

100 年度至 103 年度多平台製圖技術工作案

Multi-Platform Mapping Technology

主管單位：國立成功大學 計畫編號：

江凱偉 曾義星 楊名 饒見有
Chiang, Kai-Wei Tseng, Yi-Hsing Yang, Ming Jiann-Yeou Rau

國立成功大學測量及空間資訊學系

摘要

現有空間資訊系統之效益建構在系統空間及屬性資料時效性以及正確性，並藉此發揮它的功能以表示真實世界的現象。然而，傳統測量以及屬性調查作業從開始收集資料到系統建置完成往往需要半年以上的時間，已不符合科技發展的趨勢與成本效益。近年來測量與空間資訊技術正在逐漸革新，移動遙測製圖系統結合攝影測量製圖的技術與精密整合式定位定向系統，搭配多種的數位影像感測器來收集空間資料，逐步實現快速即時移動式測量及空間資料收集技術。

自主研發適用不同平台之移動遙測製圖技術，為各國發展移動遙測製圖技術之理想目標，本年度工作案希望在 100 年度工作案既有成果上，持續更進一步自主研發多平台製圖系統應用相關之關鍵技術，包含：建立多平台製圖系統測試及率定實驗室、研製抗 GNSS 訊號脫落及干擾之定位定向系統演算法、結合內政部 e-GPS 系統、發展新式定位定向演算架構於應用領域、評估戰術等級定位定向系統之應用和多平台製圖系統聯合作業模式之研究。同時希望藉由積極參與國外專業領域各學會之研討會、參與論文競賽和發表高品質期刊論文，持續加強專業人才訓練與先進多平台製圖技術之國際競爭力。期進一步提升我國自主組裝多平台移動遙測製圖設備能力與研發能量，厚植未來國際自動化測繪技術競爭力。相關成果除可加速國土規劃外，並藉以培養優質人才、提升學術水準及國家競爭力。

關鍵詞：多平台、定位定向、空間資訊

Abstract

The efficiency and advantages of spatial information systems rely on the validity and time effectiveness of spatial and attribute information to work properly and express the phenomena of real world. However, traditional surveying techniques can't fit the trend of technology revolution and cost reduction due to their heavy labor works and slow project progress. Generally speaking, survey and geomatics technologies have been revolutionized since the early nineties in the last century. Advances in satellite and inertial technology made it possible to think about mobile mapping in a new way. Instead of using ground control

points as references for orienting the images in space, the trajectory and orientation of the imager platform can now be determined directly. Cameras, along with positioning and orientation sensors, are integrated and mounted on a land vehicle for mapping purposes. Objects of interest can be directly measured and mapped from images that have been geo-referenced using positioning and orientation sensors.

The Self-development of mobile mapping technologies applied for various platforms can be considered as the ultimate objective of geomatics communities around the globe. This project aims at developing several core technologies concerning multi-platform mobile mapping systems including professional calibration facilities and inferstructures for multi-platform mobile mapping systems, anti-GNSS outage multi-sensor fusion algorithms, post-processed VRS embedded multi-sensor fusion algorithms with new applications, and multi-platform mobile mapping systems. In addition, this project enhances Taiwan's capability of research and development for advanced mobile mapping technologies and to be comparable to regional and international geomatics and navigation communities. The progress of this project is beneficial to the development of national spatial planning program as well provide proper and professional training to young scholars and engineers thus enhance the competitiveness and academic achievement around the world.

Keywords : Multi-platform, Positioning and Orientation, Spatial information

一、前言

現有空間資訊系統之效益建構在系統空間及屬性資料時效性以及正確性，並藉此發揮它的功能以表示真實世界的現象。傳統測量以及屬性調查作業從開始收集資料到系統建置完成往往需要半年以上的時間，已不符合科技發展的趨勢與成本效益。近年來測量與空間資訊技術正在逐漸革新，攝影測量製圖的技術與精密整合式定位定向系統結合，搭配多種的數位影像感測器來收集空間資料，逐步實現快速即時移動式測量及空間資料之多平台製圖技術。這類技術整合多元感測器並具備直接定位能力（Direct Geo-referencing, DG）及多感測器系統的空間資訊獲取移動平台。結合衛星、飛機、直昇機、船舶、汽機車等不同載具及多種高效率影像感測器，輔以全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)、慣性導航系統(Inertial Navigation System, INS)、機電整合及軟體工程模擬器等元件，所形成之先進製圖技術。透過使用多平台製圖技術建置空間資料，可更快速及有效規劃國土發展，進而推動空間資訊產業之成長。值得一提的是這類系統最早完全由空間資訊領域之學者因應空間資訊領域之需求主導開發，並與機電整合與軟體工程相關領域之工程師合作而設計的軟硬體架構，目前已廣泛應用於非傳統測量之應用領域中，全球移動遙測製圖系統相關之空間資訊與非空間資訊產業產值(含應用)迄今已成長至高達每年數十億美元，未來還將持續成長(Schwarz and El-Sheimy, 2008)。

在空間資訊相關應用領域方面，移動遙測製圖系統的機動性以及對數位影像處理與蒐集的能力，可以顯著節省許多傳統測量所需要的人力及時間。而在其他非傳統測量方面，如建立交通標誌資訊以規劃交通路線，或用來調查都市地區的基礎公共建設，如人孔、變電箱、電線桿，甚至透過影像處理技術獲取路牌、招牌上所隱含的屬性資訊，更新導航電子地圖，整合並更進一步加值定位服務技術。在載具結合上，透過無線通訊技術以發展無人控制載具，搭配直接定位技術滿足即時監控及救災需求。若更進一步整合人工智慧技術，開發無人自動駕駛車更能實質擴展到民生用途及軍事技術上，關於移動遙測製圖系統更廣泛之應用請參考圖 1.1。

對於多平台製圖技術發展本團隊不遺餘力，圖 1.2 說明 100 年度至 103 年度工作項目之目的及延續關係。本團隊首先於民國 100 年因環境多變、自然災害頻繁，隨著政策為求防救災之快速作業，國內移動製圖系統逐漸蓬勃發展，本團隊承接內政部辦理「100 年度發展與應用多平台遙測製圖技術工作案」，並順利完成包含「多平台定位技術資料彙整」、「規劃整合慣性導航系統」、「評估引進及建立國內慣性測量儀之標準率定程序」、「設計新解算模式之定位定向演算法」、「評估發展多元空載傾斜攝影定位系統技術及其應用」、「建置空間資訊整合展示平台」、「評估建置個人攜帶式定位系統之可行性」、「教育訓練及推廣」等工作項目，旨在發展國內移動製圖技術包含車載、空載及個人攜行，並嘗試引進、設立符合台灣作業需求之標準，提供業界一可遵循之指標(江凱偉等人，2011)。本案成功地發展自主研製多平台移動遙測製圖設備能力與應用軟體研發能量，厚植未來國際自動化測繪技術競爭力。且成功引進戰術等級的慣性測量儀並研製多元感測器整合定位定向系統，搭配創新的定位定向演算法，以商用系統近半之成本提供顯著提升的效能。本案成果除可加速國土規劃外，並藉以培養優質人才、提升學術水準及國

家競爭力。

江凱偉等人(2011)提出未來更須發展多平台移動遙測製圖技術資料融合架構提供更有效率的空間資訊採集、分析與應用。同時研發更強健的定位定向演算法以克服都市地區 GNSS 訊號漏失，對多平台移動遙測系統性能之影響，設置建立專業的多平台遙測系統(不含衛星遙測系統)率定及測試中心以確保國內移動遙測製圖作業之品質，與結合內政部 e-GPS 主站發展適用多平台遙測系統之新式後處理 VRS 多元感測器動態定位定向演算架構以進一步提升多平台移動遙測系統之性能與減少作業成本。

