



文獻導讀

利用LidarSLAM技術進行公共測量手冊

作者：國土交通省國土地理院

減災監測組 鄭偉成

114年3月4日

原文連結：<https://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/public/lidarslam/index.html>

譯文檔案查詢：<https://tech.ardswc.gov.tw/api/File/2046>



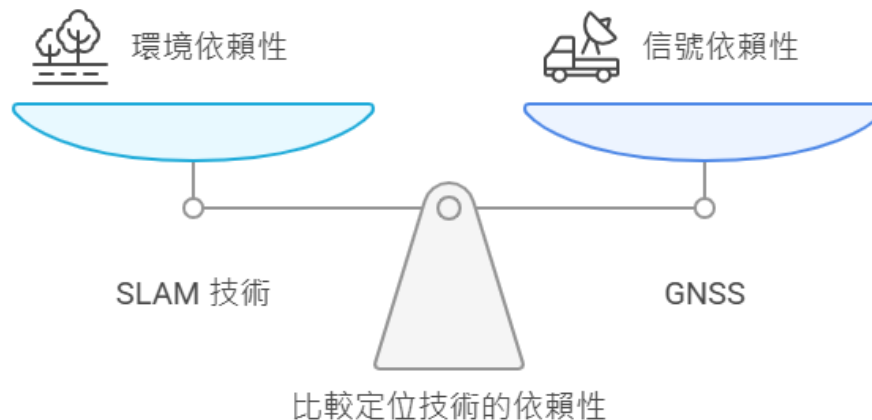
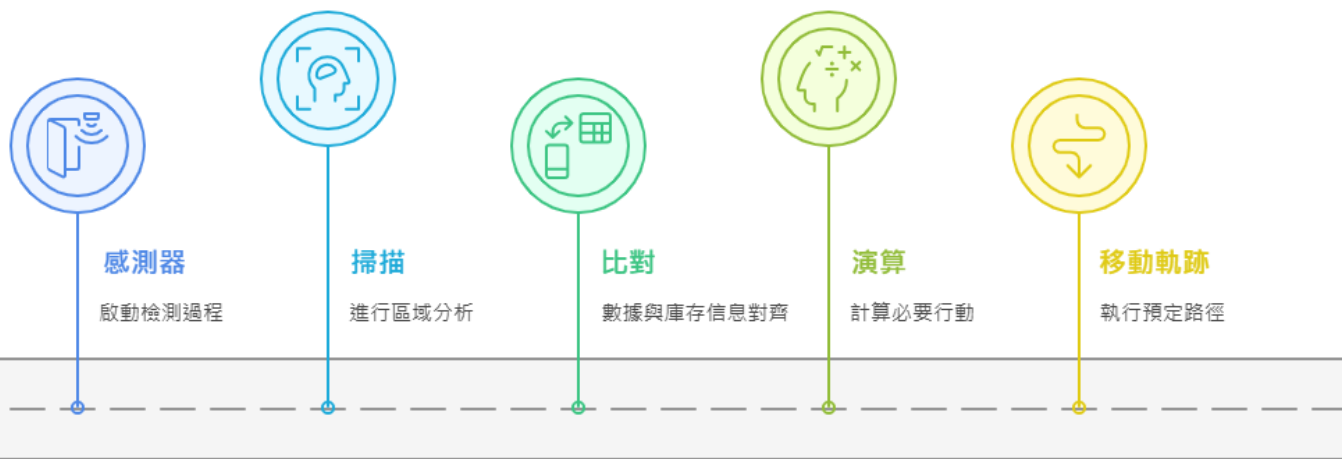
SLAM系統的運作原理

同步定位與地圖建置技術

SLAM技術透過車載或手持感測器(如Lidar、相機、IMU等)，在移動過程中即時掃描周圍環境並建立地圖，系統透過比對連續掃描或影像特徵，推算出自身位置與姿態的變化，進而得出穩定的移動軌跡

