



NLSC-108-9

108 年度發展光達移動測繪系統 (LMS)作業採購案

Development of LiDAR mobile mapping system - 2019

工作總報告

Final Report

主辦機關：內政部國土測繪中心
National Land Surveying
and Mapping Center

執行單位：經緯航太科技股份有限公司
GEOSAT Aerospace &
Technology Inc.

中華民國 108 年 12 月 26 日
December 26, 2019

摘要

為達到圖資快速更新，提供國家經建政策規劃推動及防救災領域所需及時且正確的基礎圖資，國土測繪中心於 106 及 107 年度完成光達移動測繪系統(LiDAR Mapping System, LMS)，為確保移動測繪系統成果品質，108 年度針對現有測繪車光達及影像感測設備辦理相關率定作業之需求。首先進行資料蒐集，盤點國內車載移動測繪系統的種類與數量，以及近年來國內、外與車載移動測繪系統率定技術相關之應用文獻，評估未來辦理車載移動測繪系統率定場規劃作業，參考文獻既有技術研擬率定標準作業程序，俾利後續建置移動測繪系統率定場。

本案研提車載移動測繪系統率定程序，感測器包含定位定向系統、相機、光達，率定項目包含軸角及固定臂。參考率定技術介紹及率定場選擇原則，建議率定場透空度可達 50 度以上，適合 GNSS 接收且可減少 GNSS 訊號受到遮蔽或多路徑效應影響；光達式率定場需進行往返軌跡掃描，使用點或面之型式進行率定解算，建議現地包含一棟建物及前方有空地情況，軌跡路線包含左右、前後往返掃描資料，以及與建物 45 度角運行方向進行點雲資料蒐集，以利蒐集往返及不同方向交會點雲資料；影像式率定場拍攝之影像，將影像切成 16 或 25 等份，每等份內應盡可能有 3 個以上明顯特徵點，率定場四周有低矮建物包含大量特徵點位。本案針對中部地區：文山水資源回收中心、國立中興大學創新育成中心、中部科學園區管理局、港灣技術研究中心、中興新村高等研究園區(工管組)、中興新村中興會堂共 6 處進行實地踏勘，針對各場地進行評估比較。後續亦針對率定標設計及率定報告格式進行規劃。

針對車載移動測繪系統率定程序，光達式 LMS 系統建議選用 TerraMatch 之軸角及固定臂率定作業流程，影像式選用兩階段率定作業流程，辦理國土測繪中心及自強工程顧問有限公司車載移動測繪系統率定試辦作業，試辦作業於成功大學歸仁校區之室外率定場進行。初步成果顯示，本案研擬之 2 種不同路線資料蒐集率定方法，皆可成功求得軸角率定成果，測繪中心及自強工程顧問光達式 LMS 平面精度分別為 0.141 及 0.044 公尺、三維精度為 0.204 及 0.073 公尺；測繪中心影像式平面及三維精度分別為 0.129 及 0.139 公尺。相關成果可應用於國土利用調查及臺灣通用電子地圖圖資更新等作業。

本案移動測繪系統整體架構包含定位定向系統(GNSS、IMU、輪速計)、資料擷取系統(光達設備、7 部工業級數位相機)、移動測繪系

統整合式平台等，移動測繪系統整合式平臺目前約重 70 公斤，本公司規劃以下方法來減低操作人員安裝設備之負擔。第一種方式為現有裝載車載設備人員配置訓練，第二種規劃使用輔助工具電動升降機搭配工作梯，由側裝或尾裝方式安裝整合式平台。除此之外，針對整合式系統輕量化架構設計等進行評估，包含將部分材料考慮更換成複合材料，或是將原一體化設計切割成兩件式，在維持一定剛性條件下進行分割，可有效減輕單一件式重量。

配合測繪中心現有作業環境並與 Terra solid 軟體搭配使用，選用 TerraSolid 模組 TerraPhoto 做為賦予點雲顏色之軟體，功能包含可匯入具有地理定位及相機內方位資訊之影像，使光達點雲賦予可見光 RGB 顏色資訊，匯入影像格式須支援正射影像、一般相機拍攝影像及全景相片(等距長方投影 equirectangular)等。TerraPhoto 為利用地面雷射點雲對應數位影像進行正射糾正產生正射影像的軟體，廣泛應用於光達系統運作時產生之影像執行正射糾正，正射糾正過程可不使用任何控制點。後續亦可藉由工業相機或全景相機等彩色影像，得上色後彩色點雲，符合真實樣貌三維點雲模型，圖資數化更新亦因點雲存在 RGB 資訊更易於辨識。

配合國土測繪中心成果發表，將相關成果投稿研討會或期刊論文，相關說明請參閱工作總報告內容。

關鍵字：車載移動測繪系統、光達系統、定位定向系統、軸角/固定臂率定

Abstract

In order to update the map rapidly, National Land Surveying and Mapping Center (NLSC) completes LiDAR Mapping System (LMS) in 2017 and 2018. In order to ensure the quality of the results of the LMS, this project focus on the issue of boresight and leverarm calibration in 2019. Hence, we check the information about each kinds of mobile mapping system in our country. Second, the references that discussing about the calibration methods are also be collected.

A calibration procedure for LMS is proposed in this project. A good calibration side is an open space with hard surface ground and without disturbing objects such as cars or trees. At least on one side there should be a larger building wall or another large vertical surface without many detailed structures. The calibration drive may includes two drive paths in opposite direction parallel to the vertical surface, two drive paths in opposite direction perpendicular to the vertical surface and two diagonal drive paths towards or away from the vertical surface. Another option is to drive over an intersection of two road with at least two buildings next to the crossing, both roads in opposite directions. There are six area that we choose for calibration field in central Taiwan. It also compares these area of advantages and disadvantages in this report.

In this project, a LMS calibration procedure has been proposed. All necessary calibration procedures are implemented in Gueiren district, Tainan. LMS with proposed calibration procedure can get the boresight

angle and lever arm results successfully. Then, the preliminary results about point clouds of positioning accuracy in direct georeferencing mode illustrate that the xy plan and 3D are around 0.141 and 0.204 m with NLSC LiDAR Mapping System.

The weights of the platform including GNSS, IMU, lidar, digital cameras, and PC are about about 70 kg. In order to install the equipment easily, there are some suggestion that we propose in this project. The first way is to provide training for the staff. The second way is to use an auxiliary tool such as electric elevator and ladder. In addition, the evaluation of the lightweight system design such as replacing some materials with composite materials or cutting the original integrated design into two pieces will help the staff to setup the equipment.

TerraPhoto is chosen for giving the color to the point cloud in this project. TerraPhoto is widely used for the production of images from UAS and LMS. Images from mobile systems can be used to calibrate multiple-camera systems, to improve the positioning of the images from several cameras of a system, to rectify images on the ground surface, and to create source data for coloring LMS point clouds. The detail and image processing are shown in this report.

Keypoints: LMS, Mobile Mapping System, GNSS, IMU, Lidar, Boresight, Leverarm, Calibration

工作項目與章節提示對照表

項次	評選項目	對應章節	頁次
一、需求訪談及各式報告			
(一)	需求訪談	附錄八	P.191 至 P.193
(二)	月執行進度與工作會議	附錄九	P.194 至 P.197
(三)	論文投稿	附錄十一	P.203
二、購置影像正射糾正軟體			
(一)	購置影像正射糾正軟體	第伍章	P.138 至 P.147
三、車載移動測繪系統率定場規劃作業			
(一)	資料蒐集	第貳章	P.7 至 P.55
(二)	率定程序	第參章第一節	P.56 至 P.76
(三)	率定場選址	第參章第四節	P.86 至 P.102
(四)	試辦作業	第參章第五節	P.102 至 P.125
四、移動測繪系統安裝改善作業			
(一)	安裝改善	第肆章第一節	P.126 至 P.135
(二)	輕量化規劃	第肆章第二節	P.135 至 P.137
五、成果展示作業			
(一)	海報製作及協助展示	第陸章第一節	P.148 至 P.150
六、教育訓練			
(一)	教育訓練	第陸章第二節	P.150 至 P.154
七、車輛保養、驗車、保險			
(一)	車輛保養	附錄十二	P.204
(二)	驗車	附錄十二	P.205
(三)	保險	附錄十二	P.206 至 P.207

目錄

摘要.....	I
Abstract.....	III
工作項目與章節提示對照表	V
目錄.....	VI
圖目錄.....	VIII
表目錄.....	XVI
第壹章 前言.....	1
第一節 計畫名稱	1
第二節 計畫緣起	1
第三節 工作項目及內容	1
第四節 工作辦理情形與時程	4
第貳章 國內外 MMS 及率定技術介紹	7
第一節 國內車載移動測繪系統	7
第二節 國外車載移動測繪系統	22
第三節 車載移動測繪系統率定技術	38
第四節 小結	53
第參章 車載移動測繪系統率定場規劃作業	56
第一節 移動測繪系統率定程序	56
第二節 控制點率定標標型	76
第三節 率定報告格式	82
第四節 率定場選址	86
第五節 試辦作業	102
第六節 小結	125
第肆章 系統安裝改善作業	126
第一節 移動測繪系統安裝改善作業	126
第二節 系統輕量化規劃	135
第伍章 影像正射糾正軟體	138
第一節 TerraPhoto 說明.....	138

第二節 TerraPhoto 資料處理流程.....	141
第陸章 成果展示作業及教育訓練	148
第一節 成果展示作業	148
第二節 辦理教育訓練	150
第柒章 結論及未來建議	155
第一節 結論	155
第二節 未來建議	157
第捌章 附錄.....	159
附錄一 工作總報告委員審查意見回覆說明表	159
附錄二 工作總報告甲方工作小組意見回覆說明表	165
附錄三 期中報告委員審查意見回覆說明表	169
附錄四 期中報告甲方工作小組意見回覆說明表	177
附錄五 作業計畫書甲方工作小組意見回覆說明表	179
附錄六 服務建議書委員審查意見回覆說明表	181
附錄七 服務建議書甲方工作小組之意見回覆說明表	187
附錄八 需求訪談會議紀錄	191
附錄九 各次工作會議紀錄回覆說明表	194
附錄十 率定場/檢核場控制點分布及坐標與控制點量測結果	198
附錄十一 論文投稿	203
附錄十二 車輛驗車/保養/保險	204
附錄十三 參考文獻	208

圖目錄

圖 1-1 進度甘特圖	6
圖 2-1 國土測繪中心建置之車載影像式移動測繪系統.....	8
圖 2-2 國土測繪中心建置之車載光達式移動測繪系統.....	9
圖 2-3 國立成功大學第一代鷹眼平台	10
圖 2-4 國立成功大學第二代鷹眼平台	10
圖 2-5 歷年工作項目目的及關係圖	11
圖 2-6 國立成功大學推車式移動測繪系統.....	12
圖 2-7 國立成功大學光達整合系統.....	12
圖 2-8 台灣國際航電車載移動測繪系統(摘自 http://www.garmin.com.tw/).....	13
圖 2-9 詮華國土測繪車載移動測繪系統(摘自 http://www.chuanhwa.com.tw/).....	14
圖 2-10 勤崴國際科技車載影像式移動測繪系統(摘自 http://www.kingwaytek.com/)	14
圖 2-11 勤崴國際科技車載光達式移動測繪系統(摘自 http://www.kingwaytek.com/)	15
圖 2-12 群立科技車載移動測繪系統(摘自 http://www.geoforce.com.tw/)	15
圖 2-13 自強工程顧問 IWANE 車載移動測繪系統(摘自 http://www.strongco.url.tw/).....	16
圖 2-14 自強工程顧問車載光達式移動測繪系統(摘自 http://www.strongco.url.tw/).....	16
圖 2-15 北辰科技車載移動測繪系統(摘自 http://www.polstargps.com/)	17
圖 2-16 感測器顯示資訊圖	19
圖 2-17 點雲顯示資訊圖	19
圖 2-18 中興測量車載移動測繪系統(摘自 http://www.chsurvey.com.tw/)	20
圖 2-19 日陞空間資訊車載移動測繪系統(摘自 http://www.srgeo.com.tw/).....	20
圖 2-20 經緯航太科技第一代車載影像式移動測繪系統(摘自 http://www.geosat.com.tw/).....	21
圖 2-21 經緯航太科技第二代車載影像式移動測繪系統(摘自 http://www.geosat.com.tw/)	21
圖 2-22 經緯航太科技車載光達式移動測繪系統(摘自 http://www.geosat.com.tw/)	22
圖 2-23 Google Street View 介面(摘自 http://maps.google.com.tw/).....	23

圖 2-24 Google 街景車(摘自 http://maps.google.com.tw/)	24
圖 2-25 三維建模與數碼城市(摘自 http://www.optech.ca/).....	24
圖 2-26 新一代 Google 街景車(摘自 http://maps.google.com.tw/)	25
圖 2-27 Alberta MHIS 車載移動測繪系統(摘自 Lapucha, 1990).....	25
圖 2-28 第一代 VISAT(摘自 Schwarz et al., 1993)	26
圖 2-29 第二代 VISAT(摘自 El-Sheimy, 1996)	26
圖 2-30 第三代 VISAT(University of Calgary 提供).....	27
圖 2-31 GPSVan(摘自 Grejner-Brzezinska, 2001)	27
圖 2-32 RIEGL 車載移動測繪系統 VMX-250(摘自 http://www.riegl.com/).....	28
圖 2-33 車載光達掃瞄成果(摘自 http://www.riegl.com/).....	28
圖 2-34 隧道內測試及成果(摘自 http://www.riegl.com/).....	29
圖 2-35 光達點雲資料(左)強度值；(右)高程值(摘自 Toschi et al., 2015)	29
圖 2-36 OPTECH 車載移動測繪系統 Lynx Mobile Mapper(摘自 http://www.teledyneoptech.com/).....	30
圖 2-37 TOPCON 車載移動測繪系統(摘自 http://www.topconpositioning.com/).....	30
圖 2-38 LEICA 車載移動測繪系統(摘自 http://leica-geosystems.com/)	31
圖 2-39 TRIMBLE 車載移動測繪系統 MX-8(摘自 http://www.trimble.com/)	32
圖 2-40 MX-8 光達掃瞄範例(摘自 Takahashi et al., 2016)	32
圖 2-41 交通標誌掃瞄成果(摘自 Takahashi et al., 2016).....	33
圖 2-42 Earthmine 車載移動測繪系統(摘自 http://www.nokia.com/) ..	33
圖 2-43 NOKIA 車載移動測繪系統 Here(摘自 http://www.nokia.com/)	34
圖 2-44 Here 地圖街景介面(摘自 http://mobile.here.com/).....	34
圖 2-45 三菱電機車載移動測繪系統(摘自 http://www.mitsubishielectric.com/bu/mms/)	35
圖 2-46 Asia Air Survey 車載移動測繪系統 GeoMasterNeo(摘自 Hatake et al., 2011)	36
圖 2-47 車載遙測製圖系統應用於日本 311 大地震成果(摘自 Hatake et al., 2011).....	36
圖 2-48 測試區域(摘自 Koarai et al., 2012).....	37
圖 2-49 分析結果(摘自 Koarai et al., 2012).....	37
圖 2-50 IWANE 車載移動測繪系統(摘自 http://www.iwane.com/)	38
圖 2-51 RIEGL RiPROCESS 介面(摘自 http://www.riegl.com/).....	40
圖 2-52 RiPROCESS 率定值輸出(摘自 http://www.riegl.com/)	40

圖 2-53 不同運行和掃描方向示意圖(摘自 Rieger et al., 2010).....	41
圖 2-54 往返方向掃描點雲未做軸角率定改正產生角度傾斜偏差示意圖(摘自 Rieger et al., 2010)	41
圖 2-55 掃描三維點雲相應平面表面計算其重心位置以及相對應法向量(摘自 Rieger et al., 2010)	42
圖 2-56 OPTECH 率定作業流程(摘自 http://www.teledyneoptech.com/)	43
圖 2-57 選擇(左)控制點；(右)控制面類型進行率定作業(摘自 http://www.teledyneoptech.com/).....	43
圖 2-58 Z+F 軸角/固定臂率定場作業模式示意圖(摘自 http://www.zf-laser.com/).....	44
圖 2-59 Z+F 軸角/固定臂軟體操作介面	44
圖 2-60 Z+F 軸角/固定臂率定作業成果	45
圖 2-61 TerraMatch 軸角/固定臂率定場(左)單一建物及空地；(右)道路十字路口作業模式示意圖(摘自 http://www.terrasolid.com/)	45
圖 2-62 求解(左)Heading；(中)Pitch；(右)Roll 角之掃描路線概念示意圖(摘自 http://www.terrasolid.com/).....	46
圖 2-63 相機率定拍攝程序示意圖	49
圖 2-64 相機率定拍攝方式(夾角 45 度)	49
圖 2-65 相機率定拍攝方式(夾角 90 度)	50
圖 2-66 相機率定拍攝範例	50
圖 2-67 相機率定拍攝方式(摘自 http://www.terrasolid.com/)	50
圖 2-68 相機率定解算介面(摘自 http://www.terrasolid.com/)	51
圖 2-69 室內環場影像之相對方位率定場(摘自江凱偉，2011).....	51
圖 2-70 內方位率定成果(摘自江凱偉，2011)	52
圖 2-71 相對方位率定之拍攝與整體解算(摘自江凱偉，2011).....	52
圖 2-72 坐標系統之統一與轉換關係	53
圖 3-1 光達式 MMS 外業資料蒐集作業流程圖.....	56
圖 3-2 光達式 MMS 率定第 1 種掃描路線軌跡規劃	57
圖 3-3 光達式 MMS 率定第 1 種掃描路線軌跡規劃圖 3-1 之第(3)處細部軌跡.....	58
圖 3-4 光達式 MMS 率定第 2 種掃描路線軌跡規劃	58
圖 3-5 光達式 MMS 內業資料解算作業流程圖.....	59
圖 3-6 載入軌跡資料	60
圖 3-7 載入點雲資料	60
圖 3-8 框選待率定區域點雲資料	61
圖 3-9 點雲分類	61
圖 3-10 設定蒐尋 Tie Lines 之點雲類別	62

圖 3-11 設定蒐尋 Tie Lines 之參數及門檻值.....	62
圖 3-12 軸角/固定臂率定成果.....	63
圖 3-13 軸角/固定臂率定成果帶入點雲進行改正.....	63
圖 3-14 相機內方位參數資料蒐集作業流程圖.....	64
圖 3-15 相機率定拍攝程序示意圖.....	64
圖 3-16 相機率定拍攝方式(夾角 45 度)俯視圖.....	65
圖 3-17 相機率定拍攝方式(夾角 45 度)側視圖.....	65
圖 3-18 相機率定拍攝方式(夾角 90 度)俯視圖.....	65
圖 3-19 相機率定拍攝方式(夾角 90 度)側視圖.....	66
圖 3-20 相機率定拍攝範例.....	66
圖 3-21 相機內方位參數資料解算作業流程圖.....	66
圖 3-22 匯入相機影像檔案.....	67
圖 3-23 設定相機參數.....	67
圖 3-24 設定相機內方位參數.....	68
圖 3-25 AutoCal 進行 Tie point 自動匹配.....	68
圖 3-26 檢查內方位參數解算結果.....	69
圖 3-27 檢查內方位參數解算結果.....	69
圖 3-28 影像式 MMS 外業資料蒐集作業流程圖.....	70
圖 3-29 影像式 MMS 率定掃描路線軌跡規劃.....	71
圖 3-30 影像式 MMS 內業資料解算作業流程圖.....	72
圖 3-31 (左)GNSS 解算；(右)鬆耦合 GNSS/INS 整合解算定位定向資料.....	73
圖 3-32 LadybugCapPro 將全景影像輸出為 6 張單一影像.....	73
圖 3-33 匯入影像並依各相機分群組.....	74
圖 3-34 匯入影像及內方位參數.....	74
圖 3-35 匯入控制點進行量測.....	75
圖 3-36 解算每張影像外方位參數.....	75
圖 3-37 控制點精度.....	76
圖 3-38 (左)Australis；(中)iwitness；(右)PhotoScan 軟體原廠率定標.....	77
圖 3-39 E0 系列牆面控制點.....	77
圖 3-40 E1 系列牆面控制點.....	78
圖 3-41 E2 系列牆面控制點.....	78
圖 3-42 E3 系列牆面控制點.....	79
圖 3-43 車道分隔線掃描情形.....	79
圖 3-44 圓形樣式率定標.....	80
圖 3-45 Z+F 方形樣式率定標及掃描情況(摘自 http://www.zf-laser.com/).....	80

圖 3-46 OPTECH 方形樣式率定標及掃描情況(摘自 http://www.teledyneoptech.com/).....	80
圖 3-47 成功大學自行設計率定標樣式(摘自江凱偉, 2017).....	81
圖 3-48 自行設計率定標樣式(摘自 http://www.teledyneoptech.com/).....	81
圖 3-49 Z+F 自行設計率定標樣式(摘自 http://www.zf-laser.com/).....	81
圖 3-50 本案規劃設計牆面率定標樣式.....	82
圖 3-51 本案規劃設計地面率定標樣式.....	82
圖 3-52 光達式軸角/固定臂率定成果報告格式(草案)第 1 頁.....	83
圖 3-53 光達式軸角/固定臂率定成果報告格式(草案)第 2 頁.....	84
圖 3-54 光達式軸角/固定臂率定成果報告格式(草案)第 3 頁.....	85
圖 3-55 文山水資源回收中心：(藍框)光達式規劃範圍；(紅框)影像式.....	87
圖 3-56 文山水資源回收中心現場拍攝情形 1.....	88
圖 3-57 文山水資源回收中心現場拍攝情形 2.....	88
圖 3-58 文山水資源回收中心現場拍攝情形 3.....	89
圖 3-59 國立中興大學創新育成中心：(紅框)影像式及光達式規劃範圍.....	89
圖 3-60 國立中興大學創新育成中心現場拍攝情形 1.....	90
圖 3-61 國立中興大學創新育成中心現場拍攝情形 2.....	90
圖 3-62 國立中興大學創新育成中心現場拍攝情形 3.....	91
圖 3-63 中部科學園區管理局：(藍框)光達式規劃範圍；(紅框)影像式.....	91
圖 3-64 中部科學園區管理局 GNSS 接收情形.....	92
圖 3-65 中部科學園區管理局現場拍攝情形 1.....	93
圖 3-66 中部科學園區管理局現場拍攝情形 2.....	93
圖 3-67 中部科學園區管理局現場拍攝情形 3.....	93
圖 3-68 港灣技術研究中心：(藍框)光達式規劃範圍；(紅框)影像式.....	94
圖 3-69 港灣技術研究中心 GNSS 接收情形.....	95
圖 3-70 港灣技術研究中心現場拍攝情形 1.....	95
圖 3-71 港灣技術研究中心現場拍攝情形 2.....	96
圖 3-72 港灣技術研究中心現場拍攝情形 3.....	96
圖 3-73 中興新村高等研究園區(工管組)：(紅框)影像式及光達式規劃範圍.....	97
圖 3-74 中興新村高等研究園區(工管組)GNSS 接收情形.....	98
圖 3-75 中興新村高等研究園區(工管組)現場拍攝情形 1.....	98
圖 3-76 中興新村高等研究園區(工管組)現場拍攝情形 2.....	99
圖 3-77 中興新村高等研究園區(工管組)現場拍攝情形 3.....	99

圖 3-78 中興新村中興會堂：(紅框)影像式及光達式規劃範圍	100
圖 3-79 中興新村中興會堂 GNSS 接收情形.....	101
圖 3-80 中興新村中興會堂現場拍攝情形 1.....	101
圖 3-81 中興新村中興會堂現場拍攝情形 2.....	102
圖 3-82 中興新村中興會堂現場拍攝情形 3.....	102
圖 3-83 光達系統(黃框)率定場 1；(綠框)率定場 2；(紅框)檢核場範圍.....	103
圖 3-84 光達率定場現況	103
圖 3-85 光達檢核場現況	104
圖 3-86 國土測繪中心車載光達系統率定作業情形.....	104
圖 3-87 國土測繪中心車載光達系統率定作業軌跡(第 1 種).....	105
圖 3-88 國土測繪中心車載光達系統率定點雲展示(第 1 種).....	105
圖 3-89 國土測繪中心車載光達系統檢核作業情形.....	106
圖 3-90 國土測繪中心車載光達系統檢核作業軌跡.....	106
圖 3-91 國土測繪中心車載光達系統檢核點雲展示.....	107
圖 3-92 國土測繪中心車載光達系統率定作業軌跡(第 2 種).....	108
圖 3-93 國土測繪中心車載光達系統率定點雲展示(第 2 種).....	108
圖 3-94 自強工程顧問有限公司車載光達系統率定作業情形.....	110
圖 3-95 自強工程顧問有限公司車載光達系統率定作業軌跡(第 1 種)	110
圖 3-96 自強工程顧問有限公司車載光達系統率定點雲展示(第 1 種)	110
圖 3-97 自強工程顧問有限公司車載光達系統檢核作業情形.....	111
圖 3-98 自強工程顧問有限公司車載光達系統檢核作業軌跡.....	112
圖 3-99 自強工程顧問有限公司車載光達系統檢核點雲展示.....	112
圖 3-100 自強工程顧問有限公司車載光達系統率定作業軌跡(第 2 種)	113
圖 3-101 自強工程顧問有限公司車載光達系統率定點雲展示(第 2 種)	113
圖 3-102 影像式系統率定檢核場範圍	117
圖 3-103 影像式率定檢核場現況.....	117
圖 3-104 國土測繪中心車載影像式系統率定作業情形.....	119
圖 3-105 國土測繪中心車載影像式系統率定作業軌跡.....	119
圖 3-106 國土測繪中心車載影像式系統率定作業空三成果.....	119
圖 3-107 自強工程顧問有限公司車載影像式系統率定作業情形.....	121
圖 3-108 自強工程顧問有限公司車載影像式系統率定作業軌跡.....	122
圖 3-109 自強工程顧問有限公司車載影像式系統率定作業空三成果	123

圖 4-1 本案車載移動測繪系統外觀.....	126
圖 4-2 衛星定位儀.....	126
圖 4-3 天線盤.....	126
圖 4-4 慣性量測元件.....	127
圖 4-5 輪速計.....	127
圖 4-6 影像感測器.....	127
圖 4-7 光達設備.....	127
圖 4-8 光達設備原廠率定證明書.....	128
圖 4-9 移動測繪系統整合式平台.....	129
圖 4-10 機電架構圖.....	129
圖 4-11 整合式平台安裝作業程序：提起.....	130
圖 4-12 整合式平台安裝作業程序：舉起.....	130
圖 4-13 整合式平台安裝作業程序：橫向移動.....	131
圖 4-14 電動升降機與工作梯.....	132
圖 4-15 電動升降機升起狀態.....	133
圖 4-16 電動升降機展開狀態.....	134
圖 4-17 電動升降機升高至 170 公分情形.....	134
圖 4-18 電動升降機手動操作升降.....	135
圖 4-19 兩件式配置示意圖.....	136
圖 4-20 設備配置於車頂示意圖.....	137
圖 5-1 TerraScan 點雲分類(摘自 http://www.terrasolid.com/).....	138
圖 5-2 TerraMatch 應用於(左)改正前；(右)改正後點雲結果(摘自 http://www.terrasolid.com/).....	139
圖 5-3 TerraModeler(左)表面陰影；(中)輪廓線；(右)特徵線結果(摘自 http://www.terrasolid.com/).....	139
圖 5-4 TerraPoto 原廠授權證明.....	140
圖 5-5 TerraPoto 彩色點雲範例(摘自 http://www.terrasolid.com/).....	140
圖 5-6 MicroStation 主畫面.....	141
圖 5-7 載入軌跡資料.....	142
圖 5-8 載入點雲資料.....	142
圖 5-9 設定相機內方位率定參數.....	143
圖 5-10 建立 TerraPhoto 專案.....	144
圖 5-11 設定專案內各臺相機資料夾路徑及相關參數.....	144
圖 5-12 各臺相機率定參數檔案及相關參數.....	145
圖 5-13 設定相片外方位格式.....	145
圖 5-14 選擇相片.....	146
圖 5-15 萃取彩色資訊.....	146
圖 5-16 點雲上色成果 1.....	147

圖 5-17 點雲上色成果 2.....	147
圖 6-1 監察院業務巡察作業展示(108 年 3 月 26 日).....	148
圖 6-2 監察院業務巡察作業展示(108 年 3 月 26 日).....	148
圖 6-3 第 38 屆測量研討會海報製作(108 年 8 月 29 日至 8 月 30 日)	149
圖 6-4 第 38 屆測量研討會測繪車展示(108 年 8 月 29 日至 8 月 30 日).....	150
圖 6-5 108 年光達移動測繪系統操作(含影像正射糾正軟體操作)教育 訓練現場 1.....	153
圖 6-6 108 年光達移動測繪系統操作(含影像正射糾正軟體操作)教育 訓練現場 2.....	153

表目錄

表 1-1 各階段檢核點交付成果說明	5
表 2-1 國內移動測繪系統規格比較	7
表 2-2 光達系統 VMQ-1HA 規格表	17
表 2-3 定位定向系統規格表	17
表 2-4 相機系統規格表	18
表 2-5 國外移動測繪系統規格比較	22
表 2-6 GeoMasterNeo 籌載規格(摘自 Hatake et al., 2011).....	36
表 2-7 IWANE 車載移動測繪系統規格(摘自 http://www.iwane.com/).....	38
表 2-8 影像式固定臂及軸角率定比較(摘自 Ellum and El-Sheimy, 2003)	48
表 2-9 相對方位之旋轉矩陣與角度平差後之結果(摘自江凱偉, 2011)	53
表 2-10 光達及影像率定軟體比較	54
表 3-1 率定場選址比較情形	86
表 3-2 國土測繪中心車載光達系統軸角/固定臂率定成果表(第 1 種)	105
表 3-3 國土測繪中心車載光達系統軸角/固定臂率定精度(第 1 種).....	106
表 3-4 國土測繪中心車載光達系統精度分析(第 1 種).....	107
表 3-5 國土測繪中心車載光達系統軸角/固定臂率定成果表(第 2 種)	108
表 3-6 國土測繪中心車載光達系統軸角/固定臂率定精度(第 2 種).....	109
表 3-7 國土測繪中心車載光達系統精度分析(第 2 種).....	109
表 3-8 自強工程顧問有限公司車載光達系統軸角/固定臂率定成果表 (第 1 種).....	111
表 3-9 自強工程顧問有限公司車載光達系統軸角/固定臂率定精度(第 1 種)	111
表 3-10 自強工程顧問有限公司車載光達系統精度分析(第 1 種)....	112
表 3-11 自強工程顧問有限公司車載光達系統軸角/固定臂率定成果表 (第 2 種).....	113
表 3-12 自強工程顧問有限公司車載光達系統軸角/固定臂率定精度 (第 2 種).....	114
表 3-13 自強工程顧問有限公司車載光達系統精度分析(第 2 種)....	114
表 3-14 車載移動測繪系統規格	115
表 3-15 國土測繪中心車載光達系統軸角/固定臂率定成果表(Z+F SynCat)	116
表 3-16 國土測繪中心車載光達系統精度分析(Z+F SynCat)	116

表 3-17 國土測繪中心相機內方位率定成果.....	118
表 3-18 國土測繪中心車載影像式系統軸角/固定臂率定成果表.....	120
表 3-19 國土測繪中心車載影像式系統軸角/固定臂率定精度.....	120
表 3-20 國土測繪中心車載影像式系統精度分析.....	121
表 3-21 自強工程顧問相機內方位率定成果.....	122
表 3-22 自強工程顧問有限公司車載影像式系統軸角/固定臂率定成果表.....	123
表 3-23 自強工程顧問有限公司車載影像式系統軸角/固定臂率定精度.....	124
表 3-24 自強工程顧問有限公司車載影像式系統精度分析.....	124
表 4-1 電動升降機規格表.....	132
表 4-2 工作梯規格表.....	133
表 4-3 鋁合金密度及基本特性表.....	136
表 4-4 車裝設備改善工程項目及預算.....	137
表 6-1 108 年光達移動測繪系統操作(含影像正射糾正軟體操作)教育訓練時間表.....	151
表 6-2 108 年光達移動測繪系統操作(含影像正射糾正軟體操作)教育訓練簽到表.....	152

第壹章 前言

第一節 計畫名稱

本計畫名稱為『108 年度發展光達移動測繪系統(LMS)作業採購案』(以下簡稱本案)。

第二節 計畫緣起

內政部國土測繪中心(以下簡稱國土測繪中心)近年來致力於引進測繪新科技輔助基本地形圖、國土利用調查、臺灣通用電子地圖等基礎核心圖資建置及更新維護工作。車載移動測繪系統(Mobile Mapping System, MMS)可結合精密整合式定位定向系統及多種數位影像及光達感測器，具有高機動特性，可補足航遙測資料獲取的空隙，加速空間資料獲取。

國土測繪中心於 104 及 105 年度完成影像式車載移動測繪系統建置，為達到圖資快速更新，提供國家經建政策規劃推動及防救災領域所需及時且正確的基礎圖資，並於 106 及 107 年度升級為光達移動測繪系統(LiDAR Mapping System, LMS)，為確保移動測繪系統成果品質，108 年度針對現有測繪車光達及影像感測設備辦理相關率定作業之需求。首先進行資料蒐集，盤點國內車載移動測繪系統的種類與數量，以及近年來國內、外與車載移動測繪系統率定技術相關之應用文獻，評估未來辦理車載移動測繪系統率定場規劃作業，參考文獻既有技術研擬率定標準作業程序，俾利後續建置移動測繪系統率定場。規畫建置 LMS 率定場以取得 TAF 認證及對外提供 LMS 率定(校正)服務為目標。後續採用本案研擬方法，至少辦理 2 部(含國土測繪中心及其他機關)車載移動測繪系統率定作業，並出具率定報告。

第三節 工作項目及內容

一、需求訪談及各式報告

- (一)需求訪談：應於決標次日起 10 日曆天內派員至國土測繪中心辦理需求訪談，並於決標次日起 30 日曆天內將訪談紀錄送交國土測繪中心。
- (二)作業計畫書：應於決標次日起 30 日曆天內，依本案工作項目內容、規格標評選與會人員意見及需求訪談紀錄等撰擬作業計畫書，經國土測繪中心審定通過後依計畫書內容實行相關

作業，作業計畫書至少應包含本案資料蒐集、各項工作期程規劃、工作項目、工作方法及步驟、對於本案執行之建議事項等。

(三)月執行進度與工作會議：於決標次月起，每月 25 日前以公文提出當月工作執行書面報告交付國土測繪中心，內容包含預定及實際執行工作進度，並視需要提出工作協調事項及工作遭遇困難，於工作會議時提出報告，工作會議以每月 1 次為原則，並視實際需要調整。

(四)期中報告及工作總報告：配合各階段作業進度、工作項目及內容，撰寫期中及工作總報告，該報告至少包含以下內容：

1. 期中報告：前言、目前工作進度、成果說明、工作遭遇困難及建議解決方案。
2. 工作總報告：中文摘要、前言、作業規劃、工作項目及內容、各項工作執行方法、情形、成果分析、結論與檢討建議、其他相關資料(含遵守性別工作平等法之規定辦理情形及作業人力之性別分析及統計之說明資料)及附件。

(五)論文：需將與本案相關成果投稿研討會或期刊論文(初稿)至少 1 篇。

二、購置影像正射糾正軟體：於決標次日起 60 日曆天內繳交影像正射糾正軟體 1 套，需配合國土測繪中心現有作業環境，可與 Terra solid 軟體搭配使用，可匯入具有地理定位及相機內方位資訊之影像，使光達點雲賦予可見光 RGB 顏色資訊，匯入影像格式須支援正射影像、一般相機拍攝影像及全景相片(等距長方投影 equirectangular)等，功能等同於 Terra Photo 全功能版軟體。

三、車載移動測繪系統率定場規劃作業

為確保國內車載移動測繪系統成果品質，國土測繪中心規劃建置車載移動測繪系統率定場，應協助國土測繪中心辦理下列事項，規劃內容如下：

(一)資料蒐集：盤點國內車載移動測繪系統的種類與數量，並蒐集近 5 年國內、外與車載移動測繪系統率定技術相關之應用文獻。

(二)率定程序：研提車載移動測繪系統率定程序。

1. 感測器：至少包含 GNSS、IMU、相機、光達。
2. 率定項目：軸角(Borsight)、固定臂(Lever arm)
 - (1)軸角:兩感測器坐標系統間，軸向差異的旋轉量。
 - (2)固定臂：兩感測器坐標系統間，原點的位置偏移量。
3. 控制點：規劃所需之控制點數(含檢核點)、分布位置及率定標標型。
4. 率定工具：規劃率定作業所需使用之軟體。
5. 率定程序：規劃移動測繪系統率定標準作業流程。
6. 率定報告：至少包括軸角、固定臂，車載移動測繪系統之絕對精度及相關統計指標等資訊。

(三)率定場選址：

1. 率定場選址規劃應就感測器特性、場地進出、維護便利，並以國有土地為優先考量。
2. 應於中部地區規劃至少兩處率定場提供國土測繪中心參考，並完成實際踏勘調查。

(四)試辦作業：採用本案所研擬方法，至少辦理 2 部(含國土測繪中心及其他機關)車載移動測繪系統率定，並出具率定報告，成果納工作總報告。

四、移動測繪系統安裝改善作業：

(一)國土測繪中心移動測繪系統整合式平臺目前約重 70kg，為減低操作人員安裝該設備之負擔，提高作業人員之操作便利及作業效率，應協助改善國土測繪中心整合式平臺安裝、卸下作業方式，必要時需提供之適當的輔助工具。相關作業程過程製作書面資料，納入期中報告。

(二)針對國土測繪中心整合式平臺研提輕量化之規劃，相關設計納工作總報告。

五、成果展示作業

- (一)配合國土測繪中心相關成果發表會流程內容，辦理車載移動測繪系統展示作業及製作相關展示海報，並派員於展示場協助進行解說。
- (二)國土測繪中心得視需求，提供車載移動測繪系統技術諮詢服務，或派員至指定地點協助實務操作服務。

六、教育訓練：於決標次日起 60 日曆天內應辦理光達移動測繪系統(含影像正射糾正軟體軟體)操作教育訓練 1 梯次，訓練人數至少 6 人，且訓練時數至少 6 小時，教育訓練課程表及場地需經國土測繪中心同意；訓練所需講師、教材、餐飲及場地等費用應自行負責，教育訓練完成後應將訓練簽到簿送國土測繪中心。

七、車輛保養、驗車、保險

- (一)應於履約期間，辦理國土測繪中心移動測繪系統車保養維修(每 5,000 公里辦理 1 次，需送回原廠保養)，車輛相關耗材須使用原廠指定材料。
- (二)需於履約期間，辦理國土測繪中心移動測繪系統車投保甲式車體損失險、竊盜損失險(自負額 10%)、第三人體傷(每一個人傷害至少 400 萬元，每一意外事故之總額至少 800 萬)、第 3 人財損(至少 50 萬)、乘客險(每一個人體傷至少 200 萬元)、汽車強制險、天災險(含颱風、地震、海嘯、冰雹、洪水或因雨積水等)及儀器保險(電子設備綜合保險、災變及竊盜等)等所需費用。因移動測繪系統車為國土測繪中心所有，故保險費用由得標廠商將費用繳交至國土測繪中心，再由國土測繪中心進行代繳，投保期間自 108 年 6 月 1 日起至 109 年 6 月 1 日止。
- (三)需協助國土測繪中心移動測繪系統車進行驗車事宜，並負擔驗車費用。

第四節 工作辦理情形與時程

本案作業期限為決標次日起 250 日曆天，工作時程分為 3 個階段，各階段交付項目如表 1-1 所列，進度甘特圖如圖 1-1 所示。現已完成第 1 階段及第 2 階段之作業成果，包含購置影像正射糾正軟體、蒐集國內車載移動測繪系統的種類與數量、近 5 年國內外與車載移動測繪系統率定技術相關之應用文獻、研提車載移動測繪系統率定程序、

率定場選址規劃、移動測繪系統安裝改善作業，相關作業成果如第貳章至第伍章說明。配合國土測繪中心相關成果發表會，辦理車載移動測繪系統展示作業及製作相關展示海報，並派員於展示場協助進行解說；辦理光達移動測繪系統(含影像正射糾正軟體軟體)操作教育訓練，相關辦理情形如第陸章說明。

表 1-1 各階段檢核點交付成果說明

階段	交付項目	單位	數量	預計繳交日期	實際繳交日期	驗收合格日期
第 1 階段	作業計畫書(含訪談紀錄)	份	10	108 年 3 月 24 日 (決標次日 30 個日曆天內)	108 年 3 月 22 日 發文提送	108 年 4 月 30 日
第 2 階段	影像正射糾正軟體 (含原廠合法授權文件)	套	1	108 年 4 月 23 日 (決標次日 60 個日曆天內)	108 年 4 月 23 日 發文提送	108 年 5 月 10 日
	教育訓練簽到簿	式	1			
	期中報告(含率定場 規劃報告)	份	10	108 年 6 月 22 日 (決標次日 120 個日曆天內)	108 年 6 月 21 日 發文提送	108 年 8 月 1 日
第 3 階段	工作總報告(含試辦 作業成果)	份	10	108 年 10 月 30 日 (決標次日 250 個日曆天內)	108 年 11 月 18 日 發文提送	108 年 12 月 26 日

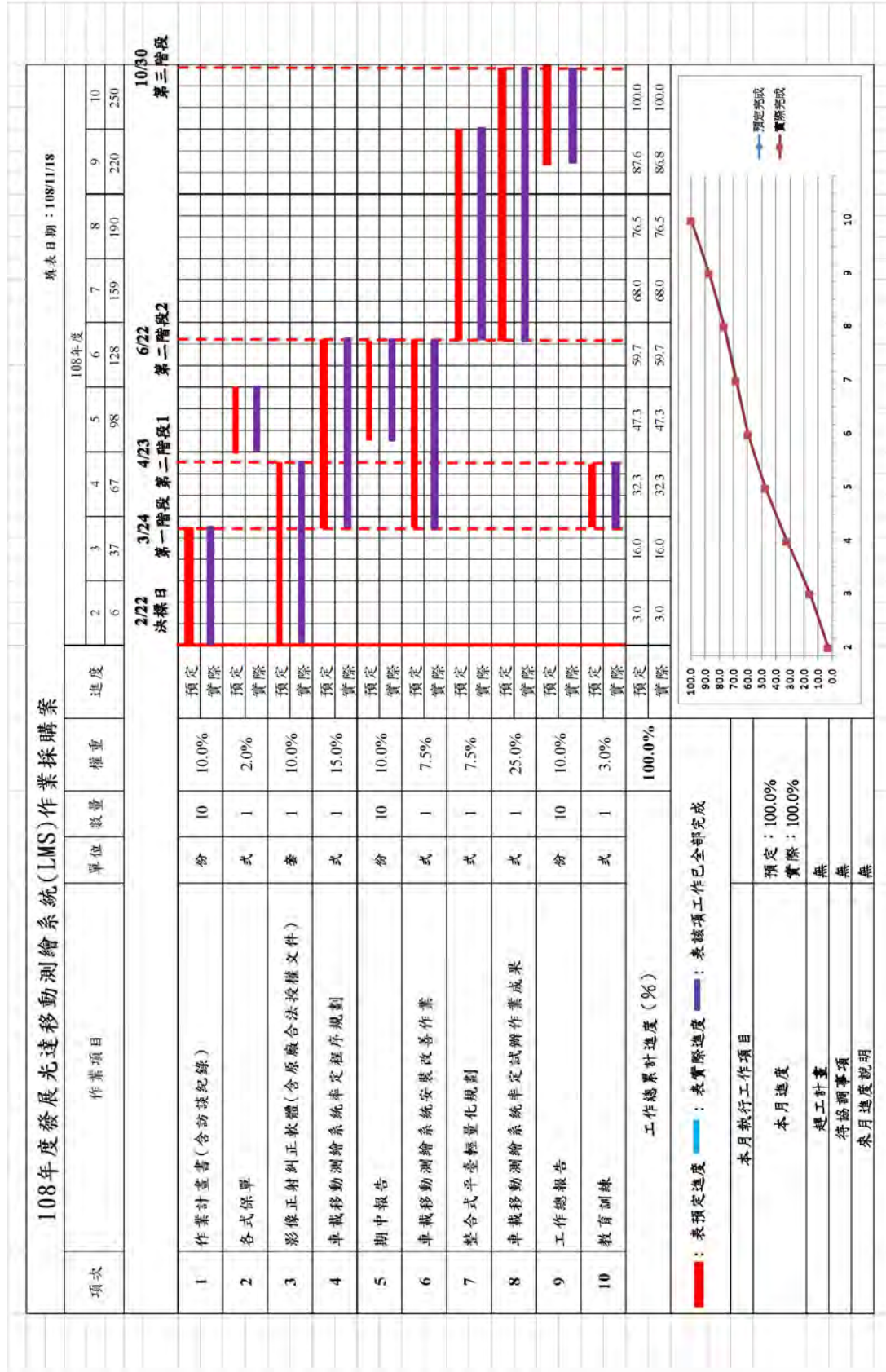


圖 1-1 進度甘特圖

第貳章 國內外 MMS 及率定技術介紹

為達到圖資快速更新，提供國家經建政策規劃推動及防救災領域所需及時且正確的基礎圖資，國土測繪中心於 106 及 107 年度發展光達移動測繪系統(LiDAR Mapping System, LMS)；為確保移動測繪系統成果品質，本案將辦理車載移動測繪系統率定場規劃作業，研擬率定標準作業程序，俾利後續建置移動測繪系統率定場。

第一節 國內車載移動測繪系統

近年來國內致力於車載移動測繪系統(Mobile Mapping System, MMS)技術發展及應用，搭載相機、光達系統、全球導航衛星系統接收儀、慣性量測元件、輪速計、控制電腦等，使用者僅需駕駛車輛及簡易系統操作，即可進行長時間且高效率的外業資料蒐集工作，可減低外業作業成本，提高外業作業效率，並增加外業作業之安全性及舒適性。由發展趨勢可知，車載移動測繪系統確實是能夠滿足空間資訊相關領域，日漸迫切需求的快速採集資料解決方案，提供圖資建置及更新維護工作。近年來國內車載移動測繪系統之實例如表 2-1 所示，介紹如下。

表 2-1 國內移動測繪系統規格比較

機關/廠商	型號	定位定向系統 精度(公尺)	相機	光達	
				感測器	掃描距離 (公尺)
	參考文獻				
內政部國土測繪中心	自主開發	0.05	7 部	Pentax S-2100 (Z+F 9012)	119
	http://www.nlsc.gov.tw/				
國立成功大學	自主開發	0.06	6 部	--	--
	http://www.geomatics.ncku.edu.tw/				
台灣國際航電股份有限公司	自主開發	--	8 部	1 部	--
	http://www.garmin.com.tw/				
詮華國土測繪有限公司	RIEGL	0.05	4 部 1 部全景相機 Ladybug	VMX-250	500
	http://www.chuanhwa.com.tw/				
勤崑國際科技股份有限公司	自主開發	0.05	8 部	Velodyne	70
	http://www.kingwaytek.com/				
群立科技股份有限公司	Earthmine	--	8 部	--	--
	http://www.geoforce.com.tw/				
自強工程顧問有限公司	RIEGL	0.05	1 部全景相機 Ladybug	VUX1-LR	500
	IWANE	--	2 部全景相機 Ladybug	--	--
	http://www.strongco.url.tw/				

北宸科技股份有限公司	RIGEL	0.05	全景相機 Ladybug 5	VMQ-1HA	420
	http://www.polstargps.com/tw/				
中興測量有限公司	OPTECH	0.05	4 部	Lynx M1	200
	http://www.chsurvey.com.tw/				
日陞空間資訊股份有限公司	LD2000RH	0.05	4 部	--	--
	http://www.srgeo.com.tw/				
經緯航太科技股份有限公司	自主開發	0.06	10 部 1 部全景相機 Ladybug	Pentax S-2100 (Z+F 9012)	119
	http://www.geosat.com.tw/				

一、內政部國土測繪中心

內政部國土測繪中心近年來致力於引進測繪新科技輔助基本地形圖、國土利用調查、臺灣通用電子地圖等基礎核心圖資建置及更新維護工作。車載移動測繪系統可結合精密整合式定位定向系統及多種數位影像感測器，具有高機動特性，可補足航遙測資料獲取的空隙，加速空間資料獲取。97 年度辦理「探測感應器測繪平臺架構規劃暨應用作業」案，針對車載移動測繪系統架構進行初步探討；101 年度辦理「以移動載具(MMS)輔助辦理測繪圖資更新之研究」自行研究案，進一步了解車載移動測繪系統之應用層面與辦理國土測繪中心現有測繪圖資更新作業之可行性研究；104 及 105 年度辦理「發展車載移動測繪系統(MMS)作業採購案」，建置車載移動測繪系統如圖 2-1 所示，並試辦街景資料蒐集及整合、試辦國土利用調查成果及臺灣通用電子地圖圖資更新作業等；106 及 107 年度延續 104 及 105 年度成果，發展光達移動測繪系統(LiDAR Mapping System, LMS)，期能掌握先進測量技術並發揮其測繪能量，以達到圖資快速更新，提供國家經建政策規劃推動及防救災領域所需即時且正確的基礎圖資。



圖 2-1 國土測繪中心建置之車載影像式移動測繪系統

106 及 107 年度作業採購案以國土測繪中心提供之車輛為載具，搭載高精度高速相位式雷射掃描儀資料，建置光達式移動測繪系統，系統配置將原有 910 萬畫素彩色工業級相機，設計由 7 部相機組成環景影像，建置車載移動測繪系統如圖 2-2 所示。此光達移動測繪系統為國人自行組裝，使用者僅需駕駛車輛及簡易系統操作，即可進行長時間且高效率的外業資料蒐集工作，可減低外業作業成本，提高外業作業效率，並增加外業作業之安全性及舒適性。



圖 2-2 國土測繪中心建置之車載光達式移動測繪系統

二、國立成功大學

國立成功大學於 97 年起在國科會資助下，嘗試自主研發車載移動遙測製圖技術(含軟硬體)，成果顯示無控制點直接平面定位精度(均方根誤差)為 15 公分，三維定位精度為 28 公分(Li, 2010)。該系統使用的整合式定位定向系統為高階戰術等級微機電陀螺儀之慣性測量儀(陀螺飄移 10 度/小時)、GNSS 接收儀、輪速計等自行組裝之原型系統，如圖 2-3 所示。該系統平台包含多感測器系統整合與觀測量同步、機電設計、精密定位定向演算法、感測器系統率定、直接定位模組等自主研發的移動測圖關鍵技術，也成功為國家訓練相關的技術人才。國科會於 100 年起進一步資助該測繪車，驗證車載遙測製圖系統與無人機載遙測製圖系統於防災減災之相關應用，並因應災區崎嶇地形，將第一代發展之鷹眼平台重新安裝至四輪傳動車上如圖 2-4 所示，以提高災區作業機動性。



圖 2-3 國立成功大學第一代鷹眼平台

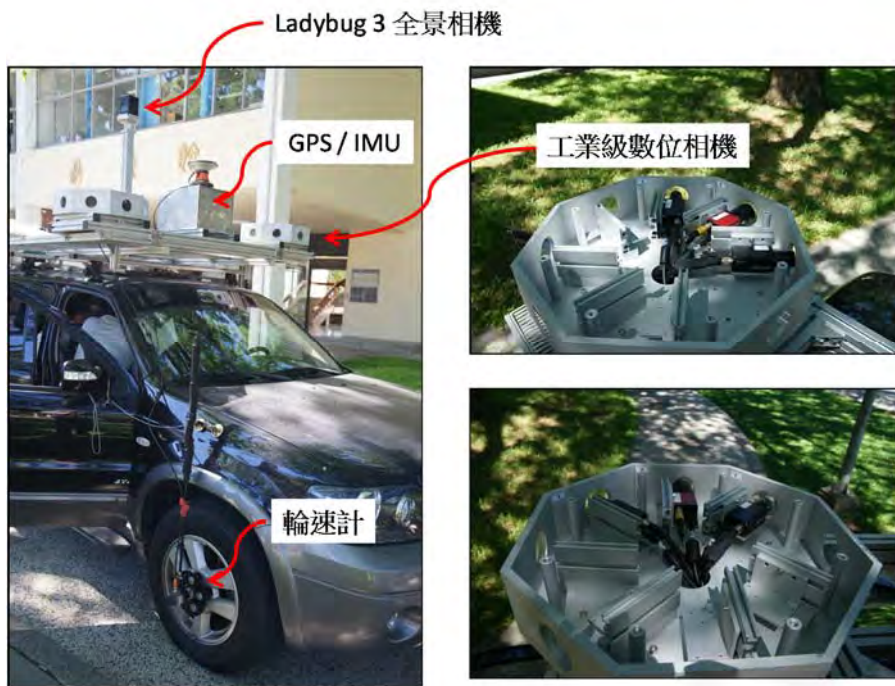


圖 2-4 國立成功大學第二代鷹眼平台

國立成功大學於 100 年起參與內政部地政司 100 年度至 104 年度多平台製圖技術工作案，各年度作業項目如圖 2-5 所示，致力於各項多平台製圖技術開發，包含多平台定位定向系統整合及其解算模式演算法設計開發、評估不同衛星系統對於製圖平台製圖應用效益，更結合傾斜攝影、直升機及無人機進行製圖技術開發，對於國內多平台製圖技術有相當大的貢獻，並為國內多平台製圖技術建立各種作業規範。

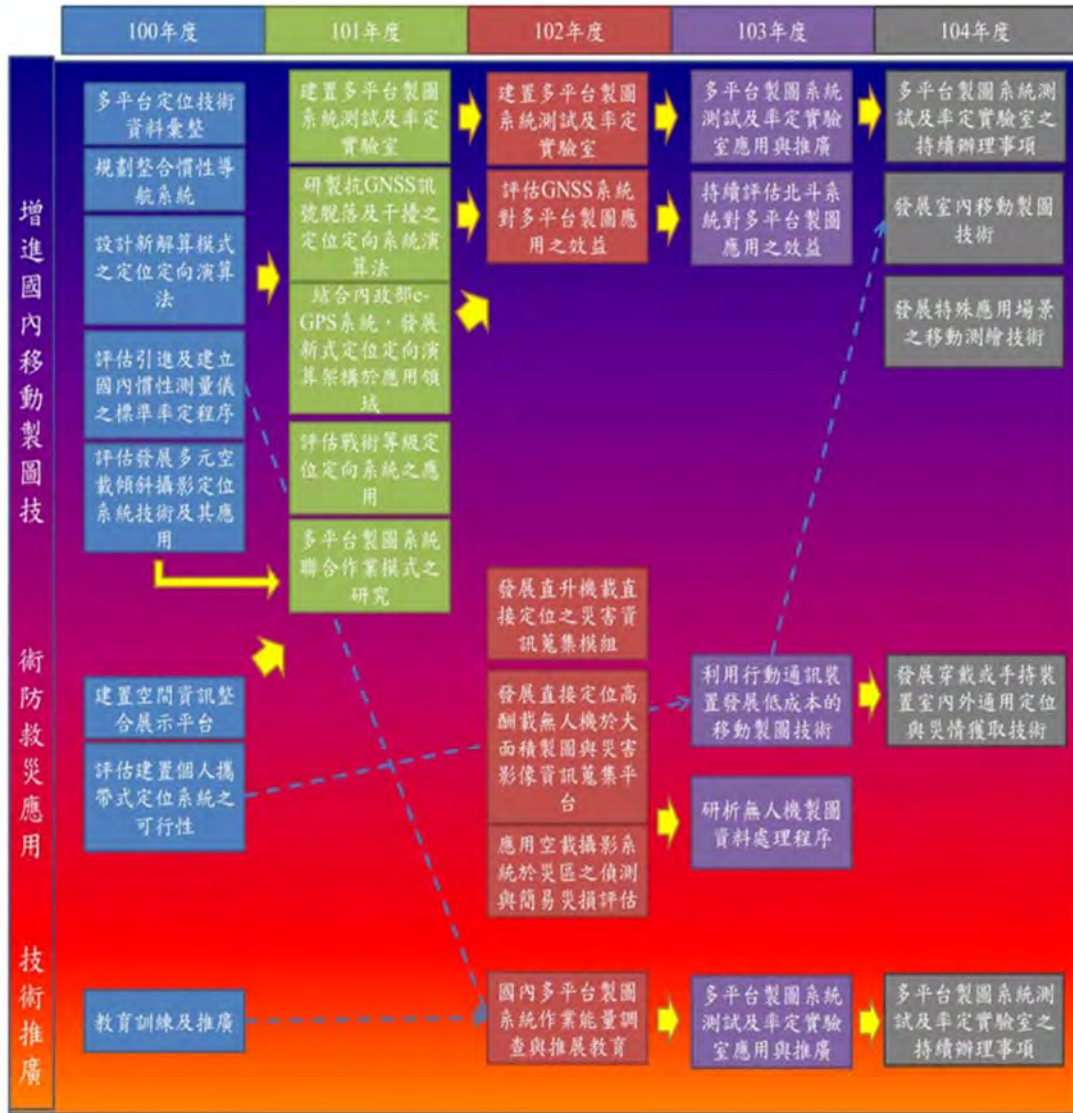


圖 2-5 歷年工作項目目的及關係圖

國立成功大學於 105 年度執行新的內政部地政司移動載台測量製圖技術發展工作案，延續 100 至 104 年度基礎，持續研發適用不同平台之移動製圖技術如圖 2-6 所示，藉由攝影測量製圖、整合定位定向系統、多種感測器等，實現快速即時移動式多平台製圖技術。該計畫擬試辦移動製圖技術應用於地籍測量，並透過車載及無人控制載具的直接地理定位技術，達到即時監控、定位、量測技術，未來對於防救災等緊急應變措施有極大效益。另一方面，開發行動裝置式低成本室內移動製圖與導航定位技術，未來可與其他載台聯合作業，對於室內環境中有極大的發展可能性。



圖 2-6 國立成功大學推車式移動測繪系統

為了提升移動測繪系統的效率與效能，國立成功大學進一步搭載光達製圖系統與開放軟體 Open Source Lidar，發展光達式移動測繪系統。透過光達三維點雲資料處理技術可快速地重建與管理龐大的點雲資料，達到三維製圖與自動化之目的，該技術所包含的大多數核心項目與室外車載導航與移動測繪技術大多相同，光達整合系統如圖 2-7 所示。



圖 2-7 國立成功大學光達整合系統

國立成功大學於 106 年移動載台測量製圖技術發展工作案，延續 105 年成果持續擴充研究，包含完成多模式與多情境之室內與室外移動定位技術，使用者可於不同情境間無縫接軌，並開發相關適地性服務與應用。另一目標為自動化的路網向量圖產生技術，其做法為透過影像辨識技術，從已知室內平面圖中分辨線與平面之間的關係，自動產生節點，並依據節點間是否存在線段，決定兩點間是否存在連通關係，目前已完成第一代演算法，可自動化萃取相關路網。後續將與行動裝置進行連結設定路徑規劃，期望可提升其正確性與運算效率。

三、台灣國際航電股份有限公司

台灣國際航電成立於 78 年，在航空、航海、戶外休閒、汽車導航等四大應用領域的全球佔有率持續居於領先地位，為實際蒐集台灣街道、路口、門牌地圖資訊等，以建立更完善的圖資資訊，台灣國際航電亦建置自主車載移動測繪系統，如圖 2-8 所示。自 98 年起，便在國內以自家圖資系統代替第三方圖資公司，作為其導航機的導航圖資來源，因此該車載移動測繪系統便成為內部圖資團隊蒐集坐標及影像的重要工具，也能將拍攝到的複雜路口影像製作成路口放大的 3D 影像，方便用戶行經複雜路口時導航辨別方向之用。



圖 2-8 台灣國際航電車載移動測繪系統(摘自 <http://www.garmin.com.tw/>)

四、詮華國土測繪有限公司

有鑑於測繪技術的進步與發展，詮華國土測繪大力發展地理資訊系統開發業務，由傳統測量轉型為全面數位化測繪技術，購入數值航空相機、空載光達、地面光達、車載移動測繪系統等先進測繪設備，承做空間資料蒐集與處理專業，並發展三維數值建模技術。隨著行動測繪技術日趨成熟，詮華國土測繪於 100 年導入車載光達移動測繪系統 VMX-250，以發展行動測繪業務，車載光達移動測繪系統如圖 2-9 所示，其搭載雷射掃描儀、數位相機、慣性量測元件 IMU、GNSS 定位系統、輔助里程計 DMI、環景攝影機等，進行移動測繪相關應用。



圖 2-9 詮華國土測繪車載移動測繪系統(摘自 <http://www.chuanhwa.com.tw/>)

五、勤崑國際科技股份有限公司

勤崑國際科技股份有限公司成立於 96 年，致力於電子地圖、系統整合服務、導航軟體及車載系統、電子商務及其他應用等業務，其應用涵蓋網路、行動裝置、車載裝置及專案系統等領域，為提供 3D 圖資，透過測繪車蒐集街道影像並後製為 3D 模型，其影像式測繪車如圖 2-10 所示，後續於 102 年推出全 3D 擬真地圖，為電子地圖的極致表現，可以在導航地圖中呈現出完全現場擬真實境，包含地上標線，紅綠燈，捷運站，3D 立體地標與建物等。



圖 2-10 勤崑國際科技車載影像式移動測繪系統(摘自 <http://www.kingwaytek.com/>)

基於邁向自駕車高精地圖應用，106 年起勤崑國際科技建置光達測繪車如圖 2-11 所示，開始蒐集自駕車所需的高精圖資，陸續至政府建置之自駕車場域進行測試，並與 NVIDIA 合作透過人工智慧及影像辨識等，提供更精準快速的影像處理。



