

影像處理技術於偵查與鑑識之應用- 由二維到三維空間

中央警察大學鑑識科學學系與研究所教授 溫哲彥

目 次

- 壹、前言
- 貳、二維 (2D) 影像處理技術
- 參、三維 (3D) 影像處理技術
- 肆、結論

摘 要

攝錄影裝置與設備已大量地融入在我們的日常生活中，無論是金融機構與便利商店的監視錄影系統，或是幾乎人手一機的手持式裝置（例如：手機與平板等），現代人的生活已可被輕易地用影像的方式所記錄，而這樣的環境也改變犯罪偵查與鑑識工作的方式，無論是現場的監視錄影畫面，或是鑑識人員的勘查照片與錄影等，都已成為了解現場環境與案件發生過程的重要依據。隨著監視錄影系統技術的進步，它的功能也由被動紀錄轉換為主動的智慧型監控系統（例如：區域管制、可疑物偵測、人貌比對、圖形搜尋等），這些新的工具提供了犯罪預防與輔助偵查的可能性。而上述系統所獲得的資料，無論是做為車牌號碼的解析與比對、嫌疑人面貌的比對與身高的估算、指紋與鞋印照片的強化、物證影像資料庫的建立與搜尋、或是智慧型監控系統的應用等，數位影像處理技術（digital image processing）著實扮演著重要的角色。近年來，三維（3D）雷射掃描技術已被成功地應用於記錄物體幾何資訊與刑案現場環境，藉由光達（Light Detection and Ranging/LIDAR）等較長距離之儀器，我們可以記錄現場環境與各跡證間相對位置之關係；而對於現場單一證物之外觀，則可利用手持式 3D 雷射掃描儀進行記錄；對於人貌的紀錄與比對，我們也可藉由 3D 掃描器進行相關工作。藉由這些 3D 資料所提供之資訊，可提供偵查與鑑識人員於事後重建虛擬現場，並讓參與案件偵審之人員可獲得較具體化的資訊。本文將針對以上所提之 2D 與 3D 影像處理技術，進行相關介紹。

關鍵字：影像處理技術、3D 雷射掃描、現場記錄、鑑識科學

壹、前言

在我們的日常生活中，無論是金融機構與便利商店的監視錄影系統，或是幾乎人手一機的手機與平板，攝錄影裝置已是處處可見，藉由這些設備，我們可輕易地將週遭的事物用影像的方式記錄下來。這樣的環境除了帶給現代人許多生活的樂趣外，也改變犯罪偵查與鑑識工作的方式。當案件發生後，蒐集相關錄影畫面與照片已是必須的動作，無論是固定式的現場監視設備，或是移動式手持裝置（例如：手機與平板等），甚至是偵查與鑑識人員的勘查照片與錄影畫面等等，都已成為了解現場環境與案件發生過程的重要依據。而由不同的光源所獲得的資料，例如：利用多波域光源設備勘查現場指紋與血跡，以及使用紅外線相機進行偵查與搜索等等，更能提供肉眼無法直接辨識的許多資訊。而由上述所獲得的資料，無論是做為車牌號碼的解析與比對、嫌疑人面貌的比對與身高的估算、或是指紋與鞋印照片的強化等，數位影像處理技術著實扮演著重要的角色，其中尤其以影像強化（image enhancement）與影像還原（image restoration）最為常用。另一個應用的例子是「以內容為基礎的影像檢索系統（content-based image retrieval/CBIR）」，此種系統是藉由影像本身所提供的資訊與特徵進行檢索，而非使用傳統文字（Wen and Yu, 2005; Wen and Yao, 2005; Wen et al., 2008; Yu et al., 2012），例如：使用一張藥丸的照片，藉由它的形狀與表面圖案等特徵，並經由電腦計算，我們可直接進行資料庫檢索，並初估藥品的種類，而無須藉由文字的描述。

視訊處理（digital video processing）是針對視訊資料所發展出的另一種處理技術，它是數位影像處理的延伸，例如：視訊強化（video enhancement）與視訊還原（video restoration）。然而，隨著技術的快速進展，使得監視錄影系統的功能也由傳統的被動紀錄轉換為主動監控的方式，我們統稱為「智慧型監控系統」，相關的應用例子包括車牌辨識、區域管制、可疑物偵測、人貌比對、目標物追蹤與搜尋、以及以內容為基礎的視訊檢索系統（content-based video retrieval/CBVR）等（Wen, 2004; Wen et al., 2005; Chiu et al., 2006; 溫哲彥等，2006; Wen et al., 2007），這些技術提供了犯罪預防與輔助偵查的新工具。

上述內容均屬於二維（2D）影像的範圍，雖然經由相關技術的處理，我們已能獲得許多所需要的資訊，然而我們所身處的生活環境則是屬於三維（3D）的立體空間，若能直接獲得3D影像，並進行相關技術的處理，所獲得的資料則是更接近我們真實的世界。近年來，獲取3D影像的設備與技術已有大幅度的進步，使用上也愈加便利（例如：富士REAL3D W3相機、微軟Kinect、光達Light Detection and Ranging等等），藉由相關設備所獲得的資料，無論是視覺上的感受，或是提供量測的用途，都使得我們更貼近真實的立體世界。3D影像資料依照使用目的不同而有相當大的差異，我們可將其大致分為兩大領域：「視覺」與「建模」。

