

小波轉換於膚質分析的應用

吳明芳
崑山科技大學電機系
副教授
wumifa@mail.ksu.edu.tw

許洪誠
崑山科技大學
電機所研究生

李振興
崑山科技大學電機系
副教授
ljh0906@mail.ksu.edu.tw

林祈帆
崑山科技大學
電機所研究生

摘要

本研究為了能讓美容造型師依照客戶本身的生理特質，快速的做出最佳的彩妝設計以及找出最適合的肌膚保養方法等目的，發展一套小波轉換於膚質分析的系統。此系統利用小波係數將皮膚影像三角化的技術，計算出三角化後的三角形個數以及重要節點數來當作皮膚影像的特徵值。在比對方面，由於系統所找出的特徵值可以有效代表膚質特徵，所以利用歐基里德距離及漢明距離來完成比對工作，也就可以完成膚質分析的結果。本研究最後以實際皮膚影像進行實驗，其結果顯示小波係數之三角化技術於膚質分析上有不錯的辨識率。

關鍵詞：小波轉換、膚質分析、特徵

Abstract

In order to let cosmetic modeling teacher can base on the customer's own physiological specialty to make the best make-up design and find out the most suitable way of skin maintenance, the purpose of this research is to develop a set of skin-character analysis system by the method of wavelet transformation. In this system, the number of triangles and the number of major nodes are found as features by the triangulating technique of skin image using wavelet coefficient. In the aspect of comparison, because the features found out in the system can be represented the skin character effectively, both Euclidean distance and Hamming distance are used to compare skin features, and then the results of skin-character analysis can be obtained. Finally, this thesis carries out the experiment with real skin images, its result shows that there is good distinguishing rate on skin-character analysis by the triangulating technique of wavelet coefficients.

Keywords: wavelet transformation, skin-character analysis, features.

1. 前言

隨著科技的進步，影像擷取設備及周邊產品在功能上日新月異及價格下降；而電腦運算能力提昇以及影像處理技術的快速進展，使得影像處理這門領域有了很廣泛的研究及使用。因為人們可以由一張影像，利用許多特徵性質的確認，則可辨識出整個影像以及所需要的影像資訊。然而在不同的領域上會運用到影像處理的原因、方法及目的都不太相同。在美容造型設計方面，常常要針對不同的膚質狀態，並依照其特性選擇最合適的保養品。然而膚質分辨通常是靠美容師的感官或是經驗累積。因此，想要迅速將一個人的膚質歸類於某一種膚質恐怕不太容易[1]，但若能利用電腦與相關的硬體設備依固定的性質，以相對應的影像處理方法來進行分析，應可加快辨別的速度及效率。

本研究目的在發展一套膚質分析系統。由於小波轉換可以用來表示紋路描述[4]，所以本論文利用小波係數來將皮膚影像三角化的技術，計算出三角化後的三角形個數以及重要節點數目。在比對方面，由於三角形個數以及重要節點數量可以代表膚質紋路的特徵值，因此我們只需要比對三角形個數或是重要節點數目的差異值，就可以完成膚質分析的結果。雖然本論文比對的資料量不多，但也可達到不錯的辨識率。

2. 膚質特徵擷取

在做膚質判別分析之前需要將有興趣的特徵擷取出來。然而在膚質上的分析，通常是以皮膚紋路或以皮膚表面是否有油光來做為分析的依據。由於影像小波轉換配合三角化技術[4]在紋理描述方面非常有用，所以本研究將利用影像小波轉換配合三角化的技術來分析膚質。整個膚質辨別過程共分四個階段，敘述如下：

- (1) 影像輸入：利用 CCD 攝影機來拍攝皮膚影像，其格式為RGB的數位影像，取得的

影像做為輸入。

- (2) 前級處理：將彩色皮膚影像轉成灰階，再利用小波轉換以及影像三角化技術將影像做前級處理，以方便下一步驟的進行。
- (3) 特徵選定：經過前級處理後的影像，就可以依據一些特有的規則性，從影像中取得可以表達特徵的數據。
- (4) 特徵辨識：將輸入影像所求得的特徵數據與資料庫中的數據進行差異量計算並進一步確認膚質。

根據上述四個階段，本研究建立了臉型判別系統流程圖，如圖1。首先對輸入的彩色影像利用式(2.1)轉成灰階影像，然後再進行小波轉換，接著依據一些規則以得到所謂的有效小波係數(Effective Wavelet Coefficients, EWC)用以捕捉皮膚紋路的變化。再來利用四分樹的架構以進行三角化的工作[4]。

$$I_{gray} = 0.299 \times I_r + 0.587 \times I_g + 0.114 \times I_b \quad (2.1)$$

