

# 基于颜色和形状的图像检索\*

孙君顶<sup>1</sup> 武学东<sup>2</sup> 周利华<sup>1</sup>

(西安电子科技大学多媒体研究所 西安710071)<sup>1</sup> (焦作大学计算机中心 焦作454000)<sup>2</sup>

**摘要** 在分析了基于图像颜色信息和空间信息进行图像检索的基础上,提出了一种新的基于图像颜色和形状的图像检索算法。该算法采用 HSI 颜色空间,整幅图像首先被划分为具有固定尺寸的分块,对其中的每一分块,提取该分块的主色调作为该分块的颜色特征,对整幅图像采用主色调直方图作为其颜色特征;在对图像形状特征的提取上,针对图像 I 分量的每一分块,提出了分块平坦度和凹凸度的概念,并利用分块的这两个属性,将图像的分块划分为不同类别,同时采用不同类别分块的直方图作为图像的形状特征。试验表明利用该算法提取的图像的颜色特征和形状特征在进行图像检索时效果显著。

**关键词** 主色调,平坦度,凹凸度,图像检索

## Color-Shape Based Image Retrieval

SUN Jun-Ding<sup>1</sup> WU Xue-Dong<sup>2</sup> ZHOU Li-Hua<sup>1</sup>

(Research Inst. Of Multimedia, Xidian Univ., Xi'an 710071)<sup>1</sup> (Center of Computer Science, Jiaozuo Univ., Jiaozuo 454000)<sup>2</sup>

**Abstract** In this study, a new image retrieval algorithm based on region color and spatial information is presented. Concerning the color information, the perceptually uniform HSV color space has been employed. The method presents a new way to localize the characteristics of the queries by partitioning the image into  $m \times n$  equal-sized sub-images (or blocks) and applying different features to each block in the similarity measuring phase. A hue that has enough number of pixels in a block is extracted to represent its content and the whole image content is represented by the extracted hues of the blocks, after that, hue histogram is used as the description of the image color feature. In order to extract the shape feature of the image, two notions, flatness and roughness of the sub-image are proposed in this paper. Using these two properties the blocks of the image are quantified into different types. The histogram of the types is used to represent the shape feature of the entire image. Experiments show that this algorithm is more effective in the image retrieval than the other algorithms discussed in the paper.

**Keywords** Main hue, Flatness, Roughness, Image retrieval

## 1 引言

随着多媒体技术的不断发展,数字化媒体(数字图像、数字视频、数字音频等)的信息量变得越来越大,因此从大量的数字化信息中快速检索出需要的信息是十分必要的。目前所利用的检索方法中较多的为基于内容的检索技术(CBIR Content-Based Image Retrieval),且采用的检索特征主要集中在图像的颜色、纹理和形状三个方面。在这三方面中,颜色是人们用于区分物体以及进行图像编码的重要特征之一,颜色特征在经过适当的归一化处理后,可以方便地实现对图像检索的尺度、旋转等方面的不变性;同时颜色特征不论对于具有明显结构的图像还是对于结构不明显的图像均可取得较好的检索效果。正是由于颜色的这些特性,从而使利用颜色进行图像检索得到了广泛的应用。文[1]提出了利用图像全局颜色直方图(GCH, Global Color Histogram)进行检索,但利用该算法所提取的图像特征的维数太高而导致图像索引困难及搜索代价太大,并且全局颜色直方图描述的为图像的整体特征,不能很好地反映图像的空间信息,而且不同颜色的图像可能具有相同的颜色直方图,因此基于颜色和空间信息的一些检索算法被提了出来。文[2,3]提出了采用颜色矩来描述图像的特征;文[4]采用二进制颜色集、文[5]采用颜色相关图来描述图像的颜色和空间信息。

基于图像颜色信息和空间信息的索引技术主要可以分为

两大类:(1)基于图像局部或区域的颜色分布,即人为地将图像划分为适当的分块或将图像划分为固定的分块,然后提取每个分块相应的局部颜色特征。文[6,7]提出采用每一分块的颜色直方图来描述图像的颜色信息和空间信息,本文将其称为 GridCSH 算法(Grid Color-Shape Histogram);文[8]提出了 CSH(Color-Shape Histogram)算法,该算法对 GridCSH 算法进行了修改,加强了检索的效果。(2)基于像素颜色的空间相关性的聚类方法,该方法主要基于不同的图像如果在空间相近的位置同时存在颜色相似的大片区域,则这两幅图像具有较大的相似度。Gong<sup>[10]</sup>即属于此类方法。

