面模型紋理貼附) 135
圖 6-16 正拍與傾斜攝影建模拍攝成果比較 139
圖 6-17 東西向與南北向傾斜攝影建模拍攝成果比較 144
圖 6-18 街景資料蒐集範圍 146
圖 6-19 街景資料軌跡 146
圖 6-20 街景影像中繼資料 147
圖 6-21 SfM 方法解算 MMS 相片成果示意圖 147
圖 6-22 稠密點雲匹配失敗 148
圖 6-23 稠密點雲匹配失敗(放大截圖) 148
圖 6-24 單一航向較低建築三維建模成果示意 151
圖 6-25 三顆傾斜攝影相機架構設計示意 152
圖 7-1 具有 4 波段取像模組之無人飛行載台控制系統示意圖 156

表目錄

表 2-1 各階段檢核點交付成果說明 4
表 2-2 國土測繪一號 UAV 特色 8
表 2-3 國土測繪一號細部規格表 8
表 2-4 SkyArrow 55 UAS 載具規格 9
表 2-5 Sky Arrow55 UAS 載具特色 10
表 2-6 旋翼型 UAS 規格表 11
表 2-7 Canon 5D Mark II 數位相機規格表 12
表 2-8 Sony α7R 全片幅數位相機規格表 13
表 2-9 Canon 5D2 航空攝影規劃資訊 21
表 2-10 Sony α7R 航空攝影規劃資訊 21
表 2-11 可靠度指標 25
表 2-12 正射影像自我檢核表 32
表 3-1 104 年度航拍作業區域彙整表 33
表 3-2 104 年度航拍作業成果一覽表 35
表 3-3 屏東縣里港鄉任務執行概況 36
表 3-4 屏東縣里港鄉空三計算精度表 39
表 3-5 高雄市前鎮區（氣爆災點）任務執行概況 40
表 3-6 高雄市前鎮區（氣爆災點）空三計算精度表 43
表 3-7 高雄市前鎮區（經貿園區 65 期）任務執行概況 45
表 3-8 高雄市前鎮區（經貿園區 65 期）空三計算精度表 48
表 3-9 苗栗縣獅潭鄉（汶水橋）任務執行概況 49
表 3-10 苗栗縣獅潭鄉（汶水橋）空三計算精度表 52
表 3-11 彰化縣芳苑鄉（台 61 線）任務執行概況 53
表 3-12 彰化縣芳苑鄉（台 61 線）空三計算精度表 56
表 3-13 臺南市新化區、新市區任務執行概況 57
表 3-14 臺南市新化區、新市區空三計算精度表 60
表 3-15 苗栗縣造橋鄉（台 13 甲線）任務執行概況 62

表 3-16 苗栗縣造橋鄉（台 13 甲線）空三計算精度表.....65
表 3-17 高雄市仁武區（國 1 鼎金交流道）任務執行概況.....66
表 3-18 高雄市仁武區（國 1 鼎金交流道）空三計算精度表.....69
表 3-19 雲林縣虎尾鎮（高鐵雲林站）任務執行概況.....70
表 3-20 雲林縣虎尾鎮（高鐵雲林站）空三計算精度表.....73
表 3-21 臺南市安南區（九份子重劃區）任務執行概況.....74
表 3-22 臺南市安南區（九份子重劃區）空三計算精度表.....77
表 3-23 臺南市安平區任務執行概況.....78
表 3-24 臺南市安平區空三計算精度表.....80
表 4-1 中國輕小型無人機運行管理分類.....84
表 4-2 各國無人機應用於空拍/營利法規.....85
表 4-3 各國無人機應用於空拍/營利法規(續).....86
表 5-1 STM32F407 規格表.....93
表 5-2 相機內方位參數率定成果.....105
表 5-3 屏東里港 POS 航拍測試任務執行概況.....108
表 5-4 固定臂與軸角率定成果.....113
表 5-5 直接地理定位驗證航拍作業概況.....115
表 5-6 軸角/固定臂率定結果.....116
表 5-7 雙頻直接地理定位精度.....117
表 5-8 POS 估計誤差.....118
表 5-9 原單頻直接地理定位成果.....119
表 6-1 傾斜相機分類.....120
表 6-2 旋翼型 UAS 規格表.....123
表 6-3 影像處理硬體規格表.....126
表 7-1 不同波長光譜應用特性.....155

第壹章　前言

測繪工作為國家發展規劃的重要基礎，對於政府各項施政建設規劃、國土與環境資源調查、及整體防災決策體系均有重大助益，世界各先進國家無不重視國土測繪作業。近年來由於測量與空間資訊技術不斷進步，結合測量製圖的技術與整合式導航定位定向系統，搭配多種影像感測器來蒐集空間資料，普遍應用於國土保安、環境變遷、土石流即時監測及海洋及森林資源探測保護等工作。在臺灣地區特殊環境及氣候條件下，藉由具備視距外自主飛行能力之無人飛行載具系統（Unmanned Aircraft Systems, UAS；以下簡稱 UAS）搭載數位相機與整合式 GNSS/ IMU 酬載，同時具備定位系統、自動飛行控制、即時影像及資訊傳輸等先進功能，使得空間資料的蒐集更有效率，並可提供空間資料庫最新資訊，現已發展出一套快速獲取地面空間資訊之航拍系統，並成為快速擷取國土空間資訊之重要科技方法。

因此內政部國土測繪中心（以下簡稱國土測繪中心）積極發展測繪科技新技術，於「測繪科技發展後續計畫」之「發展無人飛行載具航拍技術作業案（100 至 103 年度）」共計 4 年度計畫期間，完成建置 1 套定翼型 UAS 及 48 區航拍與影像處理作業、影像處理軟體整合作業及 UAS 航拍作業規範、升級數值航測影像工作站圖資編修軟體等多項工作。

為賡續發展 UAS 技術及推廣應用，國土測繪中心於「現代化測繪科技發展計畫」中研擬「發展無人飛行載具系統測繪作業計畫」（104 至 107 年度）計畫，將承繼前述 UAS 技術基礎，規劃辦理下述多項作業：

1. 發展多元化 UAS 載具技術
2. 研究測試搭載多元化感測器
3. 提升 UAS 航拍及影像處理技術
4. 辦理 UAS 航拍及影像處理作業
5. 協助其他政府機關辦理特定區域航拍作業

104 年度計畫規劃將辦理 UAS 航拍及影像處理、GNSS 與 IMU 設備機電整合優化、多相機組合雲台研究測試及成果展示等作業。同時針對工作成果配合國土測繪中心製作成果展示影片或相關展示海報，並支援相關展場展覽與解說工作。最後彙整相關作業成果並撰寫 104 年度工作總報告。

第貳章　作業規劃、工作項目及內容

第一節 工作項目

一、 需求訪談：

需於決標次日起 20 日內至國土測繪中心進行需求訪談並作成會議紀錄，決標次日起 30 日內將訪談紀錄送交國土測繪中心備查。

二、 蒐集國外（至少 3 個國家，含歐、美、中國大陸等地區）有關應用 UAS 於航拍及測繪業務之相關法規。

三、 UAS 航拍作業：

（一）辦理國土測繪中心指定至少 10 區之航拍作業，平均每區航拍面積以 4 平方公里為原則（總航拍面積應達 40 平方公里以上），如有特殊情形由國土測繪中心認定。
航拍影像前後重疊率為75%以上，側向重疊率為35%以上，重疊率誤差應在 15%以內，航拍時 UAS 皆需搭載全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System , GNSS)與慣性測量元件(Inertial measurement unit, IMU)，原始影像解析度需達 25 公分以內。

（二）以國土測繪中心定翼型 UAS（國土測繪 1 號）進行航拍為原則，必要時可以性能與酬載相當（含以上）之定翼型 UAS 辦理航拍，惟使用國土測繪 1 號拍攝面積需達總航拍面積 50%以上，若航拍面積小於 1 平方公里（含）以下或經國土測繪中心同意後，可採旋翼型 UAS 辦理航拍，另本案 UAS 酬載相機均需辦理內方位參數率定作業。本案執行期間如遇緊急或特定航拍需求，廠商應無償至少提供定翼型及旋翼型 UAS 各 1 套（含酬載相機）備用並須提供航拍服務。

（三）航拍作業方式分為緊急災害應變航拍與一般航拍，應配合事項說明如下：

1. 緊急災害應變航拍應於接獲國土測繪中心通知後即刻整備待命，並於國土測繪中心提出航拍需求區域後立即前往災點辦理航拍作業。航拍作業須於抵達災點後 **24 小時**內完成（如遇天候或其他不可抗力因素不在此限）。
2. 一般航拍應於國土測繪中心通知航拍區域後 **5 日內**提送空域申請相關資料，且航拍作業須於接獲國土測繪中心可辦理航拍通知次日起 **15 日內**完成（如遇天候或其他不可抗力因素不在此限）。如遇天候或其他不可抗力因

素無法於期限內完成航拍，需於各階段繳交成果時提出相關佐證資料。

四、 UAS 航拍影像處理作業：

（一）緊急災害應變影像處理作業

配合緊急災害應變需求製作快速幾何糾正鑲嵌影像或全景拼接影像。緊急災害應變應於航拍完成後 24 小時內繳交原始影像、快速幾何糾正鑲嵌影像與 3D 模型展示成果影片。

（二）一般航拍影像處理作業

辦理空中三角測量並製作正射影像，正射影像解析度（地元尺寸）需達 25 公分以內；使用旋翼型 UAS 航拍之區域應以原始影像可達之最佳解析度製作正射影像，成果精度應達基本圖測製要求。一般航拍應於航拍完成次日起 20 個日曆天內繳交原始影像、空中三角測量及正射影像成果至國土測繪中心，相關影像成果繳交不得逾各階段作業期限。另須於成果檢查合格後 15 個日曆天內協助更新五千分之一圖幅範圍之滿幅正射影像並依據內政部訂頒之詮釋資料標準格式(TWSMP2.0)建置詮釋資料。

（三）應協助國土測繪中心建置 102 至 103 年度合計 25 區之 UAS 正射影像成果詮釋資料。

五、 GNSS 與 IMU 設備機電整合優化作業：

辦理 UAS 酬載之 GNSS 及 IMU 設備機電整合優化作業，採用國土測繪中心之可接收雙頻載波相位觀測之 GNSS 硬體設備，搭配 IMU 進行機電整合工作。整合資料記錄器及酬載控制器，製作整合式定位定向系統 (Position and Orientation System, POS)，其機電整合完成之成品尺寸須可與中心現有相機整合，並可置放於國土測繪一號酬載空間。並提供可進行 GNSS 與 IMU 資料整合解算之軟體。

另整合優化後之系統應進行地面與航拍測試（於國土測繪中心指定測試區）及應用於直接地理定位成果精度分析。

六、 多相機組合雲台研究測試：

（一）研究多相機組合雲台並辦理測試，比較單相機與多相機（3 台以上）於影像處理上效率提升及成果精度，設備由本團隊自行提供。

（二）研究多相機組合雲台應用於快速製作 3D 影像模型，以 UAS 搭載多相機組合雲台，於國土測繪中心指定之測試區，利用垂直加傾斜同步拍攝之不同角度影像製作 3D 影像模型。

（三）於國土測繪中心指定之測試區，研究整合空中及地面（由國土測繪中心提供）等不同拍攝角度之影像資料進行產製 3D 影像模型。

七、 UAS 成果展示：

配合本案航拍各項測試作業過程之實錄成果，製作 5 分鐘以上之展示影片。另配合國土測繪中心相關成果發表會流程內容，辦理 UAS 展示及製作海報，並支援 UAS 載運、架設、撤收及派員於展示場協助進行解說，本年度以 3 次為限。

八、 依本案規範，於每月 30 日前提出工作執行書面報告交付國土測繪中心，內容包含預定及實際執行工作進度，並視需要提出工作協調事項及工作遭遇困難，並依時程規範提交工作總報告書及 104 年度工作總報告書。

九、 執行其他配合事項

（一）每次執行任務前需檢查 UAS 功能是否正常，並填寫航拍任務紀錄表，記錄每次航拍日期、雲蓋率、風向、風速、飛航方向、飛行時間等資料。

（二）需依UAS保養維護手冊相關內容辦理國土測繪中心UAS設備保養維護作業，保養維護時需填寫保養維護紀錄表，各項紀錄資訊需送交國土測繪中心。

（三）應提供所有本案使用之數位相機之內方位率定報告。

（四）需投稿研討會或期刊論文（初稿）至少 2 篇，投稿內容需與本案研究測試內容相關。

（五）應針對國土測繪中心國土測繪一號及本案作業使用之 UAS 投保最高賠償金額至少達新臺幣 5000 萬元以上之公共意外責任保險。

第二節 工作時程及交付成果

本案作業期限為決標次日起 240 個日曆天內辦理完成，共分為 4 階段辦理。各階段作業期間，國土測繪中心作業時間視為行政作業期間，如有逾期得予扣除。各階段應交付項目及期限如下表 2-1：

表 2-1 各階段檢核點交付成果說明

階段	成果繳交項目	單位	數量	成果繳交期限
第 1 階段	需求訪談	份	1	於決標次日起

階段	成果繳交項目	單位	數量	成果繳交期限
	工作總報告書	份	10	30 個日曆天內繳交（104/3/28）
	102 至 103 年度 UAS 正射影像成果詮釋資料（25 區）	式	1	
第 2 階段	第 1 批次 2 航拍區 UAS 實地航拍影像、各項任務執行紀錄原始數據資料（含電子檔）；航拍區幾何糾正鑲嵌影像、空中三角測量（含書面資料）、正射影像等成果（含電子檔）。	式	1	於決標次日起 90 個日曆天內繳交（104/5/27）
第 3 階段	第 2 批次 3 航拍區 UAS 實地航拍影像、各項任務執行紀錄原始數據資料（含電子檔）；航拍區幾何糾正鑲嵌影像、空中三角測量（含書面資料）、正射影像等成果（含電子檔）。	式	1	於決標次日起 120 個日曆天內繳交（104/6/26）
	第 3 批次 3 航拍區 UAS 實地航拍影像、各項任務執行紀錄原始數據資料（含電子檔）；航拍區幾何糾正鑲嵌影像、空中三角測量（含書面資料）、正射影像等成果（含電子檔）。	式	1	於決標次日起 160 個日曆天內繳交（104/8/5）
	GNSS 與 IMU 機電整合優化成果(含航拍測試區原始影像、原始數據資料、空中三角測量及直接地理定位分析等成果)	式	1	
第 4 階段	多相機雲台整合研究測試成果(含航拍測試區原始影像、原始數據資料及 3D 影像模型等成果)	式	1	於決標次日起 220 個日曆天內繳交（104/10/4）
	第 4 批次 2 航拍區 UAS 實地航拍影像、各項任務執行紀錄原始數據資料（含電子檔）；航拍區幾何糾正鑲嵌影像、空中三角測量（含書面資料）、正射影像等成果（含電子檔）。	式	1	
	工作總報告書	份	20	於決標次日起 240 個日曆天內繳交（104/10/24）
	各項作業過程之實錄成果原始影片及展示影片（電子檔）。	式	1	

項次	作業項目	權重(%)	年度月份天數		104年度																							
					三月			四月			五月			六月			七月			八月			九月			十月		
					10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240
1	擬定作業計畫 (需求訪談與會議記錄、擬定工作計畫書)	2.0	預定 實際	100% 100%																								
2	102至103年度UAS正射影像成果詮釋資料（25區）	1.0	預定 實際	100% 100%																								
3	第1批次UAS實地航拍影像；2航拍區原始數據成果；航拍區幾何糾正鑲嵌影像、空中三角測量、正射影像	13.0	預定 實際	100% 100%																								
4	第2批次UAS實地航拍影像；3航拍區原始數據成果；航拍區幾何糾正鑲嵌影像、空中三角測量、正射影像	19.0	預定 實際	100% 100%																								
5	第3批次UAS實地航拍影像；3航拍區原始數據成果；航拍區幾何糾正鑲嵌影像、空中三角測量、正射影像	19.0	預定 實際	100% 100%																								
6	GNSS與IMU機電整合優化成果	12.0	預定 實際	100% 100%																								
7	多相機雲台整合研究測試成果	12.0	預定 實際	100% 100%																								
8	第4批次UAS實地航拍影像；2航拍區原始數據成果；航拍區幾何糾正鑲嵌影像、空中三角測量、正射影像	13.0	預定 實際	100% 100%																								
9	104年度工作總報告書製作	5.0	預定 實際	100% 100%																								
10	各項作業過程及成果展示影片製作	2.0	預定 實際	100% 100%																								
11	投稿研討會或期刊論文（初稿）至少2篇	2.0	預定 實際	100% 100%																								
工作累計進度			預定	0%	4	8	13	17	21	25	29	33	38	42	46	50	54	58	63	67	71	75	79	83	88	92	96	100
			實際	0%	4	8	13	17	21	25	29	33	38	42	46	50	54	58	63	67	71	75	79	83	88	92	96	100

圖 2-1 專案執行進度甘特圖

第三節 作業執行規劃

本案之工作作業規劃執行,於本案第一階段決標次日起20日內，在 104 年 3 月 6 號針對國土測繪中心本年度 UAS 航拍作業進行需求訪談，確認今年度至少 10 區域航拍工作之執行細部需求，並作成會議紀錄以便追蹤，完整會議紀錄詳如附錄一。

本案各項航拍工作預定使用之設備規劃如下詳述：

2.3.1 定翼型 UAS

UAS 航拍之作業規劃，配合國土測繪中心需求採用國土測繪一號定翼型 UAS 進行航拍(圖 2-2)。國土測繪一號採用複合材料機身，翼展長 3.3 公尺，展弦比達 11，具有優越的滑降比與抗風性能，及 5 公斤的酬載能力，同時飛行時間可達 2 個小時以上。

圖 2-2 國土測繪一號定翼型 UAS

機體設計為可拆式機翼，方便收納與運輸，並搭載控制自主飛行之飛行控制系統及 Canon 5D MKII 全片幅相機，相機並搭配相容之 20mm、24mm 或 50mm 焦距鏡頭以因應不同任務的需求。動力系統設計為螺旋槳前拉式動力系統，採用 62cc 二行程引擎，實際測試之最大飛行高度達 3600 公尺。數位通訊資料鏈可傳輸 30 公里距離，類比影像傳送距離可達 15 公里。國土測繪一號 UAV 架構詳如圖 2-3 所示：

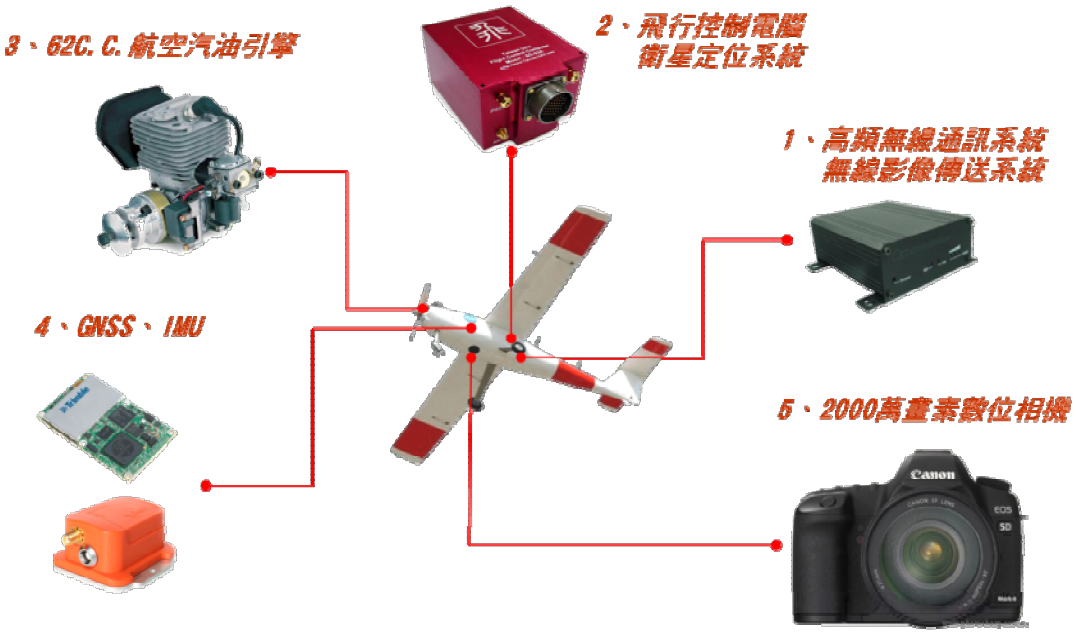


圖 2-3 國土測繪一號 UAS 系統架構

國土測繪一號 UAV 特色如表 2-2，各項詳細規格彙整如表 2-3：

表 2-2 國土測繪一號 UAV 特色

項目	詳細說明
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
巡航速度	90 公里
滯空時間	未掛副油箱（4.0 公升）可達 2.5 小時、加掛副油箱（6.5 公升）可達 4 小時
抗風能力	可達蒲福風級 7 級風力
通訊	配備長距離數據通訊鏈路，控制半徑可達 30 公里，即時影像傳輸半徑可達 15 公里
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	可搭載與慣性量測設備與高畫素單眼相機或是高縮放倍率攝影模組

表 2-3 國土測繪一號細部規格表

翼　　展	3.3 公尺	長　　度	2.0 公尺
最大重量	25 公斤	滯空時間	＞2.5 小時
最高速度	125 km/hr	最大航程	＞250 公里
巡航速度	90 km/hr	最大操作高度	3600 公尺
推進系統	ZENOAH G62PU 62 cc (4.22hp)		

有鑑於本案在緊急或特定航拍需求上，必須有百分之百之航拍載具妥善率，同時亦遭遇多處同步拍攝的可能性，本團隊將提供一台自主開發設計的『天箭級』Sky Arrow 55 載具系統，專屬於國土測繪中心本案所使用，做為備用之定翼型 UAS 載具。在本團隊航拍編組人力上，亦已考量國土測繪一號與 Sky Arrow 55 同步出動之操作能量。

Sky Arrow 55 為一款中航程後推式定翼型 UAS 載具，機體設計為後推式引擎設計（如圖 2-4），可避免傳統前置式引擎運轉時產生之廢氣隨氣流向後汙染儀器與相機鏡頭之慮，在機身設計上除符合空氣動力學效率外，兼具酬載重量大與酬載空間寬敞，可快速更換不同酬載構型。載具基本規格資料如表 2-4 所示。

圖 2-4 Sky Arrow 55 UAS

表 2-4 SkyArrow 55 UAS 載具規格

翼　　展	3.0 m	**長　　度**	2.4 m
最大重量	25 kg	**滯空時間**	＞3.5 hrs
最高速度	145 km/hr	**最大航程**	＞350 km
巡航速度	105 km/hr	**最大操作高度**	4000 m
推進系統	O.S GT-55 Gas Engine(5.5 BHP@7000rpm)		

Sky Arrow 55 UAS 在飛控電腦的控制下，可進行視距外遠距長程自主飛行。微波指令鏈路範圍可達半徑 60 公里以上，可供隨時更新飛航任務(On-The-Fly Command, OTFC)，加上長達 3.5 小時以上之有效滯空時間與針對航遙測應用最佳化的性能設計，使得 Sky Arrow 55 UAS 成為最適合航遙測應用的飛行載具。此型式的 UAS 的酬載重量與空間可依任務需求做彈性調整，使任務的調度更為靈活，表 2-5 為本機型特色。

表 2-5 Sky Arrow55 UAS 載具特色

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

2.3.2 旋翼(多旋翼)型 UAS

1. 六旋翼型 UAS 航拍系統

本團隊另視不同需求採用六旋翼型 UAS(如圖 2-5)進行航拍，全機直徑約 120cm，標準酬載設備可搭載 1800 萬畫素以上之數位相機（含影像發射模組）。旋翼型 UAS 的操作高度可達 500m，每次滯空拍攝作業時間可達 20 分鐘，可有效拍攝小範圍區域之高畫質影像。基本規格資料如表 2-6 所示。

圖 2-5 旋翼型 UAS

表 2-6 旋翼型 UAS 規格表

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

2. 旋翼型 UAS 適用之 POS (LEA-6T + ADIS16405)

本團隊也針對旋翼型 UAS 設計簡易型 POS(如圖 2-6)，運用 GPS 模組與微機電等級之 IMU 整合設計而成。在 GPS 模組選擇方面，採用單頻載波相位接收儀 U-BLOX LEA-6T 模組（如圖 2-7）；IMU 模組則選擇 ADIS16405（如圖 2-8），兩者優點皆是精度高、價格便宜、重量輕，很適合做為酬載重量相對較小的旋翼型 UAS 使用。此外本 GPS 模組亦支援外部 Time mark 記錄功能，可記錄拍攝相片時的 GPS 時間，做為相片與 POS 資料同步解算的基準。

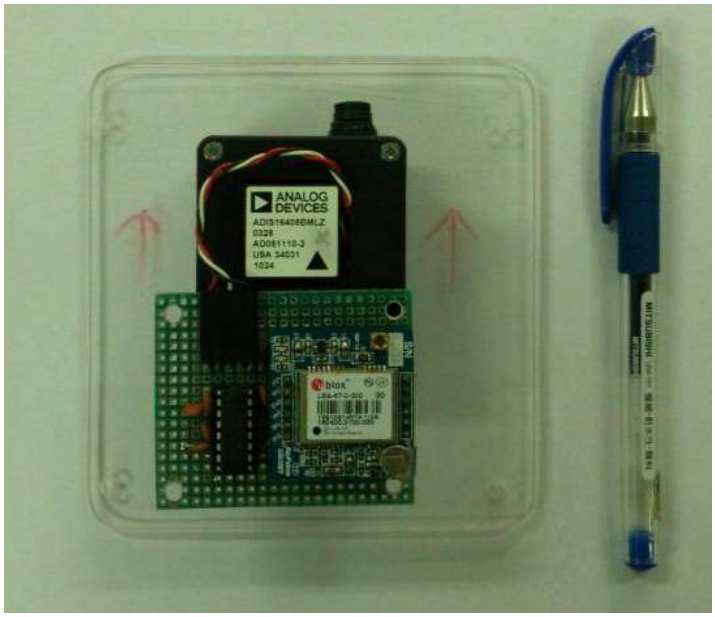


圖 2-6 旋翼型 UAS POS 原型設計

ADIS16405	
陀螺量測範圍	±350 deg/sec
陀螺飄移	25.2 deg/h
加速度計測範圍	±18 g
加速度計飄移	0.2 mg

圖 2-7 ADIS16405

LEA-6T GPS接收模組	
Receiver type	GPS L1 C/A Code 50-Channels
Updata rate	5 Hz
Accuracy	Position 2.5m CEP SBAS 2.0m CEP
Acquisition	Cold starts : 29s Hot start : 1s

圖 2-8 LEA-6T

2.3.3 酬載感測器

國土測繪一號搭載高解析度全片幅數位單眼相機（DSLR）-Canon 5D Mark II(如圖 2-9)，並且視不同航拍需求搭配相容之 20mm、24mm 或 50mm 焦距鏡頭並經過相機率定程序，詳細規格如表 2-6。

圖 2-9 Canon 5D Mark II 數位相機

表 2-7 Canon 5D Mark II 數位相機規格表

項目	規格
影像感測器	有效畫素 2110 萬畫素 全片幅(24mm*36mm)CMOS 感測器
鏡頭焦距	20mm、24mm 或 50mm 焦距定焦鏡頭
記憶卡容量	32GB、64GB
影像格式	JPEG/RAW
記錄畫素	最高 5616 x 3744 pixels
儲存張數	1500 張以上
連拍速度	每秒 3.9 張（最高）
快門速度	最快可達 1/8000 秒，提供外部觸發快門
ISO 感光度	ISO 50 ~ 25,600

除國土測繪一號原有之數位單眼相機外，為提升無人飛行載具系統測繪作業之效率與拍攝影像品質，並可提供第二套相機設備備援。本團隊將引入第二款全片幅數位相機 Sony α7R（圖 2-10），其感光元件同樣為全片幅尺寸(24mm*36mm)規格，但有效畫素提高較國土測繪一號原本採用的 Canon 5D Mark II 增加 70%，在相同 GSD 的航線規畫下，可比原有 Canon 相機涵蓋更大的拍攝範圍。相機詳細規格如下表 2-8。

圖 2-10 Sony α7R 全片幅數位相機

表 2-8 Sony α7R 全片幅數位相機規格表

項目	規格
影像感測器	有效畫素 3640 萬畫素 全片幅(35.9mm × 24.0mm) Exmor CMOS 感光元件
鏡頭焦距	35mm 焦距定焦鏡頭
記憶卡容量	32GB、64GB
影像格式	JPEG/RAW
記錄畫素	最高 7360 x 4912 pixels
儲存張數	依記憶卡容量決定
連拍速度	連拍：最高每秒 1.5 張，速度先決連拍：最高每秒 4 張
快門速度	最快可達 1/8000 秒，提供外部觸發快門
ISO 感光度	ISO 100-25600

另外旋翼型 UAS 搭配全景攝影模組，除可拍攝航空照片，亦可進行 360 度全景照片拍攝。先使用 Autopana Giga 軟體將連續單張影像製作為全景拼接影像後，並利用 Pano2VR 軟體將全景拼接影像後製作為 720 度 VR 虛擬實境體驗網頁。除了傳統單一角度的正射影像外，可針對拍攝區域提供更為全方位且有如親臨現場的現況展示。

第四節 UAS 航拍規劃與作業流程說明

2.4.1 UAS 航拍標準作業流程

UAS 航拍工作的標準流程規劃，主要係依據「無人駕駛航空器系統(UAS)在臺北飛航情報區之作業」飛航情報相關 AIC 公告與「民用航空法」第三十四條以及「交通部民用航空隊機場四周施放有礙飛航安全物體實施要點」等規定進行作業規劃。根據以上相關規範，並參考近年度專案航拍執行之經驗，綜整 UAS 航拍規劃標準作業流程如圖 2-11。

本案作業將依需求規格書規範，於國土測繪中心通知航拍區域後 5 日內提送空域申請資料，於接獲可辦理航拍通知次日起 15 日內完成辦理航拍作業，航拍完成次日起 20 日內繳交影像處理成果。

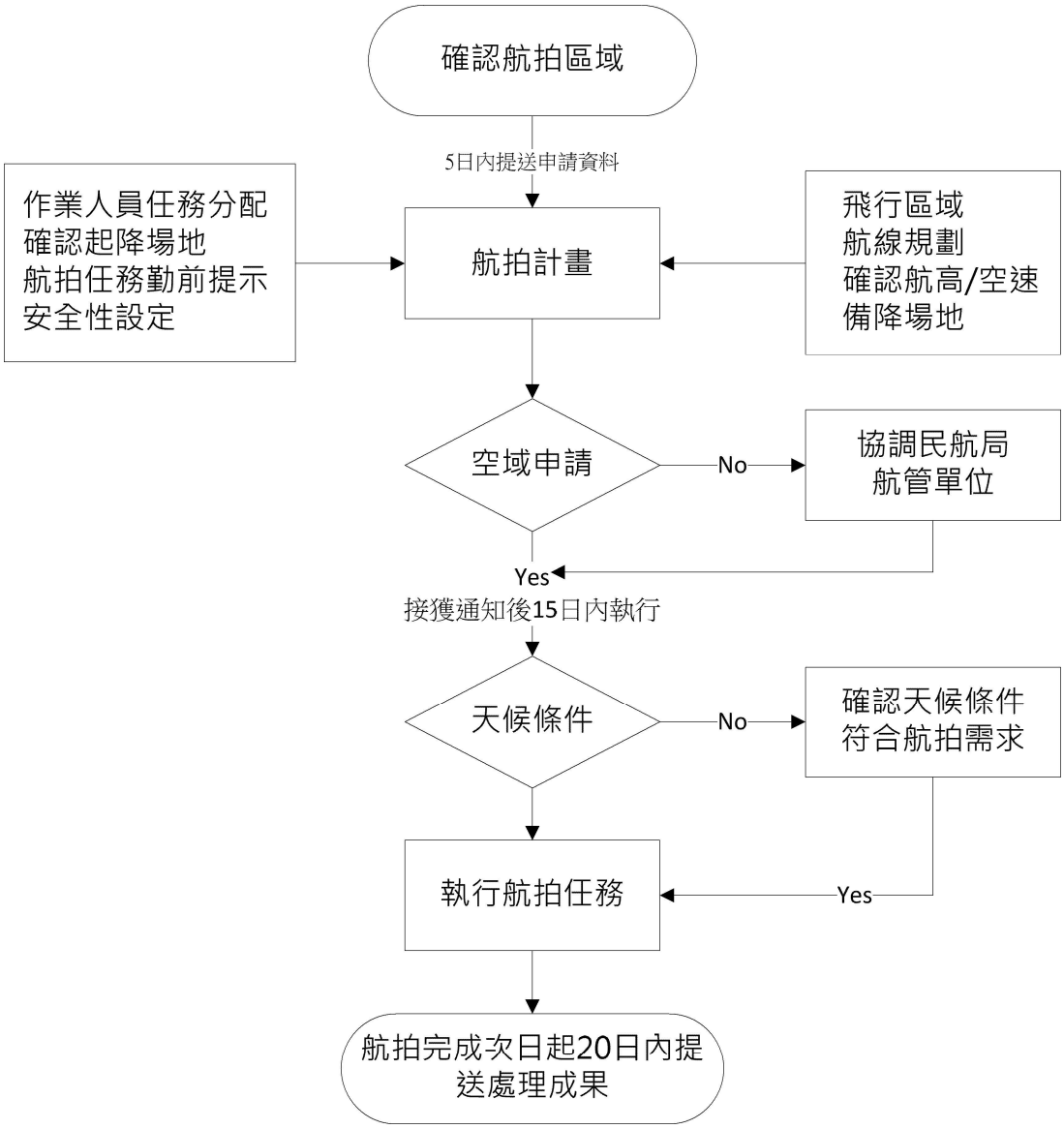


圖 2-11 UAS 航拍規劃標準作業流程

UAS 航拍作業依規定需在施測前 15 天前提出申請空域，另外任務規劃與勤前提示與工作分配亦為重要的工作規劃，執行航拍任務時，還需視天候條件許可下方可執行任務，UAS 執行航拍任務標準作業流程可參考圖 2-12。

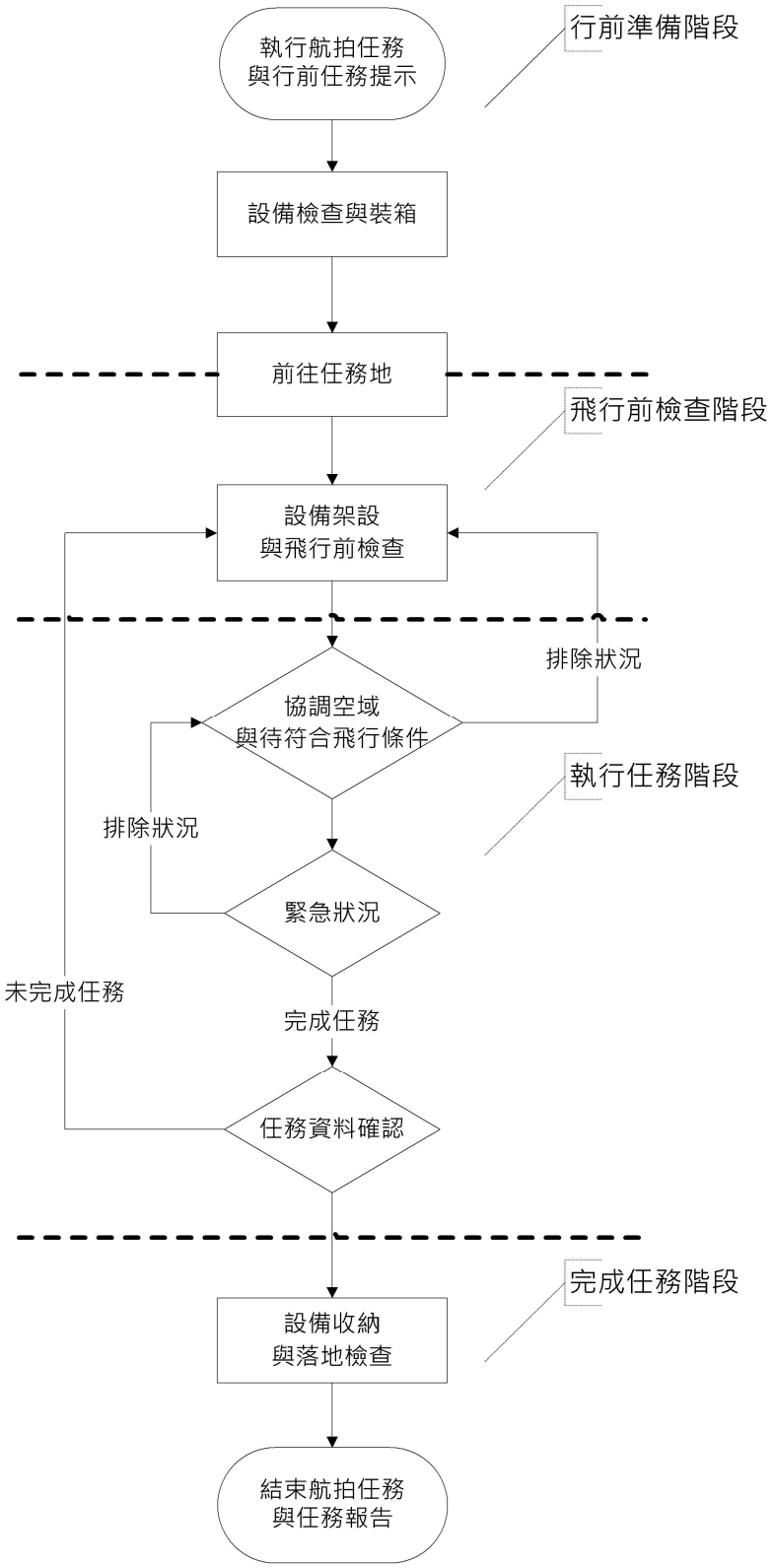


圖 2-12 UAS 執行航拍任務標準作業流程

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

(1) GCS(地面控制站)：

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

(2) 任務自動導引程序：

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

(3) 航拍任務：

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

(4) 避走路線：

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

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

步驟 1：於確認航拍區域後，負責專案經理先依據航拍需求提交包含委託單位連絡方式、繳交期限、GSD、用途及空拍範圍的「委託空拍申請表」，並交由資深同仁評估後，回覆「委託空拍空域審核建議表」，對各空域進行航線評估，內容包含預畫航高、GSD 範圍、涵蓋線近航區/航道、航線說明及 KML 航線規劃圖，如圖 2-13。

步驟 2：於任務確認後及任務執行前，為了讓任務執行單位充分了解工作內容，於任務執行前需由當次任務負責主管公告「UAS 飛行任務勤前提示單」，並對任務執行單位解說任務執行細節及流程，其內容包含任務資訊、天氣預報、航點說明及任務預畫等任務執行細節，如圖 2-14。

SN：PA20141222-01

委託空拍申請表

最後更新日期：2014/12/22 14:27

委託單位

公司名稱：	內政部國土測繪中心	統編：	
公司電話：	04-22522966	公司傳真：	04-22540324
公司地址：			
聯絡人：	施錄輝	職稱：	
電話：	#380	分機：	
手機1：		E-mail 1：	23063@mail.nlsc.gov.tw
手機2：		E-mail 2：	

廢航作業名稱/工程名稱： 103 年度發展無人飛行載具航拍技術作業

廢航作業用途/用途名稱： 圖資更新、103 年度專業工作項目(18 區航拍任務)

委託單位/工程業主：

空拍資料

繳交期限：	103/06/6	申請類別：	□報價/評估 ■確定執行
GSD(cm)：	25cm	重疊率(%)	Endlap:80 Sidelap:40

空拍區域描述：

南投縣南投市 南興校正場範圍，廢航公告編號 C0200/14，使用 20mm 鏡頭拍攝

座標格式： ■WGS-84 □UTM

詳 KML

相片： ■正射 □側拍□特寫□內環景 □外環景 □其他(_____) 解析度： □1000 □1600 ■2100 萬畫素 □其他(_____)

影片： □正射 □側拍□內環景 □外環景 □其他(_____) 解析度： □HD(720p) □FullHD(1080p) □其他(_____)

用途： □風景照 □工程 ■測繪 ■高精度 POS □其他(_____)

附件：

1. ■google earth kmz/kml 檔 檔名(103 航拍區 KML 疊整 0519.kmz)
2. □工程圖 檔名(_____)
3. □無人航空器系統作業申請表 檔名(_____)

填表人	委託單位	專案經理
陳信安	內政部國土測繪中心	陳信安

SN：PAR20140526-1

區域編號：	A 1		
難易度[1]：	□條高(3) ■高(2)□普通(1)	工作天數[2]：	1
申請航高：	2500 ft	預劃航高：	700 m
地貌高度[3]	最高：330 m 最低：90 m	預估 GSD	最好：13 cm 最差：22 cm
起飛點：	502-02 台 14 丁 120.634386° 24.001839°	空拍方式：	■排列 □定點盤旋
航向：	N S E W	相片張數：	700
航帶間隔：	450 m	快門：	4.3 s/frame
人口密度：	75%	地面障礙物：	430 m
鏡頭：	Voigtlander COLOR-SKOPAR 20mm F/3.5 SLII		

涵蓋限禁航區/航道(含目視航線)：

1. RNAV(GNSS) RWY36 360 deg (6.0) -3800ft
2. 目視走廊 C35
   ▲彰化系統交流道(國道 1 號及國道 3 號交叉點)
   1000FT 以國道三號為中心線，左右兩側各 2.5KM 寬
   保持國道 3 號高速公路右側飛航，得採用 1000FT 至 3000FT。中興系統交流道至古坑系統交流道，濁水溪南北岸高壓電鄰陣礙，得採用 1500FT 至 3000FT 飛航。
3. 空中運動及拆除活動
   大里 500FT(AGL)/ 地面西南面與南投空域相接，週一至週五：拍晚至 0130UTC, 0800UTC 至終昏 週六，週日及國定假日：拍晚至終昏
   南投 500FT(AGL)/ 地面 東北面與大里空域相接，西南與北斗空域相接。週六、週日及國定假日：拍晚至終昏
   北斗 500FT(AGL) / 地面 東北面與南投空域相接，南面與雲林空域相接，西南面與濁水溪空域相接，西面與二林空域相接每日:拍晚至終昏
4. 新社訓練空域 3000FT/ 地面/日間

航線說明/其他建議：

1. 實際執行空拍任務前，會重新依照地行起伏，重新規劃航帶寬及飛行高度。
2. 任務區位於人口稠密區。
3. 航線重疊機場進場/離場航線。
4. 起降場地(馬路)需申請路權及交管。
5. 軍方常態訓練空域。

[1] 難高：任務執行有困難；高：可執行，但任務執行成本較高；普通：一般難度任務
[2] 包含當次任務準備
[3] 資料格式為 WGS-84

圖 2-13 委託空拍申請表及委託空拍空域審核建議表

SN：PS20140617-1

UAS 飛行任務勤前提示單

最後更新日期：2014/06/17 14:15

任務資訊

Leader(PM)：	陳信安	連絡電話：	
GCS(IP)：	洪崇仁	連絡電話：	
Pilot(EP)：	詹文洲	連絡電話：	
Repeater(1)：		連絡電話：	- -
Repeater(2)：		連絡電話：	- -

預劃飛行日期：	2014/06/13	備用飛行日期：	2014/06/14
UAV 起飛地點/座標：	彰化芬園-台 14 丁馬路 120.634386° 24.001839°	中繼站地點/座標：	- -
GSD (cm)：	<16 cm	預估地飛行航程(km)：	178 + 48 km
任務航高設定 (m)：	700 M	拍照間隔 (s/frame)：	6.5 / 1.5
預劃起飛時間(hhmm)：	0730	預劃飛行時間 (min)：	<200 min
地面起伏高度 (m)：	0~15 m	最高人口密度 (%)：	<15
可通訊比例(%)	95	天線設備：	全向形天線
廢航公告(NOTAM)[1]：	C0200/14	核准空域使用時段：	1200~1630
進駐場臺/近場台：	台北近場台	軍方/場台電話：	
近場台聯絡人姓名：	鍾禮竹	近場台聯絡人電話：	-03-3841060~1

廢航作業名稱/工程名稱： 103 年度發展無人飛行載具航拍技術作業

廢航作業用途/用途名稱： 圖資更新、103 年度專業工作項目(18 區航拍任務)

委託單位/工程業主： 內政部國土測繪中心

聯絡人： 施錄輝 連絡電話： 04-22522966-380

任務區 天氣預報[2]

預劃飛行日期：	2014/06/13	備用飛行日期：	2014/06/14
天氣狀況/降雨率：	多雲時晴午後雷陣雨/40%	天氣狀況/降雨率：	多雲時晴午後雷陣雨/30 %
風向/蒲福風級：	偏南風 /3 級	風向/蒲福風級：	偏南風 / 3 級
最高/最低 氣溫：	33/28℃	最高/最低 氣溫：	32/27 ℃
拍晚/終昏時間[3]：	0517/1845	拍晚/終昏時間：	0516/1845
相對濕度：	88~79%	相對濕度：	87~77%
潮汐時間[4]：	潮位 時間 潮高(cm) 滿潮	潮汐時間：	潮位 時間 潮高(cm) 乾潮

[1] 參照民航局公告編號 全球：電子式民航指南 FAA NOTAM website, NOTAM decoder
[2] 天氣預報查詢：中央氣象局 (明細預報)
[3] 拍晚/終昏時間查詢：中央氣象局 (首頁> 常識> 天文氣象> 日出日沒)
[4] 潮汐時間查詢：中央氣象局 (首頁> 預報 > 海岸氣象 > 潮汐預報)

現場工作流程

時間	名稱	工作事項說明	位置/航點
1100	抵達起飛地點		起飛地點
	飛行前檢查	設備架設與飛行前檢查	
		架設地面站電腦	
		架設全向性天線	
		架設基站	
1120		載入 POS System REV 1.0	
1130		確認酬載功能	
1135		完成任務整備	
1140	確認空域		
1145	Take off	起飛盤旋兩點測試	
		確認系統運作正常	
		上傳飛行計畫： 1.103NLSC 南興校正場 Round3.1-1 20mm 700m-1.5s.txt 2.103NLSC 南興校正場 Round3.1-2 20mm 700m-1.5s.txt 3.南投交流道 600M-NS-500m-5.2s .txt	
1150	執行任務	飛升高度至任務高度(700m)	WP 1 → WP 2
1155		開始執行空拍	WP 2
1200	抵達任務區上空		WP 3
1500	離開任務區上空		WP 18
1505		緩降高度	WP 18 → WP 19
1510	Lading		起飛地點
	落地檢查		
	任務資料確認	讀取飛行資料及酬載資料	
		與業主確認成果	
1530		任務報告	
1600		完成任務整備	

圖 2-14 UAS 飛行任務勤前提示單

步驟 3：於任務飛行前，必須先依「UAS 飛行前檢查卡」檢查 UAS 及地面站系統各個零組件，如機身結構、各個控制翼面、避震墊及飛控系統等功能是否正常，如圖 2-15 所示。

飛行前檢查項目

靜態檢查項目			
依檢查卡執行下列項目	檢查結果		維修
	正常	不正常	
機身外觀與檢查門有無損傷或鬆動			
空速管有無異物阻塞或鬆動			
鼻輪與主起落架組件與固定螺栓是否鬆動			
檢查輪胎外觀有無龜裂或損壞			
轉動輪胎觀察滾動是否正常，有無鬆動			
機翼與機身連接處裝置是否穩固，有無鬆動			
機翼結構標裝置螺栓是否裝穩固，有無鬆動			
尾桿與機翼裝接處是否裝置穩固，有無鬆動			
垂直尾翼翼面與尾桿連接處是否穩固，有無鬆動			
水平尾翼翼面與尾桿連接處是否穩固，有無鬆動			
左、右副翼操縱面/舵角器/連桿與驅動裝置是否穩固，有無鬆動			
左、右垂直尾翼操縱面/舵角器/連桿與驅動裝置是否穩固，有無鬆動			
水平尾翼操縱面/舵角器/連桿與驅動裝置是否穩固，有無鬆動			
螺旋槳固定螺栓滑動標誌有無鬆動			
螺旋槳有無損傷、破裂			
油管油路裝置與化油器有無異物阻塞			
引擎排氣管裝置是否穩固，有無鬆動			
引擎汽缸頭裝置是否穩固，有無鬆動			
火星塞高壓線圈固定接頭是否穩固，有無鬆動			
引擎減震支柱與相關固定螺栓滑動標誌有無鬆動			
引擎座減震膠墊外觀是否正常，有無破損			
通訊鏈路與影像天線與接頭安裝是否穩固，有無鬆動			

填表人：　　日期：　　時間：

圖 2-15 UAS 飛行前檢查卡

步驟 4：於每次任務結束後，任務執行單位必須填寫「UAS 航拍任務執行紀錄」，詳細記錄任務執行狀況及各諸元使用鐘點，如圖 2-16。

同時根據目前相關法規規範，規劃航拍工作區域時受以下限制：

（1）航拍區域若位於機場周圍禁、限航區，則無法執行任務。

（2）航拍區位於訓練空域、軍方管制空域、目視航線等，則需視與民航局及軍方單位協調後狀況方可執行任務。

（3）鄰近禁、限航區，可能影響民航機或軍機起降及其他航空器安全，亦需與相關單位協調後方能進行航拍。

UAV 航拍任務執行紀錄

一、航拍區域：南投市航遙測感應器校正場
二、日期時間：103/06/13 10:00~14:00
三、航線規劃：

四、天氣狀況：多雲午後雷陣雨(氣溫 30˚C，降雨機率 40%)
五、風向/風級：偏南風/四級
六、航拍高度/雲層高度：700m/900m
七、現場狀況：
1000 於南投-台 14 丁馬路旁現場待命起飛，於 1030 與台北近場台協調空域後，執行路面車輛管制 UAV 飛機起飛，第一架次任務飛行時間 107'54"後安全降落。讀取第一架次拍攝照片，並確認拍攝成果無誤後，與近場台重新協調空域，於 1240 再度起飛，第二架次任務飛行時間 51'35"後安全降落，與近場台告知本日飛行任務結束並讀取第二架次拍攝照片後確認無誤後，結束本日任務。

圖 1.起降場地跑道，台 14 丁。(朝南方，目標區位於左上方位置)

圖 2.起降場地跑道，台 14 丁。(朝北方，目標區位於後方位置)

圖 2-16 UAS 航拍任務執行紀錄

2.4.2 UAS 航拍計畫

UAS 航拍所使用之數位相機為 Canon 5D Mark II 或 Sony α7R 全片幅數位單眼相機，相機感光元件經換算後可得到感光元件上每一像素之實際尺寸為 6.4 μm（5D2）或 4.8 μm（α7R）。由於每一像素之寬度與焦距長，相對於地面解析度（GSD）與航高（AGL）為相似三角形，因此可得下式 2.1：

$$\frac{Pixel\ Size}{Focal\ Length} = \frac{GSD}{AGL} \qquad (2.1)$$

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

以 Canon 5D2 相機於 1/5,000 比例尺航拍作業的航線規劃範例如下圖 2-17，各項航拍作業應規劃項目範例如表 2-9、表 2-10。經正確規劃後，航拍成果皆可達到 80%以上的前後重疊率及 40%以上之側向重疊率。

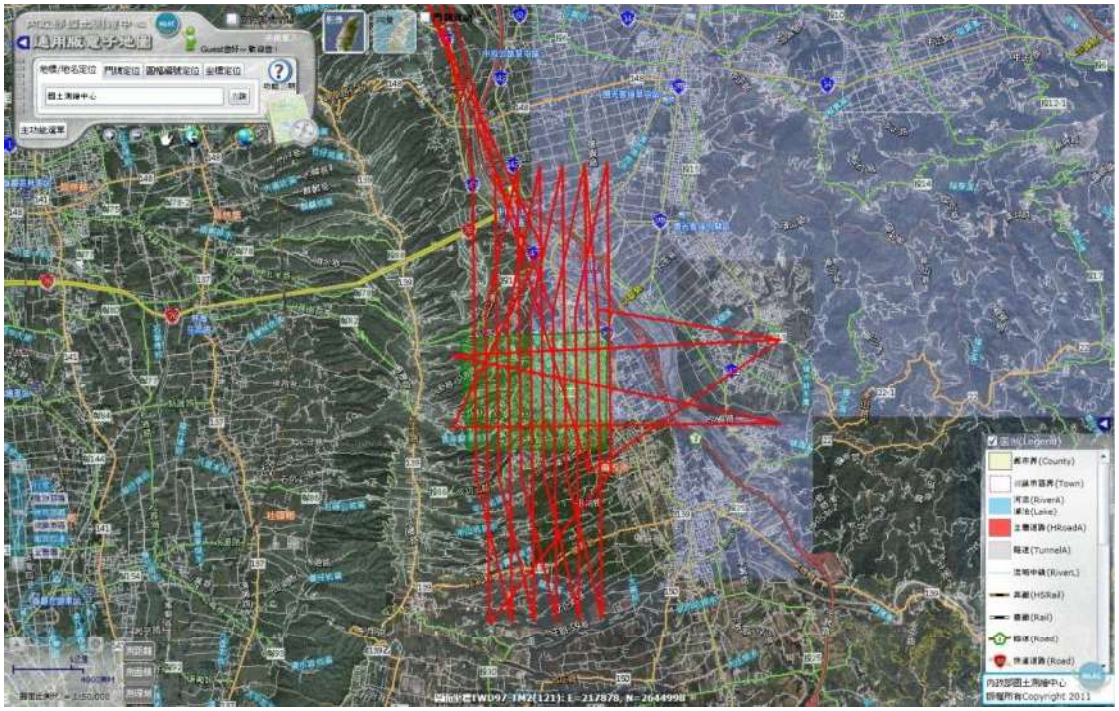


圖 2-17 航線規劃示意圖

表 2-9 Canon 5D2 航空攝影規劃資訊

項　目	資　訊	備　註
鏡頭焦距	20 公釐	採用高素質手動定焦鏡頭，避免 UAS 震動造成自動對焦位移。
像元解析度	6.4 μm	
航帶寬	約 840 公尺	航拍影像有效寬度
飛航高度	780 公尺	為距地高，依照地形高程會有所調整
航線間距	700 公尺	確保側向重疊率>40%
側向重疊	> 40%	
前後重疊	>80%	提高前後重疊，降低後續立製時遮蔽情形及提高正射品質
航空攝影	以 GNSS/IMU 輔助	將提高空三及測圖等精度
地面解析度	25 公分	

