

基于区域色彩纹理特征描述和 DPF 匹配的图像检索

王桂婷 郭志芳 焦李成

(西安电子科技大学智能信息处理研究所 西安 710071)

摘要: 该文给出了一种彩色图像检索的新方法。在特征描述时, 首先划分连通区域, 进而求取勒让德色度矩和纹理共生矩阵, 获取区域的色彩和纹理特征(Regional Color and Texture, RCT); 在相似度匹配时, 将动态局部距离函数(Dynamic Partial distance Function, DPF)应用到动态区域匹配中。实验结果显示, 该 RCT-DPF 方法对彩色图像检索是有效的, 并且优于纹理共生矩阵、基于色彩连通的图像纹理检索方法和非 DPF 区域匹配的多特征描述方法。

关键词: 区域色彩纹理-动态局部距离函数; 勒让德色度矩; 纹理共生矩阵; 加权 DPF 匹配

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2008)05-1113-05

Image Retrieval Based on Regional Color-Texture Features Description and DPF Matching

Wang Gui-ting Guo Zhi-fang Jiao Li-cheng

(Institute of Intelligent Information Processing, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: A new method for color image retrieval is introduced in this paper. At first, the image is parted into some connected regions. Rational Legendre chromaticity distribution moments and texture co-occurrence matrices are computed to represent the color and texture features (Regional Color Texture: RCT). Then, Dynamic Partial distance Function (DPF) and dynamic regions matching are used to weight RCT features, for short RCT_DPF. Experimental results indicate that this method RCT-DPF has good performance in image retrieval. To compare with Texture Co-occurrence Matrices(TCM), Multi-component Co-occurrence Matrices(MCM) and RCT, RCT-DPF is better precision.

Key words: Regional Color Texture-Dynamic Partial distance Function (RCT-DPF); Legendre chromaticity distribution moments; Texture co-occurrence matrices; DPF matching

1 引言

随着多媒体和网络技术的迅速发展, 形成了巨量的图像库, 产生了快速准确地查找访问图像的需求, 基于内容的图像检索(Content-Based Image Retrieval, CBIR)技术应运而生。在图像的特征提取中, 已经提出了基于色彩、形状、色彩分布和纹理等多种不同方法。常用的颜色索引技术包括颜色直方图相交法(Color Histogram)^[1]、颜色相关矢量(Color Coherence Vectors, CCV)^[2]、分块颜色矩方法^[3]、主颜色法^[4]和新近提出的色度矩^[5, 6]等, 但这些方法都是注重图像的色彩信息, 缺乏纹理和形状信息。纹理从数学角度研究了图像区域中像素空间依赖关系, 作为一种不依赖于色彩或亮度而反映图像中同质现象的视觉特征^[7, 8], 其分析方法主要有两类: 结构分析法和统计分析法^[9]。结构分析法包括形态学算子、边界图等, 适于纹理较规则的图像。统计分析法

包括: 共生矩阵、Tamura 纹理特征、Wold 分解、马尔可夫随机场、分形模型、多分辨率分析方法如小波变换等等, 通过刻画亮度分布来表示纹理特征。但已有的纹理特征和人的相似性感知之间还存在较大差异, 并且依赖于具体的纹理特征进行图像检索, 应用范围较窄。要进一步提高检索精度及实用性, 必须综合考虑图像的色彩及其分布等其它视觉信息。总之, 单纯使用色彩、纹理和形状等某一种低层特征进行图像检索都会丢失信息, 很难得到理想的检索效果。

因而很多研究者都综合不同方面的特征进行检索。Huang 等^[10]提出了一种类似纹理共生矩阵的 Color Correlograms, 在一定程度上同时提取图像的色彩和空间信息, 但是各像素与其邻域的色彩和空间位置特征都必须同时计算, 计算复杂度较大; 杨育彬等^[11]提出了一种基于色彩连通的图像纹理检索新方法 MCM (Multi-component Co-occurrence Matrices), 先划分色彩连通区域, 然后对每个区域统计红(R)、绿(G)分量, 色调(Hue)分量和灰度分量的纹理共生矩阵, 该方法突出纹理信息, 适于纹理较明显的图像; 王涛等^[12]提出了一种基于色彩-空间特征的图像检索方法,

2006-10-18 收到, 2007-06-07 改回

国家 973 计划项目(2001CB309403), 国家自然科学基金重点项目(60472084)和陕西省自然科学基金项目(D70106020036)资助课题

对区域分割法划分的每个区域统计色彩均值、位置重心、形状大小、离散度和离心率特征,但该方法注重了形状信息,仍未充分表现色彩信息,较适于有明显目标的图像,不适合色彩变化丰富的图像。

