

基于二进小波变换及局部二值模式特征的图像检索^①

艾木拉姑丽·卡得尔, 吐尔洪江·阿布都克力木, 阿卜杜如苏力·奥斯曼

(新疆师范大学 数学科学学院, 乌鲁木齐 830054)

摘要: 纹理是一种反映像素的空间分布属性的图像特征, 成为图像分析的重要手段. 在图像检索领域, 由于小波变换具有方向性、局部特性、多尺度特性, 使得图像的纹理特征能得到更好的表征. 局部二值模式是提取图像纹理特征的有效工具, 具有旋转不变性和灰度不变性. 利用性能良好的 Bubble 小波对图像进行二进小波变换得到四个子带图像, 其中低频子带包含原图信息最多, 对角线方向的子图包含信息最少, 其余两个子图包含信息介于两者之间, 因此选取低频和垂直, 水平高频图像, 然后对分量利用等价局部二值模式提取图像纹理特征, 并进行图像检索. 实验结果表明该算法不仅有效地结合了小波与局部二值模式的优点, 而且具有较好的检索性能.

关键词: 图像检索; 二进小波变换; 局部二值模式

Image Retrieval Base on Dyadic Wavelet Transform and Local Binary Pattern

Hamragul Kader, Turghunjan Abdulkirim, Abdurusul Osman

(School of Mathematical Sciences, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China)

Abstract: Texture is an image feature which reflects the pixel spatial distribution property and has become important means in image analysis. In the field of image retrieval, due to the directional wavelet transformation, local characteristics and multi-scale features can make the texture feature of image get better representation. Local binary pattern is an effective tools for extract texture characteristics of images and have rotation invariance and gray scale invariance. This paper uses Bubble wavelet which has good performance to do the image dyadic wavelet transformation. Four sub-band images are got. The low frequency sub-band contains maximum art-work informations. The diagonal directional graph contains minimum informations. The other two graphs contain informations between the max and the min. Hence, low frequency, vertical and horizontal high frequency image are to be selected first. Then, by means of the uniform local binary pattern, the three texture components of image are extracted, and the image retrieval proceeded. The experimental results show that the algorithm not only effectively combines the advantages of wavelet and local binary pattern, and also has better retrieval performance.

Key words: image retrieval; dyadic wavelet transform; uniform local binary pattern

随着人类社会的进步, 科学技术的发展, 人们对信息处理和信息交流的要求越来越高, 而图像在人类接受和互通信息中扮着重要角色. 人们在日常生活与生产实践中依赖图像信息的情况比比皆是. 由于图像信息具有直观, 形象, 易懂和信息量大等特点, 因此成为人们日常生活中接触最多的信息种类之一. 但随着图像数据的来源不断增加, 数据量不断增大, 图像检索很难有所突破. 传统的基于文本的图像检索方法

已经不能满足实际的需求. 为了克服传统检索方法的局限性, 基于内容的图像检索技术应运而生. 因此基于内容的图像检索技术已迅速成为图像数据库技术中的研究热点之一, 并得到了国内外信息领域科技人员的广泛重视和研究^[1,2]. 国外各大研究机构和公司(如: IBM、MIT、Columbia、Stanford、UCSB、UIUC、Microsoft等)不断投入大量的资金和人力进行基于内容的图像检索技术的研究和开发, 取得了一些研究成果, 并产

^①基金项目:国家自然科学基金(11261061,61362039,10661010);新疆维吾尔自治区自然科学基金(200721104);2014-2015年度研究生科技创新基金(20142017)
收稿时间:2014-02-21;收到修改稿时间:2014-04-02

生了一些原型系统^[3]。基于内容的图像检索技术的图像检索系统,在建立图像数据库时,系统对输入的图像进行分析并分类统一建模,然后根据各种图像模型提取图像特征存入特征库,同时对特征库建立索引以提高效率。用户在设置查询条件时,可以采用一种或几种特征组合来表示,然后系统采用相似性匹配算法计算关键图像特征与特征库中图像特征的相似度,然后按照相似度从大到小的顺序将匹配图像给用户找出来。因此对基于内容的图像检索来说,图像特征提取是一个关键的模块^[4,5]。纹理特征是图像重要特征之一。基于纹理特征的提取,人们研究了很多方法,也得到了不少的收获。这些方法有共生矩阵、Tamura 纹理特征、多分辨率分析方法如 Gabor 小波变换等等^[6]。

