

基于特征点环形分布统计概率的图像检索^①

郭 健

(厦门海洋职业技术学院 信息技术系, 厦门 361012)

摘 要: 分析了传统的基于小波边界点图像检索方法的缺点, 提出了一种基于图像特征点环形分布概率的图像检索算法. 该方法首先利用粗分辨率下绝对值大的小波系数对应于原始信号中全局变化大的区域这一特性, 反向查找细分辨率下能够反映这种全局变化的小波系数, 直到找到原始信号中相应的特征点; 然后, 将图像沿半径方向等分成若干同心圆环, 计算图像特征点在这些圆环中的分布概率, 以此作为图像的特征向量; 最后, 通过带权的街区距离计算图像间的相似度. 实验表明本文提出的检索算法及图像相似度计算方法不仅检索精度高, 还具有较优的旋转、尺度及视觉角度不变性.

关键词: 小波变换; 特征点; 概率; 距离; 权

Image Retrieval Technique Based on Distribution of Salient Points in Concentric Circles

GUO Jian

(Department of Information and Technology of Xiamen Ocean Vocational College, Xiamen, 361012, China)

Abstract: A novel CBIR algorithm based on ring-shaped distribution of salient points are presented in this paper. First, the salient points were detected by wavelet transform, in which those wavelet coefficients can be calculated in different multi-resolutions. Then the location and some low level features such as color of salient points are extracted to describe each image patch. Secondly, the image is divided into a number of concentric rings along the radius direction, and the image feature vectors are computed according to the probability of salient points in these rings. Finally, similarity between images is calculated by the block-distance with weight. Experiments show that the retrieval algorithm and image similarity calculation method proposed in the paper is not only retrieval of high precision, but also excellent invariance feature in rotation, scale and visual angle of view.

Key words: wavelet transform; salient point; probability; distance; weight

1 引言

在基于内容的图像检索中, 目前已经比较成熟的检索方法大多数都是利用图像的颜色、纹理和形状等特征来进行检索. 最常见的方法就是提取图像的全局特征, 如直方图、颜色距等^[1], 这些方法的优点是计算简单, 对平移和旋转不敏感. 但是全局特征无法描述图像内容中的细节差异, 所以基于全局特征的方法只能比较图像全局的统计相似性, 不能精确地反应图像间细节上的相似性, 检索精度不高.

为了利用局部特征来表示图像, 并克服传统特征提取技术的不足, 基于小波边界点^[2]的图像检索被采

用. 它首先提取图像的边界点, 然后计算边界点或其周围区域的特征作为图像的局部特征并用于检索. 使用这些边界点来检索^[5], 增强了算法的鲁棒性. 但是经过大量实验表明, 这种方法提取得到的边界点往往会聚集在某一个很小的局部区域, 甚至不能较好地反映图像中的某些纹理和重要细节, 这样就导致了还有很多在视觉上有意义的兴趣点并没有被小波边界点检测器检测出来, 同时这种方法也不能对图像的全局内容进行较精确的描述.

因此, 本文提出了一种新的基于特征点环形分布的图像检索方法. 首先使用 Haar 及 Daubechies4 小波

^① 收稿时间:2012-10-30;收到修改稿时间:2012-12-18

检测出图像的特征点,然后将图像沿半径方向等分成若干同心圆环,计算图像特征点在这些圆环中的分布概率,以此作为图像的特征向量,最后通过带权的街区距离计算图像间的相似度.实验中还使用了相关反馈技术进行二次检索,提高了查准率.通过实验对比结果表明,基于特征点环形分布概率的图像检索方法能大大地提高图像检索的查准率,检索速度快,检索计算复杂度容易控制.而且由于同心圆环本身的几何对称性,使得本文中的算法在提取图像空间信息时也具有旋转、平移及尺度不变性.

1 基于小波的图像特征点提取

先介绍一维小波的特征点提取,然后扩展到二维图像.

