

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

第九卷 第二期

中華民國一一〇年七月



VOLUME 9, NO. 2

July 2021

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 20 屆組織表

一、理監事會：

理 事 長：洪本善

副理事長：江渾欽

常務理事：蕭輔導、高書屏、紀聰吉

理 事：王定平、周天穎、楊名、崔國強、王啟鋒、吳宗寶、謝福來、謝福勝、吳相忠、邱仲銘、
張元旭、江俊泓、朱上岸、蕭萬禧、梁崇智、陳惠玲

常務監事：容承明

監 事：史天元、白敏思、蕭正宏、駱旭琛

秘 書 長：曾耀賢（兼任）

副秘書長：林志清（兼任）

秘 書：陳鶴欽（兼任）、何依屏（兼任）、陳世崇（兼任）

幹 事：何美娟（兼任）

二、各種委員會：

(一)服務委員會：

主任委員：王啟鋒

委 員：王定平、黃仰澤、賴澄標、鄭宏達、朱上岸、黃建華、李文聖、吳智維

幹 事：陳俊德

(二)編輯委員會：

主任委員：史天元

委 員：楊 名、甯方璽、周天穎、蔡慧萍、韓仁毓、曾國欣、張智安、饒瑞鈞

總編輯：周天穎

編 輯：葉美伶、陳鶴欽、李佳晏

(三)研究發展委員會：

主任委員：高書屏

委 員：王宏仁、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：董荔偉、李孟娟

(四)獎章委員會：

主任委員：蕭輔導

委 員：張元旭、曾清涼、曾國鈞、謝福來、劉正倫

幹 事：由本會秘書處兼任

(五)教育訓練委員會：

主任委員：崔國強

委 員：李文聖、朱上岸、陳俊達、黃建華、蕭介峰、葉文凱

總幹事：蕭泰中

幹 事：林以恆

(六)國際事務委員會：

主任委員：周天穎

委 員：盧鄂生、王聖鐸、陳惠玲、朱上岸、黃建華、高書屏

總幹事：葉美伶

幹 事：邱明全、湯美華、陳家卉

(七)界址鑑定及諮詢委員會：

主任委員：盧鄂生

委 員：邱仲銘、崔國強、謝福勝、駱旭琛、吳宗寶、吳相忠、蕭萬禧、王啟鋒、黃玉鐘

幹 事：陳世崇

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

應用多元量測技術於高精度地籍測量之研究

黃立信^{1*} 王建文²

論文收件日期：109.10.30

論文修改日期：109.11.15

論文接受日期：110.01.22

摘 要

本研究嘗試將多式新型的測量技術，應用於傳統地籍測量的作業上，期望達到建立地形快速測量程序之研究，進而利用點雲資料建立數值模型，將二維平面的地籍思維轉換為三維效應呈現。

本研究採用全球導航衛星系統-即時動態定位技術 (Global Navigation Satellite System -Real Time Kinematic, GNSS-RTK)與電子化全球衛星即時動態定位系統 (Electronic Global Navigation Satellite System, e-GNSS)兩種方法，作為點位控制測量，比較分析兩者之成果，GNSS-RTK 系統精度是優於 e-GNSS 系統，但二者所取得的坐標，絕大部分皆符合精度規範。選擇三維雷射掃描 (3D Light Detection and Ranging, 3D LiDAR)與 UAV 傾斜攝影 (UAV Oblique Photography)二種方法，作為取代傳統圖根測量之方法，比較分析兩者之差異，3D LiDAR 之測量方式可確保每個點位的成果展現，且地面光達精度在平面坐標上優於 UAV 傾斜攝影的成果計算數十倍以上。

本研究提出多元化的新式量測方法取代舊有程序，透過 GNSS 全球衛星導航系統，取得控制點位座標，且利用 3D LiDAR 獲取大面積的圖根點位資料，(18 個測站最佳化距離約 30 公尺，拼接精度在公厘等級上下)，再以點雲資料直接呈現測區範圍內的地形與地物，不但達到快速測量的目標，且證實三維點雲之成圖 (50*50 公分網格) 實優於數值高程模型 (Digital Elevation Model, DEM) 20*20 公尺網格之精確度。

關鍵詞： 地籍測量、全球導航衛星系統-即時動態定位技術、電子化全球衛星即時動態定位系統、三維雷射掃描、UAV傾斜攝影、數值高程模型。

¹ 副教授，國防大學理工學院環境資訊及工程學系。

² 碩士，國防大學理工學院環境資訊及工程學系。

*通訊作者，TEL：(03)3800364#132，E-mail：shinn0329@gmail.com。

A Study on the Application of Multiple Measurement Techniques for High-precision Cadastral Surveying

Lih-Shinn Hwang^{1*} Chien-Wen Wang²

Abstract

Using multiple measurement techniques for application on traditional general cadastral survey, the benefit of terrain rapid survey procedure will be achieved. Then point cloud data simultaneously be used to establish a numerical model which transforms the cadastral thinking of the two-dimensional into the presentation of three-dimensional effects.

In this study, two methods of GNSS-RTK and e-GNSS are used as point control surveying. Comparative analysis of the results of the two methods, the accuracy of the GNSS-RTK is better than the e-GNSS method. However, most of the coordinates obtained by the two methods meet specification accuracy requirements. Choose two methods of 3D LiDAR and UAV Oblique photography as the method to replace the traditional mapping surveying. Comparative analysis of the results of the two methods, the method of 3D LiDAR can ensure the achievement of each point, and the plane coordinates accuracy of 3D LiDAR is better than those of UAV Oblique photography.

This study proposes a variety of newly and multiple measurement techniques to replace the old procedures. The control point coordinates can be obtained through GNSS measurement, the large-scale mapping point data can be collected by 3D LiDAR(the optimized distance of 18 stations is about 30 meters, and the point cloud stitching accuracy is above and below the millimeter level), and use the point cloud data to directly display the terrain and features within the survey area. Not only to achieve the goal of rapid measurement, but also confirmed that the 3D point cloud (50*50 cm-grids) is better than the DEM(Digital Elevation Model, 20*20 m-grids) in accuracy.

Keywords: Cadastral Survey, GNSS-RTK, e-GNSS, 3D LiDAR, UAV Oblique Photography, DEM.

¹ Associate Professor, Department of Environmental Information and Engineering, National Defense University, C.C.I.T.

² Master, Department of Environmental Information and Engineering, National Defense University, C.C.I.T.

* Corresponding Author, TEL: +886-3-3800364#132, E-mail: shinn0329@gmail.com.

一、前言

目前地籍測量取得地面點資料的方法，還是以 GPS 配合全測站等作業方式為主。內政部國土測繪中心推行之 e-GNSS 網路化即時動態定位系統(<http://www.egnss.nlsc.gov.tw/>)，初步構想就是應用於快速控制測量，但現因法規問題，仍處於參考階段。由於近代衛星接收儀及全球導航衛星系統(GNSS)的突飛猛進，多衛星系統組合儼然成為國際上衛星定位技術之研究課題(高書屏，2017)。本研究試以多衛星組合結合即時動態測量 RTK 技術(楊名與馮倩君，2005)與 e-GNSS 之計算成果相較，在依循地籍測量法規相關規範(內政部，2017)之下，應用於控制測量精度評估的部分。

目前已有業界利用 UAV 航拍高解析度影像的特性，進行大範圍圖根掃描作業。3D 雷射掃描技術(3D Laser Scanning Technique)配合點雲(Point Cloud)資料處理，也是一種快速獲得空間三維資訊的方法，隨著科技及儀器的發展與提升，其高精度與遠距離的特性日益更新，逐漸推廣與應用於土木測量、古蹟保存及地籍測量等專業方面。本研究希望藉由結合 3D LiDAR 加點雲資料處理等新型相關技術，達到快速獲得地面點位相關資料。

當前地籍測量需求就是快速、穩定、精準與坐標系統全國統一，如何將傳統地籍測量之二維平面思維，轉換成三維立體圖示，也成為本研究另一重要動機。精密數值高程模型為當前民生建設的重要基礎，地形測量作業的成果，直接影響到精密數值高程模型之製作，兩者先後關係其實是非常密切的。

綜合上述，本研究希望藉由新型的測量技術應用在實務層面上，達成快速、精密且穩定的地形測量方法。

二、理論基礎

(一)全球導航衛星系統 GNSS 介紹

全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)包括利用美國的 GPS、俄羅斯的 GLONASS(Globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya sistema)、歐盟的 Galileo、中國的 BDS(Beidou Navigation Satellite System)及區域型日本的 QZSS(Quasi-Zenith Satellite System)和印度的 IRNSS(Indian Regional Navigation Satellite System)等衛星定位系統進行導航定位，比起 2G(GPS+GLONASS)時期，更可增加觀測衛星數，改善幾何圖形配置，皆可在較大高度角觀測到多顆衛星，有著更高的定位精度和完整性。就臺灣的地理位置而言，因為區域型的 IRNSS 衛星系統涵蓋範圍偏重於印度洋區域，距離臺灣本島太遠，訊號幫助有限，所以現階段討論的多衛星系統，都直接摒除該星系系統(高書屏，2017；張嘉強，2018)。

1. GNSS-RTK 介紹

即時動態測量(Real Time Kinematic)簡稱 RTK，是利用衛星達到即時精準定位的一種技術，方式是將兩部衛星接收儀，一部作為參考站，另一部作為移動站，透過無線電數據通訊設備傳輸，將參考站之觀測資料傳送給移動站，移動站在接收到

來自參考站與本身儀器所接收之觀測資料，透過差分計算，可以在移動的狀態下，亦可即時獲得精確的定位坐標(Sickle, J. V., 2015)。

2. e-GNSS 即時動態定位介紹

近年來，內政部國土測繪中心結合網路通訊科技與 GNSS 即時動態定位技術已普遍應用於衛星定位測量作業，民國 93 年開始建置 e-GPS 相關的系統平台以及營運服務機制，而後於民國 97 年開始第一階段營運，又在民國 102 年至 103 年逐步更新基準站衛星定位接收儀，國土測繪中心歷經多次變革，於民國 103 年 9 月 1 日已升級為「e-GNSS 即時動態定位系統」，升級項目如計算核心軟體更新為可同時處理 2G(GPS、GLONASS)雙星系統資料、提供線上即時三維坐標轉換(TTG)等服務、原參照 TWD97 定義在 IRTF94 之框架。於民國 104 年 5 月 1 日改以位於國土測繪中心樓頂之測繪中心(LSB0)為起算參考點，並重新公告 e-GNSS[2015]坐標成果供使用。於民國 108 年 7 月 15 日更換新坐標系統 e-GNSS[2019]，新坐標框架定位在內政部(<http://www.nlsc.gov.tw/>)民國 101 年 3 月 30 日新公布之 TWD97[2010]坐標系統下，計算民國 107 年 12 月 1 日至民國 108 年 1 月 31 日共計 62 天觀測資料成果。於民國 108 年 9 月開始試辦全星系(GPS+GLONASS+Beidou+Galileo+QZSS)資料定位服務，其希望透過全星系服務網解決因透空環境造成無法求得固定解之問題(陳鶴欽等，2015)。

表 1 e-GNSS 系統演變表

星系	e-GPS	e-GNSS (雙星系)	e-GNSS (全星系)
時間	2004-2014.08	2014.09-2019.09	2019.10-迄今

(二)地面光達介紹

一般常見光達類型，有空載光達、車載光達和地面光達三類(黃立信等，2018)。本研究係以地面光達為主。地面光達是將光達系統以腳架固定於地面點，並以固定掃描角度方式對目標物進行測量。地面光達其儀器架設固定，產出之資料點雲大量而穩定，其精確度為三類光達系統中最高的一類，但其架設位置固定，導致測量特定目標區時須不斷重複架設、測量、移動的動作，如欲進行大範圍區域的測量則效率較為低落。

地面光達的定位原理系以掃描儀的雷射光源為原點而自成一個坐標系，根據右手定則，以掃描儀的右側為 X 方向，正對目標物的方向為 Y 方向，而垂直軸方向為 Z 方向，儀器坐標系如圖 1 所示；藉由雷射光發射接觸到地物表面反射訊號回儀器的時間差和相位差，計算出雷射光源與掃描點之間的距離和角度，再計算出掃描點相對測站的三維坐標差(郭朗哲，2004；粘基非，2005；曾義星等，2008)。

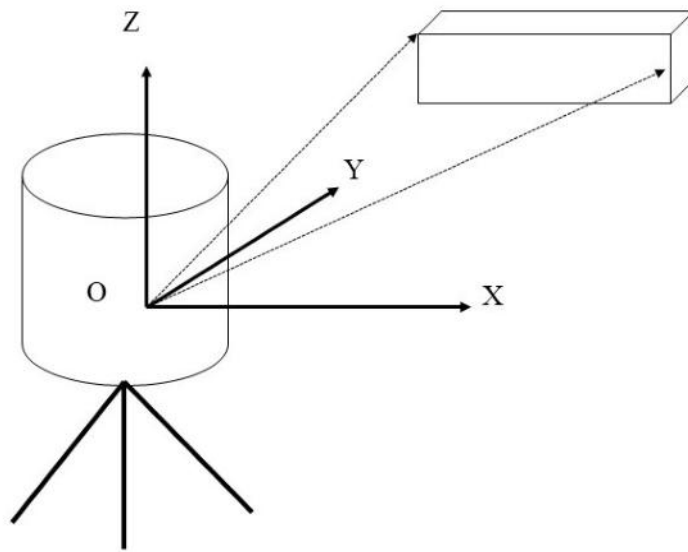


圖 1 地面光達為原點的儀器坐標系

三、研究方法

(一)實驗區選定

本實驗預計研究區域位於大溪區埔尾段，為民國 107 年度辦理重測之地段。選定埔尾段一小區域來做為實驗區（如圖 2），此一區域內包含道路、住宅、農田等來模擬地籍測量中所會面臨的所有地形情況（如圖 3），此區域面積約 6.2 公頃，其控制點及圖根點總共 12 點。將利用 3D 地面光達資料數據研究範圍與其 UAV 施測之比較。



圖 2 黃框內為大溪研究區內一覽全圖

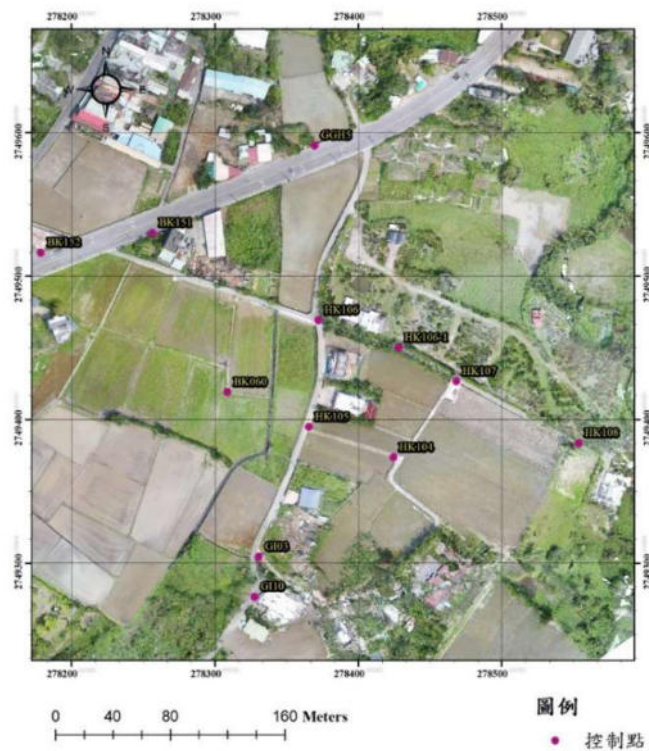


圖 3 大溪研究區內控制點一覽全圖

(二)實驗儀器設備及軟體介紹

1.多衛星接收儀

表 2 Trimble R8S 衛星接收儀基本性能規格表

型號	R8SModel4	
支援衛星	GPS、GLONASS、BDS、Galileo 及 SBAS(QZSS)	
頻道	GPS: L1C/A, L1C, L2C, L2E, L5 GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, L3 SBAS: L1C/A, L5 (for SBAS satellites that support L5) Galileo: E1, E5A, E5B BeiDou (COMPASS): B1, B2 • SBAS: QZSS, WAAS, EGNOS, GAGAN • Positioning rates: 1 Hz, 2 Hz, 5 Hz, 10 Hz, and 20 Hz	
定位精度	RTK	平面精度:0.008 公尺+1ppm RMS
		高程精度:0.015 公尺+1ppm RMS
	靜態	平面精度:0.003 公尺+0.1ppm RMS
		高程精度:0.035 公尺+0.4ppm RMS

本研究所使用儀器為 Trimble R8S GNSS 衛星接收儀，可同時接收 GPS、GLONASS、BDS、Galileo 及 QZSS 等多衛星系統訊號，比一般僅接收 2G(GPS+GLONASS)接收儀，除增加解算的機率及縮短接收的時間外，更可節省許多外業作業時間，規格如表 2 所示(<http://www.ticgroup.com.tw/>)。為配合本研究多星系資料組合計算，實驗所使用 TBC 測量計算軟體，係搭配美國 Trimble 導航公司所開發之 TBC(Trimble Business Center)商用計算軟體，主要用於處理 GNSS、點雲資料、影像和光學等資料。

2.三維雷射掃描儀器介紹

本研究使用之之三維雷射掃描儀硬軟體設備為 RIEGL VZ-1000，主要針對需要高速掃描而設計，擁有高速的雷射掃描、快速及高精度的訊號處理，以及多樣高速的資料傳輸介面。掃描儀本身的掃描動作是利用雷射光束及內部一個反射鏡進行垂直掃描，其掃描範圍為 100 度（水平向上 70 度，水平向下 30 度），在高速垂直方向的掃描下，反射鏡是持續以可調整的速度進行旋轉，但在慢速的掃描或是很小的掃描角度，它就只會上下擺動；而水平方向的掃描動作，就是利用機體本身，作環場 360 度旋轉完成整個掃描動作。

表 3 RIEGL VZ-1000 雷射掃描儀規格表

儀器型號	RIEGL VZ-1000	
掃描模式	長距(RL)	高速(HS)
測距範圍	1,400 公尺	450 公尺
光束參數	70kHz	300kHz
掃描速度	29,000 點/秒	122,000 點/秒
重量	9.6 公斤	
內建記憶體	32G	
最大掃描角 (垂直/水平)	100 度/360 度	
掃描測距精度	5 公厘	
雷射發射頻率	5 段	
相機	外接式高階數位相機	

該掃描儀掃描系統並具有全波形(Full waveform)反射回波功能，而掃描速度（脈衝雷射發射頻率，Laser PRR）最高更可達 450KHz。在不同距離範圍下，可視狀況

調整雷射發射頻率。本設備主機重量僅 9.6 公斤，輕巧堅固移動方便，並結合 GPS 坐標定位系統，可求得全區域坐標，亦可同步結合千萬像素單眼相機，將點雲上彩，提高影像逼真度。其掃描模式可分為以下兩種，高速模式(High Speed, HS)和長距模式(Long Range, LR)，此地面光達經原廠測試公告測量距離最遠可達 1.4 公里，快速測距模式距離最遠可達 450 公尺，詳細規格如表 3(RIEGL LASER MEASUREMENT SYSTEMS GmbH, 2015)。

本研究使用之軟體係由原廠奧地利 RIEGL 所開發之軟體 Riscan Pro (RIEGL LASER MEASUREMENT SYSTEMS GmbH, 2016)，主要是處理外業所掃描之點雲資料。開啟 RiScan Pro 軟體後，整個操作介面將分為四大區塊：工具列、掃描資料處理區、物件屬性視窗及指令區。

本軟體所採用的 3D 雷射掃描坐標系統可分為三種：掃描儀坐標系統 SOCS(Scanners Own Coordinate System)、專案坐標系統 PRCS(Project Coordinate System)及大地坐標系統 GLCS(Global Coordinate System)，以下坐標系統都以英文縮寫表示。

掃描時須注意區域可能因受到遮蔽物、範圍太大或地勢高低起伏過大等因素，所以必須採用多掃描測站來分區掃描。因此掃描測站不同，所掃出來的點雲坐標系統亦不相同，必須利用控制點或是以擬合方式，將各個掃描測站合併於相同坐標系統，才可進行其他坐標系統轉換，而本研究採用控制點將坐標系統轉換。

於軟體操作時，主要使用之坐標系統為 SOCS、PRCS 及 GLCS 三種，依序即為 P_{SO} 、 P_{PR} 及 P_{GL} ，如圖 4 所示(RIEGL LASER MEASUREMENT SYSTEMS GmbH, 2016)， M 則表示坐標轉換矩陣，而於 RiScan 軟體內所定義的 M_{SOP} 與 M_{POP} 矩陣為 4×4 的矩陣型式，如公式(1)所示，其中 M_{SOP} 為各測站坐標轉換為專案坐標之矩陣，然而 M_{POP} 表示專案坐標轉換成大地坐標之矩陣。

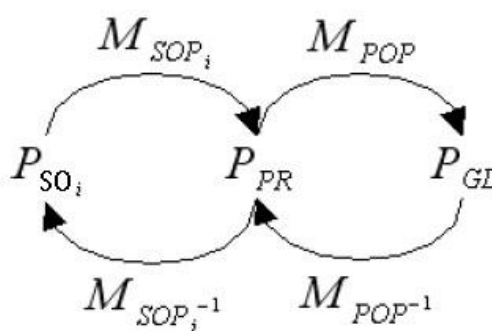


圖 4 Riscan Pro 軟體之坐標轉換示意圖

$$M_{SOP} = M_{POP} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

(1)式中， M_{SOP} ：轉換成專案坐標之矩陣 r_i ：旋轉參數

M_{POP} ：轉換成大地坐標之矩陣 t_i ：平移參數

四、研究成果與分析

(一)控制測量

1. e-GNSS 觀測法

本研究依桃園市政府公告桃園地區控制點查詢資訊管理系統 (<http://control-point-inquiry2.tycg.gov.tw/Normal>)查詢測區附近之控制點，並擇日於現場勘查點位情況，其附近可用加密控制點有 3 點：GGH5、GI03、GI10，圖根點計有 10 點：BK059、BK060、BK151、BK152、HK104、HK105、HK106、HK106-1、HK107、HK108，但圖根點 BK059 於現場勘察發現已遺失，剩餘可用圖根點為 9 點。

e-GNSS[2019]所得坐標，係由內政部國土測繪中心以時間序列定義之坐標系統，與研究區之法定公告坐標值 TWD97 系統不同，須經改正數修正取得轉換後成果，才可予公告標值進行檢核，修正方法為將所有點位誤差相加平均後，再將各點位誤差統一減去平均值，而平均後之 N 值方向修正量為-0.173 公尺，E 值方向修正量為 0.478 公尺，得知：N 值修正後之最大誤差在 0.039 公尺，E 值修正後之最大誤差在 0.027 公尺之下。由於上述指出 e-GNSS[2019]坐標系統與 TWD97 系統之不同，若想進行比較時，須將其期成果轉換成同一坐標系統，方可進行檢核，雖上述有經由簡易的平移方式改正 N、E 值方向之成果，其成果精度可達到公分級，若在一般定位需求下，應是可滿足。但在需有法定效力之測量方面，則須符合規範且要有一嚴謹之轉換方式，如 7 參數轉換(張嘉強，2020)。因本研究後續，還有採用由內政部國土測繪中心轉換之 TTG 系統，故將其測量成果坐標系統轉至 TWD97 坐標系統上比對，故後續章節不再深究 e-GNSS[2019]系統之成果差異。

由 e-GNSS 轉換之 e-GNSS[TTG97]成果，係採用 Helmert 嚴密法 7 參數坐標轉換及利用網格殘差內差求得法定 TWD97 坐標，將 e-GNSS[2019]坐標轉換至 TWD97 平面坐標系統及 TWVD2001 高程系統。其成果與公告 TWD97 坐標相較，N 值誤差在 1~2 公分，E 值誤差在 1~3 公分，如表 4。

表 4 控制點 e-GNSS[TTG97]成果與 TWD97 成果較差表(單位：公尺)

	ΔN	ΔE	平面位置較差
最大值	0.024	0.033	0.034
最小值	0.001	0.001	0.007
平均值	-0.007	0.016	0.022
標準差	0.012	0.009	0.007

經 e-GNSS[TTG97]檢測結果，出現 1 點平面較差超過 3 公分的點位，其餘點位平面誤差約在 2 公分上下，就各點位之誤差值來細看， ΔN 坐標最大的誤差值點位為 BK151，較差值為 0.024 公尺， ΔE 坐標最大誤差值點位為 GGH5，較差值為 0.033 公尺，如表 4 所示。

2. GNSS-RTK 觀測法

因近年來，各國發展衛星技術有成，現行的衛星星系就有美國的 GPS、俄羅斯的 GLONASS、中國的 BDS、歐盟的 Galileo 等四大全球導航衛星，而多衛星技術與即時動態定位做結合，可獲得精度高、效率高之成果(高書屏, 2017; 張嘉強, 2018)，而本研究區之坐標反算距離都在不超過一公里的狀態下，預估可獲得良好的測量成果。GNSS-RTK 測量方法，成果與公告坐標相較，N 值坐標誤差在-0.004~0.029 公尺，E 值坐標誤差在-0.011~0.013 公尺，如表 5。

表 5 控制點 GNSS-RTK 成果與 TWD97 成果較差表(單位：公尺)

	ΔN	ΔE	平面位置較差
最大值	0.029	0.013	0.029
最小值	-0.004	-0.011	0.003
平均值	0.007	0.001	0.012
標準差	0.011	0.006	0.008

表 6 GNSS-RTK 與 e-GNSS 成本效益差異比較表

	GNSS-RTK	e-GNSS
坐標精度	公分級	公分級
基線(固定站與移動站間距離)	短	長
通訊網路	無線電傳輸	手機通訊
測量範圍	適用小範圍	大小皆可
人力	至少二人	一人即可作業

時間	10秒內	5秒內
使用模式	單一線性或網形區域	網形區域

經 GNSS-RTK 檢測結果，未出現平面較差超過 3 公分的點位，就各點位之誤差值來細看，N 坐標最大的誤差值點位為 BK151，較差值為 0.029 公尺，E 坐標最大誤差值點位為 GGH5，較差值為 0.013 公尺，此二點雖各為 N、E 坐標較差值最大點位，但經多衛星組合觀測下，平面較差都在 0.03 公尺以內，符合平面位置較差小於 3 公分之規範，以上可得知，此次之 GNSS-RTK 觀測品質良好，觀測結果皆可達到公分級精度。

就單點位置誤差來分析，GNSS-RTK 與 e-GNSS[TTG97]之成果，GNSS-RTK 的單點位置求解精度是較優於 e-GNSS[TTG97]即時動態定位測量的成果。但以上二者方法，都是可以符合精度規範內，只是因需求不同而有不同的選擇。e-GNSS 的人力需求，只需一人即可作業，相較 GNSS-RTK 則需要至少二人的作業人力；就測量費用來分析 e-GNSS 須將資料回傳至國土測繪中心之控制及計算中心解算成果，因此一天需繳納 300 元的使用費，而 GNSS-RTK 透過無線電傳輸數據至移動站，立即解算求得高精度坐標，無須任何金錢花費，再者，e-GNSS 須在網路狀況理想狀態下，才能求解，若網路收訊不佳時，可能導致無法收斂獲得固定解，兩種方法之成本效益比較分析，詳如表 6。

(二)圖根測量

表 7 各式測量方法坐標較差表(單位：公尺)

點號	光達雷射掃描			UAV傾斜攝影		
	ΔN 分量	ΔE 分量	平面較差	ΔN 分量	ΔE 分量	平面較差
BK060	-0.006	-0.006	0.008	0.011	-0.036	0.038
BK151	0.023	0.052	0.057	N/A		
BK152	0.012	-0.087	0.088	-0.001	0.007	0.007
GGH5	0.042	-0.003	0.042	0.01	0.025	0.027
GI03	0.029	-0.021	0.036	0.011	-0.029	0.031
GI10	0.008	0.022	0.023	-3.431	-1.331	3.680
HK104	0.005	0.007	0.009	0.013	-0.003	0.013
HK105	-0.02	0.009	0.022	-0.005	0.009	0.010
HK106	-0.038	-0.052	0.064	0.039	-0.028	0.048
HK106-1	0.006	0.021	0.022	0.001	-0.037	0.037
HK107	0.026	0.003	0.026	0.025	-0.011	0.027
HK108	-0.009	0.094	0.094	N/A		

三維雷射掃描儀之測量方式，可確保每個點位的成果展現，UAV 傾斜攝影，因正射化緣故，若點位上空有物體遮蔽，則無法在後續成果上呈現，造成無法評估其精度，如 BK151、HK108 等，請參見表 7。

本文中兩種方法皆為整體「面」的數據呈現，所以比較之首要考量，還是在於對所有點位偵測的可靠度。UAV 傾斜攝影受限先天條件，在此空曠地區仍有 BK151 和 HK108 兩點未能測得，GI10 的精度確實不好，但它依舊有數據產生，如果只因精度欠佳就予以刪除，僅就擇優 9 點去做比對，就失去方法之可靠度的意義，故本文仍以全部測得之數據相比較。在此情況下，3D LiDAR 之測量方式可確保每個點位的成果展現，

經與 TWD97 公告成果進行較差比對，光達雷射掃描之 ΔN 、 ΔE 值分量最大為 0.042 公尺及 0.094 公尺，都優於 UAV 傾斜攝影的 ΔN 、 ΔE 值最大分量-3.431 公尺及-1.331 公尺。就平面位置較差，光達雷射掃描的最大平面較差 0.094 公尺也是優於 UAV 的最大平面較差 3.680 公尺。綜合以上，可歸納出三維雷射掃描儀之測量精度高於 UAV 傾斜攝影測量方式。

相較 3D LiDAR 與 UAV 兩種測量方法，因為 UAV 可涵蓋較大的測區面積，現行少數公家機關已經開始嘗試使用 UAV 傾斜攝影，來進行地形測量及土地複丈，其精度上也可符合部分規範，雖 UAV 無人載具優點在於可進入人員無法到達或難以到達等區域，但無人機受限於環境因素較大，且無人載具引起的負面效應也不容忽視，所以現在政府已經立法管制無人機之使用，UAV 自民國 109 年 3 月 31 日開始須有專業證照，對業者增加作業難度，而 3D LiDAR 在移動效應上，雖較 UAV 來的弱，但其測量資料可以三維方式呈現，受限於環境因子也較 UAV 小，但直接操作的時間成本比 UAV 高出許多，但可預期的是，日後技術純熟後，光達的持有成本必會下降，兩種工具各有利弊，其成本效益之比較分析，請參見表 8。

表 8. 3D LiDAR 與 UAV 成本效益差異比較表

	3D LiDAR	UAV
坐標精度	公分級	公尺級
測量範圍	小	大
呈現方式	三維立體	二維平面
人力	2 人作業	至少 3 人(須有專業證照)
外業時間	6 小時	3 小時

(三)快速地形測量

本研究測站與測站間距離最佳為 30 公尺，其站位間之點雲重疊數量較合適拼接，架站方式盡量維持水平，以利後續拼接，較不會出現點雲不在同一水平面上之情況發生，在控制點位旁約 3 公尺處架站掃描，可使點雲上呈現較清晰之控制點，利於辨識。

根據表 6 及表 8 可歸納以下幾點：

1. 選定外圍控制點，盡量將測區完全包覆在內，避免發生點位外插之情形，在測區內部布設檢核點，以供後續檢驗精度。
2. 控制測量，可選擇 e-GNSS 或 GNSS-RTK，選擇依據測量情況而定，若在通訊良好之場域可選擇 e-GNSS 測量解算求取坐標，相較一人即可作業的 e-GNSS，GNSS-RTK 需要至少兩人的精力，但其優點可在無通訊或通訊不佳之場地，進行點位坐標解算，也無須支付額外費用。
3. 地形測量上，UAV 傾斜攝影以及 3D LiDAR 掃描，就持有成本而言，UAV 入手的費用相較 3D LiDAR 是低許多，但目前要執行 UAV 任務，須要有相關證照才可執行，3D LiDAR 架站可完全比照全測站架設方式，差別在無需另一人進行跑點作業，測量成果呈現上三維的點雲圖比起二維平面的正射圖，其精細度是較好的。
4. UAV 可測量範圍較 3D LiDAR 方式來得廣，可深入至人難以到達的區域，進行測量，但其飛行限制因素較多，除要有相關證照外，若雲層較多或風速過大，都無法進行飛行任務，而 3D LiDAR 雖測量範圍不適宜太大，但對於測量場地之限制，較 UAV 低許多。

(四)數值模型建置

本研究就實驗區域之點雲掃描成果，進行製作數值高程模型以及數值地表模型，以加強後續加值應用。在研究區域，框選 DEM 製作區域，可利用控制點位來劃分範圍大小，此方法有助於不同時期之掃描資料，進行比較分析。透過數值高程模型之建立，研究區之數值模型網格解析度為 50 公分，相較政府公開資料提供之 20 公尺網格大小，能更細膩表示地形之樣貌且對於在範圍適當大小之區域，提供一快速且精確之數值高程模型之建立方法，如圖 5 所示。

除了數值高程模型之加值應用，也可利用點雲資料進行建立數值地表模型之應用，對於現行一般之地籍測量，還是以二維平面為展示方式，對於一般民眾未具備空間邏輯概念者，要透過平面圖轉化為三維空間模式，可能有些許困難，以此，本研究可透過 UAV 傾斜攝影之正射圖與點雲資料所產製之數值地表模型做結合，產製出類三維方式之立體示圖，供作業人員以及民眾，有較好之解釋地界之切入點，如圖 6 所示。

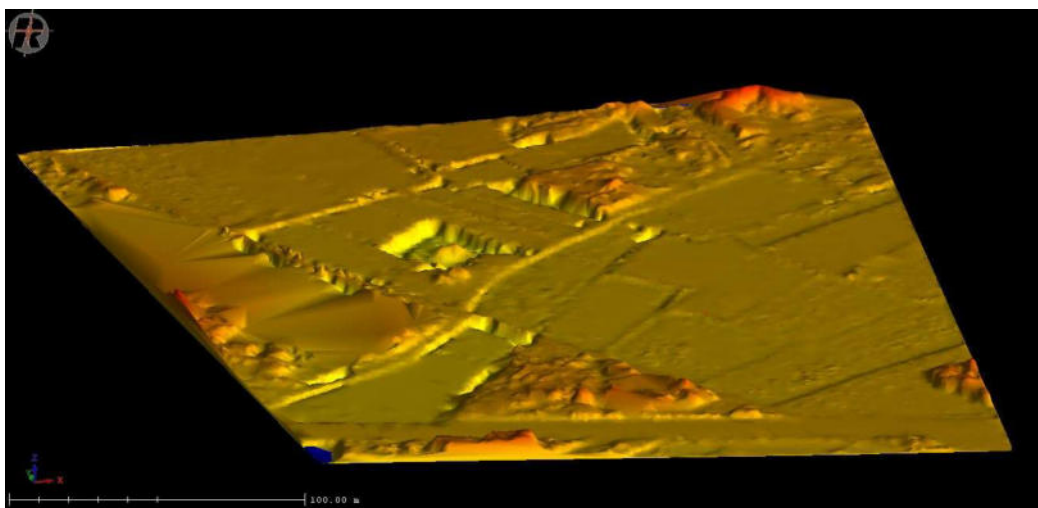


圖 5 研究區數值高程模型圖



圖 6 UAV 搭配 DEM 類三維方式之立體示圖

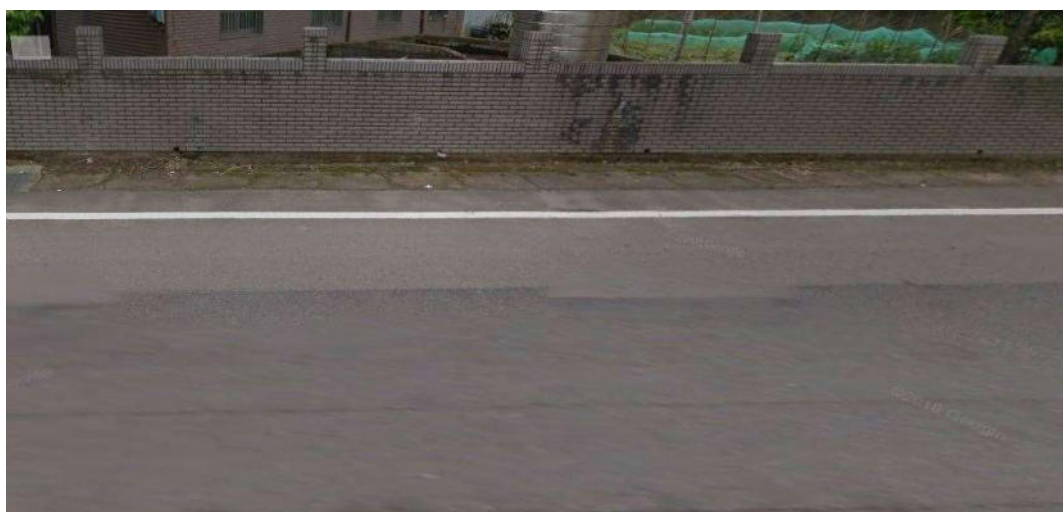


圖 7 現實測區照片



圖 8 UAV 與數值高程模型現況圖

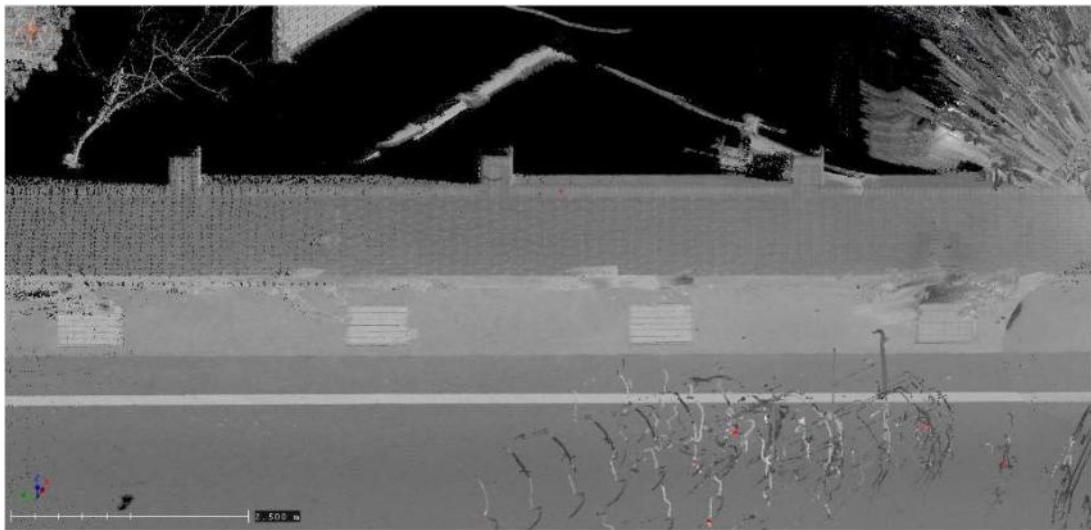


圖 9 原始點雲現況圖

理論上，利用原始點雲所呈現之圖籍方式是最接近現實狀態，如圖 7 與圖 9 所示，但受限於環境，也就是非所有地政相關單位都能持有展示點雲圖籍的設備，經轉換後的數值高程模型，為現階段最常被選擇來替代 3D 圖籍運用，只是因數值高程模型是經平差後的結果，因轉檔改正後部分極端值無法保留，這對於部分地形起伏較大之地區易造成誤差。根據圖 9 所呈現的點雲圖籍，以路邊線而言，地政人員在進行測量時，馬路地抓點方式須將路邊水溝一併納入馬路範圍，透過地面光達所掃描的點雲資料，測量員不需在現場用一點一點的方式測量馬路邊界，可直接利用點雲圖籍將路邊線畫出，因點雲以三維方式呈現，而 UAV 傾斜攝影的正射圖，可能因影像正射造成部分馬路遮蔽，無法從影像中作點連線，點雲可利用不同視角，進行畫圖作業，而不受影響（如圖 8 所示）。

五、結論

1. 在控制點的實驗上，GNSS-RTK(全星系)和 e-GNSS(雙星系)就成本效益相比：兩者所得坐標精度相近，但前者所求得坐標，可因衛星數量增加而縮短觀測時間，且能獲得成果精度較高；就測量環境限制，GNSS-RTK 也較自由，不受通訊訊號影響。e-GNSS 的優點在任何大小範圍下皆能進行測量，一人即可作業，不受無線電波傳遞接收影響，但其成果需搭配全測站，以提高精度。
2. e-GNSS 雖然坐標量測速度快速，但受限於網路通訊訊號影響極大，但 GNSS-RTK 則可不受通訊訊號影響，在本研究區量測的結果，在不同狀況下選擇不同方法，二者成果皆符合測量規範以內。
3. 在圖根點的實驗上，考量所有點位偵測的可靠度，3D LiDAR 之測量方式可確保每個點位的成果展現，3D LiDAR 和 UAV 就成本效益相比：因為 UAV 方式測量可涵蓋較大測區面積，因 UAV 無人載具可進入人員無法到達或難以到達等區域，現行少數政府機關已經開始嘗試使用 UAV 傾斜攝影來進行地形測量及土地複丈，其精度上也可符合部分規範，但無人機受限於環境因素較大，且現在政府已經立法管制無人機之使用。3D LiDAR 在移動性上，雖較 UAV 來的弱，但其所得之平面坐標精度優於後者，且測量資料可以三維的方式呈現，受限於自然環境因子也較 UAV 小，直接操作的時間成本卻比 UAV 高出甚多。
4. 就本研究實驗結果來看，測區內 18 個地面光達測站與測站間距離最佳為 30 公尺，其站位間之點雲重疊數量較合適拼接，拼接精度在公厘等級上下，且架站方式宜盡量維持水平，以利後續拼接，較不會出現點雲不在同一水平面上之情況發生，在控制點位旁約 3 公尺處架站掃描，可使點雲上呈現較清晰之控制點，利於儀器辨識。
5. 本研究利用點雲資料進行解算，所獲取研究區的數值模型網格解析度為 50 公分，相較政府公開資料提供之 20 公尺網格大小，能更細膩表示地形之樣貌。就研究成果來看，直接式的點雲成果展示，不論是精細度以及精度上，都較數值高程模型來得精確，但受限於光達設備成本等限制，還未能將這套展示設施普及化至各基層。

參考文獻

- 內政部，2017，《地籍測量實施規則》，內政部國土測繪中心：臺中。
- 內政部國土測繪中心，e-GNSS 即時動態定位入口網站，
<http://www.egnss.nlsc.gov.tw/>(2019.01.23)。
- 內政部國土測繪中心網站，<http://www.nlsc.gov.tw/>(2020.04.05)。
- 台灣儀器行，<http://www.ticgroup.com.tw/>(2020.01.30)。
- 桃園市政府測量控制點資訊查詢管理系統網站，
<http://control-point-inquiry2.tycg.gov.tw/Normal>(2019.01.08)。
- 高書屏，2017，《GPS 衛星定位測量概論》，三版，詹氏書局：臺北。

- 陳鶴欽、蕭世民、莊峰輔、梁旭文，2015，《e-GNSS[2015]坐標更換及營運實務探討》，內政部國土測繪中心：臺中。
- 郭朗哲，2004，《地面光達於崩塌地地形圖製圖之應用》，國立交通大學土木工程學系碩士論文。
- 粘基非，2005，《反射標與距離檢定對三維雷射掃描儀精度影響評估-以 MensiGS200 為例》，國立交通大學土木工程學系碩士論文。
- 張嘉強，2018，《全球衛星導航系統課程講義》，健行科技大學土木工程學系，http://w3.uch.edu.tw/ccchang50/gps_gnss_201503.pdf(2018.10.20)。
- 張嘉強，2020，《坐標轉換課程講義》，健行科技大學土木學系，http://w3.uch.edu.tw/ccchang50/crd_trsnafer.pdf(2020.02.23)。
- 曾義星、林見福、蔡漢龍、陳鶴欽、曾耀賢，2008，地面光達系統誤差分析及校正，《地籍測量》，第 27 卷，第 1 期，頁 39-50。
- 黃立信、陳其沅、張嘉倫、邱建華，2018，利用 3D 雷射掃描技術應用於結構物監測及地形數化之研究，《測量工程(Journal of Society Engineering)》，第 57 卷，頁 23-38。
- 楊名、馮倩君，2005，《以多參考站為基礎之 GPS 即時動態定位演算法發展》，行政院國家科學委員會專題研究計劃成果報告，國立成功大學測量及空間學系：臺南。
- RIEGL LASER MEASUREMENT SYSTEMS GmbH, 2015, *3D TERRESTRIAL LASER SCANNER General Description and Data Interfaces* : Austria.
- RIEGL LASER MEASUREMENT SYSTEMS GmbH, 2016, *RiSCAN PRO Software Description and User's Instructions* : Austria.
- Sickle, J. V., 2015, *GPS for Land Surveyors*, 4th Edition, Taylor & Francis Group : USA.

