

# 一种基于边缘综合特征的彩色图像检索算法

杨芳宇<sup>1</sup> 王向阳<sup>1,2</sup>

(辽宁师范大学计算机与信息技术学院 大连 116029)<sup>1</sup>

(南京大学计算机软件新技术国家重点实验室 南京 210093)<sup>2</sup>

**摘要** 图像边缘是重要的视觉感知信息,也是图像最基本的特征之一,其在图像分析和理解中有重要价值。以视觉重要的图像边缘轮廓为基础,提出了一种基于边缘综合特征的彩色图像检索新算法。该算法首先利用 Canny 检测算子提取出原始图像的彩色边缘轮廓;然后构造出能全面反映边缘轮廓内容的两种直方图(边缘颜色直方图和边缘方向直方图);最后综合利用上述两种边缘直方图计算图像间的内容相似度,并进行彩色图像检索。仿真实验表明,该算法能够准确和高效地查找出用户所需内容的彩色图像,并且具有较好的查准率和查全率。

**关键词** 图像检索,边缘轮廓,颜色直方图,方向直方图

**中图法分类号** TP391 **文献标识码** A

## Color Image Retrieval Based on Multiple Features of Image Edges

YANG Fang-yu<sup>1</sup> WANG Xiang-yang<sup>1,2</sup>

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

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

**Abstract** An image edge is the boundary between an object and the background, and indicates the boundary between overlapping objects. The image edges are the important clue to understand image content for they can mark the locations of discontinuities in depth, surface orientation, or reflectance. An edge-based color image retrieval by using multiple features was proposed. Firstly, the color edge was extracted by using canny detection operator. Secondly, color histogram and direction histogram about the extracted color edge image were computed as image features. Finally, the similarity between color images was computed by using a combined feature index based on two kinds of histograms. Experimental results show that the proposed image retrieval is more accurate and efficient in retrieving the user-interested images.

**Keywords** Image retrieval, Image edge, Color histogram, Direction histogram

## 1 引言

近年来,随着 Internet 技术的迅猛发展与图像采集设备的日益普及,数字图像的来源正在不断扩大,图像数据的种类和数量也在与日俱增。无论是军用还是民用设备,每天都会产生容量相当于数千兆字节的图像,这些数字图像包含了大量有用信息。为了能够从浩瀚的图像数据库中快速、准确地找到用户所需内容,基于内容的图像检索(Content Based Image Retrieval, CBIR)技术得到了广泛关注,并已成为国际学术界研究的一个热点<sup>[1]</sup>。图像特征的提取与表达是基于内容的图像检索技术的基础。图像的内容主要包括颜色、纹理、形状以及子对象空间位置关系等。由于颜色是图像最直观的特征,也是图像视觉重要的感知特性之一,其不仅与图像中的物体和场景密切相关,而且对图像本身尺寸、方向、视角的依赖性较小,因此基于颜色的图像查询是基于内容的图像检索中最基本和重要的方法。其中,颜色直方图更是以其特征提取

与相似度计算简单、对图像尺度与旋转变化的不敏感等优点,成为图像检索系统应用最为广泛的颜色特征。然而,传统颜色直方图检索技术普遍存在丢失颜色空间分布信息、特征维数过高、无法有效检索含噪声图像等问题<sup>[1,2]</sup>。

为了有效克服传统颜色直方图检索技术所存在的弊端,许多专家学者开展了一系列卓有成效的研究工作<sup>[3]</sup>。文献[4]以形态描述矩阵为基础,提出了用以整体描述图像色彩区域位置与形态特征的广义颜色直方图方案,但其相似度计算模型不够合理,与人的感知特性存在差异。Li 等<sup>[5]</sup>提出了一种基于分块颜色直方图的图像检索方法,其首先将整幅图像分成若干子块,并为每个子块指定权值,然后分别统计子块颜色特征,同时结合权值计算相似度并进行图像检索。Jeong 等<sup>[6]</sup>采用 Gaussian 向量量化(GMVQ)技术提取颜色直方图,但 Gaussian 量化计算复杂,耗时巨大。文献[7]提出了一种基于加权颜色直方图的快速图像检索算法,该算法能够根据像素点所表示的色彩值在原始图像中所占比例对该像素点的

