

中图法分类号: TP391 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2010)10-1530-07

索引信息: 王相海, 徐孟春. 一种新的自适应特征谱[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(10): 1530-1536

# 一种新的自适应特征谱

王相海<sup>1),2)</sup>, 徐孟春<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> (辽宁师范大学计算机与信息技术学院, 大连 116029) <sup>2)</sup> (计算机软件新技术国家重点实验室(南京大学), 南京 210093)

**摘要:** 图像特征谱给予图像原始特征以富有表达力的、统一的、可操作的形式化描述。本文针对单一图像特征谱在应用时对图像信息表达的片面性和干扰性问题, 提出了一种自适应特征谱, 该特征谱利用纹理谱对纹理特征的描述将图像区域划分为光滑区和纹理区, 对于光滑区域将选择颜色谱作为区域特征, 而对于纹理区将选择纹理谱作为特征值, 因此它可以对具有不同视觉特点的图像给予灵活的特征描述。为了检验该特征谱的有效性, 我们将它应用于基于内容的图像检索中, 实验结果表明, 利用所提出的自适应特征谱具有很好的检索效果和较小的时间复杂度。

**关键词:** 图像特征谱; 纹理特征谱; HSV 颜色直方图; 基于内容的图像检索

## A new adaptive feature spectrum descriptor

WANG Xianghai<sup>1),2)</sup>, XU Mengchun<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> (College of Computer and Information Technology, Liaoning Normal University, Dalian 116029)

<sup>2)</sup> (State Key Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210093)

**Abstract:** Feature spectrum descriptors give the rich, unified, workable expressions of the original characteristics of an image. In this paper, to solve the unilateral and interference problems in the application of one single feature spectrum descriptor, adaptive feature spectrum descriptor is proposed. Suitable features are chosen according to the characteristics of the image region itself. In order to test the performance of the feature spectrum descriptor, it was applied to the content-based image retrieval. Experiments show that the new feature spectrum descriptor has good retrieval efficiency, and small time complexity.

**Keywords:** feature spectrum descriptor; texture spectrum descriptor; HSV histogram; content-based image retrieval

## 0 引言

近年来关于图像特征提取方法的研究取得了许多成果<sup>[1-2]</sup>, 目前总体上体现在以下几个方面: 1) 颜色特征提取方法, 该方法比较典型的是由 Swain 提出的颜色直方图方法<sup>[3]</sup>, 在此基础上出现了一系列诸如局域直方图、累计直方图等方法。颜色直方图

具有快速、旋转不变性等优点, 但是它同样也具有对空间相关性和纹理信息描述不足的弱点; 2) 纹理特征的提取方法, 该类方法主要包括统计法和频谱法, 其中统计法的典型代表是 Haralick 等人提出的共生矩阵法<sup>[4]</sup>, 它具有空间相关性并用概率特征对纹理进行描述, 但是其弱点是缺乏视觉相似性; 频谱法是借助频率特性来描述纹理特征的, 如 Spyros 等人利用小波变换后系数的统计值来表示纹理并进行图像

**基金项目:** 辽宁省自然科学基金项目(20072156); 辽宁省教育厅科学技术研究项目(20060486); 辽宁“百千万人才工程”项目(2008921036); 南京邮电学院图像处理与图像通信江苏省重点实验室开放基金(ZK207008)。

**收稿日期:** 2009-03-10; **改回日期:** 2009-07-13

**第一作者简介:** 王相海(1964—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 中国计算机学会高级会员。主要研究领域为 CG, CAGD, 多媒体信息处理。E-mail: xhwang@lnnu.edu.cn。

