

以形狀為基礎之葉子影像檢索系統

許志祥 石昭玲

中華大學 資訊工程學系

新竹市東香里六鄰五福路二段 707 號

E-mail: m9102055@chu.edu.tw

摘要

隨著週休二日的實施，喜愛登山踏青的人也愈來愈多了，接觸野生植物機會隨之增加。認識植物和蒐集葉子標本成為鄉土教學寓教於樂的一部份。隨著數位相機的普及，葉子標本也跟著數位化。隨著數位圖書館的技術日漸成熟，以影像內容為檢索特徵 (content-based image retrieval) 來搜尋相關資料已非難事。如何從眾多雜亂的葉子影像資料庫中，找尋出相似葉形的圖檔，是我們研究的主題。在本論文中提出一個以形狀為基礎特徵的葉形檢索系統。本檢索系統將包含三個部分，第一個部分做葉子切割，利用色彩資訊將葉子的形狀從影像中切割出來。第二個部分為特徵擷取，本論文提出了一個新的區域特徵 - 圓形標靶特徵 (dartboard feature)，並且引入了徑角轉換 (angular radial transform) 及葉子輪廓的一階導數 (derivative) 特徵來擷取每一個葉子的形狀特徵；最後我們結合圓形標靶特徵 (dartboard feature) 和一階導數 (derivative) 的優缺點，提出一個新的檢索比對方式，跳脫以往只比較單一輪廓特徵 (contour feature) 或區域特徵 (region feature) 的缺失，以提昇整體葉子檢索系統的檢索正確率。

關鍵詞：content-based image retrieval，葉子形狀，圓形標靶特徵。

1 緒論

隨著週休二日的實施，國人從事戶外登山踏青的人數眾多，接觸野生植物機會也增加，四時落葉之美更成為常見攝影藝術題材之一。除此之外，採集葉子標本和分辨不同

葉形也成為認識植物的基本課程。隨著數位相機和網際網路的普及，與葉子相關的圖片和網站更是多如繁星。也許有一天，你一時興起拿著相片要找尋與圖中葉子相似的圖片，求助於諸如 Google[1] 之類的檢索系統，或是透過國立自然科學博物館的植物博覽網網站[2]等專業植物網站時，發現這些檢索引擎都是需要輸入植物名稱或點選植物學名才可查詢，不知如何開始的你此時所能做的就是望著照片興嘆。

以內容為基礎的影像檢索系統最為著名莫過 IBM 所推出 QBIC [3, 4, 5] 的檢索系統，利用圖例中色彩資訊和紋理來找尋相關圖片。甚至像 ETL 美術館所用 ART MUSEUM [6, 7] 這款軟體，不須輸入圖片，也可以透過使用手繪物體大致外形來檢索藝術畫作。其他影像檢索系統如 Virage [8, 9]、MARS [10 - 14]、WebSEEK [15, 16] 等也如雨後春筍般的掘起。而這些影像檢索系統的成功，足以驗證以內容為基礎 (content-based) 的影像檢索技術已日漸成熟與實用。就因如此，我們認為建立一個利用圖片內容為基礎的植物葉子影像檢索系統是可行的，也可讓對於植物方面沒有相當認知的民眾按圖索驥得到想要的葉子圖片。

由於葉子顏色大多偏綠色，所以用色彩資訊來檢索葉子影像是太適合的。但是植物世界中除花、果之外，就屬葉子的形狀最為多彩多姿，型態變化也最多種，所以我們採用葉子形狀來當作檢索特徵。在本論文中主要在探討何種形狀描述子 (shape descriptor) 比較適合用來區分和檢索不同的葉形。同時針對各形狀描述子的優缺點，本論文亦提出一個全新的形狀描述子來補其不足，以期達到最佳的檢索結果，提供使用者最正確的植物葉形相關圖片資訊。

2 相關研究

由於葉子為平面構造，因此本論文針對二維的形狀描述法做深入的解析。我們希望在描述物體外形特徵時，不會因為物體在圖片中位置不同，方向不同或是大小不同，而使表示法產生不一致的現象；因此對於穩定的形狀特徵而言，必須不受位移(translation invariance)、旋轉(rotation invariance) 和大小(scale invariance)影響，同時對物體非剛體的形變和外雜訊具有強韌性。Dengsheng Zhang 與 Guojun Lu [17]認為形狀特徵可依描述對象的性質大致區分為兩種：區域性(region-based)特徵和輪廓性(contour-based)特徵。區域性特徵是用來描述物體內部區域點的分佈，以整個區域裡的點計算出形狀特徵；輪廓性特徵則利用邊緣上的點來表達物體的外形。隨著檢索影像的特性，所用的特徵也不同。下面列舉幾個常用的形狀特徵和應用形狀特徵在葉形檢索系統的例子。

2.1 質心距離特徵

質心距離特徵為一種穩定的輪廓形狀特徵。其原理在於物體的外形質心存在於物體中的位置不會隨著物體平移或旋轉而改變，故邊緣上所有點相對於質心的座標恆定。欲求質心距離必先取得外形質心的座標 (x_c, y_c) ，質心座標 (x_c, y_c) 求法如下：

