

中華民國地籍測量學會期刊

國土測繪與空間資訊

Taiwan Journal of Geoinformatics

第六卷 第二期

中華民國一〇七年七月



VOLUME 6, NO. 2

July 2018

Published by Chinese Society of Cadastral Survey &
National Land Surveying and Mapping Center



內政部國土測繪中心共同發行

中華民國地籍測量學會第 19 屆組織表

一、理監事會：

理 事 長：黃榮峰
副理事長：謝福來
常務理事：蕭輔導、高書屏、黃進雄
理 事：洪本善、崔國強、吳宗寶、江渾欽、楊 名、周天穎、吳相忠、王定平、王啟鋒、
蕭萬禧、梁崇智、紀聰吉、謝福勝、張元旭、邱仲銘、陳惠玲
常務監事：蘇惠璋
監 事：史天元、蕭正宏、容承明、白敏思
秘 書 長：鄭彩堂(兼任)
副秘書長：李文聖(兼任)
秘 書：黃錦桂(兼任)、陳鶴欽(兼任)
幹 事：何美娟、楊雅茜

二、各種委員會：

(一)服務委員會：

主任委員：崔國強
委 員：王定平、黃仰澤、賴澄標、鄭宏達、蘇昱彰、朱上岸、黃建華、吳啟賢
總幹事：梁崇智
幹 事：劉彥秀、吳震緯、蕭爵增

(二)編輯委員會：

主任委員：楊 名
委 員：史天元、林老生、洪本善、洪榮宏、陳繼藩、黃倬英、詹士樑、楊明德、
趙鍵哲、饒瑞鈞
總編輯：陳國華
編 輯：陳鶴欽
幹 事：黃郁恩

(三)研究發展委員會：

主任委員：洪本善
委 員：王宏仁、林志清、林登建、吳宗寶、吳聲鴻、黃文華、賴偉君、駱旭琛、
蕭萬禧、謝福勝
總幹事：陳世崇
幹 事：謝東發、董荔偉

(四)獎章委員會：

主任委員：蕭輔導
委 員：洪本善、張元旭、曾清涼、曾國鈞、謝福來
幹 事：由本會秘書處兼任

(五)教育訓練委員會：

主任委員：劉正倫
委 員：崔國強、李文聖、葉文凱
總幹事：蕭泰中
幹 事：謝正亮

(六)國際事務委員會：

主任委員：周天穎
委 員：李文聖、葉美伶、曾耀賢、盧鄂生、羅正方
總幹事：邱明全
幹 事：李佩珊、湯美華

(七)界址鑑定及諮詢委員會：

主任委員：盧鄂生
委 員：邱仲銘、江渾欽、洪本善、崔國強、謝福勝、王年水、駱旭琛、吳宗寶、
吳相忠、曾耀賢、蕭萬禧、王啟鋒

學會地址：408台中市南屯區黎明路二段335巷28號

網 址：<http://www.cadastralsurvey.org.tw> ； 電子郵件：cscs.editor@gmail.com

無人飛機系統於空間資訊與防災科技之應用

謝佳諭^{1*} 陳信安² 蔡孟倫³ 林奕翔⁴ 張瑞隆⁵ 羅正方⁶

論文收件日期：106.11.24

論文修改日期：106.02.23

論文接受日期：106.04.09

摘 要

隨著無人飛機系統(Unmanned Aircraft System, UAS)逐漸的廣泛使用，經緯航太科技團隊以自行開發設計之無人飛機系統，配合國內各學術研究單位，發展無人飛機系統之測繪科技新技術，並協助各機關辦理無人飛機系統各式應用，主要包含圖資更新應用、測繪技術應用及防救災領域應用。本團隊自 97 年度起為內政部國土測繪中心發展臺灣無人飛行載具之測繪科技新技術，陸續完成「探測感應器測繪平台架構規劃暨應用作業」、「102 年度~103 年度發展無人飛行載具航拍技術作業」，並協助內政部國土測繪中心進行重大更新地區之航拍作業，目前共已完成 73 區之航拍及影像後處理作業，並針對國道六號部分路段以無人飛機系統進行臺灣通用電子地圖圖資更新作業，作業成果符合電子地圖作業精度。另以無人飛機系統裝載不同感測器，以高機動性及低成本之優點，進行不同感測資料之小範圍快速蒐集，可加速各類土地調查應用之作業效率，並以不同感測資料協助相關單位進行資料判釋。

關鍵詞：三維建模、多光譜感測器、無人飛機系統、圖資更新、緊急勘災

¹ 專案經理，經緯航太科技股份有限公司。

² 經理，經緯航太科技股份有限公司。

³ 專案經理，經緯航太科技股份有限公司。

⁴ 經理，經緯航太科技股份有限公司。

⁵ 副總經理，經緯航太科技股份有限公司。

⁶ 總經理，經緯航太科技股份有限公司。

* 通訊作者，TEL：(04)36095588 轉 290，Email：javor@geosat.com.tw。

Applications for spatial information and disaster reduction with Unmanned Aircraft System

Chia-Yu Hsieh^{1*}, Hsin-An Chen², Meng-Lun Tsai³, Yi-Shiang Lin⁴, Jui-Lung Chang⁵, Cheng-Fang Lo⁶

Abstract

Unmanned Aircraft System (UAS) has become an emerging trend for remote sensing and mapping applications recently. Numerous academic and studies have been conducted on the development and application of UAV for aerial triangulation photogrammetry, updating map, building 3D models, and disaster relief. Consequently, GEOSAT starts developing a direct georeferencing based UAS platform which is relatively free of regulations, inexpensive, easy to maintain, high mobility for small area surveys or rapid spatial information acquisition. Since 2008, GEOSAT proposed new technology for National Land Survey Center (NLSC). The working projects include making our own UAS, integrated system, and collecting aerial images by UAS. There are at least 73 tasks finished. For example, Taiwan Electronic Map of Freeway No.6 has update by processing these data. It also can produce DTM or DSM extractions, orthophoto, and map realizations with sufficient accuracy. Due to the advantages in high mobility and low cost, GEOSAT UAS not only can capture near real time information with integrated system rapidly, but also aid organization to analyze data for updating maps or disaster relief and assessment.

Keywords: 3D Modeling, Disaster Data Collection, Multi-spectral, Maps Updating, UAS

¹ Project manager, GEOSAT Aerospace & Technology Inc.

² Manager, GEOSAT Aerospace & Technology Inc.

³ Project manager, GEOSAT Aerospace & Technology Inc.

⁴ Manager, GEOSAT Aerospace & Technology Inc.

⁵ Vice President, GEOSAT Aerospace & Technology Inc.

⁶ CEO, GEOSAT Aerospace & Technology Inc.

* Corresponding Author, TEL: +886-4-36095588 ext. 290, Email: jayor@geosat.com.tw.

一、前言

近年來無人飛機系統的發展蓬勃成長，一般大眾已廣泛使用於娛樂休閒與空拍攝影，並逐步擴展到不同的應用領域中，如災害及環境監測、森林資源及海洋環境探索、土地利用調查及地形測繪。就遙感探測技術的關鍵而言，在空間解析力與時間解析力兩個重要向度上，UAS 具備高度發展與競爭潛力。單張衛星影像的涵蓋範圍雖可達到數百平方公里，但是衛星影像的地面解析度最高僅達到 0.5 公尺解析度，仍對一些如土木與水利的工程設計仍無法滿足。同時衛星影像拍攝的再訪率亦受到衛星軌道任務設計，而很難達到即時性。傳統有人飛機航空攝影測量技術雖然成熟，影像解析度最高可達 10 公分，但是航拍設備與飛行營運成本都十分高昂。

因此，無人飛行載具將是繼衛星遙測技術之後，成為 21 世紀空間資訊革命發展中極具戰略意義的發展平台。藉由 UAS 高機動性與低成本的特性，可運用於填補傳統衛星遙測與傳統航拍資料獲取的空隙，透過與各種影像感測器、整合式導航定位定向系統、以及無線通訊系統的系統整合，使空間資料的蒐集與調查更加便利與更有效率。

Grenzdörffer et al. (2008)利用微型 UAV(UAV 機載小於 5 Kg)來快速獲得影像。以地面控制點、內方位資料、GPS/INS 資料、數值高程模型進行正射處理，該正射流程又區分為手動、半自動到全自動(圖 1)。Eugster and Nebiker (2008)利用 Microdrones md4-200 型號 UAV，擷取建物側面影像作為建物外觀自動貼圖，建立虛擬實境系統(圖 2)，藉此獲取影像之空間資訊。Eisenbeiss (2004)曾利用旋翼型 UAV 拍攝 1/7000 比例尺相片，並且製作正射影像與 DTM。Eisenbeiss et al. (2005)進一步應用旋翼型 UAV 於考古區域萃取 DTM(圖 3)，並且與 Lidar 資料相互比較。Eisenbeiss (2006)則將旋翼型 UAV 應用在玉米田資料之萃取，結果顯示應用微型 UAV 獲取小區域測站影像具有非常高的效率。

自 2008 年起，臺灣無人飛機研發團隊「經緯航太科技」，結合成功大學跨系所研發單位，為內政部國土測繪中心發展臺灣無人飛行載具之測繪科技新技術，陸續完成「探測感應器測繪平台架構規劃暨應用作業」、「102 年度~103 年度發展無人飛行載具航拍技術作業」及「104 年度~105 年度發展無人飛行載具系統測繪作業」，驗證以 UAS 搭配探測感應器在不同航高可達之影像精度、運用 UAS 進行快速擷取地面空間資訊可行性、以及提出 UAS 整合移動式測繪平台(Mobile Mapping System, MMS)之未來規劃方向。藉由空載高精度戰術等級整合式導航定位定向系統研發，成功發展 UAS 直接地理定位(Direct Georeferencing, DG)技術。

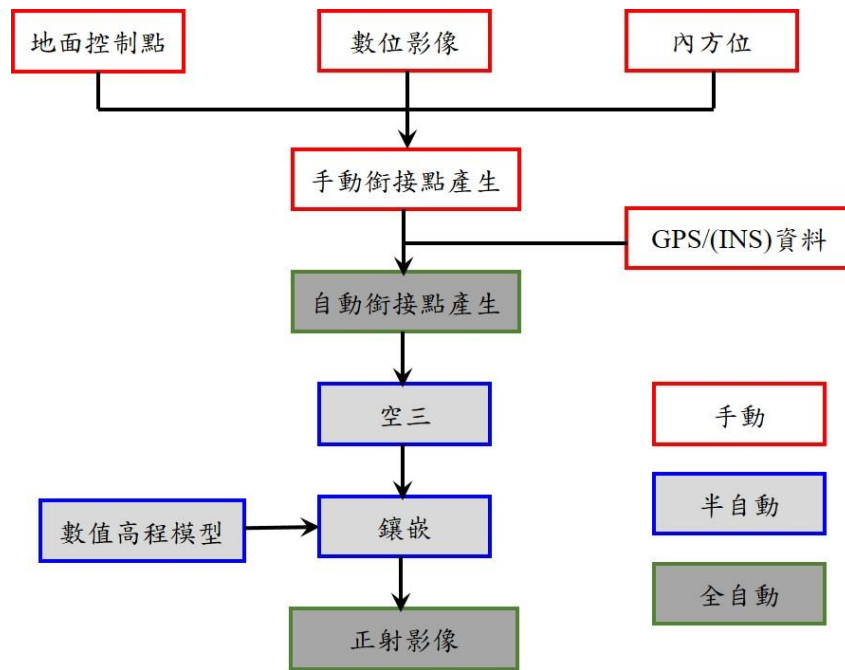


圖 1 Grenzdörffer 之 UAV 航空製圖流程(Grenzdörffer et al., 2008)



圖 2 虛擬實境系統(Eugster and Nebiker, 2008)



圖 3 考古區域正射影像(Eissenbeis et al., 2005)

二、作業方法及流程

本團隊採用之 UAS 皆裝置有飛控電腦，藉由 GPS 衛星定位接收器以及慣性導航儀，能夠執行視距外自主飛行，並依預先規劃飛行任務之導航點進行巡航作業。圖 4 為無人飛行載具系統整體系統操作示意圖，透過 RF 無線通訊模組，UAS 與機動化的地面控制站(Ground Control Station, GCS)之間可以進行操控指令溝通，與 UAS 低階影像的即時回傳。地面控制站則具備任務監控作業能力，並可以隨時在通訊可及範圍內進行新的航點更新。此外，影像酬載系統搭配航拍任務控制電腦與 2100 萬畫素以上等級之單眼相機(Canon 5D Mark II)，另外也搭載無線感測器整合酬載模組，包含定位定向系統及資料紀錄器，來紀錄飛機航拍瞬間的空間位置及飛行姿態，並利用這些外方位元素來加速航拍資料後處理之效率。

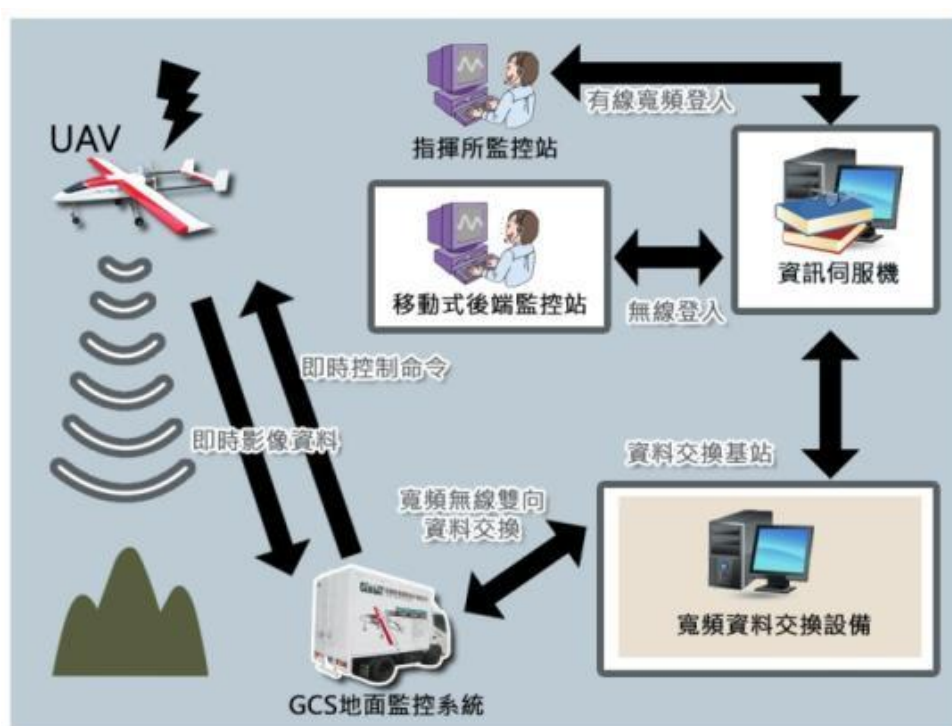


圖 4 無人飛行載具系統整體系統操作示意圖

本團隊針對 UAS 設計之簡易型定位定向系統(如圖 5 及圖 6)，運用 GNSS 模組與微機電等級 IMU 設計而成，主要透過 GNSS 模組進行影像拍攝時刻之位置資訊，並以 IMU 模組記錄三軸姿態角，在 GNSS 模組選擇方面，採用單頻載波相位接收儀 U-BLOX LEA-6T 模組(圖 7)；IMU 模組則選擇 ADIS16405(圖 8)，兩者優點皆是精度高、價格便宜、重量輕，適合做為酬載重量相對較小的 UAS 使用。此外本 GNSS 模組亦支援外部 Time mark 記錄功能，可記錄拍攝相片時的 GNSS 時間，做為相片與 POS 資料同步解算的基準。

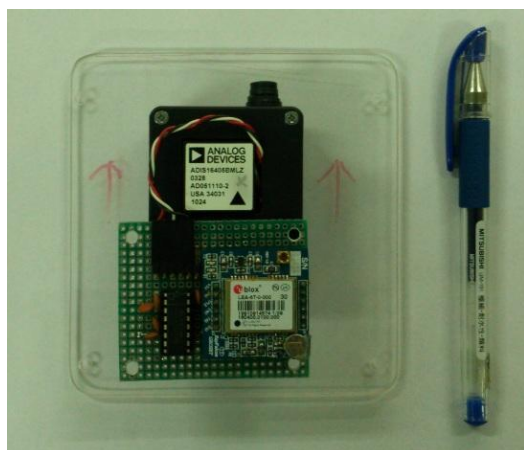


圖 5 UAS 定位定向系統原型設計



圖 6 UAS 定位定向系統

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



圖 7 LEA-6T

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



圖 8 ADIS16405

本團隊採用之 UAS 因應不同應用需求搭載各種感測器，包含不同解析度之數位單眼相機、多相機系統以及多光譜感測器，經航拍作業後取得感測影像及定位定向資料，透過 GPS+IMU 輔助空中三角平差計算求取影像外方位資料，進而根據不同應用需求進行資料分析。

在圖資更新作業應用，因作業精度要求較高，採用數值影像工作站 Intergraph 公司之 ISAT 軟體進行空中三角平差計算，透過軟體進行影像自動匹配，配合自行開發軟體展現各像片間之網形強度，於網形較弱之區域以人工量測加強網形強度。空中三角測量平差計算採用光束法，先以最小約制(或自由網)平差，以進行粗差偵測並得到觀測值精度之估值，其次進行強制附合至高精度控制點上平差。取得影像外方位資料，則透過數值航測影像工作站 ImageStation Orthopro 軟體將空中三角平差計算成果配合數值高程模型(DEM)資料作為正射糾正之高程控制資料，將中心投影之航空相片糾正成正射投影，並消除影像上投影誤差，製作數位正射影像，圖 9 為正射影像糾正示意圖。每張航拍影像皆可產生糾正後之單張正射影像，將相鄰影像之數位正射影像切去其邊緣與重複部分，使之互相拼接而成一地表連續之影像，逐一鑲嵌製作成為一張無接縫之正射影像鑲嵌圖(如圖 10)，以完成圖資更新作業。

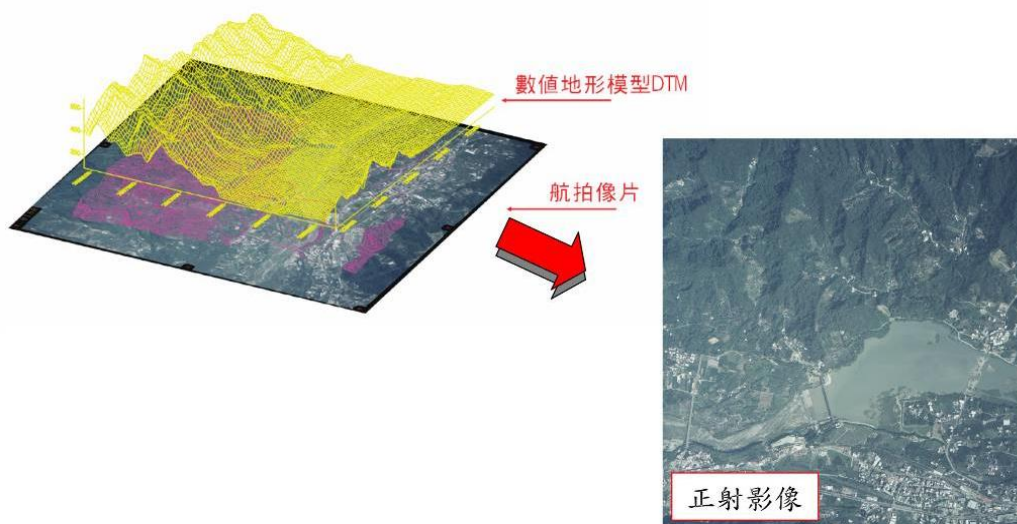


圖 9 正射影像糾正示意圖

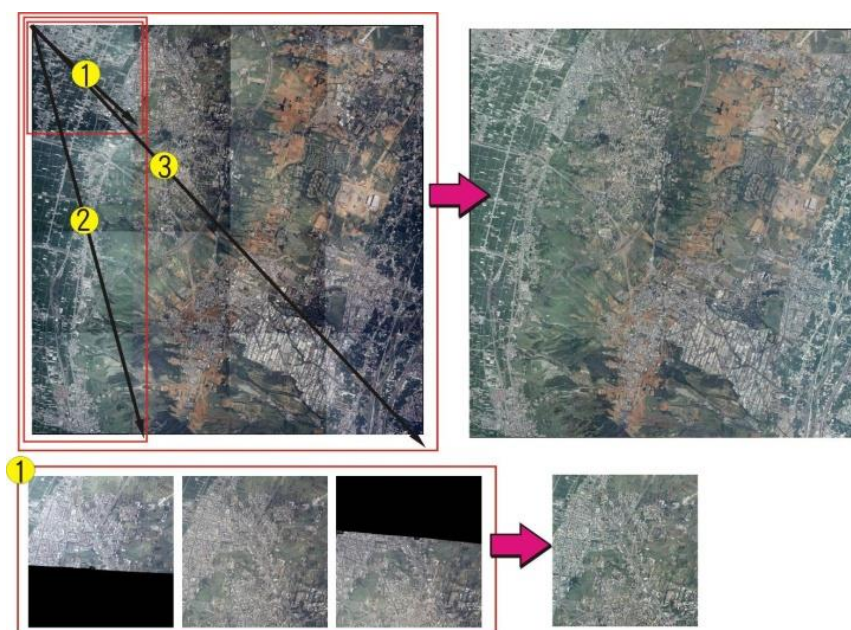


圖 10 正射影像鑲嵌示意圖

然而在防救災領域應用，一般需要較高時效性，因此本團隊採用商用軟體 Pix4DMapper 進行空中三角平差計算及影像鑲嵌(如圖 11)，而空中三角平差計算所需之控制點資料，則引用向量圖資或影像資料之特徵點。透過軟體進行影像自動匹配，並由人工進行控制點量測，而航拍過程中全程採用 GNSS/IMU 輔助空中三角測量，平差作業可加入每張影像經解算之高精度投影中心坐標及姿態角，以提升空三作業精度，並加速影像自動匹配作業時程。Pix4DMapper 取得空中三角平差計算成果，配合影像匹配點雲進行影像鑲嵌，取得一張無接縫之鑲嵌影像，利用 Pix4DMapper 進行空中三角測量平差計算及影像鑲嵌，亦可產生作業報表。

