

影像處理技術於事故現場胎痕鑑定上之運用

王瑩瑋

澎湖技術學院 運輸與物流管理學系副教授

吳建達、林昭男

大葉大學 車輛工程研究所副教授、研究生

摘要

本研究的主要目的是，利用影像處理技術，開發一套可自動擷取煞車胎痕之系統，並搜尋胎痕中之胎痕溝槽寬度及胎痕溝槽數目，以便進行胎痕比對，判斷胎痕真正或可能之歸屬車輛，以利於胎痕跡證鑑識工作之進行。本系統採用了影像處理技巧中之二值化、膨脹、邊緣強化、平滑處理、輪廓追蹤、旋轉、水平投影量等等的方法。而在系統中主要處理程序分為四個步驟，第一是利用二值化及膨脹處理將胎痕與背景分離，因此部份較易受圖片中之雜訊影響，如影子及路面上的污染等，只要能克服此雜訊之影響，便可正確的分離出胎痕。第二：是利用輪廓追蹤來找出胎痕之輪廓，因本系統所採用之輪廓追蹤方法，僅能針對封閉區域進行處理，故必須對照片進行前處理，使胎痕形成一封閉區域，而在前處理中採用了邊緣追蹤，平滑處理、二值化及膨脹等方法。第三是利用輪廓追蹤的結果，找出圖形中胎痕的邊界，並在原始圖片中擷取出此邊界內之範圍，即為胎痕。第四：利用水平投影方法擷取胎痕溝槽，並利用歐氏距離將所擷取到之胎痕溝槽之數目及寬度與資料庫中的胎紋資料進行比對，以判別胎痕之歸屬。

關鍵字：肇事鑑定、影像處理、胎痕

壹、前言

胎痕跡證是事故現場調查中重要的蒐集項目之一，其主要用途是以胎痕之長度來推估計車輛撞擊前之最低行車速度，另外由胎痕產生的位置及走向，提供事故人員進行駕駛行為、行車方向、車輛行駛軌跡等判定之依據。而在實務之調查上，經常是由事故調查人員依據當事人的敘述及自己主觀的經驗，來判定胎痕是由那一部車輛所造成。若是發生連環車禍，鋪面上留下許多雜亂之胎痕，再加上鋪面上交織之舊胎痕，其造成誤判之情形自然升高。再者若當事人與事故調查人員，對胎痕之歸屬有爭議。甚而肇事者為了逃避肇事責任，陳述錯誤之肇事經過，企圖掩蓋事實，逃避肇事責任等情形之發生時，如果欠缺一套完整之胎痕識別技術加以釐清歸屬，其判定之正確性及公信力將受到嚴重之挑戰。有鑑於此，本研究希望藉由影像處理及相關技術，客觀的對胎痕進行分析，以利於確認胎痕之歸屬，有效輔助胎痕跡證鑑識工作之進行。

貳、影像處理程序及原理

2.1 二值化

二值化(binary)目的是將影像中的物體和背景分離，通常應用在字元辨識、圖形辨識中，將物體和背景分離。在一般灰階圖片中其灰階值是界於0~255，灰階值越接近0，則顏色越深且越接近黑色，灰階值越接近255，則顏色越淡且越接近白色。在做二值化處理時，是對圖片設定一門檻值 T_0 ，對圖上各點灰階值進行比較，若灰階值 $f(i, j)$ 小於門檻值 T_0 ，則使該點之灰階值等於零，若灰階值大於門檻值

T_0 ，則使該點之灰階值等於255。其二值化函數可以表示如下：

$$g(i, j) = \begin{cases} 0 & f(i, j) \leq T_0 \\ 255 & f(i, j) > T_0 \end{cases} \quad (1)$$

其中 $f(i, j)$ 為轉換前灰階值， $g(i, j)$ 為轉換後灰階值。一般之胎痕圖片之灰階統計圖如圖 1 所示，圖 2 為圖片二值化後之灰階統計圖，在二值化後，圖片中之灰階值只有 0 與 255，如此可將資料量減少，且去除一些不必要的雜訊並增加影像辨識率，且可粗略的將胎痕從鋪面中分離出來。