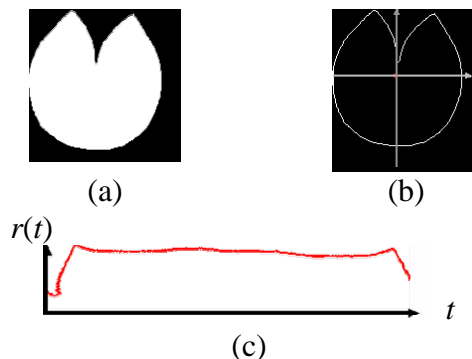
$$(x_c, y_c) = \left(\frac{\sum_{i=0}^N x_i}{N}, \frac{\sum_{i=0}^N y_i}{N} \right),$$

其中 $i=0, 1, 2, \dots, t, \dots, N-1$, N 為邊緣點總數， (x_i, y_i) 為第 i 個邊緣點的座標；則第 t 個邊緣點 (x_t, y_t) 的質心距離 $r(t)$ (centroid-contour distance, CCD) (圖一) 可表為

$$r(t) = \sqrt{(x_t - x_c)^2 + (y_t - y_c)^2}$$

以順時針(或逆時針)方向取 N' 個等圓心角的點，以這些邊緣取樣點之質心距離當做一個

物體的質心距離特徵[17, 18, 19](圖一(c))。



圖一：(a)心形葉,(b)質心和質心座標與(c)其質心距離特徵。

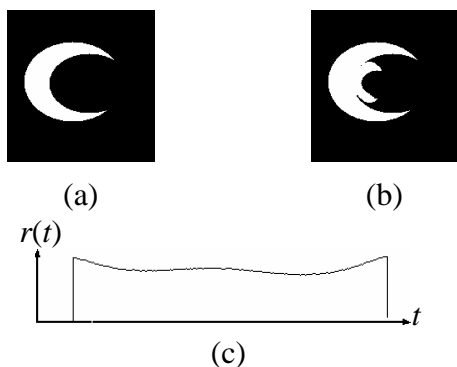
為使縮放效應不致讓同一種形狀產生兩種以上的描述方式，通常會以最大的質心距離為基準，正規化所有邊緣上的點的質心距離在 0 至 1 的範圍內。CCD 曲線會因旋轉產生平移，所以比對 CCD 曲線須平移 j 次，使兩曲線盡量契合。兩個形狀 q 、 s 質心距離特徵的差異性 D_c 可表為

$$D_c = \min\{D_1, \dots, D_j, \dots, D_N\},$$

其中 D_j 表 q 之質心距離曲線平移 j 次和 s 質心距離曲線的差異為

$$D_j = \frac{\sum_{i=0}^N |r_q((i+j) \bmod N) - r_s(i)|}{N}.$$

Z.Wang 和 D. Feng 於 2002 年提出一套葉形檢索系統架構[20]，利用 CCD 特徵配合離心率(eccentricity)特徵來檢索葉子影像資料庫，並取葉子骨架和最靠近骨架之葉尖端點模擬葉脈和葉緣之交會處做為 CCD 曲線的起始點，來解決 CCD 旋轉和比對的問題；然而骨架容易因為雜訊產生偏移，此方法只比對幾個葉尖端點為起點的 CCD 特徵，若所取葉尖端點並非為兩 CCD 最佳契合點，反而可能加大比對的誤差。如圖二所示，月和熱帶魚屬不同形狀的非凸邊形，但是兩 CCD 曲線卻相近。故 CCD 特徵對於凸邊形的描述比較完整，但是無法完整表達非凸邊(Non-convex)形內凹區域的形狀。



圖二：(a)月和(b)熱帶魚具有相同的 CCD 曲線。

2.2 面積型區域特徵

物體邊緣上的點除了可以提供質心距離的資訊，我們也可利用質心和相鄰兩個等圓心角邊緣上兩點 \mathbf{p}_1 , \mathbf{p}_2 三點所夾之三角形面積(Area)來做為區域性特徵 A [19]。

$$A = \frac{1}{2} |x_1 y_2 - x_2 y_1|$$

其中 $\mathbf{p}_1 (x_1, y_1)$, $\mathbf{p}_2 (x_2, y_2)$ 均為 $\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2$ 之質心座標。如同質心距離特徵一樣，取樣數越多，這些以順時針(或逆時針)方向排列的三角形區塊所拼湊的圖形會越近似原圖。但面積特徵會隨物體大小和旋轉產生不一致的情況，故必須透過富立葉描述子(Fourier descriptor)來應用這些資訊。

2.3 富立葉描述子

對任意一維的形狀特徵函數 $u(t)$ ，其富立葉轉換係數 a_n [17, 18, 19]可表為

$$a_n = \frac{1}{N} \sum_{t=0}^{N-1} u(t) \exp(-j 2\pi n t / N),$$

$n=0, 1, \dots, N-1$, N 為取樣個數。若原圖經過旋轉，特徵波形會跟著平移，需要校正波形位置才能比對特徵。對一維富立葉轉換而言，平移前和平移後訊號的頻譜不變，利用此特性免去圖形比對的困擾。而圖形縮小放大所產生頻譜振幅 $|a_n|$ 的改變，則可除以富立葉頻譜的 DC 值(a_0)來正規化 $|a_n|$ ；正規化後

