

以小波轉換及零樹編碼作指紋辨識及壓縮之研究

計畫編號：NSC88-2218-E009-055

執行期間：87年8月1日 --- 88年7月31日

主持人：吳炳飛

執行機構及單位：國立交通大學 電機與控制工程學系

一. 研究動機與目的

近年來生物辨識系統的應用逐漸受到重視，相關的生物辨識方法中以指紋辨識的方法最被廣泛接受和應用。而隨著人口的膨脹，指紋電腦資料庫系統的資料存量以驚人的速度增加，加上考量傳送速度要求，指紋資料和影像的壓縮就越顯的重要。如美國聯邦調查局開始接受經由小波尺度量化(Wavelet Scalar Quantization; WSQ)的壓縮方法所壓縮的指紋資料，並且制定 WSQ 灰階影像壓縮規格。本篇論文利用零樹編碼(Zerotree coding; ZTR)加上算術編碼(Arithmetic Coding; AC)的技術將指紋的灰階影像進行壓縮，和 WSQ 方法比較，希望 ZTR 加 AC 的方法能在指紋影像解壓縮後，其辨識結果不變的前提下達到最高的壓縮倍率。此外，在進行 WSQ 或 ZTR 加 AC 影像壓縮方法時必須作離散時間小波轉換的處理，取出經離散時間小波轉換切割一層後低頻部分的圖形，用此和原來指紋相似但大小只有一半的灰階圖形，來作

指紋辨識率的測試，利用其在運算時間上比處理原圖來的短許多的優點，提供辨識系統上多一級的選擇。

有許多研究在探討自然界的碎形(Fractal)特性，本文應用碎形理論於指紋的辨識上，找出和碎形特性相關的特徵，並能利用此特徵將指紋進行粗分類或者作為辨識上的一個參考特徵。

從本篇論文的實驗結果我們可以看出，以傳統指紋辨識系統為架構，比較兩種壓縮方法在壓縮率及辨識率上的結果，得到 ZTR 加 AC 的壓縮方法比 WSQ 好。此外，利用在進行 WSQ 或 ZTR 加 AC 的影像壓縮方法時所作的離散小波轉換處理，取出經離散小波轉換切割一層後低頻部分的圖形，用此和原來指紋相似但大小只有一半的灰階圖形，來作指紋辨識率的測試，並將辨識系統依據辨識率和處理時間分為三級。而在應用碎形理論於指紋找出和碎形特性相關的特徵上，找出指紋影像的碎形維度(一、二、三維)作為辨識上的一個參考特徵，可以看出

其個別的分類及辨識指紋的效果。

二. 傳統指紋辨識系統

指紋辨識系統依據資料庫的大小和用途來區分，可分為有 AFIS 和門禁用辨識系統。在指紋的特徵上，可分為大部特徵和細部特徵兩種，大部特徵為核心和三角洲，依據核心和三角洲的有無和相對位置可將指紋分類。細部特徵主要為斷點和分叉點，其可用來作為鑑別指紋異同的依據。

指紋辨識處理流程中包含取像單元、特徵抽取單元、資料庫單元和比對單元等四大單元。本文取像單元採用光學取像機來擷取指紋影像，所得到的影像的解析度為滿足 FBI 要求的 500 dpi， 480×480 (pixel²) 大小的灰階影像。在特徵抽取單元上，我們的方法和以前文章所提方法的最大不同在於以下幾點：1.) 以我們的判斷核心和三角洲的方法，能夠很準確找出其所在位置，因此利用大部特徵(核心和三角洲)來分類指紋時，能夠得到相當準確的結果，故指紋類型在我們的辨識系統中，也視為一個比對異同的依據。2.) 我們的辨識系統能夠提供三種指紋二值化方法的選擇。3.) 在與比對有密切關係的尋找指紋中心點上，我們的方法也得到了一個很好的結果，這有助於辨識率的提昇。4.) 最

後，由於我們的除雜訊工作做的很完整，因此找出的特徵為能夠具有代表性的穩定特徵，這將使比對更有效率和準確。資料庫單元中，本論文除了存特徵檔外，並存各指紋影像編碼壓縮後的檔，以便能解壓縮得到原來的影像。比對單元為在輸入的指紋和資料庫間，對特徵點作有效率且正確的比對，本文採取的比對方式為 Fuzzy relaxation 比對法。