其中 I_{gray} 是影像的灰階值， I_r 、 I_g 和 I_b 分別是影像在 R、G 和 B 的值。

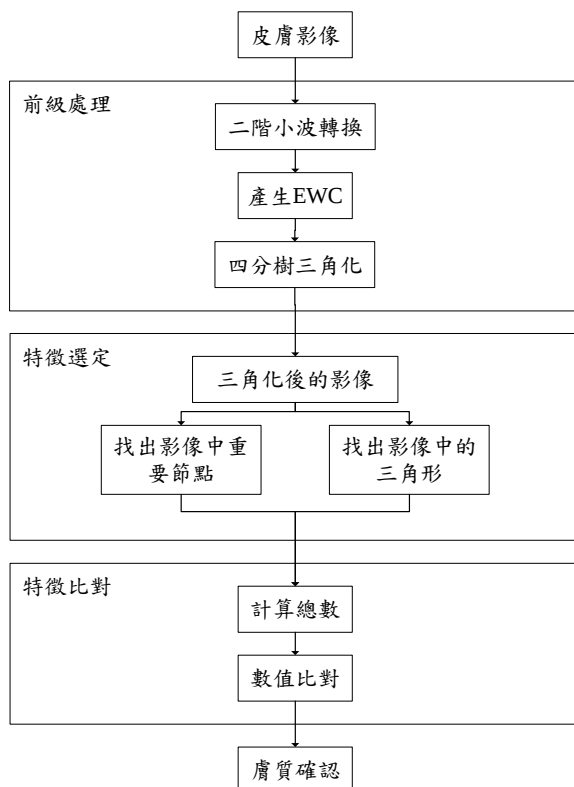


圖1 膚質分析系統流程圖

接著本研究利用 Matlab 的 Tool Box 中的 Wavelet Transform 來進行皮膚影像的小波轉換處理。小波轉換是一種把訊號作多層空間解析

處理的轉換方法，它可以將空間域影像轉換到頻率域，把原始影像以不同的方式的呈現。將影像由原始可用人眼直觀的空間域轉換到頻率域最主要的好處，也就是轉換後的結果其重要性是有所差別的，資訊將會依其重要性的不同而保留在不同的頻帶中。一般而言，低頻的部份可以保留人眼較能明顯感受到的資訊，而高頻的部份則儲存了一些較不重要的資訊，例如雜訊等。基於這樣的特性，小波轉換廣泛的被應用在資料壓縮以及電腦圖學上[5][7][10]~[12]。

小波是被定義在一個有限區間內積分值為零的一組函數[3]，並利用此函數來進行基底轉換。一般使用到兩個函數：尺度函數(Scaling Function, ϕ)及小波函數，或稱母波函數(Mother Wavelet, ψ)。其中，小波函數在數學上的定義為：首先令 $L^2(R)$ 為平方可積的實數空間，即能量有限的信號空間。設 $\psi(x) = L^2(R)$ ，其傅立葉轉換為 $\hat{\psi}(\omega)$ ，當 $\psi(x)$ 滿足(2.2)式允許條件時，我們稱 $\psi(x)$ 為一個小波函數，或是母波函數(Mother Wavelet)。

$$0 < C_\psi = \int_R \frac{|\hat{\psi}(\omega)|^2}{\omega} d\omega < \infty, \quad \int_{-\infty}^{\infty} \psi(x) dx = 0 \quad (2.2)$$

而尺度函數則定義為：

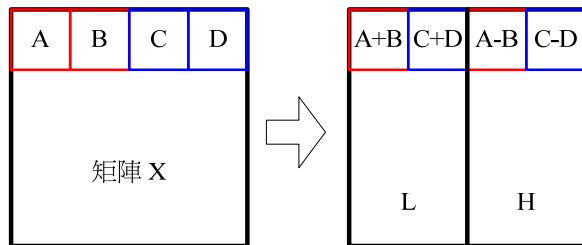
$$\phi = \begin{cases} 1 & \text{if } \chi \in [0, 1) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.3)$$

小波轉換有許多不同的方式[6][7][11]，Haar[2][5]轉換法是最快、也最常見的轉換方法。其方法是將空間域影像中的像素值視為獨立數值，並藉由像素之間相加與相減的運算過程，求出各個頻帶的小波係數值，完成小波轉換。在 Haar 轉換法中，相加的部分就是低頻，而相減的部分的就高頻；藉由相加相減的運算，產生重要性不同的頻帶。Haar 運算可分兩個步驟：一為水平切割，另一個則為垂直切割。水平切割是依序由左而右的方向讀取像素值，將運算結果以水平方向依序儲存。垂直切割則是由上至下的方向讀取像素值，經過運算後的係數值儲存方式則依照垂直方向存放。本節以一階小波轉換為例，於下列步驟中說明 Haar 函數的運算過程：

