

應用遙測技術於交通事故現場重建之探討

游薛武¹、吳元維²、李旻晃³、潘啓文⁴

摘要

現代社會中，道路交通的複雜性與事故發生率，對公共安全及個人權益構成巨大挑戰。傳統事故處理仰賴人工現場測繪，不僅效率低落，且易因人為因素產生誤差，衍生的糾紛耗費大量社會成本。此一社會痛點，成為推動科技發展與應用的強大驅動力。為提升處理效能與證據品質，執法單位已開始接納新技術，如內政部警政署已於 112 年宣布 A3 類交通事故可採用空拍方式製作現場圖。這顯示社會的需求正促使交通事故處理從傳統的經驗法則，邁向一個跨領域技術整合的新時代，其中地理資訊與遙測科學的引入，可以改變了事故現場的紀錄方式。我國傳統測繪方法如直角坐標法或三定點法，是將三維的現場簡化為二維的平面圖。然而，透過攝影測量（Photogrammetry）與光達（LiDAR）等遙測技術，可將事故現場完整數位化。例如，利用無人機搭載高解析度相機，或使用具備 LiDAR 功能的手持裝置，對現場進行多角度、高重疊率的影像拍攝。藉由運動推斷結構（SfM）演算法，這些影像得以被處理成包含精確空間座標的密集點雲，並進一步生成高擬真度的 3D 模型與無畸變的正射影像。這項源自地理測繪領域的技術，讓事故證據不再只是一張靜態的現場圖，而是一個可供事後反覆檢視、精準測量的數位副本，大幅提升了證據的客觀性與可信度。

關鍵詞：攝影測量技術、3D 建模、正射影像、事故重建。

一、緣起

我國道路交通事故的紀錄，目前係透過人工現場蒐證跡證、量測、拍照並製作現場圖，以進行事故重建和肇責研判，然而交通事故現場處理人員因為時間壓力、情緒影響、地形限制等因素，容易在拍攝、量測、繪製時出錯或遺漏（李承龍，2013），但道路交通事故處理影響民眾權益甚鉅（周文生等人，2002），警方蒐證事故現場之過程與結果將涉及民眾權益，交通事故其是否構成民、刑事責任，通常倚重專家對事故原因提出鑑定報告，供司法實務機關參酌做為起訴、判決之重要參考依據（吳家慶，2017）。因此我國交通事故案件之實務中，交通事故當事人為主張權益、確認責任及申領保險理賠，需向警察機關申領交通事故初步分析研判表，該研判表由警察機關依承辦人員之作之現場圖、現場照片、談話紀錄等資料進行各當事人之肇事責任與違規情形分析。

¹ 中央警察大學交通學系暨交通管理研究所研究生。

² 中央警察大學交通學系暨交通管理研究所助理教授，桃園市龜山區大崗里樹人路 56 號，03-3282321 分機 4599，grantwyw@mail.cpu.edu.tw。

³ 中央警察大學交通學系暨交通管理研究所研究生。

⁴ 中央警察大學交通學系暨交通管理研究所研究生。

實務上量測方式多以測距輪或是捲尺來進行測量，在事故現場測量標的物相對距離，將取得的數據及現場觀察到的資訊，以人工繪圖的方式記錄於圖面並於繪製事故現場圖草圖，不同處理人員的繪圖技巧、經驗和對現場的判斷各有差異，導致即使是同一事故現場，不同處理人員繪製的現場圖也可能存在差異，例如：圖面布局、標記方式、比例尺的選擇等方面都可能不同，缺乏一致性，使事故現場的還原和重建工作變得困難，也為後續的分析和判斷帶來巨大挑戰。

第一線處理人員的經驗落差，直接影響了事故現場重建的正確性，然若引入不同領域的遙測技術，則能利用其拍攝後利用拍攝圖資進行 3D 建模（3D modeling）或是正射影像（orthomosaic），高度保留現場資訊，並於排除事故現場後，仍能夠進行事後測量，提升事故當事人保障。

二、傳統測量技術與遙測技術

2.1 傳統量測

交通事故發生後，針對現場遺留之肇事人、車、痕跡與散落物等跡證，針對其相關位置，距離，長，寬及高度等進行正確描述，須仰仗測量才能取得正確的數據進行紀錄，目前國內常見的測量方式不外乎「直角座標法」、「三定點法」及「綜合法」

2.1.1 直角座標法

本法簡稱為座標法，在事故現場的測量方法中，因其較為容易且直觀，最被廣泛使用。其步驟簡述如下：

1. 選定基準線。
2. 在基準線上取一明確固定點作為測量之基準點。
3. 針對各測量標的向基準線製作垂直線並記錄垂直線長度。
4. 測量各垂線之間的距離。
5. 測量基準點至最近距離垂線之長度