在視覺方面，主要是提供人類視覺上的 3D 感受，藉由特殊的資料呈現方式（例如：顏色差異或是 2.5D depth map 的深度資料 <<http://en.wikipedia.org/wiki/2.5D>>），使得我們在觀看此類資料時，產生有如觀看實際物體時的「感覺」。若依照觀看方式的不同，又可分為需要配戴 3D 眼鏡與裸視 3D（亦即不需配戴 3D 眼鏡）兩種方式，例如：現在許多 3D 電影放映時，需要請觀眾戴上 3D 眼鏡，才能產生立體的效果，就是屬於前者；而使用特殊的 3D 照相機（例如：富士 REAL3D W3），即可產生可直接觀看的 3D 影像，則是屬於後者。無論是前者或是後者，相關技術已快速地應用在我們的日常生活中（像是電影、電視、網路街景、與建築物的 3D 場景展示等等）。

在建模方面，主要是建立空間環境或物體的 3D 資料，以提供可進行分析與應用的資料。若依照資料格式做區分，此類技術可大致分為兩類：立體像素（volumetric picture element/voxel）與點雲資料（point clouds）。簡單地說，若需要了解物體內部的情况，我們需要能穿透物體表面的工具，例如：電腦斷層掃描（Computed Tomography/CT）與核磁共振成像（Magnetic Resonance Imaging/MRI）等設備，這類設備能將物體內部的情况用立體像素的方式做紀錄。所謂立體像素，我們可把它想像成一塊可記錄 3D 座標與顏色的正方體積木，利用許多塊這樣不同顏色的積木，我們可排列成一個立體形狀的物體，這就成為這物體的 3D 影像了。另一方面，若只是要獲得物體的外型幾何資訊，例如：建築物與物品外部形狀、人的面貌等等，我們則可使用點雲資料的紀錄方式。所謂點雲，我們可將其想像成一顆顆可記錄 3D 座標的小豆子（例如：雷射光束），將許多小豆子貼在目標物體的表面（例如：投射雷射光束），我們即可獲得此物體外型的幾何資訊（有些設備亦可同時記錄顏色）。獲取此類點雲資料的 3D 掃描器，依照原理的不同，包括雷射式、光柵式、視差法（利用不同影像間的幾何差異關係）等方式。

由於 2D 與 3D 影像資料的格式與所代表的物理意義不同，雖然部分 2D 影像處理技術的觀念可延伸用來處理 3D 資料，然而有許多 3D 技術是必須重新研究與開發的，甚至必須與其它領域相結合，例如：電腦圖學（computer graphics）與電腦輔助設計（computer-aided design/CAD）等，而這正是吸引許多人員進行相關技術研究與發展的原因。近年來，3D 技術在偵查與鑑識工作的應用上，已有一些的嘗試，例如：輔助人貌重建（經由頭骨的 3D 模型為基礎，我們可估算原來的面貌 <<http://www.faro.com/measurement-solutions/applications/crime-scene-analysis>>），血跡型態分析（Buck et al., 2011），在車禍現場的環境記錄（經由 3D 掃描器，我們能快速地記錄現場狀況，尤其是較大範圍的現場），以及利用手持式 3D 掃描器記錄現場單一物證的外觀等。此外，3D 列印技術的快速發展與商品化，亦帶動新的應用方向與商機。

偵查與鑑識兩者必須緊密合作，才能發揮打擊犯罪的功能，然而我們也必須了解它們所扮演的角色是大不相同的，簡而言之，偵查的主要目的是發掘真相，而鑑識的主要目的則是確認事實。在發掘真相的過程中，我們可經由許多的方式

與工具獲得對案件偵辦有助益的資訊（例如：藉由監視錄影畫面尋找可疑人或車輛），並進行更進一步的查證；然而在確認事實時，就必須選擇公認有效（valid）的鑑識方法與工具，換言之，對於無法驗證或不確定性太高的方法與工具，就不適合應用在鑑識工作上。以數位影像處理技術來說，若處理後的影像所提供的資訊（請注意「資訊」與「資料」是不相同的）有可能因為方法或參數設定的不同而造成差異時，此時除非有其他資訊的輔助驗證，否則處理後的結果將僅能做為偵查上的參考；相反的，若獲得之資訊並不會因方法或參數的不同而造成差異時，所獲得的處理結果則可成為有用的鑑定報告。簡單地說，應用影像處理技術於鑑識工作時，其目的是用來改善影像所含資訊的可讀性；而應用於輔助偵查時，則是盡可能地從影像資料中獲取任何資訊。