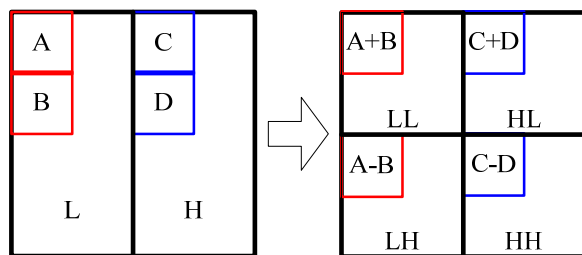
- (1) 依序由左至右的水平方向，讀取空間域原始影像的矩陣 X 的像素值，取出相鄰兩像素

進行相加與相減運算後，以水平方向儲存。在圖2(a)中，A、B、C、D分別表示為空間域影像中四點像素值；首先，取出A與B兩像素，將兩點進行相加(A+B)運算與相減(A-B)運算。接下來，取出C與D兩像素進行相加(C+D)運算與相減(C-D)運算，亦同前一步驟，儲存在右邊陣列中。相加的區域就是空間域影像的低頻區，以符號 L 表示，相減的區域則是空間域影像的高頻區，此以符號 H 表示。

- (2) 將第一次水平分割後的結果，再依照由上而下的垂直方向，取出係數值進行在二次相加與相減的運算，其運算後的結果也分別以垂直方向儲存。圖2(b)中，A、B、C、D為第一次水平分割後所產生的係數值，依照垂直方向分別取出A與B兩係數，並進行相加(A+B)、相減(A-B)運算，將其結果儲存右邊陣列之中。係數值相加後的結果為低頻中的低頻，以符號 LL 表示，相減後的係數值是低頻中的高頻，以符號 LH 表示。接下來，取出C與D兩係數再度進行相加與相減運算，相加後的係數值為高頻中的低頻，以符號 HL 表示，相減後的係數值為高頻中的高頻，以符號 HH 表示。



(a) 水平小波運算

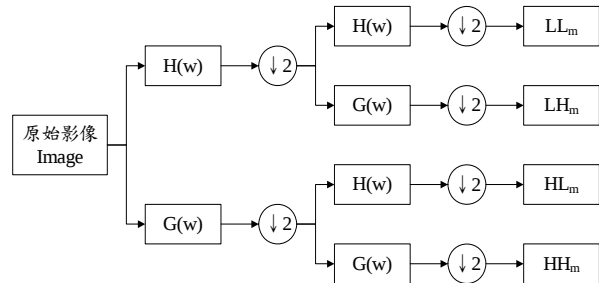


(b) 垂直小波運算

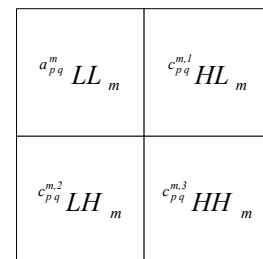
圖2 Haar小波函數運算範例

依上所述，Haar小波轉換的基本作法可視為將原始的輸入影像先經過高通濾波器 $H(w)$ 以及低通濾波器 $G(w)$ 從列方向分解成高頻以及低頻兩部分[4]，如圖3所示。圖3(b)中 m 代表階數； p 和 q 分別代表水平和垂直方向的下標。

雖然用此進行轉換速度較快，但品質較差，往往需要額外的濾波器來消除區塊效應，然而本研究中無此顧慮，因為三角化的過程中注重的是較大的紋路變化，而且加入門檻值也可以達到相當程度的品質要求。



(a) 小波轉換流程



(b) 小波係數位置及代號

圖3 小波轉換示意圖

假設一張紋路影像經由二階數值小波轉換後，如圖4所示，其七個頻帶中的係數值經分析後將如圖5(a)所示，再將圖5(a)中左上角的係數分散交換到其餘三大頻帶的相對位置，經重新安排可得到圖5(b)，其重新編排後的影像結果如圖5(c)所示。本研究隨後以重新編排後的影像結果進行後續四分樹三角化的處理。