到稿日期:2009-03-05 返修日期:2009-05-28 本文受国家自然科学基金(60773031,60873222),计算机软件新技术国家重点实验室(南京大学)开放基金(A200702),视觉与听觉信息处理国家重点实验室(北京大学)开放基金(05-03)资助。

杨芳宇(1985-),女,硕士生,主要研究方向为图像检索、模式识别;王向阳(1965-),男,教授,CCF 高级会员,主要研究方向为视听觉信息计算、网络信息安全等,E-mail:wxy37@126.com。

灰度级进行加权处理,从而使得颜色直方图可以表征原始图像中不同颜色像素点的数量,该算法的检索速度有所提高,但检索效果一般。Kumar 等<sup>[8]</sup>提出了基于 Legendre 矩形状描述子的图像检索方法,但其对无显著物体区域(或边缘)图像的检索效率较低,且计算复杂度比较高。Amin 等<sup>[9]</sup>结合小波系数统计特性,构造了小波系数的 Laplacian 混合分布模型,并据此提出了一种新的小波域图像检索方案,但其所采纳的系数分布模型不够稳定,且对颜色信息考虑不足。Stöttinger 等<sup>[10]</sup>提出了基于感兴趣点的彩色图像检索技术,但所采用的感兴趣点提取方法不够稳定,且忽略了局部图像相关特性,故影响了检索效果。Eauqueur 等<sup>[11]</sup>首先利用图像分割技术获得图像的主要区域,然后提取每个区域的颜色和空间信息作为特征,由于图像分割本身就是一个难题,分割结果很难精确,故检索效果并不理想。

图像边缘是重要的视觉感知信息,也是图像最基本的特征之一。所谓图像边缘,是指图像中周围像素值有阶跃变化或屋顶变化的那些像素的集合,即图像局部变化最显著的部分。图像边缘是人类理解图像内容的重要线索,其在图像分析和理解中有重要价值。本文以视觉重要的图像边缘轮廓为基础,提出了一种基于边缘综合特征的彩色图像检索方法,其基本工作步骤为:(1)利用 Canny 检测算子提取出原始图像的彩色边缘信息;(2)构造出能全面反映边缘轮廓内容的两种直方图(边缘颜色直方图和边缘方向直方图);(3)综合利用上述两种边缘直方图计算图像间的内容相似度,并进行彩色图像检索。实验结果表明,该方法的图像检索效果良好。

## 2 彩色边缘提取

图像边缘对人类视觉系统具有重要意义,它是人类判别物体的重要依据,也是图像的最基本特征之一。图像边缘信息可广泛应用于模式识别、机器视觉、图像分割、特征提取、图像压缩等诸多领域。常用的边缘检测方法包括 Kirsch, Sobel, Laplacian-Gaussian, Canny 算子等。本文将采用性能优良的滤波后 Canny 算子<sup>[12]</sup>来提取彩色边缘信息,其能够较好地勾画出原始图像的边缘。

Canny 边缘检测算子是高斯函数的一阶导数,它能够在噪声抑制与边缘检测之间取得良好平衡。Canny 边缘检测算子的基本工作步骤如下:

(1)用高斯滤波器平滑图像。利用式(1)所示的一维高斯函数分别按行和列对原始图像  $f(x, y)$  进行平滑去噪,得到平滑图像  $I(x, y)$ 。

$$G(x) = (1/2\pi\sigma^2) \exp(-x^2/2\sigma^2) \quad (1)$$

$$I(x, y) = [G(x)G(y)] * f(x, y) \quad (2)$$

其中, \* 是卷积运算符。事实上,这是一个低通滤波过程,主要用于消除空间尺度小于高斯空间系数  $\sigma$  的图像灰度变化。

(2)用一阶偏导的有限差分来计算梯度的幅值和方向。对图像中的每个像素  $I(x, y)$ ,利用图 1 所示的  $2 * 2$  模板作为对  $x$  和  $y$  方向偏微分的一阶近似,来计算其梯度的幅值  $M(x, y)$  和方向  $O(x, y)$ 。

$$M(x, y) = \text{sqrt}(g_x(x, y) * g_x(x, y) + g_y(x, y) * g_y(x, y)) \quad (3)$$

