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

第八卷 第二期

中華民國一〇九年七月



VOLUME 8, NO. 2

July 2020

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



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、高書屛、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(兼仕)
秘 書:陳鶴欽(兼仕) [、] 何依屏(兼仕) [、] 陳世崇(兼仕)
一、 谷裡安貝習 。 (一)昭致禾昌會
()版份安良首。
工 L 安 吳 · 工 政 坪
安 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
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:陳國華
編 輯:陳鶴欽、張巧汶
(三)研究發展委員會:
主任委員:高書屏
委 員:王宏仁、林登建、吴宗寶、吴聲鴻、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、曾清凉、曾國鈞、謝福來、劉正倫
·····································
主任委員:崔國強
委 員:李文聖、朱上岸、陳俊達、黃建華、肅介峰、葉文凱 (4)
總幹事: 肅泰中
野 事:林以恆 (士) 四炮声改手号会,
土住安貝、向天积 禾 吕,虎驷开,丁取馔、随南译,开上兴,芙建带,京隶民
安 貝 . 圕 引 土 、 工
総 計 争 ・ 乐 天 に
轩
(L/プム塩塩に次中回女只目・
エロダワ・温が上
ダー泉・ゆ IT 如 田岡 15 10111011101111111111111111111111111

學會地址:408台中市南屯區黎明路二段335巷28號

網 址:<u>http://www.cadastralsurvey.org.tw</u>

電子郵件: <u>cscs.editor@gmail.com</u>

國土測繪與空間資訊 民國一〇九年七月 第八卷 第二期 第 39 頁至第 59 頁 Taiwan Journal of Geoinformatics Vol. 8, No. 2, pp. 39~59

TWD97[2010]近十年成果檢測與國家框架之維護

陳鶴欽1 陳國華2* 鍾岳龍3 黃華尉4 莊昀叡5 楊名6

論文收件日期:109.04.26

論文修改日期:109.05.18

論文接受日期:109.05.25

摘要

臺灣目前使用一九九七坐標系統 2010 年成果(簡稱 TWD97[2010]),由於位處歐 亞板塊與菲律賓海板塊交界,受到板塊間相對運動的影響,使得 TWD97[2010]在精 度上逐漸失去準確性。內政部國土測繪中心於107年7月1日至108年9月30日 期間,共檢測 2,354 個一、二、三等基本控制點,並蒐集 107 年 12 月 1 日至 108 年 1月31日共432 個國內連續站以及6 個鄰近國際連續站資料,總計535 個時段,共 79,419 條基線。首先,在最小約制金門連續站的自由網平差計算中,剔除了 3,153 條基線,共計選取 76,266 條可用的基線觀測量,其成果在 N 分量、E 分量及高程方 向之標準誤差平均值分別為±0.001 公尺、±0.002 公尺及±0.005 公尺。接續,將選取 的可用基線進行3種不同策略且約制於 ITRF94 框架 2019.0 時刻的強制套合網平差 計算,分別得到(1)重新測設 TWD97[2010]坐標之成果,在 N 分量、E 分量及高程 方向之標準誤差平均值分別為±0.002公尺、±0.002公尺及±0.006公尺;(2)僅約制金 門、馬祖基線的更新坐標成果,其N分量、E分量及高程方向之標準誤差平均值亦 分別為±0.002 公尺、±0.002 公尺及±0.006 公尺,以及(3)僅維護部分的 TWD97[2010] 坐標成果,其於N分量、E分量及高程方向之標準誤差平均值分別為±0.006公尺、 ±0.006 公尺及±0.016 公尺等檢測結果,並建議官每 10 年更新維護國家坐標系統, 以確保精度品質。

關鍵詞:一九九七坐標系統 2010 年成果(TWD97[2010])、衛星連續觀測站、基本控制點、ITRF94 框架。

¹ 課長,內政部國土測繪中心控制測量課。

² 副教授,國立臺北大學不動產與城鄉環境學系。

³ 課員,內政部國土測繪中心控制測量課。

⁴ 專員,內政部國上測繪中心控制測量課。

⁵助理教授,國立臺灣大學地理環境資源學系。

⁶ 教授,國立成功大學測量及空間資訊學系。

^{*} 通訊作者, TEL: (02)86741111 轉 67420, E-mail: <u>khchen@mail.ntpu.edu.tw</u>。

Resurveying of the TWD97[2010] at the epoch of 2019.0

and the maintenance of a national reference frame

He-Chin Chen¹, Kwo-Hwa Chen²*, Yuen-Lung Jung³, Hua-Wei Huang⁴, Ray Y. Chuang⁵, Ming Yang⁶

ABSTRACT

Taiwan is located at the plate boundary between the Eurasian plate and Philippine Sea plate. Due to the relative motions between the two plates, the accuracy of the current static geodetic datum TWD97[2010] are decreasing with time. From July 2018 to Sep. 2019, the GNSS observations from 2,354 control points, 432 continuously operating reference stations (CORS) and also 6 IGS stations were collected by National Land Surveying and Mapping Center (NLSC), consisting of 535 sessions and 79,419 baselines. First, by means of the minimum constrained on KMNM site network adjustment, 3,153 baselines were eliminated and 79,419 were used. The average accuracy are ± 1 mm, ± 2 mm and ± 5 mm in the north, east and height component, respectively. Second, 3 results of full constrained network adjustment under the ITRF94 at the epoch of 2019.0 were obtained: (1) the average accuracy are ± 2 mm, ± 2 mm and ± 6 mm in the north, east and height component, respectively, in the renewal TWD97[2010] network adjustment; (2) the average accuracy are also ± 2 mm, ± 2 mm and ± 6 mm in the north, east and height component, respectively, in the network adjustment which was just only constrained to the KMNM-MUZM baseline; (2) the average accuracy are ± 6 mm, ± 6 mm and ± 16 mm in the north, east and height component, respectively, in the partly renewal TWD97[2010] network adjustment. As the results, it showed that the coordinate system could only be used within 10 years for the requirements of the field surveying at a high level in Taiwan.

Key words: TWD97[2010], continuously operating reference station (CORS), control point, ITRF94 reference frame.

¹ Section Chief, Control Surveying Section, National Land Surveying and Mapping Center, M.O.I.

² Associate Professor, Department of Real Estate and Built Environment, National Taipei University.

³ Officer, Control Surveying Section, National Land Surveying and Mapping Center, M.O.I.

⁴ Executive Officer, Control Surveying Section, National Land Surveying and Mapping Center, M.O.I.

⁵ Assistant Professor, Department of Geography, National Taiwan University.

⁶ Professor, Department of Geomatics, National Cheng Kung University.

^{*} Corresponding author, TEL: +886-2-8674-1111 #67420, E-mail: <u>khchen@mail.ntpu.edu.tw</u>.

一、前言

測量坐標系統及成果是一個國家各項建設的基礎磐石,唯有高精度、高品質的 坐標參考框架量測成果方能滿足各項民生經濟、工程建設使用,諸如高鐵軌道興建 與監控、道路橋樑等重大工程建設,乃至事關個人財產的地籍測量作業,基本控制 測量的良窳往往為各項應用測量的基礎。

然而在臺灣地區,歐亞大陸及菲律賓海板塊之間的聚合作用下,造成強烈的造 山運動(Suppe, 1981; Teng, 1990),產生多樣且快速的構造活動(Shyu et al., 2005; Shyu et al., 2016)、地震活動(e.g. Wu et al., 2008)及地殼變形(e.g. Yu et al., 1997; Ching et al., 2011)。在這樣的大地構造作用下,臺灣地區的地表有不同的位移及運動情形,並造 成國家坐標系統及各級控制測量成果精度的嚴重影響(Ching and Chen, 2015; Li et al., 2019; Chen et al., 2020)。

近年全島性的公告國家坐標系統為一九九七坐標系統 2010 年成果(簡稱 TWD97[2010]),由於此公告成果距今已近十年,在長時間的地表變形與位移,以 及這近十年間的數個主要地震作用下,實有必要重新檢視 TWD97[2010]的控制點坐 標,以檢測 TWD97[2010]國家坐標系統受到地表位移的影響情況,並作為日後國家 坐標系統更新的參考。

二、臺灣坐標參考框架發展歷程

(一)日治時代坐標系統

臺灣地區的近代現代化測量成果始於日治時期,日人在 1895 年佔據臺灣成立 臺灣總督府陸地測量部及臨時土地調查局等機構,陸續完成 2 萬分之一至 50 萬分 之一的各類地形圖(一般稱為陸測系統),並完成以臺中公園主 89 三角點為原點之地 籍測量系統,陸續完成 1/600、1/1200 及 1/3600 等比例尺為主的地籍圖及官有林野 圖等各式圖籍(魏文德等,2008),其中,臺灣的一等三角點於 1906 年由東京天文台 進行觀測,並決定位於埔里的虎子山頂上,其值為日本陸地測量部使用之系統,該 系統係以南投埔里虎子山天文原點(ψ=23 °58' 32.340" N,λ=120 °58' 28.975" E)為 基準點,其橢球參數採用白塞爾(Bessel)之地球原子(地球之長、短半徑及扁率等), 藉以計算點位之經緯度,再改算為平面直角坐標系統(內政部國土測繪中心,2020; 史天元,2020)。

(二)光復後的坐標系統

 量點(原臺灣總督府臨時土地調查局及該隊補建者)為主而編成,並蒐集原日本陸地 測量部設置之三角點(簡稱陸測點)、水準點、及原臺灣總督府殖產局山林課設置之 森林三角點等點位組成,其中陸測點欄位之點位緯度(B)、經度(L)成果係依白塞爾 (Bessel)地球原子推算,原點設置於南投縣虎子山,縱線(X)、橫線(Y)採用平面直角 坐標以公尺表示。地籍三角點欄位之縱線(Y)、橫線(X)則以主三等三角點 89(設置在 臺中公園內)為原點,亦採用平面直角坐標以「間」為單位表示之。陸測點與地籍三 角點的大部份點位均有共用關係,故列在同一行上以利比較(臺灣省政府地政局測量 總隊,1958)。另其高程系統以基隆港中等潮位為推測基準,並以公尺表示之。

因應臺灣地區各級三角點分別由測量機構、水利機構、農林機構以及軍方施測 完成者共約八千點,其成果計算分為地籍測量成果與軍方陸測系統,兩者雖系統不 同,施測時間亦有前後,但地籍點之主三角點上與軍方之三角點位置相同,此等有 兩種坐標系統之共用點遍及全省,因此,民國 56 年召開全國製圖測量聯繫會議, 決議由聯勤測量學校詳加研究,同年召開專案小組會議邀集相關單位及大專院校教 授參加,決議成果以坐標轉換方法加以改算並將全島分區改算,以因應需要,並建 議成果改算應列出 2 種坐標以便應用。後經 57 年全國製圖測量聯繫會議第三次會 議決定,請臺灣省林務局籌撥經費並由聯勤測量學校開始計算。此成果於民國 59 年發布(俗稱藍皮成果簿),其主要內容(除澎湖外)均由虎子山原點起算,虎子山經緯 度值為緯度 23°58'32.340"、經度 120°58'28.975",對埔里基南之方位角 243°47' 21.611", 採用參考橢球體為 1924 年國際大地測量學會決議之國際地球原子(海佛特原子),其

長半徑 a=6378388 公尺

- 短半徑 b=6365911.94613 公尺
- 扁率 f=(a-b)/a=1/297

其平面縱、橫坐標之起算係採用國際橫梅氏投影坐標系統(UTM 坐標系統),臺灣坐標位於 51 分帶(六度分帶系統)。另據成果表說明「成果表中所列高程均由基隆平均海水面起算,但陸地及地籍點之同點中,部分點因測量精度關係微有出入,均以原成果記載者錄入,以資參考。」,又成果表說明所述,因澎湖及臺灣西部地區位於中央子午線(經度 123°)以西 3°附近,位於本帶邊緣,該處另算有 50 帶坐標。故此期亦有將成果改算至「三度分帶系統」成果(史天元,2020)。

(三) Taiwan Geodetic Datum 1967 (TWD67)坐標系統

「由於臺灣地區地震、颱風、豪雨頻繁,加以近年來我國經濟突飛猛進,政府 及民間大量興建各項工程,致三角點受自然力或人為因素損壞及位移情形甚為嚴 重,…」,統計 59 年成果的損壞率已達百分之三十。「政府為加速經濟建設,開發 土地資源,增進土地效用,並重新整理地籍,以謀土地政策之實施,乃決定儘速完 成臺灣地區基本圖之測製及地籍圖之重測,而此二項工作均須有完備精確之控制點 為基準。」為求增補大量損壞之三角點及水準點,使全區三角點成果統一成為一個 系統,乃將基本控制點檢測納入土地測量計畫中,並由內政部地政司主管,聯勤總 部測量署負責主辦。從 63 年辦理示範工作,65 年 7 月正式展開,68 年 7 月結束全 部外業,平差計算工作於當年 12 月完成,69 年正式公布使用,此成果(俗稱紅皮成 果簿)或稱為 TWD67 成果。其測量採用之基準為:

1. 參考橢球體採用 1967 年新國際地球原子(GRS67)

長半徑 a=6378160 公尺 短半徑 b=6356774.7192 公尺 扁率 f=(a-b)/a=1/298.25

2. 大地基準點以南投埔里之虎子山起算:

經度 λ = 120°58 ^{25.975}″

緯度 $\varphi = 23°58 \ 22.340''$

對頭拒山之方位角 a = 323°57 ~ 23.135″

3. 高程基準面

臺灣本島以基隆平均海水面起算

澎 湖以馬公平均海水面起算

4. 地圖投影

採用橫麥卡脫投影比例尺大於(含)一萬分之一地圖坐標系統,二度分帶,其中 央子午線為 121°,二度分帶坐標原點位於中央子午線與赤道交點,且橫坐標西移 250,000 公尺,中央子午線的尺度比率為 0.9999 (內政部, 1980)。

而實務上,依據內政部土地測量局(國土測繪中心前身)文件顯示,從 62 年至 68 年間,臺灣省各縣市政府地籍圖重測區引用的三角點坐標系統(表),計有「地籍 三角點成果」、「三度分帶 TM 三角點成果」、「三度分帶 TM 成果換算二度分帶 TM 三角點成果」及「二度分帶 TM 局部平差三角點成果」,直至 69 年公布 TWD67 坐 標成果後,各項地籍測量以及相關圖籍測繪等應用測量,始改採用 TWD67 坐標系 統成果。

(四) Taiwan Geodetic Datum 1997 (TWD97)坐標系統

因應 GPS 全球衛星定位測量技術的發展,且正逢 TWD67 已經變形嚴重,不堪 使用之際。依據內政部國土測繪中心(2010),「自民國 82 年度起應用高精度全球定 位系統測量技術,迄 86 年止共建立 8 個衛星追蹤站及 105 個一等衛星點及 621 個 二等衛星點,以內政部 87 年 3 月 17 日台(87)內地字第 8781107 號函及內政部 87 年 11 月 2 日台(87)內地字第 8778548 號函提供各界應用。該系統定名為一九九七臺灣 地區大地基準,簡稱 TWD97」。並由於受到 1999 年 921 集集地震影響,中部地區 各級控制點已無法使用,內政部於 90 年年 5 月 2 日台內地字第 9060856 號令,公 告後續國內各項測繪業務改以 TWD97 坐標系統成果為主(Yang et al., 2001)。 TWD97 建置使用的 GPS 全球衛星定位技術提供了與國際坐標參考框架聯接的 工具。亦即,TWD97 採用國際地球參考框架(International Terrestrial Reference Frame, 簡稱 ITRF),當年度採用框架 ITRF94。ITRF 為利用全球測站網之觀測資料推算所 得之地心坐標系統,其方位採國際時間局(Bureau International de l'Heure 簡稱 BIH) 定義在 1984.0 時刻的方位。參考橢球體採用 1980 年國際大地測量學與地球物理學 會(International Union of Geodesy and Geophysics 簡稱 IUGG)公布之參考橢球體 (GRS80),其橢球參數如下:

長半徑: a = 6378137 公尺 扁 率: f = 1/298.257222101

(五) TWD97 坐標系統 2010 年成果(TWD97[2010])

内政部 87 年公布的衛星追蹤站及各級控制點 TWD97 坐標已歷經 10 餘年,有 鑑於臺灣地區位於地殼板塊碰撞劇烈地帶,部分地區點位已產生明顯位移,致套合 引用有實務上困難,無法符合測繪作業之精度需求,故針對大地基準及坐標系統是 否變動或更新等議題,由內政部於 98 年 10 月起邀集專家學者召開「大地基準及坐 標系統更新維護機制」會議討論,確認點位成果及基準框架繼續採用一九九七坐標 系統(TWD97),內政部於 101 年 3 月 30 日台內地字第 1010137288 號公告大地基準 及一九九七坐標系統 2010 年成果(簡稱 TWD97[2010])。其測量基準與定義均與 TWD97 相同,惟套合至國際固定站之 2010.0 時刻成果,再依據 ITRS 公告的框架 轉換參數,將成果轉換至 IRTF94 框架,此為現階段臺灣採用的國家坐標系統。

三、檢測資料蒐集

鑒於臺灣斷層遍布且地震頻繁,各地區之地表位移型態複雜,為持續了解維護控制點精度,應建立各級基本控制點位之速度場模型,以分析坐標系統受地殼變動的影響程度。內政部國土測繪中心於 107-108 年度辦理具 TWD97[2010]坐標成果之GNSS 連續觀測站與 2,633 個基本控制點的檢測工作,分析臺灣本島基本控制點的位移情形,使基本測量成果維持高精度狀態以滿足各界需求。

(一) GNSS 連續觀測站資料

目前內政部自有或合作取得 GNSS 連續站資料包括中央地質調查所、中央氣象 局、中研院地球所、國土測繪中心、臺北市政府、臺南市政府、經濟部水利署、臺 中市政府、中華電信等單位提供,站數統計如表 1,共計 442 站。本次選用 2018 年 12 月 1 日至 2019 年 1 月 31 日共 62 天各機關單位建置之 GNSS 連續站中觀測資料 較完整的 432 站,測站分布如圖 1(表 1 列出 432 站的各單位站數統計)作為基線向 量計算使用。 陳鶴欽、陳國華、鍾岳龍、黃華尉、莊昀叡、楊名: TWD97[2010]近十年成果檢測與國家框架之維護

測站類型	設立/管理單位	單位縮寫	站數	使用站數
	中央地質調查所	CGS	85	84
	中央氣象局	CWB	170	164
	中研院地球所	IES	54	54
	測繪中心	NLSC	74	73
	臺北市政府	TPE	3	3
GNSS 連續站	臺南市政府	TAINAN	8	8
	經濟部水利署	WRA	28	28
	臺中市政府	TAICHUNG	10	10
	中華電信(含工	СНТ		1
	研院)	СПІ		1
大屯火山		TVO	8	7
總計			442	432

表1GNSS 連續站資料來源與站數統計



圖 1 GNSS 連續站分布情形

國土測繪與空間資訊 第八卷第二期

(二) 各級基本控制點資料

- (1) 作業時程:自107年7月1日至108年9月30日止。
- (2) 點位清查:總計辦理 2,633 個一、二、三等衛星控制點的清查工作,依據實地清查結果,樁標保存良好點位的一等衛星控制點 100 個、二等衛星控制點 544 個、三等控制點 1710 個。另控制點遺失共 187 點、移動毀損有 59 點、無法到達有20 點、無法觀測有 13 點,本次清查結果統計如下表 2。

阳 冶笙纽	樁標現況				公网三十	
声日に守然	良好	遺失	損毀	無法到達	無法觀測	2011
一等衛星控制點	100	2	0	0	0	102
二等衛星控制點	544	8	4	4	0	560
三等衛星控制點	1,710	177	55	16	13	1,971
總計	2,354	187	59	20	13	2,633

表2 各級衛星控制點清查結果統計表

(3)外業觀測:針對清查保存狀況良好之一、二、三等衛星控制點共 2,354 點,依「國 土測繪法」及其子法「基本測量實施規則」相關規定,使用 8~12 部 Leica System1200、Spectra Precision SP80、Topcon GR-3、Topcon NET-G3A、Topcon GB1000、Trimble R8s 等衛星定位接收儀,採蛙跳式靜態衛星定位測量方式,資 料接收頻率為每5秒記錄1筆觀測資料,同一時段各點位共同觀測時間 6 小時, 點位重複觀測率 30%(含)以上,基線重複觀測率 10%(含)以上,總計觀測 535 個 時段。

四、網形基線計算

(一) GNSS 連續站間基線向量計算

蒐集 2018 年 12 月 1 日至 2019 年 1 月 31 日共 62 天之全國 432 站 GNSS 連續 站觀測資料,分別採用 BERNESE 5.2 版及 GAMIT 10.7 版 2 套計算軟體與鄰近國際 基準站聯合解算,2 套軟體之國際站與國內核心站選定方式及子網分區原則,均參 照 TWD97[2010]坐標系統計算方式。

- (1) 採用 BERNESE 5.2 版計算:以 ITRF14 國際地面參考框架為基準,計算鄰近臺 灣 IGS 國際基準站 6 站與全國 GNSS 連續站 432 站間之基線解算成果。
 - 1. 首先選定國內核心站 KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC 計6站,

及鄰近國際基準站 BJFS、TSKB、SHAO、GUAM、PIMO、COCO 共 6 站, 聯合解算國際大網。

- 計算坐標初始值採 IGS14 之坐標系統,計算 62 天之每日觀測網。最終成果 利用 ITRF2014 之 2019.0 時刻進行約制,獲得國內核心站之坐標。
- 3. 將國內其他 GNSS 連續站依所在區域分成 25 個子網計算,每個子網均內含 KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC 等 6 站國內核心站,坐標初 始值採國際大網解算後之成果。
- 4. 解算成果包含大網與子網共 26 網之 62 天基線解,為獲得初步之坐標及協變 方矩陣成果,最小約制於ITRF2014 定義在 2019.0時刻之金門連續站(KMNM) 坐標,並匯出各 GNSS 連續站間之基線向量檔。
- (2) 採用 GAMIT 10.7 版計算:以 ITRF14 國際地面參考框架為基準,計算鄰近臺 灣 IGS 國際基準站 13 站與全國 GNSS 連續站 432 站間之基線解算成果。
 - 首先選定國內核心站CIME、CKSV、DONY、HENC、KMNM、LEYU、MZUM、 TWTF、TNML計9站,及鄰近國際站BJFS、CCJ2、COCO、DAEJ、DARW、 HKWS、JFNG、MCIL、PIMO、SHAO、TSKB、ULAB、YSSK 共13站, 聯合解算國際大網。
 - 計算坐標初始值採 IGS14 之坐標系統,計算 62 天之每日觀測網。最終成果 利用 ITRF2014 之 2019.0 時刻進行約制,獲得國內核心站之坐標。
 - 將國內其他 GNSS 連續站依所在區域分成 13 個子網計算,每個子網均內含 CIME、CKSV、DONY、HENC、KMNM、LEYU、MZUM、TWTF、TNML 等9站國內核心站,坐標初始值採國際大網解算後之成果。
 - 解算成果包含大網與子網共 14 網之 62 天基線解,為獲得初步之坐標及協變 方矩陣成果,最小約制於ITRF2014 定義在 2019.0 時刻之金門連續站(KMNM) 坐標,並匯出各 GNSS 連續站間之基線向量檔。
- (3) BERNESE 與 GAMIT 解算成果比較:2 套計算軟體解算成果均以 ITRF14 國際地面參考框架為基準,並最小約制於金門連續站(KMNM)求得各站坐標值,比較各站兩種解算成果坐標差值,發現大多數 GNSS 連續站解算成果一致,平面及高程坐標分量較差統計如下表 3:

亚西卫宣和八昌龄关	站	數
平山及同性万里取左	平面	高程
較差≦0.5 cm	398	303
0.5 cm<較差≦1.0 cm	16	71
1 cm<較差≦1.5 cm	8	23
1.5 cm<較差≦2.0 cm	2	9
較差≧2.0 cm	8	26
合計	432	432

表 3 GNSS 連續站 BERNESE 與 GAMIT 解算成果較差統計表

(二) GNSS 連續站與基本控制點間基線向量計算

本次計算的 432 站 GNSS 連續站,其包含了大地基準站 18 站、一等衛星控制 點(GNSS 連續站)188 站以及衛星追蹤站 226 站),本文以涵蓋各時段檢測點位為原 則,選定 4 站(含)以上之鄰近 GNSS 連續站,採用 TOPCON MAGNET TOOLS 軟體, 並採用 IGS 提供之精密星曆,計算 535 個時段檢測點位間及其與 GNSS 連續站間之 全組合基線向量。

五、網形平差及成果計算

(一) GNSS 連續站自由網平差計算

彙整 BERNESE 與 GAMIT 兩種解算成果匯出之 GNSS 連續站間基線向量檔組 成觀測網形,其中 BERNERE 解算成果計有 1,189 條基線觀測量,GAMIT 解算成果 計有 1,196 條基線觀測量(擷取 TIN 三角形基線),採用內政部國土測繪中心衛星測 量基線網平差系統進行自由網平差計算,最小約制於金門連續站(KMNM)進行平差 偵錯,剔除基線 57 條,總計選取 2,328 條基線觀測量進行最小約制平差計算,平差 成果於 2 度 TM 投影坐標 N 分量、E 分量及高程(橢球高)方向之標準誤差平均值分 別為±0.001 公尺、±0.001 公尺及±0.004 公尺。

(二) GNSS 連續站與基本控制點自由網平差計算

彙整 535 個時段全組合基線向量,共計 353 站 GNSS 連續站、2,354 點基本控 制點及 78,333 條基線觀測量組成觀測網形,最小約制於金門連續站(KMNM)進行平 差偵錯,剔除基線 1,242 條,總計選取 77,091 條基線觀測量進行最小約制平差計算, 平差成果於 2 度 TM 投影坐標 N 分量、E 分量及高程(橢球高)方向之標準誤差平均 值分別為±0.001 公尺、±0.002 公尺及±0.004 公尺。

(三)自由網聯合平差計算

彙整前述(一)及(二)基線向量,共計432站GNSS 連續站、2,354點基本控制點 及79,419條基線觀測量組成觀測網形,最小約制於金門連續站(KMNM)進行平差偵 錯,剔除基線3,153條,總計選取76,266條基線觀測量進行最小約制平差計算,平 差成果於2度TM投影坐標N分量、E分量及高程(橢球高)方向之標準誤差平均值 分別為±0.001公尺、±0.002公尺及±0.005公尺。

(四)強制套合平差計算

因臺灣全島各區域變動不一致,且位移量差異甚大,考量各地區有不同作業需要,平差套合過程中,嘗試分析不同上級已知點套合方式來決定最終可能成果,供各界分析研討,以利決策分析。因此,本作業採「重新測設 TWD97[2019]坐標」、「更新全部 TWD97[2010]坐標」及「維護部分 TWD97[2010]坐標」3 種方式分別計算強制套合成果。

(1) 重新測設 TWD97[2019]坐標成果

計算流程如圖2,詳細計算過程及成果如後所述。



圖 2 重新測設 TWD97[2019]坐標計算流程圖

- 為檢測 TWD97[2010]成果,大地基準及國家坐標系統的地心坐標框架採用 ITRF94,因此將自由網聯合平差成果以 ITRS 所提供之地面參考框架轉換參 數及公式,由 ITRF2014 轉換至 ITRF94 @ 2019.0 之坐標成果。
- 2. 以4站國際基準站 GUAM、PIMO、SHAO、TSKB 作為約制點(如圖 3),強制套合計算求得全國 432 站 GNSS 連續站之 TWD97[2019]坐標成果,強制套合平差成果於2度TM 投影坐標N分量、E分量及高程(橢球高)方向之標準誤差平均值分別為±0.001公尺、±0.001公尺及±0.002公尺。
- 3. 再以全國 432 站 GNSS 連續站之 TWD97[2019]坐標成果作為約制點,強制套合計算求得 2,354 點各級衛星控制點之 TWD97[2019]坐標成果,強制套合平差成果於 2 度 TM 投影坐標 N 分量、E 分量及高程(橢球高)方向之標準誤差平均值分別為±0.002 公尺、±0.002 公尺及±0.006 公尺。
- 4. 各級衛星控制點 TWD97[2019]坐標成果與 TWD97[2010]公告成果進行比較 分析如表 4,坐標分量較差值之平面與高程分量較差向量如圖 4。

平面位移量	點數
較差≦ 5cm	120
5 cm<較差≦ 10cm	202
10 cm<較差≦ 20cm	369

表 4 TWD97[2019]坐標成果與 TWD97[2010]公告成果比較分析表

20 cm<較差≦30 cm	1,030
30 cm<較差≦40 cm	530
40 cm<較差≦50 cm	52
較差≧50 cm	51
小言十	2,354



圖 3 國際基準站及全國衛星追蹤站位置示意圖



圖 4 TWD97[2019]坐標成果與 TWD97[2010]公告成果平面及高程較差向量示意圖

(2) 更新全部 TWD97[2010]坐標成果

計算流程如圖 5,詳細計算過程及成果如後所述。



圖 5 更新全部 TWD97[2010]坐標計算流程圖

- 分析自由網聯合平差成果,以金門(KMNM)、馬祖(MZUM)連續站間相對關 係最佳,基線較差約1 mm,可視為無變動,以金門及馬祖連續站之 TWD97[2010]公告坐標作為約制點,進行強制套合計算求得全國432站GNSS 連續站TWD97[2010]更新後坐標,強制套合平差成果於2度TM投影坐標N 分量、E分量及高程(橢球高)方向之標準誤差平均值分別為±0.001公尺、± 0.001公尺及±0.002公尺。
- 再以全國 432 站 GNSS 連續站之 TWD97[2010]更新後坐標成果作為約制點, 強制套合計算求得 2,354 點各級衛星控制點 TWD97[2010]更新後坐標,強制 套合平差成果於 2 度 TM 投影坐標 N 分量、E 分量及高程(橢球高)方向之標 準誤差平均值分別為±0.002 公尺、±0.002 公尺及±0.006 公尺。
- 3. 各級衛星控制點 TWD97[2010]更新成果與 TWD97[2010]公告成果進行比較 分析如表 5,坐標分量較差值之平面與高程分量較差向量示意圖如圖 6。

平面位移量	點數
較差≦5 cm	569
5 cm<較差≦10 cm	338
10 cm<較差≦20 cm	283
20 cm<較差≦30 cm	265
30 cm<較差≦40 cm	235
40 cm<較差≦50 cm	298
較差≧50 cm	366
小清十	2,354

表 5 TWD97[2010]更新成果與 TWD97[2010]公告成果比較分析表



圖 6 TWD97[2019]更新成果與 TWD97[2010]公告成果平面及高程較差向量示意圖

(3) 維護部分 TWD97[2010]坐標成果

計算流程如圖7,詳細計算過程及成果如後所述。

参考國土測繪中心委託「財團法人中華民國國防科技學術研究會」研提之基本控制點檢測作業規範作為點位變動判定依據,判定標準如表6。

等級項目	一等衛星控制點	二等衛星控制點	三等、加密控制點
角度較差量	20"	20"	20"
基線長度L較差量	1cm+2ppm • L	2cm+4ppm • L	3cm+6ppm • L
坐標分量較差值	2.4cm	5.0cm	9.8cm

表6 變動點位判定標準表

因基線解算結果經全網平差後,各級衛星控制點之點位精度均勻,依一等衛 星控制點變動標準作為約制點門檻值,將造成約制點數量過少且分布不均, 若依三等、加密控制點變動標準作為約制點門檻值,其標準過於寬鬆且品質 不佳。經評估後以一等衛星控制點變動標準之坐標分量較差值計算平面位移 量作為大地基準站約制門檻值,並以二等衛星控制點變動標準之坐標分量較 差值作為一等衛星控制點(GNSS 連續站)約制門檻值,以二等衛星控制點變 動標準之坐標分量較差值計算平面位移量作為各及衛星控制點約制門檻值, 彙整如表 7:



圖 7 維護部分 TWD97[2010]坐標計算流程圖

大地基準站	一等衛星控制點(GNSS 連續站)	各級衛星控制點
平面位移量≦3cm (√2.4 ² + 2.4 ² ≈ 3)	平面位移量≦5cm	平面位移量≦7cm (√5 ² + 5 ² ≈ 7)

表7約制點門檻值彙整表

 全國具 TWD97[2010]公告坐標之 GNSS 連續站計有 18 站大地基準站及 188 站一等衛星控制點(GNSS 連續站),共 206 站,將自由網聯合平差成果與 TWD97[2010]公告坐標進行較差比對,據以評估各站變動情形。經分析變動 點位主要分布於臺灣本島東部及南部,趨勢與本中心 105 年及 106 年基本控 制點檢測變動趨勢相符,各站變動情形如表 8、圖 8。

表 8 大	地基準站及一	 - 等衛星控制點(GNSS 連續站))平面位置	勞動分析表
-------	--------	-------------------------------	-----------	-------	-------

平面位移量	大地基準站	一等衛星控制點(GNSS 連續站)
較差≦3 cm	6	49
3 cm <較差≦5 cm	2	25
5 cm <較差≦10 cm	1	23
10 cm <較差≦20 cm	2	18
20 cm <較差≦30 cm	2	16
30 cm <較差≦40 cm	2	16
40 cm <較差≦50 cm	2	16
較差≧50 cm	1	25
小計		206



圖 8 大地基準站及一等衛星控制點(GNSS 連續站)平面變動示意圖

- 3. 篩選6站平面變動量≤3公分之大地基準站及74站平面變動量≤5公分之一 等衛星控制點(GNSS 連續站),共80站未變動GNSS 連續站TWD97[2010] 公告坐標作為約制點(一級約制點),強制套合計算求得其餘352站已變動 GNSS 連續站之TWD97[2010]維護後坐標(二級約制點),強制套合平差成果 於2度TM投影坐標N分量、E分量及高程(橢球高)方向之標準誤差平均值 分別為±0.001公尺、±0.001公尺及±0.003公尺。
- 4. 以 80 站未變動 GNSS 連續站之 TWD97[2010]公告坐標(一級約制點)及 352 站已變動 GNSS 連續站 TWD97[2010]維護後坐標(二級約制點)共 432 站作為約制點,套合計算求得 2,354 點各級衛星控制點坐標,並與其 TWD97[2010]公告成果進行比對,篩選出 876 點平面變動量≤7 公分之未變動衛星控制點(三級約制點),強制套合平差成果於 2 度 TM 投影坐標 N 分量、E 分量及高程(橢球高)方向之標準誤差平均值分別為±0.006 公尺、±0.006 公尺及±0.016 公尺。
- 5. 再以 80 站未變動 GNSS 連續站之 TWD97[2010]公告坐標(一級約制點)、352 站已變動 GNSS 連續站 TWD97[2010]維護後坐標(二級約制點)及 876 點未變 動衛星控制點之 TWD97[2010]公告坐標(三級約制點)作為約制點,重新強 制套合計算求得其他 1,478 點已變動衛星控制點之 TWD97[2010]維護後坐標, 強制套合平差成果於 2 度 TM 投影坐標 N 分量、E 分量及高程(橢球高)方向 之標準誤差平均值分別為±0.006 公尺、±0.006 公尺及±0.016 公尺。
- 各級衛星控制點TWD97[2010]維護成果與TWD97[2010]公告成果進行比較, 坐標分量較差值之平面與高程分量較差向量如圖9、分析比較如表9。



圖 9 TWD97[2019]維護成果與 TWD97[2010]公告成果平面及高程較差向量示意圖

平面位移量	點數
7cm<較差≦10cm	107
10cm<較差≦20cm	238
20cm<較差≦30cm	280
30cm<較差≦40cm	221
40cm<較差≦50cm	357
較差≧50cm	275
小計	1,478

表 9 TWD97[2010]維護成果與 TWD97[2010]公告成果比較分析表

國土測繪中心針對公告坐標成果維護作業曾於 108 年度舉辦過 2 次座談會,第 1 次專家學者會議獲致初步共識「TWD97[2010]公告坐標已逐漸不敷使用,應予以 修正或公告新的坐標成果」,而是否使用定期維護更新靜態坐標成果,抑或是納入 半動態模式(或變形模式),則因尚無足夠數據或參考資料,未有結論,對於未來大 範圍使用或是地籍管理使用,應有不同層面的討論,以降低使用者的應用困擾。

第2次邀請各直轄市、縣市政府、測量技師公會及測繪業同業公會相關人員研議,獲得與會者意見與建議,諸如對於宜蘭、花蓮、臺東及部分高屏地區希望能提供新的坐標成果、轉換參數及建立更新頻率機制,以延長坐標成果使用年限,另外在臺灣西半部多數縣市政府目前辦理地籍整理計畫仍使用 TWD97 坐標成果,顯示在臺灣本島不同地區因區域變形不一致,而有不同成果使用需求。

依國土測繪中心歷年檢測成果及本次基本控制點檢測成果分析,中南部及東部 地區基本控制點位移情形較為嚴重,臺東地區甚至在近年辦理加密控制測量時,發 生以 TWD97[2010]公告坐標計算,成果卻無法符合加密控制測量作業規範之精度要 求。基本控制點坐標之更新維護可使成果符合點位實際相對關係,但也影響各使用 單位點位成果管理,前項3種成果對於後續使用管理影響分析如下:

(一)重新測設TWD97[2019]坐標:坐標成果最符合點位現況,點位相對精度高,本成果對於中南部及東部變動情形較大地區可提供一套全新成果,有利於後續年度成果測繪,維持高精度成果及品質。對於各測繪成果管理機關雖新增一組公告坐標成果,但可參照目前TWD97公告坐標及TWD97[2010]公告坐標之管理方式,作為後續不同年度各項地籍測量或測繪成果整合管理之用。

(二)更新全部 TWD97[2010]坐標:此成果與前項重新測設 TWD97[2019]坐標成 果精度相同,差異僅在約制點位坐標值不同(約制在金門、馬祖 TWD97[2010]成果 坐標值),惟須考量新坐標系統成果,容易與原[2010]公告坐標值造成混淆,各界在 使用相關成果時將須更加小心,避免誤用。

(三)維護部分 TWD97[2010]坐標:此成果將約制點位之變形量平差配賦於其餘 重新計算控制點位坐標成果值,坐標成果相較於前2項,其控制點點位間相對精度 將較差;對於西部及北部變動情形較小地區無須更動坐標值不會造成混淆且可直接 整合應用;而中南部及東部變動情形較大地區,成果可滿足後續年度使用,惟因地

56

表變形量大,可預期未來數年後(如 105 年 10 月辦理 106 年度草屯地籍圖重測區 加密控制測量時,部分具 TWD97[2010]成果之已知控制點已因地表變形影響,相對 精度已不敷使用,相同情形也發生在 104 年度之台東縣關山及鹿野地籍圖重測區), 將又面臨控制點坐標成果相對精度不足,無法滿足後續各項應用測量需求。另外因 僅更改部分控制點坐標成果,對於被更改控制點坐標值地區(如花東高屏地區), 將造成使用上的混淆,使用者對於後續各項測繪之控制點引用,當更加注意,而各 測繪成果管理機關對於不同年度成果整合將增加複雜度,應當特別注意,避免誤 用。

六、問題探討

國家坐標系統及基本控制測量成果異動、補建、公布及後續使用,事關重大, 亟需國內各界予以研議確認,經內政部 109 年 4 月再次邀集國內專家學者及各直轄 市、縣(市)政府研議後,確認臺灣地區坐標系統將直接連測至國際最新框架(目前為 ITRF2014),不再依 TWD97 計算時,進行框架轉換至 ITRF94,以符世界潮流,並 且將國內 GNSS 連續站資料處理時刻延長至 2020.0 時刻,讓新的國家坐標系統可命 名為 TWD97[2020],後續可以每 10 年更新一次國家坐標系統方式進行靜態坐標系 統維護作業。另考量國際潮流,動態坐標系統(或半動態坐標系統)的發展可持續關 注,作為未來發展的一項趨勢與因應。

一個長期穩定且不變動坐標系統應該是最受控制測量作業人員歡迎,但是在臺 灣地區受到複雜的大地構造及應力造就複雜的地表變形與位移,維護臺灣地區的坐 標系統成果需更密集的觀測及計算,以符合實際精度需求。以臺灣地區為例,藉由 GNSS 衛星測量觀測技術,每10年更新維護一次全國性靜態坐標系統成果是必要的, 以了解實際點位變化情形,至於是否需全面基本控制點檢測或者僅利用 GNSS 連續 站來進行變形模式分析,可再進一步探討。

倘未來每 10 年進行一次坐標更新,如何從國際框架點選取及解算,內政部宜 建立一套標準作業流程及研擬相關規定,以符合實際需求,未來應可朝動態坐標系 統成果方向進行研究,建立各級基本控制點位位移量及速度場,期間並可利用未來 建立的 TWD97[2020]與動態速度場進行預估,來驗證速度場推估下一個 10 年坐標 系統成果異動可能行性及預為因應。另對於各項圖資應用而言,內政部實應建立一 套至少符合地理資訊圖檔精度之轉換工具,讓不同年代 TWD97 系統圖資成果可互 為轉換,以利各項測繪成果整合及展示,俾助決策分析之用。

致謝

本文感謝內政部、內政部國土測繪中心及國內相關大地測量學者專家於各次座 談會提供的寶貴意見,讓相關研究得以進行,並就實務面探討維護更新一個國家坐 標系統的可行性及後續應推廣配合事項。

57

參考文獻

- 交 部 央 氯 象 局 入口網 站 2020 網 北 : 通 中 https://www.cwb.gov.tw/V7/knowledge/encyclopedia/eq000.htm , 前次查询: 2020/0426 •
- 經濟部中央地質調查所入口網站,2020,網址: <u>https://www.moeacgs.gov.tw/faqs/faqs_more?id=5aad63908b954762ad3ea51e431a6</u> <u>bb4</u>,前次查詢:2020/0426。
- 史天元,2020,台灣大地基準參考框架討論,地籍測量,第 39 卷第 1 期,第 1-14 頁。
- 政 部 2020 或 家坐 標 系 定 内 網站 , 0 統 之 訂 https://gps.moi.gov.tw/SSCenter/Introduce/IntroducePage.aspx?Page=GPS9,前次 查詢:2020/0426。
- 内 政 部 測 繪 中 心 , 2010 。 國 家 坐 標 系 統 之 訂 定 , https://www.nlsc.gov.tw/Home/MakePage/42?level=42,前次查詢:2020/0426。
- 2020 本 控 内 政 部 測 繪 中 心 , 0 基 制 測 量 https://www.nlsc.gov.tw/Home/MakePage/42?level=42,前次查询:2020/0426。
- 魏德文、高傳棋、林春吟、黃清琦,2008,測量臺灣:日治時期繪製臺灣相關地圖 1895-1945,國立台灣歷史博物館出版,第21-44頁及第131-140頁。
- 臺灣省三角點明細表, 1958 年 11 月(民國 47 年 11 月), 臺灣省政府地政局測量總隊 編印。
- 臺灣省三點角成果表,1970年3月(民國59年3月),聯勤測量學校。

臺灣地區三角點成果表, 1980年2月(民國 69年2月), 內政部。

- Chen, K. H., Chuang, R. Y., and Ching, K. E. (2020) Realization approach of non-linear postseismic deformation model for Taiwan semi-kinematic reference frame, 72: 75.
- Ching, K. E., and Chen, K. H. (2015) Tectonic effect for establishing a semi-dynamic datum in Southwest Taiwan. Earth Planets and Space, 67: 207.
- Ching, K. E., Rau, R. J., Johnson, K. M., Lee, J. C., and Hu, J. C. (2011) Present-day kinematics of active mountain building in Taiwan from GPS observations during 1995-2005. Journal of Geophysical Research, 116, B09405.
- Li, C. K., Ching, K. E., and Chen, K. H. (2019) The ongoing modernization of the Taiwan semi-dynamic datum based on the surface horizontal deformation model using GNSS data from 2000 to 2016. Journal of Geodesy, 93, 1543-1558.
- Shyu, J. B. H., Sieh, K., Chen, Y. G., and Liu, C. S. (2005) Neotectonic architecture of Taiwan and its implications for future large earthquakes, Journal of Geophysical Research. 110:B08402.
- Shyu, J. B. H., Chuang, Y. R., Chen, Y. L., Lee, Y. R., and Cheng, C. T. (2016) A new on-land seismogenic structure source database from the Taiwan Earthquake Model

(TEM) project for seismic hazard analysis of Taiwan. Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences, 27, 311-323.

- Suppe, J. (1981) Mechanics of mountain building and metamorphism in Taiwan. Memoir of Geological Society of China, 4, 67-89.
- Teng, L. S. (1990) Geotectonic evolution of late Cenozoic arc-continent collision in Taiwan. Tectonophysics, 183, 57-76.
- Wu, Y. M., Chang, C. H., Zhao, L., Teng, T. L., Nakamura, M. (2008) A comprehensive relocation of earthquakes in Taiwan from 1991 to 2005. Bulletin of Seismological Society of America, 98, 1471-1481.
- Yang, M., Tseng, C. L., and Yu, J. Y. (2001) Establishment and maintenance of Taiwan geodetic datum 1997. Journal of Survey Engineering, 127: 119-132.
- Yu, S. B., Chen, H. Y., Kuo, L. C. (1997) Velocity field of GPS stations in the Taiwan area. Tectonophysics, 274, 41-59.

國土測繪與空間資訊 第八卷第二期

國土測繪與空間資訊 民國一〇九年七月 第八卷 第二期 第 61 頁至第 77 頁 Taiwan Journal of Geoinformatics Vol. 8, No. 2, pp. 61 ~ 77

臺灣水平地表變形模式精度分析與應用

王昱凡1 陳國華2*

論文收件日期:108.10.17

論文修改日期:109.05.22

論文接受日期:109.05.29

摘要

國家大地基準提供的坐標資訊,若能維持長時間的穩定與精確性,將能有效作 為區域內各測繪成果之參考基準以及維護成果精度之用。然而,臺灣目前使用的一 九九七坐標系統 2010 年成果(簡稱TWD97[2010]),由於未有點位坐標的速度值,因 此TWD97[2010]仍屬於靜態的大地基準,在複雜的板塊結構環境與其活躍的運動影 響下,使得臺灣大地基準之精度維持更為艱辛。自半動態參考框架(semi-kinematic reference frame)概念提出以來,臺灣地區利用歷年GNSS衛星連續觀測站與移動站的 資料,陸續推估得臺灣地區半動態參考框架所需的地表變形模式。因此,本研究以 臺灣 2016、2017 年基本控制點的檢測成果以及 2018 年宜蘭縣、臺東縣加密控制點 成果,探討控制點的實測坐標與經水平地表變形模式推算得的坐標之兩者較差,並 進行精度驗證,以評估水平地表變形模式應用於臺灣測繪作業的可達精度,作為控 制點維護、更新應用的參考資訊。

關鍵詞:一九九七坐標系統 2010 年成果(TWD97[2010])、半動態參考框架、水平速度場、水平地表變形模式、基本控制點。

¹ 碩士,國立臺北大學不動產與城鄉環境學系。

² 副教授,國立臺北大學不動產與城鄉環境學系。

^{*} 通訊作者, TEL: (02)86741111 轉 67420, E-mail: <u>khchen@mail.ntpu.edu.tw</u>。

Accuracy Analysis and Applications of Taiwan

Horizontal surface deformation model

Yu-Fan Wang¹, Kwo-Hwa Chen²*

Abstract

If the coordinate of control points provided by the National Geodetic Datum can have been maintained its long-term stability and accuracy, it will be able to effectively provide reference coordinates at a high level accuracy for the various applications in the field surveying. However, the 1997 National Geodetic Datum which currently used in Taiwan (TWD97[2010]) is still a static geodetic datum because there is no any velocity information with the coordinate of control points. Therefore, due to the effects of the complex surface plate structures and active plate movements, the accuracy of Taiwan geodetic datum will be more difficult to maintain. Since the semi-kinematic reference frame have been announced, the GNSS continuously operating reference station (CORS) data have been calculated to estimate a horizontal velocity model in Taiwan. In this study, the accuracy of the horizontal velocity field was validated by means of the comparisons between the real coordinates and the predicted coordinates of the basic control points in Taiwan. Secondly, it is proposed to point out the suggestions for the field surveying of basic control points and also to maintain the accuracy and renewal of the control points in all regions of Taiwan.

