

應用 3D 掃描與虛擬實境技術 於交通事故現場重建初探

李承龍¹、蔡佩芬²、王惠平³

摘要

傳統的平面測繪和攝影技術在交通事故現場勘查中存在局限，無法完整記錄三維空間資訊，可能導致關鍵證據的遺失。大多數交通事故現場的跡證都是三維立體的互動結果，因此本研究旨在結合 3D 掃描、建模等技術，應用於交通事故現場調查，再整合 3D 列印技術，有助重現交通事故現場，未來還可運用 3D 虛擬實境（VR）技術，呈現更真實的交通事故情境。本研究以交通事故現場為例，強調 3D 空間資訊的重要性。通過 3D 掃描構建的虛擬實境，讓無法親臨交通事故現場的人員可以透過 VR 眼鏡，感受交通事故 3D 現場的真實感。運用 3D 技術保全交通事故現場證據，亦能增強證物比對的準確性，並且相比傳統的局部平面照片，能夠提供全貌和多視角的觀察。未來，若能廣泛應用 3D 掃描技術於交通事故現場，有助解決傳統 2D 影像技術的不足，並能構建複雜的多視角交通事故空間模型，通過 VR 技術呈現立體化的虛擬現場，使觀察者能夠身臨其境地感受 3D 空間的真實感。這樣的技術應用將有助於釐清交通事故責任，提高事故鑑定效率，並為現場保全、證物比對、事故重建及法庭作證等關鍵環節提供新的解決方案。

關鍵字：3D 掃描、3D 列印、虛擬實境、交通事故現場、事故重建

一、前言

交通事故現場的調查和重建工作，一直是車禍鑑識工作的重要環節。傳統的平面測繪和攝影技術在交通事故領域存在諸多瓶頸。由於大多數交通事故現場的跡證都是三維立體的互動結果，若單單依靠二維影像的資訊，很難完整記錄和呈現整個交通事故現場的真實情況，缺少一維的資訊，可能會導致關鍵證據的遺失，這不僅會影響交通事故原因的分析和責任認定，也會讓後續接手的檢察官或法官無法判定，造成司法審判的不公。隨著科技的不斷進步，3D 掃描、3D 建模、虛擬實境（Virtual Reality，以下簡稱 VR）與擴增實境（Augmented Reality，以下簡稱 AR）搭配元宇宙（Metaverse）的新科技，為交通事故現場的調查和重建提供了新的解決方案。通過 3D 掃描、構建 3D 交通事故現場的數位雙生（Digital Twin，以下簡稱 DT），以虛擬的場域來承載實體環境的資訊應用，提供使用者或決策者進行判讀或決策運用，不僅可以全面記錄現場的三維空間資訊，還能利用虛擬實境技術（VR），讓無法親臨交通事故現場的人員，身臨其境地感受交通

¹ 臺灣警察專科學校刑事警察科教授，email：Lee0315@gmail.com

² 亞洲大學財經法律系教授，fen2006@gmail.com

³ 臺北市政府警察局中正第二分局警備隊隊長，whp570404@gmail.com

事故現場的真實情況；同時，若再結合 3D 列印技術，還可以列印出實體的模型，展示更逼真的現場模型，為司法鑑定和法庭審理提供直觀的實體證據呈現。

本研究將以交通事故現場為例，探討如何運用 3D 掃描和虛擬實境（VR）技術來提高事故調查和重建的效率與準確性。

首先，我們將探討傳統 2D 影像技術在交通事故中，因為缺乏關鍵的一維資訊（不同角度或缺少深度）所出現的問題，進一步闡述 3D 技術在交通事故現場記錄、證據保全和案件重建方面的優勢。接著，我們將重點介紹 3D 建模和虛擬實境（VR）在事故重建的具體應用，及整合 3D 列印技術，所列印出的實體模型，更逼真的再現交通事故現場的結果。最後，將探討 3D 技術在提高證物比對的準確性和法庭作證的成效，及未來在交通事故調查領域的發展趨勢和應用前景。通過本文的探討，希望能為交通事故調查領域的專業人士，提供有價值的參考資料。隨著 3D 掃描、3D 建模和元宇宙（Metaverse）等新科技的不斷進步，相信這些創新科技必將在未來的交通事故調查領域發揮關鍵的作用，有助提升事故調查的科學性，為司法鑑定和法庭審理提供更加精確和直觀的證據支持，為維護社會公平正義貢獻一份力量。

