

一、研究動機

近年來，由於科技資訊的發展迅速，生物特徵辨識技術已經廣泛應用於個人身份鑑定(identification)及驗證(verification)的問題上。由於生物特徵的獨一性及安全性，而且不像傳統的非生物特徵，例如身分證、護照、駕照、私章、金融卡、密碼等等，有遺失、冒用及仿造等問題，尤其在電子商務(e-commercial)的發展下，通訊網路上的各種商業交易行為亟需一套安全且方便的系統來達成認證工作，於是生物特徵技術已經廣泛的被研究與應用。

指紋辨識系統中，一大挑戰之一即是如何克服龐大的運算量，使系統能在短時間內快速找出配對的指紋，以美國聯邦調查局(FBI)為例，在七千萬枚指紋的資料庫中，如何能在有限的時間內找出可疑罪犯確實是一大難題。因此為了減少搜尋時間與降低計算量，若能先依指紋的結構做概略性分群，使得在比對時僅需與同類型的指紋做比對而非全域盲目搜尋。

目前最廣為使用的為使用奇異點作為分類特徵的方法，表1與圖1分別說明了基本的五種指紋類型以及其具有奇異點各數和其彼此之間的相關位置，最後圖2說明使用奇異點特徵的分類流程圖。

表1 各種指紋奇異點(特徵點)各數

	Delta(三角點)	Core(核心點)	Total
Plain Arch	0	0	0
Tented Arch	1	0	1
Right Loop	1	1	2
Left Loop	1	1	2
Plain Whorl	2	1	3
Double Loop	2	2	4
Central Packet Loop	2	1	3
Accidental	*	*	*

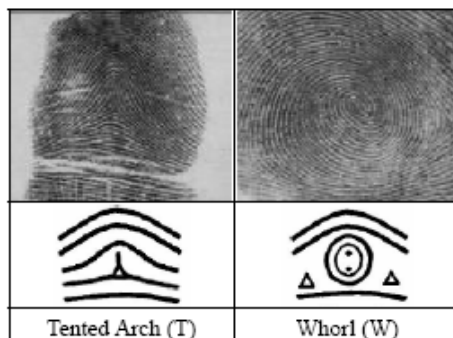
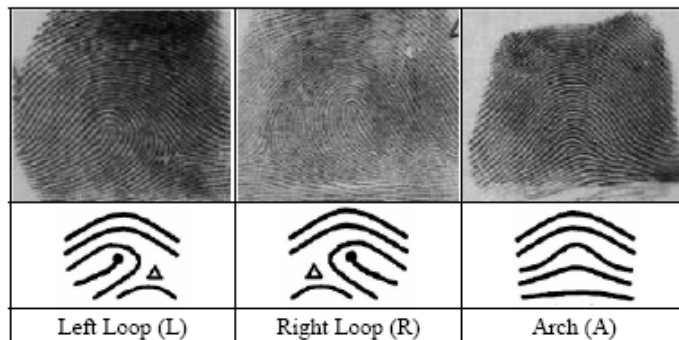


圖 1 指紋的五種基本分類

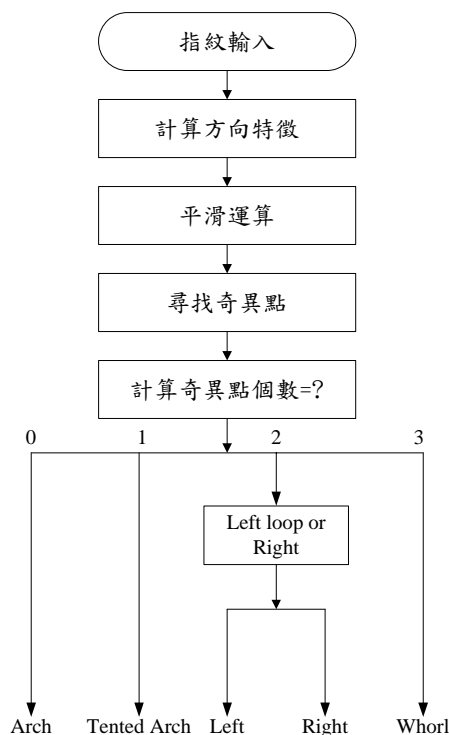


圖 2 使用奇異點特徵分類之流程圖

然而使用上述的分類方法有下列缺點：

- (1) 原始影像之特徵點範圍的資訊不能遺失。
- (2) 並不是所有相同類型的指紋都具有相同的奇異點各數。
- (3) 對於具有雜訊的影像容易發生找錯或無法找到特徵點的問題(雜訊容忍度較低)。

本研究提出一個方法利用中心點周圍的紋路方向特徵作為分類的依據，並在第一階段先判定是否包含核心點或三角點，結合奇異點及紋路的方向先做一初步篩選，然後再利用中心點下方的紋路特徵來將指紋歸類。

二、 相關研究

指紋影像處理的研究，主要分為前處理(preprocessing)、分類(classification)與比對(match)三方面。在前處理方面，O' Gorman and Nickersons[1]設計一種濾波器配合指紋紋路原有的流向來加強指紋影像；Sherlock[2]使用一種傅利葉濾波器加強指紋影像；Coetzee和Botha[3]以Marr-Hildreth遮罩來尋找邊緣，藉以獲得指紋山脊的紋路，並求得二值化之結果；Moayer[4]以Laplacian 遮罩來做指紋影像加強與二值化；Methre[5][6] 與Stock and Swonger[7][8]以計算指紋影像區塊內在八個方向的灰階值來區分出該區塊的方向；Rao[9]與Jain[10]利用計算指紋區塊在x 與y 方向的梯度(gradient)來求出該區塊的方向；Frazzoni[11]將指紋影像區塊區分為8 個方向的圓盤狀(sector)，計算圓盤內所有像素點的灰階變化量總和來求出該區塊的方向，Maio and Maltoni[12]不使用二值化及細化處理，而直接以指紋影像灰階值來尋找細微特徵點。

