

空載光達校正系統之量測不確定度評估 — 以南崗校正場為例

Evaluating the Uncertainty in Measurement of LiDAR calibration system — Take the Nangang Calibration Facility as an example

許展祥¹ 黃英婷² 林昌鑑³

Chan-Hsiang Hsu¹ Ying-Ting Huang² Cheng-Jiann Lin³

摘要

空載光達可快速獲取大範圍地面三維點雲資訊，常伴隨中像幅攝影機廣泛運用於數值地形模型及正射影像製作，是建立三維智慧城市不可或缺的重要技術與設備。內政部國土測繪中心為確保空載光達產製之相關測繪成果品質，多年來積極研究空載光達校正技術及規劃校正制度，並在航空測量攝影機校正系統的基礎上完成空載光達校正系統的建置。

本中心106年於南投縣南崗工業區內建置空載光達校正場，為符合ISO/IEC 17025校正實驗室之能力要求，參考ISO GUM 1995量測不確定度評估指引，逐步分析空載光達校正系統中各項影響因子，經由辦理測試實驗或利用經驗估計等方法評估本校正系統之量測不確定度，以驗證本校正系統之量測能力，成果顯示校正量測不確定度遠低於空載光達產製數值地形模型精度之要求，證明本校正系統足以提供公正可信之校正結果。

關鍵字：空載光達、量測不確定度、南崗校正場、校正系統。

一、前言

大多數業者執行空載光達掃描任務前均會辦理自我率定，以求取視準角（Boresight Angles）、軸臂（Lever Arm）、……等參數，並同時利用前開參數計算所得之外部精度，以驗證設備之狀況；然所得結果係單方面之自我驗證，欲取得公眾信任，仍需經由具有國際標準追溯的校正流程及方法之校正實驗室，提供第三方公正的驗證成果。

有鑑於此，為提供國內空載光達設備具公正第三方之驗證結果，爰積極研發相關校正技術，除以ISO/IEC 17025校正實驗室之能力要求為目標外，更透過評估校正系統之不確定度，驗證系統的校正能力。

¹內政部國土測繪中心地形及海洋測量課 課員

²內政部國土測繪中心地形及海洋測量課 技正

³內政部國土測繪中心地形及海洋測量課 課長

二、空載光達校正系統概述

(一) 空載光達校正系統架構

本校正系統採用野外校正 (In-Situ Calibration) 方法，整體架構包含空載光達校正場、工作標準件、待校件及資料處理端等。其中校正場位於南投縣南崗工業區內，選定4個矩形平屋頂之建築物做為校正物，並計算屋頂各端點坐標之算術平均值為標準參考值；工作標準件為量測前開校正物坐標使用之衛星定位儀及電子測距經緯儀；待校件即顧客送校之空載光達系統；資料處理端包含量測分析使用之軟硬體及校正作業人員。



圖 1 空載光達校正場及校正物

本校正系統使用具追溯性之設備，其校正追溯至本中心測量儀器校正實驗室電子測距儀、經緯儀及衛星定位儀校正項目，而前開校正項目標準件又追溯至國家度量衡標準實驗室，進而追溯至國際標準，空載光達校正追溯性如圖2。

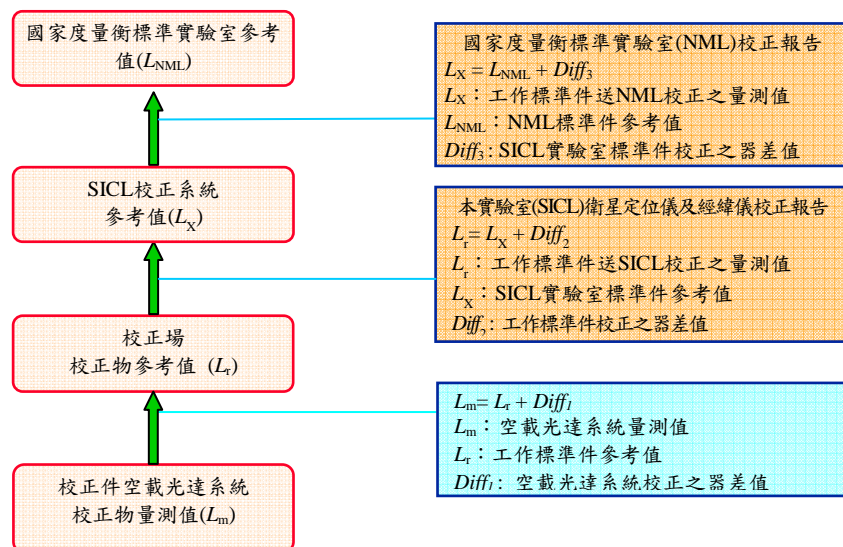
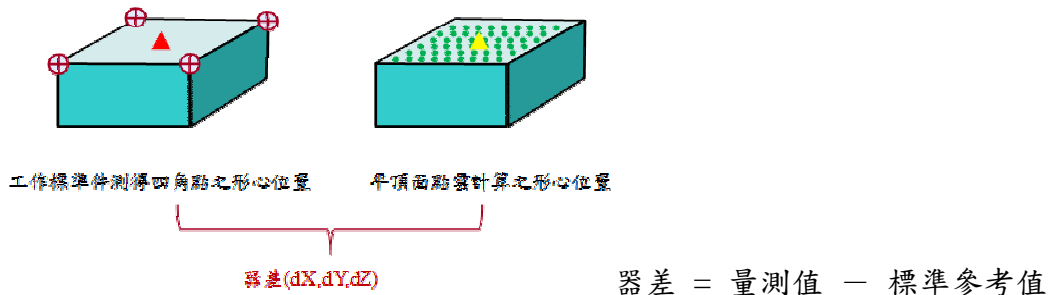


