

结合视觉感知与 LBP 傅里叶直方图的图像检索

黄传波, 金 忠

(南京理工大学计算机科学与技术学院 南京 210094)

(huangjunfengcq@126.com)

摘要: 为了有效地提取图像特征以提高图像检索性能, 借鉴生物视觉信息处理过程中的提取图像特征, 提出一种结合视觉感知与局部二值模式(LBP)傅里叶直方图的图像检索算法. 首先根据视觉感知特点, 用主分量图作为亮度初级视觉特征, 将形状边缘信息融入视觉注意模型, 获得改进的 Itti 视觉注意模型, 并基于该改进视觉注意模型得到 50 个视觉特征图; 然后计算每个特征图的 LBP 傅里叶直方图特征, 并将其结合在一起作为图像特征; 最后利用局部保持投影(LPP)进行维数约简, 获取低维特征用于图像检索. 实验结果表明, 该算法具有颜色、纹理及形状鉴别能力, 能获得较好的检索效果.

关键词: 图像检索; 视觉注意; 视觉特征图; 局部二值模式傅里叶直方图
中图分类号: TP391.41

Image Retrieval Based on Combination of Visual Perception and Local Binary Pattern Histogram Fourier

Huang Chuanbo and Jin Zhong

(College of Computer Science and Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094)

Abstract: Inspired by the feature extraction during the biologic visual information processing, an algorithm based on a combination of visual perception and local binary pattern histogram Fourier (LBP-HF) is proposed to effectively extract the features to improve the performance of image retrieval. Firstly, principal component map is used as the primary visual feature of intensity. The information of shape and edge is further fused to improve the Itti's model. Therefore, we can obtain 50 feature maps. Secondly, the LBP-HF of each feature maps is computed and concatenated to get an enhanced image feature descriptor vector. Thirdly, the locality preserving projections (LPP) is utilized for dimensionality reduction, and the final low dimensional feature is used for image retrieval. The experimental results show that our method has the discrimination power against color, texture and shape features and has good retrieval performance.

Key words: image retrieval; visual attention; visual feature map; local binary pattern histogram Fourier

通常, 图像底层视觉特征对图像的描述与人们对图像的理解是有较大差异的, 仅仅利用底层视觉特征检索图像往往得不到满意的结果. 为提高图像检索的效果, 应当在检索过程中充分利用图像所包

含的语义内容. 视觉注意是人类获取环境信息的一个显著特点^[1], 人们总能快速地检测出周围场景中的相关潜在信息. 随着计算机技术的日益发展, 采用计算机来模拟人类的这种视觉机能具有很高的应用

价值.视觉感知特征是图像的新特征,反映了用户的高层语义,为解决基于内容的图像检索语义鸿沟提供了新的途径^[2].基于视觉感知信息的图像检索是一个极富挑战性的研究方向,具有重要的研究意义和实用价值^[3].

基于特征的注意理论认为视觉刺激由空间和非空间特征构成,是形状、大小、方位、密度、颜色及明亮度等特征的复合体.当刺激物之间由低对比度转向高对比度时能引起大脑感受野细胞的空间重组,从而引起观察者的注意^[4].因此,采用高对比度获得显著性图是一种合理的仿生途径.视觉信息处理可以归纳为3个阶段:基本信息提取;并行处理多个特征,根据目的需要选择关注内容;保存关键目标,联想相关描述.在现有的视觉注意模型中,Itti等^[5]提出的基于显著性的模型最具代表性,其在运算速度上有突出的表现;但该模型仅对彩色图像的 r, g 和 b 3个频谱分量求均值来获得初始亮度频谱图,没有考虑选择带有最多细节、拥有最大对比度且灰度值分布最广的频谱图,由此会影响到模型的最终效果.另外,形状与颜色、亮度相比包含了图像的更多语义内容,形状是一种不依赖于颜色和亮度的基本视觉特征,已被广泛应用在基于内容的图像检索和模式识别^[6].Itti视觉注意模型仅采用亮度、颜色和方向3类视觉特征,而没有具体引入与视觉心理感知有关的形状纹理特征,致使显著区域大小与目标有较大偏差,这与人类实际注意内容存在差异.为了弥补Itti视觉注意模型在描述图像内容上的不足,本文将视觉注意和图像理解表征相结合,引入了具有丰富边缘、纹理和形状信息的梯度图作为视觉注意模型的一个初级视觉特征,并运用主分量频谱图表示亮度对Itti模型进行改进.基于该改进模型,通过计算每个特征图的局部二值模式傅里叶直方图(local binary pattern histogram Fourier, LBP HF)特征以获取图像的特征描述,提出一种结合视觉感知与LBP HF的图像检索算法.