2.1.2 三定點法

一般繪製現場草圖時，會以直角座標法為優先選項，但在較為特殊的道路類型則會考慮使用三定點法來進行繪製，諸如：圓環、彎道等不容易找出基準線之處所，其基本步驟簡述如下：

1. 選定 2 個基準點。
2. 測量基準點之間的距離。
3. 分別測量標的與 2 基準點的距離。

2.1.3 綜合法

同時利用前述 2 方法來進行測量，通常用於其中 1 種方法可能會有測量線與標的物（事故車輛）重疊之狀況，此時利用 2 方法之原理來進行測量，通常會利用直角座標法作為主要測量、三定點法作為輔助測量。

2.2 遙測技術

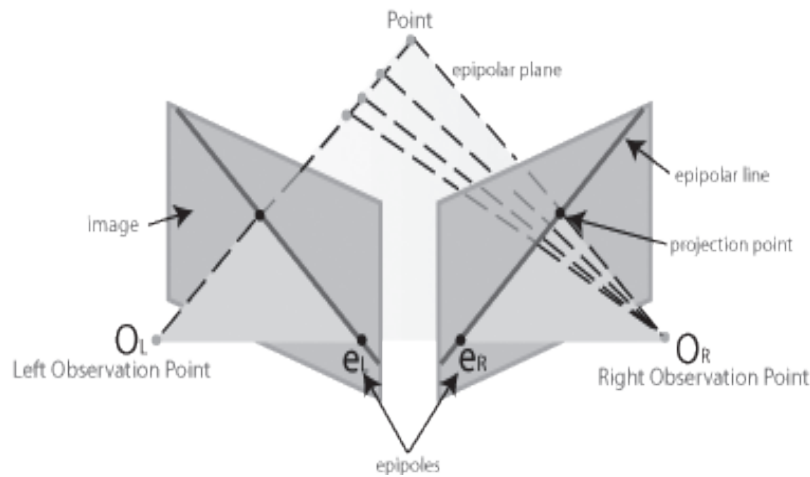
遙測 (Remote Sensing) 是一門在不直接接觸物體或現象的情況下，獲取其資訊的科學與技術 (Campbell & Wynne, 2011)。它利用感測器來偵測和記錄目標物反射或發射的電磁輻射，再將這些數據轉換為影像或數位資訊，以供分析、解釋和應用。

遙測方式的多樣性決定了觀測的尺度與頻率。衛星觀測如美國的 Landsat 系列衛星和歐洲的 Sentinel 系列衛星，提供了長時期、大範圍的全球觀測數據，對於全球變遷研究至關重要 (Wulder et al., 2012)。航空觀測 (飛機) 則能提供更高空間解析度的影像，適用於區域性調查或應急響應。近年來無人機 (UAV) 的興起，以其高機動性、低成本和超高解析度的優勢，在精準農業、小尺度環境監測和基礎設施巡檢等領域展現了巨大潛力 (Pajares, 2015)。

感測方式可分為被動式與主動式兩大類。被動式感測器偵測自然輻射源 (主要是太陽光) 的反射或物體自身的熱輻射，例如光學攝影機和多光譜掃描儀 (multispectral scanner)。攝影測量技術 (Photogrammetry) 是常見的被動式感測，透過大量且具備相當重疊率的照片可以進行物體的測量與三維座標等，主動式感測器則自備能源，向目標物發射電磁波，再接收其回波訊號。雷達 (RADAR) 能穿透雲層和雨霧，進行全天候觀測，對地表結構和濕度變化特別敏感。光達 (LiDAR) 則利用雷射脈衝精確測量距離，能生成高精度的數值高程模型 (Digital Elevation Model, DEM)，在地形測繪和植被結構分析中扮演關鍵角色 (Lefsky et al., 2002)。考量事故現場的特性，本文探討之技術主要為被動式的無人機 (UAV) 搭載高解析度鏡頭之攝影測量技術以及行動裝置的光達感測器 (LiDAR)。

2.2.1 攝影測量

攝影測量 (Photogrammetry) 是一種以拍攝多個重疊區域影像，並利用影像重疊區域各處的幾何關係，計算出各點在空間中的三維座標資訊的一種技術 (趙智凡等, 2016)。為獲取影像物體的三維資訊，需得知相機拍攝時的內、外方位參數，內方位參數用來描述光線穿過鏡頭在相機內部的成像幾何，進而計算焦距、像主點坐標與透鏡畸變光線的行徑；外方位參數則是用來描述像片在空間中座標位置與自身器械的姿態 (Attitude, 其中包含俯仰、滾轉及偏航等資訊)。利用運動推斷結構 (Structure from Motion, SfM) 演算法透過記錄相機行進路線，並求得相機姿態參數 (外方位參數)，接著運用三角測量進一步重建三維場景。隨著時代改變，SfM 演算法場景重建流程，以重建相機的位置與場景為三維重建之關鍵，藉由多視角所拍攝的多張序列影像，進行影像匹配，再經由匹配後所得之影像特徵點，以對極幾何 (Epipolar Geometry) 關係進行場景重建，求取相機相對應位置，進而求得場景空間之具體座標進行三維重建 (邱永芳等, 2017) 其中常使用的拍攝技術為航空攝影測量 (Aerophotogrammetry) 以及近景攝影測量 (Close-range photogrammetry)。



