

地面雷射掃描儀測距校正及系統性誤差分析

黃瓊茗¹、林烜生²、鄒慶敏³、蔡季欣⁴、彭森祥⁵、曾義星⁶

摘要

地面雷射掃描儀（或稱為地面光達）能有效率地取得高精度的地物三維資料，掃描資料包含了測距以及測角資料，若是在測距或測角方面出現誤差，這些影響經過誤差傳播之後最終會反映在點雲的三維坐標精度，目前提出的校正方法大多以儀器整體的系統性誤差做評估，較少針對個別量測組件（測距、測角）進行評估及校正，故本研究針對眾多組件中的雷射測距做測距校正以及系統性誤差分析。雷射測距，不需要稜鏡即可量測距離，此處參考電子測距儀的測距校正方法進行測距校正，以器差探討測距精度，並透過器差計算系統性誤差評估儀器是否存在常數項誤差以及線性項誤差。另外，為了消除偏心誤差提出了兩種不同的比較法，第一是直接計算器差；第二則是比較不同站之間待校件量測距離之差以及不同站之間標準距離之差，分別為稱為模式一與模式二。本研究選用內政部國土測繪中心的黎明基線場作為實驗場地，此場地提供標準基線。最後以模式一與模式二分別計算出兩組改正參數，結果發現該儀器確實可以透過線性項與常數項來描述測距系統的系統性誤差，兩種模式皆能改正儀器誤差，而模式一能更有效地改善成果。

關鍵字：地面雷射掃描儀、地面光達、測距校正

壹、前言

地面雷射掃描儀（地面光達）使測繪業在作業上更加便利與效率，且現今應用層面十分廣泛，包括了考古學、土木工程、變形監測等等皆可以使用，而自動化的掃描能讓使用者快速取得三維資料，然而這樣複雜的整合式儀器若是在出廠時廠商無嚴謹的校正，亦或是出廠後儀器長時間使用以及搬運或碰撞等等外力介入，容易造成儀器內部存在著系統性誤差，而經過誤差傳播後則影響點雲的坐標精度，因此需要定期將儀器送回校正或使用者自己確定誤差來源並改正。（曾義星等,2008）地面光達的量測包含了一個距離量測以及兩個角度量測（水平、垂直）（林烜生等,2020），本研究參考電子測距儀的測距校正方法，希望能夠針對距離量測做校正以及系統性誤差分析。另外，因地面雷射掃描儀的組件較為複雜，不確定儀器定義的中心以及雷射發射中心位置是否相同，故比較法又將分為兩種模式進行分析。本研究的目的是針對地面雷射掃描儀的雷射測距做測距校正，並進行系統性誤差分析。探討儀器的器差（ $\Delta D = D_m - D_S$ ， D_m ：待校件量測距離， D_S ：標準距離）以及偏心誤差，是否存在著系統性的誤差，並利用線性項以及常數項的改正參數加以改正。

¹ 國立成功大學測量及空間資訊學系，碩士生

² 國立成功大學測量及空間資訊學系，碩士生

³ 內政部國土測繪中心，技正

⁴ 內政部國土測繪中心，簡任技正

⁵ 工業技術研究院，資深研究員

⁶ 國立成功大學測量及空間資訊學系，教授

貳、研究方法

將地面雷射掃描儀設為待校件，以內政部國土測繪中心的黎明基線場作為校正場地，黎明基線場共有 0m、5m、23m、31m、59m、77m、95m、143m、266m 共九支樁（圖 2-1），並由國土測繪中心提供標準距離（ D_S ）。將儀器分別設置於樁位 0m 上，依順序掃描樁位 5m、23m、31m、59m、77m、95m 的校正標；接著在樁位 5m 上設置待校件，並依順序掃描樁位 23m、31m、59m、77m、95m 的校正標，共 11 個測站（如圖 2-1），待校件掃描完校正標並計算可得到待校件水平量測距離（ D_m ）。（內政部國土測繪中心,2015(a)；內政部國土測繪中心,2015(b)；康寧凱等,2017；林烜生等,2020）