局部二值模式算子的提出为图像纹理特征的描述与表达做出了杰出的贡献,尤其是它具有计算简便、可应用性强等优点更是引起了多国学者竞相深入研究与改进。虽然传统的 LBP 算法,具有易理解、计算复杂度低、鉴别能力强等优点,已经被广泛应用在纹理分类,人脸识别等领域。但仍然存在有些不足之处。比如,多尺度和维数相矛盾、抗噪声能力低、光照变化不具备鲁棒性^[7]、在不同领域的具体应用中,获得的结果还不能令人满意。基本二值模式因窗口局限,改进为多尺度二值模式,但这样特征维数就变大。它还对灰度变化具有鲁棒性,但光照变化会影响二值模式的分类。这些问题在理论和算法方面需要开展创新研究,并且在完善理论分析的同时推进局部二值模式方法在实际工程中的广泛应用^[8]。文献[9]提出了一种利用小波变换图像压缩后的二值模式图像检索,但这种方法特征提取不够完善。文献[10]提出了一种基于颜色相关图与 LBP 算法的图像检索算法。针对上述问题本文提出了结合应用二进小波变换与局部二值模式算子的图像检索算法。由于二进小波变换的局部特性、多尺度特性、平移不变性及抗噪声能力强等优点^[11]完善了局部二值模式算子的不足之处,并它们的结合提高了图像检索效率。因此本文对图像进行基于二进小波变换分解后的低频,高频图像用等价局部二值模式进行算法,用余弦距离计算相似度,最后与传统等价局部二值模式结果进行比较。实验结果表明该算法不仅推进了局部二值模式算子在图像检索领域中的应用,并且具有较好的检索性能。

1 小波及局部二值模式算法

1.1 局部二值模式理论

局部二值模式(Local Binary Pattern),简称为 LBP 算子是芬兰奥鲁大学 Ojala 教授于 1996 年提出的用来描述图像纹理特征的一种算子。由于其算法思想简单,计算复杂度低,鉴别能力比较强等优点,而被人们广泛使用^[12]。

局部二值模式是一种用来提取图像局部纹理特征的算子。基本二值模式算子是定义在 3×3 的窗口内,把窗口中心像素 p_c 作为相邻的 8 个像素 p_0, p_1, \dots, p_7 的阈值进行比较,对这个窗口进行二值化处理。若相邻的这些像素值大于中心像素值,则该像素点的位置被标记为 1,否则标记为 0。这样操作后的纹理 F 表示为:

$$F = f(s(p_0 - p_c), \dots, s(p_7 - p_c)) \quad (1)$$

二值化操作表示为:

$$s(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

经过计算后,以 p_c 为中心的窗口的相邻的 8 个像素位置会产生由 0 和 1 组成的二进制数,再按公式

$$LBP(x, y) = \sum_{j=0}^7 s(p_j - p_c) 2^j \quad (3)$$

把这二进制数转换十进制数,这样就可以得到该窗口的 LBP 值。

基本局部二值模式的缺点就是领域像素的关联性不够全面,覆盖的范围区域小。因此,人们后面又定义了多尺度,旋转不变,等价模式,旋转不变等价模式等多种局部二值模式^[13]。

多尺度局部二值模式可以产生 2^J 个不同值,这些值对应于从领域像素集里选出来的由 J 个采样点构成的 2^J 个不同的二进制模式。这些二进制模式里的一些特定的局部二值模式可以代表纹理特征的最基本属性,这些特定的模式所对应的二进制值中最多只包含两次从 1 到 0 的跳边。

判断 LBP 是否等价模式用如下公式来表示:

$$U(LBP_{J,R}) = |s(p_{j-1} - p_c) - s(p_0 - p_c)| + \dots + \sum_{j=1}^{J-1} |s(p_j - p_c) - s(p_{j-1} - p_c)| \quad (4)$$