1 Itti视觉注意模型及LBP HF

1.1 Itti视觉注意模型

Itti视觉注意模型是依据Treisman等提出的特征整合理论形成各个关注图,然后融合得到显著图.

模型中使用图像金字塔分解亮度、颜色和方向特征.金字塔共有9层(尺度0~8),其中第0层为原始图像,并且下一层图像相对上一层图像依次在

长度和宽度上缩减一半.模型中的 $\{2, 3, 4\}$ 层是中心层 c ,外周层 $s = c + \delta$ 其中 $\delta \in \{3, 4\}$,这样可以利用“中心-外周”机制抽取图像中像素间对比信息.计算特征图时首先用与颜色、亮度、方向3种初级视觉特征相应的滤波器对金字塔每层中的图像进行滤波,然后对应中心层和外周层之间的像素值进行相减操作,共有6种计算组合 $\{2-5, 2-6, 3-6, 3-7, 4-7, 4-8\}$.相减时对尺寸小的图像进行插值,以保证参与运算的两幅图像大小一样.通过对3种初级视觉特征图的归一化得到3个关注图,将其进一步线性组合为一个显著图.

1.2 LBP HF

局部二值模式(local binary pattern, LBP)算法^[7]通过刻画图像中每个像素点与其邻域内其他各点灰度值的差异来描述图像局部结构特征.为描述不同尺度下的像素分布特征,使用圆形邻域 (P, d) (P 表示圆形邻域中像素个数, d 表示邻域半径)及对像素的线性插值,并将算子扩展到任意半径或任意邻域像素个数.设 E 是位于坐标 (x, y) 的一个像素,以 E 为中心, d 为半径的环上等间隔分布的 P 个点,构成了一个中心对称的环形局部结构,称为 P 邻域,如图1所示.

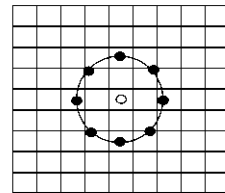


图1 圆形的 $(8, 2)$ 邻域

图1中圆环上的点对应坐标为

$$(x_i, y_i) = (x + d \cos(2\pi i/P), y - d \sin(2\pi i/P)).$$

当像素点不落在整数坐标时,对像素值采用双线性插值,中心像素的LBP值可以由

$$LBP_{P,d}(x, y) = \sum_{i=0}^{P-1} s(f(x, y) - f(x_i, y_i)) 2^i$$

得到.其中 $s(z)$ 是一个阈值函数,即

$$s(z) = \begin{cases} 1, & z \geq 0 \\ 0, & z < 0 \end{cases}.$$

图像 $M(x, y)$ 的LBP直方图可以表示为

$$H(h) = \sum_{x,y} \{f(x, y) = h\}.$$

其中, $h = 0, \dots, n-1$; n 表示不同LBP的数量,即直方图的bin数; h 表示一个LBP,它取决于所使用的LBP算子,如采用 $(8, 1)$ 算子,其取值为0~255; I 是一个函数

$$I(z) = \begin{cases} 1, & z = \text{TRUE} \\ 0, & z = \text{FALSE} \end{cases}$$

为了刻画旋转环形位移特性, Ahonen 等提出了 LBP-HF 直方图特征^[8], 利用离散傅里叶变换表征这种环形位移, 即

$$H(n, u) = \sum_{p=0}^{P-1} h_l(U_p(n, \varphi)) e^{-i2\pi u \varphi / P}$$

其中, $h_l(U_p(n, \varphi))$ 是 uniform 模式 LBP 直方图, n 是直方图的 bin 数, φ 是模式的旋转量。

2 改进的 Itti 视觉注意模型

本文对 Itti 视觉注意模型进行了两点改进, 一是使用主分量图改进原模型中的亮度图, 使其具有较大的对比度和较宽的频带范围; 二是在模型中引入了具有丰富形状和纹理信息的梯度图作为视觉注意模型的一个初级视觉特征, 且对于方向通道和纹理通道都不进行中心周边差计算, 仅采用 4 方向 4 层金字塔(尺度 0~ 3)分解。

