

文章编号: 1003-501X (2005) 01-0074-03

一种快速图像纹理分析算法

王成儒, 张 涛

(燕山大学 信息科学与工程学院, 河北 秦皇岛 066004)

摘要: 针对目前的纹理分析算法普遍存在计算复杂、运行时间过长的缺点, 提出了一种新的图像纹理分析算法。该算法利用差分概念定义出图像的差分矩阵和差分直方图, 并从差分直方图中提取特征进行图像纹理的相似度度量。由于本算法在考虑人类视觉特性的基础上尽量采用加减运算, 因此不但具有与人类视觉特性相联系的特点, 更使得算法的运行效率大大提高。使用本算法对 brodatz 图像库进行的检索实验表明, 该算法在查准率和检索效率上与共生矩阵算法相比分别提高 13.9160% 和 9.5 倍, 具有与传统算法相比更好的检索效果和更高的检索效率。因此该算法可以满足实时性要求较高的场合, 弥补了目前算法运行时间长的缺点。

关键词: 纹理分析; 图像检索; 特征提取; 差分矩阵

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

A fast image texture analysis algorithm

WANG Cheng-ru, ZHANG Tao

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

Abstract: In view of the faults of complex calculation and long operation time existed in the present texture analysis algorithms, a new image texture analysis algorithm is proposed. The difference matrix and difference histogram of an image is defined by difference concept, the likelihood measurement for image texture is carried out through extracting features from difference histogram. Since the adding and subtracting operation is adopted as much as possible on the basis of taking account of human vision behavior, the algorithm not only has the features relating to human vision behavior, its operation efficiency also has been greatly improved. The retrieval experiments for brodatz image database are carried out by this algorithm. The results show that compared with the Gray Level Co-Matrix (GLCM) algorithm the accuracy and retrieval efficiency of the algorithm have been improved for 13.9160% and 9.5 times, respectively. It has a better retrieval effect and higher retrieval efficiency than that of existing algorithms.

Key words: Texture analysis; Image retrieval; Feature extraction; Difference matrix

引 言

图像纹理分析是近年来图像分析领域的研究热点。虽然目前尚无评价纹理分析算法性能的统一指标, 但算法复杂度无疑是一个重要衡量标准, 因为它直接关系到纹理分析所消耗的时间, 这在将纹理分析运用到图像检索等大数据量的图像分析和某些实时性要求较高的场合时显得尤为重要。目前大多数纹理分析算法普遍存在计算复杂、特征提取所需时间过长的问题^[1, 2], 在一定程度上制约了这些算法的应用。

针对目前纹理分析算法的运算复杂度问题, 本文提出一种新的纹理分析算法——差分矩阵的算法。其主要思想是通过刻画图像像素点邻域灰度的变化来描述图像的纹理特征, 由于算法中绝大多数使用的是加减运算, 使得算法的运行效率大大提高。

收稿日期: 2004-03-19; 收到修改稿日期: 2004-09-07

作者简介: 王成儒(1949-), 男(汉族), 黑龙江宁安人, 教授, 从事图像处理、模式识别等方面的研究。E-mail: wcryd@sina.com
张 涛(1979-), 男(汉族), 河北唐山人, 硕士生, 研究方向为图像纹理分析、模式识别。E-mail: zhtao_79@163.com

1 图像特征的提取和实现算法

1.1 差分矩阵的生成

人类在识别图像的过程中, 往往更为注意图像色彩的差异^[3]。在灰度图像中, 这一特点即表现为图像灰度值的变化。为了刻画图像像素点在其邻域内的灰度变化, 结合纹理元^[4]方式, 认为像素点的 3×3 邻域是一个纹理元, 如图1所示。令 $I(a,b) = \{(a,b) | x-1 \leq a \leq x+1, y-1 \leq b \leq y+1\}$, 表示图像在坐标位置为 (a, b) 处的灰度值。定义

$$A_1(x, y) = |I(x-1, y) - I(x+1, y)| \quad (1)$$

$$A_2(x, y) = |I(x, y-1) - I(x, y+1)| \quad (2)$$

$$A_3(x, y) = |I(x+1, y-1) - I(x-1, y+1)| \quad (3)$$

$$A_4(x, y) = |I(x-1, y-1) - I(x+1, y+1)| \quad (4)$$

则 $A_1(x, y)$ 表示的是 $I(x, y)$ 在水平方向的灰度变化; 同理, $A_2(x, y)$, $A_3(x, y)$, $A_4(x, y)$ 分别表示 $I(x, y)$ 在 90° 和 45° , 135° 方向上的灰度变化。由此得到的 A_1, A_2, A_3, A_4 四个矩阵称为四个方向的差分矩阵, 分别表示图像在四个方向上灰度的变化情况。