这公式就是将局部二值模式和它移动一位后的模式按位相减的绝对值再求和，如果公式计算后得到的结果 $J(J-1)+2$ 把这个模式归为等价模式类。

等价模式不仅表示纹理特征的基本信息，又能减少计算复杂度。模式的数量从减少到种。

1.2 Bubble 小波基本理论

Bubble 函数是高斯函数的二阶导数(去掉负号)，是一无限光滑的函数，对单独的噪声点不敏感，但却具有良好的时域特性，对信号中的突变部分具有良好的检测能力，能突出包含信息的特征点。在频域中 Bubble 函数是一带通滤波器，可用函数构成多频率通道时频联合分析^[14]。因此，选用 Bubble 函数作为小波，高斯函数为尺度函数进行二进小波变换。

二维 Bubble 小波为

$$\psi(x, y) = (1 - \frac{x^2 + y^2}{2}) e^{-\frac{x^2 + y^2}{2}} \quad (5)$$

二维高斯函数满足尺度函数的定义，可取它作为尺度函数：

$$\varphi(x, y) = e^{-\frac{x^2 + y^2}{2}} \quad (6)$$

由小波特性可以得到

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\psi(\omega_x, \omega_y)|^2}{\omega_x^2 + \omega_y^2} d\omega_x d\omega_y = \pi^3 < +\infty$$

因此，二维 Bubble 小波是一个允许小波。

定义二维 Bubble 小波的二维伸缩和平移表示为

$$\psi_{b,2^j}(x, y) = (\frac{1}{2^j})^2 \psi(\frac{x-b}{2^j}, \frac{y-b}{2^j})$$

高斯函数的二维伸缩和平移表示为

$$\varphi_{b,2^j}(x, y) = (\frac{1}{2^j})^2 \varphi(\frac{x-b}{2^j}, \frac{y-b}{2^j})$$

用 $\psi(2x,2y)$ 的平移表示 $\psi(x,y)$

$$\psi(x, y) = \sum_m \sum_n g(m, n) \varphi(2x - m, 2y - n)$$

用 $\varphi(2x,2y)$ 的平移表示 $\varphi(x,y)$

$$\varphi(x, y) = \sum_m \sum_n h(m, n) \phi(2x - m, 2y - n)$$

二维 Bubble 小波和高斯函数的 Fourier 变换分别为

$$\hat{\psi}(2\omega_x, 2\omega_y) = \sum_m \sum_n g(m, n) e^{-j\omega_x m - j\omega_y n} \hat{\phi}(\omega_x, \omega_y)$$

$$\hat{\psi}(2\omega_x, 2\omega_y) = \hat{g}(\omega_x, \omega_y) \hat{\phi}(\omega_x, \omega_y) \quad (7)$$

$$\hat{\phi}(2\omega_x, 2\omega_y) = \sum_m \sum_n h(m, n) e^{-j\omega_x m - j\omega_y n} \hat{\phi}(\omega_x, \omega_y)$$

$$\hat{\phi}(2\omega_x, 2\omega_y) = \hat{h}(\omega_x, \omega_y) \hat{\phi}(\omega_x, \omega_y) \quad (8)$$

可以得到低通滤波器和高通滤波器：

$$\hat{h}(\omega_x, \omega_y) = e^{-\frac{3(\omega_x^2 + \omega_y^2)}{2}} = \hat{h}(\omega_x) \hat{h}(\omega_y) \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \hat{g}(\omega_x, \omega_y) &= 2(\omega_x^2 + \omega_y^2) e^{-\frac{3(\omega_x^2 + \omega_y^2)}{2}} \\ &= \hat{g}(\omega_x) \hat{h}(\omega_y) + \hat{g}(\omega_y) \hat{h}(\omega_x) \end{aligned} \quad (10)$$

则，可以推出

$$h(m, n) = h(m) h(n)$$

$$g(m, n) = \frac{1}{2} h(m) g(n) + \frac{1}{2} h(n) g(m)$$

其中

$$h(n) = 1/\sqrt{6\pi} e^{-\frac{1}{6}n^2}, \quad g(n) = 4/3\sqrt{6\pi}(1-n^2/3)e^{-\frac{1}{6}n^2}$$