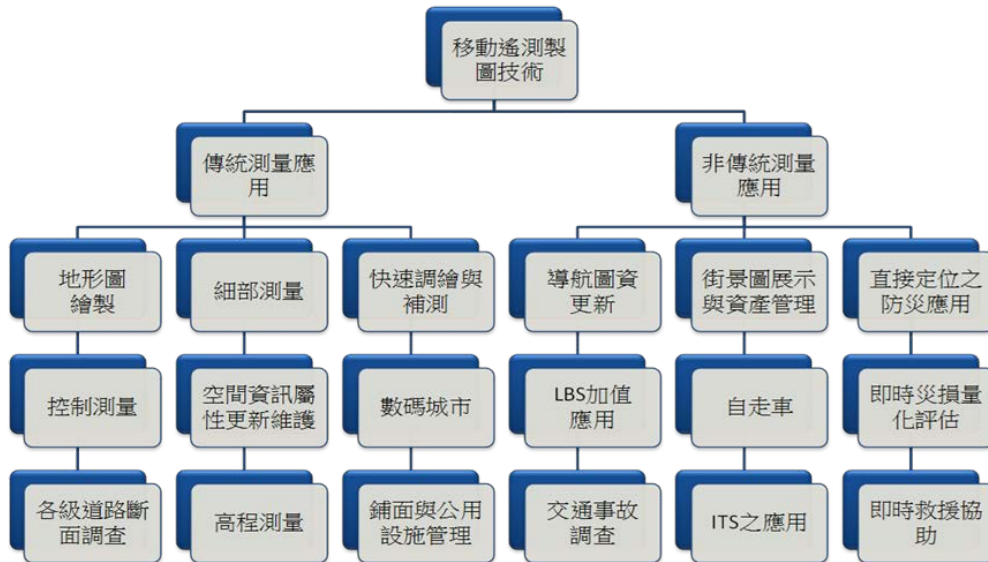


圖 1.1 移動遙測製圖系統可拓展之領域(江凱偉等人，2011)

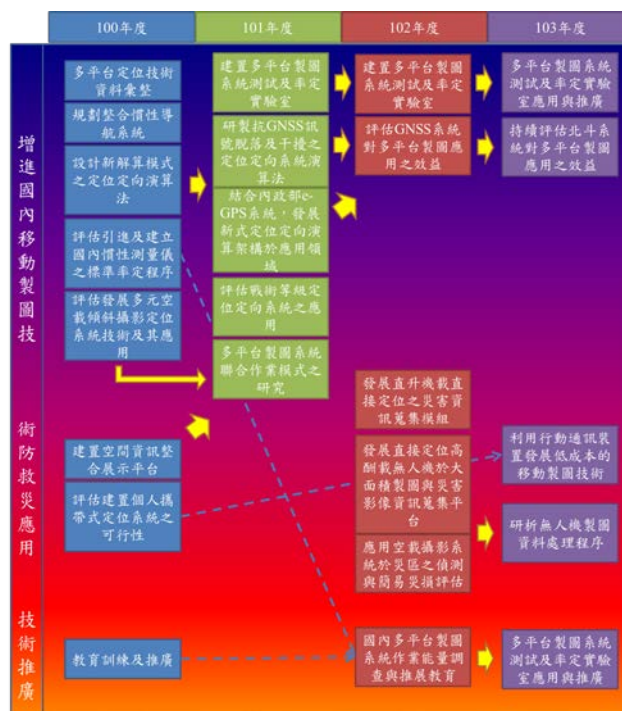


圖 1.2 歷年工作項目目的及關係圖

本團隊於 101 年接續前一年度工作案之建議事項，發展移動製圖所需之率定場及檢驗場，同時為可利用於台灣現有之 e-GPS 系統及適應高遮蔽率環境，執行內政部辦理「101 年度多平台製圖技術工作案」，並順利完成包含「建置多平台製圖系統測試及率定實驗室」、「研製抗 GNSS 訊號脫落及干擾之定位定向系統演算法」、「結合內政部 e-GPS 系統，發展新式定位定向演算架構於應用領域」、「評估戰術等級定位定向系統之應用」、「多平台製圖系統聯合作業模式之研究」等工作項目目(江凱偉等人，2012)，旨在可最大限度整合國內現有資源與提升移動製圖技術。

江凱偉等人(2012)提出宜持續發展適合台灣環境之多平台製圖系統標準感測器測試程序與精度規範，提供國內多平台系統測試與率定分析之專業服務，以進一步確保系統穩定度與測繪成果之精度，並先以車載製圖平台研提作業程序與規範。目前國內空間資訊相關領域使用多平台移動製圖系統獲取空間資訊之作業日漸普及，惟欠缺針對此類系統進行製圖作業時所需之標準作業程序與技術服務機制，建議針對國內多平台製圖系統現有作業能量進行普查，並建立多平台製圖技術之諮詢支援機制。

北斗系統已於 2012 年底正式提供區域性服務，而完整的北斗系統星群預計將於 2020 年建置完成，未來不論是即時導航或高精度測量定位，皆可使用多個全球衛星導航系統的多頻觀測量，獲得更高定位精度，建議宜針對該系統對多平台製圖應用效益進行初期評估。同時國內目前各類大型災害相關空間資訊多以直升機為資訊獲取平台，但國內目前並無針對直升機平台量身訂做具備直接定位能力之災害資訊蒐集系統，為落實多平台製圖技術在防災之相關應用，宜依災防中心建議發展直升機載直接定位之災害資訊蒐集模組。

國內已有部分單位與民間公司具備無人機攝影測量技術，但共同限制為航程短、載重輕與酬載功能不足，即便已逐漸廣泛使用在防減災、國土監測與地圖測繪等領域，但基於上述限制，其功能與發展便受限於傳統之作業模式無法精進，建議引入高酬載與長滯空無人機平台，並發展自主的直接定位酬載技術，以符合更高精度與更廣泛的加值應用，並發展快速且有效的空間資訊分析與決策為防減災應用之基本要件，為提昇多平台製圖技術於災害空間資訊之應用處理效益，可發展災區範圍偵測與簡易災損評估相關之空間資訊工具，供決策單位使用。

本團隊接續於 102 年執行內政部辦理「102 年度多平台製圖技術工作案」，該年度持續 100、101 年度執行成果之建議發展方向，延伸推廣國內移動製圖技術並針對救災發展進一步技術，該年度工作案包含「建置多平台製圖系統測試及率定實驗室」、「國內多平台製圖系統作業能量調查與推展教育」、「評估 GNSS 系統對多平台製圖應用之效益」、「發展直升機載直接定位之災害資訊蒐集模組」、「發展直接定位高酬載無人機於大面積製圖與災害影像資訊蒐集平台」、「應用空載攝影系統於災區之偵測與簡易災損評估」等工作項目(江凱偉等人，2013)，該年度工作案旨在針對民間企業推廣、調查和溝通移動製圖技術，同時針對防救災發展直升機載災害資訊模組、無人機與災害影像蒐集平台以及後端所需之軟體，因著重於防救災，故各平台的直接地理定位能力為優先考量，對於提升多平台製圖應用範疇，則評估多衛星星系對多平台製圖應用之效益，其中也包含了北斗系統。

江凱偉等人(2013)建議持續推廣適合台灣環境之多平台製圖系統標準感測器測試程序，免費提供國內多平台系統測試與率定分析之專業服務，至以進一步確保系統穩定度與測繪成果之精度，並延續先前研究成果，研提適合國內環境之車載製圖系統作業手冊，發展各等級車載製圖系統應配置之設備與成本分析，並推廣多平台製圖系統技術至非測量單位。國內智慧型手機、平板電腦普及率逐年升高，其內建之影像與定位定向感測器規格已逐漸符合低階移動製圖應用，未來宜針對 Android 與 iOS 平台評估利用行動通訊裝置發展低成本之移動製圖技術在防災與資源調查領域應用。完整的北斗系統星群預計將於 2015 年建置完成，未來不論是即時導航或高精度測量定位，皆可使用多個全球衛星導航系統的多頻觀測量，獲得更高定位精度，建議針對該系統與現有 GPS 在五都測試區之效益進行分析，同時進一步討論 e-GPS 與北斗 RTK 系統對動態定位與多平台製圖應用效益進行評估。