本文提出了一种新的基于图像颜色信息和空间信息的检索算法 HSH (Hue-Shape Histogram)。该算法采用 HSI 颜色空间,首先采用分块的办法将图像划分为具有固定尺寸的网格,对其中的每一分块,提取该分块的主色调作为该分块的颜色特征,对整幅图像采用主色调直方图作为其颜色特征;在对图像形状特征的提取上,采用图像的 I 分量进行,同时根据一定的特性将图像的分块划分为不同类别,然后采用不同类别分块的直方图作为图像的形状特征。

## 2 基于图像颜色和空间信息的检索算法

### 2.1 颜色空间模型

在利用图像的颜色进行检索时,选取合适的颜色空间对于检索的结果尤为重要。目前在进行图像检索中用到的颜色

\* 本课题得到十五国防科技(电子)预研项目资助(413160501)。孙君顶 博士研究生,主要研究方向:网络多媒体图像检索。武学东 副教授,主要研究方向:网络安全。周利华 博士生导师,主要研究方向:网络多媒体、网络安全。

空间主要有:RGB 空间,即利用 R(红)、G(绿)、B(蓝)三色来表示颜色.RGB 空间广泛应用于显示系统中,但 RGB 空间的主要缺点是同人类的视觉系统(HVS)不对应,在 RGB 空间相似的颜色并不反映颜色本身间的相似性,在利用 RGB 颜色空间进行图像检索时往往会降低图像检索的准确性,因此在图像检索中往往将 RGB 颜色空间转化为其他的颜色空间;如:①CIE-Lab 颜色空间,其中 L 表示亮度信息,a、b 表示彩色信息,CIE-Lab 颜色空间同人类的视觉系统(HVS)具有较好的一致性,在 Lab 空间中可方便地利用欧氏距离计算两种颜色间的距离,但是该空间在同 RGB 空间的转换比较复杂.②HVS(HSI)颜色空间,其中 H(Hue)表示色调,S(Saturation)表示颜色的饱和度,I(Intensity)表示亮度,该颜色空间同人类的视觉系统最为接近,因此广泛应用于图像的检索系统中.本文所提出的图像检索算法采用 HSI 颜色空间,由于图像的颜色主要通过 H 分量(色调)来描述,因此本文算法提取 HIS 颜色空间中的色调(H)分量来描述图像的颜色特征.

### 2.2 颜色特征提取

在本文提出的算法中,对图像采用固定块的分割方法.即首先采用固定的分块,将图像划分为  $n \times n$  的具有相同尺寸的网格.为了简单有效地描述每一分块的颜色特征,本文采用了统计的方法并引入了主色调这一概念.

定义1(主色调) 对于分块中的某一色调值,若其在该分块中具有最多像素数量,则将色调值定义为该分块的主色调.设  $MH_i$  表示第  $i$  个分块的主色调,则:

$$MH_i = \{k | num(i, k) = \max_{j=1}^{256} (num(i, j))\}, 1 \leq k \leq 256 \quad (1)$$

其中  $j$  表示色调的值,  $num(i, j)$  表示第  $i$  分块中色调值为  $j$  的所有像素的数目.

为了降低图像色调特征的维数,需要对色调值进行量化.在 HSI 锥形颜色空间中,围绕主轴的圆形区域表示图像的色调变化,其中每隔  $120^\circ$  被分为红、绿、蓝三主色,本文采用每隔  $20^\circ$  对 H 分量进行量化,因此色调被量化为 18 个等级.量化后分块的主色调可描述为:

$$MH_i = \{k | num(i, k) = \max_{j=1}^{18} (num(i, j))\}, 1 \leq k \leq 18$$

但是,对整幅图像来说所提取的分块主色调并非均可反映该分块的颜色特征,如果所提取的主色调在整个分块所包含的色调中所占的比例很小,则所提取的主色调不足以反映分块的颜色特征,为了消除这种情况所造成的影响,为此采用了以下判定策略来确定所提取的主色调是否可作为分块的主色调:

(1) 设定阈值 ( $threshold1$ ), 若  $num(i, k) / (m \times n) \geq threshold1$ , 则取  $MH_i = k$  作为该分块的主色调.