Keywords: TWD97[2010], Semi-kinematic reference frame, Horizontal Velocity Field, Horizontal surface deformation model, Basic Control Point.

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

² Associate Professor, Department of Real Estate and Built Environment, National Taipei University.

^{*} Corresponding author, TEL: +886-2-86741111 ext. 67420, E-mail: khchen@mail.ntpu.edu.tw.

一、前言

國家大地基準提供的坐標資訊及測繪成果,若能維持長時間的穩定與精確性, 不僅能有效地為該區域的各控制點提供具有一定精度的參考坐標值以茲應用,對於 學術研究、都市社會建設、地質環境控管等方面亦能給予極大之協助。然而地表的 狀態並非靜止不動,由於板塊運動頻繁,導致許多位於板塊交界之國家所公告使用 的國家大地基準,會隨著板塊時間性的位移與彼此間的交互作用而產生誤差並呈現 動態不穩定之情況。臺灣目前所使用的最新國家大地基準為一九九七坐標系統 2010 年成果(簡稱 TWD97[2010]),該坐標系統為一九九七坐標系統(TWD97)之延續並更 新維護後之成果;而更新的原因為由於臺灣位處歐亞板塊與菲律賓海板塊交界,板 塊運動劇烈頻繁,再加以多年來天然環境災害如地震、洪災等發生所導致的地表位 移,使得 TWD97 系統於實務操作及應用上均產生精度逐年下降之問題。針對地表 構造不均匀的位移,許多位於板塊交界之國家亦提出有效的應對措施以減緩國家大 地基準逐年失準,其中較普遍的方式為將原先的大地基準導入地表變形模式概念, 使國家大地基準成為一個半動態參考框架形式(semi-kinematic reference frame)。

紐西蘭自 1998 年建立新的大地基準 NZGD2000 之後,即採用半動態參考框架 之概念,計算板塊運動的水平速度場,將地表運動所導致的坐標位移納入考慮。2013 年為因應坎特伯雷地區(Canterbury)受地震影響的嚴重地表變形,嘗試加入了區域變 形模式之概念以更新維護震後的地表變形(Grant et al., 2015);日本則於 2002 年公告 的國家大地基準 JGD2000 坐標系統,以及 2011 年 10 月因 311 宮城外海地震導致大 規模地表位移所修正訂定之 JGD2011 系統上,分別應用了半動態參考框架模型以修 正各系統在水平向方面的坐標值。在臺灣,郭徐伸(2014)利用 1,100 個臺灣 GNSS 連續站與移動站資料,應用克立金法(kriging)及雙線性內插法建立臺灣全區的水平 速度模型;景國恩、孔冠傑(2014)以及 Ching and Chen(2015)亦利用 GNSS 觀測站資 料,分別應用克立金法以及塊體模型法針對臺灣西南部建立半動態參考框架。

然而,針對國家坐標系統之維護與更新,在現行法規面以及實務操作上,臺灣 尚未有完整一致的使用規範。國土測繪法僅對控制測量作業的相關名詞與內容作較 簡易廣泛的闡述,有關基本測量作業的精度要求、作業方法、實施程序及其他相關 事項,則由基本測量實施規則另定之。但是,基本測量實施規則以及相關的控制測 量作業手冊中,對於利用半動態參考框架進行坐標位移之修正,均無相關的規範, 使得半動態參考框架概念現階段尚無法實務應用於國家現行的測繪程序中。本研究 暫不探討現行測繪規範對於半動態參考框架之配套措施,僅分析其建置品質。

由於半動態參考框架需要穩定及高品質的地表變形模式,該模式包含了速度場 模型與同震位移場模型。因此,本文參考紐西蘭及日本等國的作法,利用 2016、2017 年內政部國土測繪中心測設的基本控制點檢測成果,以及 2018 年宜蘭縣、臺東縣 的加密控制點成果,驗證臺灣地區水平地表變形模式之精度,藉由控制點的實測坐 標與經地表變形模式推得的坐標之較差,評估水平地表變形模式應用於臺灣測繪工 作的可達精度,作為各級控制點坐標維護與更新的參考。

63

二、文獻回顧

(一) 大地坐標參考框架

大地坐標參考框架的類型依其考慮地表變形的方式以及速度場、同震位移模型 之建立與否,區分為靜態參考框架、動態參考框架及半動態參考框架等(Grant et al., 1999; Tregoning & Jackson, 1999; 邱元宏, 2016)。靜態參考框架(static reference frame) 僅公告特定時刻的點位坐標資訊,其後該坐標值即固定不變,並將點位的速度設定 為 0,未考慮板塊移動等因素,臺灣過去採用的 TWD67、TWD97 以及最新的 TWD97[2010]坐標系統皆屬於靜態參考框架;動態參考框架(kinematic reference frame)則考慮到板塊的移動,將控制點坐標加入其速度進行推算,由定義的參考時 刻起算,加入速度場、同震位移場模型的修正量以推得觀測時刻的坐標,使點位之 坐標可隨時間而變動;半動態參考框架(semi-kinematic reference frame)則是先將坐標 定義於某個特定參考時刻,再利用地表變形模式(含速度場模型以及同震位移場模型) 將觀測時刻的坐標值轉換至定義的參考時刻如圖 1 所示。



圖1半動態參考框架示意圖(內政部國土測繪中心,2013)

半動態參考框架考量了地殼變形的型態,而該型態可利用地震循環(earthquake cycle)的概念來表達,一次的地震循環週期包含了震間變形(interseismic deformation)、同震變形(coseismic deformation)和震後變形(postseismic deformation)等三個時期。震 間變形為前次地震與下次地震期間,板塊之間彼此長時間的相對位移與斷層鎖定,其大多數呈現線性型態;同震變形為地震發生時所產生的區域地表瞬間位移,其變 形為短時間且永久性;震後變形則為地震發生後地表持續的非線性位移(Bourne et al., 1998; Chlieh et al., 2004; Nur and Mavko, 1974; Thatcher and Rundle, 1984; Tse and Rice, 1986; Roeloffs, 1996; Peltzer et al., 1996; Li et al., 2019; Chen et al., 2020)。

(二) 紐西蘭及日本大地坐標參考框架與其地表變形模式

紐西蘭因位處於澳大利亞板塊及太平洋板塊之交界,致使該國所建立之大地基準亦會隨著板塊運動之影響而產生位移,因此,紐西蘭土地資訊局(Land Information New Zealand, LINZ)自 1998 年開始重新定義並建立新的國家大地基準 NZGD2000 (New Zealand Geodetic Datum 2000),將大地基準納入了半動態參考框架的概念,坐標系統採用約制於 2000.0 時刻的 ITRF96 參考框架,其他時刻的點位坐標則利用其地表變形模式推算而得(Grant et al., 1999 & Grant et al., 2015)。

日本的半動態參考框架最早由日本國土地理院(Geospatial Information Authority, GSI)於 2002 年公告新的國家大地基準 JGD2000(Japanese Geodetic Datum 2000)以取 代舊的東京基準(Tokyo Datum),並將成果約制於 1997.0 之 ITRF94 參考框架後,再 計算國內一等至三等控制點坐標(Hatanaka et al., 2003; Tsuji and Matsuzaka, 2004)。 之後由於受到 311 宮城外海地震的影響,GSI 於 2011 年 10 月修訂最新的國家大地 基準 JGD2011(Japanese Geodetic Datum 2011),針對受該地震影響的地表變形區域, 重新計算影響範圍內的控制點坐標,並更新至 ITRF2008 參考框架,其餘影響較小 或未受影響地區的坐標,則維持原來的 ITRF94 參考框架,因此 JGD2011 具有兩個 不同時刻的參考框架系統(內政部國土測繪中心, 2013)。

紐西蘭和日本分別以雙三次樣條內插法及克立金法建立其震間的網格速度場, 再以雙線性內插法估算任意點位之速度;在資料方面,紐西蘭利用 GNSS 連續站及 移動站監測成果建立速度場模型,而日本則利用各年 GNSS 連續站的觀測成果(GPS Earth Observation Network, GEONET)建立變位模式以推估震間的修正量(Tsuji and Komaki, 2005);在同震位移場方面,紐西蘭則利用 GNSS 的監測資料先建立錯位模 型以推估點位的位移量後,再依此建立其同震位移模型;而日本則採用 GNSS 的監 測成果,利用克立金法內插計算地震前後的位移量,以此估算地震時造成的影響(內 政部國土測繪中心,2016),如表1所示。

	紐西蘭	日本
家明繡形枩約	GNSS 連續站	CNCC 油海计
辰间变心真性	GNSS 移動站	01135 建領ഥ
家明緣或描刑建立士法	雙三次樣條內插法	克立金法
辰间愛心候望建立刀広	雙線性內插法	雙線性內插法
日示戀形次約	GNSS 連續站	GNSS 連續站
	GNSS 移動站	GNSS 移動站
回家戀政構刑建立士法	建立錯位模型	克立金法
PI長愛/V 候空建立/J 広	不規則三角網	雙線性內插法
震後變形應用	無	無

表1 紐西蘭與日本半動態基準模型建立比較表

65

(三)臺灣大地坐標參考框架現況

臺灣的大地坐標參考框架由於使用年期以及測量技術更新等原因,自早期傳統 的三角點控制測量 TWD67 坐標系統到現階段採用衛星定位測量技術的 TWD97 坐 標系統、TWD97[2010]坐標系統等,歷經多次更新,過程如下:

- 坐標系統之更新:以衛星定位測量技術取代傳統 TWD67 坐標三角三邊測量方式 進而建立 TWD97 坐標系統,並經「大地基準及坐標系統更新維護機制」會議討 論,沿用一九九七坐標系統(TWD97)之成果及參考框架,更新為 TWD97[2010]坐 標系統 2010 年成果(林文勇等, 2012)。
- 2. 自然災害事件的基本控制點檢測:受到 2010 年莫拉克風災影響,針對南投縣、 嘉義縣市、臺南市、高雄市、屏東縣、臺東縣及外圍地區進行基本控制點檢測 及補建作業(內政部國土測繪中心, 2018a);2018 年 2 月 6 日花蓮地區發生芮氏 規模 6.26 地震,內政部國土測繪中心隨即辦理檢測並公布震後基本控制點檢測 成果,依據成果顯示,靠近震央的三等控制點平面位移最高達 1.2 公尺(內政部 國土測繪中心, 2018b)。
- 3. 基本控制點檢測作業:依內政部「基本測量及圖資測製實施計畫」,延續 2010 年莫拉克風災區基本控制點檢測及補建作業,內政部國土測繪中心於 2011 年針 對臺灣北部地區以及於 2012、2013、2016、2017 與 2018 等年辦理臺灣基本控制 點的檢測作業(內政部國土測繪中心, 2017a)。
- 基本控制點管理維護:明訂一等、二等及三等基本控制點由中央管理負責,四 等基本控制點,由各縣市政府機關管理與測設。

近年來,臺灣許多專家學者對於半動態參考框架的適用性進行探討分析,並建 立相應的水平速度場模型,例如在臺灣西南部地區,景國恩、孔冠傑(2014)、Ching and Chen(2015)利用 2004~2010 年經濟部中央地質調查所的 221 個西南部 GNSS 移 動站以及交通部中央氣象局、中央研究院、中央地質調查所、國土測繪中心等單位 的 44 個 GNSS 連續站,約制 GUAM、IISC、IRKT、PERT 以及 TSKB 等 5 個國際 IGS 測站於 ITRF2008 框架 2005.0 時刻之坐標, 獲得觀測站的每日坐標解, 並透過 時間序列分析,以最小二乘法估計各觀測站相對於澎湖測站(S01R)的分析成果,獲 得各站 2004 至 2010 年的水平速度, 並利用克立金法建置西南部的水平速度模型如 圖 2,黑色箭頭為 GNSS 移動站的速度,綠色箭頭為克立金內插法建立的網格速度, 並推估此模型可延長區域框架的使用年限。另外,在臺灣全區方面, 郭徐伸(2014) 利用 287 個 GNSS 連續站以及 823 個移動站,分別計算相對於澎湖(S01R)以及相對 於金門(KMNM)的坐標成果,再利用克立金法以臺東池上斷層為界進行內插獲得全 臺速度網格模型,並應用雙線性內插法推估全區任意位置的速度;景國恩等(2017)、 Li et al.(2019)將地表變形型熊區分為速度網格模型與同震位移網格模型,亦利用克 立金內插法以池上斷層為界建立相應的水平速度網格模型;位移網格模型則以2016 年美濃地震為例,分析不同衛星星曆的建模效益,並以斷層錯位模型建立美濃地震 的地表同震位移模型。



圖 2 克立金法建立臺灣西南部速度場模型(景國恩、孔冠傑, 2014)

三、模型建置與資料處理

半動態參考框架的概念為在一靜態框架上導入修正地表變形的變形模式。地表 變形模式包含速度網格模型與位移網格模型(景國恩等,2017),本研究相關的模型 建置方式如下(內政部國土測繪中心,2016;2017b;2018c;2019):

1. 水平速度網格模型

本研究採用 2003 至 2019 年共 437 個 GNSS 連續站觀測資料,並利用 Bernese 軟體計算各測站相對於金門(KMNM)的每日坐標成果,再利用式1或式2進行坐標 時間序列分析得到各站相對 KMNM 的速度量。若觀測站在資料期間內沒有因地震 影響導致的地表同震位移,則以式1 擬合;如果觀測站在資料期間內發生因地震導 致的明顯地表位移,則以式2 進行擬合。

 $\mathbf{y}(t_i) = \mathbf{a} + \mathbf{b}t_i + v_i$

(式1)

其中, a 為截距; b 為測站速度; t_i 為時間序列之時刻; v_i 為殘差值。

觀測站依式1或式2進行擬合後,可獲得各GNSS連續站的速度量,並整合全臺785個移動站的觀測成果,即可得到臺灣地區地表水平速度模型如圖3(a)所示, 另考慮池上斷層為潛移斷層,因此將縱谷斷層視為不連續邊界,將臺灣分為兩個水 平網格區域,利用克立金內插法推估建立地表水平速度網格模型如圖 3(b),網格模型的誤差如圖 3(c)所示,由誤差分布可發現,標準差較大之區域多位於觀測資料分布較少的地方,如中央山脈及其鄰近區域。



圖 3 (a)臺灣地區水平速度模型; (b)網格模型; (c)網格模型誤差量 (內政部國土測繪中心, 2016)

2. 位移網格模型

2016年美濃地震造成地表明顯位移,其後以 320 個 GNSS 連續站資料,採用超快速星曆解算得各站的坐標時間序列,並運用式 2 擬合地震前 5 天至後 3 天之坐標成果,以估算各觀測站的同震位移;接續應用斷層錯位模型(設定單一斷層參數)推算同震位移模型,斷層幾何參數的初始值為:走向(strike)270.29°與傾角(dip) 48.23°,並以蒙地卡羅法搜尋獲得最佳斷層面的幾何參數,得到走向參數 282.67°、傾角參數 7.94°與斷層滑移角參數(rake)30.64°,再以 AutoBATS 的震源機制解推算各網格點水平向的同震位移量如圖 4,以建立美濃地震的同震位移網格模型。



