

發展與應用多平台遙測製圖技術

The Development and Application of Multi-Platform Remote Sensing Technology

主管單位：國立成功大學

江凱偉 曾義星 楊名

Chiang, Kai-Wei Tseng, Yi-Hsing Yang, Ming

詹紹勳 饒見有

Jan, Shau-Shiun Jiann-Yeou Rau

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，本案彙整多平台定位技術相關資料、合法引進具備高階光纖陀螺儀之慣性測量儀，並自行研製含軟體之 INS/GNSS 整合式定位定向系統；以近半的成本下能夠提供與商用系統相匹敵之定位定向精度，並進一步評估引進及建立國內慣性測量儀之標準率定程序並透過國際公認的標準測試程序與設備進行 INS/GNSS 整合定位定向系統規格測試與分析，成功開發設計具顯著效益之新解算模式定位定向演算法等關鍵技術，並利用這些基礎建置空間資訊整合展示平台。同時針對發展空載傾斜攝影定位系統技術與建置個人攜帶式定位系統之可行性初期評估與規劃，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 pilot project collects fruitful references considering multi-platform mobile mapping technologies in term of applications, historical overviews as well as regulations, develops a multi-sensor integrated positioning and orientation system based on a tactical grade FOG IMU with superior performance and less expense compared to commercial systems with similar specification without ITAR export license control, evaluates the standard calibration and testing procedure and facilities to verify the performance of INS/GNSS integrated systems to guarantee the quality of mapping missions as well as implement novel and novel multi-sensor integration algorithms to enhance the performance mobile mapping systems significantly and develop software platform for spatial information visualization, processing and analysis. In addition, this project conducts plot study concerning the developments of airborne oblique image photogrammetric and portable mobile mapping platforms, respectively, to enhance 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(spatial information systems)在空間資訊與地理資料的採集與管理層次仍然存在很多技術上的問題。其效益建構在系統空間及屬性資料時效性以及其正確性，並藉此發揮它的功能並表示真實世界的現象。然而，利用傳統測量技術作為採集空間資訊的方法並無法全然符合成本考量，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。移動遙測製圖系統整合全球導航衛星系統 (Global Navigation Satellite System, GNSS)及慣性導航系統 (Inertial Navigation System, 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，直接解算並獲得感測器方位，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 及航位推算感測器(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，如前所述，移動遙測製圖系統之核心為具備多元感測器整合架構之整合式定位定向系統 (Positioning and Orientation System, POS)，此架構包含不須使用外在電波訊號的自主連續相對定位的慣性導航系統、輪速計(odometer)、與仰賴電波定位之絕對定位技術如全球導航衛星系統，如此可在資料採集過程中無須使用地面控制點而直接計算具備高採樣率之感測器方位。同時搭載如高頻高密度距離觀測之雷射掃描儀，結合多解析、多波段光譜掃描儀及數位相機等多種類的影像感測器，則可獲取各應用領域的幾何與屬性資訊。配合不斷進步之電腦運算能力與容量，搭配各類移動平台機動性並考量各種需求，便能在相應的領域上發揮相應價值，移動遙測製圖系統的應用面也隨之更深更廣。除了積極發展不同平台之移動測繪技術外，未來更須發展多平台移動遙測製圖技術資料整合架構提供更有效率的空間資訊採集、分析與應用。

二、規劃整合慣性導航系統

2.1 引進戰術等級慣性測量儀並完成與雙頻載波相位 GNSS 接收儀之機電整合

本案朝向採購規格與精度與目前國內各移動遙測製圖系統所普遍使用的 LN200 相仿之慣性測量儀(其陀螺飄移為 1 度/小時)。表 1 所示為現有遙測製圖系統搭配之商用定位定向系統軟體與本案自行研發軟體之比較表。一般而言，遙測製圖系統之系統製造商所提供的軟體一般不分開販售且為封閉的設計，意即某公司所發展的軟體只支援該公司的硬體，而使用者若有二套來自不同系統製造商所提供之定位定向系統但都使用同一型號慣性測量儀，此問題依然無解。本案自行研發定位定向系統軟體之目的為引入更先進的演算法架構，以進一步提升系統之精度並執行精密定位定向系統軟體研發人才訓練。