$I(x-1, y-1)$	$I(x, y-1)$	$I(x+1, y-1)$
$I(x-1, y)$	$I(x, y)$	$I(x+1, y)$
$I(x-1, y+1)$	$I(x, y+1)$	$I(x+1, y+1)$

图 1 图像像素的 3×3 邻域表示

Fig.1 3×3 neighborhood of image pixel

1.2 特征量的提取

对四个方向的差分矩阵分别提取特征量, 即可以得到图像纹理在各个方向上的特征。但实际应用的某些场合对图像纹理的方向性并不关心, 这时可以利用式(5)来进行合并, 得到总的差分矩阵 A , 其每一点值表示该像素点邻域内灰度的变化情况。这样不但可以节省内存使用、提高运行速度, 而且起到了均值滤波的作用, 具有一定的抗噪声性能。

$$A = (A_1 + A_2 + A_3 + A_4) / 4 \quad (5)$$

对矩阵 A 进行直方图统计, 得到的直方图称为差分直方图 (Difference Histogram, DH), 其横坐标为灰度差分值, 纵坐标为该差分值在矩阵 A 中出现的概率, 如图2所示。当纹理粗糙度较大时 (如图2第一排), 图像灰度的变化相对平缓, 反映到差分直方图中即为低差分值的点出现概率相对较高, 而高差分值点出现概率较小, 差分直方图趋向零的速度也较快; 同理, 当粗糙度较小 (如图2第三排) 时, 直方图曲线变化相对平稳。所以, 由差分直方图可以直接反映纹理图像的粗糙度特征。

对于物理内容相似或相同但粗糙度不同的图像, 尽管差分直方图有所不同, 但由于其在统计分布上的相似性, 其整体灰度的变化趋势是相同或相似的。由此可以使用差分直方图频谱来进行整体灰度变化趋势的提取。此性质在图2第二排和第三排中得到了很好的验证。

此外, 差分直方图的峰值位置表示该灰度变化在本幅图像中占有的比重最大, 因此差分直方图的峰值位置可作为图像纹理对比度的一个特征。由于噪声等可能造成差分直方图中奇异值的存在, 只使用差分直方图的一个最高峰值难以达到纹理分析的鲁棒性要求, 因此次峰值位置也将作为一个纹理特征考虑。