有鑑於利用無人機航拍影像進行製圖為近年來國內相關單位相當重視的議題，包括水利署對於河川橋梁地形測量上的需求，建議彙整相關文獻報告，探討未來發展趨勢，訪談國土測繪中心與相關單位進行能量與需求之調查，同時沿用上年度 UAV 拍攝之五相機資料進行原始影像鑲嵌，以減少影像及航線數量，並測試此作法對空三平差、DSM 製作與立體製圖之影響。

本年度 103 年，對於歷年發展多平台製圖技術所需之率定及實驗室持續維護及推廣，推行「多平台製圖系統測試及率定實驗室應用與推廣」之工作項目；而對於通訊裝置已內建製圖系統所需之硬體，可嘗試用來發展移動製圖相關技術，對於精度並無要求至製圖等級，以防救災為目的，旨在藉由通訊裝置高普及率，若可快速直接地理定位則可提升防救災之效率，故而推行「利用行動通訊裝置發展低成本的移動製圖技術」，此工作項目主要延續 100 年度「評估建置個人攜帶式定位系統之可行性」，搭配系統成本考量、作業效率與來自災防中心使用者需求所研議的項目；接續 100 年度「設計新解算模式之定位定向演算法」、101 年度「結合內政部 e-GPS 系統，發展新式定位定向演算架構於應用領域」與 102 年度「評估 GNSS 系統對多平台製圖應用之效益」等工作項目之成果，因為北斗系統近幾年迅速發展，本年度持續推行「持續評估北斗系統對多平台製圖應用之效益」；接續 102 年度「發展直接定位高酬載無人機於大面積製圖與災害影像資訊蒐集平台」，本年度為求資料正確性及效率，提出「研析無人機製圖資料處理程序」之工作項目，而本年度整體目的亦為持續歷年計劃之宗旨：移動製圖技術提升與推廣以及防救災應用。

二、100 年度工作案

本研究彙整多平台定位技術資料，包含車載、空載、個人攜行與船載多平台定位技術之沿革進行深入回顧並提供探討不同平台之應用實例。空載移動遙測製圖技術可涵蓋作業範圍與天氣依賴性之缺點與傳統航測技術相似。而車載移動遙測製圖技術具備低的侵入性與較佳的空間資訊擷取效率，然而車載系統之缺點為其定位精度隨待測目標與影像系統之距離增加而變差，定位定向系統精度受 GNSS 訊號遮蔽狀況遠較空載系統嚴重而其作業環境亦受既有路網的限制。個人攜行式的移動遙測製圖技術的機動性遠較上述

二者高，具備更佳的作業彈性，唯因為個人負重的限制，所以其可攜帶的系統精度自然較上述二者為低。表 2.1 為多平台移動測繪系統間之互補性。

為培植國內技術能量，本研究引進成本不到目前台灣地區所有商用定位定向系統 60% 的慣性量測儀 LCI，且不受國際武器輸出管制的慣性測量儀之精密定位定向系統，並自行研發相關計算軟體，支援任何使用者提供之原始觀測量。更進一步驗證自行研製多元感測器定位定向系統之性能，本團隊向儀科中心洽借使用戰術等級 LN200 慣性測量儀之 Applanix POSAV 510 系統，該系統為當時台灣代表性商用系統，並委託該中心利用商用 POSpac MMS 軟體以鬆耦合架構產生以 POS AV 510 系統之測試軌跡與姿態解提供進一步的分析。實驗於 100 年 10 月 31 日在新竹市區執行，而動態 GNSS 差分軌跡計算所需之 GNSS 主站設在新竹市地政事務所之衛星基準點，此次路測時間約為一個小時。圖 2.1 所示為此次路測之軌跡與衛星數量分佈。圖 2.2 所示為分別為測試系統(LN200 與 LCI)與參考軌跡比較之後所得之定位定向誤差序列，而表 2.2 為定位定向誤差統計表。另外，對於國內移動製圖技術後續應用之品質考量，本團隊引進各核心感測器之率定模式及程序，並建立其所需之率定及驗證場。

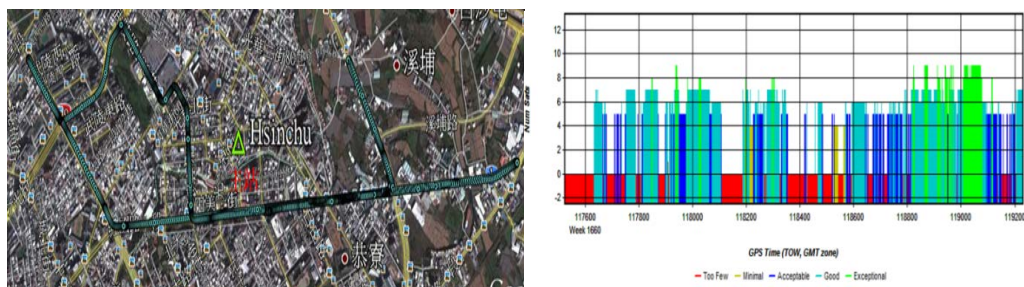


圖 2.1 路測軌跡與衛星數量分佈(新竹)

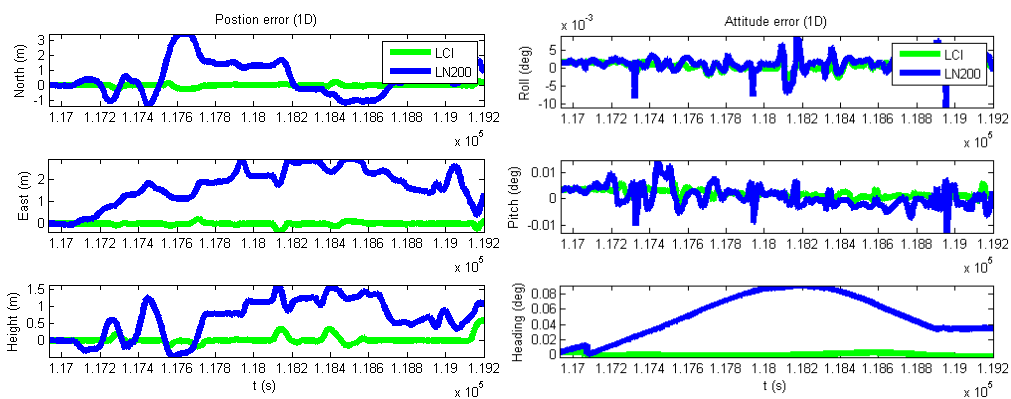


圖 2.2 定位及定向誤差序列

表 2.1 多平台移動測繪系統間之互補性

	空載移動測繪系統	車載移動測繪系統	個人攜行移動測繪系統
優點	<ul style="list-style-type: none"> ● 大範圍調查 ● 軟硬體技術成熟 ● 相關技術規範成熟 ● 精度佳 	<ul style="list-style-type: none"> ● 大範圍或小區域調查都適用 ● 目前拍攝時無須申請 ● 影像重疊率高 ● 彌補航測攝影時，地面或低樓層建物影像遮蔽問題 	<ul style="list-style-type: none"> ● 適用小區域或車載無法到達之處 ● 拍照處無死角 ● 輕量且低成本 ● 不再受限於窄巷或山區等地理環境因素
缺點	<ul style="list-style-type: none"> ● 成本高 ● 空域申請不易 ● 不便進行較小區域的資料收集或更新 ● 地面或低樓層建物影像的遮蔽易被遮蔽 	<ul style="list-style-type: none"> ● 無法獲得建物最上方的資訊 ● 車子無法到達之巷弄則無法獲得資料 ● 缺乏完善技術規範 	<ul style="list-style-type: none"> ● 拍攝時間受限於人的體力與電池 ● 穩定性不足 ● 相關技術尚未成熟
時間解析度	更新頻率受限於飛行次數	更新頻率快	更新頻率快
空間解析度	無控制點平面控制點直接定位精度約為 20~30 公分	無控制點直接平面定位精度為 15 公分	該系統無控制點平面直接定位精度為約為 20 公分
觀測方向	由上往下拍攝，傾角 45 度範圍內	地面 360 度環景	地面 360 度環景
成本	在三者之中，成本最高	硬體成本在新台幣 500 萬元	硬體成本在新台幣 100 萬元以下
應用	<ul style="list-style-type: none"> ● 測量與製圖 ● 適合 GIS 圖資屬性之調查與更新 ● 城市建模 ● 地物變遷偵測 ● 環境影響評估 ● 土地利用調查 	<ul style="list-style-type: none"> ● GIS 資料建置 ● 取代傳統路調，加速 GIS 圖資更新 ● 快速災損評估 ● 應用於 3D 數位城市建模 	<ul style="list-style-type: none"> ● 可針對車子無法進入之災區勘災 ● 協助古蹟、建築調查與保存 ● 活動紀錄