地形圖徵鏈結資料架構

洪榮宏¹ 楊錦松^{2*}

論文收件日期：109.12.12

論文修改日期：109.12.30

論文接受日期：110.01.15

摘 要

地形圖徵為描述現實世界各類現象之成果，參考共同分類及語意架構、並以物件為基礎建立，具有空間範圍與位置、屬性描述、識別性考量之特性，可突破傳統參考底圖檢視角色之限制。如可將地形圖徵提供為國內各業務資料之一致性空間參考，可達到減少資源重複建置及提昇跨單位資料整合之效益。過去之流通作業多以資料集（Dataset）為單元，透過網路服務或 API 之公開介面，允許使用者介接使用。鏈結資料(Linked Data)近年之發展為網際網路流通及開放資料服務之模式帶來新的刺激，地形圖徵涵蓋全國範圍，其坐標及屬性由國家測製維護，可作為空間參考來源，因其資料品質穩定且持續更新，可為智慧國土之跨領域應用提供空間化及更新性之契機，鏈結資料思維之導入將可為地形圖徵之應用帶來新一代的運作模式。本研究提出以地形圖徵為核心之跨域鏈結資料基本架構與運作模式，以具有自我描述能力之地形圖徵為基礎，提出地形圖徵以資源描述架構(RDF)建立之具體規劃，再透過識別性之考量而串接不同領域之資料，由此建構位於網際網路之開放圖徵資料應用環境，提升探索跨域資訊之可能性，開創更為多元之應用契機。

關鍵詞：地形圖徵、資源描述架構、語意網、鏈結資料。

¹ 教授，國立成功大學測量及空間資訊學系。

² 博士候選人，國立成功大學測量及空間資訊學系。

*通訊作者，TEL：(06) 2757575#63851，E-mail：struts@geomatics.ncku.edu.tw。

Framework of Linked Data for The Topographic Feature

Jung-Hong Hong¹ Chin-Sung Yang^{2*}

Abstract

The topographic feature is a critical media to describe the various phenomena in the real world. It refers to the common semantic classification of topographic feature, which is modeled as an object-oriented framework. The topographic feature has the characteristics of location, attribute, and identification. It is applied to many aspects of services, not just viewing. If the topographic feature can be provided as a consistent spatial reference for domestic domains, it can reduce the redundant construction of resources and improve the efficiency of cross-domain data integration. In the past, most of the operations used Dataset as a unit, allowing users to interface and use it through the open interface of web services or APIs. The development of Linked Data in recent years has brought new model to the web applications and open data services. The topographic feature has the advantages of nationwide spatial reference and continuous updating, which can provide cross-domain applications for smart land projects. The adaption of linked data will bring a new generation of using of topographic feature. This research proposes the basic rules and the framework of linked data for topographic feature. Topographic feature is recorded with the format of resource description framework (RDF), and has the ability of self-describing. With the design of identifier URI, topographic features can link to each other, even other cross-domain resources. This framework can enhance the possibility of exploring cross-domain data, and creating more diverse value-added application.

Keywords : Linked Data, Resource Description Framework, Topographic Feature, Semantic Web.

¹ Professor, Department of Geomatics. National Cheng Kung University.

² Ph.D. Candidate, Department of Geomatics. National Cheng Kung University.

* Corresponding Author, TEL: +886-6-2757575#63851, E-mail: struts@geomatics.ncku.edu.tw.

一、前言

地理資訊之應用需要來自不同來源之大量資料，教科書中常以「圖層套疊」之概念解釋地理資訊系統具有強大之整合能力，並可提供決策分析之參考(閻克勤，2011;丁志堅，2018)。但這個概念之成功運作不能僅僅倚賴轉換為相同之坐標系統，由物件模式化之觀點，至少必須包括兩個重要的考量：空間位置與正確關聯，意味所有針對現實世界所建立之資料均應具有位置之描述，且各領域之資料必須正確關聯至對應之物件描述，可由此構建跨領域之數值世界，滿足各類應用場合之需求。地形圖中包括豐富及多元之主題資料內容，若可將地形現象具體分門別類，再針對單一物件加以處理，成為同時具有空間及屬性描述之物件層級資料，正可彌補眾多領域缺乏位置資訊建置專業之缺憾。

在智慧國土之發展目標下，地形資料之發展配合地形圖徵、資料庫及 API 服務等核心理念之落實，已完成大量資料之建置，並已包括實體資料、線上展示及服務介接等多元之方式提供跨域之應用(史天元，2019；洪榮宏與廖向芃，2008；洪榮宏與曾鈺雯，2010；洪榮宏與黃敏郎，2011；洪榮宏等，2013；洪榮宏與楊錦松，2018)。地形圖之流通供應單位不再侷限為固定圖幅或行政區之檔案，取而代之的是單一之地形圖徵，每一筆流通資料都是圖徵物件，且經過資料標準及各種規範之設計，以開放之模式提升跨域之互操作應用。我國地形圖徵之分類參考「地形資料分類架構」(徐百輝，2013)，此具有階層式考量之語意分類架構除明確規定每一個地形分類的名稱及定義，也由上下階層之關係界定分類間之語意關聯，可以地形資料領域字彙集(徐百輝等，2014)之觀點說明地形圖徵之意義，並可進一步提供以「知識本體」觀點建立跨域互動之基礎。在基於描述主題納入量身訂製之屬性及結合標準之品質描述後，可產製具有「自我描述能力」之地形圖徵(洪榮宏與陳欣宜，2016)，滿足使用者端之解讀及應用判斷。展望未來之發展趨勢，開放、服務、應用及協作將是關鍵的挑戰，如何活化地形圖徵未來之應用模式也將是必須審慎檢視之課題。

鏈結資料是開放資料之服務技術，目前採用鏈結資料發布開放資料之應用案例相當多，例如美國政府的開放資料集網站 Data.gov，倫斯勒理工學院將其發布為鏈結資料(<http://data-gov.tw.rpi.edu/>)，其筆數超過 50 億筆三元組資料(Triple，為鏈結資料的主要結構)。維基百科以 DBpedia(http://dbpedia.org/page/Linked_data/)提供開放之鏈結資料，包括超過 2 億 4700 萬筆三元組資料。由全世界著名之鏈結開放資料所構成之鏈結開放資料雲可從 <https://lod-cloud.net/> 取得，這些鏈結開放資料形成了龐大資訊及知識，並且在人工智慧及其他領域的各種應用發展扮演著重要的角色(林宗慶，2019；陳天任，2019)。IBM 的 Watson 人工智慧曾贏得美國的電視智力競賽節目，其使用的資料即是來自於 DBpedia 及 YAGO 等兩個鏈結開放資料(IBM, 2012)。開放鏈結資料已發展為全球性的資料整合環境，透過資料鏈結與語意網技術、大數據資料的結合，成為威力龐大的知識庫(林祉豪，2018；吳泰

廷等，2012；符興智與柯皓仁，2017)。

基於創新跨域服務與提升資料內容開放層級，使地形圖徵不僅可以鏈結資料之形式發布，更期待地形資料可與其他資料建立更有效之鏈結，發揮地形圖徵具有空間參考及良好品質之特色，邁向開放資料五星級之目標，本研究以地形圖徵為核心，強化地形資料知識本體之發展，再延伸討論建立跨域鏈結資料之策略，整體目標羅列如下：

1. 設計地形圖徵鏈結資料架構，使得地形圖徵可發布為鏈結資料，單一圖徵可獨立運作，並可由 SPARQL 語言(W3C SPARQL Working Group, 2013)查詢並取得資料，並透過知識本體(Ontology)了解其語意，活化應用之可行性。
2. 在前述鏈結資料架構中，整合時間版本之設計，使得在鏈結資料架構中可建置不同時間版本之地形圖徵鏈結資料，不同版本之地形圖徵並可彼此鏈結。
3. 地形圖徵之測製參考自相關測製規範及地形資料分類架構，並以資源描述架構(RDF, Resource Description Framework, Cyganiak, et al., 2014)建立開放描述，允許自我描述地形圖徵鏈結其參考之規範。使用者在取得地形圖徵之同時，可一併獲得對應版本之地形圖徵的測製規定，提升應用之正確性。
4. 完成地形圖徵與跨域圖資基於識別屬性之鏈結架構，實現以地形圖徵為核心、具有空間描述能力之跨域鏈結機制，進而提昇我國各領域資訊應用地理資訊技術解決面對課題之可能性。

二、相關文獻

鏈結資料之發想來自於網際網路彼此資料可開放存取及相互鏈結之，在知識系統、圖書館裡、數位典藏、地名資料庫等諸多領域已有大量之成果，也陸續納入空間面向之考量，以下重點分析其運作之模式及實務應用之成果。

(一)RDF 及 Linked Data

RDF 由全球資訊網協會(World Wide Web Consortium, W3C)訂定，為用於描述網路資源之架構，並可作為網路上資料交換之標準模型。RDF 語法以 XML 為基礎進行編寫，藉由其標記之特性而賦予語意，使其發展為一個機器可讀、且可理解的語言。RDF 資料模型將每一個網路資源透過一個敘述(Statement)進行描述，每一個敘述都是一個三元組(Triple)的集合，包含資源(Resource)、屬性(Property)及屬性值(Property Value)，亦可解讀成主詞(Subject)、述詞(Predicate)跟受詞(Object)，(參見圖 1)，具體之描述內容為：

1. 資源：任何實體、現象、生物及概念，都可以是 RDF 的資源。可為一個完整網頁(web page)、網頁的一部分或網頁的集合，亦可為一個無法直接由網站取得的實體物件(例如一本書)及各種現象。
2. 屬性：用來描述資源之特性或與其他資源間之關係，每個屬性都有其特定意義，並可額外定義其容許值及與其他屬性間之關係。

3. 屬性值：可用各種資料型態記錄，或為另外一個「資源」。

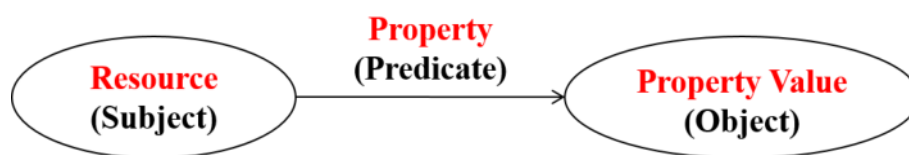


圖 1 RDF 的 Triple 資料模型

當 Object 也是一個資源時，該三元組即可解釋為兩個資源之間的關係，也代表兩個資源之間具有鏈結。一個完整的 RDF 架構包含 .rdf 及 .rdfs 這兩個檔案，前者用於記錄資源之實例，後者則用於描述檔案之架構，包括階層式架構、屬性定義等。rdf 及 rdfs 所定義之基本元素包含「Class」及「Property」，前者用於定義選擇領域中的某種概念或類別，可以 Class 及 subClassOf 記錄資源間之繼承與上、下階層關係。若以 RDF 資料模型三元組之觀點，Class 所定義之「類別」可視為「資源」；Property 則用來描述與該資源相關之屬性或建立該資源與其他資源間之關係，即為直接對應三元組之「屬性」，並透過「domain」及「range」記錄該屬性之定義域及值域範圍，值域範圍除單純以文字(Literal)記錄外，亦可連結至某一特定「資源」，以建立兩者間之關係。

RDF 文件中之資源及屬性皆可由使用者自行定義，為了避免整合不同使用者各自定義之 RDF 在名稱及屬性間產生衝突，RDF 文件之開頭必須明確定義所使用之「命名空間」(Namespace)，多以特定之 URI 表示。命名空間主要用以明確告知文件中的每一個資源及屬性分由哪一個領域或單位所定義及提供，每一個命名空間都會有一個相對應的前置詞(Prefix)，用於宣告每一個資源及屬性與其命名空間之關聯性，避免重複記錄過多相同之 URI。透過命名空間及前置詞之宣告，具備相同前置詞之資源或屬性即隸屬於相同之命名空間，可以有效避免不同領域間相同字彙之混淆。例如 Wikipedia 之 linked data 「DBpedia」，其命名空間為 <http://dbpedia.org/>，prefix 為 dbpedia。

RDF 及 SPARQL 之運作模式為資料之流通帶來的革命性發展。SPARQL 為 RDF 的查詢語言，其結構由 SELECT、FROM、WHERE 組成，透過 WHERE 條件關係指定三元素(subject、predicate、object)的條件，即可針對 RDF 的三元組資料進行查詢。SPARQL 的 WHERE 所指定之資源集合(又可稱「Graph」)，以 URI 作為名稱，例如 DBpedia 之 Graph 為「<<http://dbpedia.org/>>」，GeoNames 之 Graph 為「<<http://geonames.org/>>」。由此可知 SPARQL 運作之環境與資料庫 SQL 查詢不同，SPARQL 可針對網際網路上開放的所有 Graph 進行查詢，無論資料分散在那個 URI，只要可建立正確的 URI 及 Graph，就可以透過 SPARQL 查詢。

(二)鏈結資料架構之 URI 設計

無論是鏈結資料之需求，或是地形圖徵之資料建構，皆須針對描述之物件建

立一個可以「明確識別」的基礎，如此可透過其記錄內容唯一識別所描述之物件，此屬性即為本研究所稱之「識別碼」。地形圖徵之識別碼就如同物件之「身分證」一樣，在地形圖徵測製完成之後，即給予一個識別碼，在其滅失之前，此識別碼可滿足地形圖徵在生命週期中唯一性之考量，不但可有效串聯不同版本地形圖徵之時序關係，更可作為跨領域結合應用之共同參考。如果將地形圖徵之識別碼機制融入鏈結資料 URI 的設計，可使地形圖徵鏈結資料 URI 之架構更具備識別性。

以識別碼配合網域名稱設計 URI 在國際上已有許多案例，例如 W3C 的「Cool URIs for the Semantic Web」、歐盟的「INSPIRE Generic Conceptual Model ver3.4」，雖然並非國際標準，但一個國家或組織如果可以制定有意義且具有規則或分類之 URI 設計規範，將有助於透過 URI 有組織地區隔不同組織或部份之資料或服務，減少解讀及引用的雜亂現象。例如英國透過由英國內閣辦公室(Cabinet Office)頒佈之「Designing URI Sets for the UK Public Sector(設計英國公部門 URI 集合)」，規定政府資料之 URI 的設計及使用建議 (Davidson, 2009)，使各單位發布之鏈結資料之 URI 依循一致性之共同規則。這份報告文件指出一個 URI set (URI 集合) 應包含四種資訊，並具有特定之關係 (參見圖 2，虛線代表選擇性記錄條件)。四種資訊說明如下：

- 一個 URI 作為 URI set 之名稱，可描述其品質相關特性。
- 集合內真實世界物體或現象的識別碼 URI (Identifier URI)。
- 定義綱要的概念和關係的知識本體 URI (Ontology URI)。
- 列出在集合中的識別碼 URI 的列表 URI (List URI)。

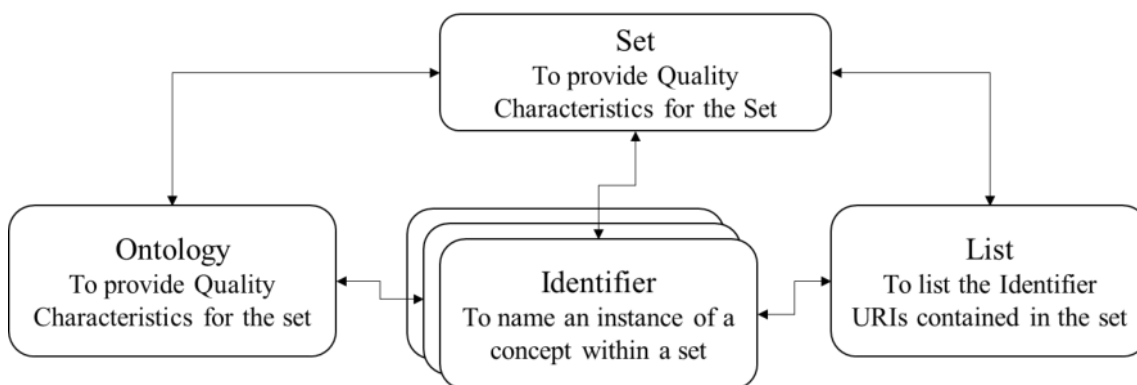


圖 2 英國規劃之鏈結資料 URI 集合關係圖

例如英國測量局(Ordnance Survey)發布之 50k Gazetteer 鏈結資料 (<http://data.ordnancesurvey.co.uk/ontology/50kGazetteer/>)，此 URI 即為此報告所稱之 URI set。集合內每筆資料具有各自之 Identifier URI，定義資料的概念語言則使用 OWL (W3C OWL Working Group, 2009)，其檔案副檔名為.owl，<https://www.ordnancesurvey.co.uk/legacy/ontologies/50KGazetteer.owl> 則為此 URI set 之 Ontology URI。

三、地形圖徵鏈結資料基本架構

本研究由開放之觀點建立地形圖徵網路資源之鏈結基礎架構，前述分析已說明識別碼機制融入 URI 設計之概念，本研究建立地形圖徵鏈結資料之架構，並以自我描述圖徵為發展目標，除須包括品質描述、分類架構及測製規範等不同種類資訊之鏈結設計，也必須納入時間版本之鏈結設計。以下內容分為 3 個小節，包括地形圖徵之識別碼設計、鏈結資料架構、地形圖徵語意，分述如下。

(一)地形圖徵鏈結資料架構設計

在鏈結資料中，所有資源皆需要 URI 作為識別及存取之依據，當發展地形圖徵鏈結資料時，亦需要唯一 URI 設計機制，使每一個地形圖徵在網際網路中具有獨一無二之 URI。本研究因此設計地形圖徵之唯一識別碼並發展 URI 之設計規則，以奠定鏈結資料之識別基礎。在本研究設計之地形資料鏈結資料架構中，各地形圖徵皆具有唯一的 URI，在其生命週期結束之前，此 URI 皆不變。例如將台北 101 視為地標，納入地形圖徵鏈結資料，將其 URI 設計完成，台北 101 之不同時間所測製的各版本資料，可稱為實例(instance)，針對每一個台北 101 實例亦設計 URI 規則，則台北 101 的不同時間版本實例具有各自之 URI，並鏈結到代表台北 101 之 URI，則各使用者或應用發展單位，不需要知道台北 101 具有什麼版本之資料，只須存取台北 101 之 URI 則可鏈結到所有實例之 URI，請參考圖 3。

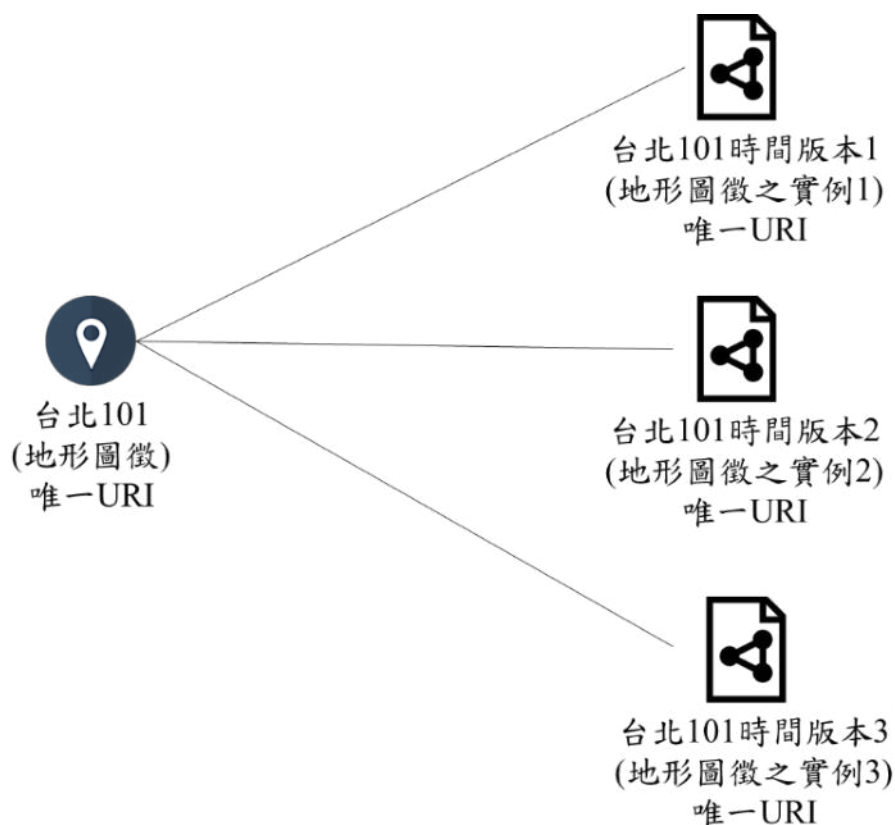


圖 3 地形圖徵與實例之 URI 設計概念

此外，因地形資料之測製規範與地形資料分類架構可能隨使用者之需求而不斷進行調整，而有不同之版本，因此每一個地形圖徵之地形圖徵實例，必然與測製當時之地形資料分類架構版本及測製規範版本具有對應關係。如圖 4 所示，某一地形圖徵之 ID 假設為 1000，總共測製了 4 個不同時間版本之地形圖徵實例，各自參考不同版本之測製規範，則本架構須建立地形圖徵實例與對應之地形資料分類架構、測製規範之鏈結關係，則無論使用者在鏈結資料架構內取得哪一個地形圖徵實例，皆可由地形圖徵實例內連結對應之測製規範參考，進而取得正確之測製規範內容。

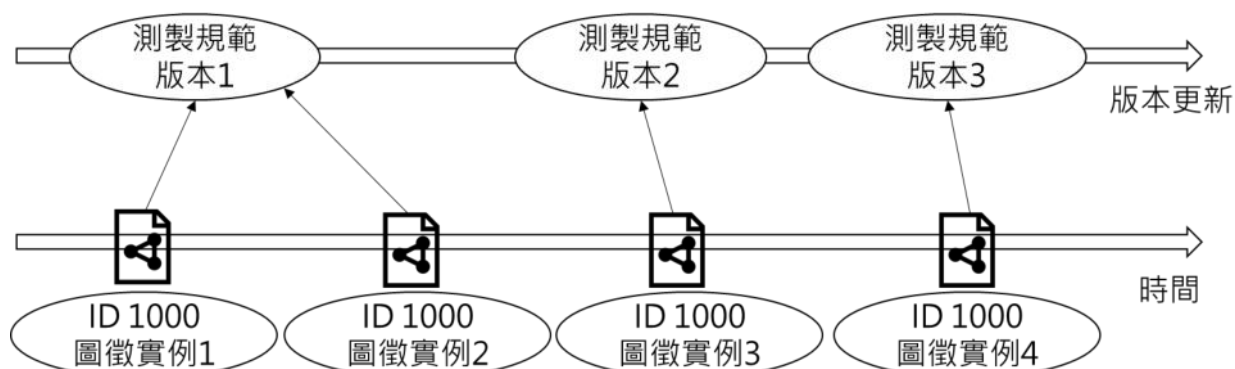


圖 4 各圖徵實例之時間版本

依據前述討論，本研究建立地形圖徵、地形圖徵實例與其他資源之關係，設計完成之地形圖徵鏈結資料架構如圖 5 所示，在本架構中，針對地形圖徵之地形資料分類，建立對應之知識本體，例如建立地標之知識本體以描述地標，建立行政區之知識本體以描述行政區。各地形圖徵具有不同時間版本之地形圖徵實例，各實例在資料測製時參考之資料，包括地形資料分類架構及地形資料測製規範，亦分別建立為 RDF，讓各實例進行鏈結。各地形圖徵亦可與其他網路資源進行鏈結，例如 DBpedia 或 GeoNames，藉此擴充資料鏈結。

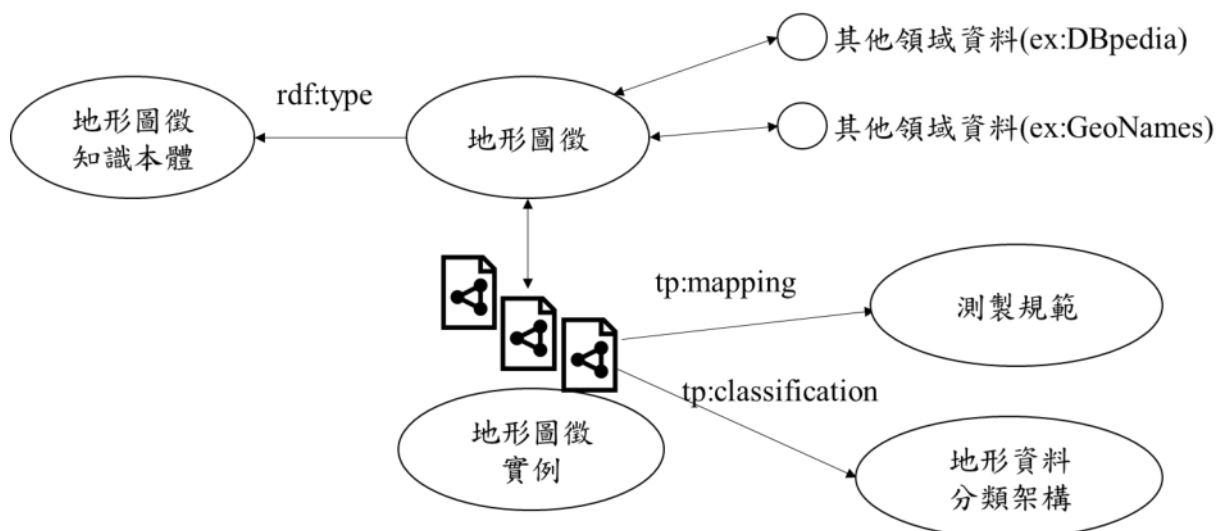


圖 5 地形圖徵鏈結架構

地形圖徵之分類架構採階層式樹狀架構，符合上下階層之語意關係，同層分類之語意具有互斥性，共有 10 大類資料，由於每一個地形圖徵皆具有對應之分類，因此地形圖徵之分類架構相當適合用於 URI 之階層設計，將分類名稱或代碼作為 URI 其中之一，則可使 URI 設計具有語意之關聯及階層。此外，為使地形圖徵實例之 URI 設計可具有唯一，須融入時間因素之設計，綜合前述分析，本架構設計五種 URI，以對應圖 5 之地形圖徵鏈結架構。各 URI 之設計規格條列於表 1。分別說明如下：

1. Identifier URI：

地形圖徵識別碼之 URI，命名規則為 <http://domain/tp/id/concept/identifier>，「domain」代表機關之網址，tp 代表地形圖徵，id 代表識別碼。命名規則為「concept」及「identifier」之組合。concept 為各地形圖徵所屬之地形圖徵分類，例如地標為 landmark；identifier 為各地形圖徵之唯一識別碼，此識別碼使得各物體具有一個可明確區隔之 id，是整體架構運作之基礎，各地形圖徵之識別碼設計請見 3.2 節。

2. Document URI：

地形圖徵實例之 URI，命名規則為 <http://domain/tp/doc/concept/identifier/version>，各地形圖徵實例具有不同時間版本，在 URI 內以資料之年度版本做為區別。Doc 代表實例，concept 及 identifier 之設計與地形圖徵識別碼 URI 相同。version 代表時間版本，以目前臺灣通用電子地圖資料更新時間，建議以西元年度為主，例如 2016 代表西元 2016 年。

因地形圖徵實例 URI 可能具有多個，當使用者直接存取地形圖徵 URI 時，可鏈結而得到架構內之各時間版本之地形圖徵實例 URI，藉此取得不同時間版本之地形圖徵 RDF 資料，並且經由圖所展示之關聯性，使用者可取得正確知其它參考資源，包括測製規範及地形資料分類架構。

3. Ontology URI：

地形圖徵知識本體之 URI，命名規則為 <http://domain/tp/def/concept>，def 代表知識本體，concept 之設計與地形圖徵識別碼 URI 相同。每一個地形圖徵之語意可由對應之地形圖徵知識本體 RDF 文件描述，藉由此 URI 取得對應之知識本體 RDF 檔案。

4. Classification URI：

地形資料分類架構之 URI，命名規則為 <http://domain/tp/classification/version/concept>。classification 代表分類架構，version 填寫年份，concept 填寫地形圖徵之地形資料分類架構之代碼。

5. Specification URI：

測製規範之 URI，命名規則為 <http://domain/tp/mappingspec/version#concept>。mappingspec 代表測製規範，version 填寫年份，concept 填寫 concept 填寫地形圖徵之英文分類名稱。

表 1 URI 設計規則

URI 類型	URI 命名規則	說明
Identifier URI	http://domain/tp/id/conc	地形圖徵 URI，concept 為各地形圖徵

	ept/identifer	所屬之分類，例如 landmark 代表地標。 identifier 為地形圖徵之唯一識別碼。
Document URI	http://domain/tp/doc/concept/identifier/version	地形圖徵實例之 URI，concept 為各地形圖徵所屬之分類，例如 landmark 代表地標。identifier 為地形圖徵之唯一識別碼。doc 代表實例，version 代表時間版本，例如 2016 代表西元 2016 年。
Ontology URI	http://domain/tp/def/concept	地形圖徵知識本體之 URI，concept 為各地形圖徵所屬之分類，例如 landmark 代表地標。
Classification URI	http://domain/tp/classification/version/concept	分類架構之 URI，具有版本。version 填寫年份，concept 填寫地形圖徵之地形資料分類架構之代碼。
Specification URI	http://domain/tp/mappingspec/version#concept	測製規範之 URI，具有版本，version 填寫年份，concept 填寫地形圖徵之英文分類名稱。

(二)地形圖徵之識別碼設計

本節說明各地形圖徵之識別碼設計，結合唯一識別碼及本研究之鏈結資料 URI 架構，則可使各地形圖徵之五種類型 URI 皆具有唯一 URI，以發布鏈結資料並與其他領域資料進行各種存取與應用。因目前國內並沒有跨領域之唯一編碼，因此整體設計需參考不同之識別碼參考系統。舉例來說，地標因包括不同業務之政府機關，因此參考國家發展委員會所訂定之 OID，此 OID 代碼，遵循聯合國 ITU 組織對於 OID 之規劃(<http://www.itu.int/en/ITU-T/asn1/Pages/OID-project.aspx>)，未納入 OID 之部分則參考國土測繪中心所給予之流水碼。本研究因此設定兩部分之識別碼設計，說明如下：

1. 地形圖徵之描述對象，具有機關或領域組織發展適用於全國之代碼，例如中央機關頒布並管理維護之控制點，則有內政部訂定之控制點點號，中央管理之河川則有河川水利署訂定之河川代碼，描述行政機關之地標，可使用之國發會 OID。此部分具有明確之代碼及設計規則。
2. 未具有適用全國的領域識別碼，可由地形圖生產機關確認且由其編定代碼，例如臺灣通用電子地圖之道路中線、河川、臺灣鐵路、高速鐵路、部分地標，由地形圖生產機關決定其代碼之編定規則。此類資料之識別碼新增作業僅須由地形圖生產機關內部程序進行，可依照資料生產程序生產並正確使用識別碼即可。

依據前述的兩種設計，表 2 列舉各地形圖徵之識別碼分析及設計結果，並依據 3.1 節所定義之 URI 命名規則舉例說明。表中所列之 URI 範例為地形圖徵 URI，當記錄地形圖徵實例 URI 時，則須加上 version 版本訊息。

表 2 各地形圖徵之識別碼及 URI 設計整理表

項次	地形圖徵	空間表示	識別碼設計	識別碼範例	URI 範例	URI 命名設計備註
1.	測量控制點	點	點號	1119 (一等水準點)	http://www.gps.moi.gov.tw/tp/id/control/1119	全國統一之控制點採用此編碼方式，「 http://www.gps.moi.gov.tw 」代表內政部地政司。
			區域性代碼+流水號	D0000000001 (導線點)	http://www.nlsc.gov.tw/tp/id/control/D0000000001	區域性控制點例如加密控制點，加入區域性代碼避免重複，「D」代表臺南市；「 http://www.nlsc.gov.tw 」代表國土測繪中心。
2.	縣市界	多重面	代碼	67000 (臺南市)	http://www.ris.gov.tw/tp/id/county/67000	使用戶政司之省市縣市代碼、縣市代碼，「 http://www.ris.gov.tw 」代表戶政司。
3.	鄉鎮市區界	多重面	代碼	67000320 (臺南市東區)	http://www.ris.gov.tw/tp/id/township/67000320	使用戶政司之省市縣市鄉鎮市區代碼，「 http://www.ris.gov.tw 」代表戶政司。
4.	村里界	多重面	代碼	67000320002 (臺南市東區裕農里)	http://www.ris.gov.tw/tp/id/village/67000320002	使用戶政司之村里代碼，「 http://www.ris.gov.tw 」代表戶政司。
5.	臺灣鐵路	線	區域性代碼+流水號	D0000000001	http://www.nlsc.gov.tw/tp/id/railway/D0000000001	使用縣市碼(1 碼)+流水號(10 碼)，「D」代表臺南市；「 http://www.nlsc.gov.tw 」代表國土測繪中心。
6.	高速鐵路	線	區域性代碼+流水號	D0000000001	http://www.nlsc.gov.tw/tp/id/hsr/D0000000001	使用縣市碼(1 碼)+流水號(10 碼)，「D」代表臺南市；「 http://www.nlsc.gov.tw 」代表國土測繪中心。
7.	捷運	線	區域性代碼+流水號	D0000000001	http://www.nlsc.gov.tw/tp/id/rapidtransit/D0000000001	使用縣市碼(1 碼)+流水號(10 碼)，「D」代表臺南市；「 http://www.nlsc.gov.tw 」代表國土測繪中心。
8.	道路	線	區域性代碼+流水號	D0000000001	http://www.nlsc.gov.tw/tp/id/road/D0000000001	使用縣市碼(1 碼)+流水號(10 碼)，「D」代表臺南市；「 http://www.nlsc.gov.tw 」代表國土測繪中心。

