

102 年度多平台製圖技術工作案

Multi-Platform Mapping Technology

主管單位：內政部

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並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 與 101 年度工作案既有成果上持續更進一步探討包含下列與多平台製圖系統與應用相關之關鍵技術；建立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、GNSS 系統對多平台製圖應用之效益、直升機載直接定位之災害資訊蒐集模組、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，與應用空載攝影系統於災區之偵測與簡易災損評估。同時希望藉由積極參與國外專業領域各學會之研討會、參與論文競賽與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。

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 infrastructures for multi-platform mobile mapping systems, the consultant and training program for mobile mapping systems, the impact of modern GNSS on mobile mapping applications, the pilot study of a helicopter borne DG module for disaster reduction applications and the assessment of heavy payload and long endurance UAV for mobile mapping and disaster reduction applications. 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需要約半年以上的時間，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。

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。

二、建立多平台製圖系統測試及率定實驗室

2.1 整合式定位定向子系統之率定場與測試程序

本案已針對台灣本地環境及各種業務應用需求，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。本工作案計畫設置之整合式定位定向子系統的率定場包含：

1. 具備專業慣性測量儀率定及測試功能之室內實驗室
2. 具備高精度位置與航向基樁之室外靜態率定場
3. 定位定向系統動態測試平台

整合式定位定向子系統之測試可分為三部分，分別為慣性測量儀、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，規劃在不同率定場地可實施整合式定位定向子系統對應的相關測試流程圖及測試內容，如圖 1 所示。

測試率定實驗室	
衛星定位系統	慣性測量儀
1. 系統輸出初檢 2. 初始航向檢測(絕對及相對)	1. 系統輸出初檢 2. 初始航向檢測(絕對及相對) 3. 規格絕對精度檢測 3.1 靜態多位置測試 3.2 動態多位置測試 3.3 溫度測試 3.4 阿倫變方分析
靜態測試基線場	
衛星定位系統	慣性測量儀
1. 絕對定位精度驗證 2. 絕對定向精度驗證 3. 絕對定速精度驗證	1. 絕對定向精度
動態測試平台	
衛星定位系統	慣性測量儀
1. 相對定位精度驗證 2. 相對定向精度驗證 3. 相對定速精度驗證	(無GNSS訊號脫落及GNSS訊號脫落60秒) 1. 相對定位精度驗證 2. 相對定向精度驗證 3. 相對定速精度驗證

圖 1. 整合式定位定向系統率定流程

2.2 多平台製圖全系統室外率定場

在成大歸仁校區西南方角落設置一多平台製圖系統室外測試與率定場，其目的是為了達到直接地理定位，以符合車載移動式測繪系統率定與檢驗成果精度之需求，過程中需要率定這些平台所搭配之工業級數位相機與 IMU 載體坐標系之軸角與固定臂，為了聯合解算 GNSS 與 IMU 得到平台之位置與姿態，必須要有 GNSS 衛星定位觀測量，因此必須選擇一個透空度高，車輛方便進出，且有部分建物可以被拍攝的場所。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，以產生整個率定場之三維點雲，如此即可量測任意點當作控制點或檢核點。施測前先針對之前所布置之地面控制點，外加四個點形成面狀分布，以靜態 GNSS 觀測 1.5 個小時，其中一站固定不動，其他站在觀測 1.5 個小時後換站繼續觀測。兩個禮拜後下載精密星歷資料，並搭配鄰近之 GNSS 連續觀測站資料進行整體解算，求得這些控制點之精密地理座標，並轉換成 TWD97 平面座標系統，高程系統維持橢球高。接著在這些控制點上擺設圓形反光標，並在附近架設 Riegl VZ400 地面雷射掃描儀共 5 站，掃描解析度皆為 0.03 度，之後將掃描成果拼接套合，並設置控制點座標，將所有點雲轉換到 TWD97 座標系統，完成控制場之三維點雲。統計點雲拼接之內部精度可達 2.3 毫米，圖 2 為誤差分布圖。而以四個控制點轉換到地理座標後誤差約在 5 公分以內，圖 3 為五個掃描站拼接後之 3D 透視圖。