(2) 如果  $num(i, k) / (m \times n) < threshold1$ , 则需要考虑该分块临近分块的主色调来确定该分块的主色调,如果相邻分块的主色调满足条件(1)并且同该分块的主色调相同或其差小于指定的阈值( $threshold2$ ), 则仍设为  $MH_i = k$  为该分块的主色调, 否则不指定该分块的主色调.其中,  $m, n$  表示每一分块的尺寸.

在提取了图像的主色调特征后,可采用主色调直方图作为整幅图像颜色特征的描述.如图1和图2所示,其中图1为原始图像,图2给出了图1不同情况下的直方图,其中(a)为图1原始颜色直方图,(b)为对图1采用 HIS 颜色空间量化后的直方图(对 H×S×I 采用  $18 \times 3 \times 3$  等级量化),(c)为图1经过主色调提取后的主色调直方图.从图2可以看出,主色调直方图在一定程度上可很好地反映原始图像的颜色特征.



图1 原始图像

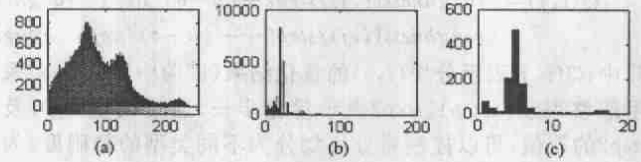


图2 不同情况下图1的直方图

### 2.3 形状特征提取

图像的形状特征主要依赖于图像的亮度变化,而图像由 RGB 颜色空间转换到 HSI 空间后,图像的 I 分量反映了图像的亮度变化,由图3可以明显看出这种特性.因此在对图像的形状特征进行提取时仅采用了图像的 I 分量进行处理.



图3 图像的 HSI 分解

为了提取每一分块形状特征,本文提出了一种新的图像分块形状特征的描述方法.首先引入图像分块平坦度和凹凸度两个概念.

定义2(平坦度)  $flatness = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n I(i, j) \quad (2)$

定义3(凹凸度) 为了定义分块的凹凸度,首先将整幅图像的均值( $mean$ )看作一平面,对于每一分块若  $flatness > mean$ , 则定义该块具有凸性,若  $flatness < mean$ , 则定义该块具有凹性.则对于分块的凹凸度定义如下:

$$roughness = \begin{cases} \left[ \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (I(i, j) - flatness)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, & flatness \geq mean \\ - \left[ \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (I(i, j) - flatness)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, & flatness < mean \end{cases} \quad (3)$$

其中,  $m, n$  表示分块的尺寸,  $I(i, j)$  表示分块 I 分量对应像素的值.

对于分块的凹凸度来讲,噪声影响较大,有可能改变分块的凹凸性,因此在提取图像的凹凸度之前,首先采用中值滤波的办法滤除孤立的噪声点.

在提取了图像每一分块的平坦度和凹凸度特征后,接下来将按照平坦度和凹凸度两个属性对图像的分块进行分类,因此需要对图像每一分块的平坦度和凹凸度进行合适的量化.由平坦度和凹凸度的定义可以看出,平坦度反映了图像的基本形状,而凹凸度反映了图像的形状变化,因此在对平坦度和凹凸度特征进行量化时需要采用不同的量化策略,对于平坦度采用粗量化即可,而对于反映图像形状变化的凹凸度需要采用细量化.为了选取合适的量化策略,本文对分块平坦度和凹凸度的分布特征进行了统计.图4和图5是对图像的平坦度和凹凸度的统计结果,其中(a)是图1的平坦度和凹凸度分

布图,(b)为包括图1在内的从1500幅图像随机抽取的10幅图像的平坦度和凹凸度统计分布图,(c)为包括图1在内的从1500幅图像随机抽取的100幅图像的平坦度和凹凸度统计分布图。从图4和图5中可以看出图像的平坦度基本服从均匀分布,而图像的凹凸度基本服从正态分布。

在统计了图像的平坦度和凹凸度统计分布后,可以根据它们的分布特征,采用不同的量化手段。对于平坦度,由于其

$$Q(i, j) = \begin{cases} roughness(i, j)/step1 & roughness(i, j) \in [-(\mu+\sigma), \mu+\sigma] \\ roughness(i, j)/step2 + (\mu+\sigma)/step1 & roughness(i, j) \in (\mu+\sigma, 128] \\ roughness(i, j)/step2 - (\mu+\sigma)/step1 & roughness(i, j) \in [-128, -(\mu+\sigma)] \end{cases} \quad (4)$$