三. 指紋影像壓縮及零樹編碼

3.1 小波尺度量化壓縮方法 (Wavelet Scalar Quantization; WSQ)

WSQ 壓縮方法為目前 FBI 所接受的指紋影像壓縮方法，WSQ 壓縮方法的流程為在編碼時，將輸入的影像進行二維的 DWT，使數位影像分解至 64 個次頻帶(subband)，然對轉換後的係數進行量化，最後利用 Huffman 編碼去除掉編碼的重複性。在解碼時，將編碼所得的碼經由 Huffman 解碼的到原來量化過的 DWT 係數值，再經由逆向 DWT 得到原來的值。

3.2 零樹加算術編碼的影像壓縮方法

零樹編碼依據 DWT 後各頻帶係數間的關係和係數值的大小來編碼將係數越大者越先被編碼，以降低 MSE

值，提高 PSNR 值。原理為將 DWT 後的係數最大值，即影像中較重要的資訊，先進行編碼，並可以依據壓縮倍率的要求改變預設的門檻值，來選擇要先編的碼，利用此一事先所決定的門檻值，試圖以一個零樹的符號來表示出一大部分 DWT 後的係數其小於門檻值且跨越不同頻帶的區域，而達到壓縮的效果，最後再配合上算術編碼，去除掉編碼上的重複性。其零樹演算法的特色為一嵌入式(embedded)的演算法，即無論是在編碼或是解碼的過程當中，隨時都可以因為所限制的位元數用完，而停止演算法的繼續執行。由於零樹所處理的對象是 DWT 後的係數，且零樹的建立是由不同頻帶的相對位置所組成，因此零樹可被視為同時具有頻率與空間的量化功能。

算術編碼是將一串符號由介於半開區間 $[0, 1)$ 中的一個實數區間表示出來。其原理是在編碼時先建立一個表，紀錄依據各符號出現的機率大小比例，來分配其在 0 至 1 中間所佔的區間，然後隨著各符號送出的順序，將區間依據各符號所代表的區間比例逐漸縮小，直到最後一個符號為止，因此若要編的碼越長，其最後的區間精度將越細。在解碼時，只需知道最後的區間範圍，和各符號在 0 至 1 中間所

佔的區間比例為何，就可以依據這兩個資訊解碼。

另外，在作 DWT 時，若切割層數為 N 層，則低頻部分的圖形會和原來的圖形相似，但邊長卻是原來圖形的 $1/(N+1)$ ，利用 DWT 切割一層後各頻帶係數所成的圖形，可發現低頻部分的圖形和原圖很類似，但尺寸卻只有原圖的一半，取出此低頻係數並調整在 0 至 255 之間的圖形，其若能拿來作為辨識用，將會比拿原圖在指紋影像的處理時間上減少許多。

四. 碎形和指紋

4.1 碎形的定義

碎形的定義是對任意一點 x_0 的碎形集合 $f(x)$ 具有自我相似特性，也就是說若定義 $f_{x_0}(x) = f(x_0 + x) - f(x_0)$ ，則對任一 $r > 0$ 有

$$f_{x_0}(rx) \sim r^{\alpha(x_0)} f_{x_0}(x)$$

4.2 碎形維度和計算方式

碎形可以根據曲線變化的情形，即粗糙和平滑程度，反應在碎形維度的大小上，計算碎形維度方法中最常用的方法為 Box-Counting，原理為利用變化不同尺寸的盒寬(box size)來覆蓋訊號圖形，計算各種尺寸的盒寬 (L) 下，分別需要用多少個盒子 ($N(L)$) 才能完全覆蓋訊號圖形，然

後變化 L 值可得到幾組 N(L) 相對 L 的數據，然後對 N(L) 和 1/L 作對數圖 (log-log)，利用最小平方法求出此對數圖的斜率，而此最佳近似斜率即定義為此訊號由 Box-Counting 所求出的碎形維度，亦即

$$FD = \log N(L) / \log(1/L)$$

4.3 利用碎形特性來分析指紋

(1). 利用三維的 FD 值來分析指紋：

利用指紋灰階影像計算三維 FD 值，其結果都約在 2.3 至 2.6 的範圍內，並發現 FD 值和指紋的類別及所屬人並無存在一絕對關係，因此若要利用指紋的三維 FD 值來鑑別每一個人的指紋，或者將指紋分類是有困難的，原因在於輸入單元或同一個人每次在輸入指紋影像時所造成的灰階不穩定性，造成三維 FD 值變動。而三維 FD 值較有用的地方在於，若指紋影像發生不完整的情形(即背景佔大部分)，則其 FD 值會明顯較低，因此在這點上，三維 FD 值能用來偵測出雜訊，亦即能分別出不完整指紋影像和完整指紋影像。