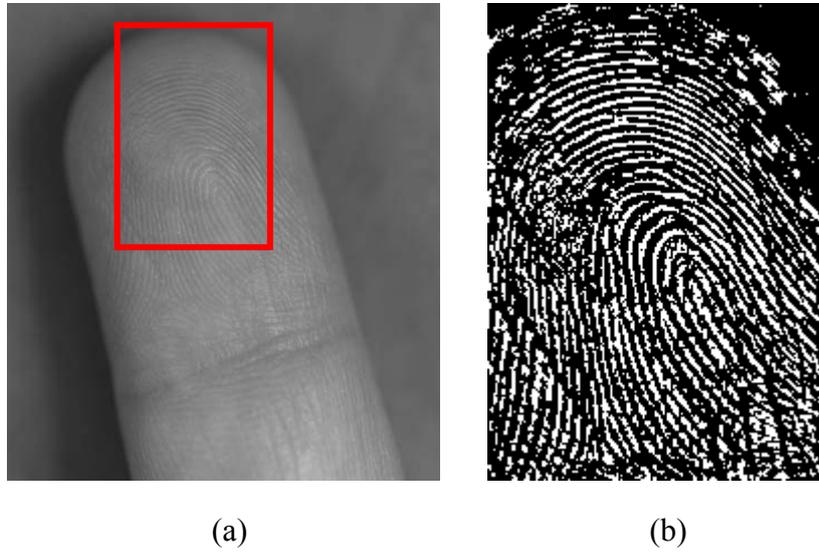
在以下的章節中，我們將分別舉例介紹常用的 2D 與 3D 影像處理技術，以及如何應用於偵查與鑑識工作。

貳、二維（2D）影像處理技術

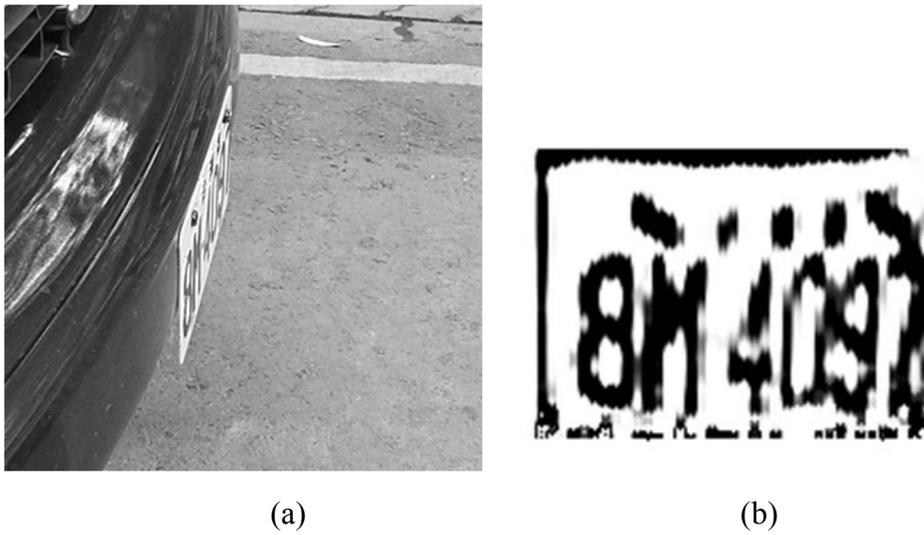
我們在此章節中，將針對影像強化（image enhancement）與影像還原（image restoration）、影像融合（image fusion）、以內容為基礎的影像檢索系統（content-based image retrieval, CBIR）、以及智慧型監控系統進行介紹與說明。

一、影像強化（image enhancement）與影像還原（image restoration）

影像強化與影像還原是數位處理技術中最常被使用到影像偵查與鑑識工作上的，雖然兩者都是以改善影像的可讀性為目的（亦即是讓我們獲取影像中所含的資訊），然而兩者所處理的問題與所使用到的技術是完全不同。以圖一為例，圖一(a)是一張手指的照片，我們可使用影像強化的方法（調整對比與亮度），將影像中指紋的紋路做較清楚的呈現，結果如圖一(b)所示，在此例子中，我們並未改變原有指紋的紋路資訊，而只是讓我們更容易做視覺上的辨識，亦即是改善影像的可讀性。若是在不改變原有資訊（資料的調整是不可避免的）的情況下，此處理的結果是有機會成為證據。另一方面，我們以圖二為例做為影像還原的說明。圖二(a)為一張拍攝角度不佳之車牌影像（Wen et al., 2002），如果它的解析度足夠（如這個例子），經過電腦圖學的 3D 旋轉還原處理後，我們可獲得如圖二(b)之影像，從還原的結果，我們確實提高了車牌號碼之可讀性。然而，在此例子中，我們需要估算旋轉所需的角度的，並以有限的資料進行運算，因此，在大部份的情況下，還原的結果只能當成偵查的參考。



