

文章编号:1007-2780(2017)09-0755-09

基于分块颜色直方图和 GWLBP 的图像检索算法

陈璐宇*, 周春艳

(贵州师范学院, 贵州 贵阳 550018)

摘要:为了提高多特征融合图像检索的效果,本文提出了一种基于分块颜色直方图和 GWLBP 的图像检索算法。算法采用 K-means 均值聚类对 RGB 颜色空间进行颜色聚类,再将 4×4 均匀分块图像分成 9 个子块,提取每个子块的颜色体积直方图,并赋予不同权值计算颜色特征;利用 Gabor 滤波器组对输入图像进行不同分辨率和方向滤波,然后将不同方向上局部滤波器输出结果与全局滤波器输出结果的平均值进行比较,并进行二值化,据此提出 3 种不同的 GWLBP 算子来提取纹理特征。最后对图像的颜色和纹理特征高斯归一化,采用加权平均来融合颜色和纹理的特征距离。通过实验仿真可知,与其他 3 种算法相比,本算法对正常和有旋转倾向的图像都有较高的查全率和查准率。

关键词:图像检索;颜色聚类;分块颜色直方图;局部 Gabor 二元模式(GWLBP);Gabor 小波滤波器

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20173209.0755

Image retrieval algorithm based on block color histogram and GWLBP

CHEN Lu-yu*, ZHOU Chun-yan

(Guizhou Education University, Guiyang 550018, China)

Abstract: In order to improve the effect of multi-feature fusion image retrieval, this paper proposed a kind of image retrieval algorithm based on block color histogram and GWLBP. By means of K-means mean value clustering, the algorithm implemented color clustering on RGB color space; then, it divided 4×4 uniformed block image into 9 sub-blocks to extract color volume histogram of each sub-block and endow different weights so as to calculate color features. Based on Gabor filter bank, the smoothing in various resolutions as well as directions were conducted on input image; later, the comparison of mean values between local filter output results and overall filter output results in different directions was carried out with threshold. On this basis, three kinds of GWLBP operators were proposed to extract textural features. Finally, Gaussian normalization was implemented on image color as well as textural features; weighted average was applied to integrate feature distance between color and texture. The experimental simulation indicated that, compared with other three algorithms, this algorithm carries higher recall ratio and precision in normal images and those with rotation inclination.

收稿日期:2017-02-27; **修订日期:**2017-05-03.

基金项目:国家自然科学基金(No.61462013)

Supported by National Natural Science Foundation of China(No.61462013)

* 通信联系人, E-mail: chenluyu87@126.com

Key words: image retrieval; color clustering; block color histogram; local gabor wavelets binary patterns; gabor wavelet filter

1 引言

随着互联网和多媒体信息技术的快速发展,产生了各式各样的数字图像数据,如何快速地从海量图像库中准确检索到用户所需的图像是亟待解决的问题,已成为当前图像处理领域的研究热点。基于文本的图像检索是早期图像检索方法,此方法在图像信息较少时较为有效,但随着数码相机等电子设备的出现,人工标注存在较大的主观性和差异性,使文本图像检索算法无法满足海量级图像的检索。

为了解决以上问题,基于内容的图像检索(Content Based Image Retrieval, CBIR)算法应运而生。此算法主要依据颜色特征^[1]、纹理特征^[2]、形状特征^[3]等低层特征来实现检索,提取这些低层特征,进行特征匹配^[4]。先前基于内容的图像检索算法都是基于某单一特征进行图像检索,比如文献[5]提出了一种以累加直方图为特征的图像检索算法;文献[6]提出了一种以分块颜色矩为特征的图像检索方法;文献[7]则以灰度共生矩阵为特征值对目标图像进行检索;文献[8]基于改进 LBP 算子的纹理图像检索算法。这些基于单一特征的图像检索算法时效性较好,但由于无法全面表达图像信息,检索系统的精度普遍不高。而多特征融合检索技术,能够从多角度描述图像的内容,往往得到不错的检索效果。

文献[9]将两层小波变换对角子带系数均值和方差融合灰度共生矩阵的特征量综合人脸检测,取得了不错的效果;文献[10]提出了以全局不变矩和分块主颜色为特征的图像检索算法;文献[11]提出了基于分块主颜色和 EHD 的图像检索方法;文献[12]提出了一种改进的上下文算法克服传统上下文形状上下文算法不具备旋转不变性缺点,引入剪枝方法解决直方图距离计算问题,算法能有效检索二值图像。这些融合多特征的检索算法,都取得了比较好的检索效果,本文在借鉴前