检索的相关研究<sup>[5]</sup>;Manesh 等人提出了利用复小波进行纹理图像的检索方法<sup>[6]</sup>,此外国内近年来在这方面也取得了一些新的研究成果<sup>[7-8]</sup>,这些方法都为纹理特征分析提供了新的尝试。然而一般的频谱法仍然无法对复杂图像的信息进行全面的描述,此外,这些频谱分析方法通常都具有较大的计算量,这在一定程度上制约了对大信息量的查询。作为频谱法的一种发展,近年来出现了纹理谱的概念<sup>[9]</sup>,与小波变换等其他方法相比,它具有快捷、直观等特点。3) 形状特征的提取方法。与颜色和纹理特征相比,图像的形状特征更为复杂,近年来也出现了许多形状特征的描述方法,比如基于边缘特征描述的几何参数法<sup>[10]</sup>、MPEG-7 推荐的基于区域的形状描述符(region-based shape)<sup>[11]</sup>等。对形状特征的数学描述是一个比较复杂的问题,目前要想得到具有相同性质的形状区域通常需要高层知识辅助或人工干预,目前还有许多问题有待研究。

上述各种特征表示方法大多是针对某一种图像特征独立提出的,而实际应用中,通常需要联合使用这些不同的图像特征,以提高图像的检索和识别精度。本文提出一种自适应特征谱,结合纹理特征谱和 HSV 颜色直方图特征的特点,根据图像自身区域选择相应的特征,从而更加准确地表征图像。为了检验所提出特征谱的性能,将其应用于图像检索中,实验结果表明与传统的纹理特征谱和颜色特征谱相比,自适应特征谱具有更好的适应性,其检索效率高于传统的多特征检索方法中把纹理谱和颜色谱通过特征向量加权之后的检索效率。

## 1 图像特征谱

### 1.1 图像特征谱的定义

图像特征谱所关注的是如何针对纷繁复杂的图像提取出本质特征,并用一种富有表达力的、统一的、具有可操作性的形式对其进行描述,而对其他复杂的信息则通过这些基本信息 的组合或映射来表达。刘继敏在文献[12]中给出了图像谱的一般定义:

对于图像  $I_p(x, y)$ , 假设从中提取了  $n$  个特征区域  $O_i \subseteq D(1, 2, \dots, n)$ , 每个  $O_i$  用某个向量空间  $V$  中的一个向量  $V_i$  来表示, 即存在映射  $\psi$  使  $V_i = \Psi(O_i)$ , 则  $IFS = \{Count(V_i)\}$  被称为图像  $I_p(x, y)$  的特征谱, 其中  $\{Count(V_i)\}$  表示  $O_i$  所包含的点的个数。

### 1.2 纹理特征谱

纹理谱刻画了图像像素点在某邻域内的灰度变化, Ojala 等人引入了局域二值模式(简记 LBP)作为纹理算子来分析图像纹理特征<sup>[13]</sup>, 考虑像素点  $3 \times 3$  的邻域(参见图 1), 用  $I'(x - i, y - i)$  表示图像在像素点  $(x, y)$  的邻域内的灰度变化, 即灰度差:

$$I'(x - i, y - i) = \begin{cases} 0 & \text{若 } I(x, y) - I(x - i, y - i) < \phi \\ 1 & \text{若 } I(x, y) - I(x - i, y - i) \geq \phi \end{cases} \quad (1)$$

式中,  $\phi$  为灰度差值量化的阈值, 本文中取值为 0。二值矩阵  $I'(i, j)$  可看成是一个二值纹理模式(纹理基元), 来刻画  $3 \times 3$  邻域内像素点的灰度相对中心点的变化情况。

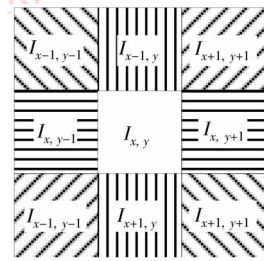


图 1 像素点  $3 \times 3$  邻域

Fig. 1  $3 \times 3$  local neighborhood

用下列变换系数矩阵  $G$  将  $3 \times 3$  邻域的纹理基元变换为一个  $[0, 255]$  的纹理模式值。

$$G = \begin{bmatrix} 2^5 & 2^6 & 2^7 \\ 2^4 & 0 & 2^0 \\ 2^3 & 2^2 & 2^1 \end{bmatrix}$$