在本系統中門檻值是採用平均灰階值，因胎痕在圖片中之灰階值較低，若採用平均灰階值，在二值化後可將煞車胎痕保留下來，圖 3 左側是原始胎痕，圖 3 右側則是利用平均灰階值做二值化後之結果。

$$T_0 = \frac{\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^M f(i, j)}{N \cdot M} \quad (2)$$

其中 N 為圖片長度， M 為圖片寬度。

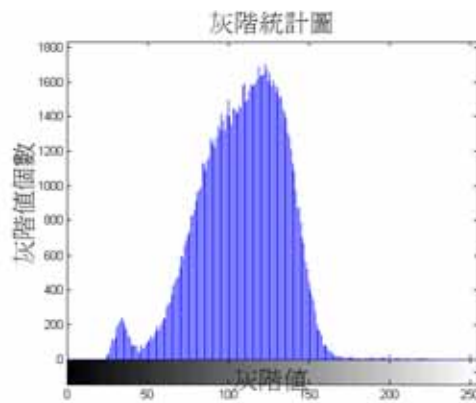


圖 1 胎痕灰階統計圖

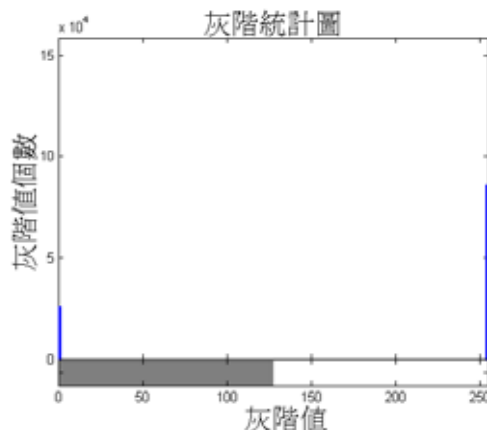


圖 2 二值化後灰階統計圖

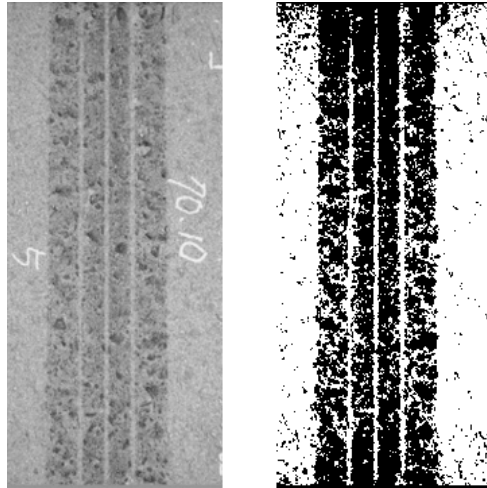


圖 3 平均灰階值二值化處理

$$\begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & k \end{bmatrix}$$

圖 4 本系統所採用之 3x3 遮罩

2.2 膨脹處理

由圖 3 可知，在做完二值化後，胎痕左右仍殘留了許多雜點，在此將利用膨脹的概念來消除此雜點。在本系統中則是針對 3x3 之遮罩進行處理，如圖 4 所示其中 $e = f(i, j)$ 、 $h = f(i+1, j)$ 、 $b = f(i-1, j)$ 、 $g(i+1, j)$ 為膨脹處理後 h 之灰階值， $g(i-1, j)$ 則是為膨脹處理後 b 之灰階值，利用此 3*3 遮罩對圖形中每一點進行運算，膨脹處理後之煞車胎痕如圖 5 左側圖形所示。

$$g(i+1, j) = \begin{cases} f(i+1, j) & f(i, j) = 0 \\ 255 & f(i, j) = 255 \end{cases} \quad (3)$$

$$g(i-1, j) = \begin{cases} f(i-1, j) & f(i, j) = 0 \\ 255 & f(i, j) = 255 \end{cases} \quad (4)$$