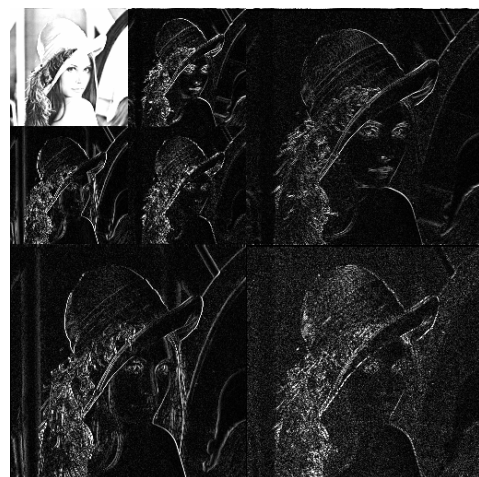
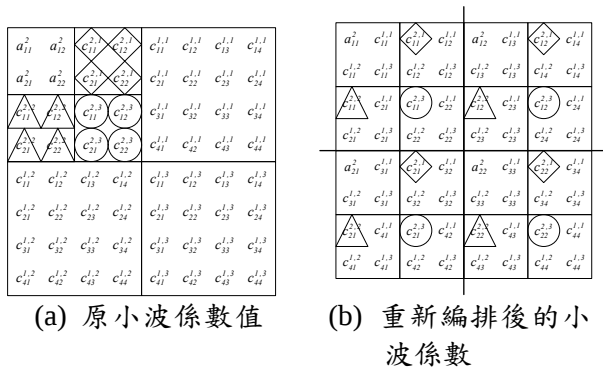


圖4 二階小波轉換的結果



(c)

圖5 小波係數重新編排：(a) (b) (c)重新編排後的影像結果

為了有效描述皮膚紋路的區域變動，並防止在處理四分樹三角化時發生破裂或產生不連續斷點，須再進行有效小波係數(EWC)的轉換。由於左上角之 LL_m 頻帶上並未顯示邊的訊息，所以可以用零的值來代替，而其餘頻帶上的小波係數值則一律取絕對值，因為取絕對值後的大小數值才能代表邊的訊號強弱。

為了讓邊的訊息被相鄰的兩塊區域分享，我們將原圖最後一列及最後一行補零。如此，若原始影像為 $2^n \times 2^n$ ，則補零於最後一列和最後一行後其大小變成 $(2^n + 1) \times (2^n + 1)$ 。由於鄰近的兩區塊分享彼此的邊緣，所以轉換後的每個區塊大小為 $(2^m + 1) \times (2^m + 1)$ ， $1 \leq m < n$ 。例如，原先的 8×8 區塊在補零後，形成一個 9×9 的區塊，由於最先前之左上角區塊之 LL_m 不含邊的訊息，數值均為零，經轉換後，這區塊可以切成四個 5×5 的區塊；也可以切成十六個 3×3 的區塊。一個區塊的四個邊之中心所在的小波係數我們稱之為決定點。例如圖6的左上所示之 5×5 區塊中， $c_{11}^{2,1}$ ， $c_{21}^{2,1}$ ， $c_{11}^{2,2}$ 和 $c_{12}^{2,2}$ 即為決定點[4]。

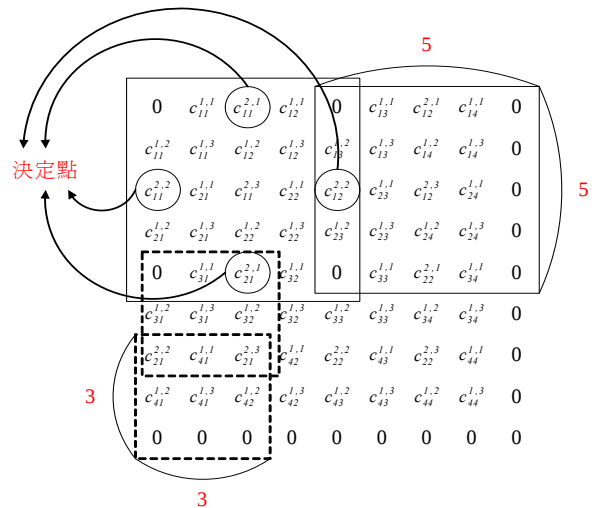


圖6 修正後小波係數

有效小波係數EWC，將從所有任意兩個決定點區分的 3×3 大小的區塊中得到，並由所有的 5×5 大小的區塊中得到上一層的EWC；依此由下而上的方式，直到 $(2^n + 1) \times (2^n + 1)$ 的區塊之EWC被得到。圖7中示的區塊為獲得EWC後的例子，該區塊內含四個小區塊如西北(nw)、東北(ne)、西南(sw)和東南(se)方向所示。在左上角的小區塊中，nw1, nw2, nw3和nw4為該區塊的四個決定點，而在大區塊上的p1, p2, p3和p4則表在父親層的決定點[4]。