在分類方面，主要是以奇異點的特徵來區分，包括核心點與三角點特徵，其中Tojo[13]、Srinivasan[14]與Jain[15]都是利用指紋的流向圖，在流向圖上找出核心點與三角

點的位置及數目，再依核心點與三角點位置及數目作為分類依據；K. S. Fu[16]與Rao[17]則利用指紋紋路的流向訂定一套文法規則來分析指紋特徵，再依此分析結果做為分類依據；此外，也有使用傅利葉轉換後的頻域資料來做為分類依據，如P. Engler[18]與R. J. Green[19]。

在比對方面，Hrechak 和Mchugh[20]以指紋的dot、ending 與bifurcation 為主要特徵及配合spur、island、bridge、crossover 與short ridge 五個所組合構成的特徵，藉由每個特徵點鄰近的特徵點個數及種類做為特徵向量來比對；Coetzee 和Botha[3]以各區塊內的流向及頻域上之能量為特徵，以類神經網路來完成識別；Hsu和Wu[21]以所提出之演算法將指紋細微特徵所形成之特徵點圖形進行比對。

三、影像前處理

我們一開始針對影像的強化著重在提升整個指紋紋路細部資訊，使其也能在擷取辨識特徵時也能有效的找出指紋分叉點及端點，有利於往後的辨識工作。如此便可大幅減少整個系統運算所耗費的時間，我們的系統流程如圖3所示。

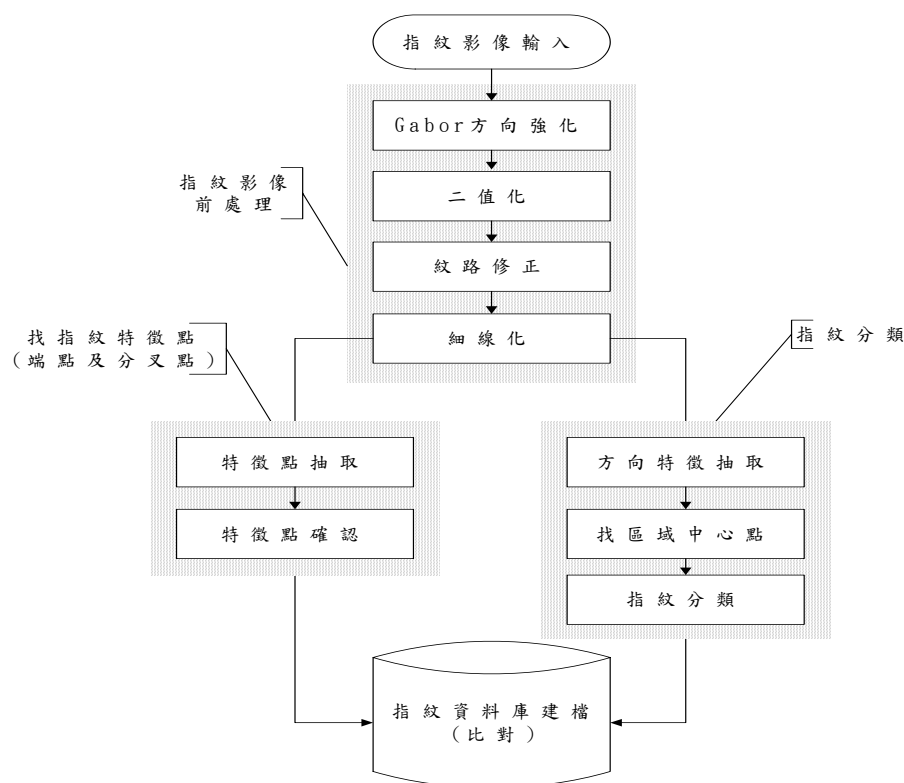


圖3 改良後的自動指紋辨識系統流程示意圖

一開始我們先利用同時具有方向-頻率選擇特性的Gabor濾波器進行紋路強化，以移除不需要的雜訊部份並保留真正的紋路結構。

指紋影像強化處理的主要目的是幫助後續指紋特徵的抽取，直覺上若能將強化後影像採以二值處理，則對於指紋特徵點的萃取程序上將簡易許多。從圖4(b)的結果顯示，指紋紋路的對比經強化後已獲得明顯提昇，因此文中僅採用簡單的區域平均臨界值法 (Regional Average Thresholding, RAT) [22]進行二值化處理，以切割出影像中指紋山脊的部分。指紋影像經過細化處理後，我們即可針對所有細化後指紋山脊點進行多種指紋特徵點的偵測及方向特徵的擷取，圖4(e)為最後細線化後的結果。

