

基于小波多尺度分析的综合特征图像检索

高 燕¹, 胡学龙², 李 玲¹, 丁 宁¹

(1 南京信息职业技术学院 电子信息学院, 江苏 南京 210046; 2 扬州大学 信息工程学院, 江苏 扬州 225009)

摘 要: 以整数小波变换为基础, 提出了一种综合颜色和空间特征的图像检索算法. 该算法首先对图像做整数小波变换, 提取其低频系数矩阵中环形区域的 F-范数作为颜色特征; 然后对低频分量分块并编码, 利用马尔可夫链特性提取一步转移概率矩阵作为空间特征; 再综合利用上述两个特征计算图像间的相似度, 并进行彩色图像检索. 通过对不同类型图像的检索对比实验结果表明, 这种图像检索方法是行之有效的.

关键词: 图像检索; 整数小波变换; F-范数; 一步转移概率矩阵

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)04-0021-04

Image Retrieval Based on Wavelet Using Multiple Features

GAO Yan¹, HU Xue-long², LI Ling¹, DING Ning¹

(1 Department of Information Engineer, Nanjing College of Information Technology, Nanjing 210046, China;

2 College of Information Engineer, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: According to the integer wavelet transform, a new method of content-based image retrieval is presented, which integrates color and spatial features. Firstly, the circular region F-norms in low frequency band of integer wavelet transform are extracted as color feature. Secondly, low frequency band of integer wavelet transform is segmented into blocks and encoded, the transition probability matrix utilizing characteristic of Markov chain is as spatial information. Finally, the similarities between color images are computed by using a combined index based on color feature and spatial feature. Through the comparative experiment on the image retrieval over various images, the results show that this representation of image is feasible and valid in image retrieval.

Key words: image retrieval; integer wavelet transform; F-norms; transition probability matrix

1 引言

随着多媒体和网络技术的迅速发展, 各种图像数量正以惊人的速度增加. 为了能从大量的图像数据中快速、准确地查找到用户所需的图像, 基于内容的图像检索 (Content-Based Image Retrieval, CBIR)^[1-2] 越来越成为研究的热点. 图像检索中对检索效率的要求越来越高, 由于基于图像单一特征的检索方法只能表达图像的部分属性, 缺少足够的区分信息. 因此, 可综合考虑各种特征的特点, 利用不同特征优势互补的效果, 以提高检索效率和准确度.

文中提出一种新的综合颜色和空间特征的图像检索算法, 对于颜色特征, 对图像做整数小波变换, 提取其低频尺度系数矩阵中环形区域的 F-范数; 对于空间特征, 分别提取 HSV 空间的三个灰度图像整数小波变换后的低频分量并分块, 根据小波系数值的标准偏差将子块归为不同的状态并编码, 利用马尔可夫链的特性处理编码后的状态矩阵, 所得到的进一步转移概率矩阵用来描述图像的空间分布信息. 最后再利用 Gaussian 模型对不同的子特征距离进行归一化, 综合这两种特征进行检索.

收稿日期: 2009-03-23; 修回日期: 2009-05-23

基金项目: 江苏省图像处理与图像通信重点实验室资助项目 (ZK206008)

2 颜色特征的提取与表示

2.1 图像的整数小波变换

1994 年 W. Sweldens 等人提出了全新的提升算法构造小波,称为第二代小波变换.它仍然保持传统小波的主要特性,特别是多分辨率分析性能.此外,可实行可逆的整数小波变换,在时间和空间复杂度方面便于用 DSP 实时实现.这些显著的优点使得第二代小波变换受到国内外各领域研究者的普遍重视^[3].

通过对多种整数小波变换的比较,文中选择其中的 9~7M 整数小波变换,该变换更适合提取图像的低频尺度系数,它集中了图像的大部分能量,其概貌信息基本保持不变.对小波变换后的低频部分作分块处理,可大大降低计算复杂度.

2.2 颜色特征提取

数字图像的初始色彩空间是 RGB 空间,但它与人眼的感知规律差异很大,颜色在此空间内的距离度量无法正确表征人们实际感知到的颜色间的真实差异,因此往往将 RGB 空间转化至其它空间,如 HSV, YUV, YCbCr 等.其中应用较为广泛的是 HSV 空间,色度 h 用来辨别颜色名称,饱和度 s 表示颜色的深浅浓度,亮度 v 代表色彩的明暗程度.