其中,  $Q(i, j)$  表示分块  $(i, j)$  的量化结果(试验中对  $Q(i, j)$  采用取整表示),  $step1$ 、 $step2$  表示量化步长。通过调整  $step1$  及  $step2$  的取值, 可以控制将分块划分为不同类型的精确度。为了详细地描述图像的形状变化,  $step1$  及  $step2$  应取相对较小的值; 若想粗略地描述图像形状的变化,  $step1$  及  $step2$  取相对较大的值即可。同时  $step1$  及  $step2$  的取值也将会影响所提取的图像形状特征的维数变化。

在量化完毕后, 根据量化结果将图像的分块划分为不同的类型, 同时采用分块直方图作为图像形状特征的描述。

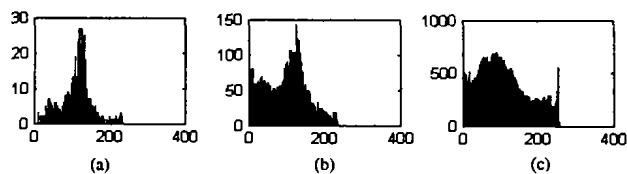


图4 图像平坦度分布

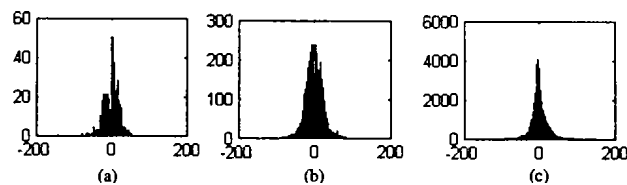


图5 图像凹凸度分布

### 3 相似性度量

为了将本文算法同其他的图像检索算法对比, 因此在进行图像间的相似性度量时所有算法均采用  $L_1$  距离作为度量的标准。参与比较的算法主要包括基于全局直方图的图像检索算法 GCH(Global color histogram)、GridCSH 算法、CSH 算法及本文提出的基于色调和形状直方图的 HSH 算法。

采用  $L_1$  距离, 图像对应分块间的距离描述如下:

$$D(h_q[i], h_d[i]) = \sum_{j=1}^m |h_q[i][j] - h_d[i][j]| \quad (5)$$

其中  $h_q$  表示待检索图像,  $h_d$  表示数据库的图像,  $i$  表示分块,  $j$  表示色调的量化区域,  $D$  表示待检索图像同数据库图像间的对应分块间距离,  $m$  表示所提取特征的维数。

对于 GCH 仅存在一个直方图, 对于本文算法(HSH)存在主色调和形状两个直方图, 对于其他两种算法存在多个直方图(同划分的分块数目有关)。

计算出图像间对应分块的  $L_1$  距离后, 采用分块间直方图距离  $(D(h_q[i], h_d[i]))$  除以分块直方图中各颜色分量的和  $(g_q(i) + g_d(i))$  对计算出的分块间的距离进行归一化处理:

$$D_n(h_q[i], h_d[i]) = \frac{D(h_q[i], h_d[i])}{g_q(i) + g_d(i)} \quad (6)$$

其中  $g_q(i)$ 、 $g_d(i)$  分别表示在检索图像和数据库图像中每种

基本服从均匀分布, 因而采用均匀量化; 而对于凹凸度, 由于其基本服从正态分布, 因而需采用非均匀量化。为了有效地对凹凸度进行量化, 本文提出了一种量化策略: (1) 求取整幅图像所有分块凹凸度的均值  $\mu$  和方差  $\sigma$ ; (2) 设定阈值  $(\mu + \sigma)$ , 从图5可以看出凹凸度的值主要分布在  $[-(\mu + \sigma), \mu + \sigma]$  范围内, 因此针对该区域的值进行较细的均匀量化, 该区域之外的值进行较粗均匀量化。

颜色的统计量。对于 GCH、GridCSH 及本文的 HSH 算法,  $g_q(i) + g_d(i) = 2$ ; 对于 CSH 算法,  $g_q(i) + g_d(i)$  由每一图像的实际值确定, 其中  $g_q(i) + g_d(i) \leq 2$ 。