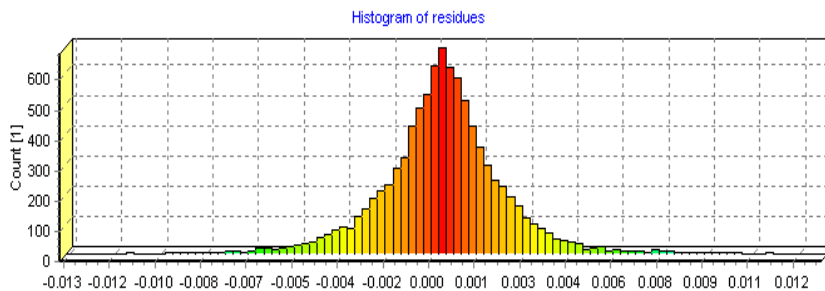


圖 2. 差分布圖

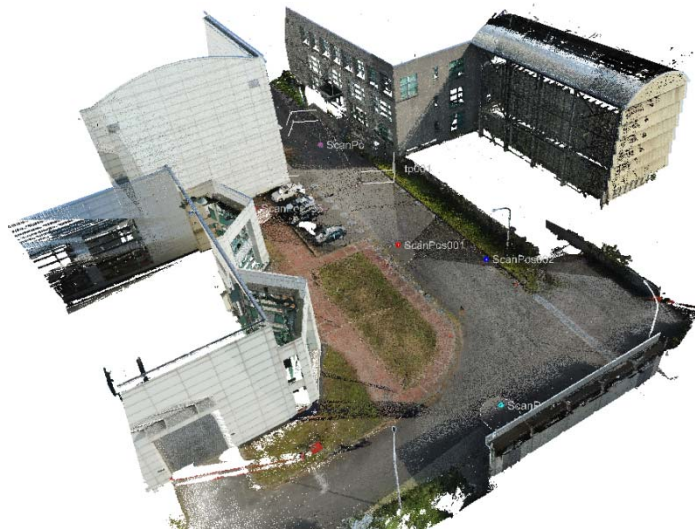


圖 3. 地面光達掃描及拼接後成果 3D 透視圖

2.4 車載移動製圖平台規範

移動遙測製圖系統整合全球導航衛星系統 (GNSS)及慣性導航系統 (INS)形成高精度直接定位系統，並結合多種高效率影像感測器，搭配高精度率定場，能快速獲取並儲存感測資料，直接解算獲得感測器方位，最後透過高度自動化的軟體系統進行資料處理，獲得所需的空間資訊，移動遙測製圖系統之作業流程如圖 4(a)所示。移動平台可以是衛星、飛機、直昇機、船舶、汽車或人，所搭載的定位定向感測器可能包括 GNSS 接收儀、INS 及航位推算(Dead Reckoning, DR)感測器等，觀測感測器系統則可以是相機、攝影機、多光譜掃描儀或雷射掃描儀(laser scanner)等，如圖 4(b)所示。

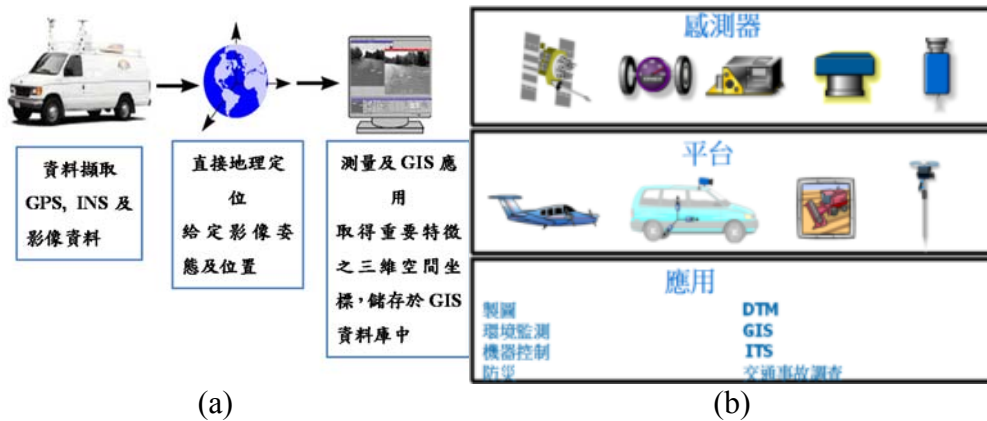


圖 4.動遙測製圖系統之作業流程(a)與組成元件(b) (El-Sheimy, 1996)

目前國內尚無針對車載移動製圖系統的制定作業程序與規範，在國外部份，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(TML Guideline, 2012)。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(TML Guideline, 2012)，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 1(TML Guideline, 2012)：

表 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

此外，不同之演算法及輔助感測器，以彌補對成果精度不利的因子，例如隧道中長時間的衛星訊號失鎖，或是因成本考量使得硬體規格受限等。長時間的衛星訊號失鎖，在演算法部分可以透過零速更新(Zero Velocity Update, ZUPT)、Zero Integrated Heading Rate (ZIHR) 及非諧合約制(Non-Holonomic Constraint, NHC)等，延長純慣性導航的支撐時間及精度。緊耦合演算法不須四顆以上的衛星即可定位，相較於鬆耦合架構，緊耦合架構在遮蔽嚴重的環境效能較好，因此能夠適應城市高樓的環境。另外，除了衛星定位系統及慣性測量儀外，亦可以整合磁力計、輪速計、氣壓計等，當失去衛星定位的輔助時，這些外部輔助感測器提供的資訊能夠有效輔助慣性測量儀，並約制慣性定位誤差之漂移。因此若任務執行區域的衛星透空度較低，應妥善規劃或搭配緊耦合等演算法。

若安全及其他條件允許，在這些衛星訊號不良或易受遮蔽的地區，可加設檢核點以檢驗該段成果之精度。衛星訊號脫落的時間應越短越好，並受限於慣性測量儀之精度等級及其他輔助感測器。廠商所提供的儀器規格，其精度必須能夠滿足移動製圖系統或任務的基本需求，並符合國家測量及圖資相關標準規範。

