

# 用於身份辨識系統中的四種策略評估

陳大德<sup>1</sup> 莊政達<sup>2</sup>

1. 國立宜蘭技術學院電機工程系副教授
2. 國立宜蘭技術學院電機工程系二技學生

## 摘要

我們以人類手部的生物特徵來建立身份辨識系統，主要是利用每個人手指指紋之間的差異，來達到身份辨識的目的。我們將利用轉換法將影像由時間域轉換成頻率域，當影像轉換完畢後，我們會由所得到之轉換影像中擷取幾個特徵值，再由這些特徵值來訓練一個倒傳類神經網路，由於儲存的僅是倒傳類神經網路中連結神經元的加權值，故可大幅減少資料量，以便於進行影像之比對。在轉換法方面我們共使用四種轉換法，分別為離散小波轉換、SVD轉換、離散餘弦轉換及快速傅利葉轉換，藉由這四種轉換法轉換後，在辨識上我們比較它們之間之優劣性以找出一最佳的轉換方式，這是我們的目的之一。此外我們也建立一資料庫系統，藉由使用者註冊，來判定使用者的身份，並對所設計的辨識系統做測試與驗證。

關鍵詞：小波轉換、快速傅利葉轉換、離散餘弦轉換、奇異值分解轉換、指紋辨識

# Assessments of the Four Strategies Utilized in Person Identification Systems

**Dar-Der Chen<sup>1</sup> and Cheng-Ta Chuang<sup>2</sup>**

1. Associate Professor, Department of Electrical Engineering, National Ilan Institute of Technology

2. Student, Department of Electrical Engineering, National Ilan Institute of Technology

## **Abstract**

In this report we use biological characteristics of human hand, i.e. finger prints, to build a person identification system. The recognition process includes the following steps. The first step is to transform a spatial domain image into its frequency response. The second is to extract several features from the frequency response. The third is to use these features as inputs to train a backpropagation neural network. Since the only data used in matching fingerprint images is the interconnection weights in a neural network, much storage space can be saved instead of storing the whole image. We have used four transformation methods to transform an image. These methods are discrete wavelet transform, singular value decomposition, discrete cosine transform and fast Fourier transform. One of our goals is to compare these transformation methods to find the best one. The other goal is to set up a windowed-based interactive database system so that the recognition process can be made user friendly.

**Key Words:** wavelet transform, fast Fourier transform, discrete cosine transform, singular value decomposition, fingerprint recognition

# 一、前言

現代是一個多媒體的時代，知識訊息來往藉重影像的地方越來越多，也越來越生活化，如目前正流行中文手寫輸入，不用鍵盤、不必練打字，只要拿特製的筆，在輸入面板上寫字就可以了。這種提供更方便的人機界面的方法，正是影像辨識相當成功的例子，在醫學上，醫生可由電腦的輔助，而使 X 光片或其他生物醫學影像之明暗對比強化或予以色彩化，使醫生更易於了解影像資料，其他之應用，諸如：天文學、生物學、遙感探測、海洋研究、工業應用及法律案件均可找到成功的實例，所以諸如此類，影像辨識在近年來獲得更多人的投入與參與，在配合上人工智慧的理念，使得影像處理分析與辨識達到更準確更快速的境界。

很久以前人類就已經知道如何利用指印與簽名作為犯罪的證據，以及契約的認可，這是身份辨識在早期人類生活中的應用，隨時代的變遷，身份的認可的重要更是不可言喻。辨識的方法中，又以磁卡(鑰匙)和密碼最為普及，但是磁卡經過長時間的使用之後容易毀損，或一時疏忽遺失或被偷竊，加上利用現代科技來仿照磁卡並非難事，根本無法達到安全性的要求，所以以磁卡並不適合繼續作為這個世紀的身份辨識工具。至於密碼，由於密碼學的發展，而逐漸普及，算是最簡單的身份辨識方法，不過像提款機所使用的四位數密碼就很容易被破解，若是基於安全的考量，而增加密碼的長度，則又易造成使用者記憶密碼的困難，在安全與方便之間實在很難取得一平衡點，最近雖然有人提出，以智慧型 IC 晶片卡來取代傳統的磁卡，並將每個人的身份證、駕照、健保卡、金融卡、信用卡等資料與功能，整合到同一張 IC 晶片上，以避免未來每個人每次出門，都得帶許多的證件與卡片的困擾。不過這個提案的安全性遭受頗多非議，反觀近幾年來，以生物特徵[4]為基礎的身份辨識相關研究正蓬勃發展，舉凡指紋、掌紋、聲紋、掌形、臉形、瞳孔、虹膜及 DNA 辨識。不管在理論的探索或是實際的應用都有不錯的表現，以生物特徵來取代傳統的鑰匙密碼與磁卡，不再是遙不可及的夢想，從許多的研究報告與使用者的例證中不難發覺，生物特徵實為這個世紀身份辨識的最佳解決方案，所以我們利用手指的生物特徵-指紋來設計一套身份辨識系統。因為這樣不僅能大大提高可靠性、安全性與方便性，更得到最多的認同感，來完成我們的需求。

我們想延伸影像處理技術應用在影像辨識上，來完成身份辨識的目標，期望能從中完成一個穩定且有效率的系統。以下我們將對此研究的背景作一介紹。

在二十一世紀的今天，電視能撥放出清晰的影像，又有許多可隨意挑選的節目，已是日常生活中很平常的事，但在四十年前，能夠放映出清晰的影像，卻是一件很了不起的大事。在那個時候，科學家覺察到人的眼睛比攝影裝置精巧得多，眼睛如何巧妙地運作，很值得深入研究。到最近，影像技術建立起來，雖然比不上眼睛精巧，但是電視播放的影像已能更清晰拍攝下來，各種各式各樣的影像應用也不斷地產生，另一方面，積體電路技術的快速成長，伴隨電子計算機軟硬體的發達，使影像技術結合了信號處理的技術，不單單是讓我們看得見影像，更不斷地研究要求能看得分明，可是人造影像辨識裝置從開始研到現在，還是不如人腦有著極優越的辨識能力，關於人類辨識問題，在很久以前，哲學家、心理學家等發表許許多多的學說，現在以科學來研究的方式也不少，只是重要的關鍵問題仍然不是很清楚，與此相關的人工智慧和類神經模型系統的研究未曾中斷。

目前我們使用的影像辨識方法和人腦的影像辨識方法是不一樣的，要如何用現代的電子計算機掌握高明的運算法則，成為研究當前的主流，雖然進展緩慢，但是可預期影像辨識必有重大突破，我們還要投入更多的「心」血使經驗不斷地累積。目前依照人類眼睛的活動方式設計出來的裝置，有用在郵遞區號之類文字辨識上；有用在機器人視覺上，都能為我們帶來工作上的便利。