图像库中的图像全部归一化为 128×128 大小,转换到 HSV 空间后,三个分量的取值范围不同,为了更好地观察它们的变化和进行整数小波变换,通过式 $h_1 = h \times (255/2\pi)$, $s_1 = s \times 255$, $v_1 = v \times 255$,将 h, s, v 都转换到 $0 \sim 255$ 范围.

考虑到计算复杂度,对图像做 3 级整数小波分解,从得到的 16×16 大小的低频尺度系数矩阵中提取颜色特征.图像匹配采用环形区域的 F-范数,特征向量之间的距离采用类似于 S_1 距离进行度量.

定义 1 $O(x_o, y_o)$ 代表矩阵 V 的中心, $G_r(x_r, y_r)$ 是以 $O(x_o, y_o)$ 为圆心, r 为半径的圆环, $a(G_r)$ 代表圆环上任意一点的像素值.圆环 G_r 的 F-范数定义为 $\|G_r\| = (\sum_G a(G_r)^2)^{1/2}$. 图像 V 的环形区域特征向量为 $T_{V_r} = \{\|G_1\|_F, \|G_2\|_F, \dots, \|G_a\|_F\}$, a 为 V 的最大整数半径.

定义 2 设 V, W 为两幅图像, T_{V_r} 和 T_{W_r} 分别为它们的以图像中心为圆心、 r 为半径的圆环的 F-范数,相似距离采用类似于 S_1 距离.如果 $T_{V_r} = T_{W_r} = 0$, 则 $d_r = 1$; 否则 $d_r = \frac{\min(T_{V_r}, T_{W_r})}{\max(T_{V_r}, T_{W_r})}$. 显

然, V 和 W 的环形区域 F-范数的相似距离为 $d_c = 1 - \sum_r \lambda_r d_r$, 其中 $\lambda_r = \frac{n_r}{n}$, $\sum_r \lambda_r = 1$, $0 \leq d_c < 1$. n_r 为圆环 $G_r(x_r, y_r)$ 上的像素个数, n 为所有圆环上的总像素个数.

3 空间特征的提取与表示

由于彩色图像 HSV 颜色空间的 3 个分量图像是相互独立的灰度图像,考虑通过综合这 3 个分量灰度图像来提取图像的空间信息,并提出一种有效的空间特征描述方法.

3.1 分块图像的状态矩阵

对 h, s, v 三个分量图像作 3 级整数小波变换后得到的低频部分分别作分块处理.鉴于划分子块的大小,考虑到原始图像的尺寸及计算复杂度,取 2×2 大小.每个子块的特性可以用该子块内小波系数的标准偏差来描述.

标准偏差 σ 是统计上用于衡量一组数值中某一数值与其平均值差异程度的指标,可用来评估数据可能的变化或波动程度.文中用子块内小波系数的标准偏差来区分子块的状态.对于某一子块,若其内部小波系数的 σ 很小,则表明该子块内小波系数的值比较接近,那么在人眼看来,该区域就表现得较为平坦;若 σ 很大,则表明该子块内小波系数的值变化较大,而只有包含图像边缘细节的区域子块才具有这种特性;而介于二者之间的子块,小波系数的值相差则不是很大,这种子块在一定程度上反映了图像的纹理特性.依据子块内小波系数值的标准偏差,可将图像区域子块划分为平坦态、纹理态和边缘态这 3 种状态.

为了定量地区分这 3 种状态,需要两个阈值 θ_1, θ_2 ($\theta_1 < \theta_2$).若 $\sigma < \theta_1$, 则定义该子块状态为“平坦态”,并用“1”表示;若 $\theta_1 < \sigma < \theta_2$, 则定义该子块状态为“纹理态”,并用“2”表示;若 $\sigma > \theta_2$, 则定义该子块状态为“边缘态”,并用“3”表示.为确定参数 θ_1, θ_2 的取值,可采用统计的方法进行估计,即统计图像库中所有图像子块内小波系数的 σ 分布(对于大型图像库,可从各类图像中分别选取,构成 100 幅左右图像).图 1 表示 s 分量的子块小波系数的标准偏差直方图,其中横坐标表示子块小波系数的标准偏差,纵坐标表示图像库中所有图像子块的不同标准偏差取值所对应的分块总数.

从图 1 可见,子块内小波系数的 σ 主要分布在区间 $[0, 600]$. 其中,大多数子块分布在区间 $[0, 50]$,

而分布在区间[500,600]的子块很少.基于这种统计结果并考虑到图像的整体特性,在试验中,选取 $\theta_1 = 50, \theta_2 = 500$.根据上述对子块类型的定义,可将图像中的每一子块分别采用{1,2,3}三个状态值来表示,由此得到的矩阵称为图像的状态矩阵.这样, h, s, v 三个分量图像均可转化为由{1,2,3}构成的二维状态矩阵,该状态矩阵包含了图像的空间信息.