不仰賴外部定位

SLAM技術無需仰賴GNSS，而是依據感測器觀測到的環境特徵進行定位，因此特別適用於室內、地下或任何GNSS信號不足的場域





傳統Lidar系統

定位與測距分離

傳統車載或空載的Lidar系統，先利用GNSS取得精確的自身位置，再根據Lidar測量到的目標物與自身的距離及角度，計算出目標物的絕對坐標



獲取GNSS位置

系統獲取精確的GNSS位置

測量距離和角度

LiDAR系統測量到目標的距離和角度

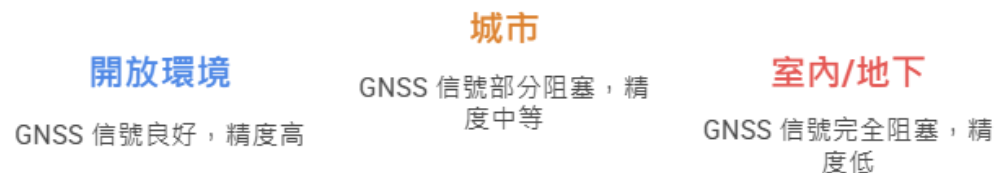


計算絕對坐標

計算目標的絕對坐標

依賴外部參考

GNSS訊號良好能達到高精度，但若GNSS訊號受阻(例如城市、室內或地下環境)，其定位精度大幅降低





LidarSLAM與傳統系統的主要差異

運作方式不同

LidarSLAM：移動中不斷更新自身位置，同時掃描環境並提取特徵，透過比較特徵來估算位置變化與建立地圖

GNSS+Lidar：先依賴GNSS獲取自身位置，再利用Lidar測距計算目標物的位置，兩者是分開進行的



LidarSLAM

在GNSS受限的環境中實時定位和地圖繪製



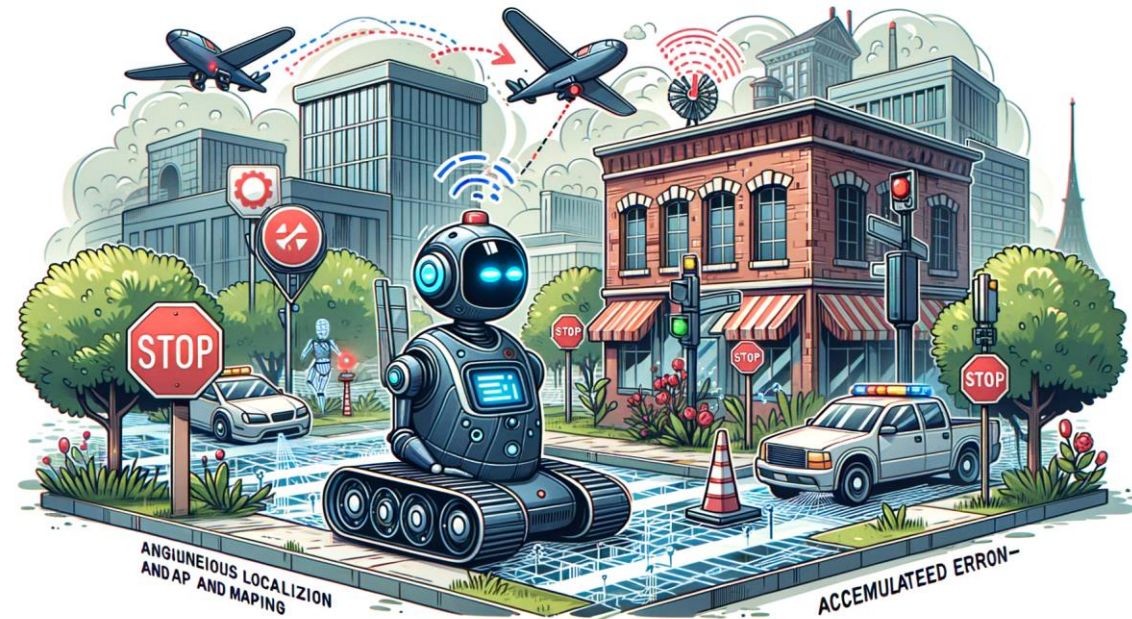
GNSS+Lidar

在GNSS信號良好的環境中分開定位和地圖繪製

SLAM最大的問題：累積誤差？

回環檢測的作用

系統經過已探索的位置，回環檢測會識別出並強制將兩次位置設定為相同，校正之前累積的誤差，提高地圖的準確性和一致性





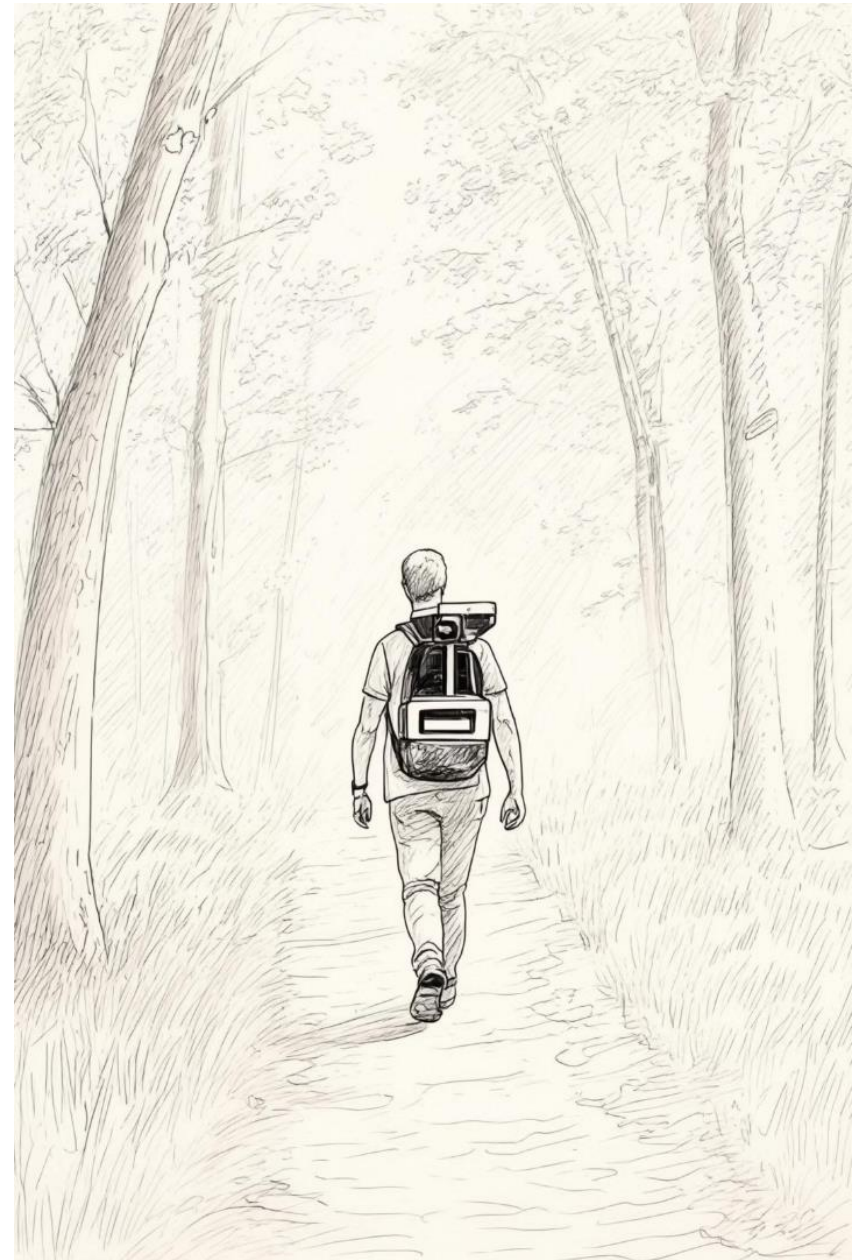
