

鞋印比對系統與輔助鞋印鑑定之探討

楊文超 / 中央警察大學鑑識科學學系助理教授

一、序論

犯罪偵查中，刑案現場處理由於接觸原始之犯案現場，真實反應事發當時之情形與狀況，往往可發現關鍵之證據或線索，對案情發展有決定性的影響。隨著科技的進步與民智的開通，鑑識科學技術逐漸彰顯，無論是在司法制度的審判或是警察機關的採證，鑑識科學技術皆被廣泛的應用。

鑑識人員現場勘察採證往往著重在指紋及生物性跡證的採取，其原因在於指紋及DNA 生物性跡證這二類物證鑑定結果能夠達到個化結論，且警政署刑事警察局亦建有這2項物證的資料庫，提供案件比對之用。但亦如一物之兩面，因各式媒體的宣傳，使得歹徒對於鑑識科學的瞭解亦迅速的提升，進而學習防範之道，目前鑑識實務工作人員普遍感受到，根據英國一項研究顯示 [1]，該研究期間及地區的刑案現場統計，大約有

10%的刑案現場可發現鞋印跡證，30%的刑案現場可發現指紋跡證，另外有將近10%的刑案現場可採到DNA 生物性跡證，面對這一狀況，鑑識人員於是體驗到「多元化採證」的重要性，也就是說，現場採證除了指紋及DNA 以外，還要注意犯罪人在作案過程中所遺留其他種類跡證之蛛絲馬跡，而鞋印是其中最顯著及出現頻率最高的物證，圖一為現場採集之鞋印影像範例。



圖一、現場採集之鞋印影像案例

再者，由於民眾對於隱私要求的高張，有關全民指紋與DNA的建檔工作，有若干學者認為涉及隱私權之侵犯，致使推動十分不順利，造成傳統兩項警察破案的利器，由於缺乏了可供比對的資料，漸漸降低其功效。

各類物證都有它的價值、應用時機及限制，針對上述之問題，刑事警察局與各縣市警察局莫不用心於尋找指紋與DNA外之物證證據，以提高破案率及遏阻犯罪歪風，痕跡與印痕類證物便為其中一項研究重點。鞋印由於紋路設計、製造時產生之隨機性瑕疵、成品出廠後使用者不同使用習慣、頻率、用途所造成之缺損、破裂等因素，成為可以達到個化之物證。「凡走過必留下痕跡」，目前實務經驗中，發現許多犯罪者穿戴手套以防遺留指紋，但極少發現穿戴鞋套作案的案例，因此，現階段鞋印跡證尚屬犯罪人較不注意防範且出現頻率相當高的重要物證。相關單位亦開始對於痕跡與印痕類證物中之鞋印證物進行相關建檔與比對工作，並獲得收穫，如97年6月間台北市鑑識中心即利用鞋印證物破獲乙起連續侵入住宅竊盜案件。

本文針對鞋印比對技術進行部分探討，

說明何謂人工、半自動與全自動鞋印比對技術，及其缺點與限制，進而瞭解鞋印比對如何協助鑑識工作的進行。

二、鞋印比對系統與輔助鞋印鑑定探討

雖然鞋印遺留於犯罪現場的機率高[2]，但現今就鞋印在法庭科學上之實際應用上而言，仍有許多待解決的問題，例如鞋印前處理技術、取像規範、鞋印影像強化、鞋印資料庫以及適切的分析或比對軟體等，故若要如同指紋或DNA，可實際廣泛且全面的應用於司法實務上，尚有距離。國內外鑑識科學技術對於鞋印在法庭科學上之應用研究，相對於指紋及DNA而言並不多見，多為介紹性質之專書[2-4]以及若干半自動[5-8]與自動化[9-13]比對之系統與文章。

傳統鞋印比對方法

傳統之鞋印比對方法[2-4]乃為警察於刑案現場採證後，警方鑑識人員以肉眼分析採證的鞋印，並藉由參考書籍或電腦上的鞋印目錄，採人工的方式比對，與鞋印目錄裡那個鞋印較為相似，來判定嫌犯當初穿著的鞋

子。之後當逮捕嫌疑人後，可搜尋嫌疑人是否擁有相同的鞋子，再判斷其鞋印是否與當初現場的鞋印相似，藉以調查是否涉案。此方法由於完全由人工來進行分析及比對，再針對個化痕跡完成鞋印鑑定，過程中相當的費時費力，對鑑識人員也是一項繁雜且枯燥之工作。