從事影像辨識的人，有的從理論開始進行，有的從系統方面著手，也有針對實際文字、數字做辨識或物體做辨識，凡此總總，都是為了想在這方面有更大的突破，為人類科技帶來更大提升。

下面我們將簡述目前指紋辨識研究的概況，早先指紋辨識多是經由人工來達成辨識的目地，經過長時期的研究以及相關硬體的創新發展使得指紋辨識的技術已用在門禁、差勤管理等商業化的應用上。目前身份辨識系統有結合多種生物特徵如指紋、人臉、虹膜、聲音等來達到身份辨識的目地，如此可提高辨識的正確率，不過在眾多方法中還是以指紋辨識為主。指紋影像的擷取，從早期的由按印泥將指紋印在紙上，再經由掃描器輸入到電腦的程序，已經被一些指紋擷取器所取代，這些指紋擷取器有的是利用光學的方式，有的是利用熱感的方式[9]，有的則是利用皮膚表面存有靜電荷的現象並利用電容來建立指紋影像[10]。目前指紋辨識的研究大都從時域或空間域著手進行分析與辨識，典型的步驟是將影像予以增強、去除不必要的資訊，接著將影像作二值化以及細線化的處理，然後再抽取特徵值(通常是指紋中的端點或叉點)，最後進行特徵值的比對[11][12]。指紋辨識從時域著手已有很長久的歷史[13]，也因此累積了許多時域特徵及其處理的知識，本實驗則從另一角度切入，也就是從頻域或頻域空間域來作指紋辨識，主要基於影像的頻域表示法與時域的表示法其實是等效的，也就是它們彼此間是互可轉換的。接著我們將對此次研究目的作一說明。

本研究之主要目的，係在建立一身份辨識系統，利用每個人的指紋影像所取出的特徵值，來作為辨識的依據，達到的身份辨識目的。另一目的，係在比較離散小波轉換、SVD (singular value decomposition)轉換、快速傅利葉轉換、離散餘弦轉換，這四種轉換法在辨識上之優劣性。為了達上述之目的，本研究採用 Matlab[3] 來完成，其優點為語法簡單、易學、好學，有強大的運算及繪圖功能，各種強大的工具箱(函式庫)可供使用以及能保有其他高階語言解決各種不同問題的能力，可以直接切入我們的要求，避免專研於程式語法上的困擾，而能有效率的完成我們目的。本論文將就下列各部份來探討：

- 一、數位影像處理之架構。
- 二、就所使用轉換法及特徵值選取方法作說明。
- 三、詳加說明各種轉換法的優劣、影像辨識及實驗結果，並和理論相互驗證。
- 四、結論及有關後續研究之建議。

## 二、數位影像處理

近幾年來拜光電科技發展之賜，使得數位影像大行其道，數位影音光碟、數位照相機、數位電視機 等產品已逐漸取代傳統的產品，深入一般大眾的家庭生活中，探究其原因不難發現數位影像具有高品質、易保存、好處理等優點。以下將述說對數位影像處理的基本概念及處理架構。

### (一)、數位影像資料格式

一般呈現於電腦上的圖片或相片，我們統稱為數位影像。依存放方式的不同可分為空間域(spatial domain)影像資料格式及頻率域(frequency domain)影像資料格式。

#### 1. 空間域數位影像資料格式

空間域數位影像資料格式是數位影像在電腦裡最常使用的資料格式。在這種格式中，每張數位影像都是以許多點所組合而成的，這些點又稱為像素(pixel)。通常每一個像素可以呈現出許多不同的顏色，一張數位影像的資料通常是以一個二維陣列來存放的，任何一個像素的資料，皆相對應於二維陣列中的某一個元素(element)，元素數值的大小端視像素所呈現的顏色之不同而有所不同。以黑白影像來說，每一個像素只有兩種變化。如果一張數位影像是以灰階(Gray-level)方式來呈現的話，則每一個像素可以有 256 種變化，最亮的是白色以數值 255 來表示，最暗的顏色係黑色，以數值 0 表示，介於兩者之間的顏色稱為灰色，依明暗又有 254 種變化，以數值 254 到 1 來表示。比黑白、灰階影像有更豐富的表示方式是彩色影像，是以三原光為藍、紅、綠，每一種原光依深至淺分別以數值 0 到數值 255 來表示，所以共有 256 種變化，因此三原光可表示  $256*256*256=16777216$  種的顏色變化，但相形之下，彩色影像較黑白、灰階影像所佔的資料量為大。所以我們研究是以灰階影像，來做為取樣來源，這樣的話已能取樣足夠的特徵值，且能避免資料量太大的問題。圖 1 是一張  $256*256$  個像素大小的 256 灰階指紋數位影像。

#### 2. 在空間域的影像處理的步驟

由於數位影像被大量的使用在各種用途之上，數位影像處理顯得格外的重要，大致上空間域數位影像處理可以分成五個步驟來進行，分別是影像擷取(Image acquisition)、前級處理(Preprocessing)、影像分割(Segmentation)、表示與描述(Representation and description)、識別與解釋(Recognition and interpretation)。以下我們將就各步驟分別說明。

##### (1) 影像擷取

數位影像處理的第一步開始於影像擷取，其目的是要獲得一幅可供處理的數位影像，在這裡需要一個影像輸入裝置來達成影像擷取的工作。動態影像是以 CCD 攝影機作為影像輸入裝置，靜態影像是用數位相機，而平面文件則是使用影像掃描器。從擷取的速度來看，攝影機與數位相機的速度遠遠超過影像掃描器；從解析度來看，影像掃描器優於數位相機與 CCD 攝影機。

##### (2) 前級處理

取得數位影像之後，可以先對影像做前級處理來改善影像的品質。前級處理的目的，主要是為了減少影像處理時的困難度或增加影像處理的成功率。前級處理最常被使用到的方法是包括增強對比度、濾除雜訊以及分離出其紋理與字元資訊相像的區域。在實例上如為增加辨識速度，如果影像本身已經很清晰且影像中吾人感興趣的東西是屬

於低頻的部分，但有一點脈衝雜訊的話，就可以改用中值濾波器或低通濾波器來處理，速度會快一些，但是影像的品質很有可能會變差。

### (3) 影像分割

接下來的步驟是以影像分割的技術來分離影像中的物體與背景，就像在字元的識別中 分割的主要作用是從背景中提取出各個字元和單字，通常在背景複雜的情況之下或者影像中的物體有重疊時，自動分割便成為一項艱鉅的任務，要解決這一類型的問題必須要有一套強健的分割法則，並且花費相當長的時間在計算，以達成影像問題的完滿解決。而為了避免類似的情況發生，在實際的處理中，盡量選用黑色來當背景，因為這樣將會使背景和所要取出的物體的分割最簡單。

