

剎車胎痕自動偵測模式之建立

王瑩瑋¹ 林昭男²

摘 要

為判定或偵測影像中是否存在剎車胎痕，本文利用剎車胎痕影像具有較強烈對比度及位於影像之中央區域的特性，在取得剎車胎痕之近距離影像及數位化後，先求取得水平座標之投影量，由平均投影量及投影量之標準差，求算其變異係數，再計算影像中央區域之參考值(高於平均投影量之點位)，以變異係數及參考值做為有無剎車胎痕之區別變數，用來鑑別胎痕之有無。本法經測試 144 張影像(有胎痕鋪面 72 張，單純鋪面 72 張)，發現有胎痕者其變異數及參考值約在 0.36~0.85 及 36~96 之間，無胎痕者約在 0.07~0.86 及 0~49 之間，故可先以變異係數初步區分兩者，再以參考值篩選一次，可完全區別二者間之差異性。由該實驗結果可知，本法具計算簡易且正確性高之優點，相當適合應用於胎痕自動識別系統中。

壹、前言

肇事現場遺留之胎痕跡證，是重要之事故現場調查項目之一，在重建上其可用以了解及推論駕駛人在碰撞前之駕駛行為、行車速度、方向、碰撞位置、碰撞後行進之軌跡等等。因此為正確地利用胎痕跡證進行後續之推論工作，鑑別胎痕的車輛歸屬是相當基礎而重要之工作，一般而言，胎痕之車輛(輪胎)歸屬判定工作，可採用胎紋與胎痕之幾何特徵(如寬度、胎溝數等)比對之方法加以確認[1, 2]，然因胎痕之形成受鋪面狀況、輪胎結構、環境因素及車輛操作狀況之影響，其外顯之輪廓特徵會有變異性存在[3]。再者胎痕因受背景鋪面紋理交織作用之影響，事故現場胎痕幾何特徵(如條紋間距)之定位及量測並不容易，是故發展一胎痕自動定位量測之方法或系統，以有效輔助胎痕跡證量測及鑑識工作之進行，是一個重要之研究課題。

以影像處理方法為基礎之剎車胎痕自動鑑識系統，主要包括三個部份，分別是胎痕之前處理、胎痕特徵擷取及胎痕之比對歸類，而在胎痕之前處理部份，首要工作在於確認影像中是否可能有胎痕，意即偵測胎痕是否存在，如果有胎痕存在，才需要進行後續之前處理工作，是故剎車胎痕自動偵測功能或方法是鑑識系統發展之基石，關係系統發展之完整性及其執行效率。

一般而言肇事現場遺留之胎痕跡證，主要有二類，一為印痕，二為輪胎摩擦痕，又分為滑痕(Skidmark)與拖痕(Scuffmark or Yawmark)兩種，印痕擁有絕大部份輪胎胎紋之訊息，其比對鑑識結果之正確性較佳，相反地，摩擦痕留存之胎紋資訊較少，其比對之困難度相對較高而效果可能較差。但就事故現場跡證而言，

1 國立澎湖技術學院運輸與物流管理學系副教授

2 大葉大學車輛工程研究所碩士

較常見的胎痕乃以滑痕為主[1,2]，尤其是剎車滑痕最為常見，在實務上其比對鑑識之需要性較高。是故本研究乃以小汽車剎車胎痕(滑痕)做為本研究之主要探討對象。意即以剎車胎痕影像之自動偵測定位，為本文之主要研究範圍。