的富立葉頻譜係數 $|b_n|$ 和 $|a_n|$ 的關係為：

$$|b_n| = \frac{|a_n|}{|a_0|}$$

利用此性質去分析質心距離(CCD) (2.1 節)或面積(area)特徵(2.2) [17, 18, 19]而成為新的富立葉描述子 \mathbf{f} ：

$$\mathbf{f} = [|b_1|, |b_2|, \dots, |b_{N-1/2}|]$$

兩個形狀 q 、 s 富立葉描述子的差異 D_f ：

$$D_f = \sum_{n=0}^{(N-1)/2} \left| |b_n|_q - |b_n|_s \right|$$

2.4 極座標表示法

描述物體區域中點分佈的位置除了傳統笛卡爾座標表示法(Cartesian coordinate)之外，也可以用極座標(polar coordinate)來表示。極座標中心可為前面所提物體外形質心或區域質心。本節所提極座標表示法是以區域質心(x_{cm} , y_{cm})為中心，由離區域質心之距離 r 與 $\theta=0^\circ$ 所夾角度來表達點的位置(r , θ)。若已知物體 I 實際所佔面積 M 則其區域質心(x_{cm} , y_{cm})為

$$(x_{cm}, y_{cm}) = \left(\frac{\sum x_i}{M}, \frac{\sum y_i}{M} \right),$$

其中(x_i , y_i)表第 i 個取樣點的笛卡爾座標。則笛卡爾座標轉換至極座標公式如下：

$$r = \sqrt{(x - x_{cm})^2 + (y - y_{cm})^2}$$

$$\theta = \arctan((x - x_{cm}), (y - y_{cm}))$$

極座標表示法優點是不受圖形平移影響，所有物體上面的點之質心距離不因圖形旋轉而有所改變。因此不少形狀描述特徵諸如徑角轉換(Angular Radial Transform)和通用富立

葉描述子(generic Fourier descriptor)均利用此一特性來做進一步的衍生。

2.4.1 徑角轉換

徑角轉換(Angular Radial Transform, ART)為在極座標單位圓中與半徑和角度變化相關的一種 2D 複數轉換，其係數可用來描述形狀內像素(pixel)的構成 [21, 22, 23]。ART 係數 F_{nm} 定義為：

$$\begin{aligned} F_{nm} &= \langle V_{nm}(\rho, \theta), f(\rho, \theta) \rangle \\ &= \int_0^{2\pi} \int_0^1 V_{nm}^*(\rho, \theta) f(\rho, \theta) \rho d\rho d\theta \\ &= \int_0^{2\pi} \int_0^1 A_m(\theta) R_n(\rho) f(\rho, \theta) \rho d\rho d\theta \\ &= ARTM[m][n] \end{aligned}$$

其中 $f(\rho, \theta)$ 為二值影像在極座標的布林值，白點為 1，黑點則為 0。 $A_m(\theta)$ 和 $R_n(\rho)$ 為 ART 基底函式中角度和半徑變化的函式：

$$\begin{aligned} A_m(\theta) &= \frac{1}{2\pi} \exp(jm\theta) \\ R_n(\rho) &= \begin{cases} 1 & n=0 \\ 2\cos(\pi n\rho) & n \neq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

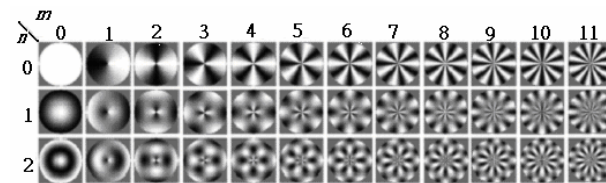
m 、 n 值分別代表 ART 的角度係數和半徑係數。圖三[21, 22, 23]表示 ART 基底函數實部變化的特性。為了不受形狀縮放影響，通常需將 ART 係數正規化，將每個 ART 係數除以 $m=0$ 、 $n=0$ 的 ART 係數即為 ART 描述子：

$$ArtDE[i] = ArtM[m][n] = \frac{ArtM[m][n]}{ArtM[0][0]},$$

其中 $i=0,1,2,\dots,n \times m-1$ 。在 MPEG-7 所訂定的 Region-Based Shape Descriptor 中，採用 35 個 ART 係數 ($m=12$ 、 $n=3$) 來表達物體區域的特徵。兩個形狀 q 、 s 之 ART 特徵的差異 Art_dif 為

$$Art_dif^{q,s} = \sqrt{\sum_{i=0}^{34} (ArtDE_q[i] - ArtDE_s[i])^2}$$

ART 特徵適用於檢索對稱性較好的物件，常被用在圖形中有空缺或是由多個形狀所組合成的圖形如商標。但在現實生活中並非所有物體都有對稱性，在非對稱形狀的檢索上，效果較差。