$$O(x, y) = \arctan(g_y(x, y)/g_x(x, y)) \quad (4)$$

-1/2	1/2
-1/2	1/2

 $K_x$ 

1/2	1/2
-1/2	-1/2

 $K_y$ 

图 1  $2 * 2$  模板

(3)对梯度幅值应用非极大值抑制。像素  $I(x, y)$  的梯度方向  $O(x, y)$  可定义为图 2 所示的 4 个区域之一,各区域有其相应的比较方向,利用不同相邻像素进行比较可以确定出梯度局部极大值。例如,如果中心像素  $I(x, y)$  的梯度方向属于第 2 区,则将其梯度幅值  $M(x, y)$  与它左上和右下相邻像素的梯度值进行比较,若非局部极大值,则将像素  $I(x, y)$  的梯度幅值  $M(x, y)$  设为 0。

2	3	4
1	$I(x, y)$	1
4	3	2

图 2 4 个区域与相应的比较方向

(4)选取双阈值检测和连接图像边缘。本文选取高阈值  $T_1$  为 0.7,而将低阈值  $T_2$  选取为高阈值  $T_1$  的一定比例因子,即  $T_2 = T_1 * \alpha$ ,一般选取  $\alpha = 0.4$ 。

利用上述 Canny 边缘检测算法可以得到原始图像的二值边缘,再根据原始图像与二值边缘的对应关系,便可以得到原始图像的彩色边缘。图 3 给出了图像(“Bus”)的彩色边缘。

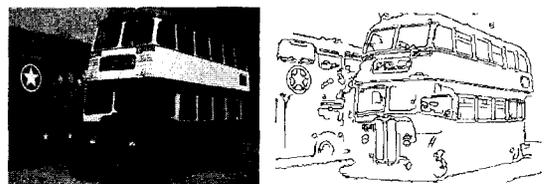


图 3 原始图像、二值边缘和彩色边缘

## 3 图像特征的提取

### 3.1 彩色边缘颜色直方图的构造

颜色是图像最直观的特征,也是图像视觉重要的感知特性之一,其不仅与图像中的物体和场景密切相关,而且对图像本身尺寸、方向、视角的依赖性较小。其中,颜色直方图更是以其特征提取与相似度计算简单、对图像尺度与旋转变化不敏感等优点,成为图像检索系统应用最为广泛的颜色特征。本文以原始图像的彩色边缘为基础,给出一种新的图像内容刻画与表示方法——彩色边缘颜色直方图。

#### (1)彩色边缘的量化处理

从理论上讲,直接利用彩色边缘(图像)进行特征抽取和图像检索将产生最小的误差,但却会导致计算时间及存储空间迅速膨胀。事实上,彩色边缘所包含的实际颜色数只是全部颜色数一个很小的子集,而且进一步观察也表明,彩色边缘的实际颜色中若干主要色彩覆盖了其中的绝大多数像素。

如果以这些主要色彩来表示彩色边缘,图像质量尽管会有所下降,但并不影响人们对图像内容的正确理解。本文结合 MPEG-7 的视觉内容描述标准,从标准 RGB 彩色调色板中选取了 25 种视觉颜色构成查色表<sup>[13]</sup>,并利用标准欧拉距离进行非均匀的颜色量化,从而有效地减少了彩色边缘的颜色信息。

设待量化颜色  $P$  的 3 个彩色分量(即  $R, G, B$  分量)为  $p_R, p_G$  和  $p_B$ ,而查色表中颜色  $C_i$  所对应的  $R, G, B$  彩色分量为  $c_{iR}, c_{iG}$  和  $c_{iB}$ ,则颜色  $P$  的量化过程如下。

首先,利用欧拉距离公式计算出待量化颜色  $P$  与查色表中颜色  $C_i (i=0, 1, \dots, 24)$  之间的距离  $C_{id}$ :

$$C_{id} = \sqrt{(c_{iR} - p_R)^2 + (c_{iG} - p_G)^2 + (c_{iB} - p_B)^2} \quad (i=0, 1, \dots, 24)$$