三、國內多平台製圖系統作業能量調查與推展教育

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，在空間資訊與非空間資訊領域等諸多領域得到廣泛應用。但因各業主多直接向國外採購多平台移動製圖系統或自行組裝發展，造成系統規格不一，也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，使得業主難以評估其系統是否能達到作業需求之精度，同時因此類系統整合諸多昂貴的感測器與相當複雜資料處理模組，國外儀器製造商所提的教育訓練課程與建議的作業程序多半是彙整在他們系統發展過程中所得之經驗，但有些時候國外原廠建議的方法並不適合台灣的現況。所以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。故本案首先擬針對國內多平台移動製圖系統現有作業能量進行普查，並建立前述多平台移動製圖系統技術之諮詢支援機制，實施國內多平台移動製圖系統作業能量調查與推展教育，不僅是國內空間資訊企業發展的需要，也是延伸空間資訊與多平台移動製圖系統發展對國家經濟發展與社會民生的貢獻，從而實現國內多平台移動製圖系統事業和空間資訊產業的永續發展。本案於期中報告中完成以下工作項目：(1) 國內多平台移動製圖系統業者調查，(2) 舉辦多平台移動製圖系統實務座談會，(3) 研提多平台移動製圖系統相關作業技術支援機制，(4) 製作科普教育影片。

3.1 國內多平台移動製圖系統業者與政府機關調查

此項調查之目的為瞭解當前國內空間資訊業者使用多平台移動製圖系統概況有關事項及其經營意向，進行製圖作業時所需之標準作業程序與技術服務機制，並建立基本統計資料，以提供各界經營決策之參考。調查方法將採用個案訪談實調方式進行，並輔以問卷方式輔助調查，個案訪談實調方式具體調查對象將聚焦在以潛在或有使用多平台移動製圖系統之業者與政府機關為調查對象，了解實際應用上的需求與建議。另外，本

案今年度辦理多平台移動製圖系統實務座談會過程中，已邀請國內八間主要應用多平台移動製圖系統進行測繪業務相關之民間公司進行專題演講，於座談會中充分參與討論溝通多平台移動製圖系統，並分享他們的案例與對多平台製圖技術之優缺點之看法。而問卷調查方式之調查區域範圍主要針對在臺灣地區從事空間資訊與測繪業務，並經核准登錄有案取得測繪業登記證之測繪業者為限。業者個案訪談實調方式之調查方式，實際調查日期將自 102 年 7 月 1 日起至 102 年 9 月 31 日止為期二個月。具體調查項目如下：

■ 訪談議題

1. 所經營產品與業務取得市場優勢的關鍵能力。
2. 所經營產品與業務在國內外市場之主要競爭對手。
3. 主要利基產品與業務在市場上所面臨之困境。
4. 目前企業對多平台移動製圖系統應用看法。
5. 對國內研擬多平台移動製圖系統進行製圖作業時所需之標準作業程序之看法。
6. 對多平台移動製圖系統進行製圖作業時所需之技術諮詢服務機制之建議。
7. 瞭解企業對多平台移動製圖系統應用計劃的現況及做法。
8. 瞭解企業實施多平台移動製圖系統應用計劃的成效。
9. 企業對多平台移動製圖系統經營之困難情形及未來經營策略。
10. 從事多平台移動製圖系統研發創新概況。
11. 無研發創新的原因或研發創新所遭遇的困難。
12. 在推動研發創新方面，最需要政府協助項目。
13. 在推動研發創新方面，期望法人單位或學術界提供關鍵性技術諮詢與服務資源。

3.2 舉辦多平台移動製圖系統實務座談會

本案以「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，期許透過學術理論與實務經驗的對話與互動，共同激盪出新思維、新作法，為多平台移動製圖系統發展提出具體且具前瞻性的規劃與發展策略，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，提供政府相關部門、民間、規劃專業者具體行動之依據。

議程總計 10 個講座場次，其中邀請 8 家擁有多平台製圖系統之知名業界經理人擔任講座主講人。本座談會已於 102 年 6 月 25 日於成功大學測量及空間資訊學系舉辦完成，發文邀請臺灣地區核准登錄有案取得測繪業登記證之測繪業者 100 家，學界、政府機關與研究單位 28 家與會。另開發實作座談會主題網站，功能包括座談規劃、座談議程、交通資訊、聯絡我們、講義下載並提供各界上網報名。座談會最後統計出席人數不含主辦單位人員總共累計 46 個單位，63 人（含 8 位主講人，不含工作人員）。

3.3 研提多平台移動製圖系統相關作業技術支援機制

作業技術支援機制，透過此推廣網站，開放平台最佳化專家顧問諮詢、專業領域知識技術的服務機制，讓此平台建立起專業形象，並能在最短的時間內，幫助對多平台移動製圖系統相關作業技術有興趣之使用者，找到適當的技術服務或是開發出新的商業需求合作機會。本次網站規劃與實作，為不斷衍生新增或修正內容，在行上線之常態性精進之網站網頁開發工作，除了前台系統與後台系統實作外，亦整合科普化知識與影片教材。而在「首頁」呈現大篇幅的任務形象宣導圖，彰顯多平台製圖技術工作案的任務使命，讓民眾瞭解。在「主功能選單」規劃區中，展現多平台製圖技術工作案在學術、產業與教育界不遺餘力推動，結合產學界，努力尋求開發合作可能性，將授權專區、推廣研討活動納入此區塊。最後透過「首頁」與「計畫背景」導覽，完整記錄多平台製圖技術工作案發展歷史與各年度事紀。本網站實作面已經完成整個主架構之設計與大部分前台與後台功能，主架構設計包含主架構主題頁首 Flash 動畫設計、背景設計、主功能選單設計、單元功能選單設計、內容區設計、頁尾設計、後台資料庫管理功能等，如圖 5 所示。並已經實際應用於 102 年 6 月 25 日所舉辦之「多平台移動製圖系統發展現況與展望」實務座談會之宣傳、線上報名、講義下載、活動花絮等功能上，讓座談會與會人員有一合適之資料傳遞之功能。多平台移動製圖系統網站網址為 <http://mms.geomatics.ncku.edu.tw/>。