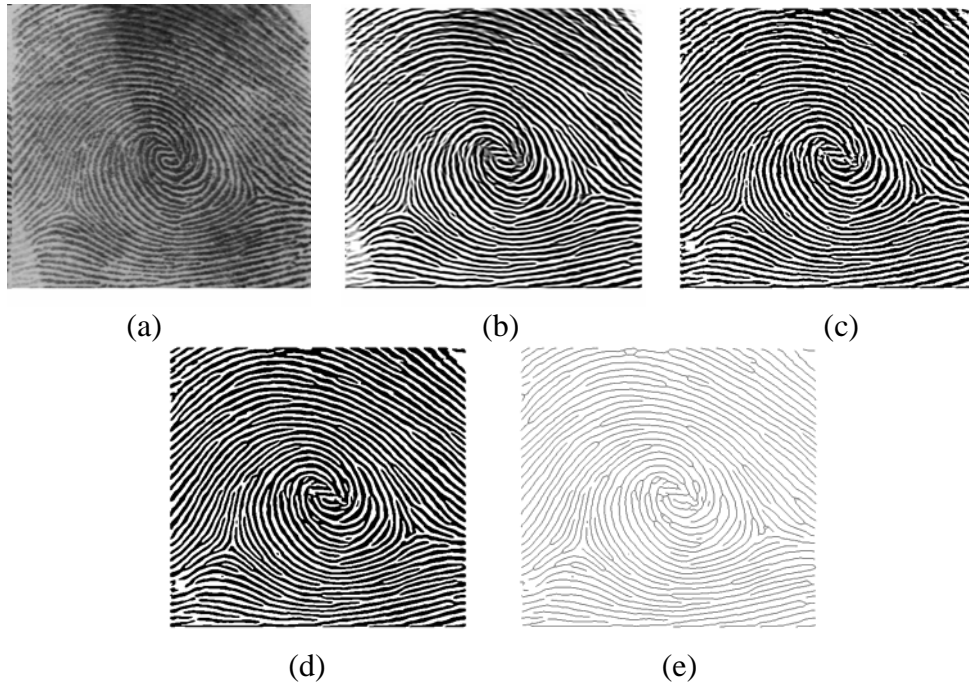


圖4 (a)指紋原始影像(b)使用Gabor方向性濾波(c)二質化(d)平滑(e)細化

四、方向性特徵

接下來我們從細化後的指紋影像來計算方向特徵，我們利用一個5×5大小的遮罩，共可以分成八個方向 $S_1 \sim S_8$ ，分別為 0° (180°)、 22.5° 、 45° 、 67.5° 、 90° 、 112.5° 、 135° 、 157.5° ，如圖5所示。

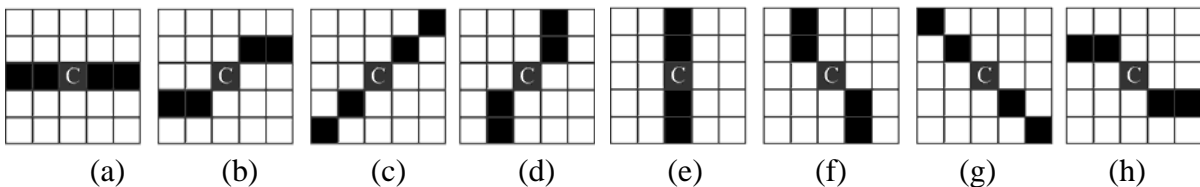


圖 5 5×5 遮罩所表示的八個方向，C 為遮罩中心：(a) $S_1:10^\circ$ (b) $S_2:22.5^\circ$ (c) $S_3:45^\circ$ (d) $S_4:67.5^\circ$ (e) $S_5:90^\circ$ (f) $S_6:112.5^\circ$ (g) $S_7:135^\circ$ (h) $S_8:157.5^\circ$

我們用 5×5 的方向遮罩沿著細化後的骨幹計算每一個區塊的方向屬性，每一個區塊的方向屬性如下：

$$D = \text{Direction}(\max_{i=1, \dots, 8} S_i) \quad (1)$$

其中 $S_i = \sum_{(x,y) \in M} p_i(x,y) * c(x,y)$ ， M 為 5×5 遮罩內的所有點，且 p 為 5×5 遮罩內的像素灰階值， c 為 5×5 遮罩內細化影像的像素灰階值， i 為代表八個方向的遮罩， $i=1,2,3, \dots, 8$ 。

圖6為找每個像素方向的例子，圖7為指紋細化後找出每個像素方向的圖。

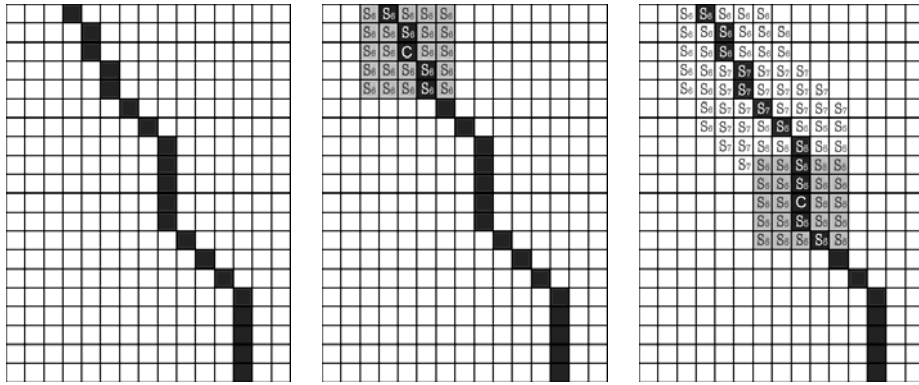


圖6 計算出每個骨幹附近的像素方向值



圖7 從細化後圖形尋找像素方向值

沿著骨幹全部計算完畢之後，再用 5×5 的遮罩從頭全部依序計算一次，把有含一個方向值以上的 5×5 遮罩裡面的方向值平，然後賦予此遮罩一個方向值，執行完後方向的特徵縮減為 $(\text{height}/5) * (\text{width}/5)$ 個，如圖8為所擷取出來的方向特徵。

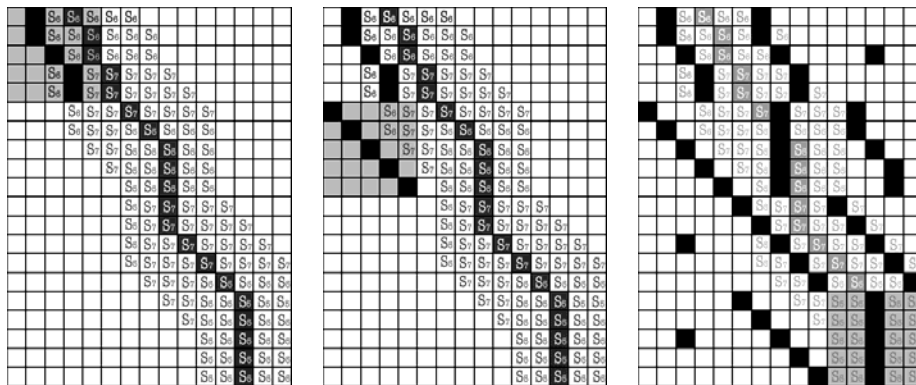


圖8 計算遮罩方向

最後，再將整個方向特徵用一個 5×5 遮罩作平滑，為取 5×5 遮罩裡面的最多數方向來取代遮罩中心的方向，做完後即為我們所使用的方向圖(direction image)，如圖9。