二、研究目的

本研究的主要目的是探討 3D 掃描與虛擬實境技術在交通事故現場重建中的應用潛力，探究以下的問題：

1. 分析傳統交通事故現場調查方法的限制，明確新技術應用的必要性和可行性。
2. 探討 3D 掃描技術在交通事故現場紀錄的應用方法和流程。
3. 探討如何將 3D 掃描資料，轉化為虛擬實境的 3D 模型，如何落實交通事故現場的虛擬現場重建。
4. 探索 3D 列印技術在製作交通事故現場實體模型中的應用。
5. 評估這些新技術在提高事故調查準確性、效率和直觀性方面的潛在優勢。
6. 討論新科技的應用，可能面臨的挑戰和限制，並提出相應的解決策略方向。

三、文獻回顧

3.1 虛擬實境（Virtual Reality，VR）

虛擬實境（VR）技術的發展與應用，為交通事故現場重建帶來革命性的變革，以下將回顧虛擬實境（VR）技術的發展歷程，並探討其在交通事故現場重建的潛力，為交通事故現場重建的創新方法提供理論基礎。

1. 虛擬實境技術的起源與發展：虛擬實境技術的概念，最早可追溯至 1963 年，由被譽為「電腦圖學之父」的 Ivan E. Sutherland 教授提出。他介紹「終極顯示技術（Ultimate Display）」的概念，開啟人機互動的新紀元。1968 年，Sutherland 成功研發出第一個頭盔顯示器，實現 3D 立體顯示的功能，被公認為第一台 VR/AR 設備，奠定 VR 發展的基礎。虛擬實境是一種整合性技術，提供高層次的人機介面，其核心特徵包括沉浸感（Immersion）、互動性（Interaction）

和想像力 (Imagination)。這三個要素被稱為虛擬實境的「三個 I」。通過頭戴式顯示器、手套等設備，使用者可在虛擬環境中，自由移動和互動，獲得身臨其境的體驗。隨著科技的進步，虛擬實境設備從早期笨重、不便攜帶的有線裝置，演變為現今輕便的無線穿戴式裝置。另處理器性能的提升、圖像解析度的改善及網路頻寬的增加，使得 VR 技術的應用範圍不斷擴大，從娛樂、教育到專業培訓等領域，均有廣泛應用。

2. 虛擬實境技術在交通事故現場重建與法庭應用：早在 1992 年，VR 技術就首次在法庭上成功應用的案例，在史蒂文森訴訟本田公司一案中，本田公司利用 VR 技術重建車禍現場，使陪審團能夠從騎士的角度，體驗事故發生的情況，最終影響案件的判決結果。此案開創 VR 技術在法庭上應用的先河。

2015 年，瑞士蘇黎世大學法醫研究所的研究人員發表一項使用 VR 頭戴式設備 (Oculus Rift) 探索事故和犯罪現場 3D 重建的研究。該研究證實，虛擬實境技術可為法庭提供一種新的「輔助說明」形式，使參與者能夠沉浸在近 360 度的全視野犯罪現場中，具有身歷其境的臨場感。

2016 年英國史丹佛郡大學的研究人員提出利用虛擬實境技術將陪審員和法官「送到」虛擬犯罪現場的概念，這是歐洲首次將虛擬實境應用於鑑識科學的專案。

2018 年，北京市第一中級人民法院在審理一宗蓄意殺人案時，首次在法庭上使用 VR 技術重建犯罪現場，開創中國將 VR 運用於司法實踐的先例。

3. 虛擬實境技術在交通事故現場重建中的應用前景：傳統的 2D 記錄方式礙於角度和平面的疑慮，往往難以全面呈現事故發生的細節，善用虛擬實境技術即可幫助事故調查人員更好地理解和分析交通事故現場。

