

# 南投縣政府 112 年度研究報告

## 以智慧型手機光達系統輔助地籍測量實地界址辨識應用評估—以草屯鎮地籍圖重測區為例

研究人

服務單位：草屯地政事務所

研究人員：李金輝、梁崇智、曾冠凱

中華民國 112 年 2 月 12 日

# 南投縣政府 112 年度研究報告摘要表

研究報告名稱	以智慧型手機光達系統輔助地籍測量實地界址辨識應用評估—以草屯鎮地籍圖重測區為例
研究單位及人員	草屯地政事務所：李金輝、梁崇智、曾冠凱
研究起迄年月	111年6月-111年12月
研究緣起與目的	<p>本研究是應用 iPhone 12 Pro 智慧型手機的光學雷達掃描儀 (LiDAR) 功能，其最遠偵測距離為 5 公尺，透過雷射光反射回來的資訊，結合主鏡頭相機圖像資訊，對於現況界址三維模型建構而言，掃描的點雲資料具相當價值性。不僅能夠細緻的記錄物體表面，如牆壁、圍牆、柱子等細部的形狀特徵，更能夠輔助地籍圖重測時，對於測量及地籍調查時現場界址的記錄及判讀。</p>
研究方法與過程	<p>本研究所使用的 LiDAR 掃描影像處理步驟，其方法敘述如下：</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1、前置作業：擬定計畫並選擇辦理區域及需掃描物件，掃描過程中盡量避免改變到周圍光源，同時注意是否有其他光源影響。</li><li>2、開始掃描：在掃描過程中，手機並非是固定不動的，必需對物件特徵或對稱造型做不規則面向之移動。掃描器與物件保持在適當的距離(5M)內，同時確認物件在感光元件的範圍，調整好後即可開始掃描。</li><li>3、拼接及合成：掃描後會得到的多幅點資料需要經過拼接整理，一般拼接方式為特徵拼接。</li><li>4、網格化及補洞：得到 LiDAR 掃描的點資料之後需要進行“網格化”，也就是將所有的點資料連結成三角網格來呈現物體的立體形狀。掃描得到的儲存格式為(stl)三角網格資料及(obj)網格模型</li></ol>

	<p>檔兩種，stl 檔與 3D 列印是相同的格式。</p>
<p>研究發現與建議</p>	<p>研究發現：經以上研究結果顯示，應用智慧型手機 LiDAR 3D 掃描在輔助地籍圖重測時，對於現況測量特徵記錄及地籍調查時現場地物的存檔及判讀具相當幫助。</p> <p>另外根據我們對現場數值採集技術發展的回溯以及對感測器所集成的現場測試而言，很明顯此技術在現場工作的數值化轉型已趨成熟，智慧型手機的這項功能在野外採集方面，將來會成為不可或缺的輔助工具。</p> <p>研究建議：照片的位置和方向要達到令人滿意的模型配準，則需要只有專業人員才能完整呈現這方面的優勢，因為需要進行精細的模型後處理，但若進行此次的模型採集，可以說已達到了成熟的階段。</p>
<p>選擇獎勵</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> 行政獎勵                      <input type="checkbox"/> 獎勵金</p>

# 以智慧型手機光達系統輔助地籍測量實地界址辨識應用評估—以草屯鎮地籍圖重測區為例

## Use a smartphone LiDAR System Aided Cadastral Survey Evaluation of Field parcel Identification Application—Taking Caotun Town resurvey of cadastral map Area as an Example

\*李金輝                      \*\*梁崇智                      \*\*\*曾冠凱  
Chin Hui-Lee              Chung Chin-Liang              Kuan Kai-Ching

### 摘要

光達是近年來逐漸被應用在測繪發展上的一種遙感探測技術，其原理是透過光感測與物體之間的距離，感測方式概分為閃光（Flash）和掃描（Scanning）兩種。依目前市面所販售的智慧型手機來看，iPhone 手機是推動 3D 感測在市場中的主要機種。

本研究是應用 iPhone 12 Pro 智慧型手機的光學雷達掃描儀（LiDAR）功能，其最遠偵測距離為 5 公尺，透過雷射光反射回來的資訊，結合主鏡頭相機圖像資訊、動作感測與新版 iOS、iPadOS 深度結合，然後搭配手機晶片處理，進而解析環境特徵並得出場景資訊。