(2). 利用二維的 FD 值來分析指紋：

將指紋中心點周圍的 256×256 的影像區域分割為 16 塊 64×64 大小的區塊(block)，分別計算其各 block 的 FD 值，用此 16 個 FD 值來作為

鑑別指紋的依據。其中 FD_p 表此 block 細線化圖形的 FD 值，用來鑑別指紋用；另外 FD_s 表此 block 二值化後圖形 FD 值，用來判斷此 block 是否為背景區域或是大部分為背景區域，若是此兩種情況中的任一種，則此 block 不參予分類或鑑別判斷(7) 而利用其二維 FD 值來鑑別指紋的步驟如下：

步驟1: 計算二值化圖形中心點周圍

16 塊 64×64 大小的 block 的 FD_s 值，若任一 block 的 FD_s 小於 1.8，則標記此 block 為背景區域(或是大部分為背景區域)。

步驟2: 計算細線化圖形中心點周圍

16 塊 64×64 大小的 block 的 FD_p 值，並附帶統計各 block 的特徵數，若特徵數大於 20 個以上，則標記此 block 為亂圖區。

步驟3: 在比對時，將輸入指紋的 16 塊

block 的 FD_{p(I)} 值和資料庫指紋的 16 塊 block 的 FD_{p(D)} 值，依序對應相減，並取其差值的絕對值，即

$$\sum_{k=1}^{16} | FD_{pk(I)} - FD_{pk(D)} |$$

其中若輸入指紋或資料庫指紋的任一 block 被標記為背景區域或亂圖區，則其相對的 FD_{p(I)} 和 FD_{p(D)} 就不參與相減。最後統計參與計算 FD_p 差值的平均值，此

平均值若小於門檻值 $thld_FD$ ，則視為相同指紋，否則視為不同指紋。

利用上述方法，測試共包含四大類 2,453 枚指紋，經由交叉比對 6,014,756 次，找出使 Type1 和 Type2 誤差總合最小的 $thld_FD$ 值為 0.0250，此時的 Type1 和 Type2 誤差分別為 8.2158% 和 8.0576%，因此用二維 FD 值來辨識指紋能達到一定的效果。而若當輸入指紋或資料庫指紋的 16 個 block，皆有被標記到為背景區域或亂圖區，則拒絕比對。

(3). 利用一維的 FD 值來分析指紋：

在利用一維的 FD 研究指紋上，我們觀察到 Arch、Whorl、Left-loop、Right-loop 四種類別指紋的二值化影像，其橫軸和縱軸的 histogram 和指紋的類別上有其相對關係，依此關係歸納出判斷指紋類型的流程圖。並分別利用兩種方法觀察其 histogram 震盪情形，一為將 x、y 軸的 histogram 的訊號當作類似 fBM 訊號，測量其前後段的 FD 值來觀察震盪情形，另一為利用將 histogram 的訊號經 CWT 來觀察指紋二值化圖形的 x、y 軸的能量分布情形。此兩種方法都能觀察出其震盪趨勢，但 histogram 的訊號對指紋的旋轉非常敏感。

五. 實驗結果

利用 WSQ 和 ZTR 加 AC 兩種壓縮方法來壓縮指紋圖形，同將指紋灰階影像壓縮 15 倍後的解壓縮影像，結果 ZTR 加 AC 方法比 WSQ 方法好，其在 PSNR 上多了約 1dB 至 2dB 左右，而 ZTR 加 AC 的時間則比商品化的 WSQ 程式慢。

在傳統辨識方法的系統上，為了增加比對的速度及辨識率，因此在比對時，若兩指紋被判為不同類型則視為不同，就不需再進行 Fuzzy relaxation 比對。此外，利用找出指紋中心點的穩定度(實驗結果，相對偏離誤差為 3.64%)，故在相同指紋所找出的中心點位置相似下，其特徵圖形(pattern)所含特徵數應該不會相差太遠，故比對時先檢查兩特徵圖形所含特徵數，若相差在某一門檻值之上，則視為不同。表 1 為測試 220 枚指紋資料庫，分別為原灰階指紋、DWT 低頻 240×240 部分、WSQ 壓縮後解壓縮指紋、ZTR+AC 壓縮後解壓縮指紋等四種方式下，在相同 Type2 error 下的 Type1 error 情形。