由上式可以分别推出低通，高通滤波器系数。然后二进小波变换后的低频，两个高频图像进行等价局部二值模式，提取图像的基于小波局部二值模式的特征。

2 图像检索算法与实验

基于内容的图像检索主要通过特征向量之间的相似性来判断两幅图像的相似程度，然后给出与查询图像最相似的若干图像。对一幅图片进行局部二值模式算子后，得到的是二值模式图谱，但不能直接把二值模式图谱作为图谱的特征向量，而用二值模式图谱的统计直方图作为特征向量。因此该文采用 Bubble 小波进行二进小波变换后的低频和两个高频图像的等价局部二值模式直方图表示图像特征，不同图像之间的特征匹配可以计算直方图间的相似度量来进行。

余弦距离，也称为余弦相似度，是用向量空间中两个向量夹角的余弦值作为衡量两个个体间差异的大小的度量。因为余弦距离可以用在任何维度的向量比较中，不受旋转，放大缩小的影响，对绝对的数值不敏感，且具有更好的鲁棒性^[15,16]。所以该文利用余弦距离来度量特征向量之间的距离，

模式样本向量 X 与 Y 之间的余弦距离为

$$D(x, y) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i / \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n y_i^2} \quad (11)$$

其中, x_i 和 y_i 分别为两幅图像特征向量, n 为特征向量空间维数, 则两图像之间的相似度 $D(x, y)$.

设 Y 为待查询图像, X 是图像库中的一幅图像, 则 Y 和 X 的低频等价局部二值模式直方图相似度为

D_a , 垂直高频图像的等价局部二值模式直方图相似度为 D_b , 水平高频图像的等价局部二值模式直方图相似度为 D_c . 则任意两幅图像的相似度为 $D(x, y) = W_a D_a + W_b D_b + W_c D_c$, 式中: W_a, W_b, W_c 分别为上述三种特征不同重要程度设定的权值, $W_a + W_b + W_c = 1$. 对特征设定的权值不同, 使这特征在检索过程中的贡献也不同. 因此采用根据重要程度设定权值的方法会提高图像检索效率.

3 实验结果与分析

随着众多有竞争力的图像检索技术和系统的出现, 评价系统性能成为了关键的问题. 本文采用查准率与查全率作为评估指标^[17,18].

为了验证本文算法的检索性能, 利用 Corel 公共标准图像库进行测试, 图像库中包括马、海滩、建筑、花、山、等 10 类图像, 每类包含 100 幅图像, 共计 1000 多幅图像. 在相同的情况下对本文算法和等价局部二值模式算法进行性能比较. 具体步骤如下: 上述测试图像库中的每一类图像中随机抽取 10 幅组成一个新的图像库, 并对每类图像进行 10 次查询, 并将计算平均查准率和平均查全率, 取权重为

$W_a = 0.7, W_b = 0.2, W_c = 0.1$, 分析结果如表 1 所示.

表 1 等价局部二值模式与本文的比较

图像类别	平均查准率		平均查全率	
	本文方法	等价局部二值模式	本文方法	等价局部二值模式
马	89.5	58	17.9	11.6
建筑	83	50.5	16.6	10.1
花	91	79	18.2	13.8
汽车	93.5	87	18.7	17.4
山	51	27.4	10.2	7
恐龙	100	96	19	18.2
海滩	70.5	49.5	14.4	10.5
食物	64.5	56	12.9	11.2
居民	67	65.5	14	13.1
大象	63.5	11.3	42	8.4

图 2 给出了本文算法与等价局部二值模式算法的检索结果. 其中左上角为待检索图像, 其余 20 幅图像检索结果. 不难看出, 等价局部二值模式算法(图 1)的检索结果中, 正确图像有 18 幅. 而本文算法(图 2)的检索结果中, 正确的图像有 20 幅图像.

