

# 局部自相关函数在基于内容的图像检索中的应用

胡志军<sup>1</sup> 刘广海<sup>2</sup> 苏 又<sup>1</sup>

(广西师范大学数学与统计学院 广西 桂林 541004)<sup>1</sup>

(广西师范大学计算机科学与信息工程学院 广西 桂林 541004)<sup>2</sup>

**摘要** 在图像检索领域中,为了更加方便、高效地进行图像检索,文中提出了一种新的图像检索特征——局部自相关特征,为基于内容的图像检索提供了新的工具,它兼具方向特征和纹理特征。利用提出的局部自相关特征在 Corel10K 图像库上进行了大量的实验,实验结果表明局部自相关特征的平均检索精确度和召回率虽然低于颜色特征,但高于方向特征,是除颜色特征之外又一个高效的图像检索特征。

**关键词** 图像检索,HSV 颜色空间,方向特征,颜色特征,自相关函数,局部自相关特征

**中图法分类号** O235 **文献标识码** A

## Application of Local Autocorrelation Function in Content-based Image Retrieval

HU Zhi-jun<sup>1</sup> LIU Guang-hai<sup>2</sup> SU You<sup>1</sup>

(College of Mathematics and Statistics, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi 541004, China)<sup>1</sup>

(College of Computer Science and Information Engineering, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi 541004, China)<sup>2</sup>

**Abstract** In the field of image retrieval, in order to make the image retrieval more convenient and efficient, this paper proposed a new image retrieval feature, namely local autocorrelation feature, which provides a new tool for content-based image retrieval. It has the characteristics of orientation feature and texture feature. The experiment was carried out for local autocorrelation feature presented in this paper on the Corel10K database, the experimental results show that the average retrieval precision and recall rate of the local autocorrelation feature are lower than the color feature, but it is higher than that of the orientation feature. In addition to color features, the local autocorrelation feature is an efficient image retrieval feature.

**Keywords** Image retrieval, HSV color space, Direction feature, Color feature, Autocorrelation function, Local autocorrelation feature

## 1 引言

由于互联网的发展壮大,越来越多的图像被上传至网络,基于内容的图像检索日益受到人们的关注。基于内容的图像检索主要是利用颜色、纹理、方向以及形状等低级特征对图像进行检索,而直方图有直观、计算简单等优点,因此将颜色、纹理、方向等特征以直方图的方式表现出来是基于内容检索的一种较为常见的方法。

传统的基于内容的图像检索方法中,一般以图像的某一类型特征作为相似性判断的依据,完成最终的比对和检索过程,这一过程只用到一种图像特征,因此也可以称之为基于单特征的图像检索。文献[1]提出利用颜色直方图比对来进行图像检索,基于 RGB 颜色模式,求出 R, G, B 3 个分量各自的联合概率分布,将其作为特征进行图像检索,但其缺点是直方图的维度太高,检索速度较慢。Ganar 等改进了基于颜色相关图的图像检索方法,为了简化计算过程,对颜色相关信息进行了量化,提高了检索速度<sup>[2]</sup>。Ghanshyam 等对大量纹理特

征进行了统计分析,发现纹理可以分为规则纹理和随机纹理两大类。其中,规则纹理的基元特征会反复出现并带有一定规律,随机纹理的出现带有很大的不确定性,只能借助概率统计变量进行描述<sup>[3]</sup>。Lin 等指出,纹理特征由逐个小的基元构成,因此纹理特征的比较可以细化为基元特征的比较。据此, Lin 等构建了基于基元纹理特征的图像检索方法<sup>[4]</sup>。Azza 等在基元纹理概念的基础上,提出了基元纹理特征检索方法,获得了比较理想的检索精度,但是该方法的复杂度较高<sup>[5]</sup>。

为了弥补单特征图像检索方法鲁棒性不强的缺点,联合多种特征进行图像检索,已经成为基于内容图像检索领域今后发展的一种趋势。Huang 等指出图像内容的多样性决定了单一特征很难实现可靠的检索,在此基础上, Huang 等提出了一种多特征融合的图像检索方法,使用了空间颜色矩、形状矩、灰度共生纹理 3 种特征进行融合,获得了比较理想的检索结果。但对于多种特征的融合,此方法没有给出通用的解决方案<sup>[6]</sup>。Liu 等提出一种显著性检测模型,运用条形基元