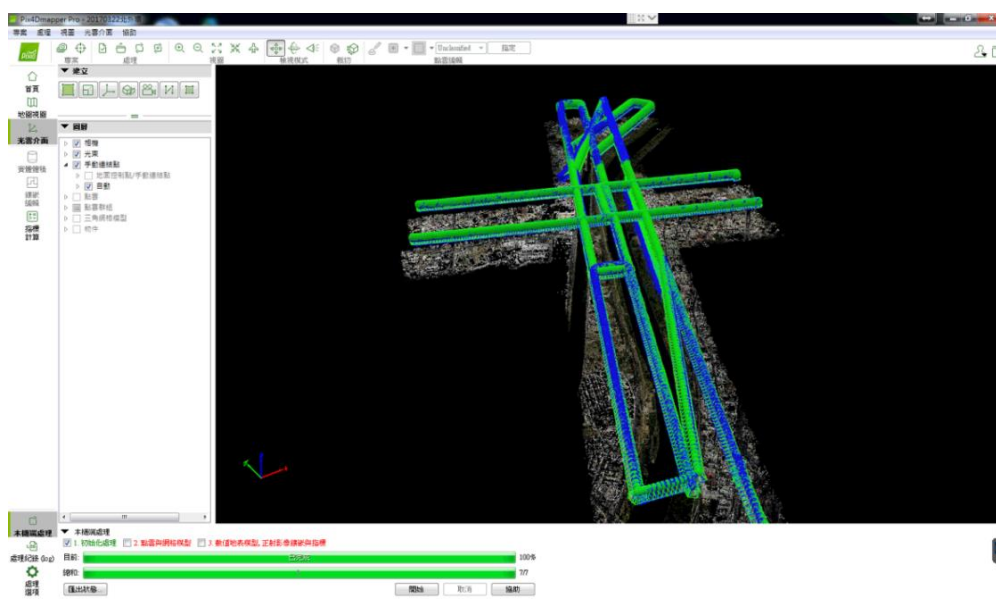


圖 11 Pix4DMapper 空中三角測量示意圖

在三維立體模型建置，則由多相機系統以航空傾斜攝影透過計算機視覺進行影像匹配，取得大量匹配點雲，透過光束法平差計算取得影像外方位資料，進而以稠密點雲匹配獲取大量建築物側面資訊進行大規模都市三維建模，其作業流程包含稠密點雲匹配、點雲疏化、表面重建及紋理貼附及三維重建，如圖 12 所示。本團隊採用 Agisoft 公司所開發之 PhotoScan Pro 軟體進行真實三維模型建置計算，而 PhotoScan Pro 版本支援使用者以 Python 開發相關功能並加入計算，因此本團隊針對 PhotoScan 軟體不足之處，如點雲疏化功能，計算過程中區塊記憶體不足等問題進行開發。

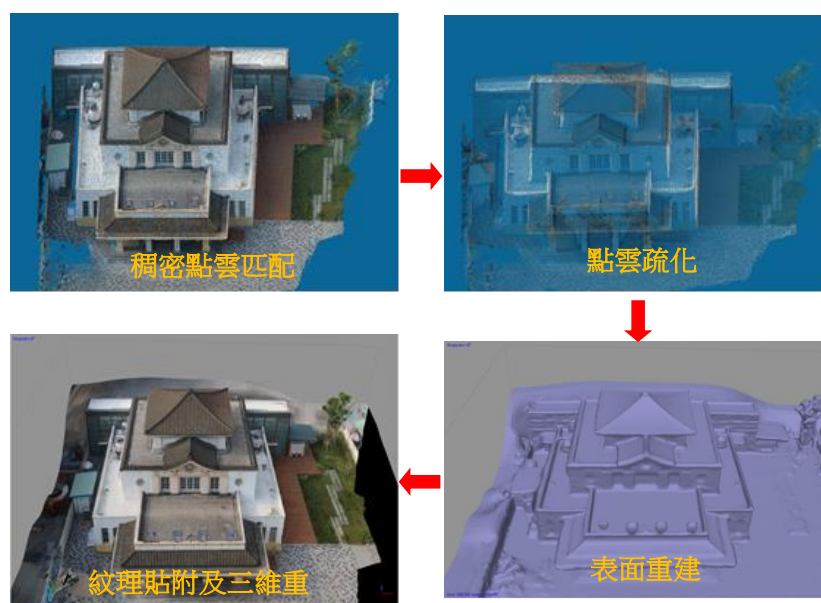


圖 12 三維立體模型製作流程

利用 UAS 搭載多光譜感測器可取得可見光以外之波段資訊，一般以近紅外光較為常見，本團隊以商用軟體 Pix4DMapper 進行多光譜感測影像之空中三角平差計算及影像鑲嵌作業，取得不同波段之影像外方位資料以及鑲嵌影像(如圖 13)，而不同波段之影像資料可透過相同之地面控制點進行波段套合，以避免後續分析作業因影像錯位產生謬誤。透過可見光影像資訊及近紅外光影像資訊，配合商用軟體 ENVI 可根據不同地物對於可見光及近紅外光的不同反應進行影像分類，如健康植被對於近紅外光有強烈反應，而水體對於近紅外光部反射，透過監督式分類方法可針對指定之多種地物進行分類。

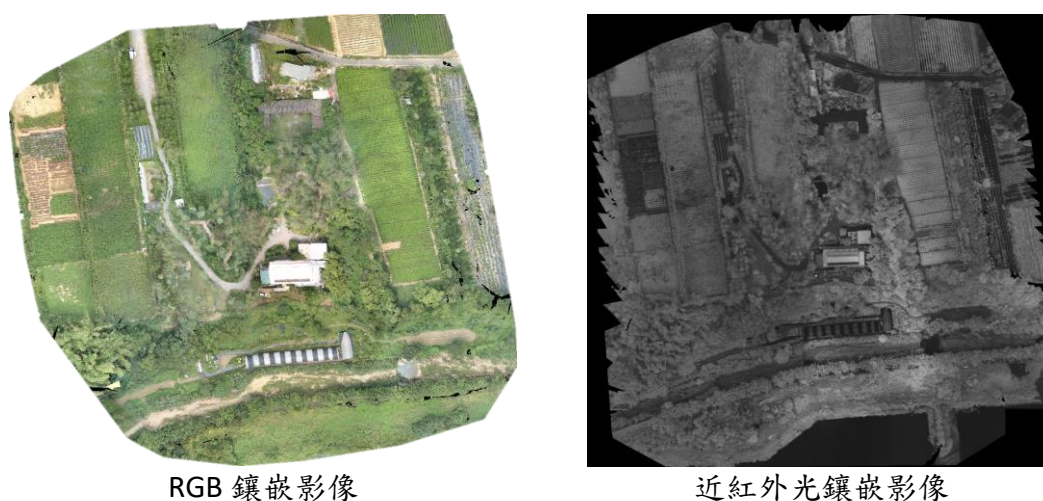


圖 13 多光譜感測影像鑲嵌成果

三、成果與討論

(一)運用 UAS 即時更新臺灣通用電子地圖

目前臺灣地區最完整涵蓋範疇之電子圖資為 1/2,500 比例尺之內政部臺灣通用電子地圖，並已經定義為核心圖資，廣泛運用於非都會地區之 GIS 系統底圖。為保持核心圖資之有效更新，以及維持永續發展應用，利用 UAS 航空攝影技術進行近即時性更新的可行性已獲相當成功的驗證。

UAS 仍屬於航空器一環，因此運用於航空攝影測量作業時，在航拍前需先提出航拍申請及空域申請。為達到臺灣通用電子地圖之規範精度要求：地面解析度 25 公分，在進行規劃航線時，需考慮像片前後重疊率、側向重疊率、影像解析度及影像是否涵蓋測區，在控制點布設時，需注意布設位置應在測區外側及影像拍攝範圍內，如有必要可延長航線以選擇較適當的位置。本案例所規劃之航高(AGL)約為 780 公尺，地面解析度(GSD)為 25 公分。像片前後重疊(飛行方向)約為 85%，其誤差在 5% 以內。航帶與航帶間側向重疊為 45%(含)以上，其誤差在 10% 以內。各航帶前後於測區外並延長航線多拍攝像對，確保完整涵蓋測區以及精度能達到要求。在 UAS

航拍過程中，亦同步記錄精確之 GPS 及 IMU 姿態角，用以輔助空中三角測量，提升成果精度。而由於國道 6 號為東西向道路，故亦以東西向規劃航線。

運用上述任務規劃原則，本案例於台中到埔里之間國道六號開通後，採用 Sky Arrow 定翼型 UAS(如圖 14)航測進行電子地圖相關圖層與正射影像更新，而 Sky Arrow 定翼型 UAS 規格如表 1 所示，其具有高酬載力，長滯空時間，短場起降等優越性能。動力系統設計採用後推式汽油引擎，使酬載空間更為寬敞，並且能有效降低引擎震動對於相機、攝影機等酬載的影響，適合國土資訊影像偵蒐用途。



圖 14 Sky Arrow 定翼機

表 1 SkyArrow 定翼型 UAS 規格表

Sky Arrow 定翼機	
動力來源	汽油
外型翼展	3 公尺
最大起飛重量	24 公斤
最大酬載重量	6 公斤
滯空時間	4 小時
最大航程	350 公里
最大飛行高度	4000 公尺
巡航速度	105 公里/小時

航線與控制點規劃如圖 15。因 UAS 所搭載的 GPS+IMU 精度不及傳統航測相機，因此除了於航帶首尾布設控制點，在航帶中間亦布設控制點，並均勻布設 5 個檢核點，以確保精度。空拍影像經完成空三計算後，以本次 UAS 航拍影像產生單張正射影像並拼接為全區 UAS 正射影像。再以全區 UAS 正射影像套疊現有通用版電子地圖之道路及建物圖層，圈選兩者相異區域如圖 16，並在立體測製環境中進行重要圖層之空間數化更新。

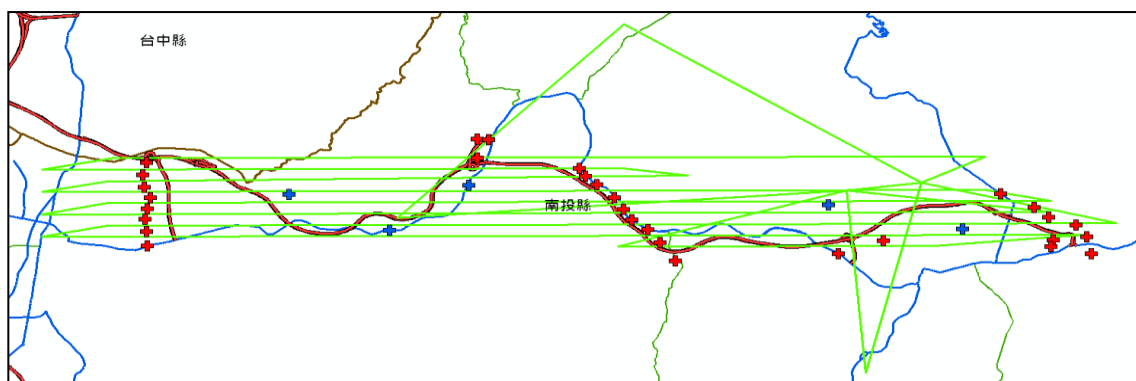


圖 15 UAS 航線與控制點規劃

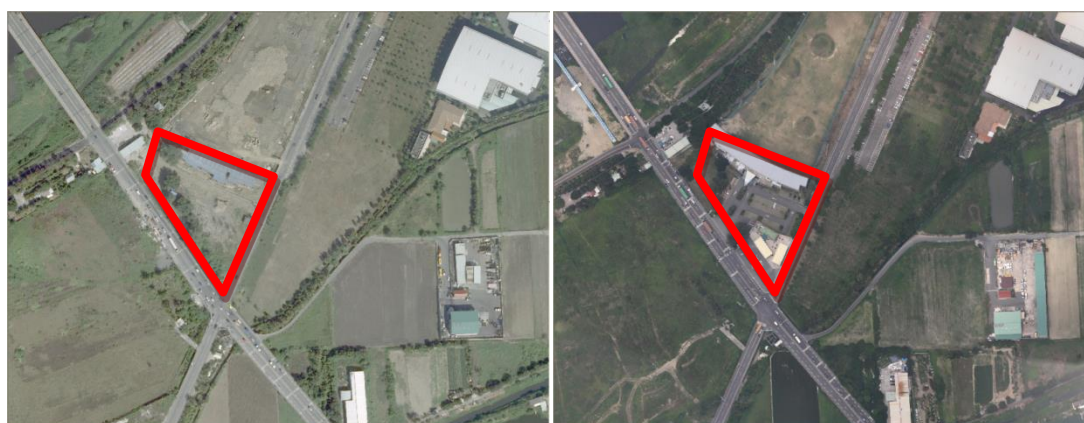


圖 16 圈選異動範圍示意圖

最後使用以上 UAS 正射影像及圈選範圍進行影像鑲嵌、調色以更新原有電子地圖正射影像。研究顯示，UAS 共計飛行約 250 公里，經過空中三角計算與正射影像幾何校正，可以針對 110 平方公里之面積，產製地面解析度 25 公分等級之正射影像，經由檢核點上量測與地面 GPS 實測之比較，三維坐標差值相差均小於 1 公尺以內，符合 1/2,500 比例尺電子地圖製圖規範之精度要求。

(二)高雄氣爆事件緊急應變勘災

103 年 8 月 1 號凌晨高雄前鎮區、苓雅區發生嚴重石化氣爆意外，造成大範圍公共設施破壞與人員死傷，當日上午 08:00 國家災害防救科技中心即以電話聯繫本團隊，提出災害意外現場緊急應變拍攝需求。本團隊隨即進行初步任務規劃與器材整備，09:30 團隊完成任務準備，前往高雄氣爆災區。UAS 團隊於 10:30 時收到中央災害應變中心傳真正式拍攝通報單，確認拍攝範圍(圖 17)，並由災防中心協調交通部民用航空局緊急發布 UAS 飛航公告。



圖 17 高雄市前鎮區緊急航拍任務規劃點位

團隊於 12:00 時到達高雄市區，隨即以 ALIAS 六旋翼型 UAS(如圖 18)進行航拍作業準備，並於 12:30 時與高雄近場台完成飛行空域協調，確認 UAS 作業安全無虞後，起飛執行航拍任務。由於此次氣爆事故災區範圍廣達 6 公里，因此最後總計飛行 7 架次完成全部災區範圍的拍攝，於下午 16:00 時完成全部災區範圍的影像拍攝。



圖 18 ALIAS 六旋翼 UAS

其中多旋翼型 UAS 為六旋翼型之設計，其垂直起降功能適合於都會人口稠密地區或小面積範圍之快速應變攝影，旋翼型最大操作高度可達 500 公尺，其攝影雲台除可垂直拍攝正射航空照片，亦可搭配全景攝影模組，進行 360 度全景照片拍攝，並後製作為 720 度環景 VR 虛擬實境體驗，提供有如親臨現場的現況展示，規格如表 2 所示。

表 2 ALIAS 旋翼型 UAS 規格表

ALIAS 六旋翼 UAS	
動力來源	鋰聚電池
外型翼展	1.1 公尺
最大起飛重量	9 公斤
最大酬載重量	1.5 公斤
滯空時間	20 分鐘
最大航程	2 公里
最大飛行高度	500 公尺
巡航速度	6~8 公尺/秒

本團隊於 8 月 1 日 16:00 完成緊急應變航拍作業後，隨即進行影像資料整理，以及影像快速正射處理。於 18:30 便開始以 FTP 網路傳輸初步篩選後之現場原始空拍影像成果。並於 8 月 2 日上午 7:00 完成影像快速正射處理，產出地面解析度 10cm 之快速正射影像，本次作業共完成正射影像成果面積約 600 公頃(圖 19)，以及動態空拍影片，亦透過 FTP 網路傳輸至國土測繪中心，並轉提供予災防中心作為可供決策支援系統使用之基本圖資，提供相關單位進行後續救災工作之參考圖資。



圖 19 氣爆災區全區正射影像

(三)傾斜攝影三維建模

傾斜航空攝影測量作為近年來國際上發展十分迅速的一項高新技術，能夠獲取真實世界的三維場景資訊，是對傳統航空攝影測量技術的補充，為航空遙測領域提供了一種新的資料來源。本團隊針對傾斜攝影，亦使用 ALIAS 六旋翼型 UAS 搭載自行開發設計的多相機系統(圖 20)，其多相機雲台共搭載 5 部相機，UAS 專用傾斜攝影系統為了考慮 UAS 酬載重量及空間考量，因此設計以 5 個 Sony DSC-QX10 做為攝影鏡頭使用，並設計傾斜攝影支架為單一垂直方向拍攝，及四方向各傾斜 45° 進行拍攝，傾斜攝影支架如圖 21 所示。



(a) 六軸無人飛行載具

(b) 搭載傾斜攝影系統

圖 20 傾斜攝影系統設計圖

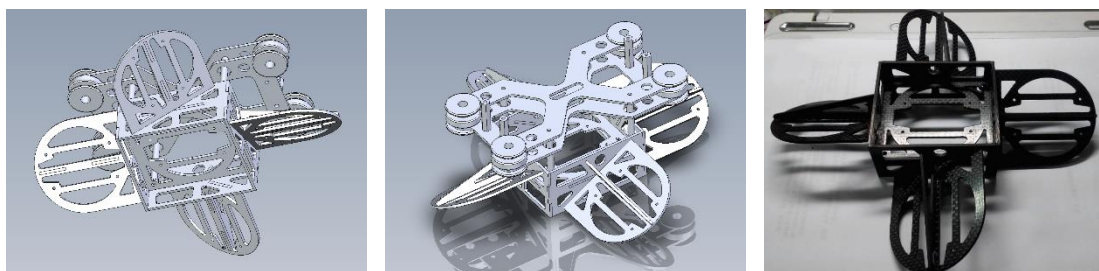


圖 21 傾斜攝影機雲台設計

傾斜攝影三維重建可依據圖 22 之流程圖，依據多視立體視覺三維重建技術選擇使用傾斜相機，再依序完成 SfM 解算、稠密點雲計算、點雲分類、曲面重建技術及最後完成紋理貼圖步驟。

本團隊以臺中國家歌劇院進行三維重建技術實作，航線規劃如圖 23 所示，透過井字型之航拍方式，相較於傳統航拍僅以平行航帶進行資料蒐集，可取得更豐富之地物紋理資訊，再配合本研究採用多相機系統進行傾斜攝影，更可大幅減少遮蔽影響，提高建築物側面資訊。臺中國家歌劇院三維模型建置作業成果如圖 24，完整成果可連結臺中國家歌劇院 3D 模型(National Taichung Theater 3D Model)(<http://59.120.243.54:8080/Opera/App/index.html#%2F>)，相較於傳統航拍進行三維建模，本研究之作業方式取得較完整之側面資訊，建築物破碎的情形大幅減少。



圖 22 傾斜影像三維建模流程



圖 23 國家歌劇院航線規劃



圖 24 國家歌劇院三維模型成果

(四)多光譜感測器研究測試

國土涵蓋範圍包含陸地、海洋、領空等，陸地上之植物、湖泊、土壤等，海洋浮游物、鹽分等，領空上有大氣、懸浮粒子等多種物質，大部分物質多對可見光或紅外線光會產生特徵光譜，依照這些反射或穿透光譜反應，可以進一步進行土地利用分類調查等工作，亦可利用多光譜感測器執行航拍做國土分類，同時可將車輛人員不易到達之道路，進行分類與繪製更新圖資。

本團隊利用 ALPAS 單旋翼型 UAS(如圖 25)搭載國研院儀科中心自行開發之多光譜感測器(圖 26)進行航拍與影像處理作業，規格如表 3 所示，單旋翼型 UAS 亦

包含垂直起降功能，亦適合用於都會人口稠密地區或小面積範圍之航空攝影作業，其主旋翼旋轉直徑為 190 公分，酬載重量為 15 公斤，相較於多旋翼型 UAS，單旋翼型 UAS 之滯空時間較長，酬載重量較大，可縮短作業時間，並可搭載更多元之感測器，以進行更多應用領域之測繪工作。



圖 25 ALPAS 單旋翼型 UAS

表 3 ALPAS 單旋翼型 UAS 規格表

ALPAS 單旋翼型 UAS	
動力來源	鋰聚電池
外型翼展	1.9 公尺
最大起飛重量	30 公斤
最大酬載重量	15 公斤
滯空時間	50 分鐘
最大航程	60 公里
最大飛行高度	1000 公尺
巡航速度	72 公里/小時

多光譜感測器採用 2 台 Sony $\alpha 7$ 數位相機，一台為 RGB 彩色相機而另一台為具 800~980nm 濾波片之 NIR 相機，2 台相機為個別獨立，採用機械快門訊號進行系統同步。



圖 26 多光譜相機系統整合

本測試作業之測試區位於彰化縣芳苑鄉，利用 ALPAS 單旋翼型 UAS 搭載多光譜感測器系統以航高 250 公尺進行航拍及影像處理，可取得 RGB 彩色拼接影像及近紅外光拼接影像，分別如圖 27 及圖 28，影像地面解析度約為 5 公分。