### (4) 表示與描述

表示與描述是將影像轉換成方便於後續處理的訊號，再用一種方法來描述這些訊號，凸顯感興趣的特徵部分。

### (5) 識別與解釋

識別與解釋則是探討影像中的物體所代表的意義。

## (二)、頻率域數位影像資料格式

除空間域數位影像資料格式之外，還有一種資料格式也可以清楚地表示數位影像，稱之為「頻率域數位影像資料格式」。空間域影像是我們一般眼睛即可看出的影像。而頻率域影像是將一般影像由空間域轉換成頻率域的結果。透過轉換處理後會將影像之不同頻率的部分分別濾出，而產生許多不同的高低頻帶。常見的空間域轉換成頻率域的方法有離散餘弦轉換 (Discrete Cosine Transformation)、離散小波轉換(Discrete Wavelet Transformation)、SVD 轉換 (singular value decomposition Transformation)及快速傅利葉轉換(Fast Fourier Transformation)，而這四種轉換也是我們本次研究所使用的轉換法。圖 2 是上述四種轉換法對圖 1 作轉換後所得的頻率域影像。

頻率域影像左上角的像素，代表空間域影像的直流成份。像素位置在 $(r, c)$ 表示為第  $r$  列、第  $c$  行的像素。從頻率域影像左上角的位置往右，若有數值則表示在空間域有水平方向的波動。反之，從左上角的位置往下，若有數值則表示在空間域有垂直方向的波動。遠離左上角的像素則代表較高頻的成分。

在圖 2 中指紋資訊佔據頻譜的中高頻的部分，我們將以這些部分作為特徵值的來源。至於低頻成分或較高頻的部分可以在指紋辨識的過程中予以忽略。下面是我們建立影像處理的步驟：

## 三、轉換法及特徵值選取

### (一)、緒言

本節主要在介紹所採用的四種轉換及特徵值選取的方法，分別為離散小波轉換、SVD 轉換、快速傅利葉轉換、離散餘弦轉換，這四種轉換法的功能為將影像，由時域轉換到頻域，影像重要資料會依應用領域的不同（或高頻或低頻）而集中在不同頻帶上。較重要的頻帶將做為我們擷取特徵值的來源，作為身份辨識的比對來源。

### (二)、離散小波轉換法

#### 1. 離散小波轉換

離散小波轉換(Discrete Wavelet Transformation, DWT)是一種將空間域影像轉換成頻率域影像的技術。將影像由空間域轉換成頻率域的好處，在於經過轉換後所得到的資料其重要性是有差異的。換句話說，一張影像經過離散小波轉換處理後，會產生重要性不同的資料，這些資料會構成高低不同之頻率。對人類的眼睛來說，低頻(low frequency)是肉眼可以接受且敏感度較高的部分，低頻的像素與像素之間的變化小、影像較平滑、細緻而且清楚，所以只要低頻部分的值稍有改變，人的眼睛一看就知道哪裡不對勁；對於高頻(high frequency)的部份，肉眼對它的敏感度較低，因為高頻的像素與像素之間的差異較大，影像較粗糙、模糊，所以我們在高頻的部份做少許的修改，眼睛便無法清楚地看出。根據上述，如此一來，我們就可以根據這些資料的不同重要性分別做處理。

目前有關離散小波轉換的方法有很多種。在這裡，我們使用 Haar 函數作為母小波的離散小波轉換，這種轉換較

為簡單，其將影像的所有像素視為各自獨立的數值。並對這些數值做相加、相減的運算，以求得這張影像的頻率。其中相加後的值會越來越大，值越大也就表示該部份越重要，利用我們的肉眼來看，這部份會非常的清楚，所以相加的部分就是低頻的部份。相反地，相減後的值代表著像素與像素之間的差距，當遇到影像中的物體邊緣時，像素間的差值就會很大，當遇到影像中物體平滑的地方時，則像素間的差值就會很小；所以在 Haar 函數離散小波轉換中相減的部分，會明顯的強調出物體的邊緣，物體平滑的就相對地不明顯了，所以相減的部份就是高頻部分。下面是 Haar 的公式部份：

$$\psi(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq 1/2 \\ -1, & 1/2 \leq t < 1 \\ 0, & \text{其他情況} \end{cases}$$

$$\Psi(\omega) = j e^{-j\frac{\omega}{2}} \frac{\sin^2(\omega/4)}{\omega/4}$$

Haar 函數離散小波轉換的運算大致上有兩個步驟：一為水平分割，另一為垂直分割，水平分割的意思是讀取影像的順序是依照水平方向，由左至右來取，儲存也是水平方向儲存。垂直分割的意思是取係數的順序是垂直方向由上至下來取，儲存時也是垂直方向儲存。底下我們將以步驟和圖示，說明 Haar 函數離散小波之轉換過程。

步驟一：

第一次水平分割。以水平方向由左至右的順序，取出空間域影像的相鄰兩像素，作相加、相減運算，然後分別儲存，如圖 3，A B C、D 分別代表影像中相鄰的四個像素，我們取出 A 與 B，將這兩個點做相加(A+B)及相減(A-B)，然後分別儲存結果於左、右邊陣列中；取出 C 與 D 做相加(C+D)及相減(C-D)，然後也儲存在左、右邊陣列中；相加的集合部分就是這張影像的低頻部分，我們以符號 L 來表示；相減集合的部分就是這張影像的高頻部份，我們以符號 H 來表示。

步驟二：

第一次垂直分割。我們將第一次水平分割所產生的結果，依照垂直方向由上至下取出係數做相加、相減運算；也就是說，在此步驟取係數的順序與第一次水平分割不同，取係數順序更改為由上至下的取係數；儲存方式也不相同，改成由上至下的儲存方式，考慮圖 4，A、B、C、D 分別代表四個係數，我們取 A 係數及 A 下方的 B 係數，做相加、相減的運算時，相加的集合因為是由低頻中又計算出來的低頻，所以我們以 LL 來表示；而相減的集合是低頻中的高頻，所以我們以 LH 來表示；同樣的，我們取 C 係數及 D 係數做相加與相減的運算，相加的集合為高頻中的低頻，所以我們以 HL 來表示；而相減的集合是高頻中的高頻，所以我們以 HH 來表示。