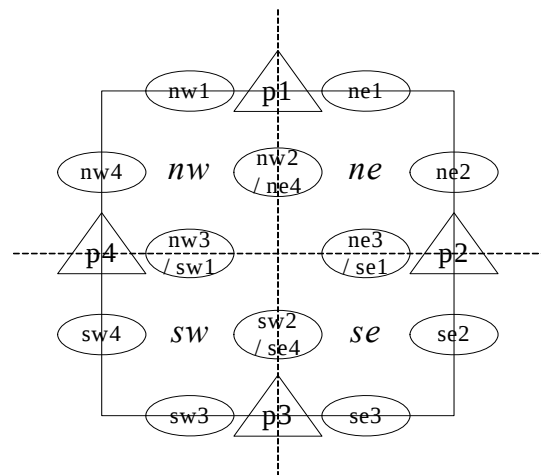


圖7 決定點

在任一個 3×3 或 5×5 的區塊中，有了這四個決定點之後，經過比對在這四個決定點中挑出最大的一個，之後再和父親層的決定點作比較，留下最大的值給父親層的決定點以便層層上傳變動的訊息。因此從下到上，由 3×3 區塊的四個決定點與其父親層的決定點，亦即為與 5×5 區塊的決定點作大小比對，依此類推直到

$(2^n+1) \times (2^n+1)$ 大小的區塊。圖8所示為最後得到所有不同層之有效小波係數EWC的結果。接著我們對整張EWC影像內的灰度值取直方統計圖(Histogram)，若我們期望數位二值化後的影像白色區域面積佔全部影像的80%，則由直方統計圖的最黑部分(灰階值為0)開始算起，累加到個數為此影像的總像素個數的第20%個，則將這個像素所在的像素值設為臨界值。若影像內像素值小於臨界值，則設為1保留下來；否則設為0清除，如此一來，就只有大於門檻值的重要有效小波係數EWC被留下，所得結果如圖9所示。

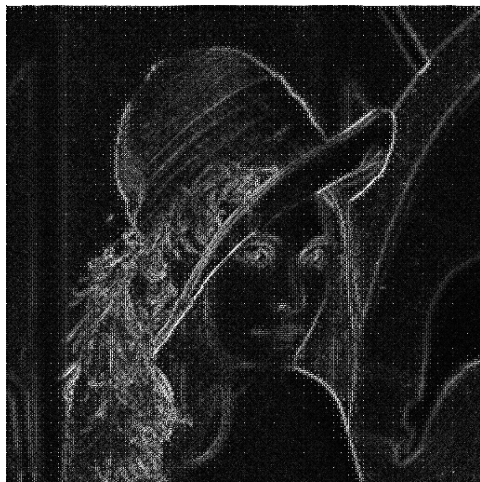


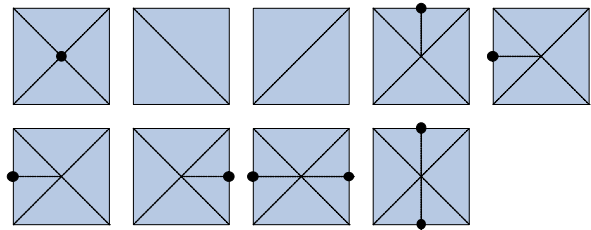
圖8 產生EWC之後的結果



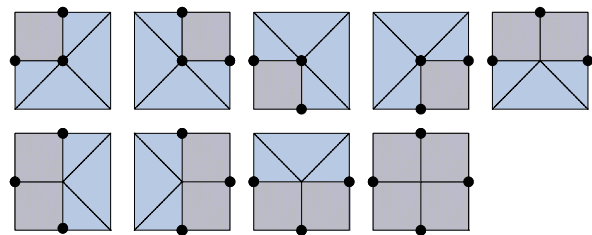
圖9 EWC經過門檻值過濾之後的結果

當皮膚紋路影像有了這一些重要的有效小波係數EWC後，即可對皮膚紋路進行四分樹三角化程序。此程序主要是藉由內部節點及外部節點的連結來達成。對於一個分割出來的區塊是否稱為內部節點或外部節點，則取決於圖10所示的十八個判斷法則[4]。在這十八個法則中，圖10(a)所示有九個法則是用來判斷區塊為外部節點的。在一個區塊中，若有兩個不相

鄰的重要有效小波係數EWC則該區塊歸屬於外部節點；反之，該區塊則歸屬於內部節點，如圖10(b)所示。



(a) 九個外部節點的組合



(b) 九個內部節點的組合

圖10 十八個三角化的判斷法則

由於四分樹三角化的過程是由上而下的方式，本研究從第一層(最上層)的四個重要有效小波係數EWC著手，根據圖10的十八個判斷法則對影像做切割。依此方式，一直往下層進行三角化的動作，其結果如圖11所示。