然后,将待量化颜色  $P$  量化为查色表中具有最小欧拉距离  $C_d = \min(C_{id}) (i=0, 1, \dots, 24)$  的颜色。

显然,根据以上颜色量化方法对彩色边缘进行量化处理后,将得到一幅量化图像。它由一张查色表和像素点阵列组成,而像素点的值为查色表的索引值。

### (2) 彩色边缘颜色直方图的构造

彩色边缘颜色直方图的构造步骤如下。

步骤 1 统计出彩色边缘中颜色值为  $k (k=0, 1, 2, \dots, 24)$  的像素个数  $N(k)$ 。

步骤 2 统计出彩色边缘所含像素总数:

$$SN = \sum_{k=0}^{24} N(k)$$

步骤 3 按照下式构造出直方图  $H(k)$ ,并进行归一化处理,即可得到彩色边缘颜色直方图:

$$H(k) = \frac{N(k)}{SN} \quad (k=0, 1, \dots, 24)$$

图 4 给出了两幅内容不同(“Flower”和“Bus”)的传统颜色直方图和彩色边缘颜色直方图。

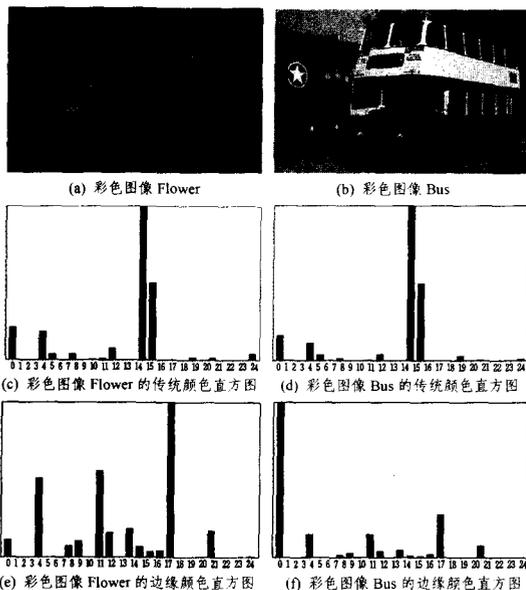


图 4 不同内容的传统颜色直方图和彩色边缘颜色直方图

### 3.2 彩色边缘方向直方图的构造

对人类视觉系统(HVS)而言,边缘方向是人眼感知图像的重要因素之一。事实上,只有那些既具有大对比度又具有一致方向的边缘轮廓才能引起人类视觉的最大关注。图像边

缘的每个像素都对应于此处的一个边缘方向。边缘可以看作由具有特定方向的边缘像素点构成(边缘像素的幅值信息可以完全被忽略)并对边缘像素点方向的统计(构造方向直方图)能够表征物体的形状。本文选取边缘像素点的梯度方向(即边缘梯度方向直方图)作为图像的形状特征。总体说来,边缘梯度方向直方图能够从统计意义上表征图像边缘取向的分布特性,即不同图像往往对应于不同的边缘取向分布。同时,归一化边缘梯度方向直方图还具有对图像光照变化、平移、尺度等的不变特性。

边缘梯度方向直方图的构造方法如下。

(1)计算出图像边缘像素点  $I(i, j)$  的梯度幅值  $M(i, j)$  和梯度方向  $O(i, j)$ 。其中,  $-\frac{\pi}{2} \leq O(i, j) \leq \frac{\pi}{2}$ 。

(2)将梯度方向  $O(i, j)$  的取值范围划分成  $n$  等分  $[-\frac{\pi}{2} + \frac{k}{n}\pi, -\frac{\pi}{2} + \frac{k+1}{n}\pi]$  ( $k=0, 1, \dots, n-1$ )。其中,数值  $n$  可以根据实际需要选取,  $n$  取值越大,计算精度越高,但计算越复杂。

(3)对梯度方向  $O(i, j)$  进行量化处理。若  $O(i, j) \in [-\frac{\pi}{2} + \frac{k}{n}\pi, -\frac{\pi}{2} + \frac{k+1}{n}\pi]$  ( $k=0, 1, \dots, n-1$ ),则  $\theta(i, j) = k$ 。这样,原图像中的每个像素  $I(i, j)$  都对应于两个值  $M(i, j)$  和  $\theta(i, j)$ 。