圖 5.多平台移動製圖系統網站設計

四、評估 GNSS 系統對多平台製圖應用之效益

我國目前非常廣泛地使用 GPS 精密定位於國家測量的工作中，包含靜態與動態定位。隨著完善 GNSS 的到來，以及北斗系統的迅速發展，衛星定位所使用的硬體設備與軟體計算程式也將大幅改變，對於資料處理的作業技術發展也必須迅速進行。未來的

GNSS 正逐漸演進為具備多系統多頻率之特性，而使用多個全球導航衛星系統的多頻率觀測量，大幅提昇現有的定位精度是可預期的。

因此，本案擬針對多平台製圖系統之應用特性，透過 GNSS 的多頻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 GNSS 在不同層次的影響，並且分析北斗系統的動靜態定位精度，以及應付各種移動遙測製圖的應用環境，多平台製圖系統發展多系統 GNSS 聯合處理架構搭配多元輔助感測器，未來在市區、地下道、隧道、森林等地區 GNSS 仍然會受到訊號遮蔽的效應所影響，第一種狀況為使用者接收儀無法鎖定超過 4 顆衛星，故無法獲得定位解；而第二種狀況為使用者雖鎖定超過 4 顆衛星，但其觀測量品質不佳，導致定位精度不佳，而空載系統在飛機高動態之運動下仍會產生週波脫落與衛星失鎖問題。故對於移動多平台製圖應用而言，在 GNSS 訊號脫落及干擾的作業環境下，透過多頻的聯合定位來分析多平台製圖系統的精度，針對多平台製圖系統受到 GNSS 訊號品質影響的定位精度進行分析，擬以本團隊發展之 GNSS 軟體模擬器與實測資料搭配定位定向感測器來探討並評估 GNSS 聯合處理策略對多平台製圖系統和應用的效益。

本團隊採用一條 29 公尺的超短基線，用以進行北斗系統於靜態精密相對定位的精度分析，兩台多頻多系統的衛星接收儀(由帕斯卡科技股份有限公司提供)架設於國立成功大學測量及空間資訊系館後方草皮上的基樁，實地的透空度良好且基樁穩固，其中可以收到到 GPS、北斗以及 GLONASS 的訊號，且其觀測頻率分別為雙頻、三頻以及雙頻。在進行基線解算時，使用 B1 及 B2 頻率的無電離層組合及 Modified Hofield Model 處理大氣層影響，並以商業軟體 TBC 解算夜間連續接收八個小時的 GPS 觀測資料為基線向量的參考真值，進行 GPS 單系統與北斗/GPS 雙系統靜態精密相對定位的精度分析。表 2 為 GPS 單系統及 GPS/北斗雙系統使用靜態精密相對定位於不同基線長度與已知座標之不符值，表中顯示，只使用 GPS 單系統 2744 個時刻觀測量的精密相對定位成果與已知座標的三維不符值($\Delta \rho$)為 1.06 公分，而使用北斗/GPS 雙系統靜態精密相對定位於 29 公尺超短基線的三維定位誤差，由原本只使用 GPS 單系統的 1.06 公分降低至 0.60 毫米，精度提昇約 45%。

表 2.GPS 單系統及北斗/GPS 雙系統靜態精密相對定位於不同基線長度與已知座標之不符值

觀測時刻數	GPS 單系統				北斗/GPS 雙系統			
	ΔE	ΔN	ΔU	$\Delta \rho$	ΔE	ΔN	ΔU	$\Delta \rho$
2744	-0.45	0.35	-0.89	1.06	0.55	0.12	0.20	0.60

單位：公分

為了瞭解北斗導航衛星系統完成亞太地區衛星佈署並正式提供服務後，在台灣地區使用北斗系統動態虛擬距離單點定位的精度表現，本團隊在基樁上架設衛星接收儀，接收近兩個小時的靜態資料，並使用動態解算策略解算單一時刻的定位解，用以探討動態虛擬距離單點定位之表現，而對於電離層及對流層延遲影響則使用 B1 及 B2 頻率的無電離層組合及 Modified Hofield Model 予以處理，由於北斗區域性導航衛星系統已建置