圖 2 空載光達校正追溯性示意圖

(二) 空載光達校正步驟

校正步驟分為三部分，包含取得標準參考值、取得量測值及計算分析校正結果。標準參考值為矩形平屋頂4個屋角點之算術平均值，先在校正場內設置基準點，藉由靜態衛星定位測量取得基準點坐標，續使用電子測距經緯儀以前開基準點為基站觀測取得校正物之屋角坐標。至於量測值取得部分，則由本中心校正人員處理分析顧客送校之空載光達掃描成果（已完成航帶平差），以人工方式篩選校正物上之點雲，計算點雲三維坐標之算術平均值，以取得校正物量測值。校正結果則以器差的方式呈現：



完成器差計算後，依據本校正系統不確定度評估方式，計算於信賴水準95%之擴充不確定度，則出具校正報告。

三、量測不確定度評估

參考ISO GUM 1995量測不確定度評估指引，本校正系統量測不確定度計算分析分為建立量測方程式、找出影響因子之最佳估計值及其靈敏係數、評估影響因子之標準不確定度、評估各項影響因子間的相關性、計算組合標準不確定度及計算擴充不確定度等6個步驟。

本校正系統之校正結果器差值之量測方程式如下：

$$Diff_1 = L_m - L_r, \quad u(Diff_1) = \left(u(L_m)^2 + u(L_r)^2 \right)^{1/2}, \quad Diff_1: \text{器差值}, L_m: \text{量測值}, L_r: \text{標準參考值}。$$

其中 $u(L_r)$ ，包含網形控制點誤差 $u(L_{CT})$ 、基準點誤差 $u(L_{BS})$ 、校正物量測誤差 $u(L_{TS})$ 、屋頂平坦誤差 $u(L_{Flat})$ ； $u(L_m)$ ，包含待校件誤差 $u(L_{LD})$ 、人為篩選誤差 $u(L_{filter})$ 。

本校正系統使用RIEGL-Q780空載光達為校正件進行實驗，使用其106年1月20日飛行掃描成果進行評估及計算各項來源誤差之估算值，並以偏微分方式計算其靈敏係數，最後以誤差傳播理論組合前開所有誤差來源即為組合標準不確定度 $u(Diff_1)$ ，並依Welch-Satterthwaite公式計算自由度。

$$u(Diff_1)_{NE} = \left(\begin{aligned} &u(L_{CT-NE})^2 + u(L_{BS-NE})^2 + \frac{u(L_{TS-NE})^2}{4} + u(L_{Flat-NE})^2 \\ &+ \frac{u(L_{LD-NE})^2}{n} + u(L_{filter-NE})^2 \end{aligned} \right)^{1/2} = 61.3 \text{ mm}$$

$$u(Diff_1)_h = \left(u(L_{CT-h})^2 + u(L_{BS-h})^2 + \frac{u(L_{TS-h})^2}{4} + u(L_{Flat-h})^2 + \frac{u(L_{LD-h})^2}{n} + u(L_{filter-h})^2 \right)^{1/2}$$

$$= 21.4 \text{ mm}$$

根據評估計算結果，本校正系統之量測不確定度如表 1 所示，在平面方向為 61.3 mm，其有效自由度為 186，高程方向為 21.4 mm，其有效自由度為 328；利用有效自由度計算信賴水準 95% 之涵蓋因子 k，平面方向之涵蓋因子為 1.97，高程方向之涵蓋因子為 1.97。擴充不確定度計算方式為 $U = k \times u(Diff_1)$ ，則平面方向之擴充不確定度為 120.9 mm，高程方向之擴充不確定度為 42.11 mm。依 ISO GUM 1995 建議之量測不確定度表示方式是取有效位數 2 位，則平面方向量測不確定度為 120 mm，高程方向量測不確定度為 43 mm。

表 1 空載光達校正系統之校正與量測能力

擴充不確定度 U	涵蓋因子 k	信賴水準 p %	有效自由度
平面：120 mm 高程：43 mm	平面：1.97 高程：1.97	平面：95 % 高程：95 %	平面：186 高程：328

四、結論

分析上述計算結果，並參考內政部「107 年度 LiDAR 技術更新數值地形模型成果檢核與監審工作案服務建議徵求書」內對於空載光達平面精度標準及高程精度標準，取其地形及植被覆蓋參數均為 0 的情況下，平面精度要求為 0.5 m，高程精度要求為 0.25 m。另依財團法人全國認證基金會「測試與校正結果規格符合性之陳述方式」中指出，量測不確定度相對於指定區間（平面及高程精度要求）之比例為 1：3。本文評估結果平面方向不確定度為 0.12 m，小於平面精度要求之 1/3（0.5 m / 3 = 0.167 m）；且高程方向不確定度為 0.043 m，小於高程精度要求之 1/3（0.25 m / 3 = 0.083 m），證明本校正系統足以為空載光達設備提供符合國內測繪標準之第三方公正驗證結果。

參考文獻

- 內政部，2018。107 年度 LiDAR 技術更新數值地形模型成果檢核與監審工作案服務建議徵求書。
- 財團法人全國認證基金會，2016。測試與校正結果規格符合性之陳述方式，TBF-CNLB-G04(3)。
- ISO/IEC, 2008. ISO/IEC GUIDE 98-3 Uncertainty of Measurement : Part 3: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM 1995) , First edition.
- ISO/TS, 2016. ISO/TS 19159-2 Geographic information - Classification and validation of remote sensing imagery sensors and data - Part 2: Lidar, First edition.