(4)以  $\theta(i, j)$  为横坐标,构造边缘梯度方向直方图  $H$ 。这里,边缘梯度方向直方图  $H$  的横坐标有  $n$  个取值  $H_t (t=0, 1, \dots, n-1)$ 。边缘梯度方向直方图中对应于  $H_t$  的纵坐标计算方法如下:

$$H_t = \sum_{i,j} M(i, j) \delta[\theta(i, j) - t] \quad (5)$$

$$\text{其中, } \delta[x-t] = \begin{cases} 1 & x=t \\ 0 & x \neq t \end{cases}$$

(5)对边缘梯度方向直方图  $H$  进行归一化处理,使得其具有尺度不变特性。

图 5 给出了两幅内容不同(图 3(a)“Flower”和图 3(b)“Bus”)的边缘方向直方图。

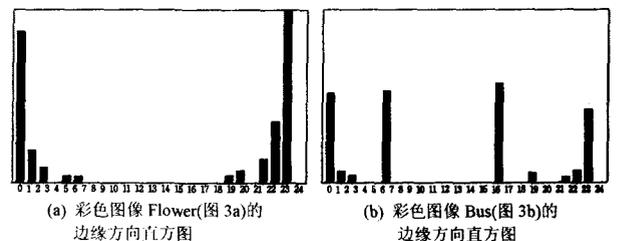


图 5 不同内容(Flower 和 Bus)的边缘方向直方图

## 4 相似性的度量

本文综合运用彩色边缘的颜色直方图和方向直方图计算图像间内容的相似度,并进行图像检索。假设示例图像为  $Q$ , 数据库中待检索图像为  $I$ , 则  $Q, I$  之间的相似性距离可定义为:

$$S(Q, I) = \beta_1 S_1(Q, I) + \beta_2 S_2(Q, I)$$

其中,  $S_1(Q, I)$  表示彩色边缘颜色直方图间的相交距离,  $S_2(Q, I)$  表示彩色边缘方向直方图间的相交距离。权值  $\beta_1, \beta_2 \in$

$[0, 1]$ , 且  $\beta_1 + \beta_2 = 1$ 。

需要指出的是, 根据以上相似度计算公式,  $S(Q, I)$  与  $S(I, Q)$  的值一般是不同的。因此, 本文将示例图像  $Q$  与数据库图像  $I$  的总体相似度定义为平均相似度  $S'(Q, I)$ , 即:

$$S'(Q, I) = \frac{S(I, Q) + S(Q, I)}{2}$$

这样, 进行图像检索时, 将首先利用平均相似度计算公式  $S'(Q, I)$  计算出数据库中的每一幅图像  $I$  与示例图像  $Q$  之间的相似度, 然后按照相似度由大到小的顺序返回基于内容图像检索的查询结果。

表 1 测试图像库包含的图像语义类

Class NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Semantic	Bus	Horse	Flower	Dinosaur	Building	Elephant	People	Beach	Scenery	Dish

另外, 为了进一步评价图像检索算法的工作性能, 本文还计算了图像检索系统的查准率 (Precision) 和查全率 (Recall)。其中,

$$\text{查全率} = \frac{\text{检索到的相关图像数目}}{\text{所有相关图像数目}}$$

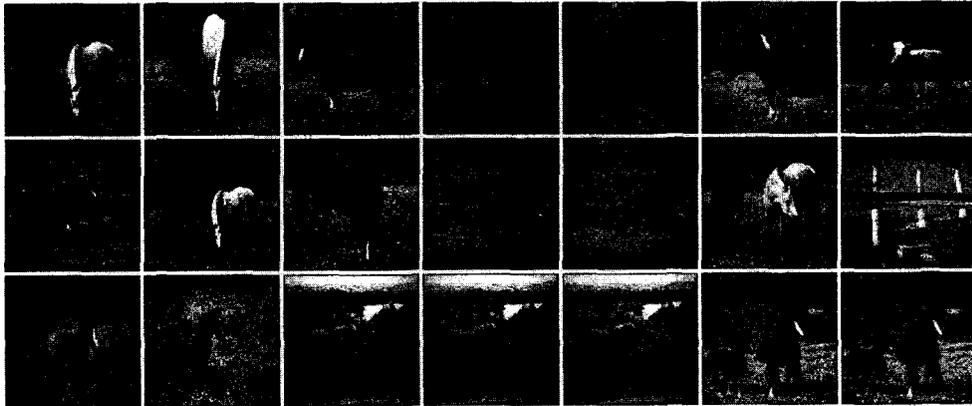
$$\text{查准率} = \frac{\text{检索到的相关图像数目}}{\text{已检索出的图像数目}}$$