其变换公式为

$$W(x, y) = \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 I'(x - i, x - j) G(i, j) \quad (2)$$

将纹理模式值作为像素值, 可以得到纹理谱图像(参见图 2(a)), 它具有与原图像相似的视觉特征<sup>[14]</sup>。对整幅图像中不同纹理模式值的分布情况

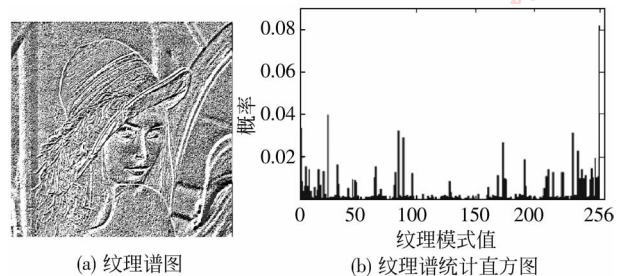


图 2 Lena 图像的纹理谱图及其纹理谱统计直方图

Fig. 2 Histogram of texture spectrum and texture spectrum image of Lena

进行统计,则可显示出图像总体的纹理信息。因此定义所有纹理单元的出现频率为纹理谱<sup>[15]</sup>,从而可生成纹理谱直方图(参见图 2(b))。

## 2 一种新的图像特征谱

### 2.1 单一图像特征谱的不足

纹理谱利用局部纹理模式作为纹理单元或纹理元素对图像纹理进行分析,是一种较好的抽取图像纹理信息的方法;同样 HSV 是基于人的视觉颜色感觉特点得到的颜色系统,它经过量化后得到的直方图作为图像颜色特征谱,具有简单、有效的特点,然而,作为单一的图像特征它们还存在如下不足:一方面,单一一种特征通常只能表达图像的部分属性,对图像的描述比较片面,比如图 3 所示的(a)(b)两图具有相同的颜色直方图,而(a)(c)两图则具有一致的纹理谱,但它们在视觉上却大相径庭。

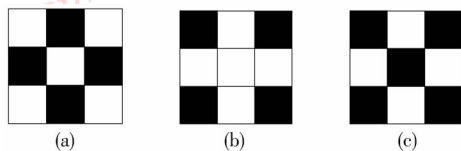


图 3 单一特征实例  
Fig. 3 Examples of single feature

另一方面,一种特征通常反映了图像的某种视觉信息,而相同的视觉信息对某些图像可能是主要的信息,但对另外一些图像则可能会成为干扰信息。如图 4 是分别以纹理谱(图 4(a)(b))和 HSV 直方图(图 4(c)(d))作为特征的检索结果,可以看出,纹理谱特征的选取没有对马图像的主要视觉信息进行很好的表达,反而成为了干扰信息,而 HSV 直方图则更好地抓住了马图像的主要视觉特点。同样,纹理谱特征的选取很好地描述了汽车图像的外部特征,而 HSV 颜色直方图作为图像特征则过分强调了颜色信息。

### 2.2 一种新的图像特征谱

本文提出一种自适应特征谱,它将根据每个像素点在图像中所处的区域特点自动选择特征向量,即如果当前区域是纹理区域即用纹理谱对其特征进行描述,如果当前区域是光滑区域则采用颜色直方图来刻画其视觉特征。从而既能有效地保留纹理在图像外在形态上的描述优势,又能具有颜色对于图像区域方向、大小等变化不敏感的优点。