表 2-10 Sony α7R 航空攝影規劃資訊

項　目	資　訊	備　註
鏡頭焦距	35 公釐	採用高素質定焦鏡頭，避免 UAS 震動造成對焦位移。
像元解析度	4.8 μm	
航帶寬	約 1100 公尺	航拍影像有效寬度
飛航高度	1700 公尺	為距地高，依照地形高程會有所調整
航線間距	1050 公尺	確保側向重疊率>40%
側向重疊	> 40%	
前後重疊	>80%	提高前後重疊，降低後續立製時遮蔽情形及提高正射品質
航空攝影	以 GNSS/IMU 輔助	將提高空三及測圖等精度
地面解析度	25 公分	

而 GCS 介面的航線設定，本團隊已有開發航點產生工具，只要輸入特定參數，如範圍坐標、航帶間隔等參數，即可規劃出航線。軟體另有繪圖與標註、航線規劃(S、O、Z 模式)、航線延長縮短、航線位移、空拍重疊率及航線匯出/匯入等功能。軟體共可提供 3 種不同模式航線規劃：

- S 模式：單向折返。如單一方向有山脈，可採此飛行方式。

圖 2-18 S 模式航線範例圖

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

圖 2-19 Z 模式航線範例圖

- O 模式：定點盤旋，對特定經緯度目標點做盤旋飛行。

圖 2-20 O 模式航線範例圖

2.4.3 系統保養

為確保 UAS 之更高安全性，除了依照周期性檢查項目檢查各零組件外，本團隊並制定一套 UAS 品保流程，從各零組件出廠至系統組裝完成，與累計時數的維修與性能評估，以確保最高的系統安全性，如圖 2-21 所示，性能評估 PT 表詳見附錄三 UAS 性能評估單。

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

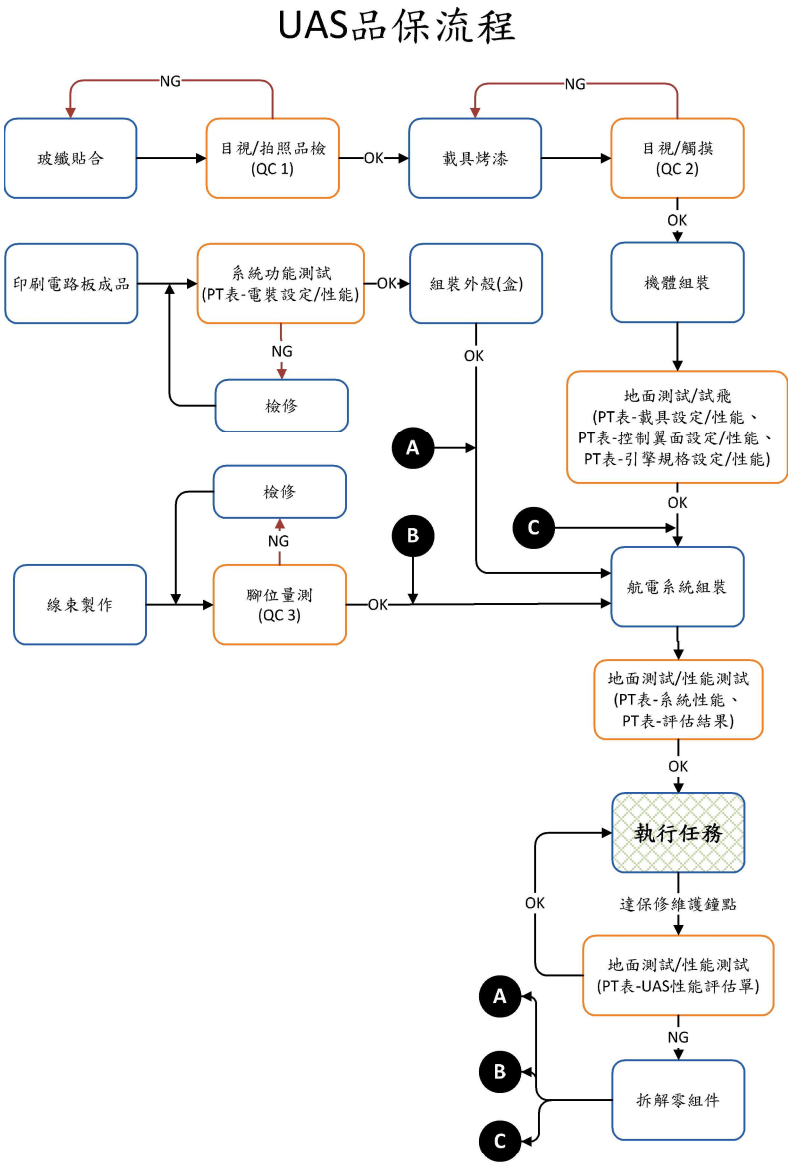


圖 2-21 UAS 品保流程

第五節 空中三角測量及正射影像製作作業規劃

2.5.1 控制點選定及量測

本案進行航拍作業之區域為 11 區，大部分航測控制點主要為引用向量圖資或影像資料之特徵點為主。每一航拍區原則上需挑選至少 5 點控制點，控制點選擇向量圖資或影像資料上比較明顯、不會變動的固定地物、易辨認之特徵點位（斑馬線、道路標線等）且於 UAS 影像上可辨識之共同點為原則；其分布以可包圍測區且減少影像校正之外插情形為原則。另挑選至少 3 點檢核點，均勻分布於測區範圍內。控制點選取範例如圖 2-22。控制點選定後於向量圖資或影像資料之特徵點上量測坐標資訊，以作為後續空中三角測量解算使用。

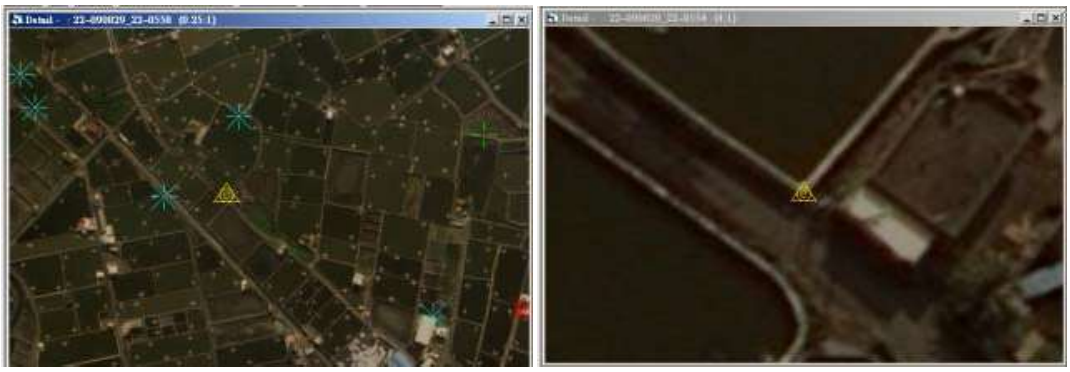


圖 2-22 選取控制點位置範例

2.5.2 空中三角測量作業方式

UAS 相片利用空中三角測量（以下簡稱空三）進行空間解算，同樣係根據少量的現地控制點，再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。

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

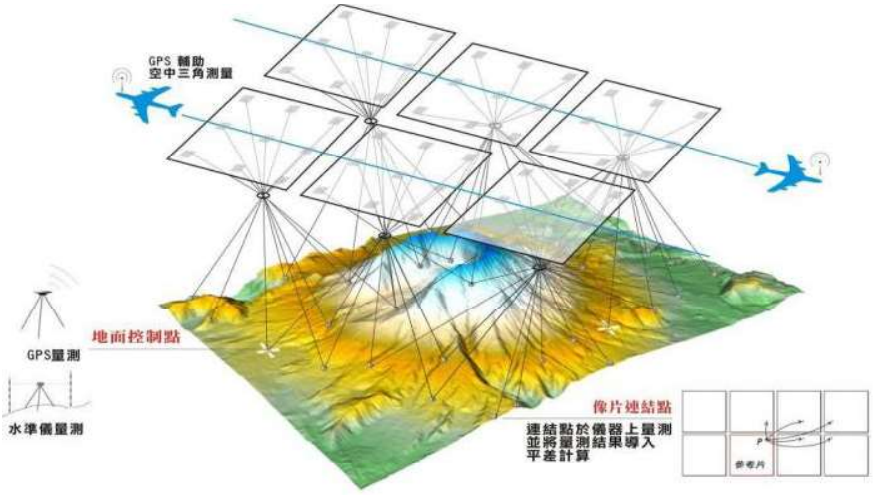


圖 2-23 空中三角測量示意圖

二、空中三角像片連接點分布每一像片九個標準點以上，先以影像匹配產生連結點，再檢查連結網形補缺漏。每一標準點位以二點以上為原則，空中三角平差偵錯後，每一標準點位至少留存一點。

三、航拍過程中全程採用 GNSS/IMU 輔助空中三角測量，GNSS 每 1 秒觀測 10 筆資料，IMU 每 1 秒觀測 20 筆資料以上，平差作業可加入每張航片經解算之投影中心坐標及姿態角，以提升空三作業精度，並加速影像自動匹配作業時程，可大幅縮短人工選點作業時間與減少影像匹配錯誤情形。

四、空三之連結點採自動匹配，自動匹配完後，會表列出匹配點不足處，稱之為弱匹配區；使用者可依表列之點號，手動加點，如圖 2-24。此外，尚會利用自行開發之網形檢核程式（如圖 2-25）及可靠度計算程式，檢查每張像片間的連結點數以及連結情況，並參考地形圖測製規範之可靠度指標，不足處可手動加點。表 2-11 為可靠度指標。

表 2-11 可靠度指標

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

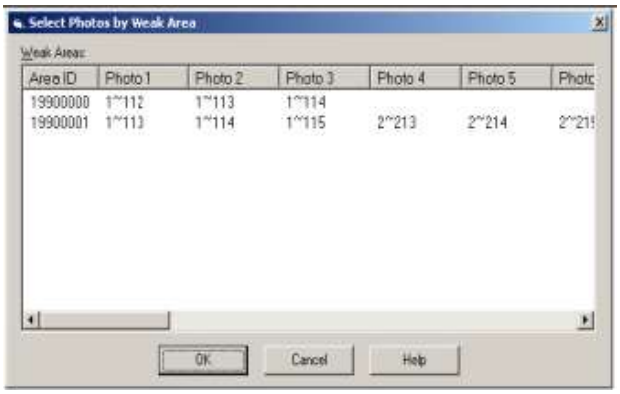


圖 2-24 弱匹配區手動加點列表示意圖

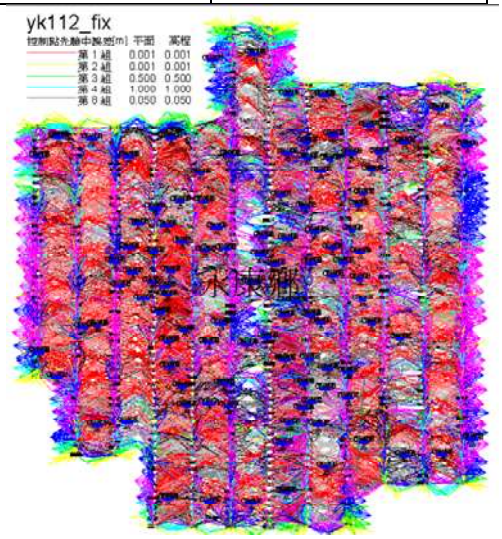


圖 2-25 像片網形連結範例圖

五、空中三角測量平差計算採用光束法，分二個過程進行計算，先以最小約制（或自由網）平差，以進行粗差偵測並得到觀

測值精度的估值，其次進行強制附合至控制點上平差。

六、自由網平差後所得觀測中誤差不超過 10μm，坡度達 IV 級以上之山地或植被達 IV 以上之平地中誤差不超過 15μm，強制附合地面控制點後，其驗後觀測值之 R.M.S.E 值不大於 13μm，坡度達 IV 級以上之山地或植被達 IV 以上之平地中誤差不超過 20μm。

2.5.3 正射影像製作流程

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

一、每一像素以使用距離像主點最近之像素為原則。

二、正射影像位於平坦地表面無高差移位的明顯地物點其位置中誤差應小於 2.5 公尺，最大誤差應小於 10 公尺。如成果應用於通用版電子地圖局部區域正射影像更新，正射影像位於平坦地表面無高差移位的明顯地物點其位置中誤差應小於 1.25 公尺。鐵、公路、橋樑等對地圖判讀有重要意義的基礎建設，必須依其實際測量高度進行正射微分糾正，因而產生之無影像遮蔽區應以相鄰影像補足，若無影像可供補足，得以黑色區塊填補。

三、彩色正射影像資料圖幅接合處影像接合誤差，相鄰圖幅無高差地物影像接邊相對移位應小於 2.5 公尺。

下圖 2-26 為製作彩色無縫正射影像鑲嵌流程圖。

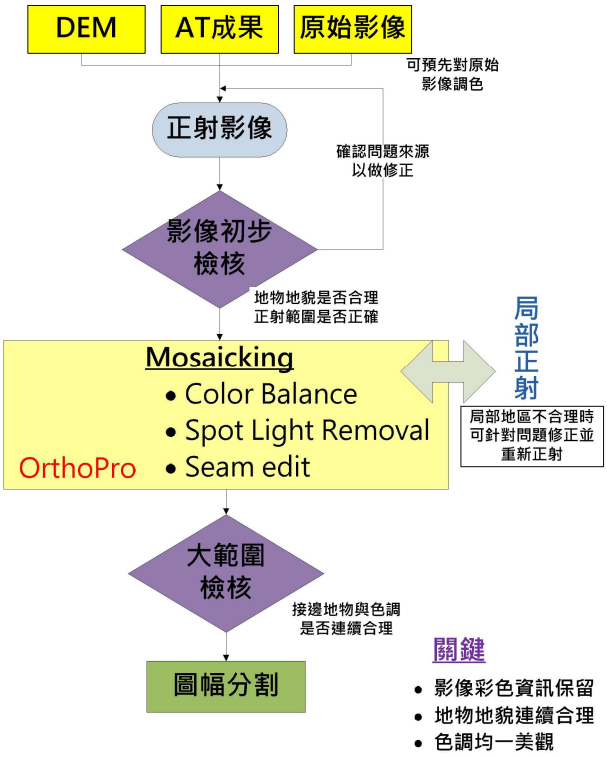


圖 2-26 製作彩色無縫正射影像鑲嵌流程圖

壹、正射影像糾正

(一) 利用數值航測影像工作站，配合數值高程模型(DEM)資料作為正射糾正之高程控制資料，將中心投影之航空像片，糾正成正射投影，消除像片上投影誤差，製作正射影像。圖 2-27 為正射影像糾正示意圖。

(二) 利用軟體 ImageStation Orthopro 將空三資料（圖 2-28）、數值高程資料（圖 2-29）、原始檔案載入，產生正射後的單張影像，在產生前需先設定是否將影像壓縮、影像格式（tif 或 jpg）、是否產生影像金字塔、影像定位檔（tfw 或 jgw）等。

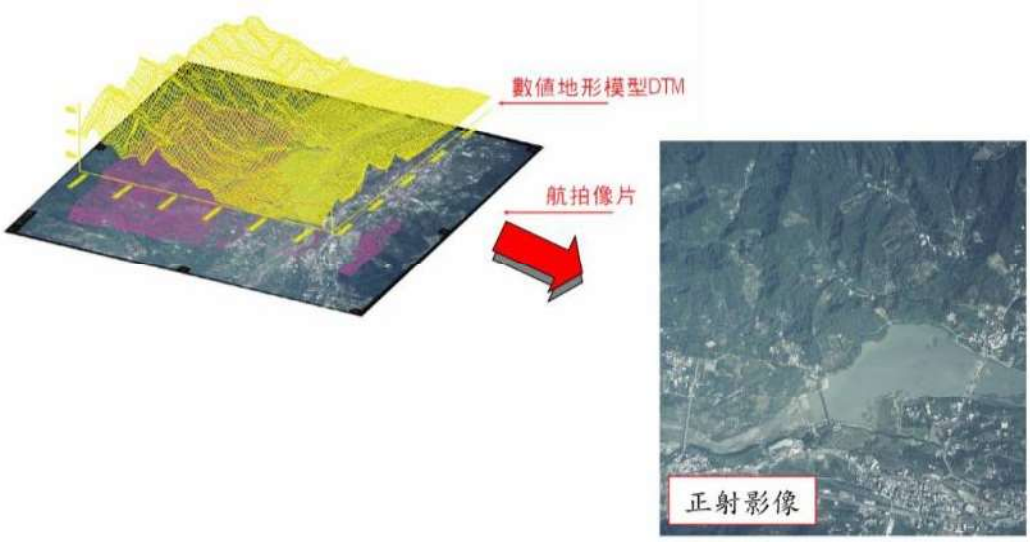


圖 2-27 正射影像糾正示意圖

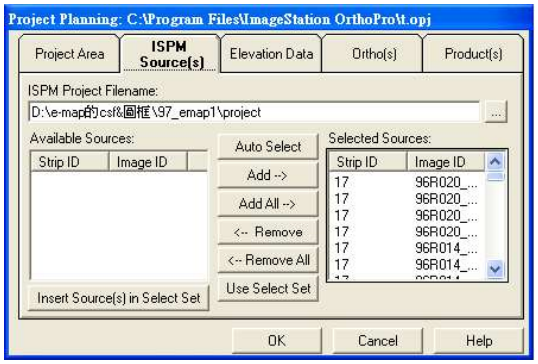


圖 2-28 ImageStation Orthopro 空三資料

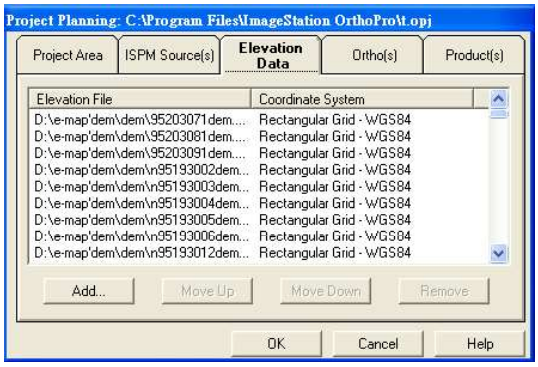


圖 2-29 ImageStation OrthoproDEM 資料

貳、正射影像鑲嵌作業

(一) 將相鄰影像之數值正射影像切去其邊緣與重複部分，使之互相拼接而成一地表連續之影像，逐一鑲嵌製作成為一張無接縫的正射影像鑲嵌圖，如圖 2-30 所示。

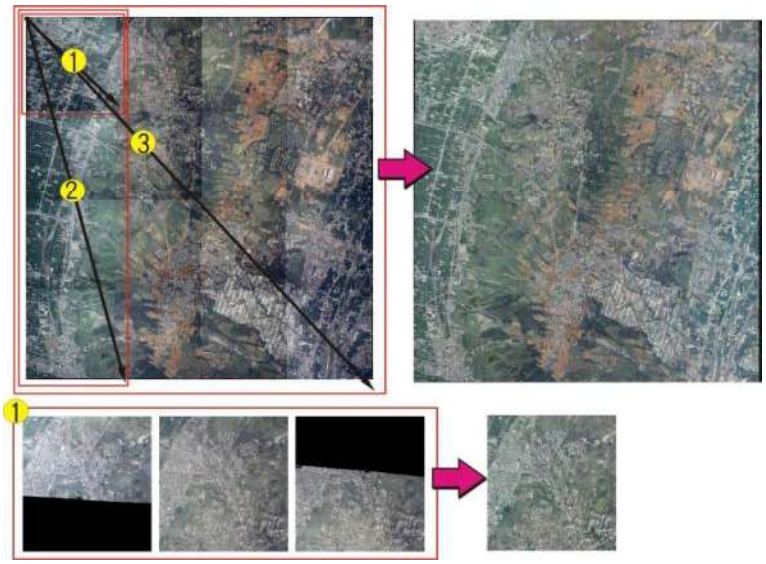


圖 2-30 正射影像鑲嵌示意圖

(二) 正射處理影像需在影像工作站進行無縫式鑲嵌及全區影像色調均化處理。

(三) 正射影像應盡量選取像主點附近之影像，避免傾斜位移大、陰影過長、陰影下影像模糊等區域，鑲嵌之接縫處宜位於水系、平面道路或空曠地區，注意重要地標（高架道路、明顯建物）之銜接，並應力求色調、亮度一致，影像避免反光，保持柔和及清晰。

(四) 正射影像鑲嵌後如造成疊影、錯位、扭曲、雲遮蔽等狀況，都必須再行編修處理，如圖 2-31。

圖 2-31 正射影像編修前後比較（左: 編修前、右: 編修後）

2.5.4 成果檢核

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

一、原始航拍影像檢查

針對原始影像成果進行查核，項目如下：

1. 抽查項目及方式：採上機檢查，檢查影像品質（影像解析度、是否含雲）、影像重疊率等項目。
2. 抽查數量：抽查航拍目標區域影像總片數5%像片。
3. 通過標準：抽樣之影像有1項（含）以上不合格，則該片影像為不合格；抽查影像片數90%以上合格，則檢查通過。

二、空中三角測量檢查

（一） 抽查項目及方式：採上機檢查，檢查空中三角測量成果重新計算、連結點重複量測及檢核點等項目。

（二） 抽查數量：抽查空中三角測量所使用之影像總片數 1%。

（三） 通過標準：抽樣之影像有 1 項（含）以上不合格，則該片影像為不合格；抽查影像片數 90%以上合格，則檢查通過。

三、正射影像檢查

針對正射影像成果進行查核，說明如下：

1. 抽查項目及方式：採上機檢查，檢查影像解析度、色調及連續地物合理性（地物是否有扭曲變形、影像接邊情形是否連續無縫）等項目。正射影像地元尺寸 0.25 公尺。
2. 抽查數量：全面檢查。
3. 通過標準：每區缺點總數未超過 10 處，則該區視為合格；抽查區域數 90%以上合格，則檢查通過。

因本案 UAS 正射影像成果精度應達通用版電子地圖相關測製規範要求，本團隊於精度檢核作業，將參考通用版電子地圖圖資精度檢核及品質管控流程規劃進行。

壹、航空攝影影像品質管控及檢核

檢查項目：航線、航攝像片重疊率及影像品質。

航線規劃：檢查航線規劃是否涵蓋測區，每幅圖兩個像對，各航線兩端應多加拍攝兩像對。

航拍檢查：檢查航偏角、航傾角及重疊率。

航拍檢查標準：

（一）航線方向以南北、東西或平行預定路線為原則。

（二）垂直連續攝影，檢查 POS 所記錄之角度資料，攝影軸傾斜應小於 8 度，各航線兩端應多攝兩個像對。

（三）是否重疊度不佳以致像對不能涵蓋全測區或影響製圖精度。

（四）攝影天氣：攝影天氣晴朗無雲，能見度良好，太陽高度大於三十度以上，以減少陰影。

（五）影像有雲，影像模糊，陰影過長，或不能完全消除視差，導致無法用於量測及製圖。

貳、空中三角測量及平差計算品質管控及檢核

空中三角測量作業之品質檢查，量測像片坐標時需對影像品質有檢核紀錄，空中作業完成後抽樣 1%影像上機檢核紀錄之確實性。100%檢查空中三角測量平差報表及生產單位對節點分布及連結況所做的分析報告。空中三角測量作業若檢查不通過不得進入下一階段之立體量測工作。

各項檢查要求：

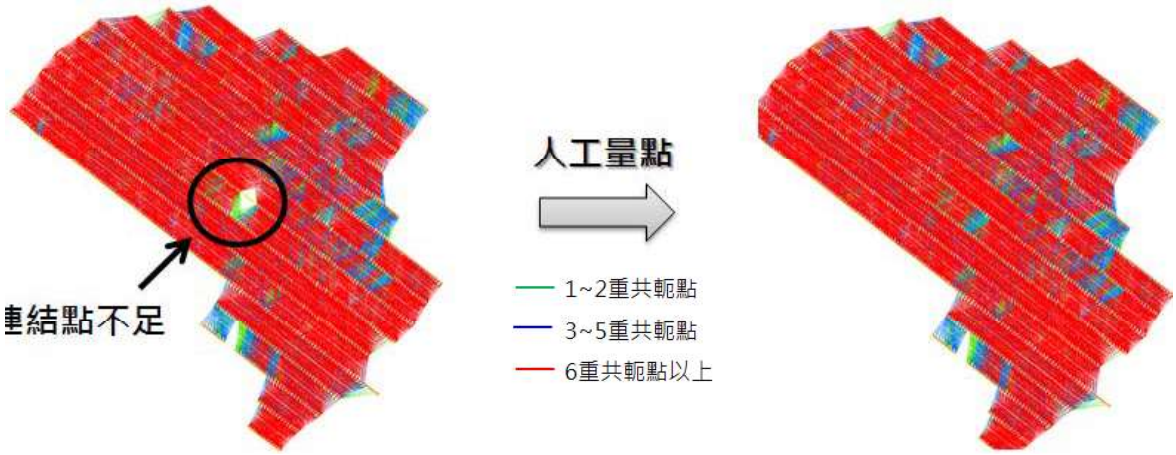
一、空中三角像片連結點應分布於每一像片九個標準點位上。每一個位置二個，空中三角平差偵錯後，每一標準點位至少留存一點。

二、像片連結點之轉點：每一基線距離內至少有一種以上的點連結臨航帶。

三、空中三角平差採用光束法計算，平差後所得之標準中誤差，最小約制平差後所得的觀測值中誤差不得超過 10 μm 。

四、強制附合至地面控制點後中誤差之增加量應不超過上值之 13 μm ，否則應重新檢核地面控制點之正確性。

五、連結點可靠度檢核，先將連結點重點數低的點刪除，再利用自行開發之網形檢核程式，檢查每張像片間的連結點數以及連結情況，不足處可手動加點，以達到可靠度規範要求，像片網形與統計資料如圖 2-32 所示。



空三報表數據	
像片數	1,189
光線數	234,915
物點數	39,138
6重光線以上連結點數	22,021
總多餘觀測數	345,282

可靠度指標	指標量	80%
平均多餘觀測數（總多餘觀測數/總觀測數）	0.735	≧0.6
連結點平均光線數（連結點總光線數/總連結點數）	6.002	≧6
連結點強度指標（N重光線以上連結點數/總點數）	0.563	(6重光線以上連結點數)/(總點數)≧0.3

圖 2-32 空三網形與統計圖

參、彩色無縫鑲嵌正射影像製作品質控管及檢核

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

一、彩色無縫式鑲嵌品質控管

彩色無縫式鑲嵌品質控管分兩部分：

（一）單幅正射影像鑲嵌產生之品質控管：單一區域之正射影像由多張影像鑲嵌而成。

（二）影像成果之品質檢查包含：

1. 檢查影像地物是否扭曲變形、或影像中有雲或陰影、影像對比及色彩飽和度。
2. 彩色無縫鑲嵌正射影像地面解析度 0.25 公尺。
3. 檢核正射用之 DEM 重疊區高程一致性。
4. 正射影像資料檔以 TIFF 格式儲存，以每個區域一個檔案為原則。

二、正射影像製作精度要求

（一）幾何精度

位於平坦地表面無高差移位的明顯地物點其位置中誤差應在 2.5 公尺以內，最大誤差應在 10 公尺以內。如成果應用於通用版電子地圖局部區域正射影像更新，正射影像位於平坦地表面無高差移位的明顯地物點其位置中誤差應小於 1.25 公尺。位於山坡地的中誤差值則應考量用為基準的 DEM 誤差因素，其界限值應參考相關的 DEM 規範。因建物高差引起的影像移位不得大於圖面上 2mm。

（二）色調

整張正射影像的色調應均勻，其明亮度（intensity, brightness）的直方圖分布應在 5~250 之間，且直方圖的兩端不得有如圖 2-33

所示之突然停止的現象，亦不得有突然觸到兩端的現象。突然停止的現象可依最端點灰值的像元數 Ne 與其內側鄰近三個灰值平均像元數 Ni 之比值來判斷，Ne 必須小於 Ni。不同張航拍影像的接邊處色調需一致，不得有肉眼能見到的邊緣。

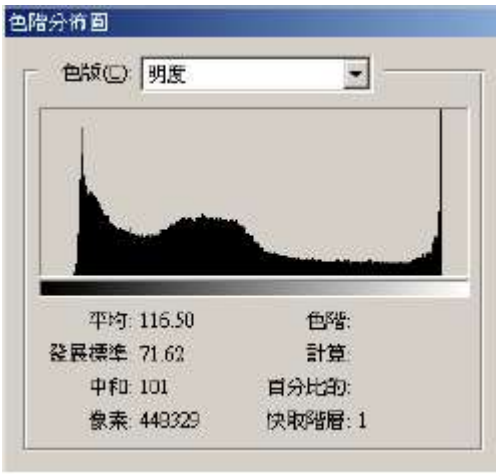


圖 2-33 直方圖兩端突然停止示意圖

（三）色彩平衡

所謂色彩平衡就是不同張的正射影像上所顯示地物的色彩應於一致。但由於同一地物彩色在不同正射影像上看起來色彩都不一樣，因此色彩平衡要做到整區影像地物顏色連續且均勻自然。本團隊設計一「正射影像自我檢核表」（表 2-12）檢核正射影像的色調、接縫、道路水系的修正。

表 2-12 正射影像自我檢核表

正射影像檢查表									
計畫名稱：104年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案							檢查日期：		
檢查範圍：第 1 批次							檢查人員：		
成果區域	地物地貌扭曲錯開修正	接邊修正	橋墩平直無扭曲修正	影像對比色調修正	影像有雲修正	影像套道路水系修正	影像編修人員	QC人員	備註

第參章 UAS 航拍任務執行與影像處理作業

第一節 104 年度航拍作業情形

104 年度 UAS 航拍任務之執行，主要為配合國土測繪中心指定需求區域以 UAS 進行航拍及影像處理，航拍區域選定 10 區，平均每區航拍面積以 4 平方公里為原則（總航拍面積應達 40 平方公里以上）。

104 年度除國土測繪中心所選定之 10 處拍攝需求區域外，另有 1 處航拍區是配合臺南市政府地政局需求增購，協助拍攝並製作正射影像成果。相關成果完成後，由國土測繪中心函送予臺南市政府地政局。今年度執行期間並無執行緊急災害應變航拍作業，11 區航拍區依影像處理作業內容均為執行正射影像測製作業。

航拍作業區域彙整表如表 3-1，各航拍作業區位置分布如圖 3-1，作業成果彙整如表 3-2。各航拍區任務執行規劃與影像處理作業細節，詳述於本章各小節。

表 3-1 104 年度航拍作業區域彙整表

編號	航拍區域	用途	面積（km^2）	製作成果	航拍日期	成果繳交	使用機型	備註
1.	屏東縣里港鄉(國 10 里港交流道)	圖資更新	12.5	正射影像	5/18	6/7	定翼型(測繪 1 號)	
2.	高雄市前鎮區(氣爆災點)	圖資更新	2.0	正射影像	4/1	4/21	旋翼型	
	高雄市前鎮區(經貿園區 65 期)	圖資更新	0.3	正射影像	4/1	4/21	旋翼型	
3.	苗栗縣獅潭鄉(汶水橋)	圖資更新	3.0	正射影像	7/31	8/5	定翼型(Sky Arrow 55)	
4.	彰化縣芳苑鄉(台 61 線)	圖資更新	17.5	正射影像	5/30	6/18	定翼型(測繪 1 號)	
5.	臺南市新化區(台 19 甲線外環)	圖資更新	3.8	正射影像	7/4	7/24	定翼型(測繪 1 號)	
6.	臺南市新市區(新和重劃區)	圖資更新	0.8	正射影像	7/4	7/24	定翼型(測繪 1 號)	
7.	苗栗縣造橋鄉(台 13 甲線)	圖資更新	11.3	正射影像	6/5	6/25	定翼型(Sky Arrow 55)	
8.	高雄市仁武區(國 1 鼎金交流道)	圖資更新	0.2	正射影像	4/7	4/27	旋翼型	
9.	雲林縣虎尾鎮	圖資更新	10.6	正射影像	11/19	11/19	旋翼型	

編號	航拍區域	用途	面積（km^2）	製作成果	航拍日期	成果繳交	使用機型	備註
	(高鐵雲林站)							
10.	臺南市安南區(九份子重劃區)	圖資更新	1.5	正射影像	9/22	9/30	定翼型(Sky Arrow 55)	
11.	臺南市安平區	國土監測	1.0	正射影像	9/10	9/30	定翼型(Sky Arrow 55)	協助臺南市政府地政局航拍
	合計		64.5					

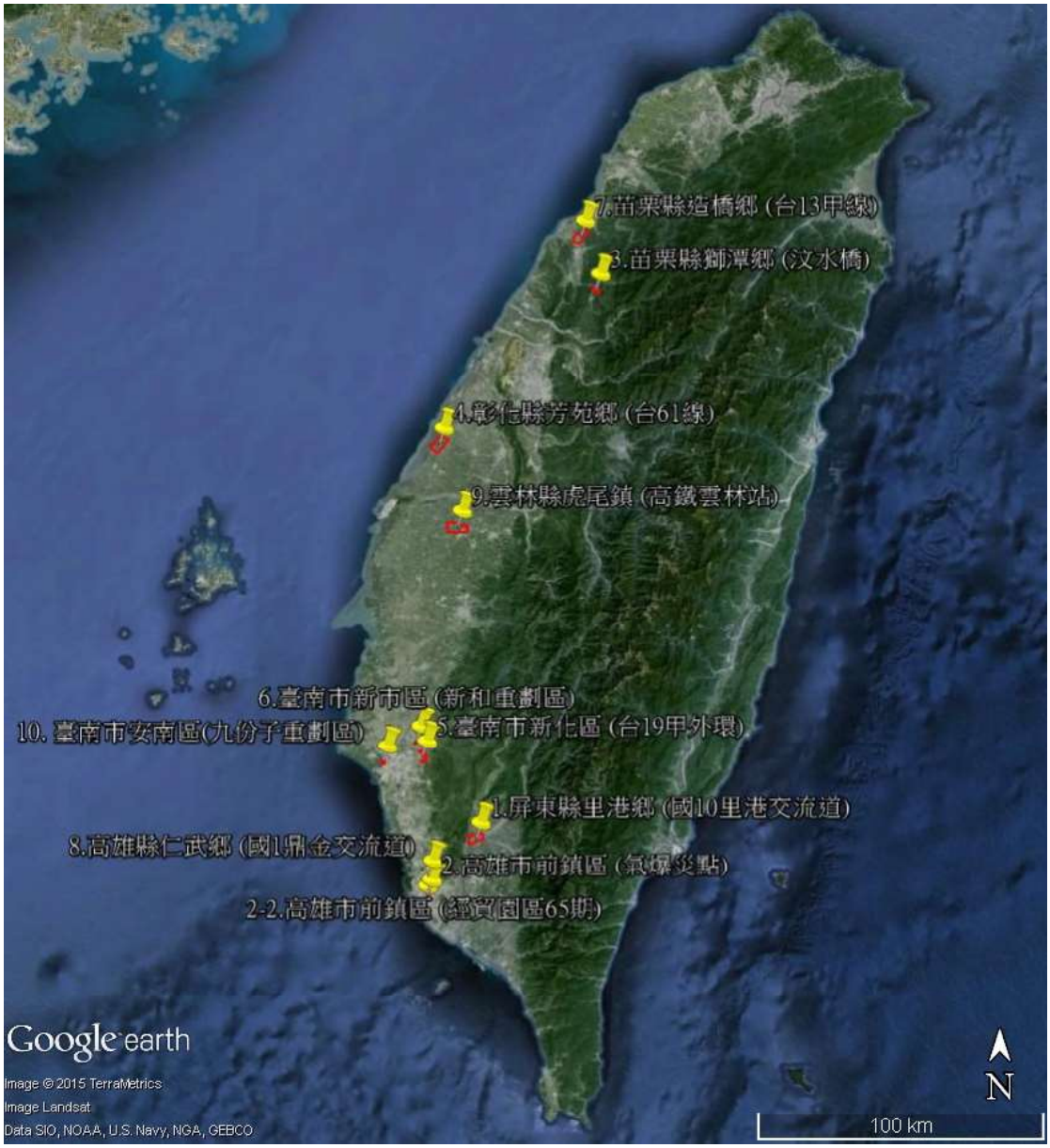


圖 3-1 104 年度航拍任務區域分布

表 3-2 104 年度航拍作業成果一覽表

No	航拍區域	面積（km^2）	重疊率	UAS 類型	相機/鏡頭焦距	航高 MSL (公尺)	GSD (公分)	成果空三精度(μm)	使用相片張數
1	高雄市前鎮區 (氣爆災點)	2.0	前後 80% 側向 40%	旋翼型	Canon 5D II 20mm	200	6	3.7	133
	高雄市前鎮區 (經貿園區 65 期)	0.3	前後 80% 側向 40%	旋翼型	Canon 5D II 20mm	250	8	3.5	43
2	苗栗縣獅潭鄉 (汶水橋)	3.0	前後 80% 側向 40%	定翼型 (測繪 1 號)	Sony α7R 35mm	1300	13	5.9	192
3	彰化縣芳苑鄉 (台 61 線)	17.5	前後 80% 側向 40%	定翼型 (測繪 1 號)	Sony α7R 35mm	1200	17	2.2	190
4	臺南市新化區 (台 19 甲線外環)	3.8	前後 80% 側向 40%	定翼型 (Sky Arrow 55)	Sony α7R 35mm	800	11	5.8	340
5	臺南市新市區 (新和重劃區)	0.8	前後 80% 側向 40%	定翼型 (Sky Arrow 55)	Sony α7R 35mm	800	11	5.8	340
6	苗栗縣造橋鄉 (台 13 甲線)	11.3	前後 80% 側向 40%	定翼型 (測繪 1 號)	Sony α7R 35mm	800	11	3.4	481
7	高雄市仁武區 (國 1 鼎金交流道)	0.2	前後 80% 側向 40%	旋翼型	Canon 5D II 20mm	210	6.7	4.1	28
8	屏東縣里港鄉 (國 10 里港交流道)	12.5	前後 80% 側向 40%	定翼型 (測繪 1 號)	Sony α7R 35mm	800	12	2.5	228
9	雲林縣虎尾鎮 (高鐵雲林站)	10.6	前後 80% 側向 40%	旋翼型	Canon 5D II 20mm	200	6	3.6	120
10	臺南市安南區 (九份子重劃區)	1.51	前後 80% 側向 40%	定翼型 (Sky Arrow 55)	Sony α7R 35mm	700	9.5	5.1	120
11	臺南市安平區	1.0	前後 80% 側向 40%	定翼型 (Sky Arrow 55)	Sony α7R 35mm	700	9.5	2.8	81

第二節 正射影像測製作業

一、屏東縣里港鄉（國 10 里港交流道）

本區域為國土測繪中心為滿足圖資更新之需求辦理協助航拍作業，測製正射影像成果，供更新通用版電子地圖正射影像使用。航拍區相關任務執行與影像處理作業說明如下：

（一）航拍任務執行

屏東縣里港鄉（國 10 里港交流道）航拍區規劃概況如表 3-3，拍攝範圍如圖 3-2，本區為國土測繪中心圖資更新需求拍攝區。

表 3-3 屏東縣里港鄉任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	屏東縣里港鄉(國 10 里港交流道)
二、航拍日期	104/5/18
三、航線航程	總航程約 93 公里
四、天氣狀況	晴天(氣溫 34˚C，降雨機率 0%)
五、風向/風級	偏南風/三級
六、航拍高度/雲層高度	800 公尺/1000 公尺
七、地面解析度	0.12 公尺
八、UAS 載具	定翼型 UAS(國土測繪 1 號)

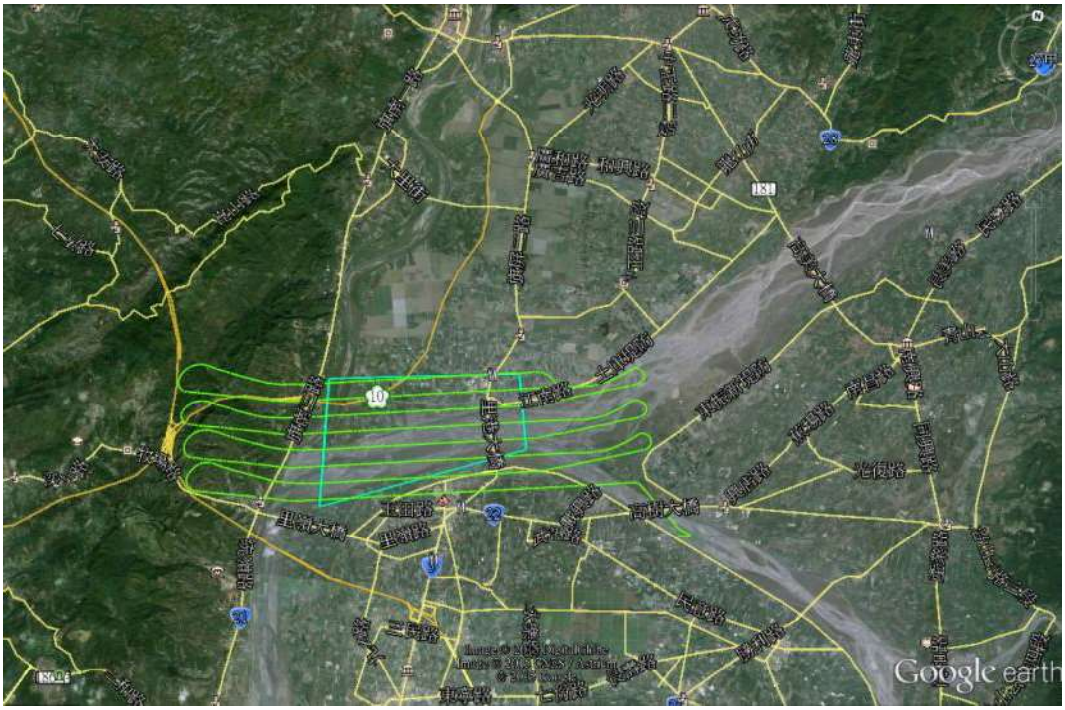


圖 3-2 屏東縣里港鄉飛行航線規劃

任務作業於 104 年 5 月 18 日當日 1430 時於屏東里港飛行場堤防旁現場待命起飛，於 14:50 時執行路面車輛管制後 UAV 飛機起飛執行航拍任務，UAV 爬升至指定高度後盤旋 3 圈檢查飛行姿態及相關數據正常後飛往任務區執行航拍。於飛行 92 分 35 秒後安全降落，讀取拍攝照片及 POS 資料確認無誤後與專案經理回報本日飛行任務結束，16:30 時收工返回台中廠房。

圖 3-3 屏東里港起降場地作業情形

（二）影像處理作業

屏東縣里港鄉(國 10 里港交流道)航拍區範圍約 1250 公頃，地表高程約 0 公尺。航拍任務規劃使用 Sony α7R 數位相機(像元大小為 4.88μm)搭配 35mm 焦距鏡頭，航高為 800 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%，共需拍攝 8 條航帶，拍攝影像數量合計 899 片，影像分布如圖 3-4，地面解析度(GSD)約 12 公分。

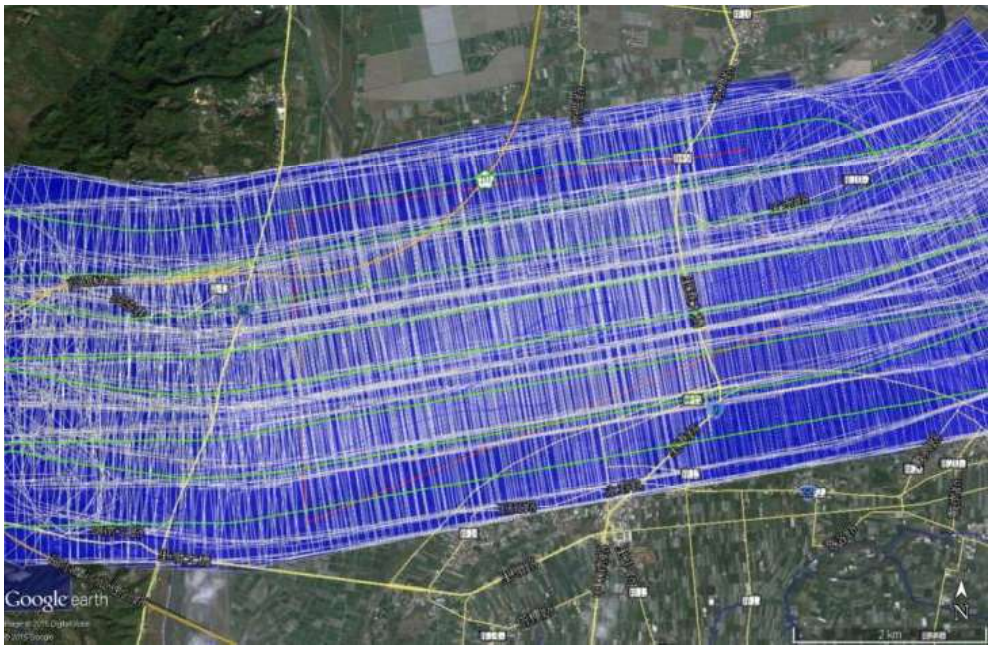


圖 3-4 屏東縣里港鄉(國 10 里港交流道)UAS 分布圖

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，係根據後測控制點，控制點來源自 GSD25 公分之前期影像，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點位置分布如圖 3-5，空中三角測量成果精度及網形如下表 3-4，圖 3-6：

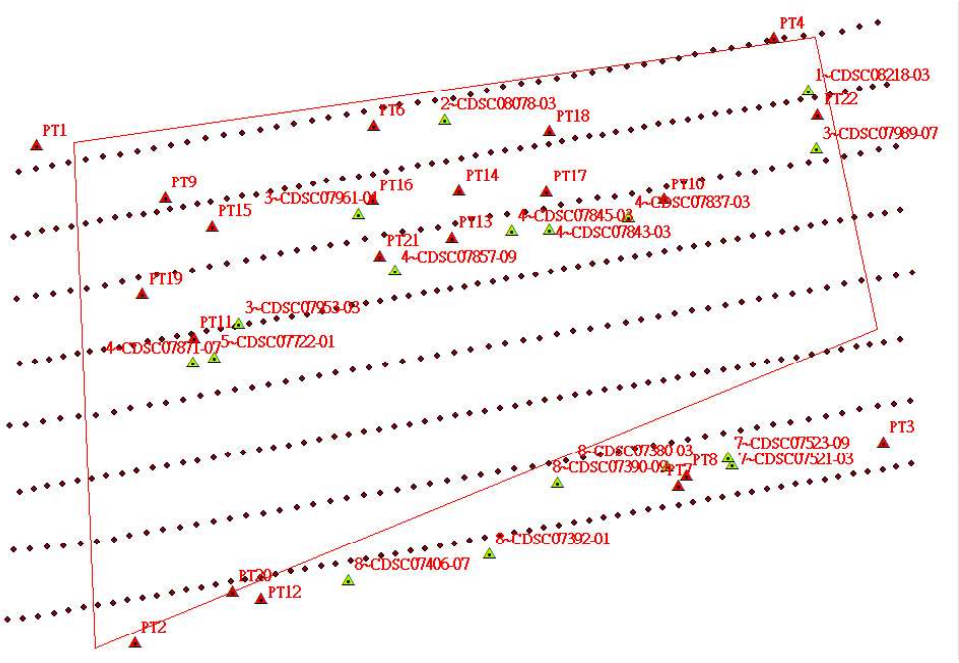


圖 3-5 屏東縣里港鄉控制點分布圖

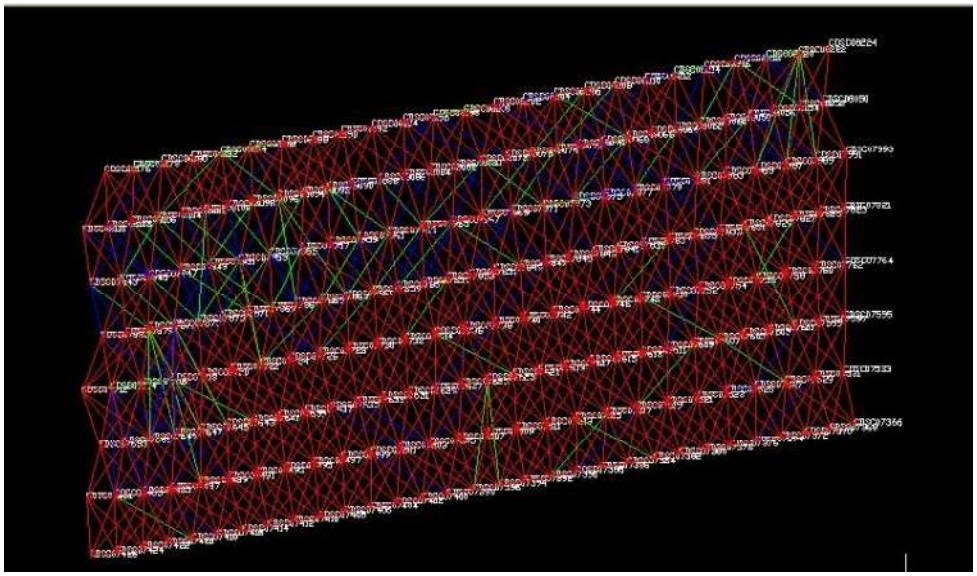


圖 3-6 屏東縣里港鄉空三網型圖

表 3-4 屏東縣里港鄉空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
屏東縣里港鄉 (國 10 里港交流道)	連結強度	0.345	≧0.3
	自由網平差	2.5 μm	≦10 μm
	強制附合平差	2.5 μm	≦12 μm

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（如圖 3-7）。

圖 3-7 屏東縣里港鄉正射鑲嵌影像成果

二、高雄市前鎮區（氣爆災點）、（經貿園區 65 期）

1. 高雄市前鎮區（氣爆災點）

本區域為國土測繪中心為滿足圖資更新之需求辦理協助航拍作業，測製正射影像成果，供更新通用版電子地圖正射影像使用。航拍區相關任務執行與影像處理作業說明如下：

（一）航拍任務執行

高雄市前鎮區（氣爆災點）航拍區規劃概況如表 3-5，拍攝範圍如圖 3-8，本區為國土測繪中心圖資更新需求拍攝區。

表 3-5 高雄市前鎮區（氣爆災點）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	高雄市前鎮區(氣爆災點)
二、航拍日期	104/4/1
三、航線航程	總航程約 8 公里
四、天氣狀況	晴天(氣溫 33˚C，降雨機率 0%)
五、風向/風級	偏北風/三級
六、航拍高度/雲層高度	200 公尺/800 公尺
七、地面解析度	0.06 公尺
八、UAS 載具	多旋翼型 UAS

圖 3-8 高雄市前鎮區（氣爆災點）飛行航線規劃

任務作業於 104 年 4 月 1 日當日 11:00 時於高雄市前鎮區三多一路旁停車場待命起飛，執行路面車輛管制後 UAV 飛機起飛執行航拍任務，多軸旋翼機飛行總架次為 7 架次，起飛點共 4 處，每次飛行時間約為 7-8 分鐘，飛機任務執行完畢安全降落後飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，結束本日任務。

圖 3-9 起降場地作業情況，三多一路旁停車場

（二）影像處理作業

高雄市前鎮區(氣爆災點)航拍區範圍約 200 公頃，地表高程約 0 公尺。航拍任務規劃使用 Canon EOS 5D II 數位相機(像元大小為 6.40μm)搭配 20mm 焦距鏡頭，航高為 200 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%，共需拍攝 2 條航帶，拍攝影像數量合計 462 片，影像分布如圖 3-10，地面解析度(GSD)約 6.5 公分。

圖 3-10 高雄市前鎮區（氣爆災點）UAS 分布圖

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，係根據後測控制點，控制點來源自 GSD25 公分之前期影像，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點位置分布如圖 3-11，空中三角測量成果精度及網形如下表 3-6，圖 3-12：

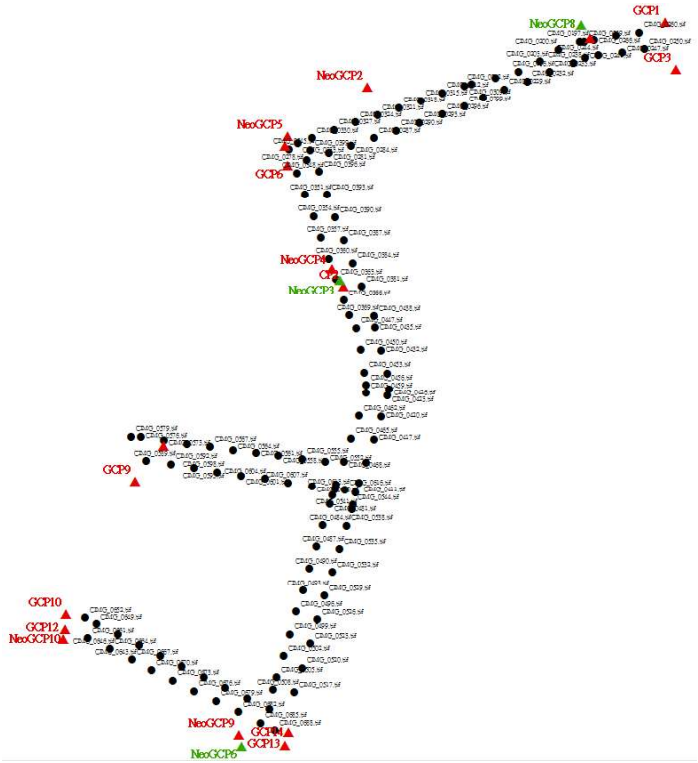


圖 3-11 高雄市前鎮區（氣爆災點）控制點分布圖

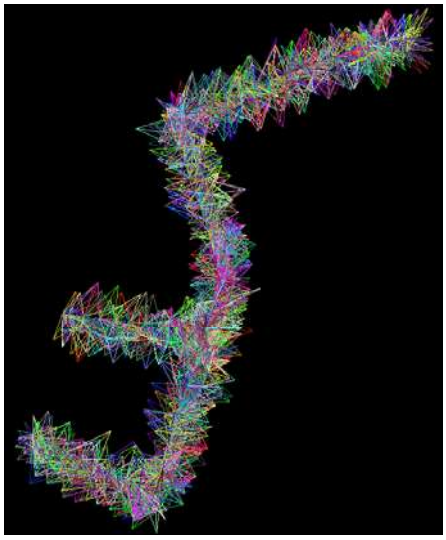


圖 3-12 高雄市前鎮區（氣爆災點）空三網型圖

表 3-6 高雄市前鎮區（氣爆災點）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
高雄市前鎮區（氣爆災點）	連結強度	0.658	≧0.3
	自由網平差	3.4 μm	≦10 μm
	強制附合平差	3.7 μm	≦12 μm