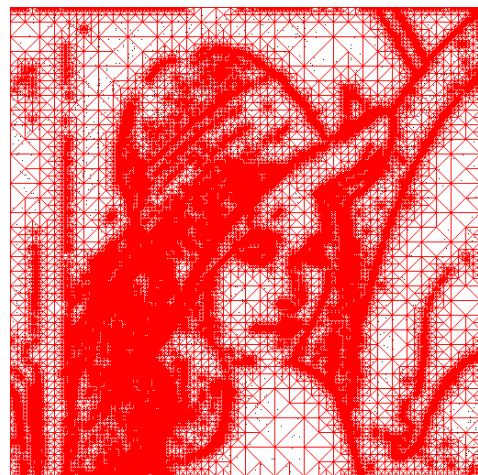


圖11 四分樹三角化後的結果

當得到一張三角化之後的影像，可以發現影像中存在的重要節點數量以及三角形的個數，在皮膚紋路的分析上具有一定的參考依據。所以我們選定這兩者來做為膚質分析上的特徵。在節點數量方面，我們找出影像中的每一個黑點，即為找出每一個重要節點，並做節點數的累加，由上而下、左至右直到找出影像中的所有節點。至於影像三角化後的三角形數

量，則是依據圖10的十八個法則中，每一個判斷法則所分割出來的三角形數量，來做影像三角化後的三角形個數計算。

在皮膚紋理分析方面，重要節點數目以及三角形總數量將影響紋理分布狀態，本論文將以三角形總數量及重要節點數目作為辨別特徵，並且分別作比對數量的直方統計圖，如圖12以及圖13所示。其中，灰黑色代表塗油前的皮膚，白色代表塗油後的皮膚。

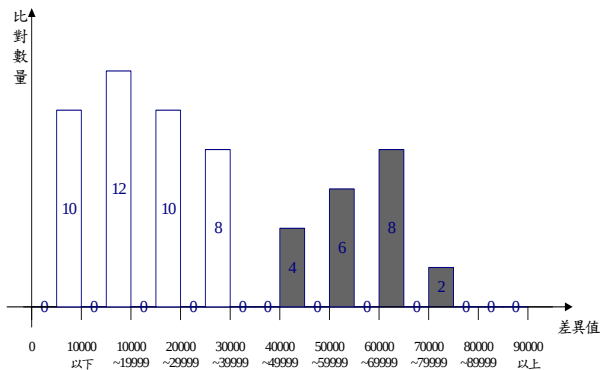


圖12 重要節點比對數量之直方統計圖

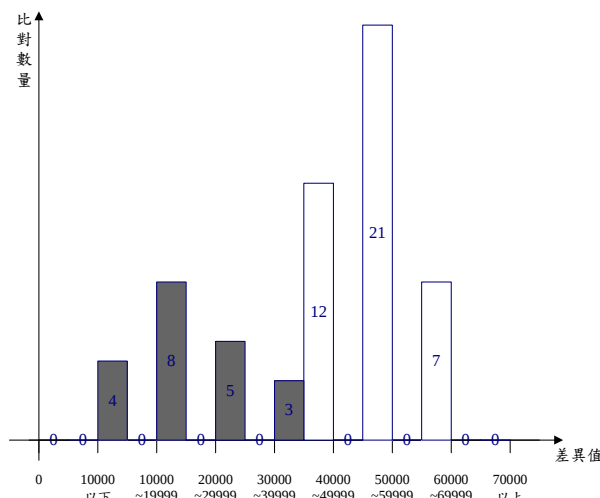


圖13 三角形比對數量之直方統計圖

由圖12中可以發現，當皮膚表面上未塗上油類物質(凡士林)前，重要節點數的值偏落在圖的右方。而塗上油類物質(凡士林)後，其值則偏落在圖的左方。由圖13也可清楚看出，當皮膚表面未塗上油類物質(凡士林)前，三角形的總數量偏落在圖的右方。而塗上油性物質(凡士林)後，其值則偏落在左方。所以本研究根據直方圖的分佈情形，決定出兩個門檻值。其中，重要節點總數門檻值大的為五萬，小的為四萬五千；三角形總數門檻值大的為四萬五千，小的為四萬。依這兩個門檻值給定重要節

點總數以及三角形總數的特徵權值。如果大於大的門檻值，特徵權值給定為1；如果小於小的門檻值，特徵權值給定為3；而若是剛好落於兩門檻值之間，特徵權值則給定為2。在往後的辨識只需針對這些特徵權值進行比對，可增加辨識速度以及方便性。