圖片來源：<https://reurl.cc/bml3ME>

圖 1 運動推斷結構 (Structure from Motion, SfM)

傳統上多利用航空攝影測量進行國土面積測繪，其優點在於利用高空飛行進行大範圍的拍攝，影像涵蓋的範圍廣大，適合大規模的區域測量。航空攝影時多採用「之字形」或是「棋盤式」的拍攝軌跡，且飛行器飛行於高空並採垂直拍攝方式，因此非常容易發生影像資訊被遮蔽的狀況，

近景攝影測量特性則正好與航空攝影測量相反，主要做法是透過較近距離（300 公尺以內）來拍攝特定標的物，取得較豐富的標的物細節，使畫面能更為精確地表達出物體的特性則多採用環繞式攝影，取得標的物大量不同角度的影像，可以有效提升標的物的影像細節。也因此其拍攝資訊量的涵蓋範圍與航空攝影測量相比低了不少。

拍攝畫面時的距離與成像精度與有著密切的關係，由於相機感光元件上的像素寬 (Pixel Size) 與相機透鏡的焦距長 (Focal Length)，相比於地面採樣距離 (Ground sample distance, GSD) 與拍攝時的距離 (高度)，為幾何學上之相似三角形，因此我們可以透過控制拍攝距離 (高度)，來滿足對於拍攝物的精度需求。在近距離的攝影測量 Matys 等人 (2021) 測試了手機內建相機進行車輛 3D 建模的可行性，多數圖形的處理都透過 Meshroom 軟體自動完成，構成一個便捷且低成本的解決方案。Stehel 等人 (2021) 則運用數位相機，進行了光源不足環境下近距離攝影測量技術 (Close-Range Photogrammetry, CRP) 記錄交通事故現場測試，並以 M3C2 演算法比較其所產生的點雲相較於雷射掃描所產生的點雲，誤差明顯增加。

2.2.2 光達測量

光達 (Light Detection and Ranging, LiDAR) 是種光學遙測的技術，它的距離計算原理是透過向目標物發上脈衝雷射光 (Pulse Laser) 後，接收物體所反射回的脈衝雷射光。光達系統測量脈衝雷射光的路徑時間，最後利用光速來計算與目標物的距離。它與雷達技術 (Radio Detection and Ranging, Radar) 十分相似，差異在於雷達技術主要是利用波長較長的無線電波 (4-12mm)，而光達技術則是使用較短波長的脈衝雷射光 (900-1500nm)。光達測量對於高亮度反射平面與夜間量測，皆能有高效能的表現，但純粹的光達測量僅能獲得深度資訊，對於物體表面紋理的特徵，其量測能力就顯有不足，例如顏色變化、花紋等皆難以呈現。

三、遙測技術應用於事故現場重建

3.1 點雲（point cloud）介紹

點雲（point cloud）是由大量的三維座標所組合而成的資料集，每個座標位置都代表著物體表面的一個點，也可以理解為將某個想測量的物品或是場景透過點雲的方式將自身三維資訊數據化。這些點雲配合 GNSS（Global Navigation Satellite System）系統的座標資訊，可以計算出點雲之間的距離，也因此點雲除了具備繪製出現場環境特徵，也是進行事後測量的重要基礎資料



圖 2 點雲（研究生自製）

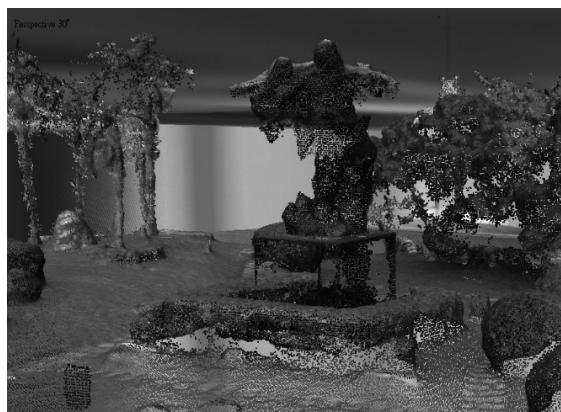


圖 3 密集點雲（研究生自製）

3.1.1 光達掃描點雲生成

光達技術的核心是飛行時間測距原理（Time of Flight - ToF），概念上是以雷射光飛行時間來進行距離測量到目標物上每「一點」的距離，為了完整測量物體，需要配合高頻率的雷射光發射方能得到大量的特徵點資訊，如若結合 GNSS 裝置與慣性測量單元（Inertial Measurement Unit - IMU）更能直接結合真實地理位置來生成點雲資訊。