貳、剎車胎痕特性

剎車胎痕(Skidmark)導因於車輛剎動後，輪胎在鎖死之狀況下與鋪面滑動摩擦(sliding)生熱後，使鋪面瀝青融化，並夾帶剝落橡膠混合物，而於路面上所形成之痕跡。該等胎痕與原有胎紋(tire-tread)間差異較大，且可供比對之資料基礎較為欠缺，但仍存在一些有用的資料可做為比對基礎，諸如胎溝數目、溝槽間距、胎痕寬度等。一般而言，剎車胎痕之型式或樣態(pattern)主要取決於輪胎胎紋之型式(如花紋之溝數、間距)、輪胎之新舊(如胎溝深度；新胎溝深較大可形成明顯之黑白相間條紋的胎痕，反之，舊胎溝深淺其胎痕較無明顯之黑白相間條紋)、輪胎之負載及胎壓(如負載直接決定接地面積大小及形狀，而胎壓影響胎痕之周邊輪廓及其濃淡)，以及鋪面狀況或紋理(如光滑平整之鋪面剎車痕內條紋較為連續，反之則為間斷不連接)，而次要影響因素如環境因素及車輛操作狀況等，主要是影響胎痕之濃淡，對於輪廓之幾何特徵影響較小。雖然胎痕有不同之樣態或幾何輪廓，但其一般性之特徵是呈帶狀較為濃黑且均勻分佈，其濃黑程度明顯異於路面或鋪面之背景色澤，是故其於拍攝後，胎痕本身之灰階值明顯低於鄰近鋪面之灰階值，意即其與路面之對比度甚為強烈，該等特性提供吾人一個很好之鑑別依據，可用以偵測胎痕之存在與否。

參、剎車胎痕偵測方法

為鑑識胎痕之車輛歸屬，通常必需取得胎痕之近景攝影照片，而拍攝或取像之距離必需適中，意即太近可能無法含蓋整個胎痕，而且鋪面紋理(背景)有強化傾向其對於胎痕之干擾加深，反之，太遠則胎痕影像較為模糊可能無法有效讀取或量測其內之條紋間距。一般而言，採用垂直攝影(平行路面)方式離地約130~170公分範圍內加以拍照，可取得效果較佳之照片(鋪面紋理干擾較少，而且條紋較為清晰)。本文中所發展之剎車胎痕自動偵測定位方法，即針對此條件下之剎車胎痕影像加以進行。

3-1 胎痕偵測演算法

利用有胎痕照片具有對比度較為強烈且胎痕通常位於影像之中央區域附近(因胎痕是拍照之主體)之特性，本文將二維影像轉換為一維座標(水平座標)之投影量，由投影量分佈之集中性及變異性，來反應有無胎痕鋪面之差異性，主要透過投影量之變異係數及中央區域(約佔相片 1/4 面積)較高投影量(高於平均投影量)點位(簡稱參考值)來表示或偵測胎痕之有無。本演算法之執行步驟如下：

- (1)以平均灰階值進行影像之二值化。
- (2)求算黑點(即灰階值高於平均灰階門檻之像點)之水平軸投影量(horizontal projection) X_i 。
- (3)求算水平投影量之平均灰階值($\bar{X} = \sum X_i / n$)。
- (4)求算水平投影量之標準差 $S_X = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / n - 1}$ 。

- (5) 求算變異係數值(coefficient of variance = C.V.)， $C.V.=S_X / \bar{X}$ 。
- (6) 求算相片中中間區域(約佔 1/4 面積)高於平均黑點投影量之個數(簡稱為參考值)。
- (7) 由變異係數及參考值決定胎痕存在與否。例如本研究中，若變異係數值，高於 0.3 者，則進一步依據參考值再過濾一次，若參考值又小於 30 者，視為無胎痕存在，高於 30 者即認定可能有胎痕存在。
- (8) 求算黑點投影量之差分 $\Delta X_i = |X_{i+1} - X_i|$ ，及其平均差量 $\overline{\Delta X}$ 。
- (9) 利用移動全距管制圖[李友錚、賀力行，民 93]偵測有無非機遇性原因，一般而言，超過管制上界($UCL=3.276*\overline{\Delta X}$)或小於管制下界($LCL=0$)，即認為非機遇性原因造成黑點投影量之變異，即認定有胎痕存在，反之則視為不存在。
- (10) 如果有非機遇原因存在(即視為有胎痕存在)，再偵測最大及次大區域長度(其連續黑點投影量小於平均門檻 $\overline{\Delta X}$)得知胎痕可能區域。
- (11) 胎痕之定位及切割。

上述演算法之(9)與(10)步驟，乃利用移動全距之上下界範圍，再進一步確認有無胎痕並偵測胎痕可能存在之區域。

肆、實證研究

為證實上述演算法對於胎痕偵測上之效果，本研究採用實際道路蒐集之剎車痕(含鋪面)及單純鋪面資料，進行演算法驗證工作，而為有效進行測試工作，本研究自行撰寫一胎痕自動偵測程式，該系統採互動式介面之設計，可增進視覺效果，以確保結果之正確性。