1.1 一维离散小波变换^[3]

设要变换的信号为 $f(n)$, 抽样信号的长度为 N . $f(n)$ 通过小波变换可以分解为近似信号 $Sf(n)$ 和细节信号 $Wf(n)$ 两部分, 小波变换可以在 j 个不同尺度上进行, 其中, $j \leq j_{\max}$ 且 $j_{\max} = \log_2 N$. 对于给定的尺度 2^j , 其小波系数可以通过分解由 2^{j+1} 尺度上的近似信号获得, 具体表述如下:

2^j 尺度上的近似信号可以通过 2^{j+1} 尺度上的近似信号和一个低通滤波器 $h(n)$ 卷积获得, 计算方法见公式(1).

$$S_{2^j} f(n) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} h(k-2n) S_{2^{j+1}} f(k), 0 \leq n < 2^j N \quad (1)$$

2^j 尺度上的细节信号则可以通过 2^{j+1} 尺度上的近似信号和一个高通滤波器 $g(n)$ 卷积获得, 计算方法见公式(2).

$$W_{2^j} f(n) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} g(k-2n) S_{2^{j+1}} f(k), 0 \leq n < 2^j N \quad (2)$$

本文中提取图像的特征点主要是和细节信号有关, 因此特征点提取时主要用到细节信号部分. 以下叙述中, 将(1)和(2)式中的信号简记为 $Sf(n)$ 和 $Wf(n)$. 在具体实现时, 可以选取 MatLab 中现成的滤波器函数参与计算.

1.2 特征点的提取^[3]

信号的小波分解可以给出信号在不同尺度下的变化情况. 在粗分辨率下绝对值大的小波系数对应于原始信号中全局变化大的区域, 因此特征点检测的思想是由粗分辨率下的小波系数反向查找细分辨率下能够

反映这种全局变化的小波系数, 直到找到原始信号中相应的点. 紧支撑小波滤波器具有有限冲激响应特性, 可以用它来确定 2^j 尺度上的小波系数对应哪些信号点.

通过公式(2)可知, 如果滤波器长度为 $2p$, 于是在 2^j 尺度上, 每个小波系数 $Wf(n)$ 是由 2^{j+1} 尺度上的 $2p$ 个近似信号点计算得到, 它反映了原始信号中 $2^j p$ 个信号点的变化情况. 定义 2^{j+1} 尺度上与这 $2p$ 个近似信号点位置相对应的小波系数为 $Wf(n)$ 的子系数, 记为 $C(Wf(n))$, 则 $C(Wf(n))$ 与 $Wf(n)$ 的关系如(3)式所示.

$$C(Wf(n)) = \{Wf(k), 2n \leq k \leq 2n + 2p - 1\} \quad (3)$$

在(3)式中, $0 \leq n < 2^j N$, N 为信号长度. 子系数 $C(Wf(n))$ 也反映了 $2^j p$ 个原始信号点的变化情况, 在这 $2p$ 个信号特征点中, 选择一个具有最大梯度值的信号特征点作为小波特征点. 同时对每个小波特征子集系数按照(4)式进行小波显著特征值计算.

$$s = \sum_{k=1}^{-j} |C^{(k)}(Wf(n))|, 0 \leq n < 2^j N, -J_{\max} \leq j \leq -1 \quad (4)$$

通过公式(4), 就检测出了具有最大的小波显著特征值的那些点, 即特征点.

1.3 二维图像下的特征点提取^[4]

以上分析的是一维数字信号的小波特征点的提取算法, 此方法可以扩充到二维数字图像. 对于一幅给定的数字图像 I (大小为 $M \times N$), 由于其小波离散滤波器是一组 $S(g(x, y)) = [0, 2p-1] \times [0, 2p-1]$, 则其对应的小波系数子集由公式(5)求得.

$$C(W_{2^j}^d f(x, y)) = \{W_{2^{j+1}}^d f(k, l)\}, 2x \leq k \leq 2x + 2p - 1, \\ 0 \leq x < 2^j N, 0 \leq y < 2^j M, 1 \leq d \leq 3 \quad (5)$$