半自動鞋印比對方法

因為傳統鞋印比對方法的費時費力，Sawyer於1995年[5]協助英國一個警察單位，建置可供電腦使用的鞋印資料庫。當時破門盜竊在犯罪案件中佔了相當高的比率，而在這些犯罪現場警方能夠透過照相或是拓印等方式採集到一些嫌疑犯的鞋印與指紋。由於犯罪者多對留下指紋有所防備，大部分會帶著手套進行犯罪，相對而言鞋印在將來辦案時會是相當有價值的證據。

此外，這種案件的犯案者通常都有連續犯罪的習性，因此採集的鞋印也將會提供連結案件之間關聯的效果。但是若沒有一個完整的鞋印資料庫以及一套辨識的方法，則這些採集到的鞋印都將會變得降低利用的價值。故此英國的Surrey Police警察機關便著手建置鞋印的資料庫。

在此鞋印資料庫中的鞋印，皆經過編碼的方式處理，為了能夠辨識鞋印之間的區別，因此必須對蒐集的鞋印紋理之差異進行唯一的編碼。當警方鑑識人員想進行鞋印證物的比對搜尋，可以依照所見之鞋印證物的紋理，人工輸入其紋理的編碼，系統便利用此編碼進行搜尋，系統會依據搜尋的條件找出相關的資料。這個搜尋方法的好處在於

警方所蒐集到的鞋印並不一定是完整的，可以利用部分的特徵，在系統中找出相關的資料，相對於之前用人力比對是相當有效率。然而，當有新的鞋子出現，便須將此鞋子用人工的方式進行編碼，並儲存至資料庫，且鞋印比對出的結果，易受到使用者輸入資料的正確性之影響。

Mikkonen等人在1996年提出操作容易且友善之半自動鞋印比對系統[6]，在人工識別出鞋底和鞋面的特徵後，利用所設計多樣且簡單的分類代碼以及鞋底面積，輸入至系統中並由系統進行比對搜尋，以比對案發現場所留下之鞋印，提供鞋印鑑定之輔助，作為刑事案件的佐證。

國內最為著名的半自動鞋印比對系統為Foster+Freeman公司之SICAR系統 [7]，目前已更新至V6.0，圖二為該系統之畫面，該系統提供鞋印及輪胎印痕之半自動比對與搜尋，美國與英國若干警察局使用之，此系統



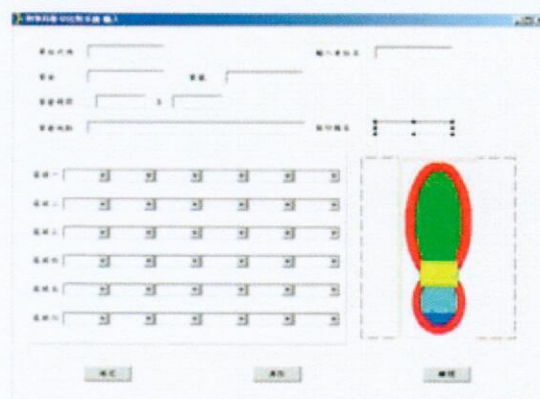
圖二、SICAR 6系統圖型 [7]

是將鞋印劃分為幾大區域，針對每個區域的鞋印幾何圖案，由警方鑑識人員從事先定義的常見鞋印的幾何圖案中選取較為相近者，同區域相同圖案與不同區域相同圖案，系統分別給予不同的積分，最後系統便依照最後者積分進行鞋印相似度的排名，即可得到與之最相近的鞋子類型。因此，當逮捕到嫌疑人後，可搜尋嫌疑人是否擁有相同的鞋子，再判斷其鞋印是否與當初現場的鞋印相似，藉以調查是否涉案。由於此系統係由人工選取特徵、單價過高、無中文化，再加上我國小型鞋商數量眾多以及操作者必須能熟悉鞋印的幾何圖案等因素，僅有刑事警察局、新北市政府警察局、台中市政府警局採購並使用之。

