

## 基于边缘方向直方图相关性匹配的图像检索

申海洋\*, 李月娥, 张 甜

(山西大学 物理电子工程学院, 太原 030001)

(\*通信作者电子邮箱 shen\_haiyang@163.com)

**摘 要:**针对基于边缘方向自相关图的图像检索算法的优缺点,提出了一种基于边缘方向直方图相关性匹配的图像检索算法。使用自适应中值滤波器滤除图像中的椒盐噪声。利用 Sobel 算子提取图像边缘,通过计算边缘梯度幅值、角度统计后得边缘方向直方图,并对直方图进行等级化排列构成特征向量。最后使用斯皮尔曼等级相关计算图像特征向量间的相关系数作为衡量图像间相似性的指标。实验结果表明:该算法的平均查准率、查全率较基于边缘方向自相关图算法分别提升 10.5%, 9.7%, 平均检索耗时减少了 7.5%。实验验证了算法的有效性,可将算法应用到中大规模图像检索系统中以提升检索效果,提高系统速度。

**关键词:**图像检索;自适应中值滤波器;Sobel 算子;边缘方向直方图;斯皮尔曼等级相关

**中图分类号:** TP391.413 **文献标志码:** A

### Image retrieval based on edge direction histogram correlation matching

SHEN Haiyang\*, LI Yue'e, ZHANG Tian

(College of Physics and Electronic Engineering, Shanxi University, Taiyuan Shanxi 030001, China)

**Abstract:** With regard to the advantages and disadvantages of image retrieval algorithm based on edge orientation autocorrelation, a kind of image retrieval algorithm based on edge direction histogram correlation matching was proposed. Firstly, the salt and pepper noise in image was filtered by using an adaptive median filter, and then Sobel operator was used to extract image edge. After the edge orientation histogram was got through calculating the edge gradient amplitude and angle, the feature vector was constituted. Lastly, Spearman rank correlation coefficient was used to calculate the correlation coefficient between the feature vectors of images, as a measure of image similarity. Compared with the algorithm based on edge orientation autocorrelation, the average precision and the recall rate of the new image retrieval algorithm increased by 10.5% and 9.7%. And the retrieval time consumption was also reduced by 7.5%. The experimental results verify the effectiveness of the proposed algorithm. The algorithm could be applied in medium to large image retrieval system to improve retrieval effect and raise the system speed.

**Key words:** image retrieval; adaptive median filter; Sobel operator; edge direction histogram; Spearman rank correlation

## 0 引言

图像文件数据量大、表现形式多样化、结构复杂,传统的浏览和检索方式已经不能满足人们对图像文件访问的需求,基于内容的图像检索(Content-Based Image Retrieval, CBIR)技术日益成为研究的热点<sup>[1-2]</sup>。当前基于内容的图像检索技术主要基于图像的底层特征,如颜色、纹理、形状和空间关系等。图像边缘蕴含着图像中重要的形态信息,伊朗科学家 Fariboz Mahmoudi 等提出了一种基于边缘方向自相关图(Edge Orientation Autocorrelation, EOAC)的图像检索算法<sup>[3]</sup>,该算法优点是考虑了图像的形态信息,检索准确率较高,但是其缺点是计算量大且对图像的尺度变化较为敏感。针对 EOAC 算法的优缺点,本文提出了一种基于边缘方向直方图相关性匹配(Edge Direction histogram Correlation Matching, EDCM)的图像检索算法。该算法首先提取图像的边缘方向直方图,等级化后构建特征向量,再用斯皮尔曼等级相关<sup>[4-5]</sup>计算图像间相关度,本算法充分利用了图像的边缘形态信息,算法复杂度较低。实验结果表明本文算法对尺度变化不敏感,得到的查准率、查全率比文献[3]中的算法有所提高,且

降低了算法的复杂度,减小了检索耗时。

## 1 边缘方向直方图特征向量的获取

获取图像边缘方向直方图特征向量,需要经过对图像进行预处理、提取边缘方向直方图构建特征向量两个步骤。

### 1.1 图像预处理

在图像的预处理<sup>[6-7]</sup>中为了克服椒盐噪声对图像的不良影响,采用自适应中值滤波器<sup>[8-9]</sup>对图像进行滤波处理。该滤波器算法如下:

- 1) 采用  $3 \times 3$  的模板,把模板中的元素按像素值从小大排序,记录中值  $Z_{med}$ 。若中值大小等于最大元素  $Z_{max}$  或者最小元素值  $Z_{min}$ ,则扩大模板。
- 2) 判断模板中心的元素  $Z_{core}$  是否为模板中像素值最大或者最小的元素。
- 3) 中心的元素值  $Z_{core}$  若是最大值或者最小值,则将模板元素  $Z_{med}$  赋值给  $Z_{core}$  即  $Z_{core} = Z_{med}$ ,否则保留不作处理。
- 4) 用模板遍历整个图像区域,得到滤波后的图像。

### 1.2 边缘方向直方图特征向量提取

图像中的边缘是灰度发生阶跃变化或者屋顶变化的区

收稿日期:2013-01-09;修回日期:2013-02-16。 基金项目:山西省自然科学基金资助项目(2010011019-2)。

作者简介:申海洋(1984-),男,安徽马鞍山人,硕士研究生,主要研究方向:图形图像处理、视频检索;李月娥(1955-),女,山西太原人,教授,主要研究方向:图像与信号处理;张甜(1987-),女,山西运城人,硕士研究生,主要研究方向:图像处理。

域,它是图像最基本的特征之一,也是判别物体重要的视觉感知信息。图像的边缘方向直方图能有效反映图像中的形状信息。Sobel 算子<sup>[10]</sup>对噪声敏感度高,本文采用 Sobel 算子检测提取图像的边缘。Sobel 算子是一离散性差分算子,用来运算图像亮度函数的梯度之近似值。在图像的任何一点使用此算子,将会产生对应的梯度矢量或是其法矢量。该算子包含两组  $3 \times 3$  的矩阵,分别为横向及纵向,将之与图像作平面卷积,即可分别得出横向及纵向的亮度差分近似值。如果以  $A$  代表原始图像,  $G_x$  及  $G_y$  分别代表经横向及纵向边缘检测的图像,如式(1)所示:

$$\begin{aligned} G_x &= \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{bmatrix} * A \\ G_y &= \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} * A \end{aligned} \quad (1)$$

边缘像素梯度幅值可以用式(2)计算:

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (2)$$

找出关键边缘像素点,在计算了图像中的所有像素的梯度值后,设定阈值  $T = 25$ 。当某一像素的梯度值大于 25 时,视该像素点为图像的关键边缘像素点。梯度方向用式(3)计算:

$$\theta = \tan^{-1}(G_y/G_x); -\pi \leq \theta \leq \pi \quad (3)$$

将边缘像素方向角均匀的量化为  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$ ,  $n$  个等级。其中  $n$  可以根据实际需要选取,  $n$  越大计算精度越高,但同时计算量将大大增加。本文中设定  $n = 9$ 。

统计各个方向上关键边缘像素的个数,以方向角为横坐标、关键边缘像素点数目为纵坐标得到边缘方向直方图。本文选取三张图片 bus348. bmp、bus354. bmp、beach199. bmp 为例,分别提取边缘方向直方图,如图 1~3 所示。

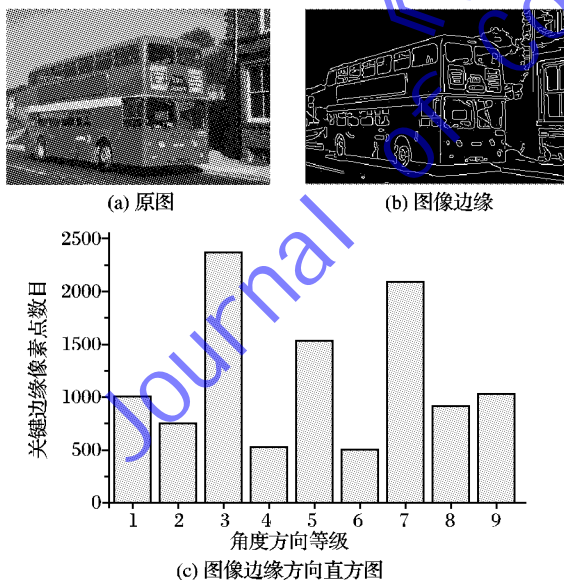


图1 bus348. bmp 边缘方向直方图提取

将以上得到的边缘方向直方图按大小的等级排列后,存入一维向量中,得到了三组  $1 \times 9$  的一维特征向量:

$$F_{bus348} = [4, 5, 9, 2, 7, 1, 8, 3, 6]$$

$$F_{bus354} = [5, 3, 9, 2, 7, 1, 8, 4, 6]$$

$$F_{beach199} = [1, 6, 8, 4, 2, 5, 9, 7, 3]$$

用同样的方法计算得到图像库中所有图片的边缘方向直方图特征向量,并将特征向量存入数据库。

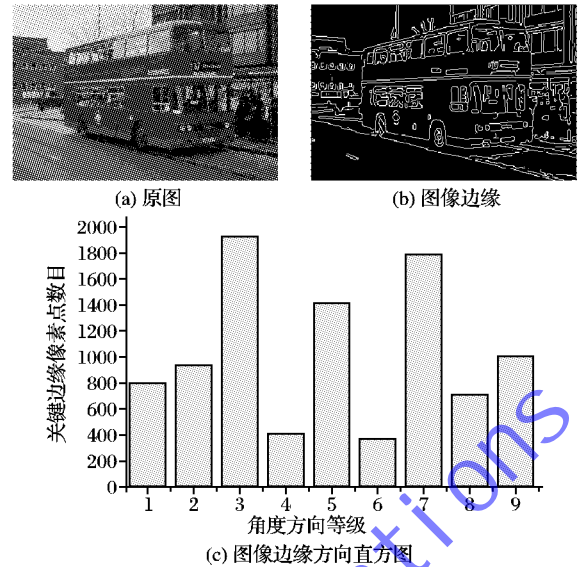


图2 bus354. bmp 边缘方向直方图提取

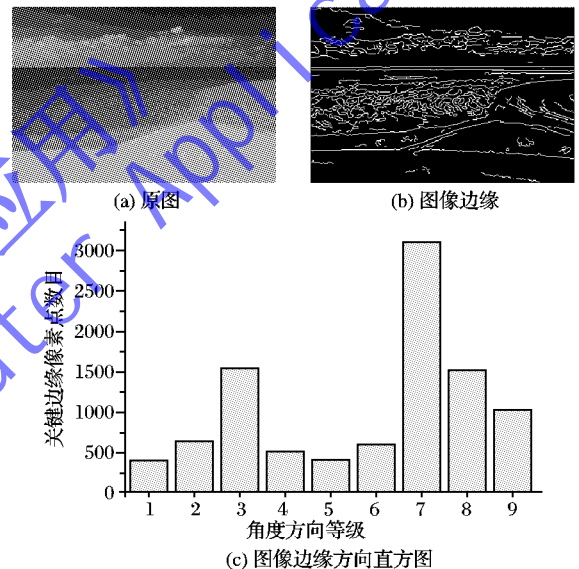


图3 beach199. bmp 边缘方向直方图提取

## 2 相似性匹配

图像相似度计算中通常使用欧氏距离函数<sup>[11]</sup>,但使用欧氏距离对图像的尺度变换比较敏感,当图像尺度发生变化后检索效果将急剧恶化。本文算法在获得图像的边缘方向直方图特征向量后,使用斯皮尔曼等级相关系数式(4)来计算查询图片和图像库中图片的相关系数,以衡量图片间的相似性。相关系数  $\rho$  越接近于 1 则相似度越高。

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (4)$$

斯皮尔曼等级相关的优点是:只要两个变量的观测值是成对的等级评定量化值,或者是由连续变量观测资料转化得到的等级量化值,不论两个变量的总体分布形态、样本容量的大小如何,都可以用来计算相关度。