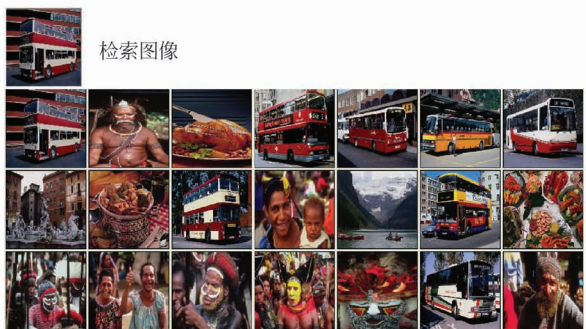
(a) 用纹理谱对马图像进行检索的结果



(b) 用纹理谱对汽车图像进行检索的结果



(c) 用颜色直方图对马图像进行检索的结果



(d) 用颜色直方图对汽车图像进行检索的结果

图 4 采用单一特征的检索结果

Fig. 4 Retrieval results by single feature spectrum

#### 2.2.1 新图像特征谱的获取

纹理谱主要关注的是纹理基元邻域内像素点的灰度相对于中心点的变化情况,因而当图像处在光

滑区域时,邻域内像素点的灰度几乎没有变化,灰度差值量化后取值为‘0’或‘1’的概率趋于 1(即灰度差值全为‘0’或全为‘1’的情况),此时区域中的纹理信息是次要的信息;但对于颜色特征来说,处在灰度差分布较为复杂的纹理区域上时会成为干扰信息,然而在光滑区域上时却是图像中的主要视觉信息。基于这一特点进行如下两步操作:

1) 按照各个区域上纹理谱的取值对图像进行粗分割,将图像分割成光滑区域(即纹理谱字符取‘0’或‘1’的概率趋于 1 的区域)和纹理区域(即纹理谱字符取‘0’或‘1’的概率不为 1 的区域),其区域标识符确定如下:

$$flag = \begin{cases} 0 & \text{若 } p(I(i, j) = 0) = 1 \cup p(I(i, j) = 1) = 1 \\ 1 & \text{其他} \end{cases}$$

其中,  $(i, j)$  为  $3 \times 3$  区域的邻域像素下标;  $flag$  为区域类型标识,  $flag$  取 0 表示该区域是光滑区域,  $flag$  取 1 则表示该区域是纹理区域。图 5(a) 给出对 Lena 图像按照上述方法进行粗分割的结果。

2) 根据上述分割结果,在光滑区域上用 HSV 直方图作为图像特征,在纹理区域上用纹理谱作为图像特征。为了形成归一化的图像特征谱,将特征谱扩展到长度为 29 的特征向量,即图像谱的长度为 9 位字符,用图像谱中的最高位作为特征类别的标识位,当图像谱最高位取‘1’时,后面的 8 位字符代表纹理谱;当图像谱最高位取‘0’时,后面的 5 为字符代表 HSV 颜色特征谱,具体形式参见图 5(c)。图 5(b) 给出了以新的图像谱代替图像像素值生成的图像谱图像(显示图像为与 HSV 颜色空间等价的 RGB 空间形式)。