2.1 框架结构

视觉生理实验结果表明^[9], 动物的大脑皮层视区神经元能够对边缘、纹理等刺激产生反应, 并可以利用 Gabor 小波来模拟这些神经元的反应。为此本文以 Itti 视觉注意模型为基础, 采用 9 层金字塔分解亮度和颜色特征, 运用“中心-外周”机制获得特征图; 采用 Gabor 4 方向的 4 层金字塔构造方向和梯度特征图, 其模型框架如图 2 所示。

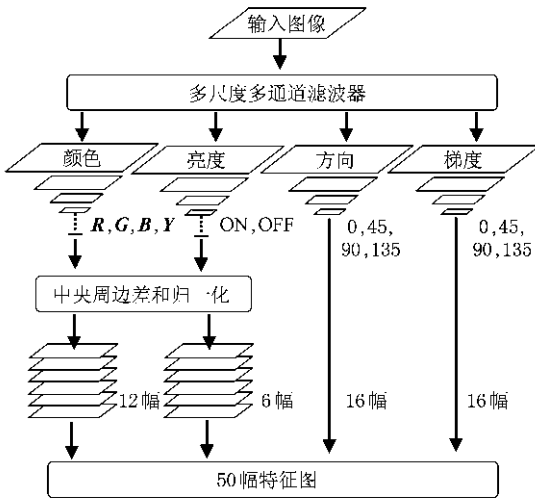


图 2 模型框架图

2.2 初级视觉特征

对输入图像运用不同的方式进行处理, 可以得到不同初级视觉特征。

2.2.1 图像的梯度图

彩色图像的梯度图反映了彩色图像的边缘、形状和纹理等重要特征信息, 为改进图像检索系统的性能, 本文将彩色图像的梯度图引入图像检索系统。

基于灰度图像梯度的计算方法, 对一个 RGB 空间中的向量 $T = (F_R \ F_G \ F_B)$ 定义如下梯度。假定 r_1, g_1 和 b_1 是 RGB 空间中沿 F_R, F_G 和 F_B 分量的单位向量, 定义

$$u = \frac{\partial R}{\partial x} r_1 + \frac{\partial G}{\partial x} g_1 + \frac{\partial B}{\partial x} b_1,$$

$$v = \frac{\partial R}{\partial y} r_1 + \frac{\partial G}{\partial y} g_1 + \frac{\partial B}{\partial y} b_1;$$

$$g_{xx} = u \cdot u = \left| \frac{\partial R}{\partial x} \right|^2 + \left| \frac{\partial G}{\partial x} \right|^2 + \left| \frac{\partial B}{\partial x} \right|^2,$$

$$g_{xy} = u \cdot v = \frac{\partial R}{\partial x} \frac{\partial R}{\partial y} + \frac{\partial G}{\partial x} \frac{\partial G}{\partial y} + \frac{\partial B}{\partial x} \frac{\partial B}{\partial y},$$

$$g_{yy} = v \cdot v = \left| \frac{\partial R}{\partial y} \right|^2 + \left| \frac{\partial G}{\partial y} \right|^2 + \left| \frac{\partial B}{\partial y} \right|^2.$$

那么在点 (x, y) 处最大变化率的方向为

$$\theta(x, y) = \frac{1}{2} \arctan \left[\frac{2g_{xy}}{g_{xx} - g_{yy}} \right];$$

在该方向上梯度的幅度为

$$F_\theta(x, y) = \sqrt{\frac{1}{2} [(g_{xx} + g_{yy}) + (g_{xx} - g_{yy}) \cos 2\theta + 2g_{xy} \sin 2\theta]}^{1/2}.$$