3.2 3D 圖形與 3D 建模軟體工具

建立 3D 圖形的過程通常分為三個基本階段：包含建模、場景布局和動畫、繪製。傳統的 3D 計算機圖形領域，是通過模擬光與物質的相互作用，從幾何場景描述產生圖像。L. McMillan (1997) 的研究提出了一個新的觀點，只使用圖像合成三維計算機圖形，用透視圖像取代幾何場景描述，並用數據插值代替模擬過程。此一觀點為交通事故現場重建提供新的思路，即可直接利用傳統現場拍攝的高質量圖像，來重建 3D 場景，而無需繁瑣的幾何建模過程。

在 3D 建模軟體工具方面，SketchUp 具有直觀、靈活、易於使用的特點，其簡單的介面使得即使非專業的交通事故調查人員也能快速掌握基本操作。SketchUp 在 Google Earth 上的建模功能可與真實地理環境進行精確對應，有助於更全面地分析事故發生的環境因素；此外，SketchUp 的 3D Warehouse 功能允許用戶上傳和分享自己建立的模型，為交通事故調查人員提供豐富的資料庫，可快速獲取各種車輛、道路設施等常見模型，大大提高建模效率。

在 VR 開發平台方面，Vizard 利用最新的 OpenGL 擴展模塊開發出高性能圖形引擎，它支持使用 Python 語言進行開發，並能自動將編寫的程式轉換為位元組碼抽象層 (LAXMI)，從而實現高效的渲染。Vizard 的圖形性能優化主要體現在視體剔除 (view frustum culling) 和紋理及材質屬性分類的演繹中，這些特性對於交通事故現場重建特別有價值，因為交通事故現場往往包含大量細節和複雜的環境元素，需要高效的渲染技術來保證 VR 體驗的流暢性。隨著圖形處理器 (GPU)

運算速率的不斷提升，LAXMI 技術可充分利用圖形流水體系的優勢，為交通事故現場的虛擬重建提供更加逼真和流暢的視覺效果。不僅有助於調查人員更好地分析事故細節，也能在法庭上為陪審團和法官提供更直觀的案件呈現。

WorldViz 公司為研究人員提供創新的 VR 解決方案，例如運用社會心理學和空間認知的研究成果應用於分析駕駛員在事故發生前的心理狀態和空間判斷能力；感知研究的結果幫助理解事故目擊者證詞的可靠性；犯罪現場調查的 VR 應用經驗，則直接運用在交通事故現場的重建工作。

3.3 3D 列印技術的應用

3D 列印技術在交通事故現場重建中的應用，不僅局限於汽車事故，也可以應用於其他交通工具，如飛機、火車、船舶等。以飛機事故為例，3D 列印技術可以幫助調查人員重建機身破碎的細節，並製作出實體模型，用於分析事故原因。

3D 列印技術，也稱為積層製造（Additive Manufacturing, AM），是近年來科技界的一大突破。根據美國材料和試驗協會（ASTM）的分類，3D 列印技術主要包括 7 大類型：粉末床熔融成型、黏著劑噴印成型、光聚合固化、疊層製造成型、材料擠製成型、材料噴塗成型，以及指向性能量沉積技術。這些不同的技術適用於不同的材料，如塑膠、金屬、陶瓷、生物材料等，並廣泛應用於航空航天、醫療、建築、工藝品等領域。

3D 列印技術應用於在交通事故現場重建方面，是結合 3D 掃描和虛擬實境技術。利用 3D 列印技術可製作出實體的事故模型。例如：粉末床熔融成型技術（PBF）可以用於製造金屬零件的實體模型，而黏著劑噴印成型技術（BJ）則可用於製造塑膠、陶瓷等材質的模型。光聚合固化技術（VP）可用於製造高精度的樹脂模型，而材料擠製成型技術（ME）則可用於製造塑膠或石膏的模型。