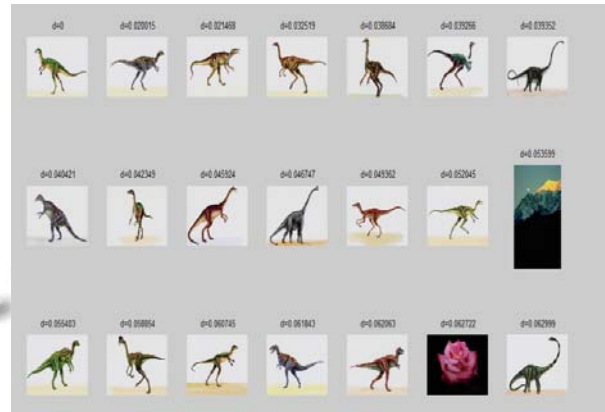


图 1 等价局部二值模式算法的检索结果



图 2 本文算法检索结果

4 结论

Bubble 小波可以对信号进行多通道, 多时频的联合分析, 对信号中的突变部分具有良好的检测能力, 而局部二值模式是提取图像纹理特征的有效工具, 因此本文对二进小波变换后的低频和两个高频图像利用等价局部二值模式得到的直方图通过余弦距离计算相似度, 并进行图像检索. 理论与实践表明, 本文算法利用二进小波变换与局部二值模式的特点有效地提取图像纹理特征, 而推进了局部二值模式在图像检索领域中的应用与发展. 但是小波与局部二值模式的结合应用还需进一步完善. 这使它们在图像处理中发展的空间无限.

参考文献

- 1 姚敏.数字图像处理.北京:机械工业出版社,2011.
- 2 阿卜杜如苏力·奥斯曼,吐尔洪江·阿布都克力木,马丽亚木·阿布来孜.综合颜色特征与形状特征的图像检索算法.计算机工程与应用,2012,49(7):167-170.
- 3 赵倩.基于内容的图像检索若干技术研究[学位论文].上海:上海大学,2012.
- 4 陈剑雄,张蓓.简析图像检索系统中的 CBIR 技术.贵图学刊,2010,2:47-48.
- 5 Lim S, Lu GJ. Spatial statistics for content-based image retrieval. Proc. of the International Conference on Information Technology: Computers and Communications (ITCC). 2003. 155-159
- 6 王杰.基于颜色和纹理特征的图像检索[学位论文].重庆:重庆大学,2012.
- 7 原芳.基于颜色和纹理的图像检索研究[学位论文].焦作:河南理工大学,2012.
- 8 宋克臣,颜云辉,陈文辉,张旭.局部二值模式方法研究与展望.自动化学报,2013,39(6):730-744.
- 9 王令,宋层,关履泰.基于小波变换的二值模式检索.电软件导刊,2011,10(3):63-66.
- 10 张笃振,任世锦.融合颜色特征与 LBP 的图像检索.计算机工程与应用,2009,45(25):186-187.
- 11 Abdulkirim T, Hussain M, Nijjima K, Takano S. The dyadic lifting schemes and the denoising of digital image. International Journal of Wavelets, Multi-resolution and Information Processing, 2008,6(3):331-351.
- 12 肖霄.图像 LBP 特征提取的研究与应用[学位论文].长春:吉林大学,2011.
- 13 Marcel S, Rodriguez Y, Heusch G. On the recent use of local binary patterns for face authentication. International Journal of Image and Video Processing, Special Issue on Facial Image Processing, 2007: 1-9.
- 14 王侃伟,方宗德.基于 Buuble 小波的多尺度边缘提取.计算机科学,2006,33(1).
- 15 彭凯.基于距离度量学习的文本分类研究.上海:上海交通大学,2013.
- 16 殷俊,周静波,金忠.基于余弦角距离的主成分分析与核主成分分析.计算机工程与应用,2011,47(3).
- 17 张长江.数字图像处理及其应用.北京:清华大学出版社,2013.
- 18 阿卜杜如苏力·奥斯曼,吐尔洪江·阿布都克力木,马丽亚木·阿布来孜.结合边缘颜色与形状特征的图像检索方法.计算机系统应用,2013,22(4):153-156.