圖 2-11 勤崑國際科技車載光達式移動測繪系統(摘自 <http://www.kingwaytek.com/>)

六、群立科技股份有限公司

群立科技為國內航測數值正射影像產製之民間業者、國內測繪業廠商，致力於地理資訊系統 GIS 整合與開發、高解析航照影像與數值地形測製、空間資訊與影像處理等，影像空間資料庫服務以 1/1000、1/2500 和 1/5000 比例尺、彩色高解析度 GeoTAIWAN 數位大地影像系列產品為主。於 102 年引進 Earthmine 街景攝影測量系統，裝載美國原裝空運來台 8 顆專業全景式相機陣列鏡頭如圖 2-12 所示，總計完成至少 630 公里路程的街景拍攝。Earthmine 街景攝影測量系統主要是用於交通建設、工程、工務、測量、設施調查、資產或管線管理等較精密層級的需求，產生高解析畫質街景影像可供測量繪圖使用；此外，也提供後端伺服發佈供應方案，整合 ESRI、AutoCAD 等 GIS 與工程繪圖軟體的 client 套件、Mobile 等跨開發之 API 工具等。



圖 2-12 群立科技車載移動測繪系統(摘自 <http://www.geoforce.com.tw/>)

七、自強工程顧問有限公司

自強工程顧問順應瞬息萬變之先進量測技術及鑑於 3D GIS 空間

資訊時代來臨，自 96 年起陸續投資開發相關軟體硬體，包括：航拍相機、空載光達、航拍飛機、街景測量車、Skyline 3D GIS、Photomesh 自動建模等軟體以因應未來的市場需求，藉由不斷採購各種先進測量儀器並自行開發各項軟體藉以提升測量成果與提升效率。圖 2-13 所示為引進之 IWANE 車載移動測繪系統，其藉由影像處理及 CV 技術創建相對空間，透過 GNSS 信號或地面已知控制點將其校正至地理坐標系，作為製圖及道路調查等應用。因應光達發展，圖 2-14 所示為購置之車載光達移動測繪系統，車頂平台整合 RIEGL VUX1-LR 雷射掃描儀、慣性導航裝置、全球衛星定位系統、里程紀錄器以及高畫素全景數位相機系統，該系統能在大區域作業環境快速地取得三維空間點雲，用途相當廣泛，舉凡交通設施測繪、建立城市建模、大範圍地形測繪等應用。



圖 2-13 自強工程顧問 IWANE 車載移動測繪系統(摘自 <http://www.strongco.url.tw/>)



圖 2-14 自強工程顧問車載光達式移動測繪系統(摘自 <http://www.strongco.url.tw/>)

八、北宸科技股份有限公司

北宸科技成立於 92 年，是全球衛星導航的領導廠商，擁有多年的衛星導航軟體、硬體開發經驗，提供汽車、衛星導航機、智慧型手機、筆記型電腦、電信等各產業導航應用。於 105 年推出高精度圖資路調車如 2-15 所示，光達系統使用 RIEGL 公司的 VMQ-1HA，在 30 公尺掃描範圍內的精度可達到 3mm，準確度(accuracy)達到 5mm；定位定向系統定位準確度達到 2 至 5 公分，角度定向精度達到 0.05 度；相機系統為 Ladybug 5，相關規格如表 2-2 至表 2-4 所示。



圖 2-15 北宸科技車載移動測繪系統(摘自 <http://www.polstargps.com/>)

表 2-2 光達系統 VMQ-1HA 規格表

VMQ-1HA Scanner Performance				
Laser Class	Laser Class 1 (Class 1 Laser Product according to IEC 60825-1:2014)			
Effective Measurement Rate ¹⁾	300 kHz	500 kHz	750 kHz	1000 kHz
Max. Range, Target Reflectivity $\rho \geq 80\%$ ^{2) 3)}	420 m	330 m	270 m	235 m
Max. Range, Target Reflectivity $\rho \geq 10\%$ ^{2) 3)}	150 m	120 m	100 m	85 m
Max. Number of Targets per Pulse	practically unlimited (details on request)			
Minimum Range	1.2 m			
Accuracy ^{4) 6)} / Precision ^{5) 6)}	5 mm / 3 mm			
Field of View	360° "full circle"			
Scan Speed (selectable)	up to 250 scans/sec			

表 2-3 定位定向系統規格表

IMU/GNSS Performance ⁷⁾	IMU (Option A)	IMU (Option B)
Position Accuracy (absolute)	typ. 20 - 50 mm	typ. 20 - 50 mm
Roll & Pitch Accuracy	0.015°	0.005°
Heading Accuracy	0.05° / 0.025° ⁸⁾	0.015°

表 2-4 相機系統規格表

All Ladybug5 Models	
A/D Converter	12-bit
Video Data Output	8-, 12-, or 16-bit, Raw or JPEG compressed
Image Data Formats	Raw8, Raw12, Raw16 in uncompressed and JPEG
Partial Image Modes	Pixel binning and region of interest (ROI) modes
Image Processing	Shutter, gain, white balance, gamma and JPEG compression, are programmable via software
Shutter	Global shutter; Automatic/manual/one-push/extended shutter modes 0.02 ms to 2 seconds (extended shutter)
Gain	Automatic/manual/one-push modes for 8-bit formats; manual mode for 12-bit formats 0 - 18 dB
Gamma	0.50 to 4.00
White Balance	Manual
High Dynamic Range	Cycle 4 gain and exposure presets
Digital Interface	USB 3.0 with locking screws for secure connection
Transfer Rates	5 Gbit/s
GPIO	12-pin GPIO connector for external trigger input, strobe output, and camera power
External Trigger Modes	Standard, bulb, skip frames, overlapped, and multi shot trigger modes
Memory Channels	2 memory channels for custom camera settings
Case	Machined aluminum housing, anodized red or black; single unit, water resistant
Dimensions	197 mm diameter, 160 mm height (with lens hoods)
Mass	3.0 kg
Power Consumption	12-24 V, 13 W via GPIO
Machine Vision Standard	IIIC v1.32
Camera Control	via Ladybug SDK, CSRs, or third party software
Camera Updates	In-field firmware updates
Optics	6 high quality 4.4 mm focal length lenses
Field of View	90% of full sphere
Spherical Distance	Calibrated from 2 m to infinity
Focus Distance	~200 cm. Objects have an acceptable sharpness from ~60 cm to infinity

圖資蒐集時，可透過監控軟體即時獲取資料擷取系統、定位定向系統、機電系統等資料蒐集狀態，藉由監看所有感測器畫面，以確保資料接收品質，亦可透過監控軟體設定感測器資料擷取參數，評估系統當下是否正常運作。

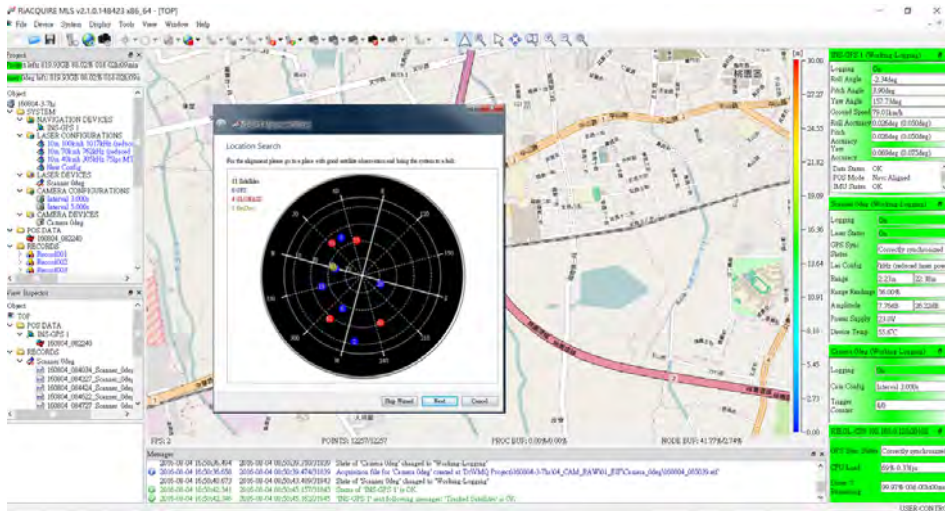


圖 2-16 感測器顯示資訊圖

影像以及光達感測器採用原廠提供之監控軟體，可藉由電腦螢幕或智慧型裝置，與監控系統連線，藉由簡單直觀的操作選項，管理並觀看相關數據成果。

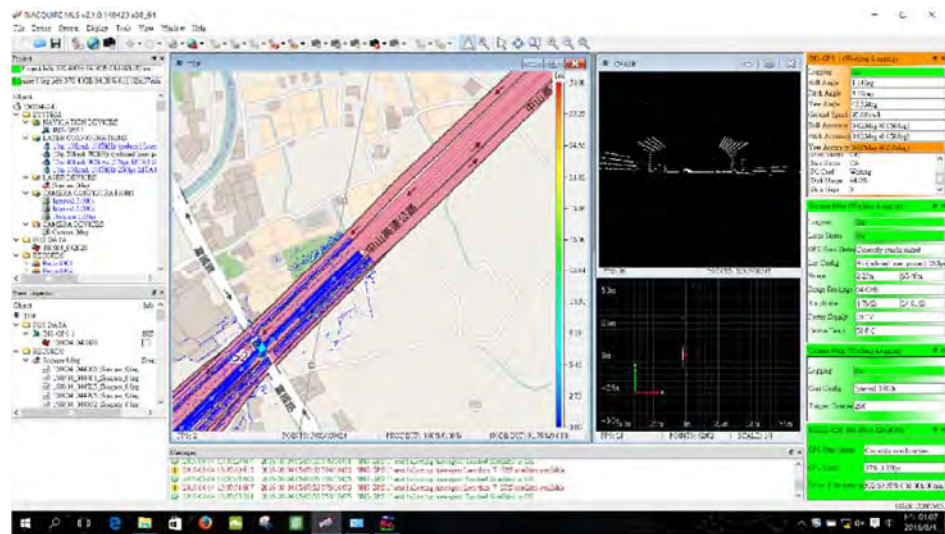


圖 2-17 點雲顯示資訊圖

九、中興測量有限公司

隨著高科技技術之不斷演進，以及蒐集資料之方法與儀器不斷更新，中興測量自 91 年起即引進各類先進之光達雷射掃瞄軟硬體設備：車載光達雷射掃瞄系統、地面光達雷射掃瞄系統、空載陸域光達雷射掃瞄系統、空載透水光達測深技術等，可提供不同需求與目的之地表三維資訊蒐集服務。圖 2-18 所示為中興測量於 101 年購置加拿大 Optech 公司製造之商業化 Lynx M1 車載光達移動測繪系統，可快速應用於公路設施清查、道路鋪面平坦度調查、河川河床變異分析、公路邊坡變異分析及城市三維模型製作等服務。

項目	規格說明
掃瞄系統	加拿大 Optech Lynx M1
掃瞄器(每秒點數)	2組(各500KHz)
最大掃瞄距離	200m (20%目標反射率)
旋轉鏡速度	80Hz~200Hz
測距精度	8mm (1 sigma)
絕對精度	±5cm (1 sigma)
眼安全性能	Class 1
工業級相機	4組(各500萬畫素)
車行速度	可達100km/hr



圖 2-18 中興測量車載移動測繪系統(摘自 <http://www.chsurvey.com.tw/>)

十、日陞空間資訊股份有限公司

日陞空間資訊致力於發展移動式製圖系統技術及服務，開發之車載移動測繪系統如圖 2-19 所示，其慣性導航設備為戰術等級以上，陀螺感測器為光纖陀螺，此外搭配雙頻 GPS 接收儀及里程計數器，影像擷取系統部份搭配了 4 台 CCD 相機和 1 組錄影機，實地測量的精度可達到 20 公分。當車載移動測繪系統於行進中，快速採集道路及兩旁地物之空間位置和影像資料，同步儲存至電腦中，經內業軟體編輯處理，形成各種有用的空間資訊成果。



圖 2-19 日陞空間資訊車載移動測繪系統(摘自 <http://www.srgeo.com.tw/>)

十一、經緯航太科技股份有限公司

經緯航太科技於 103 年開始著手車載移動測繪系統開發，於 104 年 2 月完成建置整合全球定位系統、慣性量測元件、輪速計、10 部工業級數位相機、720 度全景相機(Ladybug 5)等感測器，如圖 2-20 及圖 2-21 所示，並以直接地理位原理獲得每張相片之外方位參數，利用前方交會方式量測道路設施之長、寬、高、面積等幾何資訊，最後以人工判釋道路設施之類別及屬性，應用於「內政部通用版電子地圖更新維護」「104 及 105 年度發展車載移動測繪系統(MMS)作業」「高雄市道路設施調查建檔及管理資訊系統建置計畫」等專案。



圖 2-20 經緯航太科技第一代車載影像式移動測繪系統(摘自 <http://www.geosat.com.tw/>)



圖 2-21 經緯航太科技第二代車載影像式移動測繪系統(摘自 <http://www.geosat.com.tw/>)

因應光達系統及高精地圖發展，經緯延續過去車載移動測繪系統開發經驗，搭載高精度高速相位式雷射掃描儀資料，建置光達式移動測繪系統，如圖 2-22 所示。藉由光達移動測繪系統蒐集點雲及影像資料，經由資料後處理建立公分級高精地圖，協助自駕車掌握道路上所有鉅細靡遺資訊，如車道線、交通標誌、分隔島、路肩等，建立臺灣自駕車自主研發能量，提供後續新創團隊開發智慧城鄉創新應用。

Z+F Profiler Scanner

- 101.6萬點/秒
- 掃描頻率200Hz
- 掃描距離119 m



圖 2-22 經緯航太科技車載光達式移動測繪系統(摘自 <http://www.geosat.com.tw/>)

第二節 國外車載移動測繪系統

目前各國家空間資訊領域學界與產業界亦積極地發展車載移動測繪系統，由發展趨勢可知，車載移動測繪系統確實是能夠滿足空間資訊相關領域，日漸迫切需求的快速採集資料解決方案。而近年來國外商用車載移動測繪系統之實例如表 2-5 所示，介紹如下。

表 2-5 國外移動測繪系統規格比較

機關/廠商	型號	定位定向系統 精度(公尺)	相機	光達	
				感測器	掃描距離 (公尺)
	參考文獻				
Google	Google Street View	--	9 部	SICK 雷射掃描儀	80
	http://maps.google.com.tw/				
University of Calgary	VISAT Van	0.10	8 部	1 部	--
	Lapucha, 1990; Schwarz et al., 1993; El-Shiemy, 1996; http://www.ucalgary.ca/				
The Ohio State University	GPSVan	0.30	2 部	--	--
	Grejner-Brzezinska, 2001				
RIEGL	VMX-250	0.05	6 部	2 部 VQ-250	500
	http://www.riegl.com/				
TELEDYNE OPTECH	Lynx SG1	0.05	5 部	2 部	250
	Lynx MG1	0.20	全景相機	1 部	250
	http://www.teledyneoptech.com/				

TOPCON	IP-S3	0.025	球形相機	1 部	100
	http://www.topconpositioning.com/				
LEICA GEOSYSTEMS	LEICA Pegasus	0.02	8 部	Z+F 9012	119
	LEICA P20 Pegasus: Two	0.02	8 部	Leica Scanstation P20	120
	http://leica-geosystems.com/				
TRIMBLE	MX8	0.025	7 部	1-2 部 VQ- 250	500
	http://www.trimble.com/				
NOKIA	Here	--	4 部	1 部	200
	Earthmine	--	8 部	--	--
	http://www.nokia.com/				
MITSUBISHI ELECTRIC	MMS-X	0.06	6 部	2-4 部	65
	MM5-X320R	0.06	3-6 部	2 部及 1 部長 距離光達	65 及 200
	MMS-K320	0.06	3 部	2 部	65
	http://www.mitsubishielectric.com/bu/mms/				
Asia Air Survey	GeoMasterNeo	0.05	Nikon、 Olympus、 Ladybug 3	2 部 VQ-250	500
	http://www.ajiko.co.jp/				
IWANE	IMS3	0.05	Ladybug 3	--	--
	IMS5+	0.05	Ladybug 5	--	--
	http://www.iwane.com/				

一、Google Street View 計畫

Google 於 2007 年 5 月開始進行名為 Google Street View 計畫，該計畫主要是針對 Google Earth 以及 Google Maps 增加街景導覽的功能，該功能可給予使用者身歷其境的感覺，只要於地圖街道上選定一點，即可透過 Street View 得知該地點實地的 360 度全景影像，這些全景影像資料便是透過 Google 自行發展的街景車於世界各地蒐集資料而來。目前 Google Street View 功能在 Google Maps 的介面如圖 2-23 所示。



圖 2-23 Google Street View 介面(摘自 <http://maps.google.com.tw/>)

2008 年底開始於臺灣進行拍攝工作的 Google 街景車基本配備含有 GNSS、8 臺平面與 1 臺向上拍攝魚眼相機、光達，如圖 2-24 所示，如此一來可確保高角度的建物(如台北 101 大樓)都能完整入鏡，同時八個方向加上魚眼相機可完整拍到 720 度無縫畫面，達成最佳實景效果。360 度全景景象的產生過程主要是透過相機拍攝，並將相機拍攝時間與 GNSS 軌跡的時間同步處理，GNSS 資料提供拍攝相片時所在的位置，像片則組成拍攝位置的全景景象，此即 Street View 的基本運作原理。相機下方裝有德國 SICK AG 公司所生產的 LMS291 系列型號的光達儀器，用來掃描道路輪廓與測量道路邊緣，藉由周遭建物的形狀和車子間的距離，判斷畫面中建築物位置，可用來建立三維的建物模型或數碼城市，如圖 2-25 所示。



圖 2-24 Google 街景車(摘自 <http://maps.google.com.tw/>)

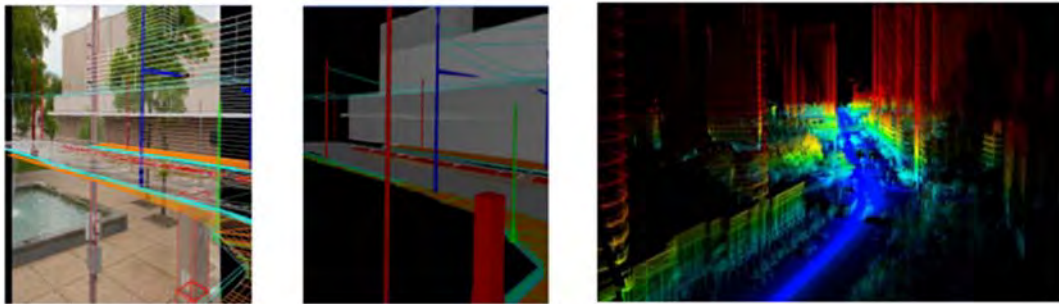


圖 2-25 三維建模與數碼城市(摘自 <http://www.optech.ca/>)

近年來，Google 進一步搭載全新的 GNSS 系統、高分辨率全景相機、多臺 SICK 感測器，如圖 2-26 所示，SICK 感測器目的為收集光達點雲資料，可用於三維模型視覺化展示，並將此模型顯現於 Google Map 與 Google Earth 上，藉由光達高精度與高密度之點雲資料，與影像進行結合，提供使用者更佳的街景影像及街景三維模型。



圖 2-26 新一代 Google 街景車(摘自 <http://maps.google.com.tw/>)

二、加拿大卡加利大學(University of Calgary)

前 INS 時期(約 1983 至 1993 年)，加拿大亞伯達省政府與卡加利大學(University of Calgary)共同發展車載移動測繪系統 Alberta MHIS 如圖 2-27 所示，其主要使用航位推算感測器，如陀螺儀(gyroscopes)、加速度計(accelerometers)及里程計速器(odometer)等，利用相對定位的原理求取定位解(Schwarz et al., 1993)。此時期所用的感測器多為類比式相機，所拍攝的照片詳實記錄公路設施的狀況，提供維修單位近即時的公路資訊。1988 年加拿大 Alberta MHIS 在車載移動測繪系統技術上，首先應用差分全球定位技術(Differential GPS, DGPS) 來提供相機投影中心的位置參數，隨後並在 1990 年評估引入 INS 來提供投影中心精確的姿態參數以及適時在 GPS 衛星失鎖導致無導航解時提供高精度的位置參數(Lapucha, 1990)。

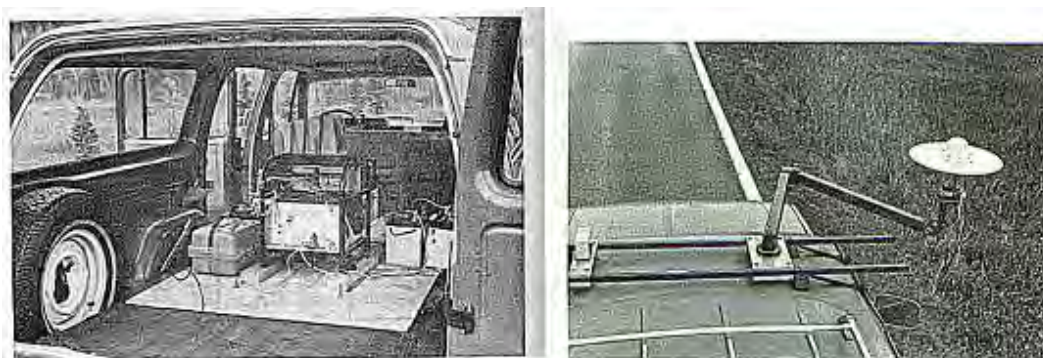


圖 2-27 Alberta MHIS 車載移動測繪系統(摘自 Lapucha, 1990)

後 INS 時期(約 1993 至 2000 年)，加拿大卡加利大學所研發的 VISAT 系列，該校投入車載移動測繪系統技術的研發已將近 30 年，首先於 1993 年順利將 GPS/INS 系統整合至 Alberta MHIS 中並發展出第一代技術架構，稱為 VISAT Van 第一代(Schwarz et al., 1993)。接

下來提出的 VISAT 第二代整合了 GPS/INS、里程計數器、彩色 CCD 相機、攝影機等完整架構(El-Shiemy, 1996)。這套系統為全球首度引入使用雷射陀螺儀(Ring Laser Gyroscope, RLG)之導航等級 INS(陀螺飄移<0.01 度/小時)之系統，其定位精度為 0.1 至 1 公尺。該系統具備可調式的攝影間隔與較高的拍攝行車速度(100km/hr)。2003 年該系統亦獲得加拿大研究學會大筆研究資金，在 VISAT 第二代的基礎上，針對硬體及相關軟體性能進行升級並打造全新的車輛，稱為 VISAT 第三代。與 VISAT 第二代相較之下，除電力系統大幅升級之外，控制電腦體積也大幅縮小，CCD 相機之性能大幅提昇並使用更高等級的 GPS/INS 整合系統，VISAT 車載移動測繪系統如圖 2-28 至圖 2-30 所示。



圖 2-28 第一代 VISAT(摘自 Schwarz et al., 1993)



圖 2-29 第二代 VISAT(摘自 El-Sheimy, 1996)



圖 2-30 第三代 VISAT(University of Calgary 提供)

三、美國俄亥俄州立大學(The Ohio State University)

美國俄亥俄州立大學(The Ohio State University)製圖中心(Center for Mapping)研發車載移動測繪系統名為 GPSVan，如圖 2-31 所示。該系統使用 GPS 及里程計數器提供導航參數，該系統主要感測器為兩部可動態連續拍攝立體像對的相機，透過近景攝影測量的原理可獲得特徵物的三維空間坐標，其定位精度界於 0.3 m 至 3 m 間(Grejner-Brzezinska, 2001)。



圖 2-31 GPSVan(摘自 Grejner-Brzezinska, 2001)

四、奧地利 RIEGL 公司

奧地利 RIEGL 公司發表 VMX-250 MMS 移動測繪系統，其包含定位定向系統、2 臺雷射掃描儀、6 臺數碼相機，搭配符合空氣動力形狀的防護罩，並將相機視野可依需求進行調整，具備快速採集三維數據能力，提供高精度、高分辨率、多方面之應用，如交通設施測繪、城市建模、大範圍地形測繪等。圖 2-32 為 VMX-250 車載移動測繪系

統，圖 2-33 與圖 2-34 為其測試掃描結果，其實驗結果可知，光達設備搭配定位定向系統相關輔助設備資訊適當之演算法，於不同環境下(如隧道)可得高精度點雲資料，其環境可應用於不同平台上，如車載、空載、船載等。文獻 Toschi 等人(2015)利用 RIEGL 系統，成功取得建物三維點雲資料如圖 2-35 所示，精度可達公分以下等級。



圖 2-32 RIEGL 車載移動測繪系統 VMX-250(摘自 <http://www.riegl.com/>)



圖 2-33 車載光達掃描成果(摘自 <http://www.riegl.com/>)

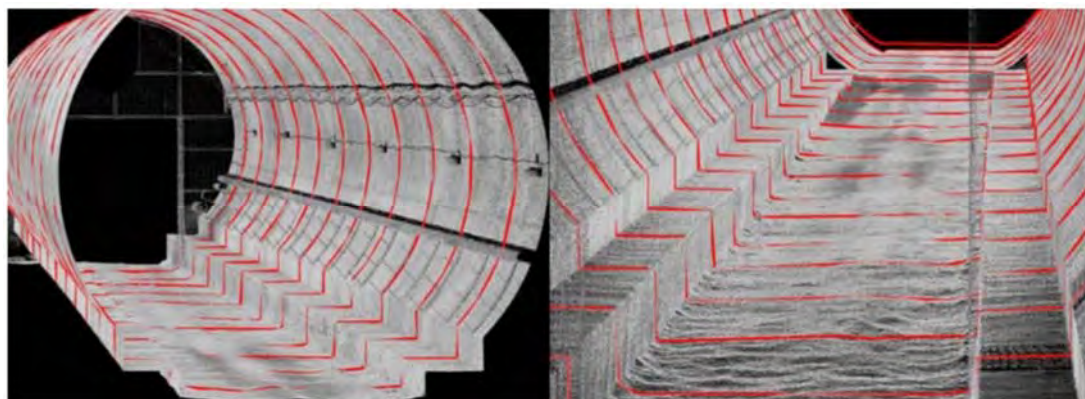


圖 2-34 隧道內測試及成果(摘自 <http://www.riegl.com/>)

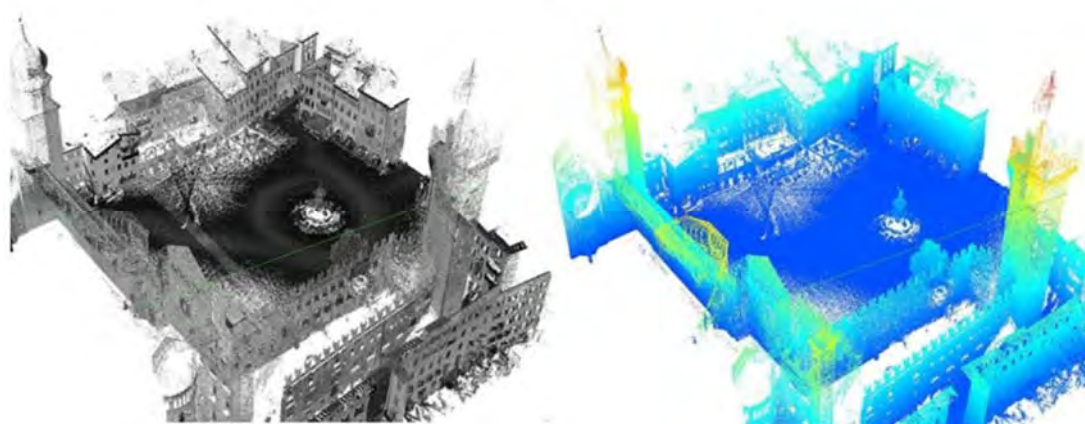


圖 2-35 光達點雲資料(左)強度值；(右)高程值(摘自 Toschi et al., 2015)

五、加拿大 OPTECH 公司

加拿大 OPTECH 公司於 2008 展示自行發展的測量車 Lynx Mobile Mapper 如圖 2-36 所示，主要組成元件為高精度的定位定向系統、測量等級光達系統、相機等。Lynx Mobile Mapper 的定位定向系統核心為 Applanix/Trimble POS LV，為目前商用系統中整體效能最佳的系統之一，除了使用雷射陀螺儀之導航等級慣性測量儀之外，GPS/INS 運算的核心軟體 POSpac Land 亦提供緊耦合的整合架構，整體的定位可達公分級精度，姿態角的精度則依據選配的慣性測量儀而有所不同，一般而言其精度都可以達到 0.05 度。



圖 2-36 OPTECH 車載移動測繪系統 Lynx Mobile Mapper(摘自 <http://www.teledyneoptech.com/>)

六、TOPCON 公司

TOPCON 公司發展之移動遙測平台名為 IP-S3 Mobile Mapping System 如圖 2-37 所示，IP-S3 的定位定向系統採用了測量級的雙頻多系統的 GNSS 接收機和高階戰術等級精度的慣性測量儀為其核心架構，在 GNSS 正常狀況下位置精度可以達到平面精度 15 公分與垂直方向精度 25 公分，方位角精度則可達到 0.05 度，除了 GNSS 以及慣性測量儀外，IP-S3 系統同時整合里程計提供額外的速度及位置資訊，提升系統精度。



圖 2-37 TOPCON 車載移動測繪系統(摘自 <http://www.topconpositioning.com/>)

七、LEICA 公司

LEICA 開發車載移動測繪系統為 LEICA Pegasus 如圖 2-38 所示，其可搭載 1 台或多台雷射掃描儀、GNSS 接收機、慣性量測元件、DMI、6 至 8 部數位相機，以蒐集足夠且精確的空間資訊數據。開發之移動平台優點不僅可快速獲取大量點雲及影像資料，減少外業作業時間，搭配不同角度拍攝相片如地面，可應用於道路鋪面及坑洞等評估，亦可整合其他感測器如噪音及空氣品質感測器等，提供相關單位應用評估所需之資料。新的 LEICA Pegasus: Two 搭載完整 360 度球面全景影像，並成功與雷射掃描儀整合於一體，資料處理後建置彩色點雲成果，提供使用者瀏覽時更佳展示情形。



圖 2-38 LEICA 車載移動測繪系統(摘自 <http://leica-geosystems.com/>)

八、TRIMBLE 公司

TRIMBLE 公司開發車載移動測繪系統名為 MX-8 如圖 2-39 所示，其上搭載 2 臺 RIEGL VQ250 光達雷射掃描儀，每秒可蒐集超過 1 百萬個點；高解析度數位相機可紀錄影像及全景影像；定位定向系統選用 POS LV 系統，提供高精度三維坐標資訊，於 GNSS 信號中斷時也能提供足夠精度之位置及姿態成果，搭配 TRIMBLE 資料處理及分析軟體，提供完整移動製圖及調查工作，對於基礎建設之規劃、評估、建造、維護等應用有很大的幫助。



圖 2-39 TRIMBLE 車載移動測繪系統 MX-8(摘自 <http://www.trimble.com/>)

文獻 Takahashi 等人(2016)選用 Trimble MX-8 系統搭配先進人工智慧技術，應用於提升數位地圖資訊精度，包含交通標誌及設施資訊數位化，掃瞄結果如圖 2-40 所示。作業流程為資料蒐集、濾波去除雜訊、萃取所需之點雲資料、繪出點雲之線及面資訊、取得交通標誌資訊如圖 2-41 所示，相關成果除了可提升地圖數位化精度，未來可提供自動駕駛無人車更多輔助資訊，協助相關產業發展。

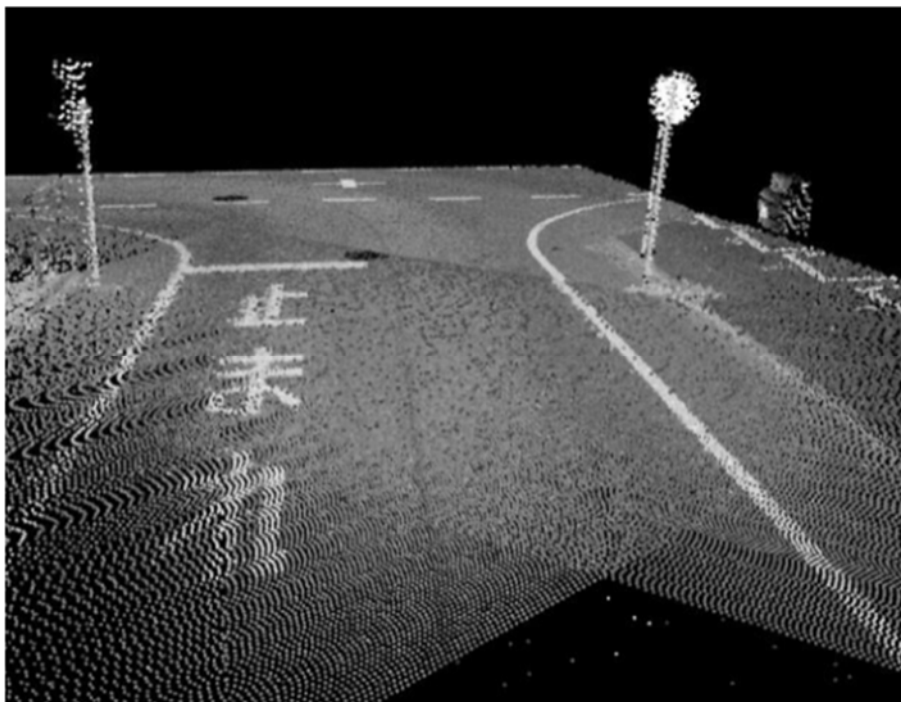


圖 2-40 MX-8 光達掃瞄範例(摘自 Takahashi et al., 2016)

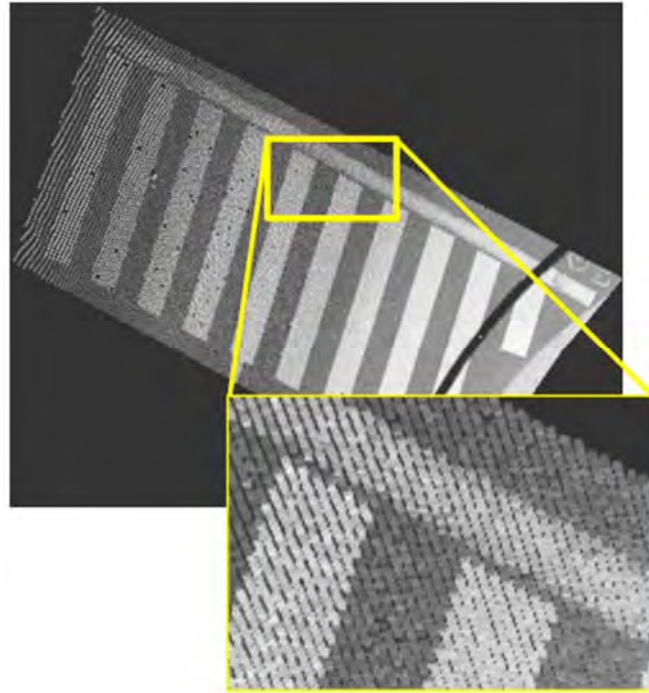


圖 2-41 交通標誌掃瞄成果(摘自 Takahashi et al., 2016)

九、芬蘭 NOKIA 公司

NOKIA 公司於 2012 年收購 Earthmine 公司，原為美國加州 3D 街景地圖技術公司，其藉由車載移動測繪系統如圖 2-42 所示，搭配後處理技術及相關配套伺服系統解決方案，快速完成高精度測量等級之街景影像，此車載移動測系統能裨益交通、管線、設施等調查管理相關公私部門單位，大幅節省人物力成本、提升效率，並可進一步進行資料共享展示、協同管理、分析應用，輔助決策支援。



圖 2-42 Earthmine 車載移動測繪系統(摘自 <http://www.nokia.com/>)

NOKIA 公司於 2012 年收購 Earthmine 公司，將相關技術整合至 NOKIA 開發車載移動測繪系統名為 Here，圖 2-43 所示為開發之 3D 街景車。每台街景車配備 4 台相機，每台攝像機的像素為 1680 萬，並利用 Earthmine 公司開發的魚眼鏡頭，每隔 6 公尺拍照一次，可記錄包括天空在內的所有街景畫面。此外，Here 亦搭載高精度 GPS 傳感器及雷射掃描儀，其雷射掃描儀可記錄街景車車頭 40 度俯角下的 200 公尺範圍內的點雲資料。

經由資料後處理之 Here 3D 地圖與街景服務可在 Windows 的 IE、Firefox、Chrome，Mac 的 Safari、Firefox、Chrome，以及 iOS 4 和 Android 2.2 以上的行動瀏覽器上使用；Nokia 也在 Android、iOS、Firefox OS、Windows Phone 平台上推出原生的 Here app，提供類似 Google Maps 的街景服務如圖 2-44 所示。



圖 2-43 NOKIA 車載移動測繪系統 Here(摘自 <http://www.nokia.com/>)

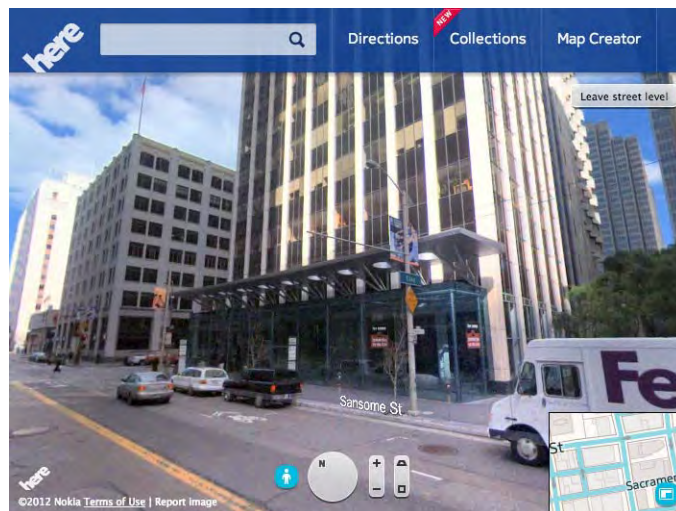


圖 2-44 Here 地圖街景介面(摘自 <http://mobile.here.com/>)

十、MITSUBISHI ELECTRIC 三菱電機公司

三菱電機公司於 2017 年 3 月召開的德國漢諾威國際資訊及通訊技術博覽會(CeBIT)，發表了基於人工智慧 AI 的車載移動測繪系統，其利用鏡頭和其他感測器建立高精度動態 3D 地圖，用來提供道路和周邊物體資訊。同時和 HERE Technologies 公司宣布將其先進的自動駕駛車輛定位技術與強大的綜合服務相結合，為汽車製造商提供服務。根據初步協議，兩家公司將為搭載 ADAS(高級駕駛員輔助系統)的汽車提供服務，以支持未來全自動駕駛車輛的發展。圖 2-45 所示為三菱電機公司開發之車載移動測繪系統，依各型號搭載 1 至 2 台雷射掃描儀、3 至 6 部相機、高精度定位定向系統、輪速計等。



圖 2-45 三菱電機車載移動測繪系統(摘自 <http://www.mitsubishielectric.com/bu/mms/>)

十一、Asia Air Survey 公司

Asia Air Survey 公司開發車載移動測繪系統名為 GeoMasterNeo 如圖 2-46 所示，其上搭載整合雙頻 GNSS、高精度 IMU、輪速計、Nikon 及 Olympus 數位相機、Ladybug 環景相機、2 台 RIEGL VQ250 光達等進行資料蒐集，其系統規格如表 2-6 所示。當 GNSS 訊號優良時其定位精度約為 5 公分，其定位精度可滿足日本國家 1:500 地圖要求。

文獻 Hatake 等人(2011)利用 GeoMasterNeo 進行日本 311 大地震

災損評估等相關工作，日本於 2011 年 3 月 11 日發生日本有觀測紀錄以來規模最大的地震，隨後引起的海嘯也是最為嚴重的一次，加上引發的火災與核能洩露事故，導致日本東北地區地方機能與經濟癱瘓。日本當局於發生地震後，先後期採用空載遙測製圖系統及車載移動測繪系統(GeoMasterNeo)進行資料蒐集與評估，圖 2-47 所示為資料處理後成果展示。



圖 2-46 Asia Air Survey 車載移動測繪系統 GeoMasterNeo(摘自 Hatake et al., 2011)

表 2-6 GeoMasterNeo 籌載規格(摘自 Hatake et al., 2011)

Issue	Remarks
Vehicle	TOYOTA Rush 1500 CC: compact mini van
GNSS	12 channel L1/L2, 2Hz
IMU	TerraControl: Roll/Pitch 0.004 degree, Heading 0.01degree
Laser	RIEGL VQ250 * 2pcs
Pulse reception rate	300KHz/Scanning rate 100 scans/sec
Point density (40km/hr)	900 points/m ² (range 5 m)
Odometer	Optical
Digital camera	1.2M Nikon & Olympus
Omni directional camera	Ladybug 3

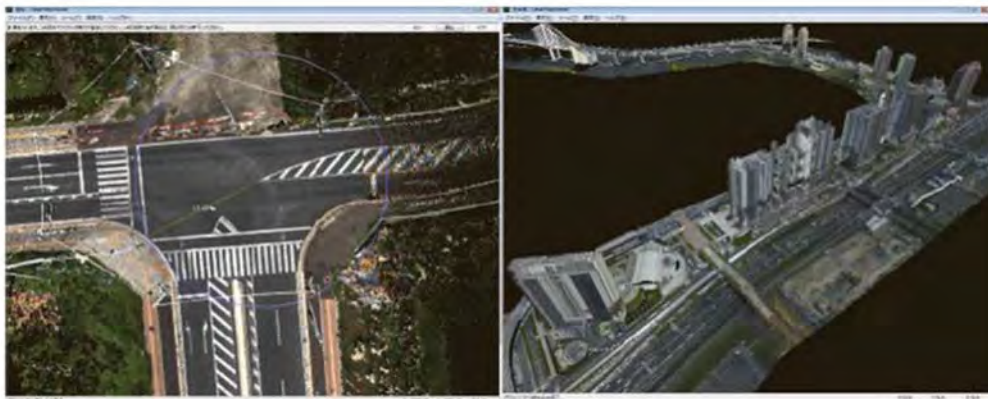


圖 2-47 車載遙測製圖系統應用於日本 311 大地震成果(摘自 Hatake et al., 2011)

文獻 Koarai 等人(2012)更進一步將該車載移動測繪系統應用於 311 大海嘯後淹水區域的評估與調查作業，圖 2-48 與圖 2-49 所示為資料蒐集區域與其成果分析。經由資料成果顯示，大地震引發海嘯影響範圍可由海岸線往陸地延伸約 5 公里左右，其中距離 1 公里內的區域完全被淹沒摧毀，距離海岸線愈遠破壞程度愈低，同時與地勢起伏變化、土壤土質也有密切關聯，因此透過車載遙測製圖系統，不僅可進行現況災損的評估，未來也可針對需加強防災部分進行分析處理。



圖 2-48 測試區域(摘自 Koarai et al., 2012)

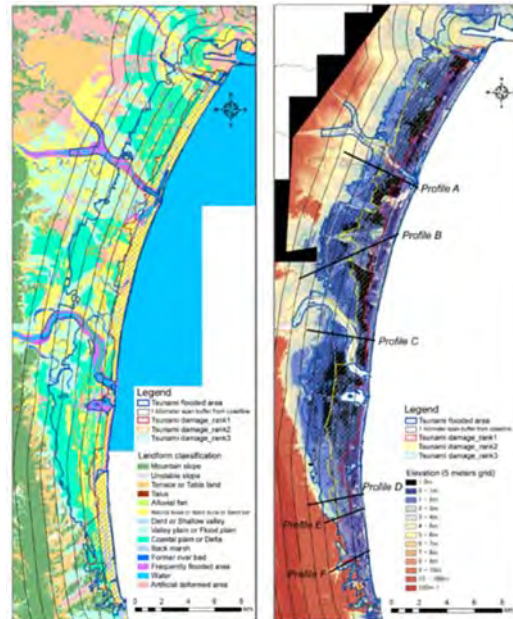


圖 2-49 分析結果(摘自 Koarai et al., 2012)

十二、IWANE 公司

IWANE 公司開發車載移動測繪系統名為 IMS3 及 IMS5+，搭載 GPS、IMU、輪速計、Ladybug 3 或 Ladybug 5，如圖 2-50 及表 2-7 所示。該車載移動測繪系統搭載 2 部 720 度環景相機 Ladybug，藉由影像處理及 CV 技術創建相對空間，提供即時現況之視覺效果，透過原廠開發之軟體，快速瞭解、規劃及評估現場情況，提供管理者對策研擬及決定之相關資訊，並透過 GNSS 信號或地面已知控制點將其校正至地理坐標系，作為測繪、製圖、調查等相關移動測繪系統應用使用。



圖 2-50 IWANE 車載移動測繪系統(摘自 <http://www.iwane.com/>)

表 2-7 IWANE 車載移動測繪系統規格(摘自 <http://www.iwane.com/>)

MOBILE MAPPING SYSTEM	IMS3
Design Concept	Simple & Robust (Use of minimal sensors)
Dual Cam System (Two Model)	30 M Pixel & 12 M Pixel Camera (2 set – Up & Down camera)
Capture Rate	16 FPS (Capture sequence of images / Video)
Optimal Speed	60 Km / h (Can go more fast in half mode)
Mounting Time /Type	One hour for first time / On any mobile platform)
Calibration	Mostly Software based calibration
Power	Direct from car battery (Using sin wave Inverter)

第三節 車載移動測繪系統率定技術

本案研提規劃車載移動測繪系統率定作業流程，感測器包含定位定向系統(GNSS/IMU)、相機、光達，率定項目包含軸角及固定臂，其代表兩感測器坐標系統間軸向差異的旋轉量及位置偏移量，規劃所需之控制點及檢核點點數、分佈及率定標標型，評估所需之率定工具或軟體，提供車載移動測繪系統之絕對精度及相關統計指標等資訊。針對上述率定程序，考量感測器特性、場地進出、維護便利、國有土地等，於中部地區規劃至少兩處率定場供測繪中心參考，並採用本案研擬方法，辦理率定試辦作業。

車載移動測繪系統搭載之定位定向系統、相機、光達，其位置與姿態存在相對平移與旋轉關係，須透過率定工作以消除兩項系統性誤差，達到後續直接地理定位之目的，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 Angle)率定。依感測器又可分為(1)定位定向系統與光達；(2)定位定向系統與相機。以下為介紹：

2.3.1 光達式軸角/固定臂率定作業

光達系統包含雷射掃描儀，以及由 GNSS/IMU 整合系統以提供位置和姿態，光達點雲的三維坐標是透過整合每個感測器之觀測量經過直接地理定位所求得，故需求得光達感測器與其餘感測器的相對關係，光達率定方法可以分成：

- 一、實驗室率定：一般是由儀器製造商所執行，光達整合系統所有感測器皆需經過率定作業，此外，掃描儀的鏡面和 IMU 之間的偏心(eccentricity)和初始對準偏差(misalignment)，以及 IMU 和相對感測器參考點的偏心與初始對準偏差皆可一併確定。
- 二、控制場率定：利用控制場(control surface)所組成的率定場，估計光達系統的參數，由光達導出和控制場表面之間觀測到的差異，用於改善系統測量中的安裝參數(鏡面角 mirror angle 與距離 range)偏差(discrepancies)。然而，控制場率定法率定過程耗費大量金錢和時間成本，率定過程較為複雜，需事先量測控制場，部分率定步驟依賴人力以及經驗知識，及可用的光達原始觀測量，例如：距離、鏡面角、每個脈衝的位置與姿態等。因此率定技術通常由廠商開發之軟體和專業知識所提供，目前無既定的率定方法。

現有的光達率定的方法眾多，大部分光達率定的技術基於經驗且需要系統原始觀測量，因此學者提出率定替代方法，以解決現有率定方法的限制，以下為各家廠商提出之光達率定方法及相關文獻介紹。

一、RIEGL 公司 RiPROCESS 軟體

RIEGL 公司開發之 RiPROCESS 軟體如圖 2-51 所示，用以管理、解算、分析、展示 RIEGL 空載及車載光達系統點雲資料，匯入資料包含光達設備選擇及安裝資訊、光達掃描原始資料、GNSS/IMU 位置及姿態角、相對關係率定資訊等，輸出三維位置點雲資料。光達及定位定向系統相對關係率定值由原廠提供，相關率定值軟體提供輸出做為分析及研究應用如圖 2-52 所示。同時 RiPROCESS 提供系統率定校準改善功能，其功能名稱為 Scan data adjustment，藉由光達掃描點雲資料得新的軸角/固定臂值，與原廠值比對評估設備相對關係是否有誤。

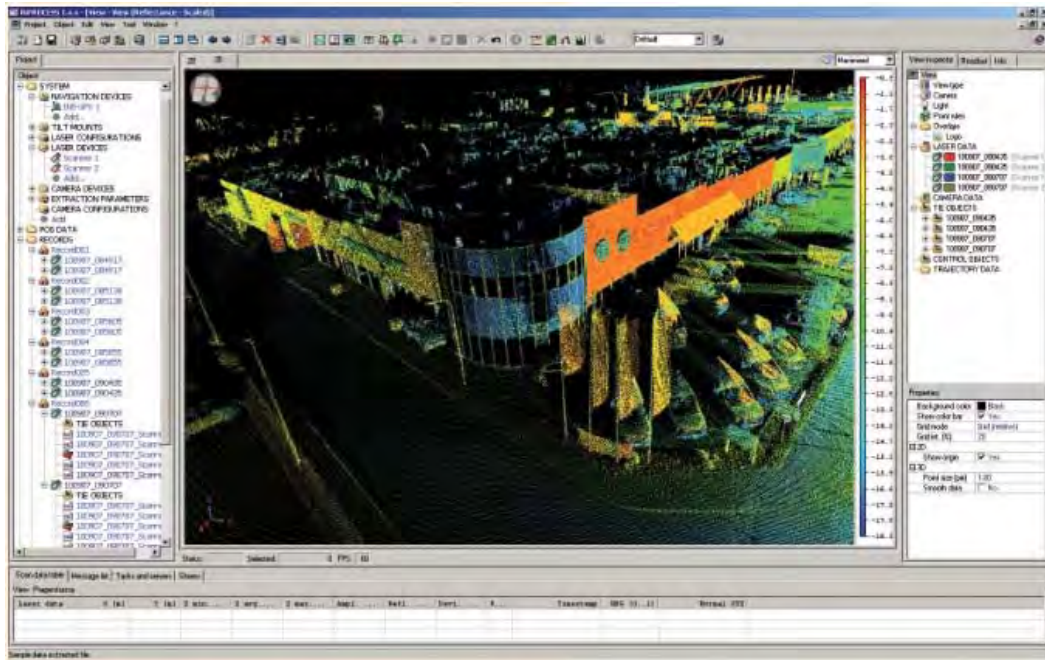


圖 2-51 RIEGL RiPROCESS 介面(摘自 <http://www.riegl.com/>)

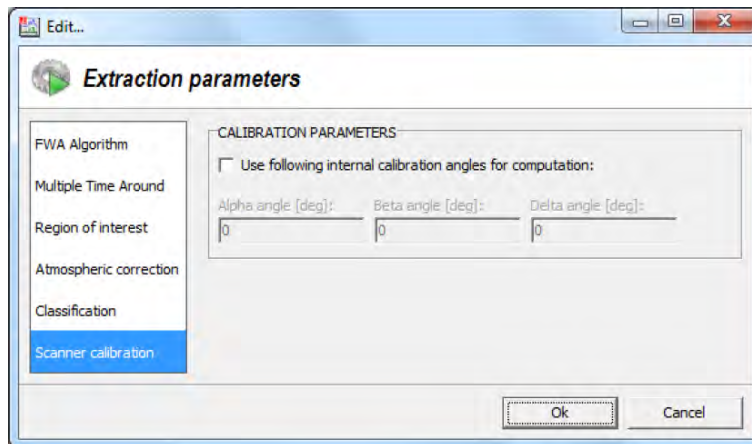


圖 2-52 RiPROCESS 率定值輸出(摘自 <http://www.riegl.com/>)

二、文獻 Boresight alignment method for mobile laser scanning systems

Rieger 等人於文獻中提出雷射掃描儀軸角率定方式，藉由不同的運行和掃描方向，以線掃式的雷射掃描儀往返重覆掃描相同物體之點雲數據如圖 2-53 所示，用以解算慣性量測元件和雷射掃描儀之間的軸角相對旋轉角度。資料蒐集需於合適場域進行，包含可往返重覆掃描平坦表面的物體如道路旁建築物側面牆壁或屋頂等；GNSS 透空度佳，減少高樓層建築或樹冠引起訊號遮蔽，降低位置和姿態精度；依選擇之光達系統，調整載具移動速度，以確保掃描物體表面點雲足夠密度。

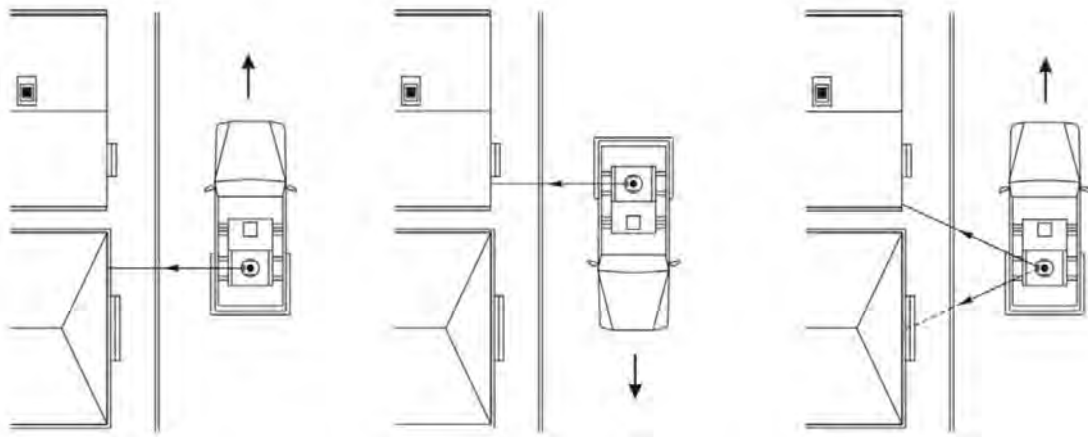


圖 2-53 不同運行和掃描方向示意圖(摘自 Rieger et al., 2010)

當 GNSS/IMU 提供點雲位置及姿態後得三維坐標點雲，將往返掃描相同之物體表面，其存在因未做軸角率定改正產生角度傾斜偏差情況，如圖 2-54 所示，往返得到之平面差異傾斜角度為軸角率定值的 2 倍。軸角率定演算法藉由掃描三維點雲組成相對應之平面表面，經由這些表面的大小計算其重心位置(如 P_1 及 P_2)以及相對應法向量(如 \vec{n}_1 及 \vec{n}_2)，示意圖如圖 2-55 所示。連續掃描點雲資料使用最近點迭代演算法(Iterative Closest Point, ICP)進行解算，求得軸角 Roll、Pitch、Yaw 角度改變量。重覆迭代計算求得每次相應平面表面距離均方根誤差如式 2-1 之 σ 所示，當距離均方根誤差殘差小於設定值時，求得軸角率定成果。

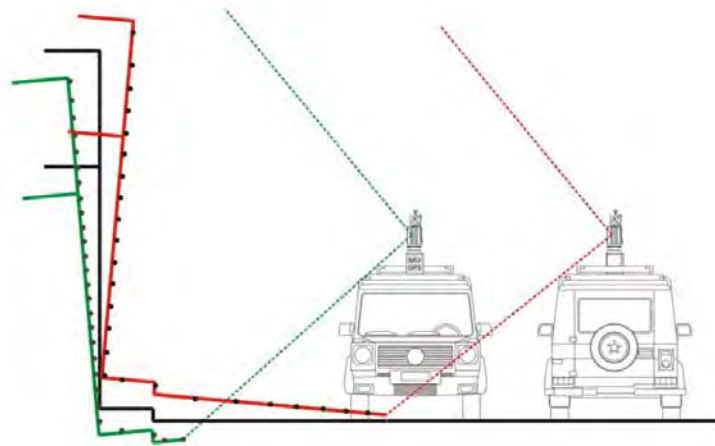


圖 2-54 往返方向掃描點雲未做軸角率定改正產生角度傾斜偏差示意圖(摘自 Rieger et al., 2010)

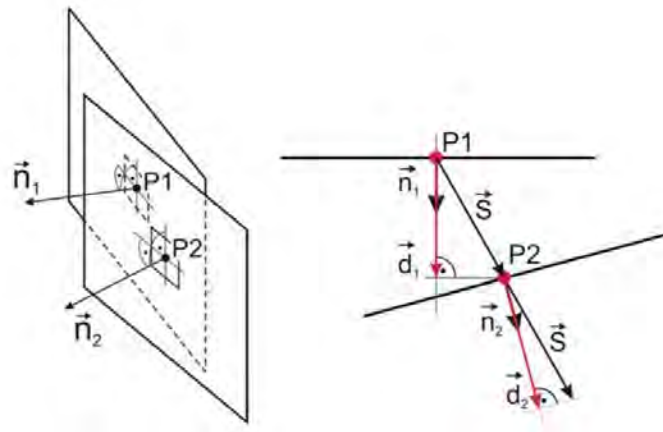


圖 2-55 掃描三維點雲相應平面表面計算其重心位置以及相對應法向量(摘自 Rieger et al., 2010)

$$\begin{aligned}
 \vec{d}_1 &= (P_2 - P_1) \cdot \vec{n}_1 \\
 \vec{d}_2 &= (P_2 - P_1) \cdot \vec{n}_2 \\
 \sigma &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\frac{\vec{d}_1 + \vec{d}_2}{2})^2}{n}}
 \end{aligned} \tag{2-1}$$

其中 P_1 及 P_2 為掃描點雲組成表面的大小計算其重心位置； \vec{n}_1 及 \vec{n}_2 為 P_1 及 P_2 相對應法向量； σ 為重覆迭代計算求得每次相應平面表面距離均方根誤差。

三、OPTECH 公司 TELEDYNE OPTECH LMS PRO 軟體

TELEDYNE OPTECH LMS PRO 為 OPTECH LMS 資料後處理軟體，負責定位定向系統及光達資料解算工作，其中自率定模組可估計計算儀器相對關係率定參數，並將率定成果帶回求得經軸角/固定臂改正後之點雲位置。圖 2-56 為 OPTECH 率定作業流程，LMS PRO 可使用面或點之型式進行解算率定成果如圖 2-57 所示，選擇共軛面方式適合於有許多建物，易於蒐集大量垂直和水平表面之區域，後續可自動化解算；選擇共軛點方式需佈設率定標。將求得之率定成果帶回點雲資料重新解算，往返軌跡掃描之點雲可修正至正確位置，使相同建物重合，提升點雲精度。

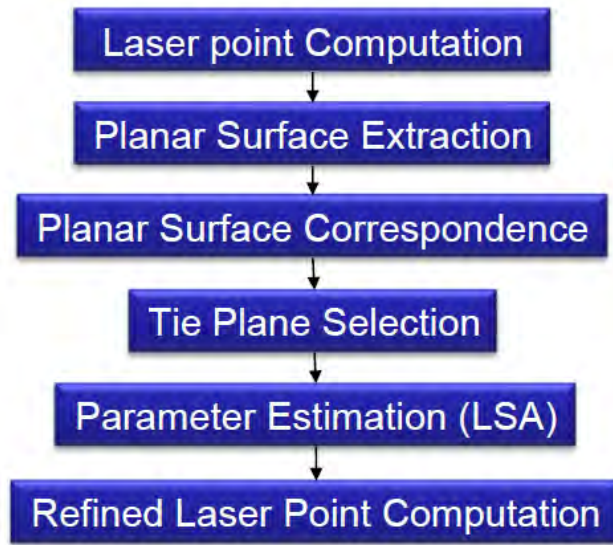


圖 2-56 OPTECH 率定作業流程(摘自 <http://www.teledyneoptech.com/>)

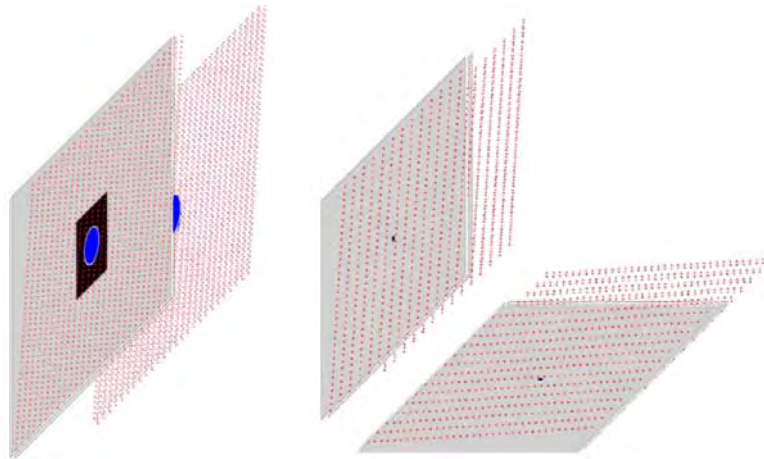


圖 2-57 選擇(左)控制點；(右)控制面類型進行率定作業(摘自 <http://www.teledyneoptech.com/>)