3. 實驗結果

本節中以實際擷取的特徵向量，配合歐幾里德距離(Euclidean Distance)與漢明距離(Hamming Distance)兩種計算差異值的方法，來驗證前面所描述的膚質特徵擷取方法及其演算法則。

本實驗所使用的硬體設備包含 Intel Pentium4 CPU 2.66GHz, 512MB RAM 個人電腦一部以及具高倍放大鏡頭之 CCD 攝影機一台。作業系統為 Windows Xp, 辨識系統中所有的演算法則採用 Visual C++ 6.0 版[8]之程式設計來完成介面視窗化的實現。在實驗測試方面，以 CCD 放大鏡頭倍率為 11 倍時拍攝了 20 個人的皮膚影像(詳見附錄所示影像)，每張影像大小為 512×512(像素×像素)的彩色影像。每人拍攝三張，第一張為未擦上油類物質(凡士林)前的皮膚影像，第二張及第三張則分別為塗上油類物質及凡士林後的皮膚影像，作為模擬皮膚出油情況。為了順利進行特徵比對工作，本研究使用了歐幾里德距離與漢明距離[9]兩種計算差異值的方法，分別敘述如下：

(1) 歐幾里德距離

歐幾里德距離在距離測量方面是最常用來計算差異值的方法。此種相似程度的運算主要是直接計算兩向量之間的差異，計算後所得到的值越小代表兩向量差異量越小，計算公式如下所示[9]：

$$d_E = \sqrt{\sum_{i=1}^L (K_i - H_i)^2} \quad (3.1)$$

其中， d_E 稱為歐幾里德距離， K_i 為輸入的特徵向量的第 i 個成分， H_i 為資料庫儲存的特徵向量的第 i 個成分， L 則為特徵向量的維度。

由於每個特徵的數值等位不同，因此在計算歐幾里德距離前，必須針對每一個特徵給予不同的權值(Weighting)。同時考慮第 j 個特徵向量以及加入權值後的歐幾里德距離公式如下所示：

$$d_{Ej} = \sqrt{\sum_{i=1}^{L_j} W_{ij} (K_{ij} - H_{ij})^2}, \quad j = 1, 2, \dots, M \quad (3.2)$$

其中, d_{Ej} 為第 j 個特徵向量加入權值後的歐幾里德距離, L_j 為第 j 個特徵向量的維度, W_{ij} 為第 j 個特徵向量的第 i 個成分的權重, K_{ij} 為輸入的第 j 個特徵向量的第 i 個成分, H_{ij} 為資料庫儲存的第 j 個特徵向量的第 i 個成分, M 則為特徵向量的總數。所以考慮所有特徵向量後, d_{Ej} 的總和可以表示成:

$$d_{ET} = \sum_{j=1}^M d_{Ej} \quad (3.3)$$

其中, d_{ET} 為考慮所有特徵向量及加入權值後的歐幾里德距離總數。

(2) 漢明距離

漢明距離與歐幾里德距離之定義不同, 它並非直接計算兩向量之間的差異值, 而是計算兩向量在預設的誤差範圍內有幾個成分不一樣。因此當兩個向量越相近, 其分量之差異值落在容許的誤差範圍內的數目就越多, 所相對應的漢明距離就越小, 計算公式如下所示[9]:

$$d_H = \sum_{i=1}^L \# \{ |K_i - H_i| > \Delta_i \} \quad (3.4)$$

其中, d_H 稱為漢明距離, $\#$ 為計算個數的符號, K_i 為輸入的特徵向量的第 i 個成分, H_i 為資料庫儲存的特徵向量的第 i 個成分, Δ_i 為特徵向量的第 i 個成分的誤差容許值, L 則為特徵向量的維度。對於每個特徵向量, 只要差異量大於個別的誤差容許值, 就可以得到個數“1”, 因此 d_H 的最大值為 L 。當 $d_H = 0$ 時, 則表示所有特徵向量的差異值都落在容許的誤差範圍內。

當每個特徵的數值等位不同時, 在計算漢明距離前, 亦須對每一個特徵給予不同的權值。所以, 利用這種方法計算出的數值越高, 代表兩身份之間的相似度越低。同時考慮第 j 個特徵向量以及加入權值後的漢明距離公式如下所示

$$d_{Hj} = \sum_{i=1}^{L_j} \# \{ W_{ij} | K_{ij} - H_{ij} | > \Delta_{ij} \}, \quad j=1,2,\dots,M \quad (3.5)$$

其中, d_{Hj} 為第 j 個特徵向量加入權值後的漢明距離, L_j 為第 j 個特徵向量的維度, W_{ij} 為第 j 個特徵向量的第 i 個成分的權重, K_{ij} 為輸入的第 j 個特徵向量的第 i 個成分, H_{ij} 為資料庫儲存的第 j 個特徵向量的第 i 個成分, Δ_{ij} 為第 j