人研究成果的基础上,对颜色和纹理特征提取方法进行改进,提出了一种综合分块颜色体积直方图和 GWLBP 图像检索算法。

2 分块颜色体积直方图

颜色体积直方图虽然可以描述图像整体的颜色特征和颜色空间分布,但没有根据人眼视觉特征区分目标和背景,并存在颜色特征维数高,计算量大等缺点。为解决此问题,文章采用 K-means 均值聚类算法对 RGB 颜色空间进行颜色聚类,再将 4×4 均匀分块图像重叠分成 9 个子块,提取每个子块的颜色体积直方图,并赋予每个子块不同的权值计算两幅图像的颜色特征相似度。

2.1 颜色聚类

本文利用 K-means 聚类对原始图像进行初始化,以降低图像颜色数,步骤如下:

步骤 1:选取 k 个初始聚类中心;

步骤 2:计算各个 RGB 颜色点到初始聚类中心的欧式距离,按距离的大小将各个 RGB 颜色点安排到距离最近的聚类中去,通过距离大小衡量聚类结果的优劣,聚类的距离越近,说明其相似度就越大,聚类效果越好;

步骤 3:重新计算 k 个聚类簇的中心,替代之前的聚类簇中心;

步骤 4:重复执行步骤 2 和 3,直到各个类不在变化,输出 k 个中心点。

通过 K-means 聚类对 RGB 图像进行聚类,原图像所有颜色被划分为 k 类,这样聚类后的图像仅保留了原图像色系中的 k 种颜色空间。

2.2 HSV 颜色空间

生活中大多图像的保存形式为 RGB 颜色空间形式。图像处理如果直接在 RGB 颜色空间进行,处理结果不能很好的符合人类的视觉,而用 HSV(色相、饱和度、明度)来表示颜色就比较符合人们的习惯^[13]。聚类后图像仅有 k 种颜色。由 RGB 转化为 HSV 的具体公式如下:

$$h = \begin{cases} \text{undefined} & \text{if } \max = \min \\ 60^\circ \times \frac{g-b}{\max-\min} + 0^\circ, & \text{if } \max = r \text{ and } g \geq b \\ 60^\circ \times \frac{g-b}{\max-\min} + 360^\circ, & \text{if } \max = r \text{ and } g < b \\ 60^\circ \times \frac{b-r}{\max-\min} + 120^\circ, & \text{if } \max = g \\ 60^\circ \times \frac{r-g}{\max-\min} + 240^\circ, & \text{if } \max = b \end{cases} \quad (1)$$

$$s = \begin{cases} 0, & \text{if } \max = 0 \\ \frac{\max-\min}{\max} = 1 - \frac{\min}{\max}, & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (2)$$

$$v = \max, \quad (3)$$

其中: $\max = \max(R, G, B)$, $\min = \min(R, G, B)$, $r, g, b \in [0, 1]$, $h \in [0, 360]$, $s \in [0, 1]$, $v \in [0, 1]$ 。

2.3 颜色体积直方图

传统的颜色直方图缺乏对颜色间空间关系的描述,为了弥补颜色直方图的不足,本文采用颜色体积直方图来描绘图像颜色和空间信息。设 $V(x, y)$ 是大小为 $M \times N$ 的彩色图像颜色量化后的索引图像,其中 x 和 y 的取值范围: $x \in [0, 1, 2, \dots, M-1]$, $y \in [0, 1, 2, \dots, N-1]$ 。假设在图像的左上角取一个 3×3 窗口,且 $Z_0 = (x_0, y_0)$ 为像素点的中心,周围八邻域位置为 $Z_j = (x_j, y_j)$, $j \in [1, 2, 3, \dots, 8]$, (H_j, S_j, V_j) 表示周围八邻域像素的颜色值, (H_0, S_0, V_0) 为中心点像素的颜色值。设像素的移动步长为 1,然后不断的从左到右,从上到下移动。颜色体积直方图的计算公式如下:

$$H(V(x_0, y_0)) = \sum_{x=1}^{M-1} \sum_{y=1}^{N-1} \left\{ \sum_{j=0}^8 \left(1 - \frac{CV_j}{9MN} \right) \right\}, \quad (4)$$

$$CV_j = |\pi \cdot S_j^2 \cdot V_j \cdot H_j / 360|, \quad (5)$$

其中: CV_j 为像素点 $Z_j = (x_j, y_j)$ 在 HSV 圆柱体模型中所占的体积。

2.4 改进分块方法

传统的分块方法采用 3×3 均匀分块模式,本文采用 4×4 分块方法,首先在水平和垂直方向将图像均匀分成 4 份,得到 16 个大小相同的子块,如图 1 所示。由于图像右边和下边大多包含背景信息,当不能分成 4 份时,将图像右边和下边中多