本文受广西师范大学自然科学基金项目:基于码块属性分析缩减码本池的快速分形图像压缩算法,广西教育厅科研项目立项课题:具有两种服务率的带休假和休假中止策略的 GI/M/c/m 排队模型(KY2015LX013),广西师范大学自然科学基金项目:基于 3 个可变环境下的 M/M/1 休假排队模型研究资助。

胡志军(1981—),男,硕士,讲师,主要研究方向为分形图像压缩、图像检索;刘广海(1977—),男,博士,教授,主要研究方向为模式识别、图像检索、智能分类和目标检测、计算机应用技术等;苏 又(1986—),女,硕士,讲师,主要研究方向为排队论。

模型,将颜色、方向和灰度3种特征相融合,并对图像进行显著性检测,使平均检索精确度得到提高<sup>[7]</sup>。

为了提供更多且有效的图像检索方法,本文提出一种新的图像检索特征——局部自相关特征。本文第2节介绍了自相关函数以及在本文方法下如何用自相关函数进行特征提取;第3节介绍了需要用到的一些知识及评价方法;第4节通过实验验证了该新特征的可行性;最后总结全文。

## 2 图像的自相关函数与局部自相关函数

粗糙程度是图像纹理的一个重要特征,纹理与纹理基元的空间尺寸有关,可以采用自相关函数来描述纹理基元的尺寸特征。

### 2.1 图像的自相关函数

设灰度图像为  $f(i, j)$ ,  $i=0, 1, \dots, M-1, j=0, 1, \dots, N-1$ , 其自相关函数定义为:

$$\rho(x, y) = \frac{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} f(i, j) f(i+x, j+y)}{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} f^2(i, j)}$$

自相关函数  $\rho(x, y)$  随着  $(x, y)$  的变化而变化,与图像纹理的粗细有着对应关系,图像的自相关函数  $\rho(x, y)$  能够表示纹理的粗糙程度,当  $(x, y)$  变化时,粗纹理图像的自相关函数随  $d = \sqrt{x^2 + y^2}$  的变化而缓慢变化,而细纹理则相反。此处  $\rho(x, y)$  也可以看成是一幅大小为  $M \times N$  的图像<sup>[8]</sup>。由于  $f(i+x, j+y)$  会超出原图像范的围,因此需要将原图像的尺寸扩大为  $(M+|x|) \times (N+|y|)$ 。

### 2.2 局部自相关函数及其在图像检索中的应用

局部自相关函数先将 HSV 颜色模式下的 V 分量数据矩阵的每个元素转换成 0~255 之间的 byte 类型,再在每个元素上加上 1000,从而变成 int 类型数据矩阵,然后将这个数据矩阵分割成  $2 \times 2$  的、竖直方向和水平方向的步长都为 1 的可重叠小块,公式如下:

$$\rho_\alpha(x, y) = \frac{\sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^1 f(x+i, y+j) f(x+i+m, y+j+n)}{\sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^1 f^2(x+i, y+j)}$$

计算每个  $2 \times 2$  矩阵小块和与之相邻的下一个  $2 \times 2$  矩阵小块的相关数据,此处  $(m, n)$  取 4 组值,即  $(1, 0)$ ,  $(1, 1)$ ,  $(0, 1)$  以及  $(-1, 1)$ , 它们分别代表了  $\alpha$  取  $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$  和  $135^\circ$  方向,  $\rho_\alpha(x, y)$  代表以点  $(x, y)$  为左上角的  $2 \times 2$  矩阵小块和与之相邻的下一个  $\alpha$  方向  $2 \times 2$  矩阵小块的相关数据,每个点  $(x, y)$  在 4 个方向上都得到一个  $\rho_\alpha(x, y)$  值,这样就形成了 4 个相关数据矩阵,考虑到这 4 个数据矩阵的元素值几乎都在 0.985 到 1.015 之间,因此将这些元素全部量化成 0, 1, ..., 9 这 10 个等级,并将小于 0.985 的元素量化成 0, 大于 1.015 的元素量化成 1, 最后将每一个量化后的矩阵以直方图表示,每个直方图的维数是 10, 再将这 4 个直方图组合成一个维数为 40 的最终直方图,从而形成了一个原图像的检索特征,称之为局部自相关特征。