下面以上文中采用的三幅图片为例,计算图片 bus348 和 bus354 的相关系数。这两幅图片的边缘方向直方图斯皮尔曼等级数列关系如表 1 所示。

将表 1 中的相关数据代入式(4)计算得到相关系数  $\rho = 0.95$ , 接近 1, 相似度较高。同样计算得到图片 bus348 和 beach199 的相关系数为  $\rho = 0.25$ , 相似度较低。



在表 1 中,第 1 列角度序列  $i$  是指图像边缘方向直方图的横轴角度等级;第 2~3 列 (bus354、bus348) 分别是两幅图片的边缘方向直方图的等级;第 4 列级差是指两幅图片边缘方向直方图相应的等级之差;第 5 列是第 4 列级差的平方。

表 1 斯皮尔曼等级相关数列关系表

角度序列 $i$	bus354	Bus348	级差 $d$	级差平方 $d^2$
1	5	4	1	1
2	3	5	-2	4
3	9	9	0	0
4	2	2	0	0
5	7	7	0	0
6	1	1	0	0
7	8	8	0	0
8	4	3	1	1
9	6	6	0	0

### 3 实验结果及分析

本文的实验环境:CPU: Intel CORE i5 双核处理器,4 GB 内存,Windows7 操作系统,Matlab2012a 编程仿真平台,实验使用的图像库是 SIMPLI-city 系统<sup>[12]</sup> 使用的测试集。通过实验对本文新算法的适应性、查准率、查全率和检索时间四个方面进行验证分析。

#### 3.1 本文算法适应性测试分析

首先实验验证本文新算法对图像尺度变换、旋转变换以及图片磨损的适应性。首先将检索图片进行不同尺度变换、旋转变换处理以及涂鸦磨损处理,将经过处理后的图片存入测试图片库,用本文的算法进行检索实验。以图片 bus361.bmp 为例,适应性测试如图 4 所示。



图 4 EDCM 算法适应性测试

以上实验结果表明:本文算法对图像尺度变换尤为不敏感,同时当图片旋转或者受到损伤也能在一定程度上检索出。

#### 3.2 两种算法查准率、查全率对比测试

查准率为检索结果中的检索出目标图像数和全部输出图像数之比,查全率为检索结果中的检索出目标图像数同数据库中全部目标图像之比。选取基于边缘方向自相关图的图像检索算法和本文提出的基于边缘方向直方图相关性匹配的图像检索算法进行对比实验。从 SIMPLI-city 的 Corel 库中选取了 1000 幅图像,包括自然风光、非洲人、沙滩、建筑、巴士、恐龙、花朵、山脉、马和食物等 10 类图像,每类 100 幅。实验采用编号 11 的图像作为检索图,图 5 是 EOAC 算法检索结果,

图 6 是本文 EDCM 检索结果。设定检索系统返回 20 张图片,返回的结果按相似程度由大到小排列。



图 5 EOAC 算法检索结果



图 6 EDCM 算法检索结果

在图 5 的可观察到返回的 20 幅图像中有 14 幅和检索图相关。图 6 的返回的 20 幅图片中有 18 张图片相关。进一步的在测试库中自然风光、土著人、沙滩、建筑、巴士、恐龙、花朵、山脉、马和食物这 10 类图像中的每一类图像随机抽取 1 幅作为查询图像,用以上两种检索算法进行检索,分别统计检索查准率,如表 2 所示。

表 2 两种算法查准率

算法	自然 风光	土著 人	沙滩	建筑	巴士	恐龙	花朵	山脉	马	食物
EOAC	0.55	0.42	0.65	0.60	0.61	0.45	0.52	0.46	0.50	0.45
EDCM	0.66	0.48	0.70	0.73	0.71	0.51	0.55	0.65	0.63	0.60

置换样本多次实验后统计得到的本文 EDCM 图像检索算法的查准率和查全率,并绘制查准率和查全率平均变化曲线。EDCM 算法和 EOAC 算法查准率和查全率平均变化曲线对比如图 7 所示。