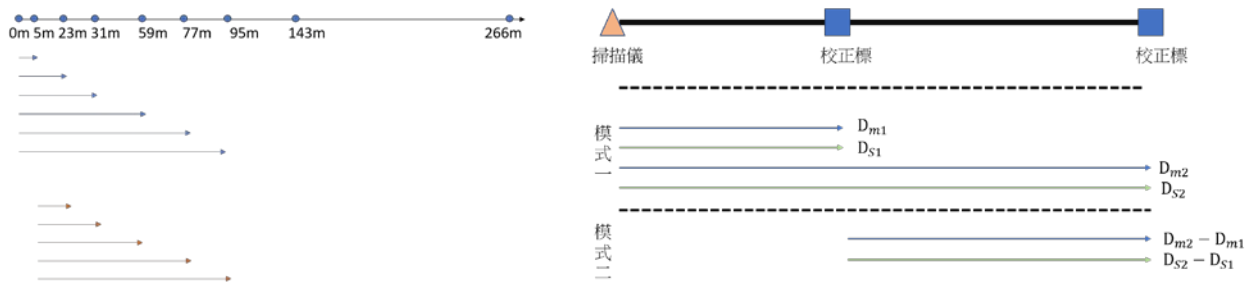


圖 2-1 黎明基線場樁位及掃描示意圖（左）比較法模式一、二示意圖（右）

掃描完成取得數據並經過距離計算後，使用兩種不同的比較法（圖 2-1），第一是直接計算器差（ $\Delta D = D_m - D_S$ ， D_m 待校件量測距離， D_S ：標準距離）（康寧凱等,2017）；第二則是比較不同站之間待校件量測距離之差（ $D_{m2} - D_{m1}$ ）以及不同站之間標準距離之差（ $D_{S2} - D_{S1}$ ），用以消除偏心誤差，分別為稱為模式一與模式二，接著分別對兩種模式透過一元線性回歸分析方法，以器差以及標準距離作為兩軸，利用式(1)及式(2)計算線性項（ S ）以及常數項（ C ）的改正參數，最後加入改正參數進行系統性誤差的校正、觀察兩種模式加入改正參數後的成果並且進行系統性誤差的分析。

$$C = \frac{\sum D_S^2 \times \sum -\Delta D - \sum D_S \times \sum (D_S \times -\Delta D)}{n \times \sum D_S^2 - (\sum D_S)^2} \quad (1)$$

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

$$\Delta D = D_m - D_S \quad (3)$$

計算後的常數項與線性項可利用式(4)及式(5)計算測距校正值（ D_C ）以及校正後的剩餘誤差（ V_d ）。（林烜生等,2020）

$$D_c = D_m + (S \times D_m) + C \quad (4)$$

$$V_d = D_c - D_s \quad (5)$$

參、實驗與成果

本研究選用市面上常見之三台地面雷射掃描儀（表 3-1）作為待校件，將待校件設置於樁位 0m 上並定心定平，並將待校件設為原點，利用最大範圍對環境快速掃描，接著針對第一個校正標（5m）框選範圍進行較高密度（點雲間距小於 2 公分）掃描，重複此步驟依序掃描其他樁位 23 m、31 m、59 m、77 m、95 m 的校正標（圖 3-1）；接著在樁位 5m 上設置待校件並定心定平，同樣依順序掃描樁位 23 m、31 m、59 m、77 m、95 m 的校正標，共 11 個測站。此步驟需要注意校正標是否會被遮蔽或缺漏、待校件是否保持定心定平。掃描檔案的命名為（觀測站樁_校正標站樁.las），例如由 0m 掃描 5m，則該檔名為（0m_5m.las）。