余的一些像素舍去。

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	5	16

图 1 4×4 分块方法

Fig.1 4×4 block method

在图 1 分块基础上再进行重叠划分:

$A_1 = (1, 2, 5); A_2 = (3, 4, 8); A_3 = (9, 13, 14)$

$A_4 = (12, 15, 16); A_5 = (2, 3, 6, 7); A_6 = (7, 8, 11, 12)$

$A_7 = (5, 6, 9, 10); A_8 = (10, 11, 12, 15); A_9 = (6, 7, 10, 11)$

虽然本文算法得到的子块数目和传统分块方法相同,但本算法得到子块所含信息量更多。分块方法既可减少颜色特征的储存量又能充分表达目标物体的颜色整体特征和颜色空间分布。

3 Gabor 小波滤波器

3.1 Gabor 函数

二维高斯函数通过空间域复正弦调制可以得到二维 Gabor 函数 $g(x, y)$, 其具有很强的方向选择性^[14]:

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)\right] \exp(2\pi i Fx), \quad (7)$$

式中: F 为高斯函数的复调制频率, δ_x 、 δ_y 分别为高斯函数在水平和竖直方向上的均方差。

根据傅里叶理论,将上式(7)转换为:

$$G(u, v) = \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{(u-F)^2}{\delta_u^2} + \frac{v^2}{\delta_v^2} \right) \right], \quad (8)$$

式中: $\delta_u = 1/2\pi\delta_x$, $\delta_v = 1/2\pi\delta_y$ 。公式(7)和(8)可知, Gabor 函数构成了一个完备非正交的基底函数,其扩展的信号可以描述局部频域。

将二维 Gabor 函数 $g(x, y)$ 设为母小波,并对其进行适度的尺度伸缩和旋转变换,即得到一组自相似的滤波器:

$$g_{\alpha, \beta}(x, y) = \sigma^{-\alpha} g(x', y'), s > 1, \quad (9)$$

$$\begin{cases} x' = \sigma^{-\alpha} (x \cos \theta + y \sin \theta) \\ y' = \sigma^{-\alpha} (-x \sin \theta + y \cos \theta) \end{cases}, \quad (10)$$

式中: θ 为滤波器方向且 $\theta = n\pi/N$, $\sigma^{-\alpha}$ 为尺度因子, $\alpha = 0, 1, 2, \dots, M-1$, $\beta = 0, 1, 2, \dots, N-1$, M 和 N 为多分辨率分解尺度和方向的数量,通过改变 α, β 可以得到尺度和方向不同的滤波器组。

3.2 Gabor 滤波器

由于 Gabor 滤波组是非正交的,图像经 Gabor 滤波器滤波后的会有冗余。为了减少冗余信息,滤波器要在 Gabor 滤波族的响应频谱达到峰值的一半时可以相互接触,且互不重叠。滤波器参数设置如下:

$$\delta_u = \frac{(\sigma-1)F_h}{(\sigma+1)\sqrt{2\ln 2}}, \quad (11)$$

$$\delta_v = \tan \left(\frac{\pi}{2N} \right) \left[F_h - 2 \ln \left(\frac{2\delta_u^2}{F_h} \right) \right] \left[2 \ln 2 - \frac{(2 \ln 2)^2 \delta_u^2}{F_h^2} \right]^{-\frac{1}{2}}, \quad (12)$$

式中: $\sigma = (F_h/F_l) \frac{1}{M-1}$, F_h 为高频的中心频率, F_l 为低频的中心频率。按以上参数设置 Gabor 滤波器,可得到 $M \times N$ 个由实部和虚部组成的 Gabor 小波滤波器组。

4 GWLBP 算子

4.1 改进局部二值模式

局部二值模式(LBP)是一种具有代表性的局部算子,此算子通过比较邻域像素和中心像素灰度值的差异以形成代表图像局部特征的二进制编

码^[15]。算子具有对光照变化不敏感和计算简单的优点,因而广泛运用于人脸识别^[16]、目标追踪^[17]、纹理分类^[18]、图像检索中^[19]。虽然 LBP 算子计算简单,但是其直接比较区域内中心像素与其邻域像素在灰度值上的二值关系,忽略灰度强度变化,导致其在纹理特征提取上易受噪声影响,并且 LBP 算子忽略方向统计信息,对旋转图像的纹理提取也无计可施。

