

文章编号: 1003-501X(2005)06-0027-04

利用质心模式统计进行图像纹理分析

张 涛, 王成儒, 吴娅辉

(燕山大学 信息科学与工程学院, 河北 秦皇岛 066004)

摘要: 基于区域质心具有某些与人类视觉相适应的性质, 提出一种新的纹理分析算法——质心模式统计法(Statistics of Centroid Pattern, SCP)。该算法通过对纹理基元质心分布位置与特点进行分析得到纹理的基元特征, 该特征可以反映基元内灰度、能量等分布信息。然后通过对基元特征进行加权投影统计, 得到图像的方向性、对比度等纹理特征, 这些特征可以更好的适应人类视觉特性。将该算法应用于 Brodatz 图像库的图像检索, 实验结果表明, SCP 在查准率上比差分矩阵和纹理谱分别提高 10.26% 和 26.66%, 取得了更好的检索效果, 可以对图像纹理进行更为精确的描述与分析。

关键词: 纹理分析; 特征提取; 质心模式统计; 图像检索

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

Image texture analysis by statistics of centroid patterns

ZHANG Tao, WANG Cheng-ru, WU Ya-hui

(Information Science and Engineering College, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: A new texture analysis algorithm—Statistics of Centroid Pattern (SCP) is proposed on the basis that the position of region centroid can match the human vision. In the algorithm, the features of texture primitives are obtained by analyzing centroid position and distribution, which represent the distribution of gray and energy. The texture features such as direction and contrast of the image can be obtained from weighted projection statistics of primitive feature, which are more matched with human vision. To test the performance of SCP, we take a CBIR using Brodatz set. Experimental results show that the SCP is 10.26% and 26.66% higher than that of differential matrix and texture spectrum in precision, respectively, which prove that SCP can depict and analyze textures better.

Key words: Texture analysis; Feature extraction; Statistics of centroid pattern; Image retrieval

引 言

纹理分析是图像处理与计算机视觉领域的基本课题和研究热点^[1-3]。尽管目前仍没有一种公认的纹理定义方法, 但一般认为纹理是由大量的按一定规律排列的纹理基元构成^[3]。

纹理特征分析算法一般分为统计和结构两类^[3]。统计法根据图像的统计特性提取纹理图像的整体特征, 这类算法一般计算简单但适用范围受到限制; 结构法则是基于纹理的基元结构, 通过对纹理基元特征及其排列规则的描述来刻画纹理, 纯粹的结构法仅适用于规则图形, 对自然纹理难以取得满意的分析效果。近年来出现了将两类算法结合的算法, 如差分矩阵^[4]与纹理谱^[5]。

其中, 差分矩阵通过提取纹理基元内的灰度差来完成纹理基元的特征描述, 然后对各纹理基元特征进行统计描述得到图像的整体特征。但由于其仅使用纹理基元灰度的绝对差值描述灰度变化, 舍弃了方向信息且由于使用整数描述变化强度, 不可避免的引入一定误差, 必然造成特征损失。针对该算法的不足, 本

收稿日期: 2004-11-10; 收到修改稿日期: 2005-01-11

作者简介: 张涛(1979-), 男(汉族), 河北唐山人, 助教, 硕士生, 研究方向为图像纹理分析、模式识别。E-mail: zhtao_79@163.com.

王成儒(1949-), 男(汉族), 黑龙江宁安人, 教授, 主要从事图像处理、模式识别等方面的研究。E-mail: wcryd@sina.com.

文提出质心模式统计(Statistics of Centroid Pattern, SCP), 利用纹理基元质心的性质来对基元进行特征描述, 并通过幅度与角度的相互投影统计完成对整幅图像的纹理分析。

1 区域质心的性质

设图像中区域 S 的质心坐标 (G_x, G_y) , 由此可得出如下性质:

$$G_x = \frac{\iint_S xf(x,y)dxdy}{\iint_S f(x,y)dxdy}, \quad G_y = \frac{\iint_S yf(x,y)dxdy}{\iint_S f(x,y)dxdy} \quad (1)$$

