

TR-87-003

可靠的個人指紋鑑定法

中央研究院資訊研究所

鍾克平 黃俊雄

中華民國七十六年一月

書	考	參
借	外	不

中研院資訊所圖書室



3 0330 03 00063 7



0063

一、前言：

對於指紋，人們在很早以前就對它很有興趣，因為它有著非常重要的兩項特徵，即：

(1) 人人不同：到目前為止，始終未發現不同人而擁有完全相同的指紋，就算是同卵雙胞胎的指紋也僅是紋路類似，仔細比對仍有很大差別。

(2) 永遠不變：一個人自出生到死亡，其指紋紋路永遠不變。是故早就有人利用指紋來作為契約印信等個人識別的憑據，而各國治安單位利用指紋來追查罪犯也早已行之多年。

但追查罪犯需要相當龐大的指紋資料庫，所以必須使用大電腦系統才有辦法負擔。

而本報告所要提出的是一種簡單而有效的指紋一對一辨認法，適用於小型系統，能在時下個人電腦上運作。這不是在大量指紋中尋找特定對象的指紋而是用在安全檢查的個人指紋鑑定。

二、研究過程：

研究之初，參閱國內外有關指紋研究的報告〔1-5〕，發現國內的研究是朝著細化的路線，即是將指紋圖像經過一番處理後予以二元化，接著便將已二元化的指紋像加以細化成每條紋路只有一個像素 (PIXEL) 寬，最後找出特徵點（端點或分支點），根據特徵點的分佈加以辨認。但是效果並非很好。

起初筆者也是朝細化的方向研究，並已有一套相當好的辨認方法，假如指紋圖像細化後能夠不失真地表現原指紋紋路來，這套辨認方法一定成功。可惜經數月的鑽營研究，面臨了一個很嚴重的問題一直

無法突破，也就是這個原因使得朝細化方向來辨認指紋一直沒有很好的結果。

至於問題是什麼呢？可以這麼說：

目前尚無一套處理過程可以對每個人的指紋都能相當傳真地予以細化。

據筆者經驗這跟個人的指頭細緻程度有很大的關係，如筆者之指頭可能是少操勞的緣故顯得比較細緻，按起來的指紋圖像就很清晰而完整，細化後還能相當保有紋路原樣而不失真，但有很多人的指頭就比較粗糙，所取得的指紋圖像有斷斷續續的現象，或是於受傷脫皮的關係使得二元化時圖像即已失真，造成細化後效果當然不佳，有很多失真的地方。

有鑑於此，筆者於是改變研究方向，圖能克服上述的困難，到目前有著令人非常滿意的結果，這就是以下所要提的「圖樣辨認法」。

三、圖樣辨認法：

(1) 實驗設備：

在未說明如何辨認之前，先簡介一下實驗設備，如圖(一)所示，所使用的儀器包含一個三稜鏡，一個 CCD 照相機及其 VID-512 影像處理系統，和一部與 IBM PC 相容的個人電腦；手指頭按在三稜鏡上，經照相機攝入指紋圖像後存於個人電腦中。

(2) 基本概念：

圖樣辨認法在觀念上可說是很簡單，以指紋圖像的某特徵點為中心，取下一塊區域作為圖樣 (TEMPLATE) 存起來 (如圖(二)所示)，我們可以一次存數個圖樣資料；要注意的是我們是以原始圖像的圖樣作存檔，事先不作任何平均或二元化等之處理以保存資料真實性；除了圖

樣的資料外，再把各圖樣中心點的座標也存起來。

那麼在辨認的時候，如是同一人的指紋，原先存檔的該人指紋圖樣，在所辨認的指紋圖像裡應該都有，而且其中心點座標（換句話說即各圖樣的分佈位置）也要和存檔的中心點座標分佈狀況相同；說得具體一點，如果存檔的圖樣1的中心點座標為 (X_1, Y_1) 圖樣2的中心點座標為 (X_2, Y_2) 圖樣1在被辨認指紋圖像裡所辨認到的座標為 (A_1, B_1) 圖樣2所辨認到的座標為 (A_2, B_2) 則理想狀態下，