完成以上第一次水平分割及第一次垂直分割後，這樣算是第一階的離散小波轉換；我們得到了四個區塊 LL、LH、HL 及 HH；因為這四個區塊分別代表不同的頻率，所以我們稱這些區塊為頻帶(subband)。此外離散小波轉換一如傅利葉轉換般的滿足巴斯瓦定理[6]，即 LL、LH、HL、HH 的能量總和等於時域影像的能量總和。因為 LL 這個頻帶是影像中低頻的部份，如果我們希望獲得低頻帶的較高頻的部分，可以對 LL 再做一次一階離散小波轉換；在完成第二階離散小波轉換後，我們總共可得到七個頻帶，其中四個為第二階的結果，分別為 LL2、LH2、HL2、HH2，而其他三個 LH、HL、HH 為原本第一階留下來的結果；當然我們也可以往下做第三階、第四階、.....、一直到第 n 階的離散小波轉換。圖 2(a)是我們將影像做二階 Haar 函數離散小波轉換所得到的結果。LL2 的部分就是影像最低頻部份，此外，我們會發現經離散小波轉換後 LL2 可以讓我們看到原始影像的大致輪廓。

## 2. 離散小波轉換係數的掃描順序

一般文件大多是一列一列儲存及傳送的；但是影像若是使用一列列的傳送方式來傳輸的話，在傳輸中斷或是停止時，我們對於尚未傳送的部份影像毫無訊息的；或許我們要的資訊就在未傳輸過來的影像中，如果我們改變一列一列的傳送法，而以低頻訊息先傳送，然後才傳送較高頻訊息，如此即使傳輸中途停止了，接收依然可依據先前取得之訊息獲得整張影像之完整輪廓，這就是漸進式影像傳遞法的觀念。

Scan order 傳送方法是由低頻先傳送，再傳送中頻，最後才是高頻；因為低頻通常是影像最重要的地方，中頻及高頻則是用來加強低頻的，所以這傳送方式會讓傳輸的影像由模糊到清楚；如此一來，即使連線突然中斷，我們也可以依模糊的影像來判斷是否要重新連線。

## 3. 特徵值擷取

當輸入一張影像時，先利用離散小波轉換將影像進行三階段的處理，分別得到 LL1、LH1、HL1、HH1，LL2、LH2、HL2、HH2 及 LL3、LH3、HL3、HH3。其中 LH1、HL1、HH1 的差異性在擷取時域影像的邊緣方向上有所不同，我們將這些影像中相同位置的像素值平方相加，得到的是一個時域影像高頻成分的能量密度頻譜，以  $B_1$  表示。同樣地，由 LH2、HL2、HH2 可得到低於  $B_1$  高頻成分的次高頻能量密度頻譜，以  $B_2$  表示。最後由 LH3、HL3、HH3 可得到又次於  $B_2$  頻率成分的能量密度頻譜，稱為  $B_3$ 。如果時域影像大小為  $256 \times 256$ ，則  $B_1$ 、 $B_2$ 、 $B_3$  的大小分別為  $128 \times 128$ 、 $64 \times 64$  以及  $32 \times 32$ 。在指紋辨識的應用中  $B_2$  的總能量相較  $B_1$ 、 $B_3$  為大，這是因為指紋波動的頻率大都位於  $B_2$  的頻帶中。接著將  $B_3$  分成  $8 \times 8$  個區塊，每一個區塊大小為  $4 \times 4$ 。就每一個區塊找出區塊中最大能量密度的像素，如此可找到 64 個像素點。因為  $B_2$  在長寬各為  $B_3$  的兩倍，所以  $B_3$  的每一個像素對應  $B_2$  中的四個像素，也就是  $B_3$  中在  $(r, c)$  位置的像素對應  $B_2$  中以  $(2r-1, 2c-1)$  起始的  $2 \times 2$  的四個像素。同樣地， $B_1$  在長寬各為  $B_3$  的四倍， $B_3$  中在  $(r, c)$  位置的像素對應  $B_1$  中以  $(4r-3, 4c-3)$  起始的  $4 \times 4$  的 16 個像素。如此  $B_3$  中的每一個像素，連同在  $B_2$ 、 $B_1$  中對應的像素集合形成一個金字塔形狀的結構。若此金字塔頂端的像素能量為  $E_3$ ，中層的能量總和為  $E_2$ ，底層的能量總和為  $E_1$ ，三個數值形成一個能量向量  $(E_1, E_2, E_3)$ ，這個向量表示在時域影像中對應區塊在各頻帶的能量。因為這樣的向量個數有  $32 \times 32 = 1024$  個之多，有必要從其中選取一些來作為特徵值。前面提及在  $B_3$  中已選取的 64 個像素值，我們將其從大到小加以排序，最大的前兩個排除之後，然後選取次大的 10 個像素值。這些像素值在  $B_3$  中對應的像素，我們取它們對應的能量向量作為特徵值。在實驗中我們使用四個指紋影像，每一個指紋影像產生 10 個能量向量，所以共有 40 個能量向量將輸入倒傳類神經網路[2][7][8]以供調整或訓練網路。位於神經網路的隱藏層中的神經元個數為八個，輸出神經元個數為 4 個。通常訓練的次數為 5000 到 6000 次左右時，訓練的錯誤次數會收斂。最後的結果為 40 個向量特徵中學得了 35 個，成功率 0.875。一個未知的指紋影像被辨識時，以上述的方法取得 10 個能量向量，然後依次輸入類神經網路，只要正確的歸類數目大於其他每一類別的歸類數目，便算是正確的辨識。

以上所述的演算法基本上其特徵值是不隨影像中物體的移動、轉動、鏡射而改變，此外若物體只有部份可見或有部份被其它物體遮住，在此情形下此物體亦應可被辨識。這功能其他演算法所沒有的，因為其他演算法只能取出全域特徵值(global features)，無法像小波轉換具有可取出局部特徵值(local features) 的功能。

### (三) SVD 轉換法

#### 1. SVD 轉換法

一個  $M \times N$  ( $M$  和  $N$  可以不等) 矩陣  $A$  可表示成

$$A = UDV^T \quad (\text{式一})$$

其中  $U$  與  $V$  的單範正交矩陣，其行向量分別為  $A = AA^T$  與  $A^T A$  的特徵向量， $D$  為一  $N \times N$  對角矩陣其對角元素是  $A$  之特徵值。此特徵值又稱奇異值(singular value)。因  $U$  與  $V$  為單範正交矩陣，故可得

$$D = U^T A V \quad (\text{式二})$$

上式為正轉換，(公式一)為反轉換，二者為轉換對，此轉換稱為奇異值分解(singular value decomposition, SVD)。有關奇異值分解的說明可參閱[2]。