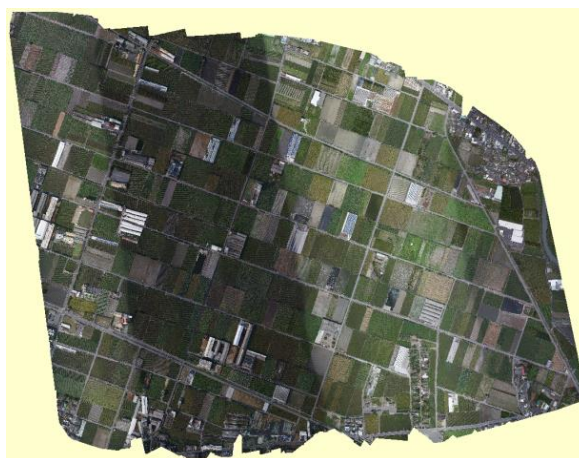


圖 27 RGB 拼接影像



圖 28 近紅外光拼接影像

本團隊採用監督式之最大概似法，以多光譜感測器所取得之 RGB 及近紅外光影像，透過 5 種分類之訓練樣區(如圖 29) 進行影像分類，其中紅色為建物、洋藍色為水體、橘色為道路、綠色為農田、黃色為無耕作之農田，並以地真資料(如圖 30) 分析分類結果。

分類結果顯示採用 RGB 彩色資訊，加入常態化差值植生指標(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)進行地物分類，可取得最佳分類成果(表 4)，其整體分類精度達 88.46%，顯示針對本測試項目之 5 種分類成果良好，故利用 UAS 搭載多光譜感測器可有效應用於影像地物分類，可提供國家圖資更新參考使用。

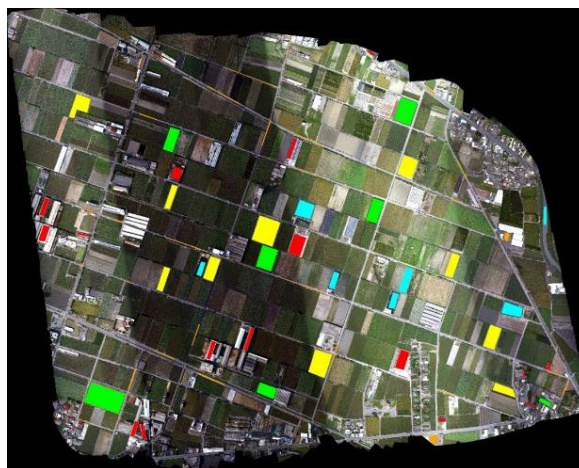


圖 29 地物分類訓練樣區

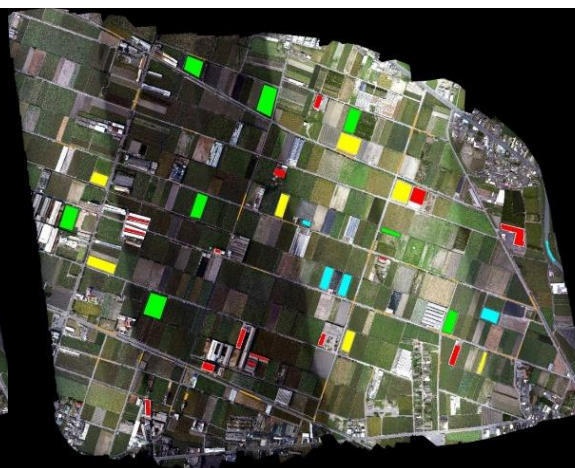


圖 30 地物分類地真資料

表 4 地物分類成果

	Ground Truth (百分比)					
類別	水體	道路	建物	農田	無耕作農田	總和
水體	91.64	1.93	1.12	0.84	12.16	13.37
道路	3.16	85.84	6.37	0.00	5.16	10.97
建物	0.51	8.27	82.83	0.08	4.65	17.53
農田	0.01	0.00	0.09	98.86	0.81	36.11
無耕作農田	4.68	3.95	9.59	0.22	77.22	22.02
總和	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

四、結論與建議

本文提及之 UAS 包含 SkyArrow 定翼機、ALIAS 六旋翼 UAS 及 ALPAS 單旋翼型 UAS，其中以 SkyArrow 之滯空時間最長，且飛行高度最高，適用於大範圍圖資更新之航拍作業；ALIAS 六旋翼 UAS 酬載重量較小，最大飛行高度較低，但其高機動性之特性適合進行局部區域之空間資料採集；而 ALPAS 單旋翼型 UAS 酬載重量最大，且相較於 ALIAS 六旋翼 UAS 具有較長滯空時間，可進行較大範圍且多元酬載之空間資料採集作業。此外，本團隊另有定翼型 Pterosaur 翼龍(如圖 31)，Pterosaur 翼龍之酬載重量僅 0.4 公斤，但擁有約 1 小時之滯空時間，亦可以進行較大範圍之空間資料採集，且 Pterosaur 翼龍擁有方便操作且機動性高之優點，適合一般使用者簡單進行空間資料採集作業。

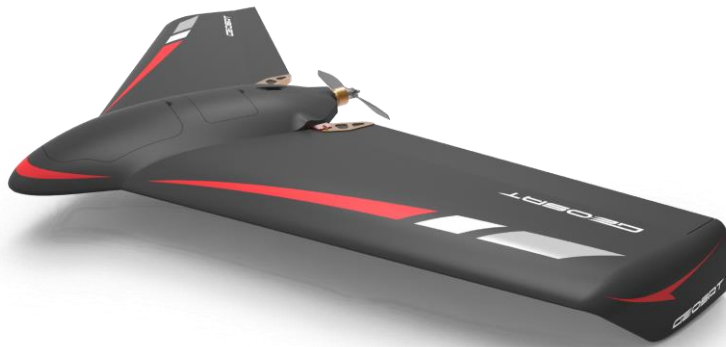


圖 31 Pterosaur 翼龍

本文展示本團隊運用 UAS 搭載 GPS、IMU、定位定向系統、資料紀錄器與數位單眼相機等設備，並結合機電整合與航空攝影測量之影像處理作業流程技術，成功產製相關快速拼接影像、正射影像、向量圖層等空間資訊成果，並應用在基礎圖資更新、緊急災害應變等項目之成功案例。運用滯空時間較長之 SkyArrow 定翼機更新臺灣通用電子地圖，完成 110 平方公里面積之地面解析度 25 公分等級之正射影像。利用 ALIAS 六旋翼 UAS 之高機動性可於災害發生後即時進行災區空間資料採集，本團隊於高雄氣爆事件在 24 小時內完成 600 公頃災區影像航拍，並提供地面解析度 10 公分之快速影像處理成果提供相關單位，作為後續決策支援系統所需之基本圖資。高機動性之 ALIAS 六旋翼 UAS 亦為三維建模航拍之利器，本團隊針對臺中國家歌劇院以 ALIAS 六旋翼 UAS 搭配多相機系統進行航拍，依據傾斜攝影三維重建技術完成台中國家歌劇院之三維模型建置，作業成果取得較完整之建築物側面資訊。以 ALPAS 單旋翼型 UAS 之高機動性且酬載重量較大的特性，搭載多光譜感測器針對彰化縣芳苑鄉進行空間資訊採集，配合監督式分類方法針對 5 種地物進行分類，作業成果顯示採用 RGB 彩色資訊及常態化差值植生指標可取得最佳分類成果，整體分類精度達 88.46%。

除本文提及之內政部、國家災害防救科技中心外，更已於其他 10 多個政府單位有多達 70 多項 UAS 成功應用案例。未來在 UAS 即時航拍影像的資訊增值處理上，對於國內的防救災體系的完備性提升，交通、環境與國土資源的監控，地圖與地貌之空間屬性快速更新等，都有極大的應用需求，而 UAS 具備攜帶感測器進行遠距自動化的資訊採擷能力，對於決策輔佐的即時性相當有所助益。同時本團隊引進丹麥 Phase One 專業級 UAS 用五千萬畫素中片幅航拍相機，將可進一步大幅提升航拍工作的效能。同時也積極發展 UAS 搭載多光譜感測器及光達(Light Detection And Ranging, LiDAR)，可以進一步進行國土監測及土地利用分類調查等工作。

參考文獻

- 內政部國土測繪中心，2008，*探測感應器測繪平台架構規劃暨應用作業工作總報告書*。
- 內政部國土測繪中心，2013，*100 至 103 年度發展無人飛行載具航拍技術作業案工作總報告書*。
- 內政部國土測繪中心，2014，*100 至 103 年度發展無人飛行載具航拍技術作業案工作總報告書*。
- 內政部國土測繪中心，2015，*104 年度發展無人飛行載具航拍技術作業案工作總報告書*。
- 內政部國土測繪中心，2016，*105 年度發展無人飛行載具航拍技術作業案工作總報告書*。
- Eisenbeiss, H., 2004, A mini unmanned aerial vehicle (UAV): system overview and image acquisition, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36(5/W1), pp.1-7.
- Eisenbeiss, H., K. Lambers, M. Sauerbier, and Z. Li, 2005, Photogrammetric documentation of an archaeological site (Palpa, Peru) using an autonomous model helicopter, *In CIPA 2005*, pp. 238-243.
- Eisenbeiss, H., 2006, Applications of photogrammetric processing using an autonomous model helicopter, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36(185), pp.51-56.
- Eugster, H., and S. Nebiker, 2008, UAV-based augmented monitoring-real-time georeferencing and integration of video imagery with virtual globes, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(PART B1).
- Grenzdörffer, G. J., A. Engel, and B. Teichert, 2008, The photogrammetric potential of low-cost UAVs in forestry and agriculture, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 31(B3), pp.1207-1214.

空間大數據基礎架構平台之簡介

張智安^{1*} 楊筑鈞² 傅于洳³

論文收件日期：107.01.19

論文修改日期：107.05.06

論文接受日期：107.05.23

摘 要

Geospatial Big Data Infrastructure(GBDI)是指在雲端平台中整合巨量空間資料的平台，為現今空間資訊領域重要的發展方向。現行以巨量遙測影像為基礎的平台包含Amazon Earth on AWS、Google Earth Engine(GEE)、DigitalGlobe Geospatial Big Data Solution、Planet Lab Planet Explorer及Data Cube等。這類平台主要的特色是整合巨量多時序的遙測影像，可快速觀察及分析地表任一位置的時空變化，探討環境動態過程，以GEE為例，GEE可直接存取影像進行應用分析，如全球森林改變等。本文目的為介紹現有GBDI平台空間資料數據集、平台功能及應用範例，並以GEE平台建立台灣地區無雲影像為應用案例，說明GBDI的概念及可能應用。

關鍵詞：空間大數據、開放資料、基礎架構、衛星影像

¹ 教授，國立交通大學土木工程系。

² 研究生，國立交通大學土木工程系。

³ 研究生，國立交通大學土木工程系。

* 通訊作者，TEL：(03)5712121 轉 54929，E-mail：tateo@mail.nctu.edu.tw。

Introduction to Geospatial Big Data Infrastructure

Tee-Ann Teo^{1*}, Chu-Chun Yang², Yu-Ju Fu³

Abstract

Geospatial Big Data Infrastructure (GBDI) refers to a platform that integrates a huge amount of spatial data on the same platform and is an important development in geospatial technology. Several GBDI platforms has been established by government or company, for example, Amazon Earth on AWS, Google Earth Engine (GEE), DigitalGlobe Geospatial Big Data Solution, Planet Lab Planet Explorer, and Data Cube. The feature of these platforms is the integration of huge amount of time-series satellite images, which can quickly visualize and analyze the spatial-temporal variations of any position on the earth's surface. Taking GEE as an example, GEE can directly access time-series satellite images for different applications and analysis, e.g. global forest change. In order to introduce the concept and possible applications of GBDI, this study introduces the existing GBDI platforms in the way of data sets, functions and applications. Moreover, Taiwan cloud free image generation by GEE was also provided as a case study.

Keywords: Geospatial Big Data, Open Data, Infrastructure, Satellite Imagery

¹ Professor, Department of Civil Engineering, National Chiao Tung University.

² Master Student, Department of Civil Engineering, National Chiao Tung University.

³ Master Student, Department of Civil Engineering, National Chiao Tung University.

* Corresponding Author, TEL: +886-3- 5712121 ext:54929, E-mail: tateo@mail.nctu.edu.tw.

一、前言

隨著遙測與空間資訊技術的進步，新形態感測器的發展及資料收集方法，可獲取大量和具有多樣性的地球觀測數據，形成所謂的地理空間大數據(Geospatial Big Data)。地理空間大數據不是只單純的表示數據容量龐大，也具備資料多元性，亦代表有更廣泛的應用範圍，因此可藉由分析空間大數據建立解決問題的工具或應用程式。McFedries(2011)提到因為數據不佳或數據太少而無法解決問題的狀況現今已經越來越少了，取而代之的是，要如何有效率的運用大數據進行分析及應用，並有組織性的管理大數據，使大數據之間能快速共享減少數據傳輸的時間。地球觀測(Earth Observation, EO)在大數據時代產生非常大的變革，新的觀測衛星和感測器的開發，使得每天都有大量的數據產生，所以數據的傳輸、儲存和處理能力是目前面臨最大的挑戰(Casu et al., 2017)。以歐洲太空總署的 Sentinel-1A 及 Sentinel-1B Interferometric Wide swath mode 影像為例，每年的資料收集量預估約為 156TB，在衛星設計任務 7 年期間，預估會獲取 1092TB 的資料量，面對數據容量龐大的挑戰，在雲端平台進行儲存、分析、運算為未來處理大數據的趨勢(Sugumaran et al., 2015)。

Big Data Infrastructure (BDI)泛指大數據的基礎架構，而 Geospatial Big Data Infrastructure (GBDI)是針對空間資料相關的大數據基礎架構。GBDI 的關鍵議題是從空間大數據進行加值應用，從空間大數據為使用者帶來的應用議題、新的資料處理演算法及應用程式(Application Programming Interface, API) (Wagner, 2015)。在 GBDI 的架構中，使用者經由雲端平台的應用程式使用雲端資料庫中的空間大數據，提出使用需求並使用平台中的工具或第三方開發的工具，以平台的雲端計算進行運算分析，再藉由應用程式將輸出結果回傳給使用者，而這些的運作都是在雲端上完成，因此可大幅減少資料傳送時間，並提升資料的重複使用性，並以雲端計算能力提升效能。以慕尼黑 CloudEO 公司的商業模式(Business Model)為例詮釋 GBDI 的觀念(圖 1)，CloudEO 平台包含空間資料(Content Library)、應用程式(API)、產品(Store)，結合三者提供服務(Service)，使用者直接使用 CloudEO 平台中的資料及應用程式生產所需的產品，形成一種新商業模式，GBDI 的價值是整合不同資源，提供服務並且解決問題的方案，而不僅止於可以儲存大量數據的平台。

隨著數據量快速增加及多樣性的提高，資料處理演算法也變得越來越複雜，數據的共享與彼此之間的合作對於 EO 社群日益重要，因此必須重新思考地球觀測數據組織方式，如透過網路向所有的使用者發布數據已經變得很不實際。這就是為什麼 GBDI 的中心思想是“將使用者及應用工具帶給數據(Bring the users (needs) and their software (API) to the Data)”，不是將數據直接提供給使用者，而是希望從數據帶來需求及解決問題的應用。當這種模式開始實施後，會影響 EO 社群的組織方式，未來將會有越來越多的 GBDI 建立，形成一個大型的 EO 數據社群，也就是所謂的“分散式節點”(Node of Data Hub)。另一方面，經由 GBDI 開放平台中的開放資料，亦能從開放資料創造出創新應用，因此 GBDI 是造就 Open Innovation 的重要元素。網路傳輸速度、資料儲存容量及電腦計算能力的提升，促使 GBDI 概念的落實及平

台的商用化，本文目的為介紹現有 GBDI 平台及概念，分析各平台中的數據集及應用範例。

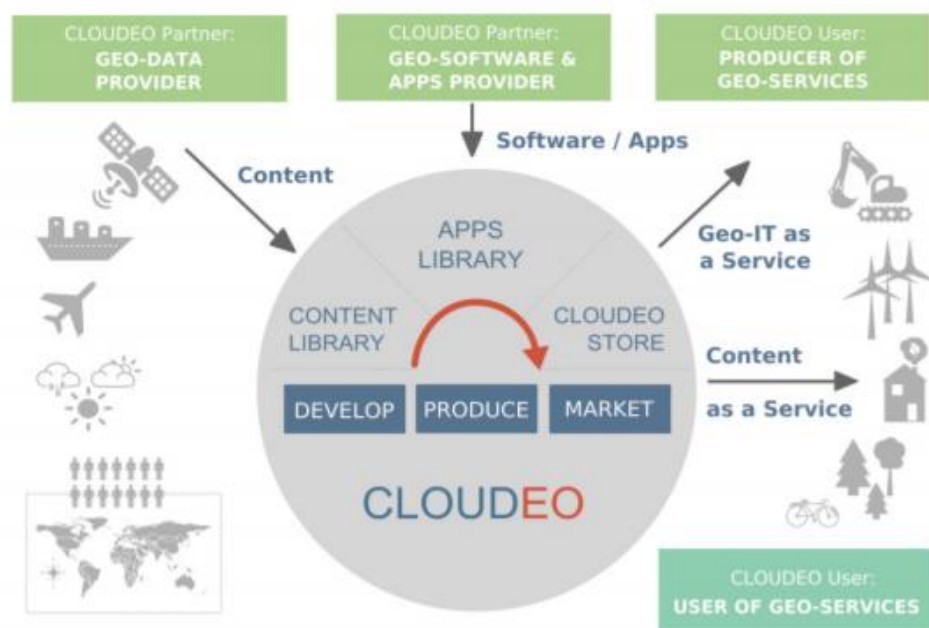


圖 1 CLOUDEO 的架構¹

二、GBDI 現有平台介紹

使用 GBDI 概念建置的平台可分為商業及政府開發兩類，表 1 列舉現有 GBDI 平台的名稱及對應網址，因商業公司提供較多的網路資源進行平台的使用及測試，本文選取 Earth on AWS、GEE、GDBX、Planet Explorer 及 Data Cube 進行分析及介紹。CEMS 以氣候、環境和監測的產品提供為主要目標；Polar TEP 針對極區之研究為目標，提供使用者遠端獲取資料、演算方法、應用程式、運算資料等。CEMS 及 Polar TEP 網頁均有完整的基礎架構說明，但未直接提供使用者測試環境，故在本文中未對這兩個平台進行介紹。

表 1 GBDI 平台總表

編號	平台名稱	平台網址
1	Amazon: Earth on AWS	https://aws.amazon.com/earth/?nc1=h_ls
2	Google: Google Earth Engine (GEE)	https://earthengine.google.com/
3	DigitalGlobe: Geospatial Big Data Platform (GDBX)	https://platform.digitalglobe.com/gbdx
4	Planet lab: Planet Explorer	https://www.planet.com/explorer

¹ Harris Geospatial Solutions, <http://www.harrisgeospatial.com/Learn/Blogs/Blog-Details/TabId/2716/ArtMID/10198/ArticleID/15360/Tops-in-2015.aspx>, 檢索日期 2018 年 5 月。

5	Open Data Cube	https://www.opendatacube.org
6	United Kingdom: Climate, Environment and Monitoring from Space (CEMS)	https://sa.catapult.org.uk/cems
7	ESA: Polar Thematic Exploitation Platforms (Polar TEP)	http://p-tep.polarview.org

(一) Earth on Amazon Web Service

Amazon Web Services (AWS)標榜安全的雲端服務平台，提供運算能力、資料庫儲存、內容交付及其他協助企業擴展和成長的功能。Earth on AWS 利用 Amazon Simple Storage Service (S3)儲存地球觀測相關資料，使用者可以快速取得這些地球觀測資料，進行雲端計算及分析。許多單位開發 GDBI 平台使用 AWS 存放和分析大規模的資料，如 NASA Earth Exchange(NEX)、DigitalGlobe Open Data Program、The Australian Geoscience Data Cube 等，可節省伺服器建置及維護的時間，並能提供快速的雲端資料下載及計算服務。Earth on AWS 提供許多可下載的空間資料集²，例如全球 Landsat 8 衛星影像、NEXRAD 氣象雷達、SpaceNet 機器學習訓練影像、Sentinel-2 衛星影像、Modis 衛星影像產品、OpenStreetMap 地圖資料等，表 2 整理現有 Earth on AWS 的空間資料。

AWS 所提供的服務強調其雲端運算及分析的能力，所有的數據處理分析都於雲端作業，再建立應用程式與他人分享使用，例如 ESRI CloudFormation³以 Earth on AWS 的資料建立 WebGIS 服務、Harris Geospatial Solution 的 ENVI Analytics in the Cloud⁴則使用 AWS 的資料及運算能力處理地球觀測數據，換言之 ENVI 開發特定工具為 Earth on AWS 中應用程式。

Earth on AWS 有許多公開應用範例，本文以 Sinergise 開發的 EO Browser 為例進行說明，EO Browser 是一個使用 Earth on AWS 的公開應用範例，EO Browser 集結 Landsat 5、Landsat 7、Landsat 8、Sentinel-1、Sentinel-2、Sentinel-3 資料搜尋的入口網站，使用者不需要分別至 USGS EarthExplorer 及 ESA Copernicus Open Access Hub 進行資料搜尋，只需在單一 EO Browser 查詢資料，並透過 AWS 下載，提升開放遙測影像的資料搜尋效率。

表 2 Amazon Web Service 數據集

數據集名稱	數據集簡介
Landsat	AWS 目前只提供 Landsat 8 的影像，包含所有 Landsat 8 影像以及 2013 年和 2014 年精選的無雲影

² Amazon: Earth on AWS，<https://aws.amazon.com/tw/public-datasets>，檢索日期 2018 年 5 月。

³ ESRI CloudFormation，<https://s3.amazonaws.com/esriarcgisserverrepository/10.3.1/index.html>，檢索日期 2018 年 5 月。

⁴ Harris Geospatial Solutions，<http://www.harrisgeospatial.com/Learn/CaseStudies/CaseStudies-Detail/TabId/2717/ArtMID/10204/userid/277078/ArticleID/15199/Geospatial-Analytics-in-the-Cloud.aspx>，檢索日期 2018 年 5 月。