完成，因此在此觀測資料中約可觀測到 6~8 顆的北斗衛星。使用 B1 及 B2 頻率的無電離層組合及 Modified Hofield Model 處理大氣層影響，並以單一時刻動態定位解算的策略執行動態虛擬距離單點定位，以探討北斗/GPS 雙系統的精度表現，座標參考真值的部分則使用夜間連續接收八個小時的 GPS 觀測量，進行精密單點定位(PPP)解算後所獲得，精度可達公分等級。由表 3 可以發現，結合雙系統後各方向的標準偏差皆下降，尤其在高程方向特別顯著，但由於北斗系統與 GPS 間存在系統性偏差，在使用雙系統的單點定位時該系統性偏差會經由誤差傳播反映在均方根誤差上，雖然三維的均方根誤差均有顯著的下降，但主要為高程方向精度的提昇，有助於高程方向需要較高精度要求的導航使用者。在結合雙系統時需透過隨機模型的設計給定北斗系統與 GPS 不同的方差估計值與權重以達到較好的結合，而函數模型的部分除了三維座標與接收儀時錶誤差四個參數外，需再加入一未知參數來估計北斗與 GPS 時間系統間的偏移量。

表 3.GPS 單系統(上)及北斗/GPS 雙系統(下)動態虛擬距離相對定位於不同基線長度在三個方向上之標準差、均方根誤差及三維均方根誤差

	STD (公尺)			RMSE (公尺)			3D RMSE (公尺)
	E	N	U	E	N	U	
GPS	1.48	1.54	5.16	1.54	1.67	5.16	5.64
北斗/GPS	0.99	1.11	3.13	1.95	1.38	3.56	4.29

另外，使用 B1 及 B2 頻率的無電離層組合及 Modified Hofield Model 處理大氣層影響，並以商業軟體 TBC 解算夜間連續接收八個小時的 GPS 觀測資料為基線向量的參考真值，以動態解算策略探討 GPS 單系統與北斗/GPS 雙系統動態精密相對定位的精度分析。表 4 為 GPS 單系統及北斗/GPS 雙系統動態精密相對定位於不同基線長度在三個方向上之統計數據，由表中可以發現，這三條基線在採用北斗/GPS 雙系統後，其各方向的標準差均大幅下降了，且 29 公尺基線的平面相對定位精度皆優於 1 公分，高程精度約 2 公分，整體的三維精度約提高了約 33%。

表 4.GPS 單系統(上)及北斗/GPS 雙系統(下)動態精密相對定位於不同基線長度在三個方向上之標準差、均方根誤差及三維均方根誤差

Baseline	STD (公分)			RMSE (公分)			3D RMSE (公分)
	E	N	U	E	N	U	
29 m	1.01	0.87	2.84	1.10	0.93	2.96	3.29
8.7 km	0.90	1.50	3.49	-	-	-	-
15.9 km	0.92	1.38	2.35	-	-	-	-
29 m	0.48	0.51	2.00	0.72	0.52	2.01	2.20
8.7 km	0.61	1.13	2.50	-	-	-	-
15.9 km	0.66	0.81	1.77	-	-	-	-

使用北斗與 GPS 聯合解算策略後，無論是使用電碼觀測量或是載波相位觀測，於靜態或是動態的單點定位及相對定位，透過本團隊所設計之函數模型與隨機模型進行定位解算後，便可將原本各自存在於單系統中的系統性誤差、多路徑效應與觀測量雜訊等誤差，藉由隨機模型給定不同系統的後驗單位權方差及權重，有效地將兩系統進行整合並降低上述存在於各個單系統之誤差，從而提高了定位的精準度與準確度。另外，由於結合了兩個系統的觀測量，多餘觀測量數目大幅地增加，使得可靠度及偵錯的能力也大幅地提升。因此對於需要高精度的多平台製圖系統而言，將北斗與 GPS 兩個系統聯合處理的策略，可望對其精準度、準確度、可靠度與偵錯能力提供莫大的效益。

五、發展直升機載直接定位之災害資訊蒐集模組

自然災害如風災、水災、地震等，對於台灣所造成之經濟損失已不可忽視，災害資訊快速蒐集儼然成為降低損失最基本需求，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，本案將以移動製圖系統為基礎且以直升機作為載台，評估並發展直升機載災害蒐集模組，以求快速、精準蒐集災後資訊。移動製圖系統對於災害資訊收集是一有效手段，其上有定位定向系統能即時定出載台之位置、速度及姿態，利用導航解經化算可得同為機載上測繪感測器之位置及姿態，如此可不需地面控制點直接計算得到興趣目標物之三維位置。

根據前述章節採取相同規格的硬體來設計，在定位定向系統所使用的感測器為雙頻雙系統 GNSS 衛星接收機 Novatel ProPak V3、慣性測量儀 C-MIGITS III，整體精度如表 5，其整合後定位精度預估 5~10 公分、定向精度預估 0.05~0.08 度，而所使的用測繪感測器為工業相機 Flea3，具有體積小、重量輕、高解析度、快速曝光等優點，利用其像素大小、焦距計算及物距 500 公尺，計算地面解析度約為 40 公分，規格如表 5。

表 5. 定位定向感測器&工業相機規格表(註：FRS，Frame Per Second)

	水平		垂直	Point Gray	FL3-U3-88S2C-C	
位置 (m)	0.01		0.02	大小	29x29x30(mm ³)	
速度(m/s)	0.02		0.01	重量	41g	
				FPS	21	
	Roll	Pitch	Heading	規格	影像大小(mm ²)	6.3488x3.348
姿態(deg)	0.015	0.015	0.030		畫素(百萬)	約8
					像素大小	1.55(μm)
					配戴鏡頭焦距長	2mm