個特徵向量的第 i 個成分的誤差容許值, M 則為特徵向量的總數。所以考慮所有特徵向量後, d_{Hj} 的總和可以表示成

$$d_{HT} = \sum_{j=1}^M d_{Hj} \quad (3.6)$$

其中, d_{HT} 為考慮所有特徵向量及加入權值後的漢明距離總數。

特徵值經過前面所述之計算差異值方法的處理後, 隨即要針對本研究所擷取到的皮膚影像進行特徵比對的工作。

根據前節所設定出來的門檻值作資料庫建檔。將輸入皮膚影像經過歐幾里得與漢明距離計算出的值與資料庫作進行比對工作, 所有的比對結果辨識率整理如表1 所示。

表 1 膚質分析的比對結果辨識率

膚質分析實驗				
比對法	比對總數	成功	失敗	辨識率
歐幾里得距離	60	60	0	100%
漢明距離	60	60	0	100%

由表中顯示使用兩種差異值計算方法的膚質分析之辨識率皆為 100%。由此可證明本研究提出特徵權值作為資料庫比對的方法, 比對資料量雖然不大但仍可維持不錯的辨識率。

4. 結論

本論文以能提供美容造型師精準分辨膚質為目的, 發展出一套可以分析膚質的系統, 並且成功地将此系統的各種演算法透過視窗介面的方式來實現。在系統中, 由於所有的特徵值代表整張皮膚影像的資訊, 所以利用歐幾里德距離及漢明距離之差異值計算法進行特徵值比對, 這樣不僅比對的資料量不大, 亦能維持不錯的辨識率。由實驗結果可知, 先將皮膚影像經小波轉換後, 進行重新編排, 可產生有效小波係數(EWC), 隨後利用四分樹三角化技術對皮膚影像進行三角化, 則可以發現重要節點數目以及三角形總數量可以代表皮膚紋理分佈的重要特徵。因此, 本研究透過計算重要節點數多寡以及三角形的總數目, 再經由設定大小(上下限)兩個門檻值來給定特徵權值, 並且針對特徵權值來做比對, 發現亦可得到不錯的辨識率。由此也證明了本研究所提膚質分析方法的正確性及可行性。

參考文獻

- [1] 李秀蓮, **攝影化妝 The Art of The Photographical Make-up**, 揚智出版社, 1997 年 3 月。
- [2] 吳佳珍, “以鑑別性小波參數為主之人臉辨識系統”, **國立成功大學資訊工程研究所碩士論文**, 2001。
- [3] 單維彰, **凌波初步**, 全華科技圖書股份有限公司, 89 年 3 月二版。
- [4] 鍾國亮, **影像處理與電腦視覺**, 東華書局, 95 年 3 月三版。
- [5] Lee, W. S., H. J. Lee, and J. H. Chung, “Wavelet-Based FLD for Face Reconition,” **Proc. IEEE Midwest Symp. on Circuits and Systems**, Lansing MI, pp.734-737, Aug. 2000.
- [6] Liu, C. and H. Wechsler, “Gabor Feature Based Classification Using the Enhanced Fisher Linear Discriminant Model for face Recognition,” **Proc. of IEEE Trans. on Image Processsing**, Vol.11, pp.467-476, 2002.
- [7] Munteanu, A., J. Cornelis, G. Van Der Auwera, and P. Cristea, “Wavelet Image Compression – the Quadtree Coding Approach”, **IEEE Trans. on Technology in Biomedicine**, Vol. 3, No. 3, pp.176-185, 1999.
- [8] Petzold, C., **Programming Windows**, Fifth Edition, SoftChina Corporation, 2000.
- [9] Richard, D., E. H. Peter and G. S. David, **Pattern Classification**, John Wiley & Sons, 2001.
- [10] Servetto, S. D., K. Ramchandran and M. T. Orchard, ”Wavelet Based Image Coding via Morphological Prediction of Significance”, **International Conference Proceedings - Image Processing**, Vol. 1, pp. 530 -533 vol. 1, 1995.
- [11] Shapiro, J. M., “Embedded Image Coding Using Zerotrees Of Wavelet Coefficients”, **IEEE Trans. on Signal Processing**, Vol. 41, No. 12, pp. 3445-3462, 1993.
- [12] Zhong, J. M., C. H. Leung and Y. Y. Tang, ”Wavelet Image Coding Based on Significance Extraction Using Morphological Operations”, **IEE Proceedings - Vision, Image and Signal Processing**, Volume: 146 Issue: 4, pp. 206 -210, 1999.

附錄