項次	地形圖徵	空間表示	識別碼設計	識別碼範例	URI 範例	URI 命名設計備註
9.	河川中線	線	區域性代碼+流水號	D0000000001	http://www.nlsc.gov.tw/tp/id/road/D0000000001	河段資料代碼使用縣市碼(1 碼)+流水號(10 碼),「D」代表臺南市;「 http://www.nlsc.gov.tw 」代表國土測繪中心。
				1140000 (淡水河)	http://www.wra.gov.tw/tp/id/road/1140000	整條河川,例如「淡水河」,代碼使用水利署編定之「臺灣地區河川(含部分排水)代碼」。「 http://www.wra.gov.tw 」代表水利署。
10.	面狀水域	面	區域性代碼+流水號	D0000000001 (湖泊)	http://www.nlsc.gov.tw/tp/id/waterarea/D0000000001	使用縣市碼(1 碼)+流水號(10 碼),「D」代表臺南市;「 http://www.nlsc.gov.tw 」代表國土測繪中心。
11.	區塊	面	學校代碼	193508 (臺中市立黎明國民中學)	http://depart.moe.edu.tw/tp/id/school/193508	學校可使用教育部統計處之各級學校名錄內之學校代碼,識別碼參考系統「 http://depart.moe.edu.tw 」代表教育部。
			區域性代碼+流水號	D0000000001	http://www.nlsc.gov.tw/tp/id/block/D0000000001	其他部分使用縣市碼(1 碼)+流水號(10 碼)。「D」代表臺南市;「 http://www.nlsc.gov.tw 」代表國土測繪中心。
12.	地標	點	OID	2.16.886.101.20002.20001 (中央研究院)	http://oid.nat.gov.tw/tp/id/landmark/2.16.886.101.20002.2001	行政機關可使用 OID 編碼,識別碼參考系統「 http://oid.nat.gov.tw 」代表國家發展委員會。
			區域性代碼+流水號及其他代碼	D0000000001 (工廠)	http://www.nlsc.gov.tw/tp/id/landmark/D0000000001	其他地標使用領域之領域代碼(例如便利商店之店號),或是縣市碼(1 碼)+流水號(10 碼)。「D」代表臺南市;識別碼參考系統「 http://www.nlsc.gov.tw 」代表國土測繪中心。

依據本研究設計之鏈結資料架構，以台南市政府(地標資料)為例，請參考圖 6 之範例，以本研究之架構，其 Identifier URI 為「<http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/landmark/D0000004992>」，可有不同版本之地形圖徵實例，例如 105 年度，則 Document URI 為「<http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/doc/landmark/D0000004992/2016>」。105 年度對應之地標圖徵之測製規範則為「<http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/mappingspec/2016#LandmarkSpec>」，而參考之地形資料分類架構之地形分類則為「<http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/classification/2013/9950403>」。台南市政府地標圖徵之 Identifier URI「<http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/landmark/D0000004992>」將不會變更，並且作為與其他領域鏈結之 HTTP URI。僅須依照地形圖徵資料之測製而更新不同版本之圖徵物件。

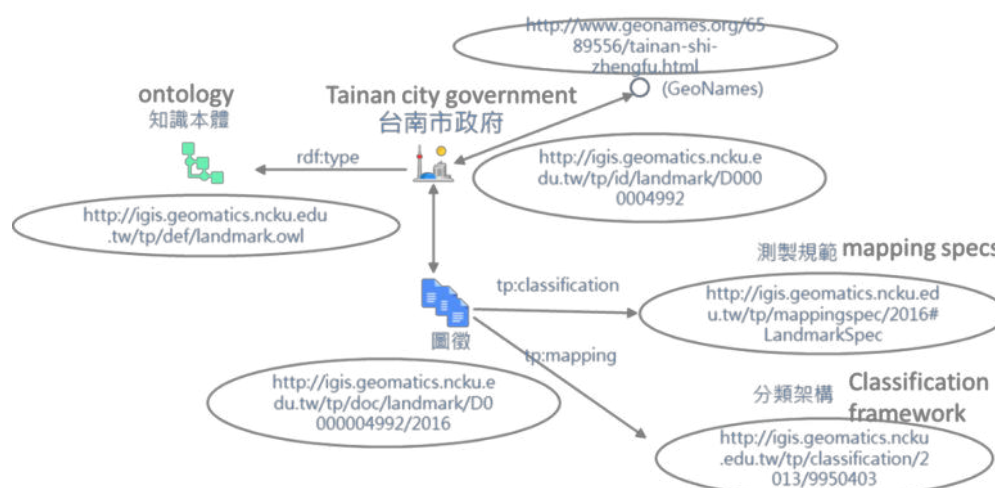


圖 6 以地標為例之地形圖徵資料鏈結架構

(三)地形圖徵語意設計

目前使用各類開放資料時常面臨資料之異質性問題，主要原因在於流通共享之資料並未攜帶知識本體(ontology)，則難以區分彼此間的差異，若資料皆帶有知識本體，則可以知識本體內的語彙，進行語意對應，以分析資料之間語意的一致性，亦可更進一步，透過語意推理或連結外部資料，藉此產生新的知識，都可以賦予鏈結資料更多資料利用價值。為建立地形圖徵之 RDF 資源，須先建立地形圖徵之知識本體。當需要建立及查詢空間坐標及位相關係之資料時，僅使用 RDF 及 SPARQL 標準是不足夠的，因此本研究另加入 OGC GeoSPARQL 標準所定義的圖徵、幾何及空間關係的語彙，且引用 W3C SDW WG 的 Time Ontology in OWL 的時間語彙，建立地形圖徵的知識本體。

在地形圖徵知識本體當中，我們設計一個名為 `tp:Feature` 之類別，作為所有地形圖徵的上層抽象類別，請參考圖 7。此類別繼承 GeoSPARQL 所定義 `geo:Feature`，藉此繼承所有 `geo:Feature` 的屬性及其關係。`tp:Feature` 具有 4 個屬性，包括引用自 RDFS 的 `rdfs:label`，作為圖徵的名稱；`tp:identifier` 用以記錄地形圖徵

之識別碼；tp:identifierSystem 記錄識別碼參考系統；tp:code 記錄地形圖徵之分類代碼。另以 time:instant 記錄圖徵的量測時間。tp:Feature 以 geo:hasGeometry 記錄地形圖徵的空間幾何，geo:Geometry 是一個基礎的類別，在實際記錄資料時將以不同的幾何型別記錄，坐標部分則使用 geo:wktLiteral 類別記錄。此外，為描述地形圖徵之測製規範及地形分類架構，分別以 tp:mappingSpec 及 tp:classification 類別記錄測製規範及地形資料分類架構的 RDF。time:Interval 則用以記錄圖徵的有效時間範圍。

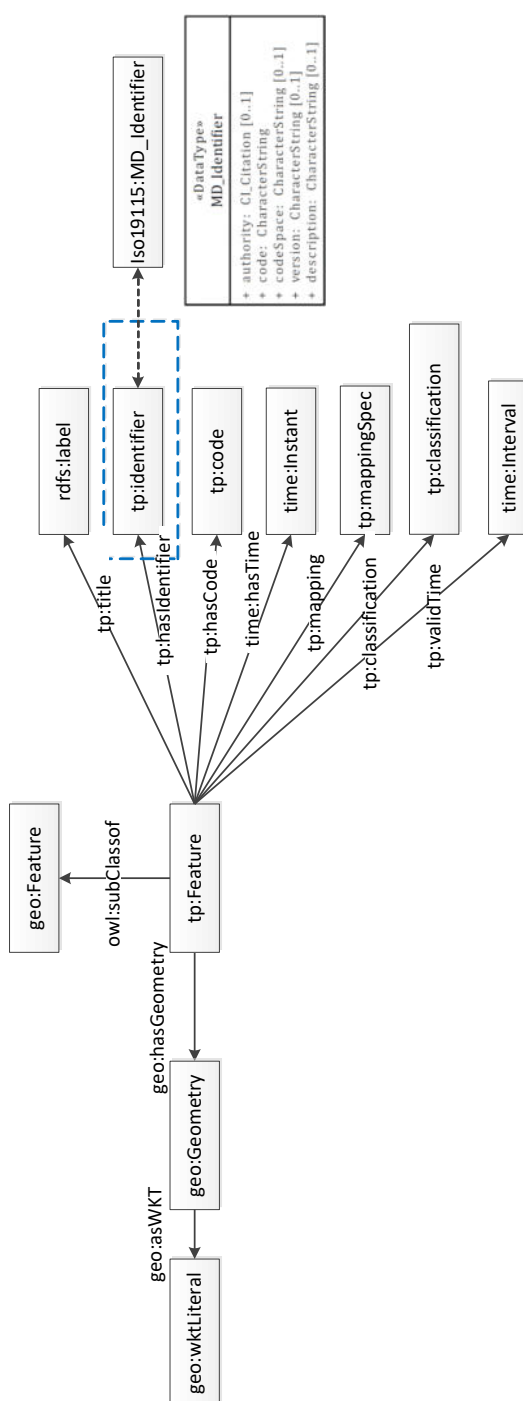


圖 7 地形圖徵知識本體

為進行試做，本研究以地標及行政區域為對象，設計兩種資料之知識本體。地標之地形圖徵類別為 `tp:Landmark`，繼承 `tp:Feature` 的各種屬性與關係，請參考圖 8。另外，為與其他開放資料的知識庫建立鏈結以豐富自身知識庫語意，本研究設計地標圖徵可透過 `owl:sameAs` 與 GeoNames(<https://www.geonames.org/>) 建立鏈結，並與行政區界之知識本體類別 `tp:AdministrativeDivision` 建立 `geo:sfWithin` 及 `geo:sfContains` 的空間位相關係，當地標資料依此知識本體建立 RDF 資料，可藉由鏈結探索 GeoNames 及行政界資料。

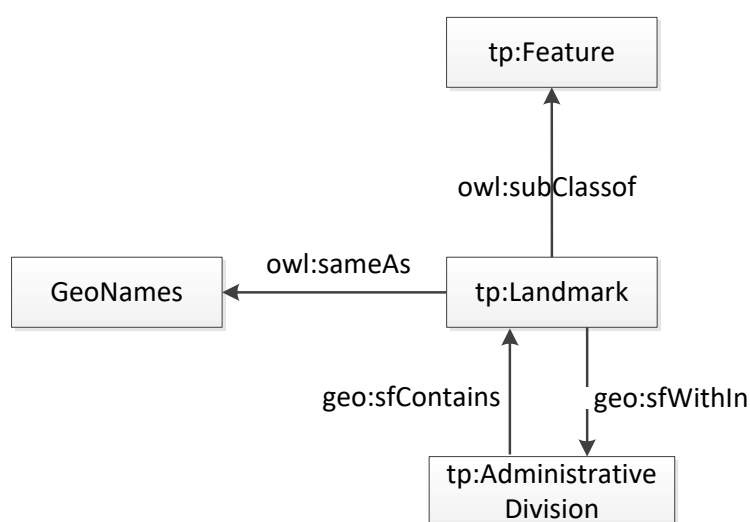


圖 8 地標知識本體

OGC GeoSPARQL 提供了標準的語彙，對於地形圖徵知識本體的建構而言，是邁向國際化的重要關鍵。表 3 整理地形圖徵知識本體的參考類別，包括描述圖徵、幾何及位相關係的各種類別及關係。

表 3 引用的 GeoSPARQL 類別或關係

參考標準	引用類別或關係	說明
OGC GeoSPARQL	<code>geo:Feature</code>	記錄圖徵之類別
	<code>geo:Geometry</code>	記錄幾何資訊之類別
	<code>geo:Point</code>	記錄點狀幾何之類別
	<code>geo:LineString</code>	記錄線狀幾何之類別
	<code>geo:Polygon</code>	記錄多邊形幾何之類別
	<code>geo:sfEquals</code>	記錄 Equals 空間關係之關係
	<code>geo:sfDisjoint</code>	記錄 Disjoint 空間關係之關係
	<code>geo:sfIntersects</code>	記錄 Intersects 空間關係之關係
	<code>geo:sfTouches</code>	記錄 Touches 空間關係之關係
	<code>geo:sfWithin</code>	記錄 Within 空間關係之關係
	<code>geo:sfContains</code>	記錄 Contains 空間關係之關係
	<code>geo:sfOverlaps</code>	記錄 Overlaps 空間關係之關係
	<code>geo:sfCrosses</code>	記錄 Crosses 空間關係之關係

行政區界知識本體設計 4 個類別，請參考圖 9，上層抽象類別

tp:AdministrativeDivision 同樣繼承自 tp:Feature，並與 GeoNames 建立 owl:sameAs 關係，與地標知識本體 tp:Landmark 建立 geo:sfContains 關係。行政區界具有法定公告時間，可以 tp:Feature 的 time:Interval 類別描述其時間段之資訊，透過此類別的 time:hasBegin、time:hasEnd 屬性記錄行政區的法定起訖時間。tp:AdministrativeDivision 設計有 3 個子類別，tp:County 描述縣市界、tp:District 描述鄉鎮市區界、tp:Village 描述村里界。3 種行政界彼此間具有位相關係，上階層之行政界包含下階層之行政界，以 geo:sfContains 描述，反之則以 geo:sfWithin 描述。

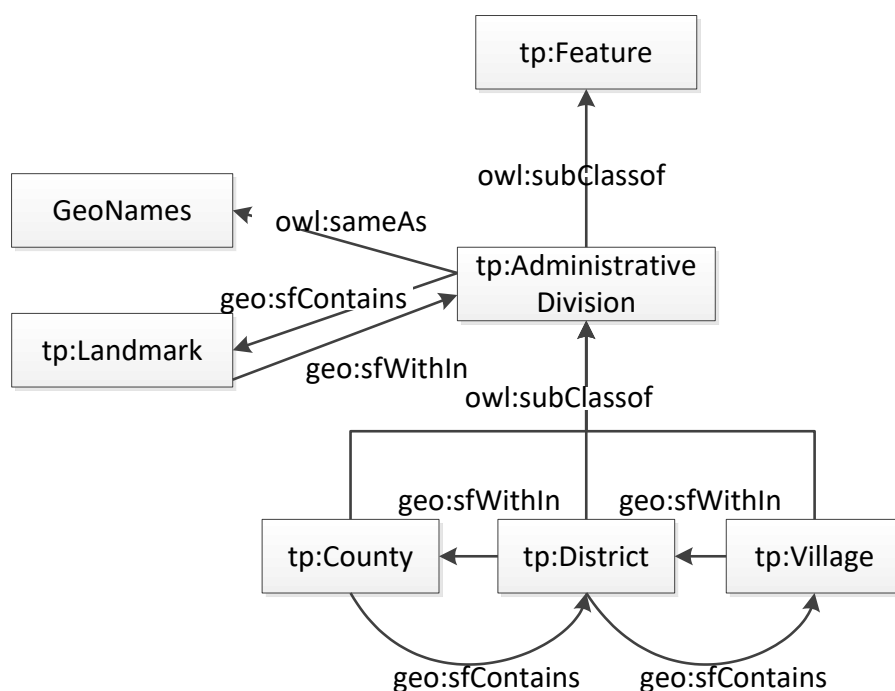


圖 9 行政區界知識本體

四、實驗與跨領域連結範例

本研究挑選地標、行政區域兩種類別試作地形圖徵 RDF，並測試鏈結資料之應用情境。當地形圖徵之唯一識別性及各種屬性建立完整之後，透過鏈結資料 RDF 之發布，可示範鏈結資料之效益，使得地形圖徵可由 URI 取用，並可與其他領域資料進行連結及應用。

(一)地標與行政區域鏈結資料發布

地形圖徵 RDF 試做區域設定於臺南市，使用 105 年度及 103 年度臺灣通用電子地圖的地標、行政區域資料。RDF 資料轉換及發布使用之軟體及執行過程內容如下：

1. 資料轉換：RDF 資料必須符合 W3C RDF 之規範，且其內容須以前述知識本體之模型進行記錄，因此本研究以 Python 語言開發轉換程式，將原格式之地標及行政區域資料轉換為符合知識本體模型之 RDF 資料。轉換完成之 RDF 檔案，為驗證其正確性，使用 RDF Validator(<https://www.w3.org/RDF/Validator/>)檢驗 RDF 資料是否符合 RDF 之規範。

2. 資料發布: OGC GeoSPARQL 是 SPARQL 查詢語言的延伸, 用以執行 SPARQL 語言的軟體則為 SPARQL Endpoint 軟體。為使得包含 GeoSPARQL 坐標之 RDF 資料可順利執行空間及位相查詢, 須選擇可支援 GeoSPARQL 之 SPARQL Endpoint 軟體, 如此 RDF 資料方可透過 Endpoint 軟體發布為一個 RDF Graph, 則無論資料需求者對哪一個 SPARQL Endpoint 軟體執行查詢, 可由指定之 RDF Graph 取得位於世界各地之鏈結資料並進行查詢。

本研究以 Python 語言開發地形圖徵的 RDF 轉換程式, 資料經轉換程式轉換為 UTF-8 編碼的 RDF 資料, 臺南市地標檔案共有 79161 筆三元組資料, RDF 檔案大小為 5.56MB, 臺南市鄉鎮市區界共有 491 筆三元組資料, RDF 檔案大小 3.11MB。另地形資料分類架構文件共有 105 筆三元組資料, 僅約 298KB。

地標圖徵 RDF 內容如圖 10, 地標 Class 名稱為 tp:Landmark, 並具有各地形圖徵皆具有之 tp:identifier (識別碼)、tp:identifierSystem(識別碼參考系統)、tp:code(分類)等屬性, 這筆資料是臺南市政府永華市政中心, 識別碼值為 D0000004992。tp:time 則為圖徵資料之測製時間。坐標以 hasPointGeometry 連結至地標的坐標幾何物件, 並以 tp:mapping 連結圖徵參考之測製規範, 以 tp:classification 連結地形資料分類架構之分類資訊, 並以 tp:geoNames 指向 GeoNames 之同一筆資料。坐標部分以 GeoSPARQL 標準進行記錄, 以 sf:Point 記錄點位坐標資料, 透過 geo:asWKT 記錄經緯度坐標。

```

<tp:Landmark rdf:about="http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/landmark/D0000004992">
  <rdfs:label>臺南市政府永華市政中心</rdfs:label>
  <tp:identifier>D0000004992</tp:identifier>
  <tp:identifierSystem>nlsc_mark</tp:identifierSystem>
  <tp:code>9910609</tp:code>
  <tp:mDate>201703</tp:mDate>
  <tp:hasPointGeometry rdf:resource="
http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/geometry/landmark/D0000004992"/>
  <tp:mapping rdf:source="http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/mappingspec/2016#LandmarkSpec"/>
  <tp:classification rdf:resource="http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/classification/1/9910609"/>
  <owl:sameAs>http://sws.geonames.org/6589556/</owl:sameAs>
  <geo:sfWithin rdf:resource="http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/district/67000360"/>
</tp:Landmark>
<sf:Point rdf:about="http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/geometry/landmark/D0000004992">
  <geo:asWKT rdf:datatype="http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral"><![CDATA[
<http://www.opengis.net/def/crs/OGC/1.3/CRS84>POINT (120.18512702486028 22.992408419002984) ]]></geo:asWKT>
</sf:Point>

```

圖 10 地標 RDF 範例

鄉鎮市區之圖徵 RDF 內容如圖 11, Class 名稱為 tp:District, 與地標圖徵相同, 具有各地形圖徵皆具有之 tp:identifier (識別碼)、tp:identifierSystem(識別碼參考系統)、tp:code(分類)等屬性, 此筆資料是臺南市東區, 識別碼值是參考至行政區域代碼的 67000320。time:Interval 為圖徵資料之時間資訊。坐標以 hasPolygonGeometry 連結至此圖徵的坐標幾何物件, 並以 tp:mapping 連結圖徵參考之測製規範, 以 tp:classification 連結地形資料分類架構之分類資訊, 並以 tp:geoNames 指向 GeoNames 之同一筆資料。坐標部分以 GeoSPARQL 標準進行記錄, 以 sf:Polygon 記錄東區之面狀坐標, 透過 geo:asWKT 記錄點位所連接而成的面狀封閉物件(圖中僅保留第一個點位坐標資

料)。

```
<tp:District rdf:about="http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/district/67000320">
  <rdfs:label>東區</rdfs:label>
  <tp:identifier>67000320</tp:identifier>
  <tp:identifierSystem>ris</tp:identifierSystem>
  <tp:code>9240000</tp:code>
  <tp:hasPolygonGeometry rdf:resource="
http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/geometry/district/67000320"/>
  <tp:mapping rdf:source="http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/mappingspec/2016#DistrictSpec"/>
  <tp:classification rdf:resource="http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/classification/1/9240000"/>
  <time:Interval/>
  <owl:sameAs>http://sws.geonames.org/11696346/</owl:sameAs>
  <geo:sfWithin rdf:resource="http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/county/67000"/>
</tp:District>
<sf:Polygon rdf:about="http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/geometry/district/67000320">
  <geo:asWKT rdf:datatype="http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral"><![CDATA[
http://www.opengis.net/def/crs/OGC/1.3/CRS84>Polygon((120.2163775220015 22.965050184805424,))]]></
geo:asWKT>
</sf:Polygon>
```

圖 11 鄉鎮市區界 RDF 範例

地形資料分類架構之 RDF 範例如圖 12 所示，每一個地形資料分類以一筆「rdf:Description」描述，其內容包括「tfcf:chineseName」、「tfcf:englishName」、「tfcf:code」、「tfcf:definition」及「tfcf:reference」，用以描述分類之中文名稱、英文名稱、分類編碼、定義及參考來源等資訊。

```
<rdf:Description rdf:about="http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/classification/1/9240000">
  <tfcf:code>9240000</tfcf:code>
  <tfcf:chineseName>鄉（鎮、市、區）界</tfcf:chineseName>
  <tfcf:englishName>townships/cities/districts boundary</tfcf:englishName>
  <tfcf:definition>鄉、鎮、縣轄市之界線，以及直轄市、省轄市下，區與區之界線。</tfcf:definition>
  <tfcf:reference>地方制度法第3條</tfcf:reference>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#Class"/>
</rdf:Description>
```

圖 12 地形資料分類架構 RDF 範例

(二)SPARQL 查詢測試

本研究使用 Parliament 軟體做為地形圖徵鏈結資料的情境試做環境，其授權是 BSD License，仍可免費使用。Parliament Server 以 Java 為基礎環境，並支援 OGC GeoSPARQL 標準，可匯入具有坐標之 RDF 資料。資料建立後，須至 Index 標籤，指定 Parliament 建立空間索引(Spatial Index)，以支援 OGC GeoSPARQL 查詢。SPARQL 查詢語法簡介如下：

PREFIX：前置詞的設定，可將 URI 使用特定前置詞作為代表。

SELECT：查詢輸出之變數。

FROM：查詢所參考之 Graph，及來源資料集。

WHERE：查詢之條件，以三元組作為基礎，並且可以 FILTER 作為某一個 subject 或 object 的篩選條件。

使用者如想查詢某一分類之地標，可使用分類代碼進行查詢。例如查詢所有的停車場。僅需要將查詢的資料設定為 tp:Landmark，並且指定分類代碼為「9960204」。Parliament 之查詢畫面如圖 13，查詢結果如圖 14。

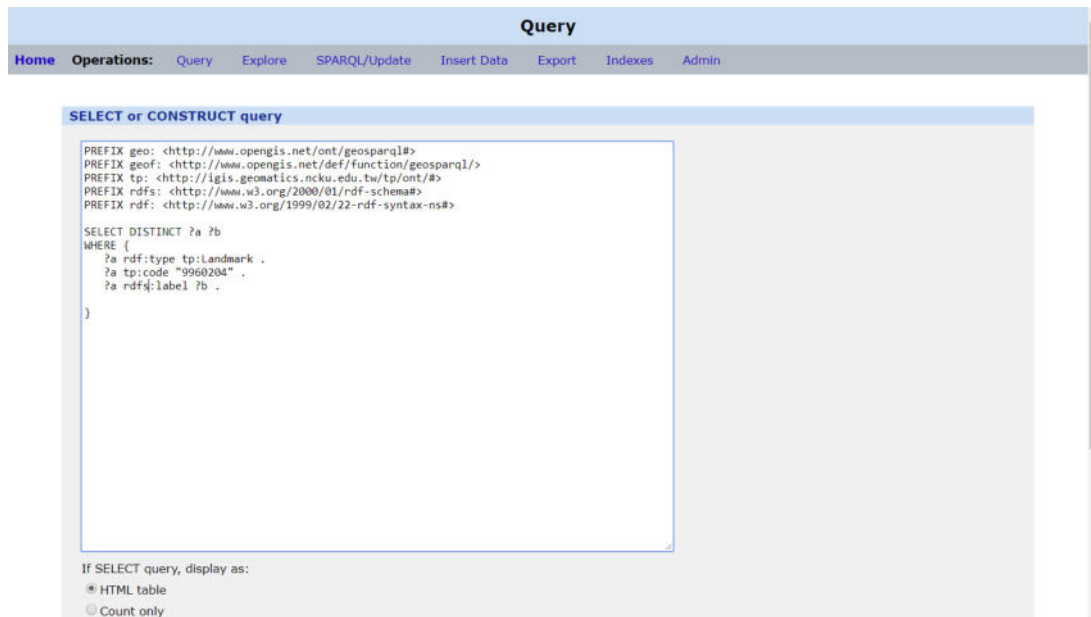


圖 13 查詢停車場之語法

The screenshot shows a web interface titled "SPARQL Query Results" with the same navigation bar as Figure 13. Below the navigation bar, it says "Count: 869". Below this is a table with two columns, 'a' and 'b'.

a	b
http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/landmark/D0000005610	"曾文二河台電機研習停車場"
http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/landmark/D0000006192	"停車場"
http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/landmark/D0000006190	"停車場"
http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/landmark/D0000006183	"停車場"
http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/landmark/D0000006180	"停車場"
http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/landmark/D0000006177	"停車場"
http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/landmark/D0000006176	"停車場"
http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/landmark/D0000006175	"停車場"
http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/landmark/D0000006173	"停車場"
http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/landmark/D0000006169	"停車場"
http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/landmark/D0000006168	"停車場"
http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/landmark/D0000006167	"停車場"
http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/landmark/D0000005600	"曾文二河台電機研習第一停車場"
http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/landmark/D0000006164	"停車場"
http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/landmark/D0000006153	"停車場"
http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/landmark/D0000006152	"停車場"
http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/landmark/D0000006150	"停車場"
http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/landmark/D0000006148	"停車場"
http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/landmark/D0000006147	"停車場"
http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/landmark/D0000006146	"停車場"
http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/landmark/D0000006145	"停車場"

圖 14 停車場查詢結果

除了屬性查詢，Parliament 還支援 GeoSPARQL 標準，因此可以執行具空間位相關係之查詢，只要結合屬性及空間位相之查詢語法，可豐富資料的查詢方式。例如查詢臺南市某鄉鎮市區界內之某特定分類之地標資料，例如臺南市新營區內的醫院，則設定地標資料之地形資料分類為"9930101"，空間約制條件則是透過地標資料(point)及台南市新營區(polygon)的 geof:sfWithin 空間操作完成，此空間約制條件由數個語法完成，地形資料分類代碼為 9930101 之地標 RDF 資料首先會被篩選出來，並取得其幾何物件，再轉換成 fWKT 之參數，而識別碼為 67000010(新營區)之行政區之幾何物件轉換為 bWKT 參數，再經由 geof:sfWithin 空間操作判斷 fWKT 與 bWKT5 之關係，最終得到查詢解果。此查詢範例查詢得到 4 筆醫院資料。查詢語法如圖 15，查詢結果如圖 16。由於地標與鄉鎮市區之坐標記錄皆採用 GeoSPARQL，查詢可立即整合，

無須經由其他坐標或格式轉換。

SPARQL 及 RDF 資源之語法以 URI 做為表示之基礎，因此，查詢中使用的資源(例如此範例中的地標及行政區)若位於不同 RDF Graph 仍是可以運作，只要知道資料之 Graph URI 即可存取。因此，只要空間坐標以 GeoSPARQL 支援之 GML 或 WKT 標準記錄，無論資料位於何處，可直接透過 GeoSPARQL 之位相關係進行帶空間約制條件之查詢，依 GeoSPARQL 建立之地形圖徵可以提供其他領域資料一個非常具有參考價值之空間資訊。本研究提出之架構更具有唯一識別碼作為圖徵識別之基礎，各地形圖徵之 URI 不會隨時間而變化。

Query

[Home](#) [Operations:](#) [Query](#) [Explore](#) [SPARQL/Update](#) [Insert Data](#) [Export](#) [Indexes](#) [Admin](#)

SELECT or CONSTRUCT query

```

PREFIX geo: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>
PREFIX geof: <http://www.opengis.net/def/function/geosparql/>
PREFIX tp: <http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/ont/#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>

SELECT DISTINCT ?a ?name ?b
WHERE {
  ?a tp:hasPointGeometry ?fGeom .
  ?a rdfs:label ?name .
  ?a tp:code "9930101" .
  ?fGeom geo:asWKT ?fWKT .
  ?b tp:hasPolygonGeometry
    <http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/geometry/district/67000010> .
    <http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/geometry/district/67000010> geo:asWKT ?bWKT.
  FILTER (geof:sfWithin(?fWKT,?bWKT))
}
```

If SELECT query, display as:

☒ HTML table

☐ Count only

圖 15 具有空間約制條件的地標查詢

SPARQLer Query Results			
Home Operations: Query Explore SPARQL/Update Insert Data Export Indexes Admin			
Count: 4			
a	name	b	
http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/landmark/2.16.886.103.90028.100434.100000	"新興警察社區法人新興醫院"	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/district/67000010	
http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/landmark/2.16.886.101.20003.20065.20050	"衛生福利部新營醫院"	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/district/67000010	
http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/landmark/2.16.886.119.90028.100143	"營新醫院"	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/district/67000010	
http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/landmark/2.16.886.119.90028.100008	"信一產科醫院"	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/district/67000010	

圖 16 查得新營區內之醫院資料

行政區界依前述之知識本體設計，具有上下階層關係，並且以 GeoSPARQL 記錄 geo:sfWithin 之關係。因 Parliament 支援 GeoSPARQL 標準，可執行行政區界的位相關係查詢，例如由前例子取得之新營區之資料，如圖 17，這裡面的第一行資訊，顯示此資料有一個 geo:sfWithin 關係，目標是一個 County，識別碼為 67000。此關係在知識本體裡已經預先設計，在資料轉換時則預先於轉換程式中將 RDF 寫入這個關係。圖 18 顯示之 SPARQL 語法，可查得位於臺南市的各鄉鎮市區，圖 19 顯示臺南市的 RDF 資訊。

Explore Repository

Home Operations: Query Explore SPARQL/Update Insert Data Export Indexes Admin

Showing statements for: <http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/district/67000010>

☐ Use resource labels in overview

Statements with this value as subject:

graph	subject	predicate	object
Default Graph	-	http://www.opengis.net/ont/geosparql#sfWithin	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/county/67000
	-	http://www.w3.org/2000/07/owl#sameAs	**
	-	http://www.w3.org/2006/time#Interval	**
	-	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/ont/#classification	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/classification/1/9240000
	-	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/ont/#mapping	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/mappingspec/2016#DistrictSpec
	-	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/ont/#hasPolygonGeometry	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/geometry/district/67000010
	-	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/ont/#code	"9240000"
	-	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/ont/#identifierSystem	"ris"
	-	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/ont/#identifier	"67000010"
	-	http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#label	"新營區"
-	http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/ont/#District	

圖 17 新營區的 RDF 資訊

Query

Home Operations: Query Explore SPARQL/Update Insert Data Export Indexes Admin

SELECT or CONSTRUCT query

```

PREFIX geo: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>
PREFIX geof: <http://www.opengis.net/def/function/geosparql/>
PREFIX tp: <http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/ont/#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>

SELECT DISTINCT ?a ?name
WHERE {
  ?a rdf:type tp:District .
  ?a geo:sfWithin <http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/county/67000> .
  ?a rdfs:label ?name .
}
  
```

圖 18 查詢行政區界上下階層的 SPARQL 語法

Explore Repository			
Home	Operations:	Query	Explore
		SPARQL/Update	Insert Data
		Export	Indexes
			Admin

Showing statements for: **http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/county/67000**

☐ Use resource labels in overview

Statements with this value as subject:

graph	subject	predicate	object
Default Graph	-	http://www.w3.org/2000/07/owl#sameAs	...
	-	http://www.w3.org/2006/time#Interval	...
	-	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/ont/#classification	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/classification/1/9230000
	-	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/ont/#mapping	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/mappingspec/2016#CountySpec
	-	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/ont/#hasPolygonGeometry	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/geometry/county/67000
	-	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/ont/#code	"9230000"
	-	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/ont/#identifierSystem	"ris"
	-	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/ont/#identifier	"67000"
	-	http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#label	"臺南市"
	-	http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/ont/#County

圖 19 臺南市的 RDF 資訊

(三)與其他領域資料鏈結

RDF 資料一旦建立，並具有可連接之識別碼或 JOIN 操作之屬性，即可透過 SPARQL 查詢並串聯。本研究另從社會經濟資料庫內取得臺南市鄉鎮市區之統計人口，將其資料轉換為 RDF，並與鄉鎮市區 RDF 資料建立一個 `rdfs:seeAlso`(意指可參考之資源)關係，上傳至 Parliament，則使用者可經由 SPARQL 結合兩種不同資料，由鄉鎮市區可查詢得到人口資料。新營區之資料範例如圖 20 所示，統計資訊包括戶數(family)、總人口(popAll)、男人口(popMale)與女人口(popFemale)，查詢之語法如圖 21 所示。

Explore Repository			
Home	Operations:	Query	Explore
		SPARQL/Update	Insert Data
		Export	Indexes
			Admin

Showing statements for: **http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/pop/id/population/67000010**

☐ Use resource labels in overview

Statements with this value as subject:

graph	subject	predicate	object
Default Graph	-	http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#seeAlso	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/district/67000010
	-	http://www.opengis.net/ont/geosparql#sfWithin	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/tp/id/county/67000
	-	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/pop/ont/#hasPolygonGeometry	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/pop/geometry/population/67000010
	-	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/pop/ont/#popFemale	"39236.0"
	-	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/pop/ont/#popMale	"38430.0"
	-	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/pop/ont/#popAll	"77666.0"
	-	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/pop/ont/#familyCount	"29079.0"
	-	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/pop/ont/#countyName	"臺南市"
	-	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/pop/ont/#countyId	"67000"
	-	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/pop/ont/#townName	"新營區"
	-	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/pop/ont/#identifier	"67000010"
	-	http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#label	"人口統計"
	-	http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type	http://igis.geomatics.ncku.edu.tw/pop/ont/#Population

圖 20 臺南市新營區的人口統計 RDF 資訊

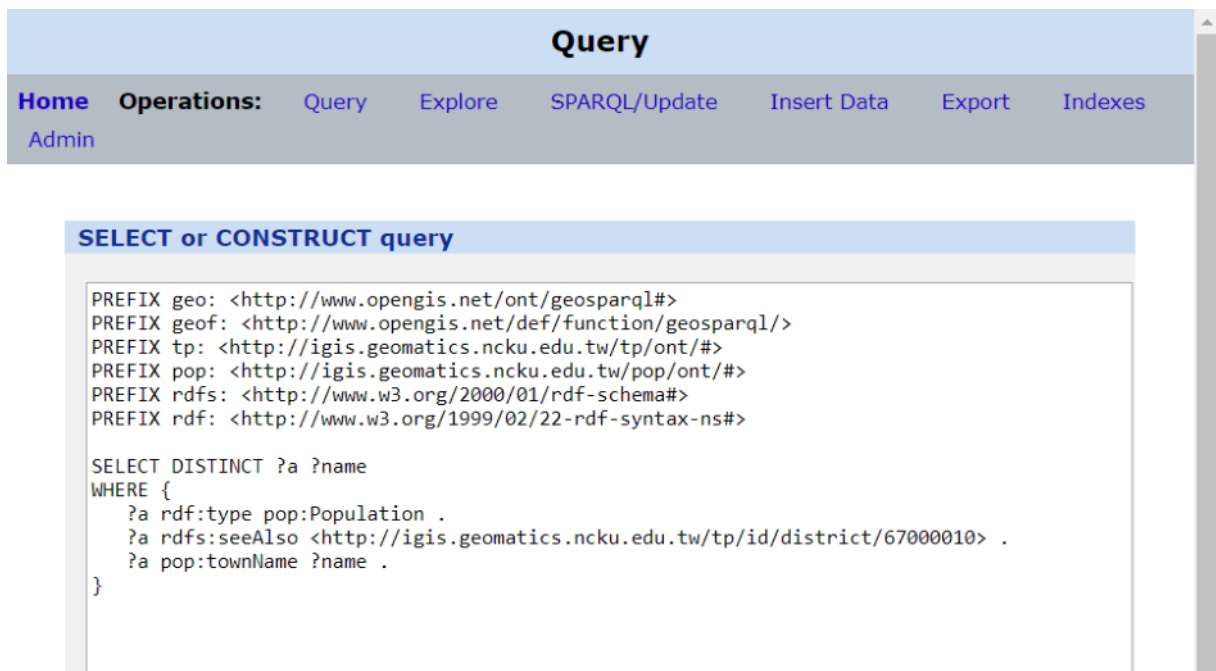


圖 21 查詢鄉鎮市區人口統計的 SPARQL 語法(以新營區為例)

前述幾個查詢範例已顯示本研究建立之地形圖徵 RDF 可透過 GeoSPARQL 標準獲得空間查詢之能力，為提升跨領域之資料鏈結，在資料整合方面須藉由查詢進行屬性的 JOIN 操作，或是以空間位相關係做篩選條件，以此建立資料之間之鏈結。

五、結語

地形資料相關機制之理想為所有相關資源都可以「網路化」，這對於鏈結資料是必須優先達成之目標，且其範疇並不侷限於流通資料服務思考，必須包括規範文件、分類名稱、分類定義、測製規定、品質評估、圖徵識別碼查詢、地形圖磚等都必須納入網路化之考量。當相關資源都可透過開放概念之資訊標準方式建立後，整體機制將可由「領域」之觀點提供一個「完整」的運作機制，無論資料的取得、內容之解讀、互操作性之提升、品質之評估、創新應用都可確保地形資料領域可提供完整之內容與服務。

本研究以地形圖徵為對象，完成鏈結資料架構之設計。由此架構所發展之地形圖徵鏈結資料架構，除了地形圖徵 URI、地形圖徵實例之 URI、Ontology URI，亦具有品質及各類描述文件，使得地形資料之使用更具彈性，與目前現有之鏈結資料比較，主要特點歸納如下：

1. 地形圖徵實例 URI 納入時間版本之設計，相較於英國之地形圖徵鏈結資料，或是目前全球知名的其他鏈結資料，其架構內每一個 RDF 資源僅有一個時間，本研究之架構可提供不同時間版本之實例，且皆可與地形圖徵 URI 鏈結，當其他資源鏈結至本架構時，可由已事先建立好之鏈結關係取得不同時間版本之地形圖徵實例。
2. 依本研究而建立之地形圖徵鏈結資料，可望提供一個良好的空間參考資訊，

並可與現有全球其他鏈結資料進行鏈結，包括 GeoNames(www.geonames.org)、DBpedia 及其他各單位所發布之資料。GeoNames 在資料數目及使用率上皆是相當高之資料集。地形圖徵鏈結資料與其他鏈結資料之間之關係，可直接藉由 SPARQL 之關鍵字查詢而獲得。

3. 本研究之地形圖徵鏈結資料採用 GeoSPARQL 之坐標記錄方式，如其他鏈結資料未使用此標準記錄坐標，則兩者之間的空間關係無法直接由 SPARQL 查詢而獲得。例如，GeoNames 使用 W3C 於 2003 年所建立的 W3C Basic Geo ontology (<https://www.w3.org/2003/01/geo/>)，資料之經緯度分別使用 geo:lat 及 geo:lat 記錄，這與目前本研究最新的 GeoSPARQL 坐標語意有所不同，因此目前無法在 SPARQL Endpoint 上直接探索兩種不同坐標表示方式之鏈結資料。在 SPARQL Endpoint 具備坐標表示法之轉換後，此一問題將可獲得解決，屆時使用者可直接於 SPARQL 內整合本研究地形圖徵及 GeoNames 之空間查詢。

本研究將地形圖徵及相關資源，建立圖徵層級的鏈結關係，提供一種突破過去限制的資料分享作法。本研究設計之鏈結資料架構可突顯地形圖徵之品質、多時間版本及自我描述資訊之優勢，發揮鏈結資料之跨領域應用效益。整體架構之發展遵循鏈結資料之現有系統，更具備不同時間版本，並發展相關規範及品質資訊 RDF 之資源，對於跨域之應用具有相當潛力。

參考文獻

- 丁志堅、曾慈慧、劉蓓蓓，2018，多準則決策分析地理資訊系統在城市尺度安全社區之實證，《中國地理學會會刊》，第 62 期，頁 1-25。
- 王方，2017，以語意技術建置智慧化自動生產線，中原大學資訊管理研究所碩士論文。
- 史天元，2019，地形圖中地形呈現方式與產品規格討論，《地籍測量》，第 38 卷，第 1 期，頁 18-30。
- 吳泰廷、楊文新、崔文，2012，語意網、鏈結資料與開放資料之實務技術與應用，《電腦與通訊》，第 145 期，頁 102-109。
- 林宗慶，2019，建立具有語意推論的藥品諮詢系統-以皮膚病為例，中原大學資訊管理研究所碩士論文。
- 林祉豪，2018，開發以語意網技術為基礎的藥物知識系統，中原大學資訊管理研究所碩士論文。
- 洪榮宏、徐百輝、楊錦松、陳欣宜，2013，開放式地形圖徵架構之研究－以通用版電子地圖為例，《地籍測量》，第 32 卷，第 2 期，頁 28-47。
- 洪榮宏、陳欣宜，2016，自我描述地形圖徵之設計與應用，《國土測繪與空間資訊》，第 4 卷，第 1 期，頁 1-24。
- 洪榮宏、曾鈺雯，2010，基礎時空圖徵架構之發展與應用探討，《地籍測量》，第 29

- 卷，第2期，頁14-33。
- 洪榮宏、黃敏郎，2011，由自我描述圖徵觀點探討異質性空間資料在網際網路之整合，《中華防災學刊》，第3卷，第2期，頁159-171。
- 洪榮宏、楊錦松，2018)，地形圖徵跨領域協作架構探討，《第三十八屆測量及空間資訊研討會》。
- 洪榮宏、廖向芃，2008，地形資料庫圖徵設計之研究，《地籍測量》，第27卷，第1期，頁1-21。
- 徐百輝，2013，地形資料分類架構，第一版。
- 徐百輝、郭巧玲、洪榮宏，2014，由語意觀點探討地形資料之應用與發展，《第三十三屆測量及空間資訊研討會暨國土測繪成果發表會》。
- 符興智、柯皓仁，2017，以知識本體和鏈結資料建置圖書資訊學領域學者的事業歷程網站系統－以王振鵠教授為例，《圖書館學與資訊科學》，第43卷，第1期，頁122-154。
- 陳天任，2019，《以開放資料為基礎開發慢性腎臟病膳食諮詢系統》，中原大學資訊管理研究所碩士論文。
- 閻克勤、王櫻燕、陳柏仲，2011，應用 GIS 在防災避難圈域劃設之研究，《地理資訊系統季刊》，第5卷，第4期，頁21-23。
- Berners-Lee, T. (W3C) , 2006, Linked Data - Design Issues, <http://www.w3.org/DesignIssues/LinkedData.html> (Last Checked 2020/11/01) 。
- Cyганиak, R., et al. (W3C) , 2014, Resource Description Framework (RDF) 1.1 Concepts and Abstract Syntax, <http://www.w3.org/TR/rdf11-concepts/> (Last Checked 2020/11/01) 。
- Davidson P. (Chief Technology Officer Council) , 2009, Designing URI Sets for the UK Public Sector, <https://www.gov.uk/government/publications/designing-uri-sets-for-the-uk-public-sect> or (Last Checked 2020/11/01) 。
- De Sabbata, S., & Acheson, E, 2016, Geographies of gazetteers in Great Britain, *Proceedings of the 24th GIS Research UK (GISRUK 2016) conference*: The University of Greenwich (London) 。
- Ferrucci, D.A., 2012, Introduction to “This is Watson”, *IBM Journal of Research and Development*, 56(3.4), pp.1:1-1:15 。
- Pundt, H., Bishr, Y, 2002. Domain ontologies for data sharing - An example from environmental monitoring using field GIS, *Computers and Geosciences*, 28 (1), pp. 94-102.
- Schaible, J., Gottron, T., & Scherp, A, 2014, Survey on common strategies of vocabulary reuse in linked open data modeling, *Proceedings of the 11th European Semantic Web Conference (ESWC2014)*: Heraklion, Crete, Greece 。
- Visser, U., et al., 2002, Ontologies for geographic information processing, *Computers &*

Geosciences, 28, pp.103–117.