## 3 实验相关工具

### 3.1 评价机制

本文所有实验用到的图像都是 Corel10k 图像库中的图像,Corel10k 图像库包含了大量的图像,总共有分辨率为  $187 \times 126$  或者  $126 \times 187$  的图片 10000 幅,其中包含了 100 种

不同类型的图像,每一类中有 100 幅同类型的图片,且已经分类好,1-100 幅图是第一类,101-200 幅图是第二类,以此类推。有的实验用到的实验图像总数不足 10000 幅,若实验图像数为 1000,则取 Corel10k 图像库中前 1000 幅图像。人眼视觉系统感知的主观亮度是人眼入射光强度的对数函数,因此本文最终提取的特征直方图是在得到累加特征直方图之后进行对数处理的结果。对图像库中的每一幅图像进行特征提取,可以得到  $N_a$  维特征向量  $T = (t_0, t_1, \dots, t_{N_a-1})$ , 假设  $Q = (q_0, q_1, \dots, q_{N_a-1})$  是例子图像的特征向量,则衡量它们相似度的距离公式是:

$$D(T, Q) = \sum_{i=0}^{N_a-1} |t_i - q_i|$$

本文采用的评价机制是精确度和召回率,精确度  $P(N)$  和召回率  $R(N)$  的定义如下:

$$P(N) = I_N / N$$

$$R(N) = I_N / M$$

其中,  $N$  为召回的图像总数,  $I_N$  是召回的图像数中与例子图像相似的图像数,  $M$  是数据库中与例子图像相似的图像总数。在本文的检索中,  $N=12, M=100$ 。本文最终得到的所有精确度和召回率均指平均精确度和平均召回率。

### 3.2 颜色特征和方向特征

本文旨在提出一个新的图像检索特征——局部自相关特征。颜色、方向和纹理以及形状是基于内容的图像检索的最基本的低级特征,众所周知,颜色特征是最主要的特征,而方向、纹理以及形状特征也是很重要的特征,本文主要是运用单直方图方法,先给出分别用颜色和方向的单直方图检索结果,然后用局部自相关特征进行图像检索,通过比较这 3 个特征的平均精确度和平均召回率,得出局部自相关特征也是一个很重要的特征的结论。

方向特征是由 HSV 颜色模式下的 V 分量采用 sobel 边缘检测算子在垂直分量和水平分量上进行梯度检测,得到两个梯度图  $g_x(x, y)$  和  $g_y(x, y)$ , 则像素点  $(x, y)$  处的方向定义为  $\theta(x, y) = \arctan[g_x(x, y)/g_y(x, y)]$ , 并最终量化成 0, 1, ..., 17 这 18 个方向。颜色特征则是将 HSV 模式下的 H 分量量化成 0, 1, 2, 3, 4, 5 这 6 个等级,而 S 分量和 V 分量都量化成 0, 1, 2 这 3 个分量,这样图像色彩被量化成  $6 \times 3 \times 3 = 54$  个颜色  $C(x, y)$ ,  $C(x, y)$  的计算公式如下:

$$C(x, y) = 9HI + 3SI + VI$$

其中,  $HI, SI, VI$  分别是  $H, S, V$  3 个分量量化之后的值。

## 4 实验和分析

将方向特征、局部自相关特征和颜色特征用于单特征图像检索,得到的平均检索精度和平均召回率如表 1 所列。

表 1 方向特征、局部自相关特征和颜色特征的平均检索精确度和平均召回率

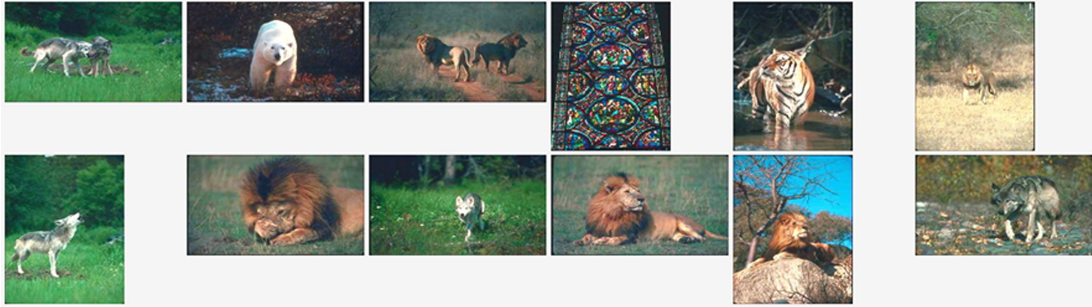
		(单位:%)				
图像数		500	1000	2000	5000	10000
方向特征	精确度	52.50	35.31	31.53	27.79	21.69
	召回率	5.10	4.24	3.78	3.34	2.60
局部自相关特征	精确度	58.08	42.09	37.00	33.44	26.42
	召回率	6.97	5.05	4.44	4.01	3.17
颜色特征	精确度	74.83	71.40	65.46	54.89	44.58
	召回率	8.98	8.57	7.86	6.59	5.35

由表 1 可以看出,局部自相关特征的检索精度比方向特征的检索精度更高,而方向特征和颜色特征都可以作为图像

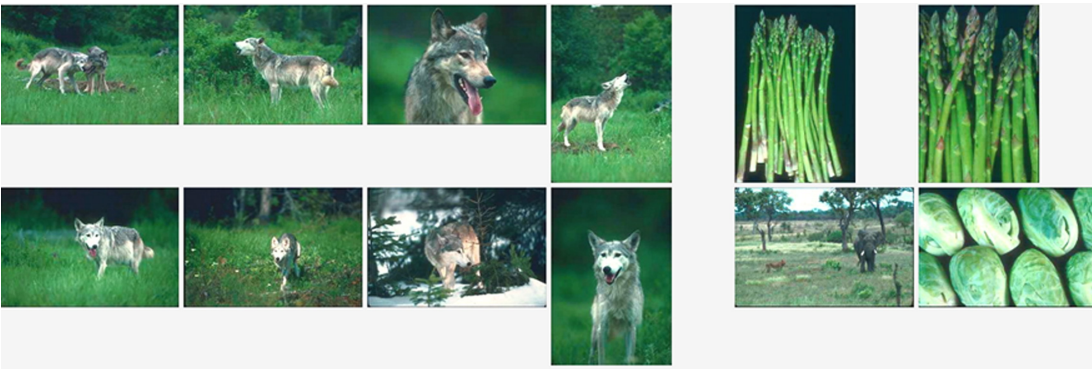
检索的主要特征,局部自相关特征也可以作为图像检索的一个主要特征。



(a)用局部自相关特征对 Corel10k 图库中的前 1000 幅图的检索结果



(b)用方向特征对 Corel10k 图库中的前 1000 幅图的检索结果



(c)用颜色特征对 Corel10k 图库中的前 1000 幅图的检索结果

图 1 局部自相关特征、方向特征和颜色特征对 Corel10k 图库中的前 1000 幅图的检索结果

图 1 给出了分别用局部自相关特征、颜色特征以及方向特征对 Corel10k 图库中的前 1000 幅图像进行检索的图像示例,列出了前 12 幅检索结果图像,其中第一幅图是例子图像。图 1(a)中,局部自相关特征检索所显示的图像都是与例子图像具有相同纹理的图像,由于狮子和猎豹都是爬行动物,并且背景都是草地和树林,因此纹理大致相同,图 1(b)是用方向特征检索所显示的图像,而图 1(c)是用颜色特征进行检索得到的图像。

本文分别将局部自相关特征、方向特征和颜色特征两两结合成多直方图进行图像检索。这里将 HSV 颜色的  $H, S, V$  分量分别量化成 6, 3, 3 个等级,因此一幅图像的 HSV 颜色被量化成  $6 \times 3 \times 3 = 54$  个颜色,方向被量化为 18 个方向,局部自相关系数被量化为 10 级。两两结合成多直方图的方式是:如将颜色特征和方向特征相融合,将方向特征所得到的直方图连接在颜色特征得到的直方图后方,这样最终直方图的维数就是  $54 + 18 = 72$  维,其他类似。实验结果如表 2 所列。