由此可得到如图 3 所示梯度图。

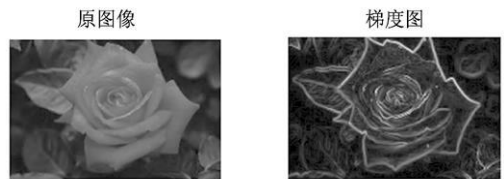


图 3 原图和梯度图

2.2.2 亮度和方向图

彩色图像由 3 个相同尺寸的图像分量构成, 每个图像分量都是具有特定频谱分量的灰度图像, 其灰度值表示该像素在该频带上的亮度。由于在视觉注意模型中只能用一个频谱分量来表示亮度, 为了利用该模型提取图像可靠的特征描述进行更好的分类或检索, 应当选择带有最多细节、拥有最大对比度且灰度值分布最广的频谱分量。

设 r, g 和 b 分别对应于输入图像的红、绿、蓝通道, 则彩色图像上每个像素点都由这 3 个频谱分量值表示亮度, 可以用一个三维空间的向量表达。彩色图像的像素在彩色坐标空间形成点簇, 像素的最佳

延伸方向可能不是 $I = (r + g + b)/3$ 方向,为了寻找最佳方向,在三维空间中对图像中的像素进行主分量分析.步骤如下:

Step1. 计算彩色空间中像素点均值,在每个相应的频带上减去平均灰度值.

Step2. 计算出原像素点自相关矩阵 $C(i, j)$.

Step3. 计算矩阵 $C(i, j)$ 的特征值并降序排列,用最大特征值对应的特征向量作为投影向量,以获得第一主分量.

用第一主分量不但能保证图像有最大的对比度,而且能保证用单个频带携带最多的信息.

第一主分量表示的亮度图、HSV 颜色模型亮度图 $I = (r + g + b)/3$ 和 YCrCb 颜色模型亮度图 $I = 0.299 \times r + 0.587 \times g + 0.144 \times b$ 分别如图4所示.

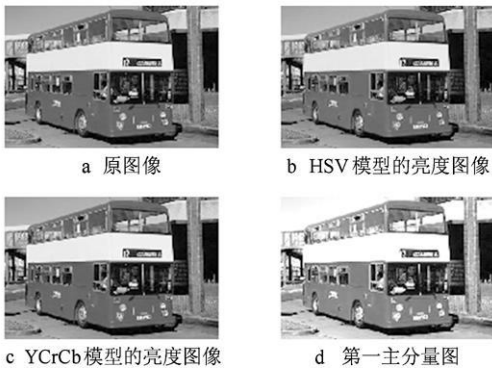


图4 原图像及3种亮度图像

由图4可以看出,主分量图的对比度比HSV颜色模型亮度图、YCrCb颜色模型亮度图都要强且带有更多的细节.

用第一主分量表示亮度图能保证初始亮度频谱图具有较大的对比度、较广的灰度值分布,更利于图像检索.本文算法用主分量图代替原Itti视觉注意模型中的 $I = (r + g + b)$ 亮度图.方向图取主分量图的Gabor小波在 $\theta = \{0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ\}$ 4个方向的分量.

2.2.3 颜色图

设 r, g 和 b 分别对应于输入图像的红、绿、蓝通道,颜色的4个宽调谐通道分别为

$$\text{红色. } R = r - (g + b)/2 \quad (1)$$

$$\text{绿色. } G = g - (r + b)/2 \quad (2)$$

$$\text{蓝色. } B = b - (r + g)/2 \quad (3)$$

$$\text{黄色. } Y = (r + g)/2 - |r - g|/2 - b \quad (4)$$

若式(1)~(4)计算出的值为负,则其值归为0.

2.3 特征图的生成

为了抽取图像中的多尺度信息,模型中分别对4种初级视觉特征进行处理.

亮度没有方向性,故使用对称的Gaussian金字塔(使用Gaussian滤波器)进行分解,用运算符 \ominus 表示中心层与外周层之间的减操作,则亮度特征图的计算公式为 $I(c, s) = |I(c) \ominus I(s)|$;亮度特征图有6个,表示图像的亮度对比.