經研究結果顯示，對於現況界址三維模型建構而言，掃描的點雲資料具相當價值性。不僅能夠細緻的記錄物體表面，如牆壁、圍牆、柱子等細部的形狀特徵，更能夠輔助地籍圖重測時，對於測量及地籍調查時現場界址的記錄及判讀。

關鍵字：光達、遙感探測、3D 感測、地籍圖重測

# **Use a smartphone LiDAR System Aided Cadastral Survey Evaluation of Field parcel Identification Application—Taking Caotun Town resurvey of cadastral map Area as an Example**

## **Abstract**

LiDAR is a remote sensing technology that has been gradually applied in the development of measurement in recent years. Its principle is to sense the distance between the object and the object through light. In terms of smartphones currently sold in the market, the iPhone is the main model driving 3D sensing in the market.

In this study, the Light Detection and Ranging function of the iPhone 12 Pro smartphone is applied. The maximum detection distance is 5 meters. The information reflected by the laser light is combined with the main lens camera image information, motion sensing and The new version of iOS and iPadOS is deeply integrated, and then processed with the mobile phone chip to analyze environmental characteristics and obtain scene information.

The research results show that the scanned point cloud data is of considerable value for the construction of the 3D model of the current situation parcel. Not only can it meticulously record the shape features of the surface of objects, such as walls, fences, pillars, etc., but also assist resurvey of cadastral map, record and interpret the site boundary during measurement and cadastration investigation.

Keywords:Light Detection and Ranging(LiDAR) 、 remote sensing 、 3Dsensing 、 resurvey of cadastral map

# 壹、研究源起與目的

## 一、研究源起

在傳統上的地球科學領域中，地形測量需要高額的設備投資、精細的流程、複雜的員工培訓和廣泛的數據處理。近年來，帶有光學感測器的無人機已經大大降低了獲取地球表面高分辨率數據集的成本。儘管如此，與地形測量相關的成本和複雜性仍然很高。

2020 年 Apple Inc 發布了帶有新型內置 LiDAR 感測器的 iPhone 12 Pro。在這裡，我們研究了 LiDAR 感測器的基本技術能力，並在今年度草屯鎮地籍圖重測區進行了相關數據比較。LiDAR 感測器可創建邊長  $> 10\text{cm}$  的小物體的精確高分辨率模型，絕對精度為  $\pm 1\text{cm}$ 。總體而言，處理的多功能性超越了我們預期限制，使智慧型手機 LiDAR 功能可成為遙感技術的經濟有效替代品，並且更能應用於廣泛的地理科學領域和測繪領域。

人類在日常生活中，充斥著許多與空間資訊有關之訊息，如坐標、位置及相鄰關係等。地籍測量是測繪科技之母，一般傳統的測繪任務當然是測量計算並登記土地使用的範圍及權利。但隨著社會需求變化以及地區特性的演進，地籍測量也應隨着歷史在進步。

如今智慧型手機的普遍性，加上感測器技術的進步，為科學應用以及在測繪應用降低了許多成本。於此同時也開創了許多新的可能性，這也使得相關研究學者們都在思考著，能否應用新型的測繪業務技術來輔助繁重的測量的工作。

本研究著眼於地籍圖重測區，在現況測量或調查時，現場地物是多樣的，尤其是地籍調查，現況的紀錄尤其不易。往往現場界址曲折變化，一趟通知幾十筆現況回來後之整理，更是對我們記憶上的一大考驗！雖然一般情形下，可以隨身的智慧型手機方便拍照即可，但有更多的時候照片是無法呈現出物

體細微及真實樣貌的，就以彎折點為例，照片資料就比較無法在辦公室內如親臨現場般一目了然。另外本研究更期望此方法能更快速且自動化的完成物體的幾何量測，同時又能達到快速及一致性的需求。因為以 3C 為基礎的影像處理系統日漸普及，有關數位資訊的解析力大幅提升而價格也大眾化。使得於此相關處理系統漸漸吸引了許多國內外的相關研究學者，來進行此一領域的研發。

## 二、研究目的

地面測量或調查完竣後，只有留下邊長、方向等片段記錄，或是現場繪製的草圖等原始資料。如果日後發現任何疑問，也很難由它們追查得出來當初系統誤差發生於何處。如果沒能於第一時間處理完善，環境已變遷及地物改變，則更不可能重新還原。因此應用可隨身攜帶的智慧型手機 LiDAR 感測器所記錄呈現的每一特徵不再僅是若干圖形而已，而是還包括它們三維的位相關係、彼此地上物間位相關係等等。