四、Z+F 公司 Z+F SynCat Calibration 軟體

Z+F SynCat 為 Z+F 光達系統資料後處理軟體，其中 Calibration 模組主要為計算定位定向系統與光達之相對關係-軸角及固定臂，參考 Calibration 模組解算模式，率定場建議於一透空良好區域，可於同一條道路進行往返軌跡掃描(如圖 2-58 黃色搭配綠色、紅色搭配藍色)，此外建議蒐集 T 字或十字交叉路口行進方式，蒐集不同方向交會點雲資料(如圖 2-58 黃或綠色搭配紅或藍色各擇一)，提高率定精度；往返掃描特徵點至少 8 點以上，點位選擇平均分配於路線(如圖 2-58 紅色圓圈)。率定作業時各點雲間隔建議為 1.5 至 2.0 公分，參考 Z+F 光達規格，掃描頻率設定 200Hz，時速建議為 10 到 15 公里，光達掃描建物或特徵點距離 15 公尺以內。

內業率定解算軟體介面如圖 2-59 所示，以下為率定作業操作流程：(1)開啟 Z+F SynCaT-calibration；(2)載入點雲資料，點雲資料格式包含 Z+F 自訂格式(*.zfs)及光達點雲通用格式(*.las)，選擇軸角或固定臂進行率定程序；(3)載入定位定向系統資料，選擇二段軌跡區間，兩段軌跡需有重覆掃描相同特徵物方可進行特徵點量測，建議選擇同一路線往返軌跡，並針對面相同的特徵點進行量測；(4)當至少 8 個特徵點以上量測完成時，進行軸角/固定臂率定成果解算如圖 2-60 所示。



圖 2-58 Z+F 軸角/固定臂率定場作業模式示意圖(摘自 <http://www.zf-laser.com/>)

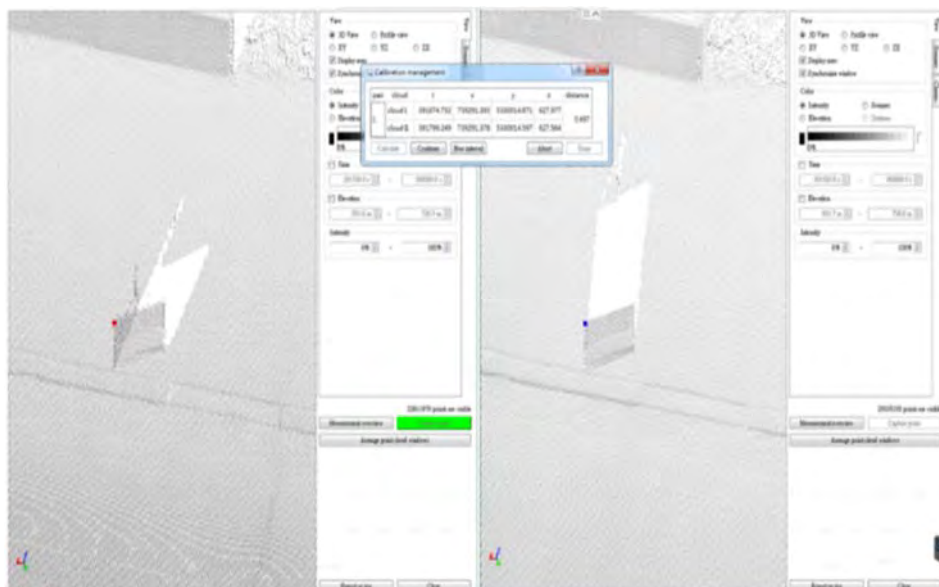


圖 2-59 Z+F 軸角/固定臂軟體操作介面

pair	cloud	t	x	y	z	distance	corr.dist
8.	cloud I	391707.327	739370.805	5329992.861	627.964	0.433	0.023
	cloud II	392001.860	739370.590	5329993.211	627.826		
7.	cloud I	391692.674	739326.194	5329965.633	629.371	0.442	0.024
	cloud II	391987.058	739325.782	5329965.484	629.425		
6.	cloud I	391689.910	739318.181	5329965.225	629.203	0.468	0.006
	cloud II	391986.337	739317.768	5329965.026	629.295		
5.	cloud I	391674.752	739291.393	5330014.869	627.981	0.454	0.027
	cloud II	392003.748	739291.568	5330014.474	628.121		
4.	cloud I	391707.276	739370.802	5329992.873	628.423	0.021	0.286
	cloud II	391763.685	739370.805	5329992.894	628.418		

x: -0.065 m y: -0.425 m z: 0.324 m
 roll: -0.125024 deg pitch: 15.154749 deg yaw: 89.492037 deg

圖 2-60 Z+F 軸角/固定臂率定作業成果

五、TerraSolid 軟體之 TerraMatch 模組

TerraMatch 為 TerraSolid 軟體其中之一模組，其可做為光達移動測繪系統軸角率定成果解算使用，當光達移動測繪系統掃描往返不同路徑點雲資訊，若未經過軸角率定修正，其相同特徵點往返掃描成果存在差異，可藉由建置之率定場，搭配 TerraMatch 開發之演算法求得軸角率定成果。率定場建議之環境為透空良好、現場人車稀少降低作業干擾影響、現地存在 1 至 3 座建物牆面可掃描取得點雲資訊、牆面儘可能為光滑面無大量複雜結構。外業作業蒐集資料時，當只有一棟建物及前方有空地情況時，軌跡路線如圖 2-61(左)所示，包含左右、前後往返掃描資料，以及與建物 45 度角運行方向進行點雲資料蒐集；若位於十字路口道路上，需於同一條道路進行往返軌跡掃描，並於十字交叉路口行進方式，蒐集不同方向交會點雲資料，如圖 2-61(右)所示，如此一來可確保率定參數成功求解。圖 2-62 所示為求解各軸角率定解之掃描路線概念示意圖。

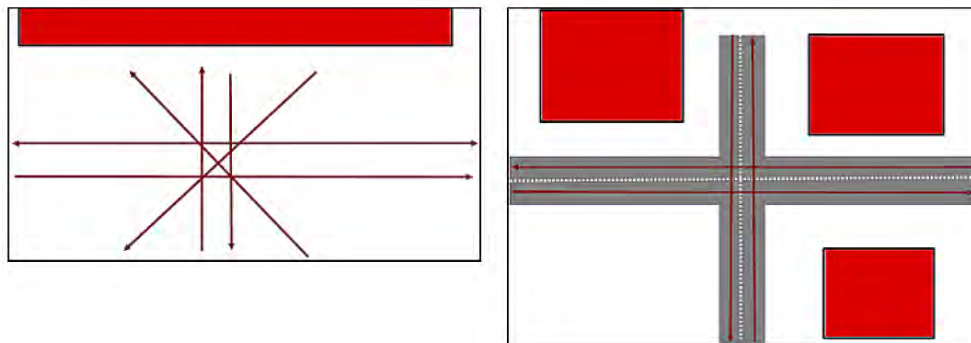


圖 2-61 TerraMatch 軸角/固定臂率定場(左)單一建物及空地；(右)道路十字路口作業模式示意圖(摘自 <http://www.terrasolid.com/>)

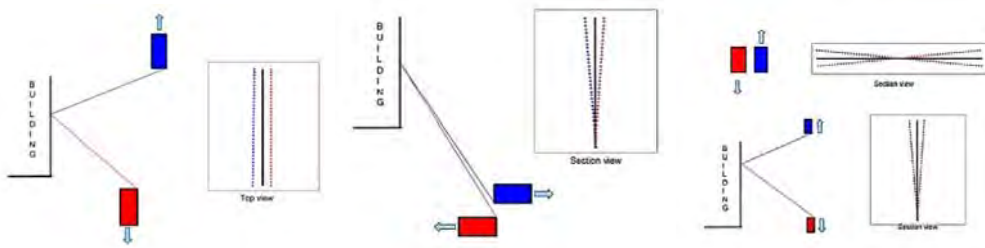


圖 2-62 求解(左)Heading；(中)Pitch；(右)Roll 角之掃描路線概念示意圖(摘自 <http://www.terrasolid.com/>)

TerraMatch 內業解算率定作業操作流程以下：(1)載入定位定向系統軌跡成果；(2)輸入軸角初始值，解算點雲三維 xyz 坐標；(3)於 TerraScan 模組底下載入軌跡並進行坐標轉換；(4)載入軌跡之預估精度；(5)於 TerraScan 模組底下載入點雲並進行坐標轉換；(6)軌跡分段，每段軌跡掃描之點雲平均分配，減少每段點雲資料處理所需之電腦資源；(7)依掃描方向進行點雲分類，並移除錯誤或多餘之點雲，如靜止或轉彎處等；(8)執行 TerraMatch 功能選項蒐尋連結線樣式 Section lines on vertical walls；(9)執行 TerraMatch 功能選項蒐尋連結線樣式 Section lines on flat ground；(10)當成果不佳時，人工手動增加連結線；(11)執行 TerraMatch 功能選項 Find Tie Line Match 計算軸角率定成果；(12)將計算軸角率定值帶回步驟(2)，取代原軸角初始值，檢視點雲成果是否合理。

2.3.2 影像式軸角/固定臂率定作業

影像式車載移動測繪系統固定臂偏移量之率定方式說明如下 (Grejner-Brzezinska, 2001; Ellum and El-Sheimy, 2003)：

- 一、利用全站儀(Total Station)以地面測量方式進行量測，此種方式因為無法觀測到 GPS 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。
- 二、「兩階段率定法」，利用地面控制點進行空三平差，其成果再與定位定向系統位置成果比較，將兩者位置的差異量取平均而得。此方法的基本要求為須有合適的地面控制場，必須滿足空三平差所需的控制點分布，同時 GPS 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。

$$r_{GPS/INS}^b = R_M^b(r_c^M - r_{GPS/INS}^M) \quad (2-2)$$

其中 $r_{GPS/INS}^b$ 為相機至 GPS/INS 之相對平移量固定臂

R_M^b 為與轉換至物空間坐標系統旋轉矩陣

r_C^M 為相機於物空間坐標系統之位置向量

$r_{GPS/INS}^M$ 為 GPS/INS 於物空間坐標系統之位置向量

三、「整合率定法」，即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 GPS 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。

影像式車載移動測繪系統軸角之率定方式無法透過接觸式直接量測而得，必須利用「兩階段率定法」與「整合率定法」進行求解：

一、軸角「兩階段率定法」中與固定臂率定方法相似，需利用地面控制點進行空三平差，其成果再與定位定向系統姿態角成果的旋轉矩陣進行相乘，再取平均而得(Skaloud, 1999)。

$$\begin{aligned}
 R_C^b &= R_M^b (R_M^c)^{-1} \\
 &= R_z(\kappa) R_y(\phi) R_x(\omega) \\
 &= \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{2-3}$$

其中 R_C^b 為相機至 GPS/INS 之相對旋轉量軸角

R_M^b 為 GPS/INS 於物空間坐標系統旋轉矩陣

R_M^c 為相機於物空間坐標系統之旋轉矩陣

$$r_{11} = \cos \delta\phi \cos \delta\kappa$$

$$r_{12} = -\cos \delta\phi \sin \delta\kappa$$

$$r_{13} = \sin \delta\phi$$

$$r_{21} = \cos \delta\omega \sin \delta\kappa + \sin \delta\omega \sin \delta\phi \cos \delta\kappa$$

$$r_{22} = \cos \delta\omega \cos \delta\kappa - \sin \delta\omega \sin \delta\phi \sin \delta\kappa$$

$$r_{23} = -\sin \delta\omega \cos \delta\phi$$

$$r_{31} = \sin \delta\omega \sin \delta\kappa - \cos \delta\omega \sin \delta\phi \cos \delta\kappa$$

$$r_{32} = \sin \delta\omega \cos \delta\kappa + \cos \delta\omega \sin \delta\phi \sin \delta\kappa$$

$$r_{33} = \cos \delta\omega \cos \delta\phi$$

故軸角率定成果如式 2-4 所示：

$$\begin{aligned} \delta\omega &= \tan^{-1}\left(\frac{-r_{23}}{r_{33}}\right) \\ \delta\phi &= \sin^{-1}(r_{13}) \\ \delta\kappa &= \tan^{-1}\left(\frac{-r_{12}}{r_{11}}\right) \end{aligned} \quad (2-4)$$

二、軸角「整合率定法」與固定臂率定方法相似，其為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)。

表 2-8 所示為影像式固定臂及軸角率定優缺點比較。

表 2-8 影像式固定臂及軸角率定比較(摘自 Ellum and El-Sheimy, 2003)

率定方式	優點	缺點
直接量測(僅限固定臂率定)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 直接量測得結果 ■ 成果不需進行空三等解算，可快速取得 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 不易量測天線及相機中心位置 ■ 精度有限
兩階段率定法	<ul style="list-style-type: none"> ■ 概念上較為簡單 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 需建置合適地面率定/控制場
整合率定法	<ul style="list-style-type: none"> ■ 將固定臂及軸角分量當作未知數與影像一起進行光束法平差求解 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 參數會與相機的內、外方位參數有高相關問題

2.3.3 相機內方位參數率定作業

相機內方位參數率定作業如下列作業所示：

- 一、原廠率定值，一般是由儀器製造商所執行。
- 二、「實驗室率定」，需至專業相機率定場進行相機率定作業，如 Australis 率定軟體，藉由其所對應編碼之人造標可自動辨識，進行相機內方位參數率定作業，以下作業流程以 Australis 軟體進行率定作業說明：(1)攜帶欲率定之相機至相機率定場，並固定鏡頭與機身間連接；(2)參考文獻 Fraser(1997)，透過旋轉率定圓盤及旋轉相機製造環繞交會式拍攝的效果，如圖 2-63 為示意圖。相機拍攝位置不動，僅旋轉圓盤，每旋轉 45 度拍攝，即圓盤於 0、45、90、135、180、225、270、315 度時拍攝，故每 1 組拍攝共 8 張照片；(3)關於相機拍攝位置與方式，首先相機光軸與圓盤夾角約為 30 度至 45 度，分別以相機正拍(圖 2-64(a))、機身向右旋轉 90 度(圖 2-64 (b))及機身向左旋轉 90 度(圖 2-64(c))3 種角度拍攝，並依前述步驟旋轉圓盤各拍攝 8 張，共 24 張照片；(4)以相機光軸與圓盤夾角為 90 度拍攝，分別以相機正拍(圖 2-65(a))及機身向右旋轉 90 度(圖 2-65(b))配合旋轉圓盤各拍攝 8 張，共 16 張照片；(5)拍攝作業時，視窗畫面須佈滿率定標且清晰可辨別，如圖 2-66；(6)將率定影像匯入相機率定軟體，經率定標辨識及光束法平差計算，得率定成果。

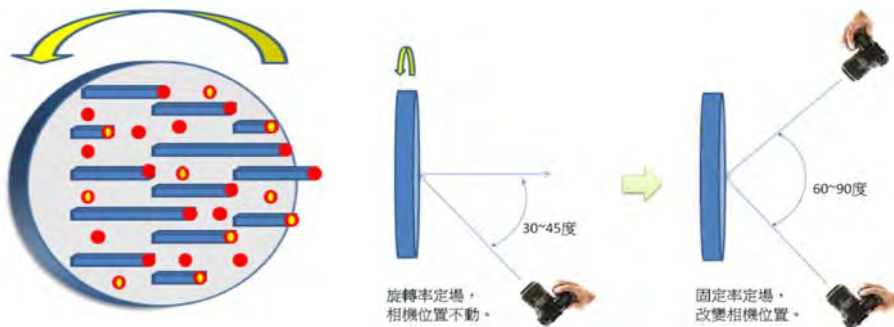


圖 2-63 相機率定拍攝程序示意圖

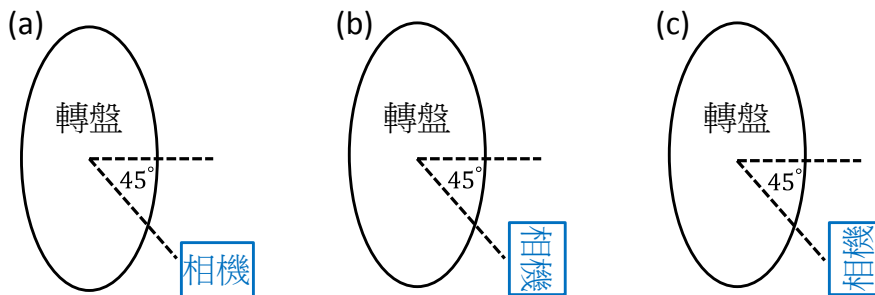


圖 2-64 相機率定拍攝方式(夾角 45 度)

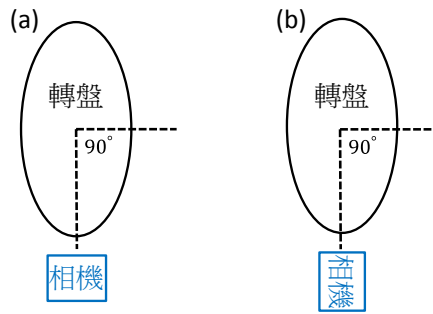


圖 2-65 相機率定拍攝方式(夾角 90 度)



圖 2-66 相機率定拍攝範例

三、TerraSolid 軟體之 TerraPhoto 模組，其功能 Solve camera parameters 可率定內方位參數之像主點及透鏡畸變等，作業流程如下：(1)資料蒐集，率定場需包含大量特徵點，拍攝影像匹配存在大量連結點，拍攝路線如圖 2-67 所示，圖中紅色及藍色三角形為建置拍照點位；(2)匯入影像及相關資訊，選擇 Solve camera parameters，選擇解算像主點及透鏡畸變，如圖 2-68 所示；(3)選擇全部相機進行率定解算，迭代重覆解算直到精度符合需求；(4)儲存內方位參數。

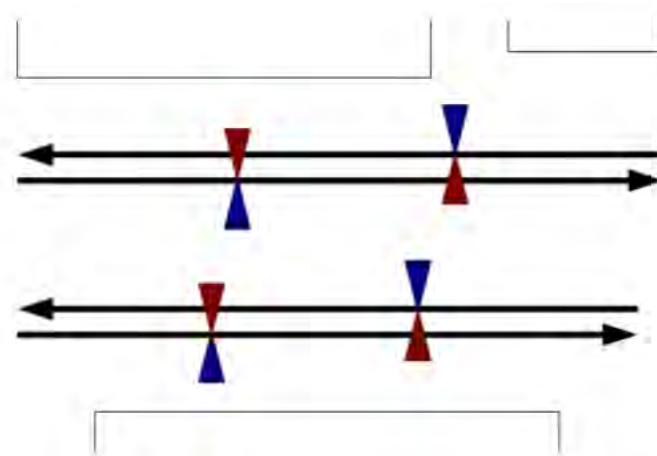


圖 2-67 相機率定拍攝方式(摘自 <http://www.terrasolid.com/>)

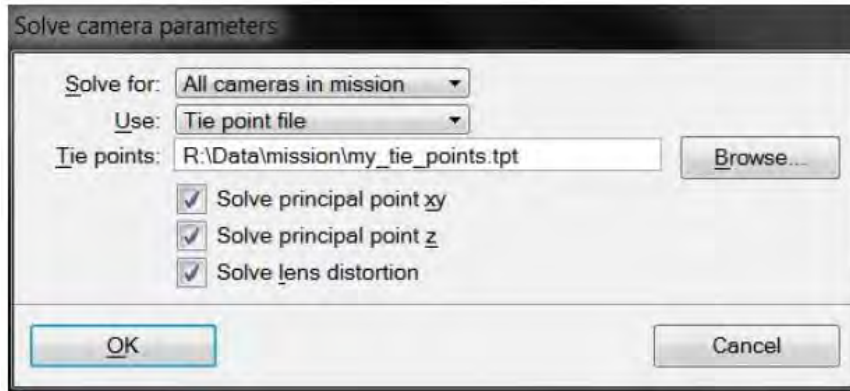


圖 2-68 相機率定解算介面(摘自 <http://www.terrasolid.com/>)

2.3.4 相機整合式內外方位參數率定作業

內政部地政司 100 年度發展與應用多平台遙測製圖技術工作案工作總報告書提及可藉由相機之組合(如 6 台相機組成環景相機)，規劃於室內同時進行相機內方位及相對方位之率定，即進行車載移動測繪系統率定時將組合相機系統視為一部相機，簡化戶外率定作業及減少率定場率定標數量。其率定流程如下依序進行：

1. 相機內方位率定使用商用軟體 Australis 之自動化率定，室內環場影像之相對方位率定場及率定成果如圖 2-69 及圖 2-70 所示。



圖 2-69 室內環場影像之相對方位率定場(摘自江凱偉，2011)

METRIC CALIBRATION PARAMETERS

Resolution = 4592 x 3056 pixels

Pixel width = 0.0051mm, Pixel height = 0.0051mm

	VALUE	STANDARD ERROR
Principal distance	c = 15.8540mm	0.001mm
Principal point offset in x-image coordinate	xp = -0.0688mm	0.001mm
Principal point offset in y-image coordinate	yp = 0.2443mm	0.000mm
3rd-order term of radial distortion correction	K1 = 2.50988e-004	1.3130e-006
5th-order term of radial distortion correction	K2 = -1.32011e-006	2.0795e-008
7th-order term of radial distortion correction	K3 = -9.81883e-010	1.0150e-010
Coefficient of decentering distortion	P1 = 7.3696e-005	9.186e-007
Coefficient of decentering distortion	P2 = -5.1299e-005	6.941e-007

Measurement Accuracy Summary		
Scale set?	Yes	
Estimated accuracy of 3D point coordinates (RMS 1-sigma level)		
X	0.0338 units, or	1:69900
Y	0.0437 units, or	1:54100
Z	0.0445 units, or	1:53000
Overall	0.0407 units, or	1:58100
Estimated accuracy of image referencing	0.19 pixels (RMS 1-sigma level)	
Quality of self-calibration (if applied)	1.0	

圖 2-70 內方位率定成果(摘自江凱偉，2011)

- 相機相對方位確立同樣使用商用軟體 Australis，圖 2-71 所示為相對方位率定之拍攝與解算成果。相對方位則以其中一台相機參考基準(本案以第六台相機為主)，其他相機相對於此台的相對方位，將方位旋轉矩陣表示為上三角矩陣，針對每台相機在不同測站的相對方位矩陣應相同，利用上三角矩陣的三個元素值來平差每台相機相對方位並獲得其誤差。實驗結果矩陣值之差異皆為小數四位以下，而反解算三旋轉角之角度誤差約為 0.02 度。表 2-9 所示為相對方位旋轉矩陣及角度平差後成果。



Measurement Accuracy Summary		
Scale set?	Yes	
Estimated accuracy of 3D point coordinates (RMS 1-sigma level)		
X	0.1610 mm, or	1:41400
Y	0.1711 mm, or	1:38900
Z	0.0865 mm, or	1:77000
Overall	0.1395 mm, or	1:47700
Estimated accuracy of image referencing	0.15 pixels (RMS 1-sigma level)	
Quality of self-calibration (if applied)	see camera parameters dialog	

圖 2-71 相對方位率定之拍攝與整體解算(摘自江凱偉，2011)

表 2-9 相對方位之旋轉矩陣與角度平差後之結果(摘自江凱偉，2011)

相對方位 (相對 6)	第一台 →6	第二台 →6	第三台 →6	第四台 →6	第五台 →6
旋轉矩陣 σ_0	2.04×10^{-4}	2.28×10^{-4}	4.50×10^{-4}	4.50×10^{-4}	3.84×10^{-4}
角度 $\omega \sigma_0$ (度)	0.026	0.018	0.009	0.021	0.024
角度 $\varphi \sigma_0$ (度)	0.017	0.020	0.020	0.014	0.019
角度 $\kappa \sigma_0$ (度)	0.030	0.044	0.016	0.042	0.031

3. 相機與 e-GPS 關係之建立及坐標系統的統一，如圖 2-72 所示。

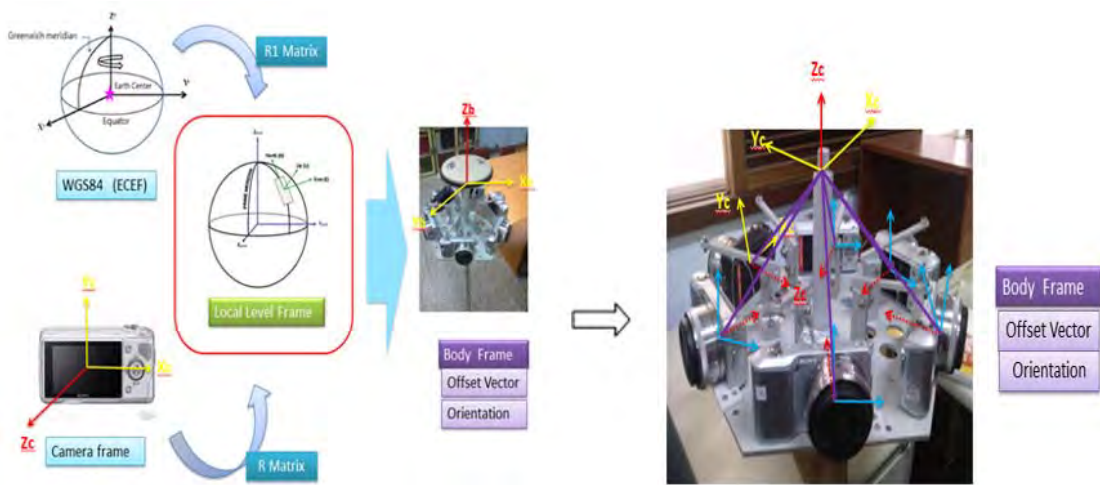


圖 2-72 坐標系統之統一與轉換關係

4. 實地測繪與全景外方位解算。此系統率定在於建立以平台載體坐標系統之下的 e-GPS 與組合相機之位移與方位關係，因此當組合相機系統視為一部相機時，其率定模式即參考 2.3.2 節率定作業方式，自行開發率定演算法計算定位定向系統與組合相機系統之軸角及固定臂。再由參考相機與每台相機之相對方位求得各自之位置與姿態。

第四節 小結

本案研提車載移動測繪系統率定程序，感測器包含定位定向系統、相機、光達，率定項目包含軸角及固定臂，其代表兩感測器坐標系統間軸向差異的旋轉量及位置偏移量。參考本章節率定技術介紹及率定場選擇原則，建議率定場透空度可達 50 度以上，適合 GNSS 接收且可減少 GNSS 訊號受到遮蔽或多路徑效應影響；光達式率定場需進行往返軌跡掃描，使用點或面之型式進行率定解算，建議現地包含一棟

建物及前方有空地情況，軌跡路線包含左右、前後往返掃描資料，以及與建物 45 度角運行方向進行點雲資料蒐集，以利蒐集往返及不同方向交會點雲資料；影像式率定場拍攝之影像，將影像切成 16 或 25 等份，每等份內應盡可能有 3 個以上明顯特徵點，率定場四周有低矮建物包含大量特徵點位，透過高精度測量方法取得這些特徵點之三維坐標作為牆面控制點。本案國土測繪中心光達式 LMS 使用 Z+F Profiler 9012 (Pentax S-2100)，除了選用該設備原廠之軸角及固定臂率定作業流程外，考量本案所建置率定場及率定方法，後續可提供國內其他光達設備率定使用，建議採用 TerraSolid 相關模組 TerraMatch 及 TerraPhoto，以 TerraSolid 建議之率定程序及方法進行率定作業，Z+F SynCat-Calibration 模組與 TerraSolid 模組兩者相關比較如表 2-10 所示。影像式率定採用兩階段率定法，首先使用影像解算軟體(如 Australis)求解每部相機內方位參數，將內方位參數、影像、控制點匯入至空三解算軟體(如 Agisoft Metashape)求解每張影像外方位參數，並由定位定向系統解算軟體求解軌跡，最後將上述外方位參數及軌跡匯入至本公司自行開發程式，計算相機與定位定向系統之相對關係。本案後續將採用本報告所研擬方法，辦理國土測繪中心及其他機關(自強工程顧問有限公司)車載移動測繪系統率定作業至少 2 部，比較各方法之可行性，並出具相關率定報告。

表 2-10 光達及影像率定軟體比較

軟體名 項目	Z+F SynCat-Calibration 模組	TerraSolid (TerraMatch 及 TerraPhoto 模組)
光達系統		
軸角/固定臂率定	限 Z+F 光達設備	可針對各光達設備進行率定
資料格式	僅支援 Z+F 專有格式(*.zfs)	支援通用格式(*.las)
率定成果精度輸出	需藉由控制點量測驗證整體光達移動測繪系統精度	需藉由控制點量測驗證整體光達移動測繪系統精度
影像感測器		
率定相機內方位參數	需另購置影像解算軟體求得	可
計算相機軸角及固定臂參數	需另購置影像解算軟體或自行開發軟體求得	可求解相機軸角參數(Roll、Pitch、Heading)



電腦硬體規格最低需求		
作業系統	Windows 7 64Bit , Core 2 duo	Windows 7 64Bit , Quad-core
記憶體	8GB	8GB
顯示卡	Minimal OpenGL V1.5 , Direct-X , 1GB	--
硬碟空間	200MB	5MB

第參章 車載移動測繪系統率定場規劃作業

本案針對車載移動測繪系統率定程序，光達式 LMS 系統建議選用 TerraMatch 之軸角及固定臂率定作業流程，後續採用研擬方法，至少辦理 2 部(含國土測繪中心及自強工程顧問有限公司)車載移動測繪系統率定作業，並出具率定報告。參考第貳章率定技術介紹及率定場選擇原則，建議率定場透空度可達 50 度以上，適合 GNSS 接收且可減少 GNSS 訊號受到遮蔽或多路徑效應影響，並建議現地包含一棟建物及前方有空地情況，軌跡路線包含左右、前後往返掃描資料，以及與建物 45 度角運行方向進行點雲資料蒐集，以利蒐集往返及不同方向交會點雲資料。以下為率定作業程序及率定場規劃介紹。

第一節 移動測繪系統率定程序

3.1.1 光達式移動測繪系統率定程序

一、外業資料蒐集

本案光達式 LMS，建議選用 TerraMatch 之軸角及固定臂率定作業流程，流程圖如 3-1 所示，詳細作業說明如下：

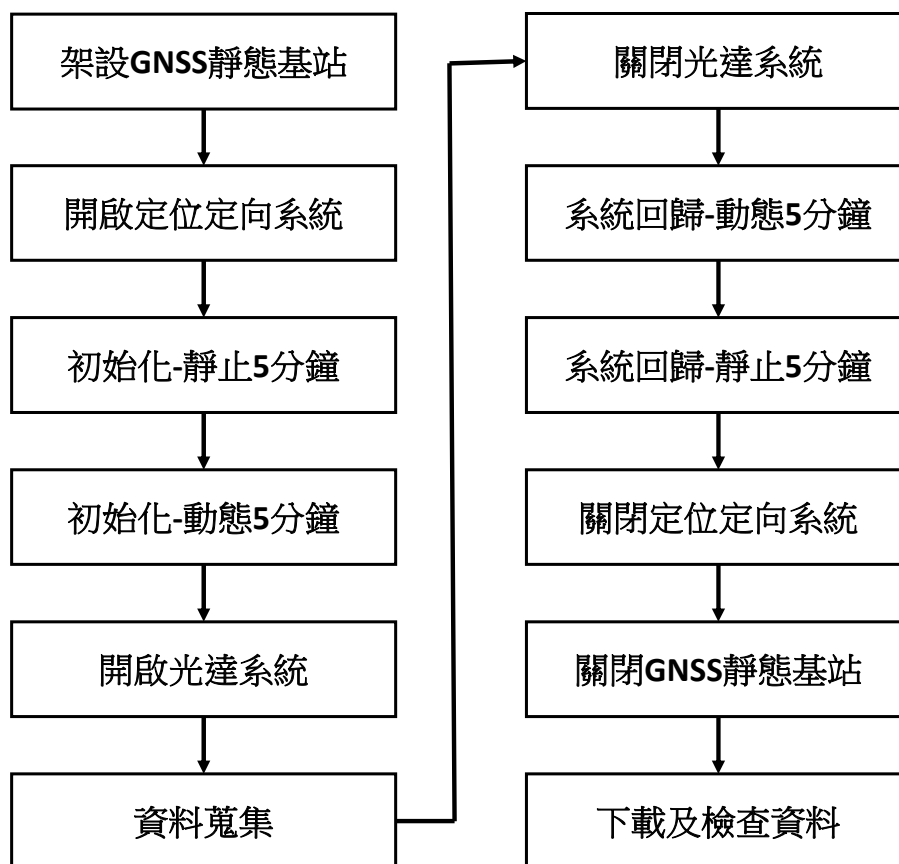


圖 3-1 光達式 MMS 外業資料蒐集作業流程圖

1. 將欲進行軸角及固定臂率定之車載移動測繪系統駛至率定場。
2. 率定場內存在已知地面控制點，可自行架設 GNSS 靜態基站於已知點，開機儲存資料，或後續向測繪中心申請實體或虛擬主站觀測資料做為基站資料。
3. 開啟車載移動測繪系統之定位定向系統，進行定位定向系統初始化作業。作業項目為靜止 5 分鐘，提升 GNSS 定位精度，動態繞 8 字型(若場地受限時可改為繞圓圈方式)5 分鐘，提升 IMU 精度。
4. 開啟光達系統進行點雲資料蒐集。車速保持時速 10 公里以下，提升點雲密度。
5. 掃描路線軌跡規劃包含 2 種，第 1 種如圖 3-2 及圖 3-3 所示，包含一棟建物及前方有空地情況，軌跡路線包含左右往返掃描資料，以及與建物 45 度角運行方向進行點雲資料蒐集，藉由 2 個以上方向(如往與返)掃描同一特徵物成為共軌線或面。第 2 種如圖 3-4 所示，透過路線(1)、(2)、(5)、(6)，十字交叉及往返掃描資料，進行資料蒐集。

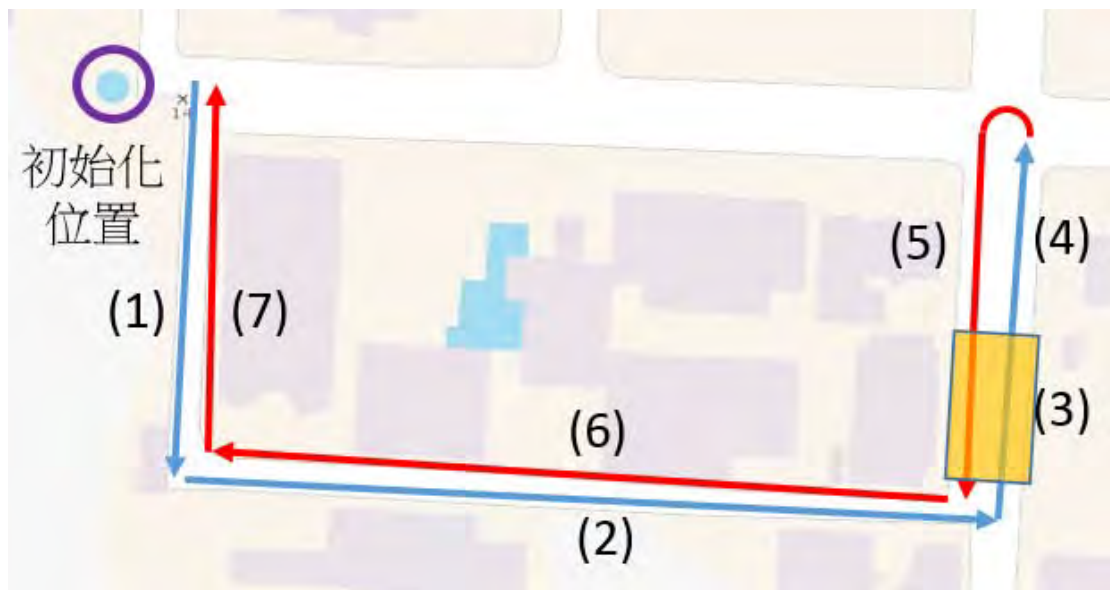


圖 3-2 光達式 MMS 率定第 1 種掃描路線軌跡規劃

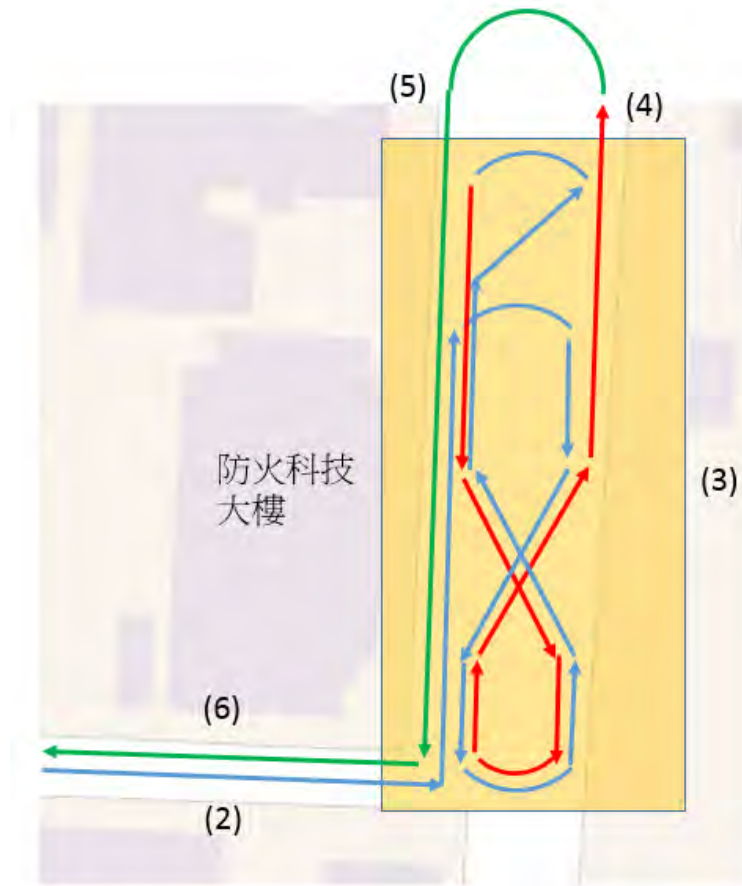


圖 3-3 光達式 MMS 率定第 1 種掃描路線軌跡規劃圖 3-1 之第(3)處細部軌跡



圖 3-4 光達式 MMS 率定第 2 種掃描路線軌跡規劃

6. 完成光達點雲資料蒐集作業後，關閉光達系統後進行系統回歸，系統回歸作業項目為動態繞 8 字型(若場地受限時可改為繞圓圈方式)5 分鐘，再靜止 5 分鐘，結束後停止紀錄定位定向系統資料。
7. 檢查資料，正確無誤後下載資料，並關閉系統全部電力設備。
8. 關閉 GNSS 靜態基站，並下載基站資料；若選擇測繪中心主站觀測資料則回到室內後再上網申請即可。

二、內業解算流程

內業解算以軟體 TerraMatch 計算光達與定位定向系統之相對關係-軸角及固定臂，率定作業流程圖如圖 3-5 所示，詳細說明如下：

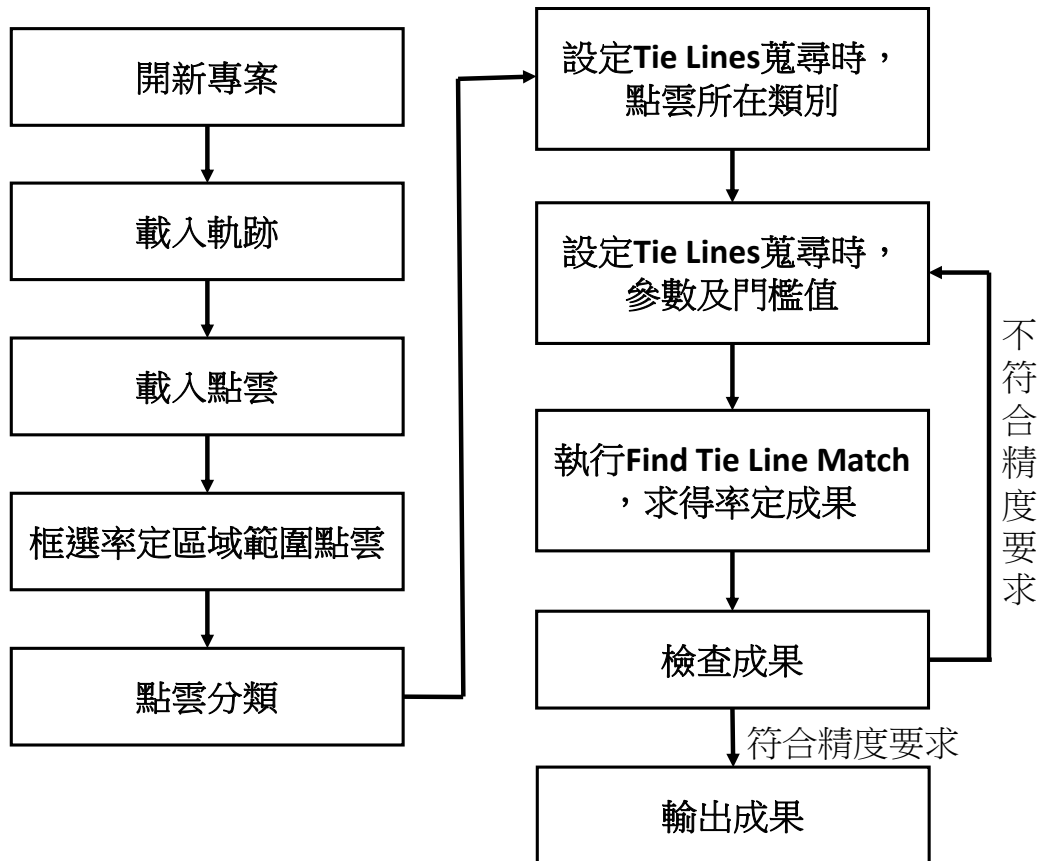


圖 3-5 光達式 MMS 內業資料解算作業流程圖

1. 載入軌跡，坐標系統轉換為 TWD97。

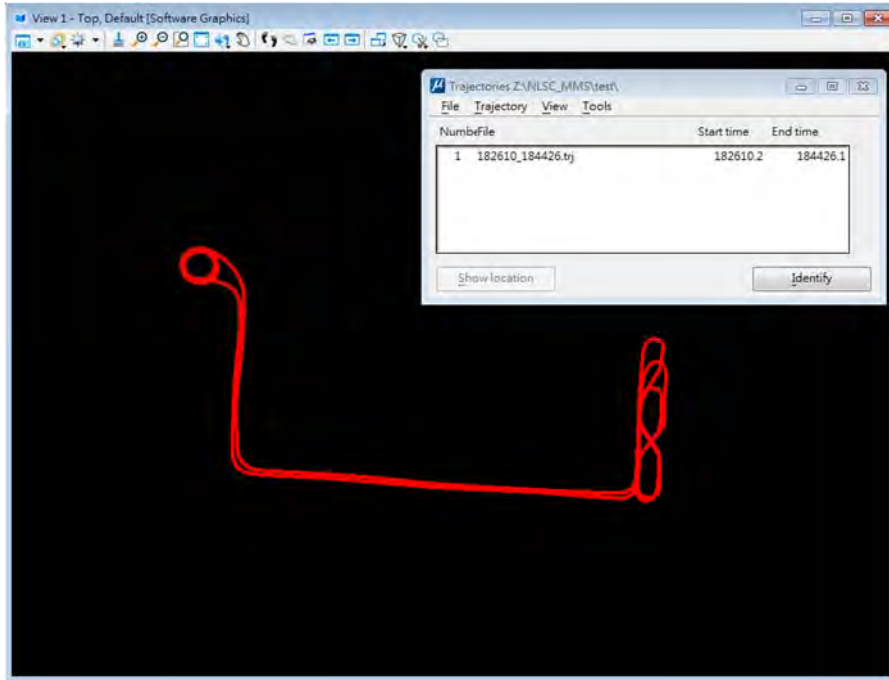


圖 3-6 載入軌跡資料

- 載入點雲資料，坐標系統轉換為 TWD97。

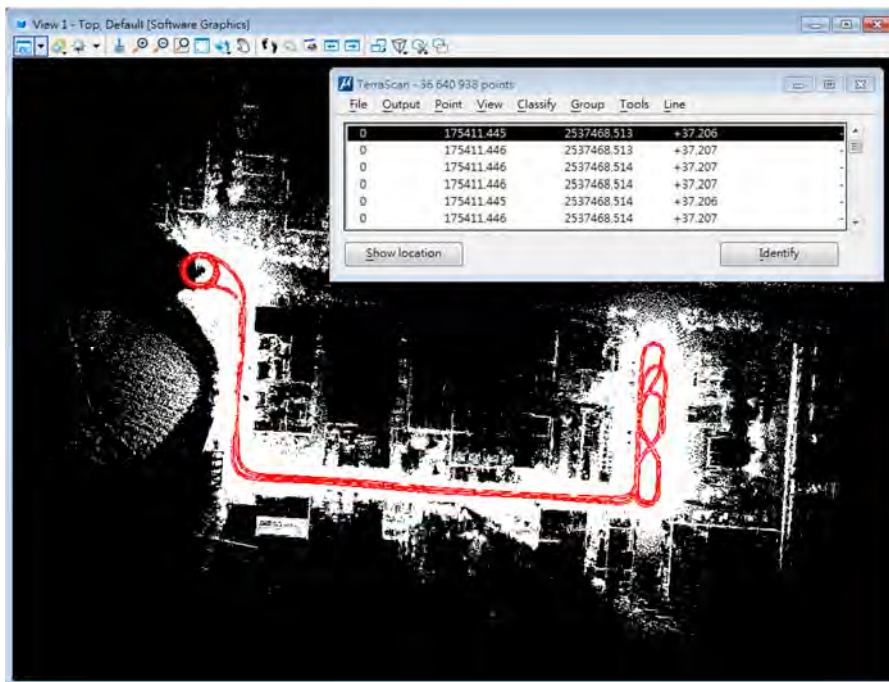


圖 3-7 載入點雲資料

- 框選待率定區域所需之點雲資料範圍，移除不必要之點雲如停止、轉彎等。

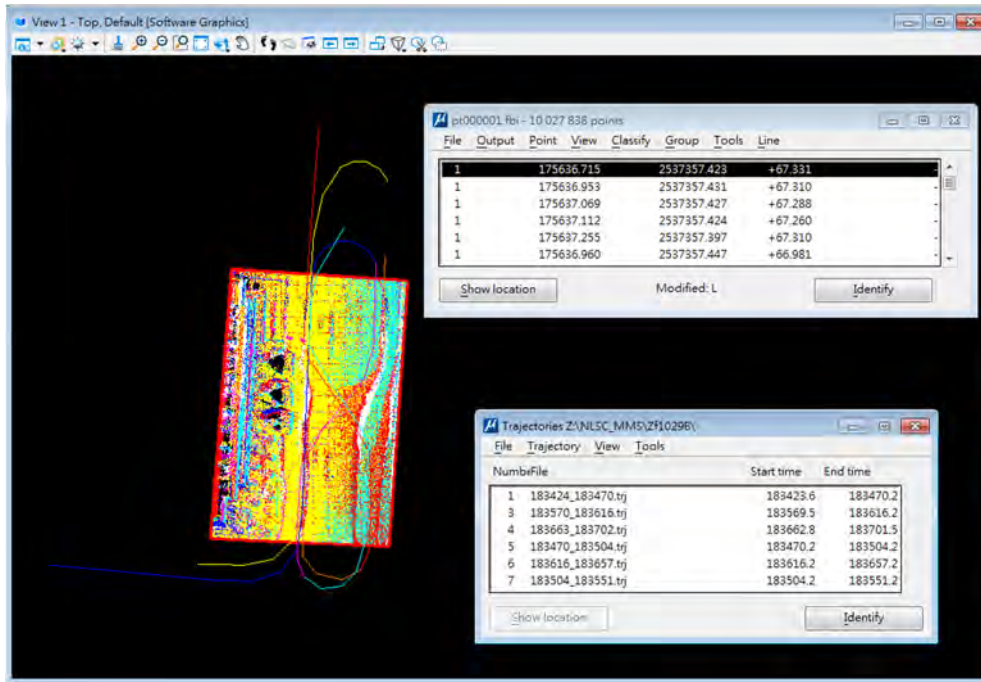


圖 3-8 框選待率定區域點雲資料

4. 點雲分類，包含地面、牆面、樹木、雜訊等。

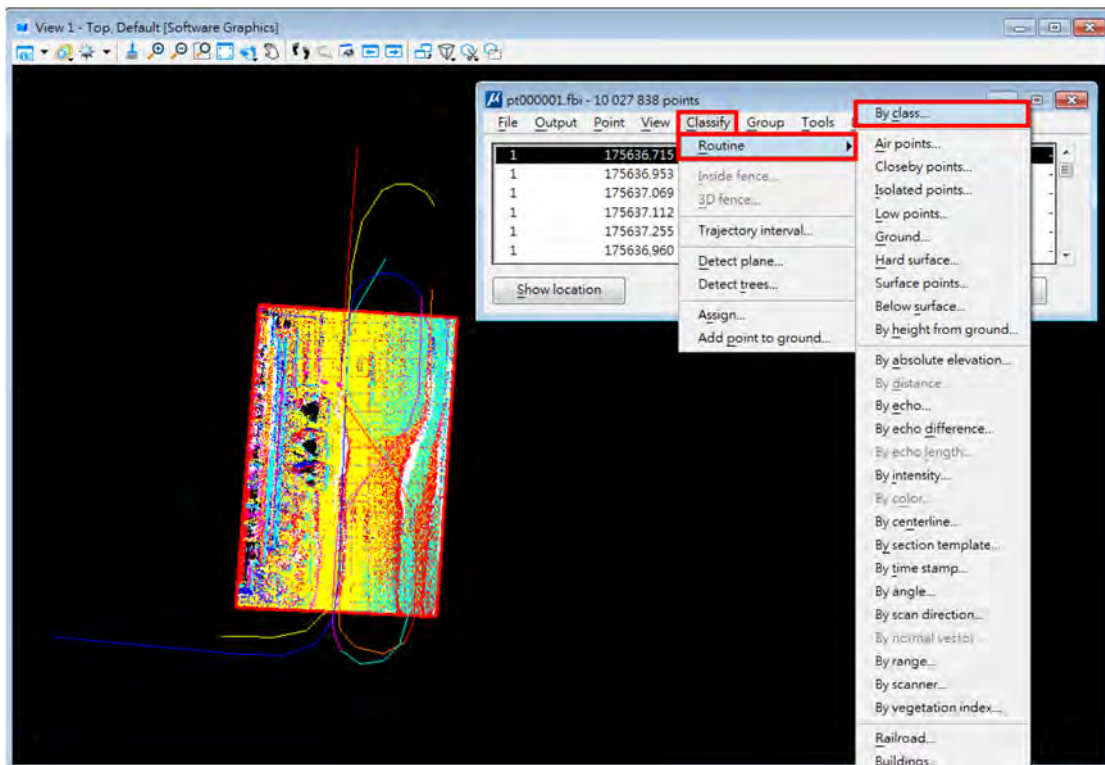


圖 3-9 點雲分類

5. 依設定點雲分類類別，如地面類別為 1，Ground classes 設定為 1，牆面類別為 2，Wall classes 設定為 2。初始點雲未分類全設定類

別為 1，依此輸入為 1。後續依序蒐尋地面或牆面等之 Tie Lines。

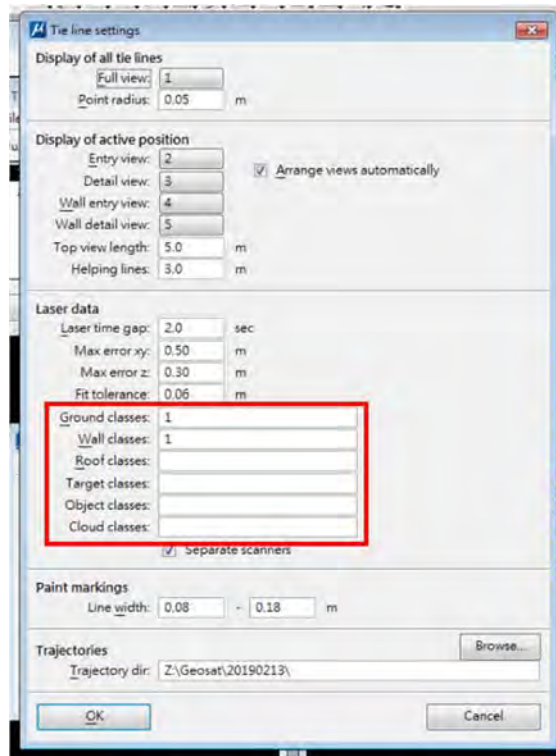


圖 3-10 設定蒐尋 Tie Lines 之點雲類別

6. 設定蒐尋 Tie Lines 之參數及門檻值。

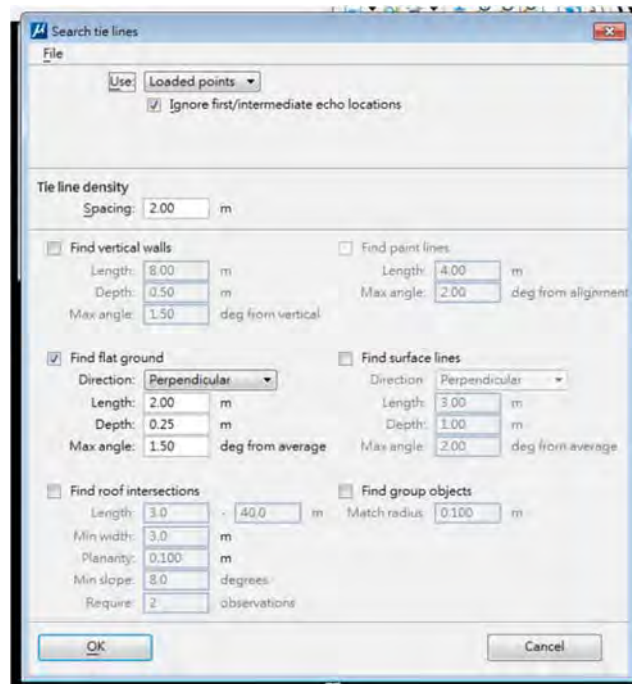


圖 3-11 設定蒐尋 Tie Lines 之參數及門檻值

7. 執行 Find Tie Line Match 功能，解算軸角/固定臂率定成果。

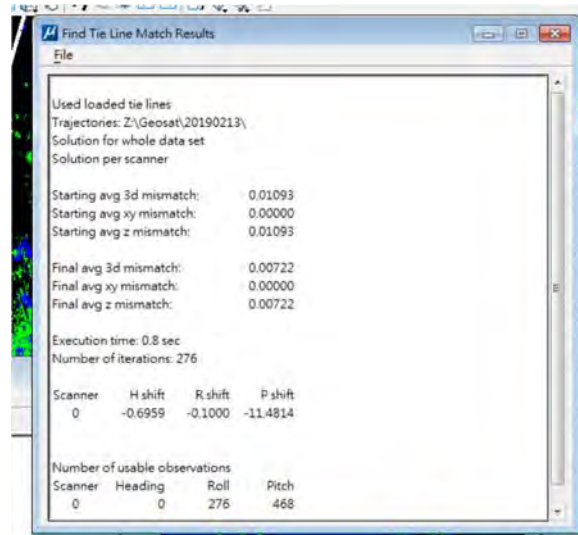


圖 3-12 軸角/固定臂率定成果

8. 執行 Apply Correction，輸入求得之軸角/固定臂率定成果，即可代入率定值進行點雲改正。

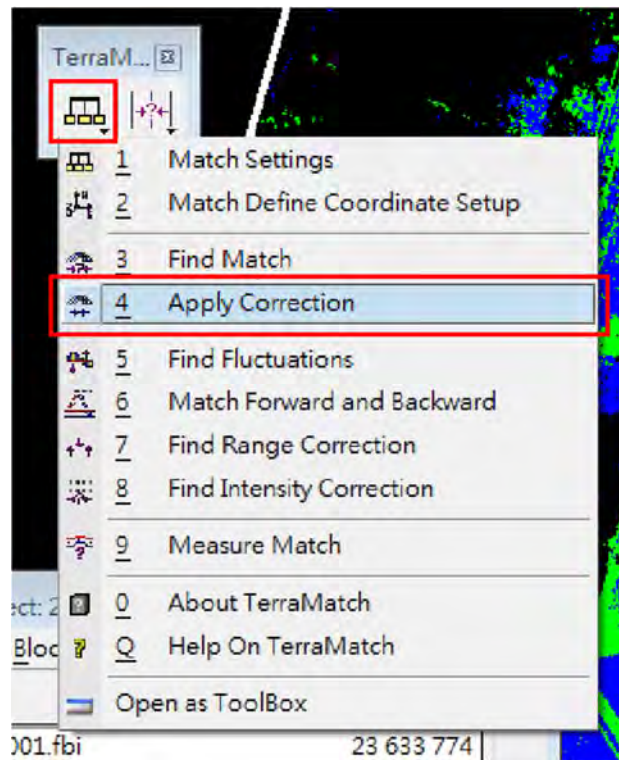


圖 3-13 軸角/固定臂率定成果帶入點雲進行改正

3.1.2 影像式相機內方位參數率定程序

一、外業資料蒐集

相機內方位參數率定作業流程圖如圖 3-14 所示，詳細說明如下：

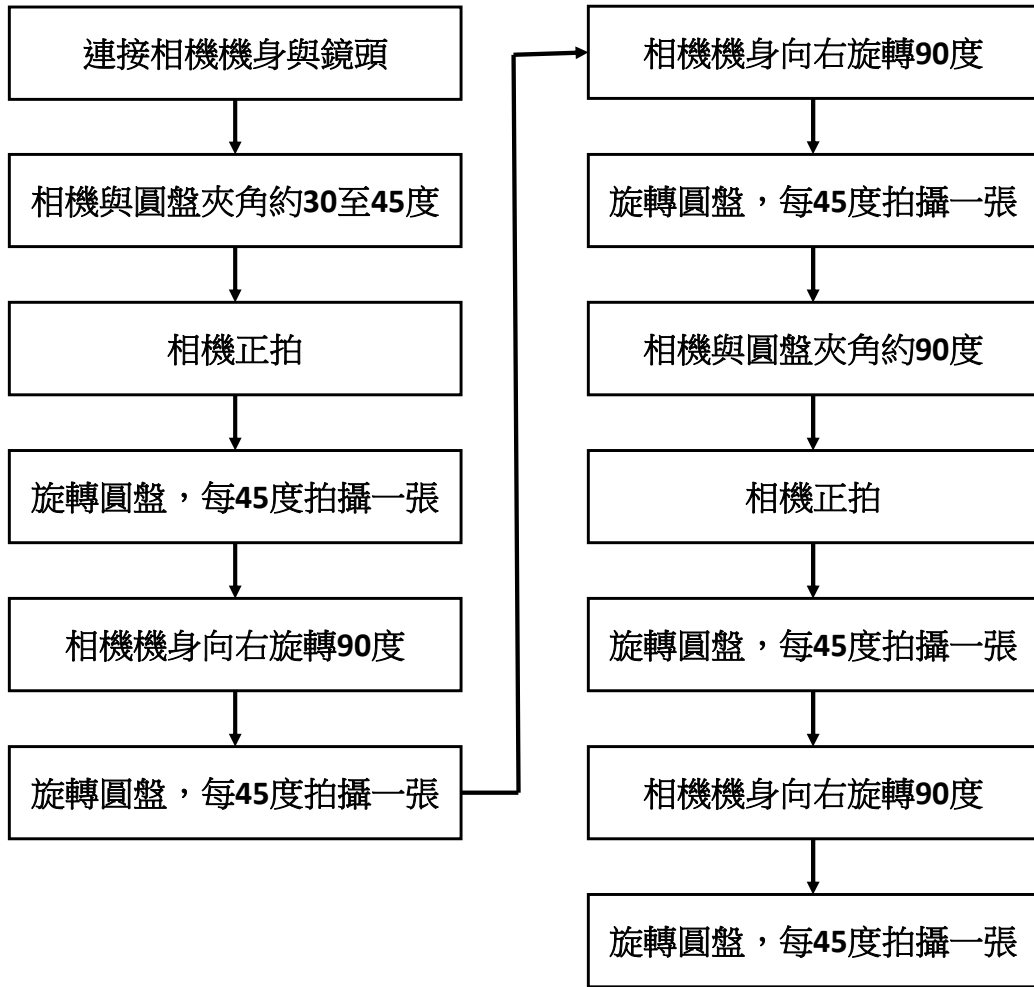


圖 3-14 相機內方位參數資料蒐集作業流程圖

1. 攜帶欲率定之相機至相機率定場，並固定鏡頭與機身間連接。
2. 透過旋轉率定圓盤及旋轉相機製造環繞交會式拍攝的效果，如圖 3-15 為示意圖。相機拍攝位置不動，僅旋轉圓盤，每旋轉 45 度拍攝，即圓盤於 0、45、90、135、180、225、270、315 度時拍攝，故每 1 組拍攝共 8 張照片。

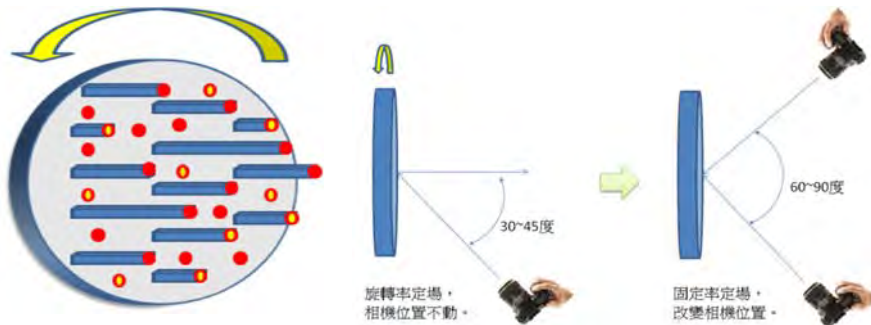


圖 3-15 相機率定拍攝程序示意圖

3. 相機拍攝位置與方式，首先相機光軸與圓盤夾角約為 30 度至 45 度(圖 3-16)，分別以相機正拍(圖 3-17(a))、機身向右旋轉 90 度(圖 3-17 (b))及機身向左旋轉 90 度(圖 3-17 (c))3 種角度拍攝，並依前述步驟旋轉圓盤各拍攝 8 張，共 24 張照片。