四、3D 掃描與虛擬實境技術在交通事故現場重建中的應用

4.1 交通事故現場 3D 重建，主要包括以下步驟：

1. 現場 3D 掃描：首先，調查人員需要使用 3D 激光掃描儀對交通事故現場進行全方位掃描，高精度的掃描設備可快速捕捉現場的幾何資訊，包括道路標線、車輛位置、障礙物等。同時，還需要使用高解析度的相機拍攝現場照片，以便後續進行紋理映射，此外，調查人員還需要記錄交通事故現場的各種測量數據，如車輛間距、受傷人員位置、血跡、剎車痕跡長度等。
2. 立體模型的建構：利用專業的 3D 建模軟件（如 SketchUp）根據 3D 掃描數據和現場照片，建構交通事故現場的精確 3D 模型，其程序包括：
 - (1) 地形建模：根據 3D 掃描數據，重建道路、路側設施等環境元素。
 - (2) 車輛建模：根據現場照片和測量的數據，精確將涉事車輛 3D 建模。
 - (3) 材質與光照設置：為 3D 模型添加真實的材質和光照效果，提高模型的真實感。

在建模過程中，需要特別注意交通事故現場細節的還原，如路面標線、交通標誌、車輛損壞、人員受傷情況等，以確保 3D 模型的準確性和可信度。

3. 交通事故現場照片整合：為了進一步提高 3D 模型的真實感，使用 Vizard 等 3D

軟件，將現場照片與 3D 模型進行整合。通過將高解析度的現場照片，精確地貼合到 3D 模型表面，可最大限度地保留事故現場的原貌，同時增強場景的真實感和環境細節的表現，此步驟對於後續的案情分析和證據的呈現至關重要。

4. 事故過程分析與重建：在完成 3D 模型的建構後，根據交通事故現場各種物證（如車輛損壞情況、剎車痕跡、油漆、玻璃碎片、血跡的分布等）和人證（目擊者證言），分析推論交通事故發生的具體過程，這過程需要結合物理與鑑識的知識，如車輛動力學、碰撞力學等，以確保交通事故重建的科學性和準確性。

將分析結果在 3D 模型中進行標注，包括：車輛行駛軌跡、碰撞點位置、關鍵時間點的車輛速度、碰撞後的車輛運動路徑、人員受傷情況等，通過這些標註，3D 模型不僅展示交通事故現場的靜態資訊，還包含事故發生過程的動態資訊，即可形成高度仿真的 4D（三維空間+時間）交通事故現場重建模型。

5. 虛擬實境（VR）系統開發：最後，基於上述 4D 重建模型，即可開發一套 VR 的交互系統，該系統具有以下功能：

- (1) 沉浸式的體驗：使用者戴上 VR 頭盔後，可身臨其境地置身於虛擬重建的交通事故現場中。
- (2) 多視角的觀察：使用者可自由切換不同視角，從不同位置和角度觀察交通事故現場。
- (3) 時間軸控制：使用者可沿著時間軸前後移動，觀察事故發生前、中、後的場景與證據的變化。
- (4) 不同角色扮演：系統允許使用者扮演事故中的不同角色（如駕駛、乘客、行人等），體驗不同視角下的交通事故發生過程。
- (5) 交互式分析：使用者可點選場景中的各種元素，看詳細資訊和分析的結果。

為了更好地說明上述 3D 重建技術在交通事故現場重建中的應用價值，以下提供假設的情境如下：一起發生在城市十字路口的嚴重交通事故，涉及轎車和摩托車，事故造成摩托車駕駛重傷，轎車駕駛聲稱綠燈通行，而目擊者證詞存在矛盾。在這個案例中，3D 重建技術的應用流程與順序如下：

1. 現場掃描：使用 3D 掃描儀對整個十字路口進行掃描，包括道路布局、交通燈號及位置、車輛、人員的最終位置等。
2. 掃描 3D 建模：根據 3D 掃描數據和現場照片，建立精確的 3D 模型，包括路口環境、涉事車輛等。
3. 現場證據整合：將剎車痕跡、玻璃、油漆碎片分布等物證資訊，標注在 3D 模型中，有助精確地還原事故發生時的場景。
4. 事故重建分析：根據物證和目擊者證詞，重建推演可能的事故過程，在 3D 模型中模擬不同的碰撞情景的合理程度。
5. 虛擬實境系統開發：基於 3D 模型和事故分析結果，開發 VR 交互系統。