2.3 輪廓追蹤之前處理

在這一節所要介紹的步驟有二值化、膨脹、畫黑線、反白，均是為了輪廓追蹤所做的前處理，因本系統所採用之輪廓追蹤，僅能針對封閉區域進行處理，故必須先進行前處理使胎痕形成一封閉區域。因為胎痕內之胎痕溝槽顏色較淡，故在二值化之後為白色，而胎痕本身則較深，在二值化之後為黑色，兩者形成強烈之對比，導致在做膨脹處理時不易使胎痕形成一封閉區域，故在此使用了邊緣檢測及平滑處理，以緩和此強烈之對比，使確保膨脹後可使胎痕形成封閉區域，以便在做輪廓追蹤時可取得正確之胎痕。

2.3.1 邊緣檢測

所謂的邊緣的部份，通常在物體的邊界有明亮的變化，或者是色彩，質地上快速變化的地方，即頻率較高的地方。一般來說，邊緣檢測的方法有，Sobel 運算

子、Roberts 運算子、Prewitt 運算子、單像素連結法、角度偏斜處理法、哈夫轉換、小波描述子、線性回歸方程式等等，其中本系統是使用 Sobel 來進行邊緣檢測，利用圖 4 中之 3x3 遮罩對圖形中的每一點進行運算，以求出該點之灰階值，其中 $a=f(i-1,j-1)$ 、 $b=f(i-1,j)$ 、 $c=f(i-1,j+1)$ 、 $d=f(i,j-1)$ 、 $e=f(i,j)$ 、 $f=f(i,j+1)$ 、 $g=f(i+1,j-1)$ 、 $h=f(i+1,j)$ 、 $k=f(i+1,j+1)$