颜色也没有方向性,对颜色的4个宽调谐通道 R, G, B 和 Y 采用4个对称的Gaussian金字塔分别对其进行处理,颜色有“红-绿”和“蓝-黄”2个对比映射色彩通道.其计算公式分别为

$$RG(c, s) = | (R(c) - G(c)) \ominus (G(s) - R(s)) |,$$

$$BY(c, s) = | (B(c) - Y(c)) \ominus (Y(s) - B(s)) |.$$

这样可以获得12个颜色特征图,表示图像的颜色对比特性.

采用Gabor金字塔分别处理方向和梯度特征,使用Gabor滤波器分解方向和梯度图,该滤波器有4个局部方向 $\theta \in \{0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ\}$,分别采用4层金字塔分解(尺度为0, 1, 2, 3),即可得到16个方向特征图和16个梯度特征图.

初级视觉特征分解结束后共生成50个特征图,其中有6个亮度特征图,12个颜色特征图,16个方向特征图以及16个梯度特征图.

3 特征抽取

研究表明,在人类视觉系统中存在着用于建立基元图的各种组件,即人类也在各种尺度上进行特征抽取、定位明显的亮度变化并随后将其聚合成基元信息(边缘、条、斑点等)^[10].由于人眼的感知过程是由全局到局部、由粗到精的多尺度分层处理过程,因此多尺度分析为全局特征与局部特征相结合提供了一个很好的途径.Gaussian金字塔的一个重要性质是在空域和频域均具有很好的局部化特征,能够提供目标信号各个频率子段的信息,而对图像直接采样来降低数据量的方法仅仅考虑了空域的信息,忽略了图像的频域信息,因此采用Gaussian金字塔图像信息处理方法对于图像的分类是非常有效的.

LBP-HF用于抽取特征图的特征,既表征了图像的细节特征又抽取了图像的粗略特征,具有很好的鉴别性能,并且算法简单快速.因此,本文采用LBP-HF抽取特征图的特征信息,用以表征图像.我们在实验中使用(8, 1)圆形邻域,在分别计算出各个特征图的LBP-HF特征向量之后,将其结合在一起形成 $38 \times 50 = 1900$ 维向量.

多维图像表示计算开销很大,为提高存储量和

图像检索效率必须进行降维. 典型的线性降维方法——主成分分析(principle component analysis, PCA)算法的主要原理是考虑在高维数据空间中如何设计线性模型的特征向量, 但其用于处理具有非线性结构的数据效果不好. 与 PCA 算法相比, 局部保持投影(locality preserving projections, LPP)算法^[11]具有较强的流形学习能力, 当数据集具有非线性结构时, 利用该方法得到的降维子空间能够更好地保留图像的本质特征, 该子空间能够很好地检测图像流形结构, 保持图像空间的局部结构. 在需要对高维图像数据进行降维的图像检索系统中, LPP 算法是一种较好的选择. 因此, 本文采用 LPP 进行维数约简, 将 1900 维的高维图像特征向量降低为 30 维向量, 用于图像检索.

4 相似性度量

本文实验中, 通过计算图像特征向量的距离来量化查询图像与图像库中每幅图像间的相似程度. 查询图像 q 与图像库第 i 幅图像的特征向量分别表示为 V_q 和 V_i , 那么对于查询图像 q 与图像库第 i 幅图像 I_i 之间的相似度定义为

$$d^2(q, I_i) = \sum_{j=1}^b (V_q(j) - V_i(j))^2,$$

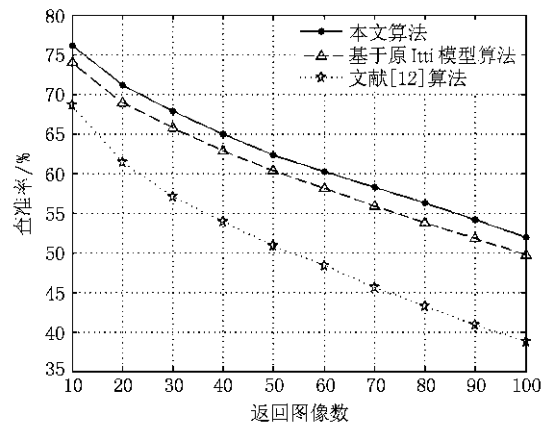
其中 b 为向量 H 的维数.