通過這個 VR 系統，調查人員、檢察官、律師和法官可從不同角度觀察交通事故現場，評估駕駛和目擊者的視線條件；模擬不同的交通燈信號情況，分析其對交通事故的影響；重現可能的碰撞過程，模擬測試不同撞擊角度下的物理變形情況，分析車輛剎車時的輪胎痕跡、車速、碰撞角度等因素，比較不同目擊者證

詞對應的交通事故情景，判斷哪種情況更符合物證的鑑定結果。這種全方位的 3D 重建和 VR 模擬，可以幫助調查人員和司法人員更好地理解和分析複雜的事故情況，為案件的公正裁決提供有力支持。

4.2 3D 科技運用在交通事故現場重建的優勢

與傳統的二維平面呈現方式相較，3D 重建技術是利用電腦圖形技術和相關軟體工具的發展，在交通事故現場重建中具有以下顯著優勢與前景：

1. 高精度還原現場的細節：3D 掃描技術可快速、精確地捕捉交通事故現場的幾何資訊，結合高解析度的照片，再結合 SketchUp 等建模工具，能夠生成高度還原現場細節的 3D 模型。此種方法可避免傳統 2D 照片所造成的資訊缺失，常見的資訊，像是缺乏深度，無法瞭解空間關係、比例尺度等。例如，在一起多車連環碰撞事故中，3D 模型可精確還原每輛車的位置、朝向和損壞情況，這對理解事故發生的順序和原因非常重要。
2. 動態再現事故過程：利用 Vizard 等虛擬實境開發平台，在 3D 模型基礎上，VR 系統能夠動態地再現整個交通事故過程，這種動態演示不僅可展示車輛的平面運動軌跡，還可呈現碰撞時的細節，例如車輛如何變形、碎片如何飛濺、人員如何受傷等。這些動態的再現，有助於理解事故的因果關係，特別是在複雜的連環碰撞或涉及複雜的交通事故中，均可清晰地展示每個階段的變化過程，幫助調查人員分析事故原因。
3. 沉浸式 VR 體驗：VR 技術為使用者提供身臨其境的沉浸式體驗，此與傳統的 2D 圖片或影片相比，VR 系統能讓使用者更真切地感受到交通事故現場的空間布局、環境條件（如天氣、光線）的差異，這種沉浸式體驗對於理解交通事故發生時的視線條件、反應時間等關鍵因素非常有幫助。例如，在一起夜間交通事故中，法官可通過 VR 系統，親身體驗案發當時的光線條件，更能精確地判斷駕駛的視線範圍和反應時間是否合乎常理的範圍。
4. 多維度交互分析：3D 重建技術提供豐富的交互分析功能。使用者可自由切換不同視角，從不同位置和角度觀察交通事故現場，有助發現傳統 2D 照片可能遺漏的細節。例如，在一起涉及視線遮擋的交通事故中，調查人員可通過切換到駕駛的視角，準確判斷其是否有可能看到受害者。此外，時間軸控制功能允許使用者在事故發生的不同時間點之間自由切換，有助於理解交通事故的時間序列和因果關係。
5. 客觀呈現科學證據：3D 重建技術基於精確的測量數據和科學的分析方法，可客觀地呈現交通事故現場和過程，客觀的觀察有助於減少主觀判斷的偏差，為交通事故案件調查和審判提供更可靠的依據。例如，在判斷車速是否超限的案件中，3D 重建系統可根據剎車痕跡長度、車輛損壞程度、傷者撞拋路徑和距離等客觀數據，通過物理計算得出更準確的車速估算結果，運用於法庭上可以讓法官形成更高层次的心證。
6. 提高溝通效率：3D 重建技術為各方提供一個共同的視覺化平台，有助於提高案件相關人員之間的溝通效率。調查人員、專家證人、律師、檢察官和法官可基於共同認可的 3D 模型來進行討論，減少因理解偏差而導致的爭議。例如，在討論碰撞角度對車輛損壞的影響時，各方可在 3D 模型上直接進行重建、演示和分析，更容易達成共識。