手冊目的與範圍

目的

提供LidarSLAM技術測量作業的操作指引，
確保測量成果的質量與精度

範圍

手持或背負LidarSLAM設備進行的測量作業，
並不包括使用GNSS定位的LidarSLAM設備





手冊結構

總則

LidarSLAM測量的基本原則與要點

1

作業規格的制定

作業機關依據規格書，訂定具體作業方法，包括測量範圍、控制點與驗證點的設置、數據處理方式，確保成果符合規範

2

3

原始數據點檢測量

確保測量成果的準確性，需進行點檢測量

4

5

6

成果需求規格書

規劃機關須明確訂定成果內容、品質、精度要求，避免重測，包含成果項目、點雲密度、精度及過濾項目

原始數據作成

測量完成後，會產生原始點雲數據，這些數據是後續成果的基礎，可用來製作地形圖、等高線等地理資訊

其他成果數據作成

根據點檢測量後的數據，生成符合需求的成果，如網格數據或數值地形圖



測量成果需求與精度定義

首先，為什麼要明確規定成果需求與精度？

1. 精度過高，浪費時間與成本
2. 精度不足，無法達成使用目的

測量前必須根據測量目標決定所需的成果種類，避免重測與資源浪費

1. **原始數據**：指處理所取得數據而作成之三維點雲數據，以及不只地表面而且包含建物與樹木高度的原始計測數據
2. **大地數據**：原指原始數據過濾後作成的地表面三維點雲數據
3. **網格數據**：指大地數據內插補間所作成的網格高程數據
4. **等高線數據**：指以大地數據作成數據之中相同高度地點連成線者