其中一般來說 G_x 是用來偵測水平方向之邊界，而 G_y 則是偵測垂直邊界， $g(i,j)$ 為邊緣檢測後 e 點之灰階值，圖 5 右側為邊緣檢測後之結果。

$$G_x = (g + 2h + k) - (a + 2b + c) \quad (5)$$

$$G_y = (c + 2f + k) - (a + 2d + g) \quad (6)$$

$$g(i,j) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (7)$$

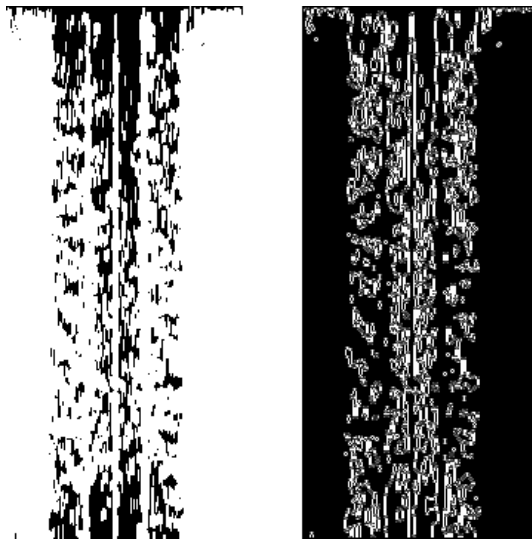


圖 5 膨脹處理及邊緣檢測

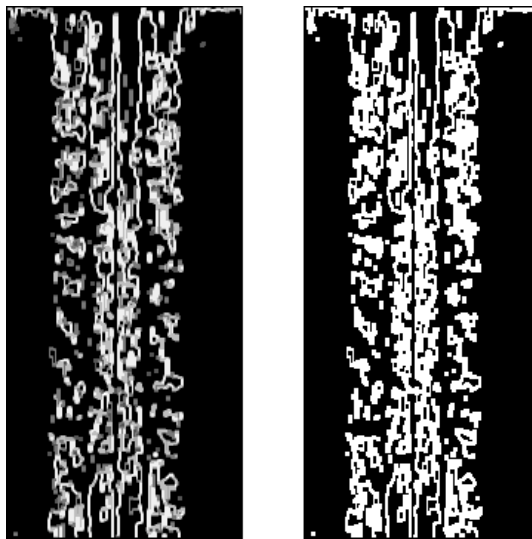


圖 6 平滑處理及二值化

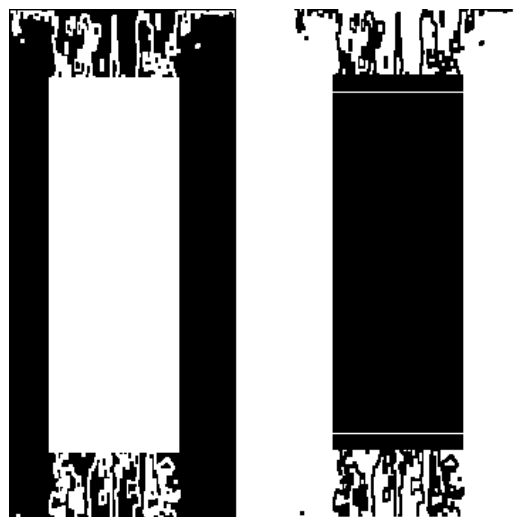


圖 7 膨脹處理、畫線後反白

2.3.2 平滑處理

在本系統中是採用均化濾波器又稱低通率波，此濾波器會使信號變化的較平緩，強化變化平緩的成分(低頻部分)，抑制變化較快的成分(高頻部分)，故又稱低通濾波器。

$$\begin{bmatrix} a_{i,j} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f(i-1,j-1) & f(i-1,j) & f(i-1,j+1) \\ f(i,j-1) & f(i,j) & f(i,j+1) \\ f(i+1,j-1) & f(i+1,j) & f(i+1,j+1) \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$g(i,j) = \frac{1}{9} \sum_{(i,j)} a_{i,j} \quad (9)$$

$a_{i,j}$ 為矩陣內元素， $f(i,j)$ 為平滑處理前之灰階值， $g(i,j)$ 為平滑處理後之灰階值。

經過平均濾波後，在胎痕中有一些黑白交界之區域，則其變化會變得較為平緩，同時白色之區域也會稍微往外擴散，如此則使原本胎痕溝槽部分之區域減少，這樣可使在進行膨脹處理時，不易受到溝槽之影響，較容易將胎痕膨脹成一封閉之區域，以便進行輪廓追蹤之步驟。其平滑處理後之結果如圖 6 左側圖形所示。

2.3.3 二值化

依照本系統中膨脹之定義，僅能針對灰階值為 255(白色)的部分進行處理，故在膨脹前，本系統先對圖片進行二值化處理。且本系統在平滑處理後，採用較小之門檻值 $T_0 = 10$ ，對圖片進行二值化處理，如此可使平滑處理後之資訊全部留下，以便在膨脹時較容易得到一封閉區域，圖 6 右側圖形為二值化後之煞車胎痕。

2.3.4 膨脹

接下來對圖片進行膨脹處理，因在圖片上方及下方常有許多雜訊較難消除，故本系統則忽略此部份，僅對圖片中間部分作膨脹處理，膨脹之原理同前所述，僅往上下方向膨脹，在此進行 120 次的膨脹處理後，結果如圖 7 左側所示。

2.3.5 反白

在圖片中之灰階值 $f(i,j)=0$ 為黑色，灰階值 $f(i,j)=255$ 為白色。利用下列函數

可將圖中之黑色變成白色，白色變成黑色。 $g(i, j)$ 為該點反白後之灰階值，執行反白處理前，在圖 7 左側圖形上畫兩條黑線，使胎痕形成一封閉區域，反白後結果如圖 7 右側圖形所示。