4-1 資料蒐集

本研究所採用之剎車胎痕照片，來源有二，一為委託台中財團法人車輛研究測試中心於鹿工路上進行之車輛動態剎車實驗，所取得之胎痕照片[3]，共 36 張。另於澎湖縣道路上，實地蒐集之路面胎痕資料(新痕)，共 36 張。另單純鋪面之照片，主要拍攝地點在澎湖縣馬公市市區道路上，其含蓋之街道有永壽街、新明路、永福街、新店路、新營路、介壽路、民族路、治平路、忠孝路、惠民一路、信義路、文光路、成功街、陽明路、四維路、光復路、明遠路、新生路、三多路、光復路、林森路、中華路、漁隆路、民福路、臨海路、中山路、中正路、仁愛路、文化路等共取得 72 張照片。故上述之胎痕及單純鋪面照片共有 144 張，有無胎痕鋪面各為 72 張。

4-2 特徵擷取

利用上述 144 張照片經數位化後，由胎痕自動偵測程式，如圖 1 所示。系統界面可區分為二部份，圖形顯示及資料顯示，而顯示區上方有功能鍵，可依據需求進行點選處理，其結果會顯示於下方之圖形及資料顯示區域。在圖形顯示上由上而下分別是原圖、二值化處理、水平投影量及移動全距管制圖，旨在增進結果之視覺化，以方便使用者對照及確認結果之正確性。而資料顯示區含有圖形大小、旋轉角度、變異係數值及參考值、移動全距管制圖之中心線、上界、下界及非正常點數量，最後再顯示有無胎痕及其左右邊界。利用該系統直接選圖並進行前處

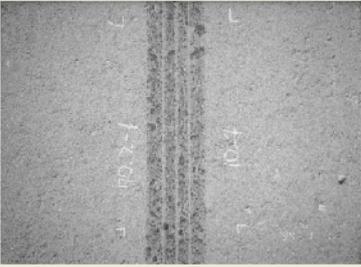
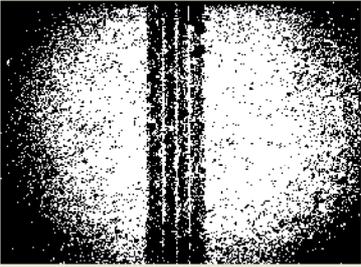
理、特徵值擷取、胎痕有無判定、及胎痕定位切割之工作。下圖 1~4 顯示有無胎痕鋪面實際處理結果部份範例，而由全部相片所取得之特徵值如下表 1 所示。

4-3 結果與討論

剎車胎痕之變異係數值明顯較高約落於 0.36~0.85 平均約 0.55，而單純鋪面之變異係數值明顯偏低，約落於 0.07~0.86 平均約 0.40，兩者之間仍有重疊之區域，表示若以變異係數值區分兩者，依然有誤判之情況，例如採變異係數 0.3 區分 144 張相片，正確率僅約 65.3%，誤判率約有 34.7%，因此需再利用參考值，進一步過濾無胎痕之鋪面。一般而言，有胎痕之鋪面在照片之中間位置(約佔整張相片 1/4 面積部份)會有胎痕出現，因此有胎痕者其參考值明顯較大約界於 36~96，而無胎痕者其參考值明顯偏低約界於 0~49，且其值若為零者必定無胎痕存在。相反地，有高之參考值，不必然一定含有胎痕存在。是故擬正確地判定胎痕是否存在，需先以變異係數值過濾，再利用參考值過濾一次，其正確性將大幅提高。本案例研究中，可採用變異係數值(如 0.3)做第一次過濾誤判率為 50/144(34.7%)，再利用參考值門檻(如等於 30)做第二次過濾，則先前誤判之 50 張相片均被正確之判出來，意即識別率可達 100%。另為進一步確認二次過濾結果之正確性，可利用移動全距管制圖，偵測是否有非機遇性因素，意即在偵測到之胎痕範圍內，若有超過上下界限範圍之點位出現即確認有胎痕存在。