在建置原型系統時，假設直升機載為垂直向下拍，設計慣性測量儀、衛星天線盤及相機，其相對位置及姿態固定於一盒內，該盒將固定於直升機載外以利拍攝，以纜線連結至直升機內部儀器，包含衛星接收機、脈衝觸控器、筆記型電腦和電源，盒內的硬體配置如圖 6。



圖 6.硬體配置

在率定方面，目前主常見率定參數方式為二階段率定法，二階段率定是利用拍攝高精度控制場，藉由拍攝時 GNSS/INS 整合之定位定向解，內插拍照時刻 t 之 INS 位置與姿態，與利用區域法光束平差解算率定場內，各張影像之外方位，推算相機與 INS 中心間的相對關係，其率定參數稱為固定臂與軸角。推算過程中，INS 儀器坐標軸通常被設為與載體框架相同，故定位定向解表示為 $r_{ob}^m(t)$ 、 $R_b^m(t)$ 、空三所計算的影像外方位，為處於投影框架表示為 $r_{oc}^m(t)$ 、 $R_c^m(t)$ ，而率定參數利用平均法計算平均值及標準差，通常被表示在載體框架下，為 r_{bc}^b 、 R_c^b 。其相關式如下：(Li, 2010

$$r_{bc}^b = R_m^b(t)(r_{oc}^m(t) - r_{ob}^m(t)) \quad (1)$$

$$R_c^b = R_m^b(t)R_c^m(t) \quad (2)$$

式中， r 為方向向量、 R 為旋轉矩陣、 b 為載體坐標系、 c 為相機坐標系、 t 為拍照時刻、 m 為投影坐標系。在直接定位方面，在透空良好情況下，定位定向系統的求解以鬆耦合整合架構最為簡單且快速，鬆耦合整合將衛星計算後的解利用卡曼濾波器與慣性測量儀做整合，經平滑器後處理模式後，其精度可達預估的誤差。在軟體撰寫方面，利用 C++、OPENGL、QT 開發，該軟體可進行軌跡座標轉換，同時也可利用時間內插位置，而計算率定時利用相片時間找出對應觸發時間，如此可避免因外在因素而造成有觸發時間但未拍影像，或有拍影像而無觸發時間等問題，而於直接地理定位方面，可利用直接地理定位所算出外方位選取數張影像，利用量測模組量測共軛點，前方交會並輸出結果，同時可儲存影像觀測量，以利下次繼續量測，另外可輸入檢核點計算外部精度結果，圖 7 為影像量測情形。

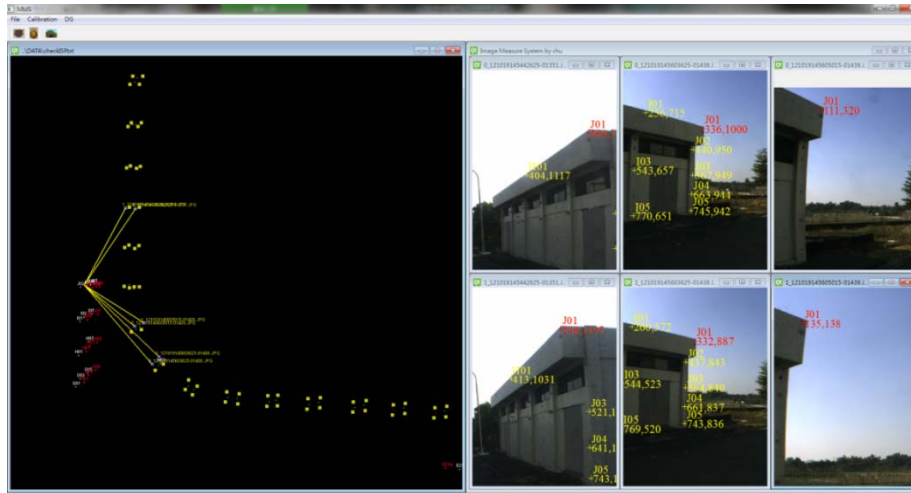


圖 7.率定及直接地理定位軟體

在直接地理定位方面，選取約 15 個檢核點做檢核，選取數張影像並量測該檢核點之共軛點，在前方交會物點之三維座標，並計算與檢核點之三維誤差，計算其平均值、標準差及均方根值。表 5 為統計分析，其三維定位精度約 10 公分，而各張影像具檢核點範圍約 15~45 公尺，平均量測距離約 30 公尺，故系統於直接地理定位能力為約 30 公尺遠，能達 10 公分定位精度，而依線性推算 600 公尺物距能達 2 公尺三維定位精度。

表 5.兩台相機各檢核點於各方向及三維統計分析

公尺		E	N	H	3D
平均值	CAM1	0.03	0.014	0.044	0.0551
	CAM2	-0.021	0	0.035	0.0408
標準差	CAM1	0.069	0.073	0.045	0.1101
	CAM2	0.064	0.037	0.072	0.1032
均方根	CAM1	0.073	0.071	0.062	0.1192
	CAM2	0.065	0.036	0.078	0.1077