圖三：ART 基底函數實部變化情形($m=12$ 、 $n=3$) [21, 22, 23]。

2.4.2 通用富立葉描述子

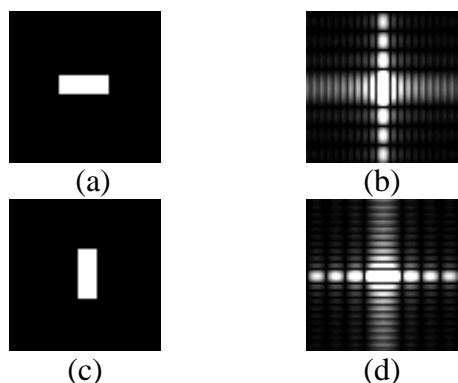
在笛卡爾座標做二維富立葉轉換，平移物體不致於改變富立葉頻譜；但若物體有旋轉，富立葉頻譜相位也會跟著旋轉(圖四)。在笛卡爾座標旋轉 t 次後的圖形，相當於在極座標 θ 座標上平移 t 單位。基於以上特性，通用富立葉描述子(generic Fourier descriptor)[24]是將影像轉換到極座標(polar coordinate)表示，並利用二維富立葉轉換，以物體最小外接圓為範圍，將形狀的區域特徵轉換為頻譜來分析。二維極座標富立葉轉換 $PF(\gamma, \phi)$ 可表為：

$$PF(r, \phi) = \sum_{r=0}^R \sum_{i=0}^T f(\rho, \theta_i) \times \exp \left[-j2\pi \left(\frac{\rho}{R} r + \frac{2\pi i}{T} \phi \right) \right]$$

其中 $0 \leq \rho < R$, $0 \leq i < T$, $\theta_i = \frac{2\pi i}{T}$ ； $f(\rho, \theta_i)$ 為二值影像在極座標的布林值，白點為 1，黑點為 0； R 為半徑解析度， T 為角度解析度。為了不受縮放和旋轉效應影響，只取富立葉係數的振幅部份，所有極座標富立葉係數除以頻譜 DC 值，最後極座標富立葉頻譜第一個係數除以最小外接圓面積來正規化，這些正規化後的係數，即為通用富立葉描述子(GFD)。

$$GFD = \left\{ \frac{|PF(0,0)|}{Area}, \frac{|PF(0,1)|}{|PF(0,0)|}, \dots, \frac{|PF(m,n)|}{|PF(0,0)|} \right\},$$

其中 m 為最大半徑頻率， n 為最大角頻率，Area 為物體最小外接圓面積。經過實驗驗證[24]，GFD 在形狀縮放、旋轉檢索效果優於傳統一維特徵富立葉描述子，且適用於商標檢索；但對於不同視角下透視效應(perspective)的相似形狀檢索，GFD 檢索效果較差。



圖四：(a)長方形，(b)圖(a)之富立葉頻譜
(c)圖(a)旋轉 90°，(d)圖(c) 之富立葉頻譜。

2.5 一階導數

CCD 描述法一般至少需要用 120~250 多個邊緣上的點來趨近一個形狀輪廓。由於比對 n 個 CCD 描述子，為需要 $O(n^2)$ 的運算時間。CCD 龐大的描述子數目，造成特徵比對時間的浪費。除了利用富立葉描述子外可用來降低比對時間，也可藉由相鄰兩邊緣點 CCD 特徵的差值，即一階導數(derivative, Der)來描述物體的輪廓[25]。要如何取得 Der 特徵，先取物體輪廓之外形質心作為最小外接圓形圓心，以最大質心距離為半徑涵蓋住整個影像資料；利用極座標轉換影像為 64×64 大小之 $r-\theta$ 座標影像以降低描述子數目。再將轉換後的結果，使用邊緣偵測的方式取得邊緣影像 s (圖五)；令影像 s 之邊緣偵測結果為 E^s ，且 e_{mn}^s 等於 0 或 1， $\ell_s(n)$ 為邊緣曲線，則 L^s 可定義為：

$$\ell_n^s = \max_m \{m | e_{mn}^s = 1\}, \text{ for } n = 0, 1, \dots, 63.$$

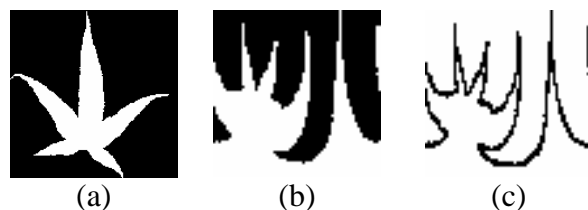
則此 64 個一階導數特徵為 der^s ：

$$\text{der}_n^s = \ell_n^s - \ell_{n+1}^s.$$

檢索形狀 q 與比對形狀 s 之間的一階導數特徵向量之差異定義如下：

$$\text{Dis_der}^{q,s} = \min_t \sum_{n=0}^{63} |\text{der}_n^q - \text{der}_{n'}^s|$$

其中 $n' = (n+t)$ 除以 64 的餘數， $t = 0, 1, 2, \dots, 63$ 。經過實驗證明[25]，發現用最精簡的 64 個 Der 值不僅可完整描述物體的外形，同時特徵比對時間也較 CCD 特徵來得少。



圖五：(a)楓葉及(b)轉換到 64×64 之 $r-\theta$ 座標。 (c)圖(b)之邊緣影像。

3 二維外形特徵擷取

在此章節，將描述本論文所提出的 2D 模型特徵擷取的方法。本論文除提出了圓形標靶頻譜特徵(dartboard feature)這一個新特徵之外，另外提出了一個新的檢索比對方式來整合一階導數(Der)和圓形標靶整合頻譜特徵(Dar)，使得此新的檢索比對方法同時考量物體形狀的區域和輪廓特性。

3.1 圓形標靶頻譜特徵

承第二章所提，以極座標表示物體所有點的絕對位置可以避免物體平移的問題。因此我們站在極座標的觀點來分析物體的形狀，提出一個以極座標為基礎的新形狀特徵向量“圓形標靶特徵”(dartboard feature)，用以描述物體的形狀特徵。