$$g(i, j) = 255 - f(i, j) \quad (10)$$

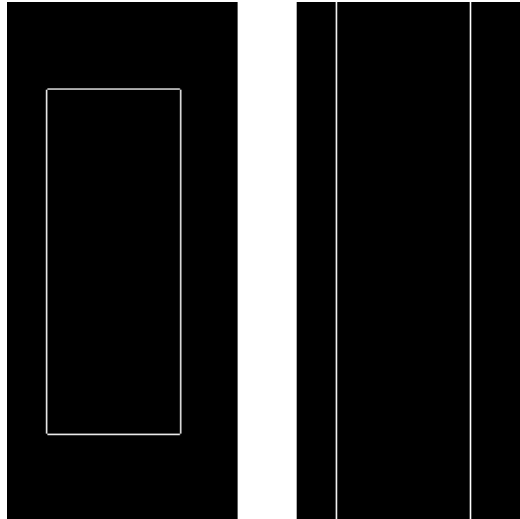


圖 8 輪廓追蹤及胎痕擷取前處理

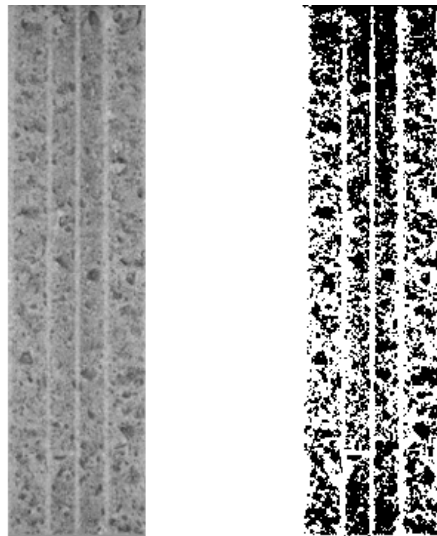


圖 9 胎痕擷取及平均灰階二值化

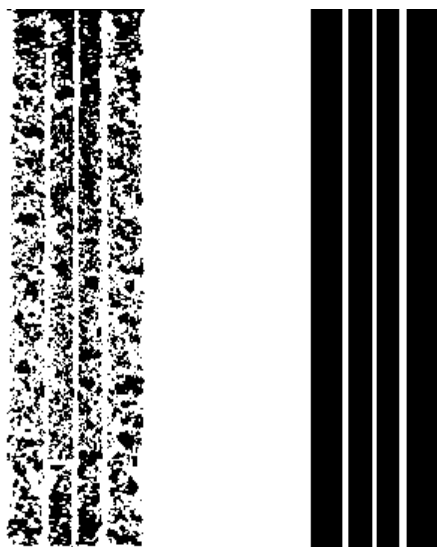


圖 10 旋轉及胎痕溝槽之擷取

2.4 輪廓追蹤

在圖片中設定一起始點，並由該點向右搜尋，至第一個白點，稱之為原點，設原點為 $f(i, j)$ ，所要追蹤之下一點為 $f(i+ii, j+jj)$ ，在原點周圍有八個點，分別在八個不同方向。在本系統中會先設 $n=4$ 代入公式(11)求出 $h(n)$ ，把 $h(n)$ 帶入公式(12)及公式(13)以求出 ii 及 jj 。

因此 $f(i+ii, j+jj) = f(i-1, j)$ 系統會先往方向 4 搜尋。若 $f(i+ii, j+jj)$ 為黑點，則採用規則(1)追蹤，若 $f(i+ii, j+jj)$ 為白點則採用規則(2)追蹤。

追蹤規則如下：

規則(1)：若往方向 4 所追蹤到之點 $f(i-1, j)$ 為黑點，則令 $n=5$ 帶入公式(11) (12) (13)中，求出下一點 $f(i+ii, j+jj) = f(i-1, j+1)$ ，故往方向 5 搜尋，若下一點 $f(i-1, j+1)$ 仍為黑點，則依順時針方向搜尋方向 6 到方向 3，至搜尋到白點為止。若搜尋到白點則令該點為原點，並利用規則(2)繼續追蹤下一點。若起始點周圍 8 個方向均為黑點，則系統將繼續向右搜尋，尋找另外一個白點，做為原點。 $f(i+ii, j+jj)=0$ (黑點)時之搜尋原則如圖 11 所示。

規則(2)：若往方向 4 追蹤之 $f(i-1, j)$ 為白點，則令 $f(i-1, j)$ 為原點，令原點座標為 $f(i, j)$ 、 $n=1$ ，代入公式(11) (12) (13) 求出下一點座標 $f(i+ii, j+jj)$ 等於 $f(i+1, j-1)$ ，系統往方向 1 搜尋。若 $f(i+1, j-1)$ 為黑點，則代入規則(1)繼續追蹤下一點。若 $f(i+1, j-1)$ 為白點，則令 $f(i+1, j-1)$ 為原點，原點座標為 $f(i, j)$ 、 $n=6$ ，帶入公式(11) (12) (13) 求出 $f(i+ii, j+jj)$ 等於 $f(i, j+1)$ ，使系統往方向 6 搜尋。 $f(i+ii, j+jj)$ 為白點之追蹤原則如圖 12 所示。其中：