圖一

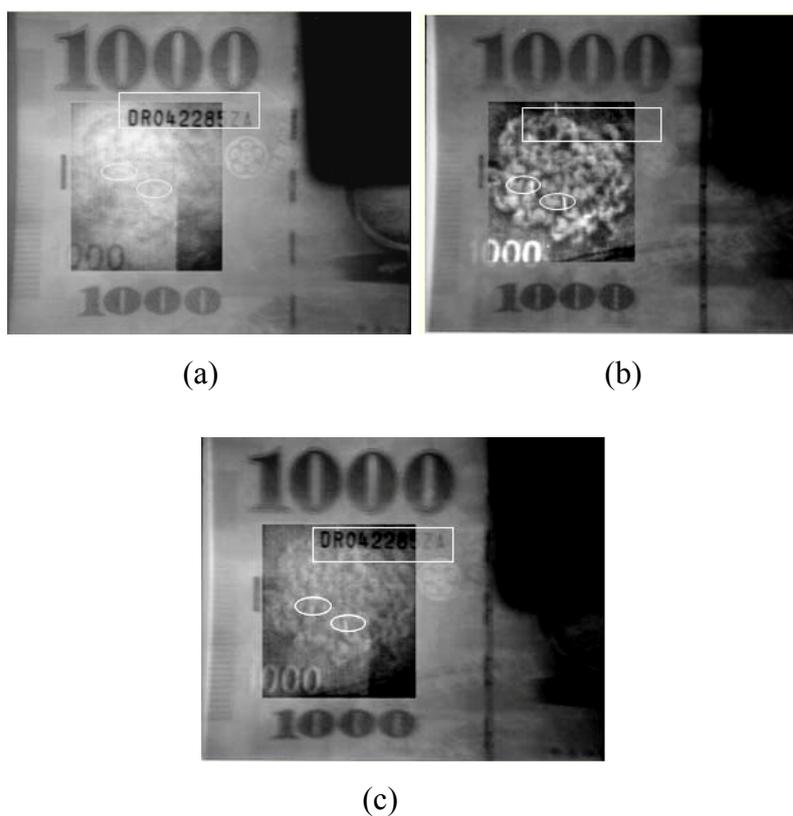


圖二

二、影像融合 (image fusion)

「影像融合(image fusion)」是將有相關但來源不同的影像做整合，藉以獲得更多的資訊。所謂來源不同的影像，除了是指拍攝角度、位置、光源方向等因素

不同外，亦可以是來自不同的取像光源。以圖三為例，在圖三(a)中的紙鈔，我們可先用可見光獲得號碼，再利用紫外光顯現亮片部分，如圖三(b)中圓圈處，再利用影像融合將兩者整合為一，結果如圖三(c)，我們可在一張影像中同時看見號碼與亮片部分 (Wen and Chen, 2004)。此種技術亦可應用在醫學影像中，將電腦斷層掃描 (Computed Tomography/CT) 與核磁共振成像 (Magnetic Resonance Imaging/MRI) 的結果整合為一。



圖三

三、以內容為基礎的影像檢索系統 (content-based image retrieval, CBIR)

傳統的資料庫檢索方式是以文字敘述為主，例如：輸入書名或作者，我們即可找到與其相關的資料，然而，若我們僅有一張照片而無任何文字描述資料時，要進行資料檢索就有些困難了。所謂「以內容為基礎的影像檢索系統 (content-based image retrieval/CBIR)」，即是為解決此狀況所發展的一門技術。我們可藉由電腦自動擷取影像內容的特徵，例如：顏色、形狀、紋路等等，不需要任何的文字敘述，可直接比對資料庫中的影像，並選出最為相似的資料。有些

商用軟體已提供類似的功能，例如：Nokia's Point & Find 與 Google's Goggles services 等，它們可對於商標（trademarks）或條碼（barcodes）進行直接的判讀與辨認。相關技術與研究也已應用在鑑識科學上，如圖四中的手槍影像，左上角是我們所輸入欲搜尋的手槍樣式，右方則是搜尋的結果（Wen and Yao, 2005），我們只需要拍攝照片，就可尋找外型類似的槍枝。圖五是利用 CBIR 進行藥丸的檢索，左上角是我們所輸入的藥丸照片，右方則是搜尋的結果（Yu et al., 2012），除了外型、顏色外，藥丸表面的圖案或文字亦可做為比對的特徵。



圖四



圖五

四、智慧型監控系統

監視錄影系統是犯罪偵查的重要工具，當有事件發生時，調閱相關監視錄影畫面已是作業程序之一，雖然它提供了偵查與鑑識非常有用的資料，然而，這些動作都僅是事後的追查。隨著技術的快速進展，使得監視錄影系統的功能與所扮演的腳色已有相當大的轉變，也就是由傳統的被動紀錄轉換為主動監控的方式，這項新的技術，我們統稱為「智慧型監控系統」。國內使用最成功的例子為贓車查緝系統，它結合了資料庫與車牌辨識系統，讓警方能快速查詢相關資料。其它的應用包括：區域管制（當有人或移動物體進入管制區時，能夠提供警報）、可疑物偵測（當有人將可疑物留置於管制區時，能夠發出警訊）、人貌比對（提供身分辨識）、以及以內容為基礎的視訊檢索系統（content-based video retrieval/CBVR）等，這些新式技術提供犯罪預防與輔助偵查的重要工具。此外，針對提款機旁與金融機構門口經常提醒民眾要脫下安全帽與口罩的警語，亦有相關的技術與工具，如圖六，當畫面中有民眾戴安全帽出現在畫面時（如圖六(a)），可提供偵測與警報（如圖六(b)）（Wen, 2004）。而圖七則是針對民眾戴口罩時（如圖七(a)），所觸發的警報（如圖七(b)）（Wen et al., 2004）。



圖六



圖七

參、三維 (3D) 影像處理技術

我們在此章節中，將分三個部分介紹三維 (3D) 影像處理技術：如何利用光達 (LIDAR) 記錄現場環境與各跡證間相對位置關係、利用手持式 3D 雷射掃描儀進行記錄單一證物之幾何外觀資訊，以及利用光柵式 3D 掃描記錄人貌的表面資訊。這三項應用中，我們主要是著重在「建模」方面，而非「視覺」，而所使用的資料格式則是點雲資料 (point clouds)，也就是說，所獲得的資料均可用於測量，而非只是視覺上的 3D 感受。