在相似度匹配中,针对基于区域进行特征提取的图像检索,不同区域的特征如何对应是一个非常重要的问题。一种直接的方法是对两幅图像对应空间位置处的区域进行匹配,但当图像发生平移、旋转或者缩放时,对应的目标并不在相同的空间位置上,匹配结果有很大的偏差。而且对于不规则的区域划分,各个图像区域的形状、位置、大小是不确定的,常常无法进行空间位置一一对应的区域匹配。于是,Chen等^[13]将分割后的各个区域又合并成一个整体进行匹配;杨育彬等^[11]利用加权和归一化的方法将区域特征累加成一个特征向量后再与其它图像匹配;戴声扬和章毓晋^[14]提出了一种两层描述和非对称区域匹配的方法,对查询图像采用较为粗糙的分割结果,而对图像库的候选图像采用相对精细的分割结果,然后建立从精细区域到粗糙区域的多对一的映射进行区域匹配。这类方法回避了区域匹配,将各个区域特征累加构成代表整幅图像的一个整体后,再与其它图像进行匹配,因此增加了特征数量,消弱了特征的区域特色,无法充分展示区域划分带来的对应目标匹配针对性强的优势。

解决上述问题的一种常见方法是动态区域匹配^[15,16],即先分别求出两幅图像各个区域之间所有的匹配值,然后取最匹配的一个区域作为对应的匹配区域。但是,由于各个区域在图像中所占大小比重不同,一些比较小的或次要的区域参与匹配会影响图像的整体匹配效果;同时每个区域分别匹配导致距离匹配值过多,若提取综合多特征则相应的距离匹配值更多,多重累加导致了重要特征或目标匹配值不够突出,而非重要特征或目标匹配值占据了过多的分量。

本文把连通区域、色度矩和灰度共生矩阵3种方法结合起来,并将加权DPF应用到动态区域匹配中,得到了RCT-DPF方法。内容安排如下:第2节介绍了基于区域的色彩和纹理特征描述,第3节中讲述了加权DPF的动态区域匹配,第4节给出了实验结果,第5节为结束语。

2 特征描述

2.1 连通区域

将图像先均匀分块为若干个区域,再存储每一区域的纹理和色彩特征等。其中连通区域是由计算每个子块的主颜色,并根据色彩相关性来划分的,具体做法是:

(1)将图像转换到HSV色彩空间,并对HSV各分量分别量化为8、4和4等份,共128种色彩。

(2)根据用户检索时所满足的检索精度和时间,对图像选择分块个数及其分布,将图像均分为 $D \times D$ 个部分,本文取 $D=4$;

(3)统计各个子块各种色彩像素频度数,将像素最多的色彩作为该块的主色彩;

(4)根据各个子块的主色彩的相关性,划分上、下、左、右四连通区域。每个区域定义为一个“连通子区域”Part($j=1,2,\dots,K \times K$)。对于两种色彩A和B相关,需要满足下面条件之一:

(a)A和B属于同一色彩量级,即: $H_A=H_B, S_A=S_B, V_A=V_B$;

(b)A和B属于不同的色彩量级,但是满足 $3S_A+V_A=3S_B+V_B$,且 $|H_A-H_B|=1$;或 $H_A=H_B, S_A=S_B$,且 $V_A, V_B \in \{0, 1\}$ 。

对于色彩和纹理的特征提取,都是以各个连通子区域Part^j为处理对象,依次计算各子区域的相关特征。

2.2 基于区域的勒让德色度矩

为了获取图像的色彩特征,分别对图像各个连通子区域Part^j求取其勒让德色度矩(Legendre chromaticity distribution moments)。色度矩方法就是将图像转换到二维色度空间,获得色度值的系(chromaticity set)和不同色度值的二维统计直方图,进而求矩获得色彩信息。这里所描述的勒让德色度矩^[5,6]是基于区域特征的,更有利于提取和保存图像的色彩特征。

首先将归一化的rgb色彩空间改进为

$$\begin{aligned} r &= \frac{R + \delta}{R + G + B + 3\delta}, & b &= \frac{B + \delta}{R + G + B + 3\delta}, \\ g &= \frac{G + \delta}{R + G + B + 3\delta} \end{aligned} \quad (1)$$