	像，並每天持續更新 Landsat 8 影像。
NEXRAD	NEXRAD 是擁有 160 個高解析度都卜勒(Doppler)雷達站資料，可偵測降雨量和大氣流動，雷達站每隔五分鐘傳送一次資料，並用於預測劇烈風暴。
SpaceNet-機器學習影像	SpaceNet 是高解析度衛星影像資料庫和加註標籤(Annotation)的訓練資料，可提供研究人員開發和訓練機器學習演算法。此資料集包含約 1,990 平方公里、解析度為 50 公分的影像，以及 220,594 個建築物區域。
NAIP-國家農業影像計劃	國家農業影像計劃 National Agriculture Imagery Program (NAIP)提供多時期空間解析度 1m 之航空影像，波段有紅色、綠色、藍色、近紅外光波段，可應用於農業用途。
Terrain Tiles	主要以圖磚(Tiles)的形式提供全球數值地形模型。
GDEL-全球社會資料庫	GDEL 專案提供全球不同的媒體如廣播、印刷品和網路新聞的資料，有超過 100 種語言，且可辨識人、地點、組織、主題、來源、情緒、影像和事件。
NASA Earth Exchanges(NEX)	NASA Earth Exchange (NEX)可讓研究人員更輕鬆且更有效率地存取和處理地球科學資料。Amazon S3 提供的 NEX 資料集包括大尺度氣候變遷推估、全球 MODIS 植生指標，以及 Landsat 全球土地測量資料。
OpenStreet Map	OpenStreetMap(OSM)目前可透過 Amazon S3 使用，主要功能為提供地圖、路線和地理環境等。
Sentinel-2	Sentinel-2 每 10 天提供一次空間解析度 10m 影像。系統會定期加入資料，通常在 Sentinel Scientific Hub 發布的數小時後便可取得。
DigitalGlobe	DigitalGlobe 提供高解析度衛星影像可支援緊急計畫、風險評估、監控分級區域和緊急應變、損害評估和復原。同時還包含重大、突發災難的群眾外包損害評估。
MODIS	透過 Amazon S3 使用 USGS 和 NASA 的 MODIS 產品資料。
功能性世界地圖	IARPA 提供可做為機器學習演算法的訓練資料，資料庫包含 62 組類別和 1,000,000 張測試影像。
GOES-環境衛星	美國國家海洋暨大氣總署 National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)同步作業環境衛

	星(GOES)資料，GOES 提供氣象影像和監控北美洲地區的氣象和太空環境。
英國氣象局 天氣預報	英國氣象局全球與區域預報系統 UK Met Office Global and Regional Weather Forecasts (MOGREPS) 的資料，可提供涵蓋英國的高解析度天氣預報和全球天氣預報。

(二) Google Earth Engine

Google Earth Engine (GEE)以 PB(Petabyte)資料量為尺度進行科學分析和地理空間數據可視化(Visualization)的平台，提供大眾、商業及政府使用(Gorelick et al., 2017)。GEE 平台儲存及整理全球開放空間資料，並可使用於全球數據的資料探勘(Data Mining)。開放的空間數據包括四十多年來的歷史地球影像，至少已累積 5.5PB 的數據，且數據集並持續更新影像中。GEE 所開放的數據包括多種地球科學網格(Raster)數據。民眾可以很簡單地將這些數據集導入到自己的環境中，也可以上傳自己的網格(Raster)數據或向量(Vector)數據，作為個人使用或是與他人分享。GEE 所提供的數據分成四大類：影像(Imagery)、地球物理學(Geophysical)、氣候與天氣(Climates & Weather)、人口學(Demographic)，GEE 所開放的數據集整理如表 3。

GEE 有大量及多樣性的公共數據，GEE 平台還提供 JavaScript 和 Python 以及其他應用程式介面，提供使用者對大數據進行分析，因此有廣泛應用，以下列舉 2 個 GEE 的應用案例作進行說明：

1. 全球森林覆蓋變化(Global Forest Cover Change)⁵：由馬里蘭大學的 Matt Hansen 領導的團隊使用 GEE 對十多年的全球森林覆蓋範圍、消失和增加進行了調查。這項研究發表在 Science 雜誌上，分析區域為全球的範圍除了南北極，面積約為 12880 萬平方公里，相當於 Landsat 數據的 1430 億像素(空間解析度為 30m)。為了進行如此廣泛的分析，GEE 在數千台機器上平行計算，自動轉換數據格式、影像投影、分析及輸出視覺化分析成果。

2. 全球森林觀察(Global Forest Watch)⁶：全球森林觀察系統是一個線上動態森林監測系統，主要目的是為了有更好的森林管理和保護機制。全球森林觀察站使用 GEE 來檢視世界森林的變化，使用者可以分析過去十年的數據。2014 年推出至今，已被企業、非營利組織、政府或小群體應用，以防止非法砍伐和確保林木供應透明化。

GEE 的亦有許多公開應用範例，本文介紹兩個讀者可容易使用測試的應用範例：Google Timelapse⁷ 及 GEE Explorer⁸。Google Timelapse 合併 5 百萬張

⁵ Global Forest Change, <https://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>, 檢索日期 2018 年 5 月 23 日。

⁶ Global Forest Watch, <http://www.globalforestwatch.org>, 檢索日期 2018 年 5 月。

⁷ Google Earth Engine, <https://earthengine.google.com/timelapse>, 檢索日期 2018 年 5 月。

⁸ Google Earth Engine Explorer, <https://explorer.earthengine.google.com>, 檢索日期 2018 年 5 月。

衛星影像，提供全球從 1984 至 2016 年間的年度合成影像，使用者不需要自行下載影像，只需選定全球任一區域可產生年度縮時影像，即可觀測該區域 22 年間的變遷。GEE Explorer 以 Web 介面提供使用者增加(Add Data)及計算(Add Computation)平台中的數據集，增加數據可加入全球 Landsat 合成影像及 MODIS 產品等圖層，並運行簡單的分析(如：相加、罩遮等)，最後儲存和輸出成果。

表 3 Google Earth Engine 數據集

數據集類別	數據集名稱	數據集簡介
Imagery	Landsat	提供 Landsat 系列全部的影像，其包含原始資料及反射率影像，可進一步計算 NDVI 和 EVI 等植被指數。
	Sentinel	Sentinel 數據包含 Sentinel-1 和 Sentinel-2，其中 Sentinel-1 數據已經利用 Sentinel-1 Toolbox 預處理，去除 speckle 及地形效應。
	MODIS	各種 NASA 從 MODIS 數據運算後的資料，包括每日影像、16 天 BRDF 校正後的地表反射率，以及植被指數和積雪覆蓋等資料。
	High-Resolution Imagery	自 2003 年以來美國國家農業影像計劃(NAIP)提供地面解析度 1m 美國空中影像，以及多家商業公司所提供的影像。
	Other Imagery Data	來自其他衛星影像也可在 GEE 中使用，包括 Defense Meteorological Satellite Program's Operational Linescan System (DMSP-OLS 自 1992 年以來解析度為 1 公里)。
Geophysical	Terrain	全球 DEM，例如 30m 解析度 Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)數據，以及從更高解析度區域的 DEM 產生出 WWF 的 HydroSHEDS 水文數據庫。

	Land Cover	土地覆蓋數據，例如 NASA 從 MODIS 建立的年度土地覆蓋地圖、ESA 的 GlobCover 及 USGS 國家土地覆蓋數據庫。
	Cropland	農田數據，如美國農業部 NASS 農田數據，以及 Global Food Security-Support Analysis Data (GFSAD)含有農田範圍、農作物趨勢和灌溉來源。
	Surface Temperature	除了原始的 Landsat 熱紅外數據外，還包含多個感測器的陸地與海面溫度數據，例如 MODIS，ASTER 和 AVHRR。
	Other Geophysical Data	GEE 另外提供全球森林變化，生物量估計，燒毀地區和植被連續面積。警報驅動數據庫有 Fire Information for Resource Management System(FIRMS) 和 Global Forest Watch 的 FORMA 警報。
Climate & Weather	Atmospheric Data	大氣數據之臭氧數據來自於 NASA 的 TOMS 和 OMI 以及 MODIS 每月網格大氣數據。
	Weather	天氣預報有 NOAA Global Forecast System (GFS)和 NCEP Climate Forecast System (CFSv2) 以及 Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) 感測器數據。
	Climate	來自 NCEP / NCAR 歷史分析數據，如 NLDAS-2 和 GridMET 等網格氣象數據，以及愛達荷大學 MACAv2-METDATA 氣候模型和 NASA Earth Exchange 小規模的氣候預測。
Demographic	WorldPop	世界各地估計的人口密度數據，包括不同時間點的南美洲、非洲和東南亞地區。

	Malaria Data	GEE 含有由 Oxford Malaria Atlas Project 所提供的數據，描述非洲 Pf malaria 的發病率和流行率。
--	--------------	---

(三) DigitalGlobe GDBX

DigitalGlobe 公司擁有最多商用高解析衛星，其中 IKONOS 自 1999 年開始公尺等級衛星影像資料的接收，DigitalGlobe 至今已累積約 90PB 的高空間解析度衛星資料。為能有效的加值利用這些高解析度衛星影像，DigitalGlobe 開發 GBDX 平台及 gbdxtools 進行大數據資料分析(DigitalGlobe, 2016)，其系統架構是始於使用者的需求，從需求出發提供問題解決方案(如圖 2)。DigitalGlobe 與其他 GBDI 的差異在於 GBDX 使用的大數據資料為 50 公分以下高解析度的影像，例如 WorldView-3、WorldView-2、WorldView-1，其他數據還包含 GeoEye-1、IKONOS、QuickBird、RADARSAT-2 和 Landsat-8，GBDX 的現有資料集整理如表 4。

GBDX 並整合來自 Tomnod 平台的人工標示樣區進行深度學習，故 GBDX 可自動化辨識和量化高解析度衛星影像中各樣的不同物件，以下分別以 GBDX 影像自動尋找儲油槽和偵測奈及利亞的人口中心的應用案例作進行說明：

1.儲油槽辨識應用⁹：Protogen(Protocol Generator)是 GBDX 的工具之一，該工具經由影像處理自動化辨識圓形儲油槽，其目的為估算不同區域儲油總容量，此應用案例配合 AWS 的運算能力，在 15 分鐘內完成 Oklahoma Worldview-2 衛星影像的儲油槽偵測。

2.偵測奈及利亞人口中心¹⁰：人工可以很容易地辨識建築物，但建築物的辨識使用人工群眾外包需要花費許多時間，因此 GBDX 結合 Tomnod 平台的人工標示的建築物區域進行深度學習，將群眾標記的訓練樣本，用於訓練類神經網路辨識建築物區域，然後將訓練得到的模型用於大面積衛星影像進行辨識，目的為偵測人口活動密集區域，該應用案例使用 11 張奈及利亞區域的衛星影像進行辨識，可成功自動化偵測建築物。

本文介紹可使用測試的應用範例即為 GBDX 平台¹¹，註冊登入後即可使用有限的 GBDX 功能，該平台可提供更有效率的資料檢索及視覺得成果展現(Moldestad, 2016)。因為是商用平台，免付費使用者僅能查詢 DigitalGlobe 資料及查看平台中的分析功能(圖 3)，例如土地利用分類等，使用者可透過線上 GBDX University 學習該平台的所有功能。

⁹ GBDX Stories, <http://gbdxstories.digitalglobe.com/oil-tanks>, 檢索日期 2018 年 5 月。

¹⁰ GBDX Stories, <http://gbdxstories.digitalglobe.com/building-detection>, 檢索日期 2018 年 5 月。

¹¹ DigitalGlobe, <https://platform.digitalglobe.com/gbdx>, 檢索日期 2018 年 5 月。

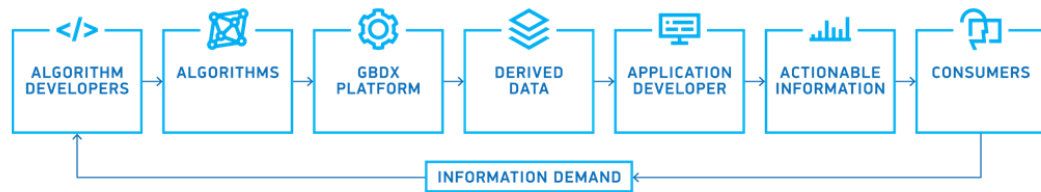


圖 2 DigitalGlobe GDBX 系統架構¹²

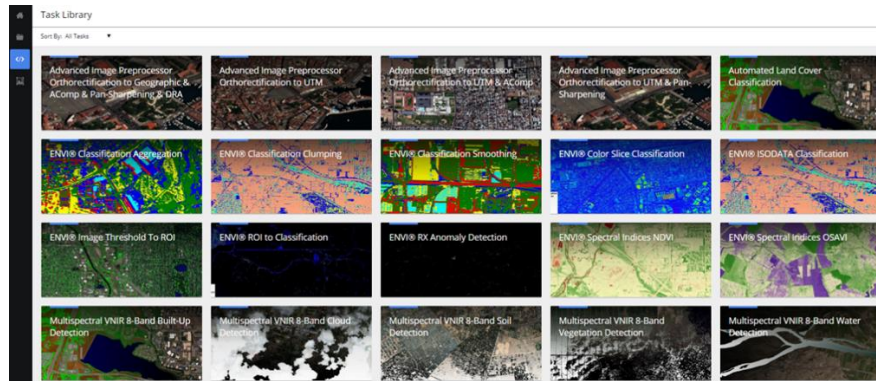


圖 3 DigitalGlobe GDBX 任務程式庫

表 4 GBDX 數據集

數據集名稱	數據集簡介
WorldView-4	2017 年 2 月開始資料收集任務，可提供 0.31 公尺空間解析度的全色態及 1.24 公尺多光譜影像。
WorldView-3	2014 年 8 月開始資料收集任務，可提供 0.31 公尺全色態影像，1.24 公尺八波段多光譜和 3.7 公尺八波段短波紅外(SWIR)影像。
WorldView-2	2009 年 10 月開始資料收集任務，可提供 0.46 公尺全色態影像，1.84 公尺八波段多光譜影像。每日可以收集高達 100 萬平方公里地表影像。
WorldView-1	2007 年 9 月開始資料收集任務，可提供 0.46 公尺全色態影像，每日可以收集高達 100 萬平方公里的地表影像。
GeoEye-1	2008 年 9 月開始資料收集任務，GeoEye-1 收集 0.46 公尺全色態和 1.84 公尺多光譜影像。
IKONOS	IKONOS 為第一個次公尺等級的高解析度衛星影像，IKONOS 包括超過 12 年的 0.8 公尺全色態影像和 3.2 公尺多光譜影像。時間範圍: 1999 年至 2014 年。
QuickBird	QuickBird 收集 0.61 公尺全色態和 2.44 公尺多光譜影像，QuickBird 已繞行地球約 7 萬多圈，已收集約 6.36 億平方公里的高解析度地球影像。時間範圍:

¹² DigitalGlobe，<https://platform.digitalglobe.com/gbdx>，檢索日期 2018 年 5 月。

	2002 年至 2014 年。
RADARSAT-2	2013 年 3 月開始資料收集任務，RADARSAT-2 衛星提供高解析度 SAR 數據，RADARSAT-2 空間解析度為 1 到 100 公尺，單張影像提供 144 至 250,000 平方公里的覆蓋範圍。
Landsat-8	提供大範圍的地表影像，該資料亦可在 GBDX 平台上進行處理。

(四) Planet Labs Explorer

Planet Labs 的微衛星組成現今最大的星群(Satellite Constellation)，微衛星的大小為 10cm x 10cm x 30cm 且重量僅為 4kg 重，微衛星成本相對較低，故可在太空同一軌道佈設許多的微衛星，構成星群對地表進行高時間密度的取樣(Butler, 2014)。微衛星影像相幅小，影像數量很多且數據更新快，為了處理大量微衛星影像，Planet Labs 使用 AWS 進行雲端處理，開發 Planet Platform 做為微衛星影像全自動化處理影像的平台(如圖 4)，該平台每天在雲端處理並改正約 5TB 的影像，以利全球環境監測。Planet Labs 的數據集包含 PlanetScope、Skysat 和 RapidEye 三顆衛星，這些衛星的共同特色是以星群的方式組成，可提升時間解析度，數據集整理如表 5。

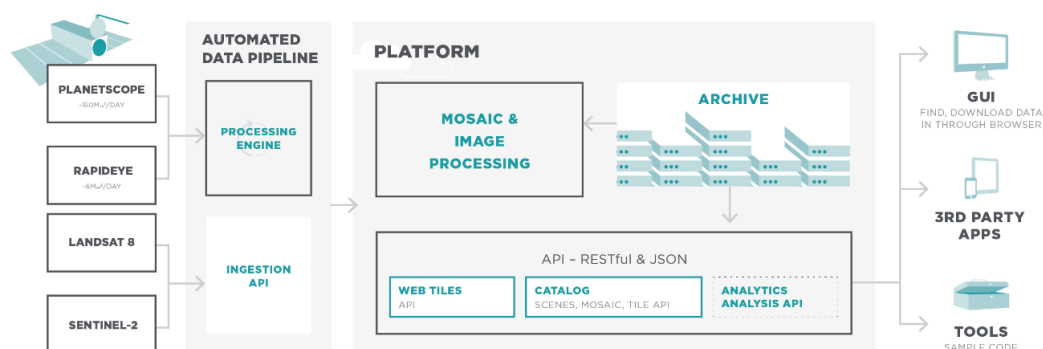


圖 4 Planet Platform 工作流程¹³

太陽能發電是一種重要的綠能，本文以中國太陽能農場¹⁴為 Planet Labs 的應用案例進行討論，為觀察中國太陽能農場的發展，可使用 Planet Labs 星群高時間解析度的特性進行觀測，利用 Planet Labs Explorer 從大量的影像中快速蒐尋 3 公尺空間解析度的時序影像，透過 Planet Labs Explorer 的 API 自動下載時序影像，再透過 geo-detectives 工具以 Descartes Lab's visual search tool 自動化太陽能農場偵測，可成功的偵測多時期太陽能農場的變遷。

Planet Explorer 可免費註冊帳號進行資料的查詢及多時期影像比對分析，

¹³ Planet, <https://www.planet.com/open-california>, 檢索日期 2018 年 5 月。

¹⁴ Planet Stories, <https://medium.com/planet-stories/renewable-solar-energy-spreads-across-the-globe-7d2a164410ae>, 檢索日期 2018 年 5 月 23。

使用者可免費使用 Open California¹⁵資料進行測試，直接在平台中以 Slide 及 Fade 視覺化分析前後期影像的差異，也可以使用 Planet 提供的 API 下載及處理 Open California 的資料。

表 5 Planet Lab Explorer 數據集

數據集名稱	PlanetScope	RapidEye	SkySat
光譜解析度	4 波段 (藍、綠、紅、近紅外)	5 波段 (藍、綠、紅、紅邊、近紅外)	5 波段 (藍、綠、紅、近紅外、全色態)
產品	1.視覺化產品：色彩改正產品 2.分析產品：感測器率定產品		1.視覺化產品 2.全色態產品 3.多光譜產品 4.分析產品
空間解析度	3 公尺	5 公尺	0.8 公尺 (視覺化、全色態、多光譜產品)
			1 公尺 (分析產品)
輻射解析度	8 bits (視覺化產品)		8 bits (視覺化產品)
	16 bits (分析產品)		16 bits (分析、全色態、多光譜產品)
位置精度	小於 10 公尺之均方根誤差		

(五) Data Cube

Data Cube (Lexis et al., 2017)是由地球觀測衛星委員會 CEOS (The Committee on Earth Observation Satellites)與澳洲太空中心(Australian Space Agency)所發展之技術，Data Cube 平台採用 Open Source 的理念發展，開發可以透過 Open Data Cube¹⁶取得軟體自行架設 Data Cube 平台，而使用者則可以登入架設完成的 Data Cube 平台，使用平台中的資料及應用程式進行資料處理。Data Cube 平台中的資料影像主要為 Landsat-5/7/8、Sentinel-1/2、ALOS-1/2、MODIS 衛星的開放資料，依開發者的需求建置所以資料，將時序衛星影像依相同的網格大小堆疊形成 Cube，平台中同時提供特定應用的方法及工具(如水質及植生變異等)，經由雲端運算回傳成果，使用者亦可使用 Python 程式語言

¹⁵ Planet, <https://www.planet.com/open-california>, 檢索日期 2018 年 5 月。

¹⁶ Open Data Cube, <https://www.opendatacube.org>, 檢索日期 2018 年 5 月。

開發程式存取平台中的資料。因 Data Cube 影像已經過幾何及輻射前處理，Data Cube 可提供即可分析資料(Analysis Ready Data, ARD)，使用者不需要自行收集資料及進行資料前處理，使用者可直接對同一位置多時間影像進行分析，可降低使用者進行資料收集及前處理的時間，大幅提升資料處理效能。此外，多時序衛星資料可進行更長週期的時空分析。由於不同開發者可以自行建置 Data Cube 平台行成節點，為因應 GBDI 的發展，OGC 也正在研擬影像數據 DataCube 的開放標準。

目前使用此架構建置 Data Cube 平台的節點包含澳大利亞、瑞士、美國、台灣、越南等。台灣地區由行政院農業委員會林業試驗所、國家高速網路與計算中心、國家太空中心等單位推動及架設 Taiwan Data Cube(邱祈榮，2017)。瑞士的 Data Cube 平台相對成熟，故以為 Swiss Data Cube (SDC)¹⁷ 為例進行說明，Data Cube 的介面可以分成前台 Web Interface 使用者介面及後台 Jupyter Notebook 開發介面，使用者登入 Web Interface 後，可設定工作區域及設定使用資料的條件(如日期、感測器種類等)，針對選取的資料集使用平台中的應用程式進行 Cloud Coverage, Coastal Change, Custom Mosaic, Fractional Cover, NDVI Anomaly, Slip, Urbanization, Water Detection, Water Quality TSM 等處理，以平台的計算能力進行運算後，將運算成果輸出。如果要將平台的資料輸出或進行特定處理，可使用後台的介面，以 Python 語言進行應用程式開發。