首先，我們定義圓形標靶其扇型網格的位置，將二值化影像從笛卡爾座標描述轉換為以物體區域質心為中心的極座標表示。若物體的二值化極座標影像 F 中有物體存在，則定義 $f_{r\theta} = 1$ ，反之 $f_{r\theta} = 0$ 。再以物體區域質心為中心，取物體的最小外接圓，並以其半徑將物體切割成 N 段，並依順時針方向，將圓周劃分為 M 等分，物體影像則被等分為 $N \times M$ 個扇形區域(或稱扇形網格，如圖六)，在此扇形區域內，若有物體區塊存在，則該網格設為 1(白色)；不包含物體扇形區域，則該網格設為 0(黑色)。如圖六所示可看出 $N=4$ 、 $M=32$ 時，葉子白色網格的分佈較 $N=3$ 、 $M=16$ 白色網格的分佈更接近原圖葉子形狀。但此方法有其缺失：在單一扇形網格中，即使葉子實際僅僅切到網格的一小部分，網格也設為 1；不論葉子在該網格所佔面積多少，均將該網格設為 1。且對外圍網格而言，因網格本身面積較大，若有少數葉子區塊落於網格之中，也會將該網格設為 1，而造成極大的誤差。為改善以上的缺失，在本論文中，我們將改以定義為在扇形網格中，葉子落在此扇形網格所佔面積和實際扇形網格的面積之比值來取代單純的 0 或 1 的值。

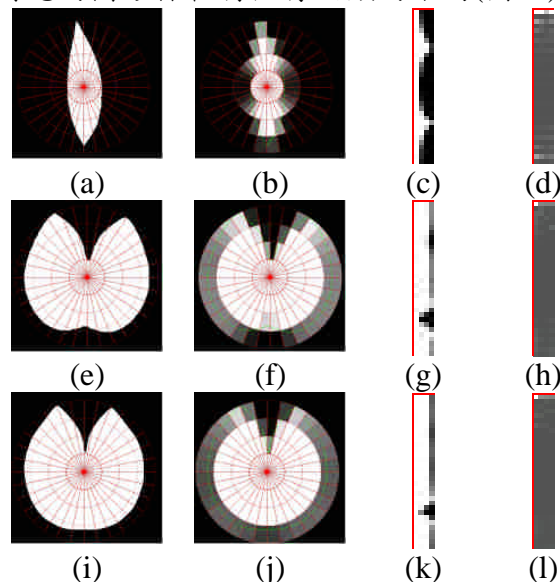


圖六：白色扇形網格之分佈。(a) $n=3$, $m=16$ 。(b) $n=4$, $m=32$ 。

針對物體的形狀，我們新提出的圓形標靶特徵(dartboard feature)定義如下：由極座標 0° 開始，將物體以最小外接圓半徑切割成 N 段，以葉子質心為中心，依順時針方向，將圓周劃分為 M 等分；其第 m 個圓心角，在半徑第 n 等分的扇形網格之圓形標靶特徵 T 定義為：

$$t_{mn} = \frac{s_{mn}}{a_{mn}},$$

其中 a_{mn} 表扇形網格 (m, n) 的面積， s_{mn} 為扇形網格 (m, n) 中葉子所佔之面積。將 t_{mn} 值用一個 $M \times N$ 的影像來表現其分佈，即為圓形標靶特徵。我們發現不同形狀的 t_{mn} 值分佈圖和相對應的圓形標靶特徵有明顯的不同(圖七)。



圖七：葉子其 t_{mn} 分佈及其圓形標靶特徵比較。(a)眼形葉。(b)圖(a) t_{mn} 值分佈。(c)圖(a)圓形標靶特徵圖。(d)圖(a)圓形標靶頻譜。(e)心形葉 1，(f)圖(e)之 t_{mn} 值分佈。(g)圖(e)圓形標靶特徵圖。(h)圖(e)圓形標靶頻譜。(i)心形葉 2，(j)圖(i)之 t_{mn} 值分佈。(k)圖(i)之圓形標靶特徵圖。(l)圖(i)之圓形標靶頻譜。

故我們利用圓形標靶特徵圖和相對應之半徑角度索引圖所提供的資訊當做新的特徵，以區別不同形狀的葉子。圓形標靶特徵 T 之富立葉轉換後的頻譜 FT 計算如下：

$$ft_{uv} = \frac{1}{NM} \sum_{r=0}^{N-1} \sum_{\theta=0}^{M-1} t_{mn} e^{j2\pi(uv/N + vm/M)}$$

其中 $u=0, 1, 2, \dots, N-1$, $v=0, 1, 2, \dots, M-1$ 。將圓形標靶特徵利用二維富立葉轉換去分析，實驗發現每個形狀的圓形標靶特徵均含有特定的富立葉頻譜，可用來表達葉子的形狀。形狀相似的葉子可擷取到相似的頻譜分佈；兩形狀相異的物體，其頻譜分佈差異性也越大(如圖七)。搜尋圖形 q 和資料庫中欲比對之圖形 s 其差異程度可藉由兩圓形標靶

富立葉頻譜係數的差值求得：

$$Dis_t^{q,s} = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} |t_{mn}^q - t_{mn}^s|$$