圖 1、圖 2 為依據各系統提供者所提供其系統在不同 GNSS 訊號脫落長度的定位定向效益分析，此種根據 GNSS 訊號脫落長度來觀察與分析定位定向成果遞

減之程序為美國導航學會與導航領域相關研究機構與系統發展者所公認之標準測試程序(Chiang, 2004; Shin,2005)。如此系統發展者可以深入評估各家慣性測量儀精度與定位定向演算法效能，圖中列出系統提供者有提供相關數據之系統，而圖中之 CPT 系統為本系自有的中階光纖陀螺儀之慣性測量儀(飄移穩定性約為 1 度/小時)，定位定向系統於 GNSS 訊號脫落時間之表現與慣性測量儀規格、定位定向演算法效益與載體動態行為等息息相關，所以測試時必須重覆針對同一訊號脫落之時間長度作不同的動態行為所歸納出來的成果。從圖中可讀出，在無 GNSS 訊號脫落情形下，各系統之差異不大，但如將 GNSS 訊號脫落時間增加至 60 秒，慣性測量儀規格的影響就相當顯著。就這些圖的成果而言，本案所採購之 LITEF LCI 慣性測量儀(陀螺飄移小於 1 度/小時，飄移穩定性約為 0.1 度/小時)之效能不會比 POSAV510(陀螺飄移 1 度/小時，飄移穩定性約為 0.1 度/小時)之成果差，且成本不到其 50%。

表 1、現有遙測製圖系統搭配之商用定位定向系統軟體

軟體	製造商	擴展	平滑器	多感測器	IMU	人	原始	模擬	軸速	原始	GNSS	跟蹤式	軸向	相機	軟體	軟體售價	軟體升級
		式卡		融合演算	硬	工	觀測	GNSS	計數	碼	觀測糾	虛擬主	與遙	Trigger	販售		
		濾器		法架構	體	智	量輸	脫落	測量		處理模	站功能	臂效	時間內	策略		
					相	慧	出	功能			組	應車	揚功能				
					容												
					性												
POSPac	Applanix	支援	支援	嚴/緊捆	自	無	無	無	支援	無	Grafnav	支援	內建	內建	搭售	50 萬	選購(15 萬/年)
MMS				合	家							(smart base)					
Inertial Explorer	NovAtel	支援	支援	嚴/緊捆	任	無	有	有	支援	無	Grafnav	無	內建	內建	可分	75 萬	選購(15 萬/年)
LEICA IPAS	Leica	支援	支援	嚴/緊捆	自	無	無	無	無	無	Grafnav	無	內建	內建	搭售	50 萬	選購(15 萬/年)
Freebird				合	家												
iWP+	iMAR	支援	支援	嚴/緊捆	自	無	無	無	無	無	Grafnav	無	無	內建	搭售	50 萬	選購(15 萬/年)
AEROoffice	IGI	支援	支援	嚴/緊捆	自	無	無	無	無	無	Grafnav	無	內建	內建	搭售	50 萬	選購(15 萬/年)
Delphi INS	IXSEA	支援	支援	嚴捆合	自	無	有	無	無	無	Grafnav	無	內建	內建	搭售	50 萬	選購(15 萬/年)
KINGSPAD	University of Calgary	支援	支援	嚴/緊捆	任	無	有	有	有	有	內建	無	無	無	自售	60 萬(執行補)	選購(15 萬/年)
自有軟體	NCKU	支援	支援	嚴/緊捆	任	有	有	有	有	有	內建	開發中	內建	內建	0	0	0
				合	意												

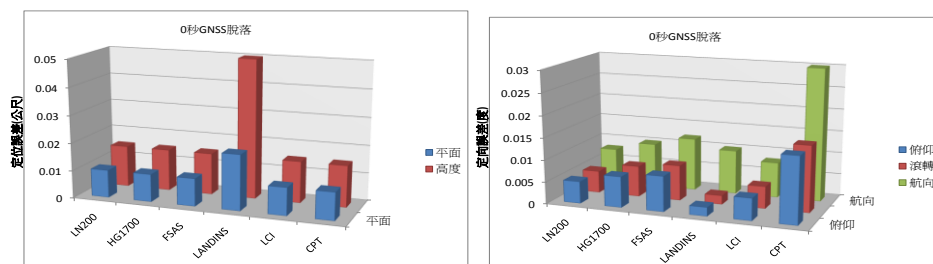


圖 1、各慣性測量儀定位定向效益比較表(無 GNSS 訊號脫落)