W3C OWL Working Group (W3C) , 2009, *OWL 2 Web Ontology Language Document Overview*, <https://www.w3.org/TR/owl2-overview/> (Last Checked 2020/11/01) 。

W3C SPARQL Working Group (W3C) , 2013, *SPARQL 1.1 Overview*, <https://www.w3.org/TR/sparql11-overview/> (Last Checked 2020/11/01) 。

利用 3D LiDAR SLAM 技術提升車載移動式製圖系統 定位精度

蘇納捷¹、李啓民²、蔡枸³、蔡光哲⁴、郭重言⁵、江凱偉⁶、

許展祥⁷、王敏雄⁸

論文收件日期：110.04.25

論文修改日期：110.06.10

論文接受日期：110.06.24

摘 要

目前移動式製圖系統已被廣泛運用在空間資訊工程領域，藉由高精度的定位定向系統配合各式各樣的感測器，例如光達、相機等，來獲取空間中精確的三維資訊。光達式車載移動測繪系統整合了精密定位定向系統及光達系統等空間資訊蒐集技術，除了製作各種精度地圖外，其他應用領域亦相當廣泛，是獲取空間資訊出色的利器之一。然而測繪車於全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)訊號嚴重遮蔽地區，特別是高樓都市地區或隧道處，使用慣性導航系統(Inertial Navigation System, INS)和全球導航衛星系統之整合方式，其位置與姿態估計誤差會隨時間漂移和累積，使其定位定向精度大幅降低。為了提升光達測繪車於 GNSS 訊號遮蔽區域之定位精度，本研究以同步定位與製圖技術(Simultaneous Localization And Mapping, SLAM)理論為基礎，結合車載光達觀測量、輪速計等輔助資訊，研發提高光達測繪車定位精度之技術，進而提升光達測繪車產製成果之品質和增加成果可靠度。本研究提出基於分布之常態分布轉換法(Normal Distribution Transform, NDT)，進行不同時刻點雲間之匹配與轉換，並以光達里程計之概念提供速度及航向角觀測量反饋擴增式卡曼濾波器(Extended Kalman Filter, EKF)用於與原有之 INS/GNSS 觀測量整合。

為了分析本研究所提方法之效能，於兩個不同環境(弱遮蔽及半遮蔽)執行兩次

¹ 博士生，國立成功大學測量及空間資訊學系

² 博士生，國立成功大學測量及空間資訊學系

³ 博士生，國立成功大學測量及空間資訊學系

⁴ 博士，國立成功大學測量及空間資訊學系

⁵ 教授，國立成功大學測量及空間資訊學系

⁶ 教授，國立成功大學測量及空間資訊學系

⁷ 技士，內政部國土測繪中心

⁸ 課長，內政部國土測繪中心

* 通訊作者，TEL: (04)22522966 轉 375，E-mail: 23100@mail.nlsu.gov.tw。

實驗。其結果顯示，NDT 演算法能提供精確且穩定的速度及航向角觀測量。而從整體定位成果分析中，於半遮蔽環境(GNSS 訊號遮蔽環境)中加入 NDT 及輪速計資訊能顯著地提升定位精度並達到高精地圖之定位需求(平面：20 cm；三維：30 cm)。最後，由本研究的成果分析可歸納出，透過不同感測器的組合是增強測繪車測繪能力的有效方式。

關鍵詞：同步定位與製圖技術、光達里程計、全球導航衛星系統、常態分佈變換、移動式製圖系統、慣性導航系統

Using 3D LiDAR SLAM to Improve the Positioning Accuracy of Mobile Mapping System

Surachet Srinara¹, Chi-Ming Lee², Syun Tsai³, Guang-Je Tsai⁴, Chung-Yen Kuo⁵, Kai-Wei Chiang⁶, Chan-Hsiang Hsu⁷, Min-Shiung Wang⁸

Abstract

Recently, Mobile Mapping System (MMT) has been widely applied in the field of geomatics engineering. By combining high-precision Positioning and Orientation Systems (POSs) with multi-mapping sensors such as Light Detection and Ranging (LiDAR), cameras, and others, 3D geospatial information can be then obtained precisely. The LiDAR-mounted Mobile Mapping Systems (MMS), one of the best tools for collecting geospatial information, integrates several technologies, such as POSs and LiDAR systems, which can be used for producing maps with specific accuracy and it is also efficiently exploited in different domain applications. However, the positioning accuracy will significantly decrease in the areas, like urban areas or tunnels, where Global Navigation Satellite System (GNSS) signals are blocked or contaminated by multipath effects. In order to improve the positioning accuracy and ensure the reliability of the LiDAR-mounted MMS in the GNSS-denied areas, this research aims to develop a technique based on Simultaneous Localization And Mapping (SLAM), combining with LiDAR measurements and the additional information from odometer to enhance the performance. In this study, Normal Distribution Transform (NDT) will be tested. Further, NDT-based LiDAR Odometry (LO) techniques have been introduced and developed by aiming to perform and feed the LO-derived velocity and heading measurement update into Extended Kalman Filter (EKF) model of INS/GNSS.

To analyze the performance of the proposed methodology, two experiments with different environments (i.e. weak and semi-occlusion) are conducted. The obtained results show that NDT algorithm can provide stable and accurate velocity and heading measurements. From the overall positioning results, the statistic shows that adding NDT-derived observations and odometer information can significantly improve the positioning

¹ PhD student, Department of Geomatics National Cheng Kung University Tainan, Taiwan

² PhD student, Department of Geomatics National Cheng Kung University Tainan, Taiwan

³ PhD student, Department of Geomatics National Cheng Kung University Tainan, Taiwan

⁴ PhD, Department of Geomatics National Cheng Kung University Tainan, Taiwan

⁵ Professor, Department of Geomatics National Cheng Kung University Tainan, Taiwan

⁶ Professor, Department of Geomatics National Cheng Kung University Tainan, Taiwan

⁷ Technical specialist, National Land Surveying and Mapping Center, Ministry of the Interior

⁸ Section Chief, National Land Surveying and Mapping Center, Ministry of the Interior

* Corresponding Author, Tel: +886-4-22522966 ext. 375, E-mail: 23100@mail.nls.gov.tw

accuracy and achieve the requirement of high definition map (2D: 20 cm; 3D: 30 cm) in semi-occlusion environment. Finally, it can be concluded that the combination of different sensors is an effective way for enhancing the capability of the MMS.

Keywords: GNSS, INS, LiDAR Odometry, MMS, NDT, SLAM.

一、前 言

移動製圖核心技術主要可以分為兩種，一是定位技術，另一項則為製圖技術。在定位核心技術中，最常見的定位演算法是以 INS/GNSS 整合式定位成果為主。為了解決 INS 的誤差漂移問題，配合擴增式卡曼濾波器(Extended Kalman Filter, EKF)與 Rauch-Tung-Striebel (RTS)平滑器的慣性導航整合解算也在近幾年被廣泛地應用於衛星訊號遮蔽的區域上(Chiang et al., 2012)。室內定位技術中，目前最廣為探討的另外有兩種自主性的定位技術，(1)機器人輪速計與(2)視覺里程演算法。機器人輪速計演算法為利用機器人輪速計取得兩個輪軸所轉的圈數，由圈數推算行走距離，配合機器人兩輪軸間距離來推算行進中方位變化，以航位推算的方式來推導機器人下一時刻的位置(Chong, 1997)。而視覺里程演算法則是利用兩張相片之間的相對關係，來推導相機本體的移動。利用此兩張相片各個特徵點之間的位移量，搭配最小二乘演算法解算，可進一步推導出位置，速度，姿態等定位資訊(Lategahn et al., 2012)。

同步定位與製圖技術(Simultaneous Localization And Mapping, SLAM)便是機器人製圖中主要發展與探討的項目之一(Wurm et al., 2010)。依據不同地圖架構與演算法特質，可將 SLAM 分為不同方法。SLAM 大部分工作是透過匹配前後時刻的點雲資料，也稱為點雲匹配，用於預測兩個連續點雲之間的相對轉換(Ren et al., 2019)。點雲匹配是同步定位與製圖技術的基礎。給定兩個具有不同姿勢的相鄰點雲掃描觀測量，目標是找到最能使這兩個掃描對齊的變換，即一組平移和旋轉參數(Li et al., 2020)。基於 LiDAR 的點雲匹配方法通常分為三類：(1)基於點的方法；(2)基於特徵的方法；(3)基於分佈的方法或基於數學特徵的方法。

使用傳統的 INS/GNSS 整合方案，有時無法準確地估計位置與姿態，因為在 GNSS 訊號遮蔽或其他具有挑戰的環境中，位置與姿態估計誤差會隨時間漂移和累積。為了解決這個問題，需要考量納入多傳感器融合方案，特別是使用光達感測器，因其可以連續提供穩定和準確測距訊息之點雲資料。為了使用基於光達的方法來估計車輛行走時的位置與姿態，基於特徵的掃描匹配方法於 SLAM 中逐漸發展成為主流，尤其是在有足夠數量的特徵或地標的環境中，更利於執行掃描匹配。最廣泛被應用的基於特徵之演算法為 LiDAR Odometry and mapping (LOAM) (Zhang & Singh, 2014)，及其改進之演算法(Shan & Englot, 2018)。近年來，Chang 等人(2020)及 Liu 等人(2020)提出了 INS/GNSS 整合導航系統與基於特徵的 LiDAR-SLAM 的融合。然而，這種方法在諸如公路等幾何資訊較少的環境中，在特徵受限的環境中，從點雲資料中提取的特徵進行掃描匹配之方式可能效果不佳，導致估計精度較差(Li et al., 2020)。為了獲得更靈活的掃描匹配方法並處理特定的幾何資訊問題，故在本研究中採用基於分佈的常態分佈變換(NDT)演算法(Biber & Straßer, 2003)，Magnusson 等人(2015) 從超過 12 萬次掃描匹配的成果得出結論，與基於點對點的匹配方法相比，使用 NDT 演算法通常提供更準確，更可靠的成果，特別是當掃描重疊區域較小或初始值給定精度較差時。因此，本研究將於 GNSS 訊號遮蔽的環境中使用 INS/GNSS/NDT-SLAM 及搭配測繪車原有之輪速計資訊整合方案以期提升測繪車

整體定位精度，如此一來即可提供相關單位執行後續高精度之測繪應用，例如產製高精地圖(High Definition Map, HD map)。

二、研究方法

在 GNSS 訊號遮蔽或其他具有挑戰性的環境中，要提升位置與姿態估計的精度並降低傳統 INS/GNSS 整合方案累積的誤差。本研究使用基於 LiDAR 的 NDT 掃描匹配方法與傳統 INS/GNSS 整合方案進行多感測器融合。圖 1 為本研究提出的整合方案之流程。研究架構主要透過擴增式卡曼濾波器(EKF)整合 INS、GNSS、NDT-SLAM 及輪速計資訊，搭配適當的車載運動模型，最終藉由濾波器及平滑器等處理得到最終的平滑解，亦即測繪車之位置與姿態資訊。本節將說明 EKF 之運作模式及 NDT-SLAM 之解算過程：

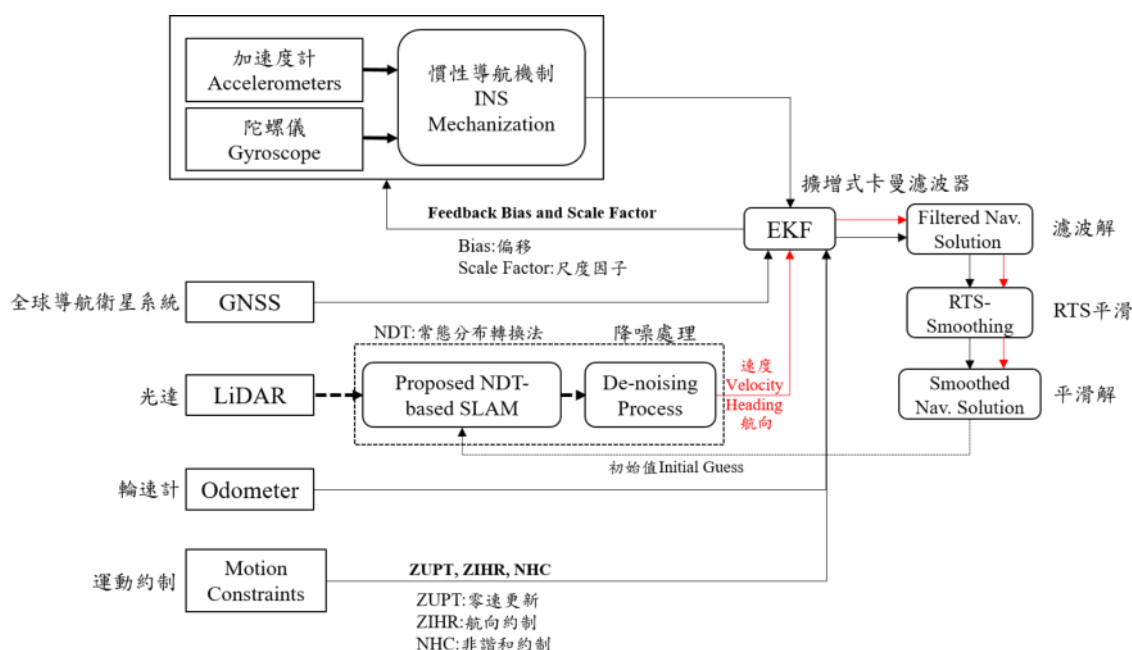


圖 1 整合方案流程圖

(一) EKF 整合架構

如圖 1 所示，本研究提出鬆耦合架構並利用擴增式卡曼濾波器(EKF)整合 INS/GNSS/NDT SLAM/輪速計之觀測量。其中，擴增式卡曼濾波器(EKF)包含兩個模型，分別為系統模型(System model)及觀測量模型(Measurement model)。系統模型估計狀態隨時間變化的行為，而觀測量模型則用於描述觀測量如何與系統模型中的狀態之對應關係。INS 系統模型的離散時間形式表示如式(1)：

$$x_{k+1} = \Phi_{k,k+1}x_k + w_k \quad (1)$$

其中下標 k 代表時間， x_{k+1} 及 x_k 為 $k+1$ 及 k 時刻之狀態向量。 $x = [\delta r \quad \delta v \quad \delta \quad b_g \quad b_a \quad s_g \quad s_a]_{21 \times 1}^T$ 為狀態向量，包含位置、速度、姿態誤差及陀螺儀和加速度計之偏差(bias)及尺度誤差(scale factor)。 $\Phi_{k,k+1}$ 為轉換矩陣； w_k 為在時間間隔 (t_k, t_{k+1}) 期間存在輸入白噪聲所引起的過程噪聲。觀測量模型之離散時間形式

表示如式(2)：

$$z_k = H_k x_k + \epsilon_k \quad (2)$$

其中 H_k 為 k 時刻之設計矩陣； z_k 為 k 時刻之觀測量矩陣； ϵ_k 為觀測量噪聲；而 R_k 為觀測量之變方－協變方矩陣。

本研究採用 NDT 所推算得之平面速度及航向角觀測量，兩者之誤差方程式如式(3)及式(4)所示：

$$\delta z_v = \hat{v}_{nav}^n - \check{v}_{ndt}^n \quad (3)$$

$$\delta z_\phi = \hat{\phi}_{nav}^n - \check{\phi}_{ndt}^n \quad (4)$$

其中 v 為測試車輛前進速度； ϕ 為航向角； $\hat{v}_{nav}^n$ 及 $\check{v}_{ndt}^n$ 分別是 INS/GNSS 和 NDT-SLAM 所估計的前進速度。而 $\hat{\phi}_{nav}^n$ 及 $\check{\phi}_{ndt}^n$ 分別是 INS/GNSS 和 NDT-SLAM 所估計的航向角。由於速度及航向角皆屬於 EKF 中之狀態向量 x ，故可透過誤差方程式反饋至狀態向量中進行更新，詳細計算及推導過程可參考 Shin (2005)、Tsai (2020)。

(二) NDT 匹配

NDT 演算法第一步是先將點雲所在的空間細分為規則網格(2D)或立方體(3D)，然後針對每個網格或立方體計算其平均值 q 與協變方 C ，其公式表示如下：

$$q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5)$$

$$C = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - q)(x_i - q)^T \quad (6)$$

其中 $x_i = 1, 2, 3, \dots, n$ 為網格或立方體中之點雲

後續可透過高斯分布 $N(q, C)$ 計算在特定點 x 的機率密度函數(Probability density function, PDF)，其表示如式(7)所示：

$$p(x) = \frac{1}{c} \exp\left(-\frac{(x-q)^T C^{-1}(x-q)}{2}\right) \quad (7)$$

而點雲間之旋轉及平移關係可用向量 p 表示， $p = [t|r|\phi]$ ， $t = [t_x, t_y, t_z]$ 為平移， $r = [r_x, r_y, r_z]$ 為三軸之旋轉， ϕ 為旋轉角。如此一來，特定點 x 於點雲間的轉換方程式可表示如下：

$$T(p, x) = rx + t \quad (8)$$

該算法進一步透過評估所有光達點上的 PDF 來決定當前 Pose(含位置及姿態)的適合度，並透過分數函數 s 來表示：

$$s(p) = -\sum_{i=1}^n pdf(T(p, x_i)) \quad (9)$$

由式(9)可知，一旦給定轉換參數 p ，即可透過 PDF 函數和轉換方程式 T 決定最小化問題，實務上通常使用牛頓法進行迭待求解。詳細計算及推導過程請見 Magnusson (2009)。

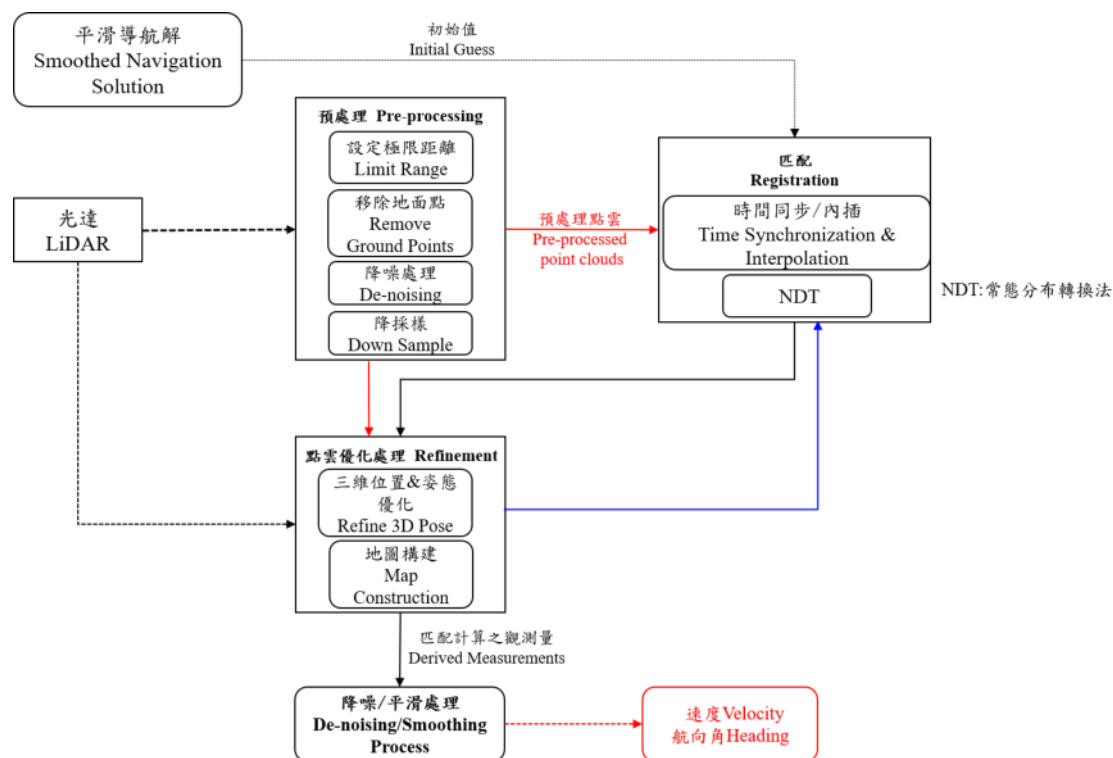


圖 2 光達 SLAM(NDT 法)執行架構

圖 2 所示為本研究基於 NDT SLAM 算法的執行架構，該算法基於四個主要處理過程，簡要介紹如下：

1. 預處理：首先，點雲預處理之目的為移除離群值，例如地面點及距離光達較遠之點雲，另一方面可透過預處理縮減點雲容量以減少後續計算時間。預處理一般包含設定極限距離(Limit range)、移除地面點(Remove ground points)、降噪處理(De-noising)及降採樣(Down-sampling)。
2. 點雲匹配：透過匹配連續掃描之光達點雲，可得基底/參考點雲(固定)與目前點雲(移動)間之轉換關係(含平移及旋轉)。而在匹配的過程中需要每個掃描點雲的正確初始資訊，實務執行以內插 GPS Time 之方式取得來自 INS/GNSS 平滑導航解(GNSS 接收良好處)或 INS(GNSS 遮蔽處)的位置與姿態訊息。
3. 點雲優化：輸入為原始點雲、預處理點雲及 ICP/NDT 所求得之點雲間之轉換關係，其目的為透過重新計算 1 Hz 的轉換關係以優化 Pose(含位置及姿態)，並為下一組匹配點雲構建地圖。
4. 降噪：將透過降噪平滑的方式處理 SLAM 原始輸出之速度及航向角觀測量以提供 EKF 穩定的更新值，而在本研究中所使用的降噪方法為小波降噪法(Wavelet de-noising) (Donoho, 1995)。

三、實驗設計說明

(一) 實驗場域

本研究選定台南沙崙高鐵站高架下道路及周邊道路作為實驗場域，如圖 3 所示。本次實驗共分成兩個實驗區，藍線區域為弱遮蔽區(GNSS 失鎖率 10-15%)，為 GNSS 訊號接收良好之場域；紅線區域則為半遮蔽區(GNSS 失鎖率 50-60%)，此區域位於高鐵及台鐵高架下方，易受到多路徑效應干擾及高鐵站體遮蔽而影響整體定位定向表現，為測量實務上頗具挑戰之環境。各組實驗之細部環境描述如表 1 所示，實驗主要目的為比較本研究提之 SLAM 演算法於不同 GNSS 接受環境下對於測繪車整體定位定向表現提升之效益。



圖 3 研究區域示意圖

表 1 實驗場域環境描述

日期	路徑代號	實驗總長度 (km)	環境描述	實驗車速 (km/hr)
20201006	1006A	9.41	弱遮蔽區 1/4 道路位於高架旁 1/4 道路位於樹木密集區 2/4 一般道路(開闊環境)	30/40
20201006	1006B	9.87	半遮蔽區 高鐵及台鐵高架下方道路	30/40

(二) 實驗系統配置

圖 4 所示為本研究所使用之測繪車平台上的儀器配置。測試系統的導航感測器

包括 NovAtel ProPak6 GNSS 接收儀、NovAtel FSAS 戰術等級 IMU 及 Z+F Profiler 光達掃瞄儀。為了驗證本研究提出的 SLAM 演算法，本研究額外裝設 Velodyne VLP-16 光達掃瞄儀。本研究主要使用 Velodyne VLP-16 光達掃瞄儀的點雲資料，利用 NDT SLAM 演算法萃取速度及航向角觀測量以提升軌跡定位定向精度，而 Z+F Profiler 光達掃描儀之高密度光達點雲則適用於後續產製高精度地圖之相關應用。

而本研究之定位定向真值資訊則由高階捷聯導航級慣性測量元件 iNAV-RQH 系統提供(如圖 5 所示)並比較定位成果精度以評估本研究開發演算法之效益。參考系統(真值)所使用之 iNAV-RQH IMU 與測試系統 Novatel IMU-FSAS 規格比較如表 2 所示，由表可看出不論在陀螺儀或加速度計的漂移穩定性上，本案所使用的參考系統性能皆優於測試系統，足以作為參考解使用。

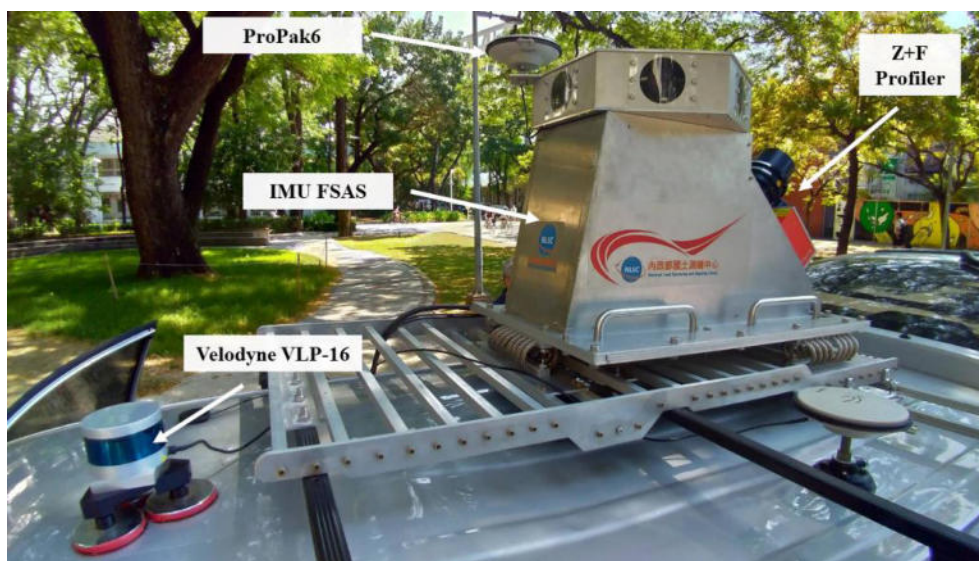


圖 4 實驗儀器配置

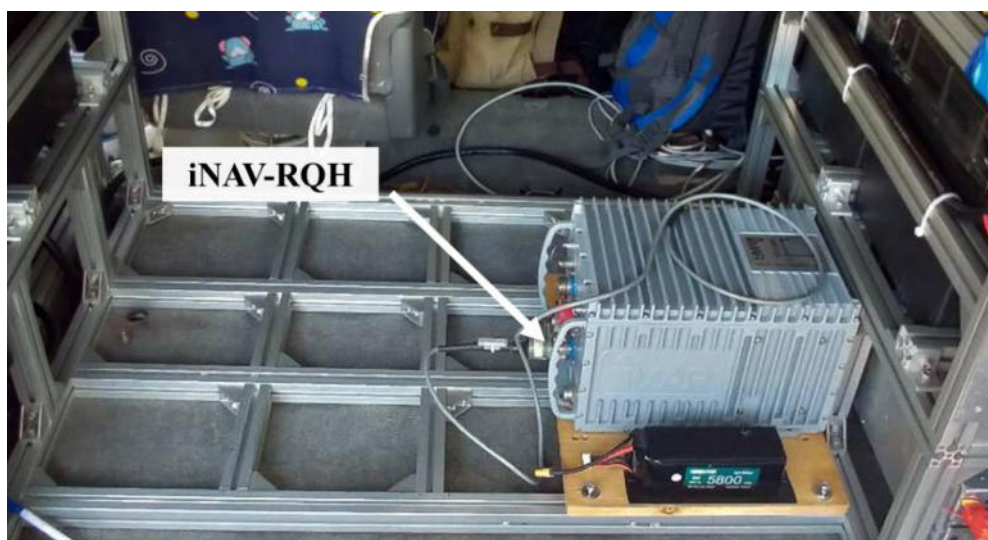


圖 5 參考系統——iNAV-RQH

表 2 IMU 規格比較

	iNAV-RQH	
	Accelerometer	Gyroscope
Bias Instability	$< 15 \mu\text{g}$	$< 0.002^\circ/\text{hr}$
Random Walk Noise	$8 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	$0.0018^\circ/\sqrt{\text{hr}}$
	Novatel IMU-FSAS	
	Accelerometer	Gyroscope
Bias Instability	$\leq 1 \text{ mg}$	$\leq 0.75^\circ/\text{hr}$
Random Walk Noise	—	$\leq 0.1^\circ/\sqrt{\text{hr}}$

四、成果分析及討論

由於點雲匹配是同步定位與製圖系統的基礎，因此為了提高算法的精度、效率和穩健性，以在具有低幾何訊息的環境中實現良好的估計精度，故需要對 3D 點雲匹配方法進行全面測試和評估。本研究使用 VLP-16 光達資料，測試 NDT 同步定位與製圖技術的演算法。為了驗證測試系統的準確性，分別使用 Inertial Explorer (IE) 商業軟體之緊耦合整合解和 INS/GNSS 的導航結果作為參考系統和測試系統。本小節將在以下兩個不同的實驗中分析(1)同步定位與製圖技術的觀測量更新評估(即水平速度及航向更新)以及(2)與 INS/GNSS、輪速計觀測量整合之定位提升效益，並比較四種整合方案之成果：INS/GNSS、INS/GNSS/NDT、INS/GNSS/輪速計及 INS/GNSS/輪速計/NDT。

(一) 實驗一：弱遮蔽區(GNSS 失鎖率 10-15%)

由 NDT SLAM 所求得之平面速度與航向角觀測量之誤差分析如表 3 所示，由表可看出藉由 NDT SLAM 可獲得與 INS/GNSS 整合解接近之觀測量更新。另外，由圖 6 及圖 7 亦可看出 NDT SLAM 所求得之平面速度及航向角觀測量與原始 INS/GNSS 整合解及參考系統之一致性。

實驗一之定位與姿態(定向)誤差分析如表 4、表 5 所示。由表 4 可發現不論使用何種整合方式其均方根誤差(Root-Mean-Square Error, RMSE)皆與原始 INS/GNSS 整合解一致。由於實驗一為弱遮蔽場域，故 GNSS 訊號並沒有長時間中斷之情形，因此在這種環境中僅使用 INS/GNSS 整合即可達到良好的精度。表 5 則顯示透過 INS/GNSS/Odometer/NDT 之整合方式，對 Roll 及 Heading 角分別有 1%和 5%的改進。值得一提的是，NDT 掃描匹配對觀測環境非常敏感，若是在空曠而缺少幾何結構物或人工構造物資訊的場域下，則使用 NDT 演算法輔助提升定位成效不顯著。

表 3 NDT SLAM 誤差分析(實驗一)

Error	NDT-Only			INS/GNSS		
	V _E	V _N	Heading	V _E	V _N	Heading
	(m/s)	(m/s)	(deg.)	(m/s)	(m/s)	(deg.)
STD	0.15	0.12	1.53	0.03	0.03	1.00
RMSE	0.15	0.12	1.54	0.03	0.03	1.00

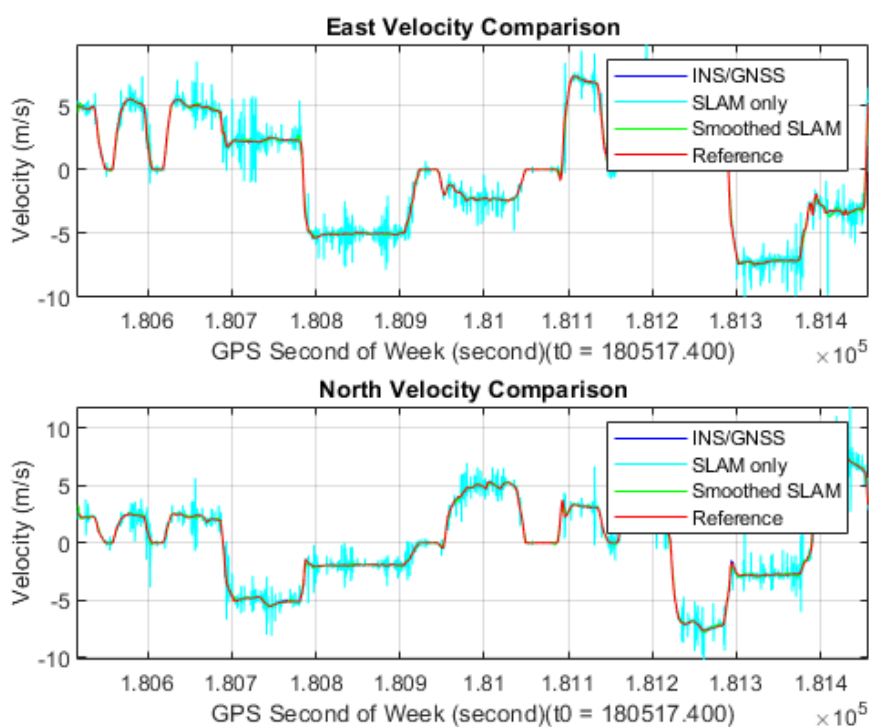


圖 7 平面速度比較圖(實驗一)

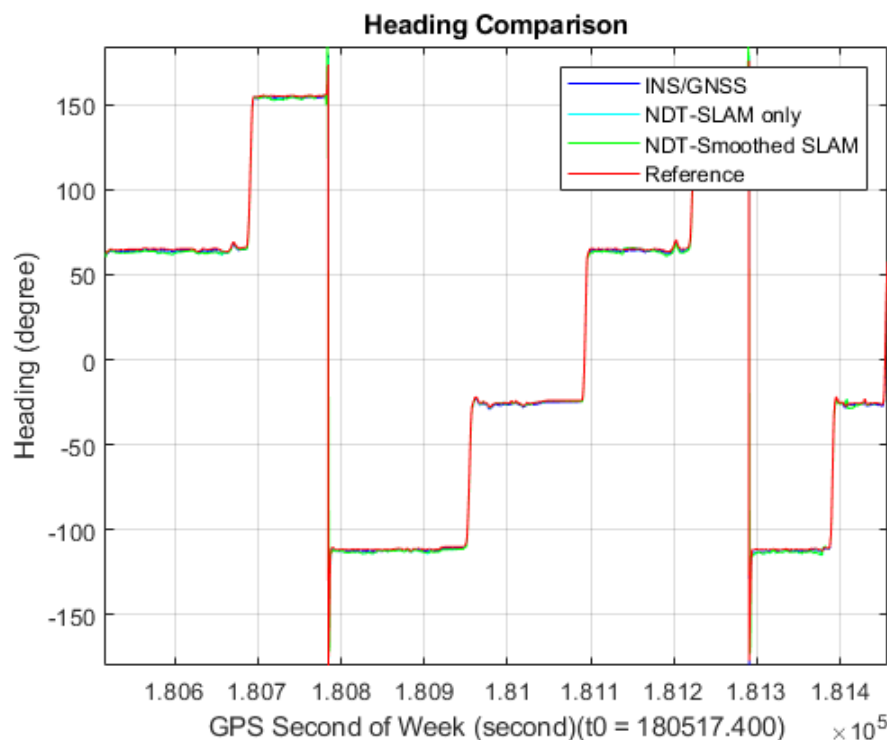


圖 8 航向角比較圖(實驗一)

表 4 定位誤差統計分析 (實驗一)

Error	INS/GNSS			INS/GNSS/Odom			INS/GNSS/NDT			INS/GNSS/Odom/NDT		
(m.)	E	N	U	E	N	U	E	N	U	E	N	U
Max.	1.25	1.60	3.21	1.21	1.60	3.21	1.21	1.25	3.21	1.21	1.67	3.20
Mean	0.02	0.03	-0.03	0.02	0.03	-0.03	0.02	0.03	-0.03	0.02	0.03	-0.03
STD	0.18	0.18	0.30	0.18	0.18	0.30	0.18	0.18	0.30	0.18	0.18	0.30
RMSE	0.19	0.18	0.30	0.19	0.18	0.30	0.19	0.18	0.30	0.19	0.19	0.30
RMSE	2D		3D	2D		3D	2D		3D	2D		3D
2D & 3D	0.26		0.40	0.26		0.40	0.26		0.40	0.26		0.40
Improvement	2D		3D	2D		3D	2D		3D	2D		3D
2D & 3D(%)	-		-	0%		0%	0%		0%	0%		0%