此外我們依據辨識率及比對時間上的不同，將辨識系統分為三級，第一級為利用原灰階指紋來辨識，其辨識率為最佳但處理時間較長；第三級為利用 DWT 低頻部分 240×240 的圖

形來辨識，其辨識率最差但處理時間最短；第二級則是先利用 DWT 低頻 240×240 部分來辨識，當若發生有比對情形下比對不成功的情形，則再用原灰階指紋來辨識，此目的是為了在一、三級中加一級處理時間和速度介於中間的選擇，經測試選出的最適當參數為：利用 DWT 低頻 240×240 部分來辨識時，有 18.26% 的機率進入用原灰階指紋再來辨識。其中處理影像及比對時間是在 Pentium-pro 150 MHz，RAM 為 64MB，NT4.0 作業系統下執行的結果。

六. 指紋辨識應用程式

本文利用 Borland C++ Builder 軟體發展出的一套指紋辨識的應用程式，當中的功能包括了：1). 利用 ZTR 加 AC 的方法壓縮和解壓縮指紋，2). 指紋的影像處理及辨識，3). 指紋的碎形特徵抽取等。

七. 結論

本篇論文以傳統指紋辨識系統為架構，比較分析 WSQ 和 ZTR+AC 兩種影像壓縮的方法的結果，其中 ZTR+AC 在壓縮效果及辨識率上都比 WSQ 來的佳。而利用在進行 WSQ 或 ZTR+AC 的影像壓縮方法時所作的 DWT 處理，取出經 DWT 切割一層後低頻部分的圖形

來辨識，作為指紋辨識系統的另一級，提供辨識系統上多一級的選擇。

在利用碎形理論來分析指紋上，以利用二維碎形維度分析的方法上所得的效果較好，而利用一、三維碎形維度分析的方法都能觀察出一些分類辨識指紋的效果。

表 1 測試 220 枚指紋資料庫，在相同 Type2 error 下的 Type1 error 情形

	Type1 error	Type2 error
原灰階指紋	3.9076%	2.000%
DWT 低頻 240×240 部分	20.3361%	2.000%
WSQ 壓縮後 解壓縮指紋	11.0008%	2.000%
ZTR+AC 壓縮 後解壓縮指 紋	6.8908%	2.000%

參考文獻

- [1] Andrew K. Hrechak and James A. McHugh, "Automated Fingerprint Recognition Using Structural Matching," Pattern Recognition, Vol. 23, No. 8, pp. 893-904, 1990.
- [2] Gowrishankar T. R. "Fingerprint Identification on a Massively Parallel Architecture," Proceedings The 2nd Symposium on the Frontiers of Massively Parallel Computation, pp. 331-334.
- [3] Masahiro Kawagof and Akio Tojo, "Fingerprint Pattern Classification,"