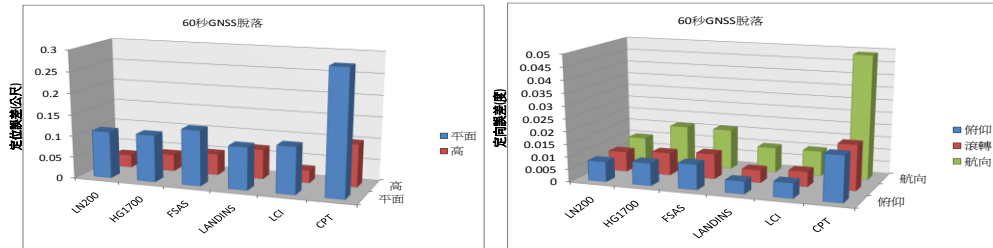


圖 2、各慣性測量儀定位定向效益比較表(60 秒 GNSS 訊號脫落)

2.2 多元感測器定位定向系統之靜態與動態性能驗證

為驗證本工作案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，並委託該中心利用商用 POSpac MMS 軟體以鬆耦合架構產生 POS AV 510 系統之測試軌跡與姿態解提供進一步的分析。本次實驗於 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。同時本案利用 LCI 慣性測量儀研製之多元感測器定位定向系統搭配本案研發之 CAINS-21 軟體產生測試軌跡與姿態解提供進一步的分析。本次實驗的參考軌跡與姿態為使用 KINGSPAD 軟體以 LN200 觀測量並以緊耦合架構產生之軌跡與姿態。如前所述，此種利用較高精度參考軌跡配合模擬或真實的 GNSS 訊號脫落期間測試系統所提供測試軌跡進行定位定向精度之測試程序為國外產學界公認的測試程序(Chiang, 2004; Shin,2005)，圖 3、圖 4 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 為定位定向誤差統計表。在 GNSS 訊號遮蔽嚴重之新竹市測試區所得之成果顯示，研發的多元感測器定位定向系統在未使用輪速計的條件下搭配 CAINS-21 所得之定位定向解可與要價 800 萬的商用系統提供相似的定位定向功能。意即本案研發的系統在節省近 1/3 的成本下，性能不遜於目前商用系統。

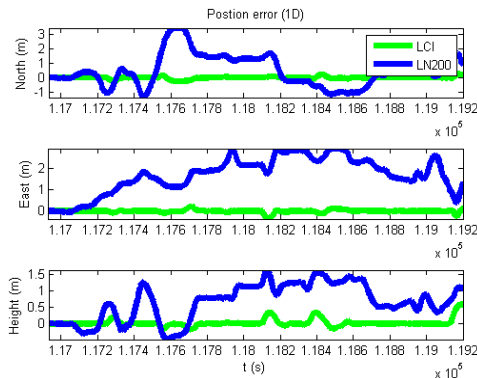


圖 3、定位誤差序列

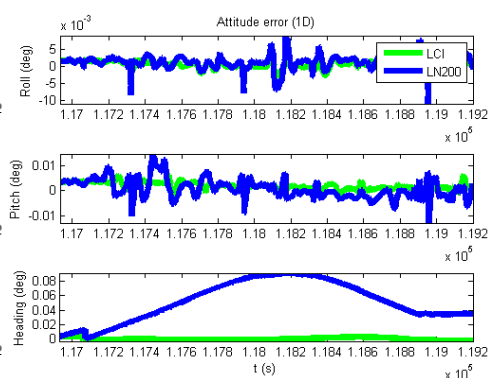


圖 4、定向誤差序列

表 2、定位定向誤差統計表

		北(公尺)	東(公尺)	高(公尺)	滾轉(度)	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

三、建立國內慣性測量儀之標準率定程序

3.1 率定模式介紹

根據被測試的慣性測量儀或系統以及所需的評估方式，使用者可以採用靜態或動態測試方法。在靜態測試情況下，元件或系統保持固定並觀測其對一定的自然效應或現象的響應。例如，由地球重力產生的合力可以通過一加速度計放置在不同的方向來進行觀測。當進行動態測試時，使被測慣性測量儀運動，監視感測器對該擾動的響應並與參考訊號進行比較。確定慣性測量儀或系統的特性可以採取下列的 3 個步驟：