其中 $\delta > 0$ 且接近于0值,是为了避免分母为0的特殊情况,本文中 $\delta = 0.001$ 。

将rgb色彩空间转换到二维空间:

$$(\text{rg}, \text{yb}) = \left(r - g, \frac{r}{2} + \frac{g}{2} - b \right) \quad (2)$$

由于(rg, yb)空间是由颜色组成的,色差的度量类似于人眼的色差度量,可以近似为一个色度空间。

在该色度空间中求取各像素的勒让德矩。在第 $j(j=1,2,\dots,K \times K)$ 个子区域Part^j中,基于勒让德多项式(Legendre polynomials) $L_n(x)$ 进行累加:

$$\lambda_{mn}^j = A_{mn} \sum_{l=0}^{MN-1} L_m^j(\text{rg}(l)) L_n^j(\text{yb}(l)) \quad (3)$$

其中 A_{mn} 为权系数,满足 $A_{mn} = (2m+1)(2n+1)/MN$; rg和yb为色度空间(rg, yb)中的值;取 $m+n=1,2$ 的5个有明确物理含义的低阶矩(如零阶矩表示物体的质量,一阶矩表示物体重心的位置信息,二阶矩包含有物体的方向信息,三阶矩含有非对称度信息,四阶矩含有峭度信息等)。于是 $\lambda_{mn}^j = \{\lambda_{mn}^j | m+n=1,2\}$ 就是图像第j个区域的色度矩特征。

2.3 基于区域的灰度共生矩阵

为了获取图像的纹理特征,分别对图像各个连通子区域Part^j求取灰度共生矩阵(Co-occurrence Matrix)。区域 $j(j=1,2,\dots,K \times K)$ 的灰度共生矩阵 $m^j(u, v)$ 表示一个灰度为u而另一个灰度为v的两个相距为 $(\Delta x, \Delta y)$ 且包含 $0, \pi/4, \pi/2,$

$3\pi/4, \pi, 5\pi/4, 3\pi/2, 7\pi/4, 2\pi$ 八个方向的像素对出现的次数。

本文计算图像每个子区域的八连通邻域的灰度共生矩阵,并计算能量、惯量、熵和匀度4个统计特征量,分别定义如下:

$$\text{能量 } E^j = \sum_{u=1}^U \sum_{v=1}^U [m^j(u,v)]^2 \quad (4)$$

$$\text{惯性 } I^j = \sum_{u=1}^U \sum_{v=1}^U (u-v)^2 m^j(u,v) \quad (5)$$

$$\text{熵 } S^j = -\sum_{u=1}^U \sum_{v=1}^U m^j(u,v) \log[m^j(u,v)] \quad (\text{当 } m^j(u,v) = 0 \text{ 时,有 } \log[m^j(u,v)] = 0) \quad (6)$$

$$\text{匀度 } H^j = \sum_{u=1}^N \sum_{v=1}^N \frac{m^j(u,v)}{1+(u-v)^2} \quad (7)$$

于是, $\{E^j, I^j, S^j, H^j\}$ 代表了图像第 j 个子区域的纹理特性。

3 相似度匹配

针对基于区域进行特征提取的图像检索,将加权局部动态函数DPF(Dynamic Partial distance Function)^[15,16]与动态区域匹配相结合进行相似度匹配。DPF即选取匹配值中最接近的前 t 或 T 个进行加权累加,优化特征值。具体而言,假设共有 r 个相似度匹配值 $(\Delta d_1, \Delta d_2, \dots, \Delta d_r)$,按照一定的优化原则选取其中最匹配的前 t 或 T ($t, T \leq r$) 个匹配值,代表所有特征的相似度距离。当 $t=r$ 时,就是一般的Minkowski-like距离度量;当 $t < r$ 时,即对众多匹配值做了优化,应用最接近的不完全的图像特征来度量。

本文图像间的匹配是两层匹配过程。第1层匹配是计算区域间的特征距离值 D_j :

$$D_j = w \left(\sum_{\Delta d_{ic} \in \Delta_i} \Delta d_{ic}^r \right)^{1/r} + (1-w) \left(\sum_{\Delta d_{it} \in \Delta_i} \Delta d_{it}^r \right)^{1/r} \quad (8)$$