为了克服以上两点不足,本文在将 LBP 算子与多尺度多方向 Gabor 滤波器相结合。提出了一种新的基于 Gabor 小波的局部二值模式 (Gabor Wavelets Local Binary Patterns, GWLBP)。

设目标图像 P , $N(p, q)$ 为图像 P 中像素点 (p, q) 的 $G \times G$ 邻域, $G_{s, \theta}$ 为尺度 s 、方向 θ 上的二维 Gabor 滤波器, $G_{s, \theta}$ 复小波矩阵的实部为 $G_{s, \theta}^e$, 虚部为 $G_{s, \theta}^o$ 。

首先提取图像 P 中所有可能的 $G \times G$ 邻域,然后利用 Gabor 小波滤波器对提取的 $N(p, q)$ 进行滤波处理,计算公式如(13)所示, Gabor 滤波器滤波反应的幅值计算如(14)所示。

$$f_{p, q}^{s, \theta, t} = \mathbf{n}_{p, q}^T \mathbf{g}_{s, \theta}^t, \quad (13)$$

$$f_{p, q}^{s, \theta} = \sqrt{(f_{p, q}^{s, \theta, e})^2 + (f_{p, q}^{s, \theta, o})^2}, \quad (14)$$

上式中 $\mathbf{n}_{p, q}$ 表示将 $N(p, q)$ 矢量化, $\mathbf{g}_{s, \theta}^t$ 表示对 $G_{s, \theta}^t$ 矢量化, $t \in (e, o)$, $f_{p, q}^{s, \theta}$ 为像素点 (p, q) 的滤波反应幅值。

4.2 GWLBP 算子特征提取

通过不同的算子性能,文章定义了 3 种不同的 GWLBP 算子:

(1) 第一类 GWLBP 算子

Num 表示目标图像 P 中 $G \times G$ 邻域的数目,

$f_i^s = [f_i^{s, \theta_0}, f_i^{s, \theta_1}, \dots, f_i^{s, \theta_{N-1}}]$ 表示表示目标

图像 P 在第 i 个邻域像素上经过 s 尺度、 N 个方向的 Gabor 滤波器后,所生产幅值构成的矢量,

$f_i^{s'} = \frac{1}{Num} \sum_{i=1}^{Num} f_i^s$ 表示目标图像 P 所有邻域

Gabor 滤波器反应幅值平均值的矢量。

将 f_i^s 与 $f_i^{s'}$ 按位比较并二值化,再转成十进制的 GWLBP 得到 ω_i^s :

$$\bar{\omega}_i^s = \sum_{n=1}^N \text{sgn}(f_i^s(n) - f_i^{s'}(n)) 2^{n-1}, \quad (15)$$

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}, \quad (16)$$

本文在 N 个方向可得到 2^N 种 ω_i^s , 但目标图像发生旋转时, 二值化数据也会改变, 致使 ω_i^s 发生变化, 为了得到旋转不变的 ω_i^s , 文章采取如下操作:

$$\bar{\omega}_i^{s,r} = \max\{ROR(\omega_i^s, n) \mid n=0, \dots, N-1\}, \quad (17)$$

式中: $ROR(x, n)$ 为旋转函数, 表示将 x 循环右移 n 次, 将最高位移至最低位, r 表示旋转不变性。 $\bar{\omega}_i^{s,r}$ 为第一类 GWLBP 算子, 由于其每个邻域与全局阈值进行比较, 而不是与局部值比较。因此, $\bar{\omega}_i^{s,r}$ 具有较强的抗旋转和抗噪声性。

(2) 第二类 GWLBP 算子

设 $d_i^s = f_i^s - f_i^{s'}$ 且 $d_i^{s'} = \frac{1}{Num} \sum_{i=1}^{Num} d_i^s$, 第 i 个邻域二值码与对应二进制权值相乘得到 ξ_i^s :

$$\xi_i^s = \sum_{n=1}^N \text{sgn}(d_i^s(n) - d_i^{s'}(n)) 2^{n-1}, \quad (18)$$