$$h(n) = \begin{cases} n+5 & 0 \leq n \leq 2 \\ n-3 & 3 \leq n \leq 7 \end{cases} \quad (11)$$

$$ii = g_i(h(n)) = \begin{cases} -1 & 0 \leq h(n) \leq 2 \\ 0 & h(n) = 3, h(n) = 7 \\ 1 & 4 \leq h(n) \leq 6 \end{cases} \quad (12)$$

$$jj = g_j(h(n)) = \begin{cases} 1 & 2 \leq h(n) \leq 4 \\ 0 & h(n) = 1, h(n) = 5 \\ -1 & h(n) = 0, h(n) = 6, h(n) = 7 \end{cases} \quad (13)$$

紀錄每一個輪廓追蹤所偵測到之白點，若所追蹤之點等於第一個原點，則表示以追蹤完成一封閉區域，若追蹤到的白點數目大於某一定值，則表示所追蹤到的輪廓即為胎痕輪廓，輪廓追蹤後之結果如圖 8 左側圖形所示。

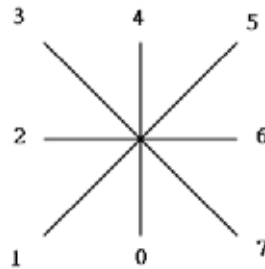


圖 11 輪廓追蹤搜尋規則(1)

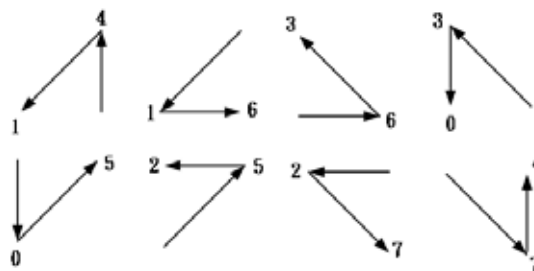


圖 12 輪廓追蹤搜尋規則(2)

2.5 胎痕擷取

在做胎痕擷取前，先在圖 8 左側圖形上畫兩條水平黑線，覆蓋在輪廓上方及下方之白線上，然後再對圖形做 30 次之膨脹處理，其結果如圖 8 右側圖形所示。

依照一般圖形座標系統，找出圖 8 右側圖形中之 $f(i_{\min}, j_{\min})$ 及 $f(i_{\max}, j_{\max})$ 兩點。在原圖片中擷取出此兩點內之範圍，即為胎痕在圖片中之範圍。結果如圖 9 左側圖形所示。依據前述方法，求出胎痕範圍內平均灰階值，對圖 9 左側圖形進行二值化，其結果如圖 9 右側圖形所示。

2.6 旋轉

因為在進行胎痕溝槽擷取時，是使用水平投影量之方法來決定胎痕溝槽，若不將胎痕旋轉至垂直方向，則容易造成誤判，故在此需先旋轉圖形，以便能較正確的取出胎痕溝槽，旋轉後結果如圖 10 左側圖形所示，旋轉步驟如下。

2.6.1 尋找圖形質心

在此採用之旋轉方法是將圖片中之圖形旋轉某一角度，然而圖片中之圖形中心，卻不一定就是圖片中心，因此需先找出圖片中之圖形中心，其中 x_c 為圖形質

心至 x 軸之距離， y_c 為圖形質心至 y 軸之距離， a 為座標 (x,y) 的灰階值， A 為圖片中所有灰階值之總和。

$$x_c = \iint \frac{a \times x}{A} dx dy \quad (14)$$

$$y_c = \iint \frac{a \times y}{A} dx dy \quad (15)$$

2.6.2 尋找圖形中心線角度

$$x' = x - x_c \quad (16)$$

$$y' = y - y_c \quad (17)$$

$$\tan 2\theta = \frac{2 \tan \theta}{1 - \tan^2 \theta} = \frac{2 \frac{y}{x}}{1 - \frac{y^2}{x^2}} = \frac{2xy}{x^2 - y^2} \quad (18)$$