表 2 3 种特征两两组合进行图像检索得到的平均精确度和平均召回率

(单位:%)

图像数	方向+局部自相关		颜色+方向		颜色+局部自相关	
	精确度	召回率	精确度	召回率	精确度	召回率
500	54.88	6.59	75.27	9.03	75.93	9.11
1000	42.57	5.11	71.94	8.63	73.19	8.78
2000	38.32	4.60	66.57	7.99	67.93	8.15
5000	34.19	4.10	57.20	6.84	59.25	7.11
10000	26.96	3.23	46.38	5.57	49.39	5.93

由表 2 可知,方向特征和局部自相关特征组合的平均精确度和平均召回率几乎与表 1 中量化级为 10 级的局部自相关特征的单直方图模式的平均精确度和平均召回率持平,这表明局部自相关特征和方向特征具有一定的相关性,相关性越高,组合之后的作用就越小,两个特征的相似度就越高。而颜色特征作为最主要的检索特征,检索精度本来就相对较高,与方向特征结合时,当图像数是 10000 时,平均精确度还可以提高 2%,表明方向特征和颜色特征的相关性并没有方向特征和局部自相关特征的相关性强,其原因在于局部自相关特征分 4 个方向计算自相关系数,因此局部自相关特征兼具方

向特征和纹理特征的特性。表2中颜色特征和局部自相关特征组合的平均精确度和平均召回率高于颜色特征和方向特征的组合,再次证明了局部自相关特征强于方向特征。

**结束语** 本文用大量的实验将局部自相关特征、方向特征以及颜色特征作对比,虽然局部自相关特征的检索结果不如颜色特征,但颜色特征是最重要的检索特征,局部自相关特征可以是其重要的补充,而局部自相关特征的检索精度优于方向特征,表明局部自相关特征也可以是图像检索领域的一个重要特征。通过将3个特征两两组合可知,局部自相关特征和方向特征具有一定的相关性,且优于方向特征。

### 参考文献

- [1] KOMMINENI J, SATRIA M, SHAHRIZAL S M. Content based image retrieval using colour strings comparison[J]. *Procedia Computer Science*, 2015, 50: 374-379.
- [2] GANAR A N, JAMBHULKAR G C S, SACHIN M. Enhancement of image retrieval by using colour, texture and shape features[C]// *Proceedings International Conference on Electronic Systems, Signal Processing, and Computing Technologies*. 2014: 251-255.

- [3] GHANSHYAM R, VIPIN T. Texture image retrieval using adaptive terolet transforms[J]. *Digital Signal Processing: A Review Journal*, 2016, 48: 50-57.
- [4] LIN C H, HSIAO M D, LIN W T. Object-based image segmentation and retrieval for texture images[J]. *Imaging Science Journal*, 2015, 63(4): 220-234.
- [5] AZZA G, MEHREZ Z, NICALAS B, et al. Retrieval of both soil moisture and texture using TerraSAR-X images[J]. *Remote Sensing*, 2015, 7(8): 10098-10116.
- [6] HUANG M, SHU H Z, MA Y Q. Content-based image retrieval technology using multi-feature fusion[J]. *Optik*, 2015, 126(19): 2144-2148.
- [7] LIU G H, YANG J Y, et al. Content-based image retrieval using computational visual attention model[J]. *Pattern Recognition*, 2015, 48(8): 2554-2566.
- [8] 赵小川, 何灏, 等. MATLAB 数字图像处理实战[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.
- [9] GONZALEZ R C, WOODS R E, EDDINS S L. 数字图像处理[M]. 阮秋琦, 译. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [10] LIU G H, YANG J Y. Content-based image retrieval using color difference histogram[J]. *Pattern Recognition*, 2013, 46(1): 188-198.