三、應用案例：以 GEE 平台建立台灣地區無雲影像

被動式光學衛星影像易受天候及雲層的影響，造成衛星影像在地表判識上的困難，因此整合多張不同時期遙測影像產生無雲影像為實務應用的重要課題。產生低含雲量影像必須使用多張不同時間的影像，主要的工作為偵測雲區域及填補，有雲影像區域以無雲影像區域取代。GEE 平台中包含時序 Landsat 影像，且影像已經過幾何對位及輻射改正，因此可對每個像元的時序反射值進行分析，以挑選無雲的像元，經由每個像元的逐點分析，可獲得含雲量較低的影像。本章節將以 GEE 平台進行應用案例分析，研究目的為建立台灣地區無雲影像，過程中使用 GEE 的時序 Landsat-8 影像，並採用 GEE 的使用者開發介面經影像分析函數挑選無雲像元，並以 GEE 的雲端計算服務完成計算，再將最終成果匯出進行分析。本項試辦之目的為呈現 GBDI 平台的應用潛力，故過程中未考慮地物變遷之影響。

(一) 研究方法

GEE 平台使用者開發介面提供許多影像處理及分析功能，例如影像分類、地物變遷、地表溫度與時序影像分析等，其中時序影像分析功能可使用多種運算方式，如計算某一地理位置對應時序像素值的最小值、中值、平均值、標準差、任意百分數等，以便在空間中同一位置但不同時間軸上選取欲獲得之像素

¹⁷ Swiss Data Cube, <http://www.swissdatacube.org/>, 檢索日期 2018 年 5 月。

值。因為雲通常有較高的反射值，本案例將使用時序分析功能，挑選反射值較低的像素值產生低含雲量影像。研究中分別計算時序影像上各像素之最小值(Minimum)、中值(Median)與後百分位第五位數(Last 5%)，此作法的概念為在時序資料中選取非雲的像素，並將篩選出的像素合成一張新的影像。

研究案例使用 Landsat-8 衛星影像，影像等級為經過幾何對位及輻射改正之 Level-1T，影像空間解析度為 30 公尺，波段數共有 11 個，測試區域為台灣本島，時序影像日期範圍為衛星發射 2013 年 2 月 11 日至 2018 年 2 月 28 日。

(二) 影像成果評估

研究成果分別使用(1)不同像素值選取方法及(2)不同時間長度的影像，並先挑選兩個樣區(北部都市區及南部山區)進行分析，完成分析後選擇最適合的方法建立台灣本島低含雲量影像。第一部分評估使用不同計算方式獲得的影像成果，本研究分別使用最小值、中值與後百分位第五位數三種方法各別合成一張新的影像，時序影像日期範圍為 2013 年 2 月 11 日至 2018 年 2 月 28 日。表 6 比較三種計算方式所獲得的成果，其中，選取時序訊號中之中值的成果的含雲量最高，原因是台灣屬於副熱帶氣候且四面環海，大部分時間被雲覆蓋。由於雲在影像中的像素值比其他地物來得高，計算最小值的成果含雲量最少，取最小值之像素雖能夠排除雲像素，不過卻會選取到雲陰影，造成影像中出現許多陰影。成果最佳者為計算後百分位第五位數，此計算方式不僅可排除影像中的雲還能夠降低陰影的影響，因此建議採用後百分位第五位數方法。

表 6 不同計算方式之影像成果

	最小值	中值	後百分位第五位數
都市區			
山區			

第二部分評估不同影像時間所獲得的成果，影像合成的方式為計算後百分位第五位數，影像時間分成三個月為一季、一年與所有影像(2013 年 2 月 11 日

至 2018 年 2 月 28 日)。評估的方式為量化所有影像成果的雲含量。研究中採用相對含雲量評估成果之間的雲量,首先在成果影像中人工圈選出雲區域並計算雲的閾值(如圖 5 之紅色框線區域),為能圈選具代表性或可靠度高的雲區域,人工圈選時僅選擇雲層較厚且面積較大的區域,2016 年的資料中,都市區及山區影像中有明確雲區域的影像各別有 3 張及 2 張(表 7),再將兩樣區各自最小的閾值做為評估像素是否為雲的依據,大於此門檻值的像元有較高的機率是屬於雲,實驗影像已完成輻射改正,故影像灰度值採用同樣基準,研究中都市區的雲閾值設定為 0.205,山區則設定為 0.105。最後計算出每張去雲後影像之含雲量(表 8),從表 8 得知,4-6 月的影像含雲量比其他季高,原因是 5~6 月為台灣的梅雨季節,這段期間經常下雨。此外,時間越長,資料量越多,合成影像中的含雲量越少,以一年期合成之影像的含雲量,在兩個區部區域含雲量均小於 1%。



圖 5 人工圈選雲區域示意圖

表 7 各季雲閾值計算表

影像日期	閾值
2016.01~03	0.25 (都市區)
2016.04~06	0.22(都市區) / 0.105(山區)
2016.07~09	0.106 (山區)
2016.10~12	0.205 (都市區)

表 8 相對含雲量統計表

		都市區		山區	
		雲 (pixel)	相對 含雲 量(%)	雲 (pixel)	相對 含雲 量(%)
3 個月	2016.01~03	5879	1.89	1008	0.28

3 個月	2016.04~06	29816	9.57	6473	1.81
3 個月	2016.07~09	2088	0.67	1668	0.47
3 個月	2016.10~12	3013	0.97	1720	0.48
1 年	2016.01~2016.12	237	0.08	674	0.19
3 個月	2017.01~03	73081	23.47	2663	0.75
3 個月	2017.04~06	213098	68.43	16072	4.50
3 個月	2017.07~09	3729	1.20	3899	1.09
3 個月	2017.10~12	2385	0.77	2208	0.62
1 年	2017.01~2017.12	648	0.21	1460	0.41
5 年	2013.02.11~2018.02.28	207	0.07	776	0.22

(三) 影像成果-台灣地區無雲影像

最後，以 GEE 平台將 5 年的時序 Landsat-8 合成為一張台灣本島無雲影像，在 GEE 平台產生成果後可將成果輸出，輸出影像為 30 公尺空間解析度，影像維度為 24950pixels 及 39698pixels。比較最小值及後百分位第五位數在 GEE 平台的運算時間僅需 15 至 30 分鐘，因為計算不是在使用者端，而是在伺服器端，故運算效能佳。採用 GEE 平台可迅速取得大範圍資料，並能減少去除雲層的人力與時間，進一步提升影像處理的效率。

表 9 台灣地區無雲影像

計算方式	最小值	後百分位第五位數
影像處理時間	15 分鐘	30 分鐘
2013.02.11 ~2018.02.28		

四、結語及展望

為因應全球環境議題，空間分析需要利用不同來源的大數據進行更多的時空分析，而這些數據的整合及運算量都是一大挑戰。傳統的遙測分析，使用者需要下載空間資料到電腦中，使用安裝在電腦中的工具進行運算，最後產出成果。當空間資料的資料量過於龐大時，傳統的方法將無法有效率的進行分析，而 GBDI 的潛力就是將空間大數據集整在雲端平台中，利用雲端網絡節點整合不同來源資料，並使用雲端計算能力有效率的進行空間資料分析，更進一步建立了新的空間巨量資料處理模式。

GBDI 重要的發展方向包含機器學習(Machine Learning)及時序分析(Time Series Analysis)等，面對遙測影像隱含著許多隱性的知識，從大量影像資料(Data)自動化辨識資訊(Information)是必要的發展。對於深度學習而言，高精度來自大量異質訓練，而大量異質訓練則來自大量的數據，而 GBDI 就有機會提供此項服務，搭配雲端的高效能運算，使用者可以更有效率的解決不同議題或開發新的應用。此外，GBDI 更將傳統的多時期(Multi-temporal)影像分析帶入時序影像分析時代，建立適合進行長週期的時空分析方法。

GBDI 除了解決巨量資料處理的問題，也帶來新的機會與挑戰(Klein et al., 2017; Robinson, et al., 2017)，例如全球影像資料的網格坐標系統，傳統遙測分析的網格系統不易全球尺度的分析，例如使用橫麥卡托投影系統會有邊界的問題，而使用簡單的經緯度網格系統，則會造成畸變。因此，必須開發可用於全球尺度分析網格系統，如離散式全球網格系統 (Discrete Global Grid Systems) (Purss et al., 2016)等。GBDI 帶來更大的挑戰是，當資料的取得與運算都不是難題時，如何從地球觀測衛星資料更深入的瞭解環境議題，或如何從既有的資料中創造新的價值。

臺灣現已使用 OGC OpenDataCube 為架構建置空間大數據平台，該平台現已整合台灣地區的 Landsat 系列歷史衛星影像。福衛二號自 2004 年至 2016 年間，已取得大量台灣地區的全色態 2 公尺及多光譜 8 公尺之衛星影像，福衛二號衛星影像可提供比 Landsat 衛星更佳的空间解析度，具有空間解析度的優勢，增加台灣地區衛星影像可促進不同領域之多元應用發展。此外，為因應人工智慧在遙測方面之應用需求，建立適用台灣地區的訓練資料集也是發展台灣空間大數據平台的一項重點工作。

就需求面發展而言，經由資料集中管理及平台的運算能力，可以提升使用者資料收集及處理效率，對時序資料分析及多元資料融合的應用需求，有顯著的助益；此外，處理效率的提升，也可以滿足更多大範圍資料分析的應用需求。就資料面發展而言，現有平台以遙測影像資料為主，許多科學應用都需要現地調查資料或地真參考資料做為系統之校正，整合地真參考資料可提供定性及定量的分析。就功能面發展而言，平台提供使用者自行開發應用程式的環境，為能減少程式重複開發所需的時間，應建立應用程式的共享機制，以提升應用程式的重複利用性。

致 謝

本研究承蒙財團法人國家實驗研究院國家太空中心支援得以順利完成，謹此致謝。

參考文獻

- 邱祈榮，2017，國際 Data Cube 最新發展，*台灣 Data Cube 使用研討會*。
- Butler, D., 2014, Many eyes on Earth, *Nature*, 505(7482), pp. 143-144.
- Casu, F., M. Manunta, P. S. Agram and R. E. Crippen, 2017, Big remotely sensed data: Tools, applications and experiences, *Remote Sensing of Environment*, 202, pp.1-2.
- DigitalGlobe, 2016, Creating business value from high resolution building footprints and building attributes at continental scale, *Proceedings of the 15th GSDI World Conference*: Taipei.
- Gorelick, N., M. Hancher, M. Dixon, S. Ilyushchenko, D. Thau and R. Moore, 2017, Google earth engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone, *Remote Sensing of Environment*, 202, pp.18-27.
- Klein, T., M. Nilsson, A. Persson and B. Håkansson, 2017, From open data to open analyses—New opportunities for environmental applications?, *Environments*, 4(2), 32.
- Lewis, A. S. Oliver, L. Lymburner, B. Evans, L. Wyborn, N. Mueller, G. Raevksi, J. Hooke, R. Woodcock, J. Sixsmith, W. Wu, P. Tan, F. Li, B. Killough, S. Minchin, D. Roberts, D. Ayers, B. Bala, J. Dwyer, A. Dekker, T. Dhu, A. Hicks, A. Ip, M. Purss, C. Richards, S. Sagar, C. Trenham, P. Wang and L. W. Wang, 2017, The Australian geoscience data cube—Foundation and lessons learned, *Remote Sensing of Environment*, 202, pp.276-292.
- McFedries, P., 2011, The coming data deluge. *IEEE Spectrum*, 48 (2), 19.
- Moldestad, Ø. Y., 2016, Data access interface for innovation on earth-Observation data, *Proceedings of the Master's thesis*: Norway.
- Purss, M.B.J., P. Peterson, R. Gibb, F. Samavati and P. Strobl, 2016, Discrete global grid systems for handling big data from space, *Proceedings of the 2016 Conference on Big Data from Space 2016*: Santa Cruz de Tenerife.
- Robinson, A. C., U. Demšar, A. B. Moore, A. Buckley, B. Jiang, K. Field, M. J. Kraak, S. P. Camboim and C. R. Sluter, 2017, Geospatial big data and cartography: Research challenges and opportunities for making maps that matter, *International Journal of Cartography*, 3(sup1), pp. 1-29.
- Sugumaran, R., J. W. Hegeman, V. B. Sardeshmukh and M. P. Armstrong, 2015, Processing remote-sensing data in cloud computing environments, *Remote Sensing Handbook*, pp.549-558.

Wagner, W., 2015, Big data infrastructures for processing Sentinel data, *Photogrammetric week*, 15, pp.93-104.

簡化 e-GNSS 地籍測量作業程序之探討

—以北部實驗區為例

葉大綱^{1*}、張淑娟²

論文收件日期：107.03.07

論文修改日期：107.05.29

論文接受日期：107.06.08

摘 要

隨著GNSS的發展成熟，一般使用GNSS靜態測量來獲得圖根點及坐標資訊。近年來，使用網路即時動態定位技術已成為趨勢，具有即時性及便利性，且臺灣從原有的e-GPS升級到e-GNSS可進一步提升效率，因此，本研究的主軸為探討e-GNSS系統利用簡化流程觀測加密控制點及圖根測量，分析測量點位精度。將e-GNSS系統(使用TAIWAN系統及TTG_TWD97 系統)中用於圖根點測量中，研究區域在桃園航空城及新北市樹林地政事務所轄區範圍測量，與已公告確定之TWD97 圖根坐標進行比較，本研究分別使用Case A(接收 180 筆固定解，兩次相隔一小時)及Case B(接收 10 筆固定解，共收十次，每次需重新初始化)兩種方法，分析測量時間和精度的關係，兩者成果皆符合現有作業規範。本研究認為Case A精度相對Case B高、但Case A較耗時間、Case B較省時間，需要高精度部分建議採行Case A，工作可允許誤差大於10%左右，且效率較高者，建議可採行Case B的簡化作法。

關鍵詞：三維坐標轉換服務平台、地籍測量、電子化全球衛星即時動態定位系統、圖根測量

¹ 教授，國立臺北大學不動產與城鄉環境學系。

² 碩士生，國立臺北大學不動產與城鄉環境學系。

* 通訊作者，TEL: (02)86741111 轉 67430，E-mail: bigsteel@mail.ntpu.edu.tw。

Evaluation of simplified e-GNSS operating procedure for cadastral surveying: case study on North Taiwan

Ta-Kang Yeh^{1*}, Shu-Chuan Chang²

Abstract

With the development of GNSS, people often use static positioning to get mapping control point and coordinates data. For the past few years, the use of VRS-RTK technology has become a trend with its instantaneity and convenience. Besides, Taiwan moves forward from using e-GPS to e-GNSS, which improves work efficiency a lot. Therefore, The purpose of this study was to investigate using e-GNSS simplified-process measuring densification control point and supplementary control survey. And analysis accuracy of the observation result. Our study area was in the jurisdictional area of Taoyuan Aerotropolis and Shulin Land Office. Applying e-GNSS system (using TAIWAN system and TTG_TWD97 system) to the surveying of the root point, and Comparing our results with TWD97 map root coordinates (which have been announced). In this thesis, we used Case A method (receiving 180 fixed solutions, with a one-hour interval between each) and Case B method (receiving 10 fixed solutions, each requiring re-initializations) respectively to analyze the relationship between time measurement and accuracy. Both results are in line with existing operation. It was discovered that the accuracy of Case A is better than Case B, however, it takes more time. As the result, in case of high-accuracy demand, Case A is suggested. Otherwise, if the task range of allowable error more than 10%, which has higher efficiency, Case B was suggested.

Keywords: Cadastral surveying, e-GNSS, Supplementary control point surveying, TTG

¹ Professor, Department of Real Estate and Built Environment, National Taipei University.

² Master Student, Department of Real Estate and Built Environment, National Taipei University.

* Corresponding Author, Tel: +886-2-86741111 ext. 67430, E-mail: bigsteel@mail.ntpu.edu.tw.

一、前言

傳統控制測量作業模式是用全站儀經緯儀測角測距為主再配合基線邊長之平差求解(尹鍾奇, 1994), 然而測量作業須花費人力至少三人, 對於大範圍的控制測量來說, 施測時間緩慢與消耗體力、精力為最大缺點。因此於 2007 年網路發達時代, 已完成全國 e-GPS 即時動態定位系統衛星定位基準站, 結合無線通訊技術及虛擬基準站, 用於測量加密控制點及圖根點, 增加作業效率、減少人力及提高精準度。

在 e-GPS 系統中, 雖然可以透過虛擬基準站即時動態定位(Virtual Reference Station Real-Time Kinematic, VRS-RTK)服務技術, 其定位精度可達公分等級。Vollath *et al.*(2001)提出密集的參考站對 VRS-RTK 即時動態測量有更高精度, 也增加可靠性和降低初始化時間, 但由於電離層和對流層等效應之影響, 在觀測中仍含有系統誤差, 應有轉換參數提供使用。在臺灣地區, 王敏浩(2005)、簡燦榮(2007)研究以花蓮、宜蘭重測區, 蒐集以 e-GPS 系統實測已知點進行轉換參數, 平均距離誤差為 2.7、1.9 cm, 並於成果中建議以同一年度之重測區域轉換求解出各區域適當之轉換參數, 於日後複丈業務時更有效率。

然此一系統必須面對的是法定公告坐標與真實坐標不一致的問題, 系統誤差量對實際測量結果仍有顯著影響, 故利用 e-GPS 系統觀測後再利用坐標轉換參數進行改正, 始能得到較高精準之坐標成果(Yeh *et al.*, 2012)。內政部國土測繪中心(2007)應用全國性 e-GPS 即時動態定位系統辦理加密控制及圖根測量, 以各級基本控制點為依據, 經分析 e-GPS 測量成果與原坐標成果間有系統誤差存在, 並搭配六參數轉換及最小二乘配置法進行套和計算, 獲得高精度測量成果。陳坤煜(2010)、林偉祥(2011)研究 e-GPS 之應用精度, 以南投、桃園地區為待測圖根點, 分別以四參數及六參數轉換方式進行框架整合, 平均距離誤差為 3.5、1.5 cm, 皆達到符合地籍測量實施規則之精度要求。Nordin *et al.*(2009)研究以多次測試虛擬參考站即時動態性能進行評估, 有多個參考站使得 VRS-RTK 接收訊息, 較顯著提高精度, 認為增加觀測次數可增加精準度。而在內政部國土測繪中心(2014)、莊峰輔等(2016)分析 e-GNSS 測量成果測試採前 10 筆、前 30 筆及前 180 筆固定解, 測試結果 e-GNSS 觀測 10 筆固定解之精度與觀測 180 筆固定解之精度無顯著差異。

全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)從美國 GPS、俄羅斯 GLONASS、歐盟 Galileo 和中國 BDS 等, 進而創造出多星之全球導航衛星系統一詞。目前 GPS、GLONASS 技術可勘測到厘米的需求並有更高的精度, 利用接收信號的訊息, 使用 GPS 和 GLONASS 組合, 並接受額外的信號(Vollath *et al.*, 2002; Landau *et al.*, 2002; Parkins, 2011)。e-GNSS 系統採用 VRS-RTK 技術, 測量成果坐標系統為 e-GNSS 系統與法定坐標系統不同, 如欲獲得法定坐標, 需辦理已知控制點連測並進行坐標轉換與最小二乘配置計算(葉大綱等, 2014); 過往 e-GNSS 系統測量成果欲轉換至法定坐標系統時, 無法於測量現場立即獲得所需法定坐標成果; 現今內政部國土測繪中心(2014)利用建立三維即時坐標轉換輔助定位技術, 解決 VRS-RTK 測量成果與法定坐標系統不同之情況, 讓使用者在測量時可即時獲得法

定坐標系統成果，轉換成果平面精度優於 5 cm，高程精度優於 10 cm，節省測量工作成本與時間。

而臺灣 e-GNSS 系統規範中，e-GNSS 系統係指雙星(GPS、GLONASS)定位服務並提供三維即時坐標轉換服務，雙星定位因此接收更多衛星訊號，可快速完成初始化作業。本研究運用 e-GNSS 於政府已公告法定坐標之控制點上進行觀測，比較不同外業測量方法之效率與精度，期望能夠提出較為簡便卻又不失精度之 e-GNSS 地籍測量作業程序。目前臺灣地籍坐標以 TWD67、TWD97 及 TWD97[2010]為主，並無規範要使用相同框架，以各縣市地政機關之便利性為主；目前各機關多採用 TWD97，故本研究以 TWD97 法定坐標為主。此外，內政部國土測繪中心即時動態定位已完成升級，配合軟、硬體設備的現代化效能提升，整合為五個不同的登錄點，各登錄點坐標系統及 RTCM 版本內容及涵蓋範圍如表 1 所示。

表 1 登錄點提供服務表(內政部國土測繪中心，2017)

登錄點名稱	服務內容	測量成果坐標系統	RTCM 版本
TAIWAN	臺灣本島 VRS-RTK服務	e-GNSS	RTCM 3.1
TAIWAN_RTCM23	臺灣本島 VRS-RTK服務	e-GNSS	RTCM 2.3
Kinmen_Mazu_Penghu	金門、馬祖及澎湖 VRS-RTK 服務	平面：TWD97 高程：TWD97 橢球高	RTCM 2.3
TTG_TWD97	臺灣本島三維即時坐標轉換 VRS-RTK 服務(TWD97)	平面：TWD97 高程：TWVD2001 正高	RTCM 3.1
TTG_2010	臺灣本島三維即時坐標轉換 VRS-RTK 服務(TWD97[2010])	平面：TWD97[2010] 高程：TWVD2001 正高	RTCM 3.1

本研究以 e-GNSS 系統獲得坐標成果，在 2014 年以前以 e-GPS 系統實際觀測資料後，再後處理得到轉換後坐標然後套繪圖幅；現今以 e-GNSS 系統獲得即時坐標，可再區分為三維即時坐標轉換服務(設定之登入點為 TTG_TWD97)，以及接收後需要後處理坐標轉換(設定之登入點為 TAIWAN)兩種方式。故本研究考量到過去利用 e-GNSS 進行加密控制及圖根測量之坐標作業方式過於繁瑣，故以 e-GNSS 觀測桃園航空城的控制點並進行分析，探討其坐標之精度；並針對三維即時坐標轉換服務之觀測時間與次數，是否為影響測量成果精度之主要原因，進而評估簡化外業方法之可行性，並分析外業觀測時間與定位精度之相關性，希可簡化現有規範之作業流程為本研究最主要之目的。