#### 2. SVD 轉換法的特徵值擷取

將一張影像經由 SVD 轉換後，我們得到  $U$ 、 $D$ 、 $V$ 、三個矩陣數值，其中  $D$  是一對角矩陣，是為這一張影像的特徵值，在實驗中我們發現  $D$  中的對角線元素的前十大元素幾乎含蓋了所有的指紋資訊，所以我們只需儲存這些特徵值即可，以代表整張指紋影像。另外為了將特徵值正規化，我們將特徵值除以最大的特徵值。在比對兩張影像的時候，求出兩組特徵值的平方誤差，誤差值越小表示兩張影像越相似。在實驗中我們發現此方法可以不受原始影像旋轉的影響，而仍然可以成功的辨識。

### (四) 快速傅利葉轉換法

#### 1. 快速傅利葉轉換法的概念

離散傅利葉轉換(Discrete Fourier Transform, DFT)技術為一有用的之工具，但轉換時必須處理大量的資料，除非簡化否則離散傅利葉轉換將是不切實際。快速傅利葉轉換法(fast Fourier transform, FFT)僅需  $(N/2) \log_2 N$  的複數乘積，遠小於 DFT 的  $N^2$  個複數乘積。當  $N$  夠大時，執行效率明顯昇昇。快速傅利葉轉換的演算法，可分為時間端分組

(decomposition-或 decimation-in-time , DIT)和頻率端分組(decomposition-或 decimation-in-frequency , DIF)兩種。關於詳細的快速傅立葉演算法的說明請參閱[5]。

## 2. 快速傅利葉轉法的特徵值擷取

指紋圖檔經快速傅利葉轉換後，所得到的矩陣為一個複數矩陣，為了以圖形顯示，我們將每一個矩陣元素先取絕對值後，再取對數以便凸顯較高頻的成分，因為這些頻率的能量相對於直流能量小很多。然後將此影像的原點移至圖形的中心，如此則頻域影像顯得更對稱且也較易處理，結果顯示於圖 2(d)。因為指紋的訊息位於頻譜的中高頻部分，所以我們用了一個二階的 Butterworth 帶通濾波器將較低頻及較高頻的成分濾去。因為指紋影像的大小為 256x256，故截止頻率分別取為  $40 \cdot (2^{-1/256})$  及  $110 \cdot (2^{-1/256})$ 。接著我們將整個頻域用八個同心圓作切割，其半徑呈等差級數增加，其半徑分別為  $16k \cdot (2^{-1/256})$ ,  $k=1,2,\dots,8$ 。在相鄰的同心圓之間的區域，求出正規化後的能量總和，以  $E(k)$  表示，如此可得  $E(1), E(2), \dots, E(8)$  八個特徵值。在此我們利用傅利葉轉換的一個特性來簡化計算此環狀頻帶的能量，若  $f(i, j)$  為實數影像， $F(k, m)$  為其頻域影像，則其具有如下的特性，即  $F(k, m) = F^*(-k, -m)$ ，星號表示取共軛複數。因為能量頻譜具有原點對稱的性質，所以在計算特徵值時只要計算一半的環狀頻帶即可。如此可以節省一半的時間。最後則是將正規化後的特徵值輸入倒傳類神經網路用以訓練網路。

以上述方法來作指紋辨識，若原始影像過移位、旋轉、鏡射或像素值以一個固定比例增加或減少等的改變，應該仍然可以成功的辨識。因為原始影像的位移對應頻域影像的相位移，因此能量頻譜是位移不變的(translation invariant)。又原始影像旋轉某一角度，則其頻譜也旋轉相同的角度，因為特徵值是取環狀頻帶的總能量，故原始影像的旋轉是不會影響此數值的。若原始影像作一鏡射的動作，頻域影像也作一鏡射的動作，又因為特徵值是一個距離原點的長度函數，因此也不隨鏡射的動作而改變。考慮原始影像的像素值皆乘以一個常數，則能量頻譜將乘以以此常數的平方，但特徵值是取正規化的能量值，因此也是與此常數無關的。

## (五) 離散餘弦轉換法

### 1. 離散餘弦轉換法

離散餘弦轉換是將空間域數位影像資料轉換成頻率域，這個動作又可稱之為離散餘弦正轉換(Forward Discrete Cosine Transformation ,FDCT)，但如果將頻率域數位影像資料還原成空間域，則稱為離散餘弦反轉換(Inverse DCT,IDCT)。有關離散餘弦轉換進一步的說明請參閱[1]。下面所列為離散餘弦正轉換的公式

$$D(i, j) = \frac{1}{\sqrt{2N}} C(i)C(j) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cos \left[ \frac{(2x+1)i\pi}{2N} \right] \cos \left[ \frac{(2y+1)j\pi}{2N} \right] \quad (式三)$$

其中：

- (1)  $i, j$  係指頻率域係數的位置
- (2)  $x, y$  係指空間域像素的位置
- (3)  $f(x, y)$  係指  $(x, y)$  位置的空間域像素值
- (4)  $N$  表示二維陣列的寬度及長度
- (5)  $COS$  函數內的變數值與  $x, y, i, j$  及  $N$  的數值大小有關
- (6)  $C(i), C(j)$  函數視變數  $i, j$  的值是否為 0 而有不同

若  $i=0$  則  $C(i)$  為  $1/\sqrt{2}$ ，其它  $C(i)$  為 1

若  $j=0$  則  $C(j)$  為  $1/\sqrt{2}$ ，其它  $C(j)$  為 1

### 2. 離散餘弦轉換法的特徵值擷取

指紋影像在經離散餘弦轉換後，其頻域影像為實數矩陣。取絕對值將含有正負數的矩陣轉為非負數矩陣。與快速傅利葉轉換類似地，將矩陣元素取絕對值，再取對數以顯示較高頻的成分，因為這些頻率的能量相對於直流能量小很多，結果顯示於圖 2(c)。圖形的左上角為指紋影像的低頻部分，因為指紋的訊息位於頻譜的中高頻部分，所以我們接著用了一個二階的 Butterworth 帶通濾波器將較低頻及較高頻的成分濾去。因為指紋影像的大小為 256x256，故截止頻率分別取為  $40 \cdot (2^{-1/256})$  及  $256 \cdot (2^{-1/256})$ 。接著我們將整個頻域以 16 個同心圓作切割，這些同心圓的共同中

心位於頻域影像的左上角，這些同心圓只有四分之一與頻域影像相交且其同心圓半徑呈等差級數增加，其半徑分別為  $16k \cdot (\pi/256)$ ,  $k=1,2,\dots,16$ 。在相鄰的同心圓之間的區域則計算正規化後的能量的總和，以  $E(k)$  表示。如此可得  $E(1), E(2), \dots, E(16)$ , 16 個特徵值。四張指紋影像以上述的方式處理，共取得四組特徵值。這些特徵值則輸入一個倒傳類神經網路，用以訓練此類神經網路。