$$(X_2 - X_1, Y_2 - Y_1) = (A_2 - A_1, B_2 - B_1)$$

即 $X_2 - X_1 = A_2 - A_1$ $Y_2 - Y_1 = B_2 - B_1$

若令 $U_1 = X_2 - X_1$ $U_2 = A_2 - A_1$
 $V_1 = Y_2 - Y_1$ $V_2 = B_2 - B_1$

由於指紋按壓時變形產生誤差的關係我們只能要求

$$|U_1 - U_2| \leq t \quad (1)$$

$$|V_1 - V_2| \leq t \quad (2)$$

t 即在誤差下所允許的差量範圍， t 可由實驗得知。接下來的問題是如何才算某圖樣已辨認到它的位置，這是測量函數的問題，我們所用的函數如下：

$$\text{匹配值} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}}, \quad (3)$$

而 $\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$,

及 $\bar{Y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i$,

N = 圖樣所包含的像素個數。

X_i = 圖樣依序排列之各像素灰度值。

Y_i = 欲辨認指紋圖像裡相對應之各像素灰度值。

依筆者所擁有的設備，所處理圖像為 256×256 像素之圖像，每個圖樣為以取樣點為中心向上下左右各延伸 15 個像素所成的區域，其大小為 31×31 像素，每個像素其灰度值介於 0 到 255 之間， N 值大小為

$$N = 31 \times 31 = 961$$

匹配值所算出來的結果介於 -1 和 1 之間，1 表示所欲辨認的圖像區域和存檔圖樣完全吻合或是各對應像素之灰度值都差同一放大倍數 (SCALE) 其顯現圖形仍然完全一致；-1 表示剛剛好相反。所謂某個圖樣辨認到它的位置，即是在欲辨認圖像裡對各像素都作一次匹配值計算，找出其值最高者即為圖樣所辨認到的位置，另一方面也要求匹配值需大於某一常數 c ，否則該圖樣之辨認仍算失敗。

依筆者所做的實驗，乃對每個人的指紋取四個圖樣存檔，取圖樣時須找指紋紋路中最具特色即變化最多的四個區域，圖樣 1 乃找其紋路中心，往往也是最具特色的一點。（如圖(二)）

由於匹配值計算的繁複及像素灰度值輸出入的頻繁，若四個圖樣都作全面的逐點辨認那麼將耗時良久，於是為了節省時間只對圖樣 1 作全面逐點辨認（實際作業上可要求使用者把指紋中心點按在鏡頭中心，如此圖樣 1 只在中心附近一小範圍內比對即可），其餘三個圖樣依其對圖樣 1 之相對位置，依式(1)及式(2)在差量範圍內逐點辨認即可。筆者目前之實驗，對圖樣 1 所要求的匹配值是大於 0.5，其餘三個圖樣其匹配值須大於 0.47。

圖樣辨認法之演算法如下：

假設： (X_1, Y_1) 乃存檔圖樣 1 之中心點座標；

(X₂,Y₂) 乃存檔圖樣 2 之中心點座標；

(X₃,Y₃) 乃存檔圖樣 3 之中心點座標；

(X₄,Y₄) 乃存檔圖樣 4 之中心點座標。

SCORE 之初值為 0。

演算法：

[A]取圖樣 1 對欲辨認指紋圖像作全面逐點計算，取其最高匹配值 M_1 及其座標 (a,b)。

[B]若 $M_1 < 0.5$ 則到[D]，即指紋不對。

[C]對圖樣 2、圖樣 3 及圖樣 4 分別做下列程序：

$$(1) U_i = X_i - X_1 \quad V_i = Y_i - Y_1$$

$$(2) p = a + U_i \quad q = b + V_i$$

以 (p,q) 為中心，上下左右各延伸一個差量 t 所成的範圍內對圖樣 i 做逐點計算，取其最高匹配值 M_i

$$(3) \text{若 } M_i > 0.47 \text{ 則 } SCORE = SCORE + 100$$

[D]結果：若 $SCORE < 200$ 則不為同一人之指紋，否則為同一人指紋。

上述演算法可簡述如下：除圖樣 1 須匹配值達 0.5 以上外，其餘三個圖樣也至少須有兩個圖樣在其相對位置差量範圍內匹配值達 0.47 以上才為同一人之指紋，否則即非同一人之指紋。其餘三個圖樣之所以不要求其統統匹配值達 0.47 以上乃因按指紋時即使再小心也多少會有一點變形，為避免因此所造成的誤判，故只要求兩點匹配值達 0.47