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（如圖 3-13）。

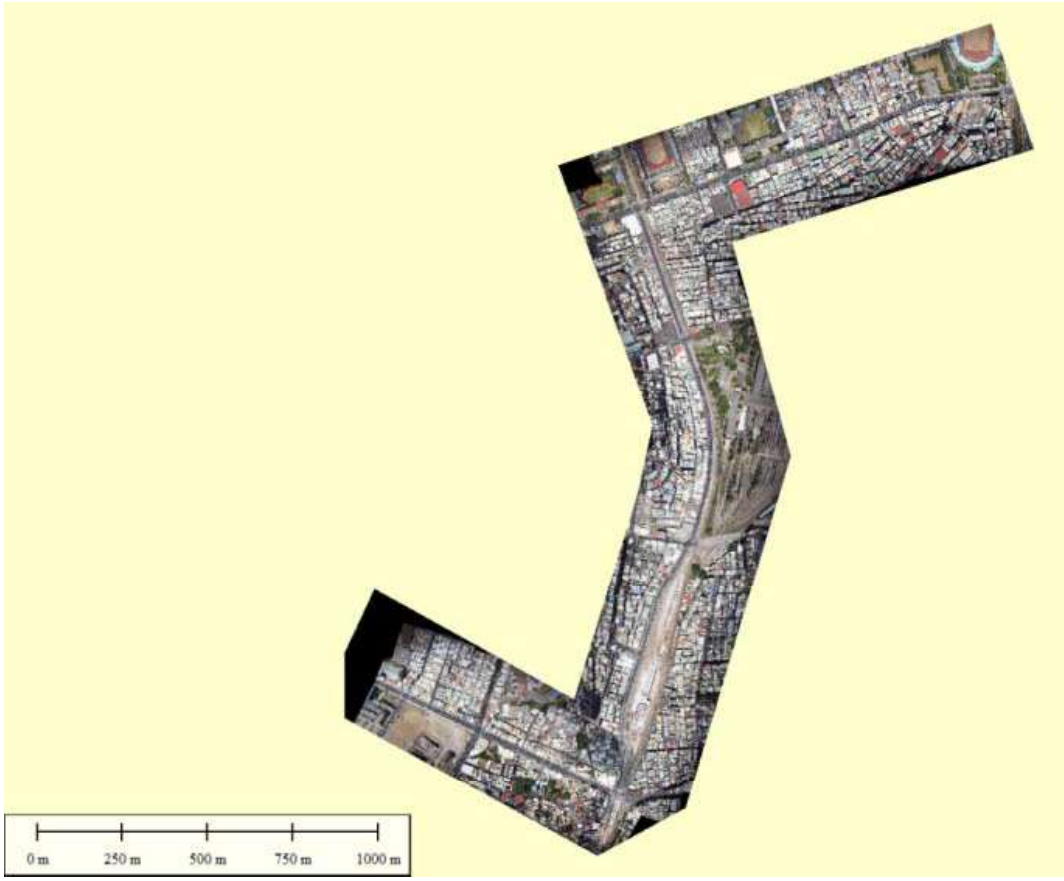


圖 3-13 高雄市前鎮區（氣爆災點）正射鑲嵌影像成果

2. 高雄市前鎮區（經貿園區 65 期）

本區域為國土測繪中心為滿足圖資更新之需求辦理協助航拍作業，測製正射影像成果，供更新通用版電子地圖正射影像使用。航拍區相關任務執行與影像處理作業說明如下：

（一）航拍任務執行

高雄市前鎮區（經貿園區 65 期）航拍區規劃概況如表 3-7，拍攝範圍如圖 3-14，本區為國土測繪中心圖資更新需求拍攝區。

表 3-7 高雄市前鎮區（經貿園區 65 期）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	高雄市前鎮區(經貿園區 65 期)
二、航拍日期	104/4/2
三、航線航程	總航程約 3 公里
四、天氣狀況	晴天(氣溫 32˚C，降雨機率 0%)
五、風向/風級	偏北風/三級
六、航拍高度/雲層高度	250 公尺/800 公尺
七、地面解析度	0.08 公尺
八、UAS 載具	多旋翼型 UAS

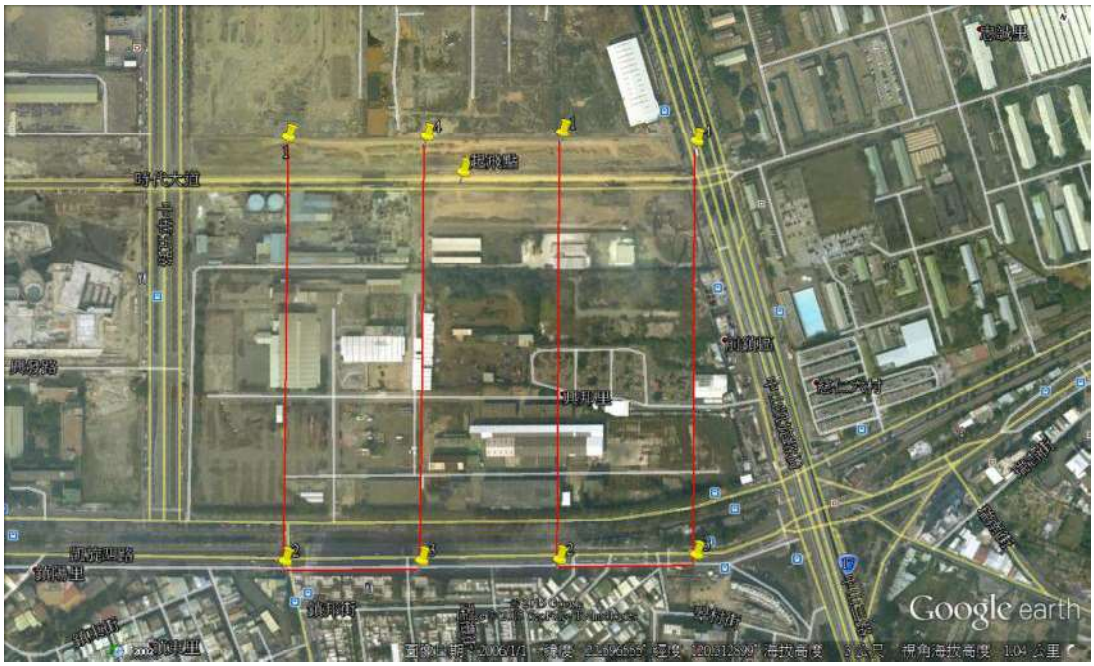


圖 3-14 高雄市前鎮區（經貿園區 65 期）飛行航線規劃

任務作業於 104 年 4 月 2 日當日 12:30 時於高雄市前鎮區時代大道旁待命起飛，執行路面車輛管制後 UAV 飛機起飛執行航拍任務，多軸旋翼機飛行總架次為 2 架，每次飛行時間約為 7-8 分鐘，飛機任務執行完畢安全降落後飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，結束本日任務。

圖 3-15 起降場地作業情況，前鎮區時代大道旁

（二）影像處理作業

高雄市前鎮區(經貿園區 65 期)航拍區範圍約 35 公頃，地表高程約 0 公尺。航拍任務規劃使用 Canon EOS 5D II 數位相機(像元大小為 6.40μm)搭配 20mm 焦距鏡頭，航高為 200 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%，共需拍攝 4 條航帶，拍攝影像數量合計 113 片，影像分布如圖 3-16，地面解析度(GSD)約 8 公分。

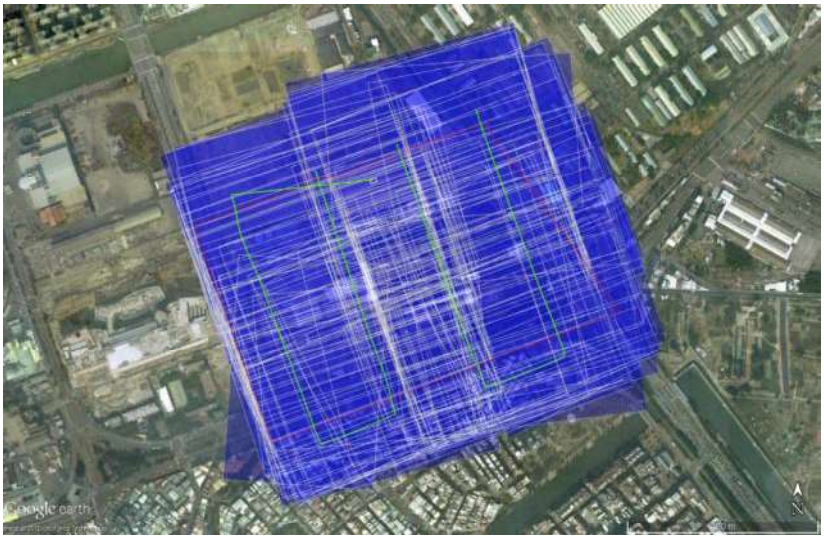


圖 3-16 高雄市前鎮區（經貿園區 65 期）UAS 分布圖

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，係根據後測控制點，控制點來源自 GSD25 公分之前期影像，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點位置分布如圖 3-17，空中三角測量成果精度及網形如下表 3-8，圖 3-18：

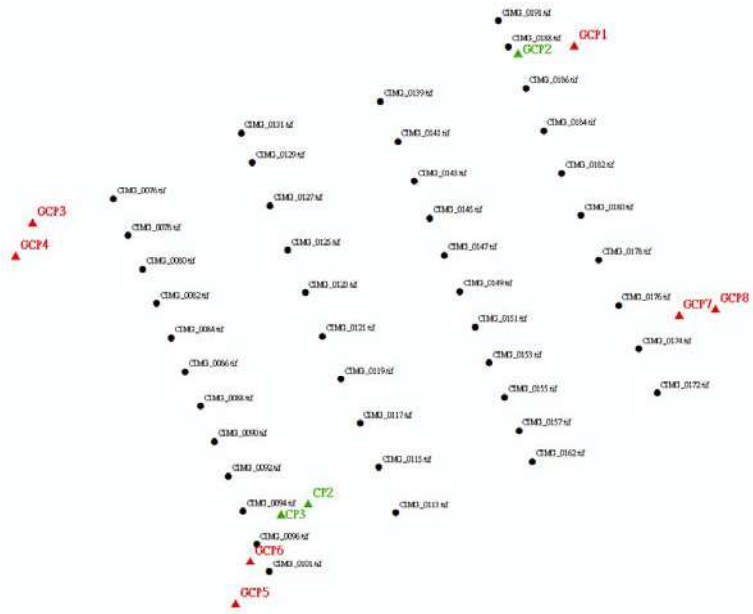


圖 3-17 高雄市前鎮區（經貿園區 65 期）控制點分布圖

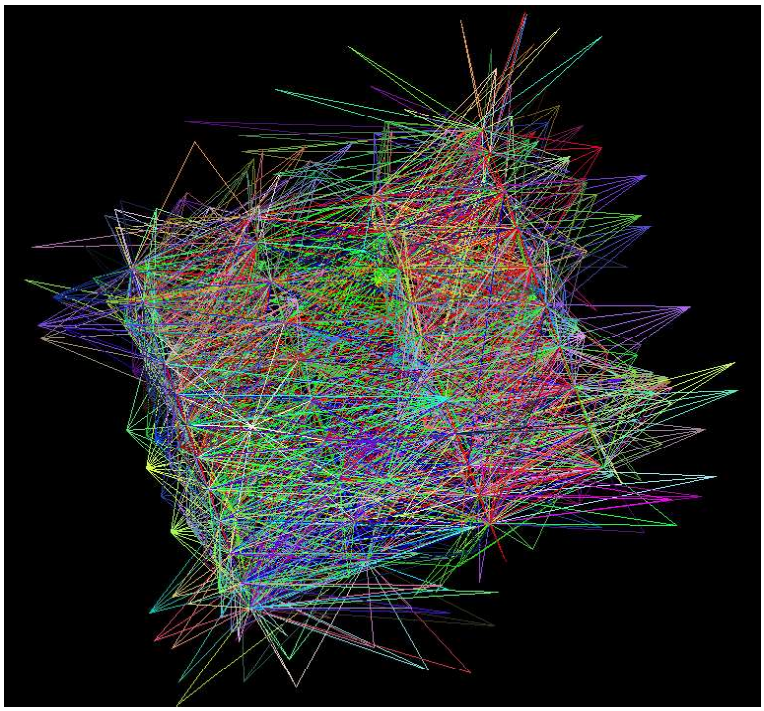


圖 3-18 高雄市前鎮區（經貿園區 65 期）空三網型圖

表 3-8 高雄市前鎮區（經貿園區 65 期）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
高雄市前鎮區（經貿園區 65 期）	連結強度	0.76	≧0.3
	自由網平差	3.2 μm	≦10 μm
	強制附合平差	3.5 μm	≦12 μm

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（如圖 3-19）。

圖 3-19 高雄市前鎮區（經貿園區 65 期）正射鑲嵌影像成果

三、苗栗縣獅潭鄉（汶水橋）

本區域為國土測繪中心為滿足圖資更新之需求辦理協助航拍作業，測製正射影像成果，供更新通用版電子地圖正射影像使用。航拍區相關任務執行與影像處理作業說明如下：

（一）航拍任務執行

苗栗縣獅潭鄉（汶水橋）航拍區規劃概況如表 3-9，拍攝範圍如圖 3-20，本區為國土測繪中心圖資更新需求拍攝區。

表 3-9 苗栗縣獅潭鄉（汶水橋）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	苗栗縣獅潭鄉(汶水橋)
二、航拍日期	104/7/31
三、航線航程	總航程約 46 公里
四、天氣狀況	晴天(氣溫 33˚C，降雨機率 0%)
五、風向/風級	偏南風/四級
六、航拍高度/雲層高度	1300 公尺/1500 公尺
七、地面解析度	0.11 公尺
八、UAS 載具	定翼型 UAS

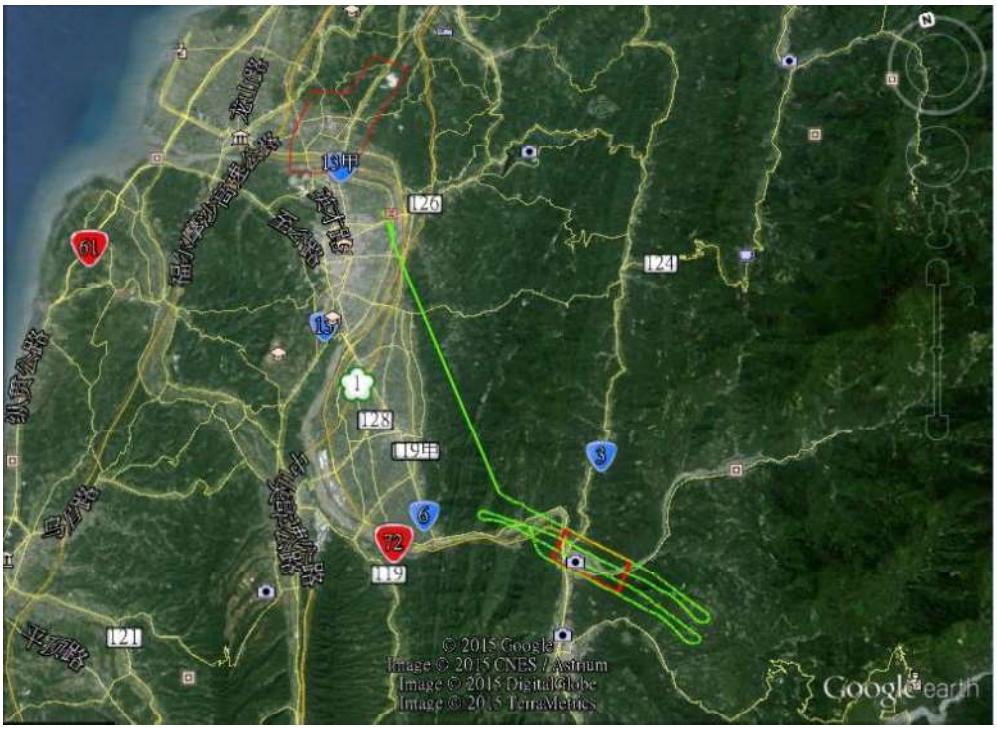


圖 3-20 苗栗縣獅潭鄉（汶水橋）飛行航線規劃

任務作業於 104 年 7 月 31 日當日 1130 時於苗栗後龍飛行場現場待命起飛，於 11:50 時與台北近場台及陸航隊新社營區使用空域協調完成。12:00 時執行路面車輛管制後 UAV 飛機起飛爬升至指定高度後盤旋 3 圈檢查飛行姿態及相關數據正常後，飛往任務區執行航拍。於飛行 78 分 56 秒後安全降落，讀取拍攝照片及 POS 資料確認無誤後與台北近場台及陸航隊新社營區告知本日飛行任務結束，13:30 時結束作業返回台中廠房。

圖 3-21 起降場地跑道，苗栗後龍飛行場內
(目標區位於正前方)

（二）影像處理作業

苗栗縣獅潭鄉(汶水橋)航拍區範圍約 300 公頃，地表高程約 300 公尺。航拍任務規劃使用 Sony α7R 數位相機(像元大小為 4.88μm)搭配 35mm 焦距鏡頭，航高為 1300 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%，共需拍攝 4 條航帶，拍攝影像數量合計 509 片，影像分布如圖 3-22，地面解析度(GSD)約 11 公分。

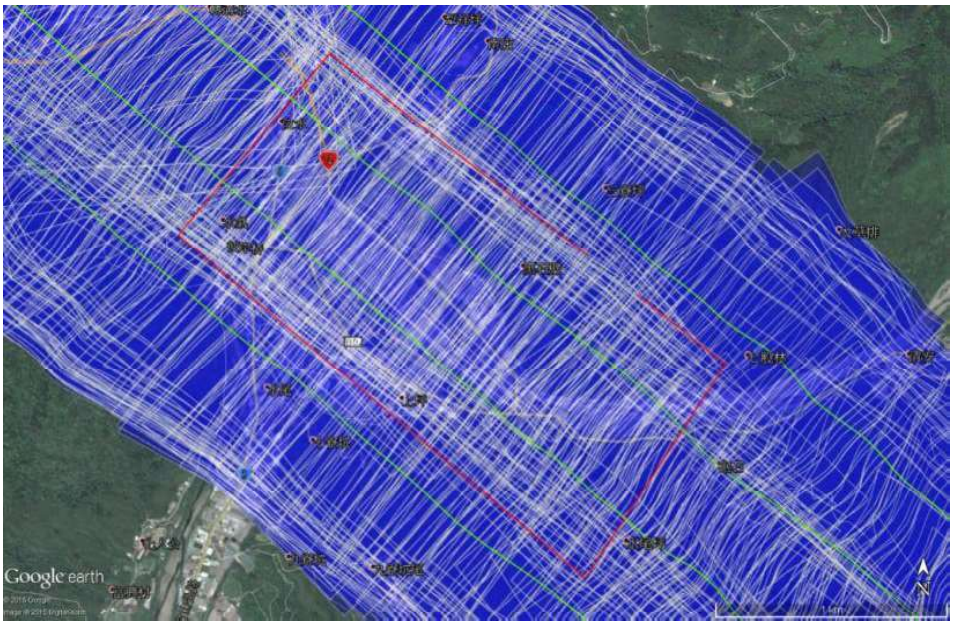


圖 3-22 苗栗縣獅潭鄉（汶水橋）UAS 分布圖

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，係根據後測控制點，控制點來源自 GSD25 公分之前期影像，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點位置分布如圖 3-23，空中三角測量成果精度及網形如下表 3-10，圖 3-24：

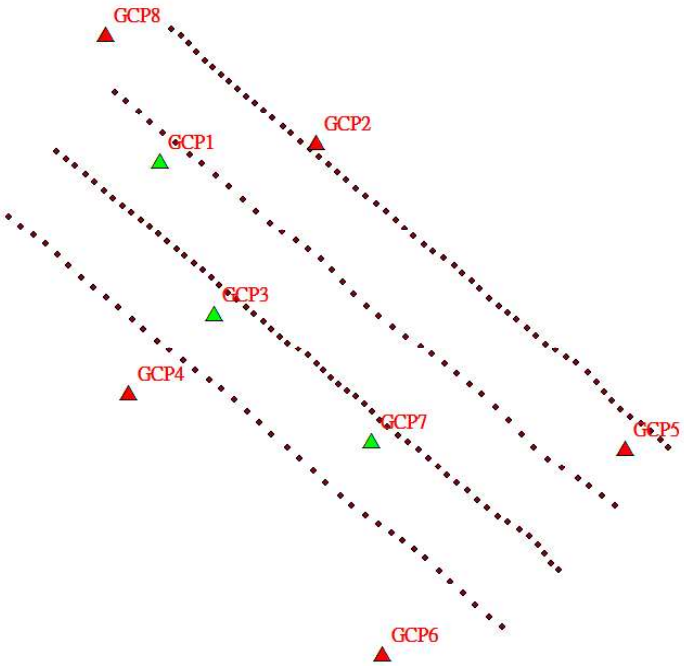


圖 3-23 苗栗縣獅潭鄉（汶水橋）控制點分布圖

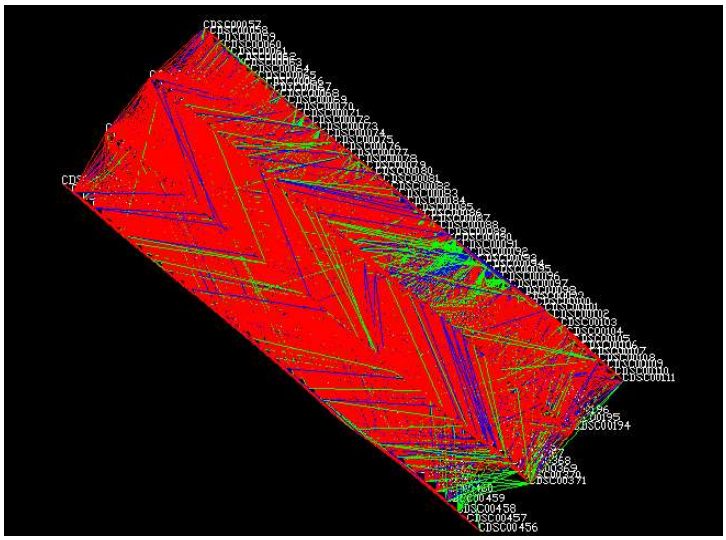


圖 3-24 苗栗縣獅潭鄉（汶水橋）空三網型圖

表 3-10 苗栗縣獅潭鄉（汶水橋）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
苗栗縣獅潭鄉（汶水橋）	連結強度	0.943	≧0.3
	自由網平差	4.6 μm	≦10 μm
	強制附合平差	5.9 μm	≦12 μm

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（如圖 3-25）。

圖 3-25 苗栗縣獅潭鄉（汶水橋）正射鑲嵌影像成果

四、彰化縣芳苑鄉（台 61 線）

本區域為國土測繪中心為滿足圖資更新之需求辦理協助航拍作業，測製正射影像成果，供更新通用版電子地圖正射影像使用。航拍區相關任務執行與影像處理作業說明如下：

（一）航拍任務執行

彰化縣芳苑鄉（台 61 線）航拍區規劃概況如表 3-11，拍攝範圍如圖 3-26，本區為國土測繪中心圖資更新需求拍攝區。

表 3-11 彰化縣芳苑鄉（台 61 線）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	彰化縣芳苑鄉（台 61 線）
二、航拍日期	104/5/30
三、航線航程	總航程約 87 公里
四、天氣狀況	晴天(氣溫 33˚C，降雨機率 0%)
五、風向/風級	偏北風/四級
六、航拍高度/雲層高度	1200 公尺/3000 公尺
七、地面解析度	0.17 公尺
八、UAS 載具	定翼型 UAS (國土測繪 1 號)

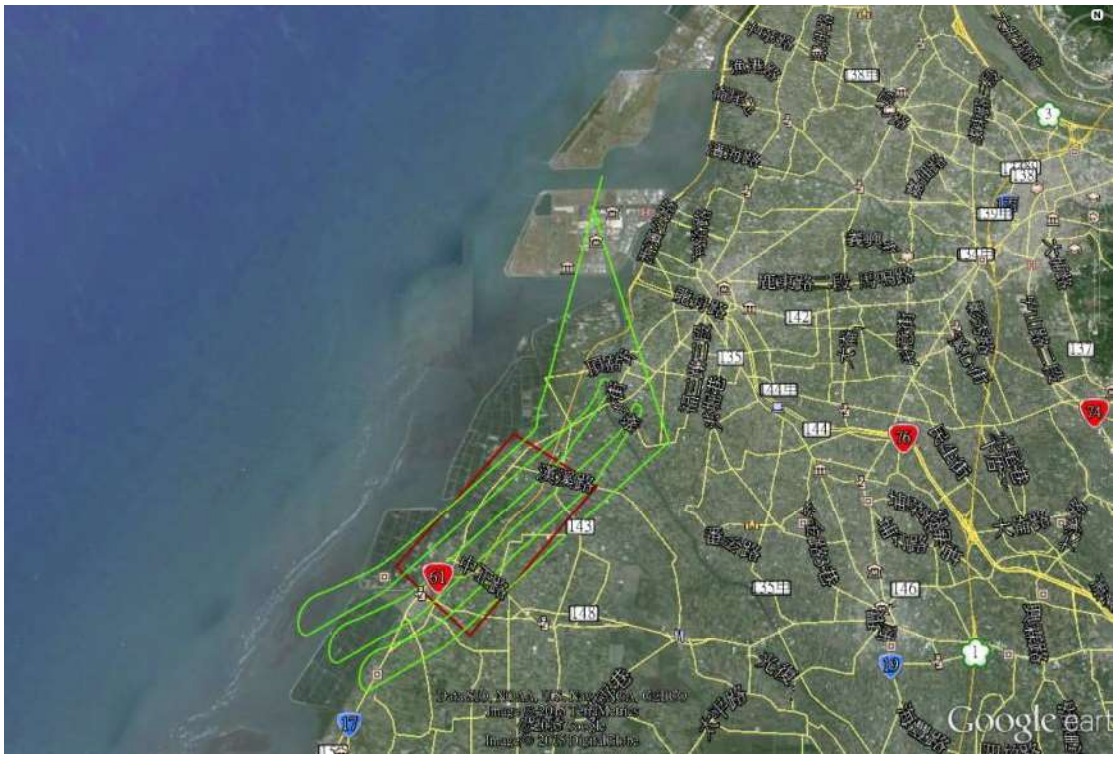


圖 3-26 彰化縣芳苑鄉（台 61 線）飛行航線規劃

任務作業於 104 年 5 月 30 日當日 11:30 時於彰濱工業區鹿工北三路馬路旁現場待命起飛，於 11:50 時與台北近場台及嘉義空軍 455 聯隊使用空域協調完成。12:00 時執行路面車輛管制後 UAV 飛機起飛爬升至指定高度後盤旋 3 圈檢查飛行姿態及相關數據正常後飛往任務區執行航拍。於飛行 105 分 15 秒後安全降落，讀取拍攝照片及 POS 資料確認無誤後與台北近場台及嘉義空軍聯隊告知本日飛行任務結束，14:30 時結束作業返回台中廠房。

圖 3-27 彰化縣芳苑鄉航拍區飛行作業情形

（二）影像處理作業

彰化縣芳苑鄉(台 61 線)航拍區範圍約 1750 公頃，地表高程約 0 公尺。航拍任務規劃使用 Sony α7R 數位相機(像元大小為 4.88μm)搭配 35mm 焦距鏡頭，航高為 1200 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%，共需拍攝 6 條航帶，拍攝影像數量合計 380 片，影像分布如圖 3-28，地面解析度(GSD)約 17 公分。

圖 3-28 彰化縣芳苑鄉（台 61 線）UAS 分布圖

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，係根據後測控制點，控制點來源自 GSD25 公分之前期影像，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點位置分布如圖 3-29，空中三角測量成果精度及網形如下表 3-12，圖 3-30：

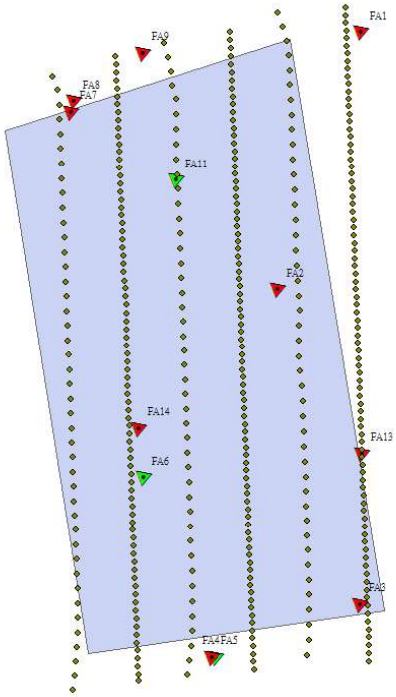


圖 3-29 彰化縣芳苑鄉（台 61 線）控制點分布圖

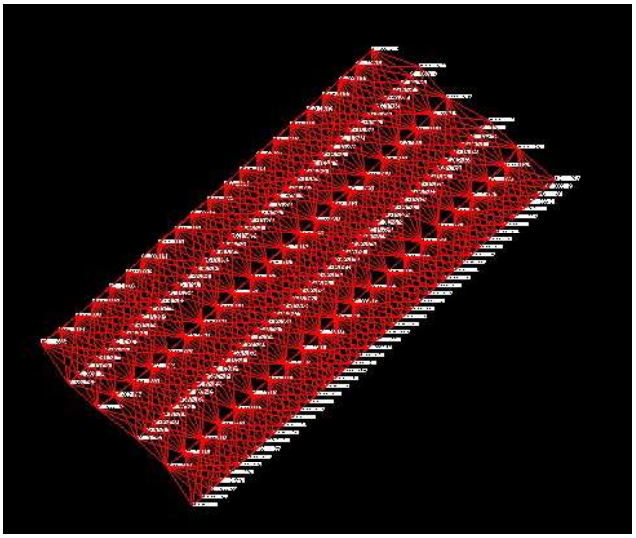


圖 3-30 彰化縣芳苑鄉（台 61 線）空三網型圖

表 3-12 彰化縣芳苑鄉（台 61 線）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
彰化縣芳苑鄉（台 61 線）	連結強度	0.842	≧0.3
	自由網平差	1.6 μm	≦10 μm
	強制附合平差	2.2 μm	≦12 μm

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（如圖 3-31）。

圖 3-31 彰化縣芳苑鄉（台 61 線）正射鑲嵌影像成果

五、臺南市新化區（台 19 甲線外環）與
六、臺南市新市區（新和重劃區）

本區域為國土測繪中心為滿足圖資更新之需求辦理協助航拍作業，測製正射影像成果，供更新通用版電子地圖正射影像使用。航拍區相關任務執行與影像處理作業說明如下：

（一）航拍任務執行

臺南市新化區(台 19 甲外環)、新市區(新和重劃區)航拍區規劃概況如表 3-13，拍攝範圍如圖 3-32，本區為國土測繪中心圖資更新需求拍攝區。

表 3-13 臺南市新化區、新市區任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	臺南市新化區(台 19 甲外環) 臺南市新市區(新和重劃區)
二、航拍日期	104/7/4
三、航線航程	總航程約 109 公里
四、天氣狀況	晴天(氣溫 36˚C，降雨機率 0%)
五、風向/風級	偏南風/四級
六、航拍高度/雲層高度	800 公尺/1200 公尺
七、地面解析度	0.11 公尺
八、UAS 載具	定翼型 UAS (國土測繪 1 號)

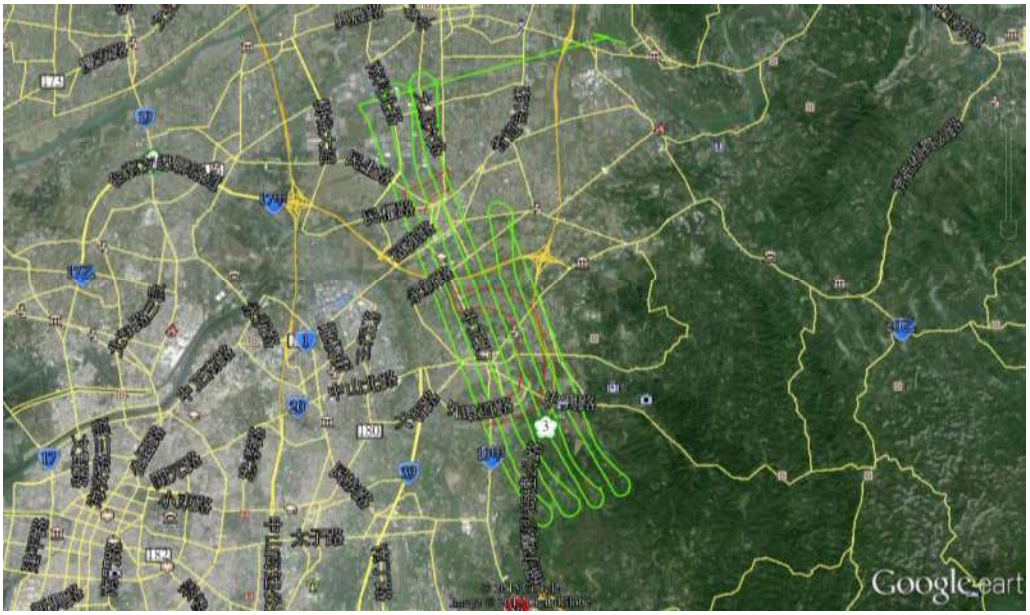


圖 3-32 臺南市新化區、新市區飛行航線規劃

任務作業於 104 年 7 月 4 日當日 11:30 時於臺南山上堤防防汛道路現場待命起飛，於 11:50 時與高雄近場台及陸航隊歸仁營區使用空域協調完成，確認陸航隊直升機均已返航落地休息。12:00 時執行路面車輛管制後 UAV 飛機起飛爬升至指定高度後盤旋 3 圈檢查飛行姿態及相關數據正常後飛往任務區執行航拍。於飛行 95 分 51 秒後安全降落，讀取拍攝照片及 POS 資料確認無誤後與高雄近場台及陸軍歸仁營區告知本日飛行任務結束，14:20 時結束作業返回廠房。

圖 3-33 起降場地情形，臺南山上區

（二）影像處理作業

臺南市新化區(台 19 甲外環)、新市區(新和重劃區)航拍區範圍總計約 460 公頃，地表高程約 10 公尺。航拍任務規劃使用 Sony α7R 數位相機(像元大小為 4.88μm)搭配 35mm 焦距鏡頭，航高為 800 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%，共需拍攝 8 條航帶，拍攝影像數量合計 1142 片，影像分布如圖 3-34，地面解析度(GSD)約 11 公分。

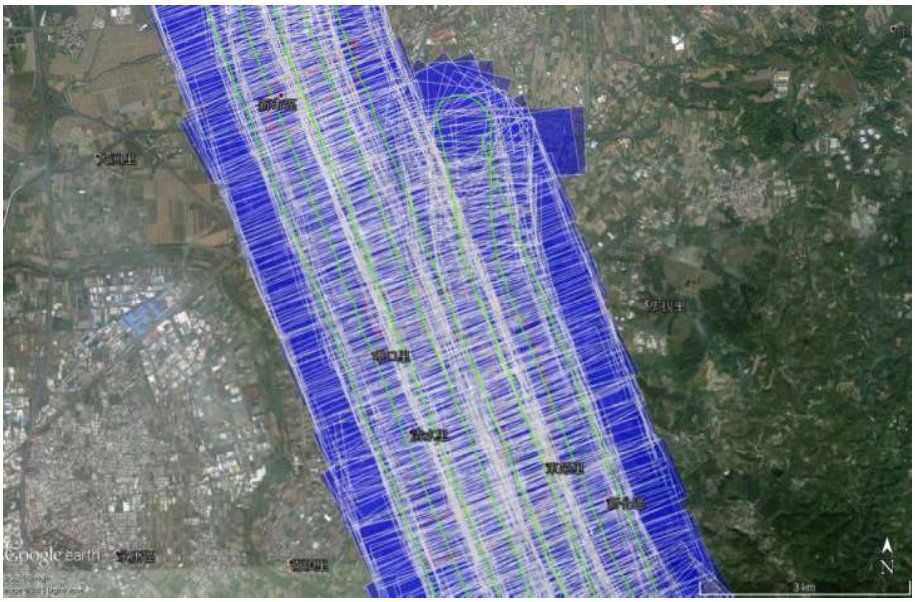


圖 3-34 臺南市新化區、新市區 UAS 分布圖

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，係根據後測控制點，控制點來源自 GSD25 公分之前期影像，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點位置分布如圖 3-35，空中三角測量成果精度及網形如下表 3-14，圖 3-36：

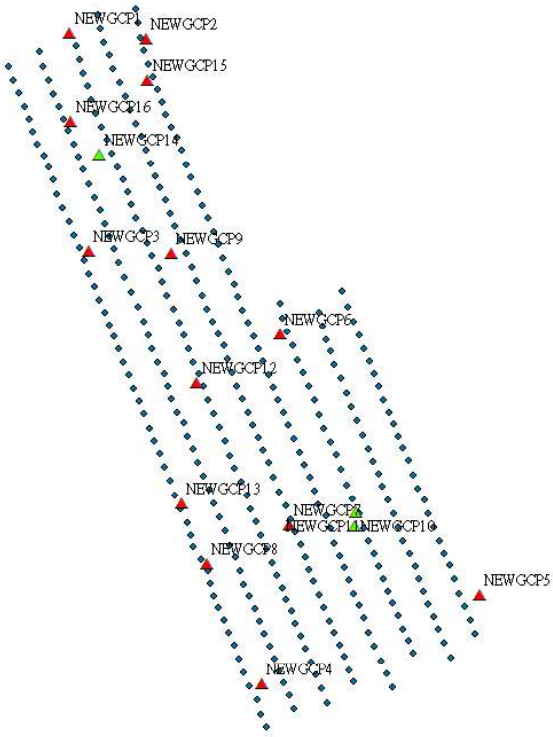


圖 3-35 臺南市新化區、新市區控制點分布圖

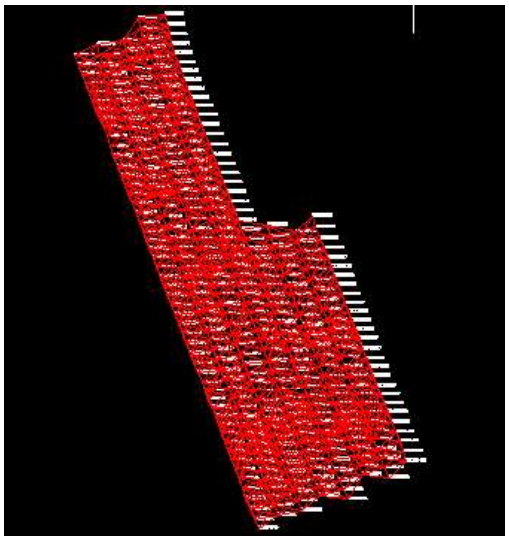


圖 3-36 臺南市新化區、新市區空三網型圖

表 3-14 臺南市新化區、新市區空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
臺南市新化區 臺南市新市區	連結強度	0.502	≧0.3
	自由網平差	5.9 μm	≦10 μm
	強制附合平差	5.8 μm	≦12 μm

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（如圖 3-37、圖 3-38）。

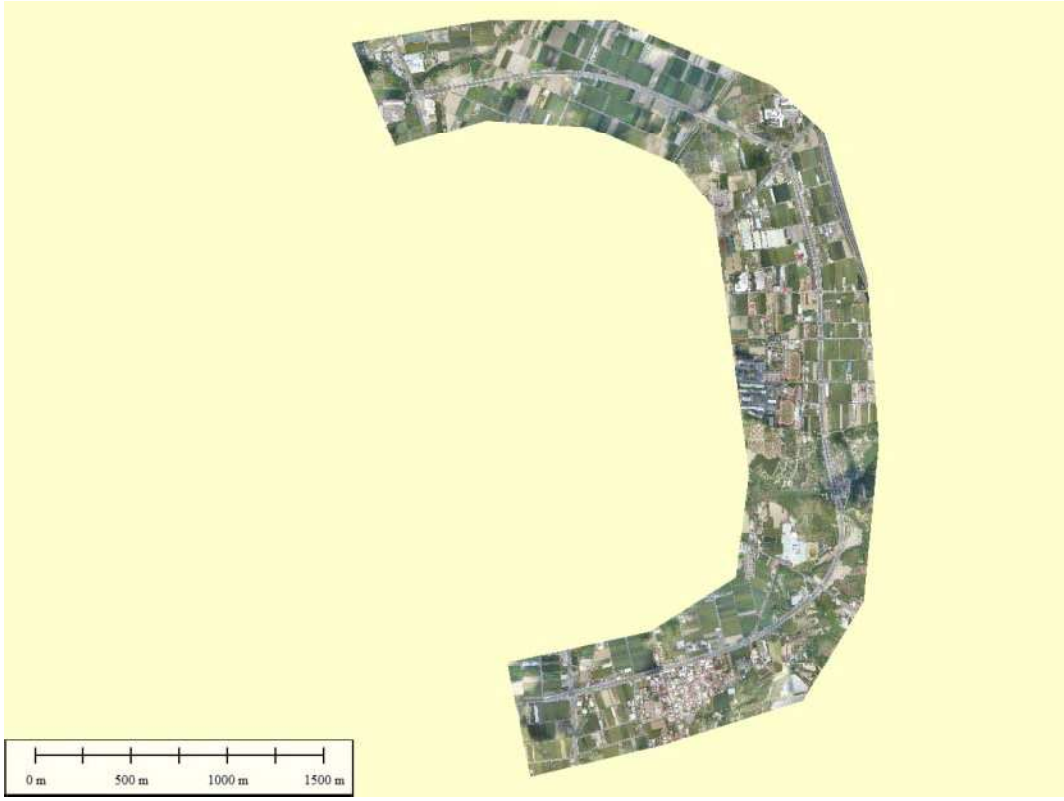


圖 3-37 臺南市新化區（台 19 甲線外環）正射鑲嵌影像成果

圖 3-38 臺南市新市區（新和重劃區）正射鑲嵌影像成果

七、苗栗縣造橋鄉（台 13 甲線）

本區域為國土測繪中心為滿足圖資更新之需求辦理協助航拍作業，測製正射影像成果，供更新通用版電子地圖正射影像使用。航拍區相關任務執行與影像處理作業說明如下：

（一）航拍任務執行

苗栗縣造橋鄉（台 13 甲線）航拍區規劃概況如表 3-15，拍攝範圍如圖 3-39，本區為國土測繪中心圖資更新需求拍攝區。

表 3-15 苗栗縣造橋鄉（台 13 甲線）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	苗栗縣造橋鄉(台 13 甲線)
二、航拍日期	104/6/5
三、航線航程	總航程約 95 公里
四、天氣狀況	晴天(氣溫 35˚C，降雨機率 0%)
五、風向/風級	西南風/四級
六、航拍高度/雲層高度	800 公尺/2000 公尺
七、地面解析度	0.11 公尺
八、UAS 載具	定翼型 UAS

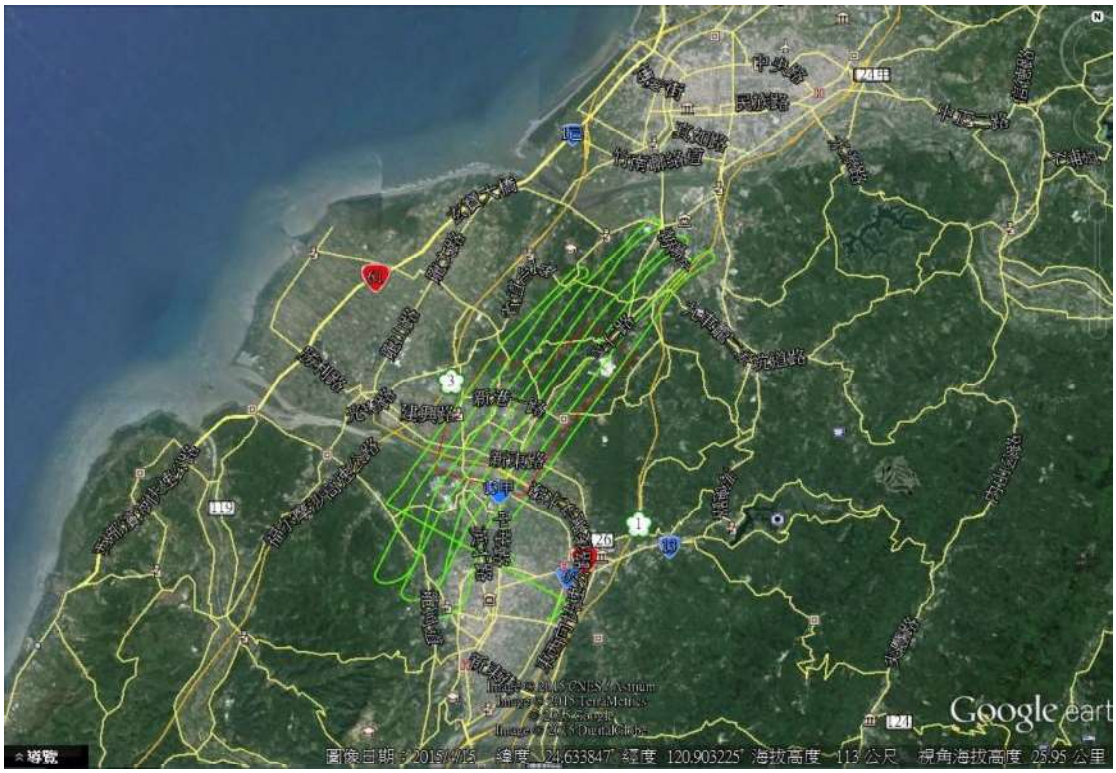


圖 3-39 苗栗縣造橋鄉（台 13 甲線）飛行航線規劃

任務作業於 104 年 6 月 5 日當日 11:30 時於苗栗後龍飛行場現場待命起飛，於 11:50 時與台北近場台及陸航隊新社營區使用空域協調完成。12:00 時執行路面車輛管制後 UAV 飛機起飛爬升至指定高度後盤旋 3 圈檢查飛行姿態及相關數據正常後飛往任務區執行航拍。於飛行 90 分 32 秒後安全降落，讀取拍攝照片及 POS 資料確認無誤後與台北近場台及嘉義空軍聯隊告知本日飛行任務結束，1430 時收工返回台中廠房。

圖 3-40 苗栗起降場地情形

（二）影像處理作業

苗栗縣造橋鄉(台 13 甲線)航拍區範圍約 1130 公頃，地表高程約 40 公尺。航拍任務規劃使用 Sony α7R 數位相機(像元大小為 4.88μm)搭配 35mm 焦距鏡頭，航高為 800 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%，共需拍攝 8 條航帶，拍攝影像數量合計 961 片，影像分布如圖 3-41，地面解析度(GSD)約 11 公分。

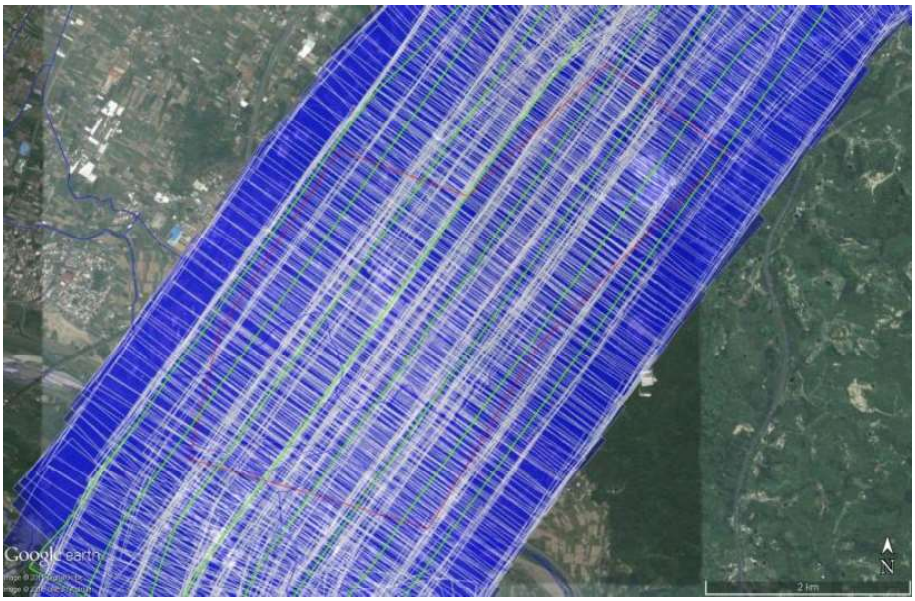


圖 3-41 苗栗縣造橋鄉（台 13 甲線）UAS 分布圖

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，係根據後測控制點，控制點來源自 GSD25 公分之前期影像，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點位置分布如圖 3-42，空中三角測量成果精度及網形如下表 3-16，圖 3-43：

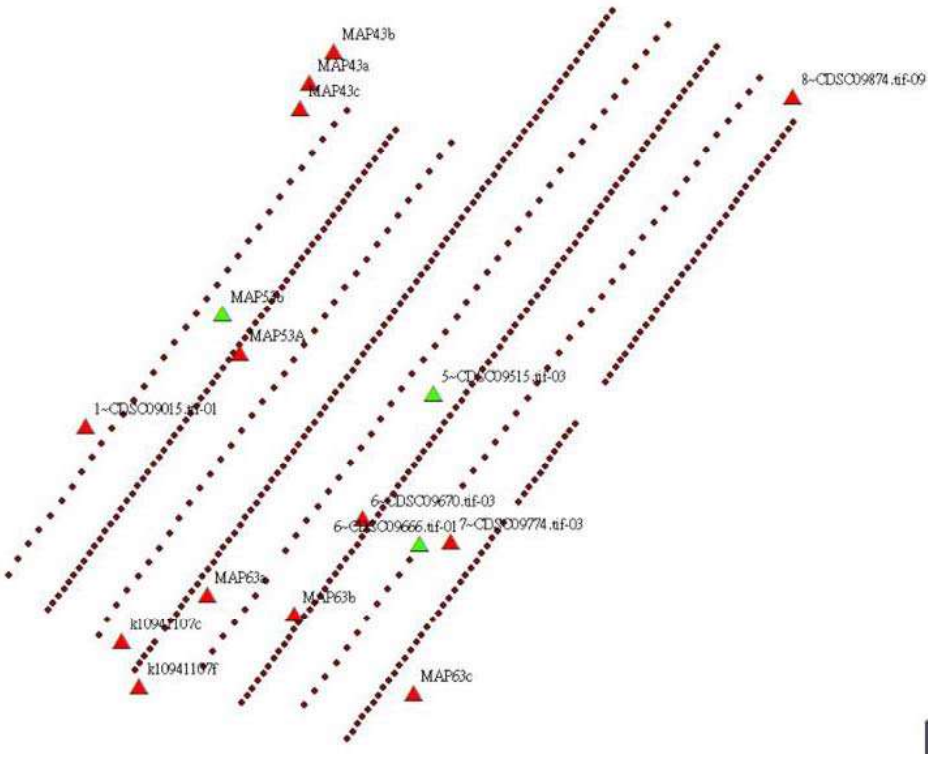


圖 3-42 苗栗縣造橋鄉（台 13 甲線）控制點分布圖

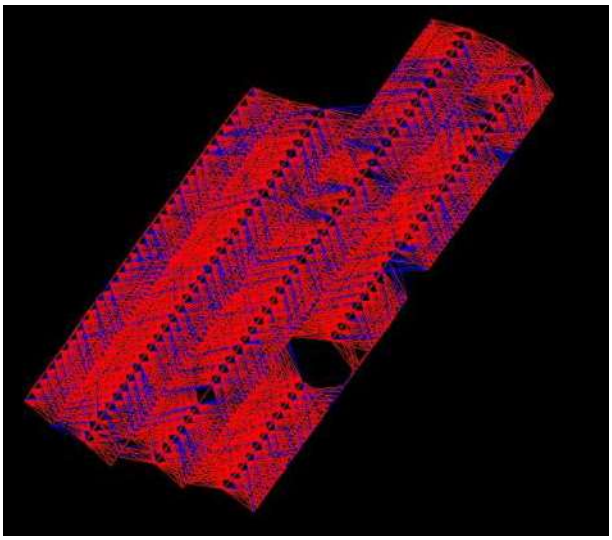


圖 3-43 苗栗縣造橋鄉（台 13 甲線）空三網型圖

表 3-16 苗栗縣造橋鄉（台 13 甲線）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
苗栗縣造橋鄉（台 13 甲線）	連結強度	0.924	≧0.3
	自由網平差	2.2 μm	≦10 μm
	強制附合平差	3.4 μm	≦12 μm

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（如圖 3-44）。

圖 3-44 苗栗縣造橋鄉（台 13 甲線）正射鑲嵌影像成果

八、高雄市仁武區（國 1 鼎金交流道）

本區域為國土測繪中心為滿足圖資更新之需求辦理協助航拍作業，測製正射影像成果，供更新通用版電子地圖正射影像使用。航拍區相關任務執行與影像處理作業說明如下：

（一）航拍任務執行

高雄市仁武區（國 1 鼎金交流道）航拍區規劃概況如表 3-17，拍攝範圍如圖 3-45，本區為國土測繪中心圖資更新需求拍攝區。

表 3-17 高雄市仁武區（國 1 鼎金交流道）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	高雄市仁武區 (國 1 鼎金交流道)
二、航拍日期	104/4/7
三、航線航程	總航程約 1.8 公里
四、天氣狀況	晴天(氣溫 32˚C，降雨機率 0%)
五、風向/風級	偏北風/三級
六、航拍高度/雲層高度	210 公尺/800 公尺
七、地面解析度	0.067 公尺
八、UAS 載具	多旋翼型 UAS

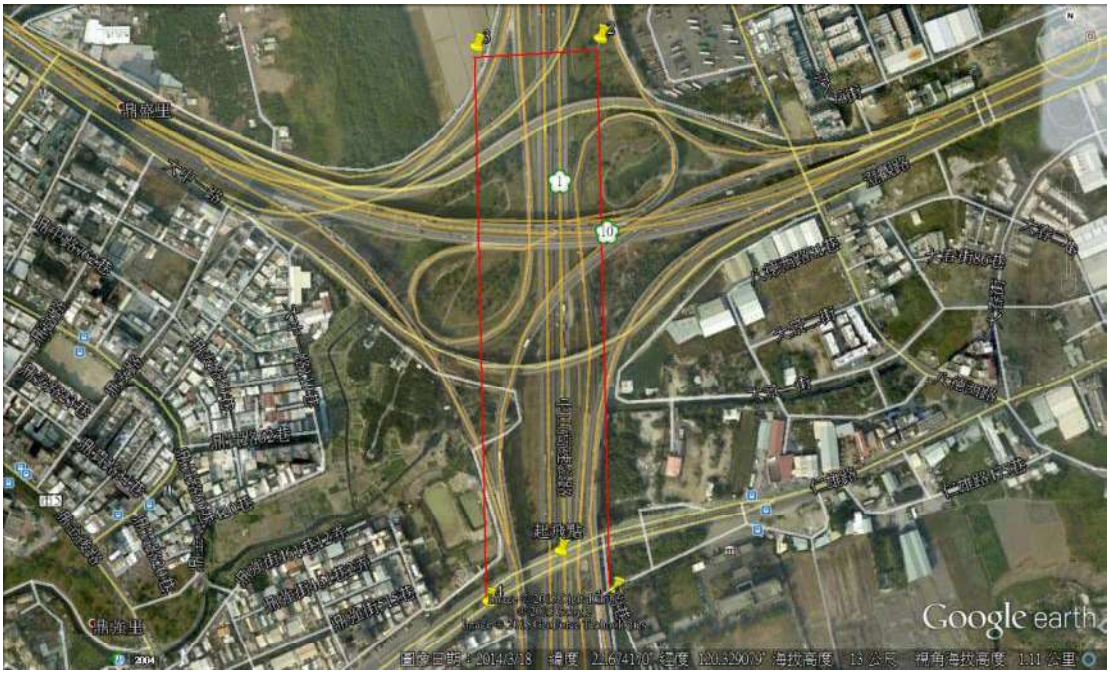


圖 3-45 高雄市仁武區（國 1 鼎金交流道）飛行航線規劃

任務作業於 104 年 4 月 7 日當日 12:30 時於高雄縣仁武鄉鼎力陸橋上待命起飛，執行路面車輛管制後 UAV 飛機起飛執行航拍任務，多軸旋翼機飛行航程為 1.6 公里，飛行時間約為 7-8 分鐘，飛機任務執行完畢安全降落後飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，結束本日任務。