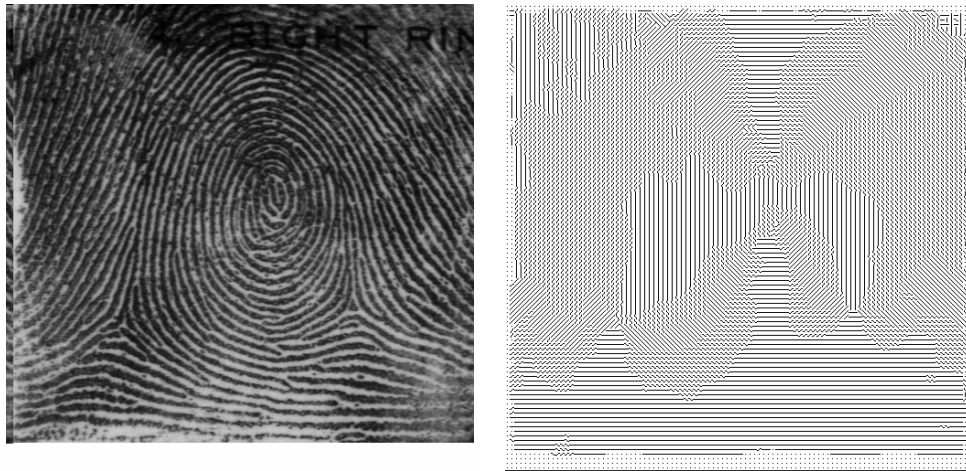


圖9 最後的指紋方向圖(direction image)

五、尋找區域中心點

在完成方向特徵計算之後，我們必須找的最具有代表性區域的方向特徵，以作為分類的依據。

本文針對後續分類特徵的擷取提出一個快速而有效的搜尋法，我們利用一個八邊形的遮罩，針對八個三角形裡的區域，方向與原心垂直的分數越高，在每個區域相對於裡面的方向值給予不同的分數，方向與原心垂直的分數越高，由於考慮到指紋紋路的對稱性，因此我們也特別將左右兩邊的權重值加重，然後對八邊形的中心加總起來，最後再從所有的加總和來選出我們所想要的中心點，當有兩點以上的總合相等時，我們選擇圖上最下方的一點，圖10為我們所使用的八邊形遮罩，經由實驗觀察，我們將其長度定為方向特徵圖的2/3，文中為67*67像素，而每個扇形的權重分配分別為10、12、18、12、6、12、18、12(順時針,和為100)，圖11為本文實驗結果。

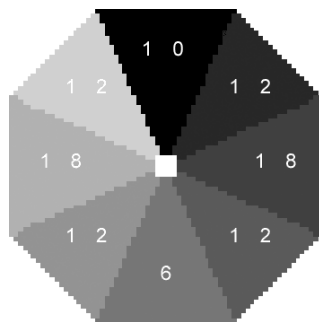


圖10 尋找中心點的八邊形遮罩及其權重分配(權值總合為100)

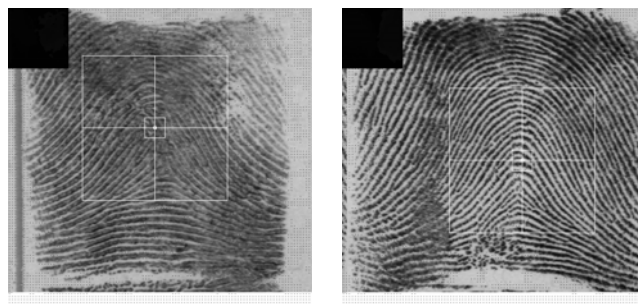


圖11 尋找中心點結果

六、特徵參數擷取

因為在我們所找到的中心點周圍部份其中在下半部是最能表現出指紋類型特徵的方向特性，因此最後我們將擷取中心點的下半部八邊形的方向特徵作為我們分類的依據，如圖12所示。圖13為所擷取的方向特徵區域。



圖12 下半部八邊形遮罩

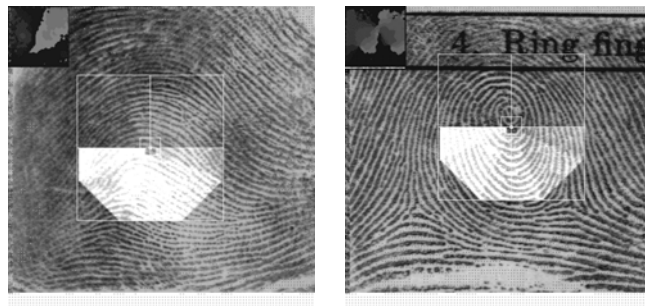


圖13 方向特徵擷取區域

七、指紋分類

在分類器的選擇上我們應用了比較快速的C-Means分類器，由於它不需要訓練，運算量不大，且收斂時間短，應用在我們所擷取的特徵向量上也有不錯的成果。

本章節將說明本文所提的快速分類方法，並且以NIST 4[23]指紋資料庫作為實驗測試，最後我們使用2000枚作測試，在沒有拒絕率並分四類的分類上，本文所提的分類系統可以達到93.6%的正確率。