四、計算方法的改進：

仔細觀察式(3)之匹配值運算， \bar{X} 和 $\sum (X_i - \bar{X})^2$ 因屬存檔資料故是已知，但 \bar{Y} 和 $\sum (Y_i - \bar{Y})^2$ 則對每一像素均須重新計算再代入式(3)計算出匹

配值，但每一圖樣往往包含數百上千個像素，且每當位移一像素再作匹配值運算時，其中絕大部份的像素是重複的，只極少數不同，故若每次均由式(4)和式(5)求出 \bar{Y} 和 $\sum (Y_i - \bar{Y})^2$ 將浪費太多計算時間。

$$\text{令 } \bar{Y}_n = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i, \quad (4)$$

$$\text{及 } S_n = \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y}_n)^2. \quad (5)$$

為避免太多計算重複，式(6)和式(7)的公式將有助於我們節省很多計算

$$S_{n+1} = S_n + \frac{N}{N+1} (Y_{n+1} - \bar{Y}_n)^2, \quad (6)$$

$$\bar{Y}_{n+1} = \frac{N}{N+1} \bar{Y}_n + \frac{Y_{n+1}}{N+1}. \quad (7)$$

由式(6)和式(7)我們可推出式(8)和式(9)

$$S_n = S_{n+1} - \frac{N+1}{N} (Y_{n+1} - \bar{Y}_{n+1})^2, \quad (8)$$

$$\text{及 } \bar{Y}_n = \frac{N+1}{N} \bar{Y}_{n+1} - \frac{Y_{n+1}}{N}. \quad (9)$$

若 \bar{Y}_n 和 S_n 已知，加了一像素其灰度值為 a ，再減去一像素其灰度值為 b 時，總像素個數仍為 N ，此時新的值設為 $\$S_n$ 和 $\$\bar{Y}_n$ ，則利用式(6)到式(9)可得到如下的關係式：

$$\$S_n = S_n + \frac{N}{N+1} (a - \bar{Y}_n)^2 - \frac{1}{N(N+1)} (N(b - \bar{Y}_n) + b - a)^2, \quad (10)$$

$$\$\bar{Y}_n = \bar{Y}_n + \frac{(a-b)}{N}. \quad (11)$$

若圖樣為 $K \times K$ 像素之區域，則每上下或左右位移一像素時只有 K 個像素被去掉，另加進 K 個像素，若

去掉之像素值為 $b_i (i=1, \dots, K)$

加進之像素值為 $a_i (i=1, \dots, K)$

前一個運算之 \bar{Y}_n, S_n 也已知

則下列的簡單迴圈即可算出新的 \bar{Y}_n 和 S_n 來，而不必再對 $K \times K$ 個像素重作式(4)和式(5)繁複的計算。

FOR i=1 TO K

$$S_n = S_n + \frac{N}{N+1} (a_i - \bar{Y}_n)^2 - \frac{1}{N(N+1)} (N(b_i - \bar{Y}_n) + b_i - a_i)^2$$

$$\bar{Y}_n = \bar{Y}_n + \frac{(a_i - b_i)}{N}$$

NEXT i

據實驗結果發現如此可節省 1/4 的時間。

五、實驗結果：

筆者收集了十個人的指紋，每個人攝取了三到四張指紋圖像，挑其中一張來建圖樣存檔資料，而後去辨認另二或三張同人指紋圖像，另外不同人間也彼此作相互辨認，所得結果如下：

(1) 不同人的指紋辨認共作了九十次實驗，成功地辨出其為不同人指紋者高達九十二次，尙未有失敗記錄。

(2) 同人間的指紋辨認共作了二十二次實驗，成功地辨出其為同一人指紋者高達二十一次，只失敗一次。失敗的原因乃由於該被辨認的指紋圖像已有明顯的旋轉與變形。

六、發展方向及結論：

由上面實驗結果可知「圖樣辨認法」雖然簡單但却有非常好的效果，但它也有它的限制，因為是用「圖樣」來辨認指紋，所以

(1) 欲辨認的指紋不能夠有方位旋轉。

(2) 按指紋時須施力平均於指頭，若施力不均將使紋路發生嚴重變形。

另外計算時間冗長是其缺點，依筆者之實驗辨認一指紋約需一小時五十分鐘。但由其近幾百分之百的辨認能力來說，這個方法的確有其可行性。若要使這個方法能夠實際派上用場，則把辨認時間由一小時五十分鐘縮短至數秒內將是最重要的目標，所以未來發展方向將是：