7. 跨領域學科融合分析：藉由 WorldViz 等公司的跨領域研究經驗，可將社會心理學、空間認知等領域的研究成果，融入交通事故的人因工程分析中，提供更全面的事故原因與解釋。
8. 協同調查：利用 3D Warehouse 等共享平台，不同的調查人員可共享和協作，完善事故 3D 現場模型，共同探討，釐清真相，提高調查效率。
9. 培訓與教育：虛擬重建各種經典的交通事故現場，可作為警察和交通安全教育的創新工具，提高公眾的安全意識。

然而，在應用上述科技時，也需要注意一些潛在的挑戰，例如資料與數據準確性的保證、虛擬重建的法律效力、隱私保護等問題，這些都需要在未來的研究中進一步探討和解決。總之，3D 掃描與 VR 技術為交通事故現場重建帶來革命性的變革，通過整合先進的 3D 建模工具和 VR 平台，實現更加精確、直觀和互動的交通事故現場重建，進而提高交通事故調查的效率和準確性。

4.3 未來展望

隨著技術的不斷進步，3D 重建技術在交通事故現場重建中的應用前景廣闊：

1. AI 輔助分析：人工智慧技術可以被整合到 3D 重建系統中，自動分析事故數據，提出可能的事故原因和責任判定建議，這將大大提高事故調查的效率和準確性。
2. 實時遠程協作：基於雲技術的 VR 系統可以支持多人同時在虛擬環境中進行遠程協作，這將便於不同地點的專家共同分析複雜案件，提高調查效率。
3. 大數據分析：通過積累大量的 3D 重建案例，可以建立交通事故大數據庫。這將有助於發現事故模式，為交通安全政策制定提供依據。
4. 元宇宙 (Metaverse) 的新科技的應用：隨著虛擬實境 (VR) 與擴增實境 (AR) 技術的發展，未來可能實現在實際交通事故現場疊加虛擬資訊搭配元宇宙 (Metaverse) 的功能，進一步提升現場調查的效率和準確性。
5. 法律和倫理問題的探討：隨著 3D 重建技術在司法領域的廣泛應用，相關的法律和倫理問題也需要深入探討。例如，如何確保 3D 重建模型的法律效力，如何保護涉案人員的隱私等。

總之，3D 掃描與 VR 技術不僅能夠更精準地記錄和保存交通事故現場的原貌，還能夠生動地再現案發過程，為重建交通事故現場、發現真相提供重要的輔助工具。在未來的司法實踐中，該技術將在更多案件中得到應用，為司法人員提供更有力的科學支持，然而，也需要注意，3D 重建技術應該與傳統的調查方法相輔相成，而不是完全取代，只有將先進技術與專業的法律和鑑識知識相結合，才能最大限度地發揮 3D 重建技術在交通事故調查中的價值。

五、結論、建議與未來研究方向

5.1 結論：

3D 掃描技術在交通事故現場調查中表現出顯著優勢，包括高效率的資料採集、高精度的測量結果和全面的資訊記錄。這項技術能夠大幅提升現場勘查的效率和準確性。虛擬實境技術為交通事故重建提供了一種創新的方法。通過 VR 模型，調查

人員能夠以更直觀、互動的方式分析事故情況，特別是在複雜案件中，VR 技術的優勢更為明顯。3D 列印技術在製作交通事故現場實體模型方面展現出高精度和高實用性。這種實體模型不僅有助於案件分析，還在法庭證據展示中發揮重要作用。結合 3D 掃描、VR 和 3D 列印技術的綜合應用，能夠顯著提高交通事故調查的全面性、準確性和直觀性，為事故責任認定和法律程序提供更可靠的技術支持。