表 2.2 定位定向誤差統計表

(公尺)/(度)		北	東	高	滾轉	俯仰(度)	航向(度)
LCI	平均值	-0.0107	-0.0117	0.0210	5.0086e-04	0.0018	0.0002
	標準偏差	0.0784	0.0656	0.1102	0.0010	0.0014	0.0016
	均方根誤差	0.0792	0.0666	0.1122	0.0011	0.0023	0.0016
LN200	平均值	0.4903	1.7020	0.6522	0.0011	6.6570e-04	0.0521
	標準偏差	1.1060	0.8429	0.5592	0.0020	0.0039	0.0275
	均方根誤差	1.1980	0.8900	0.5679	0.0022	0.0046	0.0355

在應用端方面，開發空載傾斜攝影網際網路應用技術，本團隊透過商用三維空間資訊網際網路平台，針對空載傾斜攝影系統拍攝之影像，開發符合開放式三維資訊查詢、管理、分享、展示與應用技術，用以推廣多平台遙測製圖技術之應用領域。而本研究所開發之空載傾斜攝影影像網際網路展示查詢雛形系統，具備以下基本功能：

- (1) 以網路瀏覽器為介面，具備基本 GIS 操作與量測功能，例如圖面平移、旋轉、量測位置、長度、面積以及高度等功能。
- (2) 在 GIS 介面上增加操作相片查看功能，針對空載傾斜攝影照片進行影像搜尋與展示。
- (3) 藉由場景比對功能讓使用者可以輕鬆的進行空載影像與背景的比對。
- (4) 使用者可以自行加入模型或向量圖資的套疊。

據此，本研究發展之相關演算法如下：

■ **影像分析運算：**

- (1) 影像分組：將此次飛行的影像分成垂直影像及傾斜影像組，並分析出主要四個拍攝角度。
- (2) 關聯性分析：將垂直影像及傾斜影像分析出影像之間的前後左右關聯影像。

■ **影像自動偵測：**

系統會自動偵測當前的使用者攝影機位置，並找出此圖組離攝影機較近的影像，系統會自動旋轉且還原影像拍攝時的位置並繪出影像和套疊路網向量。

■ **影像自動偵測設定：**

系統可設定是否自動偵測，讓使用者可自由於圖台中瀏覽。

■ **垂直影像及傾斜影像選擇：**

使用者可選擇觀看垂直影像或是傾斜影像，如於觀測模式中，系統會自動切換當前最佳影像。

■ **旋轉及平移：**

系統使用當前的觀看方向，向前、後、左、右及左方和右方觀看方向搜尋是否有位置符合的影像拍攝點且與此觀測方向相同的影像，有的話便漸層式繪出影像，如沒有則回到原本的 3D 場景中，不顯示相片。

■ **影像比對：**

提供使用者比對當前影像及背景影像對應功能。

■ **回到初始點：**

系統提供使用者回到初始觀測點。

三、101 年度工作案

對於國內移動製圖技術後續應用之品質考量，本團隊引進各核心感測器之率定模式及程序，並建立其所需之率定及驗證場。本案設置的專業慣性測量儀率定及測試功能之室內實驗室主要設施為高精度雙軸位置與速率旋轉台，用以測試高精度戰術等級以上之陀螺儀，同時本案在 101 年十月獲得測量及空間資訊學系贊助並已在此實驗室設置 GNSS 訊號室內播放設備，如圖 3.1 左所示。同時本團隊發展的率定技術可以透過使用圖 3.1 右所示之高精度雙軸位置速率轉台提供率定加速度計系統誤差之功能。

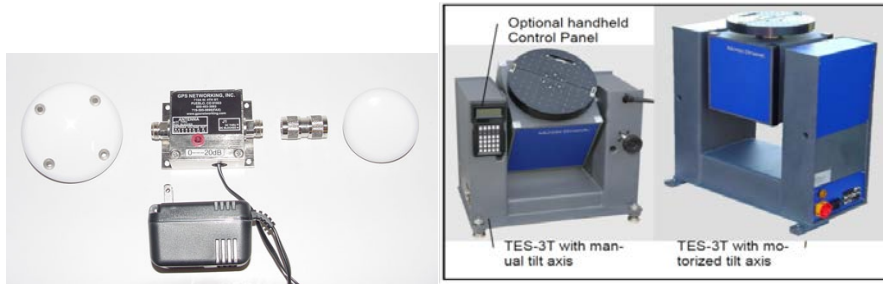


圖 3.1 雙頻雙系統載波相位觀測量室內播放工具及高精度雙軸位置速率轉台

同時亦設置高精度位置與航向基樁之室外靜態測試基線場，透過量測上述基線之方位角，真北參考線可以透過全測站精確的標定出來，本案選定基線長度超過 50 公尺之二個基樁所訂出來之方位角為參考方向，透過全站儀標定真北方向(方位角為 0 度)，此資訊對於後續慣性測量儀之率定與精度驗證相當重要，此一真北參考線的精度約在 0.0003 至 0.0005 度間。對於動態測試，成功大學測量及空間資訊學系已發展一套專業動態測試載台，其上具備 2000 瓦之交流轉直流電電源、三台工業電腦、車頂儀器固定支架與底座、高精度參考系統(含輪速計)，使用飄移為 0.1 度/小時之光纖陀螺儀，與相關演算法可供驗證待測系統之動態定位定向精度，如圖 3.2 所示，此種動態精度驗證方式為 IEEE 與美國導航學會推薦，廣泛地受國外各大公司與研究機構所採行。圖 3.2 左上與左下為測量及空間資訊學系發展的專業測試平台，圖 3.2 右上為加拿大卡加利大學與 Novatel 共同擁用之專業測試平台(含輪速計)，其參考系統之慣性測量儀為使用飄移為 0.01 度/小時之環型雷射陀螺儀。圖 3.2 右下為加拿大卡加利大學協助美國 Sirf 製造之專業測試平台(含輪速計)，其參考系統之慣性測量儀為使用飄移為 0.01 度/小時之環型雷射陀螺儀(Honeywell CIMU)。



圖 3.2 專業動態測試平台(車載)

在單相機率定方面，設計一可旋轉的圓盤率定場，大小約 3x4x2.5 (m³)，其上均勻佈置了不同高度的木柱與 Australis 編碼過之人造標，以產生三度空間率定場，提高焦距率定之精度。拍攝時每旋轉圓盤 22.5° 或 45° 拍攝兩張相片，一張正拍，一張旋轉相機 90° 以避免參數間之高相關性。經過此種拍攝程序後，其效果如同環繞此圓盤四周以交會式拍攝的效果。圖 3.3 為拍攝之示意圖。而全景相機方面，設計一立方體率定場，如圖 3.4 左所示，大小約 3x4x2.5 (m³)，包括四面牆及天花板與地板共六個面，其中一牆

面是由兩塊大型屏風取代，以方便人員進出。六個面上均勻貼附 Australis 專用人造標及貼附大量白色圓形標，以便在有初始外方位參數下，透過 Australis 自動辨識圓形標，同時得到大量之共軛點影像坐標。圖 3.4 右為率定場全景影像範例。



圖 3.3 相機率定現場狀況



圖 3.4 立方體率定場示意圖及率定場全景影像範例

在全系統率定方面，選擇一個透空度高，車輛方便進出，且有部分建物可以被拍攝的場所。因此本計畫在成大歸仁校區西南方角落設置率定場，其四周有些建物，但透空度仍可達 50 度以上，適合 GNSS 訊號接收。主要是以建物牆面之十字交線、特徵點或黑色人造標當作率定控制點，如圖 3.5 所示。