圖 4 美濃地震水平地表同震位移場(內政部國土測繪中心, 2016)

四、實證分析

內政部國土測繪中心於 2016、2017 年辦理臺灣地區基本控制點檢測工作,各時段觀測 6 小時,採 30 秒接收間隔。首先,各時段進行最小約制於金門站公告坐標的網形平差計算,並整合全時段的基線向量進行各年度最小約制金門的全網平差計算,得到各年度最小約制網的坐標成果。本節利用這 2 個年度的基本控制點最小約制坐標成果,進行地表變形模式的應用成效分析,並以地籍測量之已知點檢測邊長規範進行精度之探討。由於各個年度施測的點位數量不一致,因此本節篩選重複施測的測站,並排除坐標較差較大的點位,整理得 2016 與 2017 年基本控制點的共同點數共計 1,450 點,先以式 3、式 4 計算 N、E 坐標分量之較差,得到尚未修正前的較差值 dN、dE,再利用式 5 得到各年度共同點間的距離較差值,獲得 2016 與 2017 年點位較差分佈如圖 5 及其離散度統計如圖 6(內政部國土測繪中心,2019)。

$$dN = N_{2016} - N_{2017} \tag{\text{\vec{x}} 3}$$

$$dE = E_{2016} - E_{2017} \tag{\Ext{t}4}$$

$$\mathsf{D} = \sqrt{(dN)^2 + (dE)^2} \tag{\mathbb{T}5}$$



圖 5 2016 年與 2017 年基本控制點實測坐標較差圖(內政部國土測繪中心, 2019)

由圖 5 可得知,較差大於 30 mm 之地區多位於西南部(嘉義以南)、東部(臺東、 花蓮、宜蘭)以及南投山區,尤其西南部(嘉義以南)、東部(臺東、花蓮)地區之較差 更多數在 50、60 mm 以上。因此,未來基本控制點檢測時,宜以西南部(嘉義以南)、 東部(臺東、花蓮)為首先辦理區域,並應增加檢測之頻率;宜蘭、南投山區的頻率 可相對較少;而西部平原、沿海地區以及北部地區,由於坐標較差相對更小,因此 可再減少檢測的頻率;另依據基本控制點分布情況,在中央山脈兩側、中央山脈北 段與雪山山脈交界之山區控制點數宜增設,並應增加彰化、雲林沿海的控制點數以 達監測地層下陷、海岸線退縮之目的。



圖 6 2016 年與 2017 年基本控制點坐標之較差統計圖(內政部國土測繪中心, 2019)

由圖 6 之統計可發現,若依地籍測量實施規則第 73 條 - 應用數值法實施地籍 測量時,圖根點至界址點的位置容許誤差在市地為 2 至 6 cm,可整理得 2016 與 2017 年的坐標較差,符合誤差 2 cm 以內的基本控制點數共計 671 點(約佔 46.1 %),符 合誤差 6 cm 以內之點數共計 1240 點(約佔 85.1 %)。

另一方面,由於 2016 年基本控制點檢測工作於 3 至 5 月間辦理,2017 年的基本控制點檢測工作則是於 9 至 11 月辦理,因此本研究選擇 2016 年 4 月 1 日作為 2016 年成果的代表基準日,2017 年 10 月 1 日則作為 2017 年成果的代表基準日,應用本研究的水平地表變形模式,以式 6、式 7 將 2016 年 4 月 1 日的基本控制點坐標推算至 2017 年 10 月 1 日的相應坐標,並以式 8、式 9 計算 2017 年的推算坐標與其實測坐標的較差 dN'、dE',得到如圖 7、圖 8 之結果。比較圖 5 與圖 7,以及圖 6 與圖 8 可得知,應用本研究水平地表變形模式於全臺基本控制點之坐標修正,在修正前的較差平均值為 30 mm,修正後的平均值為 16 mm,並以式 10 計算改善率得 46.7 %,顯示可獲得明顯改善。

$$N_{2017}^{\#\,\sharp} = N_{2016}^{\,\sharp\,\Re} + V_N \times n(\pounds) + C_N \tag{$\delta 6$}$$

$$E_{2017}^{\mu\mu} = E_{2016}^{\mu\mu} + V_E \times n(\Phi) + C_E \qquad (\ensuremath{\vec{x}}\) 7)$$

其中,V為測站速度;C為美濃地震的同震位移量。

$$dN' = N_{2017}^{\text{#}\text{\sharp}} - N_{2017}^{\text{\sharp}\text{\sharp}}$$
(式8)

$$dE' = E_{2017}^{\pm \hat{\mu}} - E_{2017}^{\pm \hat{\mu}}$$
(式 9)



圖 7 2016 年與 2017 年基本控制點修正後坐標較差圖(內政部國土測繪中心, 2019)



圖 8 2016 年與 2017 年基本控制點修正後坐標較差統計圖(內政部國土測繪中心, 2019)

另外,本研究亦分別利用國土測繪中心於 2018 年協助宜蘭縣及臺東縣辦理之 加密控制測量成果,進行水平變形模式的驗證分析,臺東縣成果於 2018 年 7 月 31 日至 10 月 2 日進行施測,因此選擇 2018 年 9 月 1 日作為代表基準日;宜蘭縣成果 則於 2018 年 10 至 12 月辦理外業工作,故選擇 2018 年 11 月 1 日為代表基準日。 首先,各地區的加密控制資料先以上級控制點的 TWD97[2010]公告坐標進行最小約 制平差,獲得該區加密點的最小約制平差坐標(在此稱為修正前坐標成果);接續, 利用本文的水平變形模式先將上級控制點的 TWD97[2010]公告坐標推算至各控制 網觀測時刻下的坐標,並進行最小約制平差計算,獲得所有加密點在其觀測時刻下 的最小約制坐標,再將所有加密點的最小約制成果以水平變形模式回推至公告時刻 (即 2010.0),得到所有加密點經修正後的最小約制必標成果(在此稱為修正後坐標成 果),最後,比較「修正前」與「修正後」最小約制坐標的較差。經整理統計後,得 2018 年宜蘭縣加密區共有 192 點,其修正前後的點位最小約制坐標的較差與其離散 程度統計圖,如圖 9、圖 10 所示(內政部國土測繪中心,2019)。



圖 9 宜蘭縣加密控制點修正前後之坐標較差圖(內政部國土測繪中心, 2019)



圖 10 宜蘭縣加密控制點坐標修正前後之較差統計圖(內政部國土測繪中心, 2019)

2018 年臺東一級加密區共有 67 點,修正前後之點位最小坐標之較差與離散程 度統計圖,如圖 11、圖 12 所示,並將各地區的修正前後成果以式 10 計算改善率如 表 2(內政部國土測繪中心, 2019)。



由表 2 與圖 5 至圖 12 可得知,基本控制點與加密控制點坐標的較差,經本文 的水平地表變形模式修正後,皆可獲得改善,由於基本控制點 2016 年與 2017 年僅 相隔 1 年時間,其造成的坐標較差較少,改善率如前所述約 46.7%。然而,由宜蘭 縣與臺東縣的加密控制成果中可發現,由於經歷 8 年時間(即以 2010 年公告坐標成 果於 2018 實施當地的外業觀測、平差計算),因此,其坐標的較差較大,經變形模 式修正後,可達較佳的效果,約為 80%。由此可知,在小範圍近距離的加密控制測 量中,本研究的水平變形模式對於控制點坐標之改善幅度亦呈顯著。

驗證資料與年度	項目	較差平均值 (mm)	改善率
基本控制點	修正前	30	167%
2016年與2017年	修正後	16	40.7 %
2018 年	修正前	132	75.0.01
宜蘭縣加密控制測量	修正後	33	/5.0 %
2018 年	修正前	441	<u> </u>
臺東一級加密控制測量	修正後	53	88.0 %

表2基本控制點與加密控制點修正前後之坐標較差統計表

五、結論

綜合本研究的各項分析結果得知,若要維持國家大地基準長時間的穩定與精確 性,導入地表變形模式並將其整合於原有的靜態國家坐標參考框架之中,形成一個 半動態參考框架的形式,為維護國家大地基準可行的作法。半動態參考框架需要穩 定以及高品質的地表變形模式,該模式主要包含速度場模型與同震位移場模型。

本文利用 2016、2017 年內政部國土測繪中心於全國基本控制點的檢測成果, 以及 2018 年宜蘭縣、臺東縣加密控制點成果,驗證本研究水平地表變形模式之精 度,由 2016、2017 年的基本控制點較差成果得知,基本控制點之坐標受到地表變 形的影響,使得相同點位的坐標值在不同年度存有差異,且此差異隨時間之增長而 加大,其中,大於 30 mm 的地區多位於西南部(嘉義以南)、東部(臺東、花蓮、宜蘭) 以及南投山區,尤其在西南部(嘉義以南)、東部(臺東、花蓮)地區之較差更大多數在 50、60 mm 以上。因此,當未來基本控制點檢測時,宜以西南部(嘉義以南)、東部(臺 東、花蓮)為優先辦理區域,並應增加檢測頻率;宜蘭、南投山區的頻率可相對較低; 而西部平原、沿海地區以及北部地區,由於坐標較差較小,因此可再減少檢測頻率。 另依據基本控制點分布情況,在中央山脈兩側、中央山脈北段與雪山山脈交界之山 區控制點數宜增設,並應增加彰化、雲林沿海的控制點數以達到監測地層下陷、海 岸線退縮的目的。

本研究成果顯示,透過地表變形模式修正後,基本控制點 2016 年與 2017 年成 果的改善率可達約 46.7 %。宜蘭縣與臺東縣的加密控制測量成果,由於距公告年已 經歷 8 年,因此改善率較佳,約達 80 %。顯示本文的地表變形模式可有效提升控制 點精度,為維護、更新國家大地基準的可行方法,提供測繪應用之參考。

致謝

本研究承蒙內政部國土測繪中心 102、105-108 年度「精進現代化 TWD97 國家 坐標系統變位模式」案提供研究資料與經費,使本研究得以順利完成,特此申謝。

75

參考文獻

- 內政部國土測繪中心,2013,102 年度建置現代化 TWD97 國家坐標系統變位模式 工作總報告。
- 內政部國土測繪中心,2016,105 年度精進現代化 TWD97 國家坐標系統變位模式 工作總報告書。
- 內政部國土測繪中心,2017a,地籍圖重測106年計畫。
- 內政部國土測繪中心,2017b,106年度精進現代化TWD97國家坐標系統變位模式 工作總報告書。
- 内政部國土測繪中心,2018a,<u>http://www.nlsc.gov.tw/Home/MakePage/42?level=42</u>(瀏 覽日期:2018年5月9日)。
- 内政部國土測繪中心,2018b,內政部公告0206花蓮地震後基本控制點檢測成果。
- 內政部國土測繪中心,2018c,107年度精進現代化TWD97國家坐標系統變位模式 工作總報告書。
- 內政部國土測繪中心,2019,108 年度精進現代化 TWD97 國家坐標系統變位模式 工作總報告書。
- 邱元宏,2016,時變基準於臺灣基本測量與地籍測量影響探討,國立交通大學土木 工程學系博士學位論文。
- 林文勇、劉至忠、劉正倫,2012,臺灣大地基準之一九九七坐標系統2010年成果, 地籍測量,第31卷第3期,頁1-15。
- 郭徐伸,2014,建立台灣半動態基準之水平速度模型,國立成功大學測量及空間資 訊學系碩士學位論文。
- 景國恩、孔冠傑,2014,台灣西南部半動態基準之建立,國土測繪與空間資訊,2, 2,頁 85-105。
- 景國恩、楊名、陳鶴欽、林文勇、梁旭文、劉正倫,2017,臺灣半動態基準之建立 與展望,國土測繪與空間資訊,第5卷第2期,頁83-109。
- Bourne, S. J., P. C. England, and B. Parsons, 1998, The motion of crustal blocks driven by flow of the lower lithosphere and implications for slip rates of continental strike-slip faults, Nature, 391, pp.655–659.
- Chen, K.-H., R. Y. Chuang, and K.-E. Ching, 2020, Realization approach of non-linear postseismic deformation model for Taiwan semi-kinematic reference frame, Earth, Planets and Space, 72:75.
- Ching, K.-E., and K.-H. Chen, 2015, Tectonic effect for establishing a semi-dynamic datum in Southwest Taiwan, Earth Planets Space, 67, 207. DOI: 10.1186/s40623-015-0374-0.
- Chlieh, M., J. B. de Chabalier, J. C.Ruegg, R. Armijo, R. Dmowska, J. Campos, and K. L. Feigl, 2004, Crustal deformation and fault slip during the seismic cycle in the north Chile subduction zone, from GPS and InSAR observations, Geophys. J. Int., 158,

pp.695-711.

- Grant, D.B., Blick, G.H., Pearse, M.B., Beavan, R.J., Morgan, P.J., 1999, The development and implementation of New Zealand Geodetic Datum 2000, Presented at IUGG99 General Assembly, Birmingham UK, pp. 18-30.
- Grant, D.B., Donnelly, N., Crook, C., Amos, M., Ritchie, J., Roberts, C., 2015, Special feature–managing the dynamics of the New Zealand spatial cadaster, Journal of Spatial Science, 60, 1, pp. 3–18.
- Hatanaka, Y., T. Iizuka, M. Sawada, A. Yamagiwa, Y. Kikuta, J. M. Johnson and C. Rocken, 2003, Improvement of the Analysis Strategy of GEONET, Bulletin of the Geographical Survey Institute, 49, pp.1–35.
- Li, C.-K, K.-E. Ching, K.-H. Chen, 2019, The ongoing modernization of the Taiwan semi-dynamic datum based on the surface horizontal deformation model using GNSS data from 2000 to 2016, J Geod, 93, pp. 1543-1558. DOI: 10.1007/s00190-019-01267-5.
- Nur, A., and G. Mavko, 1974, Post-seismic viscoelastic rebound, Science, 183, pp.204-206.
- Peltzer, G., P. Rosen, F. Rogez, and K. Hudnut, 1996, Postseismic rebound in fault step-overs caused by pore fluid flow, Science, 273, pp.1202-1206.
- Roeloffs, E., 1996, Poroelastic techniques in the study of earthquake-related hydrological phenomena, Advances in geophysics, 37, pp.135-195.
- Thatcher, W., and J. B. Rundle, 1984, A viscoelastic coupling model for the cyclic deformation due to periodically repeated earthquakes at subduction zones, J. Geophys. Res., 89, pp.7631-7640.
- Tregoning, P., Jackson, R., 1999, The need for dynamic datums, Geomatics Research Australasia, 71, pp. 87-102.
- Tse, S.-T., and J. R. Rice, 1986, Crustal earthquake instability in relation to the depth variation of frictional slip properties, J. Geophys. Res., 91, pp.9452-9472.
- Tsuji, H. and S. Matsuzaka, 2004, Realization of Horizontal Geodetic Coordinates 2000, Bulletin of the Geographical Survey Institute, 151, pp.11-30.
- Tsuji, H. and K. Komaki, 2005, Towards the Realization of Geo-Referencing Infrastructure for Dynamic Japan (GRID-Japan), Bulletin of the Geographical Survey Institute, 52, pp.1–11.