5.2 建議

基於本文初探結果，提出以下建議：

1. 推廣應用：建議在全國範圍內逐步推廣 3D 掃描技術在交通事故現場調查中的應用，特別是對於複雜或重大交通事故案件。
2. 培訓計劃：制定系統的培訓計劃，提高交通警察和事故調查人員對新技術的運用能力。
3. 標準化流程：建立 3D 掃描、VR 重建和 3D 列印的標準化操作流程，確保技術應用的一致性和可靠性。
4. 設備投入：增加相關設備的投入，在各地交通警察部門配備必要的 3D 掃描儀、VR 設備和 3D 列印機。
5. 跨部門合作：加強警察實務單位與科研機構、技術公司的合作，持續優化和開發新的應用方案。
6. 法律應用：推動相關法律法規的更新，使得基於新技術獲取的證據能夠有可靠性與真實性，並具備證據能力與獲得法官的採信。

5.3 未來研究方向

本文為 3D 掃描、VR 和 3D 列印技術在交通事故調查中的應用提供了初步探索，但仍有許多方向值得進一步研究：

1. 自動化分析：開發基於人工智慧的自動化事故分析系統，提高事故重建的效率和精準度。
2. 大數據應用：結合大數據技術，建立交通事故資料庫，為事故預防和道路安全改善提供依據。
3. 增強現實（AR）技術：探索 AR 技術在現場勘查中的應用，實現實時資訊疊加和交互功能。
4. 遠端專家系統：開發基於 5G 網路的遠程專家會診系統，實現實時、高效的跨地區專家協作。
5. 法律和倫理研究：深入研究新技術應用可能引發的法律和倫理問題，如隱私保護、資料安全等。

整體而言，3D 掃描、虛擬實境和 3D 列印技術的整合，為交通事故調查和重建開闢了新的途徑。這些技術不僅提高了調查的效率和準確性，還為事故分析和證據呈現提供更加直觀、全面的方法。隨著技術的不斷發展和應用經驗的積累，我們有理由相信，這些新技術將在未來的交通事故調查工作中發揮越來越重要的作用，為提高道路安全和交通管理水平做出重要貢獻。

參考文獻

- 李承龍、方圓、李思濤、王明志 (2019)，「新科技在犯罪現場調查的運用」，108 年刑事警察科學術與實務研討會。
- 李承龍、方圓、李思濤、牟展佑、蔡明達、王明志 (2019)，「3D 技術整合情境虛擬在犯罪現場空間的運用」，第 28 屆國防科技學術研討會。
- 楊劭鈞 (2014)，3D 技術於犯罪現場調查之應用，交通大學科技管理研究所碩士論文。
- 李承龍、方圓、李思濤、牟展佑、蔡明達、王明志 (2019)，「3D 技術整合情境虛擬在犯罪現場空間的運用」，第 28 屆國防科技學術研討會。
- Casey, P., Lindsay-Decusati, R., Baggili, I., & Breiting, F. (2019), "Inception: Virtual Space in Memory Space in Real Space—Memory Forensics of Immersive Virtual Reality with the HTC Vive", *Digital Investigation*, No.29, pp.S13-S21.
- Ebert, L. C., Nguyen, T. T., Breitbeck, R., Braun, M., Thali, M. J., & Ross, S. (2014). The forensic holodeck: an immersive display for forensic crime scene reconstructions. *Forensic science, medicine, and pathology*, vol.10, No.4, pp.623-626.
- Karabiyik, U., Mousas, C., Sirota, D., Iwai, T., & Akdere, M. (2019, October). A Virtual Reality Framework for Training Incident First Responders and Digital Forensic Investigators. In *International Symposium on Visual Computing*, Vol. Springer, Cham.,pp. 469-480.
- Koller, S., Ebert, L. C., Martinez, R. M., & Sieberth, T. (2019). Using virtual reality for forensic examinations of injuries. *Forensic science international*, Vol.295, pp.30-35.
- Lee, C. L., Fang, Y., & Wang, M. C(2019), "The Application of Modern Technology in Crime Scene Investigation", 2019 Asian Association of Police Studies (AAPS) Annual Conference.
- Lee, C. L., Fang, Y., Huang, Y. H., Lee, S. H., & Yeh, W. C. C. (2019, December), "Application of Wearable Devices in Crime Scene Investigation and Virtual Reality", 2019 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI), pp. 206-210.
- McMillan, L. (1997) An image-based approach to three-dimensional computer graphics, Doctoral dissertation, University of North Carolina at Chapel Hill.
- Mertens, R., & Allen, J. J. (2008), "The role of psychophysiology in forensic assessments: Deception detection, ERPs, and virtual reality mock crime scenarios", *Psychophysiology*, Vol.45, No.2, pp.286-298.
- Poelman, R., Akman, O., Lukosch, S., & Jonker, P. (2012, February), "As if being there: mediated reality for crime scene investigation", *Proceedings of the ACM 2012 conference on computer supported cooperative work*, pp. 1267-1276.
- Sieberth, T., Dobay, A., Affolter, R., & Ebert, L. (2019), "A toolbox for the rapid prototyping of crime scene reconstructions in virtual reality", *Forensic science international*, Vol.305, pp.110006.
- Sieberth, T., Dobay, A., Affolter, R., & Ebert, L. C. (2019), "Applying virtual reality in