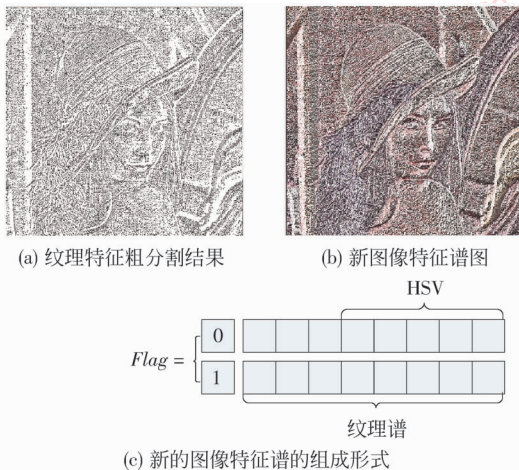


图 5 Lena 图像的新图像特征谱举例

Fig. 5 Examples of Lena's new feature spectrum

按照新的图像特征谱进行直方统计得到的图像特征谱直方图如图 6 所示。

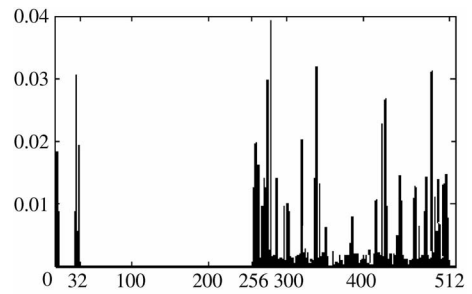


图 6 新的图像特征谱直方图

Fig. 6 Histogram of new feature spectrum

### 2.2.2 分析与讨论

自适应特征谱根据图像区域纹理谱值的取值特点来对其进行划分,同时给予了光滑区域和纹理区域不同的特征描述。它利用纹理谱本身的性质对图像所侧重的视觉信息进行相应的特征描述。与传统的多特征加权的方法相比,它仅用一个向量空间表达了两种不同的特征。而且对于大多数的多特征检索方法而言,各个特征所占的权值是固定的,而这无法满足对具有不同视觉信息的图像进行描述的普遍适用性和灵活性。自适应特征谱则克服了这一问题。在一幅图像的各个区域形成了自己的谱值之后,便可得到该图像中关于各个谱值出现频率的直方图,它不仅描述了不同形状的纹理区域出现的概率以及不同颜色值出现的概率,同时也对该图像中的纹理区域和颜色区域特征所占的比率进行了自适应的描述,因此它能够对具有不同视觉信息的图像给予特征值不同侧重点的灵活描述,更加具有普遍性。

## 3 基于新特征谱的图像检索算法

为了验证提出的自适应特征谱的有效性,给出了如下基于自适应特征谱的图像检索算法。算法中被检索图像的特征向量与图像库中图像特征向量的相似度按照欧几里得距进行度量。

### 3.1 算法实现

算法的具体过程如下:

1) 对于目标图像  $X$ ,首先按第 1.2 节提出的方法在  $3 \times 3$  邻域上求取邻域灰度差,并记录灰度差关于阈值量化后取值为‘0’和‘1’的个数;

2) 根据  $3 \times 3$  邻域上灰度差取值为 '0' '1' 出现的概率判断该区域是光滑区域还是纹理区域;

3) 对于光滑区域,将图像特征谱的初始值赋为 0,然后按照第 1.3 节提到的求取 HSV 颜色特征值的方法求取中心像素的 HSV 颜色特征作为该区域的图像特征谱;对于纹理区域,将图像特征谱的初始值赋为 256,再按照第 1.2 节提到的求取纹理模式值的方法求取该区域上的图像特征;

4) 通过步骤 1)—3) 得到一个  $3 \times 3$  邻域上的图像特征,对应该特征值将图像特征谱直方图中统计值加 1;

5) 各个特征谱值每出现一次就把统计值累加 1,对整幅图像重复以上步骤,从而获得特征谱直方图,然后将直方图根据图像的大小进行归一化;

6) 在整个数据库中,对每幅图像通过上述方法得到其相应的特征谱直方图,把它作为特征向量保存在特征文件中;

7) 对于被检索图像重复步骤 1) — 5), 得到它的特征谱直方图,将其直方图与图像库中每幅图像在特征文件中所对应的记录进行相似度距离的计算;

8) 把得到的相似度距离按照从小到大的顺序进行排序,并输出排在前面的图像作为检索结果。

### 3.2 实验结果及其分析

在实验中采用标准的 Corel Draw Gallery 图像库,共 1 000 幅包括 10 类图像。首先提取了新的图像特征谱  $(X_1, X_2, \dots, X_m)$ , 它是一个长度为 512 的特征向量,其中每一个特征值为其对应谱值所出现的概率。另外为了验证新特征谱的有效性,还依次按照第 1.2 和 1.3 节中所提到的方法提取了 HSV 直方图和纹理谱两个特征向量(长度依次为 32 和 256)。同时按照传统的加权平均方法对纹理谱特征和颜色特征的相似度进行加权求和,得到加权多特征的相似度。在得到了图像库中 1 000 幅图像与被检索图像的相似度距离之后,按照相似度距离由小到大排序,并输出与被检索图像最相近的前 21 幅图像作为匹配图像,实验结果参见图 7。