## 5 实验结果

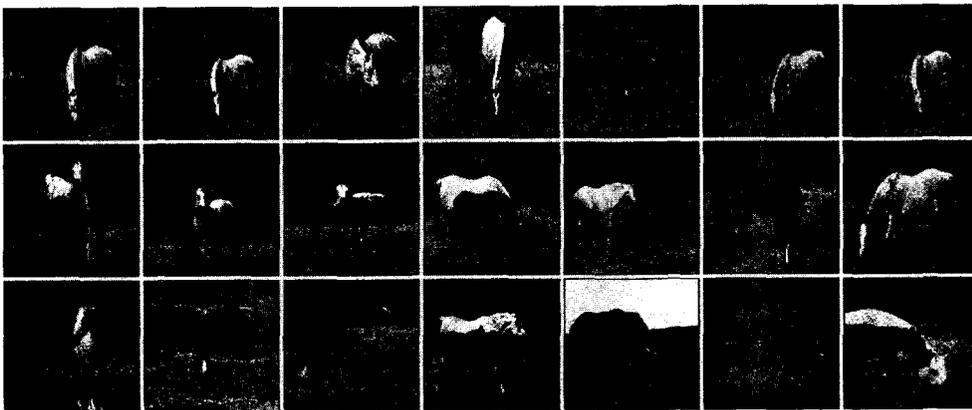
为了验证本文算法的工作性能, 以下给出了基于边缘综合特征的彩色图像检索实验结果, 并与传统颜色直方图法进行了对比。实验中, 选用了 SIMPLIcity 系统使用的测试集 (<http://wang.ist.psu.edu/docs/related>) 作为图像库, 该测试集是从 Corel 图像库中选取的, 共包含有 10 个语义类, 如表 1 所列。其中, 每个语义类包含有 100 幅图像, 共计 1000 幅图像。

一般说来, 查全率和查准率越高, 相应图像检索算法越好; 反之, 就越差。

图 6 和图 7 给出了本文算法与传统颜色直方图法的检索结果。其中, 显示图像的左上角为示例图像, 其余 20 幅图像是查询结果。不难看出, 本文算法能够准确和高效地查找出用户所需内容的彩色图像, 具有较好的检索效果。



(a) 传统颜色直方图法的查询结果



(b) 本文算法的查询结果

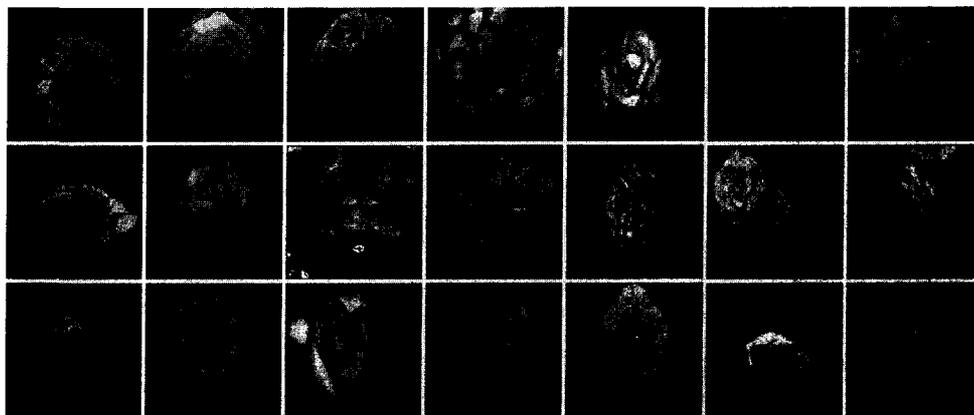
图 6 本文算法与传统颜色直方图法的检索结果 (Horses)