使用光達技術的點雲生成流程如下：

1. 發射（Emission）：光達儀器內部的高速雷射二極體會發射一道極短、能量集中的雷射脈衝（光束）直線前進。
2. 反射（Reflection）：當這道雷射脈衝接觸到任何物體表面（例如牆壁、地面、樹葉）時，會發生散射，其中一部分的能量會反射回光達儀器的方向。
3. 接收（Reception）：儀器內部的感測器會接收到這道反射回來的雷射訊號。
4. 計時（Timing）：儀器內部的精密計時器會極其精確地測量從「發射」那一刻到「接收」那一刻所經過的時間差，我們稱之為「飛行時間」（ Δt ）。
5. 距離計算（Distance Calculation）：根據物理公式：距離 = （光速 × 飛行時間）/ 2。除以 2 是至關重要的步驟。透過這個原理，儀器可以精確計算出自身到該反射點的直線距離。



圖 4 光達 (LiDAR) 點雲 (研究生自製)

3.1.2 攝影測量點雲生成

攝影測量法 (Photogrammetry) 生成點雲過程大致可分為以下階段

1. 影像獲取 (Image Acquisition) :
2. 影像對位 (align) : 其內容包含特徵點偵測與匹配
3. 運動恢復結構 (Structure from Motion, SfM) :

資料通常會再利用影像匹配技術或多視角立體測量 (Multiple View Stereo, MVS) 技術, 來增加點雲的點密度, 使影像的細節與分辨率上升, 稱之為密集點雲 (dense cloud point)

3.2 正射影像與 3D 模型生成流程

三維模型與正射影像的製作方式流程如下:

1. 獲取點雲資訊:
 - (1) 使用光達 (LiDAR) 或雷達 (radar) 技術, 直接將測得之點雲資訊匯入。
 - (2) 使用攝影測量技術時, 將照片進行對位 (Align) 或率定, 接著以運動恢復結構法 (Structure from Motion, SfM) 繪製點雲
2. 進行多視角立體測量 (Multiple View Stereo, MVS) 解算生成密集點雲 (dense point cloud) 。
3. 生成網格模型 (mesh model), 進行紋理貼圖 (texttrue) 獲得初步事故現場三維模型。
4. 進行模型平滑化處理 (tiled model), 至此可獲得較細緻的事故現場三維模型。
5. 生成數值高程模型 (digital elevation model), 將深度資訊影像化。