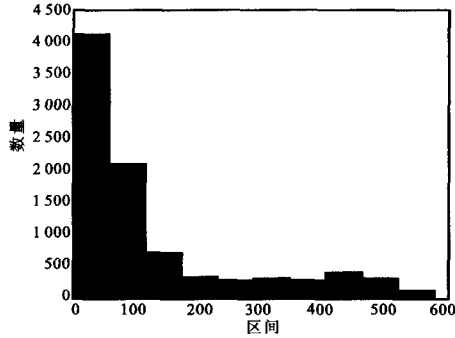


图1 子块小波系数的标准偏差直方图

3.2 基于 Markov 链的空间特征

马尔可夫过程^[4]的最基本特征是:“马氏性”也称“无后效性”,即在随机过程“现在”的状态已知的条件下,其“将来”的状态与“过去”的状态无关.由于一个马尔可夫链运动规律的概率特性取决于它的转移概率矩阵特性,文中利用马尔可夫性求出三个分量的转移概率矩阵,用来表示图像的空间分布特征.

众所周知,图像的相邻像素间具有很强的相关性,且空间位置越近,其相应的相关性越强.该特性也同样适合于前面所得的图像状态矩阵.为了从中提取图像的空间位置信息,类似于 JPEG 标准中对 DCT 系数的曲徊排序法(即从左上角开始沿对角线方向扫描),将图像的状态矩阵转化为一维随机状态序列,该序列对应的状态空间为 $A = \{1, 2, 3\}$,相应的一步转移概率矩阵确定为

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, $p_{ij} = \frac{k_{ij}}{\sum_{l=1}^3 k_{il}}$, $\sum_{j=1}^3 p_{ij} = 1$, k_{ij} 表示从状态 i 转移到状态 j 的转移次数.

4 距离度量与特征匹配

4.1 子特征的距离度量

对于颜色特征,两幅图像的圆环区域 F-范数的

相似距离采用类似于 S_1 距离的方法已在定义 2 中提出. d_c 为 0(相似度为 1);否则,为 0 和 1 之间的一个数.

空间分布特征采用转移概率矩阵间的相关系数来度量:

$$d_s(P_V, P_W) = \frac{\sum_3 \sum_3 ((P_V)_{3,3} - \mu_V)((P_W)_{3,3} - \mu_W)}{\sqrt{(\sum_3 \sum_3 ((P_V)_{3,3} - \mu_V)^2)(\sum_3 \sum_3 ((P_W)_{3,3} - \mu_W)^2)}} \quad (2)$$

式中, P_V, P_W, u_V, u_W 分别为两幅图像 V, W 对应分量的转移概率矩阵以及它们的均值.

4.2 综合特征检索

由于各特征采用不同的表示方法,所用距离测度也不同,要通过它们的线性组合得到一个最终匹配值,使不同的子特征具有可比性,需对子特征距离作归一化处理.我们采用 Gaussian 模型对距离进行归一化.为了分析子特征距离度量的统计特征,对每个子特征分别计算整个图像库中的图像对之间的距离,在此基础上计算这些距离的均值和标准差.

设子特征 m 的相似距离为 d_m , 相应的距离均值和标准差的估计值分别为 μ_m 和 σ_m . 在 Gaussian 假设下, d_m 相应的归一化距离 $\hat{d}_m$ 定义为^[5]

$$\hat{d}_m(f_1, f_2) = \frac{d_m(f_1, f_2) - (\mu_m - 3\sigma_m)}{6\sigma_m} \quad (3)$$

式中, f_1 和 f_2 是任意两幅图像对应子特征 m 的特征向量.若 $m = c$, 则 f_1 和 f_2 表示图像的颜色特征向量;若 $m = s$, 则 f_1 和 f_2 表示图像的空间特征向量.式(3)不仅可以保证 $\hat{d}_m$ 中 99% 的取值落入区间 $[0, 1]$ 中,并且可以同其它的归一化距离度量进行线性组合.