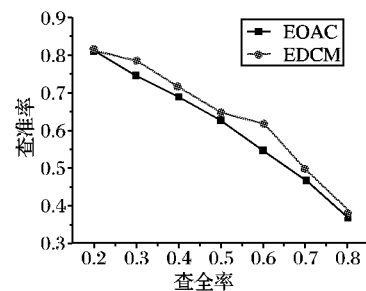


图 7 EDCM 算法、EOAC 算法查准率和查全率对比曲线

由此可以看出本文提出的基于边缘方向直方图等级相关性匹配的图像检索算法的检索性能好于基于边缘方向自相关图的图像检索算法,经统计本文 EDCM 算法得到的平均查准率比 EOAC 提升了 10.5%,查全率提升 9.7%。

#### 3.3 两种算法检索时间对比统计

另外两种算法的检索平均耗时统计如表 3 所示。

表 3 两种算法的检索时间

算法	运行时间/ms	算法	运行时间/ms
EOAC	1.74	EDCM	1.61

可见本文的 EDCM 算法检索耗时少于 EOAC 算法,统计得平均检索耗时减少了 7.5%。

#### 4 结语

本文提出了基于边缘方向直方图等级相关性匹配的图像检索算法,该算法在对图像进行预处理的基础上,提取边缘方向直方图,构建特征向量,再用斯皮尔曼等级相关计算图片之间的相关度作为衡量图片相似性依据进行图像检索。基于边缘方向直方图等级相关性匹配的算法有效地利用了图像边缘信息,实验证明,该算法对图像尺度变换不敏感,对图像旋转、图像损伤后的检索亦有一定的适应性,且查准率、查全率都高于基于边缘方向自相关图的图像检索算法,同时检索耗时少于基于边缘方向自相关图的图像检索算法。本文的算法可应用在中大规模图像检索系统中,检索精度和速度都能有良好的表现。在后期研究中需要综合灰度、纹理、颜色等特征,以进一步提高算法的适应性、查准率、查全率,缩短检索时间,提高检索效率。

#### 参考文献:

- [1] RITENDRA D, DHIRAJ J, JIA L, *et al.* Image retrieval: ideas, influences, and trends of new age[J]. *ACM Computing Surveys*, 2008, 40(2): 1-60.
- [2] SINGH S M, HEMACHANDRAN K. Content based image retrieval using color moment and Gabor based image retrieval using color moment and Gabor texture feature[J]. *International Journal of Computer Science Issues*, 2012, 9(5): 299-309
- [3] MAHMOUDI F, SHANBEHZADEHB J, SOLTANIAN-ZADEHC H, *et al.* Image retrieval based on shape similarity by edge orientation

- autocorrelogram[J]. *Pattern Recognition*, 2003, 36(8): 1725-1736.
- [4] ZAR J H. Significance testing of the Spearman rank correlation coefficient[J]. *Journal of the American Statistical Association*, 1972, 67(339): 578-580.
- [5] KHARE S, BHANDARI A, SINGH S, *et al.* ECG arrhythmia classification using Spearman rank correlation and support vector machine[C]// *Proceedings of the International Conference on Soft Computing for Problem Solving*. Berlin: Springer, 2012: 591-598.
- [6] 章毓晋. 图像工程: (上册) 图像处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007: 25-124.
- [7] GONZALEZ R C, WOODS R E. *Digital image processing*[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2010: 125-138.
- [8] GONZALEZ R C, WOODS R E. *Digital image processing using MA-TLAB*[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2009: 40-65.
- [9] 宁春玉, 赵春华. 自适应中值滤波器算法滤除医学图像脉冲噪声[J]. *计算机工程及应用*, 2012, 48(24): 153-156.
- [10] PATEL J, PATWARDHAN J, SANKHE K, *et al.* Fuzzy inference based edge detection system using Sobel and Laplacian of Gaussian operators[C]// *Proceedings of the ICWET 2011 International Conference and Workshop on Emerging Trends in Technology*. Mumbai: ACM, 2011: 694-697.
- [11] PATTANAIK S, BHALKE D G. Efficient content based image retrieval system using MPEG-7 features[J]. *International Journal of Computer Applications*, 2012, 53(5): 19-24.
- [12] TAN K S, MAT-ISA N A. Color image segmentation using histogram thresholding fuzzy C-means hybrid approach[J]. *Pattern Recognition*, 2011, 44(1): 1-15.