计算图像库中所有图像特征与查询图像特征间的相似度时, 距离越小, 表明 2 幅图像越相似.

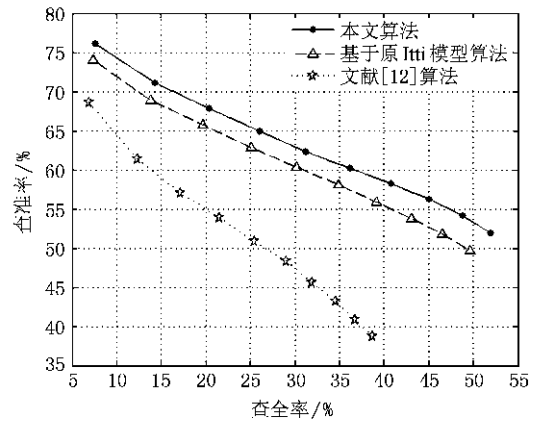
5 仿真实验

为检验本文算法的性能, 我们分别进行了几组不同的实验, 从 Corel 图像库中抽取 30 类, 每类 100 幅, 共用 3000 幅不同的彩色图像构成实验图像库, 包括人物、交通工具、动物、建筑物、自然景物、花卉等类型. 采用较为通用的查准率和查全率作为相似检索的评价准则, 在相同的检索条件下, 不同图像检索算法的查准率和查全率越高, 表明相应算法效果越好. 将本文算法同文献[12]算法、原 Itti 视觉注意模型算法(既不运用主分量图作为亮度图, 也不引入梯度特征信息, 直接运用原 Itti 视觉注意模型获取 34 个特征图, 采用 LBP+HF 得到 1292 维的特征向量, 并使用 LPP 降维到 30 维)进行对比.

不失一般性, 本文从每类图像中随机选取 20 幅作为每组实验的示例图像, 共组成 600 次查询. 3 种算法的检索结果如图 5 所示.



a 查准率随返回图像数变化的对比



b 查准率与查全率关系比较

图 5 3 种算法的检索性能

由图 5 可以看出, 3 种算法的平均查准率随着返回图像数的增加而减小, 本文算法和基于原 Itti 视觉注意模型算法远好于文献[12]算法, 同时本文算法也明显优于基于原 Itti 视觉注意模型算法. 文献[12]算法虽然在一定程度上解决了颜色直方图不能很好地保留像素颜色空间形状信息量的不足, 但仍不能很好地表示形状、边缘等信息; 同时还可明显看出, 梯度图中的细节信息对自然图像的检索是很重要的.

为了直观地分析 3 种算法的检索效果, 图 6 给出了返回 35 幅图像时 3 种算法对一个查询实例的检索结果. 图 6 中, 左上角的一幅图像为查询图例, 其余 35 幅为检索结果图像, 其相似度由左至右、由上而下逐渐减小.

从图 6 可以看出, 在同样 35 幅检索结果图像中, 文献[12]算法的检索效果并不理想, 其正确的图像仅有 21 幅, 查准率为 60%; 采用基于原 Itti 视觉注意模型的算法进行检索, 正确的图像有 34 幅, 其查准率达到 97.14%, 其相对文献[12]算法的查准率有较大提高; 采用本文算法进行检索, 正确的图像



图 6 不同算法的检索实例

有 35 幅, 查准率达到 100%, 且检索结果图像更符合人的视觉感知。由此可见, 本文算法性能较好。

为说明 3 种算法对不同类别图像的检索效果, 我们从图像库中任取 10 类, 并分别从每类中随机抽取 30 幅作为查询图像, 共形成 300 次检索, 用每类的平均查准率衡量该类的检索效果。图 7 给出了返回查询图像数为 30 时, 10 类不同图像 3 种算法的平均查准率。

从图 7 可以看出, 不同类图像 3 种算法的检索查准率有着明显差异, 对于第 1, 8 这 2 类图像, 文献[12]算法要略好于其他 2 种算法; 总体上, 本文算法和基于原 Itti 视觉注意模型算法要优于文献[12]算法。