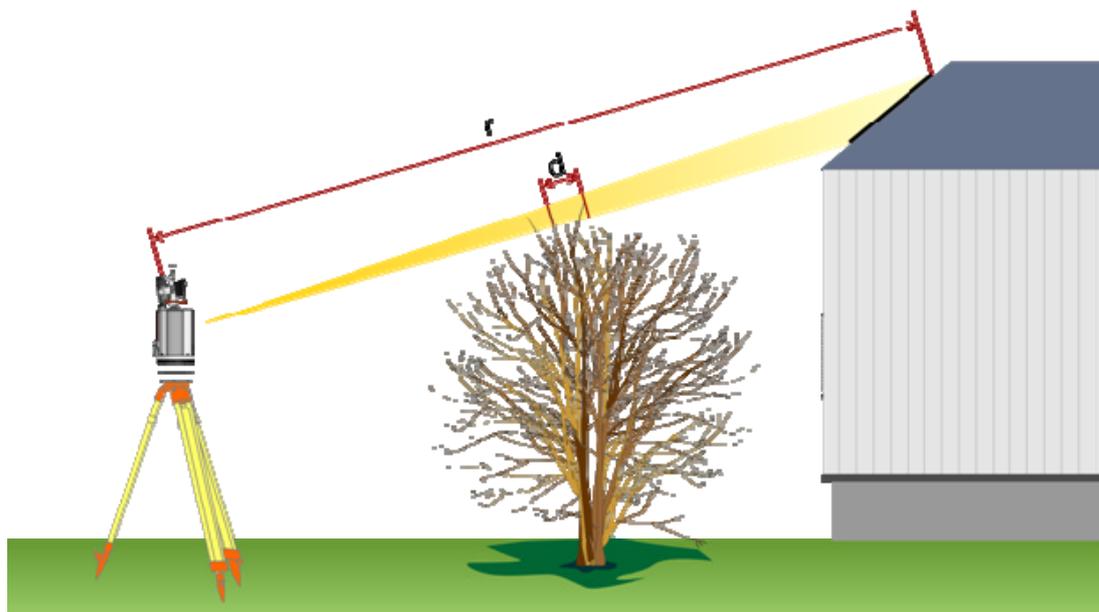
一、利用光達 (LIDAR) 記錄現場環境與各跡證間相對位置關係

犯罪現場的處理步驟可分為保全現場、了解案情、現場記錄、尋找證物、初步試驗、證物包裝、實驗室鑑驗、分析結果、結果檢視、以及現場重建。現場記錄於現場勘察工作上常是最為費時耗力的環節，其主要目的為記錄與保存證物在犯罪現場的狀況、位置與相互關係，以利案情研判與提供後續偵查之參考。然而，現場往往只有一次處理的機會，一經處理，即已開始造成破壞而無法復原，因此，於第一次現場勘察即盡可能地記錄現場狀況與各種物證的位置及狀態就成為相當重要的工作。現行的現場記錄方式大多採用照相法，亦即針對現場的全景進行大範圍拍攝記錄，並對於證物及其相關位置進行全景、中景、近景的詳細記錄，並配合平面測繪圖與文件記錄。然就照相法而言，易因操作者的經驗、細心程度、對於拍攝的了解等因素而造成相片不連貫、模糊不清、光線不足與漏失的缺點。而且拍攝是將三度空間的地區及物品以平面的方式呈現，難以表示其空間的相對關係及距離。

隨著三維量測技術的進步，三維物件建模與辨識相關的研究漸趨成熟，使用三維物件與現場量測技術於刑案現場證物與環境資料保存之作法正逐漸於被應用。本章節將介紹利用光達 (LIDAR) 記錄現場環境與各跡證間相對位置之關係。

本文實驗所使用的光達儀器是奧地利 Riegl 公司所產的地面型 3D 雷射掃描儀 (VZ-400)，此種儀器是採用脈衝式時間-飛行差方式進行資料之記錄 (請參見圖八) (陳宣孝, 2013; <http://www.linkfast.com.tw/product_rieg_a.htm>)。其原理為激光器發射出的脈衝激光，打到現場中物品，其中一部分的光波會經由反射返回到激光雷達的接收器中，其接收器將光信號轉變為電信號，同時由所配備的計時器記錄該脈衝光信號由發射到被接收的時間 T ，經由 $R=CT/2$ (這裡 R 為激光雷達到目標物的距離； C 代表光速，為一常數)，就能夠得到距離的相關資訊，再經由換算與整合，就可獲得現場環境與各跡證間相對位置關係的 3D 幾何資料。由於本文實驗所使用的光達儀器 (VZ-400) 是屬於較長距離的地面型 3D 雷射掃描儀 (可記錄約 600 公尺遠之範圍)，因此，對於較大範圍之環場，更能發揮其記錄的效能。圖九是台灣屏東縣大鵬灣跨海大橋的點雲資料 (含 texture 色彩資訊) (陳宣孝, 2013)，跨海大橋全長約為 579 公尺，橋寬約 30 公尺，主塔高度距水面約 70 公尺，橋面距水面最高達 17 公尺。對於如此大範圍的場景記錄