與快速傅利葉轉換類似，若原始影像經過移位、旋轉、鏡射或影像亮度依一定比例增加或減少，應該仍然可以成功的辨識。所持理由如前在傅立葉轉換的說明。

## 四、測試與驗證

### (一) 緒言

為了驗證前文所介紹的影像處理技術與特徵值比對方法之可行性，在此以四位測試者來對這套系統進行測試，所有的測試影像皆由掃描器來提供，在做試驗之前，都必須事先對系統設定好所要測試的指紋，才能讓系統利用此資料庫所建立好的的特徵值，來做比對以達身份辨識之目的。

以下各節將陸續介紹系統的架構、運作流程、系統改良建議與實驗結果。

### (二) 系統架構

測試用的系統架構包含硬體單元和軟體單元兩個部份，硬體單元是由一台掃描器與個人電腦所組成，功能為手指指紋的採集，辨識程式主要是使用 Matlab 中的影像處理工具箱(Image Processing Toolbox)以及小波工具箱(Wavelet Toolbox)的指令來撰寫程式，程式是以 Microsoft Window ME 系統為其執行環境。表 1 為硬體單元設備的列表。

### (三) 運作流程

本節將對手指指紋的辨識流程作一說明並比較，離散小波轉換、SVD 轉換、快速傅利葉轉換及離散餘弦轉換，在辨識性能上差異。

#### 1. 指紋辨識流程

在指紋辨識方面，我們是在掃描器上設製手指的固定位置，限制手指擺放的區域，接著進行掃描的工作，由於建立身份辨識系統軟體目前無法控制掃描器的運作，因此先把指紋存成影像檔案，再執行身份辨識系統並對存檔的影像做處理辨識。

#### 2. 辨識速度

在這四種轉換法的比對所花費的時間列於表 2，在表 2 中我們可以發現離散小波轉換所需花費的時間最少，而離散餘弦轉換在比對上所需花費的時間最多。快速傅利葉轉換以及離散餘弦轉換在經過計算時間最佳化之後，計算時間已大幅縮小，雖然如此由時間分析可以發現離散餘弦轉換花費在擷取特徵值上處理的時間仍然太久，另外的可能性是電腦語言中所用的低階迴路較多，而非採用 Matlab 支持的向量式運算。快速傅利葉轉換比起離散餘弦轉換所需花費時間稍小，應該是因為利用頻譜的共軛對稱的性質，所以只計算了一半的能量頻譜用以得到特徵值。SVD 轉換所需花費的時間也較少，這是因為轉換後的特徵值即可用於比對之用。

表 3 所列的是訓練類神經網路所需花費的時間，由此表可以發現離散小波轉換花費時間大於快速傅利葉轉換以及離散餘弦轉換，原因應該是離散小波轉換用了 40 個特徵向量而其餘兩種轉換只用了 4 個特徵向量用以訓練倒傳式類神經網路。

#### 3. 辨識的雜訊容忍度

表 4 至表 7 為原始影像加入了雜訊後，測試所用的辨識法是否仍然可以辨認此影像。表 4 是針對離散小波轉換所作的測試，由表中可以看出當雜訊還小時，此辨識法可行的。但是當雜訊的方差增加時，辨識的結果便不正確了，可能的原因有二，一為當此辨識法在類神經網路訓練的階段時，40 個特徵值中只有 35 個特徵值訓練成功，所以原先所取的特徵值在特徵值空間可能是無法藉由類神經網路予以分割的。另一個原因可能是因為特徵值是由前文所述之 B3 平面的區塊中之幾個最大能量密度值所取得，這些最大值的所在也可能隨著雜訊的增加而改變。原始影像 4 則享有較高的成功辨識率，其原因可能是它的特徵值在特徵空間有較大的迴旋空間。

表 5 是奇異值分解辨識法的結果，結果比起其他的辨識法是較為成功的，當影像的方差約為 0.1 時，雜訊的方差要大於 0.05 以上時才有出錯的情形發生。另外奇異值分解轉換法不必額外去擷取特徵值，轉換後的對角矩陣之對角元素即為特徵值，可直接用於比對。另外也省去訓練類神經網路的時間。所以奇異值分解法是相對較好的。

表 6 是應用快速傅利葉轉換之辨識法後的結果，與用離散小波轉換辨識法結果類似，在雜訊較小時可以辨識，但在雜訊較大時則有錯誤歸類的情形。可能的原因為特徵值在特徵空間相距較近，因此雖經類神經網路訓練成功，但經雜訊干擾後用來比較的特徵值便可能越過分界線而錯誤歸類。影像 4 又再一次有較好的辨識率，這可能與其特徵值在特徵空間較為遠離其它特徵值的緣故。要改善此情形，可能的方法一為在能量頻譜上做更多的同心圓劃分，如此或有助於不同的指紋但卻有相同的區域能量，可因高低頻能量進一步的區分而改善辨識的效果。二為在擷取特徵值時，除了在能量頻譜空間上以一些同心圓畫分外，再加上一些通過頻譜中心的直線作為區劃的格線，這些直線彼此之間相隔角度相等。如此一個特徵值表示的是在能量頻譜上介於兩相鄰同心圓以及兩相鄰直線之間的區域能量，如此有助於區分不同的頻譜影像，但是將失去旋轉不變的可辨識性。

表 7 為利用離散餘弦轉換做為辨識法的結果。結果顯示其辨識率比快速傅利葉轉換法為佳，原因或許是其在頻譜已作了更多的劃分所致。表中影像 1 及影像 4 在各種雜訊情形下皆能成功辨識，影像 2 及影像 3 的辨識成功率相較於快速傅利葉轉換辨識法皆有提昇。

#### 4. 辨識的旋轉不變性

表 8 至表 11 在測試四種辨識法當原始影像旋轉的情形下是否仍然可以辨識。首先表 8 是應用離散小波轉換辨識法的結果。結果顯示影像 2 及影像 4 在旋轉 45° 時無法辨識，可能的原因是旋轉後影像之像素值與原始影像的像素值已有不同，影像旋轉通常是由內插法決定的，我們所用的內插法是 bilinear 內插法，其效果不如使用更高階函數作為內插函數的 bicubic 法，因此造成像素值的偏差，致有錯誤的辨識結果。至於其它三種角度 90°、180° 及 270° 的情形皆能辨識成功，這表示此辨識法基本上是不隨影像旋轉而失去可辨識性。表 9 至表 11 顯示的是應用其他三種辨識法的結果，其結果皆相同。在列表中除了影像 4 旋轉 45° 辨識失敗外，其餘皆辨識成功。影像 4 若改用 bicubic 內插法，則仍可辨識成功。由此也可以得出此三種辨識法的可辨識性是不隨影像旋轉而變的。