其中 D_j 表示第 j 个区域内部的色彩和纹理特征匹配值之和。 Δd_{ic} 表示色彩的第 ic ($ic=1,2,3,4,5$) 个匹配值, Δd_{it} 表示纹理的第 it ($it=1,2,3,4$) 个匹配值, $\Delta d_{ic} \in \Delta_i$ 和 $\Delta d_{it} \in \Delta_i$ 表示DPF原则,色彩和纹理特征计算时 t 分别为4和3, w 是色彩权值。

第2层匹配是计算图像之间的特征匹配值 Δ :

$$\Delta = \sum_{D_j \in \Delta_T} W_j D_j \quad (9)$$

其中 Δ 是两幅图像之间的总的相似度匹配值; W_j 是对应区域 D_j 的权值,取值原则是各个区域在整幅图像中所占的比例值,且满足 $\sum_{j=1}^T W_j = 1$; $D_j \in \Delta_T$ 表示DPF原则,连通区域总数为 K , T 按照以下方式取值:

$$T = \begin{cases} K, & \text{当 } K < 3 \text{ 时} \\ 8, & \text{当 } K > 10 \text{ 时} \\ K * 70\% (\text{取整数}), & \text{其它} \end{cases} \quad (10)$$

寻找查询图像 Q 的第 j_1 个区域和图像库中图像 R 的对应

区域 j_2 是一个动态过程。设 Q 有 m 个主要区域, R 有 n 个主要区域,则二者的相似度匹配算法描述如下:

(1) 令 $\Delta(Q, R) = 0$, 建立相似度矩阵 $\Delta_{mn} = [D_{j_1, j_2}]_{m \times n}$, 其中 D_{j_1, j_2} 是 Q 的第 j_1 区域与 R 的第 j_2 区域间的相似度;

(2) 在相似度矩阵 Δ_{mn} 中寻找最匹配的元素 D_{j_1, j_2} , 则 j_1 对应 j_2 , $\Delta_{mn} = \Delta_{mn} + w_i D_{j_1, j_2}$;

(3) 去掉相似度矩阵 Δ_{mn} 的第 j_1 行和第 j_2 列。如果矩阵的行或列数为0,则停止并返回相似度 $\Delta(Q, R)$; 否则转到步骤(2)继续执行。

按照上面相似度的计算公式, $D(Q, R)$ 与 $D(R, Q)$ 的值一般是不同的。图像 Q 与 R 的总体相似度定义为

$$\Delta = [\Delta(Q, R) + \Delta(R, Q)] / 2 \quad (11)$$

4 实验

本文实验采用COREL图像库^[17],共有1000幅RGB彩色图像,划分为非洲生活、海滩、山水、公共汽车、恐龙、花朵、建筑、冰山、食物和大像等10大类型,每类图像有100幅。原始图像格式为JPEG,尺寸有 256×384 和 384×256 两种。

为帮助用户在特征选择上增强针对性,在查询界面上提供了自定义色彩比例参数的查询方式。用户可根据指定主要对象的感兴趣程度,调节相应的色彩特征的重要程度,即权值 w 。当用户不做选择时,默认权值为50%。这为用户提供了更大的查询灵活性,可使用户更加准确地表达所要查询图像的内容,对于色彩或纹理特征明显的图像可提高查询精度。权值不同时对图像检索结果的影响见图1示例。图1中左边第1幅图像为待查询图像,也是检索到的第1幅图像,随后的检索结果按从左到右相似性递减的顺序排列。

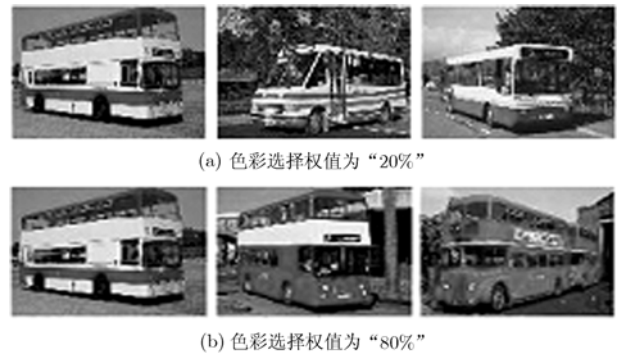


图1 权值不同时对公共汽车的检索结果比较

从图1中可以看出,色彩选择权值为“20%”时,检索到的两幅图像是红白相间的单层车,在色彩上与待查询图像红白比例相当,但在形状上有差异,不是双层车;当色彩权值选择“80%”时,检索到的图像是双层车,但色彩组成上差异较大。可见用户强调重点不同,检索效果也有所不同。