表 5 姿態誤差統計分析 (實驗一)

Error	INS/GNSS			INS/GNSS/Odom			INS/GNSS/NDT			INS/GNSS/Odom/NDT		
(degree)	P	R	H	P	R	H	P	R	H	P	R	H
Max	4.00	1.73	3.40	4.00	1.73	3.40	4.00	1.73	3.40	3.97	1.73	3.38
Mean	1.50	0.79	-0.17	1.50	0.79	-0.17	1.50	0.79	-0.17	1.49	0.79	-0.18
STD	0.57	0.77	1.16	0.57	0.77	1.16	0.57	0.77	1.16	0.57	0.77	1.10

RMSE	1.60	1.11	1.17	1.60	1.11	1.17	1.60	1.11	1.17	1.59	1.11	1.11
Improvement (%)				0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	5%

Note: R = Roll angle; P = Pitch angle; H = Heading angle

(二) 實驗二：半遮蔽區(GNSS 失鎖率 50-60%)

實驗二 NDT SLAM 所求出的觀測量精度如表 6 所示，可看出平面速度及航向角觀測量精度皆較實驗一差，主要原因在於執行 NDT 匹配時會使用 INS/GNSS 觀測量作為初始值，由於實驗二觀測環境較嚴苛，GNSS 訊號有長時間失鎖之情形，INS 又會因為長時間無 GNSS 觀測量輔助而累積漂移誤差，故 INS/GNSS 整合解誤差較大。然而，由圖 8 及圖 9 亦可看出 NDT SLAM 所求得之平面速度及航向角觀測量與原始 INS/GNSS 整合解及參考系統之一致性，其觀測量亦可於 GNSS 訊號失鎖時提供多餘觀測量以提升整體定位定向精度。

實驗二之定位及姿態(定向)誤差如表 6、表 7 所示。由表 6 可看出不論是加入輪速計輔助、使用 NDT-SLAM、同時加入輪速計及 NDT-SLAM 皆對定位精度有大幅地提升，平面精度最多可提升 61%、三維精度最多可提升 54%。因為該場域為半遮蔽環境，GNSS 訊號會中斷或常有來自建物或高架橋之多路徑效應而導致接收錯誤的 GNSS 觀測量，因此輪速計資訊或由 SLAM 求出之速度及航向角資訊即可當作多餘觀測量供 EKF 濾波器使用。由此實驗亦證明，透過 SLAM 的方式的確能輔助提升定位精度，對於沒有搭載輪速計的測繪車來說，使用 NDT SLAM 可獲得同樣的效果，亦即 NDT SLAM 可取代輪速計之用。另一方面，相較以往測繪車於 GNSS 遮蔽環境進行掃描時，需要布設大量地面控制點來提升軌跡精度，由表 6 亦可發現加入 SLAM 技術輔助後，其定位精度已符合現行高精地圖需求(平面定位精度：20 cm；三維定位精度：30 cm)，故引入 SLAM 技術輔助原有之定位定向系統可減少後續布設控制點與地測成本。

值得一提的是，與實驗一的主要差異來自觀測環境。實驗二中的台南高鐵站體及高架橋之人造結構物具有更均勻且連續的特徵點。在 NDT 匹配中，這些幾何資訊可以幫助補償誤差較大的初始值(來自 INS/GNSS 整合解)，能改善整體定位與姿態估計並降低傳統方法(INS/GNSS)因 GNSS 訊號失鎖所產生的漂移。另外，表 7 亦顯示加入 NDT-SLAM 技術時，航向角有 1%-4%的提升，對於計算整體定位定向有一定的助益。

表 6 NDT SLAM 誤差分析(實驗二)

Error	NDT-Only			INS/GNSS		
	V _E	V _N	Heading	V _E	V _N	Heading
	(m/s)	(m/s)	(deg.)	(m/s)	(m/s)	(deg.)
STD	0.43	0.32	1.43	0.03	0.02	1.11

RMSE	0.43	0.32	1.43	0.03	0.02	1.11
------	------	------	------	------	------	------

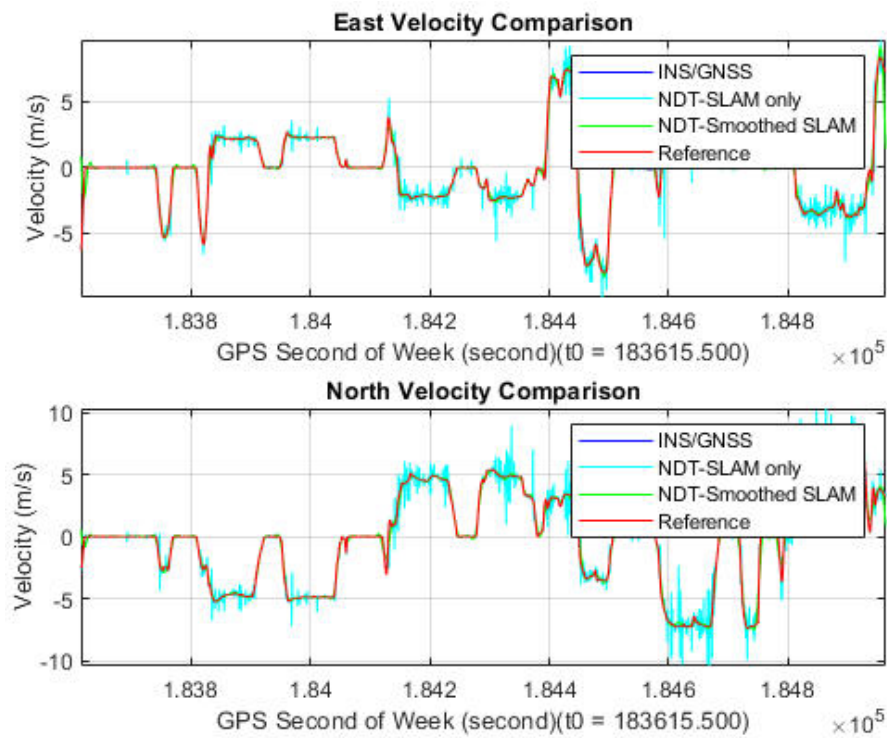


圖 9 平面速度比較圖(實驗二)

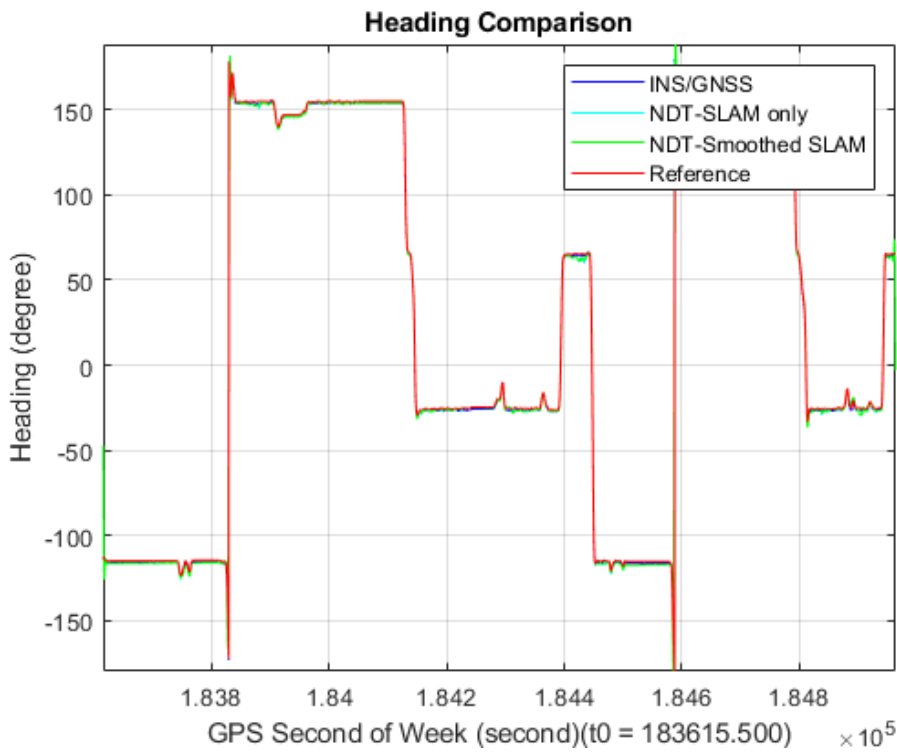


圖 10 航向角比較圖(實驗二)

表 7 定位誤差統計分析（實驗二）

Error (m.)	INS/GNSS			INS/GNSS/Odom			INS/GNSS/NDT			INS/GNSS/Odom/NDT		
	E	N	U	E	N	U	E	N	U	E	N	U
Max	3.76	0.79	1.81	0.58	0.56	0.84	0.58	0.55	0.89	0.52	0.56	0.66
Mean	0.07	0.03	-0.05	0.01	0.02	-0.07	0.00	0.02	-0.07	0.00	0.02	-0.07
STD	0.49	0.15	0.28	0.16	0.13	0.18	0.15	0.13	0.18	0.15	0.13	0.17
RMSE	0.49	0.16	0.28	0.16	0.13	0.20	0.15	0.13	0.19	0.15	0.13	0.18
RMSE	2D		3D	2D		3D	2D		3D	2D		3D
2D & 3D	0.51		0.59	0.21		0.29	0.20		0.28	0.20		0.27
Improvement	2D		3D	2D		3D	2D		3D	2D		3D
2D & 3D(%)	-		-	60%		51%	61%		52%	61%		54%

表 8 姿態誤差統計分析（實驗二）

Error (degree)	INS/GNSS			INS/GNSS/Odom			INS/GNSS/NDT			INS/GNSS/Odom/NDT		
	P	R	H	P	R	H	P	R	H	P	R	H
Max	3.95	1.70	15.07	3.92	1.71	13.74	3.95	1.70	15.09	3.92	1.71	13.71
Mean	1.38	1.01	0.09	1.38	1.01	0.09	1.37	1.01	0.09	1.37	1.01	0.09
STD	0.62	0.45	1.17	0.62	0.45	1.18	0.62	0.45	1.13	0.62	0.45	1.13
RMSE	1.51	1.11	1.18	1.51	1.11	1.18	1.50	1.11	1.13	1.50	1.11	1.14
Improvement				0%	0%	0%	1%	0%	4%	0%	0%	3%

Note: R = Roll angle; P = Pitch angle; H = Heading angle

五、結論與建議

本研究成功地利用 NDT-SLAM 於 GNSS 嚴重遮蔽之場域(實驗二)提升測繪車之定位精度，其二維及三維 RMSE 分別由 51 公分、59 公分下降至 20 公分、28 公分，分別有 61%及 52%的提升幅度。另外，由實驗一、實驗二比較得知，在一般空闊地區或弱遮蔽區，使用 NDT 演算法的成果不顯著；相反地，若於半遮蔽場域，不論是透過 NDT 演算法或輪速計資訊的輔助，對於定位精度均有相同程度的提升，由此可證明基於 NDT 之光達里程計是可取代輪速計之用，對於沒有額外安裝輪速計之測繪車來說是一大助益，綜上所述，多感測資訊整合為使移動測繪技術更穩定可靠之關鍵。

另一方面，相較以往測繪車於 GNSS 遮蔽環境進行掃描時，係以布設大量地面控制點來約制軌跡及製圖成果，本研究除驗證 SLAM 技術所提升的精度外，亦可發現加入 SLAM 技術輔助後，其定位精度(實驗二)已符合現行高精地圖定位需求(平面定位精度：20 cm；三維定位精度：30 cm)，故引入 SLAM 技術輔助測繪車原有之定

位導航系統可減少後續布設控制點與地測成本。

未來可進一步修正整合架構或優化 SLAM 演算法，例如找到適當數量的掃描幀 (Scan frame) 以構建更可靠的地圖 (Hu et al., 2021)。另外為了避免在某些高動態運動 (如高速行駛或轉彎) 導致 NDT 掃描匹配失敗，應考慮使用更多附有不同方向的光達掃描儀，並研究更多不同場域下之執行狀況 (Wen et al., 2018)。

致謝

本研究獲得內政部國土測繪中心支持，研究案編號為 NLSC-109-13。

參考文獻

- Biber, P., and W. Straßer, 2003, "The normal distributions transform: A new approach to laser scan matching," *In International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2743–2748.
- Chang, L., X. Niu, and T. Liu, 2020, "GNSS/IMU/ODO/LiDAR-SLAM Integrated Navigation System Using IMU/ODO Pre-Integration," *Sensors*, 20, 4702.
- Chiang, K.W., Duong, T.T., Liao, J.K., Lai, Y.C., Chang, C.C., Cai, J.M., Huang, S.C, 2012, "On-line smoothing for an integrated navigation system with low-cost mems inertial sensors," *Sensors*, 12, 17372-17389.
- Chong, K.; Kleeman, L, 1997, "Accurate odometry and error modelling for a mobile robot In Robotics and Automation," *Proceedings. IEEE International Conference on*, IEEE: Albuquerque, 2783 – 2788.
- Donoho, D. L., 1995, *De-noising by soft-thresholding*. *IEEE transactions on information theory*, 41(3), 613-627.
- Hu, S., S. Xiao, A. Zhang, Y. Deng, and B. Wang, 2021, "Continuous-Time Laser Frames Associating and Mapping via Multilayer Optimization," *Sensors*, 21, 97.
- Lategahn, H., Geiger, A., Kitt, B., Stiller, C, 2012, "Motion-without-structure: Real-time multipose optimization for accurate visual odometry," *In Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, IEEE: Alcalá de Henares, 649 – 654.
- Li, X. Y., Du, S. T., Li, G. C., and Li, H. Y., 2020, Integrate Point-Cloud Segmentation with 3D LiDAR Scan-Matching for Mobile Robot Localization and Mapping. *Sensors*, 20(1).
- Liu, T., L. Chang, X. Niu, and J. Liu, 2020, "Pole-Like Object Extraction and Pole-Aided GNSS/IMU/LiDAR-SLAM System in Urban Area," *Sensors*, 20, 7145.
- Magnusson, M., 2009, *The Three-Dimensional Normal-Distributions Transform --- an Efficient Representation for Registration, Surface Analysis, and Loop Detection*. PhD Thesis, School of Science and Technology, Örebro University, Örebro, Sweden.

- Magnusson, M., Vaskevicius, N., Stoyanov, T., Pathak, K., and Birk, A., 2015, Beyond points: Evaluating recent 3D scan-matching algorithms. Paper presented at *the 2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*.
- Ren, Z., Wang, L., and Bi, L., 2019, Robust GICP-Based 3D LiDAR SLAM for Underground Mining Environment. *Sensors (Basel)*, 19(13).
- Shan, T., and B. Englot, 2018, “LeGO-LOAM: Lightweight and Ground-Optimized Lidar Odometry and Mapping on Variable Terrain,” *2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Madrid, 4758–4765.
- Shin, E. H., 2005, *Estimation Techniques for Low-cost Inertial Navigation*, UCGE report, 20219.
- Tsai, G.J., 2020, "Seamless Navigation and Mapping Using INS/GNSS/LiDAR SLAM Multi-Fusion Schemes," PhD Dissertation, Department of Geomatics, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan."
- Wen, W., L.T. Hsu, and G. Zhang, 2018, “Performance Analysis of NDT-based Graph SLAM for Autonomous Vehicle in Diverse Typical Driving Scenarios of Hong Kong,” *Sensors*, 18, 3928.
- Wurm, K., Stachniss, C., Grisetti, G., 2010, Bridging the gap between feature- and grid-based slam. *Robot. Auton. Syst.* 58(2), 140 – 148. selected papers from *the 2007 European Conference on Mobile Robots (ECMR 07)*.
- Zhang, J., and S. Singh, 2014, “LOAM : Lidar Odometry and Mapping in Real-time,” *In Robotics: Science and Systems*, 1–8.

探討以小型旋翼無人機監測水庫邊坡之可行性： 以臺北翡翠水庫為例

張若瑄¹ 江志展^{2*} 吳芝伶³ 管志偉⁴

論文收件日期：110.04.25

論文修改日期：110.06.29

論文接受日期：110.07.02

摘 要

水庫是台灣重要的集水設施，為了維護水庫集水區周邊的環境，本研究利用多旋翼無人機作為拍攝工具進行環境作業監測與環境差異調查分析，隨著無人機的運用日新月異，較不受天候與空域影響，尤其是運用在颱風過後多雲的天氣時，可執行災害現場的拍攝任務，並且得到即時的救災資訊，同時也不用耗費較多的人力資源，也可取得較佳的影像品質。本次研究通過拼接後的正射影像，來分析土地崩塌變異情形，再套疊潛勢邊坡變異進行現況分析，後續可提供給管理單位作為調查與監控之參考。最後通過比對人工目視及無人機拍攝這兩種方法，分析人力、時間和金錢成本效益，達到效益最大化。

關鍵詞：無人飛行載具、變異分析、量化分析、效益最大化。

¹碩士，逢甲大學智慧城市碩士學位學程

²助理規劃師，易圖科技股份有限公司

³規劃師，易圖科技股份有限公司

⁴副處長，易圖科技股份有限公司

*通訊作者，TEL: (04)24516669，E-mail: willy@gis.tw。

Discuss the Use of Small Rotor Drones to Monitor the Slope of the Reservoir Feasibility: Take Taipei Feicui Reservoir as An Example

Jo-Hsuan Chang¹, Chih-Chan Chiang^{2*}, Chih-Ling Wu³, Chih-Wei Kuan⁴

Abstract

Reservoirs are essential to water collection in Taiwan. In order to maintain the environment around the water catchment area of the reservoir, this research used multi-rotor drones as the image-capture tool for environmental monitoring, environment differential investigation and analysis. With the rapid development of drones, drone operations are relatively unaffected by the weather and airspace. Especially in cloudy days after typhoon, we can obtain instant information of disaster, reducing the manpower required to have better image quality simultaneously. In this study, we used spliced¹ orthophotos to analyze the landslides variation. Through overlapping the potential slope variation, current situation analysis can be provided to the management unit as the reference for investigation and monitoring. Eventually, comparing the methods of manual visual inspection and unmanned aerial vehicle shooting, the effectiveness of manpower, time-consuming were analyzed to maximize the benefits.

Keywords : Collapse ground interpretation, Quantitative analysis, Unmanned Aerial Vehicle, Variation analysis.

¹ Master, International Master Program for Smart City, Feng Chia University

² Assistant Planner, EasyMap Digital Technology Inc.

³ Planner, EasyMap Digital Technology Inc.

⁴ Deputy Director, EasyMap Digital Technology Inc.

* Corresponding Author, TEL: +886-4-24516669 #733, E-mail: willy@gis.tw.

一、前言

水資源對於台灣是重要的資源之一，但由於台灣地形坡度變化大，造成河川上下游坡度落差大，如遇大雨容易形成自然災害，為了有效治理河川，以達蓄水、灌溉、民用等目的，興建水庫水壩是解決的好方法之一。全臺有 200 多座水庫，為了確保水庫周邊環境的維護，根據《水庫蓄水範圍使用管理辦法》以及《水庫集水區保育實施計畫》，約一季做一次安全評估，同時確保水庫保護區的生態環境維持良好，其調查成果可作為後續執行管理業務的參考。

本研究以翡翠水庫為範例，翡翠水庫已於民國 76 年大壩完工並開始蓄水，迄今已 30 多年，此水庫水域邊坡周圍環境已與蓄水前地貌有所差異，但維持至今，水位一直處於穩定狀態，希望藉由環境調查，達到有效監測管理與調查環境差異分析的目的。

水庫水域環境調查方式，以往利用人工目視的方法調查河川生態環境及空間分布狀況，因受限於位處山區之地形影響，部分區域無道路可及，以及氣候限制等因素，導致難以如期進行檢查。

無人機近年來廣泛應用在物流運送、救災防災、安全監控等領域，由於其機動性高，可自動執行與體積小的特性，使無人機納入監測工具，改善過去人工執行上的死角，建造新型的監控與安全模式。隨著近年來無人機日新月異的發展，擁有精確的導航系統，利用無人機作業的使用次數也增加，本研究透過旋翼無人機進行拍攝節省了多餘的人力資源及成本，以達到最高效益，針對汛期前及汛期後之目標範圍進行拍攝，透過 GIS 軟體輔助分析，所得資料提供給翡翠水庫管理局做後續的治理方式。

二、研究區域

翡翠水庫是台灣少數水量穩定、有嚴格管制的水庫，雖然在防疫期間的用水量增加以及去年汛期無颱風來襲，但翡翠水庫的蓄水量仍然處於穩定狀態，為了翡翠水庫的永續發展，需要對集水區附近的土地狀況進行詳細的拍攝與調查，後續通過對崩塌地的判釋，針對崩塌地有無影響水庫運行狀況進行詳細調查。

翡翠水庫水域位於新北市石碇區，新店溪支流北勢溪之上的翡翠水庫(如圖 1)，距臺北市區約 30 公里，WGS84 地理坐標為 24°54'33" N, 121°34'48" E(如圖 2)。翡翠水庫水域長度約 23 公里，蓄水範圍面積廣達 1,452 公頃，海拔約 122.5 公尺，平均年雨量約 160~165 毫米(2020 年)，研究面積範圍約為 48.7 平方公里。根據翡翠水庫管理局統計(臺北翡翠水庫管理局，2019)，台灣汛期主要分布 5 月至 10 月的颱風季，翡翠水庫集水區約佔全年雨量的 46.4%，其次為 11、12 月東北季風(27.2%)與梅雨季(16.6%)。大臺北地區飲用水源 97%來自新店溪，且翡翠水庫是新店溪唯一的調控樞紐，是北部地區無可取代的水資源。

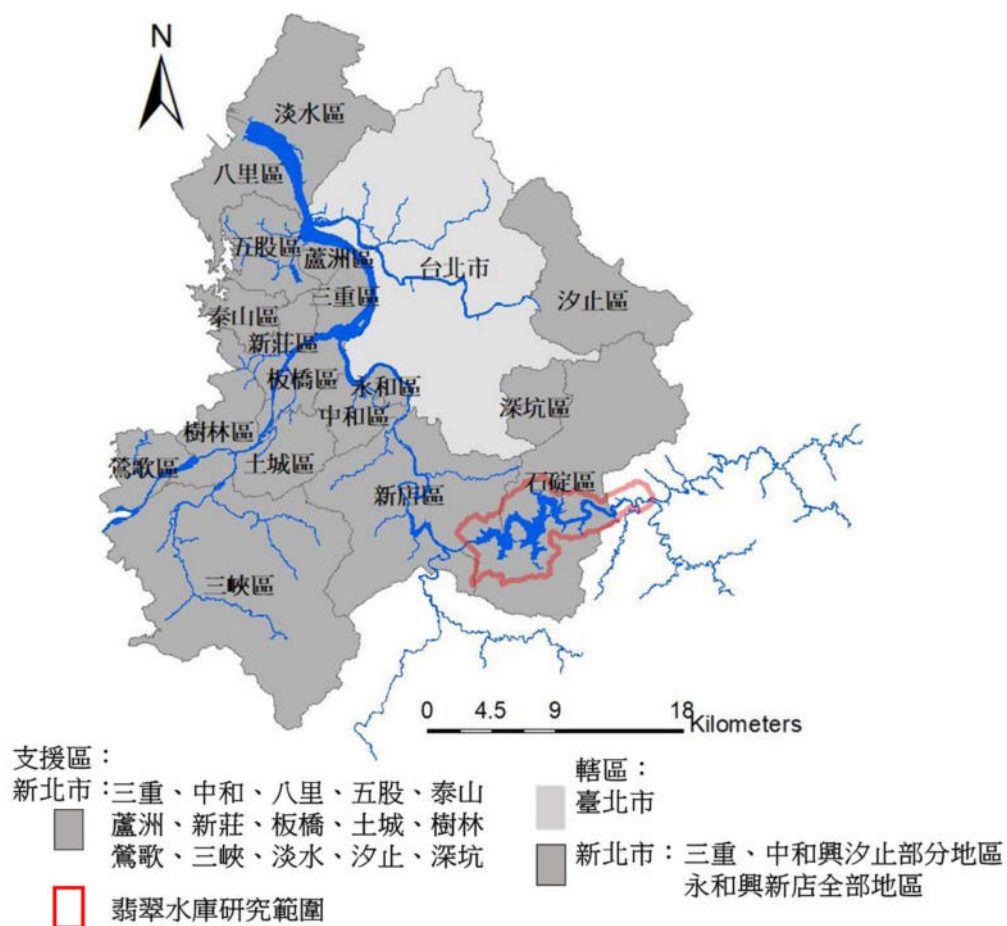


圖 1 翡翠水庫地理位置圖

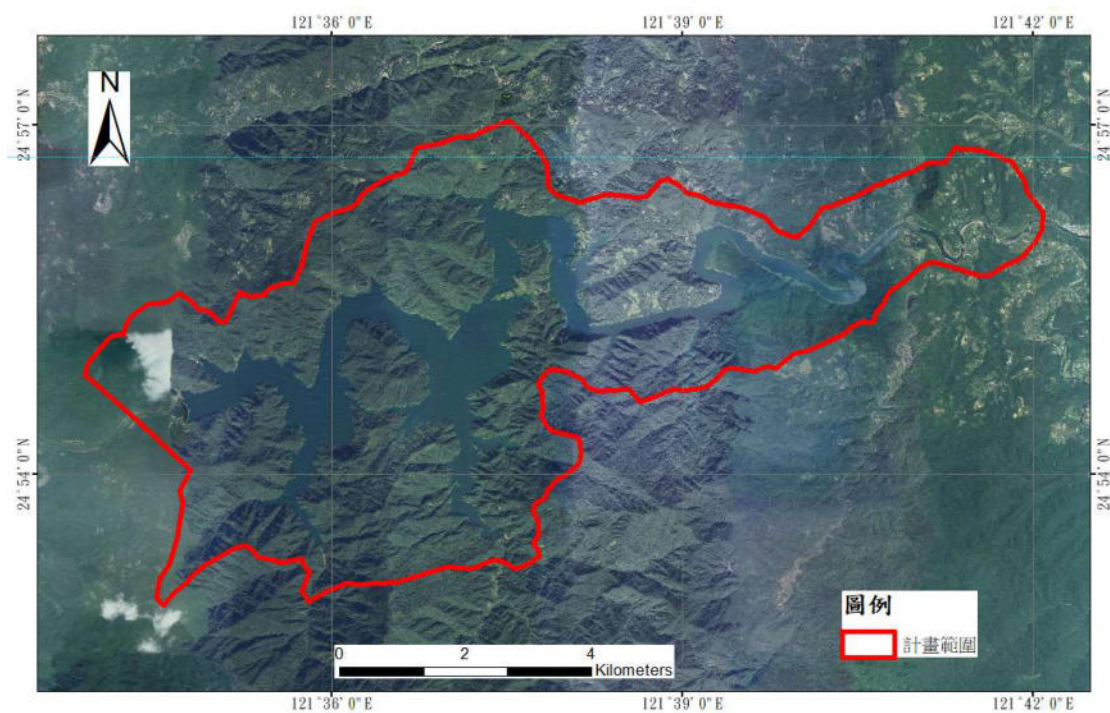


圖 2 研究範圍

三、資料取得與處理方法

(一)研究流程

本研究流程主要包含(如圖 4)：

1. 為了有效提升空拍作業之精準度，需針對翡翠水庫周邊環境資料進行蒐集，包括有地形、水文、交通、行政區界等環境基本資料、前期遙測影像資料、其他資訊等。
2. 遙控無人載具任務執行，利用多旋翼無人機(如圖 3)。
 - (1). 內建通訊裝置，最大可控制範圍 7 km。
 - (2). 內建飛航控制器，可自動導航拍照、起飛及降落；且具自動返航功能，電力不足或超出作業範圍時會自動返航。
 - (3). 相機有效畫素 1,240 萬，影像大小 4,000 x 3,000pixels，快門 1/8000 秒至 8 秒。



圖 3 本研究使用之無人機(www.dji.com)

3. 照片拍攝後正射影像資料處理，並且建立環境現況圖資。
4. 拍攝成果產製，包含利用電腦軟體進行相同位置不同時期的影像套疊分析，使其成果為具空間相位關係之數位資訊，可與現有之地圖、航空照片及衛星影像等圖形整合及套疊。
5. 環境變異成果分析，比對汛期前後之影像。
6. 比對人工目視及多旋翼無人機拍攝進行成果量化。

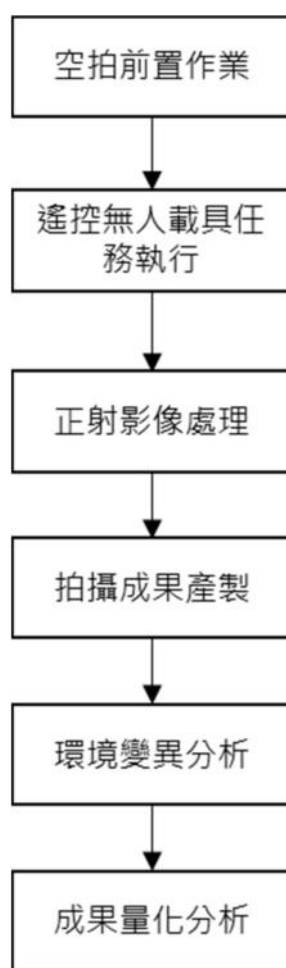


圖 4 研究流程

(二)影像處理方法

本研究將採用電腦視覺技術，以 UAV 原始影像建構出地表三維資料，再以三維資料為底，產生地表數值表面模型(Digital Surface Model, DSM)，再將 DSM 搭配鑲嵌演算法，從多張重疊的 UAV 影像產製高精度正射影像，再以高精度正射影像，產製數值地形資料。

1.非常規攝影測量原理，Structure From Motion (SFM)

非常規測量原理採用自標定技術(Self-Calibration)，主要是藉由建立多張二維影像的相對位置(Maybank and Faugeras, 1992；Faugeras, 1992；Pollefeys, 1999; Lei *et al.*, 2001)，來獲取具有坐標系統的三維立體場景。除拍攝所在位置彈性高以外，也可使用不同相機所拍攝的照片，但前提是拍攝對象已持續不變動(如圖 5)(蕭震洋等，2011;Westoby *et al.*, 2012)，透過分析相機姿態與拍攝影像，計算出相機拍攝的移動軌跡、相機內方位參數、稀疏三維點雲、基礎矩陣等資訊，並透過上述資訊重購出三維場景中目標物件或場景(趙智凡等，2016)。其中估算相機及物體的位置是利用特徵點的核面原理，將相機位置解算出來，然後沿特徵點運動軌跡的方向，建立出兩張圖像中的相對關係，再利用光束法平差，計算出點位的坐標，其坐標系統是自定的局部坐標系(蕭震洋，2011)。

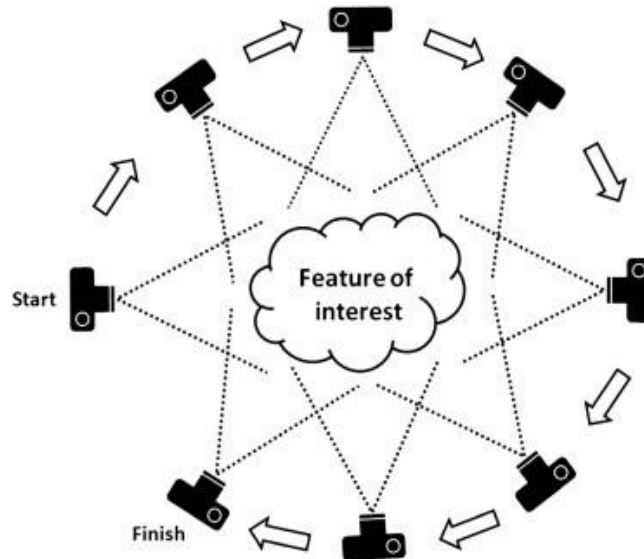


圖 5 SfM 原理 (Westoby *et al.*, 2012)

2.正射影像處理方法

本研究通過 Agisoft Photoscan 一種三維建模軟體，電腦視覺技術運用數學運算重建影像中物件的三維位置與形狀(Fisher *et al.*, 2005 ; Szeliski, 2010)。空拍任務完成後，所拍攝之影像要經過影像匹配，透過分析影像拍攝姿態，然後進行圖檔鑲嵌、幾何糾正等，可計算出空間相位關係之數位資訊，再建立出點位坐標，最後生成正射影像及 DSM (如圖 6)。

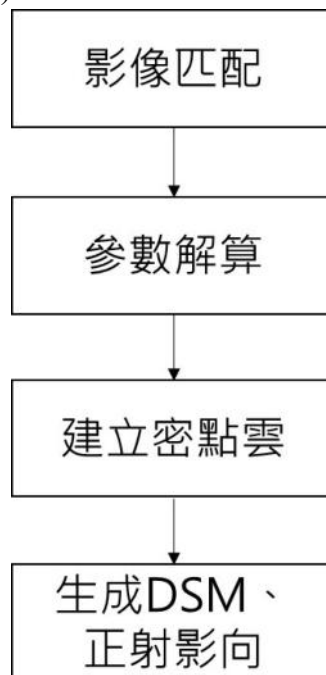


圖 6 正射影像產出流程圖

3. 控制點選取

本研究為平面精度分析，為了增加精確度，需選取適當點位當作控制點。其中控制點特性需均勻散佈且條件多為建物、道路、民宅等長時間較不易變動之點位(許斐涵等，2014；蘇柏軒與蕭宇伸，2013)，控制點參考的分佈需要滿足解算條件，且盡量確保能控制整個區域，但過多的參考控制點並未對提升精度有幫助，建議提供 6 個點以上參考控制點進行坐標轉換(汪磊，2002)。將本研究所拍攝之照片與農林測量所的航照圖進行校正，在航照圖上選取 10 個特徵點為地面控制點 (Ground Control Point, GCP)，利用 UAS 在有地面控制點的區域所拍攝的相片製成三維建模，並對其三維模型做精度分析，航高約為 150 公尺，地面解析度為 5 公分，而高程及平面精度約為 10-20 公分，而沒有地面控制點時，精度則高達約 5 公尺 (Douterloigne *et al.*, 2010)。

(1) 選取平均分佈的 10 個地面特徵點作為地面控制點(GCP)

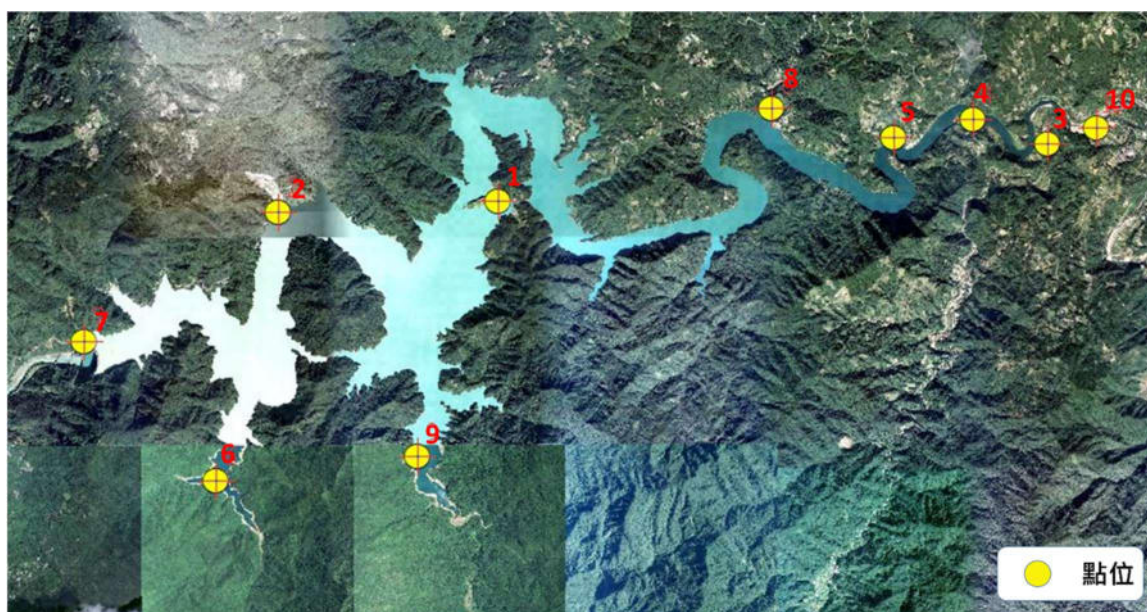


圖 7 地面控制點分佈圖

表 1 地面控制點坐標(TWD97)

point	x	y
point1	313335.0679	2757715.7460
point2	310720.6866	2757576.2850
point3	319893.0486	2758397.7570
point4	319006.6784	2758688.1220
point5	318058.0328	2758469.0870
point6	309983.9387	2754375.0220
point7	308399.2578	2756033.7160

point8	316606.2258	2758812.4810
point9	312375.3711	2754662.8580
point10	320474.6007	2758586.4460

(2) 檢核點坐標建置，選取平均分佈的 10 個特徵點為檢核點。

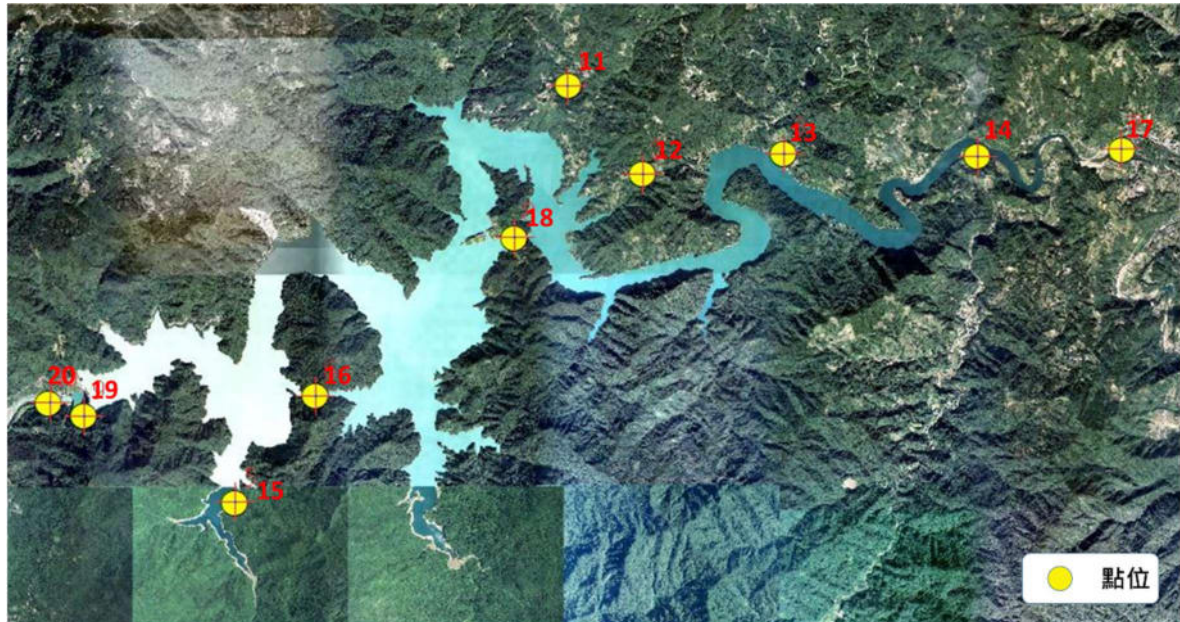


圖 8 檢核點分佈圖

表 2 檢核點坐標(TWD97)

point	x	y
point11	314171.9175	2759485.4215
Point12	315051.6059	2758453.2269
Point13	316701.0481	2758692.5166
Point14	318967.5476	2758659.5494
Point15	310282.3250	2754620.7189
Point16	311225.0902	2755865.3213
Point17	320652.6366	2758740.2896
Point18	313553.8092	2757715.3129
Point19	308516.7294	2755628.9908
Point20	308114.9852	2755779.4861