从图 7 中可以看出,与图 4 中分别单独采用纹理谱和 HSV 颜色直方图的方法相比,特征加权和自适应特征谱方法对于不同的图像信息都有较好的适应能力,特别是采用新的图像特征谱进行图像检索可以根据图像中每一区域自身的特点自动提取该区域的特征,与简单的加权特征方法相比自适应特征谱对于特征信息的适应能力要更强。



(a) 用特征加权方法对马图像的检索结果



(b) 用特征加权方法对汽车图像的检索结果



(c) 用自适应特征谱对马图像的检索结果



(d) 用自适应特征谱对汽车图像的检索结果

图 7 实验结果及对比

Fig. 7 Results and contrast of the experiments

由于本文的图像库对每一类图像都已经分好类,并且各类图像数目均匀。因此,本文采用命中率作为本文的评价标准。有关命中率的相关定义详见参考文献[1]。表 1 列出了采用不同特征进行检索

的命中率,可以看出与传统的 HSV 直方图、纹理谱以及简单的特征加权联合等方法相比,采用自适应特征谱的检索方法有较好的平均检索效率。

表 1 实验中各方法的平均命中率 /%

Tab.1 Retrieval rates of experiments

特征方式	HSV	纹理	HSV 和纹理谱 加权联合	新的图像特 征谱
人物	0.550	0.548	0.710	0.689
海岸	0.431	0.528	0.495	0.584
建筑	0.439	0.461	0.509	0.500
汽车	0.570	0.924	0.834	0.940
恐龙	0.993	0.962	0.998	0.990
大象	0.429	0.375	0.486	0.521
花	0.729	0.839	0.883	0.883
马	0.925	0.670	0.927	0.898
山	0.421	0.361	0.463	0.511
美食	0.647	0.475	0.723	0.691
平均	0.613	0.614	0.703	0.721

对几种特征提取方法的复杂度进行如下分析:

HSV 颜色直方图的特征提取复杂度最低。首先,它将每个像素的 RGB 颜色值转换为 HSV 颜色值,这一过程只需要常数的时间复杂度。然后,再将 HSV 颜色值进行量化,得到 32 位的特征向量。最后,在特征向量上统计直方图就得到最终的结果。可见时间复杂度的计算关键在于对特征向量进行直方统计。而直方统计的时间复杂度在很大程度上取决于特征向量的长度。

基于此,纹理谱的时间复杂度较 HSV 颜色直方图要大得多。首先,对于每个像素都要用其邻域的 8 个像素与该像素做灰度差,并对差值进行量化。然后,将二值化后的‘0’,‘1’值转化为 256 位的纹理谱。最后,统计 256 位纹理谱的直方图。从直方统计的位数并考虑实际过程中相关算法和其他操作等诸多因素,可以得到纹理谱的时间复杂度是颜色直方图时间复杂度的常数倍。

特征加权方法是将 HSV 颜色直方图和纹理谱进行联合的方法。对于每个像素都要完成以上两种特征提取方法。所以时间复杂度大致为两者之和。

本文提出的自适应特征谱方法,时间复杂度的最好情况是对每个像素都进行 HSV 颜色直方图的特征提取;而最坏情况是对每个像素都进行纹理谱的特征提取。因此它的时间复杂度介于 HSV 颜色

直方图和纹理谱之间。

表 2 列出了上述各方法进行检索所花费的平均时间,可以看出采用提出的自适应特征谱进行检索所花费的时间小于特征加权所花费的时间,甚至小于纹理谱特征的检索所花费的时间,具有较好的时间效率。