綜合而論，如何以簡化作業流程方式獲得到 e-GNSS 系統之高精度坐標，運用 e-GNSS 系統接收坐標成果來分析，進而評估臺灣地區坐標成果之精度及簡化量測

時作業流程，從而探討以 e-GNSS 系統測量區域性高精度之即時坐標，為本研究的主要動機與目的所在。

二、原理介紹

VRS-RTK 即時動態定位技術的基本是由多個 GNSS 基準站全天候連續地接收衛星資料，並經由網際網路或其它通訊設備與控制及計算中心連接，彙整計算產生區域改正參數資料庫，藉以計算出任一移動站附近之虛擬基準站的相關資料，所以在基準站所構成的基線網範圍內，RTK 使用者只需在移動站上擺設衛星定位接收儀，並將相關定位資訊透過以全球行動通訊系統為基礎的整合封包無線電服務技術等無線數據通訊傳輸技術及美國國家海洋電子學會專為 GNSS 接收儀輸出資料所訂定之標準傳輸格式傳送至控制及計算中心，並據以計算虛擬基準站之模擬觀測量後，再以「國際海運系統無線電技術委員會」(Radio Technical Commission for Maritime, RTCM)所制定之差分 GNSS 標準格式回傳至移動站衛星定位接收儀，進行『超短基線』RTK 定位解算，即可獲得公分級精度定位坐標(如圖 1)。

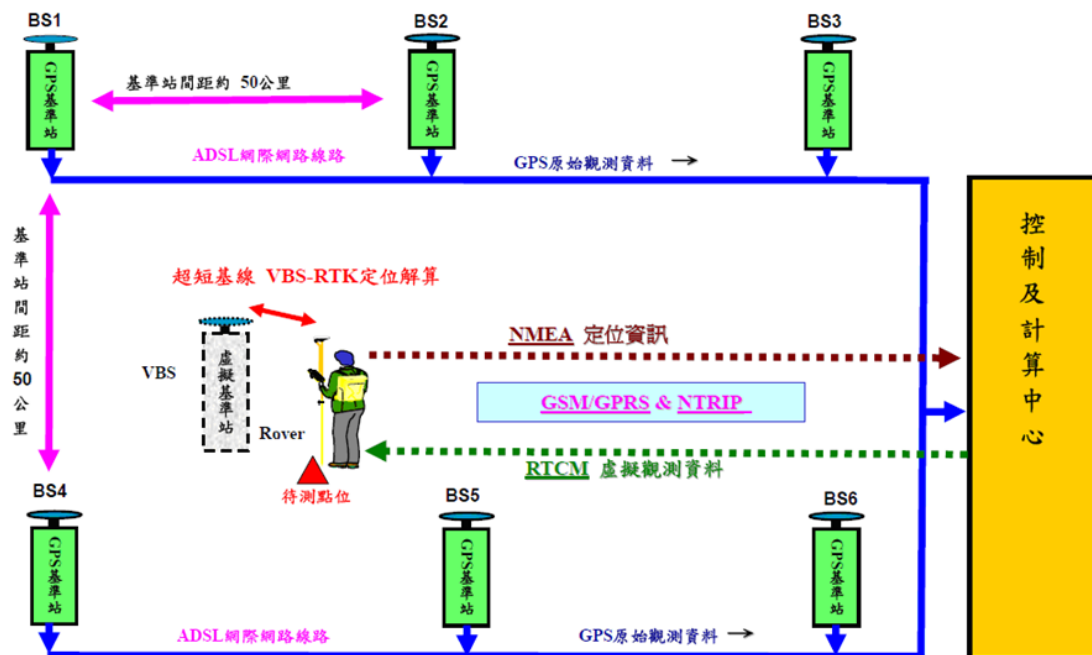


圖 1 VRS-RTK 定位原理示意圖(內政部國土測繪中心，2014)

內政部國土測繪中心為順應國際衛星定位邁向潮流趨勢，具備優質的寬頻網路及行動化的無線數據傳輸環境，於 2014 年完成系統軟硬體設備全面更新，提供雙星定位服務主要工作項目為系統軟硬體的現代化升級，邁向 GNSS 雙星的新里程碑(內政部國土測繪中心，2014)。計算軟體則於 2013 年率先改版，將 e-GNSS 即時動態定位系統之定位核心軟體從 Trimble GPSNet 升級為 Trimble PIVOT，完成各項功能服務驗證後，並針對硬體設備及軟體設定作細部調整，測試與系統營運相關之後臺管理、帳務計算及即時監控等功能，對外提供 GNSS 服務。並利用 RTCM3.1 Type

1021 及 Type 1023 之資料格式，分別將坐標轉換七參數、殘差網格修正模型與網格內插計算方式傳送，可即時將測量成果轉換至 TWD97、TWD97[2010]三維坐標，更可即時獲得 TWVD2001 正高，可節省連測已知控制點和計算坐標轉換與最小二乘配置的繁複程序。目前 e-GNSS 整合為五個不同的登錄點，各登錄點坐標系統及 RTCM 版本內容及涵蓋範圍如圖 2 所示。

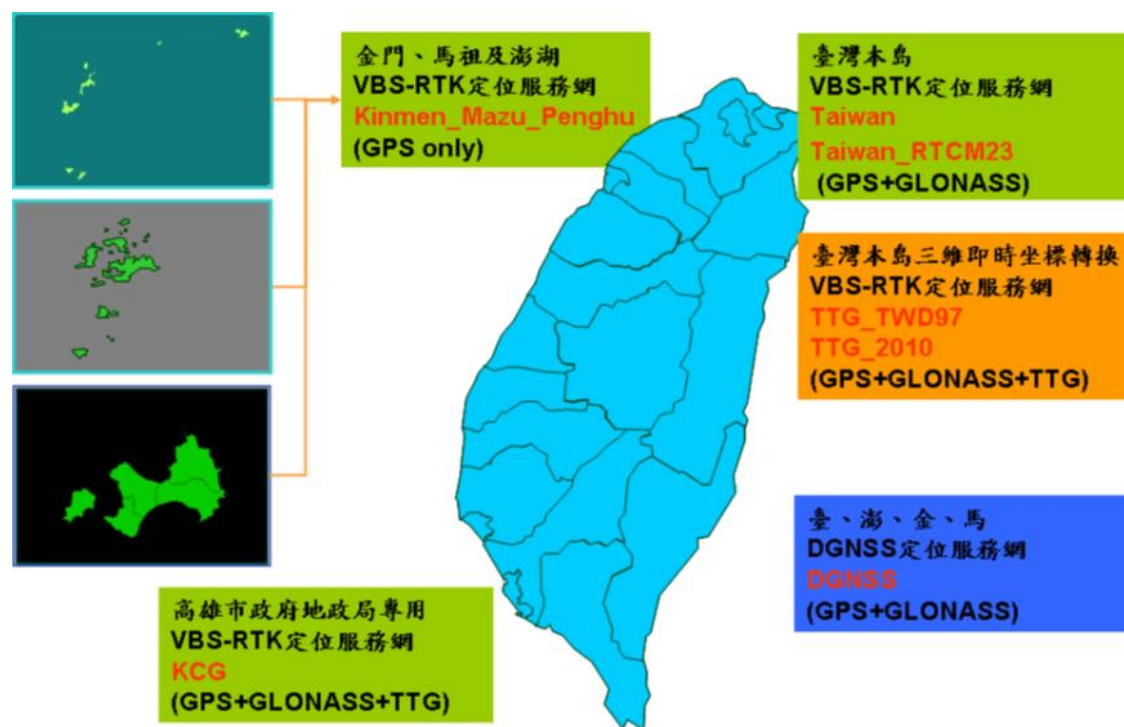


圖 2 e-GNSS 登錄點及服務範圍(內政部國土測繪中心，2014)

三、研究設計與實驗區域

e-GNSS 基準站即時三維坐標經由全天候 24 小時連續觀測衛星資料解算而來，測得已知控制點的 TWD97 坐標；原則採以 e-GNSS 三維坐標為依據內政部國土測繪中心訂頒「採用虛擬基準站即時動態定位技術辦理加密控制及圖根測量作業手冊」規範，每個測點至少重覆觀測兩測回，須間隔 60 分鐘，資料記錄率為 1 Hz，連續測量 180 筆固定解成果，相對於 e-GNSS 坐標系統之資料品質為平面精度小於 2 cm，高程精度小於 5 cm。

本研究考量部分測量工作無法在單一點位相隔一小時再重覆觀測，為研究 VRS-RTK 觀測時間對轉換精度之影響，測試由內政部國土測繪中心原本規範每測回 180 筆固定解，須間隔 60 分鐘後重覆觀測，稱為 Case A，調整為僅取每測回 10 筆固定解並重新初始化重覆觀測測試十次，稱為 Case B(如圖 3)。上述兩種作業方式的主要差別在於，前者需要等候一小時再進行重複觀測，後者不需等候但須進行較為密集之重複觀測；若以外業時間來說，Case A 的作法觀測點位需時 65 分鐘，Case B 的作法則僅需 5 分鐘，希望本研究提出的簡化流程可在不失精度的情況下增加外業的靈活性。

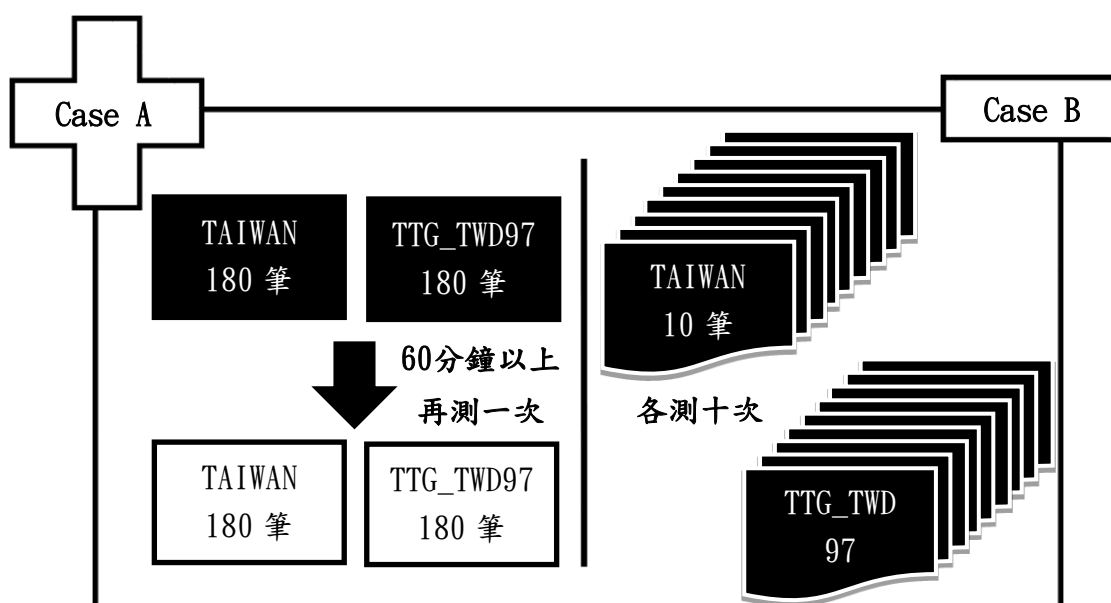


圖 3 Case A 與 Case B 之外業操作方式

本研究選擇桃園航空城之區域內分布均勻且具有 TWD97 坐標的一等水準點、加密控制點作為本研究之施測點位；先蒐集各施測點之公告坐標及點之記等相關資料及測量流程。利用 e-GNSS 系統外業設計所得實測數據，需要已點位的 N、E 坐標來分析可行性與量測結果之可靠度與精度，希冀建立適用 e-GNSS 系統的簡化作業流程。本次選定桃園航空城及樹林區為研究區，區域內所挑選之已知基本控制點分布情形分別如圖 4、5 所示，其中桃園區包含一等水準點 5 點、加密控制點 20 點，合計 25 點，樹林區則於 30 個圖根點上進行觀測。

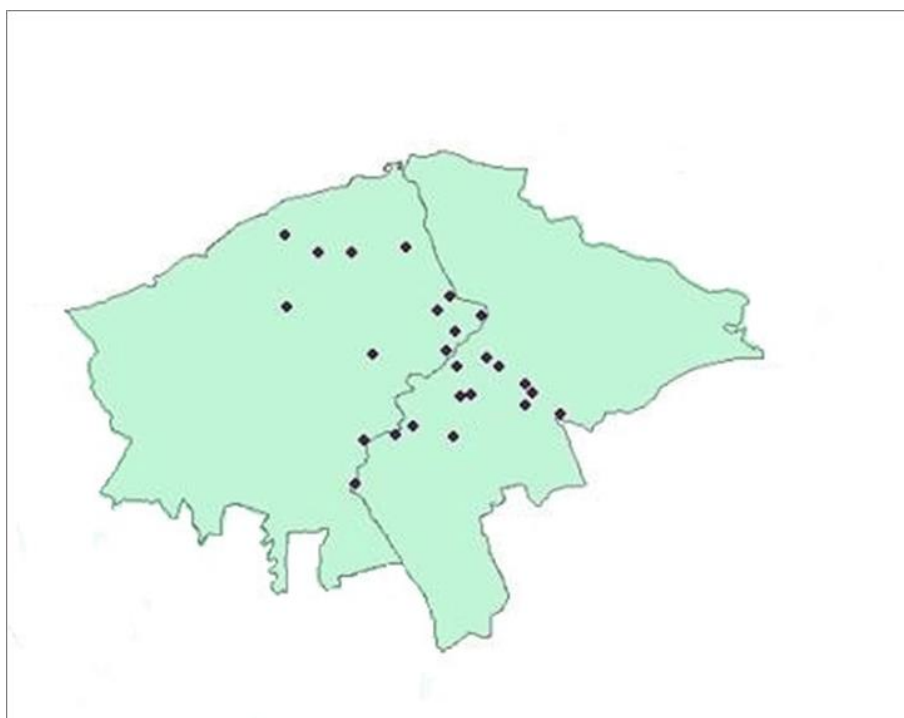


圖 4 桃園區控制點分布圖



圖 5 樹林區控制點分布

四、實測成果分析與討論

在第一階段先論述 TAIWAN 系統與 TTG_TWD97 系統之 Case A 及 Case B 內部精度之標準差，在二階段探討 TAIWAN 系統接收後，再到內政部國土測繪中心網站進行坐標轉換，並與 TTG_TWD97 系統之 N、E 方向定位坐標進行外部精度之平均誤差分析。

(一) 內部精度分析

在內部精度部分，本研究採用標準差作為精度分析的指標，其計算公式為

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n v_i^2} \quad (1)$$

其中 v_i 為各觀測量與算數平均數之差異， n 為觀測次數。在計算上區分為國土測繪中心的規範 Case A：每測回 180 筆固定解，須間隔 60 分鐘後重覆觀測，以及本研究所提出之簡化方案 Case B：取每測回 10 筆固定解，並重新初始化重複觀測十次。圖 6 至 9 分別呈現以 TAIWAN 與 TTG_TWD97 兩種系統觀測之 N、E 方向標準差。

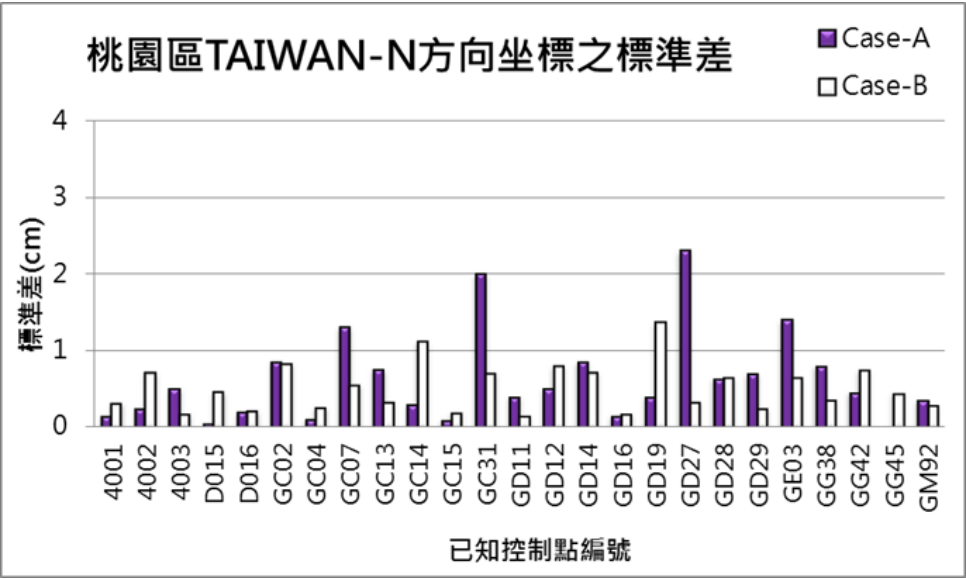


圖 6 桃園區 TAIWAN 系統 N 方向標準差

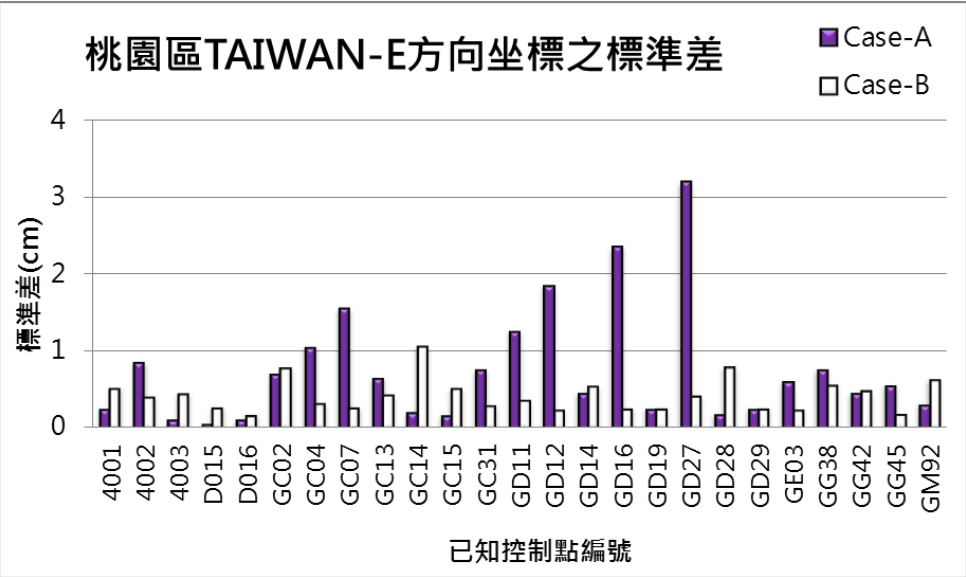


圖 7 桃園區 TAIWAN 系統 E 方向標準差

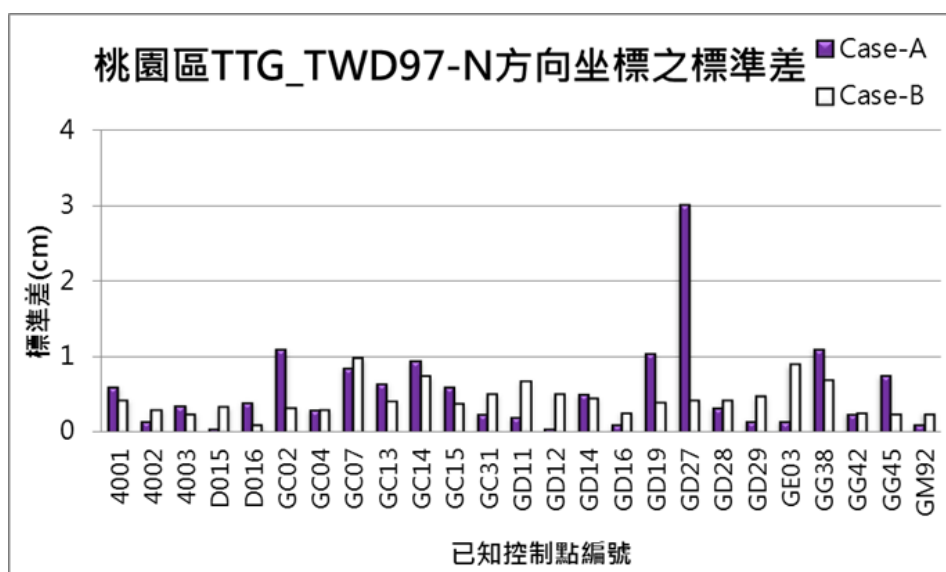


圖 8 桃園區 TIGER-TWD97 系統 N 方向標準差

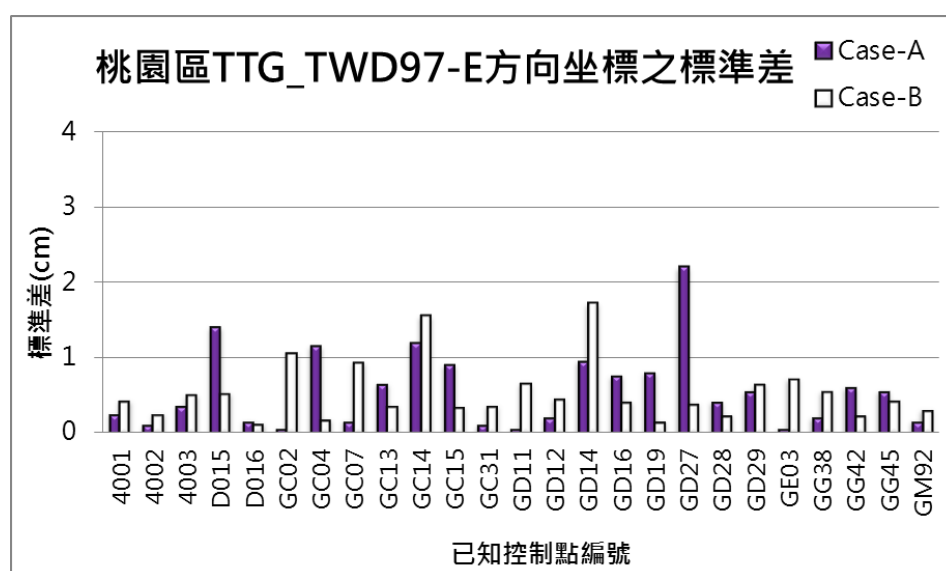


圖 9 桃園區 TIGER-TWD97 系統 E 方向標準差

而後，再將桃園 25 個點位進行標準差平均值之計算整理，並將資料繪製成表 2。可知 TAIWAN 系統之標準差中，N 方向 Case A 與 Case B 之標準差為 0.6、0.5 cm，E 方向為 0.8、0.4 cm，顯示 TAIWAN 系統在 N、E 方向於 Case B 之標準差則較 Case A 為低，在 Case A 偶爾有較大誤差，因為 Case A 只有 2 測回，故內部誤差較大；TIGER-TWD97 系統之標準差中，N 方向 Case A 與 Case B 之標準差為 0.6、0.4 cm，E 方向為 0.6、0.5 cm，由圖中顯示 TIGER-TWD97 系統在 N、E 方向於 Case B 之標準差則較 Case A 為低。小結內部精度 N、E 方向 Case A 之標準差則較 Case B 為高。