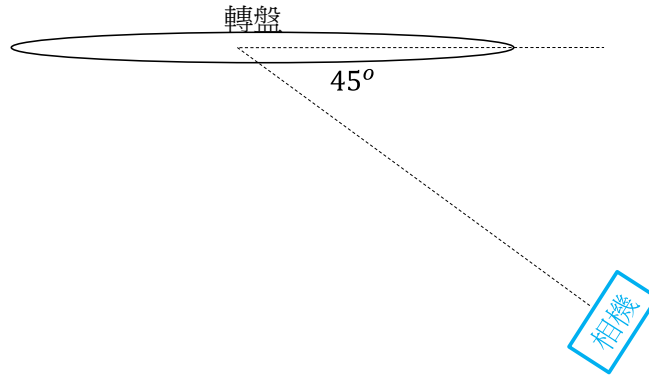


圖 3-16 相機率定拍攝方式(夾角 45 度)俯視圖

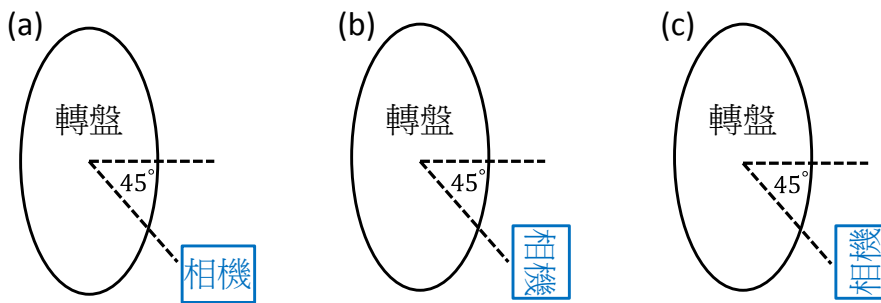


圖 3-17 相機率定拍攝方式(夾角 45 度)側視圖

4. 以相機光軸與圓盤夾角為 90 度拍攝(圖 3-18)，分別以相機正拍(圖 3-19(a))及機身向右旋轉 90 度(圖 3-19(b))配合旋轉圓盤各拍攝 8 張，共 16 張照片。

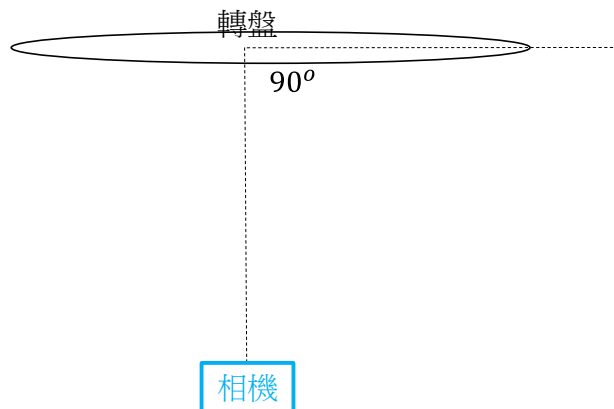


圖 3-18 相機率定拍攝方式(夾角 90 度)俯視圖

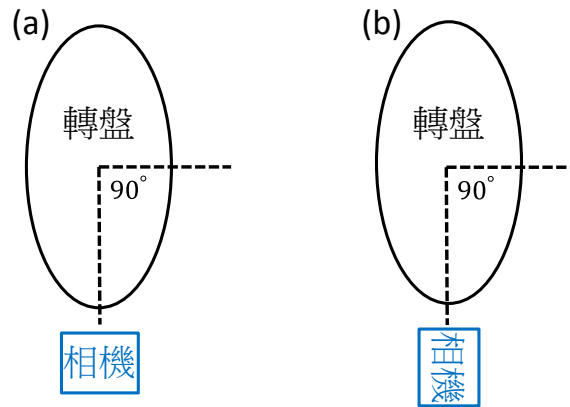


圖 3-19 相機率定拍攝方式(夾角 90 度)側視圖

5. 拍攝作業時，視窗畫面須佈滿率定標且清晰可辨別，如圖 3-20。



圖 3-20 相機率定拍攝範例

二、內業解算流程

內業解算採用軟體 Austrlis，計算相機內方位參數及畸變差，流程圖如圖 3-21 所示，以下為詳細說明：

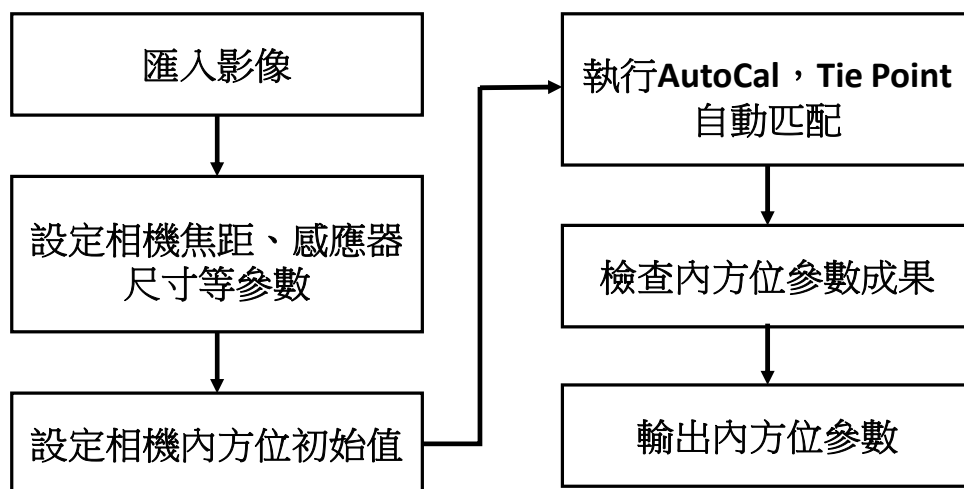


圖 3-21 相機內方位參數資料解算作業流程圖

1. 匯入欲率定相機拍攝之影像檔案。

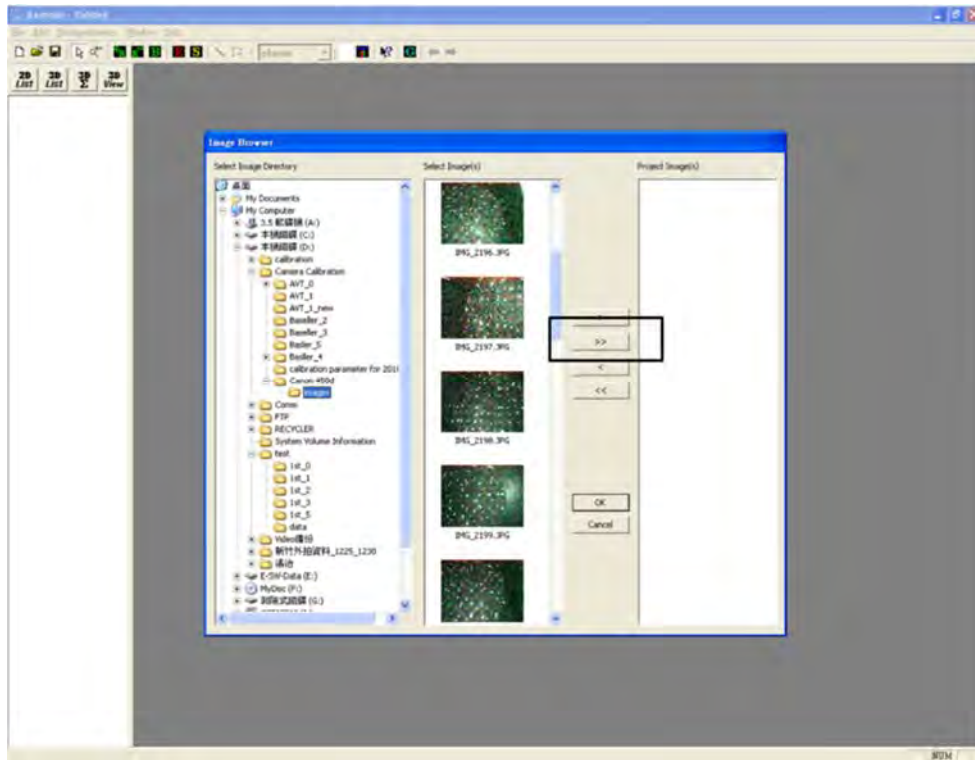


圖 3-22 匯入相機影像檔案

2. 設定相機焦距、感應器尺寸等參數。

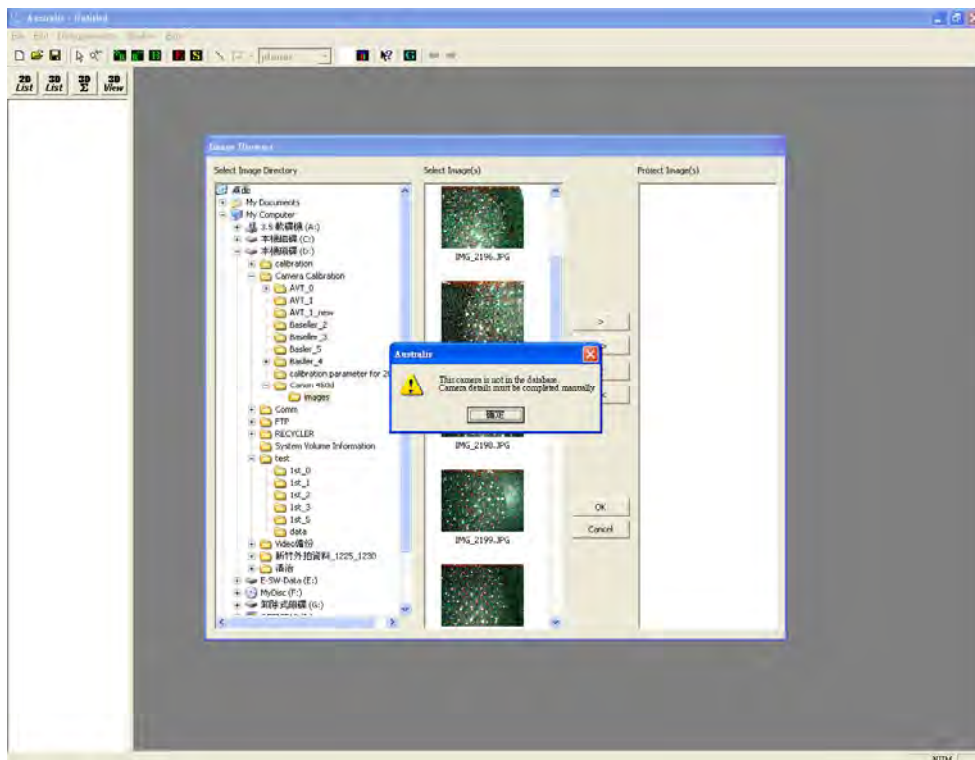


圖 3-23 設定相機參數

3. 設定相機內方位參數。

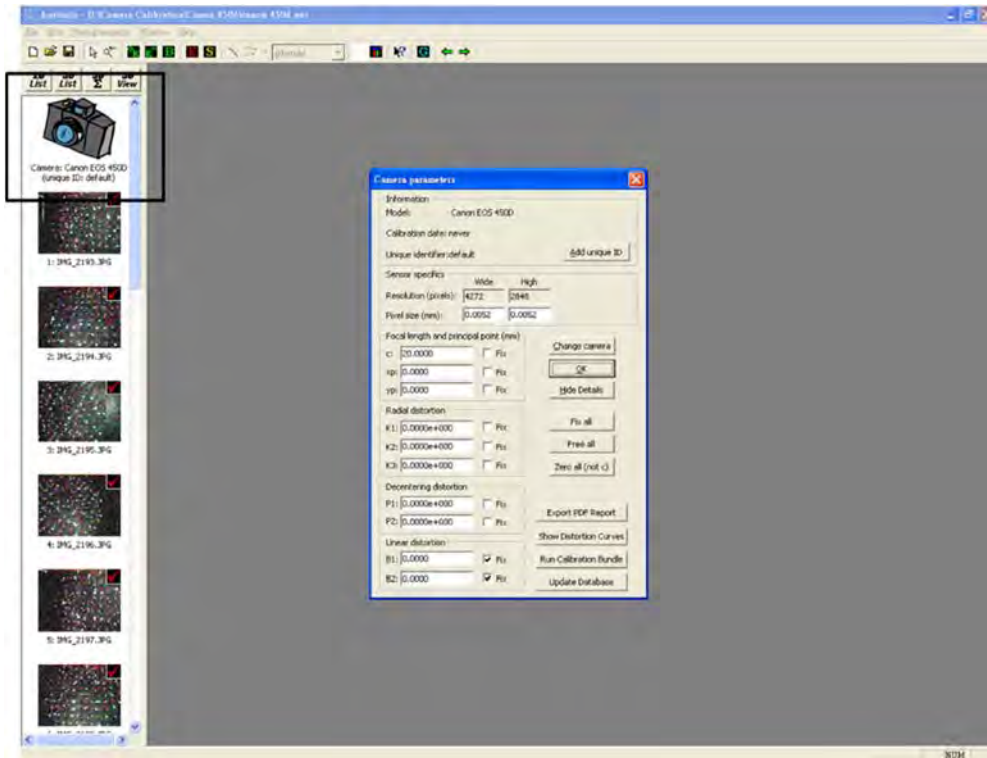


圖 3-24 設定相機內方位參數

4. 執行 AutoCal 進行 Tie point 自動匹配。

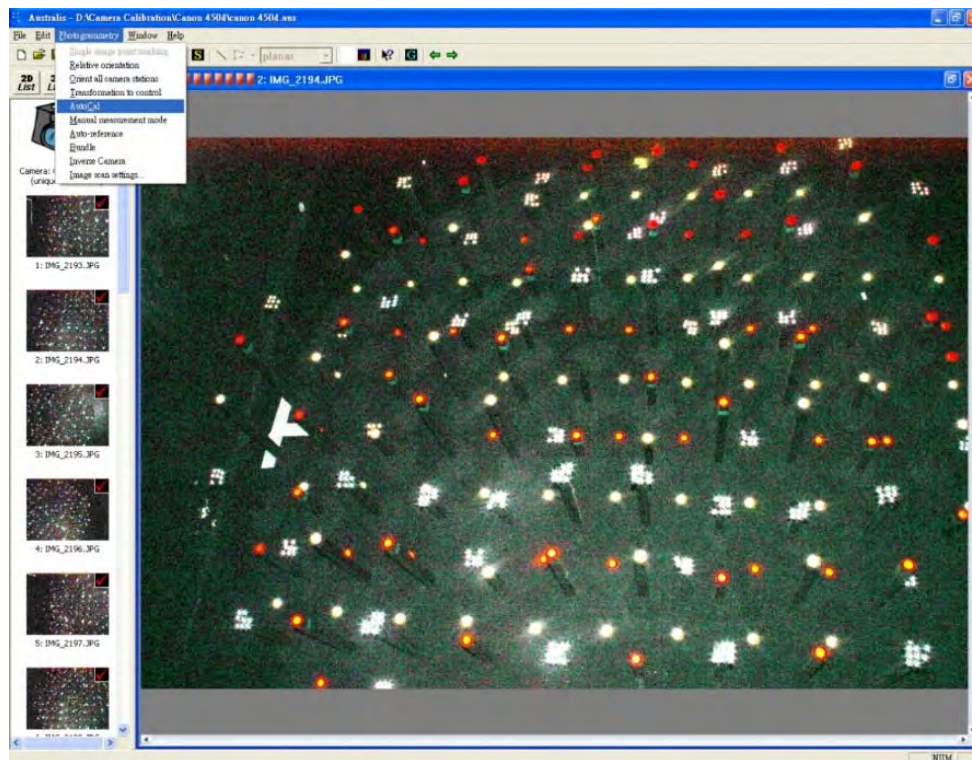


圖 3-25 AutoCal 進行 Tie point 自動匹配

5. 檢查內方位參數解算結果。

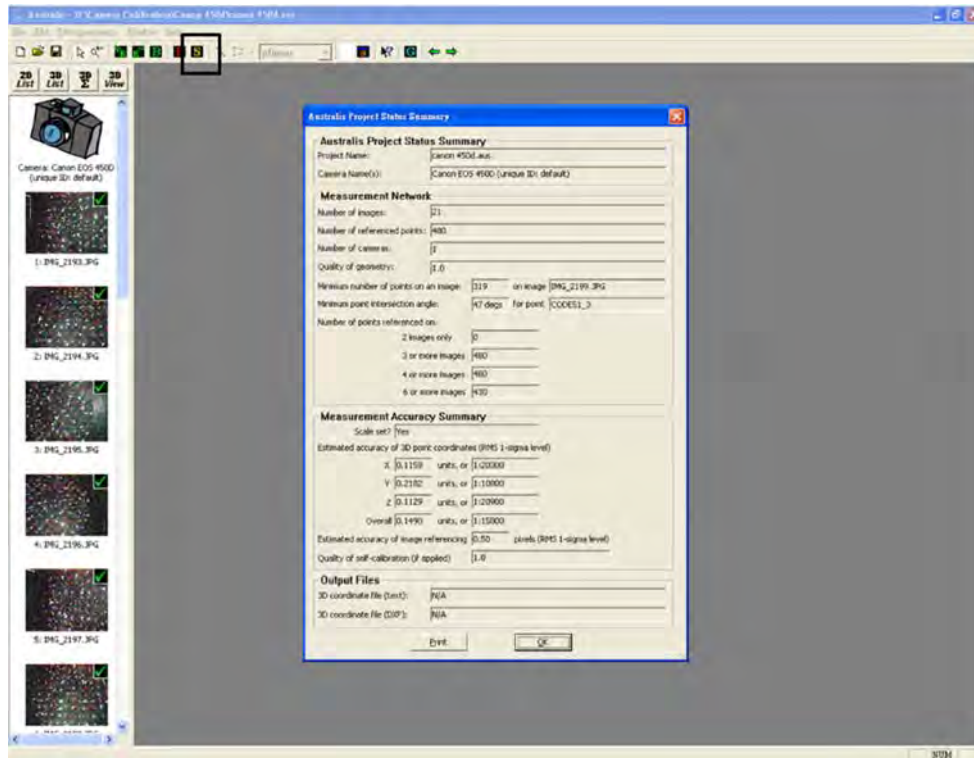


圖 3-26 檢查內方位參數解算結果

6. 輸出內方位參數解算結果。

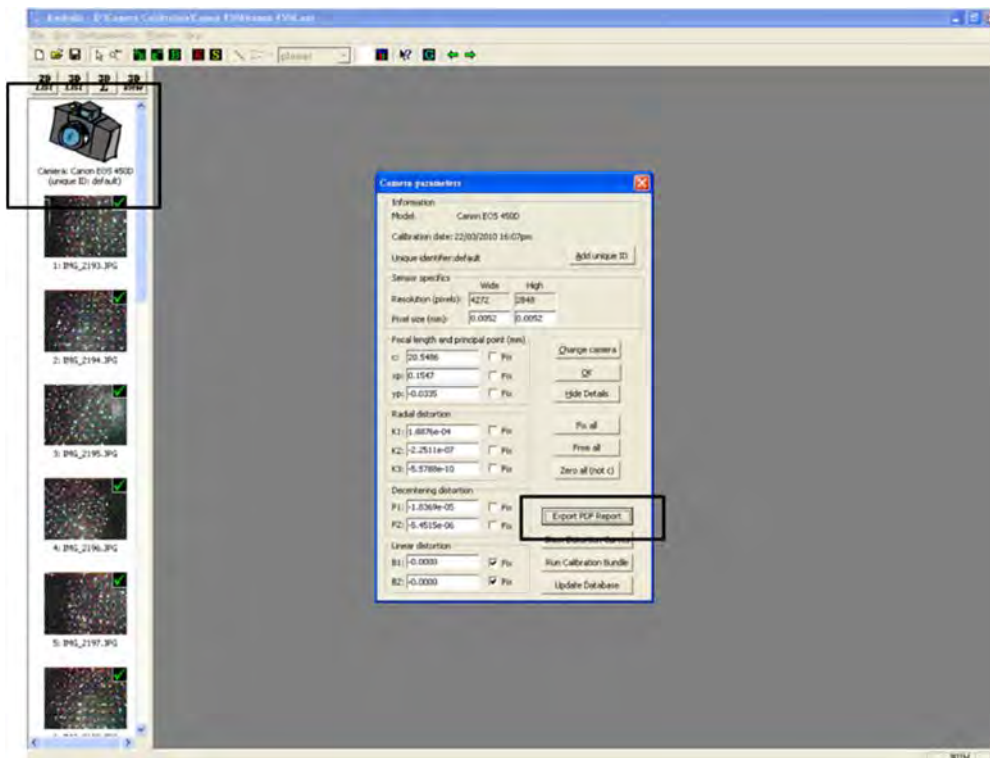


圖 3-27 檢查內方位參數解算結果

3.1.3 影像式移動測繪系統率定程序

一、外業資料蒐集

本案影像式 MMS 軸角及固定臂率定採兩階段率定法(El-Sheimy, 1996; Li, 2010)，於率定場拍攝影像，經空中三角計算得影像外方位，與定位定向資料比較得軸角及固定臂率定成果，率定作業流程圖如圖 3-28 所示，詳細說明如下：

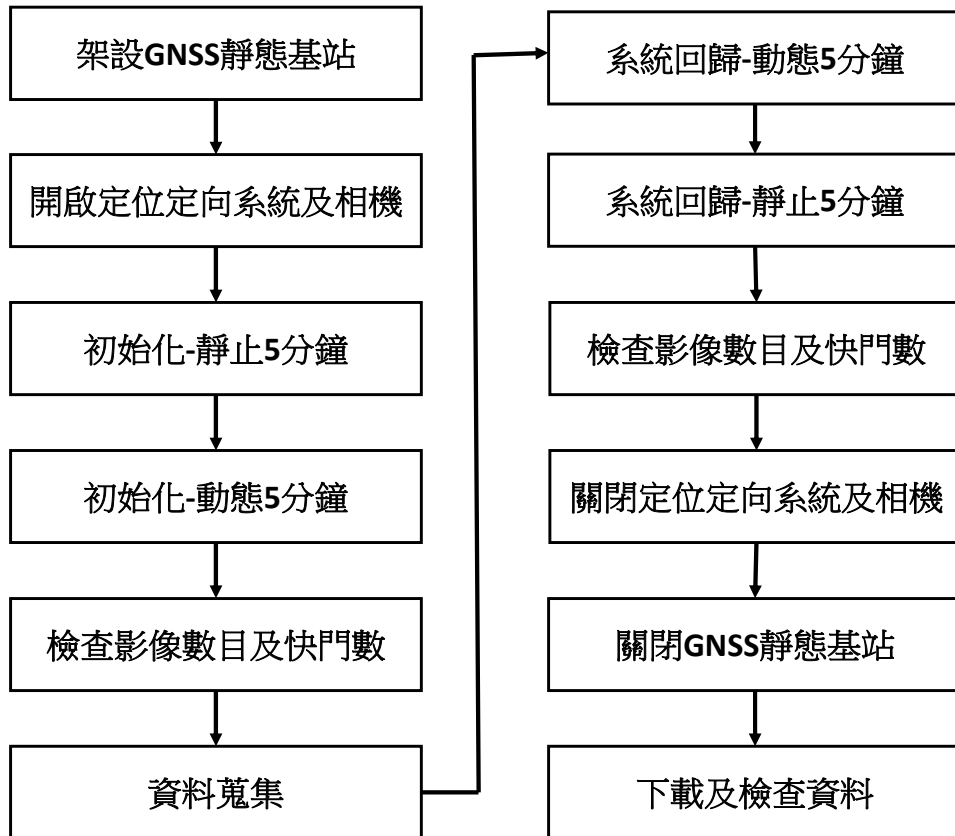


圖 3-28 影像式 MMS 外業資料蒐集作業流程圖

1. 將欲進行軸角及固定臂率定之車載移動測繪系統駛至率定場。
2. 率定場內存在已知地面控制點，可自行架設 GNSS 靜態基站於已知點，開機儲存資料，或後續向國土測繪中心申請實體或虛擬主站觀測資料做為基站資料。
3. 開啟車載移動測繪系統之定位定向系統，進行定位定向系統初始化作業。作業項目為靜止 5 分鐘，提升 GNSS 定位精度，動態繞 8 字型(若場地受限時可改為繞圓圈方式)5 分鐘，提升 IMU 精度。初始化作業時同步開啟相機，相機於動態初始化作業時可同步拍照，自動調整相機光圈及快門。

4. 完成初始化作業，檢查每台工業相機影像數目及觸發拍照快門數量，確定系統正常運作後，始可進入率定場作業。
5. 掃描路線軌跡規劃如圖 3-29 所示，首先為靠右行駛路線(1)至(4)，再重新駛入，靠左行駛路線(5)至(8)。

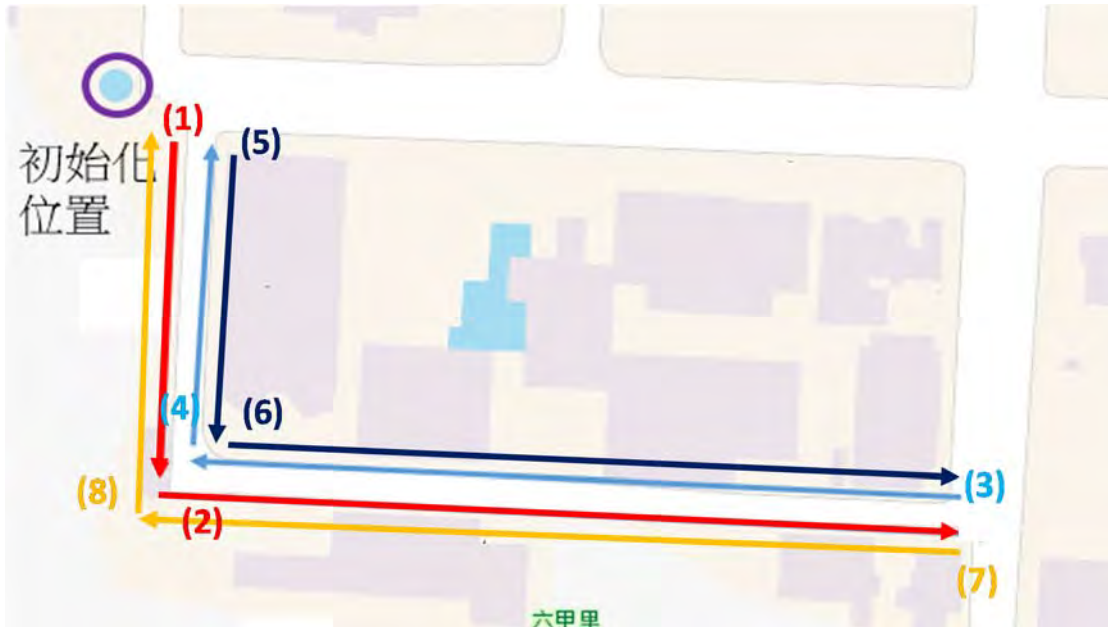


圖 3-29 影像式 MMS 率定掃描路線軌跡規劃

6. 完成拍攝作業後進行系統回歸，系統回歸作業項目為動態繞 8 字型(若場地受限時可改為繞圓圈方式)5 分鐘，再靜止 5 分鐘，結束後停止紀錄相機及定位定向系統資料。
7. 檢查並紀錄每台工業相機影像數目及觸發拍照快門數量，正確無誤後下載資料，並關閉系統全部電力設備。
8. 關閉 GNSS 靜態基站，並下載基站資料；若選擇國土測繪中心主站觀測資料則回到室內後再上網申請即可。

二、內業解算流程

內業解算定位定向後處理軟體解算各攝影站之定位定向資料；Ladybug 全景影像使用 LadybugCapPro，將全景影像輸出為 6 張單一影像；空三解算軟體 Agisoft Metashape，以光束法空三平差計算各影像外方位；並以自行開發程式，計算相機與定位定向系統之相對關係-軸角及固定臂，流程圖如圖 3-30 所示，以下為詳細說明：

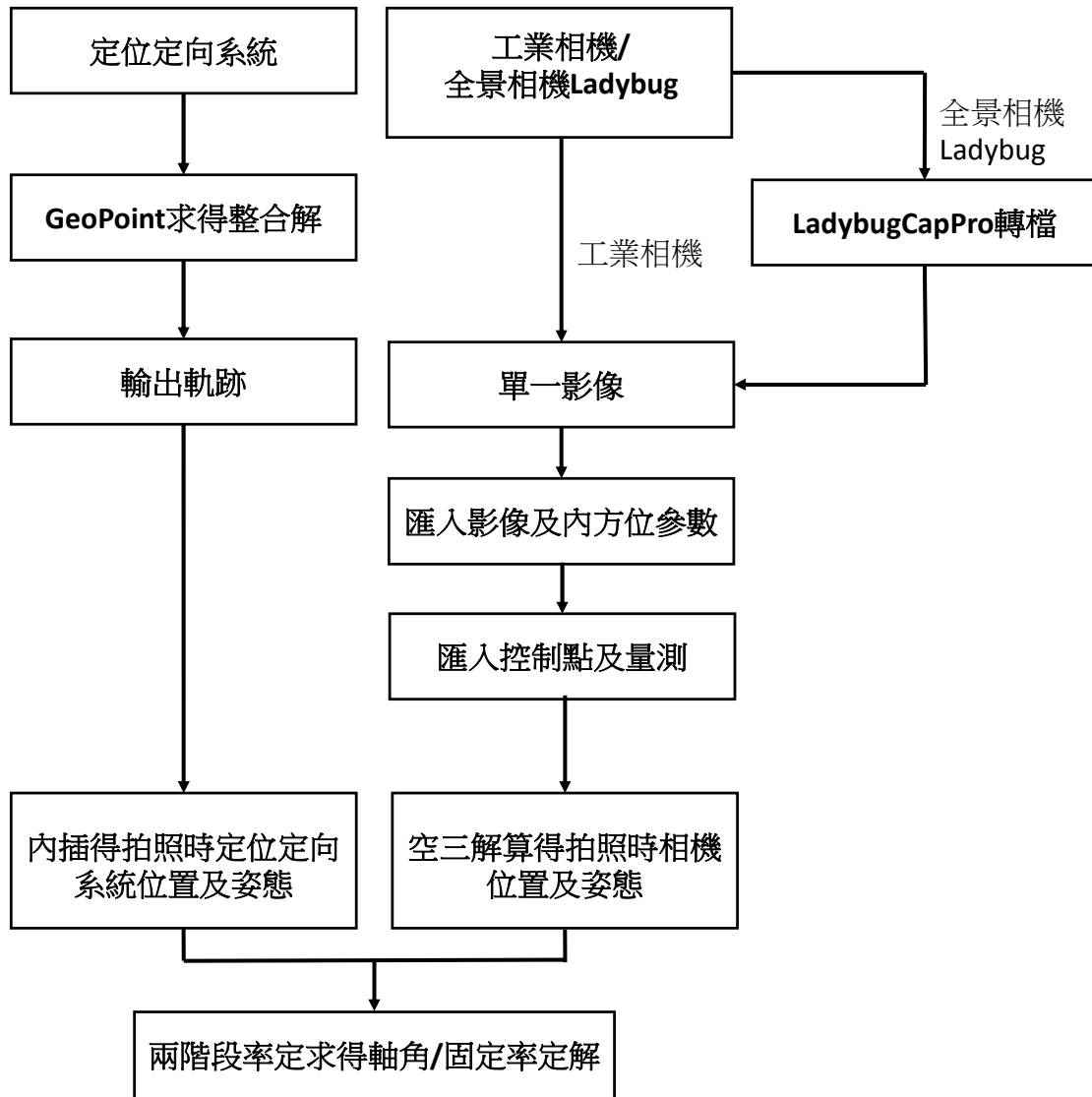


圖 3-30 影像式 MMS 內業資料解算作業流程圖

1. 定位定向後處理軟體進行定位定向資料解算，透過定位定向後處理軟體搭配基站資料解算各攝影站之定位定向資料，包含 GNSS 解算及鬆耦合 GNSS/INS 整合解算。



圖 3-31 (左)GNSS 解算；(右)鬆耦合 GNSS/INS 整合解算定位定向資料

2. 輸出定位定向資料結果。
3. 若為 Ladybug 全景影像使用 LadybugCapPro，將全景影像輸出為 6 張單一影像，若為工業相機即可忽略該步驟。

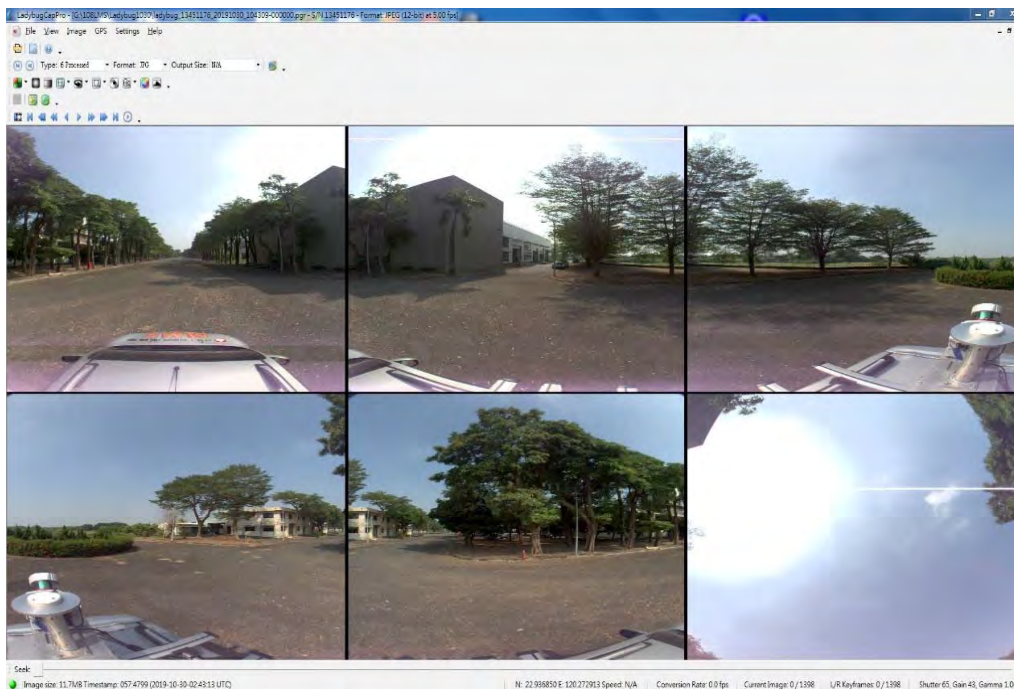


圖 3-32 LadybugCapPro 將全景影像輸出為 6 張單一影像

4. 將影像匯入空三解算軟體 Agisoft Metashape，並依 6 台相機分為 6 個群組，如圖 3-33 所示。

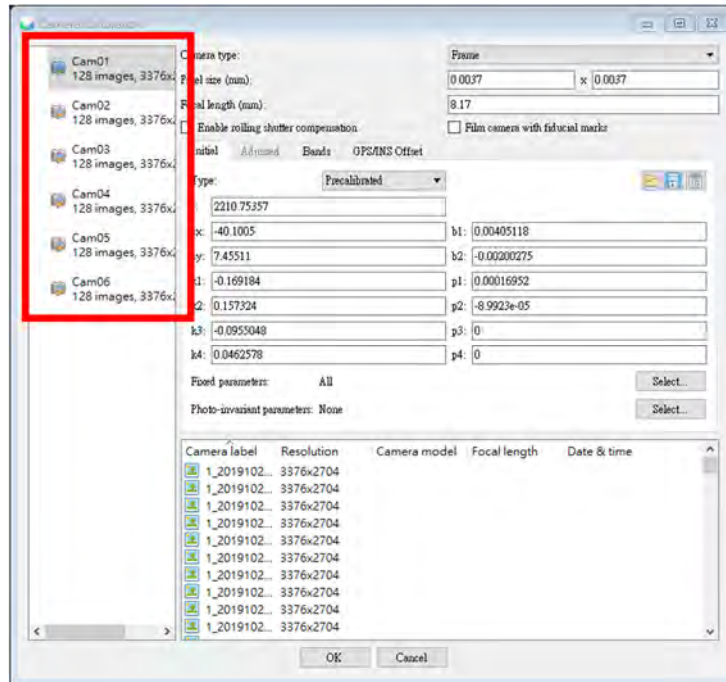


圖 3-33 匯入影像並依各相機分群組

- 依據第 3.1.2 節求得之 6 台相機各自影像內方位參數，匯入至解算軟體，包含焦距 f 、像主點(c_x 及 c_y)、輻射畸變差(k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4)、離心畸變差(p_1 、 p_2 、 p_3 、 p_4)、仿射畸變差(b_1 、 b_2)。Agisoft Metashape 支援 Australis 格式，可直接匯入 Australis 輸出之內方位檔案，自動匯入其對應之欄位。

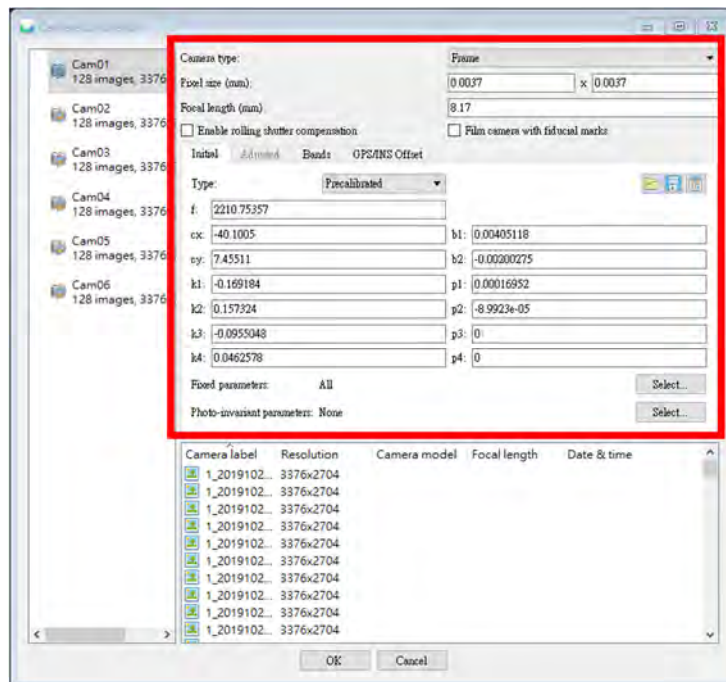


圖 3-34 匯入影像及內方位參數

- 匯入控制點進行控制點量測：灰色為匯入控制點原始預估之位置；綠色為該影像上，人工加點量測控制點位置；藍色為當人工於其他張影像量測控制點後，於該影像上預估匹配之位置。

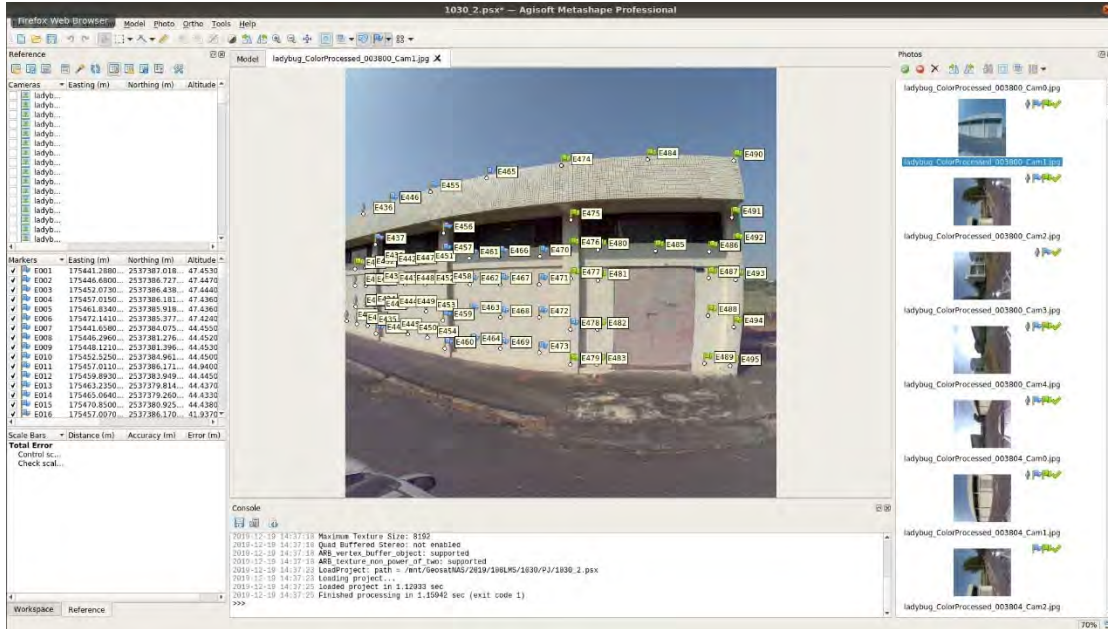


圖 3-35 匯入控制點進行量測

- 使用 Align photo 功能將影像求解每張影像外方位參數。

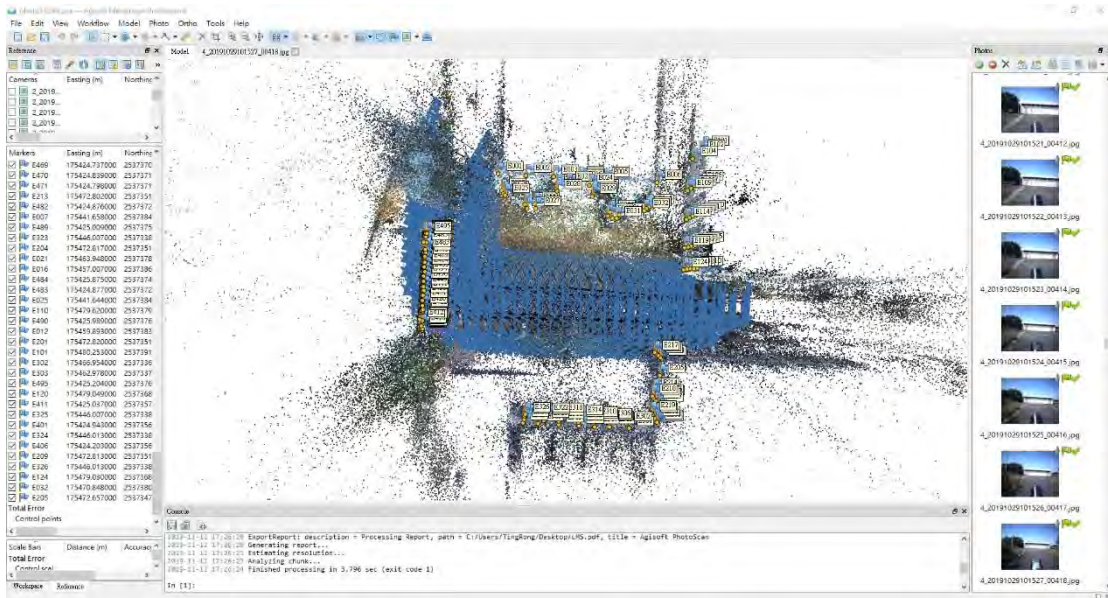


圖 3-36 解算每張影像外方位參數

- 藉由控制點約制計算每張影像外方位參數，並由控制點精度推估外方位參數計算品質。

<input checked="" type="checkbox"/>	E213	175472.802000	2537351.316000	39.314000	0.005000	0.006546	124	0.441
<input checked="" type="checkbox"/>	E482	175424.876000	2537372.760000	35.412000	0.005000	0.008148	68	0.375
<input checked="" type="checkbox"/>	E007	175441.658000	2537384.075000	44.455000	0.005000	0.009013	90	0.875
<input checked="" type="checkbox"/>	E489	175425.009000	2537375.471000	34.568000	0.005000	0.009187	161	1.565
<input checked="" type="checkbox"/>	E323	175446.007000	2537338.420000	46.395000	0.005000	0.009211	85	0.951
<input checked="" type="checkbox"/>	E204	175472.817000	2537351.306000	47.829000	0.005000	0.009681	95	0.637
<input checked="" type="checkbox"/>	E021	175463.948000	2537378.925000	39.443000	0.005000	0.010026	115	0.812
<input checked="" type="checkbox"/>	E016	175457.007000	2537386.170000	41.937000	0.005000	0.010204	93	0.780
<input checked="" type="checkbox"/>	E484	175425.875000	2537374.029000	39.217000	0.005000	0.010330	72	0.563
<input checked="" type="checkbox"/>	E483	175424.877000	2537372.759000	34.519000	0.005000	0.010335	156	0.413
<input checked="" type="checkbox"/>	E025	175441.644000	2537384.081000	34.951000	0.005000	0.010411	66	0.683
<input checked="" type="checkbox"/>	E110	175479.620000	2537379.063000	53.429000	0.005000	0.010533	92	1.111
<input checked="" type="checkbox"/>	E490	175425.989000	2537376.042000	39.221000	0.005000	0.011682	60	0.626
<input checked="" type="checkbox"/>	E012	175459.893000	2537383.949000	44.445000	0.005000	0.013000	81	0.905
<input checked="" type="checkbox"/>	E201	175472.820000	2537351.304000	49.689000	0.005000	0.014245	42	0.745
<input checked="" type="checkbox"/>	E101	175480.253000	2537391.048000	53.433000	0.005000	0.015329	79	0.890
<input checked="" type="checkbox"/>	E302	175466.954000	2537336.622000	37.229000	0.005000	0.015549	26	0.772
<input checked="" type="checkbox"/>	E303	175462.978000	2537337.592000	46.361000	0.005000	0.015678	80	0.734
<input checked="" type="checkbox"/>	E495	175425.204000	2537376.117000	34.521000	0.005000	0.015821	72	0.628
<input checked="" type="checkbox"/>	E120	175479.049000	2537368.576000	53.427000	0.005000	0.016276	79	0.801
<input checked="" type="checkbox"/>	E411	175425.037000	2537357.990000	39.228000	0.005000	0.017054	127	0.716
<input checked="" type="checkbox"/>	E325	175446.007000	2537338.422000	38.200000	0.005000	0.017376	62	0.643
<input checked="" type="checkbox"/>	E401	175424.943000	2537356.085000	39.227000	0.005000	0.020710	59	0.740
<input checked="" type="checkbox"/>	E324	175446.013000	2537338.433000	42.408000	0.005000	0.021275	160	0.628
<input checked="" type="checkbox"/>	E406	175424.203000	2537356.140000	34.502000	0.005000	0.021780	124	0.541
<input checked="" type="checkbox"/>	E209	175472.813000	2537351.310000	43.414000	0.005000	0.022301	116	0.669
<input checked="" type="checkbox"/>	E326	175446.013000	2537338.426000	36.206000	0.005000	0.022467	92	0.580
<input checked="" type="checkbox"/>	E124	175479.030000	2537368.574000	35.431000	0.005000	0.026160	134	0.732
<input checked="" type="checkbox"/>	E032	175470.848000	2537380.910000	34.921000	0.005000	0.030661	62	0.633
<input checked="" type="checkbox"/>	E205	175472.657000	2537347.854000	47.844000	0.005000	0.040041	108	0.722
Total Error								
Control points							0.017335	0.784
Check points								

圖 3-37 控制點精度

9. 輸出外方位參數。

10. 使用自行開發兩階段率定解算軸角/固定臂程式，比對影像外方位及攝影站外方位，取得軸角及固定臂率定成果。

第二節 控制點率定標型

率定標型分為 3 種：軟體原廠標型、建物特徵點、自行設計人造標，考慮未來率定場需進行 TAF 認證，本案亦設計實體率定標。以下為說明介紹。

一、軟體原廠標型

圖 3-38 所示為各影像處理軟體提供之原廠標型圖例，標型上圖例之相對關係已確定，搭配原廠軟體使用可於軟體中自動辨識標型，自動率定內方位參數使用。應用於軸角/固定臂率定使用，仍需透過測量方式，測量標型上之中心或特定位置求得坐標，做為已知控制點使用。優點為不需重新設計率定標，可同時自動率定相機內方位參數；缺點為拍攝時物距若較遠，需印製放大之率定標，以利軟體可成功辨識。

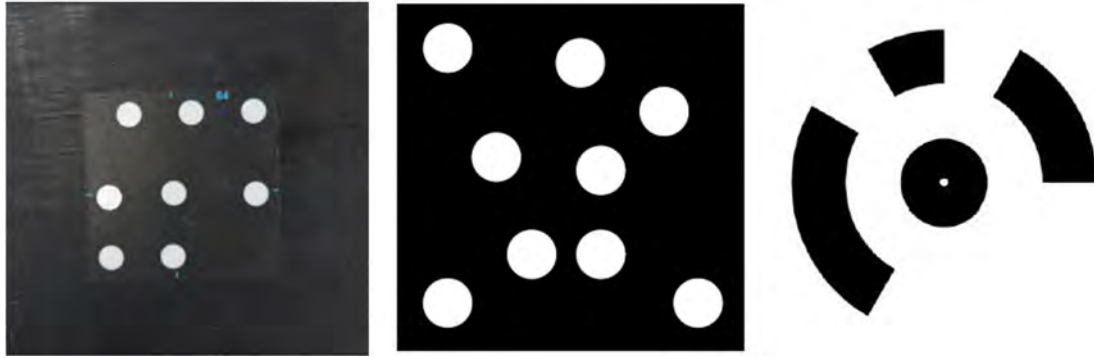


圖 3-38 (左)Australis；(中)iwitness；(右)PhotoScan 軟體原廠率定標

二、建物特徵點

第二種為利用建物之特徵點如屋角及牆面之十字交線中心等做為控制點量測位置。成功大學於該校歸仁校區西南方角落設置軸角/固定臂率定場，其四周存在建物，但透空度仍可達 50 度以上，適合 GNSS 訊號接收，率定標標型主要是以建物牆面之十字交線、特徵點當作率定控制點，如圖 3-39 至圖 3-42 所示。



圖 3-39 E0 系列牆面控制點

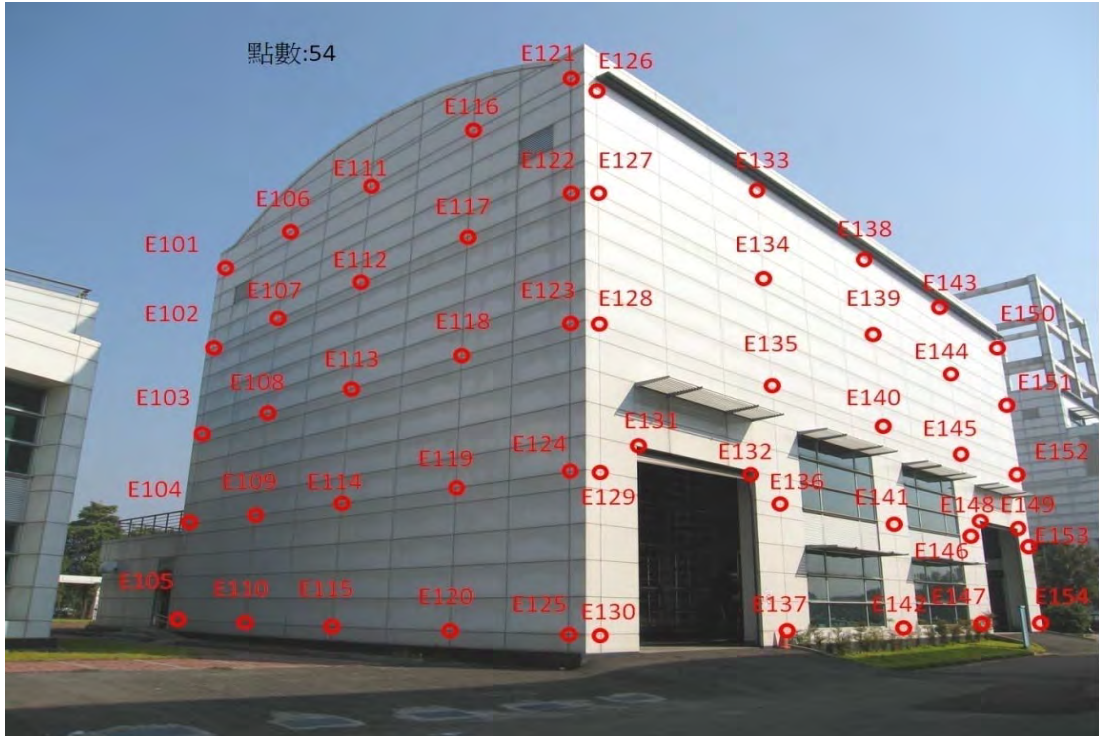


圖 3-40 E1 系列牆面控制點

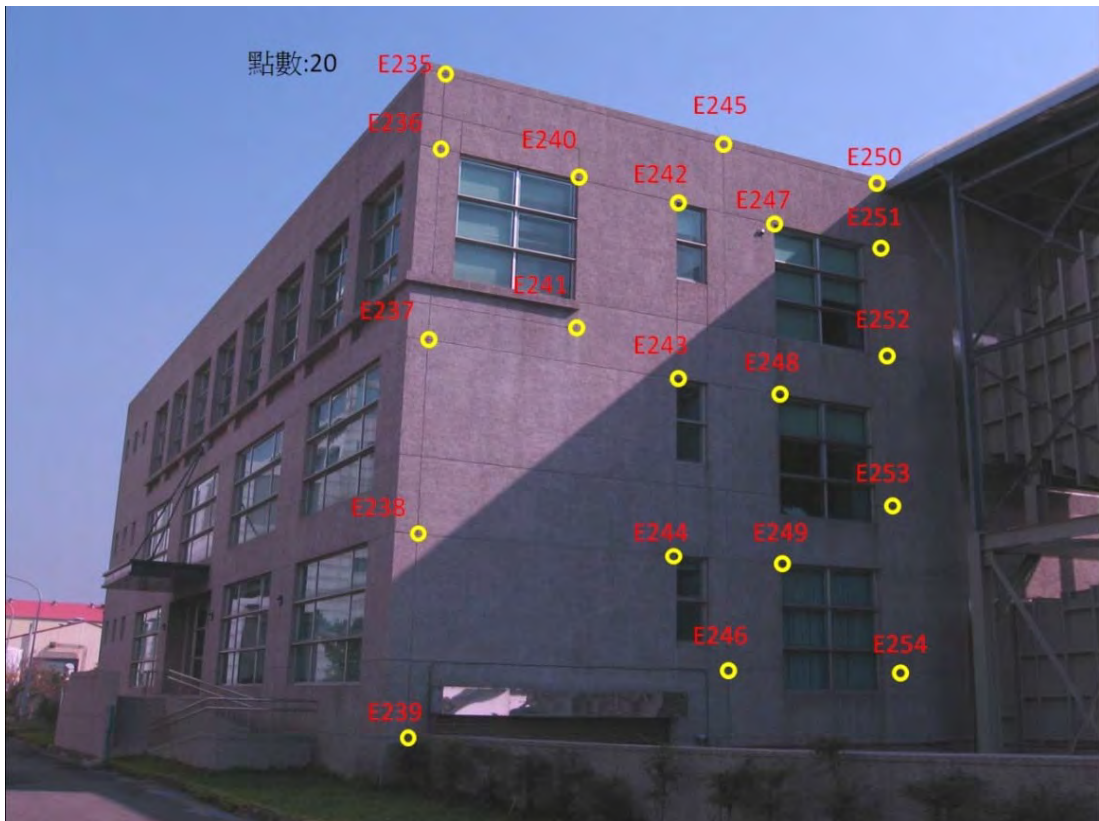


圖 3-41 E2 系列牆面控制點

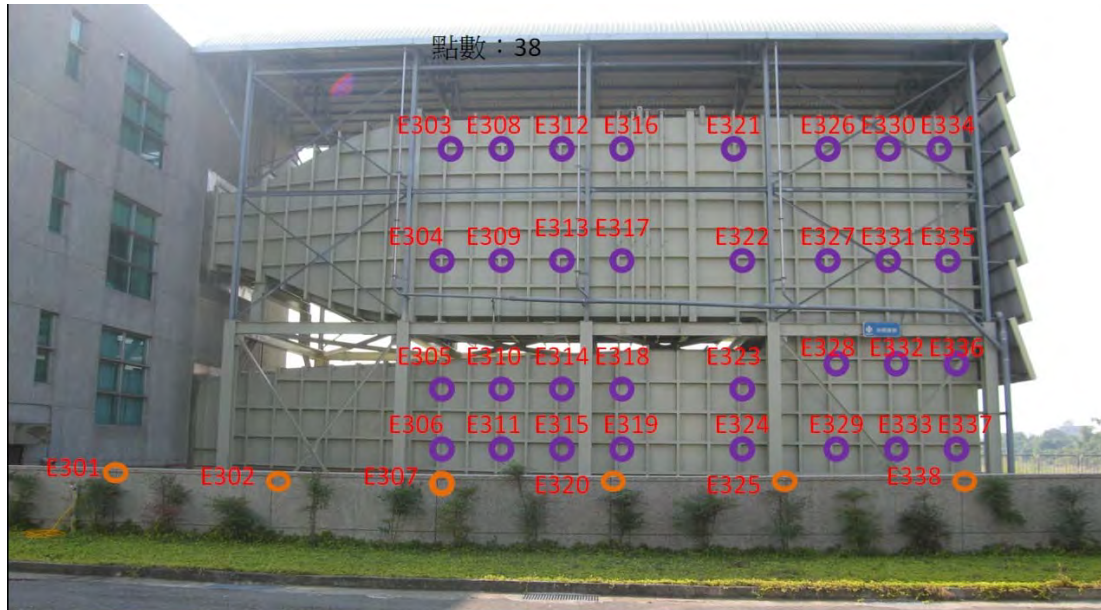


圖 3-42 E3 系列牆面控制點

三、自然標

第三種率定標標型為自然標，藉由率定標與背景之顏色或材質的差異，做為辨識量測率定標位置之參考，如道路上之車道分隔線亦可做為率定/檢核點使用，相關自然標如圖 3-43。

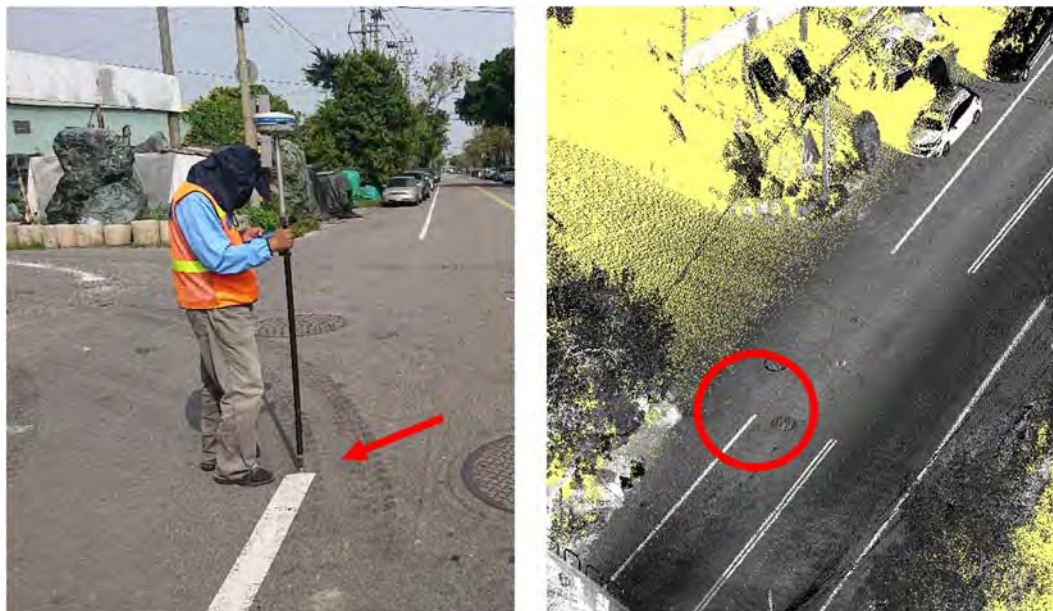


圖 3-43 車道分隔線掃描情形

四、自行設計人造標

第三種率定標標型為自行設計人造標，常見設計為圓形及方形設計，圓形圖案為藉由圓心處做為控制點坐標(如圖 3-44)，方形圖案可

分為對角線交叉點(如圖 3-45)或是平均分為四等分之中心點(如圖 3-46)做為控制點坐標量測位置。影像式拍攝時可藉由黑白顏色差異，清楚判識率定標中心位置，同時設計黑白 2 色材質差異，當光達掃描時因反射強度不同辨別中心位置，量測控制點正確位置。

第參章



圖 3-44 圓形樣式率定標

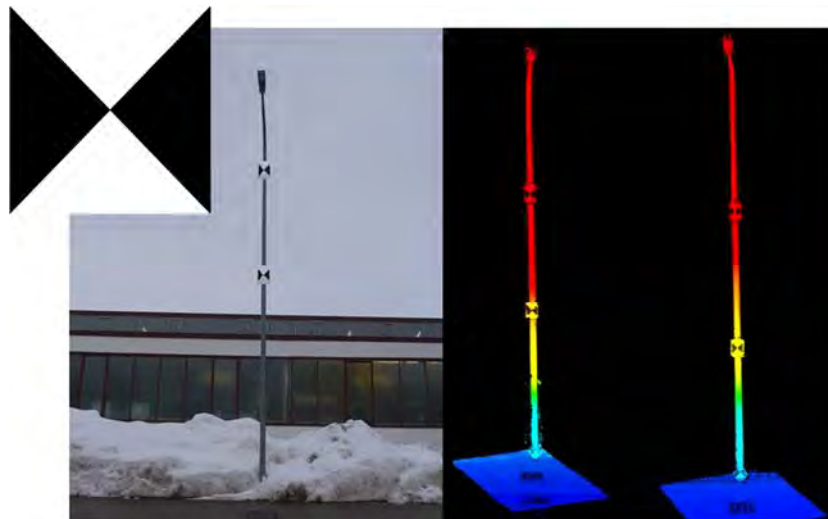


圖 3-45 Z+F 方形樣式率定標及掃描情況(摘自 <http://www.zf-laser.com/>)