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}, \quad (19)$$

为了使第二类 GWLBP 算子具有旋转不变性, 采用如下操作:

$$\xi_i^{s,r} = \max\{ROR(\xi_i^s, n) \mid n=0, \dots, N-1\}, \quad (20)$$

经过式(20)得到的 $\xi_i^{s,r}$ 为第二类 GWLBP 算子, 第二类 GWLBP 算子在第一类 GWLBP 算子的基础上还考虑了 Gabor 滤波器的反应幅值偏离平均值大小, 弥补了第一类 LGWBP 算子死算丢失问题。

(3) 第三类 GWLBP 算子

第三类 GWLBP 算子利用 Gabor 复小波滤波器实部和虚部矢量绝对差衡量局部相位信息, 局部相位传达了重要的图像结构方面的信息。设 $f_i^{s,e} = [f_i^{s,\theta_0,e}, f_i^{s,\theta_1,e}, \dots, f_i^{s,\theta_{N-1},e}]$ 为 Gabor 复小波滤波器实部矢量, $f_i^{s,o} = [f_i^{s,\theta_0,o}, f_i^{s,\theta_1,o}, \dots, f_i^{s,\theta_{N-1},o}]$ 为 Gabor 复小波滤波器虚部矢量。

将 Gabor 复小波滤波器实部和虚部两矢量相减得绝对差 $\omega_i^s = |f_i^{s,e}| - |f_i^{s,o}|$, $\omega_i^{s'} = \frac{1}{Num} \sum_{i=1}^{Num} \omega_i^s$:

$$\omega_i^s = \sum_{n=1}^N \text{sgn}(\omega_i^s(n) - \omega_i^{s'}(n)) 2^{n-1}, \quad (21)$$

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}, \quad (22)$$

为了使第三类 GWLBP 算子具有旋转不变性, 文章采取如下操作:

$$\omega_i^{s,r} = \max\{ROR(\omega_i^s, n) \mid n=0, \dots, N-1\}, \quad (23)$$

利用 Gabor 滤波器组对输入的目标图像 P 进行不同尺度和方向的滤波, 再经公式(17)、(20)、(23)计算 GWLBP 算子, 最后将三类不同的 GWLBP 算子统计到直方图中, 对应的数量作为图像纹理的特征向量。

4.3 相似性度量

设查询图像为 P , 待检索图像为 Q , 本文综合相似度度量方法如下:

(1) 颜色特征相似度

对每个子块按 HSV 颜色空间进行 k 种颜色空间 k 维量化, 同时计算两幅图像中每个子块颜色体积直方图 $T_i^P, T_i^Q (i=1, 2, \dots, 9)$ 。采用绝对值距离计算子块间的相似度, 然后分别设置不同的子块权值计算两幅图像颜色特征的相似度:

$$D_1(P, Q) = \sum_{i=1}^9 (\eta_i \times \sum_{j=0}^k |T_i^P(j) - T_i^Q(j)|), \quad (24)$$

式中: η_i 表示第 i 子块的权值, 且 $\sum_{i=1}^9 \eta_i = 1$ 。其中 $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4, \eta_5, \eta_6, \eta_7, \eta_8, \eta_9$ 的值分别 0.05, 0.05, 0.05, 0.05, 0.15, 0.15, 0.15, 0.15, 0.2。

(2) 纹理特征相似度

纹理特征相似度计算公式如下:

$$D_2(P, Q) = \text{sqr}t \left[\sum_{s=1}^M \sum_{i=1}^{Num} (\bar{\omega}_{i,P}^s - \bar{\omega}_{i,Q}^s)^2 + \sum_{i=1}^{Num} (\xi_{i,P}^s - \xi_{i,Q}^s)^2 + \sum_{i=1}^{Num} (\omega_{i,P}^s - \omega_{i,Q}^s)^2 \right]. \quad (25)$$

(3) 综合特征相似度

在提取待检图像的颜色特征和纹理特征后, 需要将这两个特征融合计算相似度。颜色特征直方图距离利用欧式距离, 得到查询图像与图库中

所有图像距离 D^c 为一维数组, 并对 D^c 进行归一化。归一化方法为 D^c 中的每一项除以 D^c 中最大项, 使得归一化后 D^c 中的每一个元素的取值范围在 $[0, 1]$ 。纹理特征同样也采用欧式距离得

到 D' 的一维数组。采用加权平均来融合颜色和纹理的特征距离,最终图库中第 k 个图像与查询图像的距离为:

$$D(P,Q)=w_1D_1^c+w_2D_2^t, \quad (26)$$

式中: w_1 为颜色特征权值, w_2 为纹理特征权值, 且 $w_1+w_2=1$, D_1^c 和 D_2^t 分别表示颜色特征和纹理特征经过高斯归一化后的距离。