为进一步验证本文算法的有效性, 从测试图像库中选取 10 类图像 (飞机、人物、动物、建筑、海滩、餐具、花卉、体育、汽车、村庄), 每类随机抽取 5 幅作为示例图像, 共构成 50 次查询, 每次查询选取前 20 幅最相似的图像作为检索结果。对于

每类图像而言, 计算其 5 次查询结果的查准率平均值、查全率平均值, 并将其作为该类图像的平均查准率、平均查全率。图 8 给出了本文算法、传统颜色直方图法的平均查准率和平均查全率。



(a) 传统颜色直方图法的查询结果



(b) 本文算法的查询结果

图7 本文算法与传统颜色直方图法的检索结果(Flower)

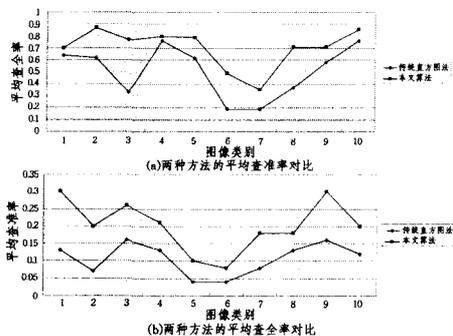


图8 两种图像检索方法的性能对照

**结束语** 基于内容的图像检索是正处于发展过程中的一门全新、跨学科、综合性高新技术,其研究与发展涉及到认知科学、人工智能、模式识别、图像处理等众多学科分支。研究行之有效的图像特征提取算法,对提高图像检索系统的性能有着重要而积极的作用。本文以视觉重要的图像边缘轮廓为基础,提出了一种基于边缘综合特征的彩色图像检索新算法,其不仅充分利用了重要的边缘轮廓颜色信息,而且考虑了图像边缘轮廓的形状特征。仿真实验表明,该方法能够准确和高效地查找出用户所需内容的彩色图像,并且具有较好的查准率和查全率。

### 参考文献

[1] Datta R, Joshi D, Li Jia, et al. Image retrieval: ideas, influences, and trends of the new age[J]. ACM Computing Surveys, 2008, 40(2): 1-60  
 [2] Michael S L, Nice S, Chababe D, et al. Content-based multimedia

information retrieval: state of the art and challenges[J]. ACM Trans. on Multimedia Computing, Communications and Applications, 2006, 2(1): 1-19

[3] Vogel J, Schiele B. Performance evaluation and optimization for content-based image retrieval[J]. Pattern Recognition, 2006, 39(5): 897-909  
 [4] 王熠, 翟宏琛, 梁艳梅, 等. 形态描述矩阵及其在彩色图像检索与识别中的应用[J]. 中国科学(E辑), 2004, 34(3): 337-344  
 [5] Li Xuelong. Image retrieval based on perceptive weighted color blocks[J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24(12): 1935-1941  
 [6] Jeong S, Won C S, Gray R M. Image retrieval using color histograms generated by Gauss mixture vector quantization[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2004, 9(1-3): 44-46  
 [7] 邢强, 袁保宗, 唐晓芳. 一种基于加权色彩直方图的快速图像检索方法[J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(11): 1903-1910  
 [8] Dinesh Kumar V P. Performance study of an improved legendre moment descriptor as region-based shape descriptor[J]. Pattern Recognition and Image Analysis, 2008, 18(1): 23-29  
 [9] Amin T, Zeytinoglu M, Guan L. Application of laplacian mixture model to image and video retrieval[J]. IEEE Trans. on Multimedia, 2007, 9(7): 1416-1429  
 [10] Stöttinger J, Sebe N, Gevers T, et al. Colour interest points for image retrieval[C]// Proceedings of the 12th Computer Vision Winter Workshop, 2007: 83-90  
 [11] Eauqueur J, Boujema N. Region - based image retrieval : Fast coarse segmentation and fine color description[J]. Journal of Vision Languages and Computing, 2004, 15(1): 69-95  
 [12] Canny J. A computational approach to edge-detection[J]. IEEE Trans. on Pattern Anlysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679-698  
 [13] Sikora T. The MPEG-7 visual standard for content description - an overview[J]. IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, 2001, 11(6): 696-702