由於網路與通訊技術的發展，21 世紀是將是資訊的世紀，尤其是空間資訊絕對是的社會主要需求。因為原始三維影像檔案可以永久保存。日後無論什麼時間發現任何疑問，都可隨時調閱出來審閱，並還原出最原始相貌。另外歷年累積的三維影像也是很有價值的歷史文件，可供國土利用及地球科學分析加值等運用。

因此本研究係衡量前揭種種因素，以今年度草屯鎮將軍段重測區為例，依現況測量及調查資料為藍圖，以 iPhone 12 Pro LiDAR 功能為研究工具，以智慧型手機 LiDAR 功能分析其空間差異性。

## 貳、相關理論及文獻探討

### 一、相關理論

光達是近年來一個越來越受重視的新光學遙感探測技術，對於三維模型

技術的建製而言，經由 LiDAR 掃描產生的點雲資料具相當價值。其不僅能細緻地描述建物表面，如牆壁、圍牆、柱子等細部的物件特徵，更由於點雲資料為一群離散的三維坐標點群，因此在產生三維建物模型前，必須有適合的應用軟體作為輔助。

LiDAR 代表的是「Light Identification Detection And Ranging」，利用光來探測以及判斷距離；而 LiDAR 與「雷達」聽起來很像，而且都是針對周遭環境進行掃描，不過 LiDAR 是利用光束掃描，而「雷達」則是利用無線電波掃描，所以兩者還是有所差別。其主要功能是用來偵測並分析現實世界中物體或環境的形狀（幾何構造）與外觀資料，此外 LiDAR 與雷達的不同之處在於其準確性。高階的地面 LiDAR 感測器可以偵測到 100 公尺範圍的物品細節，精細的程度甚至可以達到釐米的等級。

LiDAR 掃描儀的用途是建立物體幾何表面的點雲（point cloud）資料，這些點可用來插補成物體的表面形狀，越密集的點雲可以建立更精確的模型。三維掃描儀可類比為照相機，它們的視線範圍都呈現圓錐狀，資訊的蒐集皆限定在一定的範圍內。兩者不同之處在於相機所抓取的是顏色資訊，而三維掃描儀測量的是距離。

由於運用智慧型手機 LiDAR 掃描的範圍有限，因此常需要變換掃描器與物體的相對位置，也就是說在掃描的過程，智慧型手機與物體之間的相對位置是非固定的，必須是以物體為中心而手機上下或左右划掃的方式移動。經過多次的掃描以拼湊物體的完整模型，其原理是將多個片面模型整合起來的技術，其中更涉及多種三維比對（3D-matching）的技術及方法。

## 二、文獻探討

Stefano Tavani 等地質學者於(2022 年，Earth-Science Reviews，第 227 卷)所提出的理論基礎中，說明智慧型手機內置的感測器，應用其強大的

計算能力改變了傳統地質野外工作，並且正在這領域的數值平台上，作為角色轉變及進步提供地球科學家收集和共享多模態多維度的現場數採集的方式。他們使用 iPhone 12 Pro 的 LiDAR 掃描功能，以其感測器技術來做現場的採集和進行的廣泛現場測試，結果智慧型手機所能提供的功能及幫助，在現場能做到如同地質學家的傳統錘子一樣不可或缺。

然而，在某些情況下，所生成的 3D 模型可能會被認為過於粗糙，無法進行細部特徵的比對。特別是在表面重建的保真度對分析至關重要的情況下，但對於以 iPhone 12 Pro 感測器現場採集技術發展測試而論，很明顯的應用於地質現場工作的數值化轉型已趨成熟，智慧型手機此功能在野外採集這方面也變得越發成熟。

### 參、研究範圍與方式

#### 一、研究範圍

本研究區範圍之選定，主要是考量該地區正辦理數值地籍圖重測區，有數值測量成果，再搭配該測區經界物現況資料，以及地籍調查資料。以上可供分析比較測繪結果，其主要目的是希望以較具明確及客觀性之現況資料，來分析樣本輔助的可行性，因此選定草屯鎮將軍段(重測後為新將軍段)為本次試驗區。