圓形標靶特徵富立葉頻譜係數的 $Dis_t^{q,s}$ 差異越小，兩物體形狀越相近。

3.2 整合型形狀比對法

傳統質心距離特徵(CCD)和一階導數(Der)特徵向量並無法完整描述外形質心落在非凸邊形之外的形狀。為解決此一問題，我們可以考量結合區域特徵來比對形狀。我們在分析各種形狀特徵時，發現如利用檢索葉子 q 與比對葉子 s 之 Der 特徵之差異值 $Dis_der^{q,s}$ 乘上兩葉子的圓形標靶特徵富立葉頻譜之差異值 $Dis_t^{q,s}$ ，做為代表形狀 q 、 s 之區域和輪廓特徵的差異。透過這樣的比對方式可結合 Der 和圓形標靶富立葉頻譜的優點，以提昇整體的檢索正確率，也可彌補一階導數在描述非凸邊形資訊不足的缺點。此新特徵比對法計算兩葉子 q 、 s 形狀差異 $Dis_Der_t^{q,s}$ 公式如下：

$$Dis_Der_t^{q,s} = Dis_der^{q,s} \times Dis_t^{q,s}$$

$Dis_Der_t^{q,s}$ 差異越小，表示兩形狀在區域和輪廓的性質越相近。

4 葉形擷取

利用葉子和背景在亮度上的差異，可使用分水嶺法取得葉子外形剪影的二值化影像。其中 Y(亮度)和 RGB 色彩的轉換公式：

$$Y = 0.299 \times R + 0.578 \times G + 0.114 \times B$$

在本論文所使用的葉子資料庫中，絕大部分的葉子的亮度都低於 254，故 Y 值大於 254 的區域屬於背景，將背景設為黑色，其他設為白色。再使用區域成長法將二值化影像自外圍合併非葉子部份，忽略葉子影像中間黑

色部分，以避免葉子表面的空洞會影響質心的位置。

5 實驗結果

在這個章節裡，將介紹我們所採用的資料庫以及所進行的實驗。一般使用的量測檢索正確率標準為 Recall 與 Precision [26] 計算公式如下：

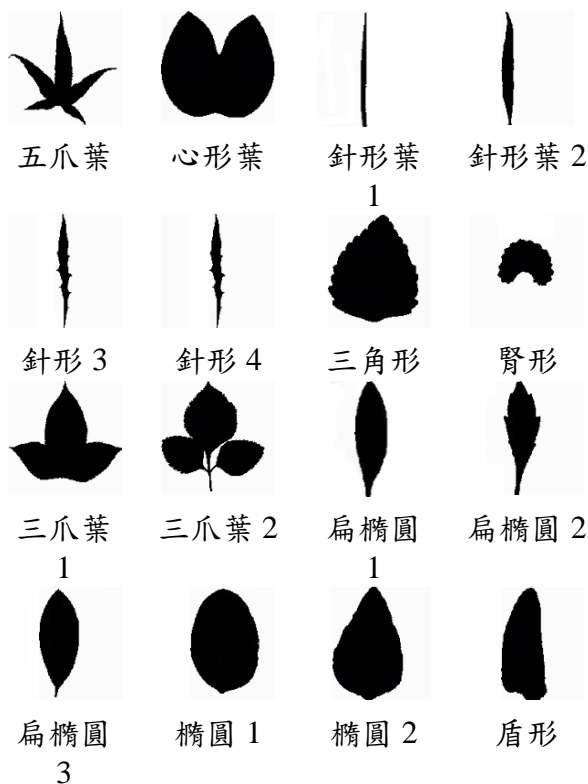
$$recall = \frac{N}{T} \text{ 與 } precision = \frac{N}{K}$$

其中， $recall$ 所定義的檢索範圍 T 是全部與搜尋圖形同一類圖檔個數， $precision$ 則不分是否與檢索圖形同類，所有檢索出來圖形總數排名前 K 名當做檢索範圍， N 為檢索範圍中與搜尋圖檔同屬一類的個數。

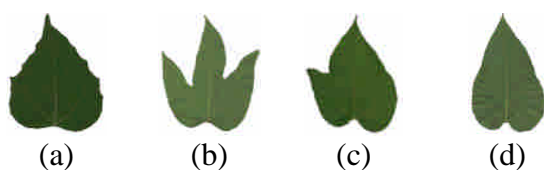
5.1 葉形檢索實驗

在眾多不同葉子之間其外形上面仍有相似之處，所以無法單用葉形來做植物分類。但是我們可以找到相似葉形的影像，如圖八所示，我們將資料庫依其外形概分為 9 大類，分為五爪掌形、心形、針形、三角形、腎形、三爪掌形、扁橢圓、橢圓、盾形。我們將相似外形歸為同一類，然後對相似外形的葉形做檢索比對。若某植物包含兩種以上的葉形，則挑選一種葉形當作全部該植物葉子的形狀(如圖九)。此葉形資料庫包含五爪掌形葉 20 張、心形 20 張、針形 300 張、三角形 20 張、腎形 20 張、三爪掌形葉 40 張、扁橢圓 380 張、橢圓 1160 張、盾形 20 張。將所有形狀特徵帶入此資料庫，以各葉形類別圖片總張數為範圍，作葉形影像檢索。表一為各形狀特徵在資料庫 Leaf 上面的整體檢索正確率。分析各特徵在 Leaf 各葉形中 Recall 的分佈曲線(圖十)，可看出一階導數(Der)在心形、三角形、腎形和盾形等非橢圓形的葉形檢索具有最佳的正確率。唯在檢索針形葉、扁橢圓形、橢圓形時，Recall 值低於其他的區域形狀特徵。因扁橢圓形、橢圓形等邊緣變化緩慢平滑的形狀，Der 無法細