用预设阈值对提取的小波系数子集进行阈值化, 以提取所需数量的特征点. 本文实验中, 所用小波为正交和紧支撑的 Haar 及 Daubechies4 小波, 为验证特征点提取效果, 与传统的 Harris 算子边界点检测算法作了对比. 如图 1-b 所示, 使用 Harris 算子检测校园建筑的特征点^[5]主要得到的是图像的边界点, 丢失了很多细节信息; 从图 1-c 中可以看出, 使用本文中的特征点检测算法更好地保留了图像的边界及细节信息, 精确地表达了图像的内容. (注: 在图 1 中, 对特征点进行了一定量的简约, 只保留了部分作为图示)

2 基于特征点环形分布概率的图像特征向量

按照以上方法所得到的图像特征点, 精确地表示

了图像中边界及细节,可以表达图像的内容信息.因此,可考虑使用这些特征点在图像中的分布概率作为

图像的特征向量,用于图像检索.

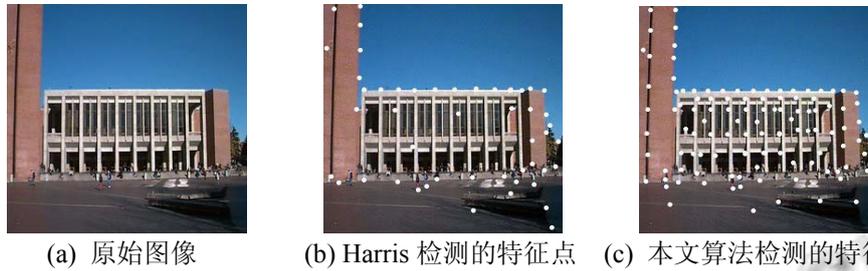


图 1 特征点检测效果比较

2.1 计算特征点集合的环形分布概率

为了准确表示出图像中特征点的分布情况,在本文中定义了一个特征点环形分布概率:

1) 如图 2 所示,以图像的中心为圆心,等分地划分 K 个同心圆环.设第 i 个圆环内的像素点个数为 n_i ,其中共包含 m_i 个特征点,于是第 i 个圆环中的特征点分布概率为 P_i ,使用(6)式计算,实验中 $K=8$;

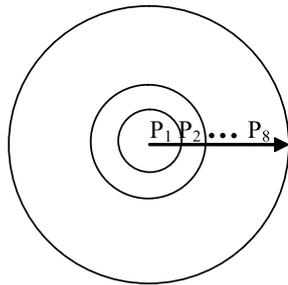


图 2 特征点集合的环形分布

2) 一般情况下,图像中各部分对象对图像的影响力有一个渐变的过程.为了体现这个渐变情况,可以设计一个由中心向边缘渐变的权重系数.各同心圆环内的权重系数如表 1 所示;

表 1 各同心圆环内的权重系数及特征点分布

圆环编号 i (由里向外)	1	2	3	4	5	6	7	8
权重 W_i (%)	15	20	20	15	15	10	3	2
特征点 P_i								

3) 将各圆环权重系数及计算好的 P_i 填写在表 1 中.

$$p_i = m_i / n_i, i = 1, 2, \dots, K \quad (6)$$

2.2 计算每幅图像的特征向量

每幅图像的特征向量可以用 K 个同心圆环内的特

征点分布概率集合来表示,表达为(7)式如示.

$$L = \{p_i | i = 1, 2, \dots, K\} \quad (7)$$

3 检索过程

两幅图相似度的度量通常是用它们之间的几何距离来衡量的.本文实验中使用街区距离^[6],设要查询的目标图像为 T , 图像库中的某一图像为 S , 通过(8)式计算它们的街区距离.

$$Dist(S, T) = \sum_{i=1}^K |S_i - T_i| \quad (8)$$

(8)式中, $S = \{S_1, S_2, \dots, S_K\}$ 和 $T = \{T_1, T_2, \dots, T_K\}$ 分别是图像库中某一图像和目标图像的特征向量, K 为分块或同心圆环的数目.两幅图 S, T 间的 $Dist(S, T)$ 值越小,则两幅图越相似,当 $Dist(S, T) = 0$ 时表示最相似.