从而图像间的相似度可描述为:

$$S(h_q, h_d) = \sum_{i=1}^n w[i] \times (1 - D_n(h_q[i], h_d[i])) \quad (7)$$

其中,  $n$  表示分块的数量,  $w[i]$  用于归一化两图像间的距离。对于 CSH, 取  $w[i] = \min(g_q[i], g_d[i])$ ; 对于 GridCH:  $w[i] = 1/n$ ; 对于 GCH:  $w[i] = 1, n = 1$ ; 对于 HSH 算法, 由于提取的直方图属于不同的类别, 包括颜色和形状, 因此在进行相似性度量时采用下式进行计算:

$$S(h_q, h_d) = w_1 \times S_H(h_q, h_d) + w_2 \times S_S(h_q, h_d) \quad (8)$$

其中  $S_H(h_q, h_d)$  表示待检索图像和数据库图像色调直方图间的相似程度,  $S_S(h_q, h_d)$  表示待检索图像和数据库图像形状的相似程度, 参数  $w_1$ 、 $w_2$  用于归一化图像间的距离和调整色调及形状直方图在计算图像间相似度时所占的比重。

### 4 试验分析

试验中采用包括湖边风景、球场、动物以及花卉等在内的1500幅图像, 其中5类的相似图像数目超过20幅, 所有图像的尺寸采用  $192 \times 128$ 。图像被划分为  $8 \times 8$  个分块, 同时图像的色调信息量化为18各等级, 分块的平坦度  $flatness$  被均匀量化为4个级别; 凹凸度  $roughness$  被量化为8个等级, 其中  $[-(\mu + \sigma), \mu + \sigma]$  范围内的值被量化为6个级别, 其它的值被量化为2个级别。经过量化后图像的所有分块被划分为32个类型。在采用式(4)进行图像间的距离计算时取  $w_1 = w_2 = 0.5$ , 赋予颜色和形状相同的重要性。对于参与比较的其他4种算法, GCH(162): 对图像的  $H$  分量量化为18等级,  $S$ 、 $I$  分量量化为3个等级; GCH(64): 图像采用 RGB 格式并按  $4 \times 4 \times 4$  的方式进行均匀量化。对于 CSH 和 GridCSH 算法, 首先将图像按 RGB 的格式均匀量化  $4 \times 4 \times 4$  个等级, 然后将图像划分为  $8 \times 8$  个分块。

为了有效地验证该算法的检索效果, 在试验中首先对待检索的图像人工找出库中和该图相类似的图像, 并将与待检索图像相似的所有图像记为集合:  $\{relevant\}$ ; 将根据待检索图像按照该算法检索结果所得到的所有图像记为集合:  $\{retrieved\}$ 。采用文[9]的方法, 我们用下列两个量表示算法的有效性, recall: 表示根据检索图像可检索出相关图像的查全率; precision: 表明检索结果的查准率, 定义如下:

$$\begin{cases} recall = \frac{\{retrieved\} \cap \{relevant\}}{\{relevant\}} \\ precision = \frac{\{retrieved\} \cap \{relevant\}}{\{retrieved\}} \end{cases} \quad (9)$$

同时为了客观地反映检索效果, 我们从相似图像超过20幅的5类图像的每一类当中随机地抽取5幅图像利用该算法进行查询, 共组成25次查询结果, 分别计算每次查询的  $recall$  和  $precision$ , 取25次查询的平均  $recall$  和  $precision$  作为该算法的度量标准。图6和图7给出了5种方法进行检索时在检索出的

前110幅图像的查全率和查准率。从图中可以看出,本文提出的 HCH 算法同 GCH(162)算法在检索率上基本相当,但 HCH 算法提取的图像特征的维数仅仅为 GCH(162)算法的 1/3 左右,并且 HCH 算法同时考虑了图像的颜色和形状特性,克服了仅仅采用图像全局颜色进行检索的缺点,因此在检索的准确度方面高于 GCH 算法。同其他的几种算法相比, HCH 算法无论在查全率和查准率上均具有相当的优势。图8给出了5种检索算法的检索结果。从图8还可看出,采用 HCH 算法,由于对所提取的色调特征和形状特征采用全局直方图来描述,因此该算法对于旋转图像也有较好的检索效果。