分。除此之外 Der 特徵在檢索末端兩葉較小的五爪掌形葉，容易與三爪掌形葉混淆以致無法分辨，故宜用 ART 特徵最佳。但 ART 特徵在檢索心形葉時容易和近乎圓形的葉形混淆。因為心形葉和近乎圓形的葉形兩種圓形標靶頻譜差異很大，可利用圓形標靶特徵加以區分。圓形標靶特徵在檢索心形葉和腎形葉兩種葉形的正確率遠優於其他區域性形狀特徵。



圖八：葉子之九大外形分類。



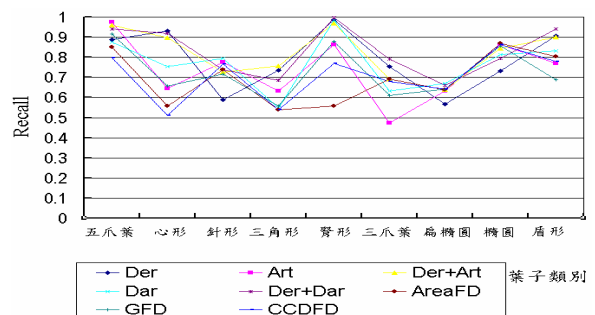
圖九：廣東油桐之 4 種不同葉子形態。

從圖十可知，區域性特徵相較於 Der 對於扁橢圓形、橢圓形較為敏感，可用區域性特徵來細分。故整合區域特徵和 Der 特徵的新比對法來解決 Der 在扁橢圓形、橢圓形的葉形檢索上的缺失，以提高檢索正確率，其中又以搭配 Dar 特徵為最佳，此新比對法在 Leaf 資料庫整體檢索正確率較 Der 搭配 ART 的新

比對法佳，且遠優於僅使用單一形狀特徵的檢索方式。

表一：各特徵在 Leaf 資料庫上的整體檢索正確率(Recall)的表現。

	Recall
ART	0.7364
一階導數(Der)	0.7879
質心距離富立葉描述子 (CCDFD)	0.7046
圓形標靶(Dar)	0.7668
Dar + Der	0.8292
ART + Der	0.8200
面積富立葉描述子	0.6942
通用富立葉描述子	0.7246



圖十：資料庫 Leaf 各類別中的檢索正確率比較。

5.2 縮放、旋轉、形變檢索測試

為了證明我們所提出新的形狀特徵不僅適用於葉形檢索，也可應用於其他形式的影像檢索。我們引用 MPEG-7 形狀測試資料庫來驗證。MPEG-7 形狀測試資料庫可分為 A1(縮放)、A2(旋轉)、B(相似度)測試資料庫：其中資料庫 A1 有 70 種不同形狀類別，每種形狀包含原圖、原圖縮放 0.3、0.25、0.2、0.1 和 2 倍等 6 種不同大小影像，共 420 張；資料庫 A2 有 70 種不同形狀類別，每種形狀包含原圖、原圖旋轉 9°、36°、45°、90° 和 150° 等 6 種不同旋轉角度的影像，共 420 張。資料庫 B 有 70 種不同形狀類別，每種類別包含 20 種相似的形狀，共 1400 張影像。Recall 和 Precision 值的檢索範圍，除資料庫 B 是採用 bull-eyes 的檢索方式，以前 40 張為

範圍，其餘資料庫以檢索範圍前 6 名作計算。

表二：各特徵在 MPEG-7 測試資料庫檢索
正確率(Recall)的表現。

	Recall		
	A1	A2	B
ART	0.9713	1	0.6834
Der	0.9570	0.9932	0.7748
CCDFD	0.9328	0.9873	0.6633
Dar	0.9829	1	0.7089
Dar + Der	0.9857	1	0.8212
ART + Der	0.9861	1	0.8031
面積富立 葉描述子	0.9428	1	0.6607
通用富立 葉描述子	0.9888	1	0.6734

如表二所示，我們所提的圓形標靶特徵(Dar)，不受縮放、旋轉影響，同時平均整體檢索正確率也高於前面所提的區域性形狀特徵；除此之外，結合 Dar 和 Der 新比對方式較只使用 Der 或其他單一特徵在 B 測試資料庫檢索正確率要來得高，也優於結合 Der 和 ART 差值相乘的比對方式。

6 結論與未來方向

本論文提出了圓形標靶特徵以及和結合一階導數和圓形標靶頻譜的新比對法，圓形標靶特徵主要概念為物體落在圓形標靶各扇形區域的面積和該扇形總面積的比例，透過富立葉轉換將此一資訊轉為頻譜分析。結合一階導數和圓形標靶的新特徵比對方式，則提供另一種兼具輪廓和區域性的形狀比對方式；以上兩個特徵比起傳統形狀特徵不論應用在葉子或是一般形狀影像的查詢，均有較佳的檢索正確率。此外，本論文依葉子形狀分類，整理不同植物但具相同葉形的葉子影像為同類，以期配合如葉脈紋理，對葉子影像分類和檢索方面作更進一步的探討。因此本論文的貢獻有：