- 1) $f(x,y)$ 表示图像的灰度值(本文仅针对灰度图像讨论, 对于 RGB 图像, 可以分三个颜色通道考虑), 因此 (G_x, G_y) 是该区域内图像的灰度的分布中心, 可以很好的表示区域内图像灰度值的分布趋势。
- 2) 数字图像中 $f(x,y) \in N$ (N 为自然数), 因此在图像分析中经常使用灰度值 $f(x,y)$ 相对表示该点能量 $f^2(x,y)$ 。所以 (G_x, G_y) 可近似反映 S 域中的能量分布特性。
- 3) 设 $\iint_S f(x,y)dxdy = c$, 若 $c=1$ 则 $G_x = \iint_S xf(x,y)dxdy$, 即为均值的表达式。因此, 质心坐标具有一阶统计特性。
- 4) 由以上分析可知, 设 S 区域的中心为 (x_0, y_0) , 令

$$G = (G_x - x_0) + j(G_y - y_0) = |G|e^{j\theta} \quad (2)$$

其中, j 为虚数单位, $|\cdot|$ 为取模运算。 θ 表示 S 区域内图像能量与灰度值的变化方向, $|G|$ 表示 S 区域内图像能量与灰度值的变化强度, 因此 (G_x, G_y) 成为了人们在观看一幅图像时的首要着眼点。

基于以上讨论, 可以使用 G 来刻画 S 区域反映该区域内图像的能量与灰度变化情况、一阶统计特性和首要着眼点位置。

2 质心模式统计

2.1 图像预处理

人类在观察图像时, 通常认为色调较深的部分质量较大。但在灰度图像编码中, 深色调对应图像的低灰度值, 因此需对图像的灰度值进行调整。简单的调整方法为: 按图像的灰度等级取补。如一幅 k 级灰度图像, 其灰度为 $J(x,y)$, 则调整后的图像灰度 $I(x,y)=k-J(x,y)$ 。由此保证图像质心的提取位置与人类观察图像时的主观感受相一致。

2.2 纹理基元的描述与特征提取

认为图像中任一点 (x,y) 的纹理基元是以 (x,y) 为中心, $W \times W$ 为大小的窗口区域 S , 则 S 的质心 $G(x,y)$ 可通过(1)式和(2)式求得, 表示为

$$G(x,y) = |G(x,y)|e^{j\theta(x,y)} = r(x,y)e^{j\theta(x,y)} \quad (3)$$

$G(x,y)$ 从幅度与角度两个方面刻画了点 (x,y) 处的纹理基元, 比差分矩阵与纹理谱的纹理基元刻画更为细致, 可以反映图像灰度的细微变化。为了描述纹理的整体特征, 需要对 $G(x,y)$ 进行统计。为了方便与高级语义特征联系, 考虑粗糙度、对比度和方向性视觉特征量^[6], 另外, 考虑到 $r(x,y)$ 与 $\theta(x,y)$ 在内容上的相关性, 本文使用投影方法^[7]计算纹理的统计特征。向量 r 到向量 θ 做圆周投影为

$$p_\theta(\theta_i) = \iint_{\theta(x,y)=\theta_i} G(x,y)dxdy = \iint_{\theta(x,y)=\theta_i} r(x,y)e^{j\theta(x,y)}dxdy \quad (4)$$

为便于计算, 需对其作离散化处理。设 θ 的离散采样率为 N , 采样间隔为 $2\Delta\theta$, 则

$$p_\theta(\theta_i) = \sum_x \sum_y r(x,y) \quad (5)$$

实验表明, $r(x,y)$ 的分布主要集中在 $[0, (W-1)/2]$, 因此(5)式将“湮没”变化剧烈的基元。为突出这些基元对整体纹理的作用, 将(5)式改写为

$$p_{f\theta}(\theta_i) = \sum_x \sum_y \ln|\alpha \times r(x,y) + 1| \quad (6)$$

式(6)即为质心模式的角度值统计。其中 α 为加权系数。同理, 可得质心模式的幅度值统计

$$p_r(r_i) = \sum_x \sum_y \ln|\beta \times \theta(x,y) + 1| \quad (7)$$

其中 β 为加权系数， $2\Delta r$ 为采样间隔。

通过式(6)、(7)对纹理基元质心的分布模式进行了分析与统计，从而得到图像的纹理特征，因此将该算法称为质心模式统计法(SCP)。由区域质心性质可知， $p_{\theta}(\theta_i)$ 表示图像中纹理基元质心偏移为 θ_i 时总的剧烈程度，它表示了纹理的方向性。但由于 θ_i 为灰度变化方向，角度值统计实际上反映的是纹理走向的法线方向。而 $p_r(r_j)$ 表示质心偏离程度为 r_j 时的纹理基元的总弧度值，是图像整体对比度分布的描述，也可以作为图像纹理粗糙度的衡量标准。图 1 列出了两幅自然纹理图像及其质心模式的角度值统计(angle stat.)与幅度值统计(radius stat.)，它们对纹理的各类特征作了很好的描述。