圖 3-46 起降場地，仁武鄉鼎力陸橋上

（二）影像處理作業

高雄市仁武區(國 1 鼎金交流道)航拍區範圍約 20 公頃，地表高程約 0 公尺。航拍任務規劃使用 Canon EOS 5D II 數位相機(像元大小為 6.40μm)搭配 20mm 焦距鏡頭，航高為 200 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%，共需拍攝 2 條航帶，拍攝影像數量合計 68 片，影像分布如圖 3-47，地面解析度(GSD)約 6.7 公分。

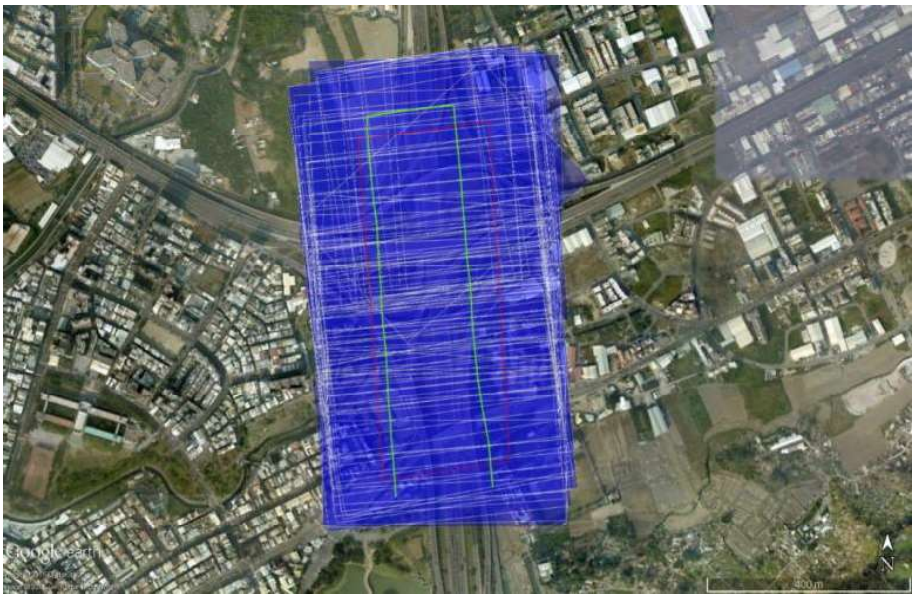


圖 3-47 高雄市仁武區（國 1 鼎金交流道）UAS 分布圖

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，係根據後測控制點，控制點來源自 GSD25 公分之前期影像，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點位置分布如圖 3-48，空中三角測量成果精度及網形如下表 3-18，圖 3-49：

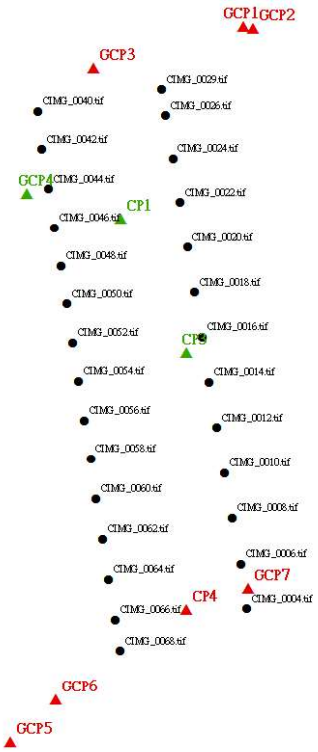


圖 3-48 高雄市仁武區（國 1 鼎金交流道）控制點分布圖

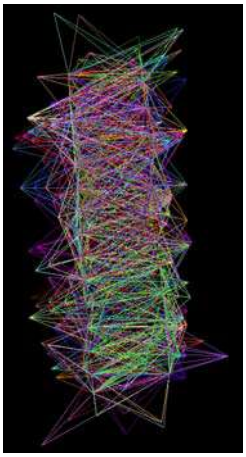


圖 3-49 高雄市仁武區（國 1 鼎金交流道）空三網型圖

表 3-18 高雄市仁武區（國 1 鼎金交流道）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
高雄市仁武區（國 1 鼎金交流道）	連結強度	0.942	≧0.3
	自由網平差	2.8 μm	≦10 μm
	強制附合平差	4.1 μm	≦12 μm

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（如圖 3-50）。

圖 3-50 高雄市仁武區（國 1 鼎金交流道）正射鑲嵌影像成果

九、雲林縣虎尾鎮（高鐵雲林站）

本區域為國土測繪中心為滿足圖資更新之需求辦理協助航拍作業，測製正射影像成果，供更新通用版電子地圖正射影像使用。航拍區相關任務執行與影像處理作業說明如下：

（一）航拍任務執行

雲林縣虎尾鎮（高鐵雲林站）航拍區規劃概況如表 3-19，拍攝範圍如圖 3-51，本區為國土測繪中心圖資更新需求拍攝區。

表 3-19 雲林縣虎尾鎮（高鐵雲林站）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	雲林縣虎尾鎮（高鐵雲林站）
二、航拍日期	104/11/20
三、航線航程	總航程約 4.2 公里
四、天氣狀況	晴天(氣溫 31˚C，降雨機率 0%)
五、風向/風級	西北風/一級
六、航拍高度/雲層高度	200 公尺/500 公尺
七、地面解析度	0.06 公尺
八、UAS 載具	旋翼型 UAS

圖 3-51 雲林縣虎尾鎮（高鐵雲林站）飛行航線規劃

任務作業於 104 年 11 月 20 日當日 14:30 時於雲林高鐵站旁空地待命起飛，多軸旋翼機飛行次數為 2 架次，15:00 時整備完成起飛執行第一架次航拍，飛行時間 8 分 40 秒，15:25 時執行第二架次航拍，飛行 8 分 32 秒。多軸旋翼機落地下載資料，並讀取拍攝照片確認正常後，於 1600 時完成結束本日任務。

圖 3-52 高鐵雲林站起降點作業情形

（二）影像處理作業

雲林縣虎尾鎮（高鐵雲林站）航拍區範圍約 38 公頃，地表高程約 23 公尺。航拍任務規劃使用 Canon EOS 5D II 數位相機(像元大小為 6.40μm)搭配 20mm 焦距鏡頭，航高為 200 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%，共需拍攝 2 條航帶，拍攝影像數量合計 68 片，影像分布如圖 3-53，地面解析度(GSD)約 6.7 公分。

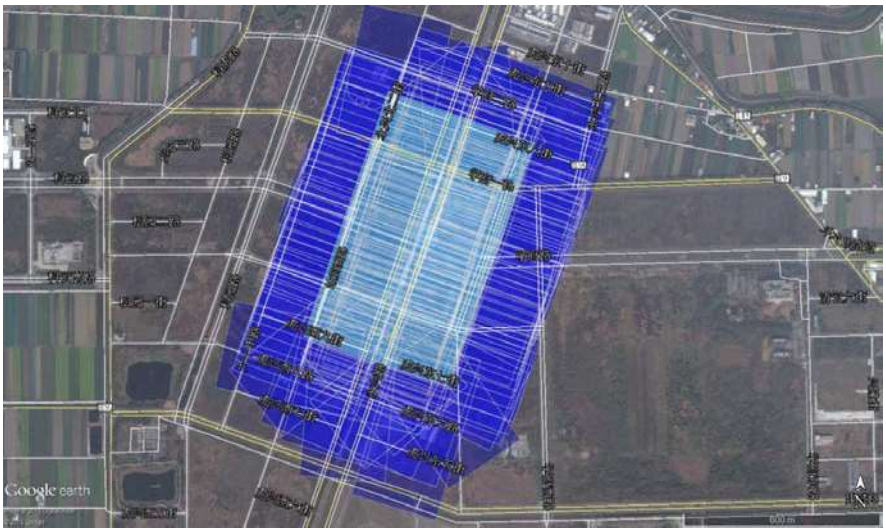


圖 3-53 雲林縣虎尾鎮（高鐵雲林站）UAS 分布圖

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，係根據後測控制點，控制點來源自 GSD25 公分之前期影像，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點位置分布如圖 3-54，空中三角測量成果精度及網形如下表 3-20，圖 3-55：

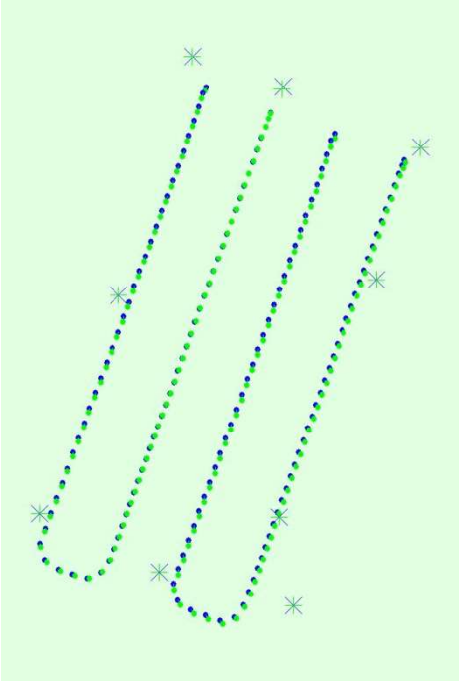


圖 3-54 雲林縣虎尾鎮（高鐵雲林站）控制點分布圖

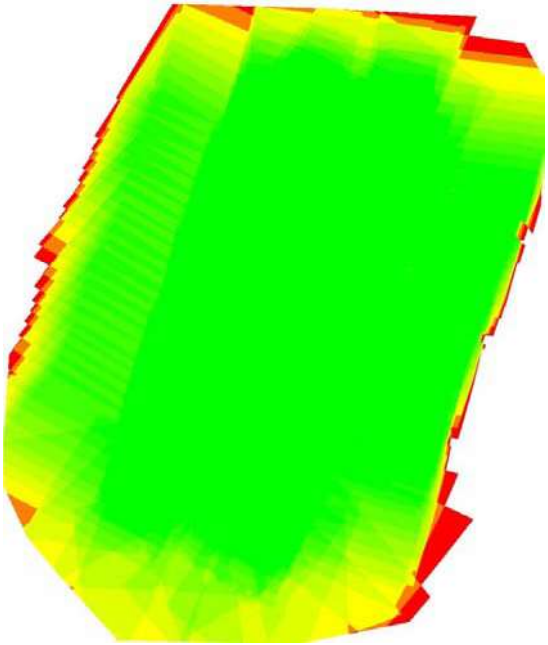


圖 3-55 雲林縣虎尾鎮（高鐵雲林站）空三網型圖

表 3-20 雲林縣虎尾鎮（高鐵雲林站）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
雲林縣虎尾鎮（高鐵雲林站）	連結強度	0.650	≧0.3
	自由網平差	3.5 μm	≦10 μm
	強制附合平差	3.6 μm	≦12 μm

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（如圖 3-50）。

圖 3-56 雲林縣虎尾鎮（高鐵雲林站）正射鑲嵌影像成果

十、臺南市安南區（九份子重劃區）

本區域為國土測繪中心為滿足圖資更新之需求辦理協助航拍作業，測製正射影像成果，供更新通用版電子地圖正射影像使用。航拍區相關任務執行與影像處理作業說明如下：

（一）航拍任務執行

臺南市安南區（九份子重劃區）航拍區規劃概況如表 3-21，拍攝範圍如圖 3-57，本區為國土測繪中心圖資更新需求拍攝區。

表 3-21 臺南市安南區（九份子重劃區）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	臺南市安南區(九份子重劃區)
二、航拍日期	104/09/22
三、航線航程	總航程約 30 公里
四、天氣狀況	晴天(氣溫 31˚C，降雨機率 0%)
五、風向/風級	偏北風/三級
六、航拍高度/雲層高度	700 公尺/1000 公尺
七、地面解析度	0.095 公尺
八、UAS 載具	定翼型 UAS

圖 3-57 臺南市安南區（九份子重劃區）飛行航線規劃

任務作業於 104 年 9 月 22 日當日 12:30 時於安南區起降場地待命起飛，於 12:50 時與高雄近場台及潭南空軍基地營區使用空域協調完成。13:00 時執行路面車輛管制後 UAV 飛機起飛爬升至指定高度後盤旋 3 圈檢查飛行姿態及相關數據正常後，飛往任務區執行航拍。於飛行 58 分 31 秒後安全降落，讀取拍攝照片及 POS 資料確認無誤後與高雄近場台及臺南空軍基地營區告知本日飛行任務結束，14:50 時收工回台中廠房。

圖 3-58 起降場地跑道，臺南安南區本田路二段馬路

（二）影像處理作業

臺南市安南區(九份子重劃區)航拍區範圍約 151 公頃，地表高程約 0 公尺。航拍任務規劃使用 Sony α7R 數位相機(像元大小為 4.88μm)搭配 35mm 焦距鏡頭，航高為 700 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%，共需拍攝 4 條航帶，拍攝影像數量合計 120 片，影像分布如圖 3-59，地面解析度(GSD)約 9.5 公分。

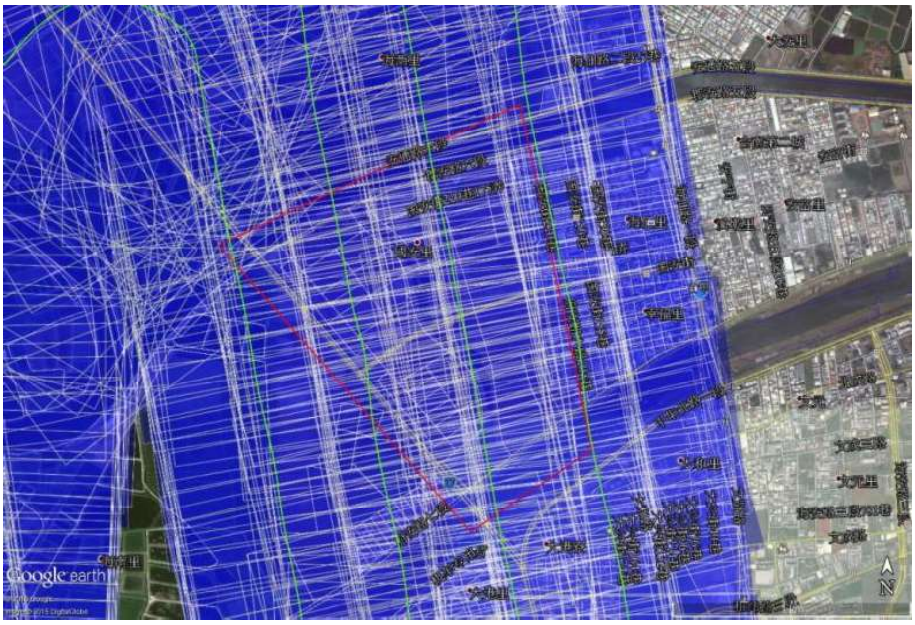


圖 3-59 臺南市安南區（九份子重劃區）UAS 分布圖

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，係根據後測控制點，控制點來源自 GSD25 公分之前期影像，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點位置分布如圖 3-60，空中三角測量成果精度及網形如下表 3-22，圖 3-61：

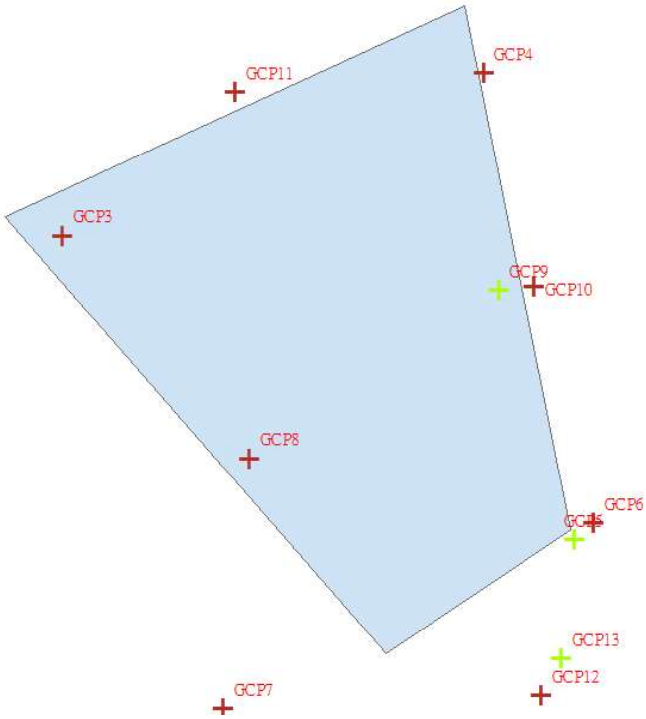


圖 3-60 臺南市安南區（九份子重劃區）控制點分布圖

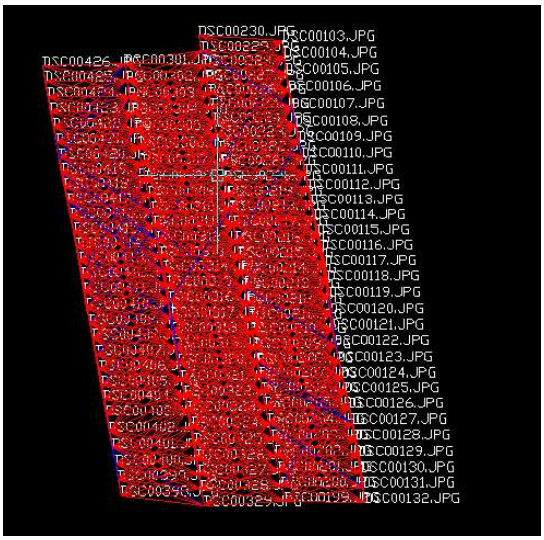


圖 3-61 臺南市安南區（九份子重劃區）空三網型圖

表 3-22 臺南市安南區（九份子重劃區）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
臺南市安南區（九份子重劃區）	連結強度	0.710	≧0.3
	自由網平差	2.2 μm	≦10 μm
	強制附合平差	5.1 μm	≦12 μm

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（如圖 3-62）。

圖 3-62 臺南市安南區（九份子重劃區）正射鑲嵌影像成果

十一、臺南市安平區

本區域為國土測繪中心接受臺南市政府地政局進行國土監測之需求，協助辦理航拍作業，測製正射影像成果，供更新正射航照影像底圖使用。航拍區相關任務執行與影像處理作業說明如下：

（一）航拍任務執行

臺南市安平區航拍區規劃概況如表 3-23，拍攝範圍如圖 3-63，本區為協助臺南市政府地政局國土監測需求拍攝區。

表 3-23 臺南市安平區任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	臺南市安南區(九份子重劃區)
二、航拍日期	104/09/10
三、航線航程	總航程約 24 公里
四、天氣狀況	晴天(氣溫 32˚C，降雨機率 0%)
五、風向/風級	偏北風/三級
六、航拍高度/雲層高度	700 公尺/1000 公尺
七、地面解析度	0.095 公尺
八、UAS 載具	定翼型 UAS

圖 3-63 臺南市安平區飛行航線規劃

任務作業於 104 年 9 月 10 日當日 12:30 時於安平區起降場地待命起飛，於 12:50 時與高雄近場台使用空域協調完成。13:00 時 UAV 飛機起飛，爬升至指定高度後盤旋檢查飛行姿態及相關數據正常後，飛往任務區執行航拍。於飛行 25 分 30 秒後安全降落，讀取拍攝照片及 POS 資料確認無誤後與高雄近場台告知本日飛行任務結束，14:00 時收工返回台中廠房。

（二）影像處理作業

臺南市安南區(九份子重劃區)航拍區範圍約 99 公頃，地表高程約 3 公尺。航拍任務規劃使用 Sony α7R 數位相機(像元大小為 4.88μm)搭配 35mm 焦距鏡頭，航高為 700 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%，共需拍攝 4 條航帶，拍攝影像數量合計 81 片，影像分布如圖 3-64，地面解析度(GSD)約 9.5 公分。

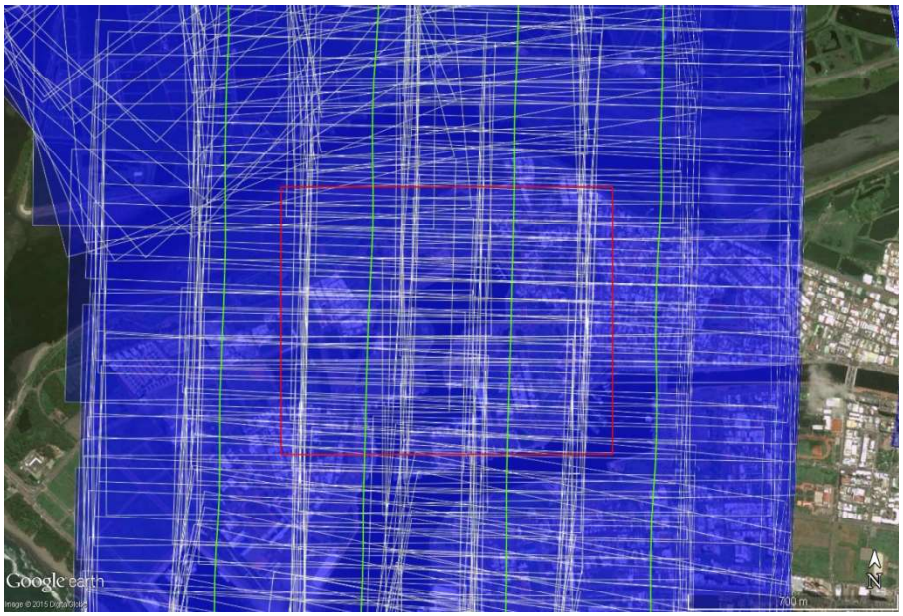


圖 3-64 臺南市安平區 UAS 分布圖

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，係根據後測控制點，控制點來源自 GSD25 公分之前期影像，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點位置分布如圖 3-65，空中三角測量成果精度及網形如下表 3-20，圖 3-66：

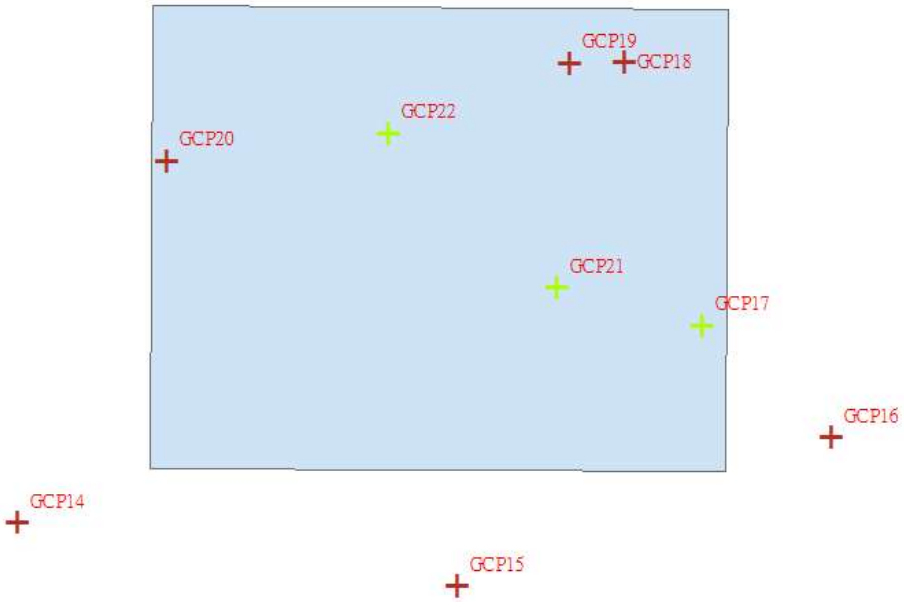


圖 3-65 臺南市安平區控制點分布圖

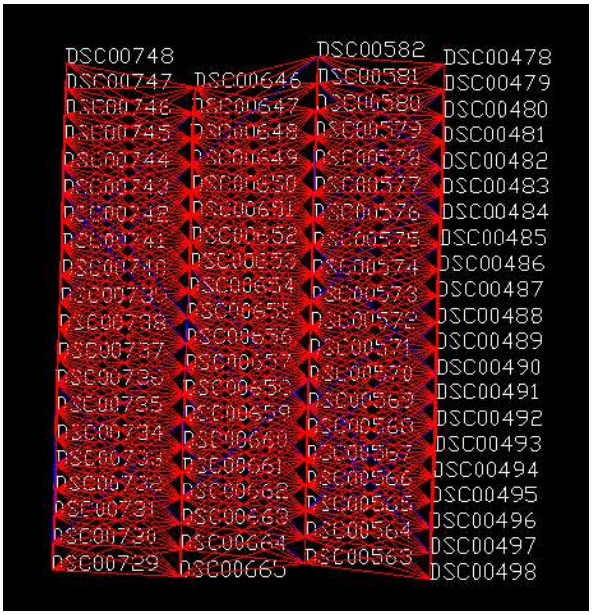


圖 3-66 臺南市安平區空三網型圖

表 3-24 臺南市安平區空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
臺南市安平區	連結強度	0.720	≧0.3
	自由網平差	2.1 μm	≦10 μm
	強制附合平差	2.8 μm	≦12 μm

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（如圖 3-67）。

圖 3-67 臺南市安平區正射鑲嵌影像成果

第肆章　國外應用 UAS 於航拍及測繪業務法規

1. 加拿大無人機一般使用和飛行規則 [i]

加拿大運輸部建議採用具體操作使用限制，以縮減有人駕駛與無人駕駛航空器之間可能碰撞，並保護地面上的人員和財產安全。這些限制也反映出小型 UAS 較高的風險程度。

對於被歸類為甚小型 UAV（Very Small UAV）的無人機類型，扣除另外被歸類為小型 UAV（the Small UAV ,complex operations）的類別，加拿大運輸部提出以下 4 項的操作限制：

- 僅可在白天操作。
- 不可操作於 C 類（中型機場周邊空域）、D 類（小型機場周邊空域）、E（小型機場、一般管制空域）類或 F 類（提供諮詢服務之空域）空域。
- 須距離機場至少 5 海浬（9 公里）以上的距離。
- 需遵守最大操作高度的規範－飛航高度不能超過地面 300 英尺以上。

目前，按照加拿大航空規章第 606.02 條，所有的飛機擁有者都必須認購公眾責任保險。但對於小型 UAS 的類別，並無強制規定。

2. 美國無人機一般使用和飛行規則 [ii]

美國聯邦航空局(FAA)於政策聲明解釋諮詢通告 AC91-57，針對無人機操作提出了以下幾項規範：

操作人員應具有良好的操作判斷能力，避免危害在地面人員或其他飛行器上的人員。

此外，本諮詢通告包含無人機操作選址原則。用戶應該避免噪音敏感區域，譬如公園、學校、醫院和教堂週邊。業餘的航模愛好者不應該在觀眾的周圍使用 UAV，除非該款模型飛機已經通過飛行測試和適航驗證。為了避免碰撞其他飛機，航模應該低於 400 英尺以內的高度飛行。美國聯邦航空局規範模型飛行玩家應在視距內範圍操作這

些娛樂型的無人飛機。

3. 南非無人機一般使用和飛行規則 [iii]

南非於 2015 年 5 月 17 日針對無人機的商業應用公布了新的規則，並從 2015 年 7 月 1 日生效。這項新的規定允許在南非的無人機從事各種商業運作，以進行拍攝、採礦、測量、安全、搜索和救援等等。

無人機飛行純粹供私人（搖控模型）使用不需要任何許可，但不得操作飛行在公共區域、建物、道路周邊 50 公尺內、以及距離機場 10 公里以內範圍。

商業營運商之認證需求：

所有涉及商業營利行為的無人機（RPAS, Remotely Piloted Aircraft System）活動，持有無人機的營運商者需要以下的條件：

- 對於各類操作員會操作的無人機的類型，需有對應的遙控駕駛員檢定證（RPL, Remote Pilot License）。
- 需有無人機核准函（RLA, RPA Letter of Approval)），並在每架無人機上標明註冊號碼。
- 無人機營運商的認證證書（ROC, RPAS Operators Certificate），標明飛行員、無人機和操作場域的限制。
- 可操作無線電通訊設備之證書。

其他商業使用 UAS 之規範：

- 需攜帶無線電設備，無人機操作員可和空中交通管制控制塔通話。
- 操作高度低於 400 英尺高度。
- 飛行員至少需有 500 公尺通視的目視氣象條件。
- 遠離建築物，操作距離至少區隔 50 公尺(除非獲得特別許可)。
- 遠離人群，操作距離至少區隔 50 公尺(除非獲得特別許可)。

- 不可於距離機場 10 公里內範圍飛行(除非獲得特別許可)。
- 不可操作在禁航或限航空域內(除非獲得特別許可)。
- 無人機不得投擲任何物件(除非獲得特別許可)。
- 隨身攜帶滅火器和急救箱。

4. 中國大陸無人機航拍規範 [iv]

中國大陸在 2015 年 12 月發布了「輕小型民用無人機系統運行暫行規定」(AC-91-FS-2015-XX)的意見徵求書，當中規範民用無人機駕駛員應當根據其所駕駛的民用無人機的等級分類（表 4-1），分別對應符合諮詢通告《民用無人駕駛航空器系統駕駛員管理暫行規定》（AC-61-FS-2013-20）中關於執照、合格證、等級、訓練、考試、檢查和航空經歷等方面的要求取得認證。

表 4-1 中國輕小型無人機運行管理分類

空機重量(kg)	0-1	1-7	7-15	15-116
起飛重量(kg)	0-1.5	1.5-15	15-25	25-150
分類	I	II	III	IV
	植保無人機			V
	無人飛艇			VI
	超視距運行 I,II 類無人機			VII

同時中國大陸要求無人機需具有有效的空地 C2 鏈路，地面站或操控設備具有顯示無人機即時的位置、高度、速度等資訊的儀器儀錶，同時用於記錄、重播和分析飛行過程的飛行資料記錄系統，且資料資訊至少保存三個月(III、IV、VI 和 VII 類)。無人機機身需有明確的標識，注明該無人機的型號、編號、所有者、聯繫方式等資訊，以便出現墜機情況時能迅速查找到無人機所有者或操作者資訊。

其他各國應用無人機與空拍或商業使用的相關規範，因規範條文重複性多，以下統一彙整如下表 4-2、表 4-3。

表 4-2 各國無人機應用於空拍/營利法規

國家 項目	美國	英國	德國	法國	澳洲
重量 營利用	55 lbs	(A)0-20 kg (B) 20-150 kg (C)>150 kg	--	0-2 kg, 2-4kg, 4-25kg	--
重量 休閒用	55 lbs	20 kg	25 kg	<4kg, <25kg	<7kg
視距高度	152.4 m (500 ft)	121.9 m (400 ft)	150 m (492 ft)	150 m (492 ft)	121.9 m (400 ft)
操作限制	視距內	視距內	公務使用 可視距外	允許第一 人稱擴展 飛行	視距外需 作風險評 估
適航檢定	不要	<20 kg 不要	不要	不要	不要
人員檢定	要	要	不要	要	<4 lbs 以下 不要

表 4-3 各國無人機應用於空拍/營利法規(續)

國家 項目	哥倫比亞	大陸	新加坡	韓國	台灣
重量 營利用	完全禁止	7<116 kg 116<5700kg	7 kg	--	--
重量 休閒用		<7 kg	依 FAI 規範	12kg	15kg
視距高度		120m	61 m (200ft)	--	121.9 m (400ft)
操作限制		視距內外	視距內	視距內外	視距內為原則視距外需核准
適航檢定		不要	不要	要	要
人員檢定		要	要	要	要

第伍章 GNSS 與 IMU 設備機電整合優化

第一節 GNSS 與 IMU 機電整合作業方法

航空攝影測量過程需得知裝載於 UAS 中攝影器材之姿態角度與相關定位資訊才能取得正確之測量資訊，因此，本研究完成的 POS 為整合高性能 GNSS 與 IMU 取得所需之感測資訊，結合使用多維度、多元感測器於無人飛行載具組合直接定位技術，利用自行研發的直接定位酬載與各式影像感測器搭配無人機，並自主開發各式率定、影像處理與管理模組等技術以提供近即時空間資訊蒐集。本項快速取得資料的技術，特別是在地面控制點缺乏的森林等地區，可針對不同的需求，搭載不同等級的 POS 獲取影像資料，以進行環境變遷監控、資源探測保護等作業。本研究之 GNSS 與 IMU 架構採用雙頻 GNSS 作為定位資訊來源，該定位系統具 RTK 功能，定位誤差可降低至 2 公分內，並搭配高精度 MEMS IMU，提供姿態與角度誤差，便可提供航空攝影測量所需之姿態與定位資訊，並將該資料進行處理後儲存至記憶卡中。記憶卡所儲存之資料將包含拍照時機、姿態與定位資訊，透過上述三種資訊搭配照片便能提供量測所需之資訊。

目前國外之產學界所發展之 POS 皆使用鬆耦合式 GNSS/IMU 整合架構的卡曼濾波器及平滑器，故一般皆以直接使用高等級之 IMU(導航等級，陀螺飄移為 0.0001 度/小時)來克服陸基 MMS 所面臨頻繁的 GNSS 遮蔽的問題。在目前的客觀條件限制下，雷射陀螺(RLG)的導航等級 IMU 是無法出口到台灣，本研究希望能夠使用較低成本的中精度 IMU，搭配適當的輔助儀器與演算法的演化，來建立合乎都市地區應用精度需求的陸基直接定位平台供移動式製圖系統使用。

整體而言，在持續有多於四顆 GNSS 衛星更新的條件下，使用鬆耦合式 GNSS/IMU 整合架構的搭配高等級之 IMU 的商用定位定向系統相較於使用中低等級 IMU，搭配緊耦合型 GNSS/IMU 整合式定位定向架構之精度差異預期應該不大，但若是 GNSS 衛星數量少於四顆或甚至零顆衛星的條件下，改良式多感測器輔助緊耦合型 GNSS/IMU

整合式定位定向架構，仍能夠接收源源不絕的輔助觀測量更新，如此其定位定向架構之精度將超越使用鬆耦合式 GNSS/IMU 整合架構的卡曼濾波器及平滑器搭配高等級之 IMU，因此本研究所採用之整合架構為緊耦合式 GNSS/IMU 整合架構，如圖 5-1。

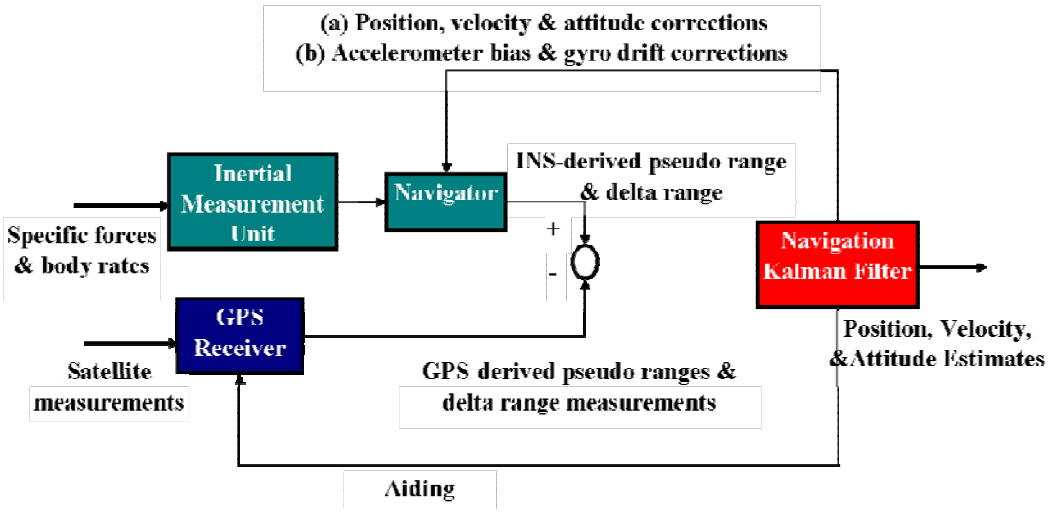


圖 5-1 GNSS/IMU 緊耦合架構示意圖

圖 5-2 所示為本研究流程，包含主要下列工作項目：

1. 機電整合：說明感應器機電整合（定位定向系統 POS）架構，包含雙頻全球導航衛星系統(GNSS)模組、慣性量測單元(IMU)、資料儲存裝置等硬體設備規格。
2. 相機選定及率定：就本專案任務需求選定適合的相機。為了瞭解該鏡頭透鏡畸變、焦距與像主點等內方位參數，因此需先率定相機鏡頭參數，以利後續進行三維坐標量測時，自動修正其系統性誤差。

   而為了達到直接地理定位的目的，需透過率定工作，消除兩項系統性誤差，分別為:(1)GNSS 相位中心與感測器間的位置偏移量，即為固定臂(Lever arm)率定；(2)IMU 與感測器觀測向量的軸角(Boresight)率定。因此藉由地面控制場的建立，經由空三解算得相片外方位，並與整合 GNSS/IMU 提供的外方位解進行比較，計算得到固定臂與軸角率定成果。
3. 空拍作業：於測試區布設所需控制點、規劃拍攝飛航路線項目。以定翼型 UAS 進行空拍任務，其後就其測試之結果提出改善建議，提高效率。

4. GNSS/IMU POS 資料與影像處理：完成不同航高的 UAS 空拍資料後處理工作，包含(1)GNSS/IMU 的 POS 資料；(2)空拍影像資料的空三解算、正射糾正、正射影像鑲嵌、幾何糾正、影像快速拼接作業；(3)直接地理定位成果。

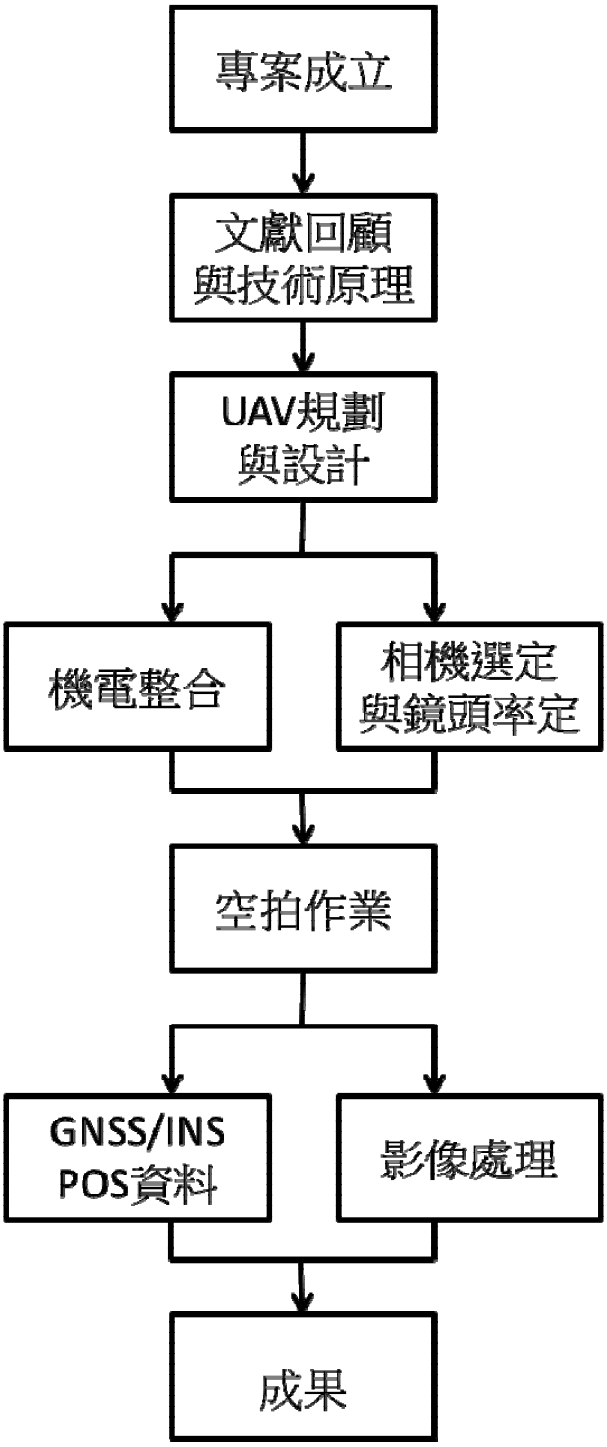


圖 5-2 研究流程圖

第二節 GNSS 與 IMU 機電整合作業過程

5.2.1 GNSS 與 IMU 硬體設備整合作業流程

本系統設計過程將具完整之作業流程如圖 5-3，該硬體設備將雙頻 GNSS 與 IMU 進行整合，並訂立可用於航空攝影測量之資料格式，因此，本系統須先進行雙頻 GNSS 與 IMU 之資料解析，將雙頻 GNSS 所能提供之定位資料進行分類，將需要之資訊取出，而 IMU 同樣需進行資料塞選，並分析是否有資料須進行解算或單位轉換。待所有資料皆分析且塞選完畢後，便可訂立資料儲存格式，該資料儲存格勢將影響到後續軟體解算所需之資料串，因此，該資料儲存格式需與搭配軟體端進行制定，以便事後搭配航空拍攝之照片進行測量。

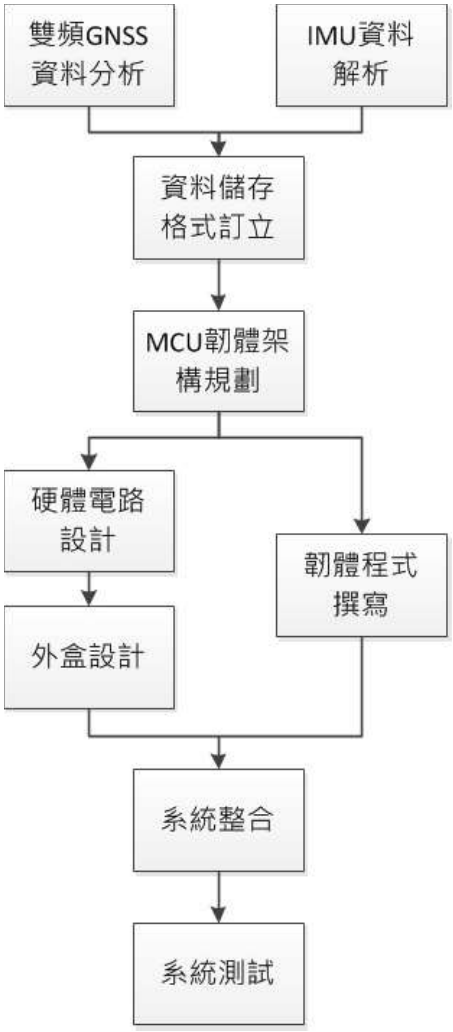


圖 5-3 硬體設備整合作業流程圖

當所有資料皆解析完成且完整訂立資料儲存格式後，便可進行系統核心 MCU(微控制器，Microcontroller Unit)之韌體設計規劃與韌體

程式撰寫，透過 32 位元高速 MCU 對雙頻 GNSS 與 IMU 進行控制與擷取資料，並將資料分類儲存。為能達到上述之目的，須於撰寫韌體程式前先進行腳位劃分與程式架構之設計與規劃，藉以提升程式效率。該 MCU 為本系統核心，系統所有資料都將彙整至該 MCU 中進行處理與計算後，再將資料進行切割，並依照資料時間輸出 Trigger 訊號藉以驅動相機進行拍攝，並將所有需要之資料進行重新排列，儲存至記憶卡中。

MCU 韌體之規畫將與硬體設計息息相關，如 MCU 與雙頻 GNSS 連結通訊用腳位、與 IMU 連結腳位、Trigger 輸出用 I/O 腳位及資料儲存記憶卡控制腳位皆須依照 MCU 內所提供之對應腳位進行設計，因此，須待 MCU 韌體架構規畫完成後才可進行硬體電路設計與外盒機構設計。於硬體電路設計與外盒機構設計之同時韌體程式之撰寫也將同步執行，而硬體電路設計與外盒機構設計須相互搭配，因電路大小與尺寸將影響到外盒機構之規格，並且需考量方向問題，該 POS 中包含姿態感測器 IMU，其資料包含磁北方向之資訊，且姿態也與方向性有極大之關係，因此，硬體設計所裝載位置與方向，將會影響到該系統使用之方向，本系統中皆會考慮上述之因素設計硬體電子電路與外盒機構。當所有功能完成後便會進行整合系統與測試，透過實際裝載使用，確認系統工作正常與否，並驗證取得之數據能否成功使用於航空攝影測量。

5.2.2 GNSS 與 IMU 機電整合硬體設備項目

慣性測量單元 IMU 為 POS 中兩大次系統中主要單元之一，該測量單元可提供三軸加速度數值、三軸陀螺儀等慣性資料，透過這些資料再搭配韌體程式進行三度空間的姿態計算便能提供慣性導航系統 IMU 資訊。隨著 MEMS IMU 的技術不斷的進步，MEMS 等級的 IMU 漂移量已可達到每小時小於 10 度，同時價格也愈來愈低。因此本系統選用之 IMU 為 ADIS16488，其相關資訊如圖 5-4 所示，該 IMU 系統採用 SPI 通訊，並具有 Accelerometer、Gyroscope、Magnetometer、Pressure 與 Temperature 感測資訊。本系統將整合該 IMU 所提供之感測資訊，並將該資料與 GPS 時間同步，開發出高精度 POS。

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

圖 5-4 ADIS16488 規格表

本系統採用之全球衛星定位系統將採用 Trimble BD970 雙頻 GNSS（圖 5-5），該全球衛星定位可支援北斗獨立計算與航向解算之功能，並具有 RTK、低角度追蹤技術與多路徑抑制，為一套可達釐米級定位之全球衛星定位系統。POS 將 Trimble BD970 與 ADIS16488 進行整合，系統中使用雙頻 GNSS 所提供之 GPS 資料與時間對 IMU 資料進行同步並提供相機 Trigger 時脈，使定位資料、相機姿態與拍照時間完全同步，提升系統進行航空攝影測量之準確性能有效提高，且後製處理可擁有更準確之測量資訊。

圖 5-5 Trimble BD970 雙頻 GNSS

本系統為提升 POS 於測量過程之更新效率與準確性採用超高速 32 位元之微控制器做為系統核心，型號為 STM32F407。該 MCU 採用 ARM Cortex-M4 架構，CPU 速度達 168 MHz 並具有 LQFP-100 之封裝，提供 UART、SPI 與 I2C 等傳輸接口，其規格可完全對應本 POS 所需之功能，且該系統效率可有效支援雙頻 GNSS 與 IMU 輸出精度，該微控制器詳細規格如下表 5-1。

表 5-1 STM32F407 規格表

名稱	規格
架構	ARM Cortex-M4
ROM	512 KB
RAM	196 KB
CPU 速度	168 MHz
封裝	LQFP
針腳數	100
輸入電壓	1.8~3.6 V
計時器	14 組
PWM 輸出通道	8 組
通訊介面	CAN、I2C、SPI、UART、USART、USB

5.2.3 電子電路架構與外殼設計

根據系統功能規格及架構圖，電路圖主要分五項，如圖 5-6 至圖 5-10，依序分別為 ARM + GPS、PWM、IMU、LED 及 Micro SD。系統中使用之中央處理器與各感測器依規格不同需要 3.3V 與 5V 兩種電壓，因此，於電路設計中設計兩組電壓轉換 IC，分別輸出不同之電壓，以符合本系統之需求。其中 PWM 主要適用於控制 POS 啟動與否，使用遙控器發送控制訊號至 POS 中的接收機進行接收，因接收機為 PWM 訊號，所以該電路架構中設計一 PWM 接收控制電路，透過該電路取得接收機所收到之控制訊號進而驅動 POS。

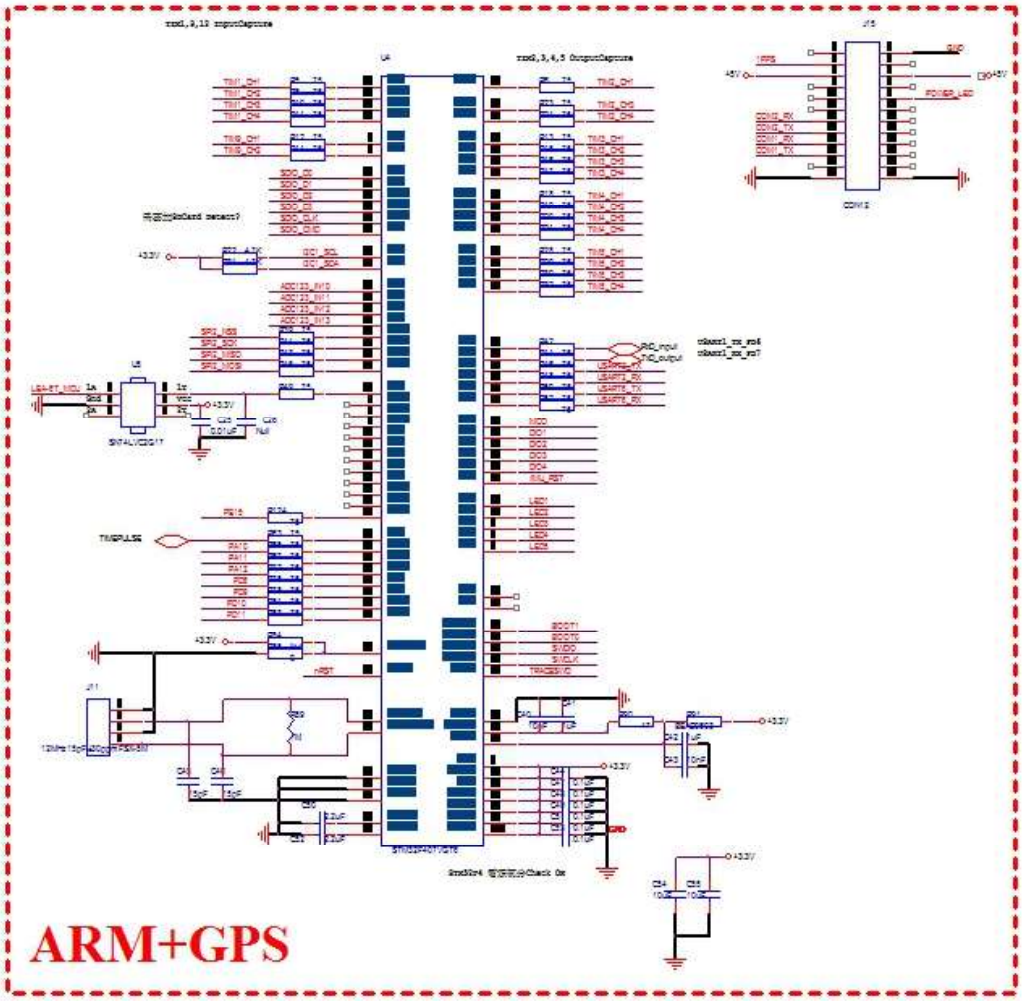


圖 5-6 ARM+GPS 電路設計圖

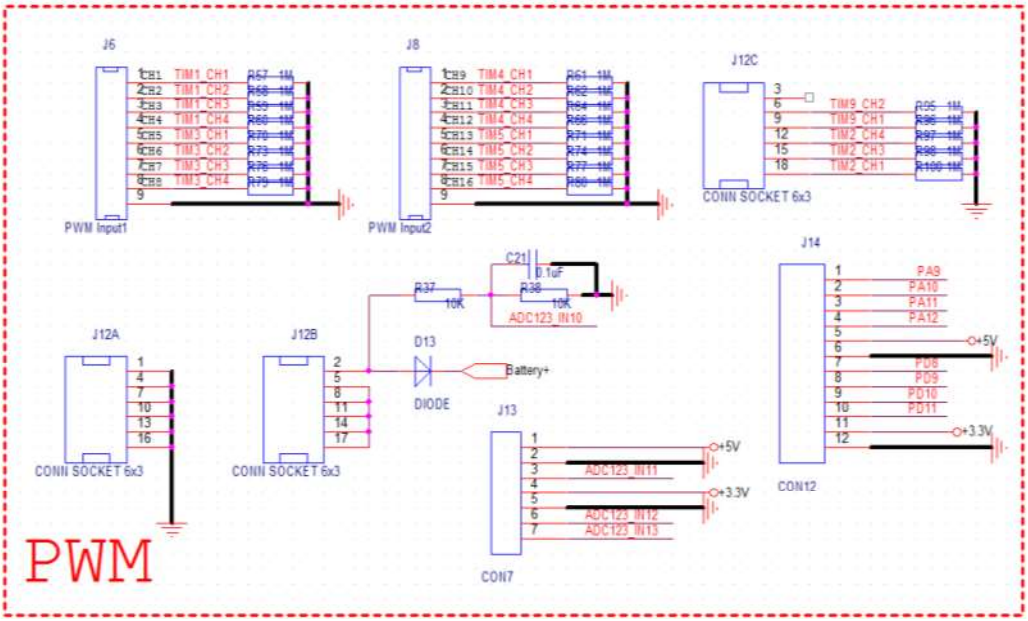


圖 5-7 PWM 電路設計圖

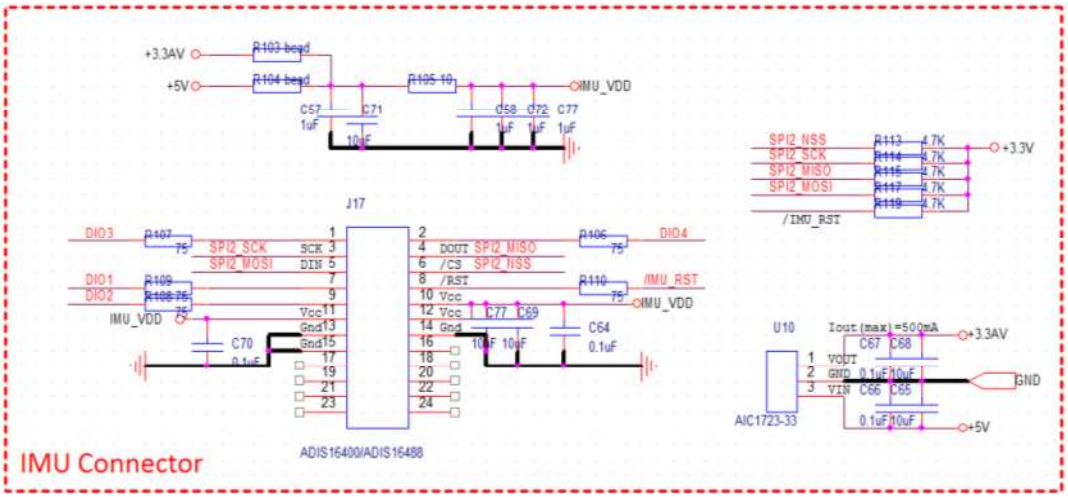


圖 5-8 IMU 電路設計圖

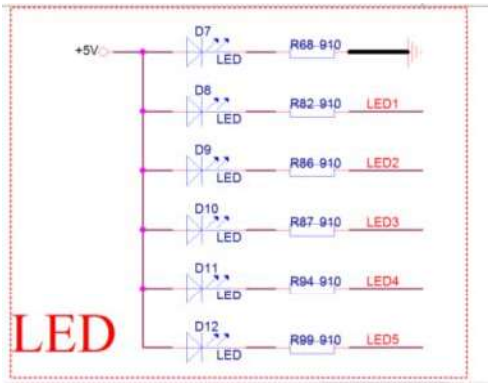


圖 5-9 LED 指示燈電路設計圖

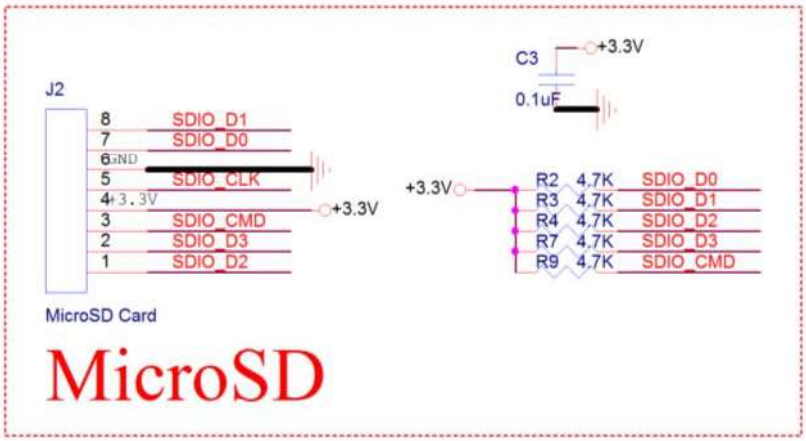


圖 5-10 MicroSD 電路設計圖

外殼設計將以方便組裝與簡便為主要訴求，為了可平整裝載於 UAS 酬載空間，採用方形之設計，並於上蓋上標註定位方向，以確保安裝方向正確，如圖 5-11、圖 5-12 所示。外殼前後皆有功能開口，分別為 I/O、S、M 與 mini USB。其中 I/O 開口主要用於電源、Trigger