工作，若是只使用照相與攝影的方式，很難在短時間內完成，更不用說是距離的量測了，然而，若利用光達，則可快速地達到記錄與量測的目的。



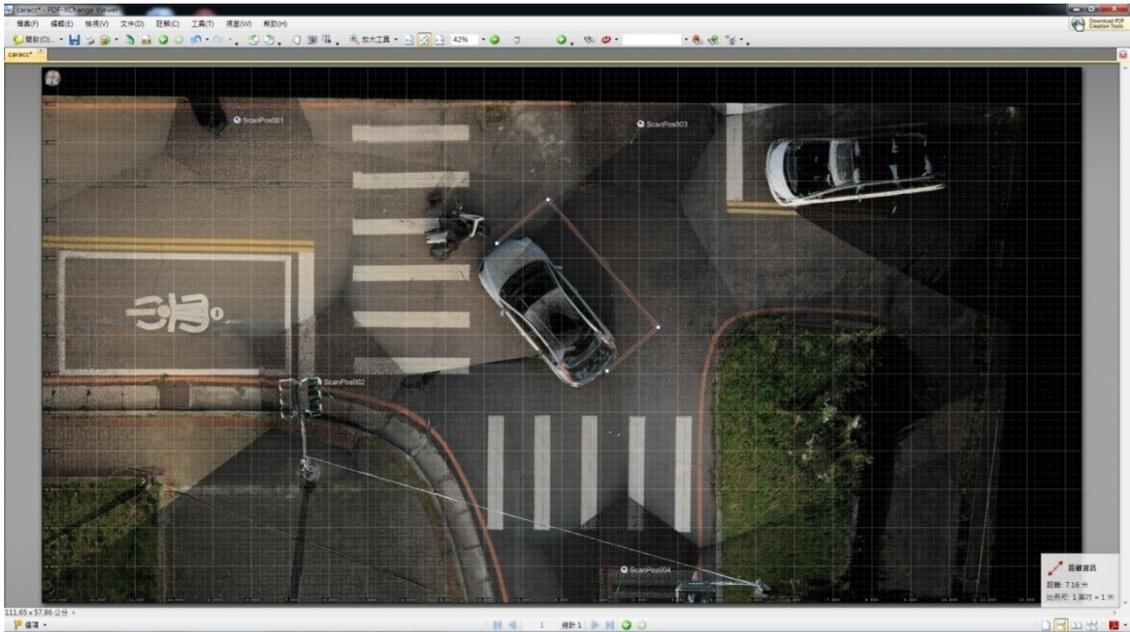
圖八<http://www.linkfast.com.tw/product_rieg_a.htm>。



圖九（陳宣孝，2013）

目前，光達在車禍現場紀錄的應用較為常見，主要原因是利用它能較快速地記錄較大範圍現場的特性，而且所獲得的資料能直接提供量測所需，而這也是車

禍現場紀錄的重要工作之一。我們建立一個模擬的車禍現場，並利用光達來記錄現場環境，圖十(a)是全景 3D 點雲資料的平面俯視圖，我們可藉由此圖了解車輛位置的相對關係。圖十(b)與(c)則是旋轉到不同觀測角度時，點雲資料所呈現之畫面（陳宣孝，2013）。



(a)



(b)



(c)

圖十（陳宣孝，2013）

二、利用手持式 3D 雷射掃描儀進行記錄單一證物之幾何外觀資訊

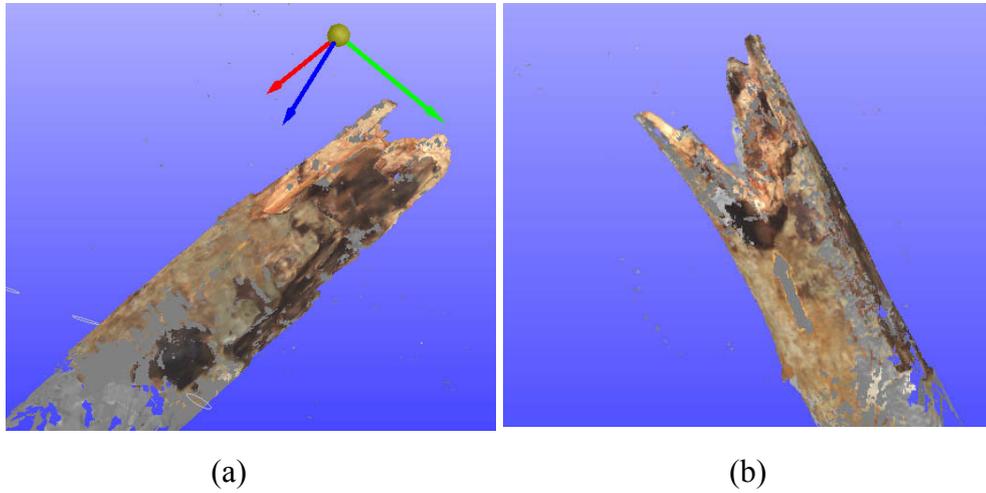
本文實驗所使用的儀器是加拿大 CREAFORM 公司所出產之手持式雷射 3D 掃描儀 (VIUscan)，儀器外觀請參見圖十一。此儀器採用三角測距 (triangulation) 的原理進行距離記錄，亦即自儀器發射一道雷射光至物體表面，同時藉由儀器上的攝影機尋找物體表面上所投射之雷射光點，由雷射光點、攝影機與雷射源本身構成一個三角形。經由三角函數公式運算，便能計算出物體上雷射光點與儀器間的距離，之後再藉由軟體轉換成 3D 模型。圖十二為一個陶瓷玩偶幾何外觀之 3D 點雲資料，由於實驗所使用的儀器除了能記錄點雲資料外，同時亦能記錄色彩資料 (texture)，因此我們可藉由顏色更容易辨識物體的外觀，例如：在圖十二中，若無色彩資料的輔助，單靠點雲的資料，要分辨陶瓷玩偶的眼睛在臉部的範圍，是有相當的困難度。在實際應用上，我們亦可用來判斷兩個物體之間的關聯狀況，舉例來說，圖十三(a)與(b)分別為一個斷裂木頭的兩側，我們可將它們的點雲資料分別記錄下來，經由斷裂面的比較，可做為比對兩者是否原本為一體，當然，相關比對技術仍須進一步的研究。