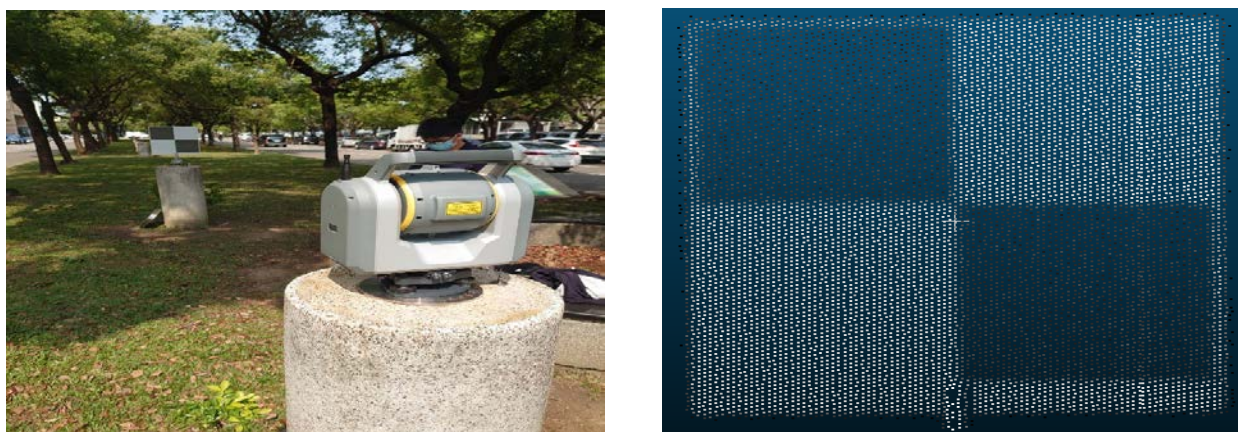


圖 3-1 黎明基線場樁位及掃描圖（Trimble SX10）（左）掃描成果（右）

掃描完成後使用免費開源軟體 CloudCompare 開啟點雲檔案（.las）進行檢查，並透過標心偵測以及點雲坐標計算可以得到水平量測距離（ D_m ）（表 3-2），其中因為點雲品質不佳或是變形無法辨識的標面的計算距離則以 NULL 表示。

表 3-1 廠牌型錄比較

廠牌	RIEGL	FARO	Trimble
型號	VZ-400	S350	SX10
有效距離	600 m	350m	600m

(m)				
測角精度 (°)	垂直	N/A	0.0053°	0.0014°
	水平	N/A	0.0053°	0.0014°
水平視角範圍 (°)		360°	360°	360°
垂直視角範圍 (°)		100°(+60°/- 40°)	300°(+150°/ -150°)	300°
測距準確度		5mm@100m	1mm@10m	2.5mm@100m

*A mm@B m 表示於B m處其精度約為A mm

表 3-2 掃描成果

測站	FARO S350	Trimble SX10	RIEGL VZ- 400	標準距離 $D_s(m)$
	量測距離 $D_m(m)$			
0m_5m	5.0003	5.0012	5.0003	4.9980
0m_23m	23.0269	23.0331	23.0355	23.0285
0m_31m	30.9891	30.9940	30.9898	30.9890
0m_59m	59.0176	59.0188	59.0126	59.0147
0m_77m	NULL	77.0188	77.0207	77.0187
0m_95m	95.0104	NULL	95.0163	95.0187
5m_23m	18.0286	18.0314	18.0272	18.0304
5m_31m	25.9904	25.9921	25.9943	25.9900
5m_59m	54.0090	54.0162	54.0181	54.0166
5m_77m	NULL	72.0208	72.0180	72.0204
5m_95m	90.0061	90.0210	90.0186	90.0205

肆、分析

由掃描成果(表 3-2)來看可發現 77m 標面無法辨識而 95m 可以,推測掃描時可能受到風的影響造成標面掃描時的晃動使點雲成果無法偵測到標面。利用上一節的掃描數據可以計算線性項與常數項改正參數,並將原數據加入改正參數可利用式(4)計算測距校正值(D_C)進行改正,再比較原數據 D_m 以及校正後數據 D_C ,接著觀察成果,(表 4-1)透過表可以發現原數據-標準值($D_m - D_S$)的平均值與校正後數據-標準值($D_C - D_S$)的平均值的變化,只有 Trimble SX10 的模式二成果無明顯改善,其他成果則顯示加入線性項與常數項改正參數後能夠有效的改善測距精度。兩種模式均能改善測距精度,但仔細觀察模式一與二可以發現模式一的校正後數據-標準值($D_C - D_S$)的平均值較小,以及($D_C - D_S$)標準偏差改善成果較明顯。另外可從表中注意到,同款儀器的兩種模式比較中,兩者線性項與常數項改正參數不同,尤其在常數項改正參數較明顯,推測或許存在偏心誤差,但若是以本實驗三台待校件改正成果的合理性而言,關於偏心誤差的系統性誤差改正是沒有必要性的。由上述可知本次實驗三台地面雷射掃描儀中的雷射測距部分確實都存在著系統性誤差,而且可以用線性項以及常數項描述。