及 PWM 訊號線，而 S 與 M 為雙頻 GNSS 使用之天線外接口，mini USB 則用於讀取記憶卡資料。以往研究之 POS 硬體原型設計，若要讀取 micro SD 記憶卡內的 POS 資料須拆除上蓋才可使用，本次設計之外殼可透過該 mini USB port 直接讀取記憶卡資料，資料取得更為便利。

圖 5-11 POS 外殼與上蓋實體圖

而上蓋除左上方之方向標示外，並提供四顆 LED 訊號指示燈，分別為 USB、GPS、Status 及 Power。USB 指示燈用於確認 USB 是否連結，當連結成功會亮起；GPS 訊號將依照 1PPS 之時間進行閃爍，每一次 1PPS 訊號進來則會亮一次，藉此確認系統正常工作；Status 為 POS 狀態指示，只要 POS 持續儲存資料至 micro SD 便會進行閃爍，若無閃爍代表資料沒有進行儲存；Power 為上電指示燈，系統開啟即會亮起。

圖 5-12 POS 外殼實體圖

5.2.4 機電整合作業成果

本系統基於研究與開發相對低價位航拍系統，研究 UAS 搭載整合 GNSS/IMU 的 POS。感應器的機電整合是利用整合高精度 IMU 與具備雙頻 GNSS 相位接收所組成的 POS，以利航拍解算之用，目前機電整合項目裝置於定翼型 UAS 中進行實驗。圖 5-13 與圖 5-14 分別為本研究所使用的直接地理定位模組及其於機艙內分布情形，詳細說明如下。

圖 5-13 直接地理定位模組電路板空間架構示意

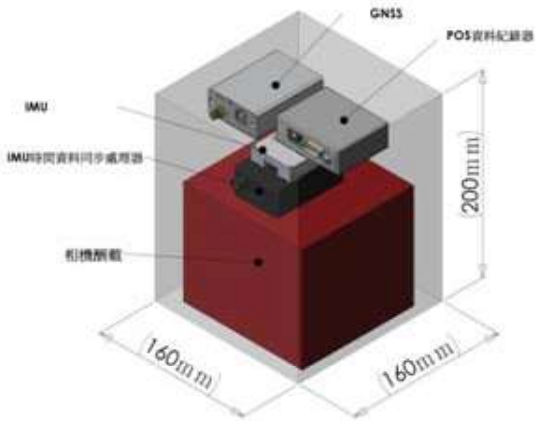


圖 5-14 直接地理定位系統模組於機艙內分布情況

圖 5-15 為機電整合系統硬體架構圖。機電整合系統主要是由電源轉換電路、ADIS16488 IMU、BD970 GNSS、資料紀錄器組成。機電整合所完成功能如下：

1. 系統採用高速 32 位元中央處理器（MCU）。
2. 電源設計規劃包含兩組輸入(+3.3V 與+5V)電源分別供應不同設備。
3. 準位轉換電路設計，不同設備所使用之傳輸介面不同，因此需透過轉換電路與 IC 進行準位轉換，才可使用。
4. 電路中涵蓋四種傳輸介面，RS-232、SPI、UART 與 CAN-Bus。
5. 具記憶卡儲存電路設計。

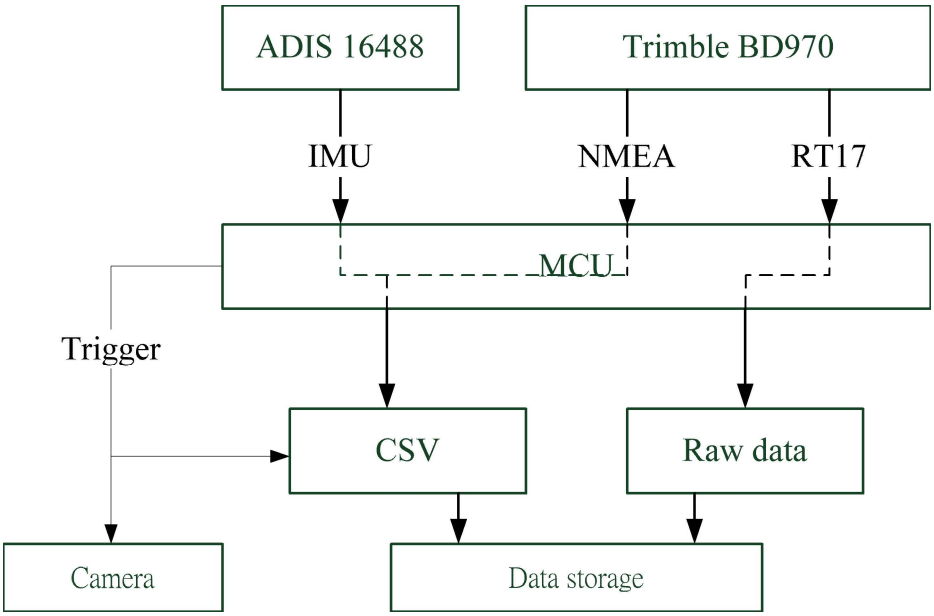


圖 5-15 機電整合系統硬體架構圖

機電整合之硬體功能可將裝載於 UAS 上之 IMU(ADIS16488)所偵測之姿態資料(IMU)與 BD970 所取得之雙頻 GNSS 高精度定位資料進行結合，提供相位觀測量與定位資訊傳送至儲存裝置，將所有資料進行記錄。該機電整合之硬體同時提供 Trigger 訊號，給予照相機進行拍照，其照相時機也將進行記錄，並儲存至儲存裝置中，以便任務結束後進行相位觀測使用。

該硬體架構主要可分為 6 個次系統，分別為姿態傳感器 ADIS 16488、雙頻 GNSS Trimble BD970、高速 32 位元中央處理器 MCU、Camera 及資料儲存系統，系統將透過 ADIS 16488 與 Trimble BD970 兩個次系統接收 IMU 姿態傳感器所提供之姿態資料 CSV(如：角度、加速度、磁北等)及雙頻 GNSS 所提供之高精度定位資料 Raw data(如：經緯度、UTC 時間、高度、地速等)，並將該兩筆資料傳送至 MCU

中進行相位計算與定位資料整合，建構完整 CSV 與 Raw data 之 POS 資料串。當該資料串完成後為能將所有資料傳送至資料儲存系統進行儲存，同時 MCU 也將依照 CSV 時序輸出 Trigger 訊號，透過該訊號可準確提供相機之拍照時機，並將拍照時機同時存入 CSV 中，以便事後取得拍照時間對應之姿態資料。

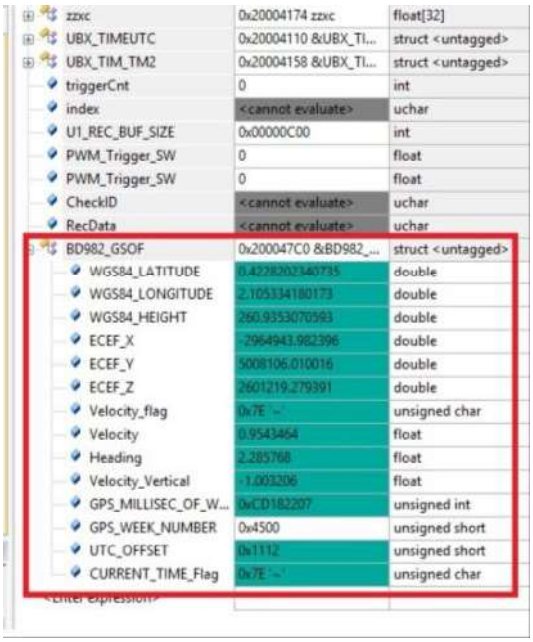
GNSS 與 IMU 機電整合之硬體將採用 12V 電源進行供電，而 ADIS 16488 與 BD 970 所使用之電壓非 12V，因此，該硬體終將具備電壓轉換電路，可將輸入 12V 電壓轉換為 ADIS 16488 與 BD 970 可使用之 3.3V。其中本系統將以 10 Hz 之 update rate 對資料進行更新，因此，1 秒鐘可取得 10 筆資料之精確度，可有效提升資料準確性，且該硬體系統將彙整於同一套系統中，電路採用雙層設計結構，可降低體積並可快速將 POS 組裝至 UAS 中，使其使用更加便利。

圖 5-16 系統整合硬體-電子電路整合外殼

當所有系統電路完成後，接下來則是所有硬體電路版與外殼進行整合，如圖 5-16 所示，於最下方為雙頻 GNSS 硬體電子電路，而藍色電路板為 IMU 與 ARM 電子電路之整合電路板件，位於上方綠色小型電路板為電流轉換電路，因 BD970 模組板需使用將近 2 安培的電流才可使用，該電流轉換電路主要針對 BD970 模組板設計。電路板與外殼整合完成後便可將上蓋鎖上，即為完整之 GNSS 與 IMU 機電整合 POS。

圖 5-17 系統整合硬體-外殼、電路與上蓋結合

POS 接收雙頻 GNSS 資料格式採用 GSOF 格式，該資料不僅包含定位資料，更可提供 LLH、ECEF 等相關資訊。本 POS 透過韌體程式撰寫，將 BD970 輸出之 GSOF 資料進行切割，存至個別之變數中。如圖 5-28 所示之韌體撰寫的變數觀察介面，紅框部分為 GSOF 之資料，於第一行為所有資料串，第二行則為透過韌體進行切割之 GSOF 細項資料，透過該資料切割後可與 IMU 進行資料重新組合，便可提供航空攝影測量詳細之資料串。



zzxc	0x20004174 zzxc	float[32]
UBX_TIMEUTC	0x20004110 &UBX_TI...	struct <untagged>
UBX_TIM_TM2	0x20004158 &UBX_TI...	struct <untagged>
triggerCnt	0	int
index	<cannot evaluate>	uchar
U1_REC_BUF_SIZE	0x00000C00	int
PWM_Trigger_SW	0	float
PWM_Trigger_SW	0	float
CheckID	<cannot evaluate>	uchar
RecData	<cannot evaluate>	uchar
BD982_GSOF	0x200047C0 &BD982_...	struct <untagged>
WGS84_LATITUDE	0.42283023407735	double
WGS84_LONGITUDE	2.105334180173	double
WGS84_HEIGHT	260.9353070593	double
ECEF_X	-2964943.982396	double
ECEF_Y	5008106.010016	double
ECEF_Z	2601219.279391	double
Velocity_flag	0x7E '~'	unsigned char
Velocity	0.9543464	float
Heading	2.285768	float
Velocity_Vertical	-1.003206	float
GPS_MILLISEC_OF_W...	0xCD182207	unsigned int
GPS_WEEK_NUMBER	0x4500	unsigned short
UTC_OFFSET	0x1112	unsigned short
CURRENT_TIME_Flag	0x7E '~'	unsigned char

圖 5-18 GSOF 接收畫面

POS 完成後將裝載於 UAS 中，裝載之 UAS 如圖 5-19(a)所示，因 UAS 須配合機身配重選擇裝載位置，本機型分為前艙與後艙，前艙為 UAS 所需之飛行控制系統等元件，而後艙則為油箱、相機與 POS。

該 POS 裝載空間如圖 5-19(b)，下方圓形孔洞為相機鏡頭掛載位置，POS 將裝載於相機上方，透過該掛載位置可有效偵測相機之姿態，圖 5-20 為 POS 安裝完成圖片，該 POS 離相機位置越靠近且平整對於航空攝影測量之誤差越小，因此本系統裝載於相機上方降低位置所產生之誤差。

圖 5-19 UAS 機身圖(a)　　與 POS 裝載空間(b)

圖 5-20 POS 裝載於 UAS 完成圖

第三節 航拍測試作業方法

5.3.1 直接地理定位系統率定方法

欲實現直接地理定位，必備的關鍵設備為 GNSS 及 IMU。其中 GNSS 定位技術可提供位置資訊，而 IMU 則可提供姿態參數。然而 GNSS 與 IMU 並非照相或雷射掃描感測器，其位置與姿態都不能直接當作感測器的位置與姿態。因此，要達到直接地理定位的目的，仍必須透過率定工作以消除兩項系統性誤差，分別為(1)GNSS 相位中心與感測器間的位置偏移量率定，即固定臂(Lever Arm)率定；(2)IMU 與感測器觀測向量的軸角(Boresight)率定。各種感測器直接地理定位之誤差來源可從其測量原理出發，相關誤差來源包括 GNSS 定位誤差、IMU 定向誤差、IMU 與感測器間之軸角、GNSS 與感測器間之位置偏移量、GNSS 與感測器間之時間同步誤差、內插誤差等等(Schenk, 2001; Morin, 2002)。其中固定臂偏移量之率定方式有三種(Ellum and El-Sheimy, 2003)：

1. 第一種為利用全站儀(Total Station)以地面測量方式進行量測，然此種方式因為無法觀測到 GNSS 相位中心及相機透視中心，因此精度相當有限，一般約在公吋等級。
2. 第二種稱為「二階段率定法」，也就是利用地面控制點進行空三平差，其成果再與 GNSS 定位成果比較，將兩者位置的差異量取平均而得。此方法的基本要求就是必須有合適的地面控制場，必須同時滿足空三平差所需的控制點分布，以及 GNSS 觀測時不會有訊號遮蔽及多路徑效應的現象，才能確保成果精度。
3. 第三種則稱為「整合率定法」，也就是將固定臂偏移量三個分量當作未知數與影像一起進行光束法平差求解。然而所增加的三個位移參數會與相機的內、外方位參數有高相關問題，尤其是焦距與透視中心位置，導致 Z 方向之位移量誤差會較大。就近景影像而言，由於相機可以擺設較大的交會角，因此可減少此問題。不管空載或近景攝影，都必須將 GNSS 位置觀測量納入平差，才可避免焦距與 Z 方向位移量高相關的問題。

軸角之率定方式則無法透過接觸式直接量測而得，必須利用「二

階段率定法」與「整合率定法」進行求解。

1. 在「二階段率定法」中，可將空三平差成果與 IMU 定向成果的旋轉矩陣進行相乘，再取平均而得(Skaloud, 1999)。
2. 「整合率定法」則是將三個軸角量當作未知數，與拍攝之影像一起進行空三平差求解(Mostafa, 2002; Pinto and Forlani, 2002)。

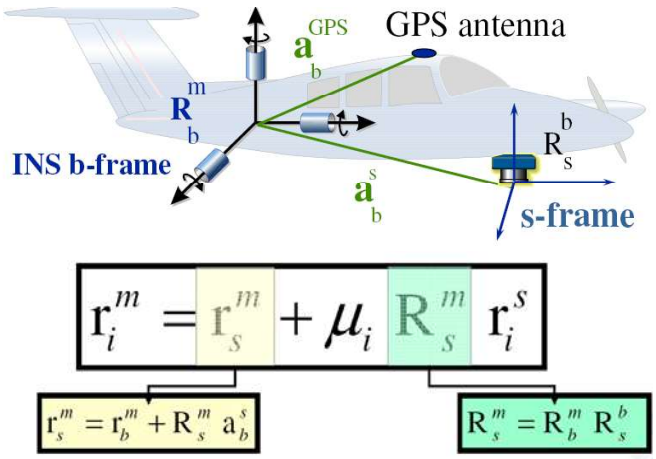


圖 5-21 UAS 透過 GNSS/IMU 直接定位的概念圖

以 UAS 進行航空攝影測量的方法與飛機採用的方法相同，傳統的作法皆透過地面控制測量布設控制點，搭配空三計算得到每張相片拍照時刻的外方位元素，建立立體像對進行量測作業。然而近年來由於 IMU 與 GNSS 等相關技術的發展之下，在航測作業中以直接定位的方法來得到外方位元素的方法逐漸成熟，由於透過 GNSS/IMU 進行直接定位可以大量減少進行地面控制測量以及空三計算的成本，因此在飛機或 UAS 等飛行載具利用直接定位的技術逐漸受到重視。圖 5-21 所示為 UAS 直接定位的概念圖。

直接定向的基礎方程式由 7 個參數轉換式所組成，如式(5.1)：

$$r_i^m = r_s^m + \mu_i R_s^m r_i^s \qquad (5.1)$$

其中r_i^m為地物點在地圖上的坐標，r_i^s是地物點在影像感測器上的坐標，r_s^m為感測器在地圖上的坐標，μ_i與R_s^m分別為感測器的參考框架與地圖框架之間的尺度因子以及轉換矩陣。然而實際進行直接定位時，相機與 IMU 以及 GNSS 之間的相對關係必須先以率定的方式計算出來，式(5.1)中每個拍照時刻相機位置r_s^m以及與地圖框架之間的轉換關係R_s^m才能確定，率定的過程包含計算相機與 IMU 之間的位置差

向量a_s^b值以及 IMU 座標框架(b-frame)與相機座標框架(s-frame)之間的旋轉矩陣R_s^b，而 IMU 的位置r_b^m與姿態R_b^m可以量測得到，考量率定的參數後吾人可推得每個拍照時刻相機位置以及與地圖框架之間的轉換關係式如下以及改寫後的直接定位公式如下：

$$r_s^m = r_b^m + R_s^m a_b^s \tag{5.2}$$

$$R_s^m = R_b^m R_s^b \tag{5.3}$$

$$r_i^m = (r_b^m + R_b^m R_s^b a_b^s) + \mu_i (R_b^m R_s^b) r_i^s \tag{5.4}$$

5.3.2 相機選定及率定方法

圖 5-22 所示為本研究選用的相機 EOS 5D Mark II。

圖 5-22 相機 EOS 5D Mark II

相機率定部分，本團隊設置有一室內率定場，研究中設計一可旋轉的圓盤率定場，其上均勻佈置了不同高度的木柱與 Australis 編碼過之人造標(Fraser and Edmundson, 2000)，拍攝時每旋轉圓盤 30°~45°拍攝兩張相片，一張正拍，一張旋轉相機 90°以避免參數間之高相關性。經過此種拍攝程序後，其效果如同環繞此圓盤四周以交會式拍攝的效果，可達到由軟體全自動解算相機率定參數的目的。圖 5-23 為拍攝程序之示意圖。圖 5-24 則為控制場上一點被所有相機拍攝後光束交會情形。

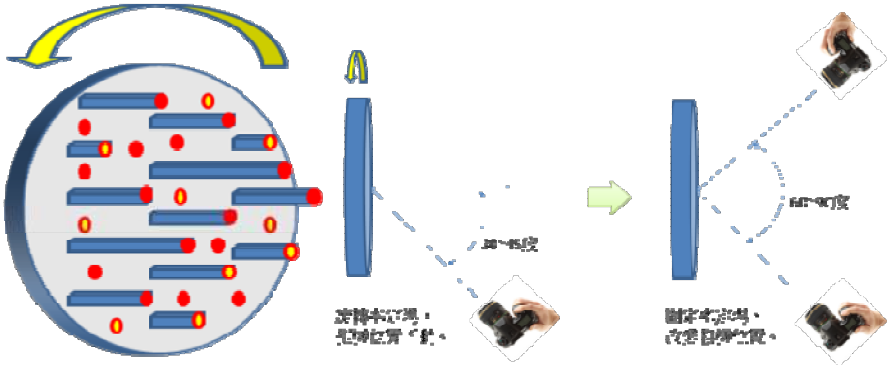


圖 5-23 單相機率定法拍攝方式示意圖

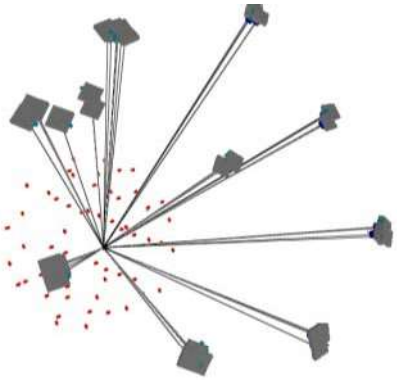


圖 5-24 單相機率定光束交會情況

由於每個標上是由八個特殊排列的白點所組成，因此軟體能透過白點之間的相對關係自動辨識出每個標的代碼，減少人工辨識的時間。除此之外，將部分的特殊標固定在長短不一柱子上，以產生三度空間的率定場，提高焦距率定之精度，而在拍攝時也考慮交會幾何強度，讓平差成果較穩定可靠且提高定位精度。相機拍攝時要考慮特殊標在影像中的位置，除了旋轉相機以外也要盡量使整個像幅佈滿標，以提供影像外圍之座標觀測量，適切的描述透鏡畸變狀況。

在 Australis 率定時，率定的有內方位元素包括焦距(c)、像主點位置座標(xp、yp)、對稱輻射透鏡畸變(K1、K2、K3)、切向透鏡畸變(P1、P2)。率定選用的標，標上的白點直徑為 6mm，進行附加條件方位求解後輸出的檔案有相機的內外方位參數和像座標，之後用 Auto-cal 自動辨識人造標及率定。此自動辨識的方法可減少許多人力的介入，增加工作效率。接著進行光束法區域平差，利用最小二乘法多次迭代平差計算出控制點和共軛點。某些相機之 xp 和 yp 與 P1 和 P2 會有高相關，所以可設定 P1 和 P2 為 0 再重新率定。表 5-2 所示為相機內方位率定結果。

表 5-2 相機內方位參數率定成果

Item		Value	Accuracy
Principal distance	c (mm)	20.4967	0.001
Principal point offset in x-image coordinate	xp (mm)	0.0467	0.000
Principal point offset in y-image coordinate	yp (mm)	0.0242	0.000
3rd-order term of radial distortion correction	K1	2.432e-04	2.262e-07
5th-order term of radial distortion correction	K2	-4.964e-07	1.101e-09
7th-order term of radial distortion correction	K3	1.035e-10	1.694e-12
Coefficient of decentering distortion	P1	-4.486e-06	2.796e-07

Item		Value	Accuracy
Coefficient of decentering distortion	P2	9.688e-06	2.002e-07
No significant differential scaling present	B1	-5.735e-05	4.868e-10
No significant non-orthogonality present	B2	-1.670e-04	4.868e-10

5.3.3 地面控制場及航拍作業

本研究為求無人機飛行測試空域之便利性，於屏東里港飛場範圍周邊建置一地面控制場，選定本區域的原因為，此地來往車輛行人較少，透空度良好，可於道路設置大量控制點做為地面率定場與檢核場，透過影像拍攝，評估定位定向系統直接地理定位成果的精度分析。由於載重的限制，以及 UAS 易受側風影響等因素，航拍前後與側向重疊規劃建議為 80%與 60%，以確保相片能夠有足夠的重疊率。

此控制場範圍大小約 4 公里乘以 3 公里，如圖 5-25 所示。每隔 400 公尺左右設置控制點當作率定控制點與檢核點，控制點標形照片如圖 5-26。此控制場之選擇考量到足夠的透空度，減少 GNSS 訊號受到遮蔽或多路徑效應的影響，同時行人車輛稀少，控制點較不易被破壞。而在控制場控制點之三維坐標量測是以 GNSS 控制測量網形平差計算得到，其標準差約為 0.3 公分。

圖 5-25 屏東里港地面控制場

圖 5-26 地面控制點現地標形照片

於屏東里港控制場進行測試航拍的範圍約 400 公頃，地表高程約 65 公尺。航拍任務規劃使用 Canon EOS 5D Mark II 數位相機(像元大小為 6.40μm)搭配 20mm 焦距鏡頭，航高為 300 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 60%，共需拍攝東西與南北向各 14 條航帶。區域範圍及航線規劃如圖 5-27。

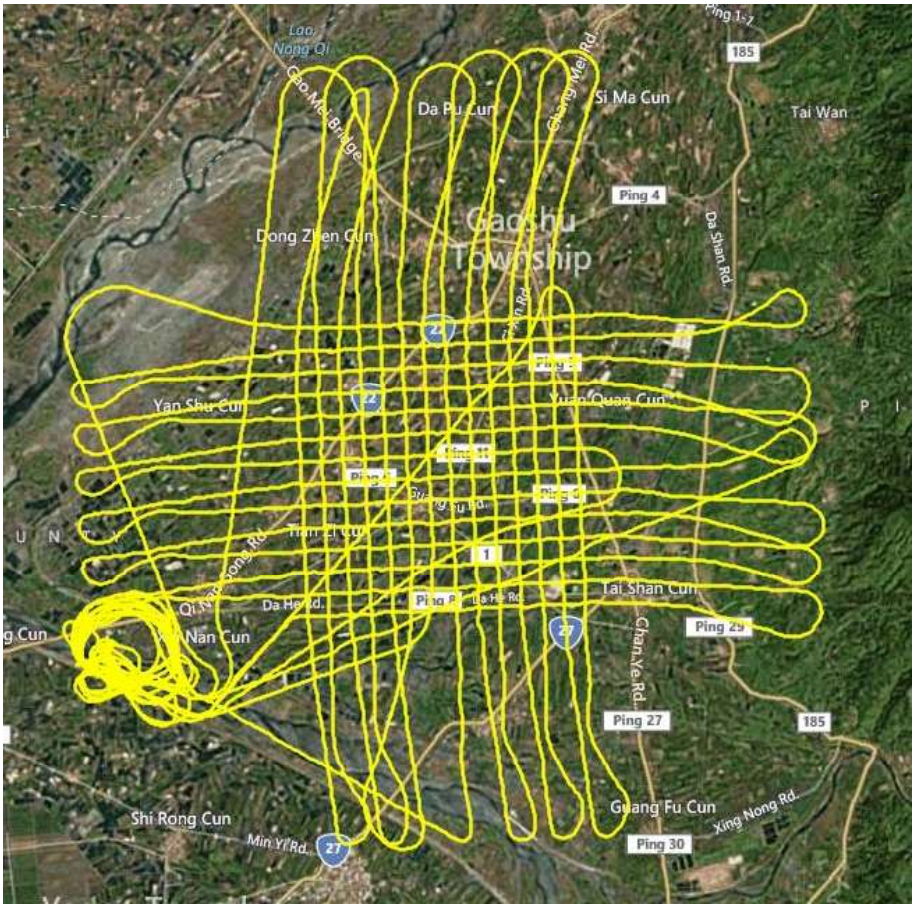


圖 5-27 屏東里港控制場飛行航線規劃

航拍任務執行概況如表 5-3，本次測試航拍拍攝影像數量合計 3818 片，航拍影像分布如圖 5-28，地面解析度(GSD)約 6.8 公分。現

場作業情形如圖 5-29、圖 5-30 所示。

表 5-3 屏東里港 POS 航拍測試任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	屏東里港地面控制場
二、航拍日期	104 / 07 / 29
三、航線航程	總航程約 165 公里
四、天氣狀況	晴天(氣溫 31°C，降雨機率 0%)
五、風向/風級	西南風/二級
六、航拍高度/雲層高度	300 公尺/800 公尺
七、地面解析度	6.8 公分
八、UAS 載具	定翼型 UAS

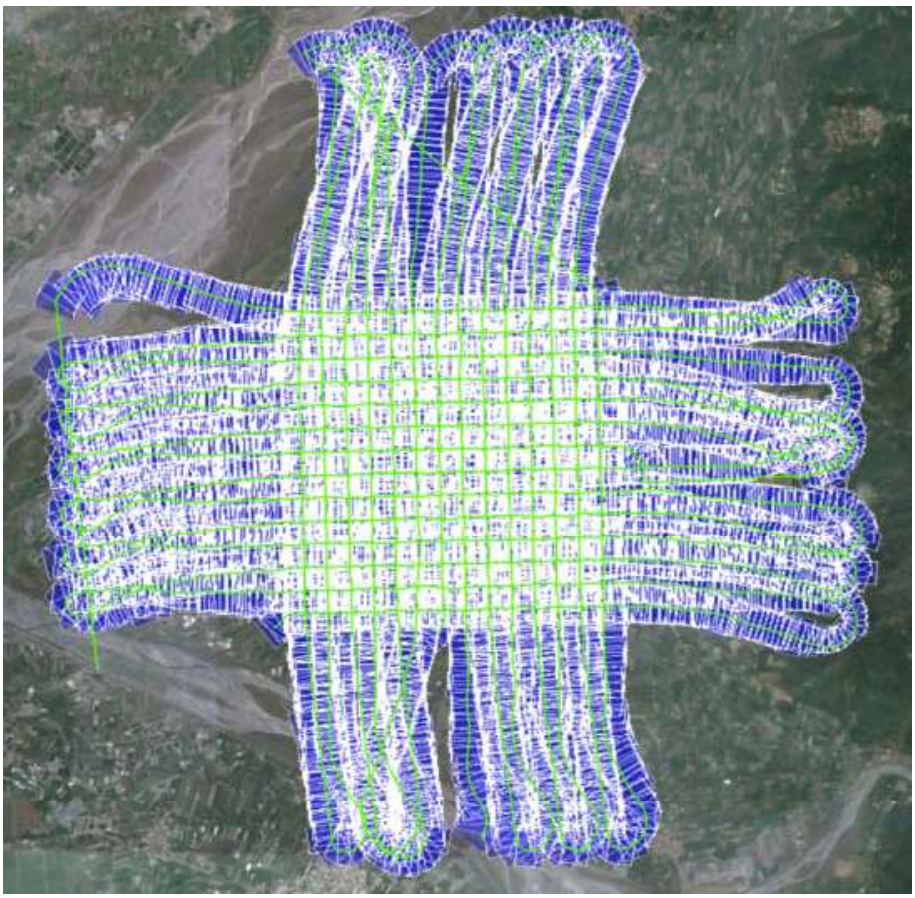


圖 5-28 屏東里港 UAS 航拍相片涵蓋範圍分布圖

圖 5-29 航拍測試準備情形

圖 5-30 航拍任務實際飛測情形

第四節 航拍資料處理

為了驗證資料成果，本章節針對開發的 POS 測試資料進行直接地理定位的解算。首先必需透過率定工作，消除兩項系統性誤差，分別為：(1) GNSS 相位中心與感測器間的位置偏移量，即為固定臂(Lever arm)率定；(2) IMU 與感測器觀測向量的軸角(Boresight)率定。

此兩項系統性誤差需藉由建立地面控制場取得控制來源，經由空三解算得相片外方位，並與整合 GNSS/IMU 提供的外方位解進行比較，計算得到固定臂與軸角率定成果後，進行成果精度的比較，評估 POS 直接地理定位成果的精度分析。

5.4.1 空中三角測量計算

以 UAV 進行航空攝影測量的方法與飛機採用的方法相同，傳統的作法皆透過地面控制測量布設控制點，搭配空三計算得到每張相片拍照時刻的外方位元素，建立立體像對進行量測作業。

利用空中三角測量(以下簡稱空三)解算 UAS 相片空間位置，使用後測控制點與室內新建相片間的匹配點位資訊，解算求得點位之空間位置。空三作業方式說明如下：

(一)空三採用數值航測影像工作站，量測模型連接點及控制點之點位坐標。

(二)空中三角相片連接點分布每一相片 9 個標準點以上，先以影像自動匹配產生連結點，再檢查連結網形補缺漏。每一標準點位以 2 點以上為原則，空三平差偵錯後，每一標準點位至少留存 1 點。

(三)平差作業加入每張影像經解算之投影中心坐標及姿態角，以提升空三作業精度，並加速影像自動匹配作業時程。

(四)空三之連結點採自動匹配，自動匹配完後會列出匹配點不足處，另採手動加點，並利用自行開發之網形檢核及可靠度計算程式，檢查每張相片間的連結點數以及連結情況。

(五)空三平差計算採用光束法，分 2 個過程進行計算，先以最小約制（或自由網）平差，以進行粗差偵測並得到觀測值精度的估值，其次進行強制附合至控制點上平差。

本區空三成果計算總計使用相片數量 344 張，本區使用控制點 17 點、檢核點 17 點，點位分布如圖 5-31。空三網形圖如圖 5-32。

圖 5-31 控制點/檢核點分布圖

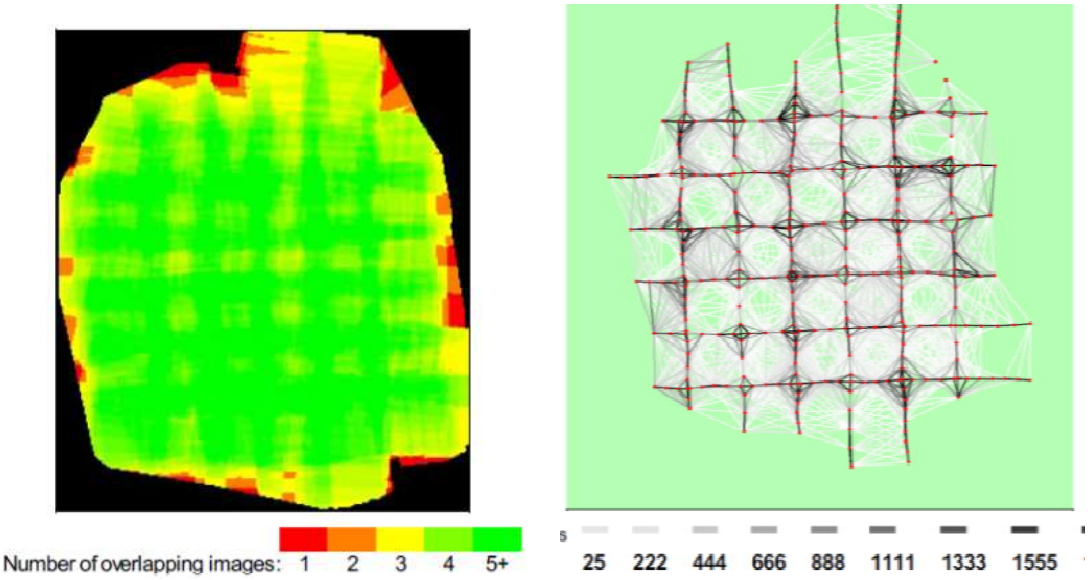


圖 5-32 屏東測試區空三網型圖

圖 5-33 所示為空三解算得外方位率定成果。初步成果可知，當飛行高度為 300 公尺時，其影像參考精度為 0.51 個像元大小，影響三維定位精度約為 0.05 公尺。

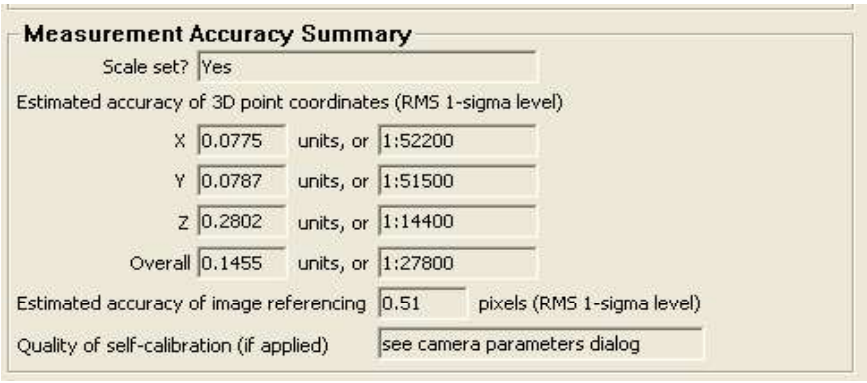


圖 5-33 空三解算外方位率定結果

圖 5-34 正射糾正及鑲嵌成果

5.4.2 直接地理定位率定計算

完成前述內方位率定，將相機感測器裝設完成後，便可至控制場進行航拍率定。航拍相機內方位參數率定成果於本階段（5.3.2 小節）已達到直接地理定位計算的需求，成果未來仍可依率定拍攝方式進一步研擬改善。接著進行固定臂及軸角率定。藉由比較空三(相機中心)與 POS(IMU 中心)得到的外方位參數, 兩者之間的相對關係，透過二階段率定法進行比較，計算得到固定臂與軸角率定成果。

圖 5-35 所示為整合 GNSS/IMU 的 POS 飛行軌跡。藉由兩者之間外方位資料比較，獲得固定臂及軸角率定成果，如表 5-4。

圖 5-35 整合 GNSS/IMU 之飛行軌跡

表 5-4 固定臂與軸角率定成果

固定臂	Value (m)	軸角	Value (deg)
x	-0.6237	omega	1.34584366
y	0.0049	phi	0.51119237
z	0.2629	kappa	-0.28419414
x STD	0.0714	omega STD	0.15690973
y STD	0.1317	phi STD	0.14208760
z STD	0.0858	kappa STD	0.14200759

第五節 直接地理定位成果與分析

完成固定臂與軸角率定實驗後，之後進行系統直接地理定位能力評估，作為 GNSS/IMU 機電整合優化成果之重要評估指標。系統直接地理定位能力測試於本團隊台中中科廠房週邊所設立的地面控制場進行(圖 5-36)，範圍大小 60×40 公尺，並架設 GPS 主站(圖 5-37)。

圖 5-36 本團隊台中地面控制場

圖 5-37 GPS 主站架設情形

本次驗證航拍作業概況同 5.3.2 小節表 5-3 成果，本次測試航拍拍攝影像數量合計 80 片，飛行高度為 60 公尺，地面解析度(GSD)約 2.0 公分。所使用的為旋翼型 UAS，安裝測試用 GNSS/IMU 機電整合模組的情況如圖 5-38。

表 5-5 直接地理定位驗證航拍作業概況

項目	說明
一、航拍區域	台中市大雅區測試場
二、航拍日期	104/12/17
三、航線航程	總航程約 1.2 公里
四、天氣狀況	晴天(氣溫 15°C，降雨機率 0%)
五、風向/風級	北風/二至三級
六、航拍高度/雲層高度	60 公尺/400 公尺
七、地面解析度	2.0 公分
八、UAS 載具	旋翼型 UAS

圖 5-38 旋翼型 UAS 及 GNSS/IMU 機電整合模組

相機內方位率定結果同表 5-2。圖 5-39 所示為其定位定向系統解算軌跡。圖 5-40 所示為空中三角解算結果，影像參考精度為 0.858 個像元大小，影響三維定位精度約為 0.019 公尺。將定位定向系統與

空三結果進行比較，求得軸角與固定臂率定結果，如表 5-6 所示。

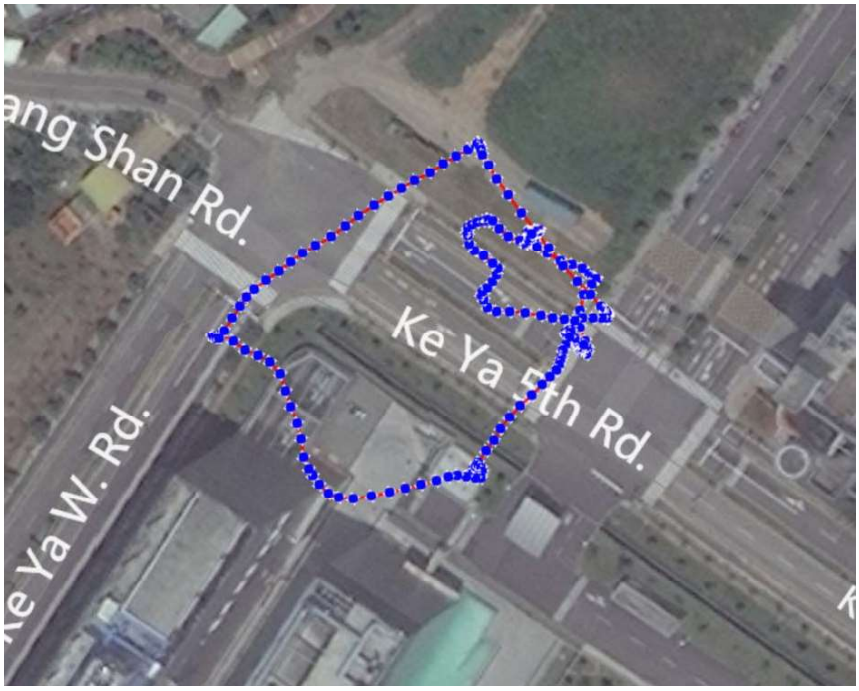


圖 5-39 定位定向系統解算軌跡

Markers	Easting	Northing	Altitude	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
R02	212051.743000	2680053.815000	181.870000	0.005000	0.017760	22	0.677
R03	212050.385000	2680051.848000	181.926000	0.005000	0.015743	23	0.774
R04	212049.030000	2680049.852000	181.982000	0.005000	0.020859	22	0.743
R05	212047.664000	2680047.879000	182.013000	0.005000	0.008318	23	0.442
R06	212046.315000	2680045.914000	182.054000	0.005000	0.017857	25	0.695
R07	212044.951000	2680043.930000	182.049000	0.005000	0.012479	26	0.452
R08	212043.591000	2680041.962000	182.048000	0.005000	0.011241	26	0.639
R09	212041.743000	2680039.333000	181.988000	0.005000	0.009532	28	0.737
R10	212039.945000	2680036.697000	181.903000	0.005000	0.008383	30	0.672
R11	212038.572000	2680034.725000	181.885000	0.005000	0.020363	29	0.852
R12	212048.605000	2680060.012000	182.212000	0.005000		0	0.000
R13	212058.975000	2680041.995000	181.653000	0.005000	0.034891	41	0.752
R14	212054.890000	2680040.597000	181.736000	0.005000	0.018049	44	1.067
R15	212070.789000	2680029.314000	181.220000	0.005000	0.019931	57	0.877
R16	212074.876000	2680030.757000	181.136000	0.005000	0.007612	57	0.887
R17	212091.831000	2680025.989000	180.608000	0.005000	0.006037	38	0.645
R18	212090.468000	2680024.045000	180.620000	0.005000	0.006763	40	0.635
R19	212089.081000	2680022.081000	180.668000	0.005000	0.013422	42	0.605
R20	212087.708000	2680020.127000	180.674000	0.005000	0.010886	42	0.609
R21	212086.317000	2680018.182000	180.722000	0.005000	0.030391	41	0.544
R22	212084.476000	2680015.539000	180.743000	0.005000	0.012012	43	0.603
R23	212083.090000	2680013.593000	180.704000	0.005000	0.016396	45	0.631
R24	212081.728000	2680011.622000	180.674000	0.005000	0.003971	42	0.610
R25	212080.561000	2680009.989000	180.644000	0.005000	0.045126	44	1.946
R26	212078.944000	2680007.711000	180.541000	0.005000	0.030869	44	0.893
R27	212061.822000	2680024.041000	181.244000	0.005000	0.014050	65	1.149
Total Error					0.019144		0.858

圖 5-40 空中三角解算結果

表 5-6 軸角/固定臂率定結果

固定臂	Value (m)	軸角	Value (deg)
x	0.0599	omega	-0.0813
y	-0.0167	phi	-0.9303
z	-0.0228	kappa	0.5510
x STD	0.2440	omega STD	1.0834
y STD	0.3428	phi STD	0.9455
z STD	0.2595	kappa STD	1.1786

彙整實驗資料完畢，即使用自行研發軟體模組進行直接地理定位解算。圖 5-41 為使用 Visual Studio 及 C++所自行研發之直接地理定位模組，除可匯入地控點坐標、相機外方位及影像外方位資料外，程式具反投影及消除透鏡畸變誤差功能。

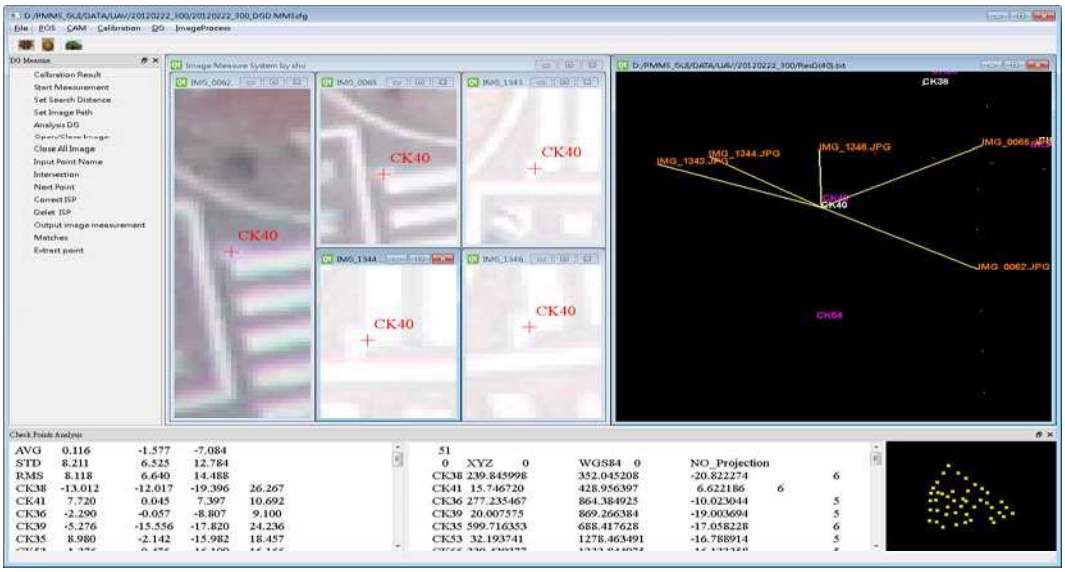


圖 5-41 直接地理定位程式介面

並可使欲量測之地控點坐標顯示在影像上，以減少量測之錯誤。並藉此概念，搜尋所有拍到此地控點之影像，一併顯示在視窗底處，以人工挑選適當間距與交會角之多張影像進行前方交會，以評估系統直接地理之定位精度。最後計算之坐標成果則顯現在模組視窗上，將地面測量之三維物空間資料作為參考坐標，並以足量檢核點進行比對，其成果即可作為本系統直接地理定位能力之指標。

如表 5-7 所示，本次實驗評估結果顯示三軸方向定位精度 RMS 值約為 0.072、0.411、0.538 公尺，三維精度為 0.681 公尺，整體誤差小於 1 公尺。

表 5-7 雙頻直接地理定位精度

	E(公尺)	N(公尺)	H(公尺)	3D(公尺)
AVG	0.018	0.337	0.264	0.428
STD	0.071	0.241	0.479	0.541
RMS	0.072	0.411	0.538	0.681

參照表 5-8 POS 估計誤差，此估計誤差來源為本研究自行評估，Error source 為可能的誤差來源，Magnitude 為量級，Impact on ...代表影響直接地理定位精度的量，如本內容所示 GNSS/IMU Positional error 的誤差若為 1~2 公尺，則直接地理定位精度就會有 1~2 公尺的誤差。因此依照開發的定位定向系統規格，與飛行的航高，率定結果等誤差因素來源，將誤差量相加，對照此表評估最終直接地理定位精度屬合理範圍。此誤差可藉由搭載較佳的 IMU、靜態率定、較低的飛行高度等進行改善。同時透過誤差表的統計計算，可驗證本系統於直接地理定位誤差皆屬於合理範圍內。

表 5-8 POS 估計誤差

Error source	Magnitude	Impact on δr_i^m (DG error)
GNSS/IMU Positional error	1 - 2 m	1 - 2 m
GNSS/IMU Orientation error	0.5 - 1 deg	3 - 6 m with 300 m flight height
		6 - 12 m with 600 m flight height
Calibration error δR_m^b	0.5 - 1 deg	3 - 6 m with 300 m flight height
		6 - 12 m with 600 m flight height
Calibration error δa^b	0.05 - 0.1 m	0.5 - 1 m with 300 m flight height
		1 - 2 m with 600 m flight height
Synchronization error $V\delta T$	1 - 2 msec	3.6 - 7.2 cm with 120 km/hr flying speed
		7.2 - 14.4 cm with 120 km/hr flying speed
Synchronization error $\omega\delta T$	1 - 2 msec	15 - 30 cm with 300 m flight height when angular ω equals 30 deg/sec
		30 - 60 cm with 600 m flight height when angular ω equals 30 deg/sec

表 5-9 所示為前期研究為原單頻 GPS 模組所製作之 POS 的直接地理定位成果，三軸方向定位精度 RMS 值約為 5.910、7.109、9.997 公尺。

表 5-9 原單頻直接地理定位成果

	E(公尺)	N(公尺)	H(公尺)	3D(公尺)
AVG	0.149	0.723	-1.163	1.377
STD	5.819	7.034	8.908	12.755
RMS	5.910	7.109	9.997	13.616

比較前期研究所採用的單頻 GPS 與本年度完成的雙頻 GNSS/IMU 機電整合模組，兩者直接地理定位 RMS 值成果數據，雙頻 GNSS/IMU 模組 POS 三維直接地理定位精度為 0.681 公尺，原單頻 POS 為 13.616 公尺，在三維精度方面提升達 19 倍（(13.616-0.681) / 0.681 = 18.99）

由上述成果可知，本研究所設計整合之 UAS POS 酬載已達成可利用載波相位觀測量之提供差分動態定位軌跡與具備精確的相機訊號驅動功能，進行資料的解算。

本研究主要利用 GNSS 載波相位觀測量進行差分計算，得到直接地理定位，未來此快速取得資料的能力與精度可應用於環境變遷監控、防救災應變、資源探測保護等各式應用上，特別是在地面控制點缺乏的森林、山區等地區。另後續可針對不同的需求與預算，搭載更高等級的 IMU 來建構 POS 或使用一階段率定方式提升軌跡精度，皆可望再進一步提升直接地理定位的精度。

第陸章　多相機組合雲台研究測試

第一節 傾斜式相機設備概述

傾斜影像從 2000 年俠卡相機推出 ADS40 開始發展，早期因解算較為複雜因此較少人使用，近幾年多視立體視覺三維重建技術(Structure from Motion, SfM)取代了傳統空中三角的解算，傳統攝影測量以方程式解算未知數時必須有足夠的初始近似條件才能求得穩定解，為了能夠更穩定飛行，飛行傾角以不超過 5 度為原則，才能確保尺度及旋轉的不變性，使影像品質良好。而在多視立體視覺發展後，改善了尺度及旋轉的不便性，也讓無人載具拍攝的限制降低，更使傾斜攝影開始逐漸被研究。

真正射影像(Ortho-Photo)及近景攝影應用於三維重建技術逐漸成熟，也被應用在許多場合，利用其可量度性做監測工作，及透過產生的模型作為文化的保留及展示，另外對於都市管理也更為方便，因近景攝影的研究為生活帶來了便利。但以往所使用的垂直正射攝影對於拍攝目標的側面資訊提取有限，對於產生的模型容易因側面資訊提取不足等因素造成模型紋理不如預期，因此使用傾斜影像(Oblique Image)求取目標物的側面資訊，增加模型的完整度。

傾斜式相機於 2000 年時被俠卡公司製造出來，當時生產的相機是三線式相機 ADS40，而目前市場較為有名的傾斜相機製造廠商有美國的 Pictomerty 公司、Trimble 公司、荷蘭 Track'Air 公司、比利時 DiMAC 公司等。傾斜相機主要分兩類，表 6-1 為傾斜相機的類型及特點。

表 6-1 傾斜相機分類

類型	特點	拍攝方式	使用範圍
線掃式	主要是由三個 CCD 依序排列而成，分別為前、後視及垂直方向，前、後視傾角各為 45 度。	與衛星照片拍攝方式類似，將 CCD 排成線狀，以線掃方式進行拍攝。	這種類型的相機常用於航拍時掛載在飛機上，可用於較大範圍拍攝。

類型	特點	拍攝方式	使用範圍
鏡頭拍攝 	目前常見的組合方式為3或5顆鏡頭一組，分別為一顆垂直其他傾斜；其每顆鏡頭有各自的投影幾何。	將鏡頭掛載於載具上，依照所需要的覆蓋率進行拍攝。	此相機掛載於無人載具上，通常用於區域性拍攝及需要較高解析度時。

第二節 多相機組合雲台規劃設計及研究方法與流程

本研究依據多視立體視覺三維重建技術，規劃以傾斜攝影方式進行三維重建，首先採用多軸攝影系統，並搭配自製傾斜攝影系統拍攝，於演算法中探討曲面重建技術，讓傾斜攝影側面資訊可以更加完整。