#### (四) 系統的改良與建議

系統往往因為原始設計的不夠周詳，至使在做測試與驗證的工作上遭受到重重的阻礙，此時於各種原本於設計階段沒有考慮的問題便一一的浮現，針對這些問題所進行的系統改良工程是無可避免的，底下將對問題發生的原因作說明，並提出解決的辦法。

一般以掃瞄器所取得的影像，應是高品質的，低雜訊的影像才對，然而掃瞄器玻璃上的油漬確成為指紋取樣的障礙，除了盡量保持掃瞄器鏡面的乾淨之外，更重要的是找一可行的辦法來作影像的前置處理，這包括使用一些濾波器，如中值濾波器，低通濾波器等對影像做前置處理，這樣的話可使影像更適於辨識，去除不必要的雜訊。

## 五、結論與展望

本身份辨識系統之設計，中途雖然歷經許多的困難，但是最後仍然成功地完成了所有身份辨識的測試工作。由測試的結果可以知道，即使在現有的硬體設備只能提供 50 至 75dpi 解析度的影像之下，本系統還是可以從這些影像之中獲得充分的生物及影像特徵資訊，來達到身份辨識。

一般的生物特徵辨識系統為了方便生物特徵的採集與比對，都會對使用者的使用方式稍作限制，以指紋辨識機為例，在其手掌偵測區會設有固定手指的板或塑膠釘，一方面可以固定使用者的手指位置，另一方面也方便系統對手指特徵作定位；再以指紋辨識機為例，使用者必須將手指尖端正確地放置在掃瞄器上，其偏移的範圍與角度都有一定的限制，超出限制範圍的採樣通常會造成辨識的錯誤。而我們在設計身份辨識系統時則希望取消這種限制，一切都交由系統自行去判斷利用與處理，使系統盡量符合人性化的設計理念。

以生物特徵的保密性而言，未來世界的科技發展，將隨著網路資訊的開放與個人電腦的普及而更加的快速，然而無論科技如何的進步，人類自古至今始終都在身份辨識的問題上打轉。本研究提出的身份辨識系統設計方案，是針對一般手部生物特徵辨識的頻率域部分作改進，以增加系統的強健性，達到低成本高效益的目標，期望該項設計能作為未來其它辨識系統發展之參考，更希望有人能從中獲得啟示，開發出更優秀的身份辨識系統。

在身份辨識系統部份，我們在執行比對的速度上、訓練的速度上、雜訊的容忍度以及旋轉不變性上對四種

轉換法做了比較。由實驗的結果得知，小波轉換後的結果具有相當快速的比對速度，較冗長的訓練時間、較弱的雜訊容忍度以及具有旋轉不變性。奇異值分解轉換的結果也具有快速的比對速度、無須訓練的階段、不錯的雜訊容忍度以及具有旋轉不變性。快速傅利葉轉換的結果顯示比對的速度較慢、較長的訓練時間、較弱的雜訊容忍度以及具有旋轉不變性。離散餘弦轉換的結果顯示比對的速度較慢、較長的訓練時間、較佳的雜訊容忍度以及具有旋轉不變性。綜合上述，且由一些論文可得知小波轉換將是轉換法中有待進一步研發的技術，希望未來能開發出在頻率域特徵值擷取更好的方法，為人類提供更高品質的生活。

對辨識系統的設計方面，對未來發展我們提出幾點建議：

- (1) 在擷取設備方面要取樣更精準、精巧、便利。
- (2) 能將整個辨識系統，以數位化晶片或模組化的方式製作，不僅可縮小體積，更可廣泛的、方便的被使用，以增加實用性。
- (3) 對於頻率域特徵值的選擇，能找出更好的選取方式。

## 六、參考資料

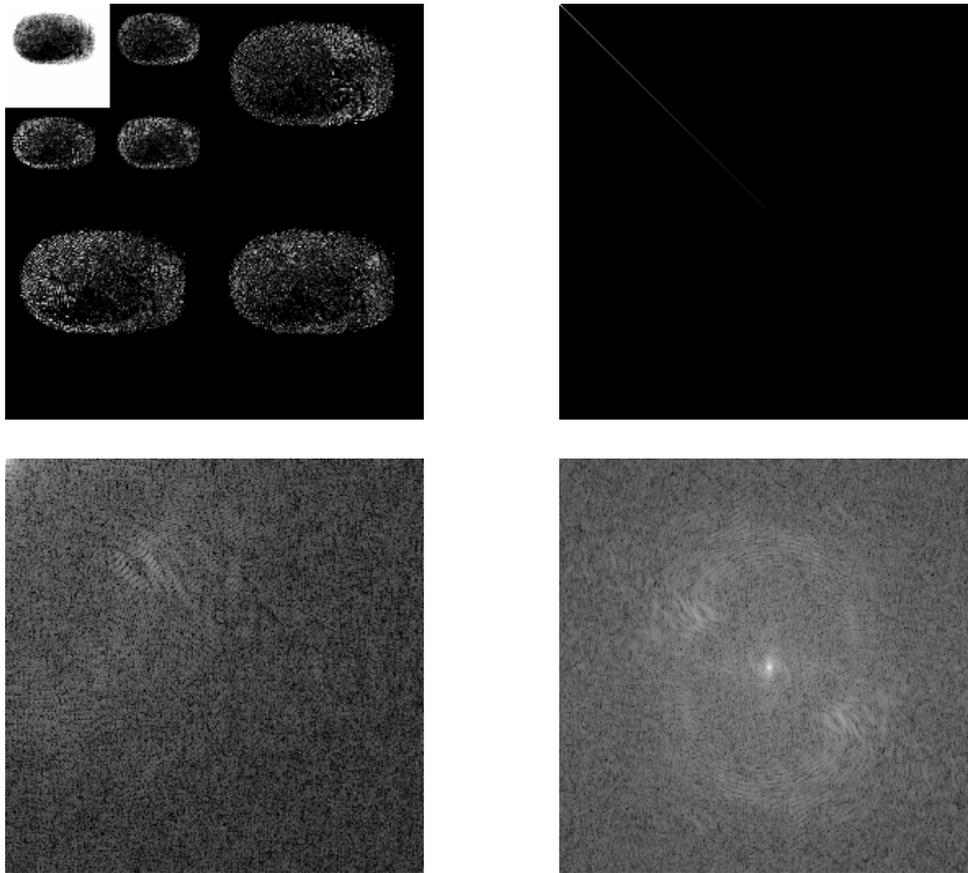
1. Gonzalez. R.C. and Woods R.E. ( 1992 ) ,Digital Image Processing, Addison Wesley.
2. 繆紹綱 ( 1999 ) ，數位影像處理活用 Matlab、全華科技圖書
3. 張智星 ( 2000 ) ，Matlab 程式設計與應用，清蔚科技
4. 陳俊任 (1998)，身份辨識系統之設計，淡江大學電機工程學系碩士論文
5. Oppenheim, A.V. and Schaffer R.W. (1999), Discrete Signal Processing, pp.629-691,Prentice Hall, Inc.New Jersey, U.S.A.
6. Mallat, S. (1998), A Wavelet Tour of Signal Processing, 2<sup>nd</sup> Ed., Academic Press, CA. U.S.A.
7. Masters, T. (1994), Signal and image processing with neural networks:a C++ sourcebook, John Wiley & Sons.
8. Bishop, C.M. (1995), Neural Networks for Pattern Recognition, Oxford Press, New York, U.S.A.
9. 李宗翰 ( 2002 ) ，即時指紋辨識演算法，輔仁大學資訊工程學系碩士論文
10. 王億耀(2001) ，一個使用指紋分類的自動指紋辨識系統，清華大學資訊工程學系碩士論文
11. 簡國源(2001) ，以 FPGA 實現指紋辨識系統，雲林科技大學電機工程學系碩士論文
12. 陳俊良(2001) ，有效的指紋前處理及分類，淡江大學資訊工程學系碩士論文
13. Galton, F. (1892), Finger Prints, Macmillian, London.