特徵參數探討

我們將方向特徵參數分成左右兩邊，以下就以指紋的四大類型討論其類型間中心點周圍紋路的不同方向特性：

- (1) 弓形(Arch)：中心點上方與下方左右兩的邊紋路互相對稱，兩邊紋路的方向皆為向下(由內向外)，如圖14。

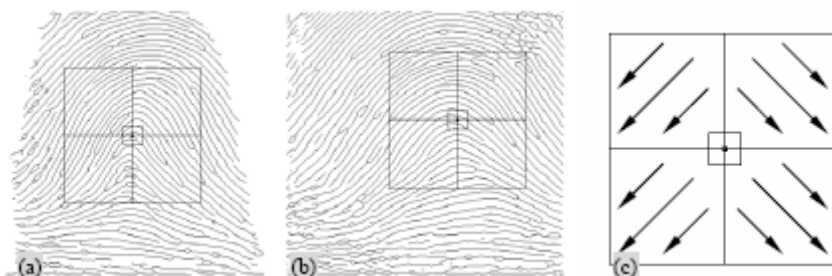


圖14 弓形(Arch)中心點周圍紋路走向

- (2) 左環線形(Left loop)：中心點上方紋路互相對稱，兩邊紋路方向向下，中心點下方左右兩邊紋路方向皆為向左，如圖15。

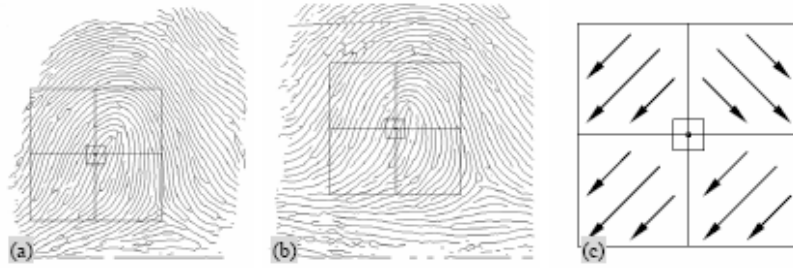


圖15 左環線形(Left loop)中心點周圍紋路走向

(3) 右環線形(Right loop)：中心點上方紋路互相對稱，兩邊紋路方向向下，中心點下方左右兩邊紋路方向皆為向左，如圖16。

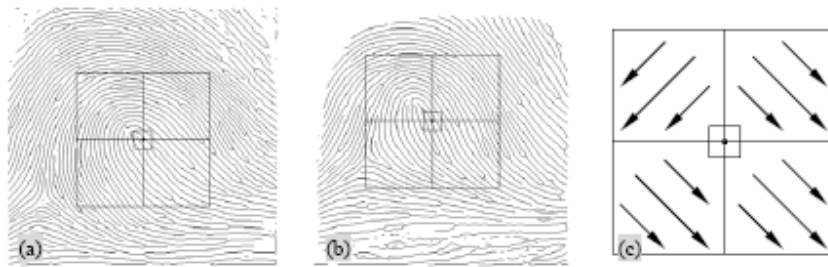


圖16 右環線形(Right loop)中心點周圍紋路走向

(4) 螺紋形(Whorl)：中心點上方紋路互相對稱，兩邊紋路方向向下，中心點下方左右兩邊紋路也互相對稱，左邊紋路向右，右邊紋路向左，如圖17。

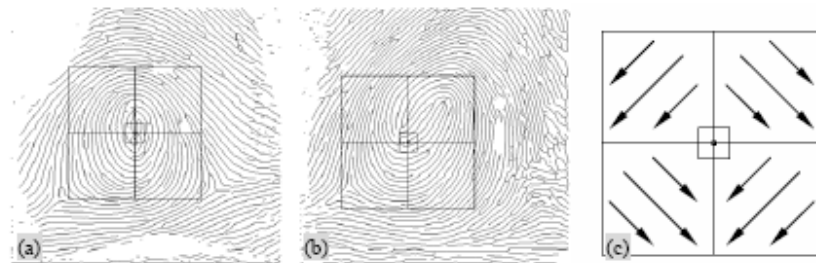


圖17 螺紋形(Whorl)中心點周圍紋路走向

從上述四類的方向特性我們觀察可以得知其明顯的差別都在中心點以下的部分，因此我們為了增進計算的時間，我們將不考慮上部分的特徵以簡化計算的過程，我們著重在中心點以下的區域，針對這區域的紋路方向特徵分析，以向左或向右的特性給予不同程度的分數值。我們擷取時能仍是使用八邊形的形狀，而在不同的三角形我們一樣給予不同權重值，因為主要特性在於45°方向的部分，因此權重值比較高，由實驗觀察，本文所使用的權重分配每一邊為15、20、15如圖18所示(兩邊總合為100)。

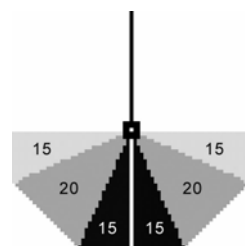


圖18 特徵擷取權重分配

除了上述特徵，我們發現在一部分的情況下，由於擷取的區域包含兩個以上的方向特徵，會產生方向的混淆，而主要原因是因為在擷取區域裡面可能包含三角點及核心點，因此為了避免之後由於有奇異點的出現而產生方向特徵的混淆而導致分類錯誤，我們在第一階段先將包含三角點或核心點的情況分離出來，以下為四種包含三角點或核心點的情況。