國土測繪與空間資訊 第八卷第二期

國土測繪與空間資訊 民國一〇九年七月 第八卷 第二期 第 79 頁至第 100 頁 Taiwan Journal of Geoinformatics Vol. 8, No. 2, pp.79~100

地面雷射掃描儀系統校正:結合室外標準基線場與室內

校正場

林烜生^{1*} 曾義星² 彭淼祥³ 劉子安⁴ 蔡季欣⁵ 鄒慶敏⁶

論文收件日期:109.4.30 論文修改日期:109.5.27 論文接受日期:109.6.01

摘要

地面雷射掃描儀(Terrestrial Laser Scanner),又稱為地面光達(Terrestrial LiDAR), 因其快速且精準獲取物體表面高密度三維坐標(點雲)的能力,近年來廣泛地被應 用於工程測量領域,可用於建築物、隧道工程、森林調查、十木工程等測量工作。 地面雷射掃描儀會在瞬間產生大量點雲資料,每秒可達上萬點甚至數十萬點以上, 但在龐大的點雲資料中可能含有許多不同種類誤差,誤差的來源可能與儀器本身量 測能力、儀器品質不良(未校正)、環境因素影響、人為操作不當等等原因有關。 近年來,許多先進發表了有關地面雷射掃描儀使用不同方法進行校正的一系列論文, 討論了地面雷射掃描儀可能的誤差來源和相關改正參數,本研究提出了將自率定法 結合個別組件校正的混合模式能更準確地模擬地面雷射掃描儀系統性誤差的理論, 並以自率定法為基準提出了結合室外標準基線場和室内校正場的校正方法來進行 測試,該方法克服自率定法受室內空間大小限制的缺陷,將地面雷射掃描儀的測距 方面在全長 266 m 的標準基線場獨立校正,再將校正成果乘常數-103 ppm 與加常數 1.4 mm 带入自率定法中作為測距方面改正參數使用,將器差絕對值平均縮小為 3.9 mm。混合模式初步測試結果,器差的絕對值平均與均方根值都呈現變小趨勢,可 以初步判定應用本研究提出之混合模式方法來對地面雷射掃描儀進行校正與系統 性誤差分析,的確可以為地面雷射掃描儀校正帶來正面的影響,通過計算結果可協 助使用者更謹慎地了解儀器目前量測品質,使用者可依計算結果評估是否該儀器需 回原廠檢校。

關鍵詞:地面雷射掃描儀、地面光達、系統性誤差、率定

^{1*} 碩士生兼任助理,國立成功大學測量及空間資訊學系,E-mail: <u>hsuansheng0110@gmail.com</u>。

² 教授,國立成功大學測量及空間資訊學系。

³研究員,工業技術研究院。

⁴ 資深研究員,工業技術研究院。

⁵ 課長,內政部國土測繪中心。

⁶ 技正,內政部國土測繪中心。

System Calibration of Terrestrial Laser Scanners by Using Range and Indoor Calibration Fields

Hsuan-Sheng Lin^{1*}, Yi-Hsing Tseng², Miao-Hsiang Peng³, Tze-An Liu⁴, Ji-Shin Tsai⁵, Ching-Min Chou⁶

Abstract

Due to its outstanding 3D modeling capabilities, Terrestrial Laser Scanner (TLS) has been widely used in engineering surveying fields in recent years. However, different types of errors exist in huge point cloud data, and they would affect the accuracy of point cloud data through error propagation. The sources of these errors may come from instrumental factors (if it is not be calibrated), environmental factors, human factors, etc. In order to ensure the quality of the TLS data, systematic errors should be properly calibrated and corrected before using it. In this study, the theory that the self-calibration combined with the individual components calibration can more accurately simulate the systematic error of TLS was proposed. And a calibration method combining standard baseline field and indoor correction field is proposed for testing. This method overcomes the limitation of indoor space size, and independently calibrate the TLS rangefinder in the standard baseline field with a total length of 266 m. Then the calibration result multiplication constant -103 ppm and the addition constant 1.4 mm are brought into the self-calibration method as additional parameters, and the absolute average value of the difference is reduced to 3.9 mm. According to the preliminary test results, using the theory proposed in this study to perform TLS calibration and analyze systematic errors can help users to more carefully understand the current measurement quality of the instrument. Users can evaluate whether it is necessary to return to the factory for inspection according to the calibration results.

Keywords: Calibration, Ground-based LiDAR, Systematic Error, Terrestrial Laser Scanner

^{1*} Graduate Research Assistant, Department of Geomatics, National Cheng-Kung University, E-mail: <u>hsuansheng0110@gmail.com</u>.

² Professor, Department of Geomatics, National Cheng-Kung University.

³ Researcher, Center for Measurement Standards, Industrial Technology Research Institute.

⁴ Senior Researcher, Center for Measurement Standards, Industrial Technology Research Institute.

⁵ Section Chief, Planning & Technology Section, National Land Surveying and Mapping Center, Ministry of the Interior (NLSC).

⁶ Specialist, Planning & Technology Section, National Land Surveying and Mapping Center, Ministry of the Interior (NLSC).

一、前 言

經過 20 多年的發展,三維雷射掃描技術在穩定性、精度、易操作性等方面已 有長足的進步,尤其是在空載/車載/地面三維雷射掃描方面進展顯著。其中地面雷 射掃描儀為主動式量測,由儀器自行發射雷射光源,在黑暗中亦可作業,是一種精 密且實用的測量工具,因其快速且精準獲取物體表面高密度三維坐標(點雲)的能 力,近年來廣泛地被應用於工程測量領域,可用於建築物、隧道工程、森林調查、 土木工程等大型物體之測量工作,如:建物之三維模型建置、古蹟文物保存、森林 調查及隧道變形觀測等方面。

地面雷射掃描儀主要由雷射測距儀、反射稜鏡、伺服馬達轉動儀與電腦構成, 基本掃描原理由一個測距與兩個測角(水平方向、垂直方向)量測系統組成,如圖 1 所示:以雷射光進行距離測量;以伺服馬達依掃描間距驅動掃描儀作水平與垂直 方向旋轉,通常水平方向可達全方向掃描;以電腦或儀器介面設定掃描範圍及掃描 參數;以電腦紀錄每發雷射之觀測量,其基本觀測量是距離、兩個正交的角度及記 錄回訊之強度值,並可由距離和兩個角度推算每筆資料在儀器自訂的坐標系下的三 維坐標,如圖 2 所示。另由於構造與操作模式類似,亦可將地面雷射掃描儀視為一 部能全自動、快速與精準地進行全方位測角、測距、記錄之全測站式電子經緯儀。 (賴志凱, 2004; 陳永寬等, 2005; 蔡漢龍, 2007; 曾義星等, 2008; Cuartero et al., 2010; D. D. Lichti, 2010a, 2010b; J. C. K. Chow et al., 2013; 吳建廷, 2013; Muralikrishnan et al., 2015)



圖 1 地面雷射掃描儀掃描原理示意圖(D. D. Lichti, 2010a)



圖 2 地面雷射掃描儀組成示意圖

依各廠牌雷射掃描儀規格設計上之差異,不同型號有各自的掃描距離、掃描範 圍、掃描速度及掃描精度,目前市面上常見之地面雷射掃描儀依其掃描有效距離而 有不同的應用領域,吾人可以儀器掃描有效距離可分為短、中、長距離等三種類型。 同時地面雷射掃描儀亦為自動量測系統,除掃描參數設定之外量測過程無須人工介 入,儀器會自動根據掃描參數快速、精確、大量地產生物體表面點雲資料,可達每 秒上萬點甚至百萬點以上,避免了因觀測者所造成的人為誤差。三維雷射掃描技術 突破了傳統測繪技術的限制,對現今空間資訊領域產生革命性的影響,是一種創新、 強大而有力的量測工具(吳建廷, 2013)。

由於地面雷射掃描儀的軟、硬體日益成熟,能產製更可靠和準確的點雲資料, 因此儘管遠非現實,但許多針對地面雷射掃描儀的應用都假定點雲資料中沒有錯誤, 然而,實際上會影響地面雷射掃描儀精度的因子十分眾多,例如儀器本身量測能力; 儀器品質不良(未校正);量測物體表面的顏色、材質;環境因素影響(環境溫度、 濕度及壓力等);人為操作不當,皆為有可能的精度影響因子,而各精度影響因子 會透過誤差傳播而影響點雲坐標精度。若在儀器出廠前未經過嚴謹率定、儀器出廠 後長時間未送回原廠檢修或儀器受外力碰撞等等其他因素下,日積月累造成儀器內 部產生問題,將導致儀器掃描結果含有系統性誤差存在,進而影響儀器精度。因此, 從事空間測繪領域的專家學者需有一套嚴謹有效的地面雷射掃描儀校正方法來檢 定儀器的系統性誤差,並能透過分析擬合出最貼近誤差值變化的數學模型來加以改 正,藉此提高儀器觀測精度。(賴志凱, 200;4 蔡漢龍, 2007; D. D. Lichti, 2010a)

本研究考量地面雷射掃描測量理論與地面雷射掃描儀之掃描物理機制,以自率 定法為基準,提出了結合室外標準基線場和室內校正場的校正方法,並利用系統性 誤差改正參數組成數學模型來分析和校正地面雷射掃描儀系統性誤差,觀察數學模 型中造成系統性誤差的因子對精度的影響,冀望能找出通用於目前常見的地面光達 之誤差模式,改善目前無法得知地面光達誤差來源的窘境。

二、 地面雷射掃描儀誤差模式分析

(一) 地面雷射掃描儀掃描方式

地面雷射掃描儀是透過在儀器自訂的坐標系下觀測並記錄物空間某特徵點之 距離和兩個角度來給予該特徵點儀器坐標系的三維坐標,如圖3所示。



圖 3 地面雷射掃描儀定位

又因為儀器設計上的差異,導致儀器可能會有不同的掃描角定義,因此不同廠 牌的儀器坐標值計算公式亦有可能不同,通常依兩個測角(水平方向、垂直方向) 掃描順序區分為橫掃式(如 Optech ILRIS-3D 掃描儀)、縱掃式(如 RIEGL VZ400 掃描儀)兩種。

1. 橫掃式

橫掃式地面雷射掃描儀作業時其位置及方向固定,儀器內部具有以伺服馬達轉 動儀驅動的水平方向、垂直方向反射稜鏡,掃描範圍為一矩形範圍,每一測站可視 為獨立的儀器坐標系統,如圖4所示。

2. 縱掃式

縱掃式地面雷射掃描儀作業時其位置及方向固定,儀器內部僅有以伺服馬達轉 動儀驅動的垂直方向反射稜鏡,而儀器本身可做全角度的水平方向旋轉,因此通常 縱掃式地面雷射掃描儀的水平視角範圍(HFOV)通常可達 360°,垂直視角範圍 (VFOV)則通常可達 80°以上,每一測站可視為獨立的儀器坐標系統,如圖 5 所示。



圖4 橫掃式地面雷射掃描儀(Optech ILRIS-3D 掃描儀)



圖 5 縱掃式地面雷射掃描儀(RIEGL VZ400 掃描儀)

當掃描儀對掃描角的定義不同,計算同一掃描點坐標的公式也會不同,雖然利 用幾何公式可以推導角度彼此間的轉換關係,但不同的掃描方式是否會對後續誤差 模式的建立及計算結果造成影響亦是後續研究所需注意的。(賴志凱,2004; 蔡漢龍, 2007; 曾義星等,2008)

(二) 地面雷射掃描儀數學模型

地面雷射掃描儀利用前述掃描原理及掃描方式可以得到掃描儀中心至掃描點 的三維坐標差、回訊之強度值及色彩資訊。掃描儀坐標系與物空間坐標系之關係可 表示如圖 6,其中 S 為掃描儀的雷射發射中心,P 點為待測點的位置,O 點為物空 間坐標系的原點。 ρ 為 S 到 P 的距離, α 為儀器坐標系中 S 與 P 點之間的垂直角, θ 為其水平角, (ω, ϕ, κ) 為儀器坐標系與物空間坐標系的旋轉角度參數。由物空 間坐標系轉換到儀器坐標系的數學式可寫為如式(1),利用三個或以上的物空間已知 控制點坐標計算轉換參數(賴志凱, 2004; Derek D Lichti & Licht, 2006; D. D. Lichti, 2007, 2010a, 2010b; 蔡漢龍, 2007; 曾義星等, 2008; Habib et al., 2010; D. D. Lichti et al. 2011; 吳建廷, 2013; J. C. K. Chow et al., 2013; Lerma & García-San-Miguel, 2014; Ge, 2016)。



圖 6 掃描儀坐標系與物空間坐標系關係圖

$$\begin{bmatrix} x_{ij} \\ y_{ij} \\ z_{ij} \end{bmatrix} = R_3(\kappa_j)R_2(\phi_j)R_1(\omega_j) \left\{ \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_{sj} \\ Y_{sj} \\ Z_{sj} \end{bmatrix} \right\} = M(\omega_j \cdot \phi_j \cdot \kappa_j) \left\{ \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_{sj} \\ Y_{sj} \\ Z_{sj} \end{bmatrix} \right\}$$
(1)

 $M = \begin{bmatrix} \cos \phi_{j} \cos \kappa_{j} & \cos \omega_{j} \sin \kappa_{j} + \sin \omega_{j} \sin \phi_{j} \cos \kappa_{j} & \sin \omega_{j} \sin \kappa_{j} - \cos \omega_{j} \sin \phi_{j} \cos \kappa_{j} \\ -\cos \phi_{j} \sin \kappa_{j} & \cos \omega_{j} \cos \kappa_{j} - \sin \omega_{j} \sin \phi_{j} \sin \kappa_{j} & \sin \omega_{j} \cos \kappa_{j} + \cos \omega_{j} \sin \phi_{j} \sin \kappa_{j} \\ \sin \phi_{j} & -\sin \omega_{j} \cos \phi_{j} & \cos \omega_{j} \cos \phi_{j} \end{bmatrix} (2)$ $+ (x_{ij}, y_{ij}, z_{ij})$

空間坐標系位置, (X_{sj}, Y_{sj}, Z_{sj}) 為掃描儀雷射發射中心在物空間坐標系位置, $(\omega_j, \phi_j, \kappa_j)$ 為儀器坐標系與物空間坐標系的旋轉角度參數, $M(\omega_j, \phi_j, \kappa_j)$ 為 一分別繞 X、Y、Z 軸旋轉 $(\omega_j, \phi_j, \kappa_j)$ 角度之旋轉矩陣。

又一般地面雷射掃描儀量測值可理解為測距觀測量(ρ_{ij})與角度觀測量(θ_{ij} 、 α_{ij})的組成,故可將式(1)改寫為下式,形成地面雷射掃描儀觀測方程式。

$$\rho_{ij} = \sqrt{x_{ij}^2 + y_{ij}^2 + z_{ij}^2}$$
(3)

$$\boldsymbol{\theta}_{ij} = tan^{-1} \left(\frac{\boldsymbol{y}_{ij}}{\boldsymbol{x}_{ij}} \right) \tag{4}$$

$$\alpha_{ij} = tan^{-1} \left(\frac{z_{ij}}{\sqrt{x_{ij}^2 + y_{ij}^2}} \right)$$

(5)

(三)地面雷射掃描儀誤差模式

地面雷射掃描儀量測誤差的來源可能與儀器本身量測能力、儀器品質不良(未校正)、環境因素影響、人為操作不當等等原因有關。本節針對常見的地面雷射掃描儀量測誤差進行分類,並對各種類誤差可能來源加以分析(表1)。

1. 雜訊 (Noise)

雜訊是明顯與真實狀況不符的誤差,例如,本應空無一物的地方出現點雲、平 直的物體邊界點雲卻劇烈起伏。雜訊可能的來源是人為誤差,如掃描時人車經過、 儀器受外力撞擊或載台不穩震動影響等;另一常見來源為多路徑效應,通常於掃描 強反射物(如反射覘標、鏡面)、近距離掃描物體或掃描物體邊緣時發生,使儀器 接收到一個以上的回訊,導致可能產生錯誤的點雲。較大或明顯的雜訊通常可利用 人眼判斷或是設定點雲濾除門檻值消除,亦可透過多測站掃描法對物體進行重複觀 測,以利偵錯及消除錯誤。(Runne et al., 2001; 蔡漢龍, 2007; 吳建廷, 2013)

2. 隨機性誤差(Random Errors)

隨機性誤差是無法以系統性參數描述的誤差,其誤差大小與方向通常呈現偶然 性及不可預測性,誤差值無法被量測及校正,透過誤差傳播原理可以知道測距與測 角之隨機誤差會影響掃描點的儀器坐標系坐標。雖然地面雷射掃描儀無法針對單點 進行精密觀測,但可以利用廠商提供之測距、測角中誤差推估地面雷射掃描儀隨機 誤差的中誤差,此中誤差即反映儀器本身的定位能力。(賴志凱,2004; 蔡漢龍,2007; 曾義星等,2008; 吳建廷,2013)