1. 採用非常簡單的測試進行初步評估，如在測驗台上進行單一的靜態位置測試以確定其響應是否與設計者或製造者的預測相同。
2. 多位置測試進行靜態測試或率定以獲得感測器或系統的性能參數。
3. 進行動態測試。測試時器件處於運動狀態，如旋轉或具有加速度的線性運動。這種形式的測試需要專門的測試設備，如速率轉台或振動台。

規劃國內定位定向系統使用之慣性測量儀的測試方案應包含：靜態多位置測試、動態多位置測試、溫度櫃測試、綜合測試及阿倫變方分析，架構圖如圖 5 所示。

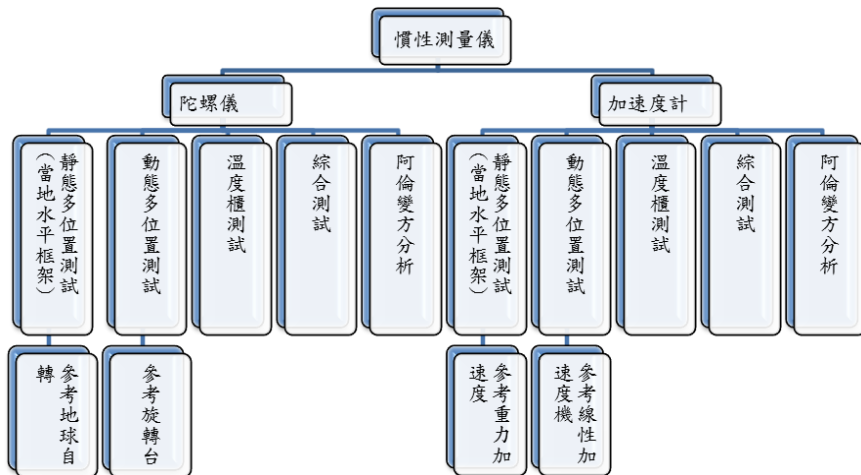


圖 5、率定模式之架構圖

本案規劃之靜態多位置測試，以對準當地水平坐標系統，加入重力與地球自轉為參考訊號，並使用具備定平定向功能之測試平台(可旋轉以瞄準已知方位角或對準正北)，依照 12 位置法依次擺放，用來估計感測器的各種誤差。靜態多位置測試可同時用來率定陀螺儀及加速度計，慣性測量儀感測到地球的自轉訊號，可作為陀螺儀之參考，而重力加速度，則可作為加速度計之參考。將軸向分

別對準天頂及天底，如此即可用來估計該軸陀螺儀與加速度計之原位偏差及尺度因子，其簡易率定模式如式(1)、式(2) (Hayal, 2010)。並使用最小二乘法估計偏差、尺度因子、軸交誤差，將兩者結果相互比較。透過 12 位置產生之觀測量與參考訊號比較，如此可以推估出這些參數之最佳估值(Hayal, 2010)。

$$b=(f_1+f_2)/2 \quad (1)$$

$$S=(f_1-f_2-2*k)/(2*k) \quad (2)$$

- b、S 分別為偏差及尺度因子。
- f_1 、 f_2 分別為指向天頂及天底感測的合力。
- k 表示為參考值，如加速度計為重力加速度、陀螺儀為地球自轉。

3.2 測試及結果

本團隊使用已開發模擬器，將慣性測量儀，依特定之 12 位置擺放方式產生完美無誤差的觀測量，每項位置以 200 赫茲頻率觀測 20 分鐘，之後將偏差及尺度因子逐項加入，加入之各項誤差如表 3 所示。

表 3、模擬之各項誤差真值

項目	加速度計	陀螺儀
偏差	$1 * 10^{-5}$ 公尺/秒 ²	$4.848 * 10^{-6}$ 弧度/秒
線性尺度因子	1000ppm	500ppm
非線性尺度因子	500ppm	NA