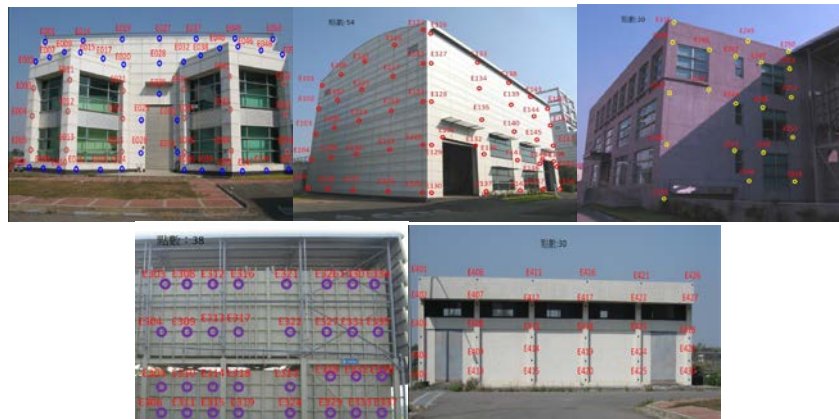


圖 3.5 直接地理定位系統率定控制場

在實務作業所遭遇的問題方面，本團隊研製抗 GNSS 脫落及干擾之演算法-HTC 並進行驗證，利用直接地理定位與地面控制測量所得之參考坐標比較以進行分析，本次實驗針對都市區域(IN THE URBAN)及空曠無遮蔽區域(IN THE OPEN SKY)設置檢核點，圖 3.6 檢核點與軌跡之分佈，表 3.1 其誤差分析表。HTC 效益於高遮蔽率區有顯著提升，經計算相較於目前商用緊耦合架構有 36%的提升。

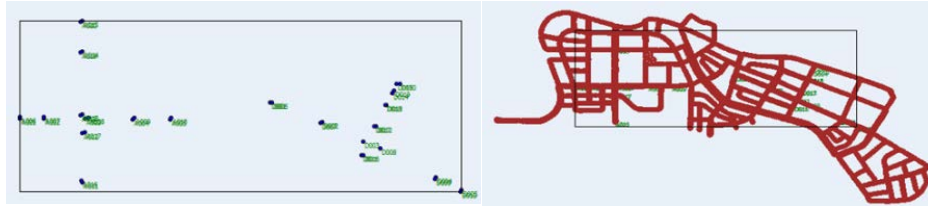


圖 3.6 檢核點與軌跡之分佈

表 3.1 直接地理定位誤差分析表

ERROR	AVG			STD			RMS		
	LC	TC	HTC	LC	TC	HTC	LC	TC	HTC
IN THE OPEN SKY									
N (m)	0.060	0.142	0.122	0.419	0.275	0.345	0.404	0.298	0.351
E (m)	-0.118	-0.148	-0.204	0.247	0.179	0.201	0.263	0.226	0.279
H (m)	-0.025	0.081	0.100	0.307	0.407	0.304	0.294	0.396	0.307
2D (m)	0.374	0.266	0.393	0.319	0.275	0.226	0.482	0.374	0.448
3D (m)	0.447	0.440	0.473	0.361	0.337	0.281	0.564	0.545	0.544
IN THE URBAN									
N (m)	0.584	-0.650	0.101	6.787	2.325	1.344	6.566	2.333	1.299
E (m)	3.470	-0.098	-1.034	4.960	3.946	2.247	5.907	3.803	2.399
H (m)	-4.136	-0.454	-0.454	6.643	1.234	1.038	7.621	1.273	1.098
2D (m)	6.891	3.189	2.046	5.732	3.239	1.873	8.832	4.462	2.729
3D (m)	9.137	3.589	2.365	7.527	3.053	1.815	11.666	4.640	2.941

對於不同作業模式亦提供精度分析，實驗起點處為成功大學歸仁校區控制與檢核場，藉由該場測量約 20 個檢核點，做直接地理定位分析，包含參考解(ref)、基於移動虛擬主站(M-VRS)、精密單點定位(PPP)、傳統單一主站差分模式(one base)之直接定位成果，表 4.9 為其誤差分析表。由實驗結果可知，新式後處理 M-VRS 動態定位定向演算法對於大範圍作業有較高精度且較節省人力和時間成本。

表 3.2 不同模式之直接地理定位誤差分析

TWD97 2TM (M)		AVG	STD	RMS
E	ref	0.088	0.082	0.119
	M-VRS	-0.199	0.289	0.345
	PPP	-0.127	0.820	0.807
	one base	-0.368	0.182	0.408
N	ref	-0.034	0.253	0.248
	M-VRS	-0.077	0.244	0.250
	PPP	0.074	0.258	0.262
	one base	-0.035	0.218	0.215
H	ref	-0.291	0.105	0.308
	M-VRS	-0.184	0.072	0.197
	PPP	0.744	0.169	0.762
	one base	-0.261	0.085	0.274
3D	ref	0.306	0.286	0.413
	M-VRS	0.282	0.385	0.469
	PPP	0.758	0.876	1.140
	one base	0.453	0.296	0.536

另外結合 e-GPS 方面，針對 GNSS 主站系統誤差之空間相關性對動態差分定位精度之影響進行討論，並搭配車載與個人攜行系統評估新式定位定向演算架構於地籍測量應用之可行性。以下為完成之工作項目與內容：

- (1) 收集虛擬主站 RTK (VRS-RTK)技術於移動製圖領域應用之文獻，與單一主站 RTK 的比較如表 3.3。未來若可妥善利用內政部國土測繪中心的 e-GPS 服務，並發展適用於後處理的 VRS 輔助之定位定向演算法，無論車載或空載製圖應用而言，隨時都有一個短基線的主站可以使用故其效能可以符合日漸蓬勃多平台製圖應用之高精度需求。

表 3.3 比較 VRS-RTK 與單一主站 RTK 之差異

	VRS-RTK	單一主站 RTK
優點	<ul style="list-style-type: none"> ■ 可擴大有效作業範圍，提高定位精度及可靠度。 ■ 測量誤差及初始化時間不因距離增長而增加。 ■ 使用者無須架設區域性主站。 ■ 單人單機即可作業。 ■ 可縮短作業時間，增加產能，降低作業成本。 ■ 所有使用者皆在同一框架下進行即時定位。 ■ 可提供全面性的定位成果品質監控。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 有效距離 6-10km。 ■ 測量誤差隨著距離增長而增加。 ■ 需自行架設主站。 ■ 無法單人單機作業。 ■ 品質隨著參考站距離而不同。

- (2) 利用內政部 e-GPS 系統之實測資料分析主站空間相關性對後處理差分動態定位定向演算法之限制，GNSS 的定位精度受到眾多誤差因素影響，可大致分為兩類：第一類誤差為衛星時錶誤差、星曆誤差、電離層誤差、對流層誤差，第二類誤差為用戶接收機內部雜訊、通道延遲、多路徑效應等。利用差分技術可消除大部分的第一類誤差，卻無法消除第二類誤差，因此，GNSS 用戶接收差分修正量用以改正誤差，可以提高定位精確度，但此修正量僅限於一定範圍內的使用者，隨著主站和使用者的距離越來越遠，後處理差分動態定位定向演算法之定位結果會因空間中所受到的誤差源影響不盡相同而造成精確度越來越不理想。
- (3) 完成研發 M-VRS 技術後處理之感測器動態定位定向演算架構，並以實測成果評估新式後處理 M-VRS 動態定位定向演算架構、傳統後處理差分模式動態定位定向演算架構與後處理精密單點定位定向演算架構進行精度分析。由實驗結果可知，新式後處理 M-VRS 動態定位定向演算法對於大範圍作業具備較高精度且較節省人力和時間成本。
- (4) 於高雄市規劃試作區域，並搭配車載與個人攜行系統評估新式定位定向演算架構推展於地籍測量之可行性。若使用車載系統影像進行地籍測量應用，須將立體影像的視野擴大、縮短拍攝間距、使用導航等級 IMU。而個人攜行系統則須加裝導航等級 IMU，避免依賴 e-GPS 測量來協助影像之定位定向，而且拍攝時必須先針對地籍應用進行合適的拍攝規劃，以便拍到重要的地籍邊界。