表 2 桃園區 Case A 與 Case B 標準差

登錄點	TAIWAN			TTG_TWD97		
接收筆數	$\sigma_N(\text{cm})$	$\sigma_E(\text{cm})$	$\sigma_{2D}(\text{cm})$	$\sigma_N(\text{cm})$	$\sigma_E(\text{cm})$	$\sigma_{2D}(\text{cm})$
Case A	0.6	0.8	1.0	0.6	0.6	0.8
Case B	0.5	0.4	0.7	0.4	0.5	0.7

(二) 外部精度分析

在外部精度部分，本研究採用平均誤差作為精度分析的指標，其計算公式為

$$\tau_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |v_i| \quad (2)$$

其中 v_i 為各觀測量與參考真值(政府公告坐標)之差異， n 為觀測次數。接下來以 Case A 與 Case B 之所測的坐標平均值與政府公告坐標相比較，成果如圖 10、11，接收數據可得知 TAIWAN 系統在後處理後分析，在 Case A 之 N、E 方向平均誤差 2.6、2.3 cm，而在 Case B 筆之 N、E 方向平均誤差 2.8、2.6 cm，雖然時間長的精度較好，但其精度差異在 0.2、0.3 cm，但時間節省、較有效率；在數據方面可以看出在 TAIWAN 系統 N 方向大多為負、E 方向大多為正，誤差之方向具有一致性，屬於系統性誤差。

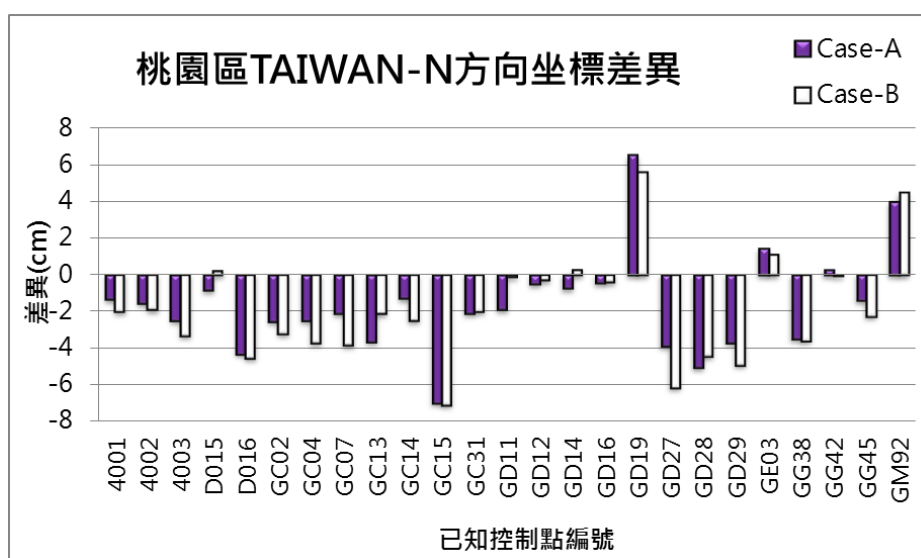


圖 10 桃園區 TAIWAN 系統 N 方向坐標差異

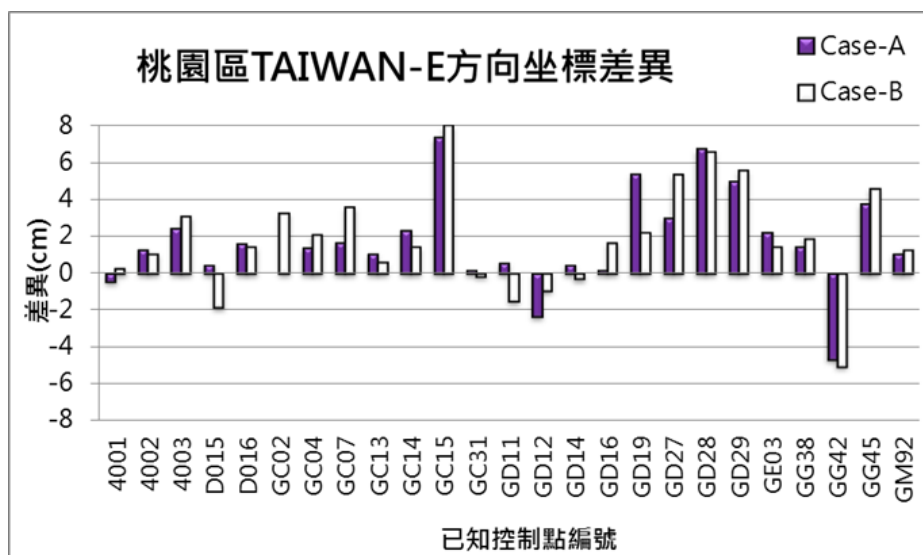


圖 11 桃園區 TAIWAN 系統 E 方向坐標差異

三維即時坐標服務為將 e-GNSS 系統 VRS-RTK 定位成果 e-GNSS[2015]坐標利用殘差網格修正模型及內插方式即時轉換至法定 TWD97，本研究以 TTG_TWD97 系統接收 Case A 與 Case B 之所測的坐標平均值與政府公告坐標相比較，差異比較如圖 12、13，數據在 Case A 之 N、E 方向差異在 2.3、2.1 cm，而在 Case B 之 N、E 方向差異值為 2.5、2.6 cm，其誤差變化在 0.2 到 0.5 cm 之間；在數據方面可以看出在 TTG_TWD97 系統 N 方向大多為負、E 方向大多為正，可能因為系統性誤差導致誤差有一致性；從此發現在 Case A 與 Case B 結果差異大致相同，但測量方式可大幅度提升效率。

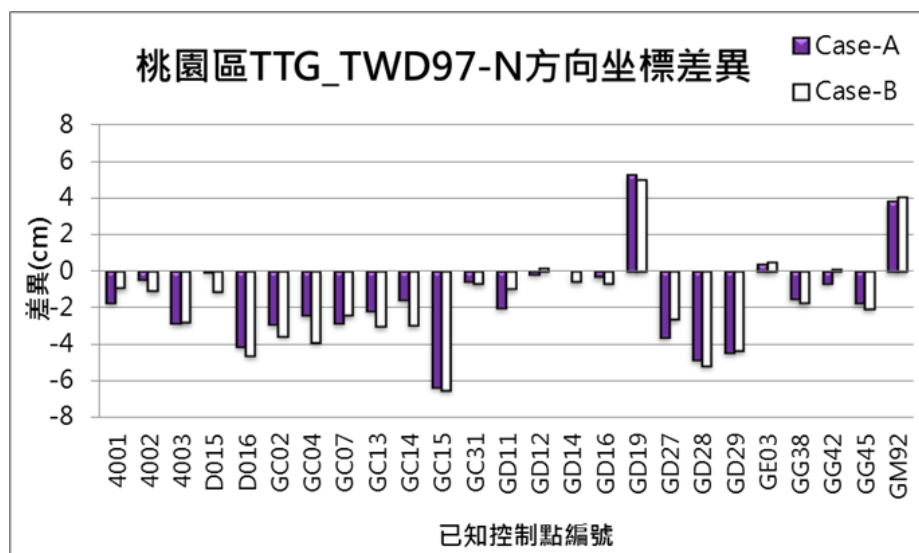


圖 12 TTG_TWD97 系統 N 方向坐標差異

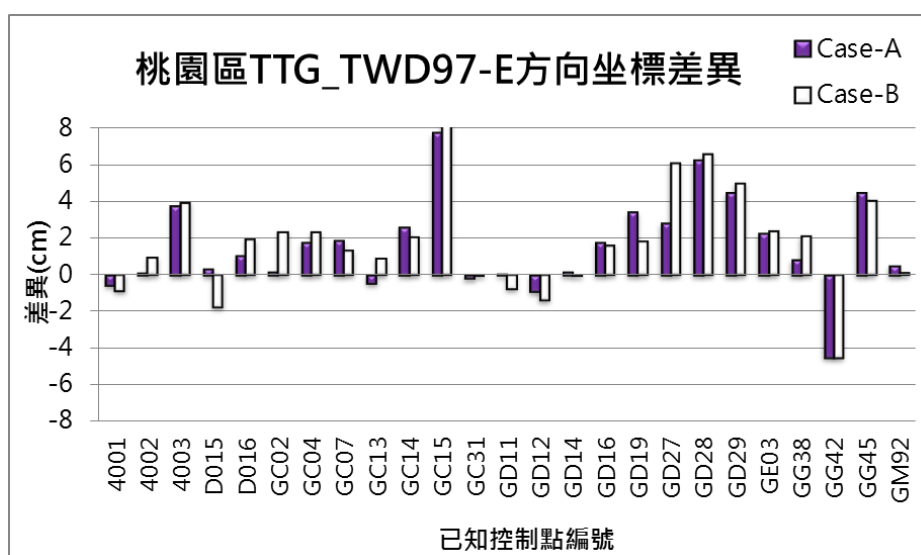


圖 13 TTG_TWD97 系統 E 方向坐標差異

綜合上述，在 TAIWAN 系統和 TTG_TWD97 系統之外部精度坐標差異具有一致性，可能來自於板塊運動所引起的系統性誤差，故在完成 e-GNSS 測量後再進行參數轉換讓觀測值更接近於法定坐標。接下來再將法定坐標 N、E 值與實測狀況 N、E 值相互比較平均誤差，在 TAIWAN 系統與 TTG_TWD97 系統比較(如表 3)，其兩系統之 τ_{2D} 精度部分以 TTG_TWD97 系統較佳及穩定；在各取平方開根號取出 25 點的相關性及資料相互統計，在後續實證部分，將以收十次，每次一樣初始化收 10 筆固定解，來驗證我的驗證結果是否吻合。依據 TAIWAN 系統和 TTG_TWD97 系統實際收數據誤差不大，而時間方面 Case A 與 Case B 數據資料也差不多，故本研究後續實測統計以 Case B 之重新初始化 10 筆固定解後資料來分析比較 TAIWAN 系統和 TTG_TWD97 系統。

表 3 桃園區 Case A 與 Case B 之平均誤差

登錄點	TAIWAN			TTG_TWD97		
接收筆數	$\tau_N(\text{cm})$	$\tau_E(\text{cm})$	$\tau_{2D}(\text{cm})$	$\tau_N(\text{cm})$	$\tau_E(\text{cm})$	$\tau_{2D}(\text{cm})$
Case A	2.6	2.3	3.4	2.3	2.1	3.1
Case B	2.8	2.6	3.8	2.5	2.6	3.5

(三) 即時坐標轉換之探討

目前採 e-GNSS 系統辦理地籍測量之控制測量，雖 Case A 精度相對 Case B 高、但 Case A 較耗時間、Case B 較省時間，且 Case A 與 Case B 之精度皆符合地籍測量實施規則第 73 條：圖根點之位置誤差於市地的最大誤差 6 cm 之要求(全國法規資料庫，2018)。為兼顧外業測量之效率，故採用簡化流程 Case B 來進行後續的研究，期望在精度仍可被接受的情況下，提出一套更有效率之外業測量方法。

本研究以從基本控制點採 TWD97 坐標系統，因人力與時間有限，選定樹林地政事務所之轄區，以 e-GNSS 系統施測已存在已知點，在儀器部分硬體設備可接收 GPS 和 GLONASS 衛星，可快速初始化，移動站測量，環境設定水平誤差 2 cm、高程誤差 5 cm，並接收固定解。接下來以簡化流程之方法測試並相關規範及外業經驗，並依據測試區實測成果，作為基本控制測量作業模式供各界參考，其提升作業效率與精度，以新北市樹林區測量圖根點之 Case B 資料在測試 30 點圖根點，在 TAIWAN 及 TTG_TWD97 系統測其平面誤差分析。

作業成果分析針對實測坐標之內部精度標準差及外部精度平均誤差值再進行分析；內部精度分析包含十測回初始化後取平均之坐標差異分析、外部精度差值則比較法定坐標與本研究實測坐標各分量之差值，據以作為簡化 VRS-RTK 定位技術應用基本控制測量之作業參考。本研究測試樹林區測試 30 點圖根點為範圍，其測試 TAIWAN 及 TTG_TWD97 之系統，其 N、E 坐標之標準差平均值皆為 0.8 cm(如圖 14、15、表 4)。

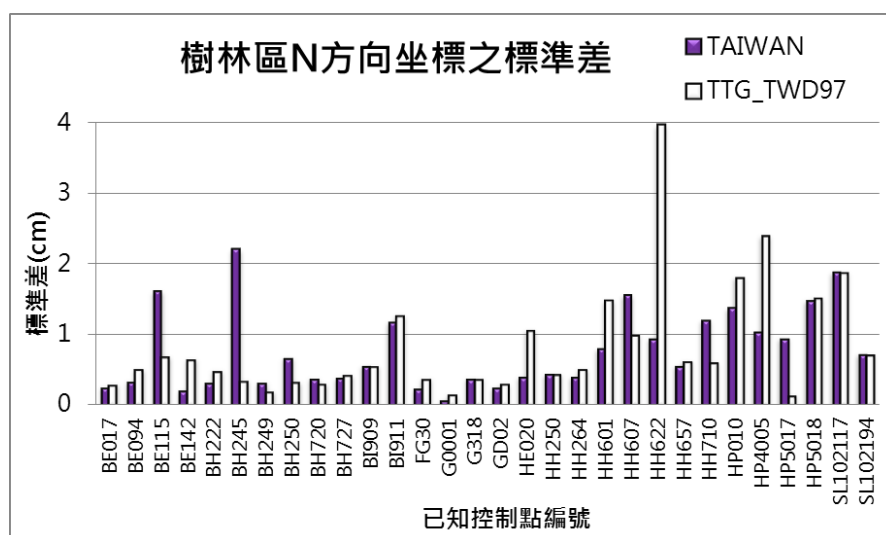


圖 14 樹林區 N 方向標準差

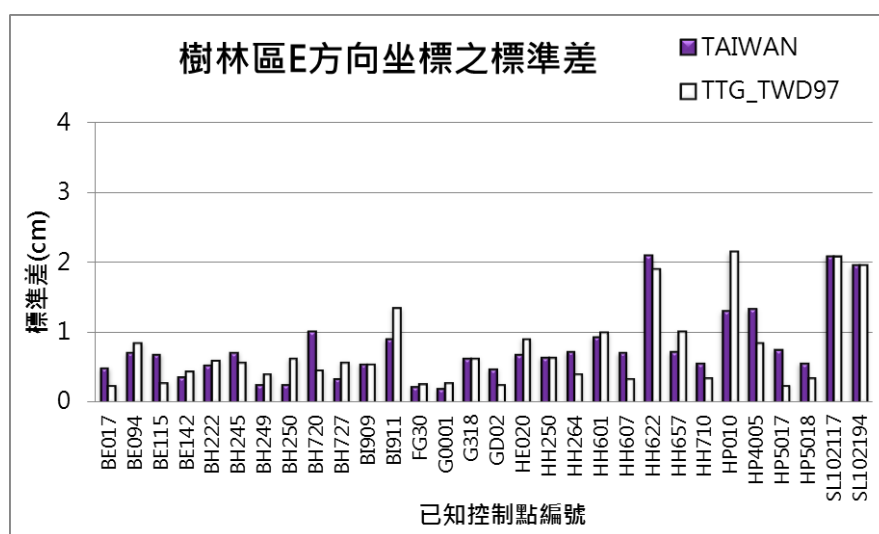


圖 15 樹林區 E 方向標準差

表 4 樹林區之 TAIWAN 與 TTG_TWD97 之標準差

登錄系統	$\sigma_N(\text{cm})$	$\sigma_E(\text{cm})$	$\sigma_{2D}(\text{cm})$
TAIWAN	0.8	0.8	1.1
TTG_TWD97	0.8	0.8	1.1

在樹林區外部精度方面用法定坐標與外部精度相比較得出差異，在 TAIWAN 系統之 N、E 方向坐標差異為 2.3、1.8 cm，於 TTG_TWD97 系統之 N、E 方向坐標差異為 1.8、1.4 cm(圖 16、17)，可以看出在北部 TTG_TWD97 系統差異比 TAIWAN 系統的精度好。

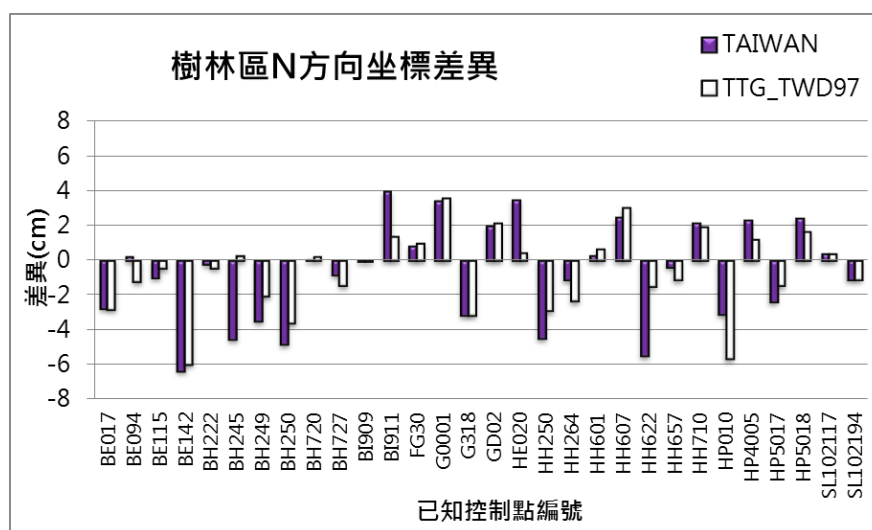


圖 16 樹林區 N 方向坐標差異

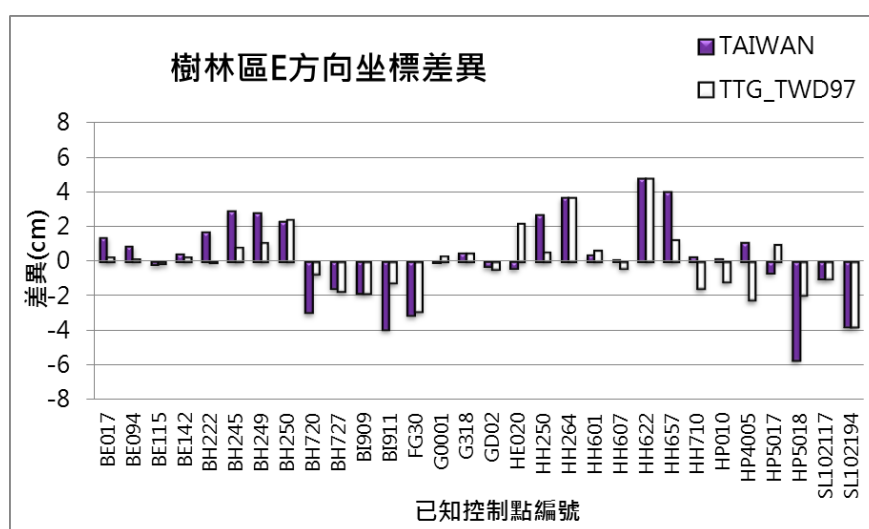


圖 17 樹林區 E 方向坐標差異

將法定坐標 N、E 值與實證區之 N、E 值相互比較，在各取平方開根號取出 30 點平面精度之相關性及資料相互統計(如表 5)，在 TAIWAN 實證出 τ_{2D} 為 3.0 cm、TTG_TWD97 實證出 τ_{2D} 為 2.3 cm。在此實證中 TAIWAN、

TTG_TWD97 系統，以 TTG_TWD97 數據較佳，故後續實證再以 TTG_TWD97 為主，測試精度與次數相關性。

表 5 樹林區之 TAIWAN 與 TTG_TWD97 之平均誤差

登錄系統	$\sigma_N(\text{cm})$	$\sigma_E(\text{cm})$	$\sigma_{2D}(\text{cm})$
TAIWAN	2.3	1.8	3.0
TTG_TWD97	1.8	1.4	2.3

(四) 觀測次數與精度之探討

隨著科技的進步，測量準確性不僅使用精密儀器測量坐標絕對位置，如何使用精密儀器測出當時確定量結果，目前作業流程以 2010 年「採用虛擬基準站即時動態定位技術辦理加密控制及圖根測量作業手冊」為主，制定一套作業流程為測量，但該作業手冊規範須相隔 60 分鐘以上兩測回，本研究希望可簡化實務作業流程，在以樹林區之轄區圖根點測試其成果。

本實證測試桃園區、樹林區以測試 25、30 點之 Case B 資料，在 TAIWAN 及 TTG_TWD97 系統測其差異，可看出 TTG_TWD97 之實測數值較為平穩。先探討桃園區、樹林區平面精度，桃園區 2D 平均誤差部分約 3.8 至 4 cm 左右(如圖 18)、樹林區 2D 平均誤差約 2.7 至 3.1 cm 左右(如圖 19)，可以看出數據有往下趨勢，但可能次數會讓數據往下，所以本研究測試觀測次數與數據之變化量。