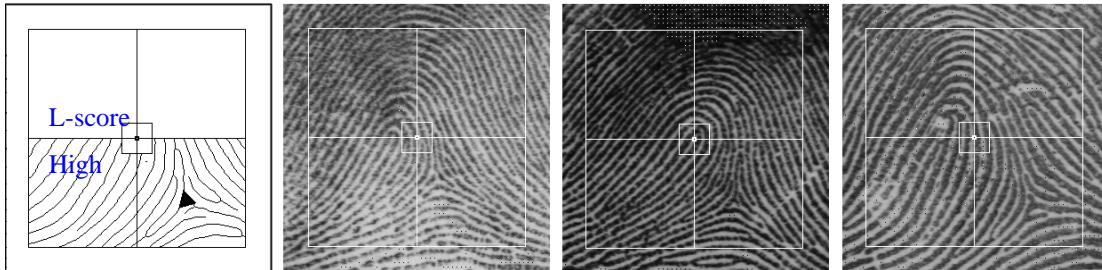


圖 19 左環線形右邊包含了三角點且左邊的向右特徵在閾值以上

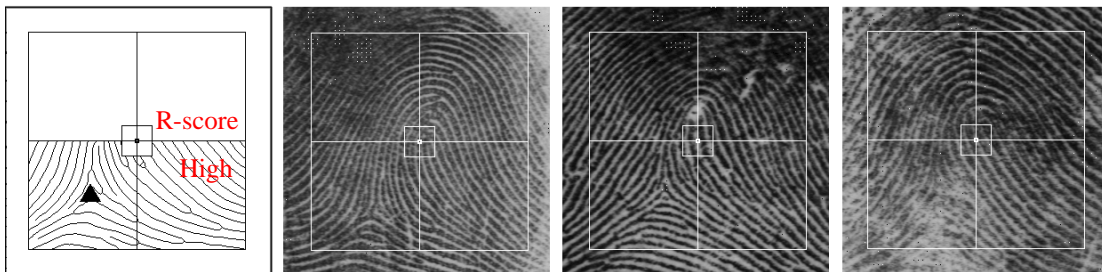


圖 20 右環線形左邊包含了三角點且右邊的向左特徵在閾值以上

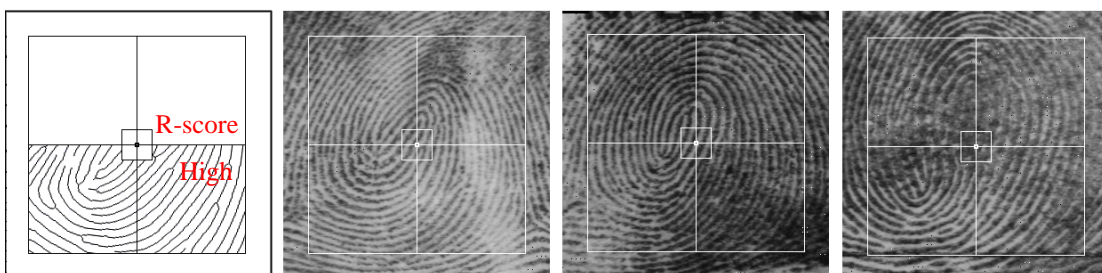


圖 21 螺紋形(一)-左邊包含核心點且右邊向左特徵在閾值以上

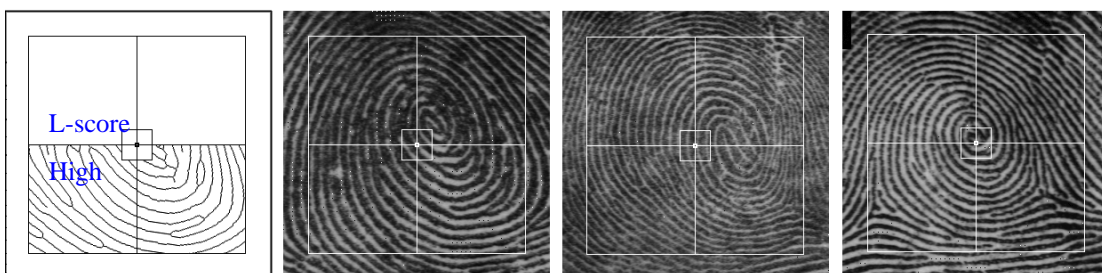


圖 22 螺紋形(二)-右邊包含核心點且左邊向右特徵在閾值以上

八、分類結果

最後，我們以 BCB 程式來完成本實驗結果，我們使用的電腦設備為 Pentium 4 2.3GHz CPU、記憶體 256MB 及 Window XP 作業系統，軟體使用 Borland C++ Builder 設計程式，指紋影像採用 NIST 指紋資料庫光碟，影像處理大小為 512x512，包含了 2000 枚指紋，共 4000 張的指紋影像資料。