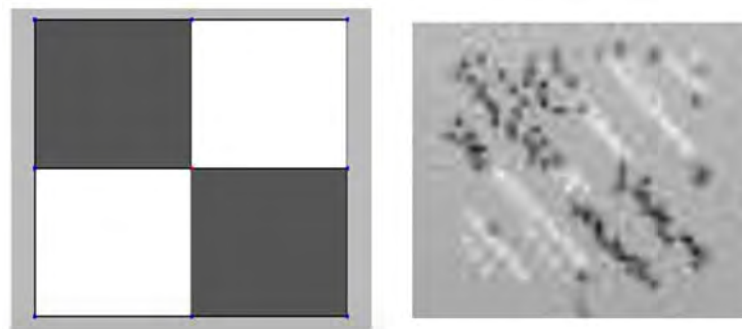


圖 3-46 OPTECH 方形樣式率定標及掃描情況(摘自 <http://www.teledyneoptech.com/>)

另依照不同的需求可設計不同的率定標樣式，圖 3-47 所示為成功大學自行設計之人造標，透過相關辨識演算法技術，可解碼標籤編號，進一步得相關資訊。圖 3-48 所示為自訂率定標形狀，藉由率定標與背景之顏色或材質的差異，做為辨識量測率定標位置之參考。圖 3-49 所示為 Z+F 建議的另一種標型形式，透過自製的形狀做為特徵點使用，如圖中所示，其藉由兩塊紙板形成的交點，做為量測特徵點點位。

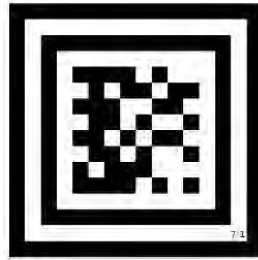


圖 3-47 成功大學自行設計率定標樣式(摘自江凱偉, 2017)

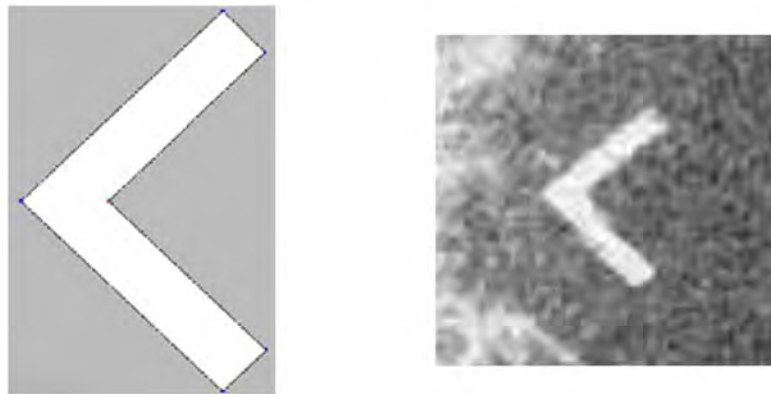


圖 3-48 自行設計率定標樣式(摘自 <http://www.teledyneoptech.com/>)

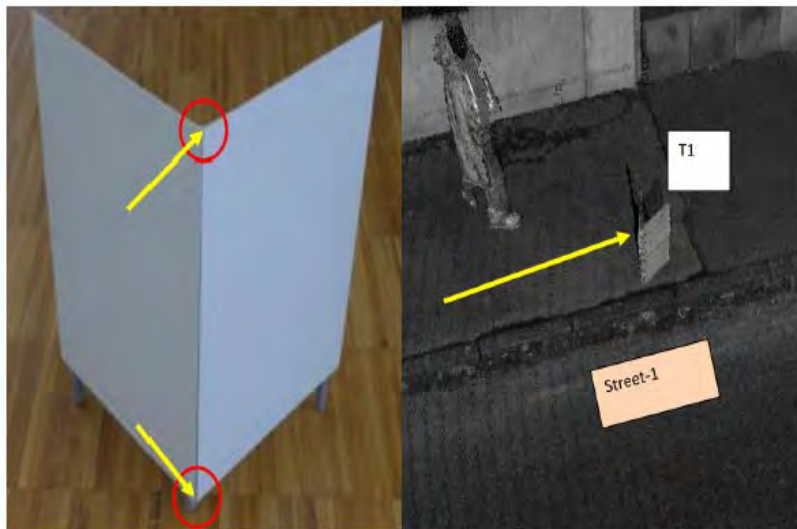


圖 3-49 Z+F 自行設計率定標樣式(摘自 <http://www.zf-laser.com/>)

參考上述 3 種率定標標型，本案規劃設計率定標標型如圖 3-50 所示，該率定標黏貼於牆面，外形樣式為方形，底色原為白色，平均分為四等分以黑白顏色相間原則，每塊白色及黑色部分尺寸為 30 x 30 公分，全長為 60 x 60 公分。另規劃設計黏貼於地面，外形樣式亦為方形，白色尺寸為 15 x 15 公分，黏貼於地面，藉由與地面材質差異，製造出類似方形，平均分為四等分之概念，如圖 3-51 所示。



圖 3-50 本案規劃設計牆面率定標樣式



圖 3-51 本案規劃設計地面率定標樣式

第三節 率定報告格式

本案光達式率定作業內業解算軟體為 TerraMatch，計算光達與定位定向系統之相對關係；影像式率定解算採用兩階段率定法，需自行開發程式，計算相機與定位定向系統之相對關係。圖 3-52 至圖 3-54 所示規劃光達式軸角/固定臂率定成果報告格式(草案)。

率定報告

率定項目：光達移動測繪系統

報告日期：108 年 11 月 10 日

報告編號：N108111001

儀器名稱：光達移動測繪系統

廠牌型號：Pentax S-2100

儀器序號：4298

送件單位：國土測繪中心

地址：(408)台中市南屯區黎明路二段 497 號 4 樓

上述儀器經本率定場校正，結果如內文。

本報告含封面及 2 頁內文，分離使用無效。

報告簽署人



內政部國土測繪中心率定場

臺中市南屯區黎明路 2 段 497 號 4 樓

圖 3-52 光達式軸角/固定臂率定成果報告格式(草案)第 1 頁

率定報告使用說明

- 1.內政部國土測繪中心率定場（以下簡稱本率定場）執行光達移動測繪系統率定作業(以下簡稱本率定作業)所產生的校正結果詳列於本報告內，僅對本校正件負責。
- 2.本報告內的數值是本率定場環境下執行率定所得的結果。爾後使用該設備時，儀器之準確度則依使用時之狀況而定。
- 3.未得到本單位同意，本報告不得節錄或部分複製，但全部複製除外。
- 4.為確保率定之準確度，請依送件單位訂定之率定週期，按時進行率定。

圖 3-53 光達式軸角/固定臂率定成果報告格式(草案)第 2 頁

率定項目：光達移動測繪系統
廠牌：Pentax
型號：S-2100
序號：4298

收件日期：108 年 10 月 30 日
率定日期：108 年 10 月 29 日
作業地點：成功大學歸仁校區

率定結果與說明

一、率定結果：

1. 軸角/固定臂率定參數

編號	X(公尺)	Y(公尺)	Z(公尺)	Roll(度)	Pitch(度)	Heading(度)
1	-0.044	-0.345	0.335	0.0803	-0.1213	-1.0320

2. 軸角/固定臂率定往返精度

項目	平均值(公尺)	STD 值(公尺)	RMS 值(公尺)
平面	0.127	0.037	0.132
三維	0.147	0.026	0.149

二、率定說明：

1. 日期與地點

本率定作業係於 108 年 10 月 29 日執行外業資料蒐集。本率定場設置於成功大學歸仁校區內，率定場位置如圖。



2. 率定方法

本率定係依據本率定場「光達移動測繪系統率定作業程序」實施。

圖 3-54 光達式軸角/固定臂率定成果報告格式(草案)第 3 頁

第四節 率定場選址

率定場選址規劃，以感測器特性、場地進出、維護便利、國有土地為優先考量等條件，於中部地區規劃至少兩處率定場區域供測繪中心參考。本案於 108 年 6 月 5 日及 6 月 6 日，與國土測繪中心一同會勘中部 6 處區域，包含文山水資源回收中心、國立中興大學創新育成中心、中部科學園區管理局、港灣技術研究中心、中興新村高等研究園區(工管組)、中興新村中興會堂，表 3-1 所示為各率定場評估比較情形。

表 3-1 率定場選址比較情形

地點	文山水資源回收中心	國立中興大學創新育成中心	中部科學園區管理局	港灣技術研究中心	中興新村高等研究園區(工管組)	中興新村中興會堂
感測器	光達/影像	影像	光達/影像	光達/影像	光達/影像	光達/影像
與測繪中心之距離(公里)	3.2	6.6	9.5	21.0	32.8	33.2
管理單位	臺中市政府水利局	中興大學	中科管理局	運研所	中興新村專案辦公室	中興新村專案辦公室
率定場面積大小(公頃)	1.23	1.65	1.39	2.70	0.36	0.78
場地管理	封閉	封閉	開放	封閉	封閉	開放
場地進出 ¹	中等	中等	容易	中等	中等	容易
場地維護 ²	容易	容易	容易	容易	容易	容易
透空度 ³	佳	佳	佳	佳	佳	佳
建物面朝方向	東、南、西、北	東	東、西	東北、東南、西南、西北	東北、東南、西北	西南
光達式率定場 ⁴	適合 2	適合 1	適合 2	適合 2	適合 1	適合 1
影像式率定場 ⁵	適合	適合	適合	適合	適合	適合
地區	臺中市南屯區	臺中市南區	臺中市大雅區	臺中市梧棲區	南投縣南投市	南投縣南投市
國有土地	是	是	是	是	是	是
現場注意事項	無	執行率定作業時，需注意人員及車輛移動等情況	注意拍攝時間；率定作業時，需查詢公車時刻表，避免影響公車載客作業	執行率定作業時，需注意當日風力及風向	現場無大量特徵點時，需人工布設標龍球、膠球，增加影像匹配時更多特	光達式率定需設計規劃路線，取得交叉資訊，提升精度

徵點
備註： 1.場地進出：(1)容易：可自由進出；(2)中等：通知管理單位或申請方可進出；(3)困難：機敏單位等需經由繁瑣程序方可進出。 2.場地維護：(1)容易：於市區或郊區，人車可到達；(2)中等：於郊區或山區，車輛可抵達附近，人員需步行短時間；(3)困難：於深山區域，車輛抵達附近，人員需步行長時間。 3.透空度：接收衛星顆數(1)佳：7顆以上；(2)普通：4至7顆；(3)不佳：4顆以下。 4.光達式率定場：(1)適合1：非T字或十字路口，其為空曠場地，經由適當路線規劃可符合光達率定場地，四周存在包含大量特徵點可做為控制點；(2)適合2：為T字或十字交叉路口，四周存在包含大量特徵點可做為控制點；(3)不適合：場地條件不符合T字或十字交叉路口或空地，四周無大量特徵點。 5.影像式率定場：(1)適合：為空曠場地，四周存在大量特徵點可做為控制點；(2)不適合：非空曠地場，四周無大量特徵點布設率定標使用。

一、文山水資源回收中心

文山水資源回收中心位於臺中市南屯區如圖 3-55 所示，採用綠色生態的設計概念，為全國第一座政府自辦擁有九大指標黃金級綠建築標章的水資源回收中心，每日可處理 29,000 噸污水，可將污水下水道版圖拓展至筏子溪以西的西屯區、南屯區地區，受惠人數約達 10 萬人，預計接管 28,000 戶，改善筏子溪水質。



圖 3-55 文山水資源回收中心：(藍框)光達式規劃範圍；(紅框)影像式

文山水資源回收中心鄰近國道 1 號南屯交流道約 2.8 公里，距離測繪中心僅約 3.2 公里，為半封閉場域，另開放綠帶約 0.8 公頃，打造生物多樣性、親水性及環境教育的生態景觀池，種植光臘樹及楓香；

還另設置籃球場及網球場供民眾平時運動，多元化的休憩空間是臺中市另一處新秘境，可做為車載率定場規劃使用，圖 3-56 至圖 3-58 所示為現場拍攝情況。參考圖 3-55(藍框)及圖 3-56 所示規劃光達式率定場，該處透空度佳，GNSS 接收訊號良好，現場作業環境符合 T 字路口條件，四周包含大量特徵點及平坦面(如建物側面)，可藉由去回及不同行進方向之交會幾合蒐集往返相同區域之點雲資訊，道路上有許多地物及牆面可做為率定標布設之處。參考圖 3-55(紅框)及圖 3-57 至圖 3-58，其建物包含許多明顯的特徵，除可做為布設控制點之處，大量特徵點可增加影像匹配連結點，減少人工補點耗費之時間成本；該建物主要為坐南朝北，工業相機進行拍照時，較不受早晨及傍晚太陽光直接照射影響，造成拍攝背光及曝光過度情形發生，於日間任何時段皆適合拍攝。



圖 3-56 文山水資源回收中心現場拍攝情形 1



圖 3-57 文山水資源回收中心現場拍攝情形 2



圖 3-58 文山水資源回收中心現場拍攝情形 3

二、國立中興大學創新育成中心

國立中興大學創新育成中心位於臺中市南區如圖 3-59 所示，為善用中興大學資源，整合中部產業服務網，建構完善培育環境，以任務導向支援創新中小企業養成，共同致力提升區域產業國際競爭力，並促進校內產學合作蓬勃發展，經校務會議通過並報教育部核准後於民國 88 年 8 月正式成立「國立中興大學創新育成中心」。中心座落於中興大學台中校區內，為一獨棟三層樓辦公空間，共有近千坪的培育空間及公共設施，並整合資訊、民生化工、生物技術等相關領域之實驗設施供企業實際進駐使用。

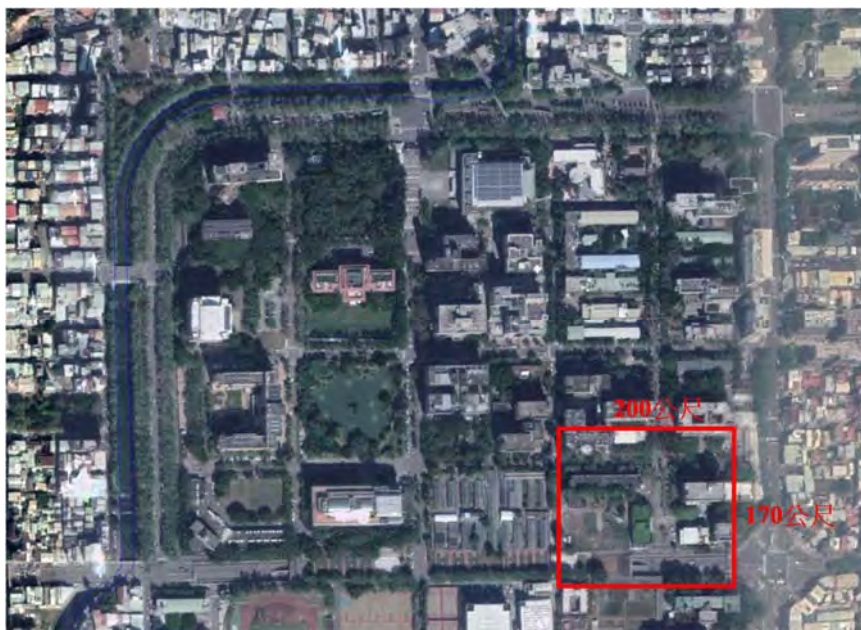


圖 3-59 國立中興大學創新育成中心：(紅框)影像式及光達式規劃範圍

國立中興大學創新育成中心可由國道 1 號王田、南屯、中港交流道及國道 3 號中投交流道前往，距離約 8.0 至 12.6 公里。中興大學為封閉場域，進出有管理人員進行管制，然而校內有許多學生、教職人員、一般民眾等，執行率定作業時需注意人員及車輛移動等情況，避免發生意外。圖 3-60 至圖 3-62 所示為現場拍攝情況，該處廣場透空度佳，GNSS 接收訊號良好，然而其道路上樹木較多影響 GNSS 接收，路邊停放車輛亦影響光達往返資料蒐集，不建議做為光達式率定場使用。做為影像式率定場規劃，建物包含許多明顯的特徵，可做為布設控制點之處；該建物主要為坐西朝東，工業相機進行拍照時易到早晨及傍晚時刻，太陽光直接照射造成拍攝背光及曝光過度情形發生，作業時需注意日出及日落時間。



圖 3-60 國立中興大學創新育成中心現場拍攝情形 1



圖 3-61 國立中興大學創新育成中心現場拍攝情形 2

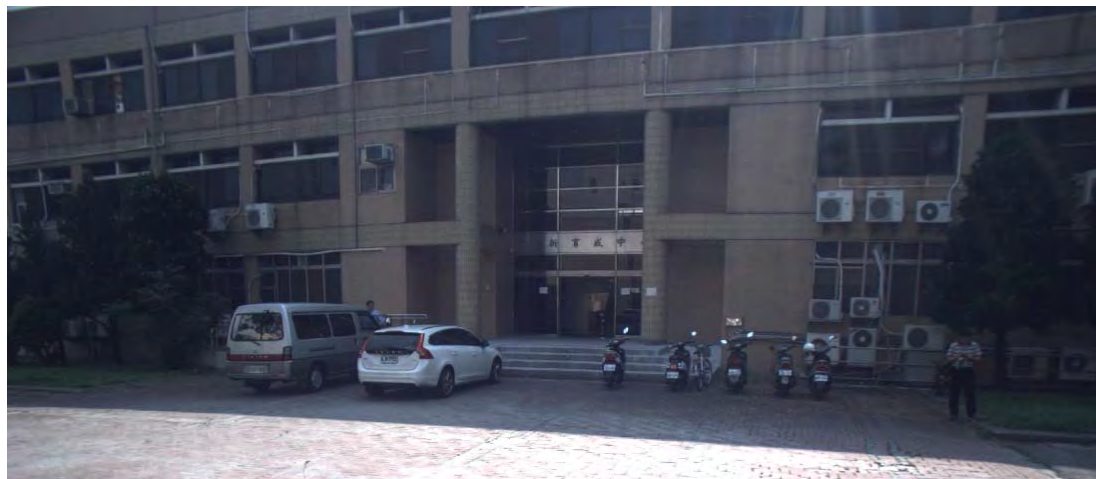


圖 3-62 國立中興大學創新育成中心現場拍攝情形 3

三、中部科學園區管理局

中部科學園區管理局位於臺中市大雅區如圖 3-63 所示，園區開發建設工程於民國 92 年 7 月起展開，為配合產業未來整體發展的需要，針對土地使用、交通運輸、水電及電訊、雨污水處理與排放、廢棄物處理等相關建設工程進行規劃，而園區土地使用將區分為園區事業專用區、管理及服務區與公共設施及公用事業用地等三類，提供高科技產業優質之環境，促進中部地區產業之升級。

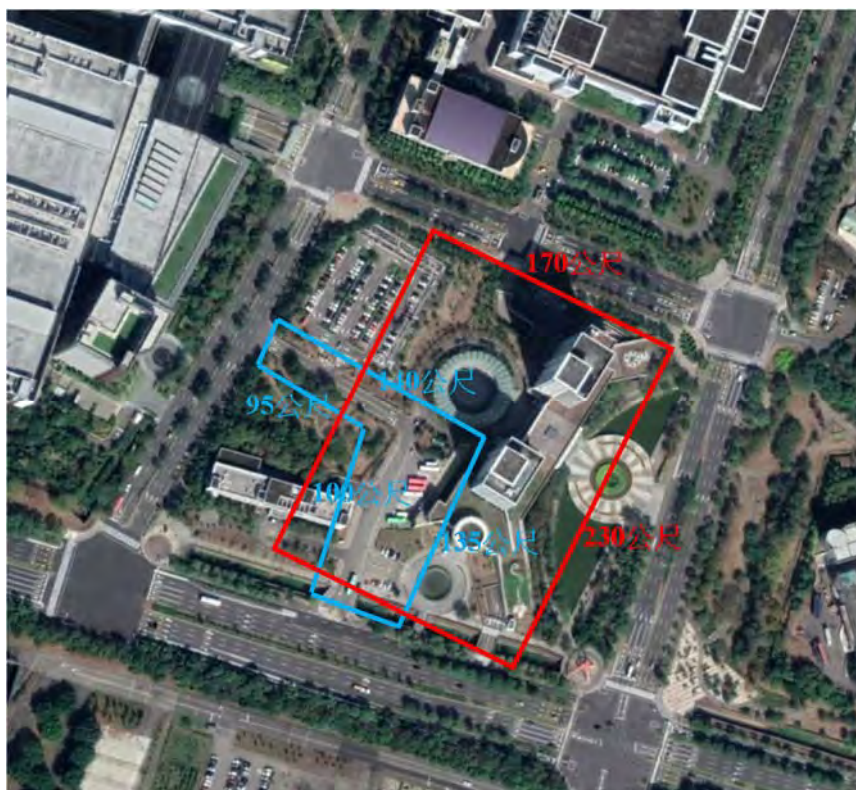


圖 3-63 中部科學園區管理局：(藍框)光達式規劃範圍；(紅框)影像式

中部科學園區管理局鄰近國道 1 號南屯交流道約 8.8 公里，為開放場域，管理局後方為停車場及公車停靠站，腹地廣大，圖 3-64 所示為 GNSS 接收情形，可接收 16 顆衛星，其透空度佳，GNSS 接收訊號良好。該處位於禁航區內，建議只做為車載率定場規劃使用，圖 3-65 至圖 3-67 所示為現場拍攝情況。參考圖 3-63(藍框)及圖 3-65 所示規劃光達式率定場，該處透空度佳，不同方向道路可藉由去回及不同行進方向之交會幾合蒐集往返相同區域之點雲資訊。圖 3-66 及圖 3-67 可知，其建物包含許多明顯的特徵，可做為布設控制點之處，亦可增加影像匹配時連結點數量；然而該建物正面及背面分別為朝東及西，工業相機進行拍照時易受到早晨及傍晚時刻，太陽光直接照射造成拍攝背光及曝光過度情形發生。故中部科學園區管理局可做為影像式及光達式率定場規劃使用，該處廣場車輛稀少，唯需注意該區域定期有公車停靠，率定作業前需查詢公車時刻表，避免影響公車載客作業。

第參章



圖 3-64 中部科學園區管理局 GNSS 接收情形



圖 3-65 中部科學園區管理局現場拍攝情形 1



圖 3-66 中部科學園區管理局現場拍攝情形 2



圖 3-67 中部科學園區管理局現場拍攝情形 3

四、港灣技術研究中心

港灣技術研究中心位於臺中市梧棲區如圖 3-68 所示，中心前身為交通處港灣技術研究所，成立於民國 70 年 2 月，原隸屬臺灣省政府交通處。為配合政府精省作業，自民國 88 年 7 月起更名為港灣技術研究中心，隸屬交通部運輸研究所。於 90 年 8 月起正式併入交通部運輸研究所。中心成立之主要目的為研究發展港灣工程技術，培育訓練相關人才，協助解決港灣建設與海岸開發所遭遇的問題。近年來因應港埠經營管理企業化之趨勢，增加港埠經營管理研究的業務。



圖 3-68 港灣技術研究中心：(藍框)光達式規劃範圍；(紅框)影像式

港灣技術研究中心可由國道 3 號西勢寮(沙鹿交流道)前往約 10.0 公里，或由國道 4 號往清水方向行駛，接省道 17 號後約 10 至 15 分鐘即可到達。港研中心為封閉場域，進出有管理人員進行管制，可規劃做為車載光達及影像率定場使用。圖 3-69 所示為 GNSS 接收情形，可接收 16 顆衛星，其透空度佳，GNSS 接收訊號良好，符合相關參考文獻率定場選擇原則。圖 3-70 至圖 3-72 所示為現場拍攝情況，如圖所示該處每棟建物各有其符合率定場需求及特性。圖 3-70 所示建物紋理較為單一，適合空載光達率定使用，針對車載率定使用需人工布設率定標即可，該處屬封閉場域，率定標不易受到破壞；圖 3-71 顯示其建物包含許多明顯的特徵，可做為布設控制點之處；圖 3-72 為低矮建物，當執行率定作業時建議於地面布設保麗龍球或塑膠球，增加影像匹配時更多特徵點，作業時因港研中心進出人員受到管制，布設保麗龍球或塑膠球不影響其他人員，於作業完成後恢復現場環境即可。故參考圖 3-68 及現場拍攝情況所示，符合規劃光達式率定場條

件，該處道路寬敞，人煙稀少，適合藉由去回及不同行進方向之交會幾合蒐集往返相同區域之點雲資訊，道路上有許多地物及牆面可做為率定標布設之處；亦同時符合影像式率定場條件，率定場四周有低矮建物包含大量特徵點位，拍攝之影像將影像切成 16 或 25 等份，每等份內有 3 個以上明顯特徵點。規劃做為率定場使用，注意事項包含其建物各自分別朝向東北、東南、西南、西北方向，工業相機進行拍照時需注意是否因太陽光直接照射造成拍攝背光及曝光過度情形發生；另該地區因靠近海邊，該處風速較強，未來執行率定作業時，需注意當日風力及風向，避免意外發生。



圖 3-69 港灣技術研究中心 GNSS 接收情形



圖 3-70 港灣技術研究中心現場拍攝情形 1



圖 3-71 港灣技術研究中心現場拍攝情形 2



圖 3-72 港灣技術研究中心現場拍攝情形 3

五、中興新村高等研究園區(工管組)

中興新村高等研究園區(工管組)位於南投縣南投市如圖 3-73 所示，民國 45 年臺灣省政府從臺北市疏遷到中興新村辦公，中興新村的整體都市架構參仿英國「新市鎮」創建模式，規劃完善的辦公與住宅合一之田園式行政社區，全區於民國 46 年建設完成。民國 88 年省府組織精簡後，行政機能與業務隨著組織調整與合併而大幅減少，加上車籠埔斷層通過中興新村東側，九二一地震引發規模強大的災害，使得本區之行政機能逐漸消退。為了重現中興新村往日風華，民國 97 年政府提出「愛台 12 建設」，除宣示中興新村發展為文化創意及高等研究園區之政策方向，並由中部科學工業園區管理局主政辦理，「中興新村高等研究園區」籌設計畫於 98 年 11 月奉行政院核定，以引進

高科技研發、文化創意產業或其他科學工業為主，目前已有工研院、資策會等單位進駐營運。



圖 3-73 中興新村高等研究園區(工管組)：(紅框)影像式及光達式規劃範圍

中興新村高等研究園區(工管組)鄰近國道 3 號中興交流道約 3.6 公里，工管組為封閉場域，進出有管理人員進行管制，可規劃做為車載及空載率定場使用。圖 3-74 所示為 GNSS 接收情形，可接收 17 顆衛星，其透空度佳，GNSS 接收訊號良好。圖 3-75 至圖 3-77 所示為現場拍攝情況，如圖所示當建物紋理較為單一無大量特徵點時，需人工布設率定標；當地面較為單調時，執行率定作業時建議於地面布設保麗龍球或塑膠球，增加影像匹配時更多特徵點，另因工管組為封閉場域，布設保麗龍球或塑膠球不影響其他人員，於作業完成後恢復現場環境即可。做為光達式率定場，該處內部廣場長寬約為 50 x 50 公尺，經過適當路線規劃，蒐集去回及不同行進方向之交會幾合點雲資訊，符合光達式率定作業流程。而工管組建物各自分別朝向東北、東南、西南、西北方向，工業相機進行拍照時需注意是否因太陽光直接照射造成拍攝背光及曝光過度情形發生。該處廣場四周有低矮建物包含大量特徵點位，透空度佳，亦適合做為影像式率定場使用。



圖 3-74 中興新村高等研究園區(工管組)GNSS 接收情形



圖 3-75 中興新村高等研究園區(工管組)現場拍攝情形 1



圖 3-76 中興新村高等研究園區(工管組)現場拍攝情形 2



圖 3-77 中興新村高等研究園區(工管組)現場拍攝情形 3

六、中興新村中興會堂

中興新村中興會堂位於南投縣南投市如圖 3-78 所示，其竣工於民國 48 年，是一座白色樓身與鮮紅屋頂的典雅歐風建築，擁有濃濃的巴洛克式情懷。自 86 年 1 月成為消防處的辦公室，88 年因精省後閒置，至 96 年 7 月重新以中興新村 NGO 會議中心再出發，97 年為加強中興會堂空間服務機能，辦理中興會堂整修工程，於 98 年 7 月重新開幕，期望回復當年「小白宮」的風華。中興會堂前方的草地與運動場是民眾假日時的休閒場所，早期經常做為省府集會、地方活動

以及露天電影放映的場地，現今則是民眾野餐與放風箏等休閒活動的據點。



圖 3-78 中興新村中興會堂：(紅框)影像式及光達式規劃範圍

中興新村中興會堂鄰近國道 3 號中興交流道約 3.9 公里，前方廣場為開放式場域，一般民眾可自由經過。圖 3-79 至圖 3-82 分別所示為 GNSS 接收情形及現場拍攝情況。由圖可知，該區域可接收 15 顆衛星，GNSS 接收訊號良好；建物包含許多明顯的特徵，可做為布設控制點之處。參考圖 3-78，該處前方道路範圍為長條形狀，可蒐集去回不同方向相同區域之光達點雲資訊，然而較不易取得十字不同方向交會幾合資訊，需藉由設計路線規劃，於中興會堂東南及西北隅較大之空間，取得十字交叉資訊，提升光達式率定精度。做為影像式率定場使用，該地區建物朝向西南方向，工業相機進行拍照時需注意部分角度是否因太陽光照射造成拍攝背光及曝光過度情形發生。



圖 3-79 中興新村中興會堂 GNSS 接收情形



圖 3-80 中興新村中興會堂現場拍攝情形 1



圖 3-81 中興新村中興會堂現場拍攝情形 2



圖 3-82 中興新村中興會堂現場拍攝情形 3

第五節 試辦作業

3.5.1 光達式移動測繪系統率定作業

本案針對車載移動測繪系統率定程序，光達式 LMS 系統建議選用 TerraMatch 之軸角及固定臂率定作業流程，影像式選用兩階段率定作業流程，辦理國土測繪中心及自強工程顧問有限公司車載移動測繪系統率定作業，以下為說明。

3.5.1.1 國土測繪中心

本案試辦作業於成功大學歸仁校區之室外率定場進行如圖 3-83 所示，該率定場四周有低矮建物且無樹木，其透空度可達 50 度以上，

適合 GNSS 接收且可減少 GNSS 訊號受到遮蔽或多路徑效應影響。率定場範圍包含防火科技研究中心建物及前方空地，地面布設自行設計率定標如圖 3-84 所示，並於國家地震工程研究中心臺南實驗室旁之道路及宿舍建物牆面布設檢核點如圖 3-85 所示，透過地面測量方法取得這些率定標之三維坐標，做為率定及檢核使用。相關率定場及檢核場已知點布設細節及坐標請參閱附錄十。

第參章



圖 3-83 光達系統(黃框)率定場 1；(綠框)率定場 2；(紅框)檢核場範圍



圖 3-84 光達率定場現況



圖 3-85 光達檢核場現況

國土測繪中心車載光達系統軸角/固定臂率定試辦作業及精度分析之資料蒐集外業日期為 108 年 10 月 29 日，為增加點雲密度，車行速度維持時速 10 公里以下，率定作業情形如圖 3-86 所示。率定方法參考 3.1.1 節，執行 2 種不同路線資料蒐集，第 1 種方法使用場地位於圖 3-83(黃框)，包含一棟建物及前方有空地情況，軌跡路線包含左右往返掃描資料，以及與建物 45 度角運行方向進行點雲資料蒐集。第 1 種方法定位定向系統軌跡如圖 3-87 所示，光達點雲資料展示如圖 3-88 所示，計算軸角/固定臂成果及精度如表 3-2 及表 3-2 所示。



圖 3-86 國土測繪中心車載光達系統率定作業情形

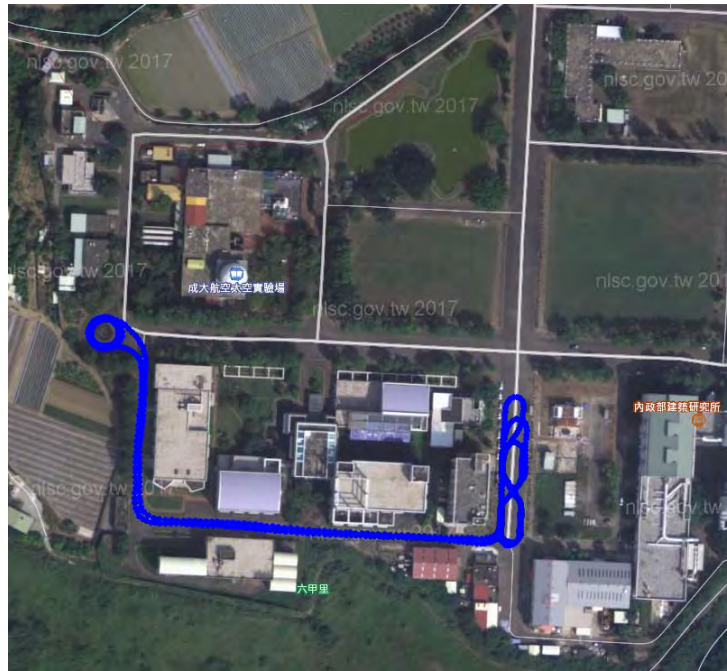


圖 3-87 國土測繪中心車載光達系統率定作業軌跡(第 1 種)

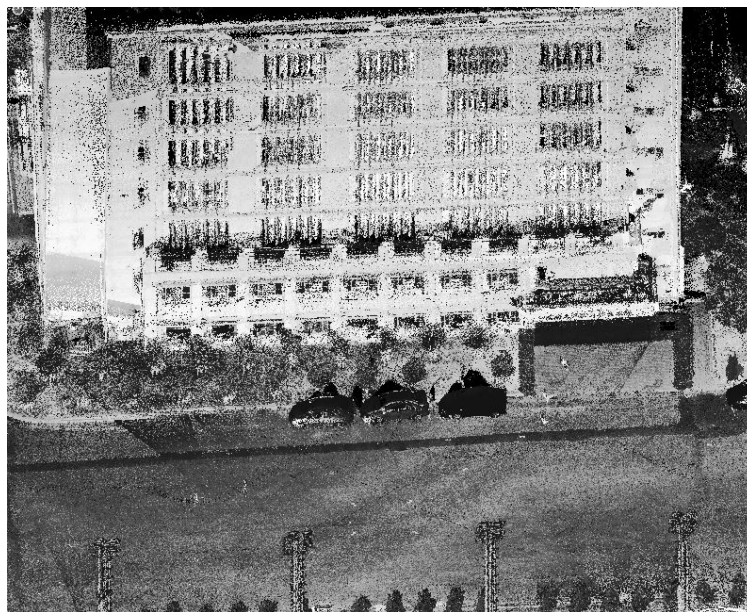


圖 3-88 國土測繪中心車載光達系統率定點雲展示(第 1 種)

表 3-2 國土測繪中心車載光達系統軸角/固定臂率定成果表(第 1 種)

光達	固定臂(公尺)			軸角(度)		
	X	Y	Z	Roll	Pitch	Heading
Pentax	-0.044	-0.345	0.335	0.0803	-0.1213	-1.0320

表 3-3 國土測繪中心車載光達系統軸角/固定臂率定精度(第 1 種)

點雲	修正前(公尺)		修正後(公尺)	
	平面 xy	高程 z	平面 xy	高程 z
精度	0.234	0.020	0.072	0.018

將上述軸角/固定臂成果輸入至點雲資料處理流程，量測檢驗場牆面已知點坐標，檢核作業情形如圖 3-89 所示，定位定向系統軌跡如圖 3-90 所示，光達點雲資料展示如圖 3-91 所示。初步成果顯示如表 3-4 所示，量測資訊請參閱附錄十，平面精度約 0.132 公尺、三維精度約 0.149 公尺、平面及三維最大誤差約為 0.184 及 0.191 公尺。



圖 3-89 國土測繪中心車載光達系統檢核作業情形



圖 3-90 國土測繪中心車載光達系統檢核作業軌跡

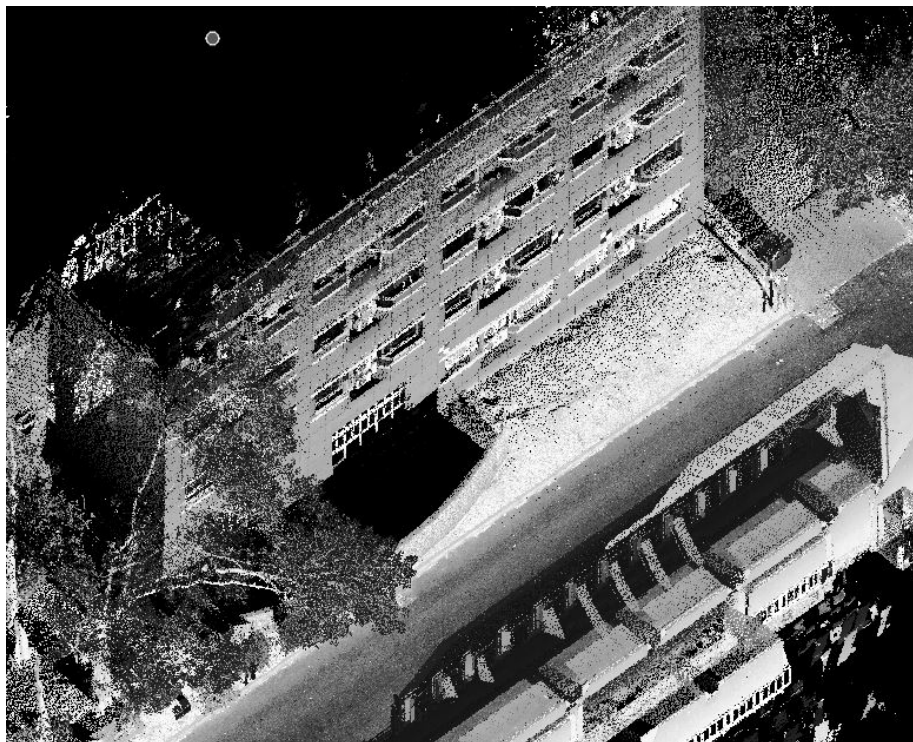


圖 3-91 國土測繪中心車載光達系統檢核點雲展示

表 3-4 國土測繪中心車載光達系統精度分析(第 1 種)

	平面精度(公尺)	三維精度(公尺)
AVG	0.127	0.147
STD	0.037	0.026
RMS	0.132	0.149

第 2 種方法使用場地位於圖 3-83(綠框)，藉由 2 個以上方向十字交叉及往返掃描資料，進行資料蒐集。第 2 種方法定位定向系統軌跡如圖 3-92 所示，光達點雲資料展示如圖 3-93 所示，計算軸角/固定臂成果及精度如表 3-5 及表 3-6 所示。



圖 3-92 國土測繪中心車載光達系統率定作業軌跡(第 2 種)

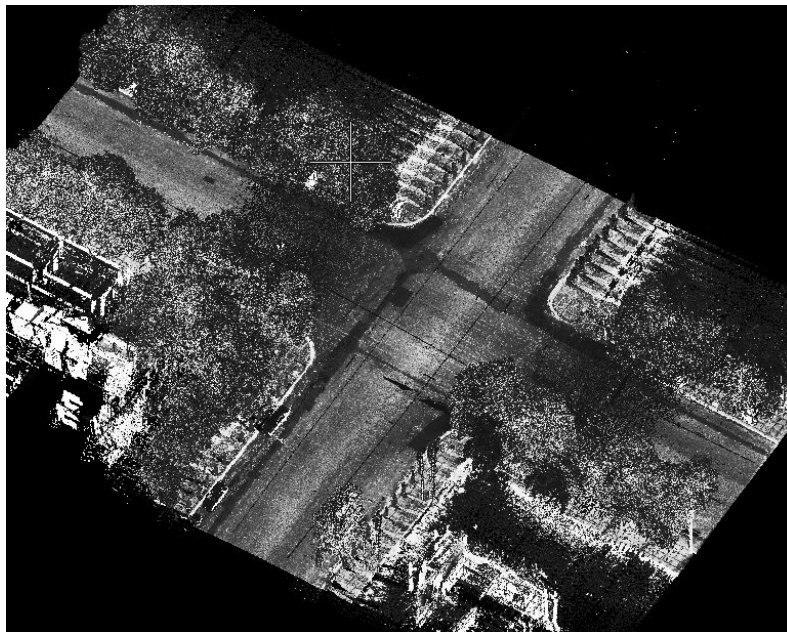


圖 3-93 國土測繪中心車載光達系統率定點雲展示(第 2 種)

表 3-5 國土測繪中心車載光達系統軸角/固定臂率定成果表(第 2 種)

光達	固定臂(公尺)			軸角(度)		
	X	Y	Z	Roll	Pitch	Heading
Pentax	-0.044	-0.345	0.335	0.0184	-0.8846	-0.2706

表 3-6 國土測繪中心車載光達系統軸角/固定臂率定精度(第 2 種)

點雲	修正前(公尺)		修正後(公尺)	
	平面 xy	高程 z	平面 xy	高程 z
精度	0.244	0.027	0.085	0.023

將上述軸角/固定臂成果輸入至點雲資料處理流程，參考圖 3-89 至圖 3-91 作業軌跡及點雲，量測檢驗場牆面已知點坐標，初步成果顯示如表 3-7 所示，量測資訊請參閱附錄十，平面精度約 0.141 公尺、三維精度約 0.204 公尺、平面及三維最大誤差約為 0.205 及 0.313 公尺。

表 3-7 國土測繪中心車載光達系統精度分析(第 2 種)

	平面精度(公尺)	三維精度(公尺)
AVG	0.131	0.195
STD	0.056	0.063
RMS	0.141	0.204

3.5.1.2 自強工程顧問有限公司

自強工程顧問有限公司車載光達系統軸角/固定臂率定試辦作業及精度分析之資料蒐集外業，地點為成功大學歸仁校區之室外率定場，日期為 108 年 10 月 30 日。率定方法參考 3.1.1 節，執行 2 種不同路線資料蒐集，第 1 種方法使用場地位於圖 3-83(黃框)，率定作業情形如圖 3-94 所示，定位定向系統軌跡如圖 3-95 所示，光達點雲資料展示如圖 3-96 所示，計算軸角/固定臂成果及精度如表 3-8 及表 3-9 所示。



圖 3-94 自強工程顧問有限公司車載光達系統率定作業情形

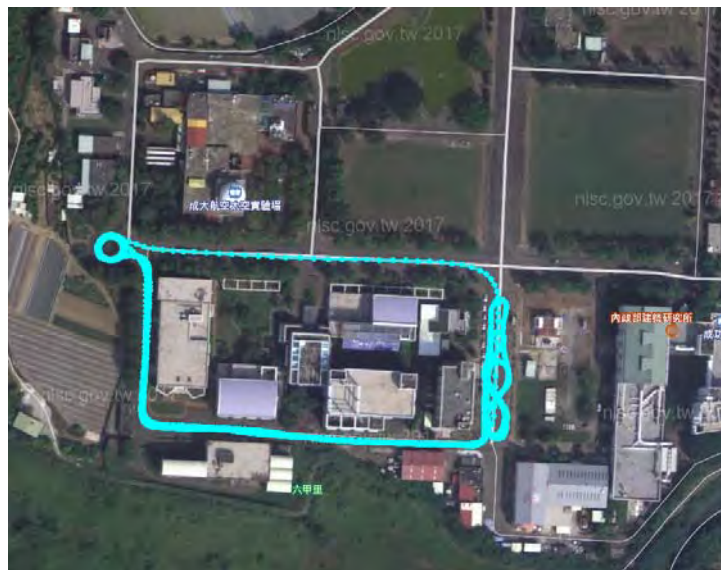


圖 3-95 自強工程顧問有限公司車載光達系統率定作業軌跡(第 1 種)

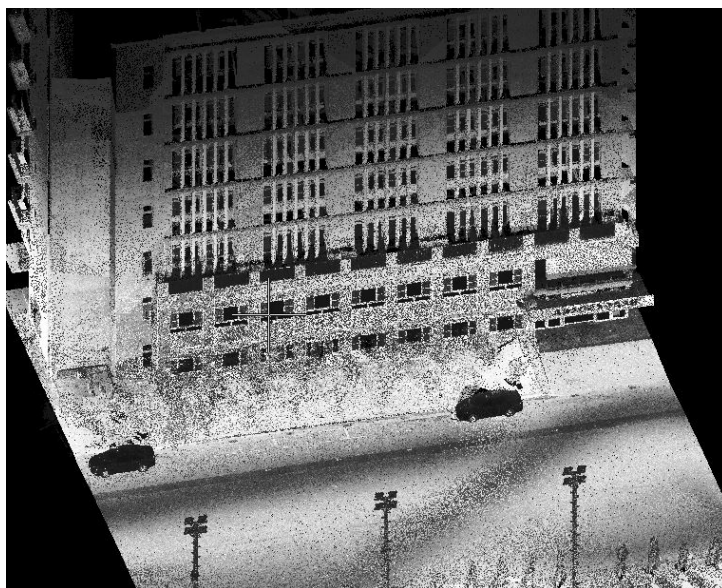


圖 3-96 自強工程顧問有限公司車載光達系統率定點雲展示(第 1 種)

表 3-8 自強工程顧問有限公司車載光達系統軸角/固定臂率定成果表(第 1 種)

光達	固定臂(公尺)			軸角(度)		
	X	Y	Z	Roll	Pitch	Heading
Riegl	0.002	-0.250	0.280	-0.0261	-0.0197	-0.0081

表 3-9 自強工程顧問有限公司車載光達系統軸角/固定臂率定精度(第 1 種)

點雲	修正前(公尺)		修正後(公尺)	
	平面 xy	高程 z	平面 xy	高程 z
精度	0.013	0.013	0.011	0.012

將上述軸角/固定臂成果輸入至點雲資料處理流程，量測檢驗場牆面已知點坐標，檢核作業情形如圖 3-97 所示，定位定向系統軌跡如圖 3-98 所示，光達點雲資料展示如圖 3-99 所示。初步成果顯示如表 3-10 所示，量測資訊請參閱附錄十，平面精度約 0.021 公尺、三維精度約 0.072 公尺、平面及三維最大誤差約為 0.033 及 0.085 公尺。



圖 3-97 自強工程顧問有限公司車載光達系統檢核作業情形



圖 3-98 自強工程顧問有限公司車載光達系統檢核作業軌跡

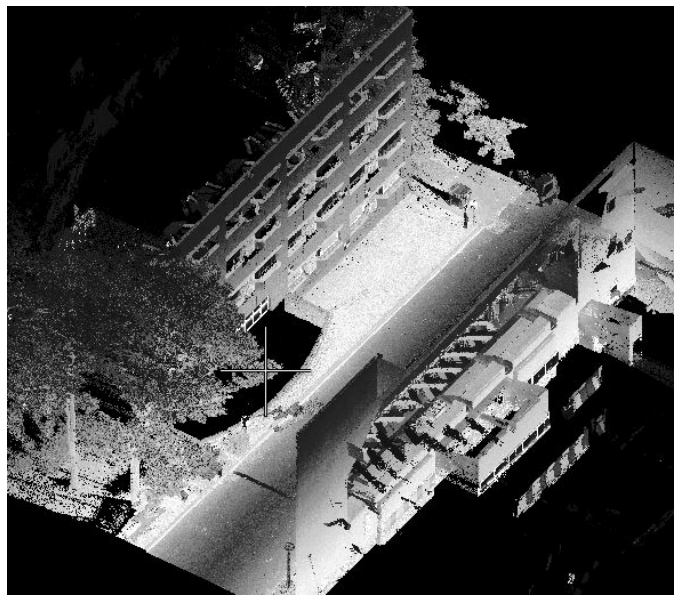


圖 3-99 自強工程顧問有限公司車載光達系統檢核點雲展示

表 3-10 自強工程顧問有限公司車載光達系統精度分析(第 1 種)

	平面精度(公尺)	三維精度(公尺)
AVG	0.018	0.071
STD	0.010	0.012
RMS	0.021	0.072

第 2 種方法使用場地位於圖 3-83(綠框)，藉由 2 個以上方向十字交叉及往返掃描資料，進行資料蒐集。第 2 種方法定位定向系統軌跡如圖 3-100 所示，光達點雲資料展示如圖 3-101 所示，計算軸角/固定臂成果及精度如表 3-11 及表 3-12 所示。



圖 3-100 自強工程顧問有限公司車載光達系統率定作業軌跡(第 2 種)

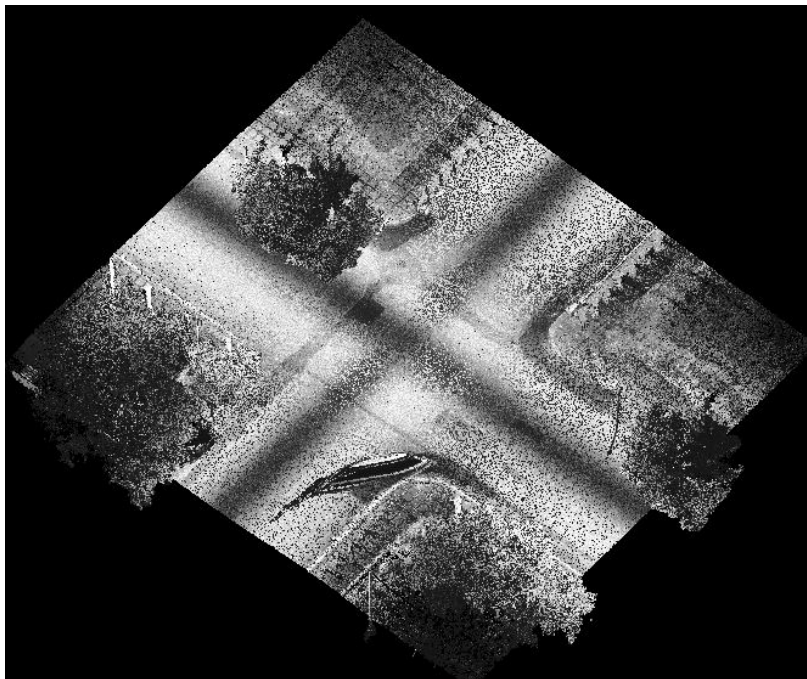


圖 3-101 自強工程顧問有限公司車載光達系統率定點雲展示(第 2 種)

表 3-11 自強工程顧問有限公司車載光達系統軸角/固定臂率定成果表(第 2 種)

光達	固定臂(公尺)			軸角(度)		
	X	Y	Z	Roll	Pitch	Heading
Pentax	0.002	-0.250	0.280	-0.0393	0.0027	-0.2238

表 3-12 自強工程顧問有限公司車載光達系統軸角/固定臂率定精度(第 2 種)

點雲	修正前(公尺)		修正後(公尺)	
	平面 xy	高程 z	平面 xy	高程 z
精度	0.018	0.013	0.013	0.009

將上述軸角/固定臂成果輸入至點雲資料處理流程，參考圖 3-97 至圖 3-99 作業軌跡及點雲，量測檢驗場牆面已知點坐標，初步成果顯示如表 3-13 所示，量測資訊請參閱附錄十，平面精度約 0.044 公尺、三維精度約 0.073 公尺、平面及三維最大誤差約為 0.078 及 0.091 公尺。

表 3-13 自強工程顧問有限公司車載光達系統精度分析(第 2 種)

	平面精度(公尺)	三維精度(公尺)
AVG	0.038	0.072
STD	0.025	0.014
RMS	0.044	0.073

3.5.1.3 光達式成果分析比較

一、率定方法比較

本案率定方法執行 2 種不同路線資料蒐集，第 1 種方法包含一棟建物及前方有空地情況，軌跡路線包含左右往返掃描資料，以及與建物 45 度角運行方向進行點雲資料蒐集。第 2 種方法藉由 2 個以上方向十字交叉及往返掃描資料，進行資料蒐集。初步成果可知，TerraMatch 建議之兩種不同資料蒐集方法，皆可成功求得率定成果。然而本次試辦作業所選定之區域，第 2 種方法因現地十字路口缺少建物，於蒐尋 Tie Line 時，垂直牆面或是垂直線段等匹配資料較為稀少，故將求得之率定成果帶回點雲進行檢核點分析時，國土測繪中心及自強工程顧問使用方法 2 的點雲精度皆略為下降。未來規劃選擇率定場時，需注意場地地面是否空曠，可取得平面匹配資料；現地需有 1 至 2 棟建物，可取得垂直面或線之資訊，若此垂直面為完整平面更佳。

二、國土測繪中心及自強工程顧問車載移動測繪系統比較

本案針對車載移動測繪系統率定程序，辦理國土測繪中心及自強工程顧問有限公司車載移動測繪系統率定作業，表 3-14 所示為兩部車載移動測繪系統規格比較。由規格表可知，自強工程顧問使用之定位定向系統及光達系統較佳；除此之外，解算軌跡成果直接影響點雲精度，自強工程顧問使用之定位定向系統解算軟體為商用軟體 Inertial Explorer，國土測繪中心為自主開發之軟體 GeoPoint，參考 104 及 105 年度發展車載移動測繪系統(MMS)作業採購案工作總報告書，兩者定位定向系統軟體解算成果存在約 10 公分左右之差異，因而影響率定成果及點雲精度。

本案選擇國土測繪中心及自強工程顧問有限公司車載光達移動測繪系統進行試辦作業，搭配不同之定位定向系統及解算軟體，致始自強工程顧問平面及三維精度分別為 0.044 及 0.073 公尺；國土測繪中心精度為 0.141 及 0.204 公尺，其相關精度皆可應用於國土利用調查及臺灣通用電子地圖圖資更新等作業。未來建議進一步提升定位定向系統解算軟體能力，得較佳精度之點雲資料，未來可應用於高精度圖資測繪作業。

表 3-14 車載移動測繪系統規格

機關/廠商	國土測繪中心	自強工程顧問
型號	自主開發	自主開發
定位定向系統	NovAtel/iMAR-FSAS	NovAtel/iMAR-RQT
陀螺飄移(度/小時)	0.75	0.0015
加速度計偏移(mg)	1.0	0.012
相機	7 部 Pointgrey 工業相機	1 部 Ladybug 全景相機
光達	Pentax S-2100	Riegl VUX1-LR
掃描距離(公尺)	119	500
雷射等級	1	1

3.5.1.4 國土測繪中心 Z+F 率定成果補充

本案國土測繪中心光達式移動測繪系統，光達為 Z+F 系統，另增加採用原廠 Z+F SynCat 率定軟體進行軸角率定，其建議路線為十字交叉路口，並至少可量測往返掃描 8 組共軛點點雲，故使用場地位於圖 3-83(綠框)，藉由 2 個以上方向十字交叉及往返掃描資料，進行資料蒐集。定位定向系統軌跡及光達點雲參考 3.5.1.1 章節圖 3-92 及圖 3-93 所示，計算軸角/固定臂成果如表 3-15 所示。

表 3-15 國土測繪中心車載光達系統軸角/固定臂率定成果表(Z+F SynCat)

光達	固定臂(公尺)			軸角(度)		
	X	Y	Z	Roll	Pitch	Heading
Pentax	-0.044	-0.345	0.335	0.18972	44.712354	91.67776

將上述軸角/固定臂成果輸入至點雲資料處理流程，參考圖 3-89 至圖 3-91 作業軌跡及點雲，量測檢驗場牆面已知點坐標，初步成果顯示如表 3-16 所示，量測資訊請參閱附錄十，平面精度約 0.159 公尺、三維精度約 0.174 公尺、平面及三維最大誤差約為 0.213 及 0.215 公尺。

表 3-16 國土測繪中心車載光達系統精度分析(Z+F SynCat)

	平面精度(公尺)	三維精度(公尺)
AVG	0.154	0.171
STD	0.042	0.035
RMS	0.159	0.174

比較表 3-5、表 3-7、表 3-15 及表 3-16，使用 TerraMatch 與 Z+F SynCat 軟體於相同軌跡及點雲資料，皆可成功求得軸角率定成果，然而因其對於軸向資料定義方式不同，故呈現成果不同。將上述軸角/固定臂成果輸入至點雲資料處理流程，比較其精度，TerraMatch 及 Z+F 平面精度分別為 0.159 及 0.141 公尺，三維精度為 0.174 及 0.204 公尺，點雲精度相似，故兩套軟體率定成果能力無明顯差異。然而本次試辦作業所選定之區域，因現地十字路口缺少建物，TerraMatch 於蒐

尋 Tie Line 時，垂直牆面或是垂直線段等匹配資料較為稀少；Z+F SynCat 量測之共軛點大部分位於地面，無明顯不同之高程變化。未來規劃選擇率定場時，同樣需注意場地地面是否空曠，可取得平面匹配資料；現地需有 1 至 2 棟建物，可取得垂直面或線之資訊。

3.5.2 影像式移動測繪系統率定作業

3.5.2.1 國土測繪中心

本案試辦作業於成功大學歸仁校區之室外率定場進行如圖 3-102 所示，率定場四周建物包含大量特徵點位，這些點位為建物牆壁上磁磚交界處所形成之十字，透過高精度測量方法取得這些特徵點之三維坐標作為牆面控制點如圖 3-103 所示。



圖 3-102 影像式系統率定檢核場範圍

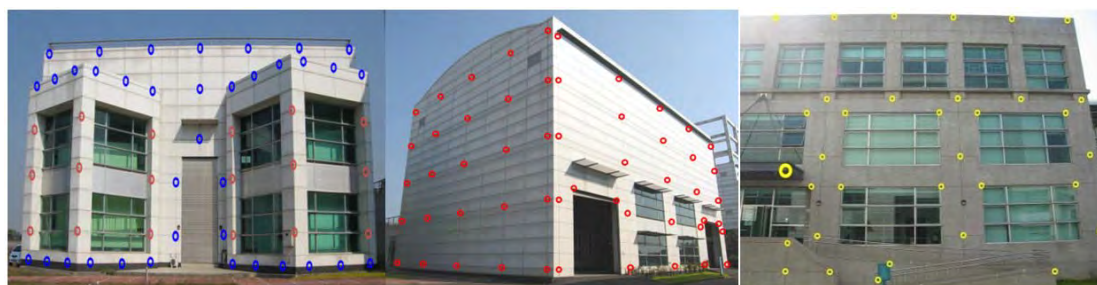


圖 3-103 影像式率定檢核場現況

國土測繪中心車載影像式系統於軸角/固定臂率定試辦作業前，至室內率定場進行相機內方位參數率定，作業方式參考第 3.1.2 節，相機內方位率定成果如表 3-17 所示。

表 3-17 國土測繪中心相機內方位率定成果

相機編號	1	2	3
解析度(pixels)	3376 x 2704	3376 x 2704	3376 x 2704
像元大小(mm)	0.0037	0.0037	0.0037
焦距 c (mm)	8.1786	8.1753	8.1660
像主點 xp (mm)	-0.1484	-0.0096	0.0545
像主點 yp (mm)	-0.0276	-0.0904	-0.0111
輻射畸變 K1	2.50127e-03	2.49371e-03	2.53933e-03
輻射畸變 K2	-1.53436e-05	-1.54173e-05	-1.80669e-05
輻射畸變 K3	-1.42062e-07	-1.36039e-07	-1.02420e-07
離心畸變 P1	-2.5706e-05	1.8249e-05	1.2969e-05
離心畸變 P2	-1.3615e-05	-1.1322e-05	2.5773e-05
相機編號	4	5	6
解析度(pixels)	3376 x 2704	3376 x 2704	3376 x 2704
像元大小(mm)	0.0037	0.0037	0.0037
焦距 c (mm)	8.2004	8.1770	8.2094
像主點 xp (mm)	-0.0537	-0.0517	0.0149
像主點 yp (mm)	0.0015	0.0001	-0.0574
輻射畸變 K1	2.48035e-03	2.49805e-03	2.36999e-03
輻射畸變 K2	-1.53493e-05	-1.63355e-05	-1.35661e-05
輻射畸變 K3	-1.29553e-07	-1.22571e-07	-1.43048e-07
離心畸變 P1	-5.0449e-06	1.9763e-05	-1.6238e-05
離心畸變 P2	-6.2477e-05	-3.0990e-05	3.6437e-05
相機編號	7	8	
解析度(pixels)	3376 x 2704	3376 x 2704	
像元大小(mm)	0.0037	0.0037	
焦距 c (mm)	8.1566	8.2147	
像主點 xp (mm)	-0.0134	-0.1001	
像主點 yp (mm)	-0.0967	-0.0458	
輻射畸變 K1	2.46545e-03	2.61257e-03	
輻射畸變 K2	-1.63310e-05	-1.81310e-05	
輻射畸變 K3	-1.15087e-07	-1.01698e-07	
離心畸變 P1	2.9095e-05	-7.6965e-06	
離心畸變 P2	-1.1073e-04	7.2537e-06	

軸角/固定臂率定試辦作業及精度分析之資料蒐集外業日期為 108 年 10 月 29 日，率定作業情形如圖 3-104 所示，定位定向系統軌跡如圖 3-105 所示，空三解算僅使用相機編號 1 至 6 其成果如圖 3-106 所示，計算相機編號 1 至 6 軸角/固定臂成果及精度如表 3-18 及表 3-19 所示。