5. **數值地形圖**：是一種基於**原始數據**進行視覺化處理的地理資訊表達方式，通常搭配**現地調查**、**數值編輯與補測**來完善數據品質，**純粹表現等高線的數據**不屬於數值地形圖，因為等高線只是地形的概略表示，未必能反映地形的完整細節



點雲密度設定原則

利用目的

需求點雲密度(標準值)

作成大地數據

10 ~ 100點/m²

作成網格數據(網格間隔0.5m)

大於9點/m²

作成網格數據(網格間隔1.0m)

大於4點/m²

作成等高線數據(1: 500)

大於9點/m²

作成等高線數據(1: 1000)

大於4點/m²

作成數值地形圖(1: 500)

大於400點/m²

作成數值地形圖(1: 1000)

大於100點/m²

放樣測量

大於1點/0.01m²(0.1m×0.1m網格)

開工測量

大於1點/0.25m²(0.5m×0.5m網格)

依利用目的調整

平坦地點：高密度點雲可能過剩

道路/構造物調查：需保持高密度數據

大地數據指標

超過10~100點/m²時，可推估植被(如樹木、灌木等)對於測量結果的干擾或影響相對較小



測量成果的精度

利用目的

水平位置

高程

大地數據

未規定

0.1m(標準偏差)

網格數據

未規定

0.1m(標準偏差)

等高線數據

未規定

0.1m(標準偏差)

數值地形圖(1:500)

0.15m(容許範圍)

0.2m(容許範圍)

數值地形圖(1:1000)

0.3m(容許範圍)

0.3m(容許範圍)

放樣量測

XYZ小於 $\pm 0.05m$
(容許範圍)

XYZ小於 $\pm 0.05m$
(容許範圍)

開工測量

XYZ小於 $\pm 0.1m$
(容許範圍)

XYZ小於 $\pm 0.1m$
(容許範圍)