91 年 09 月 16 日投稿

91 年 10 月 12 日接受



圖 1 256 階的指紋數位影像示意圖



(a)	(b)
(c)	(d)

圖 2 (a)離散小波轉換後頻率域影像(b)SVD 轉換後矩陣影像(c)離散餘弦轉換後頻率域影像 (d)快速傅利葉轉換後頻率域影像

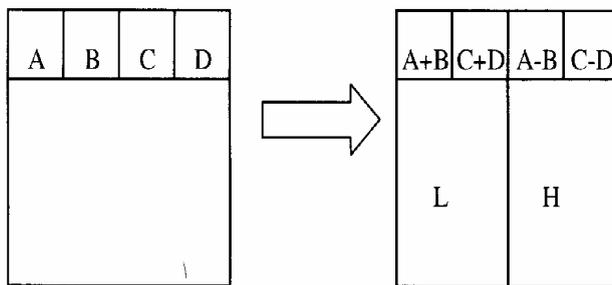


圖 3 第一次水平分割示意圖

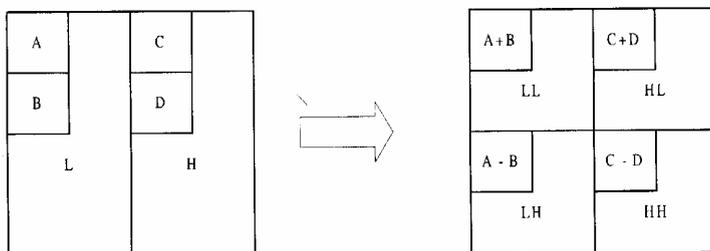


圖 4 第一次垂直分割示意圖

表 1 硬體單元的設備詳細列表

設備名稱	設備規格	設備功能
掃瞄器	鴻友科技	手指指紋掃瞄 影像掃瞄
筆記型電腦	CPU : Pentium III Processor 1000Mhz RAM : 128MB HD : 30G	數學運算

表 2 指紋比對時間表

轉換方式	比對所需時間 ( 秒 )
離散小波轉換	0.44
SVD 轉換	0.55
快速傅利葉轉換	0.7
離散餘弦轉換	1.16

表 3 訓練倒傅式類神經網路所需時間

轉換方式	訓練所需時間(秒)
離散小波轉換	176.42
SVD 轉換	無
快速傅利葉轉換	24.4
離散餘弦轉換	30

表 4 指紋影像加入雜訊後以離散小波轉換法辨識的結果

原始指紋影像 加入雜訊(方差)	1	2	3	4
0.01	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功
0.02	失敗	失敗	辨識成功	辨識成功
0.05	失敗	失敗	失敗	辨識成功
0.1	失敗	失敗	失敗	辨識成功
0.2	失敗	失敗	失敗	辨識成功
0.5	失敗	失敗	失敗	辨識成功

表 5 指紋影像加入雜訊後以奇異值分解法辨識的結果

原始指紋影像 加入雜訊(方差)	1	2	3	4
0.01	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功
0.02	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功
0.05	辨識成功	失敗	辨識成功	辨識成功
0.1	失敗	失敗	辨識成功	辨識成功
0.2	失敗	失敗	辨識成功	辨識成功
0.5	失敗	失敗	失敗	辨識成功

表 6 指紋影像加入雜訊後以快速傅利葉轉換法辨識的結果

原始指紋影像 加入雜訊(方差)	1	2	3	4
0.01	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功
0.02	辨識成功	失敗	失敗	辨識成功
0.05	辨識成功	失敗	失敗	失敗
0.1	辨識成功	失敗	失敗	失敗
0.2	辨識成功	失敗	失敗	失敗
0.5	辨識成功	失敗	失敗	失敗

表 7 指紋影像加入雜訊後以離散餘弦轉換法辨識的結果

原始指紋影像 加入雜訊(方差)	1	2	3	4
0.01	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功
0.02	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功
0.05	辨識成功	失敗	辨識成功	辨識成功
0.1	辨識成功	失敗	失敗	辨識成功
0.2	辨識成功	失敗	失敗	辨識成功
0.5	辨識成功	失敗	失敗	辨識成功

表 8 指紋影像經旋轉後以基於離散小波轉換的辨識法之辨識結果

原始指紋影像 旋轉角度	1	2	3	4
45°	辨識成功	失敗	辨識成功	失敗
90°	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功
180°	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功
270°	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功

表 9 指紋影像經旋轉後以基於奇異值分解的辨識法之辨識結果

原始指紋影像 旋轉角度	1	2	3	4
45°	辨識成功	辨識成功	辨識成功	失敗
90°	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功
180°	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功
270°	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功

表 10 指紋影像經旋轉後以基於快速傅利葉轉換的辨識法之辨識結果

原始指紋影像 旋轉角度	1	2	3	4
45°	辨識成功	辨識成功	辨識成功	失敗
90°	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功
180°	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功
270°	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功

表 11 指紋影像經旋轉後以基於離散餘弦轉換的辨識法之辨識結果

原始指紋影像 旋轉角度	1	2	3	4
45°	辨識成功	辨識成功	辨識成功	失敗
90°	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功
180°	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功
270°	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功