六、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

有鑒於國內部分公部門及私人公司所採用之無人機進行航空攝影測量及遙感探測時，共同特性皆為作業半徑短 (<10 公里)、續航力低 (<2 小時)、載重輕 (<10 公斤) 或酬載感測器不足 (單一相機、單頻 GPS 天線、電子羅盤)。即便這些無人機已逐漸廣泛應用在防減災、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。因此本計畫引入搭配雙頻 GNSS 天線與戰術等級 IMU 之高酬載 (40 公斤)、長滯空 (4~8 小時) 定翼型無人機平台，發展 5 台相機直接地理定位酬載技術，以符合更高精度與更廣泛的加值應用需求。自主開發之高酬載定翼型無人機當作航空攝影載台，並將 NovAtel 戰術等級 POS 系統 SPAN CPT(內含雙頻 GPS 接收機)、5 台 SONY A850 數位相機進行系統整合，最後透過飛控電腦在所規畫之航線上進

行高重疊攝影。

本計畫設計一組 5 相機攝影系統，採用 5 台 SONY A850 全像幅數位相機以同步方式進行拍照，以維持其相對關係。拍攝角度分別為 50 度, 30 度, 0 度, -30 度, -50 度，五台相機架設在機腹下依飛行方向排列。採用二階段率定法求解 IMU 與相機間之軸角與固定臂參數，因此首先需要進行嚴密的空三平差，以計算得到影像之外方位參數。本團隊利用 Pix4UAV©軟體量測控制點與檢核點，以及進行影像匹配得到連結點影像坐標，再將連結點及地面控制點影像坐標、地面控制點座標及 GPS 影像初始位置等匯入 Intergraph ISAT© (Image Station Automatic Triangulation)進行自由網平差再次確認影像坐標觀測量是否有大錯誤，同時進行強制附合空三平差與設定檢核點檢驗平差成果之外部精度，若外部精度符合後續率定需求，即可進行二階段直接地理定位之率定。圖 8 為本實驗之流程圖，可分為六個步驟：相機率定及內方位修正、UAV 航拍、基準修正、空中三角測量、直接地理定位和精度分析，以下詳述各項次工作之研究成果。

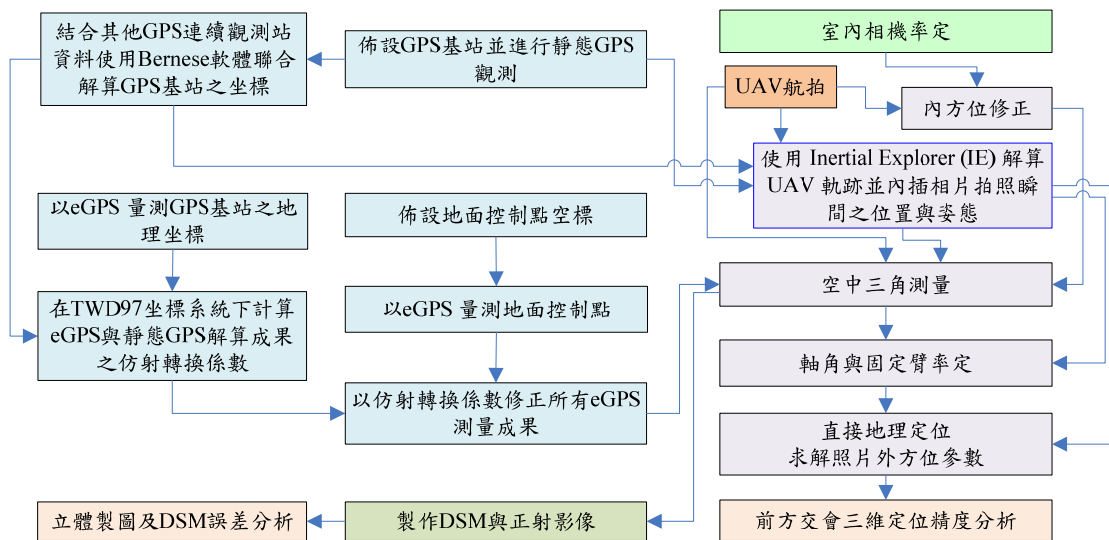


圖 8. 研究流程圖

本實驗 UAV 航拍高度約 870 公尺(正高)，共拍攝 1299 組(一組 5 張)影像，影像之前後重疊率與側向重疊率分別約 80%與 50%(以垂直相機計算)。為了評估直接地理定位後之三維定位精度，本項測試使用 ISAT 空三平差成果進行 DG 率定後之軸角與固定臂參數。評估方式為在實驗區內每個檢核點挑選 4 張影像，以人工量測影像坐標再利用前方交會計算其地理坐標。接著與地面測量成果比較其差異，並統計其最大與最小誤差、標準偏差(Std.Dev.)及均方根誤差(RMSE)。表 6 顯示三維定位誤差分析成果，包括利用 ISAT 空三平差求得之外方位參數，進行前方交會誤差分析，此成果進一步確認 ISAT 空三平差成果之平面定位準確度可達 16 公分，高程準確度為 55 公分，最大誤差約 1 公尺。而五台相機分別利用 ISAT 空三成果進行 DG 求解每一張照片之外方位參數，再進行前方交會三維定位誤差分析，可以發現每一台相機之 3D 均方根誤差(RMSE)約在 4.32-5.92