6. 使用三維模型進行影像正射化（Orthomosaic），取得事故現場正射影像。

透過前述實驗之攝影測量法蒐集現場圖資後，製作事故現場三維模型以及正射影像，進行實驗物件特徵成像探討以及事後測量之精準度分析。

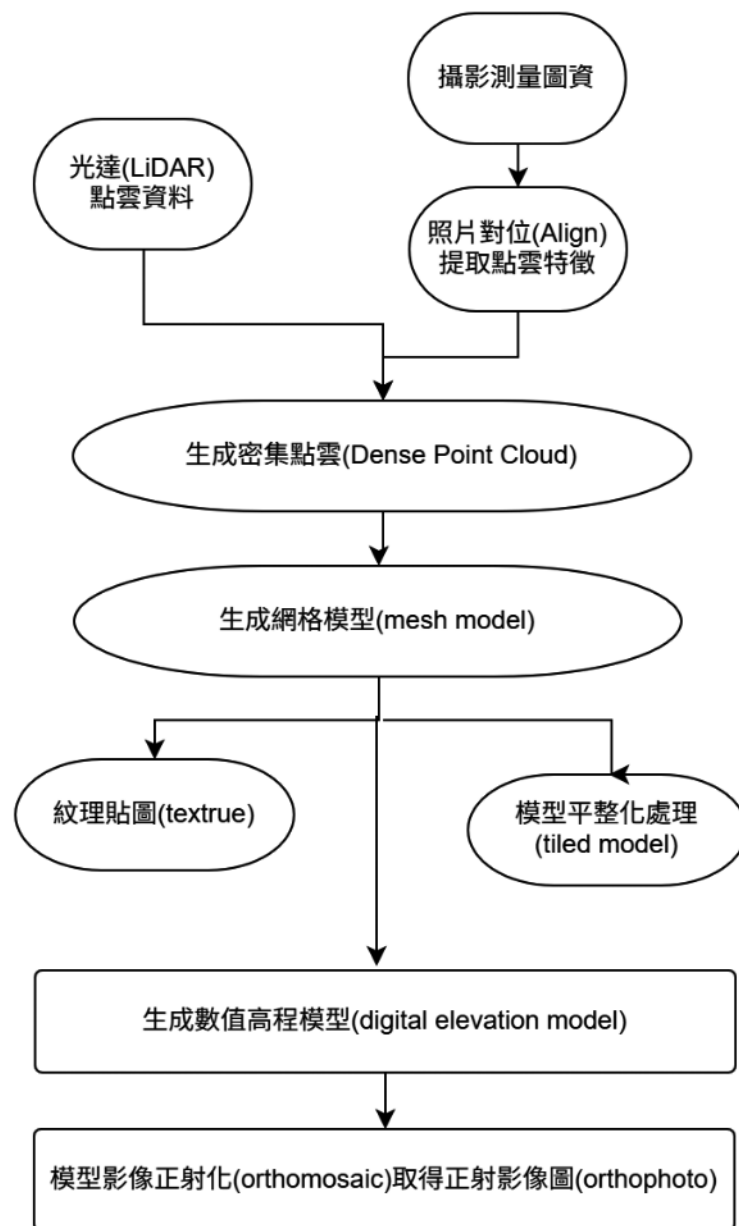


圖 5. 3D 模型與正射影像製作流程圖（研究生自行整理）

四、模擬現場重建案例

4.1 模擬現場設置

本次模擬現場利用中央警察大學校區內的「道路交通事故處理模擬現場」設置模擬實驗，該場地具有符合我國「道路交通標誌標線號誌設置規則」規範所設置標誌、標線及號誌之道路環境。該模擬場地樣式為1處道路轉角，可視為道路交岔口之一側；該轉角之2個臨近路段（approach），分別為南北向及東西向，

均為雙向 1 車道，雙向車道間以分向限制線（雙黃線）分隔；2 個臨近路段進路口前均設有行人穿越道及停止線（北側及西側均各有 1 組），北往南方向之臨近路段設有機車停等區；路側設施包含實體人行道、緣石、水溝及禁止臨時停車標線紅線）；轉角人行道上設有 1 組具 3 色燈號燈頭之交通號誌桿，但號誌之燈號未在模擬實驗期間啟用；此場地周邊並非空曠，場地西北側有約 20 公尺高之建築物，約 3 至 5 公尺高之樹木沿道路兩側栽植，使得該實驗場地與實際可能生道路交通事故之環境類似；道路以瀝青柏油鋪設路面，路面狀況平坦無裂縫。該場地照如下圖 6：



圖 6 道路交通事故處理模擬場

本模擬現場設定情境為「自小客車撞擊自行車造成 1 名自行車騎士倒地受傷」之交通事故。模擬實驗設置時地面因雨潮濕，但實驗期間未下雨，且光線良好，故視為晴天；模擬實驗執行時間為 113 年 11 月 12 日下午 4 時 15 分許。該模擬事故發生於實驗路口之北往南方向臨近路段上接近停止線處，肇事過程設定為 1 部北往南行駛之汽車，行經實驗路口時欲闖紅燈，撞擊在北側行人穿越道旁由西往東行駛之自行車，自行車騎士倒地受傷；汽車及自行車之終止位置位於行穿線上，部分汽車車身仍未通過停止線，自行車騎士倒地時，膝蓋以上位於行穿線外，膝蓋以下為在行穿線上。現場照片如下：



圖 7 模擬現場照片（南北向）



圖 8 模擬現場照（東西向）

4.2 無人機攝影測量重建

4.2.1 攝影方式

1. 量測工具：測量工具選用相機之 CMOS 感光元件尺寸為 1 英寸，配備 2000 萬像素相機及光學快門，並配合模擬現場以環繞之方式拍攝。
2. 攝影方法
 - (1) 安全高度確認：於事故現場進行第 1 次試飛，並進行 360 度環繞，確認水平範圍有無其他障礙物。
 - (2) 拍攝現場航線規劃：針對事故現場車輛或物體規畫空中環繞飛行路徑。
 - (3) 起降管制與執行飛行拍攝任務：進行起飛前安全確認，飛手開始執行拍攝任務，拍攝任務結束後，進行降落前安全確認，等待無人機降落。

4.2.2 模擬現場重建

本次模擬現場共拍攝 213 張照片，其中用於率定之相片計 210 張。拍攝時間（含無人機拍攝前設置）約為 8 分鐘、運算時間約 30 分鐘，運算後密集點雲數為 7,987,158。影像拍攝位置與密集點雲、3D 模型成像以及比較圖分列如下圖 9、10：



圖 9 拍攝位置與密集點雲
(研究生自製)