圖十一



圖十二

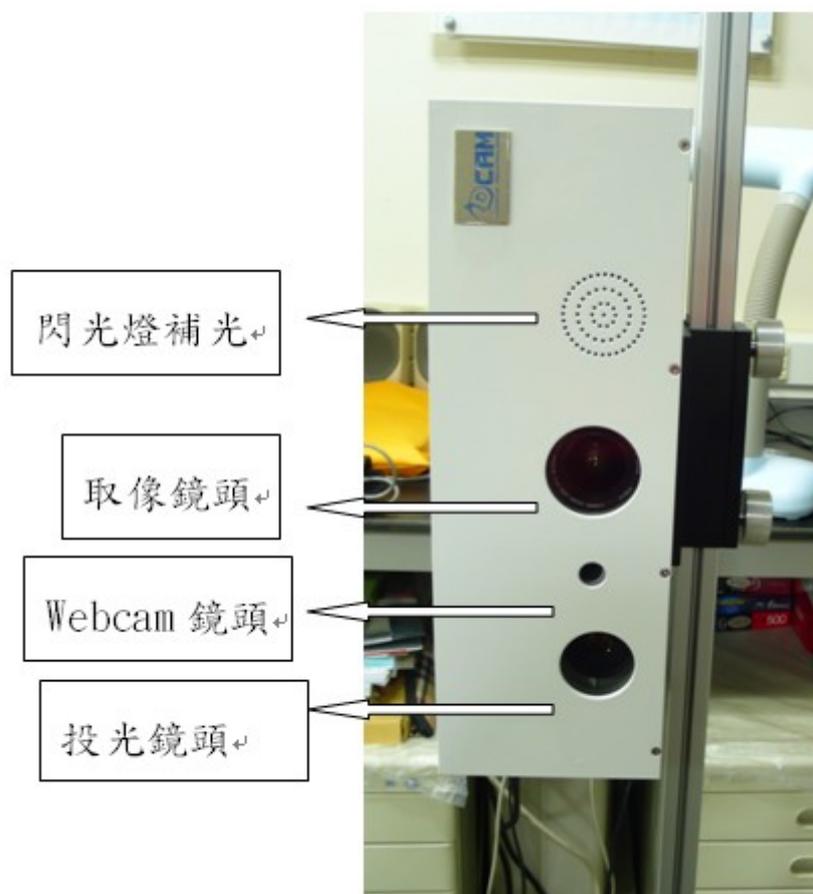


圖十三

三、利用光柵式 3D 掃描記錄人貌的表面資訊

藉由監視錄影畫面或照片進行人貌比對是 2D 影像鑑識中的一項重要工作，然而，人貌是 3D 立體，而傳統影像是 2D 平面，2D 影像只能記錄 3D 人貌的投影資訊（亦即只能看到某一角度的樣貌），因此拍攝角度的差異會造成比對的困難度。我們可以利用 3D 人貌掃描器記錄人貌的 3D 資料，並可進行人貌比對的工作，其優點是可避免 2D 影像拍攝角度不同所造成的誤差。

本文實驗所使用的儀器是龍騰科技 LT3DCam 3D 照相機（請參見圖十四），此儀器採用光柵式（結構光）的 3D 掃描方式，主要原理為光學三角量測原理，亦即光學投影器將一定模式的結構光（紅藍綠三色光條）投影於物體表面，所投影的結構光將會依照被測物表面高低起伏而產生變形，此時，由另一位置的攝影機進行記錄二維畸變光條的影像。由於光學投影器和攝影機之間的相對位置是固定的，因此我們可利用三角函數計算出待測物體表面的 3D 資料。圖十五(a)是 2D 的人貌影像，我們可將 3D 掃描所獲得的資料經由 3D 旋轉，獲得相類似角度之人貌投影照片（如圖十五(a)），並進行幾何比對工作（邱致霖與溫哲彥，2013）。在實際應用時，2D 的人貌影像可由案發現場的監視錄影系統獲得，而 3D 掃描資料則必須事先建檔。除了 2D 與 3D 資料間的比對外，我們也可進行 3D 資料間的直接比對，如圖十六（邱致霖與溫哲彥，2013）。



圖十四 (邱致霖與溫哲彥, 2013)