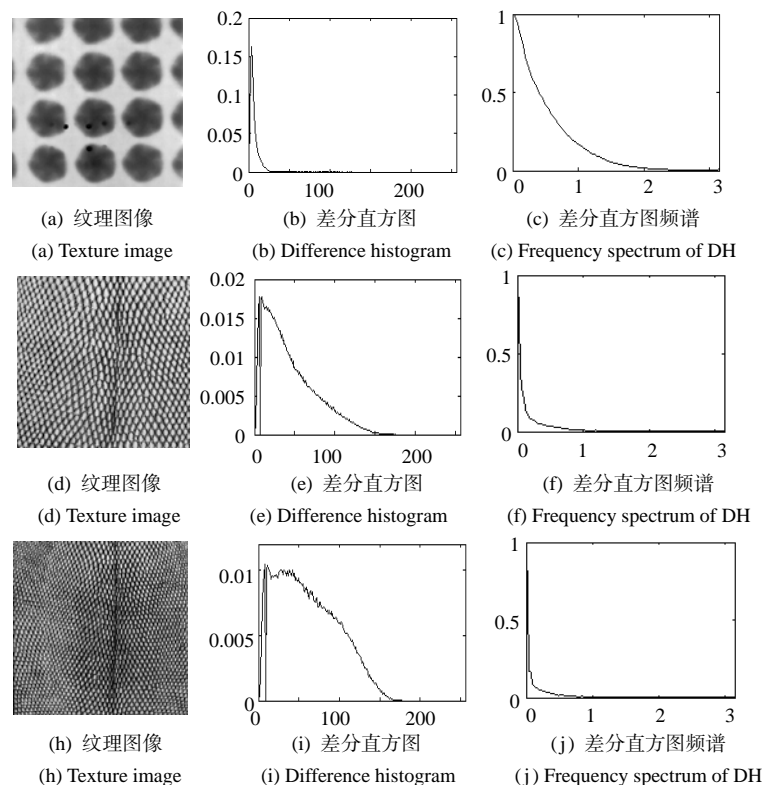


图 2 一些典型自然纹理及其差分直方图

Fig.2 Typical natural textures and their difference histograms

1.3 相似度的衡量

无论是将纹理分析应用于图像检索还是分割, 都需要根据已提取的图像特征给出相似度的度量方法, 本文使用如下方法进行相似度的衡量。

设图像差分直方图序列为 H , 傅氏变换的幅度序列为 F , 峰值位置为 P , 检索图像 Q 和数据库中的图像 D 的特征向量分别用 H_q, F_q, P_q 和 H_d, F_d, P_d 表示, 则它们之间的距离 dis 为

$$dis = w_1 \sum_{i=1}^n |H_q(i) - H_d(i)| + w_2 \sum_{i=1}^m |F_q(i) - F_d(i)| + w_3 |P_q - P_d| \quad (6)$$

式中 n, m 分别表示差分直方图序列和傅氏变换幅度序列的长度; 使用加权系数 w_1, w_2, w_3 调整各属性对特征向量的贡献, 本文实验中使用的加权系数比为 $w_1 : w_2 : w_3 = 10 : 10 : 1$ 。在实际应用中, 该系数可利用反馈系统根据具体需要进行调整, 以达到更好的分析性能。

2 实验结果

在纹理分析中, 共生矩阵 (Gray Level Co-Matrix, GLCM) 是一种比较经典的统计分析算法^[1], 在许多场合中都得到了应用^[5, 6]。另外, 近年来也出现了一些适应性较强的纹理特征提取算法, 如万华林等提出的纹理谱算法 (Texture spectrum)^[2]。因为图像检索是对图像分析要求较高的应用, 故本实验采用共生矩阵、纹理谱和差分矩阵同时对 Queensland 大学分类的 brodatz 自然纹理图像库^[7]进行检索来检验差分矩阵算法的性能。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 幅图像中的任何一幅均作为检索图像参加一次检索, 实验所有数据均是这 256 次检索的平均值。

算法的性能从检索效率与检索效果两个方面衡量。采用算法的平均特征提取时间 (Running time) 衡量检索效率, 使用查准率 (Precision) 和最佳检索比例 (Best retrieval ratio) 衡量检索效果。查准率指查询过程中, 系统返回的查询结果中“正确”图像的数目占有所有返回图像数目的比例。本次实验中, 系统返回的图像数目为 15 幅。最佳检索比例为检索工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。最佳检索比例是一个比较苛刻的指标, 由此可以衡量算法的适应能力。

表 1 列出了三种算法对一幅 128×128 的 256 级灰度图像进行特征提取所用时间平均值。由此可明显看出差分矩阵算法在运行效率上的优势, 其效率是共生矩阵的 9.5 倍, 纹理谱的 19.25 倍。这主要是因为差分矩阵的算法设计中, 有意识地避免了乘除和逻辑运算。表 2 列出了三种算法的检索效果指标比较。可以看到无论是查准率还是最佳检索比例, 差分矩阵算法同样具有比较明显的优势。使用差分矩阵的算法, 不但返回的前 15 幅检索图像中“正确”图像数多, 而且算法的适应性比较强。

表 1 三种特征算法运行所需时间比较

Table 1 Comparison of time consumption of three feature algorithms

Algorithm	Running time /s
Difference matrix	0.04
GLCM	0.38
Texture spectrum	0.77

表 2 三种特征提取算法的效果指标比较

Table 2 Effect comparison of three feature extracting algorithms

Algorithm	Precision	Best retrieval ratio
Difference matrix	67.1875%	13.28%
GLCM	53.2715%	1.95%
Texture spectrum	50.9277%	10.94%