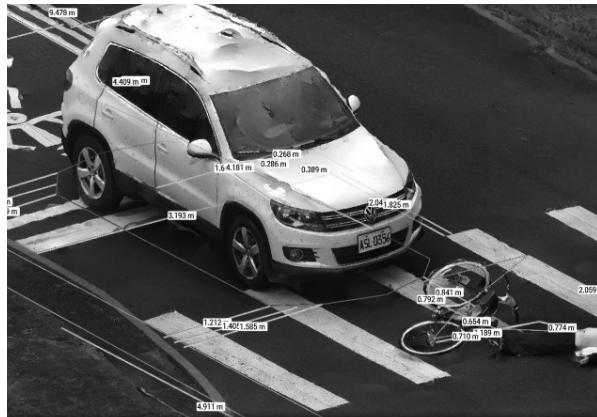


圖 10 3D 模型測量示意
(研究生自製)

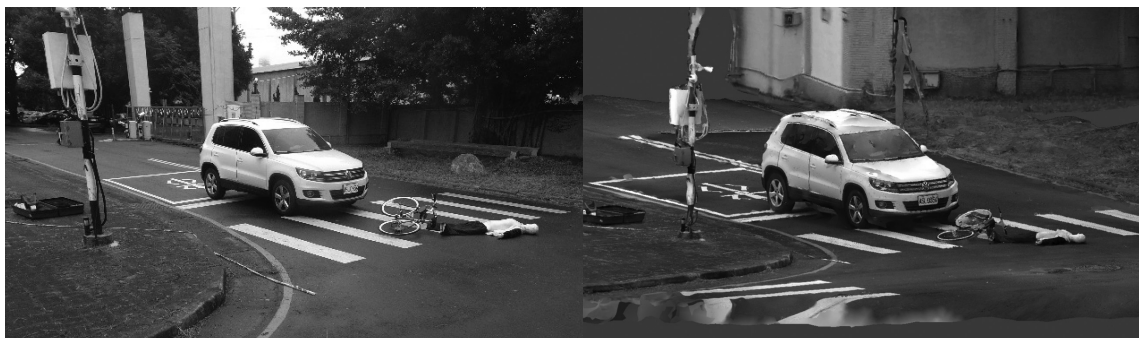


圖 11 現場照片與 3 模型比對圖 (研究生自製)

4.3 手持式行動裝置攝影測量重建

4.3.1 攝影方式

1. 使用工具：使用具備 LiDAR 功能之行動裝置（例如 iPhone pro 系列手機或其他具備 LiDAR 功能之掃描器），本次實驗使用「iPhone 13 pro max」並配合「Pix4D catch」APP，蒐集 GPS 資訊及深度資訊。
2. 攝影流程：
 - (1) 道路蒐證：以事故現場為中心，且蒐證時須包含影響肇事者之標誌、標線、號誌等資訊。
 - (2) 車輛或物體等物進行蒐證：針對事故現場車輛或物體進行環繞式拍攝。
 - (3) 現場號誌、標誌等物進行蒐證：號誌位置通常較高，現場號誌或標誌亦需進行圍繞拍攝，視現場狀況，持自拍棒平舉或是舉高將號誌、標誌之狀況全部攝影，拍攝環繞 1 至 2 圈，本研究號誌桿一枝，並僅對齊環繞拍攝 1 圈。

4.3.2 模擬現場重建

本次模擬現場共拍攝 684 張照片，其中用於率定之相片計 683 張。拍攝時間約為 7 分鐘、運算時間約 50 分鐘，運算後深度點雲數為 2,345,281，密集點雲術為 5,609,528；深度點雲與密集點雲融合後總點雲數為 6,637,652。其影像拍攝位置與深度點雲、密集點雲、融合點雲、3D 模型成像以及比較圖分列如下圖：



圖 12 深度點雲
(研究生自製)

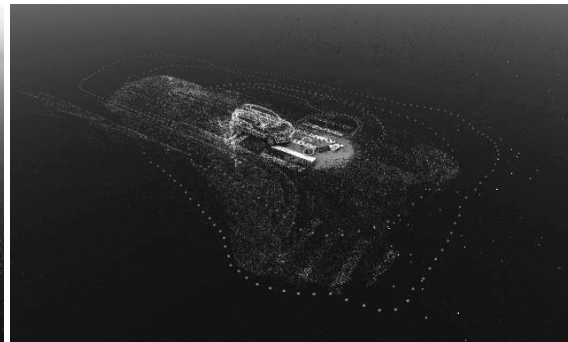


圖 13 拍攝位置與密集點雲
(研究生自製)