3.1 基于特征点环形分布的图像检索

检索步骤如下:

- 1) 由(6)式计算出待查询的目标图像的特征点环形分布概率 P_i , 由(7)式求出图像的特征向量 T ;
- 2) 读取图像库,同理计算出其中每个图像的 S ;
- 3) 本文中划分的同心圆环为 $K=8$ 个,结合各个分块的权值系数 w_i ,得到两幅图 S, T 的距离计算公式如(9)式所示.

$$Dist(S, T) = \sum_{i=1}^8 (w_i \times |S_i - T_i|) \quad (9)$$

- 4) 根据(9)式求出来的距离按从小到大排序;
- 5) 设一个阈值,只选出距离小于这一阈值的那些图像作为查询结果.

3.2 相关反馈

对于一般图像来讲,其中各同心圆环对图像的影响

响力可大致分配为表 1 所示. 但是对于一些背景较大, 对象小且没有置于图像中心位置的特殊图像(比如汪洋中的小船)来说, 其各同心圆环对图像的影响力可能得重新分配. 因此, 相关反馈的主要目的是调整各圆环的权重系数, 主要步骤如下:

- 1) 使用(9)式计算距离后, 检索得到若干图像, 用户从中选出认为满意的一组图像作为反馈图像组;
- 2) 取出目标图像与反馈图像组中各图像的距离, 存放在一个数组中;
- 3) 按距离值对数组从小到大排序;
- 4) 将此有序数组分成三段, 分别表示目标图像中的同心圆环与反馈图像组中对应同心圆环的相似程度由高到低变化的三个档次. 实验中, 取前 2 个距离值较小的为极相似的圆环, 中间 4 个距离值较大的为较相似的圆环, 而最后 2 个距离值最大的为一般相似的圆环. 然后分别记下这些圆环的位置(编号 $i = 1, 2, \dots, 8$);

环, 而最后 2 个距离值最大的为一般相似的圆环. 然后分别记下这些圆环的位置(编号 $i = 1, 2, \dots, 8$);

5) 调整(4)中那些极相似的圆环、较相似的圆环及一般相似的圆环的权重系数 w_i ;

6) 用新的权重系数代入(9)式中重新计算距离值, 进行二次检索.

4 实验结果

http://www.cs.washington.edu/research/imagedatabase/所提供的测试图库中, 选取图像总数目超过 30 幅的 7 个类别中各随机抽取 7 幅图像作为查询图像. 实验中, 将 K 值分别取 8 和 16 进行了比对, 同时还与基于主色矩阵(分块为 4×4 块)的检索方法^[7]进行对比, 检索结果和查准率统计如表 2 所示.

表 2 实验结果及对比情况统计

图像类别	图像总数	本文检索方法						基于主色矩阵的检索方法 ^[7]	
		K=8 (两次检索)				K=16		检索结果	查准率(%)
		检索结果	查准率(%)	二次检索	查准率(%)	检索结果	查准率(%)		
球场	34	30	88.2	32	94.1	31	91.2	26	76.5
雪山	48	46	95.8	47	97.9	46	95.8	45	93.8
荷花	50	46	92.0	48	96.0	47	94.0	38	76.0
校园	82	76	92.7	80	97.6	80	97.6	70	85.4
海滩	32	26	81.3	30	93.8	29	90.6	24	75.0
人物	48	40	83.3	43	89.6	44	91.7	23	47.9
桥梁	92	80	87.0	88	95.7	87	94.6	74	89.1
平均			88.6		94.9		93.6		67.9

由表 2 中实验结果可以看到, 本文中提出的基于特征点环形分布的检索方法明显优于基于主色矩阵的检索方法. 对于颜色变化范围较大或几何结构比较复杂的图像, 本文算法的检索效果更加明显. 如图 3 所示, 对“校园建筑”图例进行了多角度旋转(image06~

09)、多尺度变化(image48、04)及部分景物遮挡(image03)测试, 部分检索结果如图 2 所示; 对“荷花”图例也进行了同样条件的测试, 其部分检索结果如图 4 所示. 实验结果表明了本文中的算法具备较好的旋转不变性、尺度不变性及视觉角度不变性.