- forensics—a virtual scene walkthrough. *Forensic Science*, *Medicine and Pathology*, Vol.15,No.1, pp.41-47.
- Süncksén, M., Teistler, M., Hamester, F., & Ebert, L. C. (2019), “Preparing and guiding forensic crime scene inspections in virtual reality”, *Proceedings of Mensch und Computer*, pp. 755-758.
- Van Gelder, J. L., Otte, M., & Luciano, E. C. (2014), “Using virtual reality in criminological research”, *Crime Science*, Vol.3,No.1, p.10.
- Wang, J., Li, Z., Hu, W., Shao, Y., Wang, L., Wu, R., ... & Chen, Y. (2019), “Virtual reality and integrated crime scene scanning for immersive and heterogeneous crime scene reconstruction”, *Forensic science international*, Vol.303, p.109943.
- Xu, H., Badawi, R., Fan, X., Ren, J., & Zhang, Z. (2009, October), “Research for 3D visualization of digital city based on SketchUp and ArcGIS”, *International Symposium on Spatial Analysis, Spatial-Temporal Data Modeling, and Data Mining, International Society for Optics and Photonics*, Vol.7492, p.74920Z.
- 3D 掃描大剖析：5 種技術比較懶人包，擷取日期：2024 年 7 月 25 日，網站 <https://3dmart.com.tw/news/3d-scanner-knowledge>
- MagicPlan - 繪製空間平面設計圖很難，用手機拍照就幫你畫好 - 就是教不落，擷取日期：2024 年 7 月 25 日，網站 <https://steachs.com/archives/14324>
- TASC/ Advanced Scientific Computing Center – A research center of TEES/ Texas A&M Engineering Expert, Retrieved July 25, 2024, website:<https://tasc.qatar.tamu.edu>
- Vr Will Let Jurors Explore Crime Scenes As They Actually Appeared (2016), Retrieved July 25, 2024, website:<http://www.digitaltrends.com/cool-tech/vr-crime-scene-robot/>.
- VR 大未來：虛擬實境五大發展方向（2016 年），擷取日期：2024 年 7 月 25 日，網站 http://www.find.org.tw/market_info.aspx?n_ID=8792. (accessed on 2016/09/27)
- VR 功用再進化 模擬犯罪 360 度無死角，擷取日期：2024 年 7 月 25 日，網站 <https://www.chinatimes.com/tube/20160916003211-261410?chdtv>
- VR 機器人 MABMAT：這款最具正義感的機器人，讓不在現場的法官「浸入」犯罪現場的每一個角落，擷取日期：2024 年 7 月 25 日，網站 <https://kknews.cc/zh-tw/world/ro99gn.html>
- 一次搞懂虛擬實境 VR、混合實境 MR、擴增實境 AR（2016 年），擷取日期：2024 年 7 月 25 日，網站 http://www.inside.com.tw/2015/10/08/what_are_vr_mr_ar/.
- 重建刑案首見 3D 雷射掃描儀，擷取日期：2024 年 7 月 25 日，網站 <https://news.ltn.com.tw/news/society/paper/247631>
- 虛擬實境（2016 年），擷取日期：2024 年 7 月 25 日，網站 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%99%9A%E6%8B%9F%E7%8E%B0%E5%AE%9E>.