表 2 各方法的检索时间 /s

Tab.2 Retrieval time of experiments

特征提取方式	检索时间
HSV	0.059 5
纹理	0.269 5
HSV 和纹理谱加权联合	0.329
新的图像特征谱	0.259

## 4 结 论

针对单一图像特征谱所存在的对图像描述的表面性,以及特征选择不当所产生的干扰等问题,提出了一种能够根据图像区域自身的特点进行特征选择的自适应特征谱。并且将这一图像特征谱应用到了图像检索中。从实验结果可以看出新的图像特征谱既能有效地保留纹理在图像外在形态上的描述优势又能具有颜色对于图像区域方向、大小等变化不敏感的优点,具有更好的实用性。

## 参考文献 (References)

- [1] Sun Junding. Research on content-based image retrieval [D]. Xi'an: Xidian University, 2005. [孙君顶. 基于内容的图像检索技术研究[D]. 西安:西安电子科技大学博士论文, 2005.]
- [2] Li Bicheng, Peng Tianqiang, Peng Bo. Intelligent Image Processing Technology [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004. [李弼程, 彭天强, 彭波. 智能图像处理技术. 北京:电子工业出版社, 2004.]
- [3] Swain M J, Ballard D H. Color indexing [J]. International Journal of Computer Vision, 1991, 7(1): 11-32.
- [4] Haralick R, Shanmugam K, Dinstein I. Texture feature for image classification [J]. IEEE Transactions System, Man, and Cybernetics, 1973, 3(6): 610-623.
- [5] Liapis S, Tziritas G. Color and texture image retrieval using chromaticity histograms and wavelet frames [J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2004, 6(5): 676-686.
- [6] Manesh Kokare, Chatterji B N. Texture image retrieval using new rotated complex wavelet filters [J]. IEEE Transactions on

- Systems, Man, and Cybernetics—Part B: Cybernetics, 2005, 35(6): 1168-1178.
- [ 7 ] Huang Chuanbo, Shao Jie, Wan Minghua, et al. Image retrieval using contourlet transform [ J ]. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(3): 24-27. [ 黄传波, 邵杰, 万鸣华, 等. Contourlet 变换在图像检索中的应用 [ J ]. 计算机工程与应用, 2009, 45(3): 24-27. ]
- [ 8 ] An Zhiyong, Cui Jiangtao, Zeng Zhiyong, et al. Image retrieval based on radon and wavelet transform [ J ]. J. Infrared Millim Waves, 2008, 27(2): 147-151. [ 安志勇, 崔江涛, 曾智勇, 等. 基于 Radon 和小波变换的图像检索 [ J ]. 红外与毫米波学报, 2008, 27(2): 147-151. ]
- [ 9 ] Shi Zhiping, Hu Hong, Li Qingyong, et al. Efficient and effective texture spectrum descriptor [ J ]. Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics, 2004, 12(16): 1703-1707. [ 施智平, 胡宏, 李清勇, 等. 一种快速有效的图像纹理谱描述子 [ J ]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004, 12(16): 1703-1707. ]
- [ 10 ] Niblack W, Barber R, Equitz W, et al. The QBIC project: querying images by content using color, texture, and shape [ C ] // Proceeding of the 11th SRIVD, Storage and Retrieval for Image and Video Databases, San Jose, California: SPIE, 1993: 173-187.
- [ 11 ] Sikora T. The MPEG-7 visual standard for content description: an overview [ J ]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2001, 11(6): 696-702.
- [ 12 ] Liu Jimin. Shape-based Image Retrieval [ D ]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, 2000. [ 刘继敏. 基于形状图象检索的研究 [ D ]. 北京: 中国科学院研究生院, 2000. ]
- [ 13 ] Ojala T, Pietikäinen M, Harwood D. A comparative study of texture measures with classification based on feature distributions [ J ]. Pattern Recognition, 1996, 29(1): 51-59.
- [ 14 ] Castleman K R. Digital Image Processing [ M ]. Englewood cliff: Prentice Hall Press, 1996.
- [ 15 ] He Dongchen, Wang Li. Texture features based on texture spectrum [ J ]. Pattern Recognition, 1991, 24(5): 391-399.