在多平台製圖系統聯合作業模式方面，本團隊探討如何融合多平台移動式遙測系統資料，包括空載、車載與個人攜行式等遙測影像，進行快速製圖與大量地理資訊之萃取，同時分析此作業模式在土地利用調查之可行性、定位精度，以及土地利用調查層級之分析等，主要研究成果有以下三項：

- (1) 研提車載、空載與個人攜行系統聯合作業模式，並進行絕對定位精度分析。成

果顯示在 GNSS 訊號良好下，測繪車立體影像直接地理定位後最大誤差可在 1 公尺以內，均方根誤差在 X-Y-Z 方向分別為 0.16/0.17/0.30 公尺。SwingletCAM UAV 影像經傳統空三平差後，在平面與高程之 RMS 分別約 19.5 公分及 107 公分。Ladybug3 全景相機直接地理定位後在空曠地區約 13~24 公分，高程約 32 公分。而 PPIMS 360 全景影像在 eGPS 可正常量測之情形下，其平面定位精度約 4~6 公分，高程約 5 公分。

- (2) 建立雲端運算服務導向架構之多平台製圖系統之架構設計，建置出對圖資流通收集與發佈的雙向資料透通性(Interoperability)需求之基礎機制，將所搜集的資料於組織內或跨應用系統，甚至跨產業間共享。同時本案為了將原始影像圖資來源、Raster 圖資來源、Vector 圖資來源三大部分整合在一起建構聯合作業模式，針對機能需求實作完成 WCF Web Service、WMS Client、WFS Client 等服務導向架構為基礎的多平台製圖系統運作機制，成果如圖 3.7 所示。
- (3) 發展土地利用調查聯合作業模式規劃，自主開發一套『國土地利用調查與影像管理多平台移動測繪管理系統』視窗介面軟體，完成了多平台製圖系統測量模組工作區規劃之系統主架構設計，同時也依據多平台製圖系統-土地利用調查模組架構，實作工作區地圖視圖功能與影像視圖功能模組、影搜尋像模組、空間前方交會模組、土地測量模組、土地利用調查屬性資料庫操作模組、土地使用分類模組等，案例測試成果如圖 3.8 所示。



圖 3.7 配合雲端技術服務導向架構建置之多平台製圖系統架構 圖 3.8 建築使用土地:050101 零售批發

四、102 年度工作案

針對台灣本地環境及各種業務應用需求，延續 101 年度各定位定像感測器之相關率定驗證場，參考國際相關標準規範，建立一套定位定向子系統的檢測程序，並設置整合式定位定向子系統率定場，提供國內廠商與業主進行系統規格測試與分析等專業服務，確保系統的穩定度與性能符合規格及使用者的需求，進一步驗證測繪結果之精度足以達到任務需求。測試分為三部分，慣性測量儀、GNSS 接收儀及整合系統。其中慣性測量儀的測試程序參考之規範與內容，則依據 IEEE 1554-2005 號標準文件所建議之測試程序，並結合各項設施及測試項目，在不同率定場地實施定位定向子系統相關測試。另外在全系統率定場方面，延續 100 年度成大歸仁校區室外測試與率定場，為了符合影像式與光達式測繪車之率定與精度檢驗需求，改採地面雷射掃描儀，搭配靜態 GNSS 觀測，產生整個率定場之三維點雲。統計點雲拼接之內部精度達 2.3 毫米，圖 4.1 為五個掃描站拼接後之 3D 透視圖。



圖 4.1 地面光達掃描及拼接後成果 3D 透視圖

對於國內移動製圖技術後續應用之品質考量，提出車載移動製圖平台規範，參考美國交通研究委員會 2013 年針對移動光達在交通應用上的使用方針，以及美國佛羅里達交通部 2012 年的地面移動光達測繪及製圖方針。所以本案以這些現有參考資料為基礎先草擬車載移動製圖系統的作業程序與規範所需涵蓋的項目，未來再逐步透過公開討論方式落實具體的規範內容。鑒於多平台製圖系統可適用的各式測量與非測量領域空間資訊蒐集之應用相關廣泛，無法針對特定的製圖任務制定規範，所以宜由不同應用之精度需求進行分級並提出原則性的作業程序，委託方(甲方)再依其應用需求搭配現行規範參酌本案提出的作業程序原則落實在其相關合約中。若按照應用的精度需求分級可分類如下表 4.1：

表 4.1 系統精度分級及對應之應用

應用分級	高精度應用	中精度應用	低精度應用
精度分級	三維直接地理定位精度小於 30 公分	三維直接地理定位精度 30~100 公分	三維直接地理定位精度大於 100 公分
應用領域	<ul style="list-style-type: none"> ● 工程地形測量 ● 控制測量 ● 地籍測量 ● 變型測量 ● 結構及橋樑間隙測量 ● 建物測量 ● 鑑識測量 	<ul style="list-style-type: none"> ● 工程規劃 ● 資產清查和管理調查 ● 環境調查及測量 ● 土方或崩塌地測量 ● 淹水線測量 ● 城市測繪和建模海岸帶侵蝕分析 	<ul style="list-style-type: none"> ● 初步測繪規劃 ● 交通設施清查 ● 交通統計 ● 一般資產調查 ● 圖資更新 ● 防災應用

另外在教育推廣部分，本案在內政部地政司的支持下，且於多平台製圖系統測試及率定實驗室架構下，邀請國內外多平台製圖系統領域的專家出任顧問，以辦理座談會或研習會方式進行定期授課與線上問題諮詢的方式與國內業者及公家機關分享實務經驗與基本的理論，同時能更進一步提供這類系統國內外之未來發展趨勢。並以「多平台移動製圖系統發展現況與展望」為題設置一場實務座談會，邀請國土及區域規劃、永續產業、地理資訊業界等專業領域之產、官、學界菁英，就多平台移動製圖系統資源面向、產業面向、產品面向、環境面向、發展面向等方向提出宏觀的見解，並廣邀各界人士參與意見交流研討，作為擬定多平台移動製圖系統標準作業程序與技術服務規劃行動方案之參考。

另外評估 GNSS 對多平台製圖之效益，GPS、GLONASS、Galileo 及北斗四個全球尺度的導航衛星系統將成為 GNSS 之主要核心，未來不論是即時導航或是高精度測量定位應用，只要衛星接收機可支援多個衛星系統的多頻觀測量，便可提高衛星分布的幾何強度、增加觀測量的多餘觀測數，以獲得更高的定位精度與可靠度。故 102 年度完成評估 GNSS 系統對多平台製圖應用之效益。以下為完成之工作項目與內容：

- (1) 針對目前主要四套 GNSS 系統的發展現況與趨勢提供簡要的回顧，根據各系統發展的時程，預計在 2020 年之後一般使用者可以無限制使用 4 個導航衛星系統所提供的多頻觀測量，以獲得更高的即時單點定位精度，未來不論是低精度即時動態單點定位導航模式，或是高精度後處理的動態或靜態基線解算模式，皆可使用雙系統或三系統的接收儀以提高定位精度。
- (2) 「北斗系統簡介與動靜態定位精度分析」針對北斗系統進行系統介紹並透過實測與文獻回顧方式提供動靜態定位精度分析，使用完整的區域性系統星群，其可視衛星數目與 GPS 相當，但由於之間存在系統偏差，使得北斗雖然在三維定位成果的標準偏差略優於 GPS，但其定位精度較差。
- (3) 完成「北斗與 GPS 聯合定位精度分析」，利用實測資料針對北斗/GPS 雙系統進行聯合定位解算，提供動靜態定位精度分析，從成果中可以發現，北斗系統的缺點為該系統與 GPS 間存在著系統性偏差，GPS 的缺點為觀測量品質較差，因此透過隨機模型的設計將兩系統結合後可截長補短，提高定位的精度。