筆者於2007年與刑事警察局及桃園縣政府警察局合作開發設計一套分類簡單、操作簡便、建檔所需時間較短、且可以有效建檔、查詢、比對，甚至可以推廣普及至地區警察分局使用之地區鞋印資料庫系統[8]，並將其使用在桃園地區所發生刑案之偵辦，別是應用在具有地區性、連續性等特質的竊盜犯罪中，尤其是讓民眾對治安觀感、感受最深最直接的住宅竊盜案件，期望能透過本刑案現場鞋印資料庫系統，建檔查詢比對，以期建立不同案件間之關連性，提供偵辦刑案有力之資訊，圖三為系統介面。

自動鞋印比對方法

有關自動化的鞋印識別、分類之相關研究目前尚在持續發展，主要是期望解決半自動化鞋印比對系統中，因為使用者對鞋印的特徵描述不同而造成不同的結果。Geradts



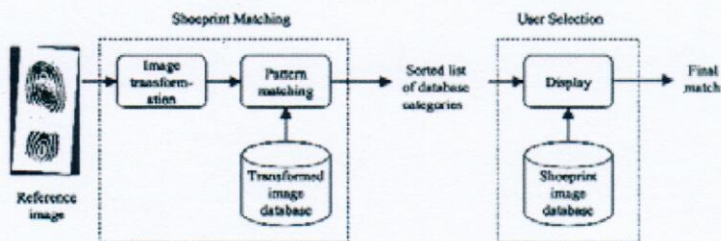
圖三、地區鞋印資料庫系統介面[8]

和Keijzer在1996年提出自動化的鞋印識別分類的方法[9]，其方法首先將鞋印影像經過二值化，即把灰階影像轉換為黑白二元影像，之後分析其影像的連通性(connectedness)在前景採用8鄰接(8-connected)方式，而背景採用4鄰接(4-connected)方式。然後過濾前景與背景、接著將前景分成多個連通的幾何圖形，除了將這些幾何圖形編號外，同時將太小的圖形視為雜訊並過濾掉，完成編號的幾何圖形。在特徵擷取上，對於每個幾何圖形使用UNL(Universidad Novade Lisboa)演算法取出其傅立葉特徵。

使用的資料庫是在1992年時與荷蘭警方合作建立，名為REBEZO的鞋印資料庫，該資料庫中具有二維及三維兩種形式的資料。在戶外的沙地、泥地或是雪地採集到的鞋印通常是三維。而在戶內的地毯、木質地板或是石版之類的地面採集到的通常為二維。三維的鞋印比二維的多出深度這個屬性。三維採集方式以照相為主，二維可由側光、使用化學反應、使用靜電設備等等。除了資料的形式之外，資料的來源也可分成三種。第

一種是嫌犯的鞋印，以二維或是三維為主。第二種是犯罪現場遺留下的鞋印，以二維或是三維為主。最後是鞋店收集到的鞋印，以三維為主。此系統缺點在於使用的textural classification code是事先定義完成，一旦鞋印包含的圖形不在定義中，此系統便無法正常使用。

Bouridane在2000年[10] 發現由於近30%的竊盜案件都可在案發現場發現鞋印，因此希望能夠利用新穎的不規則碎型分析方法



圖四、Chazel及Flynn提出的方法之流程圖 [11]

(fractal decomposition) 來有效率地將鞋印辨識及分類出來，以利刑事案件的佐證。利用碎型分析來處理鞋印，利用碎型來表示鞋印的樣板，憑著分解出來碎型得出的係數，對資料庫中的每張影像作加權動作，最後再使用Mean Square Noise Error來得到比對的結果，計算出來的差值越小，即表示與所要尋找的鞋印影像最接近。資料庫建置利用Perfect shoeprint scan來採集鞋印，Perfect shoeprint scan是利用化學墨水，塗抹於鞋底之後印於紙上，再利用掃瞄機轉成數位的資料，此種技術是一種較簡便且直接的鞋印取像方式。然而，Bouridane的方法有一個缺點，在其實驗數據中顯示，若是鞋印圖形有著旋轉或位移的情形，則其正確率會大幅降