(1)改進輸入裝置：

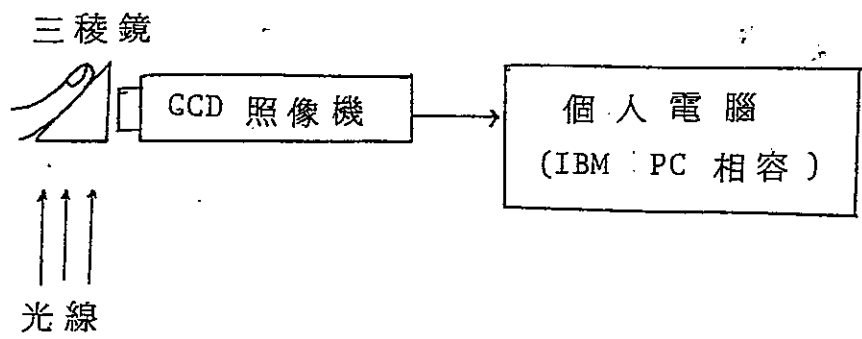
使得按指紋時能夠一按即就定位而不會發生方位旋轉，並要求使用者按指紋時施力平均。

(2)以硬體取代軟體：

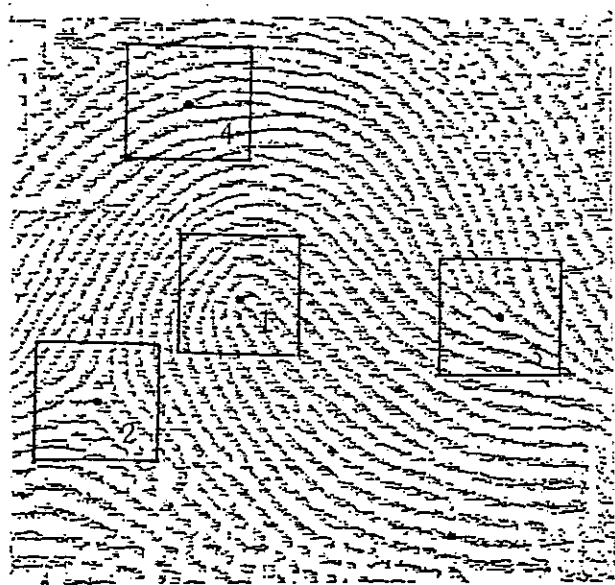
速度上的問題已無法由改良軟體來獲得重大進展，因為要運算的像素及其所需之計算就是那麼多，再好的軟體頂多是減少重複的計算而已，故根本解決之道是靠硬體，不論是設計特殊硬體來取代軟體或是採用另一種更快的電腦都將是未來須考慮的方向。

七、參考資料：

- 1 許文星、劉文卿、鍾志裕：Automatic Fingerprints Identification System With Non-ink Input Method.全國計算機會議,民 74年(1985), 760-769.
2. Malcolm k. Sparrow and Penelope J. Sparrow
"A Topological Approach to the Matching of Single Fingerprints :Development of Algorithm for Use on Rolled Impressions."Computer Science and Technology,May 1985.
3. Malcolm K. Sparrow and Penelope J. Sparrow
"A Topological Approach to the Matching of Single Fingerprints :Development of Algorithm for Use on Latent Fingermarks"Computer Science and Technology,October 1985.
4. A. Schimizu and M. Hase , "Entry Method of Fingerprint Image Using Prism", Trans. of IECE, Japan, Vol. J67-D, No. 5, May 1984 , pp627-628.
- 5: A. Shimizu and M. Hase, "Entry Method of Fingerprint Image Using Prism-A Comparison Between Total Reflection and Light Splitting", Trans, of IECE, Japan, Vol. J68-D, No. 3, March 1985.



圖(一) · 指紋輸入系統



← 左圖是指紋圖像裡所選取的四個圖樣及其中心點。

圖(二) · 指紋圖樣