设查询图像为 V, W 为图像库中任一目标图像,在实际检索处理中,可分别按定义 2 和式(2)计算出图像子特征之间的距离,再利用式(3)对所计算的进行归一化处理.然后,再计算查询图像与数据库图像之间的全局相似度.图像间全局相似度为

$$d(V, W) = \sum_{m \in \{c, s\}} \beta_m \hat{d}_m(v_m, w_m) \quad (4)$$

式中, v_m 和 w_m 分别为图像 V 和 W 第 m 个子特征的特征向量. $\hat{d}_m(v_m, w_m)$ 为子特征 m 归一化后的距离, β_m 为子特征 m 的权重,用来控制颜色和空间特征在检索中的相对重要性.权重的缺省设置为 $\beta_c = \beta_s = 0.5$, 即赋予颜色和空间特征同等重要性.

5 仿真实验与结论

为了检验上述算法的可行性及查询的准确性,文中建立了一个 100 多幅图像的特征数据库,图像题材包括蝴蝶、草地、纹理和花朵等类别.考虑到检索系统返回的相似图像数目(不是所有)不适宜采用常规的查准率(precision)和查全率(recall)评价指标,文中采用 Tan Kian-Lee 等提出的“标准查准率(normal precision)”和“标准查全率(normal recall)”作为相似检索的评价准则^[6].标准查准率 P_{Normal} 和标准查全率 R_{Normal} 的具体定义为

$$P_{\text{Normal}} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^L (\log t_i - \log i)}{\log \frac{N!}{(N-L)!L!}}$$

$$R_{\text{Normal}} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^L (t_i - i)}{(N-L)L} \quad (5)$$

式中, N 为检索系统返回的图像数目, L 是检索结果中与示例图像相关的图像数目, t_i 是第 i 幅相关图像的排序.

表 1 给出了对几类图片,将图像分为 2×2 大小的子块的平均标准查准率、平均标准查全率对比结果.由表可见,各类别图像的总的平均 P_{Normal} 、 R_{Normal} 分别为 91.2%、85.1%,结果还是较为令人满意的.

表 1 不同类别图像的检索性能比较

图像类别	平均标准查准率 $P_{\text{Normal}}/\%$	平均标准查全率 $R_{\text{Normal}}/\%$
蝴蝶	87.1	80.2
草地	90.4	81.4
纹理	96.4	93.6
花朵	91	85.3
总平均值	91.2	85.1

特征组合中,各特征在检索中所起的作用的大小是通过相似度测量公式(式(4))中的权重系数来控制的.针对如何分配各特征的权重,以达到用户满意的检索效果这个问题,文中进行了特征组合中不同权重对检索结果影响的对比实验.

图 2 是对一幅花朵图像的一次检索结果,由图可以看出,分别对图像的颜色和空间特征分配 0.7 和 0.3 权重时,图像的检索结果更能达到用户满意的效果,用户可以不断地调整权重,提高检索精度.

6 结束语

文中提出了一种新的结合颜色和空间特征的图

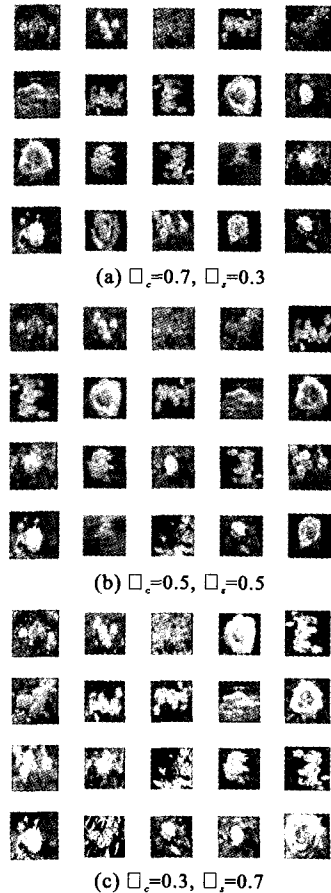


图 2 不同权重对同一图像的检索结果

像检索方法,该方法从图像经过整数小波变换后的低频部分分别提取环形区域的 F-范数和一步转移概率矩阵获得图像特征,实验结果表明,文中方法具有较好的检索性能,其检索结果能较好地接近人的视觉感知效果.在下一步的工作中,通过引入相关反馈技术来把用户的爱好、情感等主观因素考虑进来,以进一步提高检索精度.

参考文献:

- [1] Vogel J, Schiele B. Performance evaluation and optimization for content-based image retrieval[J]. Pattern Recognition, 2006, 39(5): 897-909.
- [2] 高美真, 申艳梅. 基于颜色直方图的图像检索技术[J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(4): 25-27.
- [3] 刘丹, 王相海. 提升方案小波和位平面下的图像质量可分级编码研究[J]. 微电子学与计算机, 2007, 24(2): 150-153.
- [4] 陈明. 通信与信息工程中的随机过程[M]. 南京: 东南大学出版社, 2001.