圖 1 本實驗區研究範圍圖

## 二、研究方式

本研究為有效運用地籍圖重測區地籍調查現況，並選定今年辦理地籍圖重測之地段，以透過實量方式，先經過現場地籍調查地物現況資料，再以智慧型手機 LiDAR 掃描功能，將調查及測量現況掃描成 3D+AR 立體模型，以上逐一對應地號建檔後，用以輔助並分析對於現場地籍調查及現況測量記錄地物形狀並輔助內業整理。

每當我們應用智慧型手機 LiDAR 掃描後，為能方便同時達到現場相片定位技術，本研究使用育陞科技開發之「PadGis 全方位土地管理系統」來輔助施行，如此方能將 Gis 整合性效益發揮至最大。



圖 2 現場 3D+AR+相片定位

LiDAR 掃描其主要使用目的在於能夠將實際物體的立體型態數位化，然後再轉換為電腦能直接處理的檔案類型。也就是說可以將現實世界存在的物體立體型態可視覺化，不僅在工業製圖需求、科學研究、地理資訊系統、文物數位典藏、現場地形地物踏勘、數據分析等領域都能帶來許多的便利性。傳統的 3D 量測在取得物件尺寸的手段上只有透過游標卡尺測量，受到了不少

傳統技術的限制，另由於 3D 掃描技術的發展，目前科技已經可透過探測或光學掃描來取得物件表面 3D 資訊來達到量測目的。

使用 LiDAR 3D 掃描來比喻為 2D 平面的照相機，都是有範圍性的，其最大不同之處在一個是收集色彩，一個是取得相對距離的資訊。目前市場上比較常見的 3D 掃描技術多達數十種，其技術因精度高、量測速度快等優勢，在製造業已廣泛採用。LiDAR 3D 掃描是由光學模組投影特定形式圖案至待測物體上後，由於圖案會因物體的立體形狀而改變形狀，藉由感光元件判讀圖案變化程度進行三角量測後得到物體表面各個點與掃描器之間的空間位置。

而本研究所使用的 LiDAR 掃描影像處理步驟，其方法敘述如下：

#### (一)、前置作業部分

首先先擬定計畫並選擇辦理區域及需掃描物件，掃描過程中盡量避免改變到周圍光源，同時注意是否有其他光源影響。

#### (二)、開始掃描

在掃描物件時，由於光學掃描的物理限制，透明、黑色、金屬反光等材質可能會對掃描成品造成影響外，同時在掃描過程中，手機並非是固定不動的，必需對物件特徵或對稱造型做不規則面向之移動。掃描器與物件保持在適當的距離(5M)內，同時確認物件在感光元件的範圍，調整好後即可開始掃描。每次掃描後會得到一幅立體的點資料，一般稱為「點雲(Point Cloud)」。

#### (三)、拼接及合成

掃描後會得到的多幅點資料需要經過拼接整理，一般拼接方式為特徵拼接。特徵拼接是按照點雲資料的起伏變化進行拼接，若重疊的部分太少或是特徵不夠明顯用來判斷的資訊不夠多，其拼接產生的資料就有可能會有缺漏。拼接完成後需要將點資料進行合成，移除重疊或多餘的點資料、清除雜訊及將點資料縫合成一筆完整的立體點雲資料，所幸這部分皆由智慧型手機內建軟體來完成。

#### (四)、網格化及補洞

我們在得到 LiDAR 掃描的點資料之後需要進行“網格化”，也就是將所有的點資料連結成三角網格來呈現物體的立體形狀。而且光學掃描若 LiDAR 打不到的地方如溝槽或一些不平整之處會沒有點資料，這些部分在網格化後會形成破洞。這時需要依照後續的軟體運作來補洞或如何補洞。例如專業的逆向工程軟體的補洞功能有多種方式可以挑選，軟體的補洞方式是將破洞周圍的曲率平均後來做修補。

一般 3D 掃描得到的儲存格式為(stl)三角網格資料及(obj)網格模型檔兩種，stl 檔與 3D 列印是相同的格式。obj 檔則是含貼圖材質資訊的檔案，一般較常見於電腦動畫使用，其掃描同步得到彩色資訊可以進一步在立體的表現上依據 3D 的資料黏貼顏色。