5 仿真实验与分析

为了测试不同算法在图像检索方面的效果,仿真实验采用 Visual C++6.0 在 win7(Intel(R)Core i3-3240 CPU@3.4 GHz 4G 内存)运行实现。设多分辨率分解尺度数量 $M=4$, 方向数量 $N=8$, 可得 32 个 Gabor 小波滤波器组, 邻域 $G=11$, 高频的中心频率 $F_h=0.4$, 低频的中心频率 $F_l=0.05$ 。从 Corel-5000 图像库中选择 10 个语义类(非洲人、熊、马、大象、汽车、花卉、食物、建筑、手表、夕阳), 每个语义类相关图像各 100 幅。从每类语义中分别随机抽取一幅作为查询图像。计算查询结果的查准率平均值和查全率平均值, 并将其作为该类图像检索的平均查准率和平均查全率。

$$\text{查全率} = \frac{\text{检索到的相关图像数目}}{\text{所有相关图像数目}}, \quad (27)$$

$$\text{查准率} = \frac{\text{检索到的相关图像数目}}{\text{已检索出的图像数目}}. \quad (28)$$

文中在融合颜色特征和纹理特征计算相似度时采用加权平均, 为了取得最优的图像检索效果, 可以通过动态的设置不同的权值来观察颜色特征和纹理特征对检索算法的影响。通过对测试集多次检索实验, 在不同权值下的图像检索平均查准率如下表 1 所示。

表 1 本算法在不同权值下的平均查准率(%)
Tab. 1 Average precision of the algorithm under different weights

权值 w_1, w_2	图像类别				
	熊	马	大象	汽车	花卉
1,0	50.98	53.36	63.29	50.03	51.08
0.9,0.1	60.12	63.98	68.99	59.01	60.92
0.8,0.2	64.95	74.13	77.04	66.07	71.89
0.7,0.3	72.97	81.27	87.19	77.92	78.23

续 表

权值 w_1, w_2	图像类别				
	熊	马	大象	汽车	花卉
0.6,0.4	86.07	85.88	90.48	76.21	84.11
0.5,0.5	82.32	79.29	84.04	69.86	81.91
0.4,0.6	75.49	72.89	75.18	67.84	75.41
0.3,0.7	69.17	68.37	69.02	65.47	67.16
0.2,0.8	66.23	64.91	67.57	64.63	64.74
0.1,0.9	61.46	62.43	63.82	60.56	59.22
0,1	52.85	61.39	61.84	53.16	55.37

由表 1 可以得出, 本文综合分块颜色体积直方图和 GWLBP 算子为特征对目标图像进行检索, 检索结果的平均查准率与颜色特征权值、纹理特征权值有密切关系。当 $w_1=0.6, w_2=0.4$ 时, 本文检索算法在各语义类别上的平均查准率最高。

为了说明本算法的优越性, 在同样的测试集上选取棕熊、汽车类别图像作为检索目标, 运行本文算法与其他 3 种算法, 取前 14 幅检索图像作为实验结果, 对比如图 2 所示。



图 2 四种算法的检索结果
Fig.2 Retrieval results of four algorithms



图3 四种算法的检索结果

Fig.3 Retrieval results of four algorithms

由图2和图3检索结果可知:4种算法都能检索到目标图像,其中文献[20]将彩色图像量化为72种颜色,利用颜色体积直方图为图像特征进行图像检索,在棕熊和汽车检索结果的前14幅图像中有7幅图像与所检索图像相关,检索的成功率较低;文献[21]基于交叉分块直方图为图像特征进行图像检索,在棕熊和汽车检索结果的前14幅图像中有9幅图像与所检索图像相关,文献[21]用交叉方式分块得到子图像是相互交叉重叠的,在获取图像颜色特征空间分布信息的同时保持了目标的完整性,一定程度上提高了检索效率;文献[8]以改进的LBP算子纹理特征进行检索,在棕熊检索结果的前14幅图像中有10幅图像与所检索图像相关,汽车检索结果中前14幅图像中有12幅图像与所检索图像相关,检索的成功率进一步提高;应用本文检索算法的结果中,在棕熊的检索结果中前14幅检索图像中有12幅与目标图像有关,而针对汽车的检索结果中,14幅结果全部与目标相关。并对检索到了两幅发生旋转的相关图像。检索结果证明,综合分块颜色体积直方图和GWLBP算子特征检索到的相关图像最多且具有最好的旋转不变性。