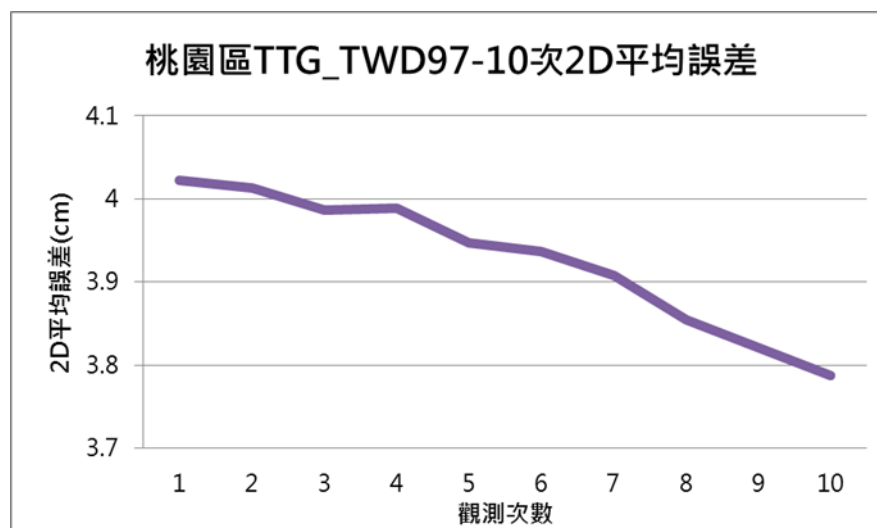


圖 18 桃園區 TTG_TWD97 之測 10 次 2D 平均誤差

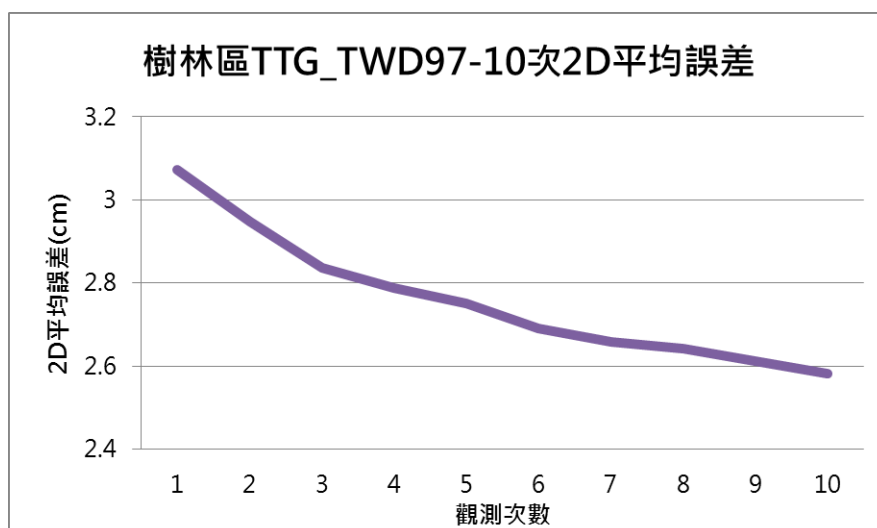


圖 19 樹林區 TTG_TWD97 之測 10 次 2D 平均誤差

故本研究利用 TTG_TWD97 之簡化流程來測試，再取 10 點圖根點並於每個點位上測試 50 次，測試其觀測次數與精度之相關性。本研究在樹林區以 Case B 之作法進行測試，每次觀測需重新初始化，測試結果之平面方向平均誤差約在 2.9 至 3.2 cm 之間(如圖 20)，可發現在 50 次的觀測過程之中，進行到第 10 次重複觀測即已達到最佳狀況，約可達 2.9 cm；當觀測次數繼續增加至 20 次時，在本研究的數據中誤差反而變大至 3.1 cm，直到觀測次數繼續增加時其誤差才趨於穩定。

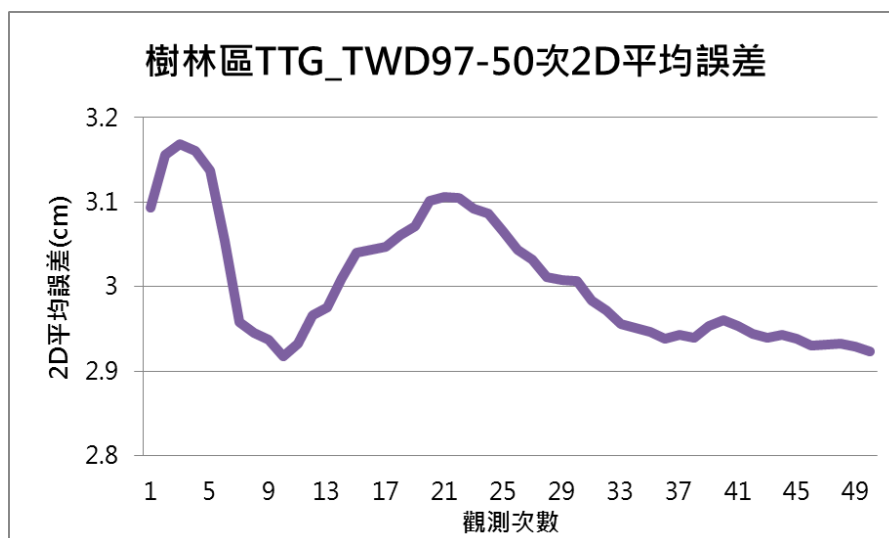


圖 20 樹林區 TTG_TWD97 之測 50 次 2D 平均誤差

五、結論與建議

- (一) 在桃園區的測試中 Case A 精度相對 Case B 高，但 Case A 較耗時間、Case B 則較省時間，兩者各有優劣。Case A 及 Case B 使用 TAIWAN 系統精度分別為 3.4、3.8 cm，使用 TTG_TWD97 系統精度分別為 3.1、3.5 cm，結果相差約 0.4 cm。

Case A 與 Case B 之作法誤差皆符合地籍測量實施規則第 73 條：圖根點之位置誤差於市地的最大誤差 6 cm 之要求(全國法規資料庫，2018)。但考量到測量效率，需高精度建議採行 Case A；若允許誤差大於 10% 左右，但講求效率較高者，建議可採行 Case B。

- (二)以 Case B 分析樹林區之 TAIWAN 系統與 TTG_TWD97 系統，TTG_TWD97 之平均誤差為 2.3 cm、TAIWAN 系統之平均誤差為 3 cm，可以看出以 TTG_TWD97 系統量測坐標之成果較佳。建議儀器若可支援 RTCM 3.1，可使用 TTG_TWD97 精度較高且較為便利；但舊型儀器只支援到 RTCM 2.3 者，可使用 TAIWAN 系統配合後處理坐標轉換，較耗時間且精度較差。
- (三)在最佳化的觀測次數部分，經過 50 次的重複觀測可發現，當觀測 10 次後精度已達最佳狀態，在增加多餘觀測對於整體精度之提升並無太大幫助。
- (四)本研究僅針對作業方式及觀測精度進行分析，並未探討 e-GNSS 之精度是否符合地籍測量相關法規，建議後人可參閱內政部(2016)及內政部國土測繪中心(2012)之相關規定進行後續研究。

參考文獻

- 內政部國土測繪中心，2007，*e-GPS 定位系統應用於基本控制測量作業之研究*，臺中。
- 內政部國土測繪中心，2012，*地籍圖重測成果檢查作業須知*，臺中。
- 內政部，2016，*數值法地籍圖重測作業手冊*，臺北。
- 內政部國土測繪中心，2014，*三維即時坐標轉換輔助 VRS-RTK 定位技術獲得法定坐標系統測量成果之研究*，臺中。
- 內政部國土測繪中心，2017，*e-GNSS 即時動態定位入口網站*，<https://egnss.nlsc.gov.tw/HotNews.aspx>，最近檢索時間：2017 年 1 月。
- 王敏浩，2005，*花蓮地區網路 RTK 實務應用之研究*，國立宜蘭大學土木工程學系碩士論文。
- 尹鍾奇，1994，*實用大地測量學*，國彰出版社，臺北。
- 全國法規資料庫，<https://law.moj.gov.tw/>，最近檢索時間：2018 年 6 月。
- 林偉祥，2011，*e-GPS 應用於山區地籍測量之研究：以台電鐵塔用地預為分割測量為例*，國防大學理工學院碩士論文。
- 莊峰輔、湯凱佩、王敏雄、梁旭文、劉正倫，2016，*三維即時坐標轉換輔助 VRS-RTK 定位技術獲得法定坐標系統測量成果之研究*，國土測繪與空間資訊，第 4 卷，第 1 期，頁 41-62。
- 陳坤煜，2010，*VBS-RTK 應用於圖根點定位精度之研究－以名間地區為例*，逢甲大學環境資訊碩士論文。
- 葉大綱、許育源、崔國強，2014，*e-GNSS 與 GPS 相對定位於地籍測量之精度分析*，國土測繪與空間資訊，第 2 卷，第 2 期，頁 131-146。
- 簡燦榮，2007，*以 VRS 技術辦理數值重測區、數值重劃區圖根檢測及補測之研究*，

國立宜蘭大學土木工程學系碩士論文。

- Landau, H., U. Vollath and X. Chen, 2002, Virtual reference station systems, *Journal of Global Positioning Systems*, 1(2), pp.137-143.
- Parkins, A., 2011, Increasing GNSS RTK availability with a new single-epoch batch partial ambiguity resolution algorithm, *GPS Solutions*, 15(4), pp.391-402.
- Vollath, U., A. Decking, H. Landau and C. Pagels, 2001, Long-range RTK positioning using virtual reference stations, *Proceedings of the International Symposium on Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics and Navigation: Banff*.
- Vollath, U., H. Landau and X. Chen, 2002, Network RTK-concept and performance, *Proceedings of the Trimble Terrasat GmbH: Hoehenkirchen*.
- Yeh, T. K., B. F. Chao, C. S. Chen, C. H. Chen and Z. Y. Lee, 2012, Performance improvement of network-based RTK-GPS positioning in Taiwan, *Survey Review*, 44(324), pp.3-8.
- Nordin, Z., A. A.Wan, M. A. Wan, M. A. Zulkarnaini and H. Y. Mohd, 2009, Investigation on VRS-RTK accuracy and integrity for survey application, *Proceedings of the International Symposium and Exhibition on Geoinformation: Kuala Lumpur*.

投稿須知

所有稿件以未曾在國內、外以任何形式刊載為限，且稿件內容不得有侵犯他人著作權或商業宣傳行為，否則由作者自行負法律之責任。文體以中文或英文撰寫為原則，並附中文及英文摘要。稿件須加註標點、分段及編列頁碼。內容編排以下列順序為原則：（一）封面：包括中文及英文之論文名稱、作者姓名、作者所屬單位、聯絡地址、電話、傳真、電子郵件住址；（二）中、英文摘要及關鍵詞等；（三）內文；（四）註釋；（五）謝誌；（六）參考文獻；及（七）附錄與圖表。審查通過後，無法直接由電腦列印之圖、表，應另附完稿之圖、表（不超過A4紙張），以利編排。圖或照片應以黑白為原則，如需彩色印刷請作者自行負擔費用。內文所引用之文獻須列於參考文獻，參考文獻請以姓氏筆劃多寡，依序以中文列出，之後再依英文姓氏之英文字母，依序以英文列出。各項格式書寫方式，請參考下列說明：

各項格式說明如下：

壹、文書檔案採 A4 直式橫寫書格式，版面邊界分別為上（2.54cm）、下（2.54cm）、左（3cm）、右（2.8cm），字體以新細明體及英文 Times New Roman 等兩種字體排版。

貳、首頁（Title page），應包含下列內容：

一、標題（Article Title）：包括中、英文篇章名。

二、作者（Author's Name）：

1. 包括中、英文作者姓名。
2. 分別以中、英文註腳載明作者的職稱、單位。若作者有數人，則以阿拉伯數字 1，2，3…個別標示。
3. 須標示通訊作者(加註*)，註明連繫電話、E-mail，英文電話請以國際電話方式書寫。

三、摘要（Abstract）：包括中、英文摘要。

四、關鍵字（Keywords）：包括中文、英文關鍵字，分別列於中、英文摘要之下。

參、正文（Manuscript）

一、稿件標題章節編號層次及順序

中文請按「一，（一），1，（1），a」順序排列；英文則按「1，1.1，1.1.1…」順序排列。

二、引述用例

（一）直接引述：

中文請用單引號「」；英文請用雙引號“ ”，並以括弧標示引述文獻頁次。

（二）引述中復有引述，或特殊引用時：

中文單引號「」在外，雙引號『』在內。英文雙引號“ ”在外，單引號‘ ’在內。

三、文獻引述用例

(一) 文中註明引述文獻

1. 請以（作者，年份）方式表示。
2. 若有數篇文章以分號（；）區隔；中英文文獻分開，並各自以引述文獻之出版年份先後依序排列。
3. 若同一作者，有數篇文章同時引述，則以（作者，年份 1、年份 2）；若同一作者有同一年發表文章同時引述，則以（年份 a, b）表示。
4. 若一篇文章有 2 位作者，請全部列出。中文為（作者 A 與作者 B，年份）；英文為（作者 A and 作者 B, 年份）
5. 若一篇文章有 3 位以上作者（含 3 位），中文請用（第一位作者等，年份）；英文請（第一位作者 *et al.*, 年份）用。
6. 英文期刊第一作者姓在前，名在後，第二作者之後，名在前，姓在後。

(二) 文中已有作者姓名時

1. 請以作者（年份）方式表示
2. 若有數篇文章同時引述，則以作者 A（年份）、作者 B（年份）…表示
3. 若有必要加註說明時，請用註腳，內文註腳號碼使用上標

四、圖版、插圖及表用例

1. 圖名請置於圖之正下方，並以圖 1、圖 2……方式表示。
2. 表名請置於表格之正上方，並以表 1、表 2……方式表示。
3. 若引用他人圖表需註明資料來源。

五、公式寫法用例

以(1)、(2)、(3)…依序編號。例： $\hat{X} = (A^T P A)^{-1} A^T P L$ (1)

肆、參考文獻(References)

- 一、專書：作者，年份，《書名》，版次，出版地：出版者。
- 二、期刊論文：作者，年份，篇名，《期刊名》，卷期數，頁碼。
- 三、研討會論文：作者，出版年，論文名稱，《研討會名稱》。
- 四、博碩士論文：作者，年份，《論文名稱》，學校科系名稱(碩/博士論文)。
- 五、網路等電子化資料：作者（單位），年份，篇名，網站名稱，網址。
- 六、技術報告或研究報告：作者，年份，《報告名稱》，研究單位。

中華民國地籍測量學會「國土測繪與空間資訊」 期刊論文審查辦法

中華民國 101 年 09 月 25 日第 16 屆第 6 次理監事聯席會議通過

第一條 為規範「國土測繪與空間資訊」期刊論文審查辦法（以下簡稱本辦法），得依本會編輯委員會組織簡則第二條規定訂定之。

第二條 來稿經登記後由總編輯就來稿性質，邀請相關專長之編輯委員推薦審查委員。編輯委員會負責對審查委員及投稿作者保持雙向匿名方式審查，審查作業程序如附圖。

第三條 審查委員應於接到論文後三週內審查完畢，並將論文審查表（如附表），連同論文寄回編輯委員會，審查意見表中須明確勾選其中一項：

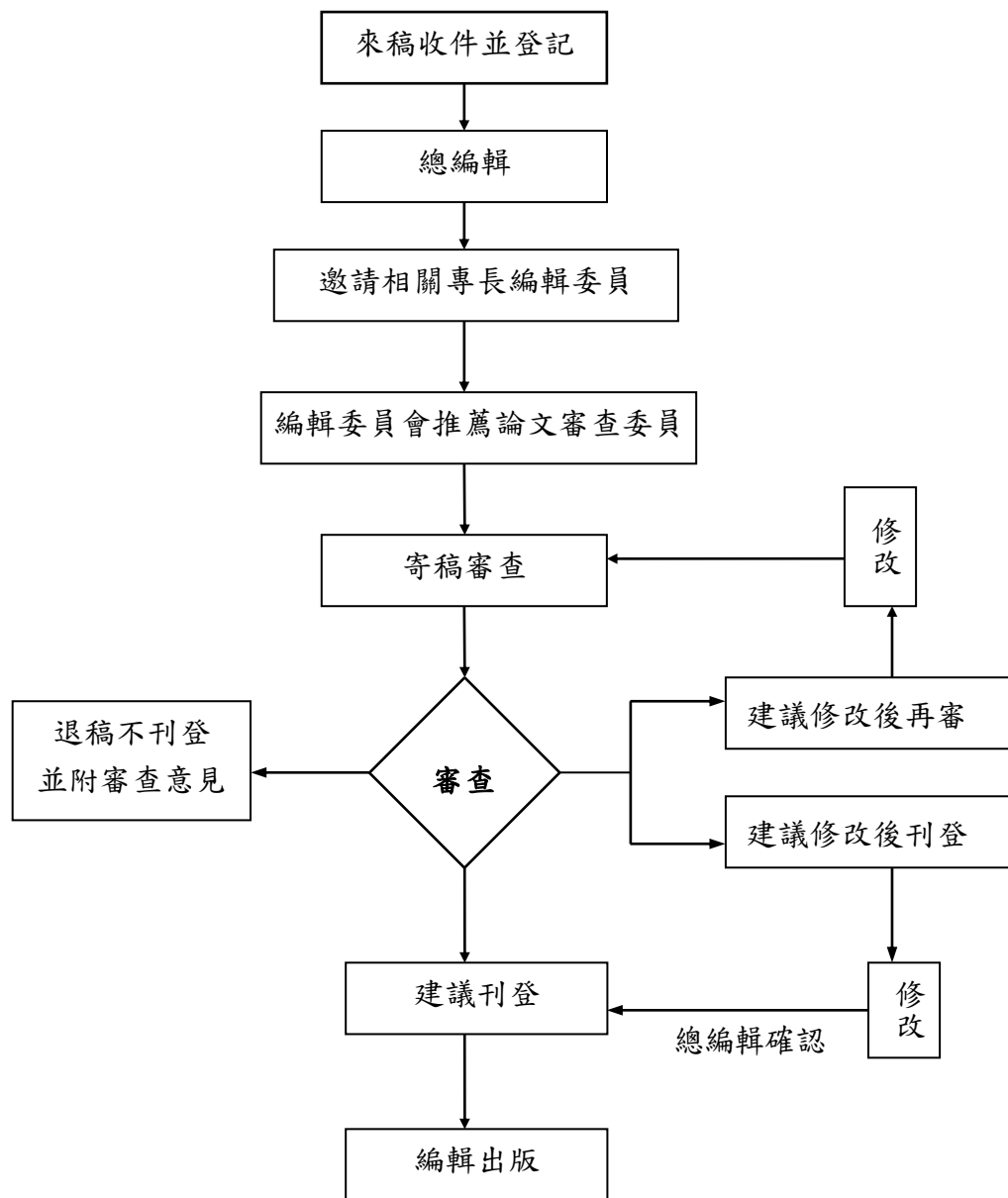
1. 刊登。
2. 修改後刊登（應列明審查意見及建議事項）。
3. 修改後再審（應列明審查意見及建議事項）。
4. 不適刊登（應列明審查意見）。

第四條 審查結果處理方式：

處理 方式 第一位 審查委員意見 第二位 審查委員意見	刊登	修改後刊登	修改後再審	不適刊登
刊登	刊登	寄回修改	寄回修改後再審	第三位審查
修改後刊登	寄回修改	寄回修改	寄回修改後再審	第三位審查
修改後再審	寄回修改後再審	寄回修改後再審	寄回修改後再審	不適刊登
不適刊登	第三位審查	第三位審查	不適刊登	不適刊登

附註：再審以一次為限。

第五條 本辦法經理監事會通過後實施，修改時亦同。



論文審查流程圖

國土測繪與空間資訊期刊

TAIWAN JOURNAL OF GEOINFORMATICS

編輯委員會

主任委員 楊 名 國立成功大學測量及空間資訊學系

編輯委員 (依姓氏筆劃順序排列)

史天元	國立交通大學土木工程學系
林老生	國立政治大學地政學系
洪本善	逢甲大學土地管理學系
洪榮宏	國立成功大學測量及空間資訊學系
陳繼藩	國立中央大學太空及遙測研究中心
黃倬英	國立臺灣大學地理學系
詹士樑	國立臺北大學不動產與城鄉環境學系
楊明德	國立中興大學土木工程學系
趙鍵哲	國立臺灣大學土木工程學系
饒瑞鈞	國立成功大學地球科學系

總 編 輯 陳國華 國立臺北大學不動產與城鄉環境學系

編 輯 陳鶴欽 內政部國土測繪中心

幹 事 黃郁恩 國立臺北大學不動產與城鄉環境學系

發 行 人 黃榮峰

劉正倫

出 版 所 中華民國地籍測量學會

內政部國土測繪中心

國土測繪與空間資訊
TAIWAN JOURNAL OF GEOINFORMATICS

第六卷第二期

民國一〇七年七月

Vol. 6, No. 2

July 2018

目 錄

CONTENTS

無人飛機系統於空間資訊與防災科技之應用

謝佳諭、陳信安、蔡孟倫、林奕翔、張瑞隆、羅正方.....75

Applications for spatial information and disaster reduction with Unmanned Aircraft System

Chia-Yu Hsieh, Hsin-An Chen, Meng-Lun Tsai, Yi-Shiang Lin, Jui-Lung Chang, Cheng-Fang Lo

空間大數據基礎架構平台之簡介

張智安、楊筑鈞、傅于洳.....97

Introduction to Geospatial Big Data Infrastructure

Tee-Ann Teo, Chu-Chun Yang, Yu-Ju Fu

簡化 e-GNSS 地籍測量作業程序之探討—以北部實驗區為例

葉大綱、張淑娟.....117

Evaluation of simplified e-GNSS operating procedure for cadastral surveying: case study on North Taiwan

Ta-Kang Yeh, Shu-Chuan Chang