6.2.1 傾斜影像三維建模流程

傾斜攝影三維重建可依據圖 6-6 之流程圖，依據多視立體視覺三維重建技術選擇傾斜相機，再依序完成 SfM 解算、稠密點雲計算、點雲疏化、三維表面建構(Mesh)及最後完成紋理貼附及三維重建。

圖 6-1 實驗步驟及規劃流程

6.2.2 多相機組合雲台規劃設計

6.2.2.1 實驗介紹

本實驗主要探討使用傾斜影像拍攝時，側面資訊的取得及建模後紋理投影於模型上時是否優於傳統垂直正射攝影，並從中加入點雲疏化及表面重建方法，期能於三維建模上，獲取更佳之三維重建資訊。

6.2.2.2 攝影相關資訊

本實驗使用六旋翼型 UAS 搭載本團隊自行開發設計的多相機組合雲台（如圖 6-2），旋翼機直徑約 120cm，飛行操作高度可達 500m，每次滯空拍攝作業時間達 20 分鐘，可搭載多相機組合雲台拍攝需求範圍區域之高畫質傾斜影像。基本規格資料如表 6-2 所示。

圖 6-2 多相機組合雲台攝影系統設計圖

表 6-2 旋翼型 UAS 規格表

載具寬度	120 公分	最大航高	500 公尺
載具重量	5.0 公斤	載具飛行距離	1000 公尺
酬載重量	1.0 公斤	滯空時間	20 分鐘

鏡頭方向為四邊各向下傾斜 45 度如圖 6-3 所示，多相機組合雲台結合無人飛行載具如圖 6-4 所示，搭載 Sony DSC-QX10 數位相機組合而成，拍攝焦距為 4.45mm，拍攝相片畫素大小為 4896*3672（約 1800 萬畫素），CMOS 感測器尺寸為 1.25*1.25μ*m*，此款相機的限制為無法調整為定焦模式拍攝，僅能透過對地面高度假設為無窮遠的方式進行拍攝，並透過自率定方式，完成相機率定之步驟。

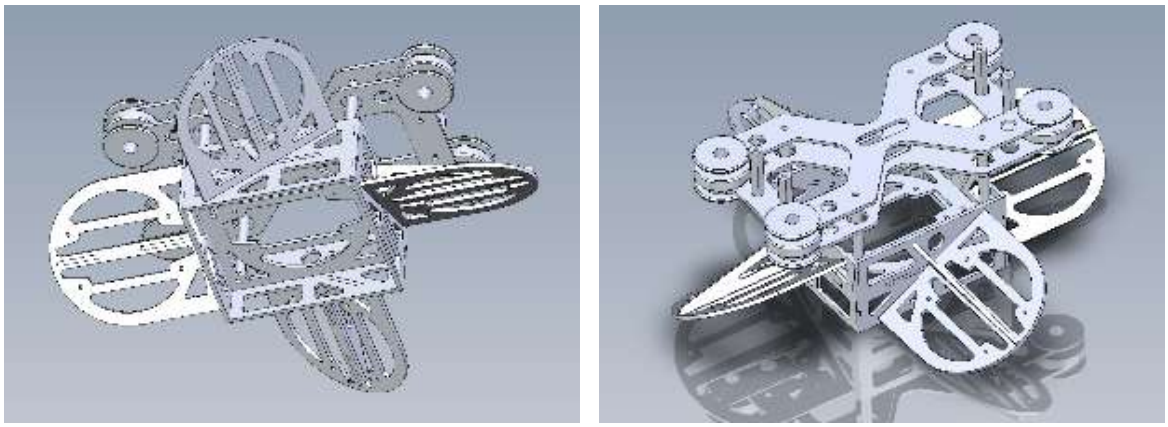


圖 6-3 傾斜攝影系統設計圖

圖 6-4 無人飛行載具搭載自製多相機組合雲台

五台多相機組合雲台可同時獲取對地垂直拍攝及對地四個方位各 45 度角拍攝之傾斜攝影，此設計主要用於解決建物密集地區，要進行精密三維建模計算時，因影像拍攝容易受到建築物高度影響，導致航片覆蓋率不足之問題。另外加上四方向傾斜攝影可補足建築物側面資訊不足之問題，完成較完美之三維建模。

6.2.2.3 拍攝覆蓋率

多相機組合雲台主要取得建築物側面資訊，本研究中採用之多相機組合雲台傾角為 45 度，在各角度下所拍攝之影像進行重疊時皆會相互覆蓋如圖 6-5 所示。

(a) 傾斜攝影成像方式　　(b) 拍攝照片覆蓋率

圖 6-5 拍攝覆蓋率示意圖

6.2.2.4 點雲疏化及三維重建流程

點雲疏化及三維重建流程其相關實驗流程如下圖 6-6 所示。

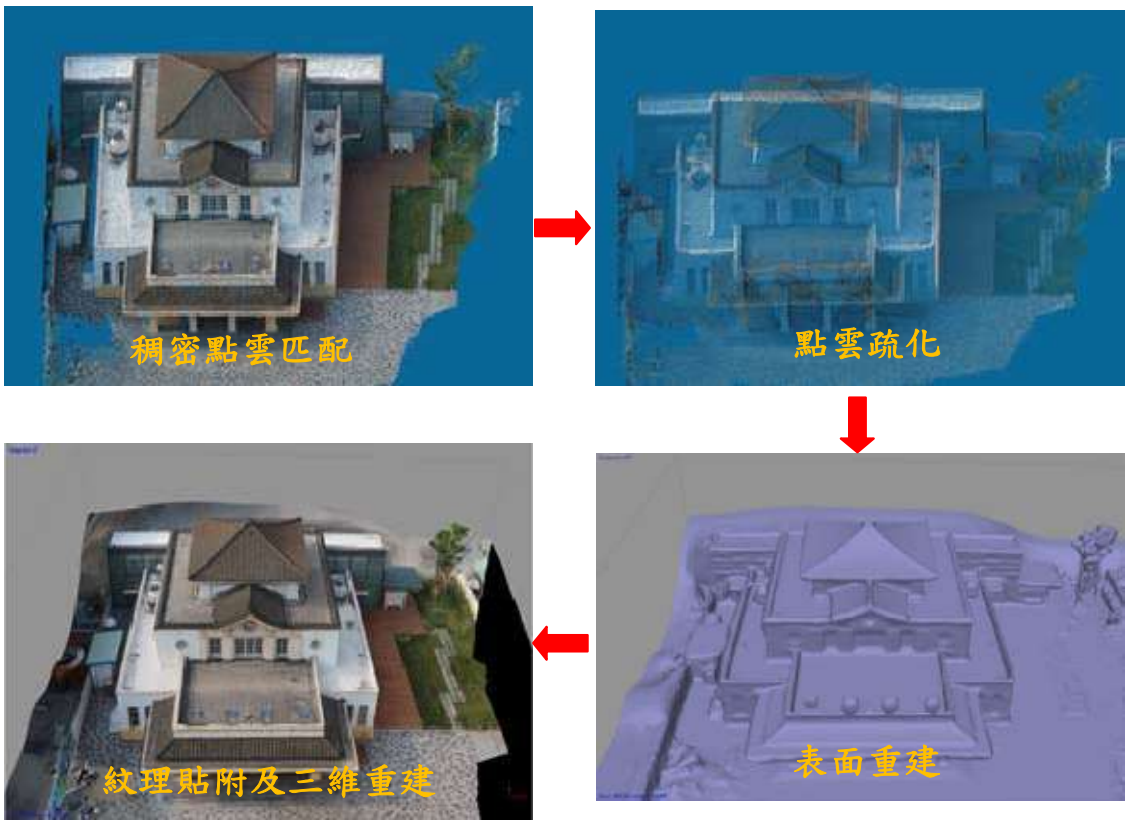


圖 6-6 點雲疏化及表面重建流程

點雲疏化於三維重建過程中扮演了不可或缺之重要地位，因首先透過稠密點雲可產製非常高密度之點雲資訊，但透過如此高稠密點雲資訊進行三維重建，會導致表面估算效率過低，以及三維重建後須更

強大硬體設備才能進行瀏覽。因此本研究中透過保留點雲邊緣方法進行點雲疏化，再透過法線估算過程重建表面，最後將紋理貼附於重建表面上完成三維重建之目的。

三維重建計算軟體部分採用 AgiSoft 公司所開發之 PhotoScan 軟體，並配合自行編寫之 Python 程式進行搭配運算。PhotoScan 軟體支援透過 Python 程式進行附加功能開發，本研究團隊分別針對傾斜攝影開發包含點雲疏化、表面三維重建、及分區塊計算方式等附加程式，主要解決 PhotoScan 軟體於此幾項不足之地方。

三維重建工作需要非常大量運算，擁有強大運算單元將可省去等待之時間，若只採用單一主機進行運算，則運算時間及效率將會降低。本團隊利用三台高階工作站進行運算主要使運算平行化，降低運算時間，因此採用多少數量工作站進行據算主要解決運算效率問題。

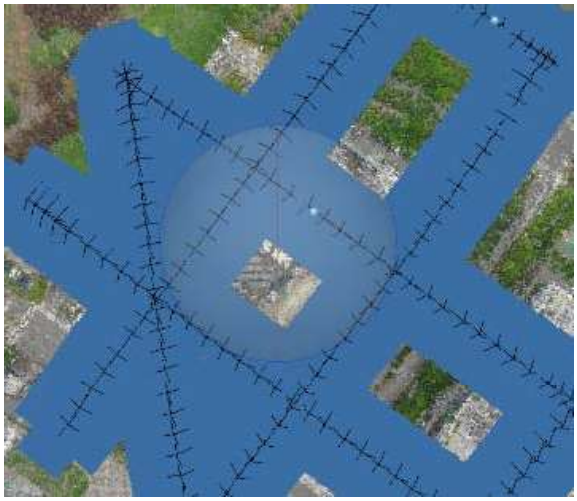
執行運算之電腦硬體環境使用 clustering computing 架構進行運算，共計採用三台工作站進行計算，各工作站硬體規格如下表 6-3：

表 6-3 影像處理硬體規格表

項目	A. HP Z620 WorkStation	B. Dell WorkStation	C. HP Z440 WorkStation
處理器	Intel Xeon E5-2620*2 (24 Core)	Intel Xeon E5620*2 (16 Core)	Intel Xeon E5-1630 V3 (8 Core)
記憶體	96GB	24GB	68GB
顯示卡	Nvidia GeForce GTX 780 Ti + Nvidia Quadro 2000	Nvidia Quadro 4000	Nvidia Quadro 200
作業系統	Windows 10	Linux ubuntu 15.04	Windows 10

6.2.2.5 實驗步驟程序

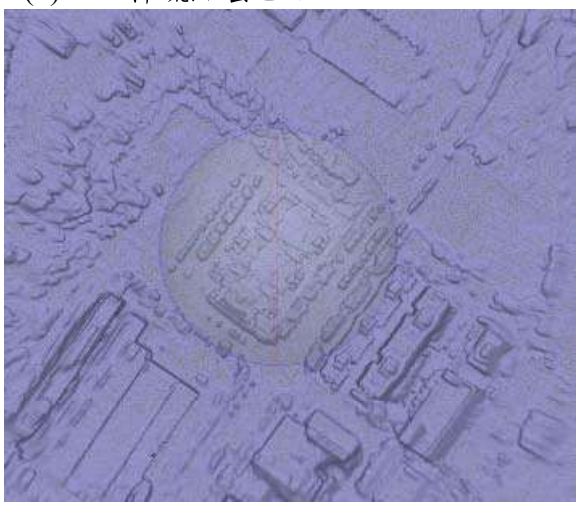
依據上述相關硬體設備，規劃簡易實驗場，透過高密度拍攝及上述方式，期能完成建築物三維建模之目的。相關實驗步驟依序進行實驗區拍攝、SfM 疏密點雲匹配、稠密點雲匹配、表面重建及表面紋理貼附，其相關步驟如圖 6-7 所示，三維重建紋理貼附如圖 6-8 所示。



(a)實驗拍攝路徑

(b)SfM 稀疏點雲匹配

(c)稠密點雲匹配



(d)表面重建

圖 6-7 傾斜攝影三維重建步驟

圖 6-8 實驗步驟模型產製成果

第三節 航拍測試及影像處理作業

本實驗選定台中歌劇院周圍作為實驗示範區，實驗範圍如圖 6-13 所示，紫色為實驗範圍，紅色為多旋翼型 UAS 拍攝路徑，規劃拍攝高度為 230 公尺，拍攝地面解析度為 6 公分/像素，總拍攝面積約為 1.16 平方公里，拍攝採用前述自行研發之多相機組合雲台進行拍攝，共計拍攝 4 航次，獲取 2369 張相片。

圖 6-9 實驗區範圍圖

由所有拍攝的影像中，經篩選後實際進行三維建模的相片總數為 1043 張。各拍攝方向所使用照片數量為：南北航向－相片數 239 張、東西航向－相片數 235 張、僅垂直角度正射相片數量 95 張、多相機傾斜拍攝相片數量 474 張，詳細資訊如圖 6-10。

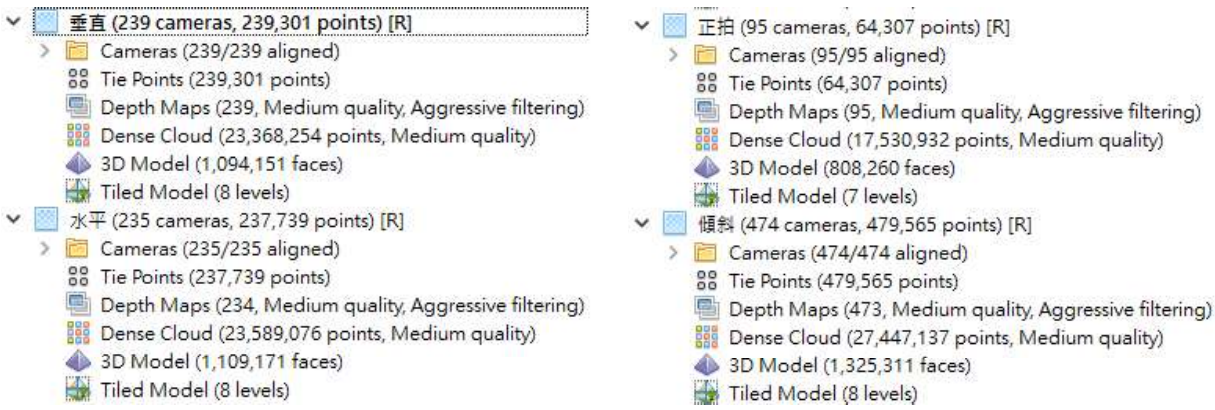
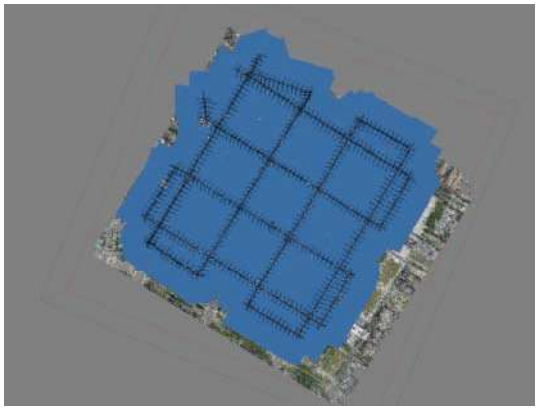


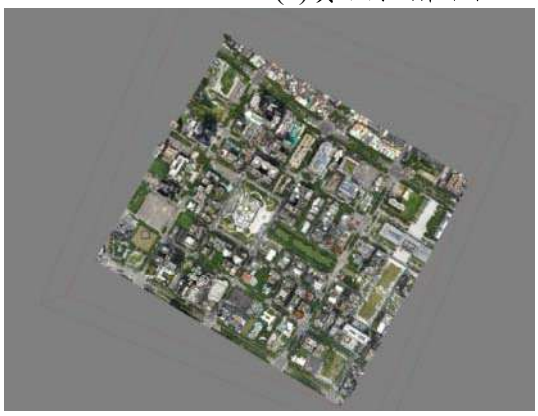
圖 6-10 用於建模影像詳細資訊

相機率定部分依據 4 航次五顆鏡頭分別進行自率定，三維重建流程如圖 6-11 所示，依序完成航線計算、稀疏點雲匹配、稠密點雲匹配、點雲疏化、表面重建最後完成模型表面紋理重建等步驟。

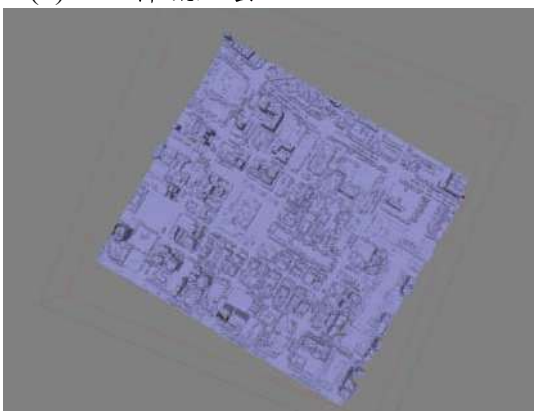


(a)實驗拍攝路徑

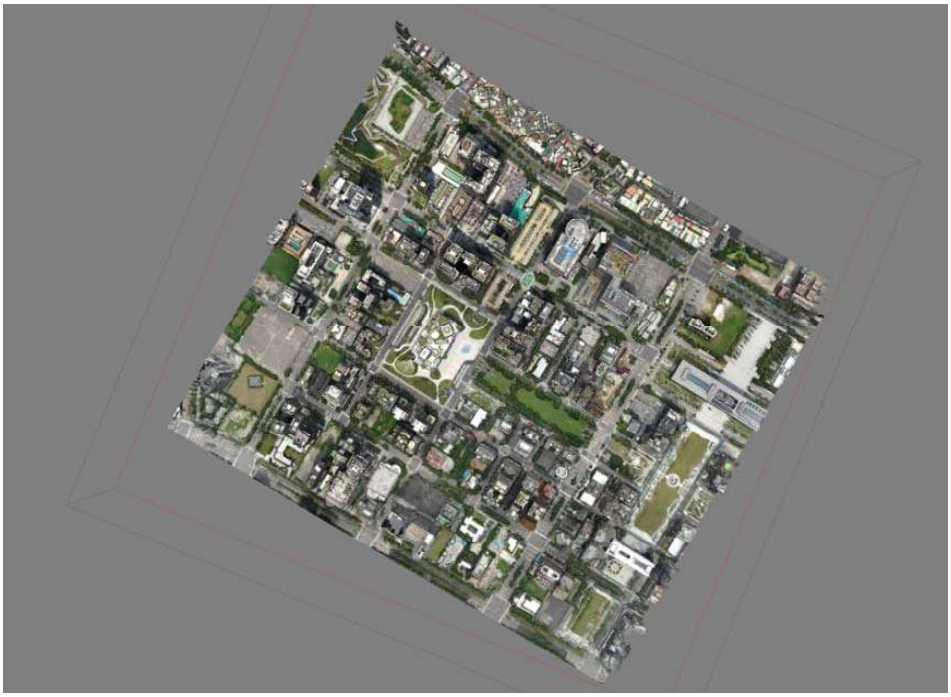
(b)SfM 稀疏點雲匹配



(c)稠密點雲匹配



(d)表面重建

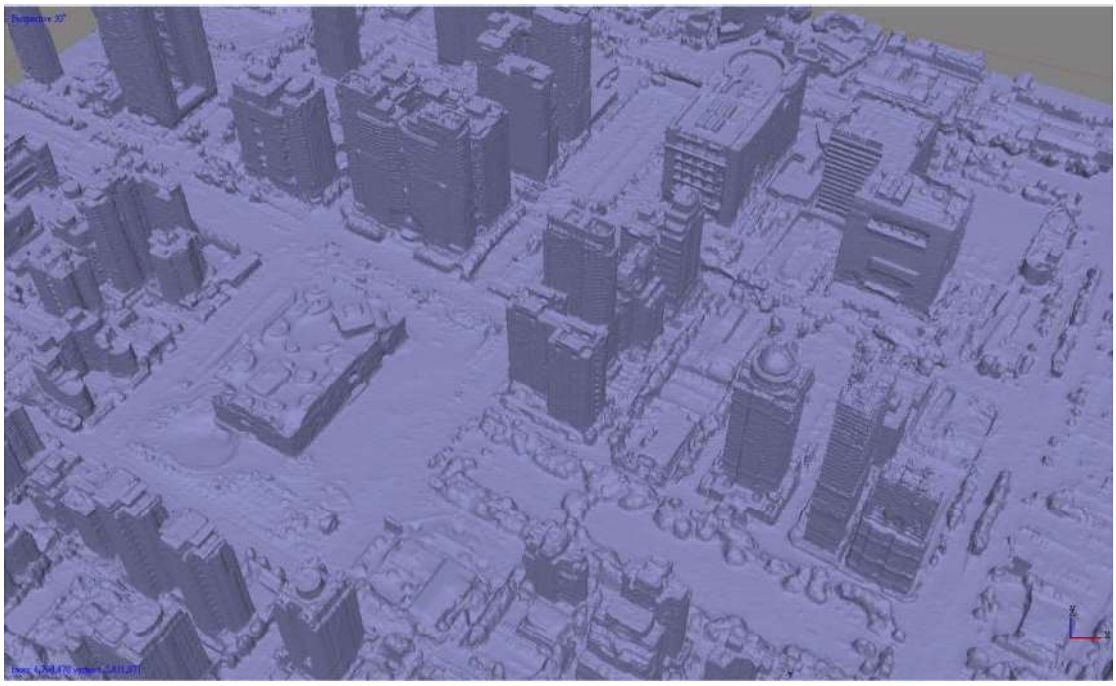


(e)三維重建成果

圖 6-11 實驗程序介紹

傾斜攝影三維重建成果如圖 6-12~圖 6-15 所示。三維建模成果總計產生 1,325,311 個組合面。依成果顯示，透過傾斜攝影拍攝方式，可提高建築物側面資訊，並透過點雲疏化動作，可順利降低表面三維資訊，讓三維建模瀏覽速度可以有所提升。

(a)視角 1 稠密點雲



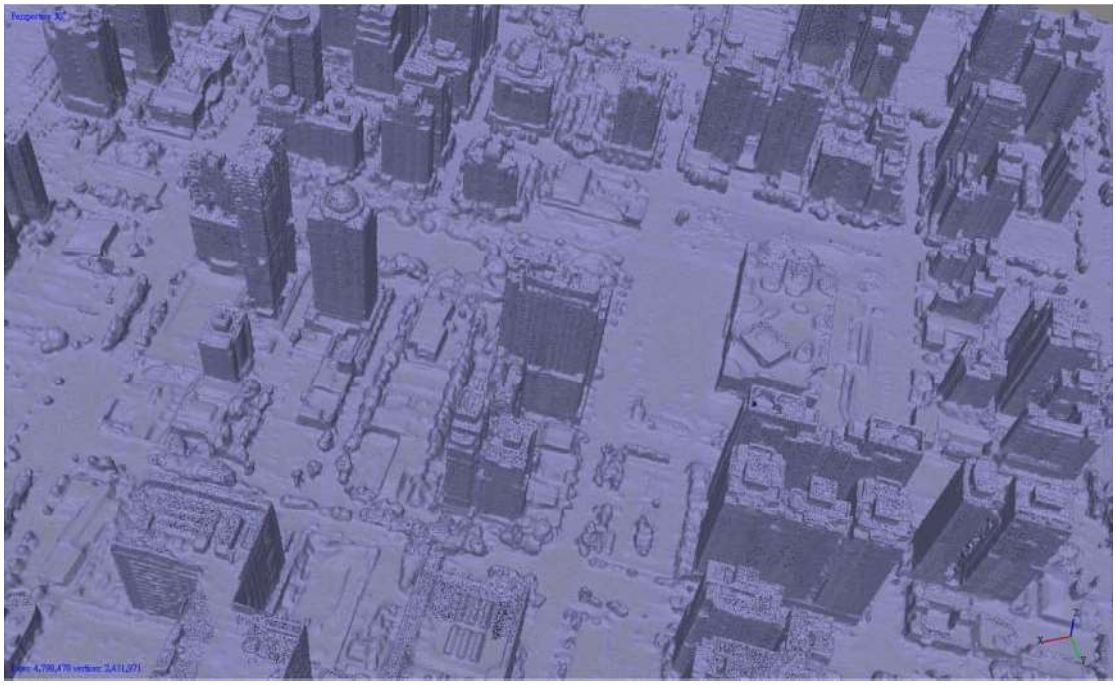
(b)視角 1 表面模型重建

(c)視角 1 表面模型顏色貼附

(d)視角 1 表面模型紋理貼附

圖 6-12 台中歌劇院三維重建模型(視角 1)

(a)視角 2 稠密點雲



(b)視角 2 表面模型重建

(c)視角 2 表面模型紋理貼附

圖 6-13 台中歌劇院三維重建模型(視角 2)

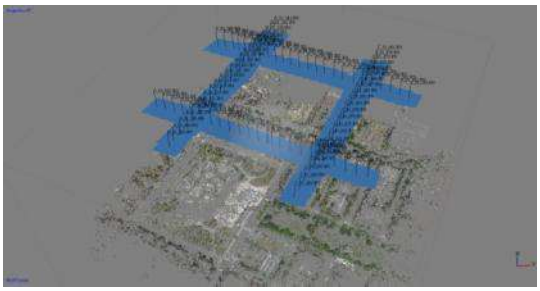
圖 6-14 台中歌劇院三維重建模型(視角 3 表面模型紋理貼附)

圖 6-15 台中歌劇院三維重建模型(視角 4 表面模型紋理貼附)

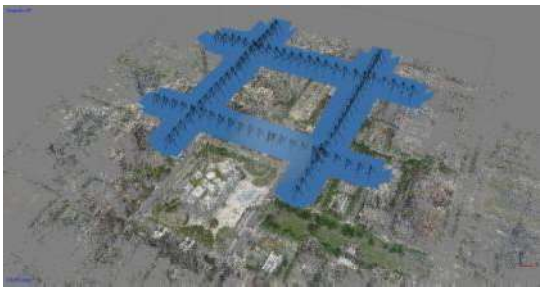
第四節 成果比較及分析

6.4.1 單相機(正拍)及多相機(正拍+傾斜)效率比較

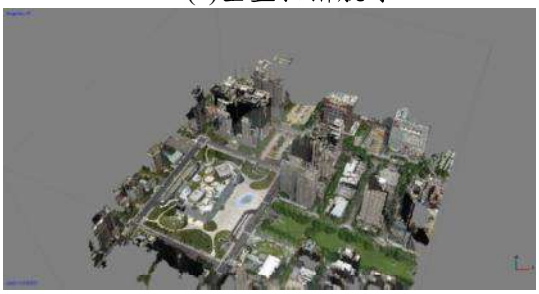
本節比較僅使用單相機（正拍）及運用多相機拍攝傾斜影像之成果，首先一樣使用交叉方式進行航線計算，但僅保留正拍之相片，共計採用 95 張相片進行三維重建，另外再採使用傾斜方式進行拍攝進行探討，傾斜攝影共計採用 474 張相片進行三維建模，正拍與傾斜拍攝比較如下圖 6-16 步驟。



(a)垂直拍攝航線

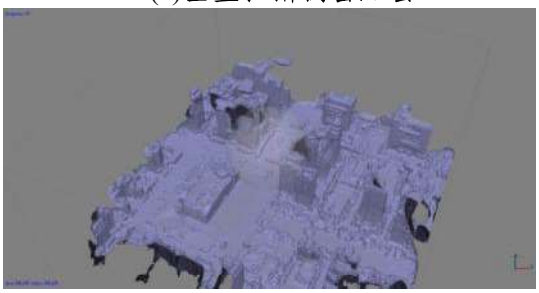


(b)傾斜拍攝航線

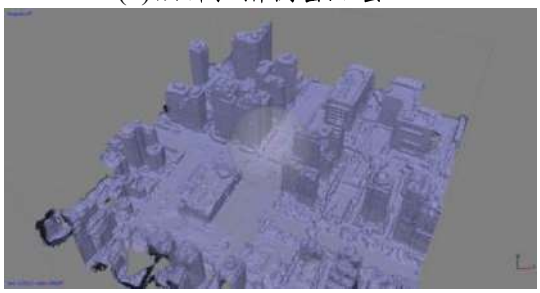


(c)垂直拍攝稠密點雲

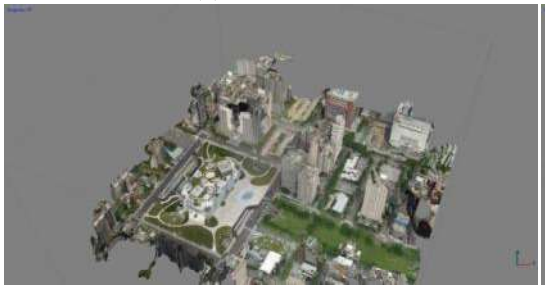
(d)傾斜拍攝稠密點雲



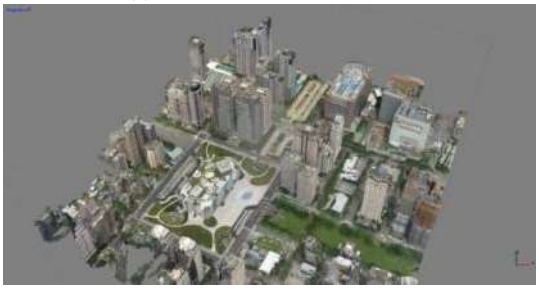
(e)垂直拍攝 Mesh



(f)傾斜拍攝 Mesh

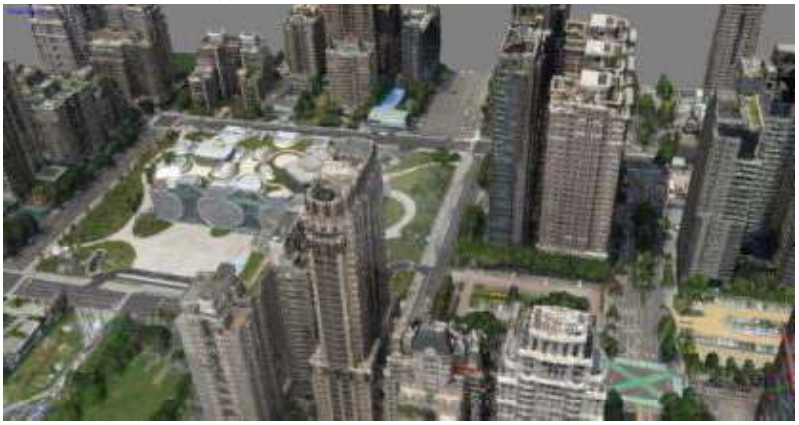


(g)垂直拍攝模型重建



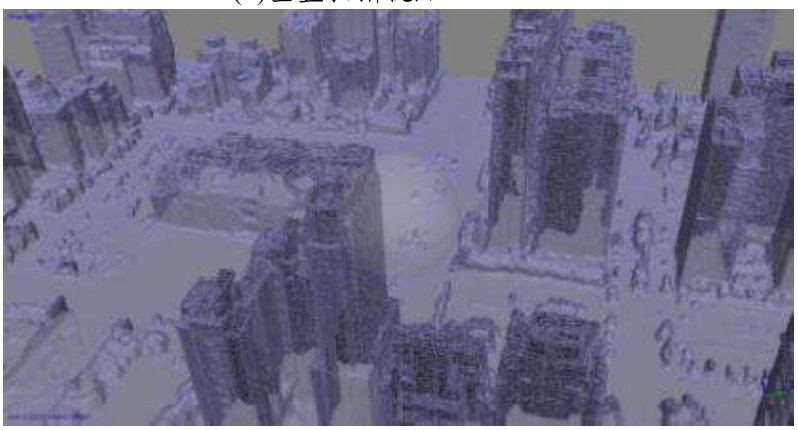
(h)傾斜拍攝模型重建

(i)垂直拍攝視點 1　稠密點雲



(j)傾斜拍攝視點 1　稠密點雲

(k)垂直拍攝視點 1　Mesh



(l)傾斜拍攝視點 1　Mesh

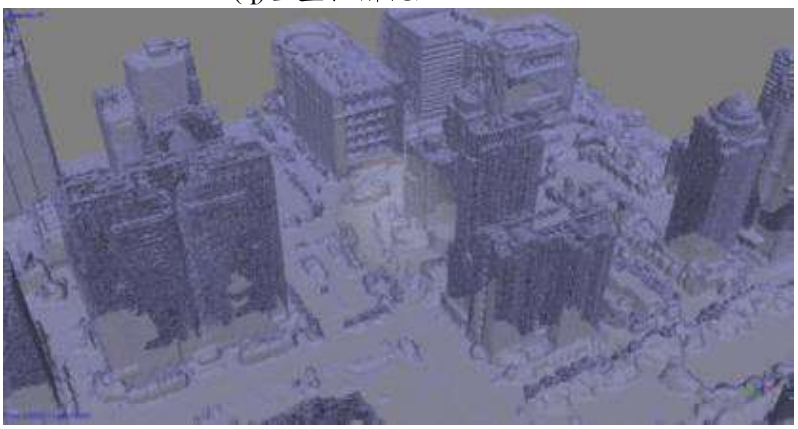
(m)垂直拍攝視點 1　模型重建

(n)傾斜拍攝視點 1　模型重建

(o)垂直拍攝視點 2　稠密點雲

(p)傾斜拍攝視點 2　稠密點雲

(q)垂直拍攝視點 2　Mesh



(r)傾斜拍攝視點 2　Mesh

(s)垂直拍攝視點 2　模型重建

(t)傾斜拍攝視點 2　模型重建

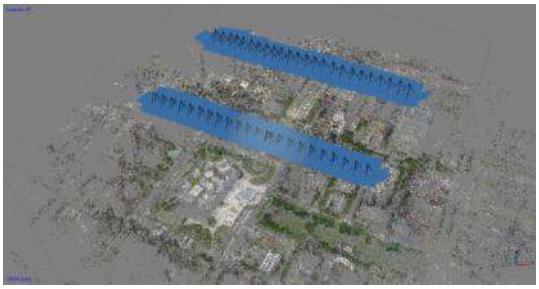
圖 6-16 正拍與傾斜攝影建模拍攝成果比較

依據上述成果比較，僅使用單相機（正射拍攝）拍攝因建物高差位移之影響，因此更難取得側面資訊，導致稠密點雲重建上，側面資訊有許多喪失。僅使用單相機正射拍攝所產出之模型，其產生組合面數僅有 808,260 個面，若以多相機組合雲台拍攝（產出組合 1,325,311 個面）為作為比較依據，單一正射拍攝所產出之模型完整度僅為多相機組合雲台拍攝之 60.99%

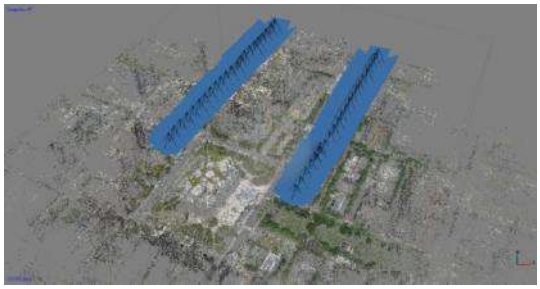
因此建築物側面資訊將無法有效進行重建，於重建的模型影像上可看到有大量明顯的黑色破碎（紅線標註）區域。反觀傾斜攝影組合因可大量獲取側面資訊，對於建築物三維重建上會有較佳之表現成果。

6.4.2 不同航向在建模效率或成果紋理貼圖提升程度分析

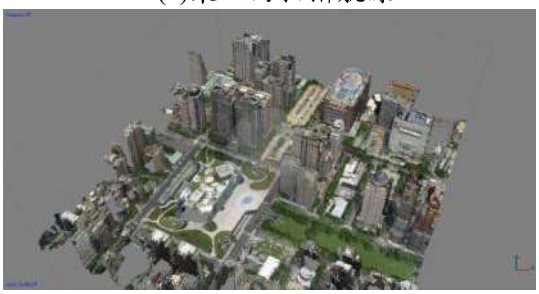
6.3 節所完成的三維建模是採用井字型（南北向+東西向）交叉航線飛行，主要為取得建築物各方向不同覆蓋率之有效影像，提高模型完整度，但井字型航線為單一航向之 2 倍作業時間。本節將針對僅採用東西向或南北向單一航向傾斜攝影建模進行比較，其建模步驟如下圖 6-17。



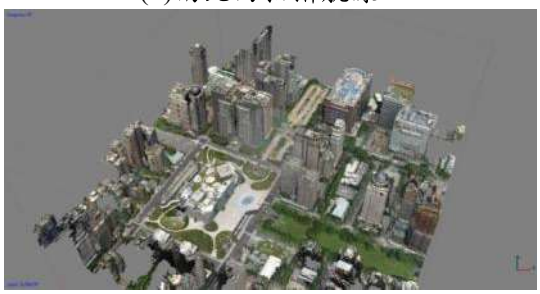
(a)東西向拍攝航線



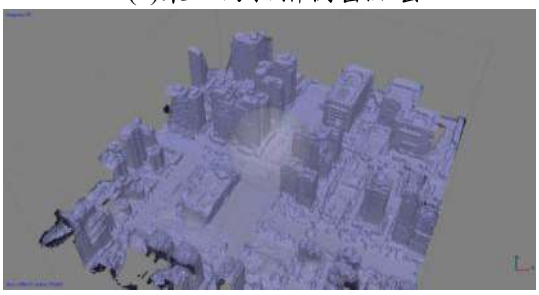
(b)南北向拍攝航線



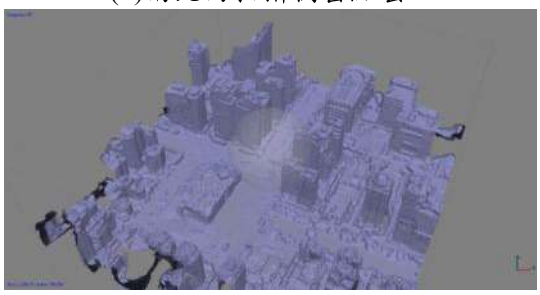
(c)東西向拍攝稠密點雲



(d)南北向拍攝稠密點雲

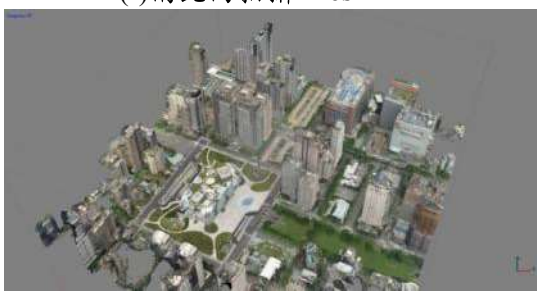


(e)東西向拍攝 Mesh

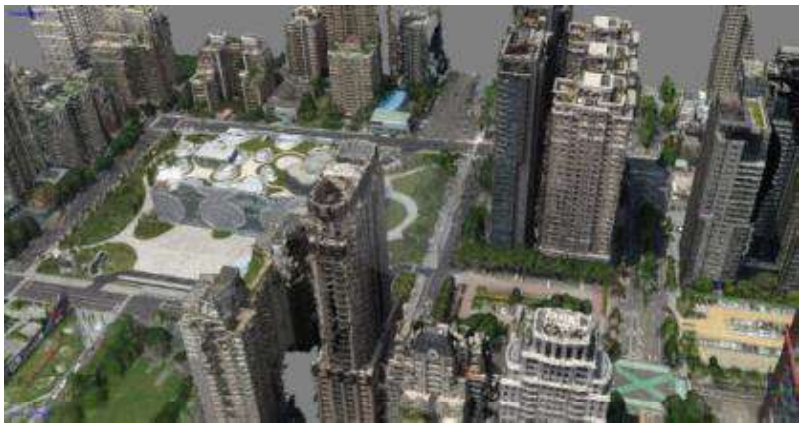


(f)南北向拍攝 Mesh

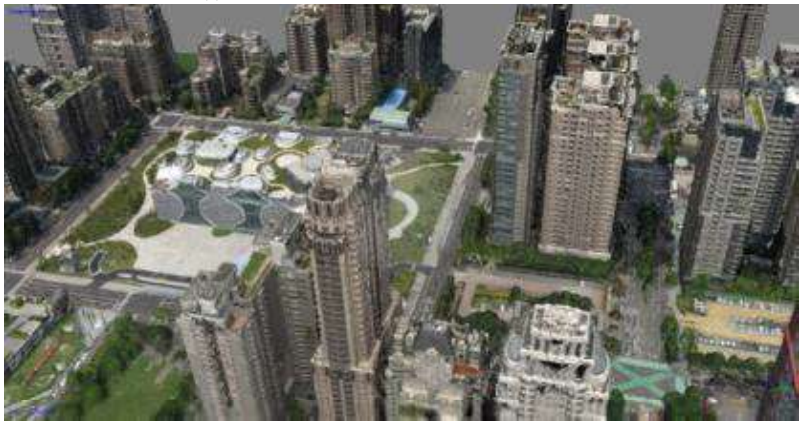
(g)東西向拍攝模型重建



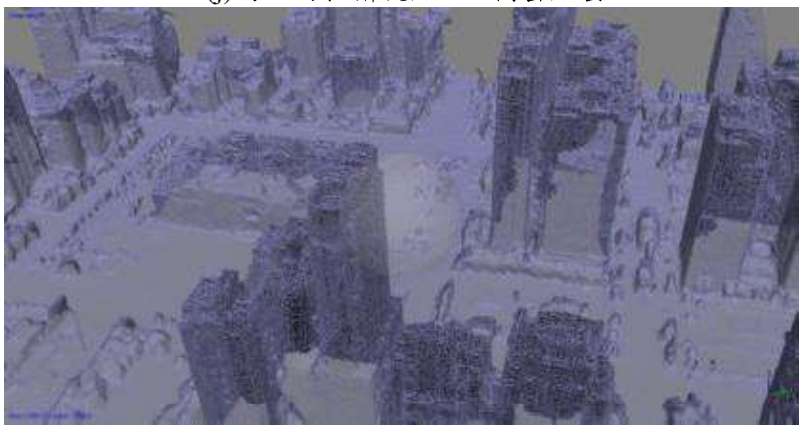
(h)南北向拍攝模型重建



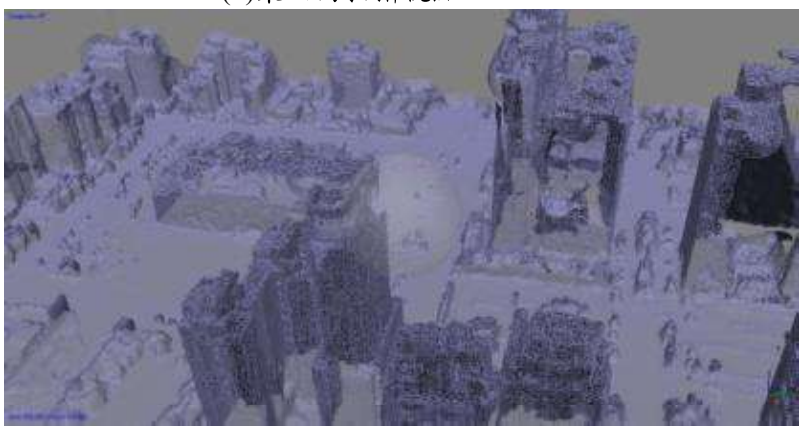
(i)東西向拍攝視點 1　稠密點雲



(j)南北向拍攝視點 1　稠密點雲



(k)東西向拍攝視點 1　Mesh



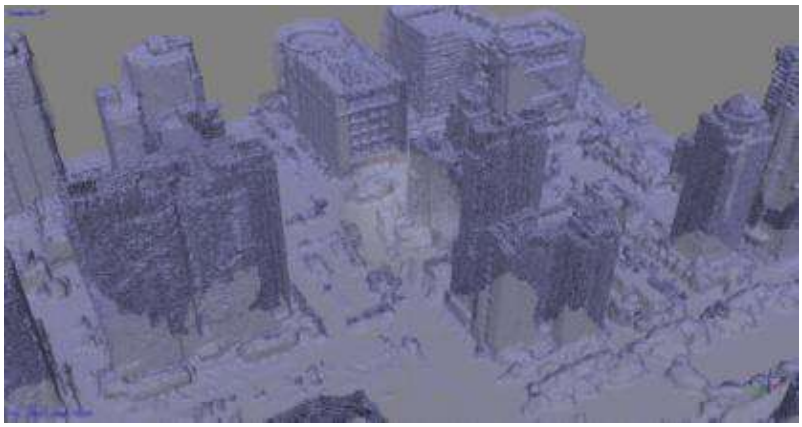
(l)南北向拍攝視點 1　Mesh

(m)東西向拍攝視點 1　模型重建

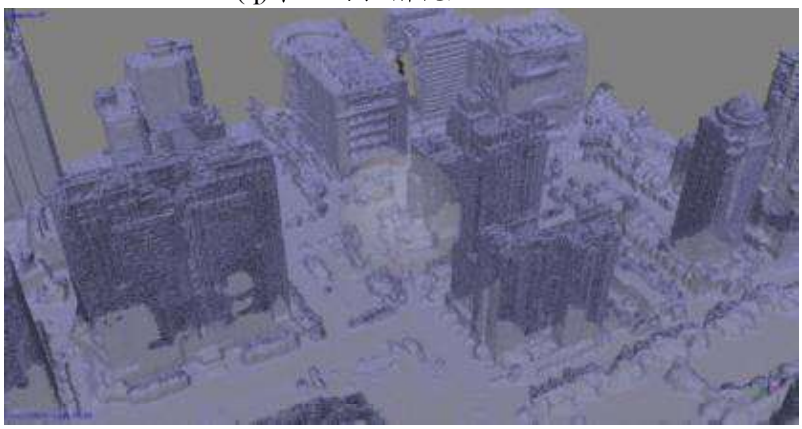
(n)南北向拍攝視點 1　模型重建

(o)東西向拍攝視點 2　稠密點雲

(p)南北向拍攝視點 2　稠密點雲



(q)東西向拍攝視點 2Mesh



(r)南北向拍攝視點 2Mesh

(s)東西向拍攝視點 2 模型重建

(t)南北向拍攝視點 2 模型重建

圖 6-17 東西向與南北向傾斜攝影建模拍攝成果比較

經上述成果照片顯示，僅採用南北向或東西向的單一航向影像，所進行傾斜攝影三維建模成果差異不大。比較建模成果數據，南北航向拍攝所產製模型，共計產生組合 1,094,151 個面，東西航向拍攝所產製模型，共計產生組合 1,109,171 個面，兩個航向的拍攝建模成果比較，差異僅 1.3%。

若以井字型航線拍攝共計產出組合 1,325,311 個面作為依據，使用南北航向產製之模型完整度約為 82.56%，東西航向產製之模型完整度約為 83.69%。其完整度在視覺呈現上已差異不大，但仍僅有少數部分因拍攝角度關係，覆蓋率不足而導致表面模型重建依然有少數空洞的現象發生。因此在建物密集區預，若要完成精密建模，在作業時間允許下，仍建議井字型交叉航向飛行方可達到最佳建模之成效。

6.4.3 UAS 結合 MMS 測量車影像整合產製三維模型研究

本項目針對整合自空中及地面等不同拍攝角度之影像資料進行產製 3D 影像模型研究。所使用的地面影像為本團隊自有之 MMS 測繪車所裝載的工業相機，蒐集本次實驗區台中歌劇院周邊的道路街景。作業路線位於臺中國家歌劇院周圍道路，於 104 年 10 月 11 日進行外業拍攝，總計拍攝路線長約 7.516 公里，作業範圍分別如圖 6-18。

圖 6-18 街景資料蒐集範圍

透過本團隊自行開發工具針對每 10 公尺擷取影像並進行 JPEG 格式轉換，影像解析度為 3200 萬畫素(寬 8000×高 4000)，作業軌跡分別如圖 6-19 所示，以街景資料影像資訊進行中繼資料製作及建立影像位置連結，包含影像檔名、三維坐標、拍攝日期及拍攝時間，並轉為 SHP 格式自動生成 DBF 檔案(如圖 6-19)。

圖 6-19 街景資料軌跡

Shape *	ID	image	X	Y	Z	date	time
Point ZM	1	ladybug_panoramic_000032.jpg	169931.39	2544737.292	27.6	104/11/17	12:32:42
Point ZM	2	ladybug_panoramic_000050.jpg	169935.487	2544727.007	27.7	104/11/17	12:32:46
Point ZM	3	ladybug_panoramic_000071.jpg	169934.195	2544718.709	27.4	104/11/17	12:32:50
Point ZM	4	ladybug_panoramic_000158.jpg	169932.763	2544709.728	27.7	104/11/17	12:33:7
Point ZM	5	ladybug_panoramic_000182.jpg	169930.329	2544698.759	27	104/11/17	12:33:12
Point ZM	6	ladybug_panoramic_000206.jpg	169931.946	2544688.155	26.5	104/11/17	12:33:17
Point ZM	7	ladybug_panoramic_000216.jpg	169939.462	2544684.442	26.1	104/11/17	12:33:19
Point ZM	8	ladybug_panoramic_000227.jpg	169951.39	2544681.591	24.8	104/11/17	12:33:21
Point ZM	9	ladybug_panoramic_000232.jpg	169961.581	2544679.783	23.6	104/11/17	12:33:22
Point ZM	10	ladybug_panoramic_000237.jpg	169968.921	2544678.452	23.1	104/11/17	12:33:23
Point ZM	11	ladybug_panoramic_000245.jpg	169980.547	2544676.451	22.1	104/11/17	12:33:25
Point ZM	12	ladybug_panoramic_000250.jpg	169988.621	2544675.061	21.5	104/11/17	12:33:26
Point ZM	13	ladybug_panoramic_000258.jpg	169402.635	2544672.272	21.7	104/11/17	12:33:28
Point ZM	14	ladybug_panoramic_000264.jpg	169409.308	2544670.926	21.8	104/11/17	12:33:29
Point ZM	15	ladybug_panoramic_000275.jpg	169417.481	2544668.723	21.7	104/11/17	12:33:31
Point ZM	16	ladybug_panoramic_000505.jpg	169425.743	2544667.239	23.3	104/11/17	12:34:17
Point ZM	17	ladybug_panoramic_000541.jpg	169436.142	2544665.909	23.2	104/11/17	12:34:24
Point ZM	18	ladybug_panoramic_000552.jpg	169450.31	2544663.36	24.5	104/11/17	12:34:26
Point ZM	19	ladybug_panoramic_000557.jpg	169456.694	2544662.182	24.7	104/11/17	12:34:27
Point ZM	20	ladybug_panoramic_000565.jpg	169466.441	2544660.302	25.1	104/11/17	12:34:29
Point ZM	21	ladybug_panoramic_000573.jpg	169477.041	2544658.233	25.6	104/11/17	12:34:30
Point ZM	22	ladybug_panoramic_000578.jpg	169485.336	2544656.491	25.7	104/11/17	12:34:31
Point ZM	23	ladybug_panoramic_000586.jpg	169499.962	2544653.386	25.6	104/11/17	12:34:33
Point ZM	24	ladybug_panoramic_000589.jpg	169505.39	2544652.268	25.6	104/11/17	12:34:33
Point ZM	25	ladybug_panoramic_000594.jpg	169516.45	2544649.957	25.7	104/11/17	12:34:34
Point ZM	26	ladybug_panoramic_000599.jpg	169532.68	2544646.307	25.9	104/11/17	12:34:36

圖 6-20 街景影像中繼資料

分析測試結果發現 MMS 街景車拍攝容易受到道路上，車輛、行人、行道樹等影像，導致拍攝之街景於目標區有所遮蔽，另於照片上半部容易受到光罩影響，會有相片輻射品質不佳的現象發生(過白、曝光過度)，因此解算效果會更不佳。

同時本次地面 MMS 相片共計拍攝 7 千餘張，依此這麼大量之計算量，若要與空中合併進行計算，總計算量會非常大，後續將規畫於地面明顯之處規劃、施測控制點，透過此控制點可以用來合併 UAS 與 MMS 相片，讓計算量可以再降低。

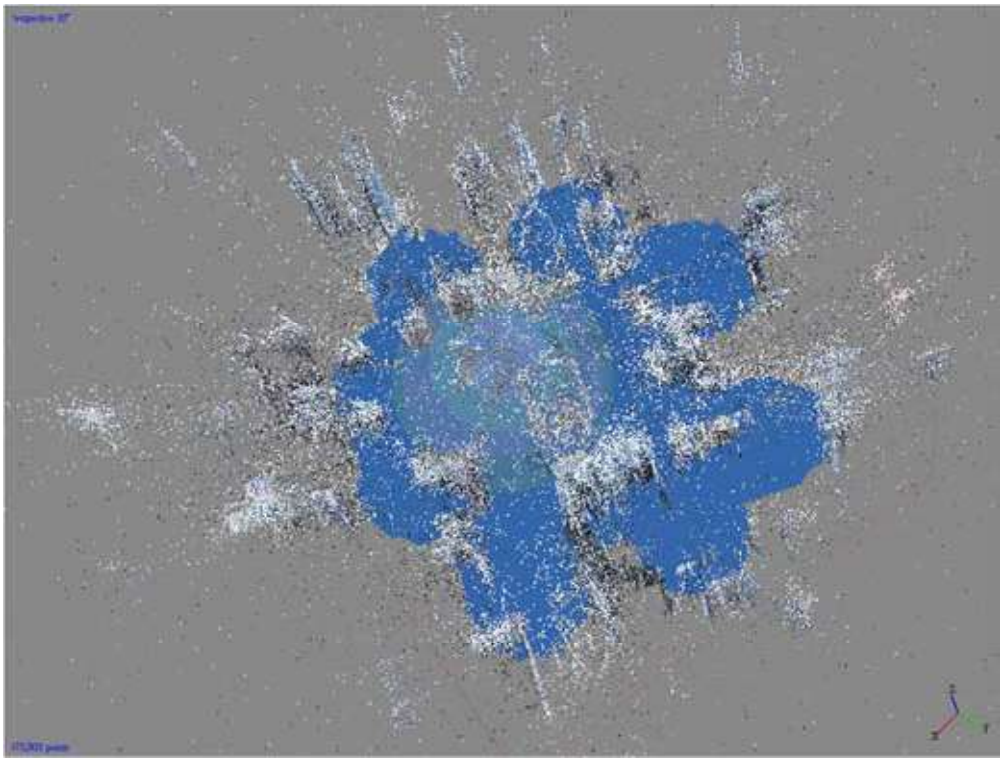


圖 6-21 SfM 方法解算 MMS 相片成果示意圖

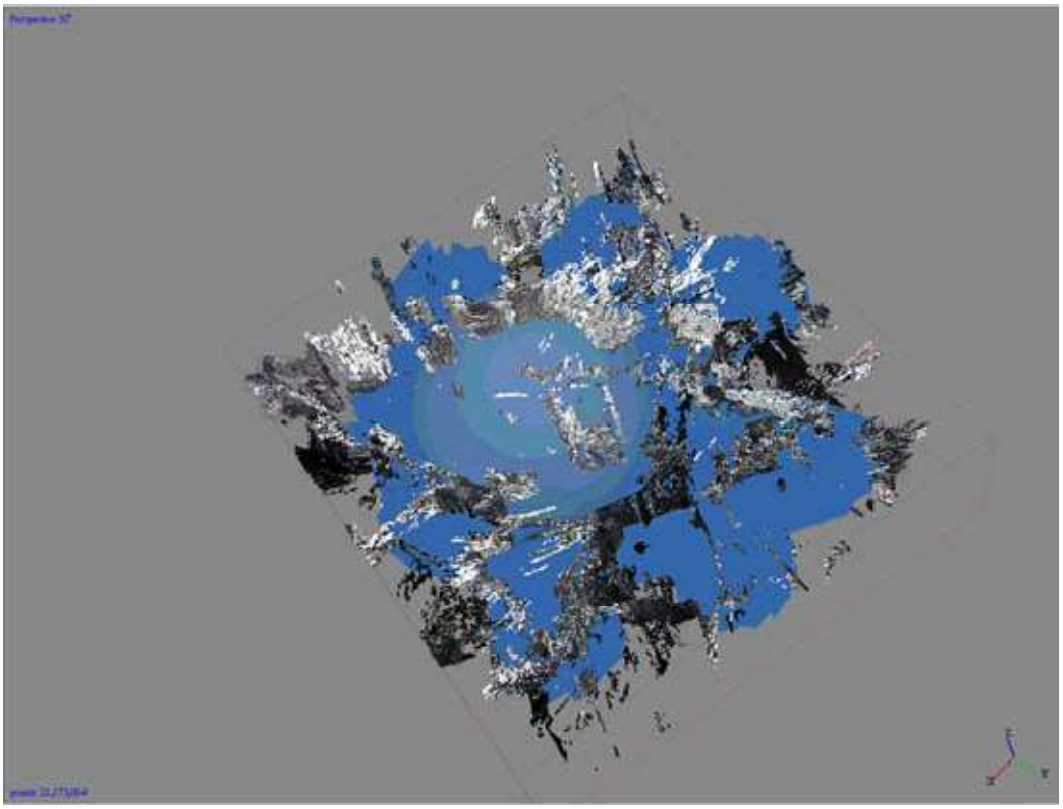


圖 6-22 稠密點雲匹配失敗

圖 6-23 稠密點雲匹配失敗(放大截圖)