圖 3-104 國土測繪中心車載影像式系統率定作業情形



圖 3-105 國土測繪中心車載影像式系統率定作業軌跡



圖 3-106 國土測繪中心車載影像式系統率定作業空三成果

表 3-18 國土測繪中心車載影像式系統軸角/固定臂率定成果表

相機	固定臂(公尺)			軸角(度)		
	X	Y	Z	Roll	Pitch	Heading
1	-0.034	0.133	0.547	89.964	1.118	-0.195
2	0.129	0.027	0.549	89.640	-59.030	-0.251
3	0.145	-0.183	0.558	-89.398	-61.184	-179.424
4	-0.005	-0.236	0.539	-89.988	-0.806	179.973
5	-0.189	-0.175	0.561	-89.747	58.849	179.699
6	-0.189	0.017	0.559	89.608	61.036	0.380

表 3-19 國土測繪中心車載影像式系統軸角/固定臂率定精度

相機	固定臂精度(公尺)			軸角精度(度)		
	X	Y	Z	Roll	Pitch	Heading
1	0.111	0.249	0.114	0.031	0.230	0.230
2	0.106	0.249	0.113	0.055	0.178	0.178
3	0.101	0.228	0.145	0.061	0.184	0.184
4	0.090	0.232	0.140	0.792	0.238	0.238
5	0.103	0.235	0.151	0.053	0.171	0.171
6	0.103	0.230	0.146	0.064	0.198	0.198

將上述軸角/固定臂成果輸入至點雲資料處理流程，量測檢驗場牆面已知點坐標。初步成果顯示如表 3-20 所示，平面精度約 0.129 公尺、三維精度約 0.139 公尺、平面及三維最大誤差約為 0.157 及 0.163 公尺。

表 3-20 國土測繪中心車載影像式系統精度分析

	平面精度(公尺)	三維精度(公尺)
AVG	0.128	0.138
STD	0.018	0.021
RMS	0.129	0.139

3.5.2.2 自強工程顧問有限公司

自強工程顧問有限公司車載影像式系統軸角/固定臂率定試辦作業及精度分析之資料蒐集外業日期為 108 年 10 月 30 日，率定作業情形如圖 3-107 所示；定位定向系統軌跡如圖 3-108 所示；因自強工程其相機選用 Ladybug 全景相機，故相機內方位參數採用空三解算軟體 Metashape 內建之自率定方法，與空三解算成果一同求解，即匯入影像後可先求得各部相機內方位參數，再以其內方位參數代入求得每張影像外方位參數，相機內方位率定成果如表 3-21 所示，成果如圖 3-109 所示；計算軸角/固定臂成果及精度如表 3-22 及表 3-23 所示。



圖 3-107 自強工程顧問有限公司車載影像式系統率定作業情形



圖 3-108 自強工程顧問有限公司車載影像式系統率定作業軌跡

表 3-21 自強工程顧問相機內方位率定成果

相機編號	1	2	3
解析度(pixels)	1224 x 1024	1224 x 1024	1224 x 1024
像元大小(mm)	0.0345	0.0345	0.0345
焦距 c (mm)	21.4471	21.4430	21.4298
像主點 xp (mm)	-0.3936	-0.1219	-0.0913
像主點 yp (mm)	-0.0376	0.2687	-0.1009
輻射畸變 K1	7.62659e-04	7.64533e-04	7.58707e-04
輻射畸變 K2	4.55038e-07	4.34060e-07	4.41853e-07
輻射畸變 K3	1.22679e-09	1.22035e-09	1.24176e-09
離心畸變 P1	3.22924e-05	-1.12829e-06	3.44634e-05
離心畸變 P2	9.71884e-06	4.23682e-05	-1.66093e-05
相機編號	4	5	
解析度(pixels)	1224 x 1024	1224 x 1024	
像元大小(mm)	0.0345	0.0345	
焦距 c (mm)	21.4280	21.4262	
像主點 xp (mm)	0.1285	0.4452	
像主點 yp (mm)	0.0167	0.1486	
輻射畸變 K1	7.67358e-04	7.59300e-04	
輻射畸變 K2	4.44018e-07	4.69831e-07	
輻射畸變 K3	1.24164e-09	1.18880e-09	
離心畸變 P1	1.27008e-05	3.91079e-05	
離心畸變 P2	-6.84771e-06	1.57807e-05	

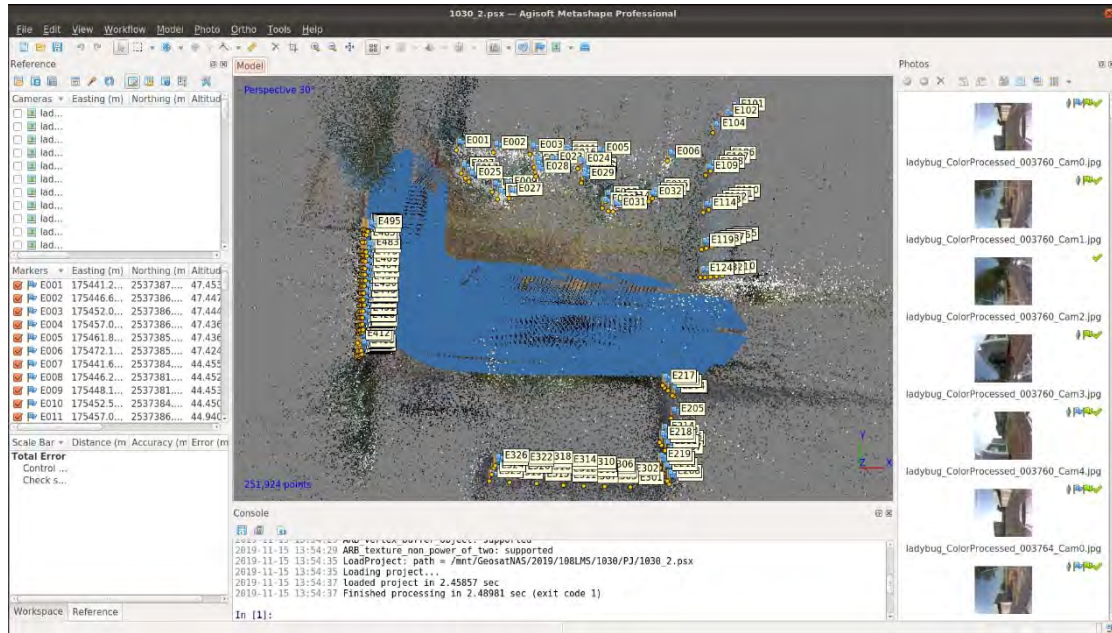


圖 3-109 自強工程顧問有限公司車載影像式系統率定作業空三成果

表 3-22 自強工程顧問有限公司車載影像式系統軸角/固定臂率定成果表

相機	固定臂(公尺)			軸角(度)		
	X	Y	Z	Roll	Pitch	Heading
1	-0.014	0.543	0.457	89.662	-0.411	-89.533
2	0.044	0.511	0.460	90.223	-72.292	-89.147
3	0.025	0.445	0.461	-90.637	-35.711	89.840
4	-0.045	0.432	0.458	-90.473	36.365	89.740
5	-0.065	0.501	0.459	89.295	71.505	-89.449

表 3-23 自強工程顧問有限公司車載影像式系統軸角/固定臂率定精度

相機	固定臂精度(公尺)			軸角精度(度)		
	X	Y	Z	Roll	Pitch	Heading
1	0.157	0.238	0.014	0.601	0.422	0.049
2	0.158	0.235	0.015	6.328	5.050	0.010
3	0.158	0.236	0.016	2.622	2.048	0.021
4	0.159	0.233	0.013	0.746	2.048	0.017
5	0.157	0.235	0.015	0.157	5.468	0.010

將上述軸角/固定臂成果輸入至點雲資料處理流程，量測檢驗場牆面已知點坐標。初步成果顯示如表 3-24 所示，本案自強工程顧問於外業資料蒐集時發生系統異常，導致快門拍照時間未能正確對應每張影像，發生錯位情況發生，進而影響軸角/固定臂率定成果及精度，最終影響直接地理定位精度，故平面精度約 8.749 公尺、三維精度約 9.834 公尺、平面及三維最大誤差約為 19.513 及 25.746 公尺。

表 3-24 自強工程顧問有限公司車載影像式系統精度分析

點號	平面精度(公尺)	三維精度(公尺)
AVG	8.661	9.624
STD	1.238	2.020
RMS	8.749	9.834

3.5.2.3 影像式成果分析比較

本案試辦作業於成功大學歸仁校區之室外率定場進行，率定場四周建物包含大量特徵點位，這些點位為建物牆壁上磁磚交界處所形成之十字，透過高精度測量方法取得這些特徵點之三維坐標作為牆面控制點。並於軸角/固定臂率定試辦作業前，至室內率定場進行相機內方位參數率定。初步成果顯示，本案研擬之室內率定場方法可成功求得

國土測繪中心工業相機內方位參數；自強工程其相機選用 Ladybug 全景相機，相機內方位參數採用空三解算軟體 Metashape 內建之自率定方法，亦可成功求解全景相機內方位參數。將求得之內方位參數帶回空三解算，初步成果顯示，自強工程與測繪中心誤差皆小於 1 個 pixel，以本案選用之相機約 2 至 3 公分，精度符合需求。

然而於求解軸角/固定臂率定及直接地理定位結果，自強工程顧問於外業資料蒐集時發生系統異常，導致快門拍照時間未能正確對應每張影像，發生錯位情況發生，進而影響軸角/固定臂率定成果及精度，最終影響直接地理定位精度，故影像式成果僅針對國土測繪中心成果進行說明。影像式移動測繪系統直接地理定位平面及三維精度為 0.129 及 0.139 公尺，參考 104 及 105 年度發展車載移動測繪系統(MMS)作業採購案工作總報告書，其精度成果一致，未來可應用於國土利用調查及臺灣通用電子地圖圖資更新等作業。

第六節 小結

本案研提車載移動測繪系統率定程序，光達式 LMS 系統選用 TerraMatch 建議之軸角及固定臂率定作業流程，影像式率定採兩階段率定法，搭配自行開發程式計算相機與定位定向系統之相對關係。於試辦作業採用研擬之率定方法，至少辦理 2 部(含國土測繪中心及自強工程顧問有限公司)車載移動測繪系統率定作業，並出具率定報告。初步成果顯示，採用第 1 種方法，包含一棟建物及前方有空地情況，軌跡路線包含左右往返掃描資料，以及與建物 45 度角運行方向進行點雲資料蒐集，或選用第 2 種方法，藉由 2 個以上方向交叉及往返掃描資料，進行資料蒐集，皆可成功取得軸角/固定臂率定成果，國土測繪中心及自強工程顧問有限公司車載移動測繪系統，光達平面精度分別為 0.141 及 0.044 公尺、三維精度為 0.204 及 0.073 公尺。

參考第貳章率定技術介紹及率定場選擇原則，本案初步選擇中部地區 6 處國有土地，提供國土測繪中心參考，並完成實際踏勘調查。綜合依據率定感測器、距離國土測繪中心遠近、場地管理及維護等條件，文山水資源回收中心、港灣技術研究中心、中興新村高等研究園區(工管組)可優先做為率定場規劃評估，中部科學園區管理局、中興新村中興會堂、國立中興大學創新育成中心次之。

第肆章 系統安裝改善作業

第一節 移動測繪系統安裝改善作業

本案移動測繪系統選用之載具如圖 4-1 所示，整體架構包含定位定向系統(GNSS、IMU、輪速計)、資料擷取系統(光達設備、7 部工業級數位相機)、移動測繪系統整合式平台等，以下為各子系統說明。



車身型式	休旅車
車門數	5門
座位數	5人座
車長	4555 mm
車寬	1770 mm
車高	1745 mm
車重	1615 kg
軸距	2750 mm

圖 4-1 本案車載移動測繪系統外觀

■ 定位定向系統

採用加拿大 NovAtel 衛星定位儀 ProPak6TM(圖 4-2)搭配 ANT-702-GG 天線盤(圖 4-3)做為 LMS 定位資訊感測器，提供定位位置資訊。



圖 4-2 衛星定位儀



圖 4-3 天線盤

慣性量測元件 iMAR-FSAS 採用加拿大 NovAtel 做為 LMS 定向姿態角資訊感測器；輪速計採用德國 CORRSYS-DATRON 所開發的 Incremental Wheel Pulse Transducer(WPT)，相關設備如圖 4-4 及圖 4-5 所示。



圖 4-4 慣性量測元件



圖 4-5 輪速計

■ 資料擷取系統

影像感測器採用加拿大 Point Grey Research, Inc. 所開發之 910 萬畫素彩色工業級相機(型號為 GS3-U3-91S6C-C)搭配日本 VS Technology 公司製造之 8 毫米定焦鏡頭(型號為 VS-0814H1)做為本案車載移動測繪系統之次要感測器，如圖 4-6 所示。

光達系統為 Pentax 公司之 S-2100，提供高精度高速相位式雷射掃描儀資料，系統如圖 4-7 所示。點雲資料儲存於光達系統內建儲存裝置，資料儲存格式為原廠自訂格式(zfs)，可藉由原廠程式進行資料解譯成 LAS 或 ASCII 格式。圖 4-8 所示為 Z+F 原廠率定證明書，於目標物 50 公尺時，光達系統掃瞄點雲精度可達 0.9 毫米。參考規格書說明，光達系統內建記憶體空間 128GB 可滿足作業時間 8 小時。



圖 4-6 影像感測器



圖 4-7 光達設備

Certificate ID: 4298_20170911_1048_CL01



CERTIFICATE OF CALIBRATION

Manufacturer	Zoller + Fröhlich GmbH
Model	Pentax S-2100
PROFILER Serial-Nr.	4298
LARA Serial-Nr.	717107
Calibration date	11.09.2017
Calibration intervall***	12 month
Calibration place	Z+F GmbH, calibration facility Wangen

LARA- & deflecting system calibration-parameter

Parameter	Specifications	Measured Value	Result
Linearity error	≤ 1.0 mm	0.4 mm	Pass
Range noise at 0.5m *			
> Reflectivity 14% (black)	≤ 1.3 mm	0.7 mm	Pass
> Reflectivity 37% (grey)	≤ 0.8 mm	0.3 mm	Pass
> Reflectivity 80% (white)	≤ 0.5 mm	0.3 mm	Pass
Range noise at 1.0m *			
> Reflectivity 14% (black)	≤ 1.0 mm	0.7 mm	Pass
> Reflectivity 37% (grey)	≤ 0.6 mm	0.3 mm	Pass
> Reflectivity 80% (white)	≤ 0.5 mm	0.3 mm	Pass *
Range noise at 2.0m *			
> Reflectivity 14% (black)	≤ 0.8 mm	0.5 mm	Pass
> Reflectivity 37% (grey)	≤ 0.5 mm	0.2 mm	Pass
> Reflectivity 80% (white)	≤ 0.3 mm	0.2 mm	Pass
Range noise at 5.0m *			
> Reflectivity 14% (black)	≤ 0.6 mm	0.4 mm	Pass
> Reflectivity 37% (grey)	≤ 0.4 mm	0.2 mm	Pass
> Reflectivity 80% (white)	≤ 0.3 mm	0.2 mm	Pass
Range noise at 10m *			
> Reflectivity 14% (black)	≤ 0.5 mm	0.4 mm	Pass
> Reflectivity 37% (grey)	≤ 0.3 mm	0.2 mm	Pass
> Reflectivity 80% (white)	≤ 0.2 mm	0.2 mm	Pass
Range noise at 25m *			
> Reflectivity 14% (black)	≤ 1.1 mm	1.0 mm	Pass
> Reflectivity 37% (grey)	≤ 0.6 mm	0.5 mm	Pass
> Reflectivity 80% (white)	≤ 0.4 mm	0.4 mm	Pass
Range noise at 50m *			
> Reflectivity 14% (black)	≤ 3.1 mm	2.8 mm	Pass
> Reflectivity 37% (grey)	≤ 1.4 mm	1.3 mm	Pass
> Reflectivity 80% (white)	≤ 0.9 mm	0.6 mm	Pass
Vertical accuracy ** (High Enc)	0.020* rms (= 0.349 mrad)	0.121 mrad	Pass

Calibration performed by

(Staff: E. Poremski / 11.09.2017)

Document reviewed by

(Service manager: Dr. C. Bolkart / 11.09.2017)

Zoller + Fröhlich GmbH
Röntgenstraße 22
82520 Wangen im Allgäu
Germany
☎ +49 7503 9038-0
☎ +49 7503 9038-250 (VWS/RS)
☎ +49 7503 9038-278 (Einkauf)

www.zf.com
US: 1741 - DE: 11000000
DE: 11000000 - 1100000000
WKS: 11000000 - 1100000000
Case Manager:
Dr. Ina Christmann (Frankfurt)

Kreisgenossenschaft Ravensburg
Kto-Nr. 221 0001 BLZ 8917 5501 0
IBAN: DE44 0001 0000 0000 0000 0000
BIC: Code: SOLADE3333
Hypo Vereinsbank Wangen
Kto-Nr. 5 405 000 0 BLZ 603 100 00
IBAN: DE30 6030 0000 0000 0000 0000
BIC: Code: HYVEDE3333

Süddeutsche Bank
Kto-Nr. 5 542 100 0 BLZ 600 600 00
IBAN: DE99 6000 0000 0000 0000 0000
BIC: Code: SDBLDE3333
Postbank Stuttgart
Kto-Nr. 40 07 011 BLZ 600 100 700
IBAN: DE25 0000 0000 0000 0000 0000
BIC: Code: P2K1DE3333

1/2

圖 4-8 光達設備原廠率定證明書

■ 移動測繪系統整合式平台

其裝載衛星定位儀、天線盤、慣性量測元件、影像感測器、光達設備及 3 部控制電腦為一體式平台，系統整合平臺及安裝情形如圖 4-9 所示，系統機電整合架構圖如圖 4-10 所示。

第肆章



圖 4-9 移動測繪系統整合式平台

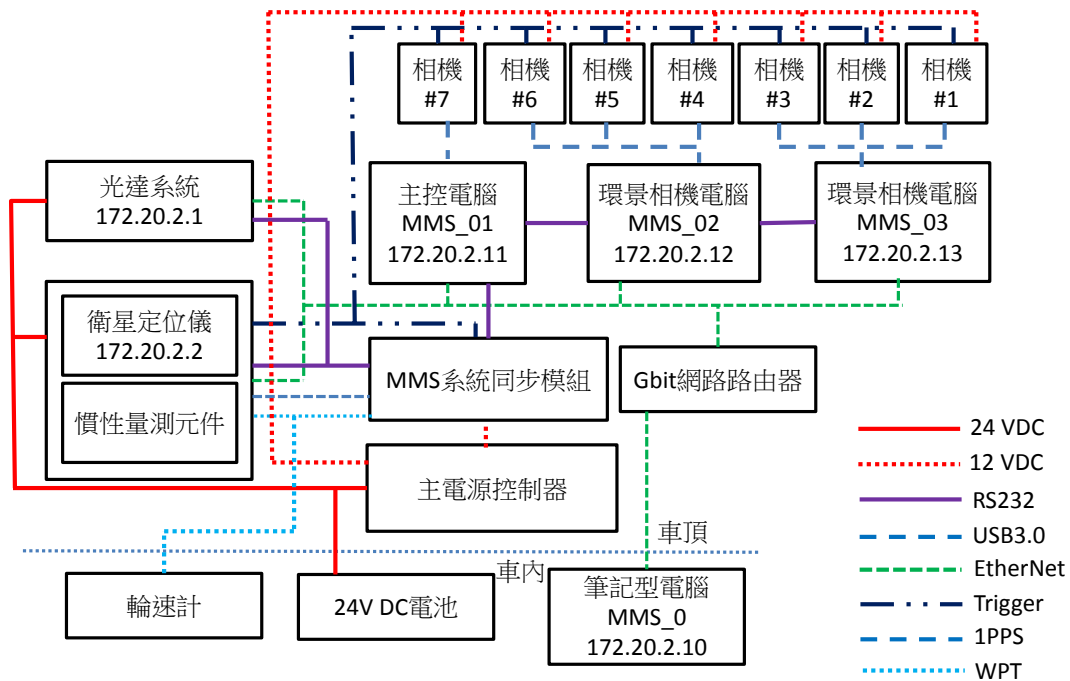


圖 4-10 機電架構圖

移動測繪系統整合式平臺目前約重 70 公斤，本公司規劃以下方法來減低操作人員安裝設備之負擔，期提高作業人員之操作便利及作業效率。然而本設備為量測儀器，基本的設計原則不容忽視，如保持 IMU 與相機及光達掃描器之間的剛性，各系統之間連線的方式等，皆為重要的系統整合參數。初步針對人力安裝訓練、使用輔助工具、整合式系統輕量化架構設計等進行評估。

4.1.1 現有裝載車載設備人員配置概述

參考目前標準安裝作業程序，包含整合設備提起(圖 4-11)、舉起(圖 4-12)、橫向移動(圖 4-13)、設備掛在車頂架、一人至車頂將掛在車頂架邊緣的設備並於車旁人員協助下拖進車頂架卡槽、定位後插入

固定栓、完成裝載設備於車頂上的機械作業。拆機作業為安裝反向工程作業，一人在車頂拔除固定栓、在車旁人員的協助下將設備順卡槽以推拉方式移動至車頂掛架邊緣、該員下車頂加入橫向移動作業、離開車頂架後再由舉轉為下提動作、完成機構拆機作業。



圖 4-11 整合式平台安裝作業程序：提起



圖 4-12 整合式平台安裝作業程序：舉起



圖 4-13 整合式平台安裝作業程序：橫向移動

整體而言，人工作業最能適應各種狀況之安裝方式，然而將重達 70 公斤的設備進行上舉、橫移、轉移動作，需反覆練習方能勝任，優點為最能確保設備的安全性及精確度。故依目前的標準作業程序，基本人數為 3 人，4 人為較妥善之配置，其中 1 人為車頂安裝手，在該員移動時另外 2 至 3 人須支撐暫掛在車頂卡槽邊緣的主設備，並於車頂手預備好後，協同作業將設備橫向移動推進車頂架。

4.1.2 配合輔助工具安裝

本案第二種安裝改善作業方式，規劃使用輔助工具電動升降機搭配工作梯，由側裝或尾裝方式安裝整合式平台。升降機與工作梯如圖 4-14 所示，表 4-1 及表 4-2 所示為電動升降機及工作梯規格表，其收起狀態時方便攜帶(圖 4-15)，展開狀態時可負載 130 公斤(圖 4-16)，可支撐本案整合式平台約 70 公斤重量，同時可升高至少 170 公分高(圖 4-17)，減少操作人員舉起設備所需之高度。參考本案車量載具高度，當升高至 170 公分時需舉起約 30 公分高度即可將設備置於車頂架邊緣，若升高至與車頂架同高時，僅需橫向移動至車頂卡槽即可。當電動升降機無電力供應或發生突發狀況時，亦可藉由手動方式操作，以人工操作方式進行升降，作業情況如圖 4-18 所示。



圖 4-14 電動升降機與工作梯

表 4-1 電動升降機規格表

機型	立豐達 LF-360
最大功率	1100 瓦
載重量	130 公斤
揚升高度	357 公分
基本高度	100 公分
主體重量	23.6 公斤
頂板重量	4.6 公斤
操作長寬尺寸	113 x 123 公分
操作對角尺寸	160 x 160 公分
收合尺寸	25 x 27 x 97 公分

表 4-2 工作梯規格表

機型	UdiLife 二階多功能鋁梯
載重量	350 公斤
揚升高度	55 公分
主體重量	3.5 公斤
操作尺寸	49 x 60 x 97 公分
收合尺寸	49 x 8 x 106 公分



圖 4-15 電動升降機升起狀態



圖 4-16 電動升降機展開狀態



圖 4-17 電動升降機升高至 170 公分情形



圖 4-18 電動升降機手動操作升降

選用電動升降機輔助裝機，其優點為可收納且操作方便及安全設計，其頂板可貼近車頂架，腳架設置快速插銷，可調使頂板距離 3 公分的設計，可滿足輔助主設備上舉之需要。然而其上舉後的設備已離開地面裝置人員，舉至預定位置後離車頂架底盤仍有一段距離，當舉起之設備未位於升降機底盤中心，地面人員需注意升降機底盤是否不穩之疑慮發生。當設備底盤被舉起至離地超過 180 公分時，地面裝置人員操控設備難度增加，設備橫向移動仍需靠車頂人員完成，故車頂需配置 2 人將設備置入車頂架，地面裝載人員協助指揮車頂人員拖進車頂架卡槽，避免車頂人員施力不當造成不穩摔落情況發生。

第二節 系統輕量化規劃

106 及 107 年度車載移動測繪系統作業採購案之規範為將所有設備建置於一個機體內，包含 GNSS、IMU、工業相機 7 部、光達、同步控制器、電腦 3 部、網路、內部配線及電力設備等，其主要目標就是讓整個系統有運用上的靈活度，可裝載於測繪車及電動推車上，適用不同的場景，皆能發揮及達成其應有的測繪工作。

於本規劃案輕量化設計的方向有下列的考量及趨勢，第一種為部分材料考慮更換成複合材料，以經緯航太複合廠內製造使用為考量，數據為每立方公分 1.6 克，與現有 6061 鋁金合比較，重量每立方公分可減少 1.1 克。

參考目前設計樣式為整合一體，規劃選擇拆件方式減輕各別單一件式之重量，可分為 2 件式或 3 件式方案。然而除設備原有重量外，外殼選擇單度非常低的 6061 鋁合金(每立方公分 2.7 公克)，整個主設備的重量約為 70 公斤，鋁合金密度及基本特性如表 4-3。

表 4-3 鋁合金密度及基本特性表

鋁合金類別	單位密度(公克/立方公分)	特性
2024	2.77	好的疲勞強度、不可焊接、加工性能一般。由於抗腐蝕性差，通常用鋁鋅夾板作為保護，這樣做的結果將會降低疲勞強度
5052	2.68	中強度之加工硬化合金，成形加工性及耐蝕性非常好，耐久性能也好
6061	2.7	耐蝕性好，強度中等度。熔接充分。測繪車支架目前使用本類別。
7050	2.83	具有極高的強度及抗剝落腐蝕和抗應力腐蝕斷裂的性能，常用於飛機機構件

第二種為切割成兩件式，維持一定剛性條件下進行分割，分成光達與定位定向系統、相機與機電系統兩部分，光達與定位定向系統重量約為 45 公斤，相機與機電系統約為 30 公斤，示意圖如圖 4-19 所示。設置配置圖示意圖如圖 4-20 所示，車頂後方為光達、衛星定位儀及慣性測量儀，於車頂中間位置設置影像感測器及控制電腦，兩組設備的底盤以機械結構固鎖裝置固定及定位，以確保拆裝作業影響設備精度，將儘量控制設備的變形量，安裝時仍以側裝方式進行。相關設備改善預算如表 4-4 所示。

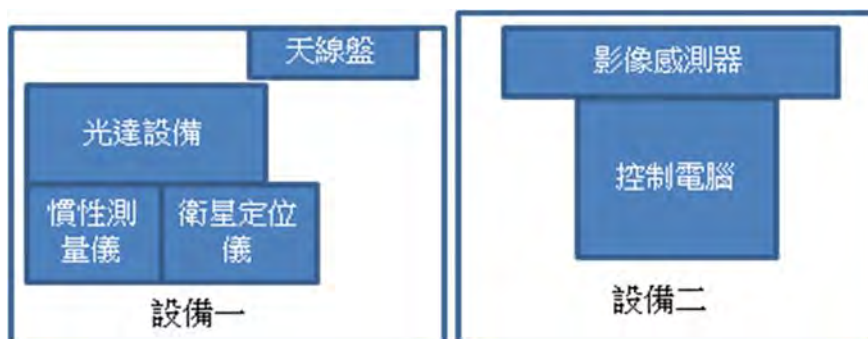


圖 4-19 兩件式配置示意圖

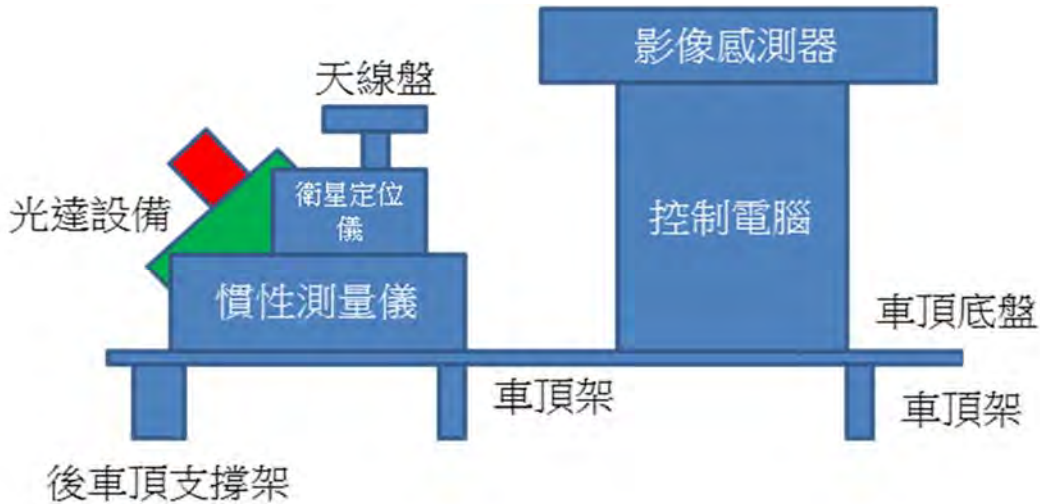


圖 4-20 設備配置於車頂示意圖

表 4-4 車裝設備改善工程項目及預算

項目	預算(萬)
兩件式外殼機構設計及機電整合費用	150
兩件式外殼機構製作及模具費(共四套模)	240
車頂架設計與製作	60
電動推車(配合兩件式架構)	45
項目	人力(人/月)
機構設計	2
機構製作及整合測試	8
系統測試及驗收	2

第三種建議方式為，依照未來任務需求考量，減少相機數量，並進行機構重新設計。如相機減少至僅有 1 組相機組成立體像對，如此一來可藉由此組相機進行前方交會量測，亦可進行點雲上色，同時可減少電腦數量，進一步降低電力需求減少電池數量。

綜觀以上方法各有優缺點，其共通性為：(1)設備安裝底盤需依不同情況進行修改；(2)各分項重量減輕，但整體總重量會增加，分件愈多增加的部分愈大；(3)重組後是否需重新率定，原設備為一體式架構，無拆裝後需率定議題，分件式存在此議題，雖機構將以接近密合方式架構進行設計組裝，機電整合是否能在一定變形量的考量之下，控制其組裝誤差，是否每次拆裝皆會影響測量精度需再進行驗證。

第五章 影像正射糾正軟體

第一節 TerraPhoto 說明

光達點雲處理軟體於 106 及 107 年度發展車載移動測繪系統作業採購案購入 TerraSolid 系列軟體(包含 TerraMatch、TerraScan、TerraModeler),如圖 5-1 至 5-3 所示。TerraSolid 模組需於 MicroStation 底下執行,依需求載入 TerraScan、TerraMatch、TerraModeler 等模組。作業開始後需依序設定坐標系統、載入及設定定位定向系統欄位、點雲 LAS 格式資料等,接著進行點雲資料處理區域分割,若為空載光達大都以飛行航帶進行分區塊。開啟 TerraMatch 進行點雲平差作業,透過不同測站間重疊範圍進行點雲匹配,車載移動測繪系統可藉由多次來回觀測,類似空載航線重疊概念,取得單一物件多筆資料,進行重覆觀測資料匹配及平差,剔除錯誤資料,取得改正量修正點雲及軌跡,提升原始光達點雲品質及精度。並藉由外部控制點擬合,匯入及量測控制點,坐標轉換取得三維點雲真實位置。完成點雲資料前置處理後,可藉由 TerraScan 進行點雲分類及點雲編輯等作業。

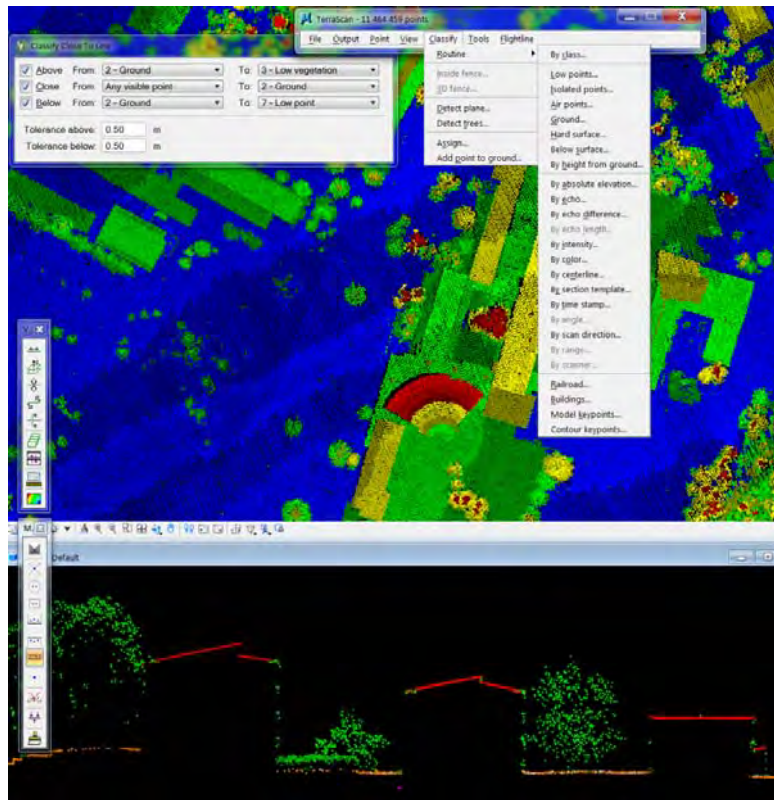


圖 5-1 TerraScan 點雲分類(摘自 <http://www.terrasolid.com/>)

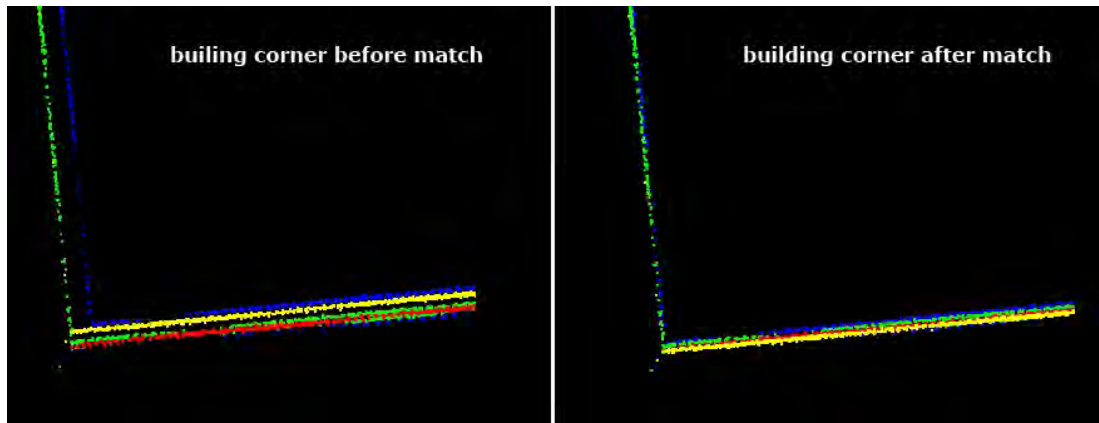


圖 5-2 TerraMatch 應用於(左)改正前；(右)改正後點雲結果(摘自 <http://www.terrasolid.com>)

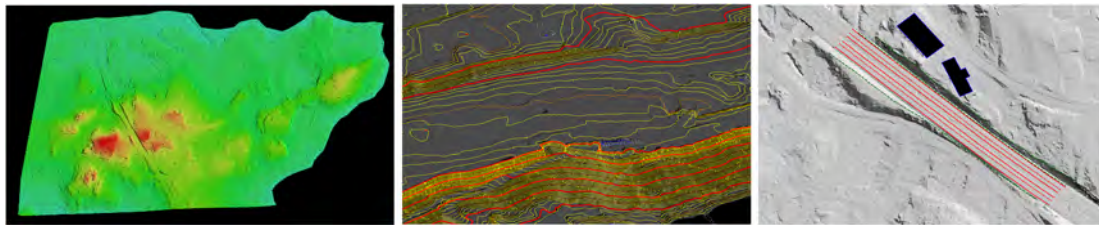


圖 5-3 TerraModeler(左)表面陰影；(中)輪廓線；(右)特徵線結果(摘自 <http://www.terrasolid.com/>)

本年度計畫配合國土測繪中心現有作業環境並與 Terra solid 軟體搭配使用，可匯入具有地理定位及相機內方位資訊之影像，使光達點雲賦予可見光 RGB 顏色資訊，匯入影像格式須支援正射影像、一般相機拍攝影像及全景相片(等距長方投影 equirectangular)等功能。本案選用 TerraSolid 模組 TerraPhoto 做為賦予點雲顏色之軟體，圖 5-4 所示為 TerraPhoto 原廠授權證明，TerraPhoto 為利用地面雷射點雲對應數位影像進行正射糾正產生正射影像的軟體，其廣泛應用於光達系統運作時產生之影像執行正射糾正，正射糾正過程可不使用任何控制點。後續亦可藉由工業相機或全景相機等彩色影像，可得到上色後彩色點雲，符合真實樣貌的三維點雲模型，圖資數化更新亦因點雲存在 RGB 資訊，更易於辨識，如圖 5-5 所示。

YOUR CONTACT INFORMATION

Customer: National Land Surveying and Mapping Center (Taiwan)
 Street: 4F, No.497, Liming Rd., Sec.2
 P.O. Box:
 Postal code:
 City: Taichung City 408
 Country: Taiwan
 Phone:
 Telefax:
 VAT:

Persons	First and last name	Department	Email
Contact:	Wen-Yan Jung		ma@mail.nlsc.gov.tw
Account:	Wen-Yan Jung		ma@mail.nlsc.gov.tw
Users:	Wen-Yan Jung		ma@mail.nlsc.gov.tw

Please inform Terrasolid, if your contact information above is not valid.

This document confirms your rights to use the Terrasolid software packages with the licenses as listed below

Terrasolid Network Licenses Version 019.xxx

To install the new applications as their licenses, please notice as follows:

- Terrasolid software runs on Bentley's products. Go to https://www.terrasolid.com/ssl/download_software.php to check compatible Bentley Software.
- Use 64-bit Windows with minimum 8 GB RAM for 32-bit applications and minimum 16 GB RAM for 64-bit applications.
- The same licenses are valid to 32-bit and 64-bit versions.
- See step by step installation instructions here http://www.terrasolid.com/products/license_server_manager.php
- If you encounter any problem, please contact info@terrasolid.com

List of your licenses to version 019.xxx

No.	Product Name	Serial Number	User Name	Server name	Server ID
1	TerraMatch	190197691324	National Land Surv. Taiwan - lic1	DESKTOP-N951174	075408139AA3
1	TerraModeler	010197693370	National Land Surv. Taiwan - lic1	DESKTOP-N951174	075408139AA3
1	TerraPhoto	030197693449	National Land Surv. Taiwan - lic1	DESKTOP-N951174	075408139AA3
1	TerraScan	020197633535	National Land Surv. Taiwan - lic1	DESKTOP-N951174	075408139AA3

圖 5-4 TerraPoto 原廠授權證明



圖 5-5 TerraPoto 彩色點雲範例(摘自 <http://www.terrasolid.com/>)

TerraPhoto 執行正射糾正作業時具有以下的特點：影像糾正不需使用控制點、根據地表面精確建構出雷射點三角形模型、影像根據高程值逐一像素進行糾正、自動平滑化解算兩個影像間的色差。而 TerraPhotoViewer 軟體模組同樣需於 MicroStation 環境下使用，其增強的緩沖儲存器可用於 TIN 等大面積地形資料，三維流覽高解析度正射影像之模組。主要功能為可於影像間進行互動導航，進行三維流覽，操作、可視化、放置向量地物、標籤、標圖等。

第二節 TerraPhoto 資料處理流程

MicroStation 主畫面如圖 5-6 所示，依需求載入 TerraSolid 模組，TerraPhoto 點雲上色需搭配 TerraScan 進行處理，以下為資料解算流程：

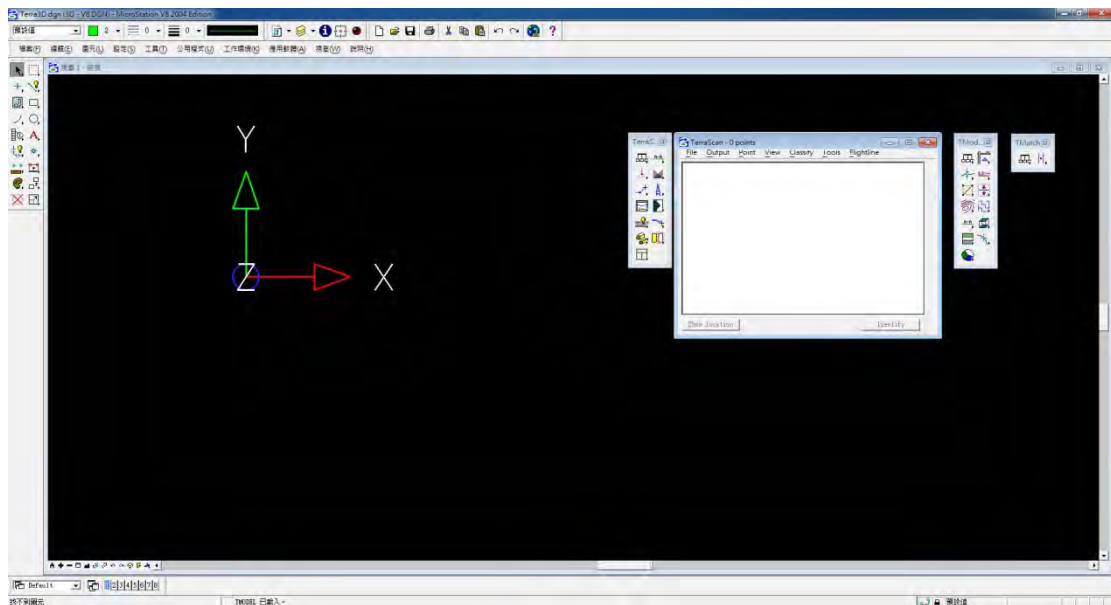


圖 5-6 MicroStation 主畫面

1. 載入軌跡，坐標系統轉換為 TWD97。

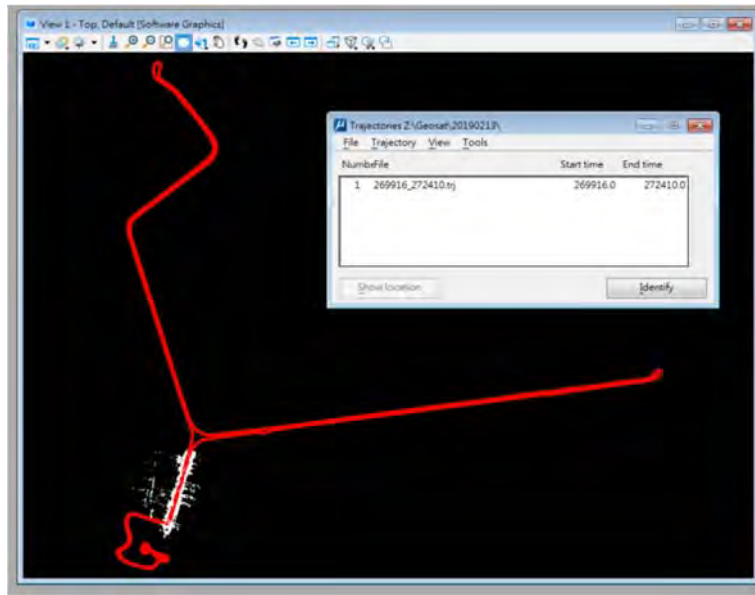


圖 5-7 載入軌跡資料

- 載入點雲資料，坐標系統轉換為 TWD97。

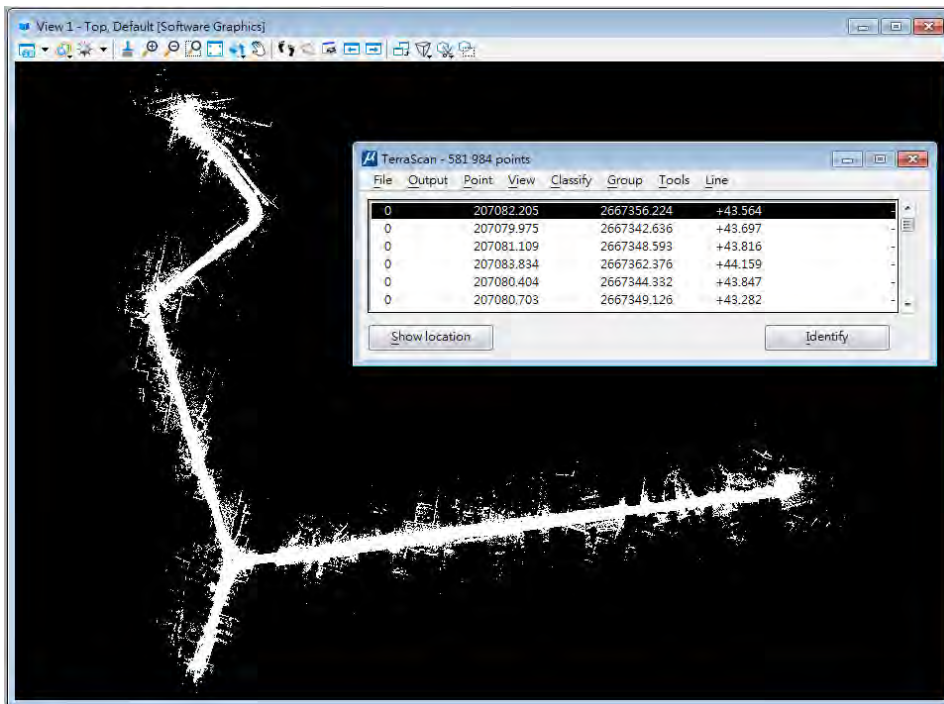


圖 5-8 載入點雲資料

- 設定相機內方位率定參數，如圖 5-9 所示。

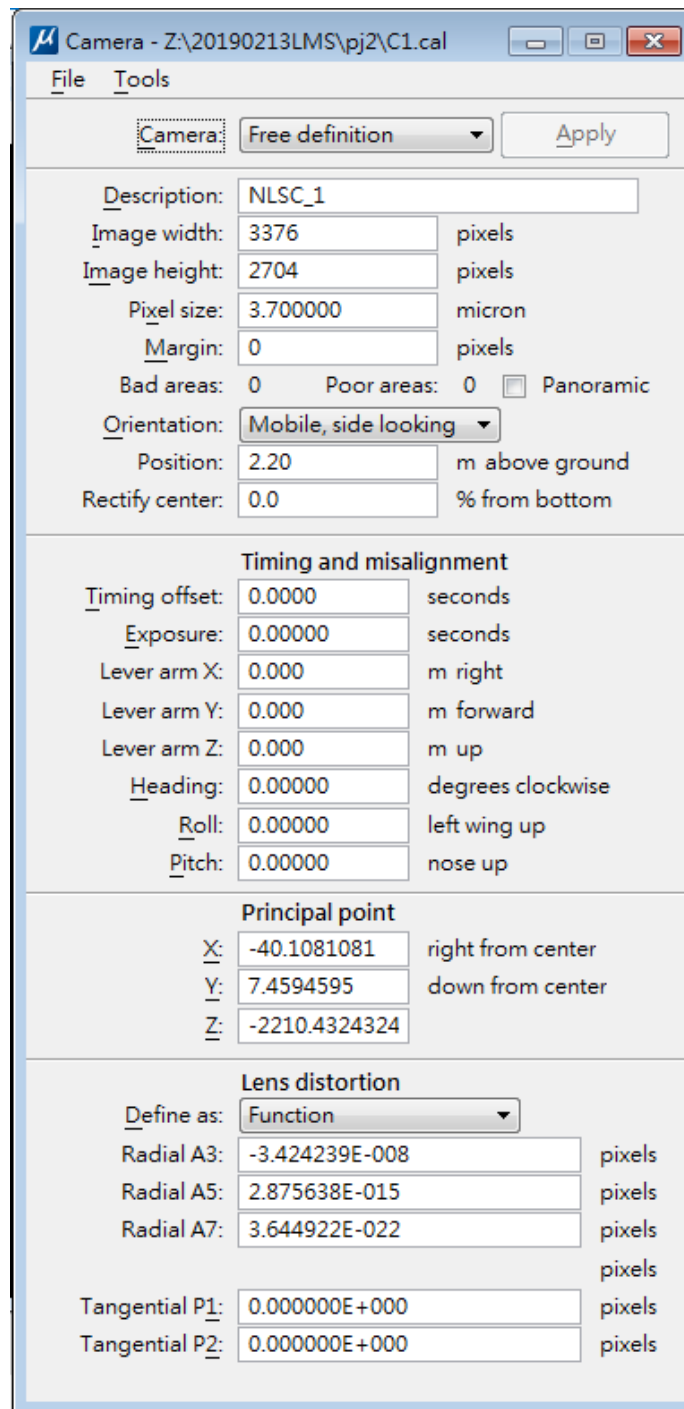


圖 5-9 設定相機內方位率定參數

4. 於 TerraPhoto 模組底下，建立新的專案如圖 5-10 所示。

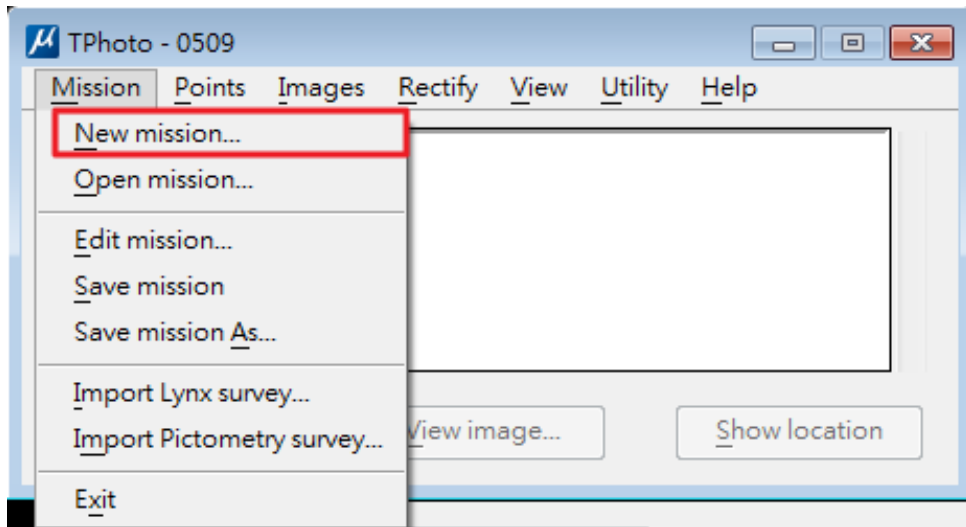


圖 5-10 建立 TerraPhoto 專案

5. 設定專案內各臺相機資料夾路徑及相關參數如圖 5-11，選擇相機及 Edit 按鈕可編輯各台相機資訊如圖 5-12 所示。

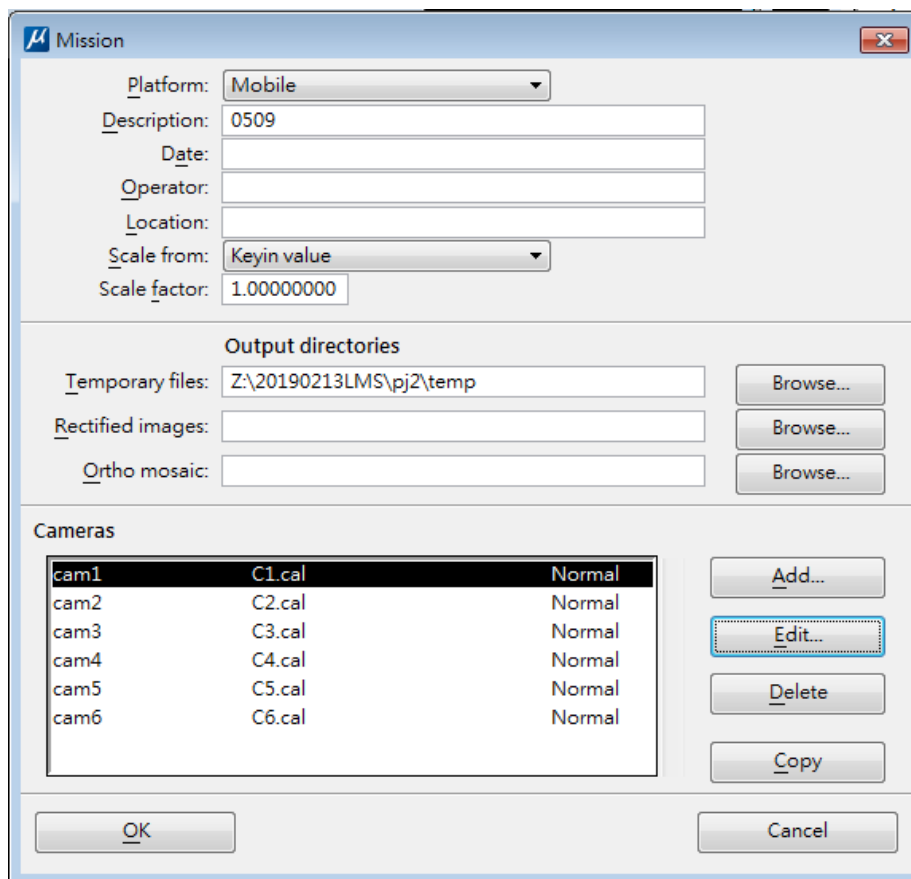


圖 5-11 設定專案內各臺相機資料夾路徑及相關參數

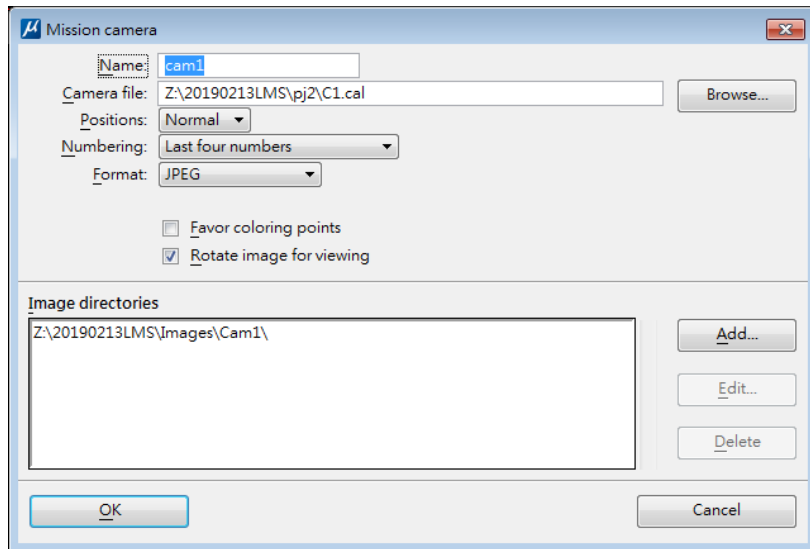


圖 5-12 各臺相機率定參數檔案及相關參數

6. 設定相片外方位格式如圖 5-13 所示。

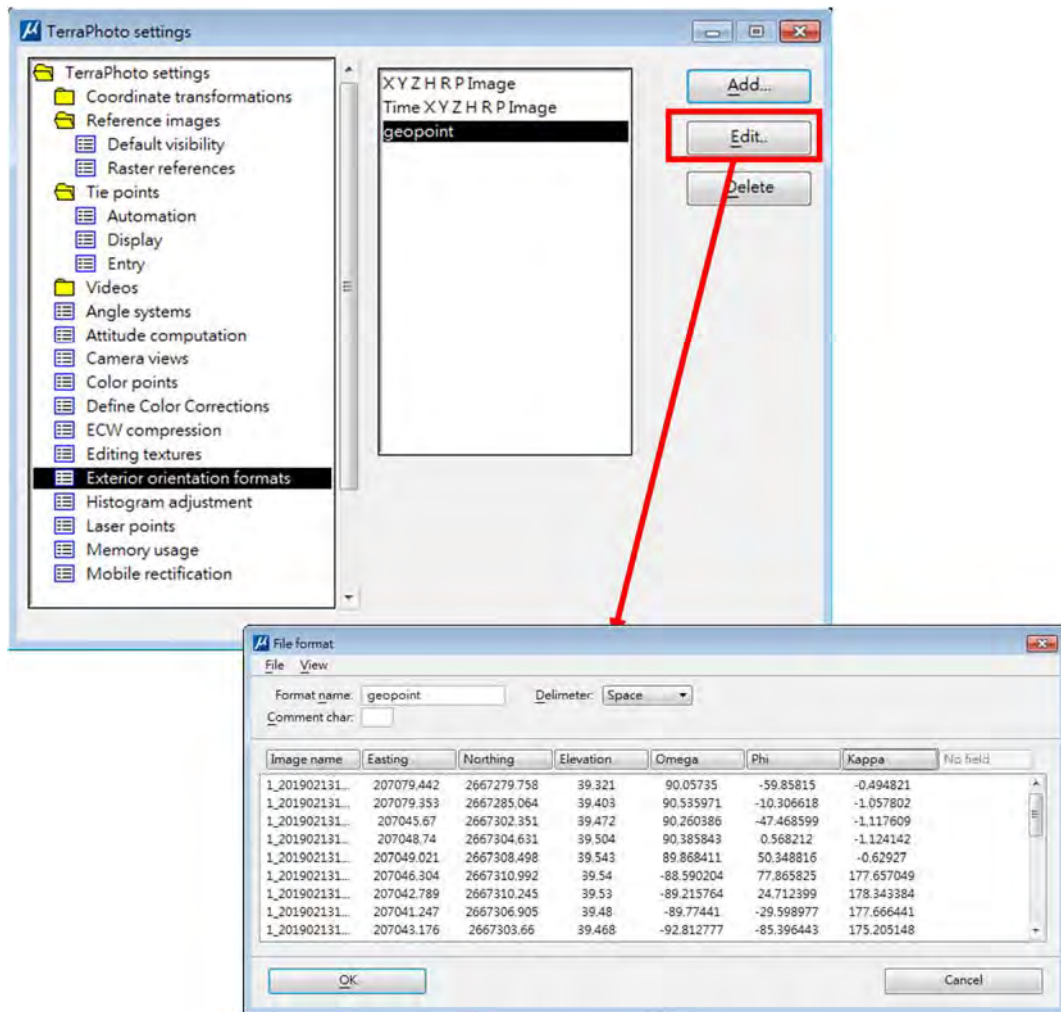


圖 5-13 設定相片外方位格式

7. 選擇讀取相片如圖 5-14 所示。

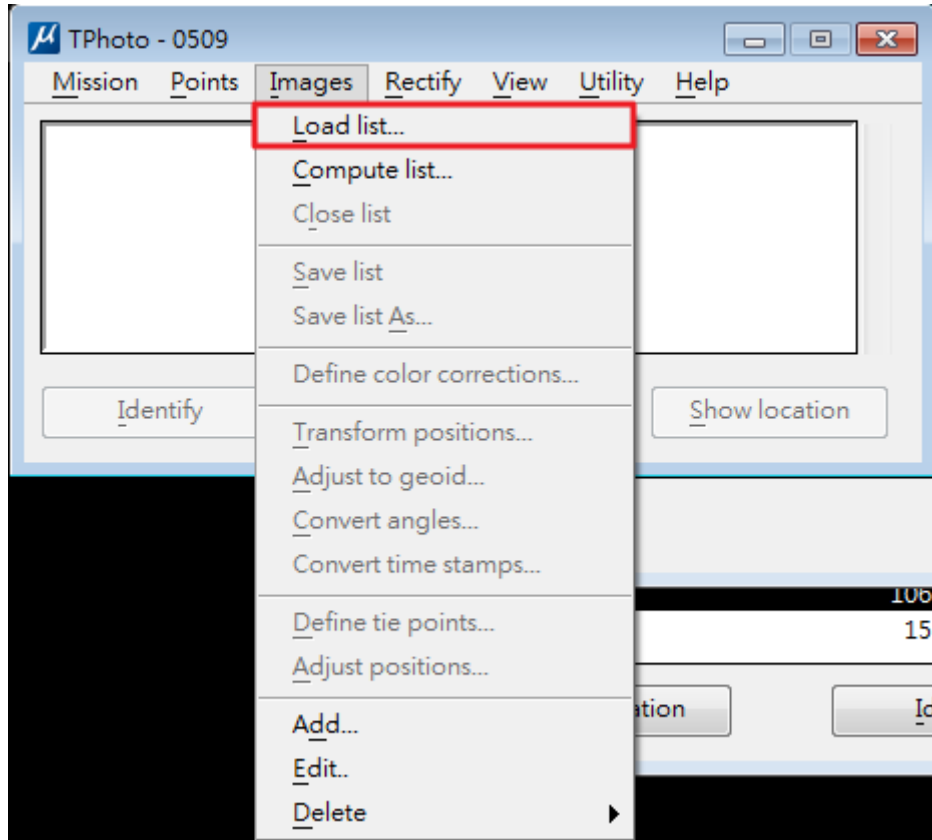


圖 5-14 選擇相片

8. 萃取彩色資訊如圖 5-15 所示。

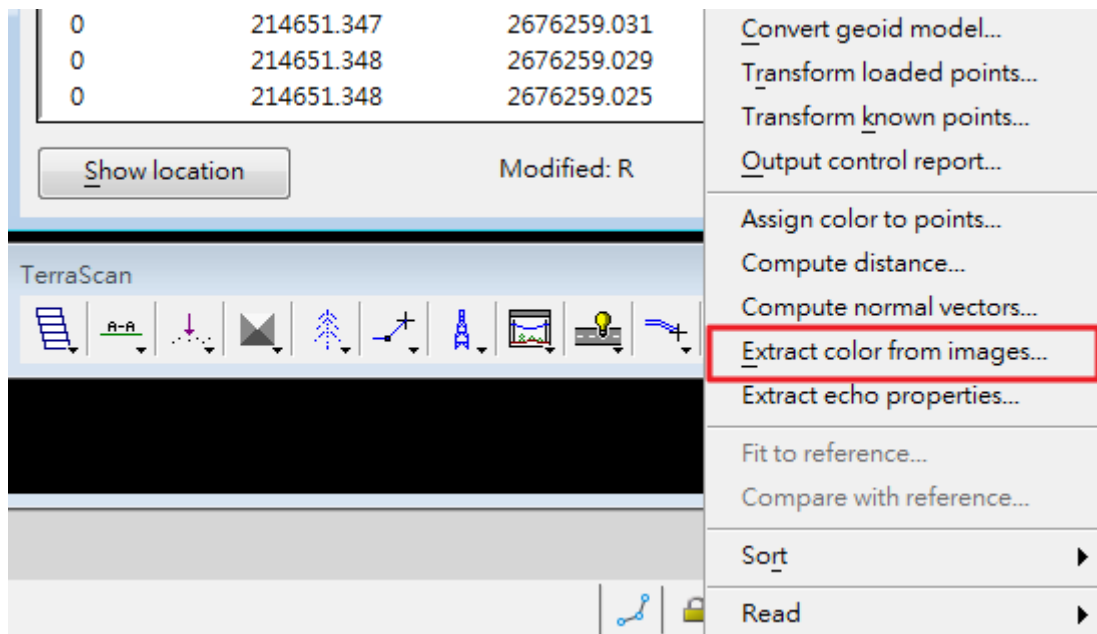


圖 5-15 萃取彩色資訊

9. 點雲上色成果如圖 5-16 及圖 5-17 所示。

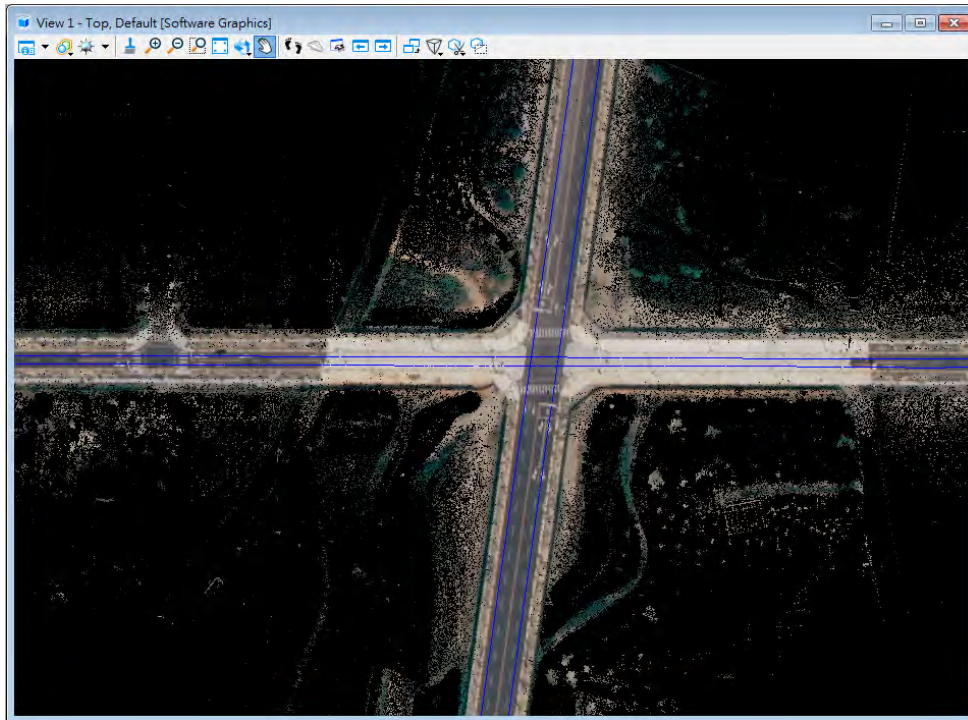


圖 5-16 點雲上色成果 1

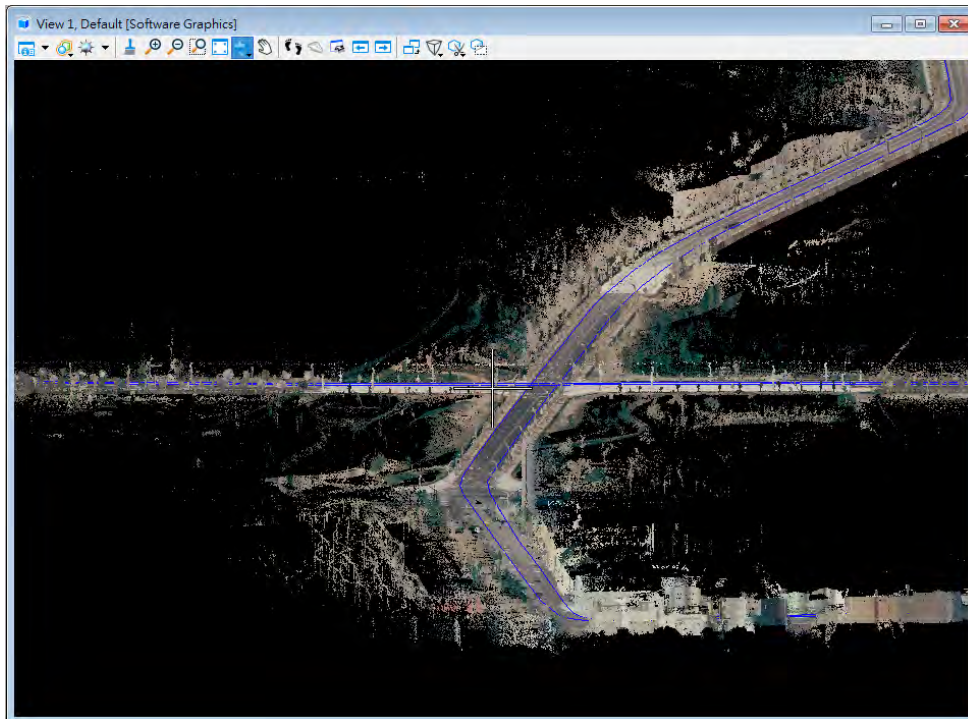


圖 5-17 點雲上色成果 2

第陸章 成果展示作業及教育訓練

第一節 成果展示作業

根據本案契約要求，配合測繪中心相關成果發表會流程內容，協助辦理車載移動測繪系統展示作業及製作相關展示海報，並派員於展示場協助進行解說。本案於 108 年 3 月 26 日協助辦理監察院業務巡察作業展示如圖 6-1 及圖 6-2 所示；108 年 8 月 29 日至 8 月 30 日協助辦理第 38 屆測量研討會海報製作及測繪車展示如圖 6-3 及圖 6-4 所示。