为了验证RCT-DPF方法的有效性,对图像库中各类图

像应用纹理共生矩阵方法TCM(Texture Co-occurrence Matrix)、基于色彩连通的图像纹理检索方法MCM(Multi-component Co-occurrence Matrices)、RCT和RCT-DPF 4种方法进行检索,对实验结果进行比较,检索结果的相似程度按照先上排从左到右再下排从左到右的递减顺序排列。

图2中待查询图像是红色双层公共汽车,图2(a)中第3、5幅是非相关图像,第2、4、7、8幅与待查询图像形状类似,但色彩不同,第9幅图像色彩相似,但是单层公共汽车;图2(b)中第9、10幅是非相关图像,第2、3、4、5、6、7幅与待查询图像色彩不同;图2(c)中前7幅图像都是相关图像,其它3幅是非相关的,而且检索到的图像在色彩上和待查询图像也很相近;图2(d)中只有第9幅是非相关图像,而且检索到的相关图像在色彩和形状上都都很相近,体现了加权DPF应用对区域匹配的优势。

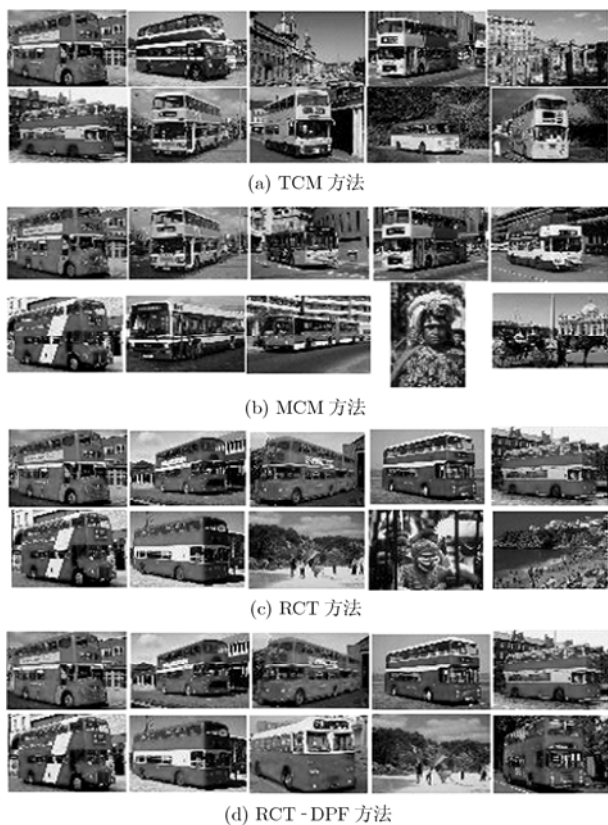


图2 4种方法对公共汽车检索的实验结果比较

图2中的公共汽车是一个整体特征比较明显的图像,具有鲜明的色彩和形状特征;本文也进行了库中其他没有明显目标或鲜明色彩的图像检索。通过大量实验,计算出了TCM、MCM、RCT和RCT-DPF 4种方法对不同类图像检索的查全率与查准率曲线图,如图3所示。

从图3中可以看出,RCT方法优于MCM和TCM,说明多特征检索效果优于单一图像特征检索;而RCT-DPF又优于RCT方法,说明加权DPF动态区域匹配适合这种多特征匹

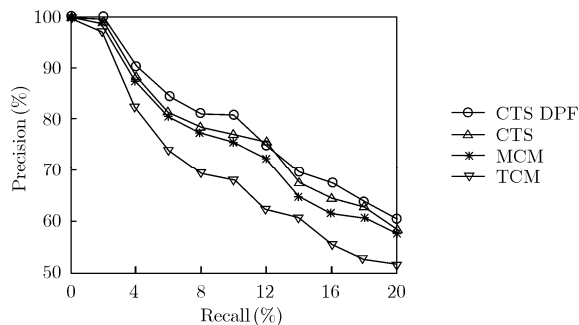


图3 查全率与查准率曲线图

配。

但由于RCT方法综合了多种特征,增加了算法的复杂度,使得特征提取时间相对较长。对于本图像库中的1000幅图像,各种方法所用的平均总时间(特征提取时间+相似度匹配时间)分别为:RCT-DPF方法80281s,RCT方法11203s,MCM方法4047s,TCM方法2515s。当将图像库中各幅图像的特征计算并保存好后,给出一幅待查询图像,其平均查询时间(待查询图像特征提取时间+相似度匹配时间)分别为:RCT-DPF方法16.6s,RCT方法19.2s,MCM方法12.1s,TCM方法10.5s。可见,RCT-DPF由于优化了待匹配的特征,在时间上优于RCT方法,但是大于MCM方法和TCM方法。