3. 系統性誤差(Systematic Errors)

具有系統性變化或規律變化的誤差稱為系統性誤差,例如,掃描牆面時發現牆 面點雲整體向後平移 5mm 或理應平直的牆面點雲卻凹陷為圓弧狀,類似情形可以 判斷掃描結果含有系統性誤差。系統性誤差的最大來源為儀器誤差,多為儀器出廠 前未經過嚴謹率定、儀器出廠後長時間未送回原廠檢修或儀器受外力碰撞和其他因 素造成的儀器內部問題,導致儀器掃描結果含有系統性誤差存在,影響儀器定位精 度。

儀器的系統性誤差能利用合適的率定方法來確定,並能透過分析擬合出最貼近 誤差值變化的數學模型來加以改正,藉此提高觀測精度,設計合適的率定方法來推 算儀器的系統性誤差數學模型是本研究的重點。 林恒生、曾義星、彭淼祥、劉子安、蔡季欣、鄒慶敏: 地面雷射掃描儀系統校正:結合室外標準基線場與室內校正場

誤差類型	產生原因	改正方式
雜訊	人為操作不當、外力因素、多路 徑效應影響	利用人眼判斷或是設定點雲濾除 門檻值消除;利用重複觀測偵錯 及消除
隨機性誤差	雷射測距及測角的隨機性誤差傳 播	無法直接改正,可利用測距、測 角中誤差及公式推估大小
系統性誤差	儀器校正不完善或長時間未校正 影響、儀器受外力碰撞或其他因 素造成的儀器內部問題	儀器定期送原廠率定;利用數學 模型校正

表1 地面雷射掃描儀的誤差分類與誤差來源

三、 地面雷射掃描儀校正方法及程序

(一) 校正方法回顧

近年來,許多先進發表了有關地面雷射掃描儀校正的一系列論文,討論了地面 雷射掃描儀可能的誤差來源和相關改正參數(賴志凱, 2004; Institute, 2006; Gottwald, 2008; 曾義星等, 2008; J. C. K. Chow et al., 2013; J. C. K. Chow et al., 2013; Muralikrishnan et al., 2015),當然,還有許多其他針對評估地面雷射掃描儀系統性誤 差的研究未在此處被提及。通過蒐集、分析國內外文獻,吾人可以將常見的地面雷 射掃描儀校正方法歸納如圖 7,校正方法主要可分為兩大類,分別是通過個別系統 組件校正或整體考量系統校正來估計地面雷射掃描儀的量測偏差及減輕其對掃描 成果的影響。



圖 7 地面雷射掃描儀校正方法

在個別系統組件校正中,我們需分別檢測距離和角度量測系統中的誤差,除此 之外,還應檢測掃描儀是否具有其他由於機械缺陷或設計不良而引起的儀器誤差, 在這種情況下,還需考量其他外部因素,例如:將氣溫、氣壓等環境因子視為可能 的誤差來源,進行獨立檢測。在整體考量系統校正中,自率定法利用改正參數組成 數學模型來對地面雷射掃描儀的誤差建模,可分為具有幾何意義,在物理上可解釋 的改正參數;利用統計方法得到,在經驗上可解釋的改正參數,上述兩種參數被用 於建立掃描儀誤差的數學模型和校正掃描儀的量測成果,而所有改正參數都會在自 率定法計算過程中一次確定(D. D. Lichti, 2007; Ge, 2016)。

在個別系統組件校正中,檢測者需準確地了解各個系統組件及其各自對於地面 雷射掃描儀誤差的貢獻(Ge, 2016)。然而,各廠牌為了保護各自掃描儀的設計專利, 針對組件的設計與運作原理,能提供的資訊通常十分有限。此外,個別系統組件校 正通常需使用特殊的專用設備,例如辦理經緯儀角度校正,需專用的多管軸校正系 統或精密分度盤校正系統,而這對於大多數用戶而言並不容易獲得,更多有關利用 個別系統組件校正進行地面雷射掃描儀校正的信息,請參見(Schulz, 2008)。

而在整體考量系統校正中,用於建立系統性誤差模型和減輕地面雷射掃描儀量 測偏差的所有改正參數是在同一個校正過程中一起確定的,利用大量觀測量進行最 小二乘平差計算得到改正參數值,因此,與個別系統組件校正相反,了解掃描儀的 各個系統組件運作機制並分析其對於整體誤差的貢獻,在整體考量系統校正中並不 是那麼必要。當然,在進行整體考量系統校正前,吾人可以利用對掃描儀系統組件 運作機制的了解來設計具有物理幾何意義的改正參數來組成系統性誤差模型,並且 可以在校正期間通過分析最小二乘平差計算結果,進一步增加或移除改正參數來調 整系統性誤差模型。

因此,詳盡地探討地面雷射掃描儀可能具有的系統性誤差,除了可以避免個別 系統組件校正遺漏其他可能的誤差來源,更可以幫助完善整體考量系統校正的系統 性誤差模型,達到同時確定掃描儀的所有系統性誤差以及其他與系統性誤差相關參 數的效果。

(二)本研究校正方法

本研究經由前述國際上學理文獻蒐集與分析,提出可行的地面雷射掃描儀校正 方法理論及方法草案,詳細如圖8所示,關於校正項目可歸納包括:

- 利用室外標準基線場評估待校正儀器於測距方面是否有長距離(>30 m)或長 週期性誤差變化,如常數項誤差(常數誤差)、線性項誤差(尺度誤差)。
- 利用室內校正場評估待校正儀器於測距、測角方面的系統性誤差,並利用系統 性誤差改正參數建立誤差數學模型。
- 在自率定法平差計算中加入利用室外標準基線場測定的加常數C和乘常數S作 為測距方面的系統性誤差改正參數,作為約制使用,避免平差計算過度修正, 藉此增加自率定法使用之系統性誤差數學模型的合理性與準確性。

林恒生、曾義星、彭淼祥、劉子安、蔡季欣、鄒慶敏: 地面雷射掃描儀系統校正:結合室外標準基線場與室內校正場

地面雷射掃描儀混合模式校正方法			
本研究假設測距與兩個測角間誤差	個別系統組件校正(測距)		
獨立不相關 · 所以分別給予其獨立 的系統性誤差改正參數來描述地面	測距校正(室外標準基線場)	整體考量系統校正(測距、測角)	
雷射掃描儀的系統性誤差模式。 	-由於室內場地測距距離較短,為 了更準確地確定TLS於測距上的長 距離(>30公尺)或長週期性誤差 變化,基於ISO 17123-4:2012, 提出了一種使用電子距離測量 (EDM)標準基線場進行距離校 準的方法。	自率定法(室內校正場) -自率定法(Self-calibration)是 一種有效且被廣泛使用的TLS校正 方法,其將儀器的所有組件作為一 整體考慮,本研究並將測距校正計 算得到的加常數C與乘常數S加入自 率定法計算,達到更合理地分析和	

圖 8 地面雷射掃描儀校正方法

因此,完整校正流程依序為:室外標準基線場標準值量測→室外標準基線場地 面雷射掃描儀量測→室內校正場標準值量測→室內校正場地面雷射掃描儀量測→ 校正程式計算→成果報表,如圖9所示。



圖 9 校正程序示意圖

(三) 數學模型

1. 測距校正數學模型

參照 ISO 17123-4:2012 (ISO, 2012)電子測距儀校正方式,以地面雷射掃描儀掃描立於基樁上的校正標計算求得水平距離(待校地面雷射掃描儀量測距離 D_m),並利用比較法的方式,透過待校地面雷射掃描儀量測距離(D_m)與室外標準基線場標準距離(D_s)計算儀器誤差(器差 ΔD),再以器差(ΔD)為縱軸,基線場標準距離(D_s)為橫軸,並使用一元回歸方程式計算儀器的常數項(加常數 C)和線性項(乘常數 S)系統性誤差改正參數,利用 t 分佈確定加常數 C 和乘常數 S 在 95%信心區間內是否有效。

$$C = \frac{\sum D_s^2 \times \sum -\Delta D - \sum D_s \times \sum (D_s \times -\Delta D)}{n \times \sum D_s^2 - (\sum D_s)^2}$$
(6)

$$S = \frac{n \times \sum (D_s \times -\Delta D) - \sum D_s \times \sum -\Delta D}{n \times \sum D_s^2 - (\sum D_s)^2}$$
(7)

$$\Delta D = D_m - D_s \tag{8}$$

加常數C和乘常數S代表該待校地面雷射掃描儀於測距方面的常數項與線性項 系統性誤差是否顯著,亦可利用式(9)及式(10)計算待校地面雷射掃描儀量測距離校 正值(D_c)及校正後的剩餘誤差(V_d)。

 $D_c = D_m + (S \times D_m) + C \tag{9}$

 $V_d = D_c - D_s \tag{10}$

2. 自率定法數學模型

本研究參考國外文獻提出之方法(D.D.Lichti,2007; J.C.Chow et al., 2010)建置室 內校正場以評估地面雷射掃描儀器差以及測距、角度方面的改正參數。於室內校正 場全區布設反射校正標,再利用校正實驗室工作標準件(如全測站儀器)量測校正 標在物空間坐標系位置真值(*X_{ri}*,*Y_{ri}*,*Z_{ri}*,統整以Ref_i表示),再以待校件(地面 雷射掃描儀)掃描校正標計算得到校正標在物空間坐標系位置量測值 (*X_i*,*Y_i*,*Z_i*,統整以Mea_i表示),經由比對同一校正標兩者差值計算器差(Diff_i), 詳細計算敘述如下式。

$$Diff_i = Mea_i - Ref_i \tag{11}$$

以待校件地面雷射掃描儀掃描校正標,可得到校正標在儀器坐標系位置 (x_{ij}, y_{ij}, z_{ij}) ,而一般地面雷射掃描儀量測值可理解為測距觀測量 (ρ_{ij}) 與角度觀測量 $(\theta_{ij}, \alpha_{ij})$ 組成,故可將觀測式表示為(12)、(13)及(14),形成地面雷射掃描儀觀測方程式。

$$\rho_{ij} + v_{\rho_{ij}} = \sqrt{x_{ij}^2 + y_{ij}^2 + z_{ij}^2} + \Delta \rho_{ij}$$
(12)

$$\theta_{ij} + v_{\theta_{ij}} = \tan^{-1} \left(\frac{y_{ij}}{x_{ij}} \right) + \Delta \theta_{ij}$$
(13)

$$\alpha_{ij} + \nu_{\alpha_{ij}} = tan^{-1} \left(\frac{z_{ij}}{\sqrt{x_{ij}^2 + y_{ij}^2}} \right) + \Delta \alpha_{ij}$$
(14)

其中, $\Delta \rho_{ij}$ 、 $\Delta \theta_{ij}$ 、 $\Delta \alpha_{ij}$:系統誤差改正參數

本研究假設測距與兩個測角間誤差獨立不相關,所以分別給予其獨立的系統性 誤差改正參數來描述地面雷射掃描儀的系統性誤差數學模型,且部分的系統性誤差 數學模型無法以單一參數描述,故需以較複雜的改正參數組合來處理,例如以常數 項加上線性項改正參數的系統性誤差改正模型如下:

 $\Delta \rho_{ij} = a_0 + a_1 \times \rho_{ij} \tag{15}$

 $\Delta \theta_{ij} = b_0 + b_1 \times \theta_{ij} \tag{16}$

 $\Delta \alpha_{ij} = c_0 + c_1 \times \alpha_{ij} \tag{17}$

參數的選擇亦可以是更複雜的物理參數加上經驗參數,這種參數的選擇需經過 誤差模式分析來檢定各個參數的顯著性來決定,亦即先不要加入系統性誤差改正參 數進行平差,平差後分別分析三個原始觀測量之殘差分佈性質,再測試單一參數及 加入線性改正參數的校正成效。

3. 混合模式數學模型

十多年來,Lichti 和其他先進已發表了許多有關地面雷射掃描儀使用自率定法

進行校正的一系列論文(Derek D Lichti & Licht, 2006; D. D. Lichti, 2007, 2010a, 2010b; D. D. Lichti et al. 2011; J. C. K. Chow et al., 2013; Ge, 2016),驗證以自率定法進行測距、角度校正的可行性以及討論地面雷射掃描儀可能的誤差來源,但前述文獻多只針對某部特定儀器在特定條件下測試,且校正場地普遍設置於小於 30 m 之室內環境,測距距離較短,並無法評估地面雷射掃描儀於測距上的長距離(>30 m) 或長週期性誤差變化,因此本研究利用室外標準基線場(如圖 10 所示,其總長為 266 m)進行測距校正,分析儀器於 266 m內的測距誤差是否具有系統性變化,並計算常數項和線性項系統性誤差改正參數並將其加入自率定法計算,結合自率定法與測距校正,藉此嘗試讓校正成果能更合理且正確,詳細如下式。

$$\rho_{ij} + v_{\rho_{ij}} = \sqrt{x_{ij}^2 + y_{ij}^2 + z_{ij}^2} + \rho_0(C) + \lambda_\rho(S)\rho$$
(18)

$$\theta_{ij} + v_{\theta_{ij}} = \tan^{-1} \left(\frac{y_{ij}}{x_{ij}} \right) + \theta_0 \tag{19}$$

$$\alpha_{ij} + v_{\alpha_{ij}} = tan^{-1} \left(\frac{z_{ij}}{\sqrt{x_{ij}^2 + y_{ij}^2}} \right) + \alpha_0$$
(20)

其中, $\rho_0(C)$ 為測距常數項誤差改正參數(加常數), $\lambda_{\rho}(S)$ 為測距線性項誤差改正參數(乘常數), θ_0 為水平角常數項誤差改正參數, α_0 為垂直角常數項誤差改正參數。

四、實驗結果與分析

本研究選定內政部國土測繪中心辦公大樓前安全島黎明基線場(現為電子測距 儀校正場)作為室外標準基線場(圖 10),用來檢測地面雷射掃描儀於測距方面是 否有顯著的常數項、線性項改正參數或其它參數,該基線場之管理及維護係依內政 部國土測繪中心「內政部國土測繪中心電子測距基線場管理要點」規定辦理,每年 使用經國家度量衡標準實驗室校正合格之電子測距經緯儀檢測固定基座基線場,並 利用整體嚴密平差方程式,採用間接平差法進行最小二乘平差計算標準距離,詳細 過程可參閱(邱明全等,2007)。

而自率定法無需借助特殊設備即可執行,僅需一個具有適當大小的房間,本研 究選定內政部國土測繪中心黎明辦公區莊敬樓1樓辦公室作為室內校正場(圖11), 量測員需在室內校正場中從數個不同的測站位置和起始方向獲取校正標的重複觀 測點雲資料,該室內校正場校正標坐標值,是以Leica的全站儀(Leica TS09 PLUS 1")作為校正場的標準件來量測,全站儀量測方式以正倒鏡觀測取平均值,其中 校正標量測以無稜鏡模式進行,首先將全站儀架設於金屬樁 S1 位置,利用求心基 座定心定平後,於金屬樁 S4 架設反射稜鏡並利用求心基座定心定平,作為後視使

林垣生、曾義星、彭淼祥、劉子安、蔡季欣、鄒慶敏: 地面雷射掃描儀系統校正:結合室外標準基線場與室內校正場

用,藉此建立室內校正場的區域坐標系統,接著從T01 鋁擠型柱開始,由下而上量 測校正標(編號T011~編號T014),再以逆時鐘方向順序量測至T20 鋁擠型柱,依 序完成所有校正標與金屬樁的量測,完成金屬樁S1 掃描作業後,再重複此順序, 依序進行金屬樁S2、S3及S4,量測全部的校正標與金屬樁坐標,校正標之標準值 計算,採用最小約制自由網平差,以金屬樁S1 作為約制,將此4站(金屬樁S1~S4) 的角度與距離觀測量進行整體平差,計算各校正標之三維坐標。