四、 結果與討論

(一)初步成果

表 3 第一期成果

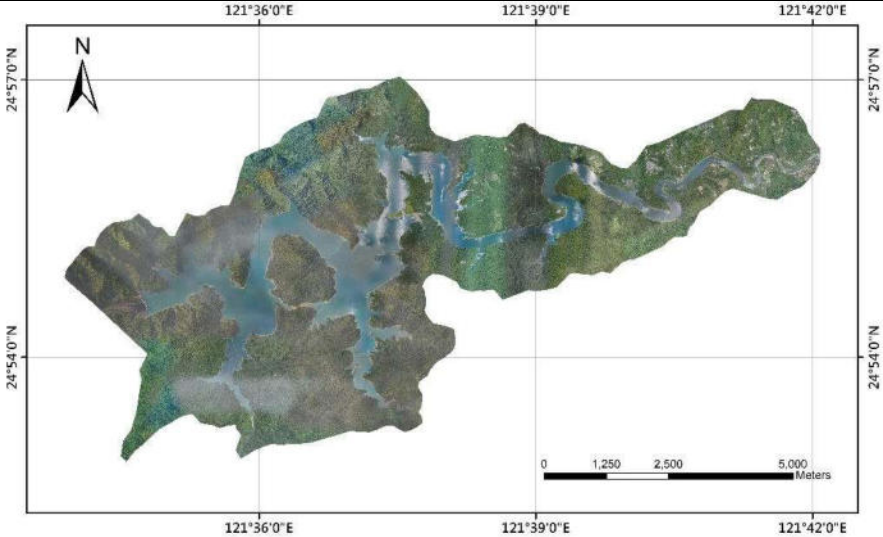
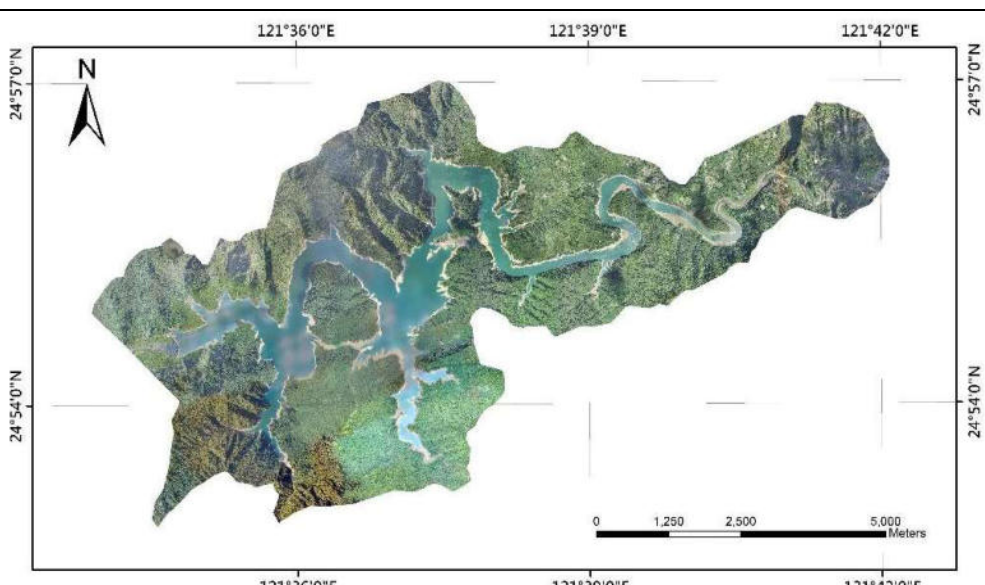
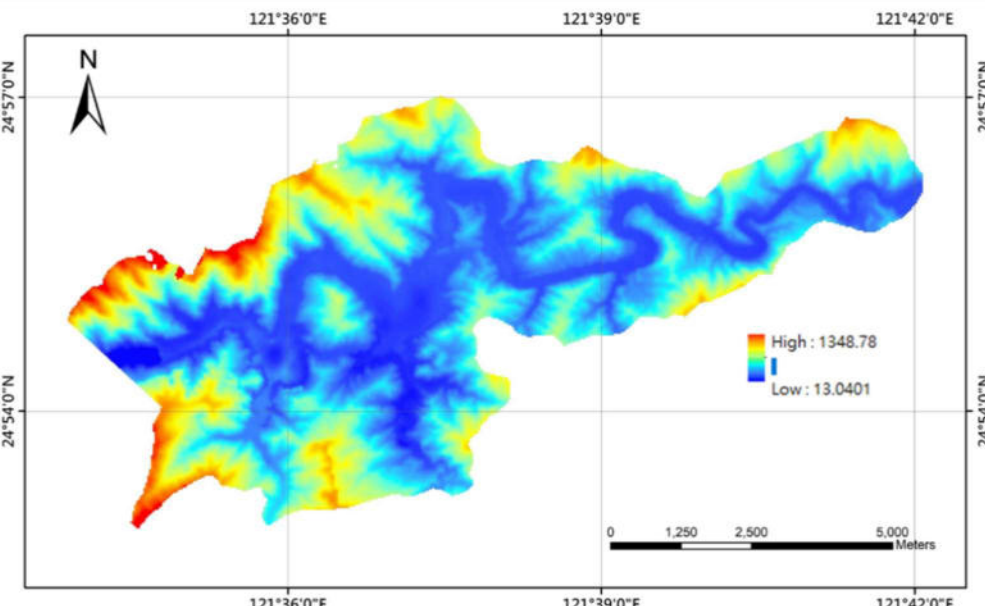
編號	監測範圍
飛行高度	550m~700m
地面解析度	本次正射影像地面解析度為 17.3 公分，優於 25 公分之規定。 本次空拍成果產製之數值地表模型(DSM)解析度為 4 公尺。
第一期正射影像成果	 圖 9 第一期正射影像成果圖

表 4 第二期成果

編號	監測範圍
飛行高度	600m~800m，後期拍攝高度較高，拍照重疊率也不同，所以解析度較差
地面解析度	本次正射影像地面解析度為 26.7 公分，大於 25 公分之規定。 本次空拍成果產製之數值地表模型(DSM)解析度為 29.5 公尺。
第二期正射影像成果	 圖 11 第二期正射影像成果圖
第二期 DSM 成果圖	 圖 12 第二期 DSM 成果圖

第一期有地面控制點(GCP)之檢核成果，利用地面控制點與檢核點實測坐標計算誤差值。分別計算平面 X、Y 方向 RMSE(均方根誤差)值，分別為 0.2509m、0.1992m (如表 5)。

表 5 第一期檢核點誤差(有地面控制點)(單位:m)

point	X error	Y error
point11	0.036054	0.000000
point12	0.355302	0.050380
point13	0.094179	0.032730
point14	0.057078	0.163920
point15	0.161361	0.051008
point16	0.436316	0.000000
point17	0.045547	0.117295
point18	0.519899	0.000000
Point19	0.015451	0.443099
Point20	0.025251	0.391715
RMSE	0.250863	0.199152

第二期地面控制點(GCP)之檢核成果，分別計算 X、Y 方向之 RMSE(均方根誤差)值分別為 0.2627m、0.3979m (如表 6)。

表 6 第二期檢核點誤差(有地面控制點)(單位:m)

point	X error	Y error
point11	0.013004	0.009100
point12	0.001046	0.686848
point13	0.100618	0.110958
point14	0.255815	0.001581
point15	0.026633	0.000000
point16	0.114697	0.026580
point17	0.052131	0.000000
point18	0.084113	0.284239
Point19	0.022062	0.267440
Point20	0.019774	0.196127
RMSE	0.262658	0.397853

(二) 前後期影像變異分析

本研究使用前後兩期影像進行比對，發現有 9 處變異情形，整體的變異分布情形(如圖 13)。

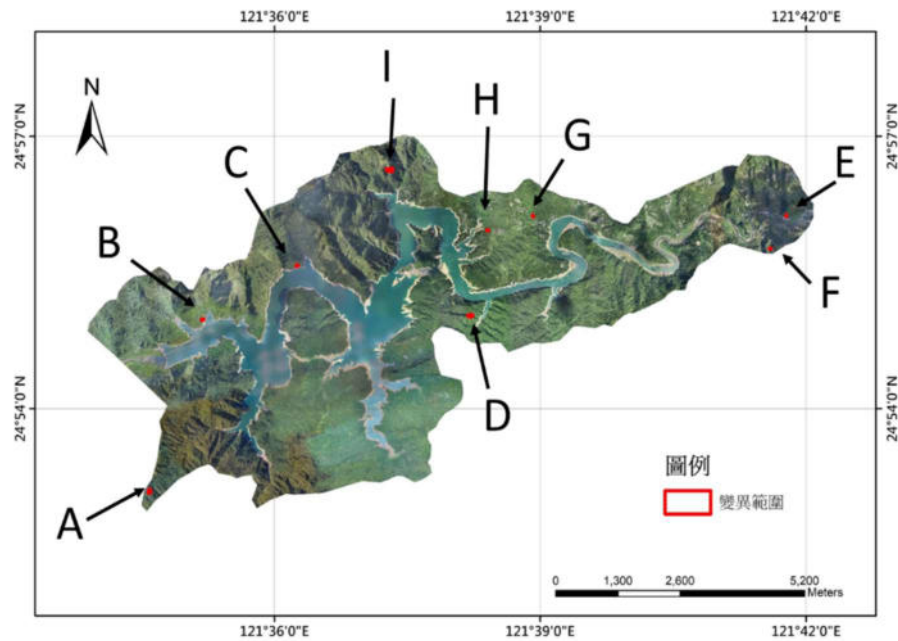


圖 13 變異點分布圖

表 7 本研究 9 處變異分析

編號	前期(拍攝時間 109/5)	後期(拍攝時間 109/10)	植生變化
A	 (a) A 點前期	 (b) A 點後期	植生茂密 變為植生 稀疏
B	 (c) B 點前期	 (d) B 點後期	植生稀疏 變為裸露 地

C	 (e) C 點前期	 (f) C 點後期	植生茂密 變為崩塌地
D	 (g) D 點前期	 (h) D 點後期	裸露地變 為植生稀 疏
E	 (i) E 點前期	 (j) E 點後期	裸露地變 為植生茂 密
F	 (k) F 點前期	 (l) F 點後期	裸露地變 為植生稀 疏

G	 (m) G 點前期	 (n) G 點後期	裸露地變為植生茂密
H	 (o) H 點前期	 (p) H 點後期	植生稀疏變為裸露地
I	 (q) I 點前期	 (r) I 點後期	植生稀疏變為植生茂密

A 處由植生茂密變為植生稀疏，此處將繼續觀察植生變化；B 處由植生稀疏變為裸露地，變化面積增加了 0.26 公頃，此處可能為崩塌土方暫置區；C 處前期為植生茂密，後期因發生崩塌，109 年已經進行水土保持工程施工，並以噴凝土保護邊坡；D 處、E 處、F 處以及 G 處皆為裸露地變為植生茂密或植生稀疏，推測可能因日照、雨水等天氣因素導致植生生長狀況好轉；H 處為植生茂密變為裸露地，建議此處坡地為未來年度繼續觀察植生變化；I 處為裸露地變為植生茂密，建議此處坡地未來繼續觀察植生變化。

(三) 潛勢邊坡

使用翡翠水庫管理局所提供之崩塌地潛勢邊坡圖層 114 處，本次研究範圍內共 112 處，套疊汛期前及汛期後拍攝成果(如圖 14 所示)，並進行前後期對比。以人工檢核方式對比後發現有四處潛勢邊坡有較為明顯的變化，分別為 R11-1、R20-1、R30、R43 坡地(如表 8)。

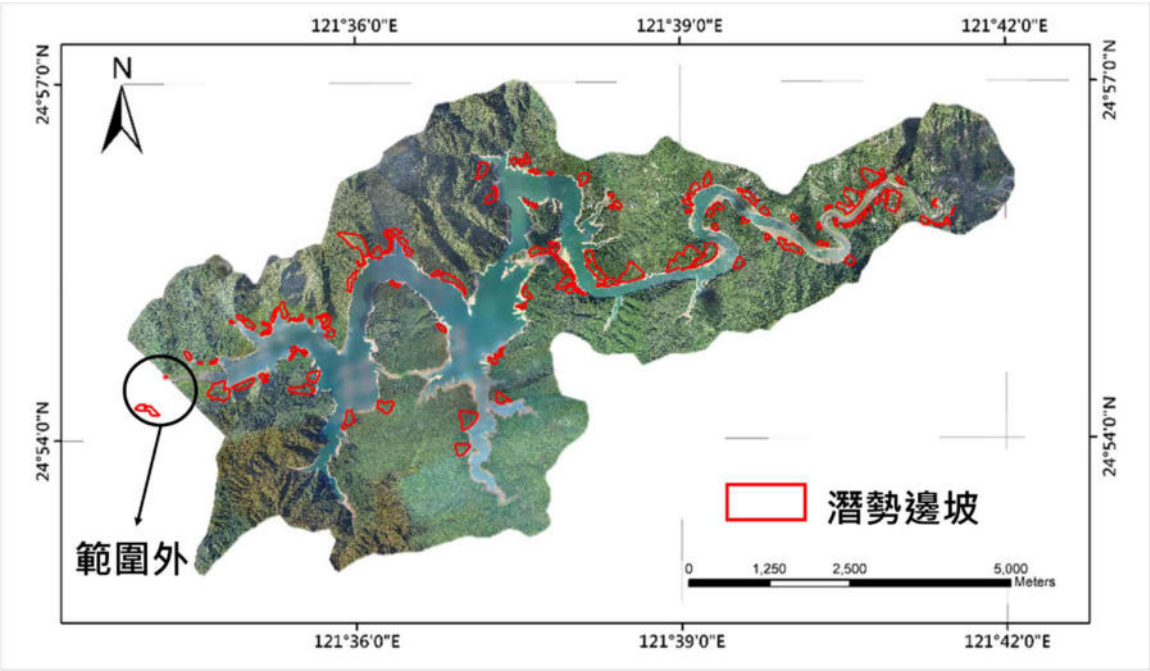


圖 14 判釋成果套疊潛勢邊坡圖

表 8 有變化的四處拍攝地

編號	面積 (ha)	圖片	
		前期(拍攝時間 109/05)	後期(拍攝時間 109/10)
R11-1	0.22	 (a) R11-1 前期	 (b) R11-1 後期
R20-1	0.34	 (c) R20-1 前期	 (d) R20-1 後期

R30	0.33	 (e) R30 前期	 (f) R30 後期
R43	0.33	 (g) R43 前期	 (h) R43 後期

通過觀察，R11-1 由植生茂密變為裸露地，初步研判崩塌面積約為 0.073 公頃，此處因經過水土保持工程施工，清除危木並施以噴凝土保護邊，經推測可能因有噴凝土開列破損，須列為密切關注坡地；R20-1 及 R30 皆為植生茂密變為植生稀疏或裸露地，此兩處坡地初步研判為水位下降導致原本水位下的裸露地浮出，暫無崩塌事件發生；R43 處於 5 月拍攝時面積大約為 0.038 公頃，十月拍攝時已恢復植生茂密狀態，後續仍然須持續追蹤是否為崩場地抑或是農業用地。

經過比對後發現，編號 R11-1 坡地則由植生茂密變為裸露地，有崩塌的風險，R43 坡地由裸露地變化為植生茂密，雖然現況為植生茂密，但後續仍然須持續追蹤是否有崩塌現象，兩處列為密切關注的坡地，地處位置(如圖 15)，崩場地範圍(如表 9)。

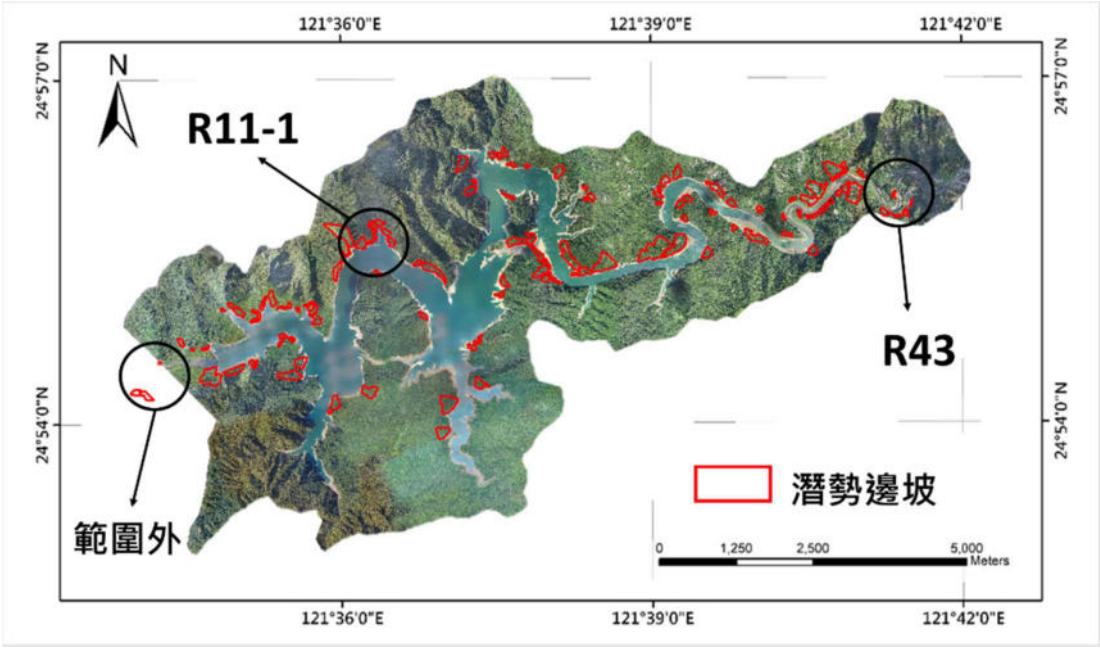


圖 15 兩處潛勢邊坡分布圖

表 9 R11-1 及 R43 崩塌地範圍

編號	崩塌範圍
R11-1	
(a) R-11 崩塌範圍	



五、使用小型無人機監測之量化成果與分析

(一)小型無人機與其他拍攝工具之比較

表 10 拍攝工具比較

照片取得方式	成本	影像解析度	機動性	專業需求度
人工	高	中	高	中
衛星	中	低	低	低
多旋翼無人機	中	高	高	中
固定翼無人機	高	高	低	高

多旋翼無人飛行載具機動性高，並且利用 UAV 更可以加強災害前的調查及風險評估，迅速掌握環境現況，同時也能快速紀錄及拍攝目標地區。多旋翼無人機擁有固定翼沒有的懸停、低速移動和在任意空間內可朝任何方向飛行的特性，這些特性使得旋翼機應用範圍比固定翼廣，可應用在城市街道、建築物內與隧道內等環境使用。同時與固定翼飛機相比，多旋翼無人機的專業需求度較低，也對起飛與降落場域要求相對較低，不需要適當長度的跑道進行起降。另外與衛星影像相比，UAV 相對容易取得，多旋翼無人機利用航照拍攝能夠增加拍攝便利性以及影像品質和解析度的提升，同時也擁有可裝載感測器及相機小型化等優點。

(二)量化成果與分析

1.人工拍攝

表 11 人工拍攝量化表格

項目	所需項目	成本(1 日)	備註
人力	船工	1,267 元/人/日	約 38,000 元/30 日
	崩塌地判釋專業人員	1500 元/人/日	1500 元/人/日
	巡警	1,267 元/人/日	約 38,000 元/30 日
工具	船	1783 元/日	650,900 元/年
	平板電腦含 GIS 軟體	27 元/日	總價 30,000 元，以 3 年財產(1095 日)換算每日攤提成本
	GPS	19 元/日	總價 6800 元，以 1 年財產(365 日)換算每日攤提成本
	高畫質 DV	25 元/日	總價 27,000 元，以 3 年財產(1095 日)換算每日攤提成本
	掌上型遠端測距儀	18 元/日	總價 19,500 元，以 3 年財產(1095 日)換算每日攤提成本
	警備、巡邏車	144 元/日	52665 元/年
耗材	船舶油料費	1,694 元/日	618,330 元/年
	船舶齒輪油及調和機油、舵機油	173 元/日	63,000 元/年
	警備、巡邏車油料費	110 元/日	40199 元/年
總金額(1 日)			8,027 元/日

2.多旋翼無人機拍攝

表 12 多旋翼無人機拍攝量化表格

項目	所需項目	成本(1 日)	備註
人力	飛手	2,000 元/人/日	2,000 元/人/日
	崩塌地判釋專業人員	2,000 元/人/日	2,000 元/人/日
工具	UAV 硬體原始總價	50 元/日	總價 54,000 元，以 3 年財產(1,095 日)換算每日攤提成本
	發電機	7 元/日	總價 11,000 元，以 5 年財產(1,825 日)換算每日攤提成本
	GIS 軟體	14 元/日	約 15,000 元，以 3 年財產(1,095 日)換算每日攤提成本
保險	無人機保險原始總價	82 元/日	總價 30,000 元，以 1 年財產(365 日)換算每日攤提成本
電池	無人機電池	1,980 元/日	6,000 元/顆，以 100 次循環換算每次攤提成本。 4,800 公頃以 3 天拍攝，1,600 ha/日。 一顆電池可飛 150 ha，一日須飛 11 趟，計成本為 1,980 元/日。
總金額(1 日)			6,133 元/日

若翡翠水庫利用人工巡檢之方式，會因當天氣候不如預期、花費時間較長等不可抗因素導致拍攝與巡查時間延期。若將人工拍攝法與多旋翼無人機量化成果進行推算，在大範圍面積相同的情況下，人工調查需要花費約 4 天的時間，總金額花費 32,108 元；若是利用多旋翼無人機進行拍攝的話要花約 3 天的時間，總花費為 18,399 元，因此人工調查與多旋翼無人機拍攝在時間與成本比較下減少 42.70%。以翡翠水庫集水區為目標範圍，面積 4870 公頃，人工調查下每公頃需花費 6.6 元；利用多旋翼無人機每公頃需花費 3.8 元，比較之下每公頃減少 42.42%，適合用於大面積範圍的判釋，可節省金錢、人力及時間成本。

六、 結論與建議

本研究透過使用無人機進行水庫安全巡檢及崩塌地判釋，分別對汛期前及汛期後研究範圍進行拍攝後拼接成正射影像。汛期前拍攝面積共約 50 平方公里，產製成果以翡翠水庫集水區範圍 48.7 平方公里為主，影像合計 7,540 張拼接正射影像。汛期後拍攝面積約 53 平方公里，與第一次拍攝不同，主要原因為此次拍攝重疊部分較多，所產製成果範圍 48.7 公里為主，影像合計 5,919 張，相較第一次拍攝減少 1,621 張。利用地面控制點校正之成果圖與檢核點坐標計算 RMSE 值，即 x 、 y 均方根誤差值。根據第一期及第二期平面精度分析，分別得出第一期 x 、 y 方向 RMSE 值分別為 0.2509m、0.1992m，第二期 x 、 y 方向 RMSE 值分別為 0.2627 m、0.3979 m。

再利用正射影像進行自動化判釋，透過判釋之成果正出疑似的崩塌地及變異狀況。將前後期影像比對後發現有 9 處變異處，其中 1 處為植生茂密變崩塌地，5 處為裸露地變為有植生生長，2 處為植生稀疏便植生裸露，1 處植生茂密變為植生稀疏。然後套疊潛勢邊坡進行分析，發現有 4 處潛勢邊坡有較明顯變化，其中有兩處分別為植生茂密變成裸露地以及裸露地變為植生茂密，須持追蹤是否有崩塌現象。將分析成果提供給相關管理單位參考，可做為未來影像判釋及變異分析之基礎資料。

因無人機的快速發展，使得本研究可運用多旋翼無人機進行拍攝工具，以達到了最高效益，彌補了衛星影像解析度不高之缺點，機動性也相對提升，可選定特定範圍作調查。相比人工目視的方法，節省了金錢、時間及人力成本，後續也可針對更多大範圍進行航拍，方便提供主管機關進行相關土地判釋之作業。未來希望利用無人機航拍製作地表數值表面模型(Digital Surface Model, DSM)，並分析高程精度校正，再進行土方差異量計算，同時更加完善航拍影像之方法以便做後續的調查與監測工作，以及對邊坡監測更具助益。

誌謝

本文感謝翡翠水庫管理局，逢甲大學 GIS 地理資訊中心以及易圖科技股份有限公司，敬此表達謝意。

參考文獻

- 汪磊，2002，《數字近景攝影測量技術的理論研究與實踐》，中國人民解放軍信息工程大學碩士論文。
- 蕭震洋、謝寶珊、冀樹勇，2011，中華水土保持學報，《應用非常規攝影量測評估國道 3 號 3.1 公里崩塌事件之土方量》，第 42 卷，第 2 期，頁 120-130。
- 蘇柏軒、蕭宇伸，2013，《以無人飛機系統(UAS)獲取國立中興大學校區三維地形之精度分析》，國立中興大學水土保持學系碩士論文。
- 許斐涵、葉恩肇、陳柔妃，2014，《航空攝影測量技術於近斷層之地表變形觀測：以台灣東部池上地區為例》，國立臺灣師範大學地球科學碩士論文。
- 趙智凡、潘偉庭、楊明德，2016，航空及遙測學刊，《應用多視立體及運動回復結構之三維場景重構》，第 20 卷，第 2 期，頁 129-137。

- Szeliski, R., 2010, *Computer Vision: Algorithms and Applications*, Springer.
- Douterloigne K., Gautama S. and Philips W., 2010, In Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2010 IEEE International, *On the accuracy of 3D landscapes from UAV image data*, pp. 589-592.
- Faugeras, O. ,1992, In Proceedings of the 2th European Conference on Computer Vision, *What Can Be Seen in the Three Dimensions with an Uncalibrated Stereo Rig?* , pp.563-578.
- Fisher, R., Dawson-Howe, K., Fitzgibbon, A., Robertson, C., Trucco, E., 2005, *Dictionary of Computer Vision and Image Processing*. John Wiley & Sons: Hoboken.
- Lei, C., Wu, F. C. and Hu, Z. Y. ,2001, Acta Automatica Sinica, *Kruppa Equations and Camera Selfcalibration* , 27(5),pp. 621-630.
- Maybank, S., Faugeras, O. ,1992, International Journal of Computer Vision, *A Theory of Self-calibration of a Moving Camera*, 8(2), pp. 123-151.
- Pollefeys, M. ,1999, *Self-calibration and Metric 3D Reconstruction from Uncalibrated Image Sequences*, Thesis (Ph. D), Katholieke University Leuven.
- Westoby, M.J. , Brasington, J.; Glasser, N. F.; Hambrey, M. J.; Reynolds, J. M. ,2010, *'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications*.

運用區塊建物框細緻化技術精進三維建物模型

林信助^{1*}、林士哲¹、湯美華²、陳世儀²、游豐銘³、林昌鑑⁴

論文收件日期：110.05.24

論文修改日期：110.06.07

論文接受日期：110.06.24

摘 要

為發展三維國家底圖，內政部國土測繪中心已於 108 年度產製全國 LOD1 之三維建物模型成果，但其中九成範圍之建物模型成果較粗略且不具分戶特性，不利視覺呈現及後續應用。為拓展後續應用並發展永續更新機制，本研究針對臺灣通用電子地圖之區塊建物框，發展「以地籍資料分戶技術為主、高差分割技術為輔」的高效率建物框細緻化方法，並透過人工檢視編修方式，進一步提升成果之品質及成功率。本研究選擇臺中市 4 個不同建物分布類型的行政區域作為測試區。實測發現，建物密集之城區及城郊混合區，初始分戶成功率可達 70~85 %；而建物分布稀疏之郊區，初始分戶成功率僅有約 40 %。輔以人工檢視編修後，可將郊區之分戶成功率大幅提升至 75 %。後續將擴大試辦範圍並確立作業流程，以低成本高效率方式逐步更新全國 LOD1 三維建物模型成果。

關鍵詞：三維建物模型、地籍資料分戶、區塊建物框細緻化

¹ 技士，內政部國土測繪中心 測繪資訊課。

² 專員，內政部國土測繪中心 測繪資訊課。

³ 技正，內政部國土測繪中心 測繪資訊課。

⁴ 課長，內政部國土測繪中心 測繪資訊課。

* 通訊作者，TEL : (04) 22522966 分機 310，E-mail: 23215@mail.nlsc.gov.tw。

Research on Dividing Aggregate 3D Building Model into Individual Ones

Hsin-Chu Lin^{1*}, Shih-Che Lin¹, Mei-Hua Tang², Shih-I Chen²,
Feng-Ming You³, Cheng-Jian Lin⁴

Abstract

In order to upgrade Taiwan National Base Map from 2D to 3D, nationwide LOD1 3D building model is completed by the National Land Surveying and Mapping Center in 2019. However, nearly 90% 3D building models are aggregate block models of adjacent buildings, which means the models may not meet the expectation in terms of visual impact and application. For the enhancing of the application potential and the development of the sustainable update mechanism, the high efficiency dividing method against the aggregate building block of Taiwan e-Map is developed through this project. Based on cadastral data classification technology and supplemented by height difference segmentation technology, the aggregate building blocks are divided through automated method first, and are processed through manual editing for further improvement.

This project choice 4 Townships as test area and empirically evaluates the success rate and data quality. In suburban and urban mixed areas, success rate of blocks refinement with cadastral maps is about 70%~80%. In suburban area, success rate is about 40% initial and upgrade 75% by introducing manual editing. The project using empirical research has confirmed the flow of data processing to be workable and a cost-reduction way.

Keywords: 3D building Model, ,Block of adjacent buildings, Refinement, Taiwan National Base Map.

¹ Associate Technical Specialist, Survey Information Section, National Land Surveying and Mapping Center, Ministry of the Interior.

² Executive Officer, Survey Information Section, National Land Surveying and Mapping Center, Ministry of the Interior.

³ Specialist, Survey Information Section, National Land Surveying and Mapping Center, Ministry of the Interior.

⁴ Section Head, Survey Information Section, National Land Surveying and Mapping Center, Ministry of the Interior.

* Corresponding Author, Tel: +886-4-22522966 ext. 310, E-mail: 23215@mail.nlsc.gov.tw

一、前言

在全球在智慧城市發展的浪潮下，對於地理空間的應用層面已逐漸成為施政決策的依據，資料的需求也逐漸由二維轉向三維，建物模型等三維圖資建置技術、圖資展示、資料標準亦日趨成熟。聯合國之國際非政府組織-國際測量師聯合會(FIG)，自 2002 年啟動三維地籍法規、登記、資料庫及視覺呈現之研究；而美國、新加坡、德國等先進國家更已如火如荼的展開三維城市建物圖資的建置工作。臺灣亦以國際標準 OGC CityGML (City Geography Markup Language) 為基礎，依據國家發展委員會推動 3D GIS 政策，推動全國三維建物模型建置工作。

內政部國土測繪中心為達成 108 年完成二維國家底圖升級之目標，優先以三維建物為三維圖資建置之標的，利用既有二維圖資、數值高程模型 (Digital Elevation Model, DEM) 及數值地表模型 (Digital Surface Model, DSM)，快速產製全國三維建物模型。在資料建置的整體作業經費、時效、精細程度、成果展示的視覺效果及應用分析等因素的考量下，採取「先全面建置，後精進細緻」的執行策略，搭配「成果整合」及「模型產製」之資源整合模式推動，先全面建置符合 OGC 城市地理標記語言 (City Geography Markup Language, CityGML) 規範之 LOD1 積木模型 (Block Model)，再透過精進細緻化作業，逐步提升三維建物模型的可用性。

二、研究動機及目的

全國三維建物模型主要是利用 DEM、DSM 及既有二維建物框資料，透過程式自動化處理方式，萃取建物高度並產製 LOD1 三維建物模型。內政部國土測繪中心 108 年產製全國 LOD1 三維建物模型時，考量成果時效性，優先採用 104 年以後更新之二維建物框資料，包含臺灣通用電子地圖區塊建物框、臺灣通用電子地圖加值分戶建物框及一千分之一地形圖建物框等 3 類，其中臺灣通用電子地圖加值分戶建物框為以航照立體測圖方式，參考一千分之一地形圖之圖形繪製原則，對臺灣通用電子地圖加值處理成果。其中，使用臺灣通用電子地圖區塊建物框之三維建物模型成果約占全國 9 成之面積範圍 (如圖 1)。

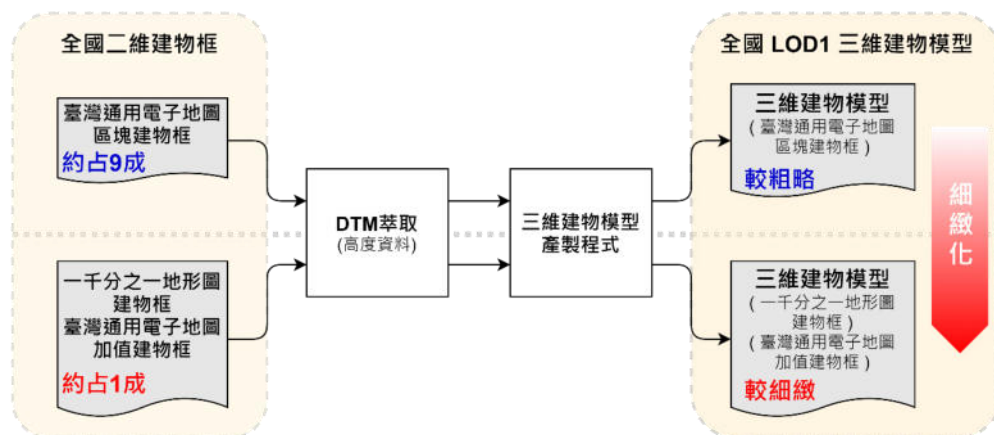


圖 1 現行三維建物模型建置流程

目前全國三維建物模型成果中，約有 440 萬餘個三維近似化建物模型(LOD 1)屬於自動化快速建置成果，其可能因採用的二維建物框不同而有明顯差異。臺灣通用電子地圖區塊建物框（以下簡稱區塊建物框）係以立體測圖方式繪製，針對長或寬超過 5 公尺之「單棟建物」即予繪製其外圍輪廓；另針對「建物密集區」，則採用中小比例尺地形圖常用的建物聚落縮編方式，將一群相鄰的建物外圍輪廓，約化描繪成一個建物區塊，並不繪製建物間之分戶線（如圖 2(a)(b)）。反觀，臺灣通用電子地圖增值分戶建物框及一千分之一地形圖建物框，則會將建物依材質（混凝土造、磚造、金屬結構、木造……）、樓層數、分戶線之差異細分為不同多邊形，詳細呈現出各棟建物之輪廓（如圖 2(c)）。

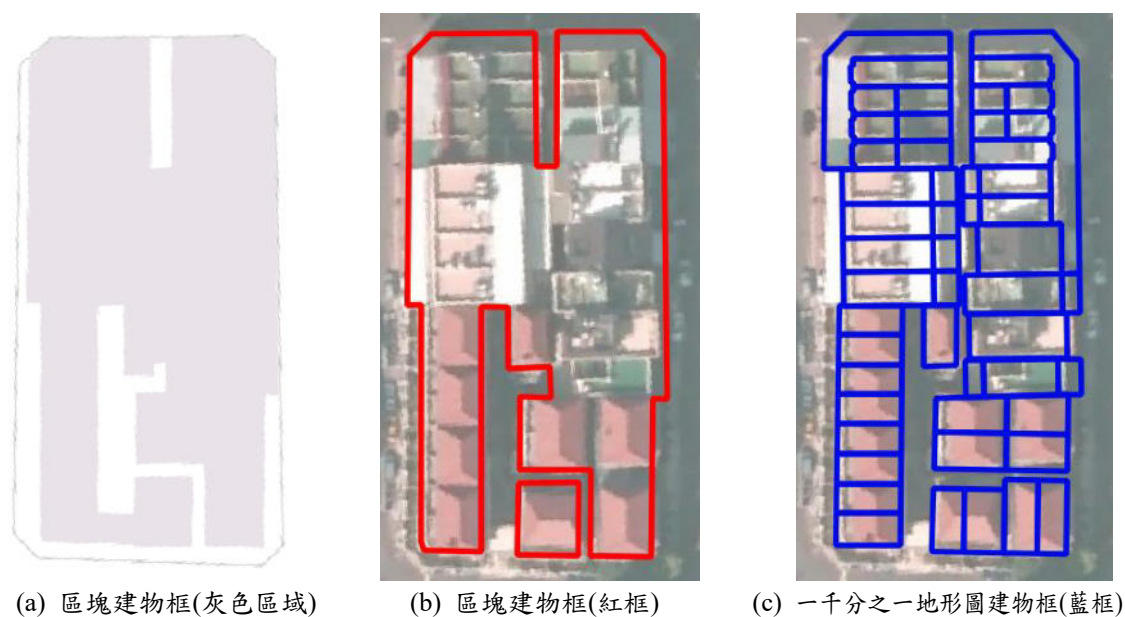


圖 2 不同二維建物框之差異

現階段全國三維建物模型受限於二維建物框來源、成果時效性及自動化作業等因素，大部分範圍僅能利用臺灣通用電子地圖區塊建物框產製較粗略之區塊式三維建物模型（如圖 3(a)），只有少部分範圍能採用 104 年以後更新之一千分之一地形圖建物框或臺灣通用電子地圖增值分戶建物框產製較細緻的三維建物模型（如圖 3(b)）。

此外，後續三維建物模型更新維護，仍將利用「臺灣通用電子地圖」、「一千分之一地形圖」及 DSM 最新成果，藉由新舊建物框比對分析，獲取須更新標的建物框，產製三維近似化建物模型。但因全臺一千分之一地形圖由各地方政府自行辦理更新，更新頻率不固定且範圍僅占全國面積 13.2%，而臺灣通用電子地圖擁有全國範圍之二維區塊建物成果，並以 2 年 1 輪的頻率定期更新。有鑑於此，後續三維建物模型更新維護及精進工作，仍需仰賴臺灣通用電子地圖區塊建物框為主要二維建物框資料，若想進一步強化全國三維建物模型成果可用性，尋求快速細緻化數量龐大的區塊式三維建物模型之方法將是關鍵因素。

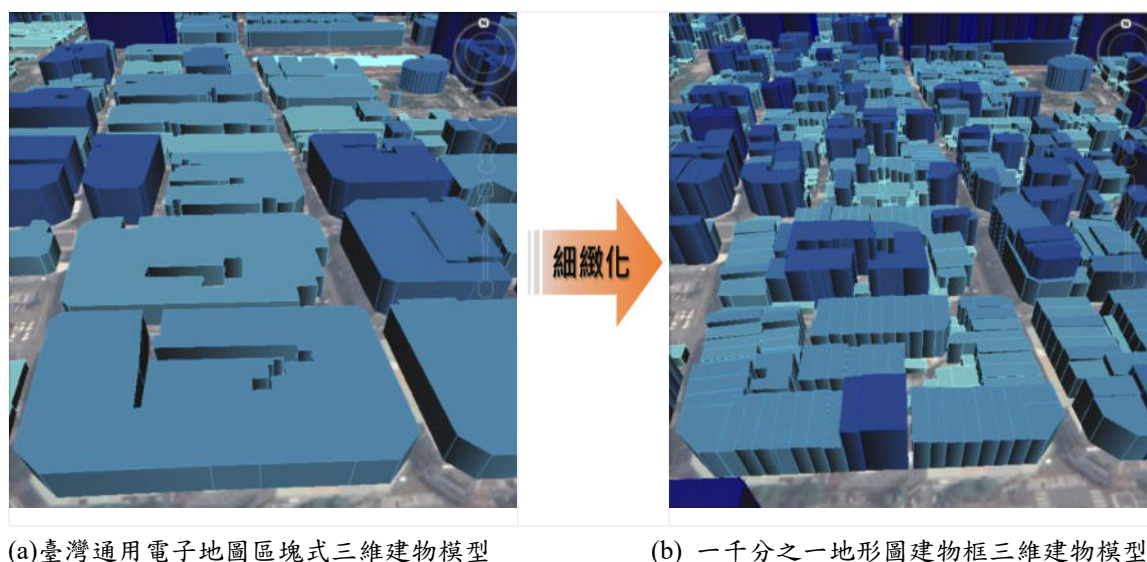


圖 3 三維建物模型細緻化之策略目標

本研究主要應用地籍圖資料、建號資料、門牌資料、臺灣通用電子地圖及 DSM 等現有圖資，透過自動化機制將臺灣通用電子地圖區塊建物框進行地籍資料分戶及高差分割之細緻化作業，並輔以人工檢視編修提高區塊建物細緻化成果品質，再針對地籍資料分戶及高差分割之融合建物框產製三維建物模型（LOD 1），提升全國三維建物模型成果品質，以拓展三維 GIS 後續應用。