如圖 6-21~圖 6-23 所示，由於 MMS 街景車進行 SfM 解算外方位參數時，受到地面干擾(行人、車輛、行道樹等)影響，以致三維重建點雲資料重建失敗，後續研究建議可透過修改 MMS 攝影機角度，以立體對的方式進行拍攝，並透過 SLAM 相關演算法，對 MMS 所拍攝相片進行初步定位及基本三維重建，以此資料作為後續 SfM 初始值，讓 SfM 求解可以更精確。後續欲改善 UAS 結合 MMS 測量車影像匹配失敗的問題，規畫出以下幾點改善方向：

1. 改用高速攝影鏡頭替代現行攝影機模組:

街景車於地面拍攝，車行速度容易影響地面拍攝覆蓋率，使用錄影方式替代拍照方式可大幅提高覆蓋率。

2. MMS 拍攝角度須重新設計:

依據多視立體視覺三維重建技術而言，容許寬基線拍攝，但多角度寬基線對於匹配而言難度較高，本研究建議後續可透過單方向立體對之方式進行拍攝，期能於每個方向至少有一組可用之立體以完成三維重建。

3. UAS 配合 MMS 建模方式需加布設地面控制點:

依據本次實驗的經驗，要將 MMS 與 UAS 專案以直接匹配方式合併解算之難度較高，因此後續研究可針對空中專案單獨建模，地面專案單獨建模，再透過地面控制點進行模型接合。

第五節 小結

傾斜攝影部分主要目的在於取得建築物側面資訊，所以製作時效上需要花費較多時間，因此如果用於緊急救災上面時效性可能會較難以滿足。另於本次測試區範圍臺中歌劇院為例，因拍攝週邊的建築物屬於較高之建築物，因此本次拍攝採用五相機組進行拍攝，並採用更高密度方式進行拍攝，拍攝耗費時間約為 2 小時，三維重建時間約 2 天(48 小時)，並採用叢集方法進行分散式計算，共計使用三台工作站進行計算，產出成果包含三維點雲資料、三維建物模型及真正射影像。

在比較多相機傾斜攝影與原有僅有單一正射角度拍攝，以及不同航向傾斜拍攝的方式的比較。若將井字型航線，以五鏡頭拍攝為最佳組合面數為依據，三維重建成果共計產出組合 1,325,311 個面。僅採用正射拍攝之重建共計產出組合 808,260 個面，比較可知僅採用正拍拍攝的完整度，約為多相機組合雲台井字型航線完整拍攝之60.99%。於重建的模型影像上可看到有大量明顯的破碎區域，無法有效進行重建建築物側面資訊。

而南北航向傾斜攝影拍攝共計產出組合 1,094,151 個面，東西航向傾斜攝影拍攝共計產出組合 1,109,171 個面，南北航向的完整度約為 82.56%，東西航向的完整度約為 83.69%。其完整度在視覺呈現上已差異不大，僅有少數部分因拍攝角度關係，有些許破碎。由此可知，多相機組合雲台拍攝的確可以取得建築物側面資訊，並建構出更多三維計算面。

總結以上分析結果，製作傾斜攝影三維建模的方式若僅飛行東西方向或南北方向，其拍攝相片數量將可降低一半，計算時間也可減半，但成果仍有 8 成以上完整度。但如上述實驗可得，若建築物拍攝時因拍攝位置，導致無法順利取得該建築物側面資料，也會影像三維建模之成效，因此本研究中建議於高密度高樓層範圍仍然採用井字型拍攝方式，若建築物較低之範圍，則可採單一航向進行拍攝即可完成高精密模型建置。

圖 6-24 為本團隊於挑選建築物較低的測試區（花蓮地區），採用單一航向拍攝建模之測試成果，就視覺呈現上其完整度已幾乎沒有破碎情形。

圖 6-24 單一航向較低建築三維建模成果示意

本次研究所開發傾斜攝影系統是採用 Sony QX10 相機進行改裝，該相機為 Sony 入門型數位相機，因此相機功能不多，也無法調整成固定焦距拍攝，後續可採用本研究團隊中提出之另三鏡頭傾斜攝影方式，該攝影鏡頭採用 Sony QX1 數位相機，該數位相機可搭載 Sony E mount 鏡頭，機身架構為單眼相機，可設定手動對焦，自動對焦，拍攝快門速度等功能，COMS 採用 APS-C 大小，可取得更加畫質，後續將採用此鏡頭進行測試，期待於拍攝數量及拍攝畫質可取得更佳之

效果，也可對三維重建成果獲取更佳之成效，本研究團隊所設計三顆傾斜攝影架構如下圖 6-25 所示。

圖 6-25 三顆傾斜攝影相機架構設計示意

第柒章　結論與檢討建議

第一節 結論

本案自 104 年 2 月 26 日起開始執行，至 10 月 24 日提交第 4 階段作業成果，全案共計執行 240 個日曆天，並完成以下各項工作項目：

- 執行 UAS 航拍及影像處理作業總計 11 區，總計面積達 6450 公頃以上，並製作詮釋資料與鑲嵌影像。
- 執行 GNSS 與 IMU 設備機電整合優化作業。
- 進行多相機組合雲台研究測試。
- 配合本年度計畫航拍各項測試作業過程之實錄成果，製作展示影片。

綜整本案所完成各項工作與作業成果，歸納以下幾點結論：

一、本案總計完成 10 個區域與增購 1 區的航拍與影像處理工作，11 個航拍區均進行正射影像測製作業。作業過程中記錄各區域之原始影像、姿態紀錄資料及空拍影片等資料，並製作正射影像成果。相關成果應用於通用版電子地圖局部區域圖資更新及提供委託拍攝之政府機關臺南市政府地政局以辦理特定區域國土監測等，達成提升圖資更新效率及增進政府機關橫向協調聯繫等成果效益。在正射影像測製作業部分區域，其中 4 個小區域的航拍作業（如高雄氣爆災區復原情況）依航拍區性質採用旋翼型 UAS 辦理，以簡化申請流程並提升作業效率。

本團隊執行 104 年度 UAS 測繪作業，完成約 6450 公頃面積之航拍作業，UAS 飛航時數總計達 10 小時以上，航拍期間無發生任何失事或重大意外情形，在任務執行安全度上連續 3 年保持良好安全紀錄。

二、本案研究完成 GNSS 與 IMU 設備機電整合優化工作，所設計之 UAS POS 酬載可以利用載波相位觀測量之提供差分動態定位軌跡亦具備精確的相機訊號驅動功能，進行資料的解算。成果顯示

當飛行高度為 300 公尺時，三維定位精度可達到 5 公尺以內。

三、本研究進行多相機組合雲台研究測試實驗，依據多視立體視覺三維重建技術，完成規劃使用傾斜攝影方式進行三維重建之設備與流程，完成 5 相機多軸傾斜攝影雲台系統，並搭配本團隊原有之多軸飛行器，建立傾斜影像三維建模流程。採用井字型交叉航線飛行，可取得更大覆蓋率之有效影像建立建築物三維重建視覺模型。

第二節 建議

一、在極端氣候及天然災害頻仍情況下，除了重視永續發展的國土規劃必須快馬加鞭進行之外，如何迅速與有效地在災害發生期間或黃金救援時期提供近即時且有效的空間資訊對於後續的災損評估、後續人員撤離與近即時人員救援是相當重要的。

本案研究所完成之 GNSS 與 IMU 機電整合，所產出之設備主要可利用 GNSS 載波相位觀測量進行差分計算後，快速進行直接地理定位。此快速取得資料的能力與精度可應用於環境變遷監控、防救災應變、資源探測保護等各式應用上，特別是在地面控制點缺乏的森林等地區。

二、本案進行多相機組合雲台之成果，在製作傾斜攝影三維建模的方式，若僅飛行東西方向或南北方向，其拍攝相片數量將可降低一半，計算時間也可減半，但成果仍有 8 成以上完整度。建議於高密度高樓層範圍仍然採用井字型拍攝方式，若建築物密度較低之範圍，則可採單一方向進行拍攝即可完成高精密模型建置，以提高時效性。

另外今年度實驗 UAS 結合 MMS 測量車影像的測試結果相當不理想，後續研究建議可透過修改 MMS 攝影機角度，以立體對的方式進行拍攝，或可透過 SLAM 相關演算法，對 MMS 所拍攝相片進行初步定位及基本三維重建。後續研究建議可針對下面 4 個方向進行改善：1. 改用高速攝影鏡頭替代現行攝影機模組，2. MMS 拍攝角度須重新設計，3. UAS 配合 MMS 建模方式需加布

設地面控制點，4. UAS 攝影鏡頭更換為定焦鏡頭。

三、未來 UAS 酬載發展建議：國土涵蓋範圍包含陸地、海洋、領空等，陸地上之植物、湖泊、土壤等，海洋浮游物、鹽分等，領空上有大氣、懸浮粒子等多種物質，大部分物質多對可見光或紅外線光會產生特徵光譜，依照這些反射或穿透光譜反應，可以進一步進行土地利用分類調查等工作，不同波長光譜的應用特性如下表 7-1

表 7-1 不同波長光譜應用特性

可見光譜區	藍光光譜區	0.485~0.505 μm	此波段對水的穿透力強、可應用於分辨土壤和植物，海洋水色遙測
	綠光光譜區	0.505~0.550 μm	水的穿透力強、可應用於鑑別混濁水體的反射、評估植物活力、海洋水色遙測，亦可用於分辨土壤和植物
	紅光光譜區	0.620~0.760 μm	葉綠素主要吸收紅光，可用於區分植物種類與覆蓋地面的面積
紅外線光譜區	近紅外線光譜區	0.7~1.5 μm	植物之於近紅外有很強反射光譜，可區分植物類別與水體，亦可用於判斷病蟲害

因此使用 4 波段影像模組遠比傳統 RGB 三色影像模組有更多航拍取像資訊，所以若於定翼型 UAS 搭載高解析度 4 波段同步雙相機取像系統，可以進行長距離國土植生作物觀測或勘災與國土復育植生情形。後續研發本團隊建議可推動國土測繪中心與國家實驗研究院儀器科技研究中心進行合作，發展定翼型 UAS 搭載高解析度 4 波段同步雙相機取像系統(如圖 7-1)與國土資源觀測分析應用。

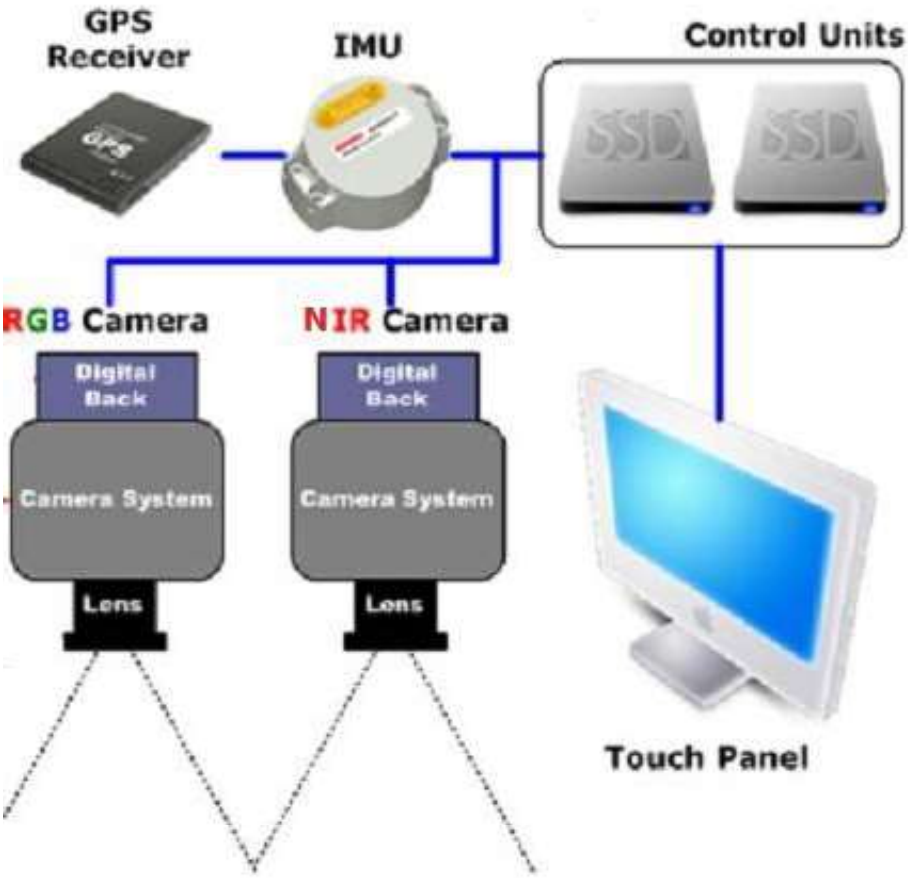


圖 7-1 具有 4 波段取像模組之無人飛行載台控制系統示意圖

參考文獻

1. Brown, R. G. and Hwang, P. Y. C., 1992, Introduction to random signals and applied Kalman filtering, John Wiley & Sons, Inc. New York.
2. Chiang, K.W., Noureldin, A. and El-Sheimy, N. (2004): A new weight updating method for INS/GPS integration architectures based on neural networks, Measurement Science and Technology 15(10): 2053-2061.
3. El-Sheimy, N. (2002): Introduction to inertial navigation, Thesis, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Alberta, Canada.
4. Ellum, C. M. and El-Sheimy, N., 2003, The Calibration of Image-Based Mobile Maping Systems, Proceedins of 6th Conference on Optical 3D Measurement Techniques, Switzerland, on CD-ROM, Sep. 22-25.
5. Fraser, C.S., and Edmundson, K.L., 2000, Design and implementation of a computational processing system for off-line digital close-range photogrammetry, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.55, pp.94-104.
6. Gelb, A., 1974, Applied Optimal Estimation, The MIT Press.
7. Mostafa, M., 2002, Camera/INS Boresigh Calibration: New Advances and Performance Analysis, in ASPRS Annual Meeting, Washington, D.C., USA.
8. Morin, K. W., 2002, Calibration of Airborne Laser Scanners, Master Degree Thesis, University of Calgary.
9. Pinto, L. and Forlani, G., 2002, A single step calibration procedure for INS/GPS in aerial photogrammetry, Photogrammetric Computer Vision, ISPRS Commission III, Graz, Austria.
10. Schenk, T., 2001, Modeling and Analyzing Systematic Errors in Airborne Laser Scanners", Technical Notes in Photogrammetry, No.19.
11. Shin, E.H., 2001, Accuracy Improvement of Low Cost INS/GPS for Land Application, (M.Sc. thesis), UCGE Report 20156, Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary, Calgary, Canada.
12. Shin, E.H., 2005, Estimation Techniques for Low Cost Inertial Navigation, UCGE Report 20219, Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary, Calgary, Canada.
13. Skaloud, J., 1999, Optimizing Georeferencing of Airborne Survey Systems by INS/DGPS, Ph.D Thesis, Geomatics Engineering, University of Calgary, Canada.
14. Börner, A. et al., Test results obtained with the LH Systems ADS40 Airborne Digital Sensor. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 33, Part B4, Amsterdam, Netherlands, 2000, pp.871-878
15. McClone, J.C.e., Mikhail, E.M.e., Bethel, J.S.e. (Editors), Manual of photogrammetry. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), Bethesda, 2004, 1151 pp.
16. Höhle, J., Photogrammetric Measurements in Oblique Aerial Images. Photogrammetric Fernekundung Geoinformation 2008 (1), 7-14.
17. Marr D., A Computational Investigation into The human Representation and Processing of Visual information, San Francisco, USA: W. H. Freeman, 1982, pp.86-156.
18. Martinec D., Pajdla T., Robust Rotation and Translation Estimation in Multiview Reconstruction, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Minneapolis, USA, 2007, pp.1-8.
19. Brown M., Lowe D. G., Unsupervised 3D Object Recognition and Reconstruction in Unordered Datasets, Proceedings of the International

Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling, Ottawa, Canada, 2005, pp.56-63.
20. Schaffalitzky F., Zisserman A., Multi-View Matching for Unordered Image Sets, or How do I Organize my Holiday Snaps?, Proceedings of the 7th European Conference on Computer Vision, Copenhagen, Denmark, 2002, pp.414-431.
21. Vergauwen M., Van Gool L., Web-Based 3D Reconstruction Service, Machine Vision and Applications, 2006, 17(6), pp.411-426.
22. Snavely N., Seitz S. M., Szeliski R., Modeling the World from Internet Photo Collections, International Journal of Computer Vision, 2008, 80(2), pp.189-210.
23. Delaunay B., Sur la sphère vide, Izvestia Akademii Nauk SSSR, Otdelenie Matematicheskikh i Estestvennykh Nauk, 1934, (7), pp.793–800.

各國法規參考資料來源

i. Transport Canada (2015). “CANADIAN AVIATION REGULATIONS ADVISORY COUNCIL (CARAC)”. May 28, 2015.
ii. Department of Transportation (2015). “Operation and Certification of Small Unmanned Aircraft Systems”. Billing Code 4910-13-P. Federal Aviation Administration. February 15, 2015.
iii. South African Civil Aviation Authorities (2011). “PROPOSAL FOR THE INSERTION OF PART 101 OF THE CIVIL AVIATION REGULATIONS”. Retrieved from: 1) http://www.dronecrew.co.za/legal , 2) https://www.google.com.tw/#q=SACAA
iv. 轻小型民用无人机系统运行暂行规定，中国民用航空局飞行标准司，2015 年 12 月(http://www.caac.gov.cn/P1/201512/P020151201595114093674.pdf)
v. Sato, Akira (2003). “Civil UAV Applications in Japan and Related Safety & Certification”. Auronautic Operations YAMAHA MOTOR CO., LTD, Shizuoka, Japan. September 2, 2003. Retrieved from: http://uvs-international.org/phocadownload/03_5ac_Relevant_Information/Applications_Civil-UAV-Applications-in-Japan.pdf
vi. Japan UAV Association (2005). “Safety Standards for Commercial-Use, Unmanned, Rotary-Wing Aircraft in Uninhabited Areas”. Japan UAV Association, January 28, 2005. Retrieved from: http://www.juav.org/menu02/juav_safety_standards.pdf

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 Georeference	直接地理定位
DGPS	Differential Global Positioning System	差分全球定位系統
DSM	Digital surface model	數值表面模型
e-GPS	e-GPS	內政部國土測繪中心建構之高精度之電子化全球衛星即時動態定位系統名稱
EO	Exterior Orientation	外方位
EP	External Pilot	外部飛行員
GCS	Ground Control Station	地面控制站，使用無線電控制與監控 UAS 的狀態
GNSS	Global Navigation Satellite System	全球導航衛星系統
GPS	Global Positioning System	全球定位系統
IMU	Inertial measurement unit	慣性測量單元
IP	Internal Pilot	內部飛行員，主要負責 UAS 之任務控制
MMS	Mobile Mapping System	移動式測繪平台
MSL	Mean Sea Level	平均海平面高
POS	Position and Orientation System	定位定向系統
RMSE	Root Mean Square Error	均方根誤差
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	無人飛行載具，指 UAS 中的空中系統
UAS	Unmanned Aircraft Systems	無人飛行載具系統，包含相關的空中、地面系統
VRS GPS	Virtual Reference Stations (VRS)	虛擬參考站

附錄

附錄一 作業計畫書審查紀錄與意見回覆表

問題與意見	回覆說明	修正頁數對照
1.報告書中「規畫」請修正為「規劃」;「多旋翼機」、「旋翼型UAS」、「旋翼型無人飛行載具」請統一用詞為「旋翼型UAS」;「Sky Arrow 55」、「天箭 55」請統一用詞;請全面檢視修正。另封面頁及各頁頁首之「工作計畫書」請修正為「作業計畫書」。	遵照工作小組意見辦理,修正全文所有用詞與文件名稱修正為作業計畫書。	全文
2.P.3,倒數第 5 行請更正為乙方語氣,如設備應由本團隊自行提供。	遵照工作小組意見辦理,修改為由本團隊提供。	P.3
3.P.7,表 2-1 內容敘述時間、航程可達某種程度以上,此種表示會讓人誤以為可以到無限大,請修正表達方式,如滯空時間最大可達 2.5 小時。	遵照工作小組意見辦理,修正表 2-1 規格表達方式。	P.7
4.P.13~14,請補充說明整合後的 POS 酬載重量如何?另相機拍攝中心的 Offset 如何求得?POS 的紀錄格式有無標準格式存取介面?圖 2-13,圖中說明文字不清晰,請修正。	1.於 P.13 補充說明整合後的酬載重量,與修正圖 2-13 說明文字。 2.相機拍攝中心的 Offset 可在室內率定場做鏡頭率定後得知。POS 的紀錄格式並無標準格式,各商用軟體大廠亦為自行制定自有格式。	P.13
5.P.15,第 1 段敘述中提到 IMU 值由外插計算而得,請再確認是外插還是內插計算。另圖 2-15 中 GPS Timemark 輸入是由飛控電腦輸入 GPS 及相機?還是由 GPS 輸出到飛控電腦及相機?請確認。	IMU 值應為內插計算求得,已修正文字誤植。 圖 2-15 之文字說明標示有誤,GPS Timemark 輸入應為 GPS 輸出至 POS 資料紀錄器,已修正圖說。	P.15

問題與意見	回覆說明	修正頁數對照
6.P.17~18，倒數第 5 行，「…多相機實驗組可達 0.5 像元」，所指為何？另平行處理可提高多相機影像處理速度但如何提高精度，請補充說明。圖 2-18 與 P22 圖 2-24，相機支架組裝不相同，何者為本案所用之支架裝備?請敘明清楚以避免混淆。另圖 2-17 與相關說明文字內容請置於同一頁。	多視立體視覺三維重建技術中，可利用多相機組進行拍攝，並於本研究團隊國立高雄應用科技大學於交通部運輸研究所之研究報告，「道路邊坡滑動自動攝影監測系統之研究」進行相關實驗驗證，透過大量地面控制點於不同相機進行拍攝，其成果證明精度均可小於 0.5 像元。另外平行處理可透過 Cluster (叢集)計算，透過多台電腦同時進行計算將可有效提高運算效率，並透過多相機組同時攝影(增加多餘觀測)將可有效提高精度。本案中將使用圖 2-18 支架設備進行拍攝。圖 2-17 說明遵照工作小組意見修正。	P.17~18
7.P.19，第 4 行，對正射糾正過程來說，需使用前期既有或產製之 DSM/DEM 進行糾正，「無法有效取得 DSM 資料」的說明有邏輯上問題，建議放在正射影像糾正過程之前說明。	以目前真正射製作流程而言，是直接透過多視立體三維重建技術獲取高密度 DSM 資料，該敘述主要描述傳統航測方法無法直接取得 DSM 資料，因此僅能製作準正射之說明，其內容遵照工作小組意見修正。	P.19
8.P.20，本案多相機架構對同一地物之正拍角度及側拍角度的影像重疊率或涵蓋率如何，請補充說明。	多相機之傾斜攝影架構，主要為了獲取建築物側面資訊，因此正拍攝角度將依據航拍規畫進行正常拍攝，傾斜攝影鏡頭將以 45 度角對地表進行拍攝，其相關覆蓋率乃屬於同一鏡頭對該航線進行覆蓋拍攝，但單一拍攝之五顆鏡頭之覆蓋率將少於	

問題與意見	回覆說明	修正頁數對照
	20%，該覆蓋率採用多視立體視覺三維重建技術重建，將採用整體相片進行解算，因此將不受單一鏡頭組覆蓋率之問題影響。	
9.P.22，SLAM、SFM 等均為英文簡稱，請補充英文全名或中文名稱。	遵照工作小組意見修正，已補充英文全名。	P.22
10.P.29~30，本案已說明將採用 Phase One IXU150 相機，惟未列出 Phase One IXU150 相機航空攝影規劃相關資訊表格，請補充。	遵照工作小組意見辦理，補充表 2-9 Phase One IXU150 相機航空攝影規劃資訊。	P.31
11.P32，圖 2-36 中有多個 PT 表，請逐一補充列於附件。	遵照工作小組意見辦理，各檢查表補充於附錄三。	附錄三
12.P33，航測控制點僅說明選點方式，未說明每一測區航測控制點究竟需要多少點、點位分布情況如何?另 e-GPS 作業方式，請修正為 e-GNSS，並請補充高程系統為何?航空標引用既有成果是否有相關檢核機制以避免引用錯誤?請補充說明。	遵照工作小組意見辦理，補充說明內容於 2.5.1 小節。	P.34~35
13.P39，圖 2-48 快速拼接處理流程圖中，降低影像解析度之步驟已於說明 1 敘述並非絕對必要，請於該圖示下方增加「(視影像數量決定)」或修正流程圖內容，並補充說明使用時機。	遵照工作小組意見，修正圖 2-48。	P.40
14.P.44，第 1 段文字內容為契約規定由本中心辦理之成果檢查項目及方式，請補充文字說明清楚，避免與團隊本身應辦理之資料檢核與品質管控	遵照工作小組意見，補充說名為國土測繪中心檢查項目，避免混淆。	P.45

問題與意見	回覆說明	修正頁數對照
作業有所混淆。		
15.P53，本計畫書提出所用到的部分軟硬體未列於表 6-1 設備表中，請查明補充。	遵照工作小組意見，補充表 6-1 內容。	P.55

附錄二 第 1 階段需求訪談會議紀錄

內政部國土測繪中心

「104 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」需求訪談會議紀錄

壹、 時間：104 年 3 月 6 日(星期五)上午 10 時

貳、 地點：地形及海洋測量課

參、 出席單位及人員：

內政部國土測繪中心	林昌鑑、林世賢、施錦揮
經緯衛星資訊股份有限公司	陳信安、詹文洲、謝佳諭

肆、 會議結論： 記錄：施錦揮

一、有關第 1 階段成果之 102 至 103 年度 UAS 正射影像詮釋資料請依本中心提供之區域進行建置。另作業計畫書內容請補充蒐集國外有關應用 UAS 於航拍及測繪業務相關法規之工作項目。

二、請評估協助其他機關航拍區域之航拍可行性並於本(104)年 3 月 10 日前將評估結果及空域申請相關資料送交本中心。

三、國家災害防救科技中心預定於本年 4 月 22 日參訪本中心，擬觀摩旋翼型 UAS 實際飛行作業，請規劃參訪日之旋翼型 UAS 航拍及快速影像處理操作流程並派員解說及操作。另請製作 103 年度應科方案成果研討會 UAS 展示海報並於 3 月 28 日前送交本中心。

四、本年度應使用國土測繪 1 號辦理總航拍面積 50%以上之航拍作業，請於執行航拍任務前完成各項地面及空中飛行測試作業，並將相關紀錄提送本中心。

五、本案請於各次航拍任務執行過程中拍攝工作過程錄影或照片。

伍、 散會：上午 11 時 30 分

內政部國土測繪中心「104 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」

需求訪談會議簽到薄

時　間：104 年 3 月 6 日(星期五)上午 10 時 00 分		
地　點：地形及海洋測量課		
主　席：林課長昌鑑		記　錄：施錦揮
出 席 人 員（單位）	職　稱	簽 到 處
經緯衛星資訊股份有限公司	專案經理	陳信宏
	專案經理	謝佳諭
	總　理	詹文洲
地形及海洋測量課	技正	林世賢
	技士	施錦揮

1

附錄三 各階段成果審查意見與回覆表

GNSS 與 IMU 機電整合優化報告審查意見回應表(104.10.08 意見)

問題與意見	回覆說明	修正頁數對照
1. P.1，第 1 段最後 1 行，「成本和生產效率已大大提升」，應指成本降低與生產效率提升，請修正說明文字。	遵照審查意見辦理，修正此段說明文字。	P.1
2. P.3，出現 IMU 與 INS，請補充全稱，如(Inertial Measurement Unit , IMU)，全文並請統一用詞。	遵照審查意見辦理，補加全稱同時全文統一用詞為 IMU。	全文
3. P.6，建議補充說明本案採用鬆耦合或緊耦合哪種模式進行研究。	遵照審查意見辦理，補充說明本案為採用緊耦合式 GNSS/IMU 整合架構	P.6
4. P. 15，圖 3-12，圖片文字不清楚，請更換。	遵照辦理，盡量提高圖片清晰度。	P.15
5. P.19，第 1 段，本案感測器應為數位相機非光達相關設備，請刪除光達相關文字。	遵照審查意見辦理，刪除光達相關文字。	P.19
6. P.21，第 3 行，「可達到全自動相機率定目的。」此處全自動意指為何？是相機率定作業可全自動進行，還是軟體可全自動解算率定參數？請補充說明。	此處為藉由率定場內可旋轉的圓盤上所設置的人造標，在依率定拍攝方式拍攝照片後，軟體可全自動解算率定參數。	P.21
7. P.23，建議補充地面控制點現地標形照片。	遵照審查意見辦理，補充圖 4-6	P.23
8. P.28，圖 4-7「屏東里港 UAS 分布圖」，應為「屏東里港 UAS 航拍相片涵蓋範圍分布圖」。	遵照審查意見辦理，修正圖 4-7 名稱。	P.25
9. P.30，表 5-1，固定臂與軸角率定成果表中，UAV 酬載空間應小於 3 公尺，y 軸率定值卻達 3.346 公尺，其原因為何？請補充說明。	Y 值方向為平行飛機飛行的方向軸，此方向的率定差值來源依研究可能是相機的快門遲滯(約數十 ms)，為相機快門機構的系統性誤差，在這幾十 ms 內，以飛機在 100km/hr 飛行時，在 Y 軸有可能造成數公尺誤差	P.30
10. P.33，第 1 行，「...原單頻 GNSS 模組...」，應指單頻 GPS，請修正。	遵照審查意見辦理，修正該段文字。	P.33

GNSS 與 IMU 機電整合優化報告審查意見回應表(104.09.03 意見)

問題與意見	回覆說明	修正頁數對照
1.報告架構建議修正如下： (1)前言 (2)GNSS 與 IMU 架構規劃與設計 (3)GNSS 與 IMU 機電整合作業過程 (4)航拍測試作業 (5)航拍資料處理 (6)成果比較與分析 (7)結論與檢討建議	遵照審查意見辦理，依建議修正報告架構與章節名稱。	全文
2.有關前言部分應針對本中心硬體進行整合並於後續規劃應用於緊急災害應變支援、圖資更新等領域進行說明，國外無人直升機酬載整合部分建議刪除。	遵照審查意見辦理，修正第一章內容，與刪除國外無人直升機部分內容。	P.1~2
3.報告內容應補充 GNSS 與 IMU 硬體設備整合架構規劃與設計及整合作業流程，並請補充相關規劃前與整合後及測試時於 UAV 酬載 GNSS 與 IMU 的相片。	遵照審查意見辦理，分別補充相關內容於第三章。	P.8~18
4.應補充整合後測試流程(含地面測試及飛行測試)，飛行測試部分應說明航拍測試區域、航拍規劃及實際作業情形，並補充測試作業相關相片。	遵照審查意見辦理，補充說明各流程與測試資料於 4.2 節至 4.3 節。	P.21~26
5.航拍資料處理請補充說明 POS 資料解算、空中三角測量計算、正射糾正及鑲嵌處理過程及結果。	遵照審查意見辦理，補充說明於第五章。	P.27~30
6.有關成果比較與分析章節(如報告 2.5 節)，請加入前期整合測試成果(單頻 GPS 測試成果)並補充精度提升比較分析結果。	遵照審查意見辦理，補充比較於第 6 章。	P.32~33
7.資料處理部分理論說明內容過多(如報告 2.4 節)，建議摘要說明或刪除。	遵照審查意見辦理，刪除理論章節後，分別摘要說明於 2.1 節及 4.1 節。	P.3~5 P.19~20
8.P.10-11 相機率定僅說明率定方式，應補充實際作業之率定結果。	遵照審查意見辦理，補充實際率定結果於 4.2 節。	P.22
9.結論與檢討建議應彙整測試成果分析內容並提出後續相關建議。	遵照審查意見辦理，彙整於第 7 章。	P.34
10.建議可增加以 VBS-RTK 後處理方式解算載具之軌跡，以提升直接地理定位精度。	感謝委員意見建議，將納入後續測試項目，於工作總報告書時補充。	無

多相機雲臺整合研究報告審查意見彙整表

問題與意見	回覆說明	修正頁數對照
1.報告缺少研究整合空中及地面等不同拍攝角度之影像資料進行產製 3D 影像模型內容，請補充說明。	遵照辦理，增列於 4.3 小節	P.23
2.文中僅以大部分、少數部分...等抽象數量表達敘述(如 P.24)，缺少實際量化數據佐證，請補充評估方式及實際數據。	補充影像數量資訊，及建模影像詳細資訊等量化數據。	第三節
3.P.10，執行方法及實驗步驟缺乏具體操作的說明，也未說明使用何種軟體或自行開發程式，請補充。	遵照辦理，補充說明使用軟體與程式環境資訊。	P.7~8
4.報告內容中未具體表列測試使用之軟硬體的相關規格(如航拍之多旋翼載具、影像處理軟硬體規格等)，請補充列表及說明。	遵照辦理，補充列表說明多旋翼規格與影像工作站硬體規格資料。	P.5, P.8
5.報告中未說明測試環境或設備需求條件以及相關作業限制、優劣分析等，部分內容僅有截圖，無法看出差異且測試結論缺乏有力佐證，請補充說明。	遵照辦理，補充軟體與工作站設備資訊等說明資訊，及使用影像資訊。	第四節
6.請於結論與建議中補充說明未來應用方向或領域(如是否可應用於緊急災害應變航拍)，並以測試區域範圍面積為例，說明影像拍攝方式、需花費航拍與影像處理時間、成本及產出成果之效果。	遵照辦理，於結論補充	第五節
7.P.4，何線幾何…，應修正為核線。	本段內容已刪減。	--
8.P.5，各別平差…，應修正為個別。	本段內容已刪減	--
9.P.8，各項下傾斜…，應修正為各向下。	遵照辦理，修正文字錯誤	P.5
10.P.13，實驗室範區…，應修正為示範。	遵照辦理，修正文字錯誤	P.11

工作總報告審查委員意見回應表

委員	問題與意見	回覆說明	修正頁數對照
洪本善委員	1. 本年度執行項目應明確呈現於工作總報告書內。如 P.4 工作項目九，須投稿論文至少 2 篇，未說明何時完成；另亦未檢附投保本中心國土測繪一號公共意外責任險之證明。	感謝委員意見，補充投保證明與投稿論文摘要於附錄小節。	附錄六
	2. 請補充正射影像製作之精度檢查紀錄。	感謝委員意見，補充精度報告於附錄小節。	附錄八
	3. P.37 表 3-2 內，第 9 及第 11 項缺漏航高、GSD、成果空三精度，請補正。	感謝委員意見，補正缺漏資料。	p.35
	4. P.84，第肆章國外應用 UAS 之相關法規，未於內文中呈現參考文獻。有關加拿大無人機應用方面之 C、D、E 或 F 類領空，未說明代表何意?各國之 UAS 高度應用之限制單位，請統一以公制公尺來呈現。	感謝委員意見，補正缺漏資料，補充統一公制單位。	第肆章
	5. P.116，GNSS 及 IMU 機電整合之直接地理定位成果建議以(E,N,H)取代(X,Y,Z)誤差呈現。	感謝委員意見，依委員建議修改成果精度單位。	p.117
高書屏委員	1. 空三檢核係以「自行開發」的網形程式檢核幾何約制條件之不足，請問此自行開發的程式是否與其他軟體程式檢核成果進行比較?或請說明其他公司對此部分之處理方式為何?	本團隊所自行開發的網形程式，主要是為彌補 ISAT 展示功能之不足，可以定性的方式圖性化展示相片連結點強度。部分商用軟體亦有類似功能，其功能大同小異。	--
	2. 請說明定翼型 UAS 之航拍高度區間約為 700~1300 公尺；旋翼型 UAS 約為 200 公尺，請說明針對航高之決定依據為何?	無人機航拍高度的設定，係依據 2.4.2 小節公式 2.1 進行計算。依公式計算，定翼型 UAS 的飛行高度約為 700 公尺(距地高)；旋翼型 UAS 飛行高度則因為載具性能的因素，設定為 200 公尺。而因地形起伏的原故，故定翼機的航高設定在 700~1300 公尺之間。	--
	3. 直接地理定位測試之航高為 60 公尺，說明誤差小於 1 公尺，較原單頻 POS 大幅提升，請說明提升比率?另結論中提及完成 GNSS 及 IMU 設備機電整合優化工作，可快速進行直接地理定位，此定位精度大約為多少?	雙頻 POS 系統三維直接地理定位精度為 0.681 公尺，單頻 POS 為 13.616 公尺，因此提升比率為 19 倍。本研究直接地理定位的精度，可參照表 5-8。	--

委員	問題與意見	回覆說明	修正頁數對照
	4. 未來 UAS 酬載建議有提到 LiDar、多光譜及紅外相機，相關設備規格為何?另如何裝載於 UAS 上?請補充說明。	本團隊建議明年度可以多光譜設備作為主要發展項目，相關設備規格與建議補充於 7.2 建議小節。	p.115 -116
張崑宗委員	1. 空三平差方法中是否有使用自率光束法?另外控制點不足區域是否有考慮採用影像控制實體?	1.空三平差中並無使用自率光束法，本團隊是採用室內率定場率定相機參數後，使用 ISAT 作光束平差法進行空三計算。 2. 感謝委員意見，於控制點不足的區域，本團隊有使用影像特徵點資料。	--
	2. 各區成果中並未列出可靠度指標是否符合規範?檢核點是否有運用?	感謝委員意見，於報告書內有另外列出可靠度指標，均有達到本案規範，並有於空三精度報告中敘明檢核點數量。	--
	3. 關於 GNSS 及 IMU 機電整合優化上，是以多少張相片計算得到外方位參數?另外直接地理定位成果是否有考慮不同航高之影響?	本研究使用 66 張相片計算得外方位參數。目前針對直接地理定位僅有單一航高成果，經由 POS 誤差來源評估直接地理定位成果符合預期，可進一步推估不同航高直接地理定位期望精度成果，如航高 100 公尺時直接地理定位精度為 1.139 公尺，未來會以實測資料進行驗證。	--
	4. 3D 模型完整度不應以面數多寡來判定，建議就個別 3D 模型案例進行比較分析。	感謝委員意見，除了面數多寡比較外，於報告 6.4.1 節與 6.4.2 節成果比較都有列出不同視點的模型成果圖來比較成果完整度。	--
林志清委員	1. 建議表 3-1（P.35）使用機型請列明機型或機名。	感謝委員意見，補充列明機型。	p.33
	2. 第二章第二節五、六小節寫法（P.29），有些不妥，建議合併撰寫。	感謝委員意見，依據建議合併撰寫。	p.29
	3. P.84 頁「並保護人員及財產在地面上」之文字不順，請修正，同頁「規類」請修正為「歸類」	感謝委員意見，修正文句不通順處與文字錯誤。	p.82
	4. 表 4-1（P.86）及表 4-2（P.87） （1）內容無法讓人一目了然，如有些國家有再細分類如英國分（A）0-20kg（B）20-150kg（C）>150kg 等，似乎無法對應到操作限制項目，及如法國允許第一	感謝委員意見，全面檢視並修正第肆章文字內容與單位。	第肆章

委員	問題與意見	回覆說明	修正頁數對照
	人稱擴展飛行是什麼，增加說明內容或在內文中說明清楚。 （2）另兩表沒有統一，如續表就沒有視距高度一項，請統一表格內容。 （3）本章節描述不搭，如描述其他各國應用無人機情形，而表格內亦包有美國國家，文字不夠精準，請修正。		
	5. 第五章 GSNN 與 IMU 設備機電整合優化（P.88 起）有以下情形請釐清修正，且文章內容交代不清，不容易了解，請重新整理： （1）章節序號應由 5 字頭，文章內為 4 字頭，應修正。 （2）第一節針對研究流程描述（P.89）與圖 5-2 無法對應，且寫法交代不清。且與後續章節無法對應！如機電整合包含有儲存設備，而於第二節僅交代設計儲存格式。 （3）5.3.1 直接地理定位系統率定，5.4.2 直接地理定位率定文章內容章節，兩節容易混淆。	感謝委員意見，進行下列修正： 1. 修正第 5 章內各小節序號誤植。 2. 修正 5.1 內容敘述，與研究流程圖文字可作對應。機電整合所包括的儲存設備，已於 5.2.3 小節說明儲存設備 Micro SD 電路設計與外接 mini USB 埠傳輸等設計。 3. 分別修改章節標題為 5.3.1 直接地理定位系統率定方法與 5.4.2 直接地理定位率定計算區分兩小節內容，避免混淆。	第伍章
	6. 第六章部分亦有文章內容交代不清情形，請重新整理，另有第五節結論與建議（P.143）「……若建築物較低範圍則可採單一方向進行拍攝……」係引用何種數據，另同頁圖 6-18 似應為圖 6-24，請釐清。	感謝委員意見，修正本章文字敘述與圖號誤植，並於 6.5 補充測試單一航向拍攝的測試案例佐證。	p.151
	7. 「進場台」或「近場台」請釐清用字。	感謝委員意見，近場台範圍包括進場台與離場台，釐清後統一名稱為「近場台」。	全文

工作總報告業務單位審查意見回應表

問題與意見	回覆說明	修正頁數對照
1. P.12-13，本案未使用 Phase One iXU 中片幅相機進行航拍或相關測試，建議刪除報告書中相關內容。	遵照辦理，刪除本段落相關內容。	p.12-13
2. P.15，第 3 行，文字建議修正為「…，UAS 執行航拍任務標準作業流程~~規劃~~……」。	遵照辦理，修正本段文句。	p.15
3. P.25，第 2 段，「可大幅縮短人工選點作業時間與錯誤」，建議修正為「可大幅縮短人工選點作業時間與減少影像匹配錯誤情形」。	遵照辦理，修正本段文句。	p.25
4. P.26，2.5.3 正射影像製作作業規劃，請修正為正射影像製作流程。	遵照辦理，修正本段標題。	p.26
5. P.28，正射影像~~影像~~鑲嵌作業。	遵照辦理，修正文句錯誤。	p.27
6. P.35，第 1 段，文字建議修正為「…指定需求區域以 UAS 進行…，;航拍區域選定 10 區…」。第 2 段，文字建議修正為「…配合臺南市政府地政局需求增購，…由國土測繪中心函送臺南市政府地政局。」	遵照辦理，修正本段文句。	p.33
7. P.38，第 1 段，文字建議修正為「…供更新通用版電子地圖正射影像使用。」	遵照辦理，全面修正本段文句。	第參章
8. P.41，表 3-4 中，計算成果~~成果~~，本章相關表格請全面檢視修正。	遵照辦理，修正本章節所有表格誤植。	第參章
9. P.75，表 3-20 空三計算精度表，請補充計算成果欄位內容。	遵照辦理，補充成果欄位內容。	p.73
10. P.84-87，表 4-1 及 4-2，部分表格中所列國家並未於文字內容中說明，請補充；另請摘要補充大陸地區相關法規。	遵照辦理，補充本章節對應內容。	第肆章
11. P.101，第 1 段，「…第二行則為透過韌體進行切割之 GSOF 細項資料…。」	遵照辦理，修正本段文句。	p.100
12. P.116-117，表 5-5 應修正為雙頻直接地理定位成果；表 5-7 應修正為原單頻直接地理定位成果。另內容提及二維與三維定位精度提升約 29%與 53%，相關數據如何計算得出?請補充說明。	遵照辦理，修正表 5-5 與表 5-7。另定位精度評估主要來自三軸的 RMS 值，計算得二維與三維的精度，藉由單頻與雙頻 POS 資料比較求得提升率。	p.117-119
13. P.120，第 2 段，三維建模流程文字內容，建議配合圖 6-1 流程順序撰寫。「多相機雲台」請統一修正為「多相機組合雲台」，請全面檢視修正。第 2 段，「…最後完成紋理貼附~~步驟~~。」	遵照辦理，修正本段文句。	p.120

問題與意見	回覆說明	修正頁數對照
14. P.122，文字建議修正為「…加上四方向傾斜攝影亦可補足建築物側面資訊不足之問題，~~可以~~完成較完美之建模」	遵照辦理，修正本段文句。	p.124
15. P.124，第 2 段，並配合自行編寫之 Python 進行搭配運算，該 Python 程式有何用途?請補充說明。另採用 3 臺工作站進行計算，是否分區計算或全區同時採分散式運算?是否皆需要安裝 Photoscan 軟體?請補充說明。	遵照辦理，於本段補充說明自行編寫 Python 程式的功能，並說明為叢集運算架構。	p.126
16. P.125，文字建議修正為「…SfM 稀疏點雲匹配、稠密點雲匹配、表面重建及表面紋理貼附~~等步驟~~，…」	遵照辦理，修正本段文句。	p.127
17. P.126，本段文字語意不通請刪除。	遵照辦理，刪除此文句。	p.128
18. P.127，第 1 段，文字建議修正為「共計拍攝 4 航次，獲取 2369 張相片。」	遵照辦理，修正本段文句。	p.129
19. P.134-135，部分模型重建示意圖應局部放大或以紅色框標示，以顯示其建模效果之差異性。	遵照辦理，於圖 6-16 加註紅色圈線強化建模有差異處。	p.137 -139
20. P.139，測繪車所裝載相機請確認是否為全景相機?請檢視修正。	遵照辦理，內容修正為工業相機。	p.146
21. P.142，針對整合 UAS 及測繪車影像進行建模所遭遇受到地面干擾(行人、車輛、行道樹等)之困難點，後續是否有具體改善方式或建議?請補充說明。	遵照辦理，於本段落補充 4 點後續改善建議與方向。	p.149
22. P.143，第五節結論與建議，建議修正為小結，以與第柒章結論與建議區別。另建築物較低之範圍，則可採單一方向拍攝完成高精密模型建置，請補充相關佐證資料或數據。	遵照辦理，修正章節名稱，並補充採單一方向航拍建模之佐證案例。	p.150 -152
23. P.145，第柒章結論與檢討建議，請補充後續年度或未來研究發展相關建議事項。	遵照辦理，補充於 7.2 建議小節，提出未來研究精進項目與酬載發展建議。	p.154 -156
24. 請將工作總報告審查會議簡報檔相關資料(如直接地理定位有辦理航高 60 公尺測試結果等)補充於報告內容中。	遵照辦理，簡報檔中有關直接地理定位等測試結果補充於 6.5 節。	

附錄四 每月工作會議紀錄

內政部國土測繪中心

「104 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」

4 月份工作會議紀錄

壹、 時間：104 年 4 月 22 日(星期三)下午 3 時

貳、 地點：本中心地形及海洋測量課

參、 主持人：林課長昌鑑記錄：施錦揮

肆、 出席單位及人員：如簽到簿。

伍、 廠商報告事項：如經緯公司辦理之「104 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」4 月份工作會議簡報(略)。

陸、 會議結論：

一、有關本(104)年航拍區域空域與軍方演訓空域重疊，需聯繫相關單位協調(如彰化縣芳苑鄉)事宜，請於 4 月底前儘速完成相關協調作業並作成紀錄後送交本中心。

二、請於本年 5 月 8 日前完成本中心國土測繪 1 號各項地面及空中飛行測試作業，並將相關測試紀錄送交本中心。

三、請參考本中心基本地形圖或通用版電子地圖網頁版型內容並依相關意見儘速協助修正 UAS 成果展示網頁。另請於本年 5 月 8 日前將修正後網頁成果送交本中心。

四、請於次月工作會議報告本中心 GNSS 及 IMU 機電整合優化作業進度及辦理情形。

柒、 散會：下午 4 時 30 分

內政部國土測繪中心「104 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」

工作會議簽到簿

時　間：104 年 4 月 22 日(星期三)下午 3 時 00 分		
地　點：地形及海洋測量課		
主　席：林課長昌鑑		記　錄：施錦揮
出 席 人 員（單位）	職　稱	簽 到 處
經緯衛星資訊股份有限公司	經理	陳信安
	專案經理	謝佳諭
地形及海洋測量課	課長	林昌鑑
	技正	林世賢
	技士	施錦揮

內政部國土測繪中心

「104 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」

5 月份工作會議紀錄

壹、 時間：104 年 5 月 28 日（星期四）上午 10 時

貳、 地點：本中心地形及海洋測量課

參、 主持人：林課長昌鑑記錄：施錦揮

肆、 出席單位及人員：如簽到簿。

伍、 廠商報告事項：經緯衛星資訊股份有限公司報告「104 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」5 月份工作執行情形。

陸、 會議結論：

一、 有關彰化縣芳苑鄉與苗栗縣造橋鄉及獅潭鄉等空域申請通過之區域，請掌握時程加緊趕辦相關航拍作業。

二、 有關遠端監看 UAS 航拍程式，請改用本中心通用版電子地圖圖資為底圖，並請將修正後程式提供本中心測試。

三、 請參考無障礙網頁相關規範儘速協助修正本中心 UAS 成果展示網頁，並於 104 年 6 月 1 日前將修正後網頁內容提供本中心。

四、 有關高雄市前鎮區（氣爆）正射影像成果檢查缺失部分，請於本中心發文次日起 7 日內將修正後成果函送本中心。

柒、 散會：上午 11 時 00 分

內政部國土測繪中心「104 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」

工作會議簽到簿

時　間：104 年 5 月 28 日(星期四)上午 10 時 00 分		
地　點：地形及海洋測量課		
主　席：林課長昌鑑		記　錄：施錦揮
出 席 人 員（單位）	職　稱	簽 到 處
經緯衛星資訊股份有限公司	專案經理	陳信宏
	飛航工程師	梁某人
地形及海洋測量課	課長	林昌鑑
	技正	林世堃
	技士	施錦揮
	技士	張志霖

內政部國土測繪中心

「104 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」

6 月份工作會議紀錄

壹、 時間：104 年 6 月 26 日（星期五）上午 10 時

貳、 地點：本中心地形及海洋測量課

參、 主持人：林課長昌鑑記錄：施錦揮

肆、 出席單位及人員：如簽到簿。

伍、 廠商報告事項：經緯衛星資訊股份有限公司報告「104 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」6 月份工作執行情形。

陸、 會議結論：

一、 有關苗栗縣獅潭鄉與臺南市新化區及新市區等空域申請通過之區域，需使用本中心國土測繪 1 號拍攝，請掌握時程加緊趕辦相關航拍作業。

二、 請協助辦理高雄市仁武區(鼎金交流道)UAS 航拍並製作快速拼接影像後送交本中心。

三、 請協助將本中心 UAS 成果展示網頁標題「無人飛行載具系統航拍成果資訊網」修正為「無人飛行載具系統專區」並將修正後網頁內容送交本中心。

四、 有關多相機雲台航拍測試，經選定臺中國家歌劇院區域範圍(約 700x700 公尺)為測試區，請以前開區域辦理相關航拍測試並製作 3D 影像模型成果後送交本中心。

柒、 散會：上午 11 時 50 分

內政部國土測繪中心「104 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」暨
「104及105年度發展載具移動測繪系統(MMS)作業採購案」
工作會議簽到簿

時　間：104 年 6 月 26 日(星期五)上午 10 時 00 分		
地　點：地形及海洋測量課		
主　席：林課長昌鑑		記　錄：施錦揮
出 席 人 員（單位）	職　稱	簽 到 處
經緯衛星資訊股份有限公司		朱弘義
		陳信宏 謝旺諭
		林奕翔 林承業
地形及海洋測量課		林昌鑑
		林世賢
		吳志霖
		施錦揮

內政部國土測繪中心

「104 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」

7 月份工作會議紀錄

壹、 時間：104 年 7 月 23 日（星期四）上午 10 時

貳、 地點：本中心地形及海洋測量課

參、 主持人：林課長昌鑑　　記錄：施錦揮

肆、 出席單位及人員：如簽到簿。

伍、 廠商報告事項：經緯衛星資訊股份有限公司報告「104 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」7 月份工作執行情形。

陸、 會議結論：

一、本案依契約書規定需蒐集國外（至少 3 個國家）有關應用 UAS 於航拍及測繪業務之相關法規，並納入工作總告報書內容，請於次月工作會議中報告相關法規資料蒐集情形。

二、本案 POS 整合優化作業成果繳交期限為 104 年 8 月 5 日，請儘速將前開飛行測試規劃內容提送本中心，並請掌握期程辦理實際飛行測試作業。

三、有關國土測繪 1 號定期保養維護作業時發現部分機體功能異常問題，請將檢測發現之問題及相關保養維護紀錄表儘速彙整後提送本中心。

四、多相機雲臺航拍測試區已選定為臺中國家歌劇院及周邊區域範圍，請以前開區域辦理相關航拍測試，並研究整合地面測量車影像資料製作 3D 影像模型成果後送交本中心。

柒、 散會：上午 12 時 05 分

104 及 105 年度發展車載移動測繪系統(MMS)作業採購案暨
104 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案
工作會議簽到簿