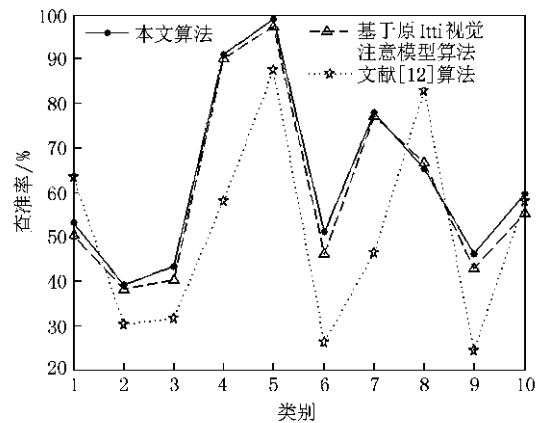


图 7 不同类图像的 3 种算法查准率对比曲线

6 结束语

在基于 Itti 视觉注意模型基础上, 本文提出了采用改进视觉注意模型抽取图像视觉注意分布特征的图像检索算法。利用特征图对图像进行多层次描述, 同时采用 LBP-HF 直方图来刻画特征图中的局部和全局结构特征。利用视觉注意特征图不仅可以提取图像的空间分布信息, 而且能够抓住图像的关键目标特征。本文算法既减小了图像特征提取算法的复杂度, 又降低了图像特征的维数, 同时具有很强的鲁棒性。实验结果表明, 本文算法具有较好的检索效果。

参考文献(References):

- [1] Tsotsos J K. Analyzing vision at the complexity level [J]. Behavioral and Brain Sciences, 1990, 13: 423-445
- [2] Zhang Jing, Shen Lansun, Feng D D. A survey of image retrieval based on visual perception [J]. Acta Electronica Sinica, 2008, 36(3): 494-499 (in Chinese)
(张菁, 沈兰荪, Feng D D. 基于视觉感知的图像检索的研究[J]. 电子学报, 2008, 36(3): 494-499)
- [3] Shen Lansun, Zhang Jing, Li Xiaoguan. Image retrieval and compressed domain processing [M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2008: 113-114 (in Chinese)
(沈兰荪, 张菁, 李晓光. 图像检索与压缩域处理技术的研究[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008: 113-114)
- [4] Mareschal I, Henrie J A, Shapley R M. A psychophysical correlate of contrast dependent changes in receptive field properties [J]. Vision Research, 2002, 42(15): 1879-1887
- [5] Itti L, Koch C, Niebur E. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(11): 1254-1259

- [6] Shen Ye, Li Mindan, Xia Shunren. A survey on content-based medical image retrieval [J]. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2010, 22(4): 569-578 (in Chinese)
(沈 晔, 李敏丹, 夏顺仁. 基于内容的医学图像检索技术 [J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2010, 22(4): 569-578)
- [7] Ojala T, Pietikainen M, Maenpaa T. Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, 24(7): 971-987
- [8] Ahonen T, Matas J, He C, *et al.* Rotation invariant image description with local binary pattern histogram fourier features [M] // *Lecture Notes in Computer Science F*. Heidelberg: Springer, 2009, 5575: 61-70
- [9] Shou Tiandei. Brain mechanisms of visual information processing [M]. 2nd ed. Hefei: Press of University of Science and Technology of China, 2010: 22-49 (in Chinese)
(寿天德. 视觉信息处理的脑机制 [M]. 2 版. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2010: 22-49)
- [10] Milan S, Vaclav H, Roger B. Image processing, analysis and machine vision [M]. 2nd ed. Beijing: Posts & Telecom Press, 2003: 307-308 (in Chinese)
(Milan S, Vaclav H, Roger B. 图像处理、分析与机器视觉 [M]. 艾海舟, 武 勃, 等译. 2 版. 北京: 人民邮电出版社, 2003: 307-308)
- [11] He X, Niyogi P. Locality preserving projections [OL]. [2010-08-06]. [http:// books.nips.cq/nips16.html](http://books.nips.cq/nips16.html)
- [12] Tian Hong, Yang Shugang. Color image retrieval algorithm based on significant bit-planes [J]. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2010, 22(2): 279-285 (in Chinese)
(田 宏, 杨树刚. 基于重要位平面的真彩色图像检索算法 [J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2010, 22(2): 279-285)