$$\tan 2\theta = \frac{b}{a - c} \quad (19)$$

$$a = \iint (x')^2 b(x, y) dx dy \quad (20)$$

$$b = 2 \iint (x' y') b(x, y) dx dy \quad (21)$$

$$c = \iint (y')^2 b(x, y) dx dy \quad (22)$$

在找出質心之座標 (x_c, y_c) ，將圖形上每一點之座標 (x, y) 帶入公式(16)及(17)，以求出 x' 及 y' ，其中 x' 為該點至形心在 x 方向之差， y' 為該點至形心在 y 方向之差。再將圖形上各點的 x' 及 y' 帶入公式(20) (21) (22)藉由公式(19)求出之角度， $b(x, y)$ 為圖形中各點之灰階值。

2.6.3 旋轉

$$\theta' = 90^\circ - \theta \quad (23)$$

$$x_T = x' \cos \theta' - y' \sin \theta' + x_c \quad (24)$$

$$y_T = y' \cos \theta' + x' \sin \theta' + y_c \quad (25)$$

由公式(24) (25)可求出 (x_T, y_T) ， θ' 為角度差， x_T 為旋轉後 x 座標， y_T 為旋轉後 y 座標。

2.7 擷取胎痕溝槽

利用水平投影量來找出胎痕溝槽寬度，在胎痕轉正後，統計圖形中之白點在水平軸之投影數量，如圖 13 所示。然後再將水平投影量由小而大依序排列後，以九個分割點將水平投影量分成十等分，此分割點稱為十分位數，以 D_i 表第 i 十分位數，因在胎痕溝槽部分白點數較多，固在此採用較高門檻值，為水平投影量之第八十分位數，在白點數投影量超過此門檻值的位置，則視為胎痕溝槽位置，並使該位置上的點全部變成白點，其結果如圖 10 右側圖形所示，從胎痕左邊界向右邊界搜尋，若搜尋到連續白點，則為胎痕溝槽，搜尋後紀錄溝槽寬度及溝槽數目，以便進行胎痕比對。

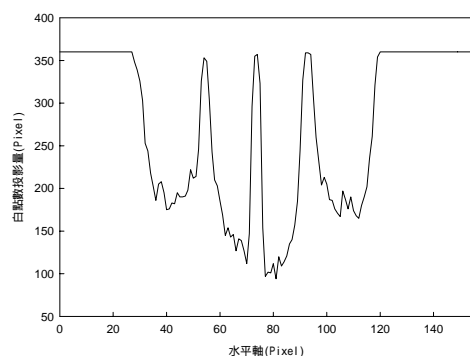


圖 13 白點數於水平軸之投影量

2.8 胎痕比對

在擷取出胎痕溝槽數目及寬度之後，先利用胎痕溝槽數目進行比對，找出資料庫內相同胎痕之資料，再利用歐氏距離(Euclidean distance)進行胎痕比對，比較其差異大小，若歐氏距離越小則表示，所擷取到之胎痕與實際之胎痕越接近，則誤差也越小。其歐氏距離公式如下：

$$d = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + \dots + (x_n - y_n)^2} \quad (26)$$

其中 x_n 為實際胎痕中之第 n 個溝槽或條紋寬度， y_n 為資料庫胎紋中第 n 個胎溝或胎紋條寬度。

藉由胎痕比對可判斷造成該胎痕的輪胎，可能是某種品牌之輪胎及規格，只需在資料庫中建立各輪胎之資料，將所擷取到的胎痕溝槽，利用歐氏距離與資料庫內之數據進行比對，找出其中最接近之胎紋資料(即歐氏距離最小)，由此資料變能得知可能產生此胎痕的輪胎型式。此種技術可應用於肇事逃逸上，利用肇事現場之胎痕，比對出最可能產生此種胎痕之輪胎，以利於警方縮小偵查之範圍。另外若車禍事故之當事人並無逃逸，則可直接由事故車輛之輪胎胎紋得知其胎溝數目，並量測輪胎溝槽及胎紋條寬度，再與鋪面之胎痕進行比對，以確認胎痕之歸屬，以避免因先前路面遺留之舊痕而造成誤判之情形。