(下转第 28 页)

处在过阻尼状态,如曲线 D 所示.使用本文提出的方法将 R_b 优化至 790Ω 时,响应再次近似为临界阻尼状态,如曲线 E 所示.同时可发现,即使在 R_{in} 影响存在的情况下,由于优化后的 R_b 对阶跃响应的加速效果,其建立时间仍比阻值全零时的建立时间缩短了 28%.

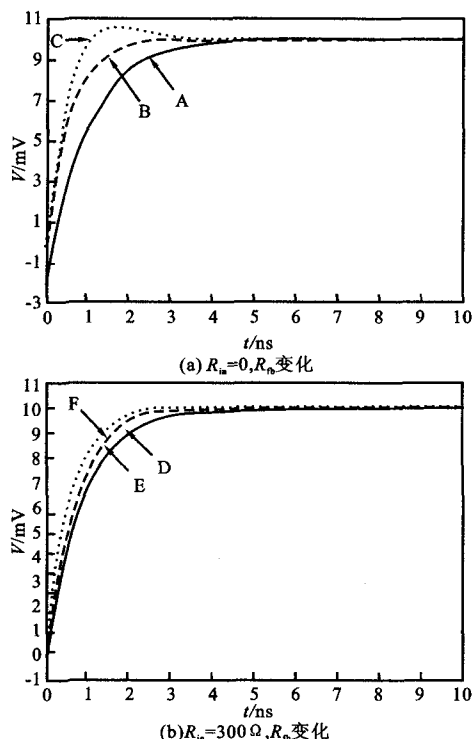


图4 不同开关导通电阻配置下的阶跃响应

5 结束语

进行开关电容放大器的设计时,在确定了电容值和 OTA 参数后,需要对 MOS 开关进行必要的优

化.文中针对开关导通电阻对开关电容放大器建立速度的影响进行了建模和分析,提出了一种优化阶跃响应的开关设计方法.电路仿真结果表明,使用该方法对开关管进行合理设计,可以有效地改善开关电容放大器的阶跃响应,缩短建立时间.

参考文献:

- [1] Allen P E, Holberg D R. CMOS analog circuit design [M]. Oxford: Oxford University Press, 2002:511-520.
- [2] Razavi B. Design of analog CMOS integrated circuits [M]. New York: McGraw-Hill, 2001:330-351.
- [3] 骆冬根,黄鲁,胡新伟.一种模数转换器的采样保持/增益减法电路设计[J].微电子学与计算机,2005,22(10):54-57.
- [4] Wang F, Harjani F. Power analysis and optimal design of op amps for oversampled converters[J]. IEEE Trans. Circuit Sys II, 1999, 46(4):359-369.
- [5] 张凯,周贵贤,刘焯.12位100MS/s ADC中采样/保持电路的分析与设计[J].微电子学与计算机,2007,24(11):8-13.
- [6] Yang H C, Allstot D J. Consideration for fast settling operational amplifiers [J]. IEEE Trans. Circuit Sys, 1990, 37(3):326-334.
- [7] 孙增圻.系统分析与控制[M].北京:清华大学出版社,1994:87-103.

作者简介:

梁伟伟 男(1983-),硕士研究生.研究方向为数模混合集成电路设计.

阴亚东 男(1981-),博士研究生.研究方向为模拟与射频集成电路设计.

阎跃鹏 男(1963-),研究员,博士生导师.研究方向为微波射频集成电路与系统.

(上接第24页)

- [5] 刘宁钟,杨静宇.综合利用目标区域颜色纹理特征的彩色图像检索[J].计算机工程与应用,2003,39(32):187-203.
- [6] Tan Kian-Lee, OoiBeng Chin, Yee Chia Yeow. An evaluation of color-spatial retrieval technique for large image database[J]. Multimedia Tools and Applications, 2002,14(1):55-78.

作者简介:

高燕 女,(1981-),硕士研究生,讲师.研究方向为图像处理与多媒体技术.

胡学龙 男,(1960-),教授.研究方向为图像处理与多媒体技术、现代数字信号处理等.

李玲 女,(1963-),高级工程师.研究方向为信号与信息处理.

丁宁 女,(1963-),副教授.研究方向为信号与信息处理.