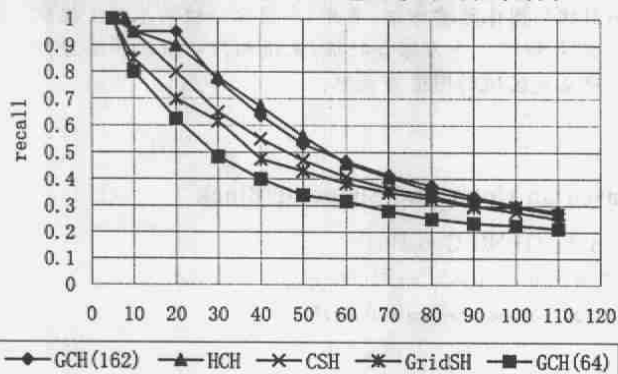


图6 检索率与检索图像数量关系

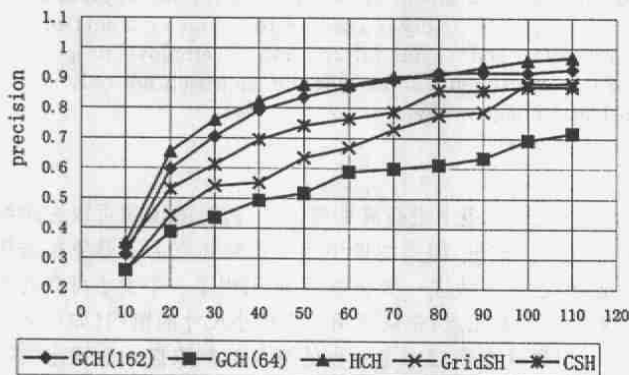


图7 准确度与检索图像数量关系



图8 试验结果

**结论** 本文在讨论基于颜色和形状进行图像检索的基础上,提出了一种新的图像检索算法,该算法不仅充分利用图像的颜色色调信息,而且在对形状特征的提取上,采用了与以往不同的算法,提出了图像分块平坦度和凹凸度的概念,利用图像分块的这两个特征提取图像的形状特征,最后采用提取的色调直方图和形状直方图作为图像的特征,用于图像的检索,试验表明该算法在图像检索中取得了良好的检索效果。

为了进一步挖掘该算法的性能,进一步的工作主要集中在以下方面:(1)对于图像的凹凸度采用新的量化策略,本文提出的量化方法对 $[-(\mu+\sigma), \mu+\sigma]$ 区域进行较细的均匀量化,对区域之外的采用较粗的均匀量化,这仍然是一种粗略的量化,较合理的量化方法是对每个区域仍然采用非均匀量化;(2)在对分块进行量化处理后需考虑分块的合并,将相似的分块合并为区域,同时考虑新的图像特征提取策略,提取区域特征,利用颜色特征和区域特征进行图像检索;(3)本文在进行图像间距离度量时,采用了最简单  $L_1$  距离,因此尚需考虑更合理的图像间距离度量方法;(4)根据图像颜色特征和形状特征所占的比重考虑适当的反馈策略,增加算法的检索效果。

### 参考文献

- 1 Swain M J, Ballard D H. Color Indexing. Intern Journal of Computer Vision, 1991,7(1):11~32
- 2 Stricker M, Orengo M. Similarity of color images. In: Proc. of SPIE Storage and Retrieval for Image and Video Databases, vol. 2420, Feb. 1995. 381~392
- 3 Stricker M, Dimai A. Color indexing with weak spatial constraints. In: Proc. SPIE Storage Retrieval Still Image Video Databases IV, 1996, 2670:29~40
- 4 Smith J, Chang S-F. Tools and techniques for color image retrieval. Proc. SPIE, 1996, 2670:2~7
- 5 Huang J, Kumar S R, Mitra M, Zhu W, Zabih R. Image indexing using color correlograms. In: Proc. IEEE Conf. Computer Vision Pattern Recognition, 1997. 762~768
- 6 Dimai A. Spatial encoding using differences of global features. In: Proc. of SPIE - Storage and Retrieval for Image and Video Databases IV, volume 3022, 1997. 352~360
- 7 Malki J, Boujemaa N, Nastar C, Winter A. Region queries without segmentation for image retrieval by content. In: Proc. of Proc. of 4th Intl. Conf. on Visual Information Systems, 1999. 115~122
- 8 Stehling R O, Nascimento M A, Falcao A X. On 'shapes' of colors for content-based image retrieval. In: Proc. of the Intl. Workshop on Multimedia Information Retrieval, 2000
- 9 Baeza-Yates R, Ribeiro-Neto B. Modern Information Retrieval. Addison Wesley, 1999
- 10 Gong Y, Proietti G, Faloutsos C. Image indexing and retrieval based on human perceptual color clustering [C]. IEEE CVPR'98, Santa Barnara, California, June, 1998