水平精度

計算點雲中控制/驗證點的實測坐標與參考值間誤差

高程精度

在平坦地點設置控制/驗證點
以各點水平位置為圓心，劃出半徑大於需求點雲密度5倍的圓，計算該圓內點雲高程平均值或分佈，與已知高程比對

容許條件

可採用標準偏差、最大誤差值，或兩者併用，確保達到預定精度要求



LidarSLAM組成與功能

雷射剖面儀

作為LidarSLAM系統的核心，負責測量距離與數據存儲

- 快速且精確地測量環境中的距離
- 持續掃描周圍環境，透過雷射光測量物體的相對位置
- 室內、地下或戶外場景雷射剖面儀都能提供高精度測量結果



分析軟體

- 負責處理雷射剖面儀收集的測距數據，並根據掃描方向與位置資訊，進行自主定位與地圖建置
- 組成點雲模型，進而產生三維環境資訊





作業規格的制定

1

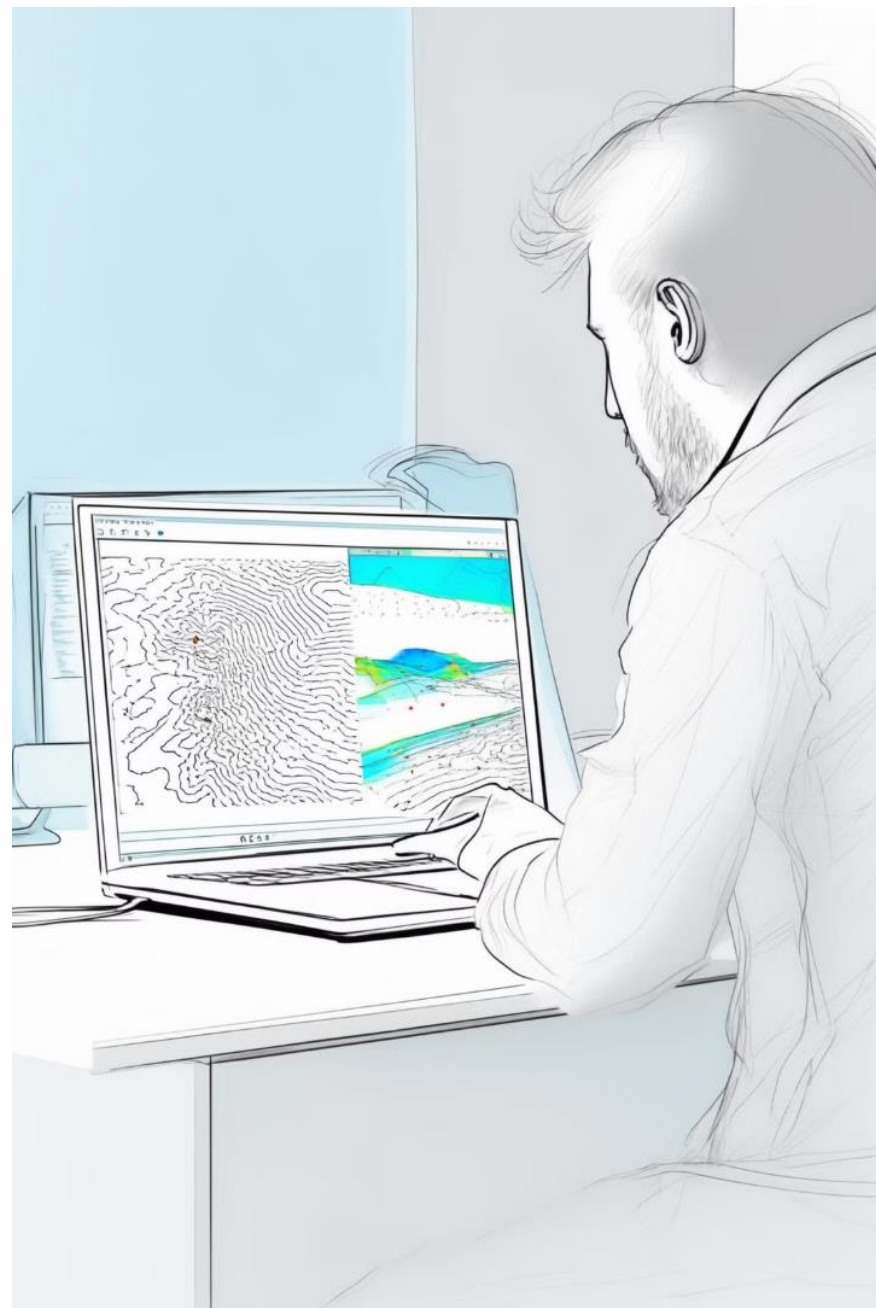
根據測量需求制定作業規格，包括路徑長度、計測時間、移動速度等條件

2

累積誤差影響LidarSLAM精度的重要因素，尤其在長距離測量或長時間計測時，累積誤差會逐漸加大，影響點雲模型的準確性

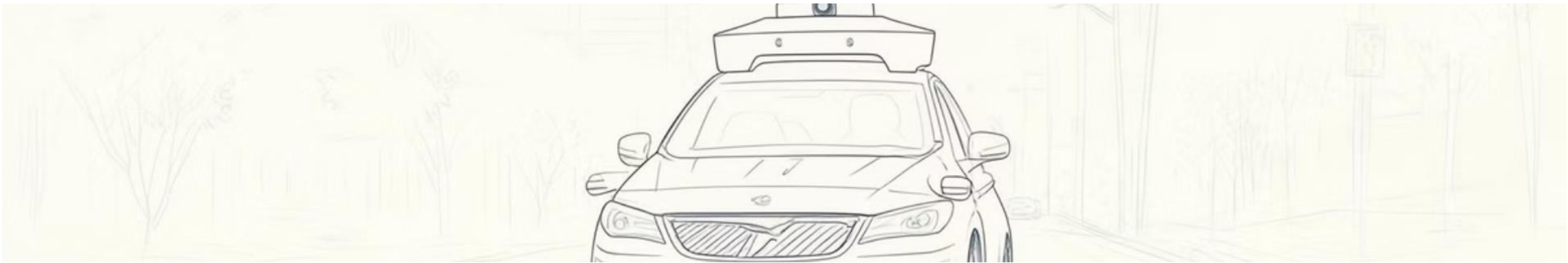
3

透過試驗驗證規格設定是否滿足需求，在不同條件下進行測試，如不同的路徑長度與計測時間，分析點雲模型的精度是否達標





LidarSLAM測量路徑與環境規劃



開始LidarSLAM測量前，需要制定完善的**移動路徑**和**計測規劃圖**，確保測量範圍和品質