为使本实验更具可信度,设定 $w_1 = 0.6, w_2 = 0$ 。

4,从图像库中随机抽取10类图像,每类图像随机抽取10幅,计算查全率和查准率,结果如图4所示。

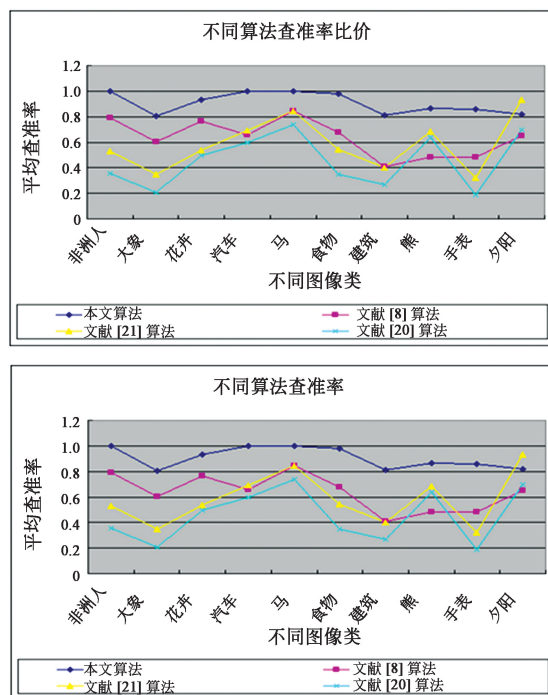


图4 四种算法的查全率和查准率

Fig.4 Recall and precision of four algorithms

由图4四种算法的查全率和查准率结果可知,本文算法的平均查全率、查准率比以颜色体积直方图为特征、以交叉九分块颜色体积直方图为特征、以改进的LBP算子纹理特征进行检索的算法都要高,结合图3的实验结果,本文算法还对旋转相似图像也有较好的检索性能。

6 结 论

本文在借鉴前人研究成果的基础上,提出了一种基于分块颜色直方图和GWLBP的图像检索算法。算法采用K-means均值聚类对RGB颜色空间进行颜色聚类,利用重叠九分块颜色体积直方图描述颜色特征;利用Gabor滤波器组对输入图像进行不同分辨率和方向的滤波,提出3种不同的GWLBP算子来有效的提取纹理特征,并用三种不同的GWLBP算子直方图来描述图像纹理特征,有效弥补LBP算子提取纹理特征的不足。最后加权融合两种特征进行检索。结果表明,本文算法不仅提高了图像检索的平均查准率,检索结果又具有较好的旋转不变性。

参 考 文 献:

- [1] 顾晓东,杨诚.新的颜色相似度衡量方法在图像检索中的应用[J].仪器仪表学报,2014,35(10):2286-2292.
GU XD, YANG C. Application of new color similarity measurement method in image retrieval[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2014, 35(10): 2286-2292. (in Chinese)
- [2] JACOB I J, SRINIVASAGAN K G, JAYAPRIYAK. Local oppugnant color texture pattern for image retrieval system[J]. *Pattern Recognition Letters*, 2014, 42: 72-78.
- [3] 张楚金,王耀南,卢笑,等.基于假设验证和改进 HOG 特征的前车检测算法[J].电子测量与仪器学报,2015,29(2): 165-171.
ZHANG CJ, WANG YN, LU X, *et al.* Front-vehicle detection algorithm based on hypothesis and verification of improved HOG feature[J]. *Journal of Electronic Measurement and Instrumentation*, 2015, 29(2): 165-171. (in Chinese)
- [4] REDDY P, PRASAD K S. Color and texture features for content based image retrieval [J]. *International Journal of Computer Technology and Applications*, 2011, 2(4): 1016-1020.
- [5] LI X J, WANG W L, YANG W. Improved local accumulate histogram-based Thangka image retrieval sign in or purchase [C]//*Proceedings of the 2nd International Conference on Image Analysis and Signal Processing*. Zhejiang: IEEE, 2010: 318-321.
- [6] 张少博,全书海,石英,等.基于颜色矩的图像检索算法研究[J].计算机工程,2014,40(6):252-255.
ZHANG SB, QUAN SH, SHI Y, *et al.* Study on image retrieval algorithm based on color moment[J]. *Computer Engineering*, 2014, 40(6): 252-255.
- [7] 侯群群,王飞,严丽.基于灰度共生矩阵的彩色遥感图像纹理特征提取[J].国土资源遥感,2013,25(4):26-32.
HOU Q Q, WANG F, YAN L. Extraction of color image texture feature based on gray-level co-occurrence matrix [J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2013, 25(4): 26-32. (in Chinese)
- [8] 李春利,沈鲁娟.基于改进 LBP 算子的纹理图像分类方法[J].计算机工程与设计,2016,37(1):232-236.
LI C L, SHEN L J. Texture image classification method based on improved LBP operator[J]. *Computer Engineering and Design*, 2016, 37(1): 232-236. (in Chinese)
- [9] 曹瑜,涂玲,毋立芳.身份认证中灰度共生矩阵和小波分析的活体人脸检测算法[J].信号处理,2014,30(7):830-835.
CAO Y, TU L, WU L F. Face Liveness Detection using Gray Level Co-Occurrence Matrix and Wavelets Analysis in Identity Authentication[J]. *Journal of Signal Processing*, 2014, 30(7): 830-835. (in Chinese)
- [10] 元琴,潘广贞,乔慧芬.基于全局不变矩和分块主颜色的图像检索算法[J].计算机工程与设计,2014,35(10):3523-3526,3583.
YUAN Q, PAN G Z, QIAO H F. Image retrieval based on moment invariant and sub-block dominant color[J]. *Computer Engineering and Design*, 2014, 35(10): 3523-3526, 3583. (in Chinese)
- [11] 靳婷婷,胡燕翔,李博达.基于分块主颜色特征和 EHD 的图像检索方法[J].天津师范大学学报:自然科学版,2013, 33(3):52-55.
JIN T T, HU Y X, LI B D. Image retrieval method based on sub-block dominant color and EHD[J]. *Journal of Tianjin Normal University: Natural Science Edition*, 2013, 33(3): 52-55. (in Chinese)
- [12] 吴晓雨,何彦,杨磊,等.基于改进形状上下文特征的二值图像检索[J].光学精密工程,2015,23(1):302-310.
WU X Y, HE Y, YANG L, *et al.* Binary image retrieval based on improved shape context algorithm[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2015, 23(1): 302-310. (in Chinese)
- [13] 刘铝.基于内容的图像检索方法的研究与实现[D].长沙:湖南大学,2011.
LIU L. The Research and Development on Content-Based Image Retrieval Technique[D]. Changsha: Hunan university, 2011. (in Chinese)
- [14] LEE T S. Image representation using 2D Gabor wavelets[J]. *IEEE Transactions on pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1996, 18(10): 959-971.
- [15] OJALA T, PIETIKÄINEN M, HARWOOD I. A comparative study of texture measures with classification based

- on featured distributions[J]. *Pattern Recognition*, 1996, 29(1): 51-59.
- [16] CHEN D, CAO X D, WEN F, *et al.* Blessing of dimensionality: high-dimensional feature and its efficient compression for face verification [C]//*Proceedings of 2013 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. Portland, OR: IEEE, 2013: 3025-3032.
- [17] 李善青,唐亮,刘科研,等.一种快速的自适应目标跟踪方法[J].计算机研究与发展,2012,49(2):383-391.
LI S Q,TANG L,LIU K Y, *et al.* A Fast and Adaptive Object Tracking Method[J].*Journal of Computer Research and Development*,2012,49(2):383-391. (in Chinese)
- [18] LIU L, ZHAO L J, LONG Y L, *et al.* Extended local binary patterns for texture classification[J]. *Image and Vision Computing*, 2012, 30(2): 86-99.
- [19] REN J F, JIANG X D, YUAN J S. Noise-resistant local binary pattern with an embedded error-correction mechanism [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2013, 22(10): 4049-4060.
- [20] 刘广海,吴璟莉.基于颜色体积直方图的图像检索[J].计算机科学,2012,39(1):273-275,280.
LIU G H,WU J L.Image Retrieval Based on Color Volume Histogram[J].*Computer Science*,2012,39(1):273-275,280.
- [21] 王蓉,李冲,杨宁.基于交叉分块直方图的图像检索方法[J].科学技术与工程,2014,14(26):111-115. (in Chinese)
WANG R,LI C,YANG N.An Image Retrieval Method Based on Crossed-blocking Histogram[J].*Science Technology and Engineering*,2014,14(26):111-115. (in Chinese)

作者简介:陈璐宇(1987—),女,贵州贵阳人,硕士,讲师,主要研究方向:图像检索、模式识别与数据挖掘。E-mail:chenluyu87@126.com

周春艳(1974—),女,贵州铜仁人,副教授,主要研究方向:图像检索与计算机软件。