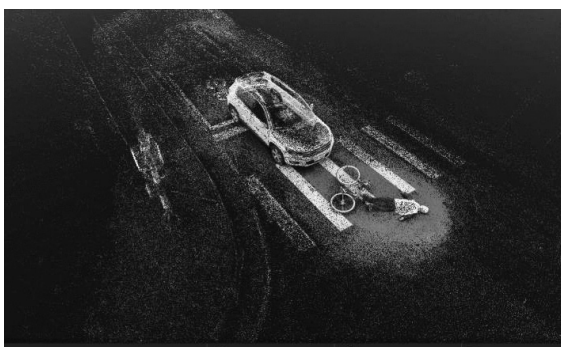


圖 14 深度與密集融合點雲
(研究生自製)



圖 15 3D 模型量測示意
(研究生自製)



圖 16 現場照片與 3D 模型比對圖（研究生自製）

4.4 模擬現場量測結果分析

本次模擬實驗量測比較以交通事故處理的專責人員使用捲尺測量作為對照組數據，其中關係到車輛定位的項次 2 以及腳踏車與人員定位的項次 11、12、13 及 14 皆有大於 5% 的量測誤差出現，而道路設施相關的量測誤差都小於 5%，初步分析是由於量測基準點的落差所造成，如項次 2「汽車右後緣與路緣（水溝蓋延伸線）」內所指稱之汽車右後緣的正確量測位置應為何處？（如圖 17）而「腳踏車與人員定位」的項次 11、12、13 及 14 的量測皆有明顯高低差，於傳統人工量測時該量測誤差往往是直接被忽視的項目，但若僅比較攝影測量與手持裝置測量時，項次 11、12、13 及 14 的誤差則分別下降至 3.17%、1.39%、1.28% 及 4.8

表 1 模擬現場量測結果比較表（研究生自製）

模擬現場量測結果比較表							
項次	位置	量測方式	捲尺測量	無人機攝影測量	手持裝置光達測量	無人機攝影測量與捲尺誤差	手持 LIDAR 測量與捲尺誤差
			單位：m（公尺）				
1	車輛定位	汽車右前緣與路緣（水溝蓋延伸線）	1.60	1.59	1.65	-0.63%	3.12%
2		汽車右後緣與路緣（水溝蓋延伸線）	1.40	1.45	1.58	3.57%	12.86%
3	道路設施	西側行人穿越道標線寬	0.40	0.38	0.41	-5.00%	2.50%
4		北側行人穿越道標線寬	0.40	0.38	0.41	-5.00%	2.50%
5		北側道路路寬（南向）含紅線至分向線中央	3.50	3.39	3.54	-3.14%	1.14%
6		北側道路路寬（北向）含紅線至分向線中央	3.70	3.53	3.73	-4.59%	0.81%
7		北側人行道寬（含人行道緣石）	1.70	1.66	1.78	-2.35%	4.71%
8		北側水溝蓋寬	0.60	0.58	0.62	-3.33%	3.33%
9		北側行人穿越道與停止線距離 -- 停止線中央	2.10	2.05	2.14	-2.38%	1.90%

模擬現場量測結果比較表							
項次		量測方式	捲尺測量	無人機攝影測量	手持裝置光達測量	無人機攝影測量與捲尺誤差	手持 LIDAR 測量與捲尺誤差
	位置		單位：m（公尺）				
10	腳踏車與人員定位	腳踏車前輪與後輪距離（平行行穿線）	0.60	0.65	0.63	8.33%	5.00%
11		腳踏車前輪與後輪距離（垂直行穿線）	1.00	0.71	0.72	-29.00%	-28.00%
12		傷者（肚臍）至腳踏車後輪距離（平行行穿線）	0.60	0.77	0.78	28.33%	30.00%
13		傷者（肚臍）至腳踏車後輪距離（垂直行穿線）	1.00	1.19	1.25	19.00%	25.00%