低，因此在實際運用上可行性不高。

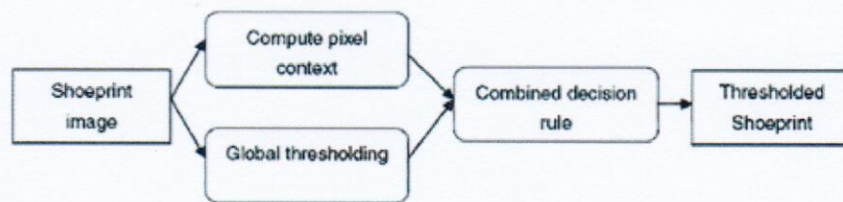
Chazel等人在2005年與FBI合作提出一個對參考鞋印影像進行紋理比對(Pattern match)並對資料庫內影像進行相似度排序的系統[11]。其使用的資料庫是由Forensic Science Laboratory, Garda Headquarters, Dublin, Ireland所提供的1276張鞋印影像。主要的流程為當我們輸入一張鞋印鑑定影像(reference image)時，系統會將影像轉換後與資料庫中的影像進行比對，並根據比對的相似度對資料庫中的影像做排序，並輸出排序過後的影像讓鑑識人員選擇是否有符合的影像，詳細的流程圖如圖四，如果找到符合的鞋印類型，相關的資料庫便會提供此類鞋子的製造商、型號等相關資訊。

鞋印影像經過轉換後與資料庫的影像做比對，並計算其相似值，相似值愈高的就愈有可能是想要的結果，而資料庫中的一個類別可能有好幾張影像，因此需對類別中每張影像都計算其相似值，而取最大值當作此類別的相似值，利用相似值將資料庫的類別做排序，最後再經由鑑識專家來選擇可能符合的圖片。

由於犯罪現場的各種客觀環境因素影響，現實生活中取樣的鞋印，大部分品質較差、雜訊較多，對鞋印的特徵取得與分析上，造成許多困難，故Su等人在2007年提出一個降低鞋印上雜訊的方法[12]。其作法主要如圖五所示，前處理流程可區分為兩個獨立區塊：global thresholding的部

分可套用任何已知的全域門檻法(global thresholding method)；compute pixel context則是透過對像素點周圍鄰居組成的區域視窗(local window)取高斯加權相關函數(Gaussian weighted correlation)，得到所謂的參考係數，比對任兩像素點的參考係數建立影像的像素紋理模型(pixel context model)。

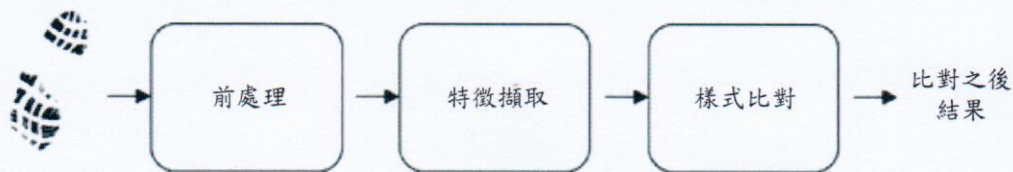
所使用的資料庫使用perfect shoemark scan equipment，用含有化學藥劑的海綿配合紙張直接對鞋底擷取，經由灰階掃描並以



圖五、Su等人所提之演算法流程圖 [12]。

無壓縮方式儲存為 256×256 解析度儲存。

在國內，何維中於2007年提出了一個新的自動處理鞋印影像的方法[13]。鞋印紋理中最主要的特徵便是其紋理的方向性。因此，我們利用影像之灰度伴隨矩陣(co-occurrence matrices)、方向矩陣(directional matrix)及傅立葉轉換(Fourier transform)來



圖六、鞋印自動化比對系統之流程圖[13]。



圖七、足跡自動識別系統[14]

截取出鞋印紋理之方向性特徵以做為比對的依據。由於在前處理上使用主軸轉換(principal component transform)，該方法並不會因為影像之旋轉或位移等失真造成錯誤的結果，方法流程如圖六。

另外，大連恒銳科技股份有限公司於2014年基於相似概念，提出了足跡自動識別系統[14]，系統展示畫面如圖七。

三、結果與討論

有關國內外鞋印比對與輔助鑑定技術之傳統人工比對、半自動與全自動化比對系統，整理其優點與缺點如表一。

表一、鞋印比對與輔助鑑定技術優缺點分析

比對方法	優點	缺點
人工	毋須電腦儀器輔助	1.耗費大量人力、時間 2.結果決定於鑑定人員經驗與記憶 3.由於鞋印資料無法共享，比對範圍及結果，僅限於各單位內部或鑑定人員本身
半自動	1.所需人力、時間較少 2.降低人員誤判風險	1.需要經費建置（包含軟體及資料庫購置） 2.系統使用需先行訓練 3.易由於使用者對鞋印的特徵描述不同，造成不同的結果
全自動	1.最節省人力及時間 2.降低人員誤判風險	1.需要經費建置（包含軟體及資料庫購置） 2.實務應用困難（犯罪現場的各種客觀環境因素影響，實務取樣的鞋印，大部分品質較差、雜訊較多且多為殘缺，無法進行分析與比對）