表 4 所讀取之模擬觀測量則同時加入偏差及尺度因子，比較簡易率定方式及最小二乘法所求之結果，可看出由簡易率定方式，其結果受尺度因子影響已偏離真值，而最小二乘法因有其對應參數，具有相當的約制能力，從表中可明顯看出較簡易模型更接近真值，上述結果與表 3 比較，下可確認本團隊研發之簡易率定模型與最小二乘法率定架構皆可有效推估上述系統誤差之參數，接下來將持續透過不同等級模擬與真實觀測量來修正相關系統誤差模型，同時於期末報告時引入軸交誤差之推估功能。同時上表中以簡易率定模型推估所得之偏差值穩定性較大，但這些值此與加入原始觀測量中之隨機雜訊之標準偏差值(2 度/小時)接近。

表 4、估算系統偏差及尺度因子率定之結果

		x	y	z	
加速 度 計 m/s ²	偏差	9.97693×10 ⁻⁶	9.99839×10 ⁻⁶	9.99668×10 ⁻⁶	
	偏差飄移穩定性	7.0448×10 ⁻⁵	7.0522×10 ⁻⁵	7.0410×10 ⁻⁵	
	線性尺度因子 ppm	999.9813	1000.0396	1000.0502	
	最小二乘法	偏差	9.99653×10 ⁻⁶	1000.21742×10 ⁻⁶	9.99674×10 ⁻⁶
		線性尺度因子 ppm	1000.0449	1000.0092	1000.0437
		非線性尺度因子 ppm	-350.20	437.50	500.00
陀 螺 儀 deg/hr	偏差	0.9998887	0.9999795	1.0000241	
	偏差飄移穩定性	3.0974×10 ⁻⁵	3.0778×10 ⁻⁵	3.0825×10 ⁻⁵	
	線性尺度因子 ppm	7458.9407	7950.7210	-13303.3460	
	最小二乘法	偏差	0.9999583	0.9999565	0.9999929
		線性尺度因子 ppm	7076.2865	1381.3592	-5983.4290

四、設計新解算模式之定位定向演算法

本工作案所發展之 CAINS-21 軟體除具備與一般商用軟體之平滑器架構外，同時引入輪速計、線性約制、航向輔助與高度輔助之改良式鬆耦合架構(Chiang and Chang, 2010)；同時 CAINS-21 軟體採用具備線上率定技術的閉合式設計，使用者可以依慣性測量儀之性能調整線上回饋修正系統誤差之頻率，這點是商用軟體所沒有的特色。慣性測量儀的原始觀測量輸出通常具有系統偏差及尺度因子誤差。因此在藉由其它多元感測器的整合架構幫助下，透過擴張卡曼濾波器與平滑器作狀態最佳估計，則可依導航方程式進一步地估算出慣性測量儀的偏差及尺度因子誤差，最後將這些誤差回饋至系統狀態，以達到提升慣性測量儀穩定性之目的。本節發展之 CAINS-21 軟體引入之線性約制演算法為非諧和約制(Non-Holonomic Constraints, NHC)，此演算法是假設一般車輛在地面行進間，不會有側向滑動，亦不會有垂直方向的跳動，故垂直於車輛行進方向的平面上之速度量應趨近於 0 (Sukkarieh, 2000)；因此，在卡曼濾波器預估狀態時，便有兩個約制條件可作為觀測量更新。

該軟體同時提供零速更新技術(ZUPT)，是利用載體停車時慣性導航系統的速度輸出作為系統速度誤差的觀測量，進而對其他各項誤差進行修正(Gao et al., 1995)。零速更新可透過行車輪速計資訊得到車子停止時間，若是無法取得輪速計資訊亦可透過使用者自行輸入車子停止時間；尤其在典型的都市地區，車子常因為交通號誌(例如：紅燈)或塞車而必須暫時停止，若是又剛好碰到 GNSS 衛星訊號失鎖時，零速更新就可以降低慣性測量儀隨時間累積的誤差。零速更新技術通常用來降低慣性測量儀加速度計與陀螺儀的偏差量，進而補償位置距離的誤差