(1) 提出一個嶄新且檢索率較高的形狀特徵擷取演算法。

(2) 提出整合既有區域性和輪廓性的形狀特徵的新比對方式。

未來的研究要考量葉脈紋理，配合形狀特徵，做植物葉子影像檢索的索引，擴大此檢索系統的應用範圍。

參考文獻

1. Google, <http://www.google.com>
2. 植物博覽網，國立台中自然科學博物館，<http://www.nmns.edu.tw/botany/home.php>
3. QBIC, the IBM QBIC project, Demo: <http://www.qbic.almaden.ibm.com/>.
4. M. Flickner, H. Sawhney, W. Niblack, J. Ashley, Q. Huang, B. Dom, M. Gorkani, J. Hafner, D. Lee, D. Petkovic, D. Steele, and P. Yanker, "Query by image and video content: The QBIC system," *IEEE Computer*, Vol. 28, No. 9, pp. 23-32, 1995.
5. C. Faloutsos, R. Barber, M. Flickner, J. Hafner, W. Niblack, D. Petkovic, and W. Equitz, "Efficient and effective querying by image content," *J. Intell. Inform. Sys.* Vol. 3, pp. 231-262, 1994.
6. T. Kato, T. Kurita, and H. Shimogaki, "Intelligent visual interaction with image database systems-toward multimedia personal interface," *J. Inform. Process.* Vol. 14, No. 2, pp. 134-143, 1991.
7. T. Kato, "Database architecture for content-based image retrieval," *SPIE Image Storage and Retrieval Systems*, Vol.1662, pp.112-122, 1992.
8. Virage, the project of Virage Inc., Demo: <http://virage.com/>.
9. J. R. Bach, C. Fuller, A. Gupta, A. Hampapur, B. Horowitz, R. Humphrey, R. Jain, and C. F. Shu, "The Virage image search engine: An open framework for image management," in *Proc. of SPIE Storage and Retrieval for Still Image and Video Databases IV*, pp. 76-87, San Jose, CA, USA, February 1996.
10. MARs, the Multimedia analysis and retrieval system developed at University of Illinois at Urbana-Champaign.

- 11.S. Mehrotra, Y. Rui, O. B. Michael, and T. S. Huang, "Supporting content-based queries over images in MARS," in *Proc. of IEEE Int. Conf. Multimedia Computing and Systems*, pp. 632-633, 1997.
- 12.Y. Rui, T. S. Huang, M. Ortega, and S.Mehrotra, "Relevance feedback: A power tool in interactive content-based image retrieval," *IEEE Tran. Circuits Systems Video Technology* (Special Issue on Interactive Multimedia Systems for the internet), Vol. 8, No. 5, pp. 644-655, Sept. 1998.
- 13.X. S. Zhou and T. S. Huang, "Image retrieval: feature primitives, feature representation, and relevance feedback," in *Proc. of IEEE Workshop on Content-Based Access of Image and Video Libraries, in Conjunction with CVPR'00*, pp. 10-14, 2000.
- 14.M. S. Lew, *Principles of visual information retrieval*, 2001.
- 15.WebSEEk, the World Wide Web oriented text/image search engine.
- 16.R. Smith and S. F. Chang, "Visually searching the web for content," *IEEE Trans. Multimedia*, Vol. 4, No. 3, pp. 12-20, 1997.
- 17.Dengsheng Zhang and Guojun Lu, "Review of shape representation and description techniques," *Pattern Recognition*, Vol.37, pp. 1-19, 2003.
- 18.Dengsheng Zhang and Guojun Lu, "Study and evaluation of different Fourier methods for image retrieval," *Image and Vision Computing*, Vol. 23, pp.33-49,2005.
- 19.Dengsheng Zhang and Guojun Lu, "Content Based Shape Retrieval Using Different Shape Descriptors: A Comparative Study," *Multimedia and Expo, ICME 2001. IEEE International Conference on*, pp.1139- 1142, 2001.
- 20.Z.Wang, Z.Chi, D.Feng,"Shape based leaf image retrieval," *Image and Signal Processing, IEE Proceedings*, Vol. 150, pp.34-43, 2003.
- 21.B. S. Manjunath, Philippe Salembier, Thomas Sikora, "Introduction to MPEG-7: Multimedia Content Description Interface," Wiley, pp.231-241, June 2002
- 22.ISO/IEC 15938-3: 2001, "Multimedia content description interface – Part 3 Visual," Version 1.
- 23.W. Y. Kim and Y. S. Kim, "A New Region-Based Shape Descriptor," TR#15-03, October 1999.
- 24.Dengsheng Zhang and Guojun Lu, "Shape-based image retrieval using generic Fourier descriptor", *Signal Processing: Image Communication* 17, pp.825-848, 2002.
- 25.J. L. Shih and L. H. Chen, "A New System for Trademark Segmentation and Retrieval," *Image and Vision Computing*, Vol. 19, pp. 1011-1018, 2001.
- 26.Y. Deng and B. S. Manjunath, " An efficient low-dimensional color indexing scheme for region-based image retrieval," in *Proc. of IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Vol. 6, pp. 3017-3020, 1999.