三、研究內容及作業流程

在構思如何運用現有圖資，快速達成臺灣通用電子地圖區塊建物框自動化分戶作業的過程中，本研究首先想到「地籍圖」。地籍圖詳細記錄著各宗土地之權屬範圍，其以界址點構成的「經界線」描繪出宗地的邊界，其中已隱含許多用以區分權屬範圍的分戶線資訊（如圖 4，圖中桃紅色線段即為地籍經界線）。



圖 4 地籍圖隱含分戶線資訊

以土地重劃或區段徵收方式進行地籍整理後之區域，由於已將舊有雜亂的地籍經界線抹銷後重新規劃使用，因此各宗土地的形狀方正、街廓清晰，地籍圖中的分戶線資訊自然容易判識（如圖 4 左圖）；然而，臺灣大多數的區域因發展較早，導致現況中夾雜著許多不規則形狀的宗地與建物、及不明確的街廓，在歷經多年變遷後，這些區域的地籍圖往往夾雜著許多雜亂的地籍經界線（如圖 4 右圖），如何在這些

雜亂經界線中，抽絲剝繭分析出所需的分戶線，便是本研究的首要課題。

(一) 區塊建物框依地籍資料分戶

「區塊建物框依地籍資料分戶作業」為本研究重要的核心工作，以下針對區塊建物依地籍資料分戶之概念原理、作業原則與自動化作業流程進行簡單說明。

1.地籍圖對位作業

不同時期測製的地籍圖，因製圖比例尺、坐標系統各異，因此如何將全國約 1 萬 5 千餘段之地籍圖整合至相同坐標系統，是應用全國地籍圖資料的第一道關卡。

內政部國土測繪中心先前為產製全國地籍圖圖磚資料，業於民國 102 年開發地籍圖對位程式，研究透過合理有效的坐標轉換方式，將全國地籍圖統一轉換至 TWD97 坐標系統。主要係將地籍圖資料以「地段（或圖幅）」為基本單元，利用對位程式提供之平移、旋轉、多對點等操作方式，並套疊正射影像、臺灣通用電子地圖等參考圖資，或利用一些共同控制點或現況測得之可靠點，選擇適當的轉換模式後，計算兩個坐標系統間之坐標轉換參數，並將各地段之坐標轉換參數統一記錄於資料庫（內政部國土測繪中心，2013）。

雖曾協請全國各地政事務所利用地籍圖對位程式，針對其轄內地籍圖全部重新進行對位檢視，並於 109 年度初步完成全國地籍圖對位作業，但為確保後續分戶作業成果品質，於區塊建物分戶作業前仍應先「逐地段人工檢視」地籍圖對位成果，如發現有對位不佳情形時（如圖 5(b)），可利用地籍圖對位程式之平移、旋轉、多對點等方式重新調整地籍圖位置，並將修正後之坐標轉換參數更新至資料庫，可藉此同步提升地籍圖對位成果及分戶成果之品質。

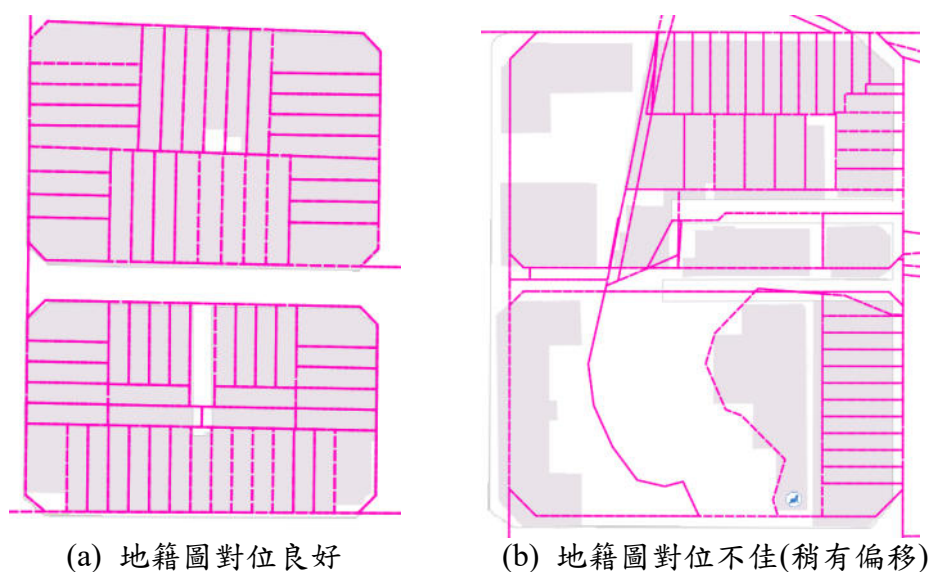


圖 5 地籍圖對位情形（灰色為建物範圍、桃紅色為地籍線）

2.地籍圖宗地合併及其他冗餘線段排除原則

考量同 1 棟建物可能涵蓋多筆土地，圖 6(a)中每個藍色多邊形表示 1 棟建物範圍（圖中共有 3 棟），每棟建物皆涵蓋 2 筆以上土地。分戶作業過程可將這些同 1 棟建物範圍內的相鄰宗地進行合併，以刪除此類冗餘地籍線。由地籍資料（包含土地及建物標示部、基地坐落／地上建物等欄位），篩選出每筆宗地的建號列表（如圖 6(b)），並逐筆分析相鄰宗地，如遇建號相同（具同 1 個或同 1 組建號）或建號組成相似（建號列表超過 30%相同）之宗地，則進行宗地合併動作，合併範例詳見表 1。

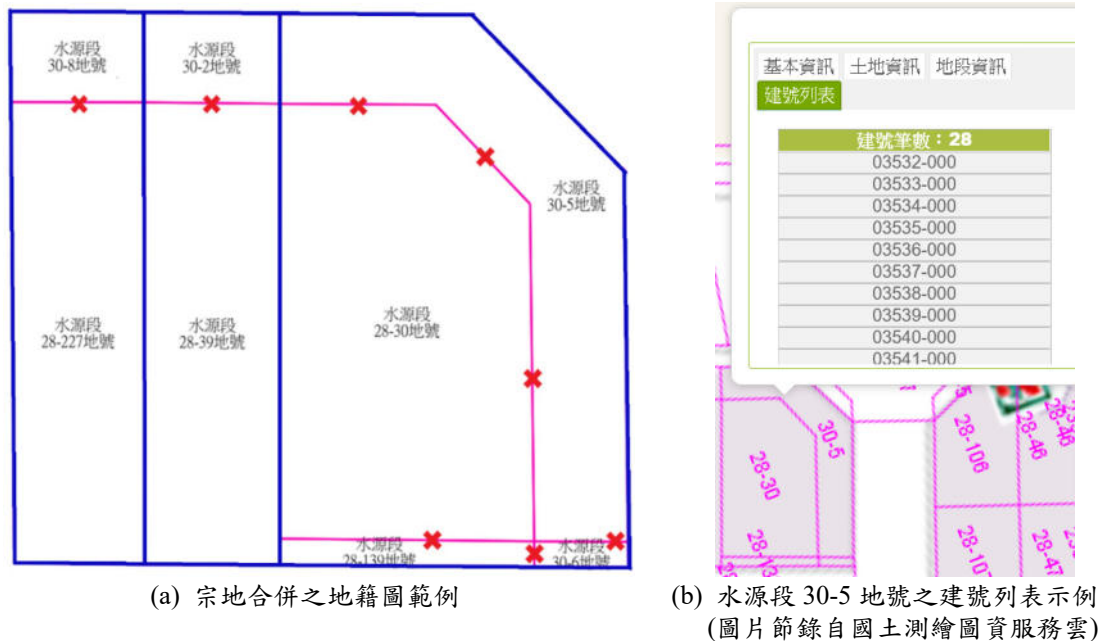


圖 6 同棟建物之相鄰建築基地應合併

原本土地（即地籍圖宗地）與建物建號之關聯性存在一對一、一對多、多對一、多對多等各種複雜態樣；經地籍圖宗地合併處理後，可排除「多對一」及多數「多對多」之情形，可利用國土測繪圖資服務雲提供之地籍 API 服務，藉由鍵值串聯（地號、建號或門牌號）或空間套疊分析之方式，有效提升本案地籍資料分戶之建物資料成果與其他領域資料串連應用之可行性。

表 1 相鄰建築基地合併情形及原則

項次	段名	地號	建號列表	合併理由
1	水源段	30-8	3046。	建號相同
	水源段	28-227	3046。	
2	水源段	30-2	3047。	建號相同
	水源段	28-39	3047。	
3	水源段	30-5	3532～3558、3842 等28筆。	建號組成相似
	水源段	28-30	3532～3558、3842 等28筆。	
	水源段	30-6	3532、3534、3535、3536、3539、3541、3542、3545、3547、3550、3553、3556 等12筆。	
	水源段	28-139	3532、3534、3535、3536、3539、3541、3542、3545、3547、3550、3553、3556 等12筆。	

另為順利由地籍圖經界線中篩選出有用之分戶線，本研究由地籍圖各式態樣中，歸納出幾種冗餘地籍線之排除原則：如未達最小面寬（預設值為 2 公尺）、線段折點數過多（預設值為 6 個以上之折點）、地籍線與建物框交集面積小於建物基本面積（預設值為 16 平方公尺）、地籍線與建物框交集範圍為三角形、地籍線與建物框距離小於 1 公尺……。

3.地籍線與區塊建物邊緣之容錯處理

作業過程中，將針對區塊建物邊緣合理範圍內的誤差進行容錯處理（預設之容錯誤差值為 2.2 公尺）。圖 7 表示分戶作業之前的狀態，其中紅色框為已登記建物之土地多邊形，藍色框部分為建物多邊形，明顯可見於建物邊界之左側及上方位置，建物與土地多邊形間存在些許誤差。作業過程中，透過程式針對分戶線進行必要的刪除及延伸處理，例如：將區塊建物範圍外之分戶線刪除、將區塊建物範圍內且於容錯誤差範圍內「平行」區塊建物邊界線之分戶線刪除、將區塊建物範圍內且於容錯誤差範圍內「垂直」區塊建物邊界線之分戶線延伸至建物邊界線。

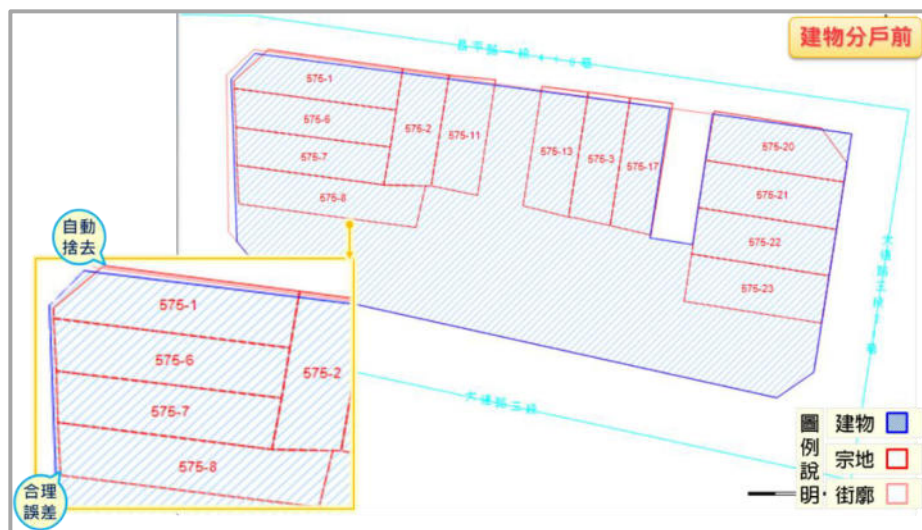


圖 7 地籍線與建物邊緣存在些許誤差

4.區塊建物框依地籍資料自動分戶作業流程

本研究利用土地及建物標示部資訊、門牌位置、地籍圖等資料進行區塊建物框地籍分戶，分戶作業分成五大步驟（如圖 11），分別為：(1)資料預處理（包含街廓、地籍及門牌資料處理）、(2)篩選宗地、(3)篩選建物框、(4)建物分戶、(5)輸出分戶成果。考量後續作業需逐步擴展至全國範圍，因此得指定以行政區或縣市為產製範圍，產製局部區塊建物框分戶成果。詳細自動化作業流程如圖 8。

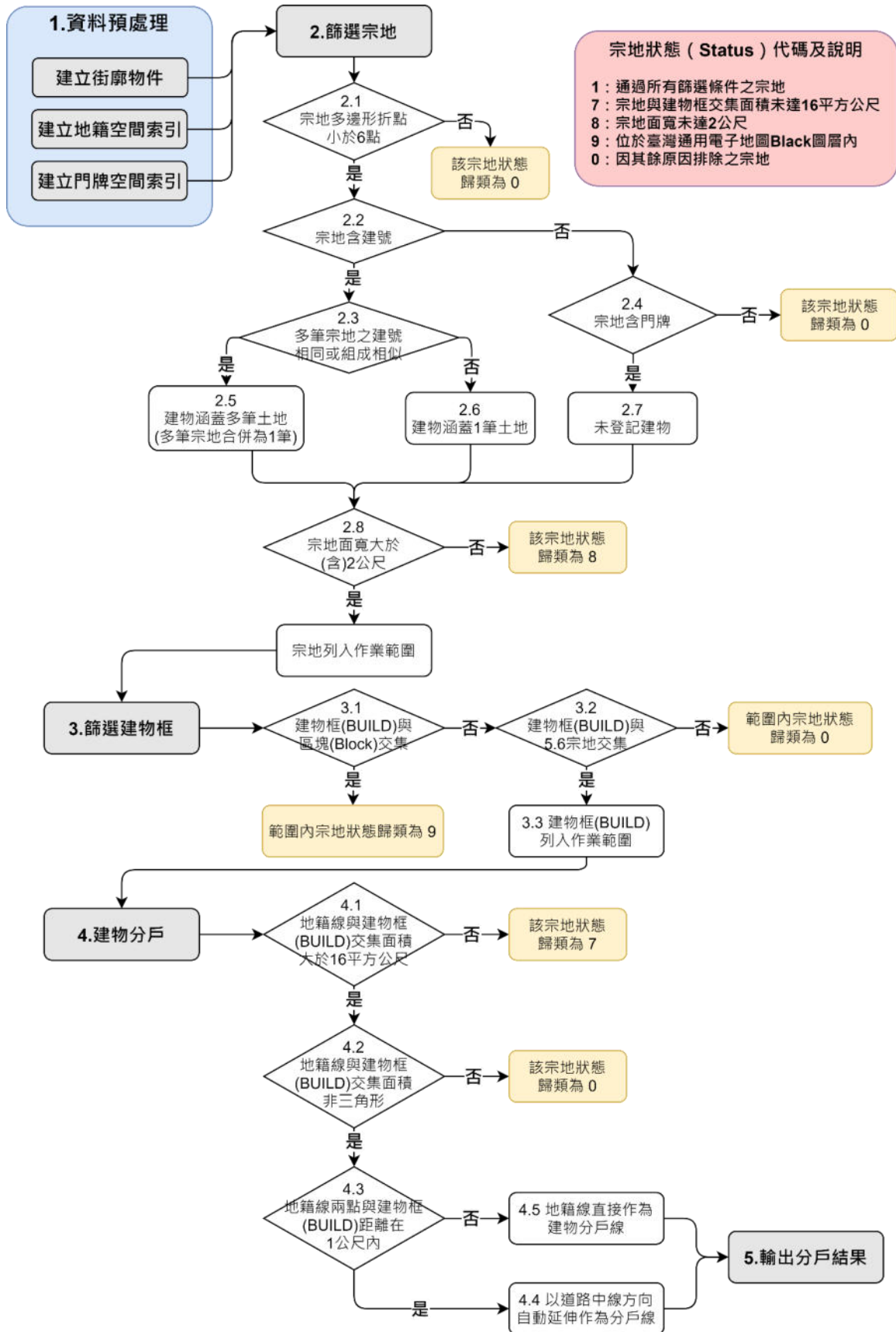


圖 8 區塊建物依地籍資料自動分戶作業流程

承上述流程，運用建物關係分析結果（土地與建物交集資訊），再依據本研究歸納的幾種建物分戶原則，將篩選宗地與篩選建物框成果結合，即可取得符合條件的地籍線作為建物分戶線，完成建物分戶作業。簡單作業流程示例如圖 9。

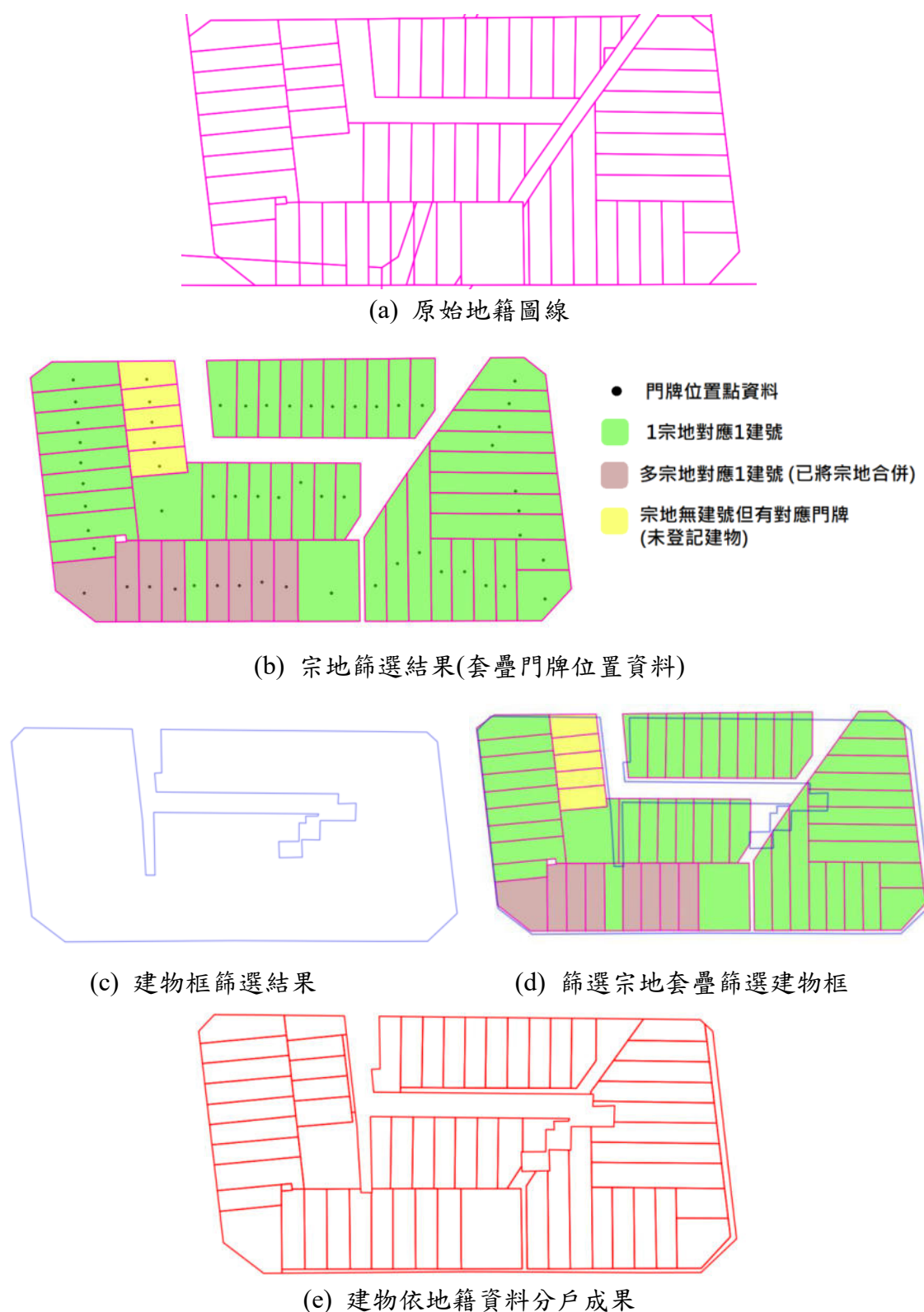


圖 9 區塊建物依地籍資料分戶作業示例

(二) 地籍分戶建物框人工檢視編修作業

區塊建物框以上開流程及原則自動生成分戶線，但可能由於：(1) 地籍圖對位偏差、(2) 輔助圖資之測繪精度及原則不一、(3) 地籍資料本身存在問題等因素，導致分戶線成果出現部分瑕疵。可利用 QGIS 軟體搭配套疊正射影像及門牌位置等輔助資料，針對地籍資料分戶建物框成果逐一進行檢視與編修。透過前開人工介入檢視並修正分戶線成果，可提升分戶成果之品質。

本研究歸納整理出需人工編修之分戶線態樣，分別為：分戶線需延伸、需刪除、需新增（或調整）等類（如圖 10~12）。其中以建物密集區以「需延伸」及「需刪除」的狀況最普遍，而郊區範圍之建物，則多為「需新增（或調整）」之情形。

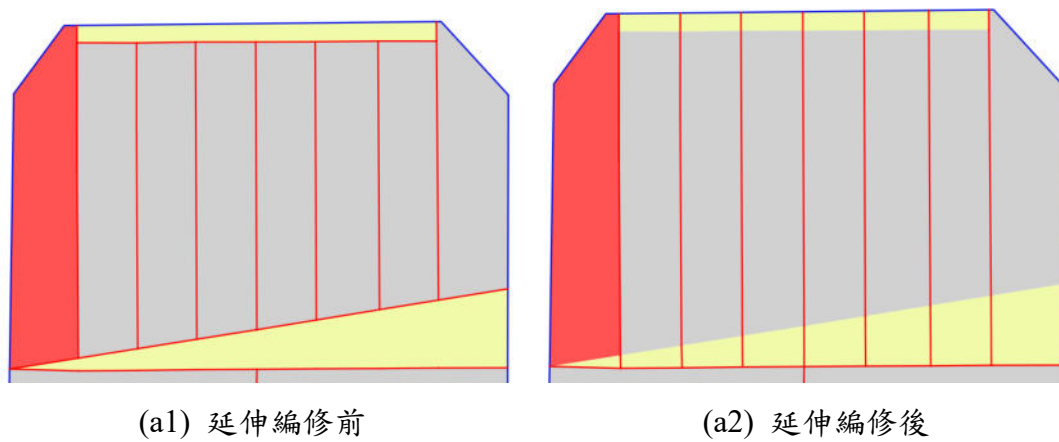


圖 10 分戶線需人工編修之「延伸」示例

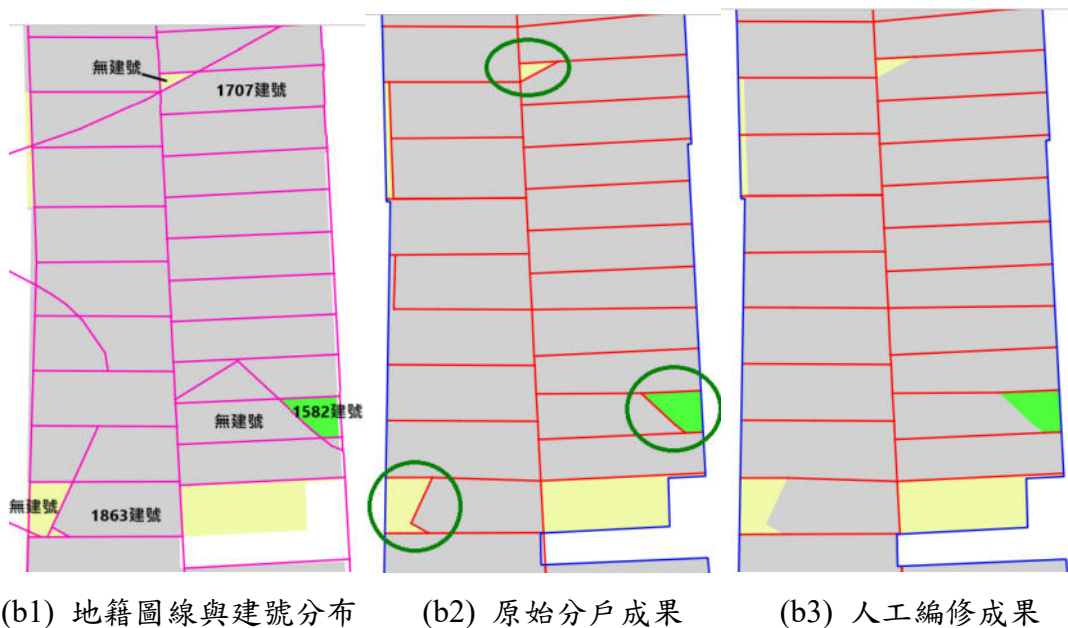


圖 11 分戶線需人工編修之「刪除」示例



(a)建物紋理可明顯區隔分戶線



(b)傳統雙拼式透天建物



(c)連棟式透天建物



(d)傳統平房聚落

圖 12 分戶線需人工編修之「新增（或調整）」示例（左：編修前、右：編修後）

(三) 區塊建物依高差分割

然而現實世界中，一棟建物並非只有一種高度，如一般建物普遍存在的屋頂突出物（即頂樓梯間，如圖 13(a)）。本研究期望進一步透過分析 DSM 資料內的高度差異（如圖 13(b)），將區塊建物框細分，以提升區塊建物模型的「幾何」細緻程度。本項技術經本研究初步證實可行，惟其成果之準確度及可靠性仍有精進空間，有賴後續研究予以改善及優化。

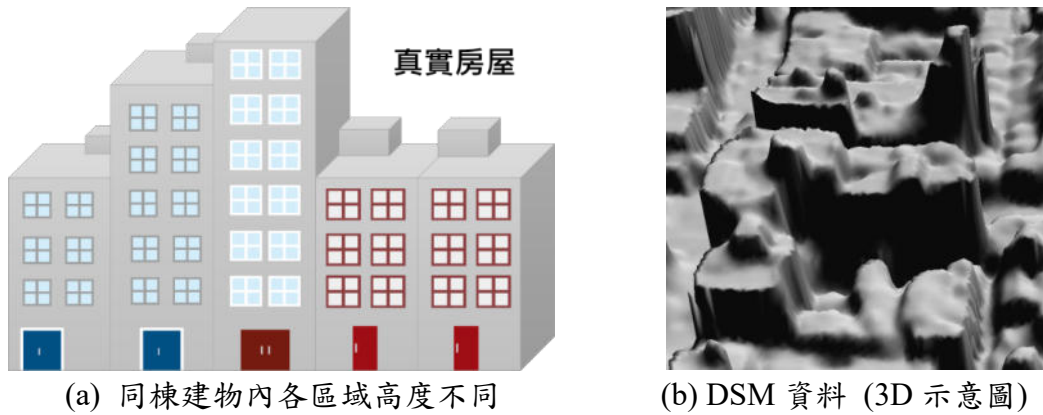


圖 13 區塊建物框依 DSM 高差分割概念

本項區塊建物依高差分割作業可分為以下 2 步驟：

1. 高度資料萃取作業

依據區塊建物框範圍為基準，萃取相應範圍內之 DSM 資料，作為後續高差分割程式運算使用。為提升區塊建物高差分割之成功率及準確度，本研究使用 1 公尺網格間距之 DSM 資料進行測試。此外，為避免因作業方法、資料精度不同所致之套疊偏差影響高差分割成果品質，因此在建物框與 DSM 資料套疊時加入自動微調程序。

2. 建物框高差分割作業

依據建物框高差分割處理程序，利用前項萃取之 DSM 資料進行分析運算，將區塊建物依 DSM 高度差異切割，並產製臺灣通用電子地圖高差分割建物框成果。

由於目前使用的 DSM 資料中仍存在破洞、邊緣鋸齒、高度不平滑（如圖 14）等問題，因此不易直接從 DSM 資料進行輪廓線追蹤（Contour tracing）工作，經分析 DSM 資料特性後，選擇採用「分治策略（Divide-and-Conquer）」進行區塊建物高差分割作業，先將依 DSM 邊緣輪廓逐一細分，最後再將高度相似的區域合併（內政部國土測繪中心，2020）。

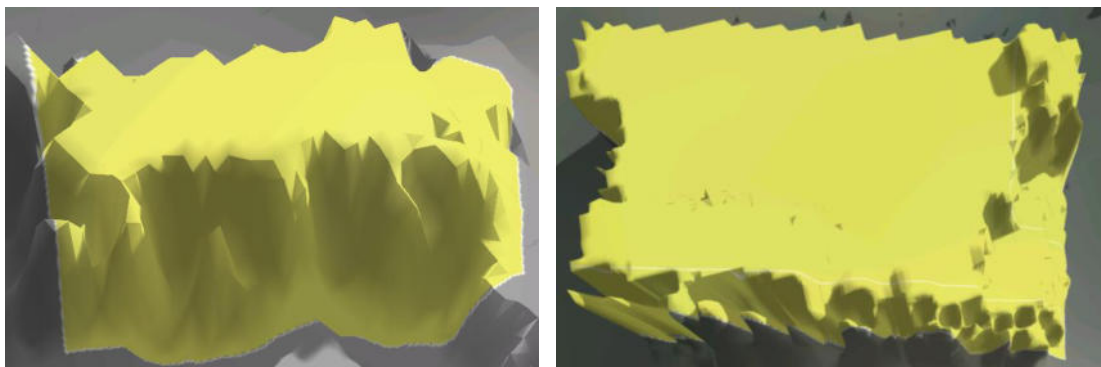


圖14 DSM 資料之斷面線不平滑、邊緣鋸齒情形

(四) 分戶及分割成果融合

本研究透過「區塊建物依地籍資料分戶」技術可自動化排除冗餘之地籍線段(如圖 15(a)中桃紅色不規則之地籍線),獲得大部分區分不同棟建物範圍之「分戶線」(如圖 15(b));另一方面,利用「區塊建物依高度差異分割」技術自動化產出部分區分同棟建物不同高度建物範圍之「高差分割線」(如圖 15(c)(d))。後續再以「地籍資料分戶成果為主、DSM 高差分割成果為輔」的原則融合 2 種成果。

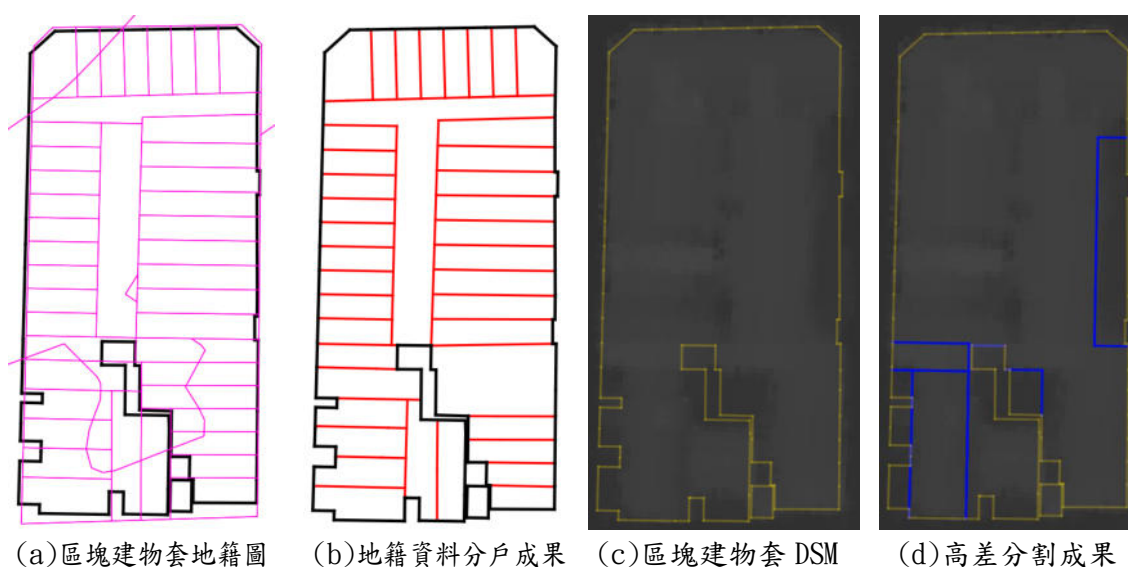


圖 15 地籍資料分戶成果、高差分割成果示意

利用 QGIS 等工具套疊 2 種成果圖資(地籍資料分戶成果、高差分割成果),先將 DSM 高差分割成果依序排除下列 3 種狀況:(1)臺灣通用電子地圖(emap)建物框線、(2)與地籍資料分戶線「距離相近」之高差分割線、(3)與地籍資料分戶線「夾角不合理」之高差分割線;最後,則以地籍資料分戶成果為基礎,再利用篩選後剩餘的高差分割線進行再分割,即可快速融合 2 種區塊建物細分成果(如圖 16)。

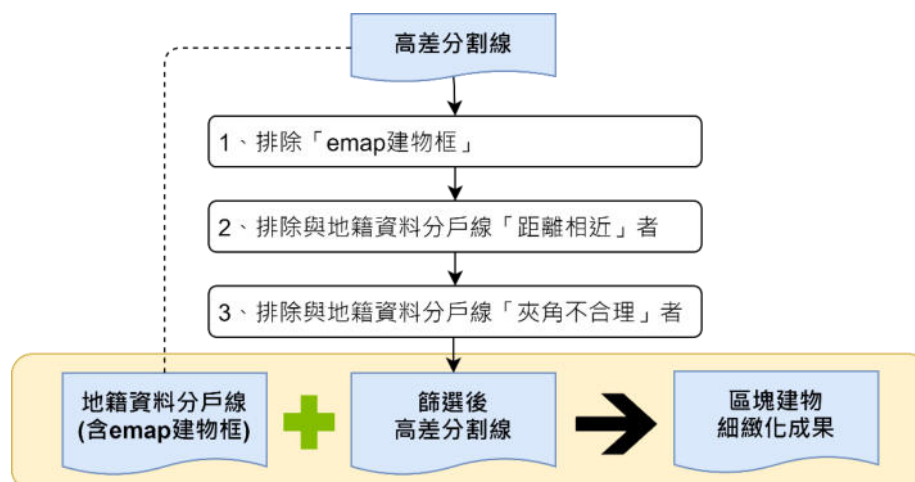


圖 16 建物框融合編修作業流程

(五) 產製區塊建物分戶及分割融合成果之細緻化建物模型

延續內政部國土測繪中心 108、109 年度三維近似化建物模型產製及更新作業中採用之流程及方法（內政部國土測繪中心, 2019、2020），將二維建物框搭配 DTM 資料計算取得建物樓高後，直接產製三維灰階建物模型。

1. DTM 資料萃取樓高資訊

利用 DEM 及 DSM 資料進行樓高資訊萃取，針對建物框範圍內之 DSM 與 DEM 差值進行運算，並取一「代表值」作為該建物框之樓高資訊。首先，將建物框內所有網格點（排除邊緣區域）之高度值進行統計分析，先依建物框內最高之高度值為基準，以 3.3 公尺為級距進行分層（例如：建物框內最高之高度值為 33 公尺，則按 3.3 公尺為級距，分為 10 層），並統計各層高度範圍內的點數，找出數量最多之層（即眾數層，如圖 17），最後計算眾數層內之高度平均值作為代表樓高。

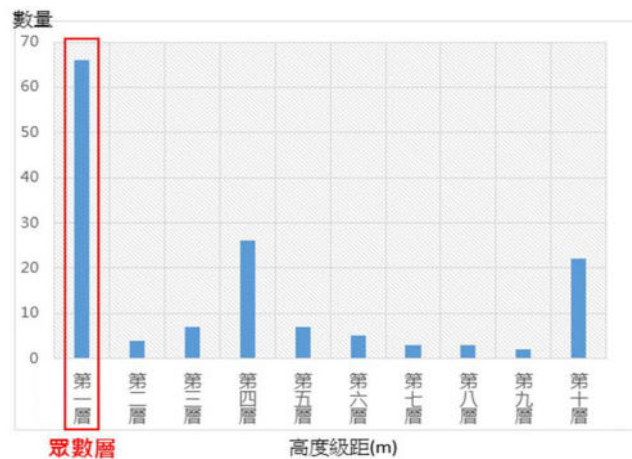


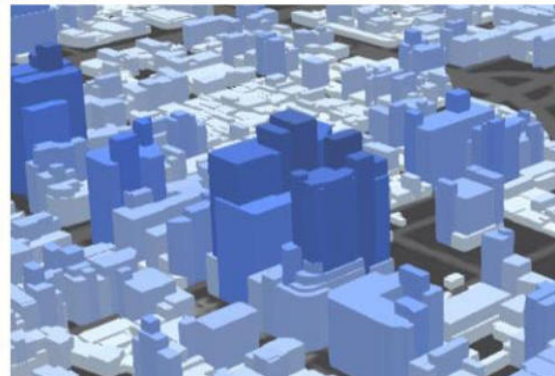
圖 17、樓高眾數層統計示意圖

2. 三維灰階建物模型產製

利用二維建物框搭配前述計算之建物樓層高度，可直接產製三維灰階建物模型（檔案為 KMZ/KML 格式），並依建物樓高賦予不同顏色，強化視覺效果（如圖 18）。

群組	樓層級距	HTML 顏色代碼	色表
1	1	E2F5FA	
2	2	BCD3FD	
3	3-4	A2C0FE	
4	5-6	81A6FE	
5	7-8	6290FF	
6	9-11	547EEC	
7	12-15	5074CC	
8	16-20	4C68B2	
9	21-40	486099	
10	>40	455682	

(a) 各樓層級距之色碼表



(b) 三維灰階建物模型展示範例

圖 18 依建物樓高賦予顏色以增加視覺化效果

(六) 小結

本研究主要應用地籍圖資料、土地及建物標示部資料、門牌資料、臺灣通用電子地圖及 DSM 等現有圖資，透過自動化機制將臺灣通用電子地圖區塊建物框進行地籍資料分戶及 DSM 高差分割之建物框細緻化作業，並輔以人工檢視編修提高區塊建物細緻化成果品質，最後利用分戶及分割融合後之建物框產製三維建物模型（LOD 1），提升全國三維建物模型成果品質。本研究提出之完整作業流程如圖 19。