- Pattern Recognition Vol. 17 No. 3, pp.295-303, 1984,
- [4] B. G. Sherlock and D. M. Monro, "A Model for Interpreting Fingerprint Topology," Pattern Recognition Vol. 26 No. 7, pp. 1047-1055, 1993.
- [5] V. S. Srinivasan and N. N. Murthy, "Detection of Singular Points in Fingerprint Images," Pattern Recognition, Vol. 25 No. 2, pp.139-153, 1992.
- [6] T. Ch. Malleswara Rao, "Feature Extraction for Fingerprint Classification," Electrical Communication Engineering Department, Indian Institute of Science, Bangalore, India, Pattern Recognition Pergamon Press 1976 Vol. 8, pp. 181-192.
- [7] Michael M. S. Chong, Tan Han Ngee, Liu Jun and Robert K. L. Gay, "Geometric Framework for Fingerprint Image Classification," Pattern Recognition, Vol. 30 No. 9, pp. 1475-1488, 1997.
- [8] Megdal, Barry Bruce, "VLSI computational structures applied to fingerprint image analysis," Pasadena, CA California Institute of Technology 1983.
- [9] Lawrence O'Gorman, "An Approach to Fingerprint Filter Design," Pattern Recognition, Vol. 22, No. 1, pp. 29-38, 1989.
- [10] Nalini K. Ratha, Shaoyun Chen and Anil K. Jain, "Adaptive Flow Orientation-Based Feature Extraction in Fingerprint Images," Pattern Recognition, Vol. 28, No.11, pp. 1657-1672, 1995.
- [11] Hironori Yahagi, Selgo Igaki, and Fumio Yamaishi, "Moving-Window Algorithm for Fast Fingerprint Verification," IEEE Proceeding -1990 Southeastcon, pp.343-348.
- [12] Yuzo Hirai, member, IEEE, and Yasuyuki Tsukui, "Position Independent Pattern Matching by Neural Network," IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 20, No. 4, 1990.
- [13] B. Moayer and K. S. Fu, "A Synthactic Approach To Fingerprint Pattern Recognition," Pattern Recognition Vol. 7, pp. 1-23, 1975.
- [14] Kamsewara Rao and Kenneth Black, "Type Classification of Fingerprints: a synthactic Approach," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-2 No. 3, May 1980,
- [15] Kalle Karu and Anil K. Jain, "Fingerprint Classification," Pattern Recognition Vol. 29 No. 3, pp. 389-404, 1996.

- [16] S. C Mallet, "A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-11, pp.674, 1989.
- [17] Antonini, Marc, Barlaud, Michel, Mathieu, Pierre, and Daubechies, Ingrid, "Image Coding Using Wavelet Transform," IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 1, No. 2, pp.205-220, April 1992.
- [18] Chrissavgi Dre, George Branis, Costas Goutis, "Image Coding Using Vector Quantization of Wavelet Coefficients," Microprocessing and Microprogramming Vol.40, pp.927-930, 1994.
- [19] Jonathan N. Beadley, christopher M. Brislawn, "The Wavelet/Scalar Quantization Compression Standard for Digital fingerprint Images," IEEE International Symposium on Circuits and Systems, Vol.3, pp.205-208, 1994.
- [20] Peter T. Higgins, "Standard for the Electronic Submission of fingerprint Cards to the FBI," Journal of Forensic Identification The International Association for Identification, Vol.45, No. 4, July/August 1995, pp.409-418.
- [21] <http://www.c3.lanl.gov/~brislawn/FBI/Overcompress/HowItWorks/howitworks.html>
- [22] WSQ Gray-Scale Fingerprint Image Compression Specification, IAFIS-IC-0110v2, Federal Bureau of Investing, Feb. 1993. Drafted by T. hopper, C. Brislawn, and Bradley.
- [23] Shapiro, Jerome M., "Embedded Image Coding Using Zerotrees of Wavelet Coefficients," IEEE Trans. on Signal Processing, Vol. 41, pp.3445-3462, No. 12 December 1993.
- [24] Amir Said, William A. Pearlman, "A New, Fast, and Efficient image Codes Based on Set Partitioning in Hierarchical Trees", IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 6, No.3, pp. 243-250, June 1996.
- [25] Ian H. Witten, Radford M. Neal, John G. Cleary, "Arithmetic Coding for Data Compression," Communication of the ACM, Vol. 30, pp.520-540, June 1987.
- [26] Heinz-otto Peitgen, Hartmut jurgens, Dietmar Saupe, "Chaos and Fractal: New Frontiers of Science,".
- [27] John C. Kirk, JR. Santa Brabra, CA, "Using The Fractal Dimension (FD) to Discriminate Between Targets

- and Clutter," Record of The 1993 IEEE National Radar Conference, pp. 76-78.
- [28] X. C. Jin, S. H. Ong , Jayasooriah, "A practical method for Estimating Fractal Dimension," Pattern Recognition Letters 16 (1995) 457-464 May 1995.
- [29] Natalya Polikarpova, "On The Fractal Features in Fingerprint Analysis," Scientific Council "Cybernetics" of the Russian Academy of Sciences 40, Vailov Str. Moscow, 117967 Russian Federation, IEEE Proceedings of ICPR'96, pp.591-595.
- [30] Szu-Chu Liu and Shyang Chang, "Dimension Estimation of Discrete-Time Fractional Brownian Motion with Applications to Image Texture Classification," IEEE Transactions on Image processing, Vol. 6, No.8, August 1997.