1

控制累積誤差，建議**起始點和結束點相同**，**避免重複經過同一路段**，以減少誤差累積
移動速度應符合需求的點雲密度

2

選擇合適的測量路徑，**避免車輛、行人頻繁的路段**，以及**因風搖晃的樹木**等干擾因素

3



控制點與驗證點設置原則



至少設置**4個控制點**
，覆蓋整個計測範圍
，選在路徑起終點及
路徑上、點雲密度充
分的位置



驗證點數量需超過控
制點的**1/2**，並與控
制點分開設置，**優先**
設在精度可能不足的
區域，例如控制點間
隔長區中央或路徑突
出位置



可使用**標誌板、反射膠**
帶等方式設置控制點和
驗證點，可在**點雲中清**
楚辨識的地物





LidarSLAM測量位置與點雲密度注意事項



測量位置通常位於計測者胸高，與地面距離較近，因為雷射發射原理是從此位置放射激光覆蓋周邊環境

距離測量路徑較遠的控制點，點雲密度會降低，可能難以確認標誌中心，需注意標誌設置位置和點雲密度之間的關係





點雲中控制與驗證點標誌要求

基準位置

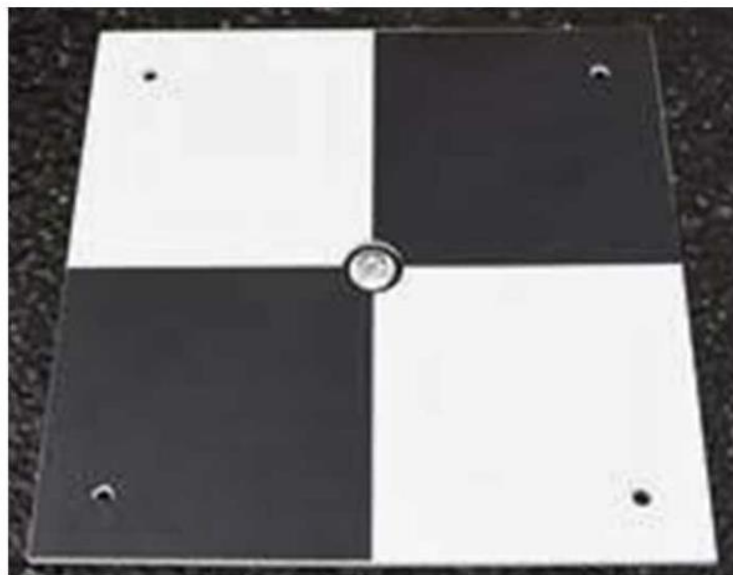
標誌應設於點雲中控制點及驗證點的基準位置，確保標誌位置準確反映點雲模型中的坐標

材質

標誌材質須能反射LidarSLAM發射的雷射光，以便雷射測距儀能準確捕捉到標誌位置信息

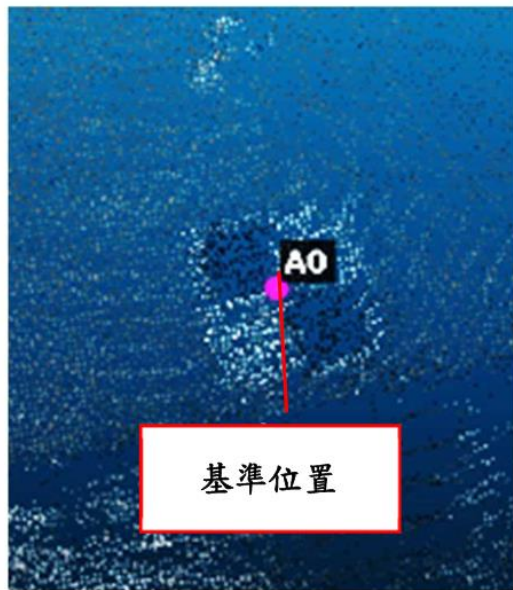
可辨識性