公尺之間，但 2D 平面均方根誤差則是隨距離地面愈遠，影像解析度變差且較模糊，因此量測誤差也會愈大，例如 Cam3 2D RMSE 僅 1.0 公尺，但 Cam1 與 Cam5 則分別為 4.99 與 3.96 公尺。經此測試可以驗證此 UAV 進行 DG 後在離地 1400 公尺以內，3D 整體定位誤差可在 6 公尺以內，而 2D 平面定位誤差在航高約 900 公尺時可在 1 公尺以內，若離地 1400 公尺時亦可在 5 公尺以內，對於快速災情調查之需求應該已經相當足夠。

表 6.三維定位誤差分析

EOP 來源	ISAT 空三成果 (Cam3)			Cam1 DG 成果			Cam2 DG 成果		
距離地面(m)	900			1400			1040		
方向	E	N	H	E	N	H	E	N	H
Max. (m)	0.23	0.25	1.01	0.45	1.81	2.19	6.81	2.11	8.68
Min. (m)	-0.07	-0.13	-0.56	-4.98	-8.86	-6.91	-2.25	-5.74	-6.00
Mean (m)	0.07	0.05	0.32	-2.09	-2.40	-2.02	0.78	-0.79	-0.78
Std. Dev. (m)	0.10	0.11	0.48	1.73	3.67	2.58	2.91	2.27	4.54
RMSE (m)	0.12	0.11	0.55	2.65	4.23	3.17	2.87	2.30	4.38
RMSE (m) 2D/3D	0.16		0.57	4.99		5.92	3.68		5.72
檢核點數	10			6			9		
EOP 來源	Cam3 DG 成果			Cam4 DG 成果			Cam5 DG 成果		
距離地面(m)	900			1040			1400		
方向	E	N	H	E	N	H	E	N	H
Max. (m)	0.60	1.31	2.95	2.77	2.92	2.70	2.30	3.95	2.77
Min. (m)	-1.04	-1.40	-10.33	-2.84	-0.68	-7.49	-8.88	-2.82	-11.56
Mean (m)	0.05	0.02	-3.22	-0.39	0.79	-1.58	-1.26	0.48	-2.00
Std. Dev. (m)	0.58	0.89	4.42	1.63	1.19	3.61	3.50	1.79	3.85
RMSE (m)	0.55	0.84	5.29	1.59	1.38	3.77	3.55	1.76	4.17
RMSE (m) 2D/3D	1.0		5.38	2.11		4.32	3.96		5.75
檢核點數	10			10			10		

由於本團隊使用 AL-150 UAV 搭載 SPAN CPT 與五相機攝影系統，整體視野角較大，若以航高 2,700 公尺進行航拍，以平坦地形而言一條航線拍攝之地面寬度約 6.4 公里，且空間解析度在 50 公分以內，可以有效的獲取大面積高解析度影像，進行災情蒐集與製圖航拍。在效益分析上，以一個架次 4 小時計算，飛行總距離可達 400 公里(以平均時速 100 公里計)，以離地高 2,700 公尺，航線間距 2,400 公尺及一條航線 30 公里長(10 幅 1/5000 基本圖，含轉彎)估計，可拍攝 13 條航線(扣除起降 10 公里)，可完整包含 12 張圖幅寬，也就是總共可製作 120 幅 1/5000 像片基本圖。若以有人機搭載高階專業航拍相機，時速可達 200 公里，飛行總距離可達 800 公里，農航所在航拍時航線間距也是設定成一張圖幅寬，因此在相同作業時間內總面積為此高酬載 UAV 系統之兩倍，

影像品質較高，照片總數量也會比本系統少很多，有利於提升空三處理之效率。雖然如此，一次航拍作業至少需要三個人力，而且飛機、POS 系統及航拍相機等設備相當昂貴，所以本實驗推出之 UAV 多相機航拍系統仍有其優勢。而在災害資訊蒐集部分，本實驗提出之直接地理定位架構，可在航拍及取得地面 GPS 基站資料後 1-2 個小時內解算完畢所有照片之外方位參數，與傳統空三平差比較效率高很多，而且又不需要以區塊方式飛行，適合以離散點狀分布之災區。

本計畫利用定翼型 UAV 搭載戰術等級 IMU 進行直接地理定位部分，經驗證後其定位精度已經可以滿足災後快速推求照片外方位參數之精度需求，對國家災防單位可快速提供災區範圍之調查。而使用高酬載 UAV 搭載多相機進行製圖之測試，經效益分析後得知跟有人機相比，在降低成本與人員設備傷亡風險等方面具有較大之優勢，因此可考慮應用於山區之航測製圖與綠資源調查。

參考文獻

1. IEEE Std 1554TM, (2005): IEEE Recommended Practice for Inertial Sensor Test Equipment, Instrumentation, Data Acquisition, and Analysis, IEEE Aerospace and Electronic Systems Society Sponsored by the Gyro and Accelerometer Panel.
2. TML Guideline, (2012): TERRESTRIAL MOBILE LiDAR SURVEYING & MAPPING GUIDELINES, Department of Transportation, Florida, August 23, 2012.
3. Li, Y. H., (2010): The Calibration Methodology of a Land Vehicle Mobile Mapping System and the Performance Analysis of the Direct Geo-referencing Department of Geomatics, National Cheng Kung University.