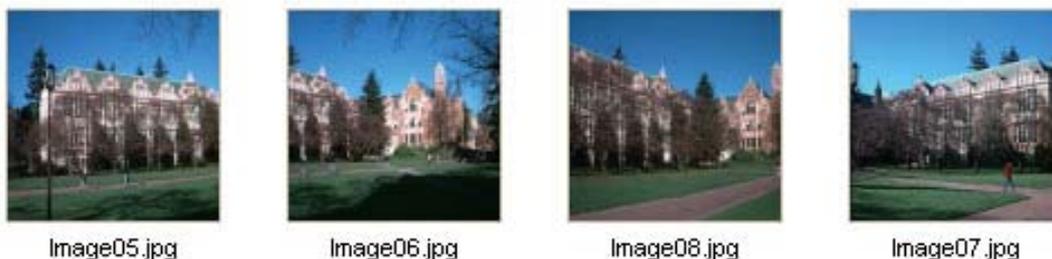




图 3 对校园建筑的部分检索结果



图 4 对荷花的部分检索结果

5 结论及进一步的工作

通过图像的特征点来提取图像的细节及边界信息,并用特征点的环形分布概率作为图像的特征向量,精确地描述了图像的内容,提高了图像检索的查准率。

由于同心圆环本身的几何对称性,使得这种方法在提取图像空间信息时也具有旋转、平移不变性。今后的理论研究及后继实验将从以下几个方面入手:

1) 随着同心圆环划分越多(K 值越大),图像检索的查准率也相应提高,但同时也加大了计算的复杂度。因此,可以考虑在使用相关反馈进行二次检索时,使用不同的同心圆环划分策略,以达到更精准的检索效果;

2) 颜色仍然是表达图像内容的一个重要特征,可以考虑使用这些特征点邻域的子块颜色直方图作为检索特征。比如在将图像空间划分成一系列同心圆环后,统计每个圆环内部特征点邻域的颜色直方图,并以此用为图像特征向量来进行相似性度量;

3) 使用哈希技术对图像之间的特征点进行匹配。试验图像检索过程中检索算法对噪音的抗干扰能力,并克服全局特征检索方法所不具有的对图像细节进行查询的能力;

4) 可以考虑将其它基于区域的检索方法和基于特征点的检索方法结合起来,用基于区域的检索方法来检索区域相似的图像,而用基于特征点的检索方法来对相似区域再进行细节的检索,从而实现分级检索,加快检索速度,改进检索结果。因此,如何将基于特

征点的图像检索方法和其他检索方法结合起来也是今后的一个研究课题。

参考文献

- 1 Park IK, Yun ID, Lee SK, et al. Color image retrieval using hybrid graph representation. *Image and Vision Computing*, 1999,17(7):466-474.
- 2 Harris C, Stephens M. A combined corner and edge detector. *Proc. of the 4th Alvey Vision Conference*. 1988: 147-151.
- 3 Gouet V, Boujema N. Object-based queries using color points of interest. *IEEE Workshop on Content-Based Access of Image and Video Libraries(CBAIVL/CVPR 2001)*. Kauai, Hawaii USA, 2001: 30-36.
- 4 Loupias E, Sebe N, Bres S, et al. Wavelet-based salient points for image retrieval. *International Conference on Image processing(ICIP 2000)*. Canada: Vancouver, 2000: 10-13.
- 5 Schmid C, Mohr R, Bauckhage C. Evaluation of interest point detectors. *International Journal of Computer Vision*, 2000,37(2):151-172.
- 6 Stricker M, Orengo M. Similarity of Color Images. *Proc. SPIE: Storage and Retrieval for Image and Video Databases*. 1995,2430:380-393.
- 7 郭健,陈孝威.基于颜色分布的图像检索技术. *计算机工程与应用*,2006,42(6):45-47.