### 肆、實證分析

遙測分析是針對研究範圍區域進行影像擬真判釋，並進行地籍差異整合分析，以判釋影像與地籍系統變化情形。最後篩選出重點誤差區域，並進行實查驗證，繪製出潛在誤差區的空間分佈圖。

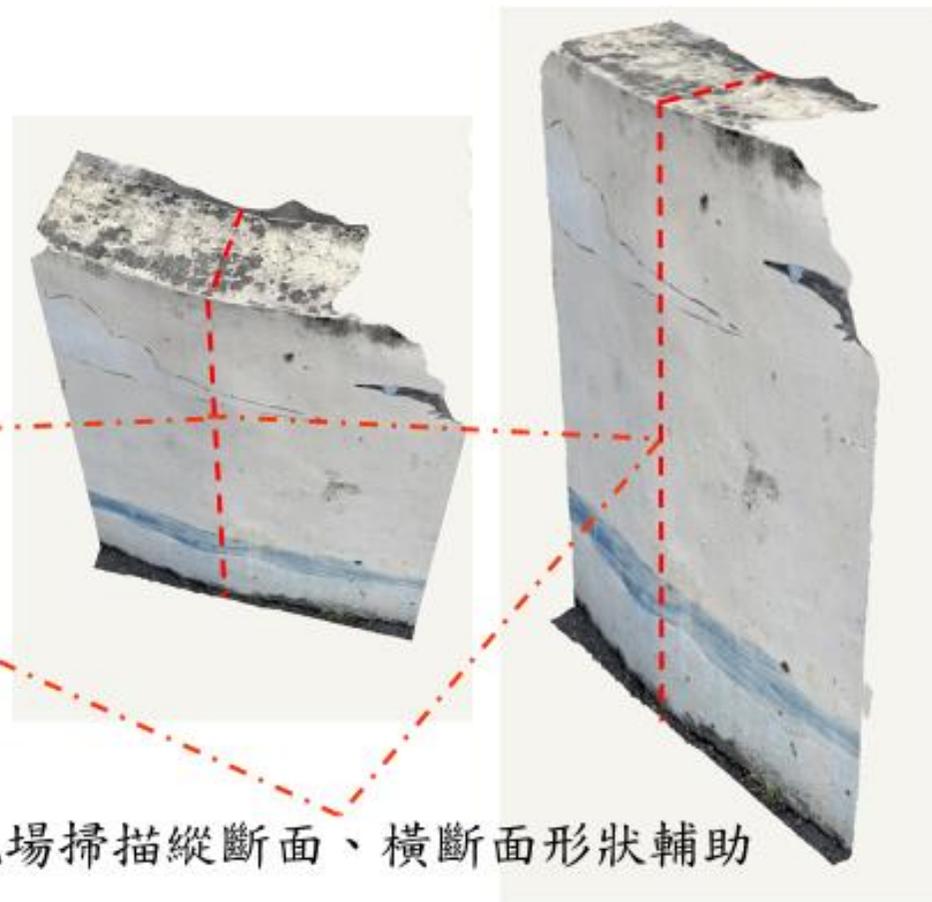
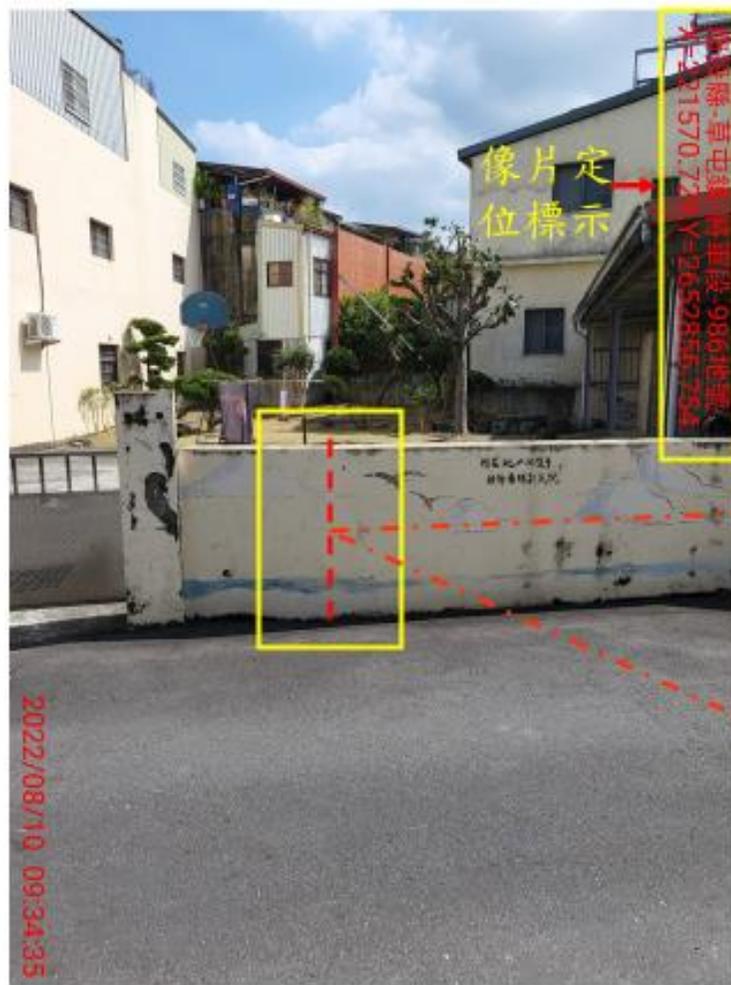
經由此研究，我們證明了智慧型手機 LiDAR 3D 掃描在方向和圖像數據的採集性能很高。雖然量距誤差有 2 公分左右，但掃描資料的準確性和快速穩定意味著，除了在測量應用之外，搭配地理定位功能對於大多數現場情況都是可以接受的。關於智慧型手機的內置 LiDAR 掃描儀，它可以同時輔助深度及相機結合，是未來結合元宇宙的絕佳工具，尤其適用於地理資訊、三維檔案建構及測繪資訊應用等軟硬體應用。。