(Ojeda and Borenstein, 2007)。當演算法自動偵測出靜止時間，即可將慣性測量儀在靜止期間內的參考速度量調整為 0，將結合 ZUPT 修正後之速度觀測量做為慣性導航方程之速度觀測量輸出。同時本軟體具備載體速度更新 (vehicle velocity update) 之功能，車速更新的原理類似 ZUPT，差異處僅僅在於車速的部分由輪速計或其它可感測行車方向速度之感測器(如都卜勒雷達測速計、聲納感測器、空速計等)所提供。本軟體部分研究成果獲得美國導航學會 ION GNSS2011 年會之最佳論文獎(Chen and Liu, 2011)。實現商用定位定向軟體所使用的傳統鬆耦合架構與本節研發的改良式架構之詳細狀態轉移方程式與觀測量更新方程式請參考(張秀雯, 2009; Chiang, 2004)。

五、發展多元空載傾斜攝影定位系統技術及其應用

影像式三維地理資訊為近年來國際上相當熱門的研究與應用，傳統空載垂直攝影(Vertical Aerial Image, VAI)之目的主要為地形圖測繪，所獲取之影像以地物上方為主，原始影像多須透過立體觀測方能判釋高程。而空載傾斜攝影(Oblique Aerial Image, OAI)則可提供地物側面資訊，有利於建置三維仿真式數碼城市及土地利用與地物之判釋。本介面所採用之影像搜尋機制分別為 Top-down 及 Bottom-up 兩種。當匯入影像內外方位參數到資料庫時，會先以 Top-down 作法，利用影像之內外方位參數及數值地形模型，透過 Ray-tracing 的方法計算每一幅影像四個角落投影到地面之範圍，並儲存在資料庫中。如此即可在使用者點選一地物點得到其地面坐標後，搜尋是否有任何照片涵蓋到此地物點，以達到搜尋影像的目的。

本案自行開發相關操作介面與影像展示程式，以便完全掌握技術，目前國際上商業化的空載傾斜攝影系統大多僅對外提供拍攝成果及影像加值服務，少數提供垂直和空載傾斜攝影應用軟體程式者，也只適用於解釋及顯示傾斜攝影的照片，無法完全滿足實現客戶端更進一步之需求應用。因此，唯有提出自己的一些特殊需求，如：對空載傾斜攝影照片進行良好的影像搜尋、管理、瀏覽、坐標測量、距離測量、面積計算、套疊、編修及產製 GIS 圖資、建構 3D 建物模型、土地利用調查等功能，結合數位攝影測量、數位影像處理與地理資訊系統三大主軸領域知識，並透過自主資通訊科技技術整合，研發出自有應用軟體系統，同時也可達到客製化之目的。本研究所開發之應用軟體系統平台稱為 LOC5D，其目的為協助使用者管理、搜尋及瀏覽大量的空載傾斜影像，亦可管理車載或個人攜行式影像。

六、評估建置個人攜帶式定位系統之可行性

個人攜帶式定位系統基礎於移動遙測製圖技術，並結合近景攝影測量、衛星即時定位原理等，發展一套可攜式全景環場的個人攜帶式定位系統。考量原移動遙測製圖技術進行測繪時所遭遇的問題，例如進行測繪時的車前安裝、軟硬體之穩定性與電力測試、測繪時考量的行車路線與地理環境等，皆為其可能產生缺陷的因素。本團隊提出之改良概念建立全景影像，並結合目前 e-GPS 即時定位來達成原移動遙測製圖技術之目的，有效降低移動遙測製圖技術之構造複雜化與電

力供應，且不使用 INS 與最輕型之數位單眼相機進而提升直接定位之適地與適應性，測繪不再受限於窄巷或山區等地理環境因素，進而達到於災區能快速建立全景定位與三維模型。在文獻中 (Ellum, 2001) 也曾提出改良的背包式測繪系統，延續此研究發展一套可攜式測繪系統，經由率定與數學模型獲得定位必要之外方位元素。使用數位單眼相機為極輕巧型(含電池 290 克)：Sony Nex-3，解析力為 4592×3056 像元，感光元件大小 23.4×15.6 公厘。本團隊設計並建立正六邊形之可攜式平台，裝置六台相機固定在每一邊上，此一位置考量全景影像之重疊。相機之快門共同連接於中心桿下方之統一快門環，使得相機能同步拍攝。中心桿建置 e-GPS 及時連結國土測繪中心之虛擬參考站(VRS)網型解算，並建構區域性定位誤差改正模型得以快速獲得系統中心坐標。經由實驗與測繪測試結果，從平台架設與單點即時定位約在 5~6 分鐘可完成且為公分等級，符合本團隊當初結合使用進而改善原使用 GPS 構想。