點雲中應能清楚讀取標誌的大小與形狀，以便分析軟體能準確識別並定位標誌





黑白標誌基準定位與配置

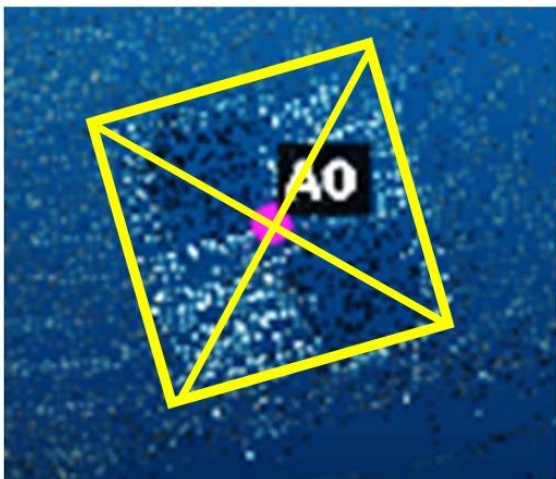


反射強度

利用反射強度確認基準位置，黑白標誌的反射強度不同，方便軟體識別並定位標誌中心

圖形

採正方形圖形，並以對角線交點作為標誌中心，方便軟體精確識別標誌中心



對齊

須先確認點雲與影像對齊，避免走位，確保標誌位置準確反映在點雲模型中



控制點與驗證點精度要求

1

精度標準

控制點和驗證點的水平位置標準偏差需 < 0.1 公尺，高程標準偏差需 < 0.1 公尺，確保點雲模型的精度

2

高精度要求

當原始數據精度需達 0.05 公尺內時，應採用TS點設置控制點及驗證點，以滿足更高的精度需求



計測操作注意事項與數據處理定義

穩定計測：

事先查明交通與氣象狀況，避免車輛通行及強風搖晃環境，必要時調整計測時間與路徑

避免機器快速上下移動，計測者不應突然轉身或改變行進方向
確保取得足夠點雲密度，以便確定控制點與驗證點

數據處理定義：

指從搭載在機器上的雷射測距裝置提取數據，進行分析處理後
轉換到平面直角坐標系





點雲數據處理與密度驗證要求

1

處理

處理後的點雲需依規格給予**水平坐標、高程、反射強度、顏色**資訊等屬性，並整合成原始數據

2

原始數據

原始數據**不得內插處理點雲密度**，確保數據的真實性和可靠性

3

驗證