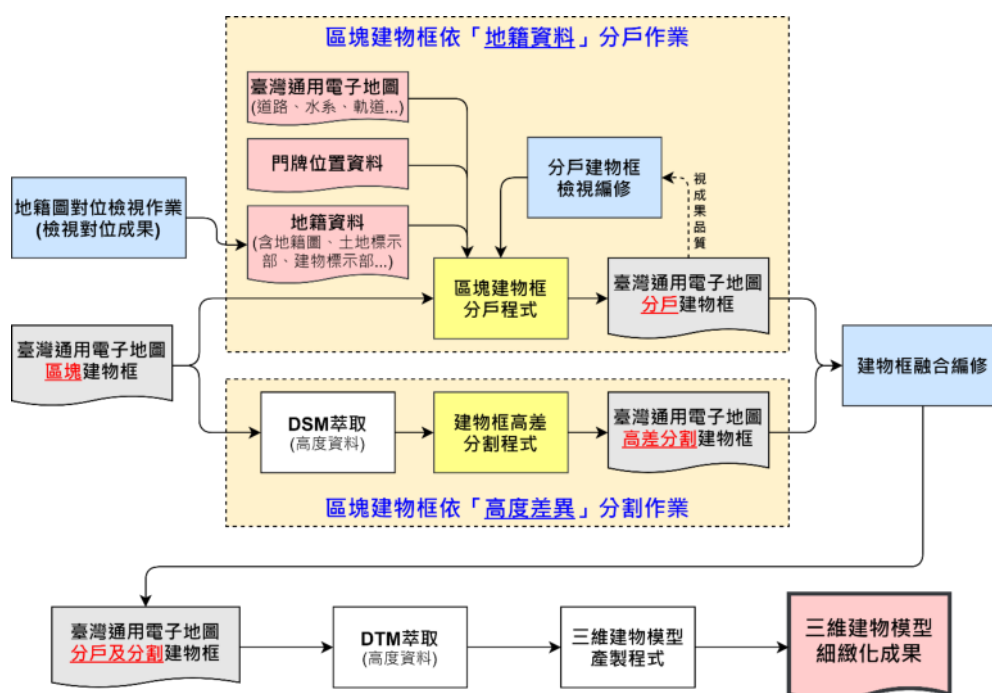


圖 19 區塊建物三維建物模型細緻化之作業流程

四、成果及分析

(一) 測試區域

本研究選擇臺中市北區、西屯區、大安區、烏日區等 4 個行政區域作為測試區域，其位置分布圖如圖 20。



圖 20 測試區域分布圖

本研究係依不同建物分布態樣（如圖 21）選定測試區域，其中：北區屬於建物高度密集的「城區」，大安區則屬於建物分布較稀疏分散的「郊區」；另有 1 類為「城郊混合區」，兼具城區及郊區特性，其中西屯區為城區比例較高，烏日區為郊區比例較高。各測試區域之概況資料彙整如表 2。

表 2 測試區域概況表

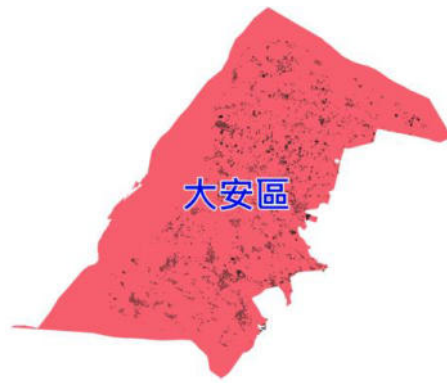
測試區名稱	行政區代碼	面積 ^{*註1}	登記土地總數 ^{*註2}	區域類型	後續測試結果比較之目標建物框圖資
臺中市 北區	B05	約 759公頃	43,461筆	城區	臺中市一千分之一地形圖建物圖層(108年更新局部成果)
臺中市 西屯區	B06	約3,995公頃	65,294筆	城郊混合區(偏城區)	臺中市一千分之一地形圖建物圖層(108年更新局部成果)
臺中市 大安區	B22	約3,553公頃	24,178筆	郊區	臺灣通用電子地圖區塊建物框加值分戶成果(105年測製)
臺中市 烏日區	B23	約4,162公頃	52,423筆	城郊混合區(偏郊區)	臺灣通用電子地圖區塊建物框加值分戶成果(104年測製)

註1：以 QGIS 軟體計算「鄉鎮市區界線(TWD97經緯度)」檔案中行政區之圖形面積。（鄉鎮市區界線資料來源：政府資料開放平臺）。

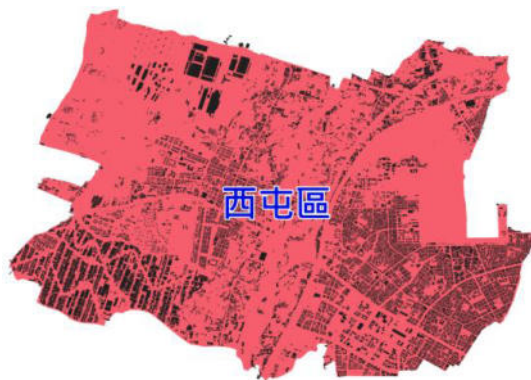
註2：108年底統計數量（資料來源：臺中市政府地政局108年地政統計年報）。



(a) 城區（建物密集）



(b) 郊區（建物稀疏分散）



(c) 城郊混合區（部分區域建物密集、部分區域建物稀疏）



圖 21 測試區域建物密度分布情形（圖中黑色區域為建物範圍）

(二) 成果分析

1. 成果評估方式

本研究設計之成果品質評估方式，係透過 QGIS 將地籍資料分戶建物框成果與目標建物框套疊分析後（如圖 22），計算出「地籍資料分戶成功率」之品質量化評估指標。亦即分析計算每個地籍資料分戶建物框多邊形內所對應（包含）的「目標建物框數量」（即一千分之一地形圖建物框或臺灣通用電子地圖加值分戶建物框之數量），再歸納出數個對應類型，並計算分戶成功態樣之成果數量，供後續評估分戶成功率使用。

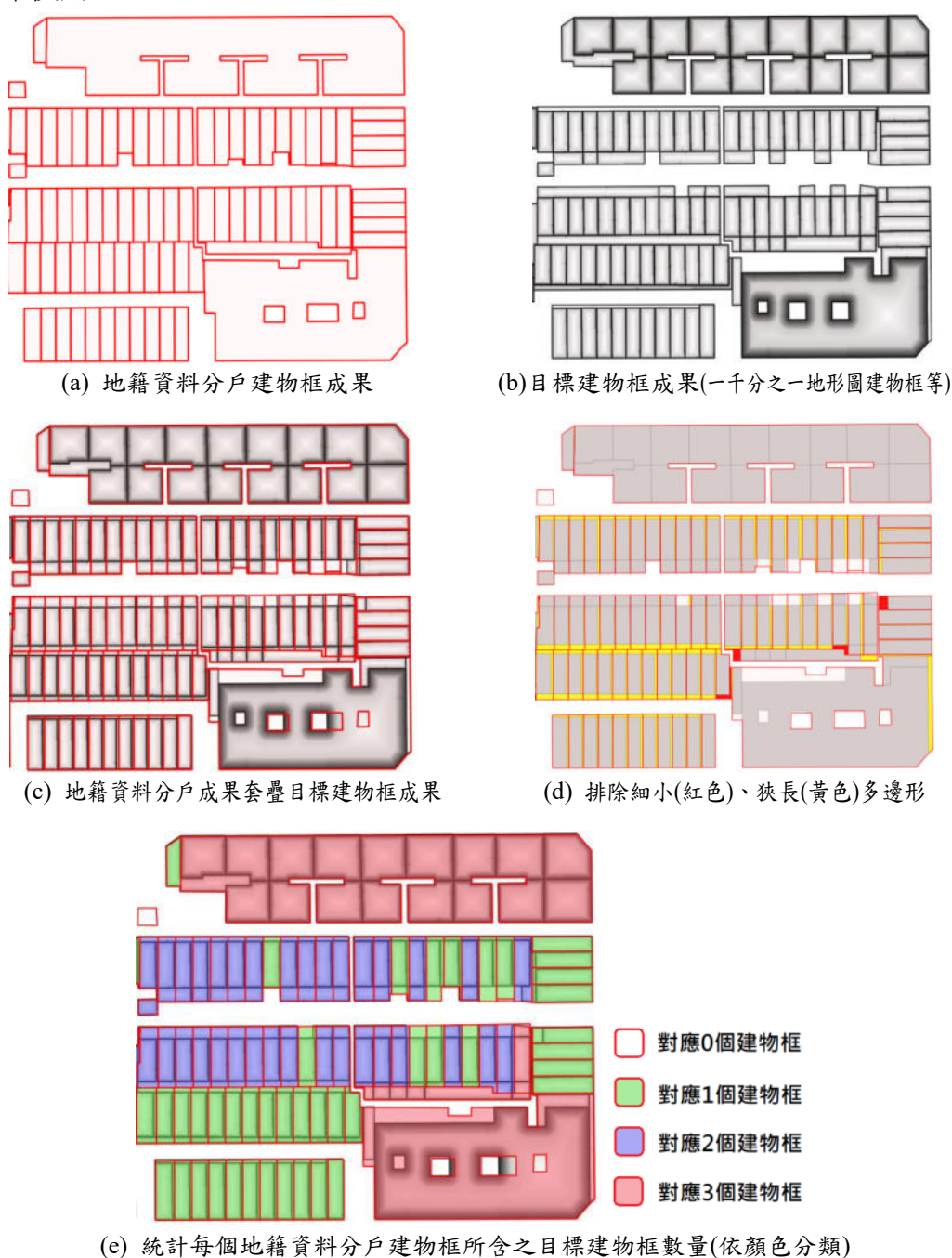


圖 22 地籍資料分戶建物框成果與目標建物框之套疊分析

可按圖 23 的分類流程，進一步將各種對應情形進行細分，共可歸納出 9 種態樣種類（計有 A1、A2、A3、B1、B2、C1、C2、D1、D2 等 9 類），其中 A1、A2、B1、C1、D1 等 5 類成果將視為地籍資料分戶建物框之「成功態樣」。

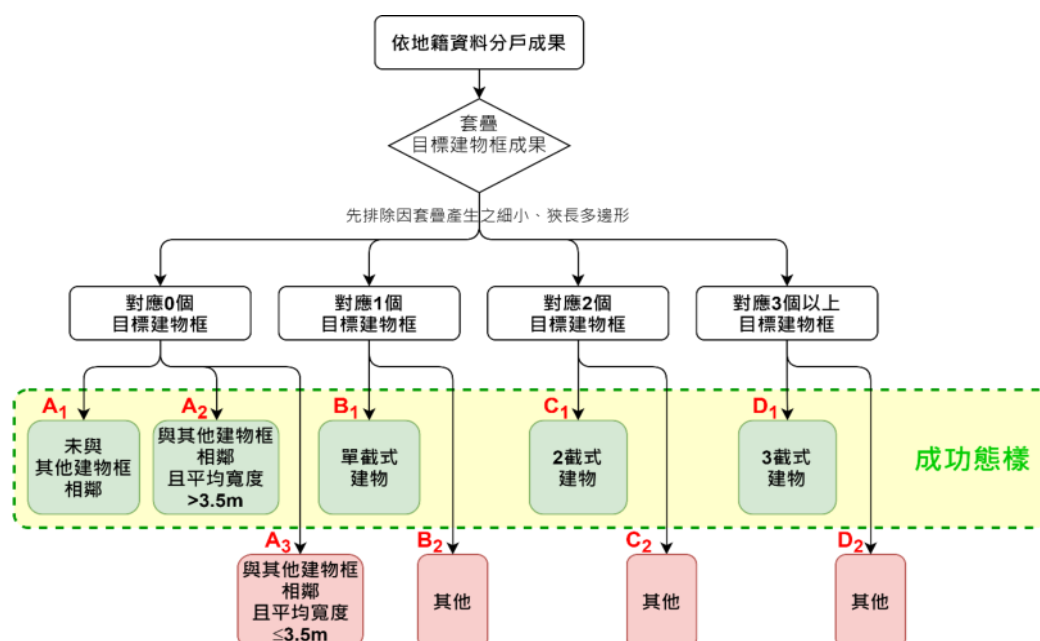


圖 23 地籍資料分戶建物框成果分析流程圖

本研究所提出的地籍資料分戶建物框成果品質評估指標為「分戶成功率」，其計算方式如下：先統計地籍資料分戶建物框成果中 9 種態樣的數量，接著計算「分戶成功態樣」成果之總數量與目標建物框總數量之比例，該比例即為分戶成功率。因此，若分戶成功態樣之數量越多，則代表分戶成功率越高。

2. 地籍資料分戶建物框初始成果

本研究依不同建物分布態樣選定 4 個區域進行區塊建物框「自動化」地籍資料分戶作業，分別為：臺中市北區（屬於建物高度密集的「城區」）、臺中市大安區（屬於建物分布較稀疏分散的「郊區」）、臺中市西屯區（屬於城區比例較高的「城郊混合區」）、臺中市烏日區（屬於郊區比例較高的「城郊混合區」）。

綜觀而言，4 個測試區的地籍資料分戶建物框初始成果「分戶成功率」分布之差異較大（如表 3、表 4），其中城區之分戶成功率接近 9 成，郊區之分戶成功率僅 4 成，城郊混合區之分戶成功率約 7 成多，介於城區及郊區之間。

由此可見地籍資料分戶作業模式於郊區範圍之成效相對較低，其原因歸納為三：
(1) 郊區共有土地（地籍未細分）數量較多，地籍資料分戶無法介入。(2) 郊區未登記建物（無建號）數量較多（如三合院、舊式平房、鐵皮工廠、倉庫……），以致地籍線搭配門牌判斷未登記建物的機制較易誤判（會出現多餘分戶線）。(3) 建築基地常多筆土地混同使用，而建物使用範圍卻未與地籍線一致。

表 3 地籍資料分戶建物框初始成果對應目標建物框分類態樣統計表

	地籍資料 分戶建物框 總數	對應 0 個建物框			對應 1 個建物框		對應 2 個建物框		對應 3 個以上建物框	
		A1	A2	A3	B1	B2	C1	C2	D1	D2
		未與 其他建物框 相鄰	與其他建物框 相鄰 且 平均寬度>3.5m	與其他建物框 相鄰 且 平均寬度≤3.5m	單截式建物	其他	2截式建物	其他	3截式建物	其他
北區 (城區)	24720	209 0.8%	135 0.5%	1738 7.0%	12151 49.2%	1138 4.6%	5105 20.7%	1666 6.7%	883 3.6%	1695 6.9%
西屯區 (城郊混合)	40749	2183 5.4%	457 1.1%	2558 6.3%	16160 39.7%	2142 5.3%	7919 19.4%	3615 8.9%	1669 4.1%	4046 9.9%
烏日區 (城郊混合)	23969	1279 5.3%	354 1.5%	1207 5.0%	12865 53.7%	1396 5.8%	2609 10.9%	2202 9.2%	268 1.1%	1789 7.5%
大安區 (郊區)	7965	725 9.1%	17 0.2%	221 2.8%	2263 28.4%	2007 25.2%	507 6.4%	1125 14.1%	83 1.0%	1017 12.8%

表 4 地籍資料分戶建物框初始成果「分戶成功率」分析比較表

	目標建物框 Polygon總數 (P1)	其中面積小於 25平方公尺 之Polygon數量 (P2)	修正後目標建物框總數 (P1-P2)+(A1+A2)	分戶成功建物框 加權計算數量 (A1+A2+B1+C1*2+D1*3)	分戶成功率 (A1+A2+B1+C1*2+D1*3) /(P1-P2)+(A1+A2)
北區 (城區)	33416	4756	29004	25354	87.42%
西屯區 (城郊混合)	61461	11788	52313	39645	75.78%
烏日區 (城郊混合)	29506	2616	28523	20520	71.94%
大安區 (郊區)	10960	1354	10348	4268	41.24%

本研究透過人工介入檢視編修地籍資料分戶建物框成果，期望能有效提升「郊區範圍」的分戶成功率。

3. 輔以人工檢視編修成果

本研究另挑選臺中市北區（城區）及大安區（郊區）進行地籍資料分戶建物框成果人工檢視編修的測試作業，藉由人工介入進行全面檢視及編修作業，可將「自動化」地籍資料分戶建物框初始成果中瑕疵、未進行的分戶線進行修正或新增，以提升地籍資料分戶成果之品質。

表 5 地籍資料分戶建物框成果「編修前後」對應目標建物框分類態樣統計表

地籍資料分戶 成果分析		地籍資料 分戶建物框 總數	對應 0 個建物框			對應 1 個建物框		對應 2 個建物框		對應 3 個以上建物框	
			A1	A2	A3	B1	B2	C1	C2	D1	D2
			未與 其他建物框 相鄰	與其他建物框 相鄰 且 平均寬度>3.5m	與其他建物框 相鄰 且 平均寬度≤3.5m	單截式建物	其他	2截式建物	其他	3截式建物	其他
北區 (城區)	初始成果	24720	209	135	1738	12151	1138	5105	1666	883	1695
			0.8%	0.5%	7.0%	49.2%	4.6%	20.7%	6.7%	3.6%	6.9%
	編修成果	24235	206	217	1181	12330	992	5187	1619	885	1618
			0.9%	0.9%	4.9%	50.9%	4.1%	21.4%	6.7%	3.7%	6.7%
大安區 (郊區)	初始成果	7965	725	17	221	2263	2007	507	1125	83	1017
			9.6%	0.2%	2.9%	29.9%	26.5%	6.7%	14.8%	1.1%	13.4%
	編修成果	9154	760	73	81	5262	450	676	1152	116	584
			9.6%	0.9%	1.0%	66.2%	5.7%	8.5%	14.5%	1.5%	7.3%

表 6 地籍資料分戶建物框成果「編修前後」分戶成功率分析比較表

地籍資料分戶成果 分戶成功率		目標建物框 Polygon總數 (P1)	其中面積小於 25平方公尺 之Polygon數量 (P2)	修正後目標建物框總數 (P1-P2)+(A1+A2)	分戶成功建物框 加權計算數量 (A1+A2+B1+C1*2+D1*3)	分戶成功率 (A1+A2+B1+C1*2+D1*3) /(P1-P2)+(A1+A2)
北區 (城區)	初始成果	33416	4756	29004	25354	87.42%
	編修成果	33416	4756	29083	25782	88.65%
大安區 (郊區)	初始成果	10960	1354	10348	4268	41.24%
	編修成果	10960	1354	10439	7795	74.67%

由表 5 及表 6 所示，地籍資料分戶建物框成果「編修前後」分戶成功率的差異比較，證實經過人工介入編修後，確實可將郊區（臺中市大安區）之分戶成功率大幅提升約 30%（由 41.24 %提升至 74.67 %），而城區範圍因初始成果之成功率已較高，因此成功率提升效果較有限。

4. 分戶及分割融合成果

延續前面地籍資料分戶建物框成果人工編修作業，同樣選定臺中市北區（城區）及臺中市大安區（郊區）作為區塊建物框分戶及分割融合編修作業的測試區域。由表 7 及表 8 所示，無論城區、郊區，地籍資料分戶建物框成果加入高差分割作業成果後，皆能提升分戶成功率約 4~9 %。

表 7 「分戶及分割融合成果」對應目標建物框分類態樣統計表

分戶及分割融合 成果分析		地籍資料 分戶建物框 總數	對應 0 個建物框			對應 1 個建物框		對應 2 個建物框		對應 3 個以上建物框	
			A1	A2	A3	B1	B2	C1	C2	D1	D2
			未與 其他建物框 相鄰	與其他建物框 相鄰且 平均寬度>3.5m	與其他建物框 相鄰且 平均寬度≤3.5m	單截式建物	其他	2截式建物	其他	3截式建物	其他
北區 (城區)	初始成果	24720	209 0.8%	135 0.5%	1738 7.0%	12151 49.2%	1138 4.6%	5105 20.7%	1666 6.7%	883 3.6%	1695 6.9%
	編修成果	24235	206 0.9%	217 0.9%	1181 4.9%	12330 50.9%	992 4.1%	5187 21.4%	1619 6.7%	885 3.7%	1618 6.7%
	融合成果	30571	198 0.6%	713 2.3%	2641 8.6%	16123 52.7%	2885 9.4%	4220 13.8%	1640 5.4%	586 1.9%	1565 5.1%
大安區 (郊區)	初始成果	7965	725 9.6%	17 0.2%	221 2.9%	2263 29.9%	2007 26.5%	507 6.7%	1125 14.8%	83 1.1%	1017 13.4%
	編修成果	9154	760 9.6%	73 0.9%	81 1.0%	5262 66.2%	450 5.7%	676 8.5%	1152 14.5%	116 1.5%	584 7.3%
	融合成果	11629	756 3.1%	138 0.6%	499 2.0%	6307 25.5%	1491 6.0%	640 2.6%	1189 4.8%	88 0.4%	521 2.1%

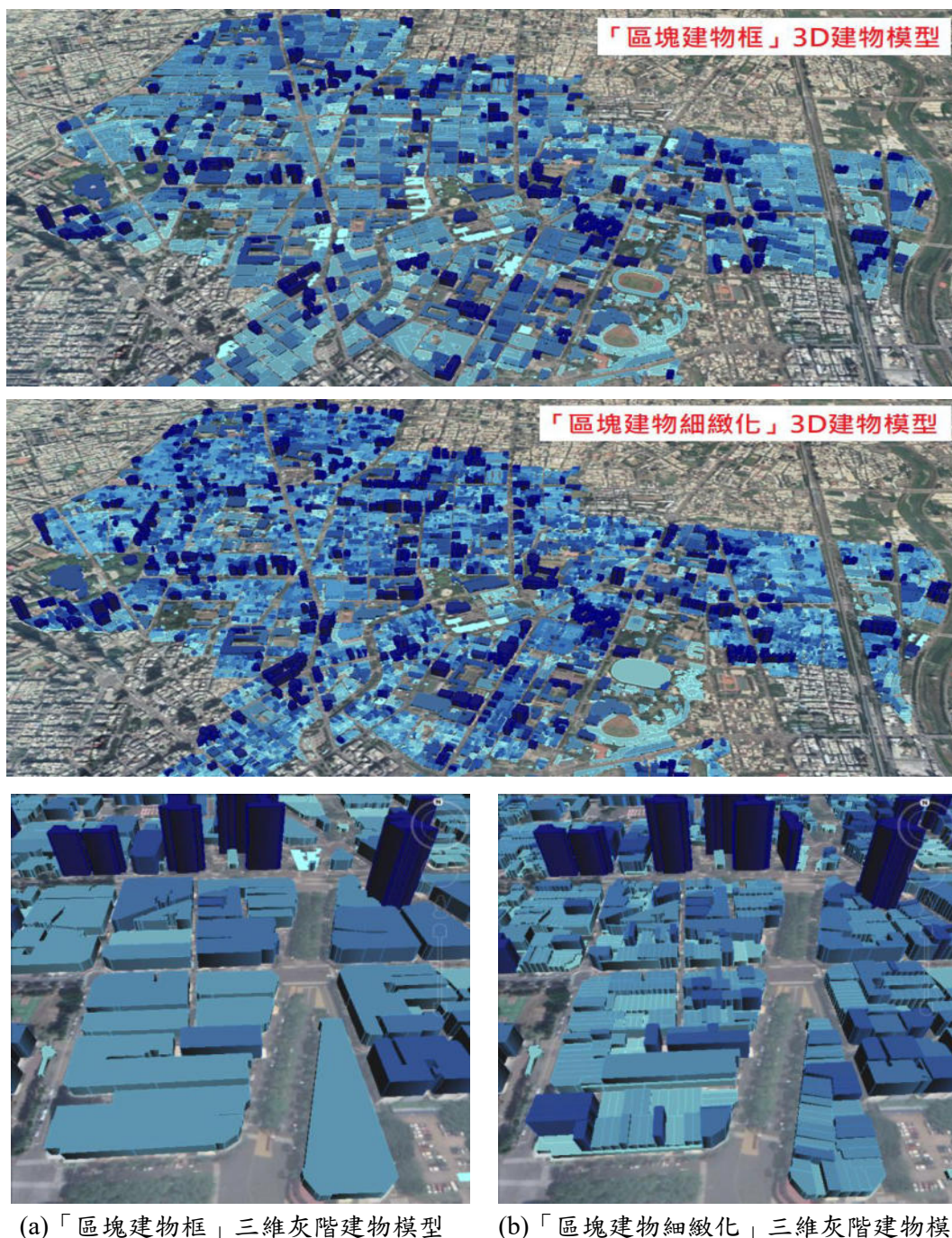
表 8 「分戶及分割融合成果」分戶成功率分析比較表

分戶及分割融合成果 分戶成功率		目標建物框 Polygon總數 (P1)	其中面積小於 25平方公尺 之Polygon數量 (P2)	修正後目標建物框總數 (P1-P2)+(A1+A2)	分戶成功建物框 加權計算數量 (A1+A2+B1+C1*2+D1*3)	分戶成功率 (A1+A2+B1+C1*2+D1*3) /(P1-P2)+(A1+A2)
北區 (城區)	初始成果	33416	4756	29004	25354	87.42%
	編修成果	33416	4756	29083	25782	88.65%
	融合成果	33416	4756	29571	27232	92.09%
大安區 (郊區)	初始成果	10960	1354	10348	4268	41.24%
	編修成果	10960	1354	10439	7795	74.67%
	融合成果	10960	1354	10500	8745	83.29%

(三) 三維建物模型細緻化成果

利用前述區塊建物地籍分戶作業成果（搭配人工編修檢視），再透過 DTM 資料萃取樓高資訊後，即可產製得到區塊建物細緻化之三維灰階建物模型。

圖 24 分別將區塊建物框（即現況成果）、區塊建物細緻化成果（即精進後之地籍分戶含人工編修成果）所產製之三維灰階建物模型並列，透過視覺上的直觀比較，不難發現透過本研究所提方法精進後，區塊建物框三維建物模型的細緻度已明顯優化。



(a) 「區塊建物框」三維灰階建物模型

(b) 「區塊建物細緻化」三維灰階建物模型

圖 24 區塊建物細緻化三維灰階建物模型成果比較（臺中市北區）

(四) 成本分析

臺灣通用電子地圖區塊建物框、臺灣通用電子地圖加值分戶建物框及一千分之一地形圖建物框，雖然都是以航照影像立體製圖方式產製，但在建物範圍的繪製方式有所差異。就分戶成果較佳之建物框圖資而言，臺灣通用電子地圖加值分戶建物框係運用航照影像立體製圖方法進行區塊建物框測製分戶，所需成本約 1,670 元/每公頃土地；而一千分之一地形圖建物框測製成本約 6,500 元/每公頃土地，其中建物框分戶製作成本約 2,500 元/每公頃土地（內政部國土測繪中心，106 年度提升服務品質執行績效報告—測繪臺灣 用心深耕 打造國家電子地圖，2017）。

本研究以臺中市北區及大安區進行完整流程之實際測試，其中地籍圖對位檢視作業之人力成本分別約需 2、4 人/天；地籍資料分戶建物框成果人工檢視編修作業之人力成本分別約需 10、14 人/天；作業過程中所有資料處理工作之人力成本約各需 2 人/天。若以每人每天新臺幣 3,000 元之薪資基準換算人力成本，可計算出的地籍資料分戶作業平均作業單價約為 36 元/每公頃土地（如表 9）。與傳統的一千分之一地形圖測製作業及臺灣通用電子地圖加值分戶作業相比，雖然分戶成果完整度不及上開 2 圖資，但作業成本約為上開 2 圖資成本的 1 成不到。

表 9 區塊建物框依地籍資料分戶作業之人力成本分析表

作業項目	臺中市 北區	臺中市 大安區	備註
	所需人力（人/天）		
1、地籍圖對位檢視	2	4	本項可由國土測繪中心派員檢視
2、地籍資料分戶建物框成果人工檢視編修	10	14	
3、資料處理(綜合)	2	2	
合計	14	20	
人力成本（元）	42,000	60,000	以 1 人/天：3,000 元估算
土地總面積	759 公頃	3553 公頃	
作業平均單價（元／每公頃土地）	55	17	平均為 36（元／每公頃土地）
建物總面積	349 公頃	162 公頃	
作業平均單價（元／每公頃建物）	120	370	平均為 245（元／每公頃建物）

另由於本研究人工檢視編修著重之標的為「建物」，若以單位面積土地估算成本，將因建物分布密度不均而導致成本估算較不合理。故另以單位面積建物之方式重新分析成本，作為後續建置成本估算之參考，依本研究測試區測試數據計算出之地籍資料分戶作業平均作業單價約為 245 元/每公頃建物（如表 9）。透過本研究運用地籍圖、門牌、正射影像及 DTM 等圖資以自動化輔以人工編修方式所獲得之區塊建物框分戶及分割成果，精度雖無法與傳統測繪方式進行建物框細緻化之作業成果相比擬，其成果之後續應用範圍或許亦有限，但已可普遍達到全國三維建物模型（LOD 1）產製之精度需求，可以低成本、有效率方式將全國區塊式三維建物模型的精進及優化。

五、結論

- (一) 自動化地籍資料分戶建物框成果成功率：城區高、郊區較低。本研究發現，利用地籍圖等輔助資料進行自動化分戶作業之成果，經與 2 種目標建物框（一千分之一地形圖建物成果及臺灣通用電子地圖加值分戶之建物成果）比較，在城區及城郊混合區範圍，因建築基地較小且密集，建物邊界常與地籍線一致，其分戶成功率可達 70 %至 87 %；反觀郊區範圍，因建築基地較大、家族共有土地未依建物實際使用範圍分割等因素，以致建物邊界常與地籍線不一致，因此郊區之分戶成功率較差，僅約 40 %。
- (二) 人工介入編修作業，可有效提升郊區範圍地籍資料分戶成功率。經實際驗證，結合正射影像、門牌位置等輔助資料，透過人工檢視編修方式，可有效提升郊區範圍之地籍資料分戶作業成果之品質及成功率，以臺中市大安區為例，經人工檢視編修作業後，地籍資料分戶成功率可由 41.24 %大幅提升至 74.67 %。
- (三) 結合 DSM 資料高度差異分割技術，可進一步提升地籍資料分戶建物框成果之分戶成功率。經實際驗證，將地籍資料分戶建物框成果（經人工編修）加入高差分割作業成果後，可將分戶成功率再向上提升約 4 %至 9 %，整體分戶成功率可達 80 %以上。
- (四) 本研究提出之建物細緻化方式具成本低、效率高的特性。經實際驗證，本研究所提出的臺灣通用電子地圖區塊建物框細緻化作業流程，雖然分戶成果完整度不及航測方式進行之大範圍建物框細緻化作業，但此自動化輔以人工編修作業方法之作業成本僅需航測方式的 1 成不到，兼具低成本及作業效率高的優點。
- (五) 藉由地籍圖對位成果檢視作業，可同步提升「地籍圖對位成果」及「地籍資料分戶成果」之品質。本研究發現，藉由地籍資料分戶作業前的地籍圖對位成果檢視作業，除了可有效提升地籍資料分戶成果之品質及正確性、大幅減少後續人工檢視編修之作業時間外，同時能提升地籍圖對位成果之品質，強化地籍圖資於 GIS 領域之可用性。
- (六) 經實際驗證，本研究提出之建物細緻化方式可行，可將全國區塊式三維建物模型全面優化升級。經實際驗證，本研究提出的臺灣通用電子地圖區塊建物框細緻化作業流程，可透過運用地籍圖資（含建號資料）、臺灣通用電子地圖及門牌等資料，以自動化地籍資料分戶作業方法，可精進臺灣通用電子地圖區塊建物框的細緻程度，並結合人工檢視編修地籍資料分戶建物框成果，提升細緻化成果之品質及成功率，可明顯提升區塊式三維建物模型成果之細緻度及後續可用性。未來可藉由擴大試辦範圍，以確立實際作業流程，並逐步更新以現有臺灣通用電子地圖區塊建物框產製的區塊式三維建物模型成果。

參考文獻

- 內政部國土測繪中心，2013。102 年度國土測繪圖資網路地圖服務系統擴充案工作總報告。
- 內政部國土測繪中心，2016。內政部國土測繪中心自行研究報告—臺灣通用電子地圖更新技術精進之研究。
- 內政部國土測繪中心，2017。106 年度提升服務品質執行績效報告—測繪臺灣 用心深耕 打造國家電子地圖。
- 內政部國土測繪中心，2019。108 年度三維近似化建物模型建置工作採購案工作總報告。
- 內政部國土測繪中心，2019。108 年度測繪資料智慧雲端增值服務擴充案工作總報告。
- 內政部國土測繪中心，2019。全國無接縫 GIS 地籍圖（第 15 屆金圖獎參獎文件）。
- 內政部國土測繪中心，2020。109 年度三維近似化建物模型更新案工作總報告。
- 臺中市政府地政局，2020。臺中市政府地政局 108 年地政統計年報。
- 許志彰、游豐銘、林昌鑑，2019。全國 GIS 地籍圖產製及應用，《第 38 屆測量及空間資訊研討會》。
- 劉正倫、林昌鑑、湯美華，2019 年 12 月。三維國家底圖與雲端服務平臺發展現況與展望，《政府機關資訊通報》，第 362 期，第 1~8 頁。
- 劉正倫、蔡季欣、林昌鑑、湯美華，2019 年 06 月。三維國家底圖建置，《國土及公共治理季刊》，第 84~89 頁。
- Berlin 3D, <https://www.businesslocationcenter.de/berlin3d-downloadportal/#/export> .
- NYC 3-D Building Model, <https://www1.nyc.gov/site/doitt/initiatives/3d-building.page> .
- Virtual Singapore, <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore> .
- Filip Biljecki、Hugo Ledoux、Jantien Stoter, 2016, An improved LOD specification for 3D building models, *Computers, Environment and Urban Systems*, Volume 59, Pages 25-37.
- K. H. Soon, V. H. S. Khoo, 2017, Citygml modelling for Singapore 3d national mapping. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-4/W7, 2017 12th 3D Geoinfo Conference, Pages 37-42.
- Open Geospatial Consortium, 2012, *OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard*.

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：

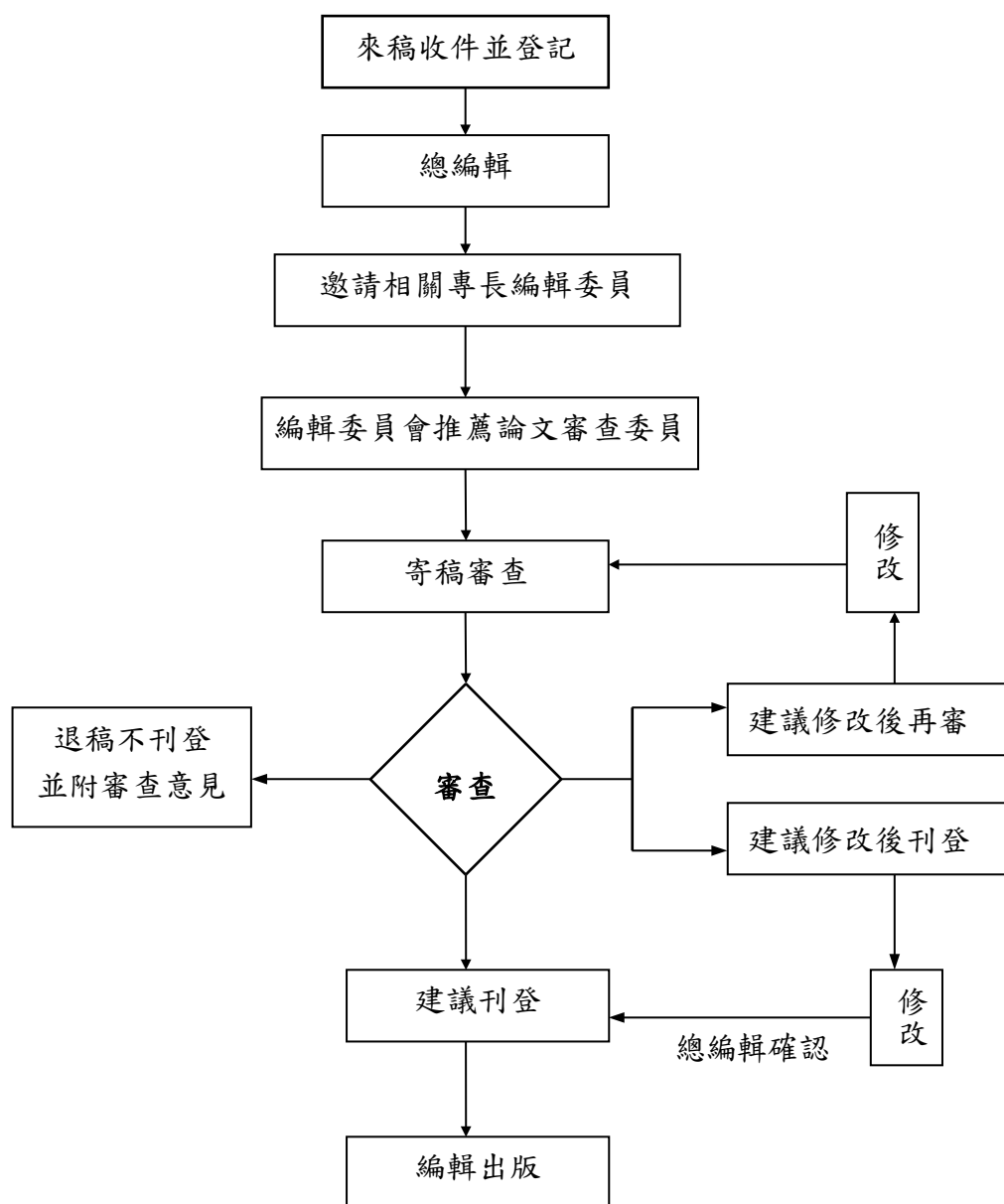
1. 刊登。
2. 修改後刊登（應列明審查意見及建議事項）。
3. 修改後再審（應列明審查意見及建議事項）。
4. 不適刊登（應列明審查意見）。

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 史天元 國立交通大學土木工程學系

編輯委員 (依姓氏筆劃順序排列)

周天穎	逢甲大學土地管理學系
甯方璽	國立政治大學地政學系
曾國欣	國立中央大學太空及遙測研究中心
張智安	國立交通大學土木工程學系
楊 名	國立成功大學測量及空間資訊學系
蔡慧萍	國立中興大學土木工程學系
韓仁毓	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 周天穎 逢甲大學土地管理學系

編 輯 葉美伶 逢甲大學地理資訊系統研究中心
陳鶴欽 內政部國土測繪中心
李佳晏 逢甲大學地理資訊系統研究中心

發 行 人 洪本善 理事長 逢甲大學土地管理學系
劉正倫 主任 內政部國土測繪中心

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

第九卷第二期

民國一一〇年七月

Vol. 9, No. 2

July 2021

目 錄

CONTENTS

應用多元量測技術於高精度地籍測量之研究

黃立信、王建文.....67

A Study on the Application of Multiple Measurement Techniques for High-precision Cadastral Surveying

Lih-Shinn Hwang, Chien-Wen Wang

地形圖徵鏈結資料架構

洪榮宏、楊錦松.....85

Framework of Linked Data for The Topographic Feature

Jung-Hong Hong, Chin-Sung Yang

利用 3D LiDAR SLAM 技術提升車載移動式製圖系統定位精度

蘇納捷、李啓民、蔡枸、蔡光哲、郭重言、江凱偉、許展祥、王敏雄.....111

Using 3D LiDAR SLAM to Improve the Positioning Accuracy of Mobile Mapping System

Surachet Srinara, Chi-Ming Lee, Syun Tsai, Guang-Je Tsai, Chung-Yen Kuo, Kai-Wei Chiang, Chan-Hsiang Hsu, Min-Shiung Wang

探討以小型旋翼無人機監測水庫邊坡之可行性：以臺北翡翠水庫為例

張若瑄、江志展、吳芝伶、管志偉.....129

Discuss the Use of Small Rotor Drones to Monitor the Slope of the Reservoir Feasibility: Take Taipei Feicui Reservoir as An Example

Jo-Hsuan Chang, Chih-Chan Chiang, Chih-Ling Wu, Chih-Wei Kuan

運用區塊建物框細緻化技術精進三維建物模型

林信助、林士哲、湯美華、陳世儀、游豐銘、林昌鑑.....153

Research on Dividing Aggregate 3D Building Model into Individual Ones

Hsin-Chu Lin, Shih-Che Lin, Mei-Hua Tang, Shih-I Chen, Feng-Ming You, Cheng-Jian Lin