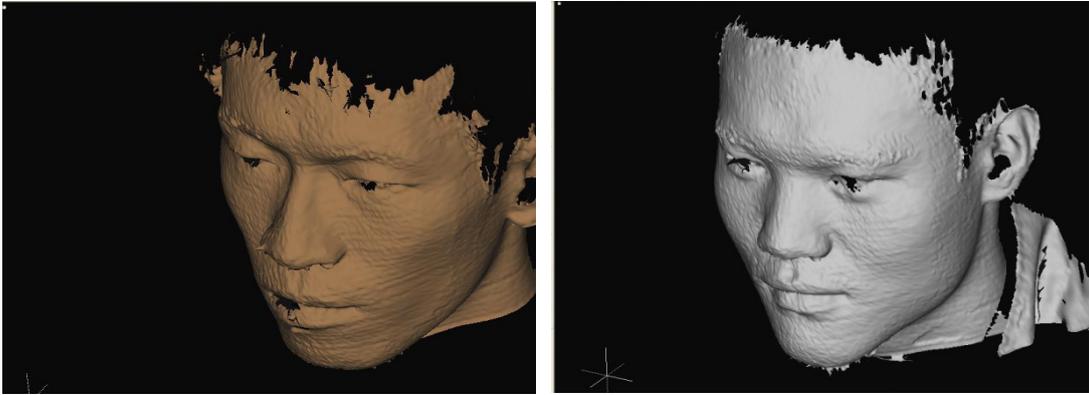


(a)



(b)

圖十五 (邱致霖與溫哲彥, 2013)



圖十六（邱致霖與溫哲彥，2013）

肆、結論

近年來，鑑識科學領域的認證工作逐漸受到重視，認證的主要目的即是使鑑定的結果能獲得大眾的認可與信任，並且能順利地成為法庭上的證據。在數位影像鑑定部分，認證規範中就對於證物的傳遞與保存、以及處理的方法等，提供了建議與作法，希望能藉此維護證物鏈（chain of custody）的完整性與提供正確的影像資訊。在本文中，我們介紹了一些在偵查與鑑識工作上所使用的 2D 與 3D 影像處理技術，雖然這些技術提供了我們許多解讀影像或點雲所包含的資訊，然而，我們必須了解，影像處理技術與影像鑑定之間仍有些差異，就如同認證規範中所強調的，用來進行數位影像鑑定所使用的方法與技術必須是被公認有效的（valid），任何新開發或研究中的方法與技術，在被使用於鑑定工作之前，必須先確認它的有效性。

參考文獻

一、中文部份

- 邱致霖、溫哲彥，2013，〈基於 3D 模型投影影像與 2D 照片之人貌比對〉，《刑事科學》，第七十四期。
- 溫哲彥、張良帆、江良濬，2006，〈影像追蹤之探討〉，《刑事科學》，第六十一期。
- 陳宣孝，2013，《刑案現場測繪-3D 點雲與 2D 影像之應用》，中央警察大學鑑識科學研究所碩士論文。
- 迅聯光電儀器型錄，〈http://www.linkfast.com.tw/product_rieg_a.htm〉（瀏覽日期 2013 年 11 月 10 日）。

二、英文部份

- Buck U, Kneubuehl B, Nather S, Albertini N, Schmidt L and Thali M, 2011, "3D bloodstain pattern analysis: Ballistic reconstruction of the trajectories of blood drops and determination of the centres of origin of the bloodstains," *Forensic Science International*, 206, 22-28.
- Chiu SH, Lu CP and Wen CY, 2006, "A Motion Detection Based Framework for Improving Image Quality of CCTV Security Systems," *Journal of Forensic Sciences*, 51(5), 1115-1119.
- Wen CY, Yu CC and Hun ZD, 2002, "A 3-D Transformation to Improve the Legibility of License Plate Numbers," *Journal of Forensic Sciences*, 47(3), 578-585.
- Wen CY and Chen JK, 2004, "Multi-resolution Image Fusion Technique and its Application to Forensic Science," *Forensic Science International*, 140(2-3), 217-232.
- Wen CY, 2004, "The safety helmet detection technology and its application to the surveillance system," *Journal of Forensic Sciences*, 49(4).
- Wen CY and Yu CC, 2005, "Image retrieval of Digital Crime Scene Images," *Forensic Science Journal*, 4(1), 45-53.
- Wen CY and Yao JY, 2005, "Pistol Image Retrieval by Shape Representation," *Forensic Science International*, 155(1), 35-50.
- Wen CY, Chiu SH, Tseng YR and Lu CP, 2005, "The Mask Detection Technology for Occluded Face Analysis in the Surveillance System," *Journal of Forensic Sciences*, 50(3), 593-601.
- Wen CY, Chang LF and Liu HH, 2007, "Content Based Video retrieval with Motion vectors and the RGB Color Model," *Forensic Science Journal*, 6(2), 1-36.

Wen CY, Li ZX and Yu CC, 2008, "Image retrieval based upon directional fields," *Forensic Science Journal*, 7(1), 13-27.

Yu CC, Wen CY, Lu CP and Chen YF, 2012, "The Drug Tablet Image Retrieval System Based on Content-Based Image Retrieval," *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 8(6).

<<http://en.wikipedia.org/wiki/2.5D>> (瀏覽日期 2013 年 11 月 10 日)。

<<http://www.faro.com/measurement-solutions/applications/crime-scene-analysis>> (瀏覽日期 2013 年 11 月 10 日)。