完成「北斗與 GPS 聯合處理策略對多平台製圖應用之效益評估」，利用實測靜態資料來做靜態定位解算及模擬動態定位解算的成果，無論是在定位的精度、可靠度及效率等方面均有效地提昇，因此使用北斗與 GPS 聯合處理策略對於多平台製圖系統將提供莫大的效益。

另外在應用至防救災方面，發展高酬載無人機於大面積製圖與災害調查技術，完成酬載 40 公斤大型無人機與 GNSS/IMU 及 5 相機攝影系統之設計與整合，而在實際航拍後將所有影像進行空三平差，影像座標後驗中誤差僅 0.51 個像元，物空間三軸之均方根誤差皆在 35 公分以內。接著在二階段軸角率定直接地理定位後，在 900 公尺航高下平面定位精度可達 1.1 公尺，高程為 5.2 公尺，可滿足高精度與快速災情空間資訊蒐集之需求。開發原始影像拼接演算法，將 5 相機影像自動拼接成單幅大 FOV 影像，期能提升一個 UAV 架次航拍之面積，提升攝影測量交會幾何，降低高程誤差，減少影像總數，提升空三平差與立體製圖作業效率。影像拼接是利用透視投影轉換數學模式，所需之轉換係數是由室內率定場求得，可去影像匹配與參數解算所花費的時間，但考慮到率定成果與真實空拍條件不同，另提出系統性誤差分析與修正程序，以提升影像拼接精確度。主要程序包含：(1)相機率定、(2)透視投影轉換、(3)系統性誤差分析與修正及(4)多影像拼接與裁切等步驟。

表 4.2 為各種案例之空三平差精度分析，藉以探討影像拼接後立體製圖之精確度。由表 4.2 可以得知：(1)僅用垂直相機時，其控制點與檢核點相較其他三個案例在高程上的誤差較大，而在加入傾斜相機後可以提升交會幾何強度，進而提升高程定位精確度。(2)三相機拼接前後在控制點與檢核點的 RMS 誤差相當一致，但三相機的拼接成果影像坐標後驗中誤差(Sigma0)卻提高了 1.7 倍，顯示相依解的拼接影像仍存在錯位現象所造成。(3)相依解與獨立解的控制點與檢核點 RMS 相似，但 Sigma0 有降低的現象，與未拼接前之 Sigma0 差 0.15 個像元，顯然還有改善的空間。(4)由於獨立解需要每一組影像各自求解透視投影轉換參數，目前演算法效率尚未最佳化導致每一組之計算時間平均約 25 分鐘，比相依解的 4 分鐘，有將近 6 倍之久。就實用面而言，顯然還需改進其演算法。

表 4.2 空三平差精度分析

案例	平均影像 拼接時間	Sigma0 ($\mu\text{m}/\text{Pixel}$)	控制點(RMS) 公尺 數量=5			檢核點(RMS) 公尺 數量=9		
			X	Y	Z	X	Y	Z
Cam3 垂直相機		2.7/0.46	0.091	0.06	0.101	0.084	0.052	0.307
三相機未拼接		2.7/0.46	0.074	0.049	0.096	0.062	0.045	0.171
拼接後 (相依解)	4 分鐘	4.6/0.78	0.021	0.039	0.083	0.032	0.026	0.204
拼接後 (獨立解)	25 分鐘	3.6/0.61	0.023	0.028	0.072	0.032	0.028	0.191

五、103 年度工作案

基於多平台製圖系統測試及率定實驗室應用與推廣，建置包含專業慣性測量儀率定及測試、整合式定位定向系統測試與率定等功能之實驗室。除此之外也建置包含單一相機內方位率定、多組相機相對方位率定場之影像感測器子系統測試與率定實驗室、車載與個人製圖系統率定功能之多平台製圖全系統室外率定場等，這些設施迄今以提供至少十家國內業者進行相關諮詢與率定服務。延續執行 101 年度與 102 年度工作案，對於相關率定及驗證場進行相關的保養以及更新，並持續推廣適合台灣環境之多平台製圖系統標準感測器測試程序，免費提供國內多平台系統測試與率定分析之專業服務，至以進一步確保系統穩定度與測繪成果之精度，並延續先前研究成果研提適合國內環境之車載製圖系統作業手冊，建議發展各等級車載製圖系統應配置之設備與成本分析，並推廣多平台製圖系統技術至非測量單位。

對於國內無針對車載移動製圖系統制定的作業程序與規範，延續 100 年度草案架構，並根據國立成功大學測量及空間資訊學系在測繪領域之經驗，預先草擬車載移動製圖系統的作業手冊所需涵蓋的內容。但有鑑於目前現有之參考文獻多著重在以光達為主之施測應用，且多平台製圖系統適用的各式測量與非測量領域中，空間資訊蒐集之應用方向卻相當廣泛，故無法針對特定的製圖任務制定詳細規範，宜由不同應用之精度需求進行分級並提出原則性的作業程序。針對研提車載製圖系統之作業手冊的草案，涵蓋項目見下圖 5.1。而 103 年度通過邀請具有實務經驗之單位，採公開討論方式落實具體的手冊內容，將草案精簡並補強，針對不同應用之精度需求進行分級，並提出原則性的作業程序，供業主依其應用需求搭配現行規範並參酌本車載製圖系統作業手冊中之原則，落實在其相關合約中。

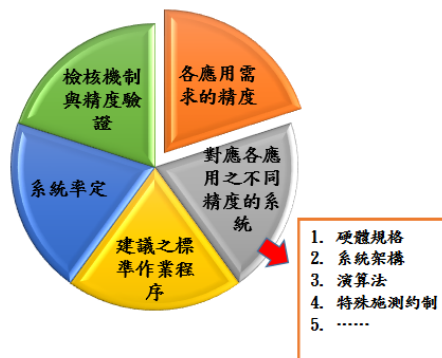


圖 5.1 研提車載製圖系統之作業手冊項目

表 5.1 多平台製圖系統測試及率定實驗室使用單位統計表

	整合式定位定向 子系統之率定場	影像感測器子系 統率定場	多平台製圖全系 統室外率定場
儀科中心(101 年)	■	■	■
九晟電子(101、102 年)	■		■
帕斯卡科技(102、103 年)	■		■
自強工程(102、103 年)	■	■	■
台灣國際航電 (102、103 年)	■		■
北極星測繪(102 年)	■		■
經緯衛星資訊 (101、102、103 年)	■	■	■
日成航太(102 年)	■	■	■
資策會(103 年)	■		
勤崑國際(103 年)		■	■
工研院南分院(103 年)	■		

對於低成本移動製圖技術方面，利用行動通訊裝置測試儀動製圖技術，行動通訊裝置已相當普及且其內建之感測器相當完備，相對於測量級移動製圖系統具有低成本且高普及之優勢，提供後續資料建置相當大的便利性。本年度回顧發展現況、行人導航之方法、深度感測器、個人行為模式分析、室內製圖於產學界之現況，並發展完整計算結果所需之軟體，包含手機內作業系統 IOS 及 Androind 所使用之 APP，以及說明後端定位定向系統所使用之軟體—Pointer。對於直接地理定位可達約 1-2 公尺之直接地理定位精度，同時試做其誤差評估表。

另外延續 102 年度工作案，持續評估北斗系統對多平台製圖應用之效益，透過 GPS 與北斗系統的多頻率觀測量處理演算架構、多平台系統聯合資料處理的作業技術、作業環境與動靜態模式來探討 GPS 和北斗系統在台灣都市中不同遮蔽程度下的影響，並且分析北斗系統的動態定位精度以及應用在移動式多平台製圖系統的效益。透過車載測繪平台於都市中不同環境條件的測試區進行實測，針對北斗系統對多平台製圖應用之效益進行評估。以下為完成之工作項目與內容：