個人攜帶式定位系統的率定演算法之整體流程如下依序進行：(1)相機內方位率定，(2)相機相對方位確立，(3)相機與 e-GPS 關係之建立及坐標系統的統一，(4)實地測繪與全景外方位解算。故此系統率定之量測重心在建立以平台載體坐標系統之下的 e-GPS 與環場相機之位移與方位關係。其數學模型推導關係著坐標系統的確立和坐標轉換。e-GPS 即 WGS84 系統之設定地心為原點，而相機的原點為投影中心，藉由當地坐標系統，即檢定場中心點為原點，和個人攜帶式定位系統(載體坐標系統)即 e-GPS 相位中心，進行坐標轉換。而坐標轉換的方式是利用當地水平坐標系統為個人攜帶式定位系統坐標轉換基準(尤瑞哲, 2003; Li, 2010)，轉為個人攜帶式定位系統中心坐標後計算固定臂與方位。接著藉由室外大型率定場進行個人攜帶式定位系統實際測繪。

為了驗證本團隊之個人攜帶式定位系統之效能發揮，我們將採取兩種方式。包括使用大型檢定場之測繪來檢定，並同時進行測繪車之測繪，利用已知高精度的大量控制點來檢核此個人攜帶式定位系統所解算之全景外方位參數；再者則前往山區或災區之實際測繪，選擇測繪車較難進入之地區來驗證此研究之初衷，評估是否確切能達到第一時間進行直接定位之可行與完整性，且與測繪車相當抑或是更高的精度的成果，進而符合改良移動式測繪系統之更好的方式。表 6 為大型檢定場之測繪成果，由檢定結果評估，PMMS 系統輔以兩已知點進行測繪結果，在位置驗證 X, Y, Z 方向約 2~7 公分誤差；系統僅以多測站聯合解算，X, Y, Z 方向約為 1~6 公分誤差，兩種測繪情形精度相當。而方位解算方面，在已知點情形下 X 軸誤差約 0.2 度，Y 軸約 0.01 度，Z 軸約 0.1 度；以多測站未知點解算，X 軸產生較大誤差約 8 度，Y 軸約 0.2 度，Z 軸約 0.6 度，方位穩定性以未知點聯合解算較為不穩定。

表 6、PMMS 計算平台全景(六相機)之外方位平均誤差評估

檢驗點設為已知點：一測站，兩點已知檢驗點。				檢驗點設為未知點：三測站聯合，三點未知連結點。			
位置誤差(m)	X	Y	Z	位置誤差(m)	X	Y	Z
測繪一	0.052	-0.072	-0.059	測繪一	0.052	-0.058	-0.053
測繪二	-0.039	-0.021	-0.063	測繪二	-0.039	-0.008	-0.063
測繪三	-0.022	-0.055	-0.044	測繪三	-0.023	-0.043	-0.043
方位誤差(deg)	ω	φ	κ	方位誤差(deg)	ω	φ	κ
測繪一	-0.039	-0.007	0.137	測繪一	9.171	0.026	-0.332
測繪二	0.016	0.008	0.032	測繪二	7.697	-0.446	-0.412
測繪三	0.190	0.001	0.031	測繪三	9.112	-0.042	-1.568

七、結論

多平台定位技術未來發展趨勢將依據數位影像系統、整合多元感測器之高精度定位定向系統與不同作業平台不同層面之演化而符合使用者追求使用更少的硬體成本，但獲取而更高的精度與利潤之基本需求而持續演化。自主研發的多元感測器定位定向系統在近半的成本下能夠提供與商用系統相似之定位定向精度以供不同平台移動遙測製圖技術之用。同時具備合法引進且不受國際武器輸出許可管制、交貨時間短、規格與精度媲美同等級之商用定位定向系統、提供所有商用系統無法合法產生之原始觀測量、節省採購成本約 40%，與提供精密定位定向系統之硬體與軟體研發人才訓練等特色。