(上接第237页)

全局最优解的概率,具有一定的实用价值。但是算法中还有一些超参数需要人工设定,这也是下一步要研究的方向。

### 参考文献

- [1] LEGG P A, ROSIN P L, MARSHALL D, et al. Feature Neighbourhood Mutual Information for multi-modal image registration: An application to eye fundus imaging[J]. *Pattern Recognition*, Elsevier, 2015, 48(6): 1937-1946.
- [2] SONG G, HAN J, ZHAO Y, et al. A Review on Medical Image Registration as an Optimization Problem[J]. *Current Medical Imaging Reviews*, 2017, 13(3): 274-283.
- [3] PANDA R, AGRAWAL S, SAHOO M, et al. A novel evolutionary rigid body docking algorithm for medical image registration [J]. *Swarm & Evolutionary Computation*, 2017, 33: 108-118.
- [4] WINTER S, BRENDL B, PECHLIVANIS I, et al. Registration of CT and intraoperative 3-D ultrasound images of the spine using evolutionary and gradient-based methods[J]. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2008, 12(3): 284-296.
- [5] 刘哲, 宋余庆, 王栋栋. 自适应变异差分算法与 Powell 算法相结合的医学图像配准[J]. *计算机科学*, 2017, 44(11): 297-300.
- [6] HANSEN N. The CMA Evolution Strategy: A Tutorial[J/OL]. [http://www2.fiit.stuba.sk/~kvasnicka/Seminar\\_of\\_AI/Hansen\\_CMA\\_tutorial.pdf](http://www2.fiit.stuba.sk/~kvasnicka/Seminar_of_AI/Hansen_CMA_tutorial.pdf).
- [7] 李焕哲, 吴志健, 汪慎文, 等. 协方差矩阵自适应演化策略学习机制综述[J]. *电子学报*, 2017, 45(1): 238-245.
- [8] NISHID K, AKIMOTO Y. Population Size Adaptation for the CMA-ES Based on the Estimation Accuracy of the Natural Gradient[C]// *Genetic and Evolutionary Computation Conference*. ACM, 2016: 237-244.
- [9] MOHAMMADI H, RICHEL R L, TOUBOUL E. Making EGO and CMA-ES Complementary for Global Optimization [M] // *Learning and Intelligent Optimization*. Springer International Publishing, 2015: 287-292.
- [10] BOUZARKOUNA Z, AUGER A, DING D Y. Investigating the

Local-Meta-Model CMAES for Large Population Sizes[M] // *Applications of Evolutionary Computation*. Springer Berlin Heidelberg, 2010: 402-411.

- [11] LOSHCHILOV I, SCHOENAUER M. Comparison-based optimizers need comparison-based surrogates [C] // *International Conference on Parallel Problem Solving From Nature*. Springer-Verlag, 2010: 364-373.
- [12] KRUISSELBRINK J W, EMMERICH M T M, DEUTZ A H, et al. A robust optimization approach using Kriging metamodels for robustness approximation in the CMAES [C] // *Evolutionary Computation*. IEEE, 2010: 1-8.
- [13] 别术林. 基于互信息的医学图像配准算法研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2014.
- [14] HANSEN N, OSTERMEIER A. Adapting arbitrary normal mutation distributions in evolution strategies: the covariance matrix adaptation [C] // *IEEE International Conference on Evolutionary Computation*. IEEE, 1996: 312-317.
- [15] HOWARD W R. *Pattern Recognition and Machine Learning* [M] // *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer, 2006: 461-462.
- [16] SEEGER M. Gaussian processes for machine learning[J]. *International Journal of Neural Systems*, 2004, 14(2): 69-106.
- [17] LOSHCHILOV I, SCHOENAUER M, SEBAG M. Self-adaptive surrogate-assisted covariance matrix adaptation evolution strategy [C] // *Conference on Genetic and Evolutionary Computation*. ACM, 2012: 321-328.
- [18] SHAHRIARI B, SWERSKY K, WANG Z, et al. Taking the Human Out of the Loop: A Review of Bayesian Optimization[J]. *Proceedings of the IEEE*, 2015, 104(1): 1-24.
- [19] SNOEK J, LAROCHELLE H, ADAMS R P. Practical bayesian optimization of machine learning algorithms [C] // *Advances in Neural Information Processing Systems*. MIT Press, 2012: 2951-2959.
- [20] COLLINS D L, ZIJDENBOS A P, KOLLOKIAN V, et al. Design and construction of a realistic digital brain phantom[J]. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 1998, 17(3): 463-468.