圖 6-1 監察院業務巡察作業展示(108 年 3 月 26 日)



圖 6-2 監察院業務巡察作業展示(108 年 3 月 26 日)

車載移動測繪系統

車載移動測繪系統(Mobile Mapping System, MMS)可結合精密整合式定位定向系統、光達、數位影像感測器等，具有高機動特性，可補足航遙測資料獲取的空隙，加速空間資料獲取。國土測繪中心於106及107年度完成光達移動測繪系統建置，期能掌握先進測量技術並發揮其測繪能量，以達到圖資快速更新，提供國家經建政策規劃推動及防救災領域所需即時且正確的基礎圖資。

空間資訊蒐集作業



監控作業情形



內業處理



輔助圖資更新



效益

- 一、輔助圖資更新作業，加速圖資更新速度。
- 二、減少大量外業作業，保障作業人員安全。
- 三、相關系統自行開發，國內產業技術升級。

圖 6-3 第 38 屆測量研討會海報製作(108 年 8 月 29 日至 8 月 30 日)



圖 6-4 第 38 屆測量研討會測繪車展示(108 年 8 月 29 日至 8 月 30 日)

第二節 辦理教育訓練

根據合約要求應於第 2 階段完成教育訓練，本案已於 108 年 4 月 22 日進行光達移動測繪系統操作(含影像正射糾正軟體操作)教育訓練，時間表如表 6-1 所示，地點位於本公司中科廠房，教育訓練簽到表如表 6-2 所示，教育訓練情形如圖 6-5 及圖 6-6 所示。

表 6-1 108 年光達移動測繪系統操作(含影像正射糾正軟體操作)教育訓練時間表

內政部國土測繪中心 108 年度教育訓練
108 年度發展光達移動測繪系統 (LMS) 光達移動測繪系統操作訓練
課程配當表

日期 時間	1 0 8 年 4 月 2 2 日 (星 期 一)
9:00 § 9:10	報到
9:10 § 10:00	光達移動測繪系統發展
10:10 § 12:00	光達移動測繪系統軟體介紹
12:00 § 13:00	午休
13:00 § 13:50	光達移動測繪系統軟體操作說明
14:00 § 14:50	光達移動測繪系統軟體上機實作
15:00 § 15:50	光達移動測繪系統軟體上機實作
備註	1. 本次訓練課程內容為光達移動測繪系統 (LMS) 介紹及操作訓練。 2. 訓練人數：國土測繪中心各業務課，計 6 人。 3. 訓練場地：內政部國土測繪中心。 (地址：臺中市南屯區黎明路 2 段 497 號 4 樓)

表 6-2 108 年光達移動測繪系統操作(含影像正射糾正軟體操作)教育訓練簽到表

4/22 108年度發展光達移動測繪系統(LMS)光達移動測繪系統操作教育訓練						
						108/04/22
編號	單位	職稱	姓名	上午簽到	下午簽到	備註
1	地形及海洋測量課	課長	王敏雄	王敏雄	王敏雄	
2	地形及海洋測量課	技正	林世賢	林世賢	林世賢	
3	地形及海洋測量課	課員	許展祥	許展祥	許展祥	
4	地形及海洋測量課	課員	鍾文彥	鍾文彥	鍾文彥	
5	地形及海洋測量課	技士	施錦揮	施錦揮	施錦揮	
6	地形及海洋測量課	技士	朱德原	朱德原	朱德原	
7	地形及海洋測量課	技士	許溥鑫	請假	請假	
8	地形及海洋測量課	技士	游政恭	游政恭	游政恭	
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

講師：蔡盈倫 曹雅文

工作人員：曾若棟 張庭果 華中

第陸章



圖 6-5 108 年光達移動測繪系統操作(含影像正射糾正軟體操作)教育訓練現場 1



圖 6-6 108 年光達移動測繪系統操作(含影像正射糾正軟體操作)教育訓練現場 2

第柒章 結論及未來建議

第一節 結論

本案於 108 年度辦理車載移動測繪系統資料蒐集，盤點國內外車載移動測繪系統包含內政部國土測繪中心、國立成功大學、台灣國際航電股份有限公司、詮華國土測繪有限公司、中興測量有限公司、Google、RIEGL、OPTECH 等系統規格，針對系統型號、相機、光達、定位定向系統精度進行資料整理比較。過去感測器以相機為主，建置影像式移動測繪系統，並以製圖目的搭載工業相機或街景製作搭載全景相機為主要。近年來因應光達系統及高精地圖發展，陸續發展搭載高精度高速相位式雷射掃描儀資料，建置光達式移動測繪系統，藉由光達移動測繪系統蒐集點雲及影像資料，經由資料後處理建立公分級高精地圖，協助自駕車掌握道路上所有鉅細靡遺資訊，如車道線、交通標誌、分隔島、路肩等，建立臺灣自駕車自主研發能量，提供後續相關應用所需資訊。

國土測繪中心於 106 及 107 年度升級為光達移動測繪系統 (LiDAR Mapping System, LMS)，為確保移動測繪系統成果品質，本案協助辦理蒐集近 5 年國內外與車載移動測繪系統率定技術相關之應用文獻，研提規劃車載移動測繪系統率定作業流程，感測器包含定位定向系統(GNSS/IMU)、相機、光達，率定項目包含軸角及固定臂，其代表兩感測器坐標系統間軸向差異的旋轉量及位置偏移量。光達式率定方式包含實驗室率定及控制場率定，而現有的光達率定的方法眾多，大部分光達率定的技術基於經驗且需要系統原始觀測量，蒐集各家廠商提出率定替代方法，以解決現有率定方法的限制，包含 RIEGL 公司 RiPROCESS 軟體、OPTECH LMS 公司 TELEDYNE OPTECH LMS PRO 軟體、Z+F 公司 Z+F SynCat 軟體、TerraSolid 之 TerraMatch 模組等。影像式率定方式包含：利用全站儀(Total Station)以地面測量方式進行量測、兩階段率定法、整合率定法等。

本案光達式車載移動測繪系統，光達系統為 Z+F Profiler 9012 (Pentax S-2100)，除了選用該設備原廠之軸角及固定臂率定作業流程外，考量本案所建置率定場及率定方法，後續可提供國內其他光達設備率定使用，建議採用 TerraSolid 相關模組 TerraMatch 及 TerraPhoto，以 TerraSolid 建議之率定程序及方法進行率定作業；影像式率定採兩階段率定法，使用影像解算軟體(如 Australis)並搭配本公司自行開發程式計算相機與定位定向系統之相對關係。後續採用研擬方法，至少辦理 2 部(含國土測繪中心及自強工程顧問有限公司)車載移動測繪系

統率定作業，並出具率定報告。初步成果顯示，採用第 1 種方法，包含一棟建物及前方有空地情況，軌跡路線包含左右往返掃描資料，以及與建物 45 度角運行方向進行點雲資料蒐集，或選用第 2 種方法，藉由 2 個以上方向十字交叉及往返掃描資料，進行資料蒐集，皆可成功取得軸角/固定臂率定成果，國土測繪中心及自強工程顧問有限公司車載移動測繪系統，光達平面精度分別小於為 0.141 及 0.044 公尺、三維精度為 0.204 及 0.073 公尺。

率定場選址原則，建議率定場透空度可達 50 度以上，適合 GNSS 接收且可減少 GNSS 訊號受到遮蔽或多路徑效應影響；光達式率定場需進行往返軌跡掃描，使用點或面之型式進行率定解算，建議現地包含一棟建物及前方有空地情況，軌跡路線包含左右、前後往返掃描資料，以及與建物 45 度角運行方向進行點雲資料蒐集，以利蒐集往返及不同方向交會點雲資料；影像式率定場拍攝之影像，將影像切成 16 或 25 等份，每等份內應盡可能有 3 個以上明顯特徵點，率定場四周有低矮建物包含大量特徵點位，透過高精度測量方法取得這些特徵點之三維坐標作為牆面控制點。參考第貳章率定技術介紹及率定場選擇原則，本案初步選擇中部地區 6 處國有土地，提供國土測繪中心參考，並完成實際踏勘調查。綜合依據率定感測器、距離國土測繪中心遠近、場地管理及維護等條件，文山水資源回收中心、港灣技術研究中心、中興新村高等研究園區(工管組)可優先做為率定場規劃評估，中部科學園區管理局、中興新村中興會堂、國立中興大學創新育成中心次之。

本案移動測繪系統整體架構包含定位定向系統(GNSS、IMU、輪速計)、資料擷取系統(光達設備、7 部工業級數位相機)、移動測繪系統整合式平台等，移動測繪系統整合式平臺目前約重 70 公斤，本公司規劃以下方法來減低操作人員安裝設備之負擔，期提高作業人員之操作便利及作業效率。第一種方式為現有裝載車載設備人員配置訓練，整體而言，人工作業最能適應各種狀況之安裝方式，然而將重達 70 公斤的設備進行上舉、橫移、轉移動作，需反覆練習方能勝任，優點為最能確保設備的安全性及精確度。第二種安裝改善作業方式，規劃使用輔助工具電動升降機搭配工作梯，由側裝或尾裝方式安裝整合式平台，其優點為可收納且操作方便及安全設計，其頂板可貼近車頂架，腳架設置快速插銷，可調使頂板距離 3 公分的設計，可滿足輔助主設備上舉之需要，另當電動升降機無電力供應或發生突發狀況時，亦可藉由手動方式操作，以人工操作方式進行升降。

除了針對人力安裝訓練、使用輔助工具等方式，針對整合式系統輕量化架構設計等進行評估，部分材料考慮更換成複合材料，以經緯

航太複合廠內製造使用為考量，數據為每立方公分 1.6 克，與現有 6061 鋁金合比較，重量每立方公分可減少 1.1 克。若採用切割成 2 件式，在維持一定剛性條件下進行分割，可有效減輕單 1 件式重量，然而重組後是否需重新率定，分件式存在此議題，雖機構將以接近密合方式架構進行設計組裝，機電整合是否能在一定變形量的考量之下，控制其組裝誤差，是否每次拆裝皆會影響測量精度需再進行驗證。

配合測繪中心現有作業環境並與 Terra solid 軟體搭配使用，選用 TerraSolid 模組 TerraPhoto 做為賦予點雲顏色之軟體，功能包含可匯入具有地理定位及相機內方位資訊之影像，使光達點雲賦予可見光 RGB 顏色資訊，匯入影像格式須支援正射影像、一般相機拍攝影像及全景相片(等距長方投影 equirectangular)等。TerraPhoto 為利用地面雷射點雲對應數位影像進行正射糾正產生正射影像的軟體，廣泛應用於光達系統運作時產生之影像執行正射糾正，正射糾正過程可不使用任何控制點。後續亦可藉由工業相機或全景相機等彩色影像，得上色後彩色點雲，符合真實樣貌三維點雲模型，圖資數化更新亦因點雲存在 RGB 資訊更易於辨識。

配合測繪中心相關成果發表會流程內容，本案協助辦理車載移動測繪系統展示作業及製作相關展示海報，並派員於展示場協助進行解說，於 108 年 3 月 26 日協助辦理監察院業務巡察作業展示，108 年 8 月 29 日至 8 月 30 日協助辦理第 38 屆測量研討會海報製作及測繪車展示。並依據合約內容於 108 年 4 月 22 日進行光達移動測繪系統操作(含影像正射糾正軟體操作)教育訓練。

第二節 未來建議

一、率定場建置作業

本案依率定場所需條件建置及研提之車載移動測繪系統率定程序，提出文山水資源回收中心、港灣技術研究中心、中興新村高等研究園區(工管組)、中部科學園區管理局、中興新村中興會堂、國立中興大學創新育成中心等作為未來率定場建置選擇，未來依需求選擇 1 至 2 處進行率定場建置作業，並參考設計之率定標進行建置，後續可進行 TAF 認證等作業，提供國內相關學術及業界進行率定使用。

二、整合式平臺安裝改善作業

參考目前設計樣式為整合一體，重量達 70 公斤，可藉由加強人員訓練，提升平臺安裝熟悉度及人員之間默契；亦可藉由輔助工具電動升降機輔助裝機，其優點為可收納且操作方便及安全設計，其頂板

可貼近車頂架，腳架設置快速插銷，可調使頂板距離 3 公分的設計，可滿足輔助主設備上舉之需要。後續進一步藉由改更材料規劃，選擇拆件方式減輕各別單一件式之重量，可分為 2 件式方案，降低人員安裝單一組件重量過重之問題發生。未來更進一步，依未來任務需求區分為主要及次要設備，進行機構更改作業，將主要設備(如光達及定位定向系統)安裝於車頂支架上，次要設備(如電腦及電池)可拆卸收納至車內，一來可減少因拆裝造成相對關係改變之疑慮，二來可減輕操作人員安裝時之重量，提升作業效率。



第捌章 附錄

附錄一 工作總報告委員審查意見回覆說明表

委員	審查意見	意見答覆
曾召集人耀賢	P22, 表 2-5, 其中卡加利大學及俄亥俄州立大學之定位定向精度很差(分別為 1m 及 3m), 比對 P26 及 P27 所敘述定位精度分別為 0.1 至 1m 及 0.3 至 3m 數值不一致, 請查明修正。	遵照委員建議修正表 2-5 內容, 將卡加利大學及俄亥俄州立大學定位定向系統精度修正為 0.1 及 0.3 公尺, 如 P.22 至 P.23 說明。
	針對試辦作業中自強工程移動測繪車影像設備(Ladybug)率定成果, 請經緯公司補充。	遵照委員建議補充自強工程影像式移動測繪車率定成果, 如 P.121 至 P.124 說明。
	有關本案論文投稿部分, 請就題目、長摘要及規劃投稿的期刊或研討會資訊, 補列入本報告。	遵照委員建議補充論文投稿題目及長摘要, 如 P.203 說明。
蔡委員榮得	P41-42, 有關公式(2-1)之應用與圖 2-55 中, 請再加強說明各參數定義及在數學上及幾何上意義。	遵照委員建議補充說明公式各參數定義及意義, P.41 至 P.42 說明。
	P54, 表 2-10 僅列出光達及影像率定軟體比較, 建議增加具體軟硬需求, 並列出使用限制, 供國土測繪中心參考。	遵照委員建議補充電腦硬體規格最低需求至光達及影像率定軟體比較表內, 如 P.54 至 P.55 說明。
	P68.圖 3-24 匯入影像及內方位參數, 請補充說明 b1 及 b2 為何?與 Cx 及 Cy 關係又如何?	遵照委員建議補充內方位參數說明, 包含焦距 f、像主點 (cx 及 cy)、輻射畸變差(k1、k2、k3、k4)、離心畸變差(p1、p2、p3、p4)、仿射畸變差(b1、b2), 如 P.74 說明。
試辦作業國土測繪中心與自強公司之 2 套系統, 其光達系統精度分別為 0.141m 及 0.021m, 相差頗大, 請對 2 套系統之差異, 說明可能原因; 另在影像系統部份, 自強系統缺少精度分析表。	遵照委員建議補充國土測繪中心及自強工程顧問有限公司車載移動測繪系統精度分析比較, 由移動測繪系統規格表可知, 自強工程顧問使用之定位定向系統及光達系統較佳; 除此之外, 解算軌跡成果直接影響點雲精度, 自強工程顧問使用之定位定向系統解算軟體為商用軟體 Inertial Explorer, 國土測繪中心為自主開發之軟體 GeoPoint, 參考 104 及 105 年度發展車載移動測繪系統	

第捌章

		<p>(MMS)作業採購案工作總報告書，兩者定位定向系統軟體解算成果存在約 10 公分左右之差異，因而影響率定成果及點雲精度，如 P.114 至 P.115 說明。另補充自強工程顧問影像式 MMS 精度分析，測繪中心及自強工程顧問影像式成果分析比較，如 P.124 至 P.125 說明。</p>
<p>張委員智安</p>	<p>請參考表 2-10, 補充表 3-2 及表 3-10 固定臂及軸角率定成果精度資訊。</p>	<p>遵照委員建議補充固定臂及軸角率定成果精度資訊，如 P.106、P.109、P.111、P.114、P.120、P.124 說明。</p>
	<p>有關本案國土測繪中心與自強公司之 2 套系統試辦作業，請補充率定成果差異分析，俾利後續使用單位進行系統改進。</p>	<p>遵照委員建議補充國土測繪中心及自強工程顧問有限公司車載移動測繪系統精度分析比較，由移動測繪系統規格表可知，自強工程顧問使用之定位定向系統及光達系統較佳；除此之外，解算軌跡成果直接影響點雲精度，自強工程顧問使用之定位定向系統解算軟體為商用軟體 Inertial Explorer，國土測繪中心為自主開發之軟體 GeoPoint，參考 104 及 105 年度發展車載移動測繪系統 (MMS) 作業採購案工作總報告書，兩者定位定向系統軟體解算成果存在約 10 公分左右之差異，因而影響率定成果及點雲精度，如 P.114 至 P.115 說明。另補充測繪中心及自強工程顧問影像式成果分析比較，如 P.124 至 P.125 說明。</p>
	<p>有關影像率定使用 Aigsoft Metashape 工具軟體，作業時設定影響甚大，請補充相關操作設定細項，如:6 部相機相對關係究竟是設為固定或無相關等資訊。</p>	<p>遵照委員建議補充 Aigsoft Metashape 解算空三成果之作業流程細項，包含匯入影像、相機影像分群組、設定每台相機內方位參數、控制點量測、空三成果解算、輸</p>



		<p>出成果，如 P.71 至 P.76 說明。本案影像式率定作業，於空三解算時將所有相機之影像一同進行平差解算，求得每張影像外方位。求解軸角/固定臂率定成果時，仍是以一台相機對應定位定向系統方式進行求解，求得每台相機與定位定向系統獨立之旋轉及平移量。</p>
	<p>簡報 P49 中 Z+F 與 TerraMath 率定成果差異很大(如 Pitch 數值)，請查明究竟原因為何?另請補充相關軸角及固定臂資訊如何匯入 TerraMath 之程序。</p>	<p>謝謝委員建議，本案光達點雲進行率定作業前，於 Z+F 或 Riegl 軟體進行資料前處理，將 Z+F 及 Riegl 點雲原始格式轉換至通用格式 las 格式，其原廠軟體轉換過程已帶入原廠或初始率定成果，後續將此進行前處理後之點雲匯入 TerraMatch 進行軸角率定作業；另考慮各廠商定義之軸向與 TerraMatch 定義方式不同，故率定成果有所差異。 遵照委員建議，補充軸角及固定臂資訊匯入 TerraMatch 之程序，如 P.63 說明。</p>
	<p>簡報 P68 及報告書 P132 圖 5-9 軸角及固定臂為何為設為 0，請補充說明。</p>	<p>謝謝委員建議，本案點雲上色選擇使用 TerraPhoto 軟體，作業流程包含載入軌跡、點雲、影像，並設定各臺相機率定參數及檔案格式，其中圖 5-9 所示主要為設定相機內方位參數，圖 5-13 及圖 5-14 匯入之相片外方位已考慮軸角/固定臂進行平移旋轉，即相關軸角/固定臂等參數已代入至相片外方位內，故設定為 0。</p>
<p>曾委員義星</p>	<p>經緯公司所規劃率定程序為光達及相機分開率定，是否針對快門時間之率定，包括相機快門與 GPS 的時間，以及多相機之快門同步等。</p>	<p>謝謝委員建議，本案於率定作業時皆以 GPS 時間進行同步，包含定位定向系統資料；光達啟動時需先設定與 GPS 之 PPS 訊號同步，使每一筆</p>

		<p>點雲資料給予 GPS 時間；相機快門同步部分藉由中央控制系統，於定時或定距同步發送訊號給定位定向系統紀錄時間，並觸發相機拍照，因而每一張相片皆對應一組 GPS 時間，不可否認其訊號傳遞時仍存在極小不同步情況，本案於率定作業時將其視為率定誤差一部分，並藉由參考率定成果之標準差，評估率定成果是否合理。</p>
	<p>所規劃的率定程序是否包含多相機之間的相對方位？</p>	<p>謝謝委員建議，本案影像式率定作業，於空三解算時將所有相機之影像一同進行平差解算，求得每張影像外方位。求解軸角/固定臂率定成果時，仍是以一台相機對應定位定向系統方式進行求解，求得每台相機與定位定向系統獨立之旋轉及平移量。本案另補充相機整合式內外方位參數率定作業，規劃於室內同時進行相機內方位及相對方位之率定，即進行車載移動測繪系統率定時將組合相機系統視為一部相機，其相關率定流程如 P.51 至 P.53 說明。</p>
	<p>光達及相機的率定都規劃採用商用軟體，未來若實際發展 LMS 率定作業，如何能讓國土測繪中心後續可自行操作？請補充。</p>	<p>謝謝委員建議，本案率定作業考慮後續可能認證因素，採用可支援通用格式之商用軟體為主，相關軟體建議事項包含率定場建置條件、外業資料蒐集作業方式、內業資料解算流程等皆詳述於工作總報告內，未來將相關流程撰寫成作業手冊，供測繪中心後續閱讀後可獨立操作。</p>
	<p>成大歸仁校區的率定場已經過多年未維護，未來若要採用，是否應該重新檢核率定標的可用性定，並重新整理及觀</p>	<p>謝謝委員建議，本案率定場光達及影像控制標分別於 107 年 12 月及 108 年 10 月</p>



	測率定場控制標。	進行地面測量，並重新檢核率定標是否需重新布設，未來若選用該場地進行率定，皆會於率定作業前進行率定標檢查，並定期進行維護。
趙委員鍵哲	期中報告所提意見修正未臻完善應再予強化。	遵照委員建議，相關內容未臻完善將一併於工作總報告進行修正。
	”二階段”作業名詞，是否依實際作業具兩階段內容及處理之合宜性改成”兩階段”更為妥適。	遵照委員建議修正文字「二階段率定法」為「兩階段率定法」。
	率定場後續設計率定標時，應避免以地(建)物之角落(Connor)，因為這類標行測量誤差不易被檢查出來。	謝謝委員建議，未來控制點率定標標型包含軟體原廠標型、建物特徵點、自然點、自行設計人造標等，針對建物特徵點部分，以牆面十字交線或材質交界處等明顯處進行選擇，避免及減少選擇建物角落處，降低外業測量及內業量測上錯誤發生。
	請補充軸角及固定臂率定成果參數標準差。	遵照委員建議補充固定臂及軸角率定成果精度資訊，如 P.106、P.109、P.111、P.114、P.120、P.124 說明。
	光達移動測繪(LMS)，建議後續國土測繪中心有機會可修正為 LMMS(Lidar Mobile Mapping System)。	謝謝委員建議，本案因計畫名稱因素取名為 LMS，後續將建議測繪中心是否可修正為 LMMS(Lidar Mobile Mapping System)。
梁旭文委員	請補充本案各作業項目於本報告書內容相關章節及頁碼一覽表。	遵照委員建議補充報告書內容相關章節及頁碼一覽表，如 P.V 說明。
	P75 圖 3-38 車道分隔線無法應無法自行繪製及布設，故歸類為自行設計人造標一類不恰當，建議另外分出”自然標”一類較為適宜。	遵照委員建議將車道分隔線部分獨立為自然標一類，如 P.79 說明。
	P100 與 P103 中固定臂(X、Y、Z)率定結果均相同，另 P105 與 P108 率定結果也相同，請說補充說明原因。	謝謝委員建議，本案光達式軸角 / 固定臂採用 TerraMatch 進行率定，建議其固定臂為藉由捲尺地面測量方式量測而得，雖此種方式精度有限，TerraMatch 將其誤差部分合併至軸角率

第捌章



		定，認定軸角率定成果可吸收其誤差。
--	--	-------------------

附錄二 工作總報告甲方工作小組意見回覆說明表

審查意見	意見答覆
缺英文摘要，請補充。	遵照工作小組建議補充中英文摘要，如 P.I 至 P.IV 說明。
P53-54，本案是否使用影像解算軟體(如 Australis)並搭配貴公司自行開發程式計算相機與定位定向系統之相對關係?抑或是用其他方式求得?未見於本報告呈現，請再補充。	遵照工作小組建議補充說明，本案影像式率定採用兩階段率定法，首先使用影像解算軟體(如 Australis)求解每部相機內方位參數，將內方位參數、影像、控制點匯入至空三解算軟體(如 Agisoft Metashape)求解每張影像外方位參數，並由定位定向系統解算軟體求解軌跡，最後將上述外方位參數及軌跡匯入至本公司自行開發程式，計算相機與定位定向系統之相對關係，如 P.71 至 P.76 說明。
P68，「.....並匯入第 3.1.2 節求得之影像內方位參數.....」，請問本案試辦作業有依此規劃方式辦理?請補充說明。	謝謝工作小組建議，本案試辦作業相機內方位參數率定採用第 3.1.2 節方式進行率定作業，補充內方位參數率定成果於試辦作業章節內，如 P.117 至 P.118 說明。
P76-77，所列本案設計率定標樣式，牆面使用 60X60CM、地面使用 30X30CM，之理由為何?所用材質為何?請補充。	謝謝工作小組建議，本案率定作業執行時，設定速度為 10 公里以下，可達到間隔 1 公分 1 個點，故地面使用 30 x 30 公分，牆面使用 60 x 60 公分大小，期望可掃描得到足夠多的點雲供辨識量測控制點使用，未來可調整其大小進行掃描測試，期望得到最適合之率定標大小。本案率定為試辦作業，考慮成本及時間等，使用材質為珍珠板，依顏色及與背景材質不同，可依反射率不同進行率定標辨識，未來規劃建置之率定場，率定標需依現場環境、保存難易等選擇不同材質進行測試，作為未來材質選擇。
P97~114，另有關研擬相關光達及影像率定程序，請流程圖呈現。	遵照工作小組建議，補充光達及影像率定程序，外業資料蒐集及內業資料處理流程圖，如 P.56、P.59、P.64、P.66、P.70、P.72 說明。
P100 及 103，為何本中心 LMS 光達率定成果三軸固定臂(X,Y,Z)數值均完全一致?另 P105 與 108 自強工程光達設備率定結果也有類似情形?請補充說明。	謝謝工作小組建議，本案光達式軸角/固定臂採用 TerraMatch 進行率定，建議其固定臂為藉由捲尺地面測量方式量測而得，雖此種方式精度有

	限，TerraMatch 將其誤差部分合併至軸角率定，認定軸角率定成果可吸收其誤差。
P100、103 及 P105、108，光達率定成果表中軸角數值是否為 TerraMath 產出之改正量?請以最終率定結果(非僅較差值)呈現。	謝謝工作小組建議，本案光達點雲進行率定作業前，於 Z+F 或 Riegl 軟體進行資料前處理，將 Z+F 及 Riegl 點雲原始格式轉換至通用格式 las 格式，其原廠軟體轉換過程已帶入原廠或初始率定成果，後續將此進行前處理後之點雲匯入 TerraMatch 進行軸角率定作業。故本案 TerraMatch 呈現之軸角數值，為經過初始前處理後之點雲，求得的軸角數值。
P112-P113，請補充自強工程-相機設備，相關率定成果(包含軸角、固定臂率定成果)及以控制點量測檢核精度。	遵照工作小組建議補充自強工程影像式移動測繪車率定成果及精度分析，如 P.121 至 P.125 說明。
請補充本中心 LMS 掃描以原廠 Z+F 程式及原廠所用率定方式(8 個以上固定點)率定之成果，並納入本案各式率定方成果之分析。	遵照工作小組建議補充測繪中心以原廠 Z+F 程式進行率定作業成果，並分析 Z+F 與 TerraMatch 率定成果及點雲精度分析，如 P.116 說明。
請補充本中心與自強工程光達率定後成果檢核之差異分析，並列出 2 部設備之規格差異。	遵照委員建議補充國土測繪中心及自強工程顧問有限公司車載移動測繪系統精度分析比較，由移動測繪系統規格表可知，自強工程顧問使用之定位定向系統及光達系統較佳；除此之外，解算軌跡成果直接影響點雲精度，自強工程顧問使用之定位定向系統解算軟體為商用軟體 Inertial Explorer，國土測繪中心為自主開發之軟體 GeoPoint，參考 104 及 105 年度發展車載移動測繪系統(MMS)作業採購案工作總報告書，兩者定位定向系統軟體解算成果存在約 10 公分左右之差異，因而影響率定成果及點雲精度，如 P.114 至 P.115 說明。另補充測繪中心及自強工程顧問影像式成果分析比較，如 P.124 至 P.125 說明。
P115-117，系統裝及改善作業一節，系統說明資料太過繁雜，請彙整後簡要列出，部分系統可以模組方式分類即呈現，較為清楚。	遵照工作小組建議修正系統安裝及改善作業內容，如 P.126 至 P.137 說明。
P125，有關分割 2 或多件式之比較，請	遵照工作小組建議補充兩件式各元

<p>預估各元件重量及尺寸，並補充各方案相關於車頂之空間配置略圖，相關改善費用請估算。</p>	<p>件重量、配置示意圖、安裝車頂配置、費用預算等，如 P.135 至 P.137 說明。</p>
<p>P144，請依本案 2 件試辦成果經驗，針對所規劃之 6 處率定場，再進一步分析其適切性。</p>	<p>遵照工作小組建議修正 6 處率定場其適切性，針對光達式率定場合適條件進行補充說明，如 P.86 及 P.102 說明。</p>
<p>本案光達及相機設備率定後成果與控制點資料檢核比較之原始資料，請於附錄補充。</p>	<p>遵照工作小組建議補充率定場/檢核場控制點分布及坐標與控制點量測結果，如 P.198 至 P.202 說明。</p>
<p>P46-47，部分內容編排順序交錯，請修正。</p>	<p>遵照工作小組建議重新編排順序，影像式率定分為固定臂及軸角，固定臂採用方法包含地面量測方式、兩階段率定法、整合率定法，軸角採用兩階段率定法、整合率定法，詳列參考文獻及相關公式，如 P.46 至 48 說明。</p>
<p>P51-52，所用計算軟體為何?請補充。</p>	<p>遵照工作小組建議補充說明，相機整合式內外方位參數率定作業，其相機內方位參數及相機相對方位使用商用軟體 Australis 進行率定及校正；以平台載體坐標系統之下的 e-GPS 與組合相機之位移與方位關係，採用自行開發率定演算法計算定位定向系統與組合相機系統之軸角及固定臂，再由參考相機與每台相機之相對方位求得各自之位置與姿態，如 P.51 至 P.53 說明。</p>
<p>P54，表 2-10，影像率定成果精度輸出項目，請刪除「否」，並改寫「利用控制點量測驗證整體光達移動測繪系統精度」。</p>	<p>遵照工作小組建議修正表 2-10 文字內容，如 P.54 至 P.55 說明。</p>
<p>P57-60，內業解算流程，請以本案成果為範例。</p>	<p>遵照工作小組建議修正內業解算流程圖示，並依本案成果為範例，如 P.59 至 P.63 說明。</p>
<p>P59，4.點雲分類，包含地面、牆面、屋頂，本案 LMS 應無法取得屋頂資訊，建議刪除。</p>	<p>遵照工作小組建議修正文字為「4.點雲分類，包含地面、牆面、樹木、雜訊等」，如 P.61 說明。</p>
<p>P62，「以相機光軸與圓盤夾角為 90 度拍攝，……」一節，實際執行應無法取得影像，請查明修正。</p>	<p>遵照工作小組建議補充說明相機率定方式，分為俯視圖及側視圖，如 P.64 至 P.66 說明。</p>
<p>P101 及 P106，圖 3-80 及圖 3-88 所用底圖影像太過老舊與現地不符，請更新。</p>	<p>遵照工作小組建議更新作業軌跡使用之底圖，如 P.103 至 P.122 說明。</p>
<p>本報告有 6 處紀載「監察院實地評審展示」，請修正為「監察院業務巡察作業展</p>	<p>遵照工作小組建議修正文字為「監察院業務巡察作業展示」，如 P.148、</p>



示」。

P.157 說明。

附錄三 期中報告委員審查意見回覆說明表

委員	審查意見	意見答覆
蔡委員榮得	建議期中報告第壹章應放入工作進度甘特圖以了解各項規劃工作項目之執行進度與檢核點，是否滿足甲方之預算執行進度需求。	遵照委員建議補充工作辦理情形與時程，包含各階段檢核點交付成果說明、進度甘特圖等，如 P.4 至 P.6 說明。
	P39，公式(2-1)d1 及 d2 向量符號誤繕，建議確認原始參考文獻之驗算公式。	遵照委員建議確認原始參考文獻修正公式，如 P.42 說明。
	P64，率定成果報告相機 3 缺乏標準差資訊，並誤植相機 4 之數值，建議更正。另該報告引用本中心 LMS 歷年資料為案例，請於文中敘明清楚，避免誤解。	遵照委員建議說明率定成果報告(草案)資料來源，修正率定成果報告(草案)數值誤植部分，如 P.69 至 P.73 說明。
	本案相機與光達設備重達 70 公斤，設計電動升降機抬升設備至車頂高度，在橫移置車頂在工作上操作人力需求與工作難易度宜加考慮，本案設備每次裝置於作業車是否需進行率定例如 IMU 之起始角是否每次不同，與設備等級及角度偵測原理有關，宜加考慮與說明，另外選用建物牆面作為相機率定場，在光軸(距離)方向之精度較弱，宜考慮不同深度之牆面設置控制標，以增加 Z 方向之精度。	<p>謝謝委員建議，本案規劃配合輔助工具包含電動升降機及兩組工作梯，電動升降機目的為協助舉起設備於車頂，減少人員舉起設備所需之高度，工作人員站立於工作梯，操作高度由地面升至適當之高度，2 位人員於工作梯上，1 人於車頂上，將設備橫移至正確安裝位置，橫移的距離依現場安裝人員的架設而定，相關安裝作業程序仍仰賴人工安裝，人員的安裝熟練度與訓練仍是保障安全的第一要素。</p> <p>系統於每次作業時，皆需做初始化作業，參考使用手冊建議及國內外廠商經驗，執行流程如下：首先靜止 5 分鐘，提升位置精度，並藉由偵測地球自轉及重力得初始姿態角；完成後進行繞圈或 8 字形移動 5 分鐘，藉由速度及旋轉角度變化，提升速度及姿態精度，直到系統顯示 INS_SOLUTION_GOOD 時，完成初始化作業，執行外業任務。而任務完成後仍需反向操作初始化流程，流程為先繞圈或 8 字形移動 5</p>

第捌章

		<p>分鐘，再靜止 5 分鐘，方可結束，其目的為卡曼濾波器運算執行正算與反算時，其作業模式皆包含靜止與繞圈移動，提升位置、速度、姿態精度，確保資料品質。遵照委員建議補充說明如 P.55 至 P.56 及 P.61 至 P.62 說明。謝謝委員建議，選用建物牆面作為相機率定場時，將針對不同深度之牆面設置控制標，增加 Z 方向精度；資料蒐集時移動車載移動測繪系統，藉由不同方向拍攝相同控制標，增加不同交會幾合拍照資訊，提升空中三角解算精度。</p>
<p>曾委員義星</p>	<p>所勘查的率定場是否都具備足夠的光達及影像率定標，若選定的率定場未具備足夠數量的率定標，乙方是否補充或是重新建置率定標？</p> <p>由 6 台相機所組合的環景相機，是否規劃於室內同時進行相機內方位及相對方位之率定？如此在進行 MMS 系統率定時可將環景相機系統視為一部相機，可簡化戶外率定作業及減少率定場率定標數量。</p> <p>相機率定軟體是自行開發還是使用商用軟體？請補充說明。</p>	<p>謝謝委員建議，本案今年度率定場選址工作項目主要為蒐集各率定技術及建置率定場條件之文獻，依據文獻評估所需之最大需求情況，目前率定及檢核需建置 16 個點，並實地踏勘評估該場地是否符合率定作業布設率定標之需求，提供測繪中心後續評估使用。</p> <p>遵照委員建議補充文獻相機整合式內外方位參數率定作業，如 P.51 至 P.53 說明。本案整合式系統因重量達 70 公斤，移至室內進行率定作業需耗費大量人力及時間，評估仍以單台相機各別進行相機內方位率定，組裝至平台後至室外率定場進行軸角/固定臂率定作業，未來進行整合式平台輕量化作業後，評估是否依組合相機方式進行率定作業規劃。</p> <p>遵照委員建議補充說明本案相機內方位率定作業採用商用軟體(如 Australis 等)，空</p>



		<p>三解算軟體採用商用軟體(如 Australis、Pix4Dmapper等)，相機式軸角/固定臂率定自行開發軟體，採用兩階段率定法進行相機及定位定向系統相對關係率定作業，如 P.61 至 P.63 說明。</p>
	<p>本計畫應完成 2 部 MMS 率定試辦作業，因規劃的率定程序及軟體是針對甲方之設備而設計，若另一部 MMS 使用不同的設備，是否可達成?應仔細考慮。</p>	<p>本案選用之 Z+F SynCaT-calibration 軟體，手冊說明點雲資料格式僅為 Z+F 原廠自訂格式(*.zfs)，遵照委員建議補充文字如 P.56 至 P.58 說明，相關試辦作業將納入工作總報告。</p>
	<p>MMS 是配備 1 部光達通常點雲涵蓋率會不足，未來改善作業應包含 2 部光達設備的可行性評估?</p>	<p>謝謝委員建議，考慮整體系統重量及人員操作安全，以 1 部光達設備作為規劃，未來規劃系統輕量化或拆件方式，將考量 1 部及 2 部光達設備之可行性。若選擇 1 部光達時，點雲涵蓋率常不足，參考光達設備規格及手冊建議，於外業資料蒐集時設定車子移動速度、光達與物體之距離、往返多次掃描等方式，提高點雲密度。</p>
<p>趙委員鍵哲</p>	<p>針對國內外移動測繪系統之比較，缺乏整合性之分析，資料有不配對情形，如為本案率定場設計所需必要規格，均請一一列出，以利檢視。</p>	<p>遵照委員建議修正國內外測繪系統的種類與數量比較表格，針對表格列舉之內容於各小節進行詳細說明，如 P.7 至 P.38 說明。本案規劃設置率定場，蒐集及參考相關文獻建議研擬率定程序，配合未來發展及 TAF 認證所需規範等規劃作業。率定場選址原則，建議率定場透空度可達 50 度以上，適合 GNSS 接收且可減少 GNSS 訊號受到遮蔽或多路徑效應影響；光達式率定場需進行往返軌跡掃描，使用點或面之型式進行率定解算，建議以 T 字或十字交叉路口為率定場</p>

		地，四周包含大量特徵點及平坦面(如建物側面)，以利蒐集往返及不同方向交會點雲資料；影像式率定場拍攝之影像，將影像切成 16 或 25 等份，每等份內應盡可能有 3 個以上明顯特徵點，率定場四周有低矮建物包含大量特徵點位。遵照委員建議補充報告內容如 P.73 至 P.90 說明。
	車載移動測繪系統(MMS)及光達移動測繪系統(LMS)名詞方面，請統一。	本案文中 MMS 及 LMS 為不同之名詞敘述，MMS 為車載移動測繪系統，包含影像式、光達式等，LMS 為光達移動測繪系統，遵照委員建議檢查全文，依實際情況進行描述及文字修正。
	文獻回顧資料於 2016 年以後的資料較少，近年有許多 MMS 嶄新技術，宜盡量蒐集補充。	遵照委員建議補充車載移動測繪系統資料蒐集及率定技術介紹文獻，如 P.7 至 P.54 說明。
張委員智安	光達設備的率定報告缺乏率定成果的精度資訊【如不確定度(uncertainty)】，請補充。	遵照委員建議補充光達式率定成果精度資訊，說明其評估之方式如 P.58 至 P.61 說明。
	率定工具軟體所產生之成果，是否可直接產出率定報告?如需相關轉換工具，應納入考量。	謝謝委員建議，本案使用之率定工具軟體僅提供率定成果及相關資訊，需手動整理至率定報告填入相關數值，未來亦依需求及建議設計相關表格供負責人簽名，確保率定報告正確，當有錯誤發生時，亦可追蹤及查核相關資料。
	P20，表 2-5 中有關定位定系統精度，非全數設備均有資料，建議以該設備所使用元件名稱替代精度(公尺)之描述較為洽適。	謝謝委員建議，本案針對國內車載移動測繪系統的種類與數量蒐集資料，因部分廠商詳細資料未公開，故針對共同部分之資訊進行統整，考量國內外車載移動測繪系統資料一致以利比較，故針對型號、定位定向系統精度、

		相機數量、光達感測器型號及掃描距離進行整理。
P51, 圖 3-3 「選擇軸角/固定臂進行率定」, 是「或」, 還是「及」? 請說明清楚。		遵照委員建議補充說明率定作業時可選擇僅率定軸角, 或同時選擇固定臂及軸角進行率定程序, 如 P.57 說明。
P67, 表 3-4, 有關「光達式率定」及「影像式率定」等項目之比較結果, 以「適合」或「中等」描述, 無法精確表達的差異, 建議在第四章率定場選址內容(表 3-4 前面)補充相關定性分類之說明。		遵照委員建議補充相關定性分類之說明, 包含場地進出、場地維護、透空度、光達式及影像式率定場之「適合」或「中等」等定義描述, 如 P.73 至 P.74 說明。
報告書提及率定作業須至少 8 個點, 設置此 8 個點織布設規則及條件為何? 請補充。		遵照委員建議補充設置此 8 個點布設規則及條件如 P.43 至 P.45 說明, 本案率定場規劃於 T 字或十字交叉路口, 率定作業參考 Z+F 率定程序需至少量測 8 個點, 此 8 個點需平均分配於率定場內, 各點位高度盡可能不相同。其中 3 點可於第一條路往返蒐集, 另外 3 點可於另一條路往返蒐集, 最後 2 點需佈設於交叉路口上, 可同時於這兩條路不同方向進行資料蒐集, 若超過 8 個點, 則優先佈設於交叉路口, 再佈設於其中一條路上, 仍需平均分配為原則。
報告書中所提 Terramatch 及 Z+F SynCaT-calibration 均可以進行光達設備率定, 建議增加 2 種方法之比較。		遵照委員建議新增 Z+F SynCaT-Calibration 及 TerraSolid (TerraMatch 及 TerraPhoto 模組) 比較, 如 P.53 至 P.54 說明。
P18, 日陞空間資訊股份有限公司使用之系統已有更新, 請修正。另國內尚有 iwane 系統, 請補充。		遵照委員建議修正日陞空間資訊股份有限公司使用之移動測繪系統內容, 並新增 IWANE 相關資訊, 如 P.7 至 P.8、P.15 至 P.16、P.22 至 P.23、P.37 至 P.38 說明。
P46, 圖 2-61 相機率定拍攝程序示意圖(摘自 Fraser,1997), 文獻用錯誤(1997 尚無此圖), 請修正。		遵照委員建議修正引用文獻, 本圖為參考文獻 Fraser(1997)說明, 自行製作

		該相機率定拍攝程序示意圖，故刪除”摘自 Fraser, 1997”文字說明。
梁旭文委員	近 5 年的相關率定技術文件應盡量蒐集補充，俾使本報告書更臻完備。	遵照委員建議補充車載移動測繪系統資料蒐集及率定技術介紹文獻，如 P.7 至 P.54 說明。
	應先考量設置率定場的目的為何，配合未來的適用性及發展，據以設計率定場相關規格及率定方法，報告內容請再予補充強化。	本案規劃設置率定場之目的為確保國內車載移動測繪系統成果品質，蒐集及參考相關文獻建議研擬率定程序，配合未來發展及 TAF 認證所需規範等規劃作業。率定場選址原則，建議率定場透空度可達 50 度以上，適合 GNSS 接收且可減少 GNSS 訊號受到遮蔽或多路徑效應影響；光達式率定場需進行往返軌跡掃描，使用點或面之型式進行率定解算，建議以 T 字或十字交叉路口為率定場地，四周包含大量特徵點及平坦面(如建物側面)，以利蒐集往返及不同方向交會點雲資料；影像式率定場拍攝之影像，將影像切成 16 或 25 等份，每等份內應盡可能有 3 個以上明顯特徵點，率定場四周有低矮建物包含大量特徵點位。遵照委員建議補充報告內容如 P.55 至 P.91 說明。
曾召集人耀賢	P35，文中 IMU 及 INS 均有使用，建議統一用詞。	本案文中 IMU 及 INS 為不同之名詞敘述，IMU 為慣性量測元件，INS 為慣性導航系統，遵照委員建議檢查全文，依實際情況進行描述及文字修正。
	P40，定位定向初始化時要繞 8 字型，實務上如何作操作？	謝謝委員建議，動態初始化目的為藉由姿態變化，提升作業開始時姿態角度精度。外業資料蒐集前需先規劃測試區週圍是否有空地可進行

		<p>動初始化作業，若空地較小場地受限時可改為繞圓圈方式進行，若測試區位於市中心週圍無適合空地，可於一般道路建議為一個街區進行動態初始化，如 P.55 及 P.63 說明。</p>
	<p>光達率定系統採 Z+F SynCaT-calibration，用於非 Z+F 系統是否適用？是否已有評估，或待下階段測試才可知？</p>	<p>本案選用之 Z+F SynCaT-calibration 軟體，手冊說明點雲資料格式僅為 Z+F 原廠自訂格式(*.zfs)，遵照委員建議補充文字如 P.56 至 P.58 說明，相關試辦作業將納入工作總報告。</p>
	<p>場址選擇是否需加入「布標後對環境之影響」(含所屬機關之反應)因素？</p>	<p>謝謝委員建議，本案規劃率定場選址主要以感測器特性、場地進出、維護便利、國有土地為優先考量等條件，於中部地區規劃至少兩處率定場區域供測繪中心參考。於牆面布設率定標或地面設置航標對於現場環境存在觀瞻可能性，故選擇六地做為率定場選址，後續需與相關單位進行協調，若所屬機關評定不合適即可選擇另一場地管理單位進行協調；同時評估其是否為封閉環境，避免影響一般民眾，減少外業資料蒐集困難度。</p>
	<p>電動升降機在不平坦的環境操作之安全性如何？</p>	<p>謝謝委員建議，參考目前標準安裝作業程序，車頂設備規劃以人工方式安裝，建議人數為 3 至 4 人，人工作業最能適應各種狀況之安裝方式，不論何種地形皆能即時反應處理，配合輔助工具電動升降機主要提供舉起時之幫助。目前選擇之電動升降機，其機械結構以中心柱為整個升降機的中心並垂直於地面，輔以四個可伸縮之腳架調整高度，針對地面不平</p>

		<p>坦之環境仍可保持水平，保持中心柱之垂直。依據上述作業流程，電動升降機將物體升起時維持其安全性，但安裝作業程序仍仰賴人工安裝，人員的安裝熟練度與訓練仍是保障安全的第一要素。</p>
--	--	--

附錄四 期中報告甲方工作小組意見回覆說明表

審查意見	意見答覆
請補充本案目前辦理情形(進度)。	遵照工作小組建議補充工作辦理情形與時程,包含各階段檢核點交付成果說明、進度甘特圖等,如 P.4 至 P.6 說明。
P43-46,所列 3 種影像式車載移動測繪系統率定方式,前後段內容編排有錯置情形,請修正。	遵照工作小組建議重新編排影像式率定方式內容,主要分為固定臂及軸角,固定臂率定包含直接量測、兩階段率定法、整合率定法,軸角率定為兩階段率定法、整合率定法,相關說明及公式如 P.46 至 P.53 說明。
P49, 本案建議採用 Z+F SynCat Calibration 軟體解算,除本中心光達設備 PENTAX S-2100 可進行率定外,是否適合用於國內其他光達設備使用?請補充說明。	本案選用之 Z+F SynCaT-calibration 軟體,手冊說明點雲資料格式僅為 Z+F 原廠自訂格式(*.zfs),遵照工作小組建議補充文字如 P.56 至 P.58 說明,相關試辦作業將納入工作總報告。
P50,按圖 3-1 光達軸角/固定臂作業流程圖,須經過精度評估方可輸出率定成果,惟報告書未見到率定成果之精度指標,相關精度建議為何?請補充。	遵照工作小組建議補充光達式率定成果精度資訊,說明其評估之方式如 P.58 至 P.61 說明。
P63~P66, 率定報告請再蒐集相關資料後,於工作總報告完整呈現。	遵照工作小組建議補充車載移動測繪系統資料蒐集及率定技術介紹文獻,如 P.7 至 P.54 說明,將持續蒐集相關資料於工作總報告完整呈現。
P66,第 4 節-率定場選址一節,請補充本年 6 月 5 及 6 日與本中心一同會勘辦理情形。	遵照工作小組建議補充說明本案於 108 年 6 月 5 日及 6 月 6 日,與國土測繪中心一同會勘中部 6 處區域,包含文山水資源回收中心、國立中興大學創新育成中心、中部科學園區管理局、港灣技術研究中心、中興新村高等研究園區(工管組)、中興新村中興會堂,如 P.73 說明。
P90~95, 4.1.2 配合輔助工具安裝,就目前測繪車車頂空間及耐重等實際狀況,若以規劃車頂配置 2 人作業實有困難,請修正相關作業流程。另電動升降機頂板升至與車頂同高時,水平橫移操作部分仍須強化補充,俾使作業安全。	謝謝工作小組建議,參考目前標準安裝作業程序,建議安裝人員為 3 至 4 人,當 3 人作業且無輔助工具時,首先 3 人共同舉起設備掛置於車頂架平台邊緣,2 人支撐設備,其中 1 人移至車頂協助將設備橫移至平台內並輔以卡栓固定。若配合電動升降機及兩組工作梯使用,由電動升降機舉

	起設備至車頂架平台高度，2 位人員於工作梯上，1 人於車頂上，將設備橫移至正確安裝位置，橫移的距離依現場安裝人員的架設而定，相關安裝作業程序仍仰賴人工安裝，人員的安裝熟練度與訓練仍是保障安全的第一要素。
P91，請補充目前所提供輔助安裝設備之電源規格，倘若於實際外業(無市電供應情形下)操作時，供電方式(如採用逆變器)建議為何?，請補充。	謝謝工作小組建議，該設備的電力為 AC110V，功率為 1100W，當外業作業無法取得適當電力時，可藉由手動方式操作，以人工操作方式進行升降。本案輔助安裝設備電動升降機外配電源，建議以獨立電池配置 1600W 逆變器與開關箱作為電力供給來源。
P95，有關以切割 2-3 件的方式之輕量化設計，應考量現有推車空間及配置妥為規劃，於工作總報告提出具體建議。	謝謝工作小組建議，本案將於工作總報告提出系統輕量化規劃，推車空間及配置不變，維持原有動力系統及控制器，將針對推車支撐系統設備之平臺進行設計與規劃。
P36 至 P46，2.3.1、2.3.2 及 2.3.3 標號錯誤，應修正為 3.3.1、3.3.2 及 3.3.3。	遵照工作小組建議修正標號，如 P.39、P.46、P.48、P.51 說明。
P39 (2-1)式，d1 及 d2 均為純量，請修正符號。	遵照工作小組建議修正符號，如 P.42 說明。
P90，30 公分左右，修正為約 30 公分。	遵照工作小組建議修正文字敘述，如 P.97 說明。

附錄五 作業計畫書甲方工作小組意見回覆說明表

審查意見	意見答覆
<p>p.24~25 有關「率定場選址」，請先研擬率定場選址流程及必要條件，所提建議地點是否符合前開條件，均未見於作業計畫，建議修正作業計畫相關內容，並將率定場選址必要條件及符合該要件之建議場地納入期中報告。</p>	<p>遵照工作小組建議補充說明率定場選址條件：(1)率定場其透空度佳，適合 GNSS 接收；(2)影像式率定場四周建物包含大量控制點；(3)光達式率定場道路設施布設大量控制點；(4)場地進出及維護便利；(5)以國有土地為優先考量；(6)於中部地區規劃至少 2 處率定場等情況，針對南崗工業區、彰濱工業區、學校、軍營等進行比較如表 3-1 所示，後續將持續文獻蒐集，評估所有必要條件及適合之率定場場地，並納入期中及工作總報告，如 P.23 至 P.25 說明。</p>
<p>p.26~p.29，「3.1.1 光達移動測繪系統率定程序」，內容僅針對 Z+F 光達設備率定程序說明，尚缺國內目前其他光達設備(如 RIEGL VMX-250 及 Optech Lynx M1)率定方式資料蒐集作業之規劃，請補充；另規劃使用之 2 種率定標建議採用原廠推薦或經實際驗證之標型。</p>	<p>遵照工作小組建議補充國內其他光達設備 RIEGL 及 OPTECH 率定程序，針對各廠商建議之率定標型及掃描成果做說明，如 P.25 至 P.27 及 P.33 至 P.35 說明。後續將持續蒐集文獻，評估適合之率定方式及率定標型式，並納入期中及工作總報告。</p>
<p>p.33，請補充本案第 3 階段 2 輛光達移動測繪系統試辦作業之規劃。</p>	<p>遵照工作小組建議補充本案光達移動測繪系統試辦作業內容，將依研提車載移動測繪系統率定程序，如第 3.1.1 節光達移動測繪系統率定程序說明；試辦地點以成功大學歸仁校區為優先考量；車載移動測繪系統以貴中心測繪車進行試辦作業，並由測繪中心協調國內測繪業者(如詮華國土、中興測量等)提供另一車輛供本案試辦使用。資料後處理選用 Z+F SynCaT-calibration 光達率定軟體，匯入之格式包含 Z+F 自訂格式*.zfs，以及光達點雲通用格式*.las，故其他國內外光達系統蒐集之資料，依照 Z+F 光達移動測繪系統建議之率定作業模式，並將蒐集光達點雲資料轉換為通用*.las 格式，即可匯入至 Z+F SynCaT-calibration 光達率定軟體進行軸角/固定臂率定作業，如 P.35 說明。</p>
<p>p.47，請調整甘特圖之「各式保險」預定</p>	<p>遵照工作小組建議調整甘特圖內容，</p>

第捌章

進度(5 月份辦理)，另請將「車載移動測繪系統安裝改善作業」項目，細分為「系統安裝改善作業」及「整合式平臺輕量化規劃」等項，以利控管。	如 P.49 說明。
p.5 表 2-1 本中心 LMS 相機數量為 7，請修正。	遵照工作小組建議修正表 2-1 內容，如 P.5 至 P.6 說明。
p.40 圖 3-26 說明文字應為「工作梯(左)及電動升降機(右)示意圖」，請修正。	遵照工作小組建議修正圖 3-26 文字，如 P.43 說明。