經由以上研究，我們掃描了幾個已知尺寸的小物體，以測試智慧型手機 LiDAR 感測器的準確度和精度。在使用 LiDAR 3D 掃描應用程序以及結合了相機照片的“EveryPoint”應用程序，獲得了各物件特徵的獨立模型，並且可分析點雲之間的距離。

## 現場3維掃描特徵萃取



圖 3 現場 3D+AR+相片實際操作



現場掃描縱斷面、橫斷面形狀輔助

圖 4 現場掃描+像片定位特徵判定



圖 5 掃描後現場 AR 實境投影



圖 6 現場分析三維掃描後物件型態判識

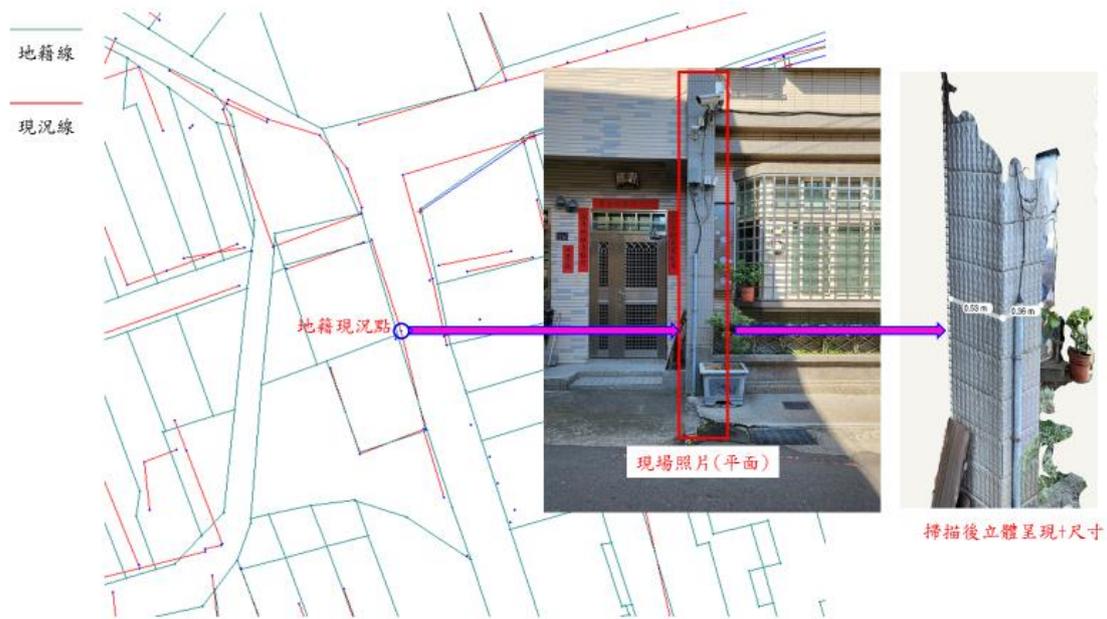


圖 7 地籍圖現況點實際掃描對照

#### 四、小結

地球科學中研究的許多過程裡，在時間和空間的應用搭配上，都是呈現不規則的過程。而在粗略的時間分辨率觀察上，可能會限制對關鍵過程地物變化的忽略。本次的試驗樣區若以傳統的 LiDAR 地面掃描(TLS)或許可獲取具有高時間和空間分辨率的中等規模的數值地形模型，但相對的所需成本經費將相當可觀，同時需要訓練有素的操作員和路線規劃。並且在進入崎嶇地形時也會受到限制，若以手持式移動 LiDAR 可以克服其中的一些障礙。

## 伍、結論及建議

### 一、結論

經以上研究結果顯示，應用智慧型手機 LiDAR 3D 掃描在輔助地籍圖重測時，對於現況測量特徵記錄及地籍調查時現場地物的存檔及判讀具相當幫助。由於現況界址三維掃描的點雲資料具相當直觀性，不僅能夠細緻的記錄物體特徵，更能夠輔助地籍圖重測時，便利現況方向和圖像數據的採集。雖然量距誤差約為 2 公分左右，但掃描資料的快速穩定意味著，除了在測量應用之外，搭配地理定位功能對於大多數現況採集都是可以接受的。另外智慧型手機的內置 LiDAR 掃描儀，它可以同時輔助深度及相機結合，是未來結合元宇宙的絕佳工具，尤其適用於地理資訊、三維檔案建構及測繪資訊應用等軟硬體應用。在某些情況下，或許以手持式 LiDAR 所生成的 3D 模型可能被認為過於粗糙，無法進行某些特殊用途的分析，特別是在需要表面重建的保真度對分析至關重要的情況下，比方說是網格方面的估計等。但若應用於本研究的特徵數據採集而論，是可以被廣泛接受的。

另外根據我們對現場數值採集技術發展的回溯以及對感測器所集成的現場測試而言，很明顯此技術在現場工作的數值化轉型已趨成熟，智慧型手機的這項功能在野外採集方面，將來會成為不可或缺的輔助工具，最主要是這項技術能方便土地界址現狀特徵的記錄及留存。