參、結果與結論

本系統主要由四個部分組成，第一是將背景與胎痕分離，第二為輪廓追蹤，第三為胎痕擷取，第四則是進行胎痕比對，若在進行第一部分時，將背景與胎痕完全分離，則在進行輪廓追蹤及胎痕擷取時，便可得到正確之胎痕。若在進行背景分離時，無法將背景完全分離，則在輪廓追蹤及胎痕擷取步驟後，較難得到正確之煞車胎痕。在第一部份本系統是採用二值化及膨脹，來使胎痕與背景分離。在利用平均灰階值做二值化後，仍會留下雜訊，故系統會進一步，使用膨脹處理來消除雜訊，但在做膨脹處理時，若膨脹次數過少則無法將雜訊完全消除，若膨脹次數過多，則導致胎痕範圍內部資訊減少過多，以致無法正確擷取出胎痕。為了解決此問題，本系統在進行二值化後，會自動偵測圖片中灰階值為 0 的總數，若胎痕顏色較深，則二值化後灰階值為 0 的總數較多，如此便可增加膨脹之次數。因為胎痕顏色較深，二值化後留在胎痕內灰階值為零的總數也較多，故在增加膨脹次數後，胎痕內之資訊，仍足夠提供輪廓追蹤時，得到完整之胎痕輪廓，且增加膨脹次數後，可將雜訊完全消除，使系統能夠更加正確的節取出胎痕。若所偵

測到灰階值為零之總數少，通常胎痕也較淡，故在胎痕中之資訊也較少，若膨脹次數過多，則會導致胎痕內資訊減少過多，如此系統將無法正確的擷取出胎痕位置，故系統會自動減少膨脹次數，使在進行輪廓追蹤時，能得到完整之輪廓，增加系統之辨識能力。

目前已可自動擷取胎痕，並有百分之九十以上之圖片可被系統正確的辨識，在胎痕比對方面約有 9 成圖片歐氏距離小於 1cm 以下，有些圖片因有雜訊如影子等，導致系統無法正確辨識。若在肇事現場採樣時，避開影子等雜訊之影響，便可提高胎痕之辨識率，如此在進行胎痕比對時才可得到較正確之結果，並可提供肇事鑑定人員加以參考採用。

肆、誌謝

本研究為國科會計劃 - 肇事現場 ABS 車輛胎痕識別模式建立之研究，編號 NSC 91-2211-E-346-002，之部份成果。

伍、參考文獻

1. Ching-Liang Su , "Face recognition by feature orientation and feature geometry matching" , Ph.D Dissertation , The University of Southwestern Louisiana , (1995).
2. Lakamper, R. and Latecki, L. J., "Shape similarity measure for image database of occluding contours" , Fourth IEEE Workshop on Applications of Computer Vision , WACV '98. Proceedings , pp.258 -259(1998).
3. Lakamper. R. and Latecki. L. J. , "Shape similarity measure based on correspondence of visual parts" , IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence , Vol. 22 , pp 1185 -1190(2000).
4. Min-Hung Yeh and Soo-Chang Pei , "The discrete fractional cosine and sine transforms" , IEEE Transactions on Signal Processing , Vol. 49 , pp.1198 -1207 (2001).
5. Kai-Kuang Ma , Li-Hui Chen and Tao Chen , "Tri-state median filter for image denoising" , IEEE Transactions on Image Processing , Vol. 8 , pp.1834 -1838 (1999).
6. 王瑩瑋，"肇事現場新舊車痕自動辨識及車痕歸屬之研究"，行政院國家科學委員會專題研究計劃成果報告，1999。
7. 吳逸賢，"精彩 C++ BUILDER 5 程式設計"，知城數位科技股份有限公司，2001。
8. 鍾國亮，"影像處理與電腦視覺"，東華書局，2001。
9. 林宸生，"數位信號-影像與語音處理"，全華科技圖書股份有限公司，2001。
10. 陳志遠，"電腦輔助紋理影像辨識與點資料視覺化研究"，國立中央大學機械工程研究所碩士論文，2000。