这样，图像 I 的纹理特征可以记为 $p_I = \{p_{\theta}(\theta_i), p_r(r_i)\}$ 。则图像 I 与图像 J 的 L_2 距离为

$$D(I \| J) = \sum_{i=1}^{N+M} |p_I(i) - p_J(i)| \tag{8}$$

其中 N 和 M 分别为 θ 和 r 的离散采样率。

3 实验结果及分析

本文利用基于内容的图像检索(CBIR)对SCP、差分矩阵和纹理谱三种算法进行比较。采用的测试图像库为经Queensland大学分类的Brodatz自然纹理图像库^[8]。该图像库共256幅图像，每一幅图像只与其它255幅图中的15幅相关。256幅图像中的每一幅均作为检索图像参加一次检索，本文中的所有实验数据均为这256次检索的平均值。

使用的评价指标为查准率(precision)、查全率(recall)和最佳检索比例(best retrieval ratio,BRR)。查准率是指在一次查询过程中，系统返回的查询结果中相关图像数目占有所有返回图像数目的比例。查全率则指系统返回的查询结果中相关图像数目占图像库中所有相关图像数目的比例。最佳检索比例为检索过程中查准率与查全率均达到100%的检索图像数占全部检索图像数的比例，该指标可以衡量算法的适应能力。实验中SCP参数为：基元直径 $W=5$ ，离散分辨率 $M=200$ 、 $N=180$ ，加权系数 $\alpha=\beta=100$ 。实验结果如表1和表2所示，其中 $\text{precision}(i)$ 和 $\text{recall}(i)$ 分别表示系统返回图像数为 i 时的平均查准率和平均查全率。

由表 1 和表 2 的实验数据可以看到，由于更为细致的刻画了纹理基元特征，因此无论是查全率、查准率，还是最佳检索比例，SCP 比差分矩阵和纹理谱均有一定程度提高。但在返回图像较多的情况下，SCP 的查全率与差分矩阵和纹理谱算法基本相当，这主要是因为三者都是认为窗口图像为纹理基元，并不能准确表示实际的纹理基元。

表 1 算法的平均查准率与最佳检索比例比较

Table 1 Compare of the algorithms' precision and BBR

Algorithm	Precision(5)	Precision(10)	Precision(15)	BBR
SCP	91.25%	85.47%	78.85%	38.28%
Difference matrix	77.73%	74.38%	68.59%	13.28%
Texture spectrum	72.81%	60.16%	52.19%	10.94%

表 2 算法的平均查全率比较

Table 2 Compare of the algorithms' recall

Algorithm	Recall(20)	Recall(30)	Recall(40)	Recall(50)
SCP	80.18%	86.08%	89.77%	92.11%
Difference matrix	73.34%	83.69%	88.55%	91.16%
Texture spectrum	56.42%	69.29%	78.93%	86.33%

4 结 论

本文构造了一种新的纹理分析算法——质心模式统计，该算法利用质心位置与人类视觉的相关的性质，从质心的分布对纹理基元进行描述，可以更为细致的刻画基元特征。因此通过该方法提取的纹理特征