Tire-mark location

File Function

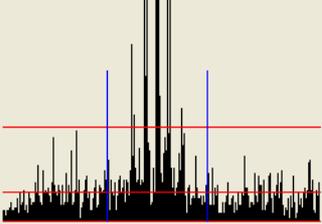


Image size
 Height : 352 Width : 496

Rotating
 Rotating angle : 0

Coefficient of variance & number of darker-points
 Horizontal axis :
 CV : 0.647273! Ref : 66
 Vertical axis :
 CV : Ref :

X-Rm Control chart
 UCL_{MR} : 0.093E LCL_{MR} : 0
 CL_{MR} : 0.0285755395889282
 No. of abnormal points : 18

Existing tire-mark?
 Yes : No :

Boundaries of tire-mark
 L_B : 162 R_B : 319

圖 1 有胎痕鋪面(彰濱工業區鹿工路)偵測結果範例 1

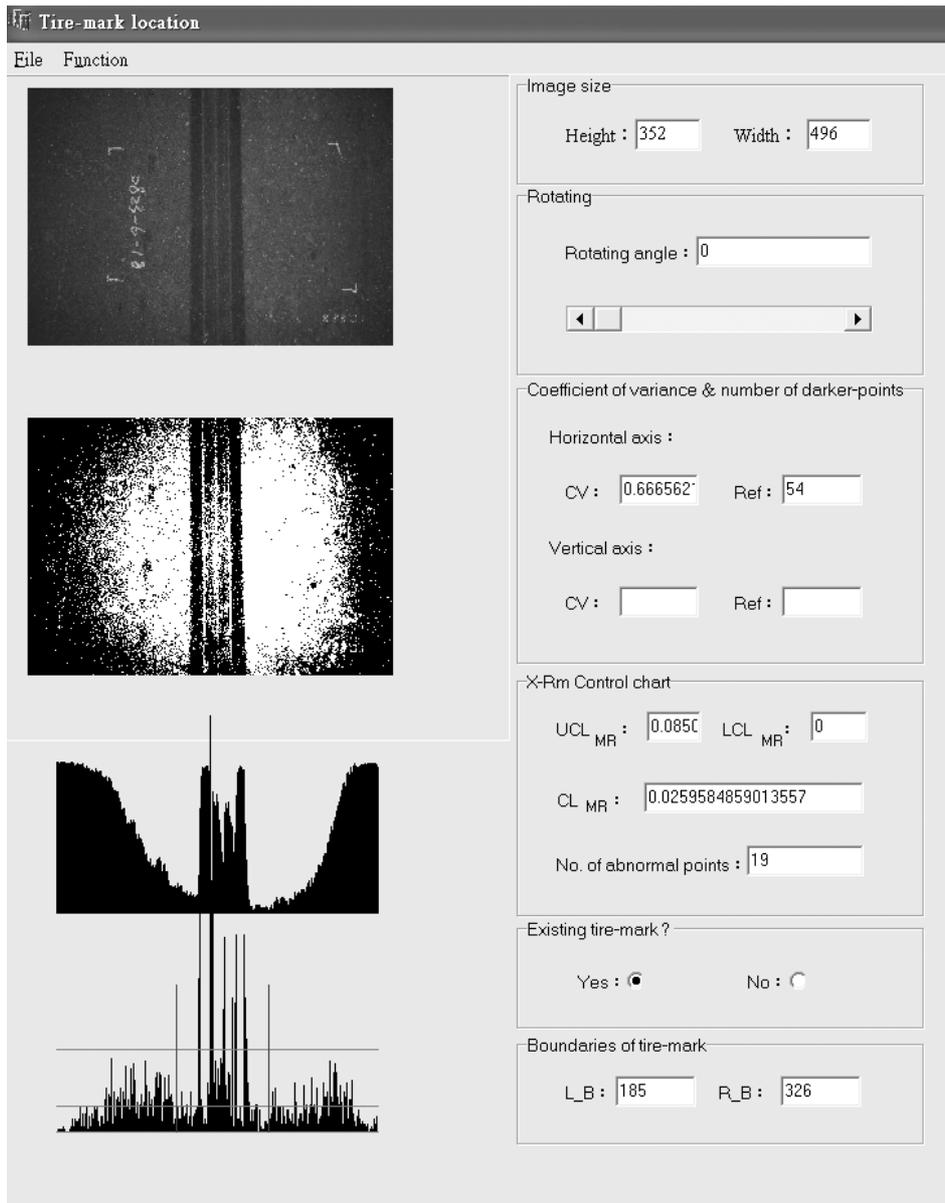


圖 2 有胎痕鋪面(澎湖道路)偵測結果範例 2

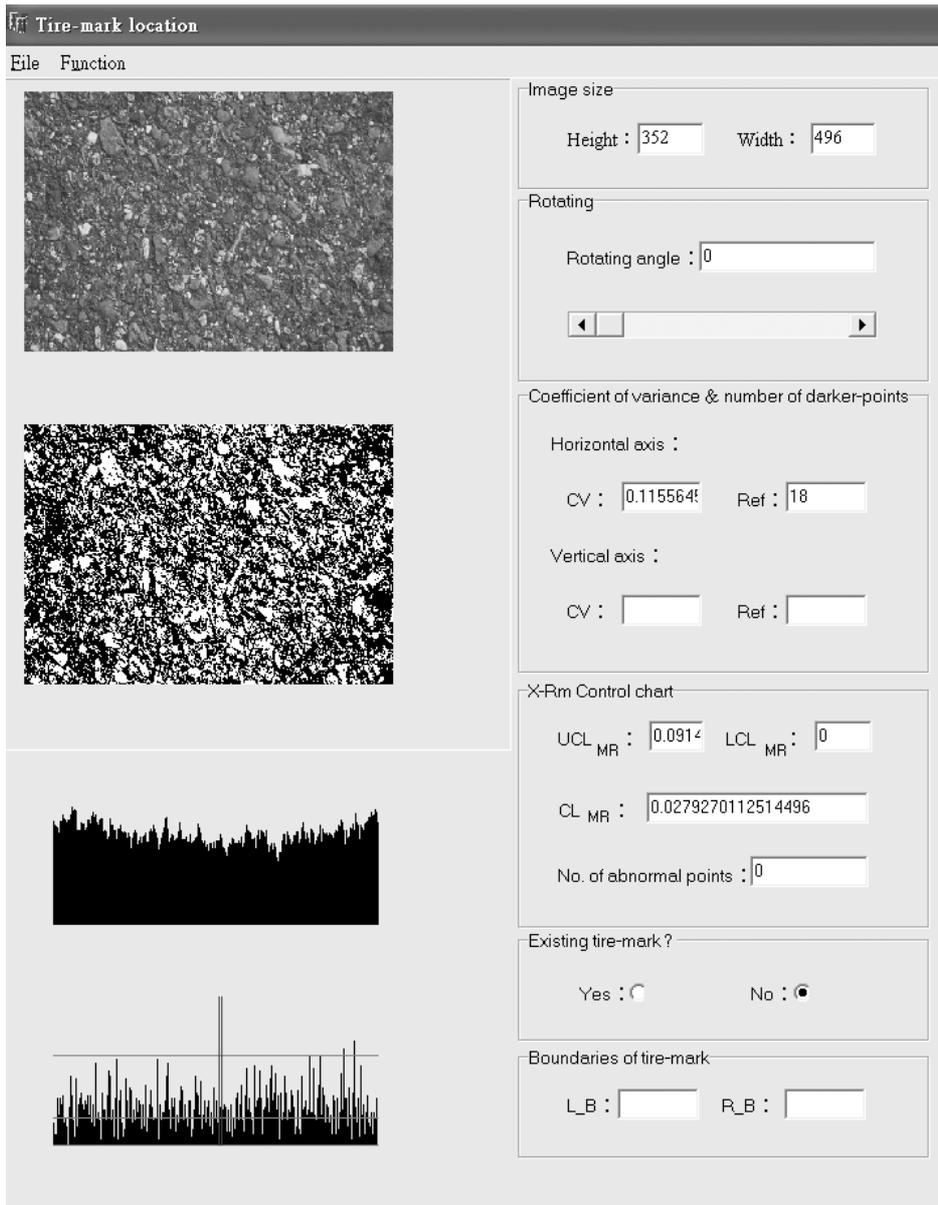
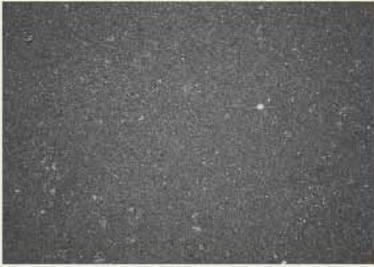
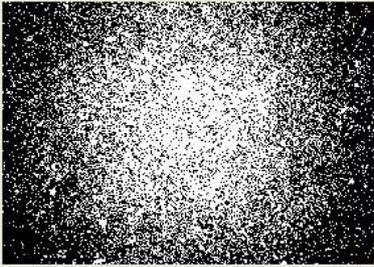