下圖為軟體操作介面：

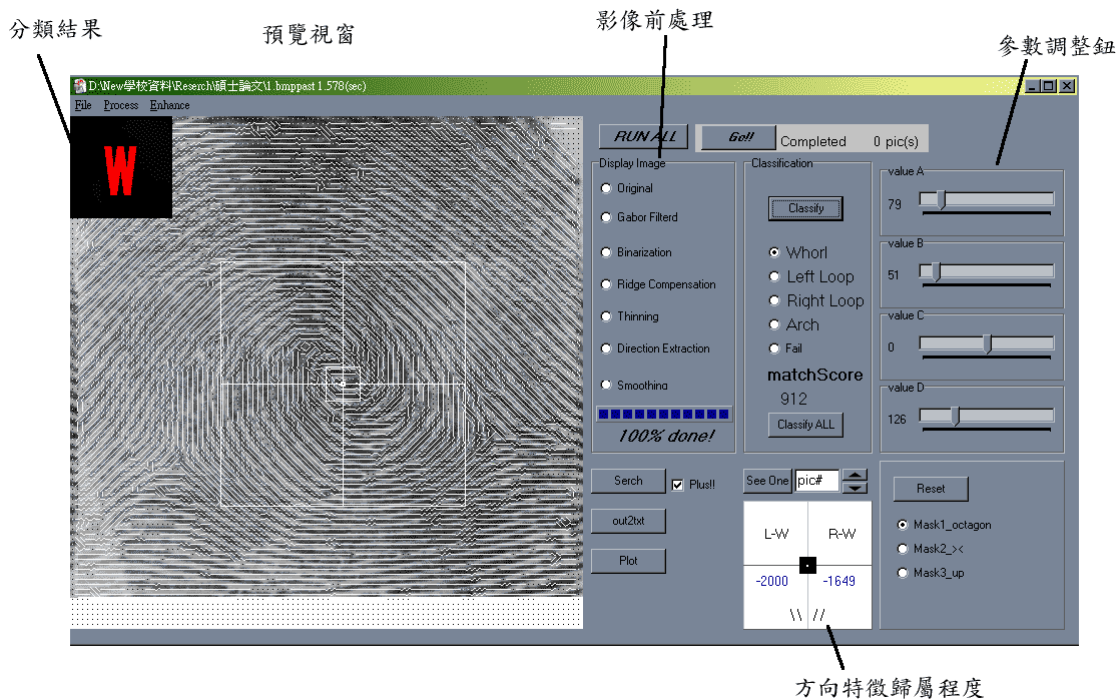


圖 23 分類系統軟體操作介面

我們最後從NIST4裡面用電腦亂數選出了2000張指紋影像來測試我們的分類系統，結果顯示在沒有拒絕率的情況下，系統效能達到了93.6%，表2為實驗結果：

表 2 NIST4 2000 枚指紋分類結果

True \ Exp.	Whorl	Left loop	Right loop	Arch	Error rate (FRR)
Whorl	366	16	18	2	8.9%
Left loop	2	389	4	8	3.5%
Right loop	1	3	371	10	3.6%
Arch	0	35	33	742	8.4%
FAR (%)	0.8%	12.2%	12.9%	2.6%	Total Error 6.4%

而在NIST4裡面有許多破損或是品質低劣的影像，雖然大多系統還是可以正確分辨出來，如圖24，不過有些甚至連肉眼都無法分辨，因此我們也用肉眼選出了品質不好的或是連肉眼都無法分辨類別的圖像，如圖25，表3為在每個不同的拒絕率時系統所達到的效能，在19.5%的拒絕率下系統效能達到了98.3%。

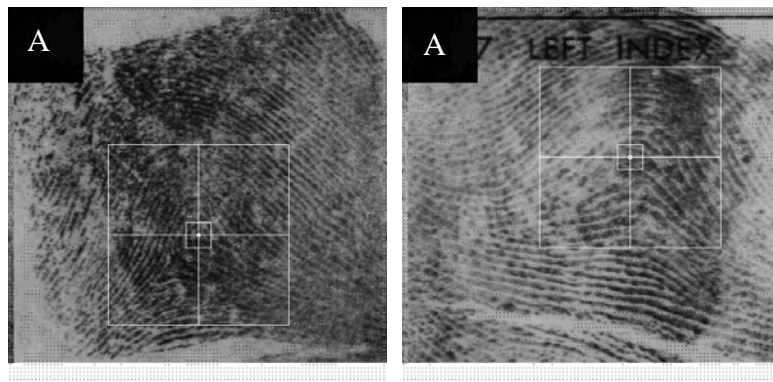


圖24 品質低落的影像仍然可以正確分類

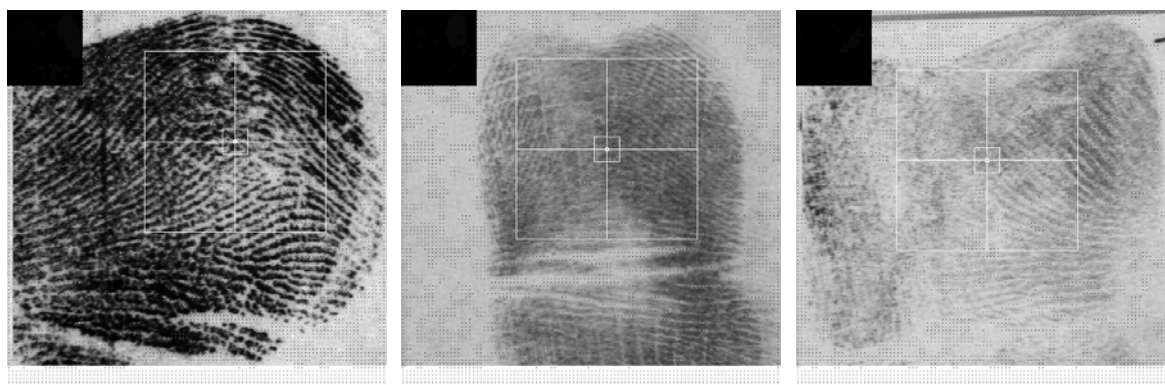


圖25 所拒絕的影像品質低劣的影像

表3 在不同的拒絕率下之系統效能

Rejection Rate	0%	1.8%	8.5%	19.5%
4-class	93.6%	95%	96.8%	98.3%

最後我們比較了使用其他的方法的實驗結果，皆使用NIST4的資料庫來測試，表4為與Sen和Wei的方法比較[24]，他們將中心點周圍分成7*7個方塊，計算每個方塊的平均角度特徵，然後形成一個49維的特徵向量，作為分類依據，而表5則是與Anil K. Jain的方法所比較的結果[25]，他們使用Gabor濾波的方法尋找中心點周圍的方向特徵，最後用類神經分類，從NIST4資料庫取2000枚指紋訓練，使用剩餘2000枚測試。由上述比較結果可以得知，本文所提出來的的方法確實可以提升分類的正確率與系統效率。

表4 與Sen和Wei的方法比較結果[24]

Exp. True \	Whorl	Left loop	Right loop	Arch	Error rate (FRR)	Proposed FRR
Whorl	184	6	8	2	8%	8.9%
Left loop	16	262	4	18	12.7%	3.5%
Right loop	11	2	272	15	9.3%	3.6%
Arch	0	15	9	176	12%	8.4%
FAR (%)	12.8%	8%	7.2%	16.6%	Accuracy 89.4%	
Proposed FAR	0.8%	12.2%	12.9%	2.6%		Accuracy 93.6%

表5 與Anil K. Jain的方法之比較結果[25]

Rejection rate	1.8%	8.5%	19.5%	32.5%
Multi-channel	94.8%	95.5%	96.6%	97.8%
Proposed Method	95%	96.8%	98.3%	N/A