附錄六 服務建議書委員審查意見回覆說明表

委員	審查意見	意見答覆
邱委員景升	本案在需求訪談時建議可以納入列事項： (1) 技術發展面的研析：建議要蒐集期刊文獻及研討會文獻納入。 (2) 標準與制度面資料蒐集。 (3) 應用與實做案例蒐集。	遵照委員建議納入需求訪談討論事項及補充車載移動測繪系統相關文獻，完整之文獻蒐集將納入期中報告及工作總報告供測繪中心參考，如第貳章說明。
	精度部分因影響因素眾多，建議要將最大誤差納入，並採用統一單位。	遵照委員建議補充最大誤差，並統一以單位公尺表示，如 P.31 說明。
	表 2-2 中羅列眾多國外系統，但並未做許多比較說明，請補充說明。	遵照委員建議補充車載移動測繪系統相關文獻，完整之文獻蒐集將納入期中報告及工作總報告供測繪中心參考，如第貳章說明。
蔡委員榮得	選用南崗工業區及彰濱工業區做為率定場址，該 2 場地係做為空載或 UAV 光達/攝影之率定場，係由空中對地面掃描，是否足夠做為車載系統之率定場地，由地面掃描/攝影與由空中向地作業之率定有所不同，宜審慎考慮。	本公司除規劃之南崗及彰濱工業區外，將另尋找中部地區合適場地，列出各場址之特性，並與測繪中心討論符合本案需求之率定場場地，以利後續試辦作業。
	率定系統是否涵蓋所欲採用 Point Grey Research. Inc. 之工業級相機？	遵照委員建議補充影像式移動測繪系統軸角/固定臂率定作業說明，如 P.32 至 P.34 說明。
	配合甲方既有之 Terra Solid 系統採購 Terra Photo 影像糾正及視覺化軟體，結合點雲及影像供三維瀏覽，其影像糾正不使用控制點而僅使用匹配方式進行接合與點雲上色，是否符合正射糾正之需求？	TerraPhoto 為較符合本案規定之處理軟體，本公司將於本計畫中進行相關測試，提供該軟體之最佳正射糾正方法。
蔡委員展榮	服務建議書尚有錯誤和遺漏未寫的內容，請訂正和補充。	遵照委員建議補充訂正，如第貳章及第參章說明。
	攸關本案 LMS 率定時機安裝改善作業等相關實際問題及其解決辦法請補充予加強。	遵照委員建議補充說明軸角/固定臂率定時機包含定期及非定期率定；系統安裝改善作業包含初步針對人力安裝訓練、使用輔助工具、整合式系統輕量化架構設計等規劃進行評估，如 P.34 至 P.41 說明。

第捌章

	<p>建議加強實際應用面注意事項、問題及解決辦法。</p> <p>以 p. 21 為例:「初步成果顯示如表 3-2 所示, 車載光達移動測繪系統平面精度小於 10 公分, 三維精度小於 15 公分, 三維最大誤差約為 23 公分, 相關精度可應用於國土利用調查及臺灣通用電子地圖圖資更新等作業」</p> <p>Q1:表 3-2 陳列已知點 E011~E495 的坐標較差統計得到 貴公司所謂的「平面精度」或「三維精度」會等於車載光達移動測繪系統的測繪點位之精度嗎?</p> <p>Q2:若否, 則車載光達移動測繪系統的測繪點位之精度約多大? 如何評估?</p> <p>Q3:車載光達移動測繪系統測繪或更新圖資會遭遇那些常見的實際問題呢?</p> <p>Q4:表 3-1 的光達軸角/固定臂率定得到的數據可以用於光達掃描獲得的點雲數據計算嗎?</p> <p>Q5:表 3-1 的光達軸角/固定臂率定得到的 6 個數據之後驗精度可達多少?</p>	<p>遵照建議建議補充說明, 如第貳章及第參章說明。</p> <p>本案光達移動測繪系統精度分析, 為藉由定位定向系統軌跡, 考慮軸角/固定臂率定解平移及旋轉至光達系統, 再由光達掃描資訊得點雲之直接地理定位成果, 並量測檢核點雲得到之坐標與其已知坐標值進行比較分析其精度, 其誤差來源包含定位定向系統誤差、光達系統誤差、軸角/固定臂誤差、人為量測誤差、控制點精度等。本公司過去於 106 及 107 年度發展車載移動測繪系統作業採購案, 初步成果顯示平面及三維精度小於 0.10 公尺及 0.15 公尺、平面及三維最大誤差約為 0.22 及 0.25 公尺。</p> <p>本案執行測繪及圖資更新時, 主要遭遇問題包含點雲密度低、光達往返掃描點雲錯位、道路邊線定義不明及道路邊線受遮蔽等因素影響等, 可藉由設定外業資料蒐集方式如降低車速提高點雲密度、利用控制點反饋修正定位定向系統軌跡, 進一步修正點雲資料、內業數化道路以最大範圍進行繪製, 盡可能使道路邊線平順不崎嶇為原則等方式改善相關問題, 相關完整之文獻蒐集及可能遭遇之問題及解決方法將納入期中報告及工作總報告供測繪中心參考。</p>
	<p>pp. 22-26 第二節:</p> <p>Q1:GNSS、IMU、輪速計、光達、相機之廠牌型號以及機電架構圖(圖 3-22)恰巧皆與國土測繪中心的需求規格書完全一致, 貴公司的初步成果(例如表 3-1 及</p>	<p>本案軸角/固定臂率定及精度分析實例, 為本公司於 106 及 107 年度發展車載移動測繪系統作業採購案開發之車載移動測繪系統, 至內</p>



	<p>表 3-2)是否為前述設備組成的 LMS 之測試成果呢?</p> <p>Q2:LMS 安裝改善作業項目除了「減輕重量」、「可裝上、卸下(尺寸吻合)」、「符合期望的可量測範圍」外,無其他安裝改善之考量因子嗎? 例如要如何設計、製作安裝基座和如何安裝俾使得 LMS 系統之各項元件(GNSS、IMU、光達、相機)之間的相對位置和角度在安裝前後、率定前後和 LMS 作業時候的車子行駛震動影響下無顯著的變化呢?</p>	<p>政部於多平台製圖技術工作案中所建置之檢校場(位於成功大學歸仁校區)執行率定作業,即為測繪中心組成之 LMS 測試成果,如 P.30 至 P.32 及 P.33 至 P.34 說明。系統安裝作業改善,初步針對人力安裝訓練、使用輔助工具、整合式系統輕量化架構設計等進行評估。本公司將蒐集國內外文獻資料,參考相關實際案例評估本公司所提方式是否影響相關感測器精度,作為最終建議方式,並納入期中報告及工作總報告供測繪中心參考。</p>
	<p>pp. 6-14</p> <p>Q1:國內(表 2-1)和國外(表 2-2)移動測繪系統規格比較的項目怎麼不一致呢?</p> <p>Q2:表 2-1 羅列的國內使用機關/廠商仍有遺漏,例如日陞公司。</p> <p>Q3:表 2-2 仍漏列了不少國外移動測繪系統的使用機關/廠商(例如真的用 MMS 或 LMS 來作業的機構),且表 2-2 羅列 8 家國外使用移動測繪系統的機構廠商,卻僅有「一、奧地利 RIEGL 公司」簡介,卻遺漏了表列的其他 7 家。</p> <p>Q4:p. 8 「國內車載遙測製圖系統相關完整研發工作始於 2008 年」,事實上,王蜀嘉老師帶領成大建教團隊至少在 2008 年就已經拿 MMS 來真正實際使用(例如:調繪補測),而不是還停留在研究用的。</p> <p>p. 8 「國立成功大學於 2008 年起在科技部資助下,嘗試自主研發車載移動遙測製圖技術(含軟硬體)」</p> <p>Q5:2008 年還是國科會,2014 年 3 月 3 日國科會才改制為科技部。</p>	<p>遵照委員建議補充車載移動測繪系統及應用實例介紹相關文獻,訂正表格內容及文字敘述,完整之文獻蒐集將納入期中報告及工作總報告供測繪中心參考,如第貳章說明。</p>
	<p>p. 41「軟硬體設備項目如表 7-1 所列。各項設備詳細規格請見附錄四」</p> <p>Q1:不是附錄四(工作實績說明),而是附錄二,且附錄二只列正射影像糾正軟體的簡要規格說明,卻無表 7-1 所列的儀器設備規格說明。</p>	<p>遵照委員建議補充訂正。</p>

第捌章

<p>洪委員本善</p>	<p>室外檢定場之檢核點(作為移動測繪系統及光達移動測繪系統)之已知坐標如何建立及施測，請說明。</p>	<p>本案室外率定場之控制點及檢核點量測方法，首先透過 GNSS 測量取得地面控制點，並以全站儀採光線法三維定位量測計算求得牆面及道路兩旁地物特徵處布設之控制點及檢核點坐標，完成率定場之設置，如 P.25 至 P.26 說明。</p>
<p>高委員書屏</p>	<p>針對今年度車載移動測繪系統率定場規劃之標準作業程序，請問即是率定標準作業程序?預計規劃之可率定系統有幾種?國外是否有類似之系統率定場?</p>	<p>本案針對車載移動測繪系統之率定場進行規劃作業，蒐集及參考相關文獻建議，如率定場透空度、率定場四周環境、控制點佈設方式、未來 TAF 認證所需規範等，建立率定場作業。 本案軸角/固定臂率定程序首先針對測繪中心之光達移動測繪系統研提率定程序，包含外業作業流程及所需之工具軟體，並蒐集國內外測繪車廠商率定方式之文獻，分析比較各率定方式差異，納入期中報告及工作總報告供測繪中心參考，如第貳章說明。</p>
	<p>應將目前已有 5 台之類似系統(國土測繪中心、經緯、成大、中興、詮華)進行「共同項目」之率定，不同項目之比較分析，以利未來規劃。</p>	<p>遵照委員建議本公司參考需求訪談會議討論內容，率定作業試辦車輛包含測繪中心提供之車載移動測繪系統，並由測繪中心協調詮華國土及中興測量提供另一車輛供本案試辦使用，針對率定項目進行分析比較，供測繪中心參考，如 P.32 說明。</p>
	<p>由服務建議書第 12 頁表 2-2 國外移動測繪系統規格比較，可知就光達精度而言從 5mm~5cm，範圍 65m~500m，定位定向系統精度 1.5cm~6cm，請提出本案之率定範圍值為何?</p>	<p>遵照委員建議補充說明本案 Z+F 率定報告書，參考 Z+F 原廠率定證明書，於目標物 50 公尺時，光達系統掃瞄點雲精度可達 0.9 毫米，如 P.36 至 P.37 說明。</p>
<p>蔡副召集人 季欣</p>	<p>有關 MMS 率定場規劃工作，對於國內外各項不同種類、價格、模式，建議彙整後</p>	<p>遵照委員建議補充車載移動測繪系統相關文獻，完整之</p>



	<p>予以歸納分析後，提供國土測繪中心參考。</p>	<p>文獻蒐集將納入期中報告及工作總報告供測繪中心參考，如第貳章說明。</p>
	<p>對於場址選定部分，國內目前有成功大學歸仁校區檢校場可供參考，是否具有何種特色，以目前選定南崗及彰濱工業區而言，特性完全不同，團隊應補充需求及特性說明後，提供分析後再決定場址。</p>	<p>率定場場址選擇建議為其透空度可達 50 度以上，適合 GNSS 接收且可減少 GNSS 訊號受到遮蔽或多路徑效應影響；率定場四周建物包含大量特徵點位，透過高精度測量方法取得這些特徵點之三維坐標作為牆面控制點，作為率定作業使用。本公司除規劃之南崗及彰濱工業區外，將另尋找中部地區合適場地，列出各場址之特性，並與測繪中心討論符合本案需求之率定場場地，以利後續試辦作業。</p>
	<p>另國土測繪中心 MMS 改善作業，目前提出之解決方案係以拆件方式結合工作梯，惟實際作業時之經驗如何？拆件之後不同感測器之相對關係是否有影響？</p>	<p>本案系統安裝改善作業初步規劃為拆件方式，重新安裝後理論上相對關係改變需重新率定，本公司過去執行 3 次相關測試，評估其直接地理定位精度，初步成果顯示精度仍符合大比例尺圖資需求，本公司將蒐集國內外文獻資料，參考相關實際案例評估本公司所提方式是否影響相關感測器精度，作為最終建議方式，並納入期中報告及工作總報告供測繪中心參考。</p>
<p>梁召集人旭文</p>	<p>1. 移動測繪系統安裝改善作業，初步規劃改為 2 件或 3 件式，是否影響相對關係？是否重新率定？國內外是否有相同設計模式？</p>	<p>本案系統安裝改善作業初步規劃為 2 件或 3 件式，重新安裝後理論上相對關係改變需重新率定，本公司過去執行 3 次相關測試，評估其直接地理定位精度，初步成果顯示精度仍符合大比例尺圖資需求，本公司將蒐集國內外文獻資料，參考相關實際案例評估本公司所提方式是否影響相關感測器精度，作</p>



		為最終建議方式，並納入期中報告及工作總報告供測繪中心參考。
--	--	-------------------------------

附錄七 服務建議書甲方工作小組之意見回覆說明表

審查項目	審查意見	意見答覆
(一) 作業規劃：	本案服務建議書內容章節及製作規定，均依服務建議徵求書相關內容章節如作業項目、程序與方法、工作進度、資料精度檢核與品質控管等規定撰寫，對整體作業提出可行之方法。	謝謝工作小組提出之建議。
	請補充說明有無對本案執行之事項及建議。	遵照工作小組建議補充車載移動測繪系統相關文獻、率定場規劃、安裝改善作業等補充說明，完整之文獻蒐集及執行作業說明將納入期中報告及工作總報告供測繪中心參考，如第貳章及第參章說明。
(二) 作業項目及程序：	第 15 及 28 頁依整體作業需求提出各作業項目程序、方法及技術方案，尚符合本案需求。	謝謝工作小組提出之建議。
	第 15 至 16 頁有關車載移動測繪系統率定場規劃作業，所提「南崗工業區」及「彰濱工業區」組成以私人公司或工廠居多，顯與本案規格需求以「國有土地為優先考量」不相符，請補充說明。	本公司除規劃之南崗及彰濱工業區外，將另尋找中部地區合適場地，列出各場址之特性，並與測繪中心討論符合本案需求之率定場場地，以利後續試辦作業。
	第 15 至第 22 頁第參章作業程序及方法，有關車載移動測繪系統率定程序，未敘明相機與定位定向系統之軸角及固定臂率定方式，請補充說明。	遵照工作小組建議補充影像式移動測繪系統軸角/固定臂率定作業說明，如 P.32 至 P.34 說明。
	試辦作業需至少辦理 2 部(含本機關及其他機關)車載移動測繪系統率定，並出具率定報告，針對非本機關以外之光達設備率定方式規劃為何?請補充說明。	本公司參考需求訪談會議討論內容，率定作業試辦車輛包含測繪中心提供之車載移動測繪系統，並由測繪中心協調詮華國土及中興測量提供另一車輛供本案試辦使用，如 P.32 說明。 本案 Z+F SynCaT-calibration 光達率定軟體匯入之格式包含 Z+F 自訂格式*.zfs，以及光達點雲通用格式*.las，故其他國內外光達系統蒐集之資料，依照 Z+F 光達移動測繪系統建議之率定作業模

		式，並將蒐集光達點雲資料轉換為通用*.las 格式，即可匯入至 Z+F SynCaT-calibration 光達率定軟體進行軸角/固定臂率定作業，如 P.27 至 P.32 說明。
	第 16 至第 17 頁所設計之率定標標型是否參考本中心 Z+F 光達原廠所建議方式？是否已有國內外實際運用經驗？請補充說明。	本案選用之率定標標型為 Z+F 原廠手冊建議之設計方式，考慮未來率定場需進行 TAF 認證，本公司另設計實體率定標，相關設計待與貴中心討論後，於期中報告時提出，如 P.25 至 P.26 說明。
	第 18 頁至第 22 頁所提 Z+F SynCaT-calibration 光達率定軟體是否適用於國內其他光達移動測繪系統率定使用？如無法通用，因應方法為何？請補充說明。	本案 Z+F SynCaT-calibration 光達率定軟體匯入之格式包含 Z+F 自訂格式*.zfs，以及光達點雲通用格式*.las，故其他國內外光達系統蒐集之資料，依照 Z+F 光達移動測繪系統建議之率定作業模式，並將蒐集光達點雲資料轉換為通用*.las 格式，即可匯入至 Z+F SynCaT-calibration 光達率定軟體進行軸角/固定臂率定作業，如 P.27 至 P.32 說明。
	第 24 至第 26 頁，目前移動測繪系統整合式平臺約重 70kg，規劃使用人力結合工作梯搬運，似乎無法有效改善現階段安裝方式，是否有採電動方式(非人力方式)安裝之規劃方案，請補充說明。	系統安裝改善作業包含初步針對人力安裝訓練、使用輔助工具、整合式系統輕量化架構設計等規劃進行評估，如 P.34 至 P.41 說明。
(三)工作進度及品質管控：	第 31 頁表列預定工作時程且設定各階段檢核點。	謝謝工作小組提出之建議。
	品質檢核與管理：第 32-34 頁說明資料精度檢核與品質管控規劃。	謝謝工作小組提出之建議。
	第 31 頁檢核點(D+120、D+200 等)與第 4 頁及第 5 頁本案工作時程不符，是否為誤繕，請說明。	遵照工作小組建議修正進度甘特圖說明，如 P.47 說明。
(四)廠商背景及相關經驗：	編制組織：第 35-41 頁介紹廠商編制組織及人員分工，團隊由經緯航太科技股份有限公司組成，由蔡孟倫擔任計畫主持人、張庭榮擔任協同主持人；第 35 頁	謝謝工作小組提出之建議。



	列出專案團隊人員組織架構圖，並依作業需求規劃品質保證與稽核組(2人)、機電整合組(2人)與率定場規劃組(4人)，合計投入 10 人。	
	業績經驗：第 37-38 頁說明廠商曾辦理「106 及 107 年度發展車載移動測繪系統 (MMS) 作業」等採購案；附錄四並檢附該公司近 3 年數值地形圖與航測類工作實績證明。	謝謝工作小組提出之建議。
	目前承辦中工作：第 38 頁說明目前承辦中工作(含名稱、金額、預定完成時間)，計 4 案。	謝謝工作小組提出之建議。
	參與作業人員編組、學經歷專長及相關證照：第 35 頁列出人員配置編組計 10 人；附錄五檢附成員學經歷專長、在職證明及相關證照等文件。	謝謝工作小組提出之建議。
	本案擬作業之環境及軟硬體設備、資料保全：第 39 頁說明廠商工作地點環境；第 39-41 頁說明資料保全措施及設備；第 41-42 頁說明作業軟硬體設備項目。	謝謝工作小組提出之建議。
	第 60 頁至第 90 頁附錄四中僅編號第 23 至 27 號等 5 案有附勞務結算驗收證明書，餘 25 案未附完工證明文件；另第 38 頁所列 4 案在建工程是否影響本案執行，請補充說明。	遵照工作小組建議補充訂正。本公司目前承攬之計畫，絕大部分人力偏重於立製編輯與調繪等，本案主要技術研發人員包含率定場規劃、系統安裝改善及輕量化等，人力使用重疊性不高，故人力調度無影響。
(五)交付本案購置設備：	本案預算金額為 143 萬 6,000 元，第 43 頁針對各項工作單價分析及估算整體經費為 143 萬 6,000 元，未逾本案經費預算額度，另第二項、購置影像正射糾正軟體未超過本案規定之 27 萬 8,000 元。	謝謝工作小組提出之建議。
	第 43 頁，項目四、移動測繪系統安裝改善作業所列單價為 41 萬 3,000 元，請補充說明該項目規劃辦理內容。	本案移動測繪系統安裝改善作業，工作項目包含協助改善測繪中心整合式平臺安裝及卸下作業方式，必要時需提供輔助工具；並針對整合式平臺研提輕量化之規劃。辦理規劃內容為前期人力協助之成本、中期提供輔助工具之租賃或購入費用、後期整合式系統輕量化架構設計

第捌章

		等測試作業，加強整合式平臺安裝及卸下時之穩定性及可靠度，減低操作人員安裝該設備之負擔，提高作業人員之操作便利及作業效率，達成所需之需求及規範，如 P.34 至 P.41 說明。
--	--	--

附錄八 需求訪談會議紀錄

內政部國土測繪中心

108 年度發展光達移動測繪系統(LMS)作業採購案

需求訪談會議紀錄

- 壹、 時間：108 年 3 月 4 日下午 2 時
- 貳、 地點：內政部國土測繪中心 5 樓第 2 會議室
- 參、 主持人：王課長敏雄
- 肆、 出席單位及人員：(詳如簽到簿)
 - 內政部國土測繪中心 林技正世賢、鍾課員文彥、施技士錦揮
 - 經緯航太科技股份有限公司 蔡孟倫、張庭榮、朱建勳

伍、 會議結論：

有關需求規格工作項目之各式報告、購置影像正射糾正軟體、車載移動測繪系統率定場規劃、移動測繪系統安裝改善作業、教育訓練、成果展示作業、車輛保養、驗車及保險悉依契約規定辦理。另經本公司及貴中心討論協議後，相關細節說明如下：

一、影像正射糾正軟體，將提供 TerraPhoto 全功能版軟體 1 套。

二、率定場規劃作業

(一)率定方法：有關 LMS 率定程序及方法，將參考原廠資料並蒐集近 5 年內國內外相關文獻，經具體分析比較後，提出適用於國內現有 LMS 設備率定方法、率定標布建之建議。

(二)率定場選址：將以國有土地且適合後續 TAF 認證需求為原則，並針對感測器特性、透空情形、場地進出、維護便利等條件審慎規劃，於中部地區規劃 2 處率定場，並請貴中心會同至現場實際踏勘調查作業。

(三)試辦作業：除貴中心自有 LMS 測繪車外，另挑選 1 部國內(詮華、中興)廠商現有之測繪車辦理試辦作業，後續如無法取得其他廠商同意協助試辦事宜，將請貴中心協助協調。

三、移動測繪系統安裝改善作業：將提供電動式升降裝置 1 臺作為輔助，並配合加裝車頂橫桿強化現有系統車尾端固定跨車頂支架，

至有關操作及安全疑慮部分，將於後續工作會議中討論確認。

四、教育訓練：配合貴中心辦理光達測繪車需要，本公司將盡速辦理 TerraPhoto 軟體採購事宜，並針對該軟體操作規劃教育訓練內容，並依契約規定辦理教育訓練事宜。

五、成果展示作業，本公司將配合貴中心 3 月 26 日監察院巡視，協助測繪車成果展示事宜。

六、車輛保養、驗車及保險：

(一)儀器保險部分，除既有設備外，將增加 107 年度新增儀器之保險，並參考過去作業方式，由貴中心辦理保險，再由本公司付款。

(二)有關貴中心反應 LMS 輪速計及相片 Trigger 等問題，本公司將配合貴中心測繪車加裝車頂橫桿期間，將測繪車借回本公司進行全面檢測及更新作業。

陸、散會：下午 3 時 30 分

「108 年度發展光達移動測繪系統(LMS)作業採購案」暨「108 年度建置遙控無人機系統與航拍及影像處理作業採購案」需求訪談會議簽到簿

時 間：108 年 3 月 4 日(星期一)下午 2 時	
地 點：本中心第 2 會議室	
主 席：王課長敏雄 王敏雄	
出席機關(單位)	簽 到 處
經緯航太科技股份有限公司	李立函 張盛榮 李建強
內政部國土測繪中心 地形及海洋測量課	林世賢 鍾文亮 張銘輝

附錄九 各次工作會議紀錄回覆說明表

第 1 次工作會議	
時間：108 年 4 月 3 日(星期三) 上午 11 時	
地點：經緯航太科技股份有限公司(臺中分公司)	
會議結論	辦理情形
1 系統改善安裝作業：光達設備安裝輔助工具應以安全為前提，整體操作省力及方便為原則，針對電動升降裝置之適用性及安全性，仍請經緯公司詳加測試及評估，必要時可搭配工作梯輔助。	遵照指示辦理，升降梯至原廠討論及評估裝置適用性及安全性，相關測試如 P.36 說明。
2 輪速計及相機 Trigger 修護作業：請積極辦理，相關修護情形需列入每月工作會議及月報追蹤列管。	遵照指示辦理，推車及充電器預計 5/20 繳交後將主機平臺借出，進行相機觸發裝置修正，測試相機相片數量不一致情況，並裝設輪速計裝置修正情形，預計 6/20 完成如 P.42 說明。
3 遙控車充電設備：因目前遙控車之充電器須使用公務車上設備非常不便，請修改遙控車之充電設備。	遵照指示辦理，本公司另提供室內充電器，設備已到貨待接線組裝測試完成後，預計 5/20 完成並繳交中心如 P.35 及 P.42 說明。
4 系統輕量化作業：經緯公司所提系統主體拆分為 2 或 3 件方式，請以保持光達系統穩定性為主要考量，各活動模組以更便於攜行及拆裝為原則妥為規劃。	遵照指示辦理，系統輕量化作業以保持系統穩定性為主要考量，待系統安裝改善作業完成後進行規劃。
5 本案教育訓練計畫請儘速規劃，並提送本中心核備實施，另 TerraPhoto 軟體訓練所用教材須以本中心 LMS 掃瞄及拍攝成果為教案。	遵照指示辦理，教育訓練於 108 年 4 月 22 日辦理如 P.38 說明。
6 本案率定場規劃係以可符合 TAF 認證為目標，請經緯公司蒐集國內外有關光達移動測繪系統相關率定作業文獻資料，並彙整文獻所提方法及條件，提出一套符合國內光達移動測繪系統使用之率定場及率定方法策略，於工作會議提出說明。	遵照指示辦理，車載移動測繪系統率定場規劃作業相關文獻蒐集，包含國內 MMS 種類、率定程序、率定場選址等如 P.10 至 P.34 說明。
7 本案需辦理 2 部國內測繪車之率定試辦作業，請經緯公司先行蒐集並了解國內(詮華、中興)廠商現有之光達測繪車相關資料(如：	遵照指示辦理，車載移動測繪系統率定場規劃作業相關文獻蒐集，包含國內 MMS 種類、率定程序、率定場選址等如 P.10 至 P.34 說明。待研擬方法確認後與國內廠商協調試辦事宜。



硬體規格及特性、資料格式及處理方式、使用軟體、原廠建議率定方式等),研擬試辦作業策略方法,於工作會議提出說明,倘後續如無法取得廠商同意協助試辦事宜時,再由本中心協助協調。	
第 2 次工作會議	
時間：108 年 5 月 14 日(星期二) 上午 10 時 30 分	
地點：內政部國土測繪中心第 2 會議室	
會議結論	辦理情形
1 遙控車充電設備及控制方式調校、電動升降裝置、輪速計及相機 Trigger 修護、相機相片數量不一致改善等作業,請經緯公司依規畫時程積極辦理,如期完成改善。	遵照指示辦理,充電設備及控制方式調校於 5 月 31 日完成;電動升降裝置於 6 月 10 日完成;設備平臺於 6 月 3 日借出,輪速計及相片數量不一致改善預計於 6 月 30 日前完成,如簡報 P.28 至 P.30 說明。
2 Pointer-GMMS 授權問題與 TerraPhoto 三軸定義不一致問題、GeoPoint 程式輸出錯誤,請積極辦理修正及測試,務必於 6 月底前全數完成修正。	遵照指示辦理,Pointer-GMMS 授權問題於 5 月 28 日完成軟體更新,後續每年提供版本更新及授權維護;TerraPhoto 定義問題及 GeoPoint 程式問題已請原廠提供協助,待確定後回覆中心。
3 有關 LMS 率定程序及方法,請經緯公司持續測試,並以本中心現有軟硬體設備為原則規畫,倘有不足之處請提出建議。	遵照指示辦理,補充 LMS 率定程序及方法,如簡報 P.10 至 P.12 說明。
4 有關率定場規畫部分,請掌握時程積極辦理,除考量感測器特性、場地進出、維護便利、國有土地、位於中部地區等要素外,另須將道路車速及行車轉彎等因素納入考量審慎規畫,於期中報告前(6 月 22 日)完成最適場地 2 處規畫,並會同本中心進行實際踏勘調查。	遵照指示辦理,於 6 月 6 日及 6 月 7 日至中興會堂、中興新村高等研究園區(工管組)、文山水資源回收中心、中興大學創新育成中心、中部科學園區管理局、港灣技術研究中心進行率定場踏勘,如簡報 P.14 至 P.27 說明。
5 108 年度儀器及車輛保險事宜,依往例作業方式,由本中心洽辦保險事宜,相關保險費用請經緯公司先行繳納至本中心,再由本中心代繳。	遵照指示辦理,相關保險費用已繳納至測繪中心。
第 3 次工作會議	
時間：108 年 6 月 19 日(星期三) 上午 10 時 30 分	
地點：內政部國土測繪中心第 2 會議室	

第捌章

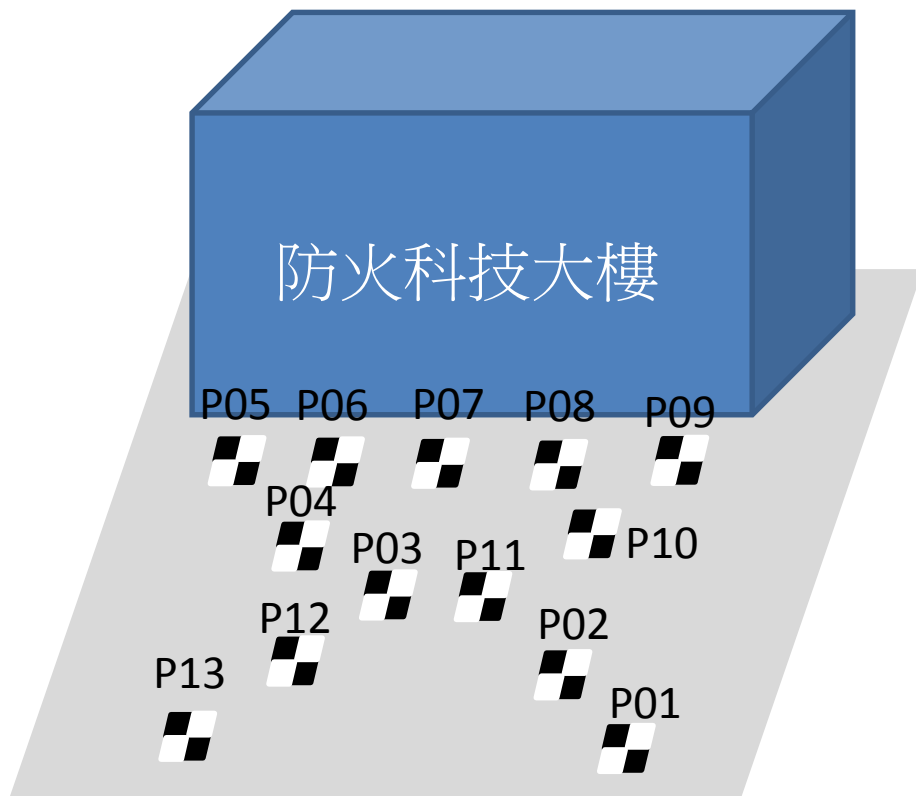
會議結論		辦理情形
1	LMS 率定場地勘選,就各面向及未來性,以圖表及相關文字說明,做成差異性比較文件,納入期中報告。後續 LMS 率定場選定後,請估算相關建置及維護費用,納入期末報告。	遵照指示辦理, LMS 率定場選址針對選定之 6 個區域,依據感測器、與測繪中心之距離、場地管理、進出、維護、建物面朝方向等條件進行比較,依指示後續估算相關建置及維護費用,納入期末報告。
2	點雲上色作業流程、GeoPointer 程式輸出格式錯誤, Trigger 修護、相機相片數量不一致等改善作業,仍請積極辦理修正及測試,另請經緯公司於完成改善前,每週五以電子郵件將相關改善作業預計進度及相關辦理情形通報本中心。	遵照指示辦理,點雲上色已聯絡原廠協助、GeoPoint 亦請求工程師協助修改、Trigger 修護及相機相片數量不一致等情況預計於 7 月 12 日前完成,依指示於每週五下午四時前以電子郵件回報相關辦情形。
3	LMS 電動升降裝置仍請經緯公司詳加測試,並研擬相關操作步驟,俾提升後續使用安全。另請提供 LMS 電動升降裝置之電源供應裝置相關資訊,供本中心參考。	遵照指示辦理,協助研擬電動升降裝置操作步驟,提升使用安全,並提供 LMS 電動升降裝置之電源供應,如簡報說明。
第 4 次工作會議		
時間：108 年 9 月 5 日(星期四) 下午 2 時		
地點：內政部國土測繪中心第 2 會議室		
會議結論		辦理情形
1	請經緯公司於 108 年 9 月 12 日前繳交 LMS(含光達及相機等 2 項感測器)率定作業計畫(含率定時間、流程及方法),嗣本中心確認後,據以辦理本年度 2 部國內測繪車之率定試辦作業,以及 LMS 率定場地規劃作業(內容含標型種類、布標原則及行車軌跡等與率定場有關事項)。另請經緯公司積極聯繫國內現有光達測繪車之廠商配合辦理試辦作業。	遵照指示辦理,提供率定作業計畫,如簡報 P.9 至 P.14 說明。
2	請經緯公司提供 TerraPhoto 點雲上色作業流程及本中心 LMS 相關相機參數定義。	遵照指示辦理,提供 TerraPhoto 點雲上色作業流程及相機參數定義,如簡報 P.15 至 P.16 說明。
3	針對相機拍攝相片數量與 Trigger 數量不一致情形、GeoPointer 程式輸出格式錯誤、故障電池維修等問題,仍請經緯	遵照指示辦理,針對相關錯誤進行修正及測試,並通報測繪中心。



	公司積極辦理修正及測試，相關改善情形仍請於每週五以電子郵件通報本中心。	
4	LMS 電動升降機橫移裝置改裝仍請經緯公司持續精進改善，俾提升後續使用安全。	遵照指示辦理，針對電動升降機橫移裝置進行規劃。
第 5 次工作會議		
時間：108 年 10 月 9 日(星期三) 下午 2 時		
地點：內政部國土測繪中心第 2 會議室		
	會議結論	辦理情形
1	請經緯公司依決議之光達移動測繪系統率定方法，儘速辦理本中心及自強工程顧問公司 2 部 LMS 試辦作業。	遵照指示辦理，於 10 月 28 日至 10 月 30 日辦理率定標布設、地面測量、測繪中心及自強工程顧問 LMS 試辦作業。
2	試辦作業場地(成功大學歸仁校區)相關布標及控制點測量等作業請經緯公司積極辦理；倘因場地借用無法取得建物(防火科技大樓)牆面使用，將另於該校區其他建築牆面貼標為替代方案。	遵照指示辦理，於 10 月 28 日辦理率定標布設及地面測量，率定黏貼於防火科技大樓前方道路空地，及國家地震工程研究中心旁之宿舍建物牆面及道路地面。
3	本案試辦作業成果之分析比較，請納入工作總報告，並於 108 年 10 月 30 日前繳交，作為本中心後續年度建置 LMS 率定場及校服務之參據。	遵照指示辦理，將試辦作業成果之分析比較納入工作總報告。
4	經緯公司提供 TerraPhoto 點雲上色作業流程尚無法正確運用於本中心案例情形，仍請經緯公司查明相關參數定義，並修正作業流程以符合本中心使用。	遵照指示辦理，將 TerraPhoto 點雲上色作業流程納入工作總報告，並依作業流程成功將測繪中心實測資料進行點雲上色。
5	針對輪速計資料無法紀錄、GeoPointer 程式輸出格式錯誤、故障電池維修等問題，仍請經緯公司積極辦理修正及測試。	遵照指示辦理，於 10 月 25 日修正及測試完成，並繳交歸還於測繪中心。

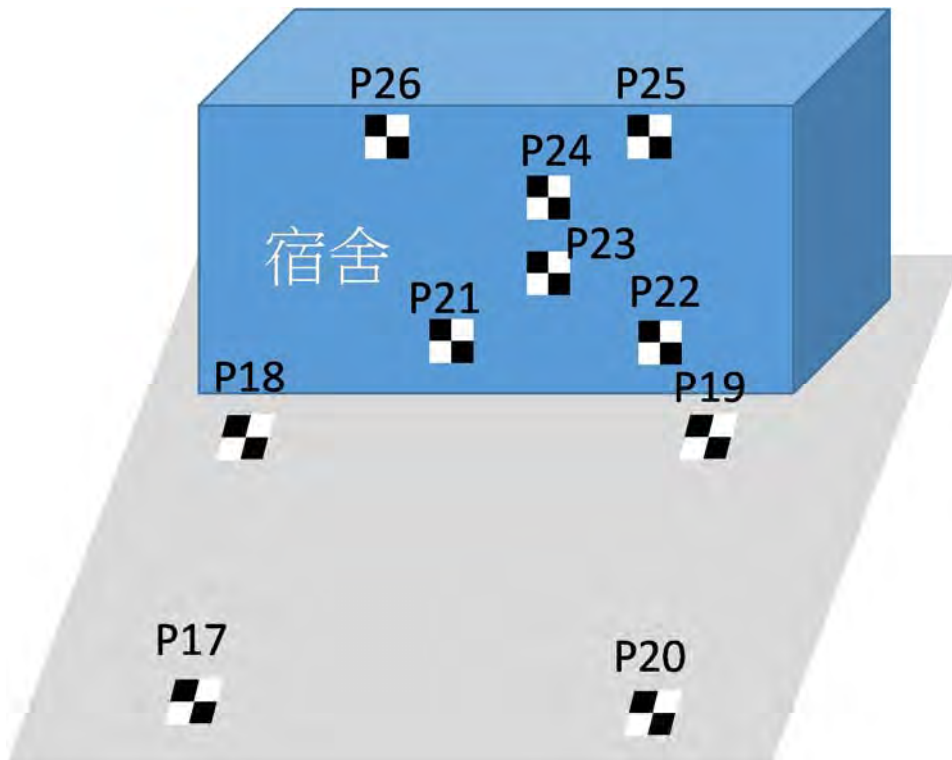
附錄十 率定場/檢核場控制點分布及坐標與控制點量測結果

■ 率定場率定標分布情況及坐標



IP	E	N	h
P01	175665.047	2537384.856	34.800
P02	175661.979	2537380.898	34.811
P03	175658.871	2537376.996	34.833
P04	175655.730	2537373.105	34.828
P05	175652.585	2537369.266	34.757
P06	175652.765	2537374.266	34.767
P07	175652.923	2537379.204	34.735
P08	175653.163	2537384.228	34.757
P09	175653.532	2537389.369	34.785
P10	175656.265	2537385.047	34.871
P11	175658.978	2537380.849	34.827
P12	175661.650	2537376.629	34.796
P13	175664.332	2537372.484	34.717

■ 檢核場率定標分布情況及坐標



IP	E	N	h
P17	175875.487	2537472.564	36.636
P18	175875.259	2537477.726	36.654
P19	175907.738	2537479.231	36.047
P20	175907.747	2537473.861	36.112
P21	175896.057	2537486.256	39.851
P22	175905.042	2537486.567	39.839
P23	175902.349	2537486.469	41.930
P24	175902.337	2537486.472	45.675
P25	175905.281	2537486.588	51.825
P26	175891.601	2537486.120	51.873

■ 國土測繪中心，光達式 MMS，方法 1，檢核點量測原始資料

IP	已知值			量測值			誤差		
	E	N	h	E	N	h	平面	三維	
P17	175875.487	2537472.564	36.636	175875.345	2537472.579	36.552	0.143	0.166	
P18	175875.259	2537477.726	36.654	175875.439	2537477.765	36.605	0.184	0.191	
P19	175907.738	2537479.231	36.047	175907.881	2537479.228	35.986	0.143	0.155	
P20	175907.747	2537473.861	36.112	175907.603	2537473.871	36.025	0.144	0.169	
P22	175905.042	2537486.567	39.839	175905.167	2537486.593	39.776	0.128	0.142	
P23	175902.349	2537486.469	41.930	175902.471	2537486.480	41.873	0.122	0.135	
P24	175902.337	2537486.472	45.675	175902.428	2537486.494	45.586	0.094	0.129	
P25	175905.281	2537486.588	51.825	175905.173	2537486.663	51.834	0.131	0.132	
P26	175891.601	2537486.120	51.873	175891.653	2537486.125	51.784	0.052	0.103	
							AVG	0.127	0.147
							STD	0.037	0.026
							RMS	0.132	0.149

■ 國土測繪中心，光達式 MMS，方法 2，檢核點量測原始資料

IP	已知值			量測值			誤差		
	E	N	h	E	N	h	平面	三維	
P17	175875.487	2537472.564	36.636	175875.319	2537472.608	36.586	0.174	0.181	
P18	175875.259	2537477.726	36.654	175875.464	2537477.738	36.638	0.205	0.206	
P19	175907.738	2537479.231	36.047	175907.914	2537479.199	36.018	0.179	0.181	
P20	175907.747	2537473.861	36.112	175907.573	2537473.901	36.058	0.179	0.187	
P22	175905.042	2537486.567	39.839	175905.059	2537486.603	39.751	0.040	0.097	
P23	175902.349	2537486.469	41.930	175902.405	2537486.527	41.826	0.081	0.132	
P24	175902.337	2537486.472	45.675	175902.414	2537486.430	45.491	0.088	0.204	
P25	175905.281	2537486.588	51.825	175905.368	2537486.502	51.537	0.122	0.313	
P26	175891.601	2537486.120	51.873	175891.614	2537486.010	51.644	0.111	0.254	
							AVG	0.131	0.195
							STD	0.056	0.063
							RMS	0.141	0.204

■ 國土測繪中心，光達式 MMS，Z+F，檢核點量測原始資料

IP	已知值			量測值			誤差		
	E	N	h	E	N	h	平面	三維	
P17	175875.487	2537472.564	36.636	175875.344	2537472.597	36.534	0.147	0.179	
P18	175875.259	2537477.726	36.654	175875.432	2537477.763	36.588	0.177	0.189	
P19	175907.738	2537479.231	36.047	175907.570	2537479.235	35.956	0.168	0.191	
P20	175907.747	2537473.861	36.112	175907.622	2537473.871	36.008	0.125	0.163	
P22	175905.042	2537486.567	39.839	175905.140	2537486.574	39.766	0.098	0.122	
P23	175902.349	2537486.469	41.930	175902.456	2537486.468	41.860	0.107	0.128	
P24	175902.337	2537486.472	45.675	175902.545	2537486.441	45.630	0.210	0.215	
P25	175905.281	2537486.588	51.825	175905.494	2537486.597	51.840	0.213	0.214	
P26	175891.601	2537486.120	51.873	175891.732	2537486.075	51.894	0.139	0.140	
							AVG	0.154	0.171
							STD	0.042	0.035
							RMS	0.159	0.174



■ 國土測繪中心，影像式 MMS，檢核點量測原始資料

IP	已知值			量測值			誤差		
	E	N	h	E	N	h	平面	三維	
P17	175875.487	2537472.564	36.636	175875.345	2537472.579	36.552	0.143	0.166	
P18	175875.259	2537477.726	36.654	175875.439	2537477.765	36.605	0.184	0.191	
P19	175907.738	2537479.231	36.047	175907.881	2537479.228	35.986	0.143	0.155	
P20	175907.747	2537473.861	36.112	175907.603	2537473.871	36.025	0.144	0.169	
P22	175905.042	2537486.567	39.839	175905.167	2537486.593	39.776	0.128	0.142	
P23	175902.349	2537486.469	41.930	175902.471	2537486.480	41.873	0.122	0.135	
P24	175902.337	2537486.472	45.675	175902.428	2537486.494	45.586	0.094	0.129	
P25	175905.281	2537486.588	51.825	175905.173	2537486.663	51.834	0.131	0.132	
P26	175891.601	2537486.120	51.873	175891.653	2537486.125	51.784	0.052	0.103	
							AVG	0.127	0.147
							STD	0.037	0.026
							RMS	0.132	0.149

■ 自強工程顧問，光達式 MMS，方法 1，檢核點量測原始資料

IP	已知值			量測值			誤差		
	E	N	h	E	N	h	平面	三維	
P17	175875.487	2537472.564	36.636	175875.517	2537472.551	36.558	0.033	0.085	
P18	175875.259	2537477.726	36.654	175875.272	2537477.717	36.587	0.016	0.069	
P19	175907.738	2537479.231	36.047	175907.764	2537479.216	35.986	0.030	0.068	
P20	175907.747	2537473.861	36.112	175907.772	2537473.859	36.035	0.025	0.081	
P22	175905.042	2537486.567	39.839	175905.054	2537486.569	39.766	0.012	0.074	
P23	175902.349	2537486.469	41.930	175902.353	2537486.472	41.845	0.005	0.085	
P24	175902.337	2537486.472	45.675	175905.295	2537486.597	51.772	0.017	0.056	
P25	175905.281	2537486.588	51.825	175891.605	2537486.127	51.820	0.008	0.054	
P26	175891.601	2537486.120	51.873	175875.517	2537472.551	36.558	0.033	0.085	
							AVG	0.018	0.071
							STD	0.010	0.012
							RMS	0.021	0.072

■ 自強工程顧問，光達式 MMS，方法 2，檢核點量測原始資料

IP	已知值			量測值			誤差		
	E	N	h	E	N	h	平面	三維	
P17	175875.487	2537472.564	36.636	175875.378	2537472.561	36.610	0.109	0.112	
P18	175875.259	2537477.726	36.654	175875.383	2537477.742	36.750	0.125	0.157	
P19	175907.738	2537479.231	36.047	175907.875	2537479.307	36.070	0.157	0.158	
P20	175907.747	2537473.861	36.112	175907.805	2537473.993	36.100	0.144	0.144	
P22	175905.042	2537486.567	39.839	175905.065	2537486.667	39.890	0.103	0.115	
P23	175902.349	2537486.469	41.930	175902.454	2537486.411	41.950	0.120	0.122	
P24	175902.337	2537486.472	45.675	175902.456	2537486.545	45.760	0.140	0.163	
P25	175905.281	2537486.588	51.825	175905.212	2537486.696	51.790	0.128	0.133	
							AVG	0.128	0.138
							STD	0.018	0.021
							RMS	0.129	0.139

第捌章

■ 自強工程顧問，影像式 MMS，檢核點量測原始資料

IP	已知值			量測值			誤差	
	E	N	h	E	N	h	平面	三維
E017	175441.650	2537384.079	39.450	175449.280	2537385.412	42.369	7.745	8.277
E025	175441.644	2537384.081	34.951	175449.292	2537385.253	33.501	7.738	7.872
E120	175479.049	2537368.576	53.427	175486.241	2537377.806	60.224	11.701	13.532
E121	175479.043	2537368.573	48.930	175483.129	2537375.709	51.020	8.223	8.485
E323	175446.007	2537338.42	46.395	175453.405	2537335.466	56.061	7.965	12.525
E325	175446.007	2537338.422	38.200	175453.431	2537335.477	39.850	7.987	8.155
E488	175425.013	2537375.468	35.760	175416.539	2537378.673	35.099	9.060	9.084
E495	175425.204	2537376.117	34.521	175416.999	2537379.487	32.662	8.869	9.062
						AVG	8.661	9.624
						STD	1.238	2.020
						RMS	8.749	9.834

附錄十一 論文投稿

本計畫依契約書之需求規格書項目【貳、一、(五)】辦理論文投稿(初稿)1 篇，期刊或研討會可選擇國土測繪與空間資訊期刊(每年一及七月出刊)、地籍測量學會會刊(每年三、六、九、十二月出版)、109 年測量研討會(每年八月底至九月初辦理)。相關成果論文摘要如下：

車載光達移動測繪系統率定作業及精度分析

摘要

車載移動測繪系統結合精密整合式定位定向系統、光達、數位影像感測器等，具有高機動特性，可補足航遙測資料獲取的空隙，加速空間資料獲取。國土測繪中心於 106 及 107 年度完成光達移動測繪系統(LiDAR Mapping System, LMS)建置，期能掌握先進測量技術並發揮其測繪能量，以達到圖資快速更新，提供國家經建政策規劃推動及防救災領域所需及時且正確的基礎圖資。為確保移動測繪系統成果品質，108 年度針對現有測繪車光達及影像感測設備辦理相關率定作業之需求。首先進行資料蒐集，盤點國內車載移動測繪系統的種類與數量，以及近年來國內、外與車載移動測繪系統率定技術相關之應用文獻，評估未來辦理車載移動測繪系統率定場規劃作業，參考文獻既有技術研擬率定標準作業程序，俾利後續建置移動測繪系統率定場。

本研究研提車載移動測繪系統率定程序，參考率定技術介紹及率定場選擇原則，建議率定場透空度可達 50 度以上，適合 GNSS 接收且可減少 GNSS 訊號受到遮蔽或多路徑效應影響；光達式率定場需進行往返軌跡掃描，使用點或面之型式進行率定解算，建議現地包含一棟建物及前方有空地情況，軌跡路線包含左右、前後往返掃描資料，以及與建物 45 度角運行方向進行點雲資料蒐集，以利蒐集往返及不同方向交會點雲資料。

針對車載移動測繪系統率定程序，光達式 LMS 系統建議選用 TerraMatch 之軸角及固定臂率定作業流程，試辦作業於成功大學歸仁校區之室外率定場進行。初步成果顯示，本案研擬之率定方法，可成功求得軸角率定成果，將率定成果帶回點雲進行修正，其直接地理定位點雲平面精度為 0.141 公尺、三維精度為 0.204，相關成果可應用於國土利用調查及臺灣通用電子地圖圖資更新等作業。

附錄十二 車輛驗車/保養/保險

一、車輛保養



中部汽車服務明細表

車號：3821-WJ

維修日期：2019/07/15

行駛里程：138774

工作傳票：0870897

發票號碼：

服務廠：D02 中台中廠

統一編號：52755393

接待專員：A3020 陳威呈

抬頭名稱：

類別	內容 / 零件名稱	數量	單價	金額	類別	備註
定保套餐	T35定保(中央給油,全合成油)	1.0		3,276	套餐	
	T35定保(定期保養檢查・前輪平衡・更換機油及零件)	1.0				
	A 90015YZZJ3 機油濾清器	1.0				
	A 9043012031 放油塞墊片	1.0				
	J B208T5W50 豐田全合成油	5.6				
						有費小計：3,276
一般	節氣門探試清潔			201	工資	
	冷媒淨化及冷凍油更新套餐			2,500	工資	原價2680元
	散熱清洗套餐			699	工資	原價737元
	皮帶更換			690	工資	
	輪胎調治 外觀清潔內部吸塵			0	免費	
	臭氧負離子空氣清淨機	1.0		840	零件	
	V型皮帶	1.0		3,360	零件	
						有費小計：8,290

合計(含免費)總金額： 11,566 稅額： 0 總計： 11,566

應付總金額： 11,566 稅額： 0 總計： 11,566

保修建議項目

--

- 凡自費所更換的Toyota正廠零件，原則享有一年或兩萬公里保固(以先到者為準)，惟詳細保證保固內容與維修定型化契約權利義務關係，係依官網https://www.toyota.com.tw/owner_guarantee_conditions.aspx之記載為準。
- 您的利high金前次累計：21點，請定期於一年內回廠，點數可無限期使用。本次消費新增利high金於隔日產生，折扣或優惠項目不再贈點，歡迎回廠兌換精品。相關利high金辦法請參閱官網或詳洽服務人員。
- 您此輛愛車之下次定保時機為109年1月，將進行11.5年定保，歡迎來電預約服務時間。
- 嚴禁在正廠腳踏墊上加置多層腳踏墊或使用非正廠腳踏墊，若行駛時腳踏墊滑動而干擾到油門踏板或煞車踏板的作用，將可能會造成意外事故。
- 本次維修已提供洗車吸塵作業。





二、車輛驗車

交通部公路總局臺中區監理所委託 中村加油站股份有限公司 收納款項收據


繳款人: 3821-WJ 中華民國 108 年 06 月 21 日 收據號碼: 60C3-0006858

收入項目	金額	罰單號碼	備註
小型汽車(拖車)檢(覆)驗費	450 元		

繳款總額: 新台幣肆佰伍拾元整 下次檢驗日: 109.06.24 系統時間: 14:16:49

主辦機關: 交通部公路總局 臺中區監理所 經收人: 李培汝(60C308)

收據請妥為保存5年 欠費筆數: 0 筆無違規記錄(僅供參考)



三、車輛保險

108內政部國土測繪中心公務汽車保險期限一覽表

序次	車牌	強制 到期日	任意 到期日	車體損 失險(險 種)	丙式車體 損失險自 負額0	颱風 洪水險	竊盜 損失 險自負 額 10%	第三人 體傷 400/800 萬	第三人 財損 50萬	乘客險 200萬/人	駕駛人 傷害險 200萬	任意險 小計	強制險 20/200萬	合計
1	4960-SH	108/01/17-109/01/17	108/01/17-109/01/17	丙式										
2	4961-SH	108/01/17-109/01/17	108/01/17-109/01/17	丙式										
3	4962-SH	108/01/17-109/01/17	108/01/17-109/01/17	丙式										
4	4963-SH	108/01/17-109/01/17	108/01/17-109/01/17	丙式										
5	8971-NH	108/01/17-109/01/17	108/01/17-109/01/17	丙式										
6	8973-NH	108/01/17-109/01/17	108/01/17-109/01/17	丙式										
7	4957-SH	108/01/17-109/01/17	108/01/17-109/01/17	丙式										
1	X2-7745	108/03/31-109/03/31	108/03/31-109/03/31	丙式										
2	8972-NH	108/03/30-109/03/30	108/03/30-109/03/30	丙式										
3	8980-NH	108/03/30-109/03/30	108/03/30-109/03/30	丙式										
4	8975-NH	108/04/30-109/04/30	108/03/30-109/03/30	丙式										
5	8983-NH	108/04/30-109/04/30	108/03/30-109/03/30	丙式										
1	3821-WJ	108/06/01-109/06/01	108/06/01-109/06/01	甲式	11,277	543	166	1,692	1,459	1,007	395	16,539	1,066	17,605
2	4703-VA	108/06/18-109/06/18	108/06/18-109/06/18	丙式	1,914		166	1,692	1,459			5,231	1,066	6,297
3	4705-VA	108/06/18-109/06/18	108/06/18-109/06/18	丙式	1,914		166	1,692	1,459			5,231	1,066	6,297
4	4706-VA	108/06/18-109/06/18	108/06/18-109/06/18	丙式	1,914		166	1,692	1,459			5,231	1,066	6,297
5	4709-VA	108/06/18-109/06/18	108/06/18-109/06/18	丙式	1,914		166	1,692	1,459			5,231	1,066	6,297
合計												37,463	5,330	42,793
	4956-SH	105年8月9日	106年8月9日	丙式										
	WP-390	105年9月30日	106年9月30日	丙式										
	X6-8272	105年10月30日	106年10月30日	丙式										
	4709-VA	105年6月18日	106年7月10日	丙式										
	4956-SH	105年8月9日	106年8月9日	丙式										
	WP-390	105年9月30日	106年9月30日	丙式										
	X6-8272	105年10月30日	106年10月30日	丙式										

TO:劉添榮

FAX:04-22592533

承辦人:翁溢村




連絡電話:02-2888-3679 0931147478

*汽車保險期間自起保日起為期一年



內政部國土測繪中心
自行收納款項統一收據

中華民國 108 年 5 月 27 日 測秘字第 0027668 號

備款機關 經緯航太科技股份有限公司	備款人	備款金額	備款日期	備款用途
		NTD 196,058	108/5/27	108 年度發展光達移動測繪系統(LMS)作業採購案
摘要	金額	金額	備	註
108 年度發展光達移動測繪系統(LMS)作業採購案	NTD 196,058	NTD 196,058	54	119
合計		NTD 196,058		
實收金額新臺幣： 肆 拾 肆 萬 肆 千 伍 拾 捌 元 正 (大寫)	主辦出納	主辦會計	機關長官	
經手人				

三、此項撥款或備款人收執(註)

1064100009

附錄十三 參考文獻

1. 江凱偉、曾義星、楊名、詹劭勳、饒見有，100 年度發展與應用多平台遙測製圖技術工作案工作總報告書，2011，內政部地政司。
2. 江凱偉、曾義星、楊名、詹劭勳、陳國華、饒見有，101 年度多平台製圖技術工作案期末報告書，2012，內政部地政司。
3. 江凱偉、曾義星、楊名、饒見有，102 年度多平台製圖技術工作案期末報告書，2013，內政部地政司。
4. 江凱偉、曾義星、楊名、饒見有，103 年度多平台製圖技術工作案期末報告書，2014，內政部地政司。
5. 江凱偉、曾義星、呂學展、張秀雯，105 年度移動載台測量製圖技術發展工作案期末報告書，2016，內政部地政司。
6. 江凱偉、曾義星、呂學展、張秀雯，106 年度多平台製圖技術工作案期末報告書，2017，內政部地政司。
7. 國土測繪中心，探測感應器測繪平臺架構規劃暨應用作業工作總報告書修正版，2008，內政部。
8. 國土測繪中心，104 及 105 年度發展車載移動測繪系統(MMS)作業採購案工作總報告修訂版，2016，內政部。
9. 國土測繪中心，106 及 107 年度發展車載移動測繪系統(MMS)作業採購案工作總報告修訂版，2018，內政部。
10. 楊成中、賴盈誌，104 年度多平台製圖技術工作案期末報告書，2015，內政部地政司。
11. 謝東發、黃英婷、陳鴻智、林昌鑑、蔡季欣、劉正倫，以移動載具(MMS)輔助辦理測繪圖資更新之研究，2012，內政部國土測繪中心。
12. El-Sheimy, N. (1996): The development of VISAT - A mobile survey system for GIS applications, Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary, Calgary, Canada.
13. Ellum, C.M., and El-Sheimy, N. (2003): The calibration of image-based mobile mapping systems, Proceedins of 6th Conference on Optical 3D Measurement Techniques, Switzerland.
14. Fraser, C.S., (1997): Digital camera self-calibration, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.52, No.4, pp.149-159.
15. Grejner-Brzezinska, D.A. (2001): Direct Sensor Orientation in Airborne and Land-based Mapping Applications, Department of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science, The Ohio State University, USA.
16. Habib, A., Bang, K.I., Kersting, A.P., and Chow, J. (2010): Alternative methodologies for LiDAR system calibration, Remote Sensing, Vol.2,

- No.3, pp.874-907.
17. Hatake, S., Ikubo, M., and Ikeda, T. (2011): Damage survey of eastern Japan earthquake by mobile LiDAR, Asia Geospatial Forum, Kawasaki, Kanagawa 214-0005, Japan.
 18. Koarai, M., Okatani, T., Nakamura, T., and Hasegawa, M. (2012): Geographical information analysis of Tsunami flooded area by the great east Japan earthquake using mobile mapping system, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol.XXXIX-B8, Melbourne, Australis.
 19. Lapucha, D. (1990): Precise GPS/INS Positioning for Highway Inventory System, Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary, Calgary, Canada.
 20. Li, Y.H. (2010): The calibration methodology of a land vehicle mobile mapping system and the performance analysis of the direct georeferencing, Department of Geomatics, National Cheng Kung University.
 21. Li, Y.H. (2010): The calibration methodology of a low cost land vehicle mobile mapping system, Institute of Navigation (ION) GPS/GNSS 2010 meeting, Oregon Convention Center, Portland, Oregon, USA.
 22. Mostafa, M. (2002): Camera/INS boresight calibration: New advances and performance analysis, ASPRS Annual Meeting, Washington, D.C., USA.
 23. Pinto, L., and Forlani, G. (2002): A single step calibration procedure for IMU/GPS in aerial photogrammetry, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.XXXIV, Part B3, pp.210-213.
 24. Rieger, P., Studnicka, N., and Pfennigbauer, M. (2010): Boresight alignment method for mobile laser scanning systems, RIEGL Laser Measurement Systems GmbH.
 25. Schwarz, K.P., Chapman, M.E., Cannon, E. and Gong, P. (1993): An Integrated INS/GPS approach to the georeferencing of remotely sensed data, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol.59, No.11, pp.1667-1674.
 26. Skaloud, J. (1999): Optimizing georeferencing of airborne survey systems by INS/DGPS, Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary, Calgary, Canada..
 27. Takahashi, G., Takeda, H., and Nakamura, K. (2016): Drawing for traffic marking using bidirectional gradient-based detection with MMS Lidar intensity, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXIII ISPRS Congress, Vol.X11-B5, Prague, Czech Republic.

28. Toschi, I., Rodriguez-Gonzalvez, P., Remondino, F., Minto, S., Orlandini, S., and Fuller, A. (2015): Accuracy evaluation of a mobile mapping system with advanced statistical methods, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, Vol.XL-5/W4, Avila, Spain.
29. <http://leica-geosystems.com>
30. [http:// maps.google.com.tw/](http://maps.google.com.tw/)
31. <http://mobile.here.com/>
32. <http://www.ajiko.co.jp/>
33. <http://www.chsurvey.com.tw/>
34. <http://www.chuanhwa.com.tw/>
35. <http://www.garmin.com.tw/>
36. <http://www.geoforce.com.tw/>
37. <http://www.geomatics.ncku.edu.tw/>
38. <http://www.geosat.com.tw/>
39. <http://www.iwane.com/>
40. <http://www.kingwaytek.com/>
41. <http://www.mitsubishielectric.com/bu/mms/>
42. <http://www.nlsc.gov.tw/>
43. <http://www.nokia.com/>
44. <http://www.optech.ca/>
45. <http://www.polstargps.com/tw/>
46. <http://www.riegl.com/>
47. <http://www.srgeo.com.tw/>
48. <http://www.strongco.url.tw/>
49. <http://www.teledyneoptech.com/>
50. <http://www.topconpositioning.com/>
51. <http://www.trimble.com/>
52. <http://www.terrasolid.com/>
53. <http://www.ucalgary.ca/>
54. <http://www.zf-laser.com/>



內政部國土測繪中心

地址：臺中市南屯區黎明路 2 段 497 號 4 樓

網址：www.nlsc.gov.tw

總機：(04) 22522966

傳真：(04) 22592533