圖 3 無胎痕鋪面(離地約 150 公分拉近鏡頭拍照)偵測結果範例 3

Tire-mark location

File Function

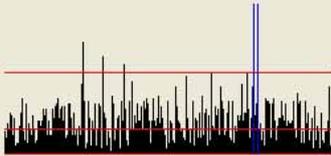


Image size
Height : 352 Width : 496

Rotating
Rotating angle : 0

Coefficient of variance & number of darker-points
Horizontal axis :
CV : 0.412796 Ref : 0
Vertical axis :
CV : Ref :

X-Rm Control chart
UCL_{MR} : 0.0813 LCL_{MR} : 0
CL_{MR} : 0.0248393192887306
No. of abnormal points : 0

Existing tire-mark ?
Yes : No :

Boundaries of tire-mark
L_B : R_B :

圖 4 無胎痕鋪面(離地約 150 公分不拉近鏡頭拍照)偵測結果範例 4

表 1 有胎痕及無胎痕鋪面特徵值擷取結果

相片編號 (有胎痕)	變異係 數值	參考 值	相片編號 (有胎痕)	變異係 數值	參考 值	相片編號 (無胎痕)	變異係 數值	參考 值	相片編號 (無胎痕)	變異係 數值	參考 值
1	0.64196	45	37	0.64265	69	73	0.12421	42	109	0.41973	0
2	0.38827	42	38	0.61303	67	74	0.07471	40	110	0.49026	0
3	0.40940	52	39	0.68398	69	75	0.09578	17	111	0.39417	0
4	0.44547	49	40	0.53104	77	76	0.11539	17	112	0.40827	0
5	0.48943	33	41	0.53931	52	77	0.10824	28	113	0.34314	0
6	0.61190	51	42	0.58257	96	78	0.09171	44	114	0.32024	0
7	0.47819	51	43	0.61425	62	79	0.09186	12	115	0.28878	0
8	0.61121	47	44	0.56251	54	80	0.11743	19	116	0.26098	0
9	0.64783	55	45	0.53293	62	81	0.14645	15	117	0.37333	0
10	0.66812	56	46	0.47931	59	82	0.09441	49	118	0.30975	0
11	0.60540	57	47	0.36912	47	83	0.09783	22	119	0.39563	0
12	0.38254	34	48	0.42801	52	84	0.22386	0	120	0.28063	0
13	0.52417	51	49	0.42370	36	85	0.28058	0	121	0.35004	0
14	0.47524	37	50	0.41726	57	86	0.29445	0	122	0.74302	0
15	0.64543	57	51	0.43063	56	87	0.28885	0	123	0.53765	0
16	0.38257	93	52	0.43089	60	88	0.21744	0	124	0.50629	0
17	0.50725	61	53	0.48993	45	89	0.46537	0	125	0.72905	0
18	0.56738	66	54	0.55984	64	90	0.24879	0	126	0.34105	0
19	0.59257	56	55	0.45391	50	91	0.32969	0	127	0.36017	0
20	0.63931	47	56	0.42157	61	92	0.34356	0	128	0.86994	0
21	0.66601	79	57	0.42698	61	93	0.35018	0	129	0.57235	0
22	0.60969	68	58	0.62798	66	94	0.33409	0	130	0.54440	0
23	0.84607	65	59	0.66517	54	95	0.26186	0	131	0.74298	0
24	0.55792	68	60	0.40039	54	96	0.65605	0	132	0.5278	0
25	0.63697	78	61	0.38964	46	97	0.64478	0	133	0.56942	0
26	0.70603	62	62	0.56564	58	98	0.44670	0	134	0.56709	0
27	0.55187	67	63	0.59465	59	99	0.54357	0	135	0.41145	0
28	0.55092	67	64	0.59885	63	100	0.58948	0	136	0.63079	0
29	0.60033	75	65	0.65522	67	101	0.23220	3	137	0.43967	0
30	0.66541	72	66	0.69652	65	102	0.47346	0	138	0.68740	0
31	0.65325	68	67	0.61556	56	103	0.58572	0	139	0.69038	0
32	0.67883	65	68	0.60040	54	104	0.41571	0	140	0.60934	0
33	0.52568	84	69	0.59951	54	105	0.41240	0	141	0.43590	0
34	0.70821	72	70	0.49502	58	106	0.34430	0	142	0.59007	0
35	0.59909	60	71	0.46381	54	107	0.48993	0	143	0.44526	0
36	0.56614	79	72	0.48945	57	108	0.58588	0	144	0.55667	0