表 4-1 模式一與模式二加入改正參數前後比較

	FARO S350	Trimble SX10	RIEGL VZ-400
模式一			
觀測數量	9	10	11
S_1 (ppm)	137	15	-2
C_1 (m)	-0.0030	-0.0028	-0.0009
$D_m - D_S$ 平均值(mm)	-3.1	1.7	1.1
$D_m - D_S$ 標準偏差(mm)	4.5	1.8	3.1
$D_C - D_S$ 平均值(mm)	0.0	0.0	0.0
$D_C - D_S$ 標準偏差(mm)	2.7	1.4	3.1
模式二			
觀測數量	7	8	9
S_2 (ppm)	139	10	26
C_2 (m)	-0.0014	-0.0006	-0.0028
$D_m - D_S$ 平均值(mm)	-4.6	-0.2	1.3
$D_m - D_S$ 標準偏差(mm)	4.4	1.3	3.5
$D_C - D_S$ 平均值(mm)	-0.9	-0.3	-0.1
$D_C - D_S$ 標準偏差(mm)	5.3	1.2	3.8

伍、結論

地面雷射掃描儀為整合性儀器，包括伺服馬達、電腦、雷射測距儀以及反射稜鏡，掃描時包含了一個距離量測以及兩個角度量測，透過這些掃描數據能夠計算出點雲的三維坐標，因此不論是距離或是角度的量測，若存在著誤差則會直接影響到三維坐標的精度，本研究則針對其中的雷射測距儀做距離量測的校正，以及其系統性誤差的分析。參考電子測距儀的測距校正方法，利用器差評估精度，接著利用線性項以及常數項的改正參數評估系統性誤差，同時進行改正與分析。除了模式一的直接比較器差以外，由於地面雷射掃描儀的儀器內部零件相當複雜、各家廠商製造的儀器內裝也不一，無法確定是否每台儀器的雷射測距儀的雷射發射中心是否與儀器中心一致，若兩者中心位置不一致則測距結果會存在著固定的常數項誤差，而該誤差可以透過站與站之間的結果相減抵銷。故加入了模式二比較不同站之間待校件量測距離之差 ($D_{m2} - D_{m1}$) 以及不同站之間標準距離之差 ($D_{S2} - D_{S1}$)。

透過表 3-1 可以發現本實驗所使用的三台地面雷射掃描儀宣稱的有效量測距離都遠大於實驗最大距離 (95m)，但仍發生了因標面無法辨識而無法計算距離的情況，除了掃描時可能因為風的影響而造成標面晃動不穩以外，還有該儀器雖然可以掃描到資料，但資料的穩定性或許存在疑慮，故使用者應針對不同情況選用不同的地面雷射掃描儀。

關於三台待校件儀器的雷射測距儀，藉由模式一二的成果，發現儀器確實存在著系統性誤差，並且可以透過線性項以及常數項的改正參數做校正。另外，一開始提到雷射發射中心與儀器中心可能不一致導致測距結果會存在著常數項誤差，由站與站之間相減則可以抵銷，所以額外加入模式二做驗證。由分析結果來看，模式二透過加入改正參數後的成果並沒有直接比較的模式一的成果還要好，所以在這邊認為此三台待校件的儀器沒有加入模式二的改正參數做校正的必要。但若未來加入其他儀器作為待校件，欲進行地面雷射掃描儀的測距校正以及系統性誤差分析，仍可以使用本研究所提出的兩種模式做驗證。

致謝

感謝內政部國土測繪中心「109 年度建立三維雷射掃描儀校正系統作業案」提供研究經費及投稿台灣地理資訊學會年會暨學術研討會。

參考文獻

1. 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。
2. 林烜生；曾義星；彭森祥；劉子安；蔡季欣；鄒慶敏 (2020)。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。
3. 內政部國土測繪中心，2015(a)，「電子測距儀校正作業程序」，SICL-3-01-0。
4. 內政部國土測繪中心，2015(b)，「電子測距儀校正系統評估」，SICL-3-01-1。
5. 康寧凱；陳聖彥；邱明全；王敏雄 (2017)。全站儀免稜鏡測距校正量測不確定度評估之研究。