有關鞋印比對系統（鞋印輔助鑑定系統）之發展研究，建議進行互動式鞋印比對系統研發，即結合半自動與全自動鞋印比對系統的特性：

1. 對於現場採獲之鞋印影像（品質較差、雜訊較多且多為殘缺），使用人工互動的方式進行前處理及特徵標定，輸入比對系統進行比對，即鑑定人員利用系統內影像處理功能，進行前處理，後續圈選該影像中特徵部位，輸入比對系統進行自動化分析，並對已建置之鞋印資料庫（製造商設計或其他刑案現場採獲）進行相似度比對，輔助鑑定人員進行鞋印鑑定。

2. 對於犯罪嫌疑人之鞋子證物（或扣押之鞋子證物），取得完整之鞋印影像後，使用全自動化系統處理鞋印影像，自動產生特徵資料，並對已建置之鞋印資料庫（製造商設計或其他刑案現場採獲）進行相似度比對，避免人為誤差，輔助鑑定人員進行鞋印鑑定。

互動式鞋印比對系統的優點，結合半自動化鞋印比對系統，可處理現場實務採獲品質較差、雜訊較多且多為殘缺的鞋印，以及自動化鞋印比對系統，可解決因使用者對鞋印的特徵描述不同而造成不同結果之問題。

參考文章

1. B. Rix, The contribution of shoemark data to police intelligence, crime detection and prosecution, Findings (London, England), 236., pp. 1-4, 2004.
2. W. J. Bodziak, Footwear Impression Evidence: Detection, Recovery, and Examination, 2nd ed., CRC Press LLC, Florida, 2000.
3. T. Thompson and S. Black, Forensic Human Identification, CRC Press Taylor & Francis Group, Florida, 2006.
4. J. A. Siegel, "Other Impressions: Footwear and Tire Treads," Forensic Science the basics, pp.169-181, CRC Press Taylor & Francis Group, Florida, 2006.
5. N. Sawyer, "'SHOE-FIT' A Computerized Shoe Print Database," Proceedings of the 1995 European Convention on Security and Detection, pp. 86-89, May 1995.
6. S. Mikkonen, V. Suominen, and P. Heinonen, "Use of footwear impressions in crime scene investigations assisted by computerised footwear collection system," Forensic Science International, vol. 82, pp. 67-79, 1996.
7. SICAR 6, Shoe print identification and casework management system, Retrieved November 18, 2015, from <http://www.fosterfreeman.com/trace-evidence/356-sicar-6-solemate.html>.
8. 楊文超、何俊哲、江良濬，地區鞋印資料庫應用於刑案偵查之探討，桃園縣政府96年自行研究報告，2007。
9. Z. Geradts, and J. Keijzer, "The image data REBEZO for shoeprint with developments for automatic classification of shoe outsole designs," Forensic Science International, vol. 82, pp. 21-31, 1996.
10. A. Bouridane, A. Alexander, M. Nibouche, and D. Crookes, "Application of Fractals to the Detection and Classification of Shoeprints," Proceedings of 2000 International conference on Image Processing, vol. 1, pp. 474-477, 2000.
11. P. de Chazal, J. Flynn, and R. B. Reilly, "Automated Processing of Shoeprint Images Based on the Fourier Transform for Use in Forensic Science," IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 27, no. 3, pp. 341-350, March 2005.
12. H. Su, D. Crookes, and A. Bouridane, "Thresholding of noisy shoeprint images based on pixel context," Pattern Recognition Letter, vol. 28, issue 2, pp. 301-307, Jan. 2007.
13. 何維中，一個新的鞋印識別及分類之方法，國立交通大學碩士論文，2007。
14. 大連恒銳科技股份有限公司，足跡自動比對系統，Retrieved March 8, 2016, from <http://tw.sugoo.com/Product/Detail,IdYBVhAmOg.htm>; <http://www.google.com/patents/CN103839068A?cl=zh>。