在驗證過程中，有幾個重要之發現列述如下：

- (1) 整體而言，有胎痕鋪面與無胎痕鋪面之變異係數與參考值有顯著之差異(p 值 = 0.000； $\alpha=0.05$)，故此二變數可用以做為區別變數。
- (2) 單純鋪面，若近距離(離地約 130~170 公分)但拉近鏡頭拍攝(焦距約 200mm)，拍攝之鋪面積較少，且較為均勻，其變異係數值明顯偏低，例如編號 73~83 相片約落於 0.07~0.14 之間，但其參考值有變大之傾向約落於 12~49 之間。此亦顯示參考值大不必然一定有胎痕存在。若採近距離(離地約 130~170 公分)不拉近鏡頭拍照(焦距約 48mm)，因拍攝之鋪面面積較大，且較為不均勻，其變異係數值明顯偏高。意即近距離拉近鏡頭與不拉近鏡頭拍照之鋪面，其變異係數有顯著之差異(p 值=0.000)，而且在不拉近鏡頭條件下拍攝之單純鋪面其參考值均為零。

故現場胎痕取像上，建議不管採用一般全自動或手動相機，勿需調整焦距(不伸長鏡頭)採用近距離(約離地 130~170 公分範圍內)拍攝鋪面胎痕，有利於後續胎痕有無偵測工作之進行。

- (3)利用平均灰階進行二值化之處理，故亮度對於胎痕偵測上之影響並不顯著，意即其對於變異係數及參考值之影響不明顯，例如編號 84-110 相片，乃於天候晴朗狀況拍攝，而編號 111-114 乃於陰天拍攝，其特徵值無顯著之差異(p 值=0.022; $\alpha=0.05$)。
- (4)鋪面之紋理樣態，在不同之路段以及相同路段不同地點均不相同，概括而言，在較為平整鋪面，其變異係數有偏高傾向，但較為粗糙鋪面，其變異係數則有偏低之傾向。

伍、結論

本文針對近距離攝影(離地約 130~170 公分垂直拍攝)之剎車胎痕影像，利用有胎痕鋪面具有較強烈對比度，且其影像中央區域有較多超過平均黑點投影量之特性，提出一簡易自動偵測方法，經 144 張照片之驗證結果得知，其正確性相當高，可做為後續發展一胎痕自動鑑識系統之基礎。本研究採用不同路段及相同路段不同位置之鋪面胎痕及單純鋪面，特別選擇澎湖縣及台灣本島彰化縣之道路鋪面進行資料蒐集之工作，並考量不同天候、不同車輛、輪胎產生之胎痕，以避免取像來源過於集中之缺點，故其具有普遍性適用之優點。然而擴大資料蒐資料之範圍，再次驗證模式之正確性，仍是未來研究上之重點工作。

誌謝

本研究為國科會研究計劃一事故現場剎車胎痕自動擷取模式建立之研究，編號為 NSC 93-2211-E-346-001，部份研究成果，感謝行政院國家科學委員會對於研究經費之贊助。

參考文獻

- 1.Baker, J. S. and L. B. Fricke (1986) The traffic accident investigation manual, Northwestern University Traffic Institute, Evanston, Illinois 60204.
- 2.蘇志強 (民 86)，交通事故偵查理論與實務，一成印刷有限公司，頁 289-333。
- 3.Wang, Y.W. A Distance-base Matching Model for Classifying Tire-marks at Accident Scene. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.5, October, 2003, pp. 2708-2721.