- (1) 完成「GNSS 系統發展概況更新」，針對目前主要的四套 GNSS 系統，包括 GPS、GLONASS、Galileo 以及北斗系統提供了發展概況回顧與最新的更新。
- (2) 透過車載製圖平台搭載天線與接收機進行實測完成「GPS 與北斗系統於五都測試區之實測動態定位精度與遮蔽效應分析」，選定了代表性的五都作為測試區，綜合遮蔽較為嚴重的市區場景以及透空良好的郊區場景，分析測試區的各系統數據及後處理差分處理定位成果，並透過 INS/GNSS 的整合定位解來評估定位精度，由於北斗系統的衛星分佈狀況提供較完善的觀測量，因此，北斗系統在三維的定位精度大部分優於 GPS。
- (3) 採用即時動態定位的方式去比較 e-GPS 與北斗 RTK 的定位成果，在「e-GPS 與北斗 RTK 於五都測試區之實測動態定位精度與遮蔽效應分析」方面，北斗 RTK 在不同測試區受到遮蔽效應下的動態定位皆優於 e-GPS。

完成評估「北斗系統與 GPS 實測資料聯合處理策略對五都測試區車載製圖應用之效益」，透過 GPS 和北斗系統的聯合處理策略，可利用多頻的雙系統觀測量進行處理，除了提升可視衛星狀況，也能改善三維的定位精度，其改善幅度皆可達 5% 以上。因此，定位誤差為製圖系統的主要誤差來源，未來 GNSS 多系統多頻觀測量能提供更完整的衛星數以及幾何分佈，並可提升製圖精度以及減少作業程序中花費在補點的時間和人力。

而在延續 102 年度應用至防救災方面，利用無人載具於河道橫斷面測量，主要用途為提供水理分析以協助河川治理、水資源保育及土壤保持等應用。傳統上是透過地面測量而得，但其過程費時且危險性高、斷面間距過大無法適時反應劇烈變動的河道地形或提供完整的河道地形協助二維動床模擬分析。本研究乃提出透過旋翼與定翼無人機搭載高解析度微單眼數位相機進行航拍，並透過數值攝影測量技術，產製整個河道之三維彩色點雲及 2.5D 數值表面模型，以協助河道斷面測量。整個內業處理程序自動化程度高，可彈性提供任意位置之河道斷面，經實際案例測試旋翼 UAV 影像經空三平差後，控制點與檢核點之平面與高程 RMSE 都在 3 公分以內，而定翼型 UAV 影像經空三平差後，控制點平面與高程 RMSE 在 3 公分以內，而檢核點平面與高程 RMSE 則在 9 公分以內，其產製之 25 公分網格 DSM 與 5 公分正射影像如圖 5.2 所示，經檢核後 DSM 之高程準確度可達 12 公分，顯示其精確度相當高且可符合相關應用之需求。而由圖 3 可以發現河道中細微之地形變化，例如護堤工程、沙洲上的樹木、大石頭等。

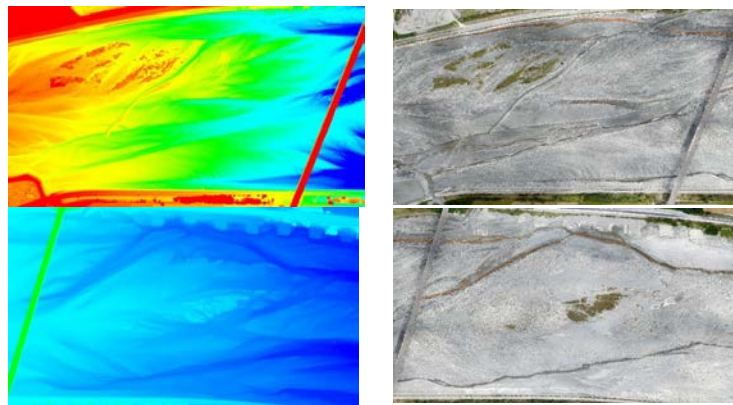


圖 5.2 定翼 UAV 產製之 DSM 與正射影像

在河道斷面測量部分，本研究分成兩種情況進行測試，首先是利用垂直航拍產生的三維點雲，製作網格式 DSM，再以斷面樁兩端之地圖坐標沿橫斷面，從左岸到右岸，以等間距內插出高程剖面。此作法僅適用於非橋梁之橫斷面，因為橫斷面若與橋梁太靠近，透過垂直航拍影像產生的 DSM 將會受到橋梁的影響，內插出不合理的結果。因此，橋梁附近的河道斷面測量需透過三維點雲，以人工數化其高程剖面。圖 5.3 為河道斷面測量範例，上圖為橫斷面之高程剖面圖，其中地測成果以藍色線條表示，紅色線條為 DSM 內插成果。圖中另外將斷面分別套疊於 Google Earth 衛星影像(圖 5.3 (中))與 UAV 正射影像(圖 5.3 (下))，以驗證本研究測量方式之可靠度與合理性。其中 Google Earth 衛星影像拍攝於 2014 年 1 月 18 日，與地測時間(2013 年年底)較接近。兩次測量期間台東縣遭遇兩次颱風，分別為 7 月 21-23 日麥德姆颱風與 9 月 19-22 日鳳凰颱風，帶給台東大量豪雨(累積降雨量分別為 392 mm 與 233 mm)，因此從影像中可以發現顯著的河道變遷現象。圖 5.3 將主要地形差異處以 A-E 表示，其中 A 與 E 有堆積現象，B 與 D 則為沖刷現象，C 附近有比較大的高低起伏變化，且比地測成果高，其原因是受到河道中植被的影響。經實際案例測試驗證使用 UAV 影像產製之三維彩色點雲，可協助大部分區域

的河道斷面測量，整個作業程序除了外業地面控制測量及 UAV 航拍外，其餘皆為內業資料處理工作。而內業資料處理程序除了影像上控制點人工量測外，其他程序大都可以全自動進行，整體效率高。所產製之 DSM 空間解析度可達 25 公分，高程精確度 12 公分，比空載光達誤差小，但比水利署之地面測量高程精確度要求超出 2 公分，由於此誤差在標準偏差範圍內，仍在可接受範圍，且利用 DSM 可以很有彈性的選取任意兩點構成的直線進行河道橫斷面或縱斷面測量。此外，透過影像比對，確認本研究所量測得之河道斷面與地測成果差異處，皆是人為因素或河道變遷後砂石堆積或沖刷所造成，其餘差異主要發生在植被與水體。由於攝影測量僅能觀測到地物表面，因此量測成果為植被覆蓋面與水體表面，無法量測得到樹下或水底地形。可能解決方案為，植被部分可透過立體影像與立體視覺，配合附近無植被之地形，修正其高程；而水體部分則僅能透過現場補測協助修正或推估得較正確之地形。

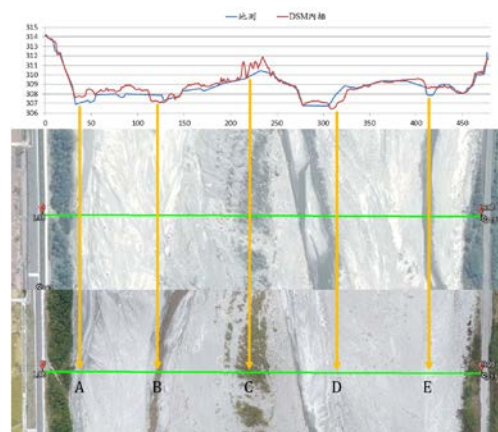


圖 5.3 斷面 98 測量成果(上)、斷面套疊於 Google Earth 衛星影像(中)與 UAV 正射影像(下)。

參考文獻

1. 江凱偉、曾義星、楊名、饒見有(2011)：100 年度發展與應用多平台遙測製圖技術工作案期末報告，內政部地政司。
2. 江凱偉、曾義星、饒見有、詹劭勳、楊名(2012)：101 年度多平台遙測製圖技術工作案期末報告，內政部地政司。
3. 江凱偉、曾義星、楊名、饒見有 (2013)：102 年度多平台製圖技術工作案期末報告，內政部地政司。
4. 江凱偉、曾義星、楊名、饒見有 (2014)：103 年度多平台製圖技術工作案期末報告，內政部地政司。