時　間：104 年 7 月 23 日(星期四)上午 10 時		
地　點：本中心第 3 會議室		
主　席：林課長昌鑑		記　錄：岳志霖、施錦揮
出 席 機 關（單位）	職　稱	簽 到 處
經緯衛星資訊股份有限公司		朱弘義 林庚翔 洪敏哲 陳信安 張濟隆 鄧文祥 謝佳諭 蔡孟儒 林[illegible]
內政部國土測繪中心 地形及海洋測量課		林昌鑑 林世[illegible] 岳志霖 施錦揮

內政部國土測繪中心

「104 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」

9 月份工作會議紀錄

壹、 時間：104 年 9 月 4 日（星期五）下午 2 時 30 分

貳、 地點：本中心地形及海洋測量課

參、 主持人：林課長昌鑑記錄：施錦揮

肆、 出席單位及人員：如簽到簿。

伍、 廠商報告事項：經緯衛星資訊股份有限公司報告「104 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」9 月份工作執行情形。

陸、 會議結論：

一、 本案第 3 及第 4 批次 UAS 航拍成果，請依本中心提供之色調參考樣板進行正射影像調色處理。

二、 本案須蒐集國外（至少 3 個國家）有關應用 UAS 於航拍及測繪業務之相關法規納入工作總告報書，各國法規彙整內容應說明法規發布日期，並將大陸地區、日本等相關規範一併納入。

三、 有關國土測繪 1 號保養維護及更新升級問題，請儘速辦理評估並撰寫完整評估報告後於 9 月 14 日前提送本中心。

四、 有關多相機雲臺航拍測試及研究整合地面測量車影像資料製作 3D 影像模型等作業，成果內容應包含各項不同航線規劃測試流程與相關流程優化及改善方法說明。

五、 有關協助臺南市政府地政局辦理臺南市安平區 UAS 航拍，請儘速規劃並辦理後續航拍及影像處理作業。

柒、 散會：上午 5 時 05 分

104 及 105 年度發展車載移動測繪系統(MMS)作業採購案暨

104 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案

工作會議簽到簿

時　間：104 年 9 月 4 日(星期五)下午 2 時 30 分		
地　點：本中心第 2 會議室		
主　席：林課長昌鑑		記　錄：岳志霖、施錦揮
出 席 機 關（單位）	職　稱	簽　到　處
經緯航太科技股份有限公司		張瑞隆 蔡孟卿 謝任諭 陳信安 許文祥 林承萱
內政部國土測繪中心 地形及海洋測量課		林昌鑑 呂世賢 岳志霖 施錦揮

內政部國土測繪中心

「104 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」

10 月份工作會議紀錄

壹、 時間：104 年 10 月 6 日（星期二）上午 9 時 30 分

貳、 地點：本中心第 2 會議室

參、 主持人：林課長昌鑑記錄：施錦揮

肆、 出席單位及人員：如簽到簿。

伍、 廠商報告事項：經緯航太科技股份有限公司報告「104 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」10 月份工作執行情形。

陸、 會議結論：

一、 本案 UAS 航拍正射影像成果應依本中心提供之色調參考樣板進行調色處理，除第 4 批次成果於檢查合格次日起 15 日內提送外，餘請於 10 月 24 日前完成並提送。

二、 有關雲林縣虎尾鎮 UAS 航拍空域與軍方演訓空域重疊部份，請儘速協助與相關單位進行空域協調，並於 10 月 12 日前提送協調後紀錄至本中心。

三、 本案應投稿期刊論文 2 篇，請於 12 月 10 日前將相關論文摘要與初稿提送本中心。

四、 請協助使用 UAS 拍攝測量車於臺中國家歌劇院試辦街景資料蒐集實際作業情形影片，並將相關內容剪輯納入本案第 4 階段展示影片成果中。

柒、 散會：上午 11 時 30 分

內政部國土測繪中心 104 及 105 年度發展車載移動測繪系統(MMS)作業採購案暨「104 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」

工作會議簽到簿

時　間：104 年 10 月 6 日(星期二)上午 9 時 30 分		
地　點：地形及海洋測量課		
主　席：林課長昌鑑		記　錄：施錦揮
出 席 人 員（單位）	職　稱	簽 到 處
經緯航太科技股份有限公司		張藩隆
		謝佳諭 陳信宏 林永豪
		林夏翰 許文祥
地形及海洋測量課		
		林昌鑑
		林世堃
		吳志霖
		施錦揮

1

附錄五 相機及鏡頭率定報告

Canon 5D II + 20mm lens

CAMERA CALIBRATION REPORT

PROJECT DETAILS

Camera: Canon EOS 5D Mark II

Filename: C:\IOP\IOP_20mm_case1.aus

Calibration Date: 27/03/2014 13:35pm

METRIC CALIBRATION PARAMETERS

Resolution = 5616 x 3744 pixels

Pixel width = 0.0064mm, Pixel height = 0.0064mm

		VALUE	STANDARD ERROR
Principal distance	c =	20.4967mm	0.001mm
Principal point offset in x-image coordinate	xp =	0.0467mm	0.000mm
Principal point offset in y-image coordinate	yp =	0.0242mm	0.000mm
3rd-order term of radial distortion correction	K1 =	2.43189e-04	2.2619e-07
5th-order term of radial distortion correction	K2 =	-4.96373e-07	1.1009e-09
7th-order term of radial distortion correction	K3 =	1.03515e-10	1.6940e-12
Coefficient of decentering distortion	P1 =	-4.4857e-06	2.796e-07
Coefficient of decentering distortion	P2 =	9.6876e-06	2.002e-07
Differential scaling between x & y	B1 =	-5.7349e-05	4.868e-10
Non-orthogonality between x & y axes	B2 =	-1.6704e-04	4.868e-10

STANDARD CORRECTION EQUATION

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

x = x(meas) - xp

y = y(meas) - yp

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

r^2 = x^2 + y^2

dr = K1•r^3 + K2•r^5 + K3•r^7

x(corr) = x(meas) - xp + x•dr/r + P1•(r^2 + 2x^2) + 2•P2•x•y

y(corr) = y(meas) - yp + y•dr/r + P2•(r^2 + 2y^2) + 2•P1•x•y

Produced by Australis from Photometrix - http://www.photometrix.com.au PAGE 1 of 5

CAMERA CALIBRATION REPORT

GAUSSIAN RADIAL DISTORTION CORRECTION PROFILE (dr)

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

dr = K1•r^3 + K2•r^5 + K3•r^7

correction dx = x•dr/r

correction dy = y•dr/r

	VALUE	STANDARD ERROR
c =	20.497mm	0.0008mm
K1 =	2.43189e-04	2.2619e-07
K2 =	-4.96373e-07	1.1009e-09
K3 =	1.03515e-10	1.6940e-12

r(mm)	dr(microns)
0.00	0.0
2.00	1.9
4.00	15.1
6.00	48.7
8.00	108.5
10.00	194.6
12.00	300.4
14.00	411.3
16.00	503.4
18.00	543.7
20.00	489.6

Produced by Australis from Photometrix - http://www.photometrix.com.au PAGE 2 of 5

CAMERA CALIBRATION REPORT

BALANCED RADIAL DISTORTION CORRECTION PROFILE(dr)

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

dr = K0•r + K1•r^3 + K2•r^5 + K3•r^7

cb = 19.8829mm

K0 = -2.99463e-02

K1 = 2.35906e-04

K2 = -4.81508e-07

K3 = 1.00415e-10

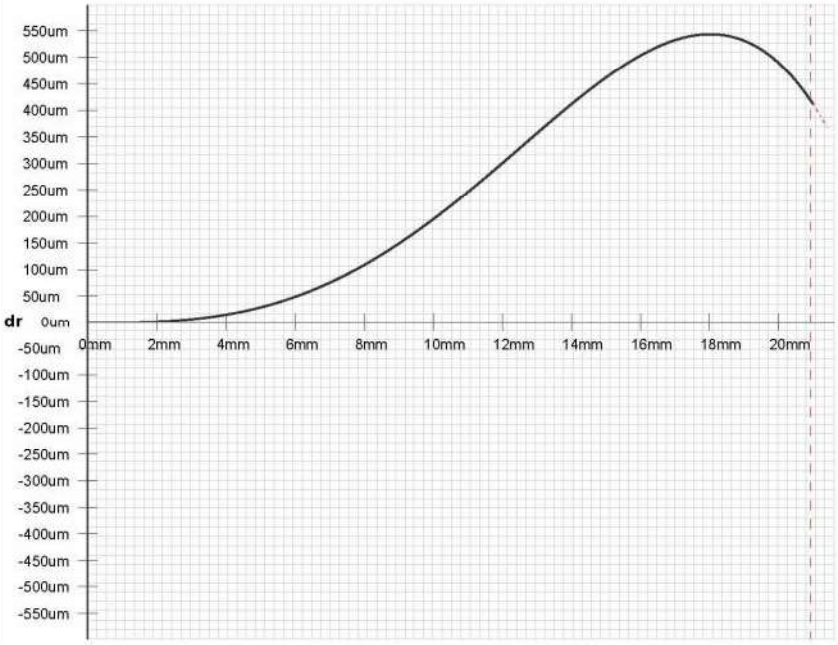
r(mm)	dr(microns)
0.00	0.0
2.00	-58.0
4.00	-105.2
6.00	-132.4
8.00	-134.4
10.00	-110.7
12.00	-67.9
14.00	-20.3
16.00	9.2
18.00	-11.6
20.00	-124.0

Distortion profile is 'balanced' (dr = 0.0) about a radial distance of r = 15.1mm

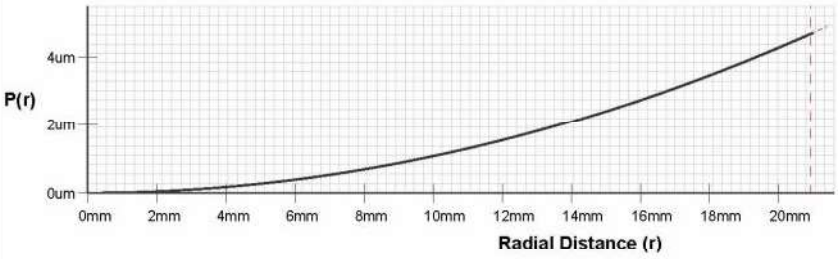
Produced by Australis from Photometrix - http://www.photometrix.com.au PAGE 3 of 5

CAMERA CALIBRATION REPORT

GAUSSIAN RADIAL DISTORTION PLOT [dr shown in micrometres]



DECENTRING DISTORTION PLOT [P(r) shown in micrometres]

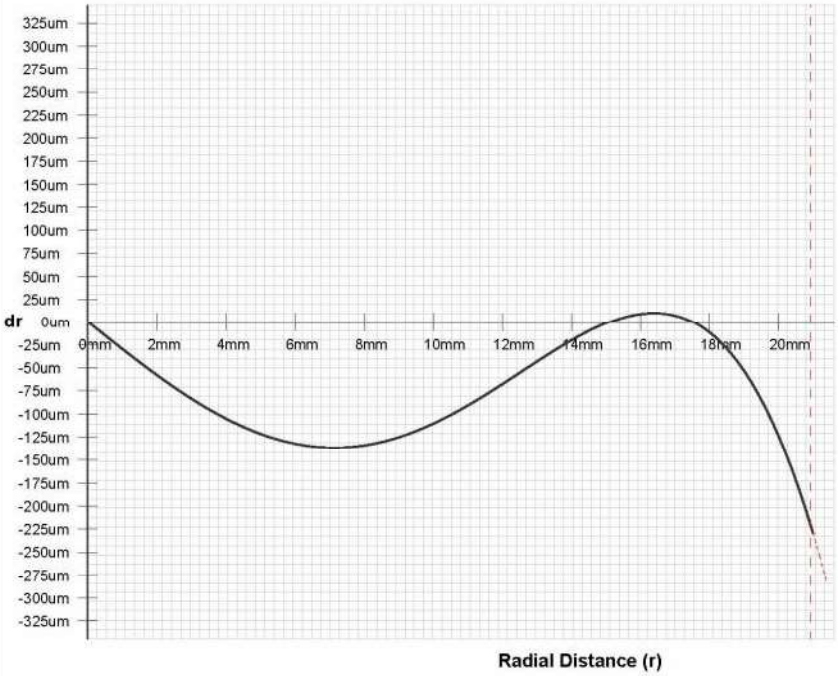


(If present, - - - - - - indicates the maximum radial distance encountered in the self-calibration.)

Produced by Australis from Photometrix - http://www.photometrix.com.au PAGE 4 of 5

CAMERA CALIBRATION REPORT

BALANCED RADIAL DISTORTION PLOT [dr shown in micrometres]



(If present, - - - - - indicates the maximum radial distance encountered in the self-calibration.)

Produced by Australis from Photometrix - http://www.photometrix.com.au PAGE 5 of 5

Sony α7R + 35 mm lens

CAMERA CALIBRATION REPORT

PROJECT DETAILS

Camera: SONY ILCE-7R

Filename: C:\IOP\SonyA7r_35mm.aus

Calibration Date: 06/07/2015 14:11pm

METRIC CALIBRATION PARAMETERS

Resolution = 7360 x 4912 pixels

Pixel width = 0.0049mm, Pixel height = 0.0049mm

		VALUE	STANDARD ERROR
Principal distance	c =	35.2207mm	0.001mm
Principal point offset in x-image coordinate	xp =	-0.2400mm	0.001mm
Principal point offset in y-image coordinate	yp =	0.0661mm	0.001mm
3rd-order term of radial distortion correction	K1 =	1.84842e-007	1.9273e-007
5th-order term of radial distortion correction	K2 =	-4.75660e-009	9.2860e-010
7th-order term of radial distortion correction	K3 =	1.63986e-012	1.3993e-012
Coefficient of decentering distortion	P1 =	2.7122e-006	2.611e-007
Coefficient of decentering distortion	P2 =	-7.0060e-006	1.919e-007
No significant differential scaling present	B1 =	0.0000e+000	6.264e-010
No significant non-orthogonality present	B2 =	0.0000e+000	6.264e-010

STANDARD CORRECTION EQUATION

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

x = x(meas) - xp

y = y(meas) - yp

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

r^2 = x^2 + y^2

dr = K1•r^3 + K2•r^5 + K3•r^7

x(corr) = x(meas) - xp + x•dr/r + P1•(r^2 + 2x^2) + 2•P2•x•y

y(corr) = y(meas) - yp + y•dr/r + P2•(r^2 + 2y^2) + 2•P1•x•y

Produced by Australis from Photometrix - http://www.photometrix.com.au PAGE 1 of 5

CAMERA CALIBRATION REPORT

GAUSSIAN RADIAL DISTORTION CORRECTION PROFILE (dr)

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

dr = K1•r^3 + K2•r^5 + K3•r^7

correction dx = x•dr/r

correction dy = y•dr/r

	VALUE	STANDARD ERROR
c =	35.221mm	0.0009mm
K1 =	1.84842e-007	1.9273e-007
K2 =	-4.75660e-009	9.2860e-010
K3 =	1.63986e-012	1.3993e-012

r(mm)	dr(microns)
0.00	0.0
2.00	0.0
4.00	0.0
6.00	0.0
8.00	-0.1
10.00	-0.3
12.00	-0.8
14.00	-1.9
16.00	-3.8
18.00	-6.9
20.00	-11.6

Produced by Australis from Photometrix - http://www.photometrix.com.au PAGE 2 of 5

CAMERA CALIBRATION REPORT

BALANCED RADIAL DISTORTION CORRECTION PROFILE(dr)

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

dr = K0•r + K1•r^3 + K2•r^5 + K3•r^7

cb = 35.2273mm

K0 = 1.85739e-004

K1 = 1.84876e-007

K2 = -4.75748e-009

K3 = 1.64016e-012

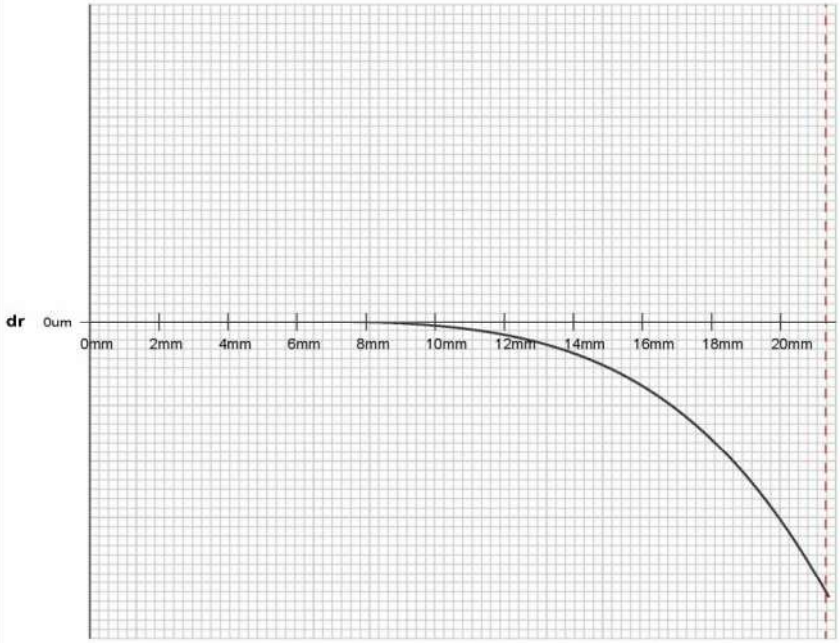
r(mm)	dr(microns)
0.00	0.0
2.00	0.4
4.00	0.7
6.00	1.1
8.00	1.4
10.00	1.6
12.00	1.4
14.00	0.7
16.00	-0.8
18.00	-3.6
20.00	-7.9

Distortion profile is 'balanced' (dr = 0.0) about a radial distance of r = 15.1mm

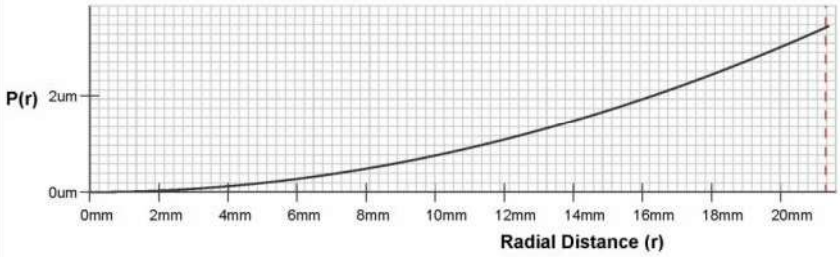
Produced by Australis from Photometrix - http://www.photometrix.com.au PAGE 3 of 5

CAMERA CALIBRATION REPORT

GAUSSIAN RADIAL DISTORTION PLOT [dr shown in micrometres]



DECENTRING DISTORTION PLOT [P(r) shown in micrometres]

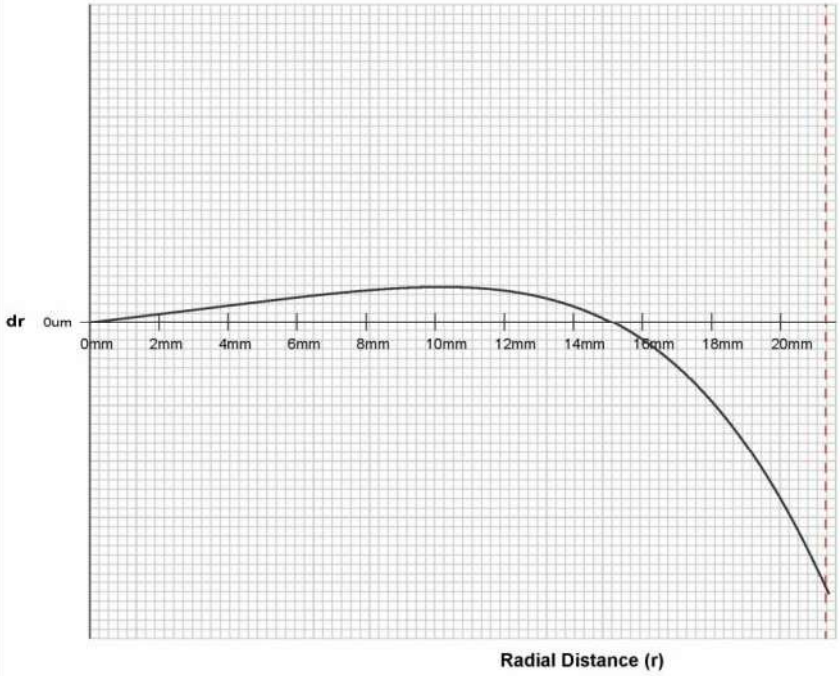


(If present, - - - - - indicates the maximum radial distance encountered in the self-calibration.)

Produced by Australis from Photometrix - http://www.photometrix.com.au PAGE 4 of 5

CAMERA CALIBRATION REPORT

BALANCED RADIAL DISTORTION PLOT [dr shown in micrometres]



(If present, - - - - - indicates the maximum radial distance encountered in the self-calibration.)

Produced by Australis from Photometrix - http://www.photometrix.com.au PAGE 5 of 5

附錄六 公共意外險投保保單

84.02.28台財保字第841489101號函修訂(公會版)
96.08.31依據行政院金融監督管理委員會95.09.01金管保二字第09502522257號令修訂

正本

新光產物保險

地址：台北市建國北路二段15號
電話：(02)2507-5335
免費申訴電話：0800-005-588
要保人可透過本公司網站(http://www.skinsurance.com.tw)或至總公司、分公司及通訊處查閱資訊公開說明文件。

公共意外責任保險

保單號碼： 1307 第 04AHP0000659 號本單係 第 號續保

要保人：經緯衛星資訊股份有限公司

要保人地址：臺南市東區東門路3段253號12樓

被保險人：經緯衛星資訊股份有限公司 統一編號:27285850

通訊地址：臺南市東區東門路3段253號12樓

保險期間：自民國 104 年 04 月 01 日 00 時起至民國 104 年 12 月 31 日 24 時止

經營業務種類：104年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案(兩台空拍機)

經營業務處所：台灣全區

承保範圍	保險金額
每一個人身體傷亡：	NT$2,000,000*
每一意外事故傷亡：	NT$10,000,000*
每一意外事故財損：	NT$2,000,000*
保險期間內最高賠償責任：	NT$50,000,000*

每一意外事故自負額：每一事故 NT$2,000

總保險費：NT$14,000*

附加或特約條款：AHP.911.Y2K.H34.

新光產物保險

保險費收據

公共意外責任保險

①本收據非經收款人簽章不生效力。
②應繳保費如以票據交付，請寫本公司抬頭並劃線。
③所交票據如未能兌現時，本公司得解除契約。
④公司免付費電話：0800-005-588

收據副本

中華民國 104 年 04 月 01 日
保單號碼：130704AHP0000659
要保人：經緯衛星資訊股份有限公司
被保險人：經緯衛星資訊股份有限公司

保險期間：104 年 04 月 01 日 0 時起
104 年 12 月 31 日 24 時止
保險費：NTD14,000

繳款方式：□現金 □支票 □其它

收款人： 年 月 日 時

00A8402636

附錄七 投稿論文摘要

無人機傾斜攝影與三維製圖應用

羅正方[1]、劉正倫[2]、李良輝[3]、陳信安[4]、張庭榮[5]、林昌鑑[6]、施錦揮[7]

摘要

傾斜航空攝影測量作為近年來國際上發展十分迅速的一項高新技術，能夠獲取真實世界的三維場景資訊，是對傳統航空攝影測量技術的補充，為航空遙測領域提供了一種新的資料來源。本研究針對傾斜攝影使用六旋翼型 UAS 搭載本團隊自行開發設計的多相機系統酬載雲台搭載 5 部相機，測試多相機雲台進行傾斜影像三維重建的流程。並比較多相機系統拍攝不同傾斜影像與傳統正射拍攝，以及使用不同航向與僅使用單一航向垂直加傾斜同步拍攝之不同角度影像製作三維重建模型之效果差異，最後並提出建議。

關鍵詞：傾斜攝影、運動中恢復結構方法、點雲疏化、三維重建

附錄八 正射影像成果精度檢查紀錄

高雄市仁武區(國 1 鼎金交流道)

附表 3

「104 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」正射影像成果檢查紀錄表

目次	3	檢查項目	正射影像	
檢查人員	施錦揮		完成檢查日期	104.05.15
提送資料	正射影像電子檔		檢查數量	全面檢查
檢查方式	檢查內容		合格(Y/N)	備註
內業檢查	1.色調、亮度		Y	應全數合格，詳 3-1 表。
	2.地元尺寸		Y	應全數合格，詳 3-2 表。
	3.連續地物合理性		Y	缺失數超過 5 處為不合格，詳 3-3 表。
	4.平面位置精度（上機檢查）		Y	抽查點位量測之平面位置與原平面位置較差之均方根值不大於 1.25 公尺。詳 3-4 表。
檢查結果	■合格 □不合格			每項檢查均須合格。
檢查說明				

3-1 影像品質檢查表(色調亮度)

檢查項目	色調亮度			檢查日期	104.05.15
檢查人員	施錦揮				
亮度最小值(≧5)	亮度最大值(≦250)	整張色調是否均勻	影像中無人眼可辨之鑲嵌線	合格(Y/N)	備註
5	250	Y	Y	Y	
備註	1.正射影像之明亮度(intensity, Brightness)直方圖分布在 5~250 之範圍(全反射之地物不計入範圍)。 2.整區影像需進行無接縫鑲嵌、色調應均勻，且影像接邊處色調需一致。 3.上述條件有一項(含)以上不合格即為本檢查項目不合格。				

3-2 影像品質檢查表(地元尺寸)

檢查項目	地元尺寸			檢查日期	104.05.15		
檢查人員	施錦揮						
區域左上坐標		區域右下坐標		影像像素		平均地元尺寸	合格(Y/N)
E	N	E	N	橫向	縱向		
180899.473327	2508724.10181	181195.723327	2508015.10181	1185	2836	0.25	Y
備註	抽查正射影像地元尺寸不得大於 0.25 公尺，超過標準值即不合格。						

5

3-3 影像品質檢查表(連續地物合理性)

檢查項目	連續地物合理性		檢查日期	104.05.15		
檢查人員	施錦揮					
序號	地物坐標位置		錯誤說明		複檢情形	複檢合格 (Y/N)
	E	N				
累計缺失數	0		判定結果	合格		
備註	1.檢查地物糾正是否完整(鐵、公路、橋樑及對地圖判讀有重要意義的基礎建設是否含有高差位移)。 2.影像地物、地貌是否扭曲變形。 3.影像接邊是否連續無縫。 4.本項目缺失數超過 5 處，則本區為不合格。					

3-4 影像品質檢查表(平面位置精度)

檢查項目	平面位置精度		檢查日期	104.05.15	
檢查人員	施錦揮				
序號	正射影像坐標		地形圖(上機)坐標		較差
	E	N	E	N	
1	181139.13	2508139.89	181140.22	2508140.44	1.22
2	181002.60	2508045.58	181001.51	2508045.52	1.09
3	181085.00	2508280.97	181084.34	2508280.60	0.76
4	180953.26	2508217.78	180952.62	2508217.42	0.73
5	180941.49	2508340.57	180941.75	2508340.16	0.49
應抽點數	5		較差均方根	0.90	
實抽點數	5		判定結果	合格	
備註	1.重複量測平面無高差之地物點，每區抽查至少 5 點。 2.抽查點位量測之平面位置與原平面位置較差之均方根值不大於 1.25 公尺。				

6

高雄市前鎮區(氣爆災點)、(經貿園區 65 期)

附表 3

「104 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」正射影像成果檢查紀錄表

目次	3	檢查項目	正射影像	
檢查人員	施錦揮		完成檢查日期	104.05.22
提送資料	正射影像電子檔		檢查數量	全面檢查
檢查方式	檢查內容		合格(Y/N)	備註
內業檢查	1.色調、亮度		Y	應全數合格，詳 3-1 表。
	2.地元尺寸		Y	應全數合格，詳 3-2 表。
	3.連續地物合理性		Y	缺失數超過 5 處為不合格，詳 3-3 表。
	4.平面位置精度（上機檢查）		Y	抽查點位量測之平面位置與原平面位置較差之均方根值不大於 1.25 公尺。詳 3-4 表。
檢查結果	■合格 □不合格			每項檢查均須合格。
檢查說明	氣爆區域之連續地物合理性檢查有 3 處缺失，未超過 5 處，成果判定合格。			

3-1 影像品質檢查表(色調亮度)

檢查項目	色調亮度			檢查日期	104.05.15
檢查人員	施錦揮				
亮度最小值(≧5)	亮度最大值(≦250)	整張色調是否均勻	影像中無人眼可辨之鑲嵌線	合格(Y/N)	備註
5	250	Y	Y	Y	
5	250	Y	Y	Y	
備註	1.正射影像之明亮度(intensity, Brightness)直方圖分布在 5~250 之範圍(全反射之地物不計入範圍)。 2.整區影像需進行無接縫鑲嵌、色調應均勻，且影像接邊處色調需一致。 3.上述條件有一項(含)以上不合格即為本檢查項目不合格。				

3-2 影像品質檢查表(地元尺寸)

檢查項目	地元尺寸			檢查日期	104.05.15		
檢查人員	施錦揮						
區域左上坐標		區域右下坐標		影像像素		平均地元尺寸	合格(Y/N)
E	N	E	N	橫向	縱向		
179705.945783	2502983.83717	181793.695783	2500535.58717	8351	9793	0.25	Y
178869.947339	2500039.52012	179761.947339	2499372.52012	3568	2668	0.25	Y
備註	抽查正射影像地元尺寸不得大於 0.25 公尺，超過標準值即不合格。						

6

3-3 影像品質檢查表(連續地物合理性)

檢查項目	連續地物合理性(氣爆區域)		檢查日期	104.05.15		
檢查人員	施錦揮					
序號	地物坐標位置		錯誤說明		複檢情形	複檢合格 (Y/N)
	E	N				
1	180,629.440	2,502,387.192	地物扭曲變形			
2	180,793.905	2,501,718.747	地物扭曲變形			
3	180,906.494	2,501,552.380	地物扭曲變形			
累計缺失數	3		判定結果	合格		
備註	1.檢查地物糾正是否完整(鐵、公路、橋樑及對地圖判讀有重要意義的基礎建設是否含有高差位移)。 2.影像地物、地貌是否扭曲變形。 3.影像接邊是否連續無縫。 4.本項目缺失數超過 5 處，則本區為不合格。					

檢查項目	連續地物合理性(經貿園區)		檢查日期	104.05.15		
檢查人員	施錦揮					
序號	地物坐標位置		錯誤說明		複檢情形	複檢合格 (Y/N)
	E	N				
累計缺失數	0		判定結果	合格		
備註	1.檢查地物糾正是否完整(鐵、公路、橋樑及對地圖判讀有重要意義的基礎建設是否含有高差位移)。 2.影像地物、地貌是否扭曲變形。 3.影像接邊是否連續無縫。 4.本項目缺失數超過 5 處，則本區為不合格。					

7

3-4 影像品質檢查表(平面位置精度)

檢查項目	平面位置精度(氣爆區域)		檢查日期	104.05.22	
檢查人員	施錦揮				
序號	正射影像坐標		地形圖(上機)坐標		較差
	E	N	E	N	
1	181488.53	2502761.30	181488.39	2502761.53	0.27
2	181474.42	2502827.29	181474.38	2502827.12	0.17
3	181398.50	2502719.95	181399.08	2502720.38	0.72
4	180746.58	2501385.96	180746.96	2501386.56	0.71
5	180679.05	2501235.85	180679.18	2501236.38	0.55
應抽點數	5		較差均方根	0.53	
實抽點數	5		判定結果	合格	
備註	1.重複量測平面無高差之地物點，每區抽查至少 5 點。 2.抽查點位量測之平面位置與原平面位置較差之均方根值不大於 1.25 公尺。				

檢查項目	平面位置精度(經貿園區)		檢查日期	104.05.22	
檢查人員	施錦揮				
序號	正射影像坐標		地形圖(上機)坐標		較差
	E	N	E	N	
1	178930.60	2499764.83	178930.71	2499765.09	0.28
2	179129.15	2499859.20	179129.81	2499859.15	0.66
3	179256.22	2499904.06	179256.96	2499904.03	0.74
4	179492.78	2499944.45	179491.90	2499943.77	1.11
5	179651.61	2499699.85	179651.75	2499699.93	0.16
應抽點數	5		較差均方根	0.68	
實抽點數	5		判定結果	合格	
備註	1.重複量測平面無高差之地物點，每區抽查至少 5 點。 2.抽查點位量測之平面位置與原平面位置較差之均方根值不大於 1.25 公尺。				

8

彰化縣芳苑鄉(台 61 線)

附表 3

「104 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」正射影像成果檢查紀錄表

目次	3	檢查項目	正射影像	
檢查人員	施錦揮		完成檢查日期	104.07.15
提送資料	正射影像電子檔		檢查數量	全面檢查
檢查方式	檢查內容		合格(Y/N)	備註
內業檢查	1.色調、亮度		Y	應全數合格，詳 3-1 表。
	2.地元尺寸		Y	應全數合格，詳 3-2 表。
	3.連續地物合理性		Y	本區本項檢查缺失數超過 5 處為不合格，詳 3-3 表。
	4.平面位置精度（上機檢查）		Y	抽查點位量測之平面位置與原平面位置較差之均方根值不大於 1.25 公尺。詳 3-4 表。
檢查結果	■合格 □不合格			每項檢查均須合格。
檢查說明				

3-1 影像品質檢查表(色調亮度)

檢查項目	色調亮度			檢查日期	104.07.15
檢查人員	施錦揮				
亮度最小值(≧5)	亮度最大值(≦250)	整張色調是否均勻	影像中無人眼可辨之鑲嵌線	合格(Y/N)	備註
5	250	Y	Y	Y	
備註	1.正射影像之明亮度(intensity, Brightness)直方圖分布在 5~250 之範圍(全反射之地物不計入範圍)。 2.整區影像需進行無接縫鑲嵌、色調應均勻，且影像接邊處色調需一致。 3.上述條件有一項(含)以上不合格即為本檢查項目不合格。				

3-2 影像品質檢查表(地元尺寸)

檢查項目	地元尺寸			檢查日期	104.07.15		
檢查人員	施錦揮						
區域左上坐標		區域右下坐標		影像像素		平均地元尺寸	合格(Y/N)
E	N	E	N	橫向	縱向		
182238.0639	2656387.34046	188419.3139	2650223.59046	24725	24655	0.25	Y
備註	抽查正射影像地元尺寸不得大於 0.25 公尺，超過標準值即不合格。						

6

3-3 影像品質檢查表(連續地物合理性)

檢查項目	連續地物合理性		檢查日期	104.07.15	
檢查人員	施錦揮				
序號	地物坐標位置		錯誤說明	複檢情形	複檢合格(Y/N)
	E	N			
累計缺失數	0		判定結果	合格	
備註	1.檢查地物糾正是否完整(鐵、公路、橋樑及對地圖判讀有重要意義的基礎建設是否含有高差位移)。 2.影像地物、地貌是否扭曲變形。 3.影像接邊是否連續無縫。 4.本區本項目應全面檢查，如檢查之缺失數超過 5 處，則本區為不合格。				

3-4 影像品質檢查表(平面位置精度)

檢查項目	平面位置精度		檢查日期	104.07.15	
檢查人員	施錦揮				
序號	正射影像坐標		地形圖(上機)坐標		較差
	E	N	E	N	
1	183,965.82	2,650,942.11	183,966.30	2,650,941.78	0.58
2	187,007.40	2,653,714.42	187,008.16	2,653,714.46	0.76
3	187,851.38	2,654,815.66	187,851.84	2,654,815.45	0.51
4	187,262.06	2,655,014.28	187,260.97	2,655,014.52	1.12
5	185,001.01	2,651,711.68	185,001.57	2,651,711.67	0.56
應抽點數	5		較差均方根	0.74	
實抽點數	5		判定結果	合格	
備註	1.重複量測平面無高差之地物點，每區抽查至少 5 點。 2.抽查點位量測之平面位置與原平面位置較差之均方根值不大於 1.25 公尺。				

7

苗栗縣造橋鄉(台 13 甲線)

附表 3

「104 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」正射影像成果檢查紀錄表

目次	3	檢查項目	正射影像	
檢查人員	施錦揮		完成檢查日期	104.07.28
提送資料	正射影像電子檔		檢查數量	全面檢查
檢查方式	檢查內容		合格(Y/N)	備註
內業檢查	1.色調、亮度		Y	應全數合格，詳 3-1 表。
	2.地元尺寸		Y	應全數合格，詳 3-2 表。
	3.連續地物合理性		Y	本區本項檢查缺失數超過 5 處為不合格，詳 3-3 表。
	4.平面位置精度（上機檢查）		Y	抽查點位量測之平面位置與原平面位置較差之均方根值不大於 1.25 公尺。詳 3-4 表。
檢查結果	■合格 □不合格			每項檢查均須合格。
檢查說明				

3-1 影像品質檢查表(色調亮度)

檢查項目	色調亮度			檢查日期	104.07.27
檢查人員	施錦揮				
亮度最小值(≧5)	亮度最大值(≦250)	整張色調是否均勻	影像中無人眼可辨之鑲嵌線	合格(Y/N)	備註
5	250	Y	Y	Y	
備註	1.正射影像之明亮度(intensity, Brightness)直方圖分布在 5~250 之範圍(全反射之地物不計入範圍)。 2.整區影像需進行無接縫鑲嵌、色調應均勻，且影像接邊處色調需一致。 3.上述條件有一項(含)以上不合格即為本檢查項目不合格。				

3-2 影像品質檢查表(地元尺寸)

檢查項目	地元尺寸			檢查日期	104.07.27		
檢查人員	施錦揮						
區域左上坐標		區域右下坐標		影像像素		平均地元尺寸	合格(Y/N)
E	N	E	N	橫向	縱向		
230527.27649	2725122.58392	235797.77649	2720596.08392	21082	18106	0.25	Y
備註	抽查正射影像地元尺寸不得大於 0.25 公尺，超過標準值即不合格。						

10

3-3 影像品質檢查表(連續地物合理性)

檢查項目	連續地物合理性		檢查日期	104.07.27	
檢查人員	施錦揮				
序號	地物坐標位置		錯誤說明	複檢情形	複檢合格(Y/N)
	E	N			
累計缺失數	0		判定結果	合格	
備註	1.檢查地物糾正是否完整(鐵、公路、橋樑及對地圖判讀有重要意義的基礎建設是否含有高差位移)。 2.影像地物、地貌是否扭曲變形。 3.影像接邊是否連續無縫。 4.本區本項目應全面檢查，如檢查之缺失數超過 5 處，則本區為不合格。				

3-4 影像品質檢查表(平面位置精度)

檢查項目	平面位置精度		檢查日期	104.07.28	
檢查人員	施錦揮				
序號	正射影像坐標		地形圖(上機)坐標		較差
	E	N	E	N	
1	230,862.321	2,721,663.903	230,863.73	2,721,663.71	1.42
2	231,841.767	2,722,798.307	231,842.84	2,722,798.65	1.13
3	232,112.178	2,722,759.874	232,113.15	2,722,760.41	1.11
4	232,043.692	2,723,052.784	232,043.64	2,723,053.32	0.54
5	232,922.812	2,722,554.538	232921.61	2,722,554.15	1.26
應抽點數	5		較差均方根	1.13	
實抽點數	5		判定結果	合格	
備註	1.重複量測平面無高差之地物點，每區抽查至少 5 點。 2.抽查點位量測之平面位置與原平面位置較差之均方根值不大於 1.25 公尺。				

11

屏東縣里港鄉(國 10 里港交流道)

附表 3

「104 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」正射影像成果檢查紀錄表

目次	3	檢查項目	正射影像	
檢查人員	施錦揮		完成檢查日期	104.07.07
提送資料	正射影像電子檔		檢查數量	全面檢查
檢查方式	檢查內容		合格(Y/N)	備註
內業檢查	1.色調、亮度		Y	應全數合格，詳 3-1 表。
	2.地元尺寸		Y	應全數合格，詳 3-2 表。
	3.連續地物合理性		Y	本區本項檢查缺失數超過 5 處為不合格，詳 3-3 表。
	4.平面位置精度（上機檢查）		Y	抽查點位量測之平面位置與原平面位置較差之均方根值不大於 1.25 公尺。詳 3-4 表。
檢查結果	■合格 □不合格			每項檢查均須合格。
檢查說明	連續地物合理性檢查有 2 處缺失，未超過 5 處，成果判定合格。			

3-1 影像品質檢查表(色調亮度)

檢查項目	色調亮度			檢查日期	104.07.06
檢查人員	施錦揮				
亮度最小值(≧5)	亮度最大值(≦250)	整張色調是否均勻	影像中無人眼可辨之鑲嵌線	合格(Y/N)	備註
5	250	Y	Y	Y	
備註	1.正射影像之明亮度(intensity, Brightness)直方圖分布在 5~250 之範圍(全反射之地物不計入範圍)。 2.整區影像需進行無接縫鑲嵌、色調應均勻，且影像接邊處色調需一致。 3.上述條件有一項(含)以上不合格即為本檢查項目不合格。				

3-2 影像品質檢查表(地元尺寸)

檢查項目	地元尺寸			檢查日期	104.07.06		
檢查人員	施錦揮						
區域左上坐標		區域右下坐標		影像像素		平均地元尺寸	合格(Y/N)
E	N	E	N	橫向	縱向		
194806.193	2523249.46489	199895.693	2519386.46489	20358	15452	0.25	Y
備註	抽查正射影像地元尺寸不得大於 0.25 公尺，超過標準值即不合格。						

6

3-3 影像品質檢查表(連續地物合理性)

檢查項目	連續地物合理性		檢查日期	104.07.06		
檢查人員	施錦揮					
序號	地物坐標位置		錯誤說明		複檢情形	複檢合格 (Y/N)
	E	N				
1	196,457.367	2,522,192.323	地物扭曲變形			
2	195,840.439	2,521,192.453	地物扭曲變形			
累計缺失數	2		判定結果	合格		
備註	1.檢查地物糾正是否完整(鐵、公路、橋樑及對地圖判讀有重要意義的基礎建設是否含有高差位移)。 2.影像地物、地貌是否扭曲變形。 3.影像接邊是否連續無縫。 4.本區本項目應全面檢查，如檢查之缺失數超過 5 處，則本區為不合格。					

3-4 影像品質檢查表(平面位置精度)

檢查項目	平面位置精度		檢查日期	104.07.07	
檢查人員	施錦揮				
序號	正射影像坐標		地形圖(上機)坐標		較差
	E	N	E	N	
1	198,561.08	2,522,192.56	198,561.80	2,522,191.71	1.11
2	198,952.44	2,522,561.24	198,952.74	2,522,560.73	0.59
3	197,487.56	2,522,265.47	197,487.73	2,522,266.13	0.68
4	198,488.14	2,522,669.62	198,488.70	2,522,669.76	0.58
5	196,691.95	2,522,227.40	196,691.80	2,522,227.01	0.42
應抽點數	5		較差均方根	0.72	
實抽點數	5		判定結果	合格	
備註	1.重複量測平面無高差之地物點，每區抽查至少 5 點。 2.抽查點位量測之平面位置與原平面位置較差之均方根值不大於 1.25 公尺。				

7

苗栗縣獅潭鄉(汶水橋)

附表 3

「104 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」正射影像成果檢查紀錄表

目次	3	檢查項目	正射影像	
檢查人員	施錦揮		完成檢查日期	104.08.24
提送資料	正射影像電子檔		檢查數量	全面檢查
檢查方式	檢查內容		合格(Y/N)	備註
內業檢查	1.色調、亮度		Y	應全數合格，詳 3-1 表。
	2.地元尺寸		Y	應全數合格，詳 3-2 表。
	3.連續地物合理性		Y	本區本項檢查缺失數超過 5 處為不合格，詳 3-3 表。
	4.平面位置精度（上機檢查）		Y	抽查點位量測之平面位置與原平面位置較差之均方根值不大於 1.25 公尺。詳 3-4 表。
檢查結果	■合格 □不合格			每項檢查均須合格。
檢查說明				

3-1 影像品質檢查表(色調亮度)

檢查項目	色調亮度			檢查日期	104.08.20
檢查人員	施錦揮				
亮度最小值(≧5)	亮度最大值(≦250)	整張色調是否均勻	影像中無人眼可辨之鑲嵌線	合格(Y/N)	備註
5	250	Y	Y	Y	
備註	1.正射影像之明亮度(intensity, Brightness)直方圖分布在 5~250 之範圍(全反射之地物不計入範圍)。 2.整區影像需進行無接縫鑲嵌、色調應均勻，且影像接邊處色調需一致。 3.上述條件有一項(含)以上不合格即為本檢查項目不合格。				

3-2 影像品質檢查表(地元尺寸)

檢查項目	地元尺寸			檢查日期	104.08.20		
檢查人員	施錦揮						
區域左上坐標		區域右下坐標		影像像素		平均地元尺寸	合格(Y/N)
E	N	E	N	橫向	縱向		
236883.0799	2706073.7668	239569.0799	2703517.2668	10744	10226	0.25	Y
備註	抽查正射影像地元尺寸不得大於 0.25 公尺，超過標準值即不合格。						

6

3-3 影像品質檢查表(連續地物合理性)

檢查項目	連續地物合理性		檢查日期	104.08.21	
檢查人員	施錦揮				
序號	地物坐標位置		錯誤說明	複檢情形	複檢合格(Y/N)
	E	N			
累計缺失數	0		判定結果	合格	
備註	1.檢查地物糾正是否完整(鐵、公路、橋樑及對地圖判讀有重要意義的基礎建設是否含有高差位移)。 2.影像地物、地貌是否扭曲變形。 3.影像接邊是否連續無縫。 4.本區本項目應全面檢查，如檢查之缺失數超過 5 處，則本區為不合格。				

3-4 影像品質檢查表(平面位置精度)

檢查項目	平面位置精度		檢查日期	104.08.21	
檢查人員	施錦揮				
序號	正射影像坐標		地形圖(上機)坐標		較差
	E	N	E	N	
1	238301.30	2704728.15	237301.73	2704729.19	1.13
2	238536.86	2704297.65	238537.66	2704298.63	1.27
3	238411.42	2704611.54	238412.22	2704612.18	1.02
4	238486.02	2704537.77	238484.97	2704537.51	1.08
5	238566.20	2704271.78	238566.99	2704272.73	1.24
應抽點數	5		較差均方根	1.15	
實抽點數	5		判定結果	合格	
備註	1.重複量測平面無高差之地物點，每區抽查至少 5 點。 2.抽查點位量測之平面位置與原平面位置較差之均方根值不大於 1.25 公尺。				

7

臺南市新化區(台 19 甲線外環)、臺南市新市區(新和重劃區)

附表 3

「104 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」正射影像成果檢查紀錄表

目次	3	檢查項目	正射影像	
檢查人員	施錦揮		完成檢查日期	104.08.20
提送資料	正射影像電子檔		檢查數量	全面檢查
檢查方式	檢查內容		合格(Y/N)	備註
內業檢查	1.色調、亮度		Y	應全數合格，詳 3-1 表。
	2.地元尺寸		Y	應全數合格，詳 3-2 表。
	3.連續地物合理性		Y	本區本項檢查缺失數超過 5 處為不合格，詳 3-3 表。
	4.平面位置精度（上機檢查）		Y	抽查點位量測之平面位置與原平面位置較差之均方根值不大於 1.25 公尺。詳 3-4 表。
檢查結果	■合格 □不合格			每項檢查均須合格。
檢查說明	連續地物合理性檢查有 2 處缺失，未超過 5 處，成果判定合格。			

3-1 影像品質檢查表(色調亮度)

檢查項目	色調亮度			檢查日期	104.08.14
檢查人員	施錦揮				
亮度最小值(≧5)	亮度最大值(≦250)	整張色調是否均勻	影像中無人眼可辨之鑲嵌線	合格(Y/N)	備註
5	250	Y	Y	Y	
5	250	Y	Y	Y	
備註	1.正射影像之明亮度(intensity, Brightness)直方圖分布在 5~250 之範圍(全反射之地物不計入範圍)。 2.整區影像需進行無接縫鑲嵌、色調應均勻，且影像接邊處色調需一致。 3.上述條件有一項(含)以上不合格即為本檢查項目不合格。				

3-2 影像品質檢查表(地元尺寸)

檢查項目	地元尺寸			檢查日期	104.08.14		
檢查人員	施錦揮						
區域左上坐標		區域右下坐標		影像像素		平均地元尺寸	合格(Y/N)
E	N	E	N	橫向	縱向		
178003.08447	2550578.0088	180742.08447	2546639.7588	10956	15753	0.25	Y
176643.36987	2554193.10677	177945.61987	2552924.85677	5209	5073	0.25	Y
備註	抽查正射影像地元尺寸不得大於 0.25 公尺，超過標準值即不合格。						

8

3-3 影像品質檢查表(連續地物合理性)

檢查項目	連續地物合理性(臺南新市)		檢查日期	104.08.18		
檢查人員	施錦揮					
序號	地物坐標位置		錯誤說明		複檢情形	複檢合格(Y/N)
	E	N				
1	176,985.30	2,553,500.51	地物扭曲變形			
2	176,948.47	2,553,434.26	地物扭曲變形			
累計缺失數	2		判定結果	合格		
備註	1.檢查地物糾正是否完整(鐵、公路、橋樑及對地圖判讀有重要意義的基礎建設是否含有高差位移)。 2.影像地物、地貌是否扭曲變形。 3.影像接邊是否連續無縫。 4.本區本項目應全面檢查，如檢查之缺失數超過 5 處，則本區為不合格。					

3-4 影像品質檢查表(平面位置精度)

檢查項目	平面位置精度(臺南新市)		檢查日期	104.08.19	
檢查人員	施錦揮				
序號	正射影像坐標		地形圖(上機)坐標		較差
	E	N	E	N	
1	177807.46	2553616.13	177807.41	2553616.79	0.66
2	177798.68	2553718.41	177798.25	2553717.74	0.80
3	177602.33	2553797.84	177602.65	2553797.92	0.33
4	177573.24	2553535.06	177572.81	2553535.45	0.58
5	177447.30	2553452.69	177446.60	2553452.31	0.80
應抽點數	5		較差均方根	0.66	
實抽點數	5		判定結果	合格	
備註	1.重複量測平面無高差之地物點，每區抽查至少 5 點。 2.抽查點位量測之平面位置與原平面位置較差之均方根值不大於 1.25 公尺。				

9

檢查項目	平面位置精度(新化)		檢查日期	104.08.19	
檢查人員	施錦揮				
序號	正射影像坐標		地形圖(上機)坐標		較差
	E	N	E	N	
1	179487.52	2547143.27	179487.92	2547144.07	0.89
2	179474.74	2546936.33	179475.85	2546937.01	1.30
3	178274.23	2550359.49	178274.21	2550359.39	0.10
4	178317.05	2550215.31	178317.11	2550215.39	0.10
5	179671.14	2547013.14	179671.01	2547013.27	0.18
應抽點數	5		較差均方根	0.71	
實抽點數	5		判定結果	合格	
備註	1.重複量測平面無高差之地物點，每區抽查至少 5 點。 2.抽查點位量測之平面位置與原平面位置較差之均方根值不大於 1.25 公尺。				

10

臺南市安南區(九份子重劃區)

附表 3

「104 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」正射影像成果檢查紀錄表

目次	3	檢查項目	正射影像	
檢查人員	施錦揮		完成檢查日期	104.10.29
提送資料	正射影像電子檔		檢查數量	全面檢查
檢查方式	檢查內容		合格(Y/N)	備註
內業檢查	1.色調、亮度		Y	應全數合格，詳 3-1 表。
	2.地元尺寸		Y	應全數合格，詳 3-2 表。
	3.連續地物合理性		Y	本區本項檢查缺失數超過 5 處為不合格，詳 3-3 表。
	4.平面位置精度（上機檢查）		Y	抽查點位量測之平面位置與原平面位置較差之均方根值不大於 1.25 公尺。詳 3-4 表。
檢查結果	■合格 □不合格			每項檢查均須合格。
檢查說明				

3-1 影像品質檢查表(色調亮度)

檢查項目	色調亮度			檢查日期	104.10.21
檢查人員	施錦揮				
亮度最小值(≧5)	亮度最大值(≦250)	整張色調是否均勻	影像中無人眼可辨之鑲嵌線	合格(Y/N)	備註
5	250	Y	Y	Y	
備註	1.正射影像之明亮度(intensity, Brightness)直方圖分布在 5~250 之範圍(全反射之地物不計入範圍)。 2.整區影像需進行無接縫鑲嵌、色調應均勻，且影像接邊處色調需一致。 3.上述條件有一項(含)以上不合格即為本檢查項目不合格。				

3-2 影像品質檢查表(地元尺寸)

檢查項目	地元尺寸			檢查日期	104.10.21		
檢查人員	施錦揮						
區域左上坐標		區域右下坐標		影像像素		平均地元尺寸	合格(Y/N)
E	N	E	N	橫向	縱向		
165174.95	2547714.93	166743.45	2545914.43	7202	6274	0.25	Y
備註	抽查正射影像地元尺寸不得大於 0.25 公尺，超過標準值即不合格。						

7

3-3 影像品質檢查表(連續地物合理性)

檢查項目	連續地物合理性		檢查日期	104.10.27	
檢查人員	施錦揮				
序號	地物坐標位置		錯誤說明	複檢情形	複檢合格 (Y/N)
	E	N			
1					
2					
3					
4					
累計缺失數	0		判定結果	合格	
備註	1.檢查地物糾正是否完整(鐵、公路、橋樑及對地圖判讀有重要意義的基礎建設是否含有高差位移)。 2.影像地物、地貌是否扭曲變形。 3.影像接邊是否連續無縫。 4.本區本項目應全面檢查，如檢查之缺失數超過 5 處，則本區為不合格。				

3-4 影像品質檢查表(平面位置精度)

檢查項目	平面位置精度		檢查日期	104.10.29	
檢查人員	施錦揮				
序號	正射影像坐標		地形圖(上機)坐標		較差
	E	N	E	N	
1	165850.78	2546630.74	165850.66	2546630.90	0.20
2	166034.42	2546602.36	166033.71	2546602.72	0.80
3	166583.04	2546357.43	166582.59	2546357.36	0.46
4	166644.18	2546403.92	166643.91	2546403.00	0.96
5	165626.60	2546798.13	165625.98	2546798.27	0.64
應抽點數	5		較差均方根	0.66	
實抽點數	5		判定結果	合格	
備註	1.重複量測平面無高差之地物點，每區抽查至少 5 點。 2.抽查點位量測之平面位置與原平面位置較差之均方根值不大於 1.25 公尺。				

8