5 结束语

本文给出了一种结合图像色彩、纹理和空间区域特征,并引入加权DPF进行动态区域匹配的彩色图像检索方法。实验证明,综合色彩、纹理和形状等多种特征的方法优于单独应用一种或两种特征的检索方法,引入DPF的动态匹配方法优于一般的区域匹配方法,而本文将二者结合,检索效果更佳。

但是本文的方法也同样存在一定的局限性。RCT-DPF由于要处理多种特征,复杂度较高,如果可以添加图像的高层信息(如语义特征),增加人机交互的相关反馈技术,图像检索将更加高效。

参考文献

- [1] Swain M and Ballard D. Color indexing. *International Journal of Computer Vision*, 1991, 7(1): 11-32.
- [2] Pass G and Zabih R. Histogram refinement for content-based image retrieval. *Proceedings of the 3rd IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV'96)*, Sarasota, 1996: 96-102.
- [3] Stricker M and Dimai A. Color indexing with weak spatial constraints. In: *IS&SPIE Conference on Storage and Retrieval for Image and Video Databases IV*, San Jose, CA, 1996, 2670: 29-40.
- [4] Androutsos D A. Novel vector-based approach to color image retrieval using a vector angular-based distance measure.

- Computer Vision and Image Understanding*, 1999, 75(12): 46-58.
- [5] Paschos G, Radev I, and Prabakar N. Image content-based retrieval using chromaticity moments. *IEEE Transaction on Knowledge and Data Engineering*, 2003, 15(5): 1069-1072.
- [6] Yap P T and Paramesran R. Content-based image retrieval using Legendre chromaticity distribution moments. *IEE Proceedings Vision, Image and Signal Processing*, 2006, 153(1): 17-24.
- [7] 刘忠伟 章毓晋. 综合利用颜色和纹理特征的图像检索. 通信学报, 1999, 20(5): 36-40.
- Liu Z W and Zhang Y J. Image retrieval using both color and texture features. *Journal on Communications*, 1999, 20(5): 36-40.
- [8] Furht B, Smoliar S W, and Zhang H, *et al.* Video and Image Processing in Multimedia Systems. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1995: 226-270.
- [9] Haralick R M. Statistical and structural approaches to texture. *Proc. IEEE*, 1975, 67(5): 786-504.
- [10] Huang J. Image indexing using color correlograms. Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Juan, 1997: 762-768.
- [11] 杨育彬, 陈世福, 林琿. 一种基于颜色连通的图像纹理检索新方法. 电子学报, 2005, 33(1): 57-62.
- Yang Y B, Chen S F, and Lin H. A novel image retrieval method using texture features based on color-connected regions. *Acta Electronica Sinica*, 2005, 33(1): 57-62.
- [12] 王涛, 胡事民, 孙家广. 基于颜色-空间特征的图像检索. 软件学报, 2002, 13(10): 2031-2036.
- Wang T, Hu S M, and Sun J G. Image retrieval based on color-spatial feature. *Journal of Software*, 2002, 13(10): 2031-2036.
- [13] Chen Y and Wang J Z. A region-based fuzzy feature matching approach to content-based image retrieval. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, 24(9): 1252-1267.
- [14] 戴声扬, 章毓晋. 图像检索中的两层描述和非对称区域匹配. 电子学报, 2005, 33(4): 725-729.
- Dai S Y and Zhang Y J. Two-level description and unbalanced region matching in image retrieval. *Acta Electronica Sinica*, 2005, 33(4): 725-729.
- [15] Li B, Chang E, and Wu C. DPF-A perceptual distance function for image retrieval. Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing, Rochester, USA, 2002, 2(9): 22-25.
- [16] Qamra A, Meng Y, and Chang E Y. Enhanced perceptual distance functions and indexing for image replica recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2005, 27(3): 379-391.
- [17] <http://www.cs.sfu.ca/~colour/data>.
- 王桂婷: 女, 1972年生, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为计算机彩色图像视觉、智能信息处理和医学影像处理等.
- 郭志芳: 女, 1980年生, 硕士生, 研究方向为彩色图像检索.
- 焦李成: 男, 1959年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为图像处理、机器学习、多尺度几何分析、人工神经网络、数据挖掘和计算智能等.