(上接第 1975 页)

3) 经本文提出的方法处理后的输出图像还存在其他噪声,如相干噪声等,这说明本文提出的方法仅适用于灰度误差补偿,对于其他噪声需要结合相应的噪声抑制方法进行去噪。

#### 5 结语

光学 4f 系统存在系统灰度误差,输入图像经光学 4f 系统输出后,输入图像的灰度级发生了非线性变换。本文提出了一种新的基于直方图匹配和 RBF 神经网络的灰度误差补偿方法。实验结果表明,经本文提出的方法处理后的输出图像,视觉效果明显改善,PSNR 显著提高。本文提出的方法能有效补偿光学 4f 系统的灰度误差,提高基于光学 4f 系统的光学信息处理的精度,促进光学信息处理应用的发展。

但是,光学 4f 系统还存在其他噪声,如相干噪声、随机噪声等,如何把各种单一的噪声抑制方法结合起来,形成光学 4f 系统噪声的综合抑制方法,有效抑制相干噪声、随机噪声和灰度误差等各种噪声,是以后研究的一个重要方向。

#### 参考文献:

- [1] 王玉堂. 光子学与光子技术发展战略研究[J]. *光电子·激光*, 1998, 9(6): 515-518.
- [2] MENDLOVIC D, KONFORTI N. Optical realization of the wavelet transform for two-dimensional objects[J]. *Applied Optics*, 1993, 32(32): 6542-6546.
- [3] 邓丽军, 王辉, 马利红. 基于滤波成像的大视角数字全息技术[J]. *光子学报*, 2010, 39(12): 2168-2173.
- [4] 万堃, 曹益平, 高志国, 等. 基于空间滤波的工件在线检测方法[J]. *光电工程*, 2006, 33(4): 136-140.
- [5] MIGUKIN A, AGOUR M, KATKOVNIK V. Phase retrieval in 4f

- optical system: background compensation and sparse regularization of object with binary amplitude[J]. *Applied Optics*, 2013, 52(1): A269-A280.
- [6] XU X. A novel image denoising method for matched filtering system[J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2012, 265: 2469-2476.
- [7] KATKOVNIK V, ASTOLA J. Phase retrieval via spatial light modulator phase modulation in 4f optical setup: numerical inverse imaging with sparse regularization for phase and amplitude[J]. *Journal of the Optical Society of America A*, 2012, 29(1): 105-116.
- [8] 徐鑫, 田逢春, 姬艳丽, 等. 利用阶跃响应的 4f 光学系统图像复原[J]. *光学精密工程*, 2010, 18(4): 973-980.
- [9] 徐鑫, 田逢春, 陈建军, 等. 应用图像纹理连续性的 4f 系统图像非下采样轮廓波变换域降噪[J]. *光学精密工程*, 2010, 18(3): 748-755.
- [10] 李灿, 田逢春, 陈建军, 等. 基于液晶纯相位光调制器的 4f 系统去噪方法[J]. *光学技术*, 2011, 37(1): 14-18.
- [11] OUZIELI I, MENDLOVIC D. Two-dimensional wavelet processor[J]. *Applied Optics*, 1996, 35(29): 5839-5846.
- [12] GONZALES R C, FITTERS B A. Gray-level transformations for interactive image enhancement[J]. *Mechanism and Machine Theory*, 1977, 12(1): 111-122.
- [13] POGGIO T, GIROSI F. Networks for approximation and learning[J]. *Proceedings of the IEEE*, 1990, 78(9): 1481-1497.
- [14] 陈刚, 田志平. 基于 FIS 和 RBFN 的预想事故自动选择[J]. *电力系统及其自动化学报*, 2011, 23(5): 80-85.
- [15] DJARFOUR N, FARAHTIA J, BADDARI K. Tomographic velocity images by radial basis function artificial neural network[C]// *2011 International Conference on Communications, Computing and Control Applications*. Piscataway: IEEE, 2011: 1-4.