表6為系統執行運算所花費的時間，從前處理到分類，一千筆資料平均運時間每筆為1.482秒。

表6 系統執行運算時間

作業流程	細部項目	消耗時間	
		一筆(秒)	1000 筆 平均每筆(秒)
影像前處理	Gabor 方向強化	1.103	1.155
	二值化	0.016	0.018
	紋路修正	0.098	0.102
	細線化	0.132	0.121
方向特徵擷取	尋找中心點	0.235	0.221
	計算方向特徵	0.05	0.05
	平滑方向特徵	0.03	0.03
分類		≐0	≐0
時間總合(秒)		1.664	1.697

九、結論

最後的結果顯示本文所提的方法不但在計算量上有明顯的降低，而且在分類結果上也超越了目前的其他分類方法，而在未來的研究裡，我們將計畫把指紋的分類類別提高至五類，並將自動指紋辨識系統整合在一起，完成一套完善的辨識系統。

參考文獻

- [1] L. O’Gorman and J. V. Nickerson, “An approach to fingerprint filter design”, *Pattern Recognition*, Vol. 22, No. 1, pp. 29-38, 1989.
- [2] B. G. Sherlock, D. M. Monro and K. Millard, “Fingerprint enhancement by directional Fourier filtering”, *IEEE Proc. Vis. Image Signal Processing*, Vol. 14, No 2, pp. 87-94, 1994.
- [3] L. Coetzee and E. C Botha, “Fingerprint recognition in low quality images”, *Pattern Recognition*, Vol. 26, No. 10, pp. 1441-1460, 1993.
- [4] Moayer, B. and Fu, K. S., “A tree system approach for fingerprint recognition”, *IEEE transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 9, No 3, pp. 376-387, 1986.
- [5] B. M. Mehtre, “Fingerprint image analysis for automatic identification”, *Machine Vision and Applications*, Vol. 6, pp. 124-139, 1993.
- [6] B. M. Mehtre, N. N. Murthy, S. Kapoor, “Segmentation of fingerprint images using the direction image”, *Pattern Recognition*, Vol. 20, No. 4, pp. 429-435, 1987.
- [7] R. M. Stock and C. W. Swonger, “Development and evaluation of a reader of fingerprint minutiae”, *Cornell Aeronautical Laboratory*, Technical Report CAL No. XM-2478-X-1, pp. 13-17, 1969.
- [8] C. L. Wilison, G. T. Candela and C. I. Watson, “Neural network fingerprint classification”, *J. Artif. Neural Networks* Vol. 1, No 2, pp. 1-25, 1993.
- [9] A. R. Rao, “A Taxonomy for Texture Description and Identification”, New York: Springer-Verlag, 1990.

- [10] A. Jain, L. Hong and R. Bolle, "On-line fingerprint verification", *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 19, No. 4, pp. 302-314, April, 1997.
- [11] Zs. M. Kovacs Vajna*, R. Rovatti, M. Frazzoni, "Fingerprint ridge distance computation methodologies", *Pattern Recognition*, Vol. 33, pp. 69-80, 2000.
- [12] D. Maio and D. Maltoni, "Direction gray-scale minutiae detection in fingerprints", *IEEE Trans. Pattern Analysis And Machine Intelligence*, Vol. 19, No. 1, pp. 27-40, January, 1997.
- [13] M. Kawagoc and A. Tojo, "Fingerprint pattern classification", *Pattern Recognition*, Vol. 17, No 3, pp. 295-303, 1984.
- [14] V. S. Srinivasan and N. N. Murthy, "Detection of singular point in fingerprint image", *Pattern Recognition*, Vol. 25, No. 2, pp. 139-153, 1992.
- [15] Anil. K. Jain and K. Karu, "Fingerprint classification", *Pattern Recognition*, Vol. 29 No. 3, pp. 389-404, 1996.
- [16] B. Moayer and K. S. Fu, "A syntactic approach to fingerprint pattern recognition", *Pattern Recognition*, Vol. 7, pp. 1-23, 1975.
- [17] K. Rao and K. Balck, "Type classification of fingerprints: a syntactic approach," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. PAMI-2, No.3, MAY 1980.
- [18] F. You, Y. Q. Shi and P. Engler, "Fingerprint pattern recognition for medical uses – a frequency domain approach", *Proceeding of The 1993 IEEE Nineteenth Annual Northeast Bioengineering Conference*, pp. 176-177, 1993.
- [19] A. P. Fitz and R. J. Green, "Fingerprint classification using a hexagonal fast fourier transform", *Pattern Recognition*, Vol. 29 No.10, pp. 1587-1597, 1996.
- [20] A. K. Hrechak and J. A. Mchugh, "Automated fingerprint recognition using structural matching", *Pattern Recognition*, Vol. 23, No. 8, pp. 893-904, 1990.
- [21] Shih-Hsu Chang, Fang-Hsuan Cheng, Wen-Hsing Hsu and Guo-Zua Wu, "Fast algorithm for point pattern matching: invariant to translations, rotations and scale changes", *Pattern Recognition*, Vol. 30, No. 2, pp. 311-320, 1997.
- [22] I. Emiroglu, and M. B. Akhan, "Pre-processing of fingerprint images," *ECOS 97, European Conference on Security and Detection.*, vol. 28-30, pp. 147-151, 1997.
- [23] C. I. Watson and C. L. Wilson, "NIST special database 4.Fingerprint database", National Institute of Standard and Technology, March 1992.
- [24] Sen Wang, Wei Wei Zhang, Yang Sheng Wang, "Fingerprint Classification by Directional Fields," *Proceedings of the Fourth IEEE International Conference on Multimodal Interfaces. (ICMI'2002)*.
- [25] A.K. Jain, S. Prabhakar and H. Lin, " A Multichannel Approach to Fingerprint Classification," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 21, no.4, pp. 348-359, 1999.