圖 10 室外標準基線場示意圖



圖 11 室內校正場校正標分佈示意圖

	• • • • •				
赦 羊骨	較差量	較差量	較差量	較差量	較差量
秋庄里	平均值	標準差	絕對值平均(MAE)	最小值	最大值
dY (mm)	-9.0 × 10-12	0.6	0.5	-1.8	1.8
dX (mm)	-4.7 × 10-13	0.6	0.5	-1.8	1.8
dZ (mm)	-2.0 × 10-15	0.2	0.1	-0.8	0.6

表2 標準件量測校正標之坐標重複觀測精度評估

表 3 RIEGL VZ-400 規格

	儀器	RIEGL VZ-400
	平均掃描速度(meas./sec)	122,000
	有效距離(m)	600 m
102-100	水平視角範圍(°)	360°
	垂直視角範圍(°)	100°(+60°/-40°)
6	測距準確度*	5 mm @ 100 m

*Amm@Bm 代表儀器位於Bm的精度為Amm

以 Leica TS09 PLUS 1"為標準件量測校正標之坐標,在4 個校正基樁重複進行 測量,在平面方向的分析,由全數觀測進行整體平差,水平角度觀測量 306 筆,距 離觀測量 306 筆,平差自由度 452,平均多餘觀測量為 0.74,平差單位權 0.928; 關 於高程方向,觀測自由度為 221。

為了進行重複觀測的精度評估,分析單站觀測彼此間的再現性量測精度。在4個校正基樁重複測量,單個測站觀測的網型非常近似,可以單站平差獲得80個校正標的空間坐標成果,將4站全數觀測整體平差的坐標成果與4次單站測量成果相比對,可計算320組(Y, X, Z)的較差量,由較差量進行統計分析,統計量如表2所示。其中,較差量的標準差數值,其統計意義是校正標重複4次測量的再現性量測精度為平面0.6mm,高程0.2mm。

由圖 10、圖 11 得知,本研究使用之地面雷射掃描儀其有效距離需大於 266 m、 水平視角範圍需 360°、垂直視角範圍需於最短距離時可以涵蓋牆面(約 100°),由 表 3 可知,RIEGL VZ-400 的最大有效距離為 600 m,垂直與水平視角範圍亦符合本 研究實驗設計,本研究以 RIEGL VZ-400 地面雷射掃描儀於內政部國土測繪中心進 行實地量測作業,詳細操作流程如後所述。

(一) 測距校正量測

本研究參照電子測距儀校正方式,以地面雷射掃描儀掃描立於基樁上的校正標 計算求得水平距離,並利用比較法的方式,將求得水平距離與室外標準基線場標準 距離進行比較分析,以一元回歸方程式計算儀器的常數項(加常數C)和線性項(乘 常數S)系統性誤差改正參數,並進行統計測試。

室外標準基線場共設置 0 m、5 m、23 m、31 m、59 m、77 m、95 m、143 m 及 266 m 等 9 支樁, 掃描儀首先置於 0 m 站並定心定平, 分別於 5 m、23 m、31 m、59 m、77 m、95 m、143 m 及 266 m 等站架設校正標並觀測; 然後將儀器移設於 5 m 站並定心定平, 再向 23 m、31 m、59 m、77 m、95 m、143 m 及 266 m 等站架設校 正標並觀測, 共有 15 測站, 如圖 12 所示。

表 4、表 5 為測距校正的結果,上述 15 測站內共有 4 測站校正標偵測失敗,亦 即有效數據為 11 組,表 5 顯示了加常數 C、乘常數 S 以及基線標準距離 (D_s) 和 校正前後距離 (D_m, D_c) 之間的差異統計信息,藉此評估加常數 C 和乘常數 S 的 貢獻,詳細計算方式可參考三-(三)-1 章節。



圖 12 室外標準基線場 15 測站示意圖

	扒干 州 <u></u>	
測站	D_m - D_s	$D_C - D_S$
0 m_5 m	0.0064	0.0073
0 m_31 m	0.0071	0.0053
0 m_59 m	0.0034	-0.0013
0 m_77 m	0.0091	0.0026
0 m_95 m	0.0049	-0.0035
0 m_143 m	0.0139	0.0006
5 m_23 m	-0.0251	-0.0255
5 m_31 m	0.014	0.0127
5 m_59 m	0.0073	0.0031
5 m_77 m	0.0057	-0.0004
5 m_95 m	0.0069	-0.001

表 4 測距校正成果

-		
改正參數	,	值
加常數 C (mm)	1	1.4
乘常數 S (ppm)	-]	103
校正前後之差異統計	平均值	標準差
D_m - D_S (mm)	4.8	10.0
$D_{\boldsymbol{C}}$ - $D_{\boldsymbol{S}}$ (mm)	-0.009	9.1

表 5 測距校正統計信息

(二) 室内校正場量測

本研究以地面雷射掃描儀掃描設置於室內校正場的校正標計算求得三維坐標, 並利用比較法的方式,將求得的校正標坐標量測值與室內校正場校正標坐標標準值 進行比較分析。

室內校正場設置 S1、S2、S3 及 S4 等 4 支金屬樁,並沿牆面均勻布設 20 個鋁 擠型柱,柱上固定 4 個校正標,共有 80 個校正標,將地面雷射掃描儀依序架設於 室內校正場內金屬樁(S1~S4)上,利用求心基座定心定平後,分別面向東、南、 西、北方進行全景(最大掃描範圍)掃描作業,完成 S1 金屬樁掃描作業後,依序 進行 S2, S3,及 S4,每樁位觀測 4 次,共16 測站,如圖 13 所示。

將 16 測站掃描成果,進行坐標轉換與整體平差,可獲得 80 個校正標的物空間 坐標系 XYZ 坐標,進一步分別與校正標坐標真值相比對,得到儀器量測的器差數 值,表 6 乃以報表中 T013~T021 為例,列舉各軸向的器差部分數據

表 7 展示結合室外標準基線場與室內校正場混合模式校正的成果,意即將表 5 的加常數和乘常數作為改正參數加入自率定法計算,經軟體計算求得 80 個校正標 的坐標量測值,再與其校正標坐標真值相比對,得到每個校正標 XYZ 坐標值的器差,並進行均方根值計算,表 7 列出加入改正參數前後器差變化的相關數據,詳細計算請參考三-(三)-2、三-(三)-3 章節。

從數據可以看出,通過應用該方法的確可以為地面雷射掃描儀校正帶來正面的 影響,採用混合模式後,首先可以發現整體的器差是呈現變小趨勢,以整體器差計 算的均方根值也略為變小,再進一步將各軸向(XYZ)的器差分開計算,可以發現 除了高程(Z)方面外,平面(XY)的器差均方根值也是變小的。

96

林烜生、曾義星、彭淼祥、劉子安、蔡季欣、鄒慶敏: 地面雷射掃描儀系統校正:結合室外標準基線場與室內校正場



圖 13 室內校正場量測示意圖

表 6 1013~1021 各軸向的	分数据	Ŕ
--------------------	-----	---

校正標點名	坐標真值(m)	坐標量測值(m)	器差(m)
T013_X	201.38600	201.39237	-0.00637
T013_Y	4999.68200	4999.69230	-0.01030
T013_Z	1.56500	1.56312	0.00188
T014_X	201.39200	201.39769	-0.00569
T014_Y	4999.68400	4999.69141	-0.00741
T014_Z	2.08270	2.08282	-0.00012
T021_X	201.39600	201.39928	-0.00328
T021_Y	5000.53900	5000.54225	-0.00325
T021_Z	0.18840	0.19223	-0.00383

	未加入改正參數	混合模式
器差絕對值平均(m)	0.004054625	0.003997958
RMS 整體	± 0.00509	± 0.00506
RMS X (m)	<u>±0.00401</u>	± 0.00392
RMS Y (m)	± 0.00536	± 0.00505
RMS Z (m)	± 0.00574	± 0.00600

表7 混合模式校正成果

五、結 論

本研究為未來建立校正實驗室之先期研究,主要目標為驗證將自率定法結合個 別組件校正的混合模式可行性,校正場地已選定於內政部國土測繪中心,並以適當 的方式量測其標準值。

根據成果顯示,本研究參照 ISO 17123-4:2012 (ISO, 2012)電子測距儀校正方式 提出的地面雷射掃描儀測距校正,能有效估計加常數 C 與乘常數 S,經過改正後的 觀測距離與標準距離 (*D_s*)的差異平均值縮小為-0.009 mm。

混合模式初步測試結果,器差的絕對值平均與均方根值都呈現變小趨勢,可以 初步判定應用本研究提出之混合模式方法來對地面雷射掃描儀進行校正與系統性 誤差分析,的確可以為地面雷射掃描儀校正帶來正面的影響,通過計算結果可協助 使用者更謹慎地了解儀器目前量測品質,使用者可依計算結果評估是否該儀器需回 原廠檢校。

如前述,本研究為未來建立校正實驗室之先期研究,主要目標為驗證混合模式 的可行性,因此仍有許多待改進之處,例如:目前假設地面雷射掃描儀僅具有常數 項與線性項誤差,未來應依實際數據調整使用之數學模型,達到更精準分析系統性 誤差的效果;校正標中心目前採用軟體自動偵測,精度尚有待提高,避免不良觀測 量影響計算成果。

未來的研究方向,將以提升校正標中心自動偵測精度、測試更多不同廠牌地面 雷射掃描儀以及找到普遍性通用的系統性誤差改正參數組合為主,以達到未來實驗 室以本研究方法做為地面雷射掃描儀校正通解(general solution)的目標。

致謝

感謝內政部國土測繪中心「108 年度建立地面三維雷射掃描儀校正系統委託研究案」(NLSC-108-18)提供研究經費,並同意本團隊就研究成果內容製作視頻上傳至 YouTube 網站與各界分享(連結網址 <u>https://youtu.be/rFT1NUepBJU</u>)及投稿中華 民國地籍測量學會「國土測繪與空間資訊」期刊。

98

参考文獻

- 吴建廷(2013)。地面三維雷射掃描儀影響精度因子之研究。交通大學土木工程系 所學位論文,頁 1-161。
- 陳永寬, 詹進發, 葉堃生, 鄭祈全, & 施瑩瑄(2005)。應用地面雷射掃描儀測算樹 高之研究。Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 10,頁 327-336。
- 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:中華民國地籍測量學會會刊,27(1),頁 39-50。
- 蔡漢龍(2007)。地面光達幾何校正系統設計與實施。成功大學測量及空間資訊學 系學位論文,頁 1-90。
- 賴志凱(2004)。地面雷射掃瞄儀的精度分析與檢定。成功大學測量及空間資訊學 系學位論文,頁 1-101。
- Chow, J. C., Lichti, D. D., & Teskey, W. F. (2010). Self-calibration of the Trimble (Mensi) GS 200 terrestrial laser scanner. *Proceedings of the International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 38*, 161-166.
- Chow, J. C. K., Lichti, D. D., Glennie, C., & Hartzell, P. (2013). Improvements to and Comparison of Static Terrestrial LiDAR Self-Calibration Methods. *Sensors*, 13(6), 7224-7249. doi: 10.3390/s130607224
- Cuartero, A., Armesto, J., Rodriguez, P. G., & Arias, P. (2010). Error Analysis of Terrestrial Laser Scanning Data by Means of Spherical Statistics and 3D Graphs. *Sensors*, 10(11), 10128-10145. doi: 10.3390/s101110128
- Ge, X. (2016). Terrestrial Laser Scanning Technology from Calibration to Registration with Respect to Deformation Monitoring. Technische Universität München.
- Gottwald, R. (2008). Field Procedures for Testing Terrestrial Laser Scanners (TLS) A Contribution to a Future ISO Standard.
- Habib, A., Bang, K. I., Kersting, A. P., & Chow, J. (2010). Alternative Methodologies for LiDAR System Calibration. *Remote Sensing*, 2(3), 874-907. doi: 10.3390/rs2030874
- Institute, A. N. S. (2006). *Performance Evaluation of Laser-based Spherical Coordinate Measurement Systems*: American Society of Mechanical Engineers.
- ISO. (2012). ISO 17123-4:2012 Optics and optical instruments Field procedures for testing geodetic and surveying instruments Part 4: Electro-optical distance meters (EDM measurements to reflectors).
- Lerma, J., & García-San-Miguel, D. (2014). SELF-CALIBRATION OF TERRESTRIAL LASER SCANNERS: SELECTION OF THE BEST GEOMETRIC ADDITIONAL PARAMETERS. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 2*(5).
- Lichti, D. D. (2007). Error modelling, calibration and analysis of an AM-CW terrestrial laser scanner system. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *61*(5),

307-324. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2006.10.004

- Lichti, D. D. (2010a). A REVIEW OF GEOMETRIC MODELS AND SELF-CALIBRATION METHODS FOR TERRESTRIAL LASER SCANNERS. *Boletim De Ciencias Geodesicas, 16*(1), 3-19.
- Lichti, D. D. (2010b). Terrestrial laser scanner self-calibration: Correlation sources and their mitigation. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65(1), 93-102. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2009.09.002
- Lichti, D. D., Chow, J., & Lahamy, H. (2011). Parameter de-correlation and model-identification in hybrid-style terrestrial laser scanner self-calibration. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(3), 317-326. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2010.12.001
- Lichti, D. D., & Licht, M. G. (2006). Experiences with terrestrial laser scanner modelling and accuracy assessment. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci*, *36*(5), 155-160.
- Muralikrishnan, B., Ferrucci, M., Sawyer, D., Gerner, G., Lee, V., Blackburn, C., . . . Palmateer, J. (2015). Volumetric performance evaluation of a laser scanner based on geometric error model. *Precision Engineering-Journal of the International Societies* for Precision Engineering and Nanotechnology, 40, 139-150. doi: 10.1016/j.precisioneng.2014.11.002
- Runne, H., Niemeier, W., & Kern, F. (2001). Application of laser scanners to determine the geometry of buildings. *Optical*, 41-48.
- Schulz, T. (2008). *Calibration of a terrestrial laser scanner for engineering geodesy* (Vol. 96): ETH Zurich.

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、英文章篇名。
- 二、作者 (Author's Name):
 - 1. 包括中、英文作者姓名。
 - 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
 - ''在内。

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。
 - 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:
$$\hat{\mathbf{X}} = (\mathbf{A}^{\mathrm{T}}\mathbf{P}\mathbf{A})^{-1}\mathbf{A}^{\mathrm{T}}\mathbf{P}\mathbf{L}$$
 (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 第一位審查委 方式 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 本辨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)

周大親 逢甲大學土地管埋學	係
-----------------	---

- 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 陳國華 國立臺北大學不動產與城鄉環境學系
- 編 輯 陳鶴欽 內政部國土測繪中心
- 幹 事 張巧汶 國立臺北大學不動產與城鄉環境學系
- 發 行 人 洪本善

劉正倫

出版所 中華民國地籍測量學會 內政部國土測繪中心

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

第八卷第二期

民國一〇九年七月

Vol. 8, No. 2

July 2020

目 錄

CONTENTS

TWD97[2010]近十年成果檢測與國家框架之維護

Resurveying of the TWD97[2010] at the epoch of 2019.0 and the maintenance of a national reference frame

He-Chin Chen, Kwo-Hwa Chen, Yuen-Lung Jung, Hua-Wei Huang, Ray Y. Chuang, Ming Yang

臺灣水平地表變形模式精度分析與應用

王昱凡、陳國華......61

Accuracy Analysis and Applications of Taiwan Horizontal surface deformation model

Yu-Fan Wang, Kwo-Hwa Chen

地面雷射掃描儀系統校正:結合室外標準基線場與室內校正場

System Calibration of Terrestrial Laser Scanners by Using Range and Indoor Calibration Fields

Hsuan-Sheng Lin, Yi-Hsing Tseng, Miao-Hsiang Peng, Tze-An Liu, Ji-Shin Tsai, Ching-Min Chou