自主研發具備陀螺儀之慣性測量儀系統誤差各系統誤差之率定模式與演算法，並透過實測與模擬觀測資料驗證其效益。同時更進一步發展適用於使用戰術等級與微機電等級之慣性測量儀含線上率定系統誤差(含偏差與尺度因子)功能之軟體，並顯著的提升定位定向解之穩定性。自主發展之 CAINS-21 軟體引入輪速計、線性約制、航向輔助與高度輔助之改良式鬆耦合架構；具備線上率定技術的閉合式設計，使用者可以依慣性測量儀之性能調整線上回饋修正系統誤差之頻率，可以較傳統商用演算法所使用之架構於 5 分鐘 GNSS 訊號脫落期間之定位定向解提供近 90% 之效能提昇。同時更進一步提出智慧型定位定向演算架構將低成本微機電慣性測量儀之定位定向系統(售價約為 40 萬)效能提升至接近使用戰術等級慣性測量儀的參考系統(售價約 180 萬)效能。國際上整合垂直及傾斜攝影之多鏡頭空載攝影系統的發展已經有十年以上，其應用面相當廣泛。從技術面及應用面分析可知，未來在國內之發展性必定有相當高。據此，自主組裝此系統之可行性評估，並開發空載傾斜影像 3D 空間資訊蒐集系統，提供使用者透過 GIS 圖資快速搜尋影像，並且可以透過攝影測量技術進行三維測繪。

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，本案彙整多平台定位技術之相關資料、合法引進無須出口許可之具備高階光纖陀螺儀之慣性測量儀，並自行研製含軟體之 INS/GNSS 整合式定位定向系統；並進一步評估引進及建立國內慣性測量儀之標準率定程序與開發設計新解算模式之定位定向演算法等與高精度移動遙測製圖系統關鍵技術，並利用這些基礎建置空間資訊整合展示平台。同時針對規劃發展空載傾斜攝影定位系統技術與建置個人攜帶式定位系統之可行性初期評估與規劃，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。未來除積極發展不同平台之移動遙測製圖技術外，更須發展多平台移動測繪系統資料整合架構，提供更有效率的空間資訊採集、分析與應用。目前國內外並無針對多平台直接定位技術作業量身打造之驗收規範與法令規定。為確保未來多平台遙測製圖成果之品質，宜針對多平台所搭載的儀器等級，依儀器規格訂定不同比例尺、各種測繪作業規範，制定標準程序與精度要求等相關事宜。

參考文獻

1. 張秀雯(2009),「發展自成長式神經網路嵌入式低成本 MEMS INS/GPS 整合式定位定向演算法」, 國立成功大學測量及空間資訊學系碩士論文。
2. 尤瑞哲(2003) ,「測量坐標系統(第二版)」, 成功大學測量及空間資訊學系。
3. Chiang, K.W. , INS/GPS Integration Using Neural Networks for Land Vehicular Navigation Applications, UCGE Report 20209, 2004
4. Shin, E.H., Estimation Techniques for Low Cost Inertial Navigation, UCGE Report 20219, 2005
5. Hayal, A.G., Static Calibration of the Tactical Grade Inertial Measurement Units, M.Sc. Thesis, 2010
6. Chiang, K.W. and Chang, H.W., Intelligent Sensor Positioning and Orientation Through Constructive Neural Network-Embedded INS/GPS Integration Algorithms, SENSORS, 10 (10): 9252-9285, 2010.
7. Sukkarieh, S. ,Low Cost, High Integrity, Aided Inertial Navigation Systems for Autonomous Land Vehicles, Ph.D Thesis, 2000
8. Gao, P., Nixon, P.R. and Skoug, W., Diffusion in HPMC Gels. II. prediction of drug release rates from hydrophilic matrix extended-release dosage forms. Pharm. Res., 12: 965-971, 1995
9. Ojeda, L. and Borenstein, J., Non-GPS Navigation for Security Personnel and Emergency Responders.” Journal of Navigation. vol. 60, no. 3, pp. 391-407, 2007
10. Chen, K.Y. and Liu, C.Y., The Performance Evaluation of Low Cost MEMS IMU/GPS Integrated Positioning and Orientation Systems Using Novel DBPNNs Embedded Fusion Algorithms, Proceeding of ION GNSS 2011 Meeting, Portland, Oregon, USA, 2011.
11. Ellum, C.M.,The Development of a Backpack Mobile Mapping System, UCGE Reports 20159, 2001
12. Li, Y. H., 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., 2010