五、結論與建議

目前國內對於交通事故的處理，皆由警察人員擔任第一線處理者，其中包含派出所的勤區員警或是專責的交通員警，但除了事故處理的專責員警外，許多警察人員並未能經歷完整的交通事故處理訓練，其事故處理技術多依賴經驗傳承，是以事故現場的重建資訊未必能有效蒐集。而科技進步速度日新月異，各類工具推陳出新，我國事故現場重建的技術目前仍依傳統工具量測為主軸，各類數據紀錄都是離散資訊，皆未有本質性的變化出現。目前內政部警政署雖有條件式地開放以無人機俯拍照片作為事故現場圖，但因其相機成像畸變、拍攝角度，測量精準度等問題，其證據力仍有限。但如將事故現場照片拍攝方式，配合遙測技術（攝影測量與光達掃描），解算出每一張照片的拍攝位置與姿態，並據此構建出一個包含數百萬至數千萬個點的、帶有真實地理座標與色彩資訊的「3D 點雲」（3D Point Cloud）。並基於此點雲，進一步生成具備公分級精度、可直接進行量測的 2D「正射影像圖」（Orthomosaic）與「3D 模型」（3D modeling），將對事故現場重建帶來革新的變化，並使現場資料的呈現與保存方式將出現本質性的差異。攝影測量透過一系列被動光學影像，基於特徵匹配、運動恢復結構（SfM）與多視角立體匹配（MVS）等電腦視覺核心原理，實現了從二維到三維的資訊提取。其最大優勢在於設備成本相對較低（僅需具備 GNSS 定位能力之相機，無人機與手機皆是）、操作靈活，且能獲取真實的色彩紋理。然而，攝影測量技術高度依賴目標物體表面的紋理特徵，對於紋理缺失、反光或透明的表面，重建效果往往不佳。這與主動發射雷射訊號的光達（LiDAR）技術形成了鮮明的對比與互補，後者能直接測量幾何資訊，不受表面紋理影響，但在色彩資訊獲取方面則相對處於劣勢。故若將無人機攝影測量與手持式行動裝置（光達設備）兩者圖資相互利用，應可有效提升模型的精細程度。若建立以遙測技術為核心的事故現場作業流程，搭配無人機或是手持式行動裝置拍攝，不僅可以解決因不同處理人員認知落差造成的量測位置差異，也能有效縮短處理時間，減少事故處理人員暴露於車道上的風險時間，透過遙測技術能大幅提升事故現場的完整性，如車輛終止位置與周邊環境之關係、剎車痕跡位置、散落物分布概況等，將大量地豐富了事故現場重建的細節，使我國事故現場重建之技術跨向新的里程。

六、參考文獻

- 吳家慶 (2017)，論事故鑑定與過失認定——司法實務相關判決考察，交通學報第 17 卷第一期，中央警察大學，頁 17。
- 李承龍等人 (2023)，無人機整合元宇宙科技在交通事故現場處理之運用，112 年道路交通安全與執法研討會，中央警察大學，頁 2。
- 周文生 (2002)，交通事故調查資料作業流程之探討，91 年道路交通安全與執法研討會，中央警察大學，頁 1。
- 林志勇等人 (2003)，交通事故 3D 現場還原與重建之初步研究，交通學報第 3 卷第 2 期，中央警察大學，頁 102。
- 邱永芳 (2017)。以低成本航拍系統製作三維實景模型之精度研究
- 戴文凱等人 (2021)，「空拍機」執行交通事故蒐證資訊系統探討，交通學報第二十一卷，中央警察大學，頁 79、80。
- 蘇志強等人 (1999)，道路交通事故調查程序建立之研究，八十八年道路交通安全與執法研討會，中央警察大學，頁 1。
- 蘇梓見等人 (2016)，多軸飛行器輔助交通事故處理運用 - 以臺中市為例，交通學報第 16 卷第 1 期，中央警察大學，頁 77。
- Bouabdallah, S., Noth, A., & Siegwart, R. (2004). Modeling and control of a quadrotor. 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation (IEEE Cat. No. 04CH37508), Vol. 1, pp. 321-326
- Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). Introduction to remote sensing (5th ed.). Guilford Press.
- Gago, J., & Ribeiro, P. (2016). UAV for traffic accident mapping: a case study. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLI-B1, 1079-1082.
- Lefsky, M. A., Cohen, W. B., Parker, G. G., & Harding, D. J. (2002). Lidar remote sensing for ecosystem studies. BioScience, 52(1), 19-30.
- Lowe, D. G. (2004). Distinctive image features from scale-invariant keypoints. International Journal of Computer Vision, 60(2), 91-110.
- Matys, M., Krajcovic, M., Gabajova, G., 2021. Creating 3D models of transportation vehicles using photogrammetry. Transportation Research Procedia, 55, 584-591.
- Pajares, G. (2015). Overview and current status of remote sensing applications based on unmanned aerial vehicles (UAVs). Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 81(4), 281-329.
- Schönberger, J. L., & Frahm, J. M. (2016). Structure-from-Motion Revisited. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) (pp. 4104-4113).
- Sören Kottner et al (2023), Using the iPhone's LiDAR technology to capture 3D forensic

- data at crime and crash scenes, *Forensic Imaging* Volume 32, p.1.
- Szeliski, R. (2010). *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Springer.
- Wehr, A., & Lohr, U. (1999). Airborne laser scanning—an introduction and overview. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54(2-3), 68-82.
- Wulder, M. A., Masek, J. G., Cohen, W. B., Loveland, T. R., & Woodcock, C. E. (2012). Opening the archive: How free data has enabled the science and monitoring promise of Landsat. *Remote Sensing of Environment*, 122, 2-10.
- Zhang, Z., Liu, X., Chen, Q., 2024. Improving Accident Scene Monitoring with MultisourceData Fusion under Low-Brightness and Occlusion Conditions. *IEEE Access*, 12, 136026–136040.