### 二、建議

如今智慧型手機的普遍性，加上感測器技術的成熟進步，為科學應用以及在繪製表面變化的採集上降低了許多成本，同時開闢了新的可能性。雖然應用智慧型手機攝影測量，可利用內置的加速計、磁力計、陀螺儀和 GNSS 天線進行模型的配準。然而照片的位置和方向要達到令人滿意的模型配準，則需要只有專業人員才能完整呈現這方面的優勢，因為需要進行精細的模型後處理，但若進行此次的模型採集，可以說已達到了成熟的階段。

## 陸、參考文獻

- 洪祥恩，2011，《以地面及空載光達點雲重建複雜物三維模型》，國立中央大學土木工程學系碩士論文。
- 閻平，2005，《LIDAR 數據中多層次、多直角房屋的三維重建》，武漢大學碩士論文。
- Froideval, L. et al, 2019, A Low-cost open-source workflow to generate georeferenced 3D SfM photogrammetric models of rocky outcrops. <https://doi.org/10.1111/phor.12297>.
- Harley, M. D., Kinsela, M. A., Sanchez-Garcia, E. & Vos, K, 2019, Shoreline change mapping using crowd-sourced smartphone images. 150, 175–189. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2019.04.003>.
- J. Struct. Geol, 2019, Y.H. Weng *et al*, GeoTools: an android phone application in geology.
- Jaud, M., Kervot, M., Delacourt, C. & Bertin, S, 2019, Potential of smartphone SfM photogrammetry to measure coastal morphodynamics. Remote Sens. 11, 2242. <https://doi.org/10.3390/rs11192242>. <https://doi.org/10.3390/rs11192242>
- Telling, J., Lyda, A., Hartzell, P. & Glennie, C, 2017, Review of Earth science research using terrestrial laser scanning. Earth Sci. Rev. 169, 35–68. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.04.007>.