根據需求規格，以**一定間隔的平面網格**劃分原始數據，以每格內的數據點數目驗證密度，**不納入水面及其他不適用區域**





點檢測量地點與原始數據格式要求

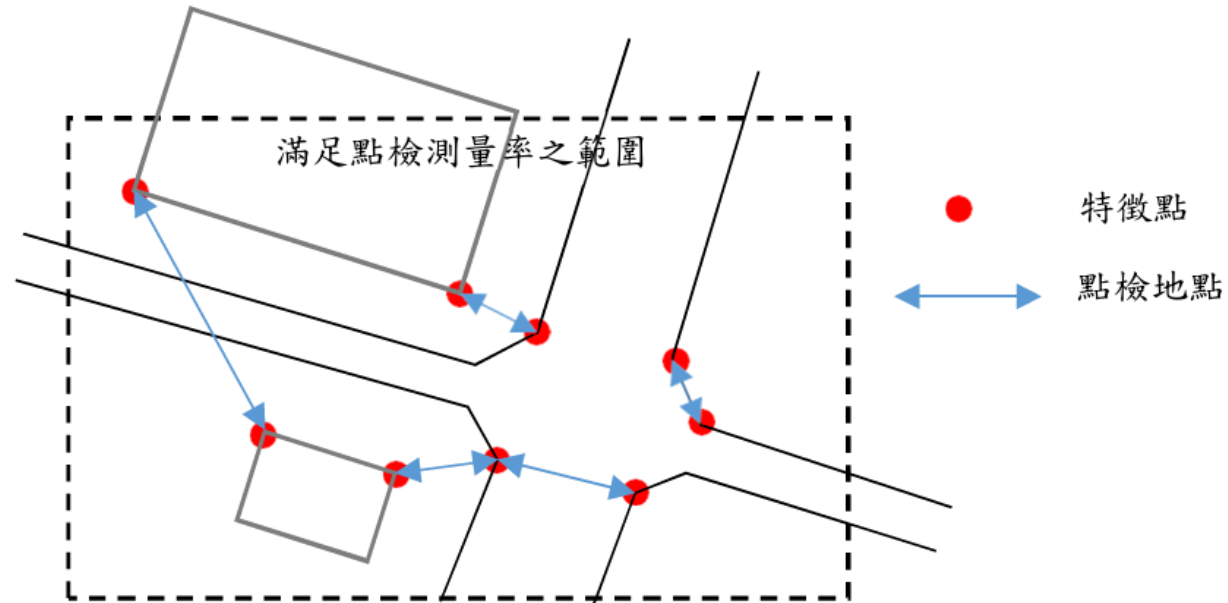
點檢測量地點舉例：

在路緣及建物特定點進行點檢測量

原始數據格式：

三維點雲坐標一般以文字檔(CSV或TXT)保存

考量數據利用工具多樣性，提供LAS檔案更佳





植生下方地物點雲密度與補測要求

LidarSLAM優勢之一是能夠穿透植生，獲取植生下方的地物資訊

1. 點雲密度難以預測，某些情況下仍可能無法完整獲取植生下地物
2. 當測區內出現點雲密度不足或遮蔽影響時，應採用補測策略：

- A. 調整掃描角度與距離，以獲取更完整數據
- B. 輔助搭載不同感測器(如雙雷射或多角度掃描)





結語

無需依賴GNSS，適用範圍廣

SLAM技術能在無法使用GNSS的環境(如室內、地下)進行精準定位與建圖

多感測器融合提升準確度

透過LiDAR、相機、IMU等感測器的結合，SLAM可獲取更豐富的環境資訊，提高定位與建圖的穩定性

精度受環境與測量條件影響

計測時須考量移動速度、路徑規劃及環境變數(如遮蔽、光線變化)，以降低累積誤差

點雲數據處理影響成果品質

點雲密度、數據格式與標誌設置等因素決定最終成果的精度與可用性，需依測量需求調整

適當補測確保數據完整性

若點雲密度不足或受遮蔽影響，應採取補測措施，以確保數據品質符合應用需求



報告完畢 敬請指教



農業部農村發展及水土保持署
與您一起打拼