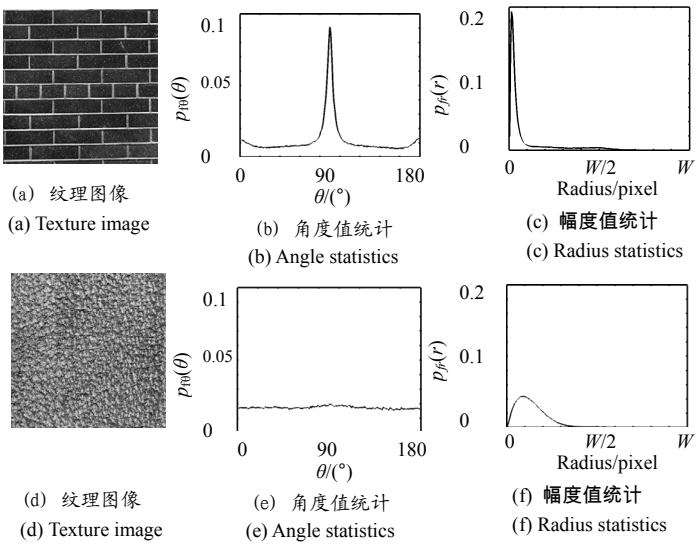


图 1 一组自然纹理及其角度值统计与幅度值统计

Fig. 1 A set of natural texture and their angle statistics and radius statistics

更符合人类视觉特征, 在查全率、查准率和最佳检索比例上具有一定程度的提高。

但目前 SCP 作为一种新的纹理分析算法, 其定义还有待进一步的完善, 在算法上主要体现在纹理基元的定义不严格。目前使用固定窗口代替纹理基元进行基元分析, 根据纹理基元大小自适应调整窗口尺寸, 并在此基础上应用 SCP, 是本算法有价值的方向。

参考文献:

- [1] B S MANJUNATH, Jens-Rainer OHM, Vinod V. VASUDEVAN et al. Color and Texture Descriptors [J]. **IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology**, 2001, **11**(6): 703-715.
- [2] Khanh VU, Kien A HUA, Wallapak TAVANAPONG. Image Retrieval Based on Regions of Interest [J]. **IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering**, 2003, **15**(4): 1045-1049.
- [3] Jianguo ZHANG, Tieniu TAN. Brief review of invariant texture analysis methods[J]. **Pattern Recognition**, 2002, **35**(3): 735-747.
- [4] 王成儒, 张 涛. 一种快速图像纹理分析算法[J]. 光电工程, 2005, **32**(1): 74-76.
WANG Cheng-ru, ZHANG Tao. An Efficient Texture Analysis Algorithm [J]. **Opto-Electronic Engineering**, 2005, **32**(1): 74-76.
- [5] 万华林, Morshed U. CHOWDHURY, 胡 宏, 等. 图像纹理特征及其在 CBIR 中的应用[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2003, **15**(2): 195-199.
WAN Hua-lin, Morshed U CHOWDHURY, HU Hong, et al. Texture Feature and its Application in CBIR [J]. **Journal of Computer-aided Design & Computer Graphics**, 2003, **15**(2): 195-199.
- [6] Janet S PAYNE, L HEPPLWHITE, T J STONHAM. Perceptually Based Metrics for the Evaluation of Textural Image Retrieval Methods[J]. **SPIE**, 1999, **3647**: 122-133.
- [7] 王东峰, 邹某炎. 傅氏变换的自配准性质及其在纹理识别和图像分割中的应用[J]. 中国图象图形学报(A), 2003, **8**(2): 140-146.
WANG Dong-feng, ZOU Mou-yan. Auto-registration of Fourier Transform Magnitude Spectra and its Application on Texture Identification and Segmentation [J]. **Journal of Image and Graphics(A)**, 2003, **8**(2): 140-146.
- [8] Guy SMITH. "Brodatz" Test Suite [EB/OL]. www.cssip.uq.edu.au/staff/meastex/imgs/brodatz.html, 1998-01-19/2003-10-03.

(上接第 11 页)

参考文献:

- [1] 谭振江. 多传感器光测系统数据融合技术的应用研究[D]. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所博士学位论文, 2003.
TAN Zhen-jiang. Research of Data Fusion Technology Applied in the Multi-Sensors Optics Measuring System[D]. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics of CAS Doctor paper, 2003.
- [2] 马振洲. 提高电影经纬仪外场使用精度的方法[J]. 光电工程, 1990, **17**(5): 14-25.
MA Zhen-zhou. An Approach for Improving the Field Accuracy of Cine-theodolite[J]. **Opto-Electronic Engineering**, 1990, **17**(5): 14-25.
- [3] 戴亚平, 刘 征, 郁光辉. 多传感器数据融合理论及应用[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2004.
DAI Ya-ping, LIU Zheng, YU Guang-hui. **Sensor and Data Fusion Concepts and Applications**[M]. Beijing: Institute of Technology Press, 2004.
- [4] 马佳光. 复合控制及等效复合控制原理及应用[J]. 光电工程, 1988, **15**(5): 1-16.
MA Jia-guang. Principles and Applications of Combined Control and Equivalent Combined Control[J]. **Opto-Electronic Engineering**, 1988, **15**(5): 1-16.