3 结论

针对目前大部分图像纹理分析算法由于计算复杂而带来的运算时间过长、无法应用于高实时性场合的问题, 本文提出了一种新的纹理分析算法——差分矩阵算法。

为达到更好的纹理分析能力, 算法以人类对图像灰度变化敏感的视觉特性为基础, 同时为提高算法的运行效率, 该算法主要使用加减运算; 在纹理特征的提取上, 算法以纹理的粗糙度和对比度为主要特征, 以方向性为可选特征, 为在语义层面上的应用奠定了基础; 在相似度度量上, 该算法给出了可由用户自定义的加权系数, 扩展了其应用范围。因此该算法具有速度快、准确率较高、适应能力较强等优点。

将该算法应用于自然纹理图像的检索, 其查准率高于共生矩阵 13.9160%, 说明了该算法具有良好的检索效果; 最佳检索比例高于纹理谱 2.34%, 具有更强的适应能力; 而最重要的是该算法的检索效率是共生矩阵算法的 9.5 倍, 可以应用于对大规模的图像库进行纹理分析和对纹理分析算法实时性要求比较高的场合。因此, 本文所提出的差分矩阵算法是一种可行的图像纹理快速分析算法。 (下转第 88 页)

- [2] HUNTER Gary W, BRICKFORD Randall L, JANSAE D, et al. Microfabricated hydrogen sensor technology for aerospace and commercial applications [J]. **SPIE**, 1994, **2270**: 77-88.
- [3] Ping LIU, Se-Hee LEE, Hyeonsik M.CHEONG, et al. Stable Pd/V₂O₅ optical H₂ sensor[J]. **Journal of The Electrochemical Society**, 2002, **149**(3): H76-H80.
- [4] Martin N.WCISS, Ramakant SRIVASTAVA, Howard GROGER, et al. A theoretical investigation of environmental monitoring using surface plasmon resonance waveguide sensors[J]. **Sensors and Actuators A**, 1996, **51**(2-3): 211-217.
- [5] D. L. HETHERINGTON, R. W. GRANT, K. L. HUGHES, et al. A portable low-power hydrogen gas sensor system for wide range H₂ detection[J]. **IEEE Circuits and Systems**, 1994, **Proceedings of the 37th Midwest Symposium 1994**, **1**: 199-201.
- [6] Frederic FAVIER, Erich C. WALTER, Michael P. ZACH. Hydrogen sensors and switches from electrodeposited palladium mesowire arrays[J]. **Science**, 2001, **293**(21): 2227-2231.
- [7] X. BEVENOT, A. TROUILLET, C. VEILLAS, et al. Hydrogen leak detection using an optical fiber sensor for aerospace applications [J]. **Sensors and Actuators B**, 2000, **67**(1-2): 57-67.
- [8] Jiri HOMOLA, Simclair S. YEE, Gunter GAUGLITZ. Surface plasmon resonance sensors: review [J]. **Sensors and Actuators B**, 1999, **54**(1-2): 3-15.
- [9] A. CHTANOV, M. GAL. Differential optical detection of hydrogen gas in the atmosphere[J]. **Sensors and Actuators B**, 2001, **79**(2-3): 196-199.
- [10] Boonsong SUTAPUN, Massood TABIB-AZAR, Alex KAZEMI. Pd-coated elastooptic fiber optic Bragg grating sensors for multiplexed hydrogen sensing[J]. **Sensors and Actuators B**, 1999, **60**(1): 27-34.
- [11] Petr TOBISKA, Olivier HUGON, Alain TROUILLET, et al. An integrated optic hydrogen sensor based on SPR on palladium[J]. **Sensors and Actuators B**, 2001, **74** (1-3): 168-172.

~~~~~  
( 上接第 76 页 )

#### 参考文献:

- [1] PAYNE J. S, HEPPELWHITE L, STONHAM T. J. Perceptually based metrics for the evaluation of textural image retrieval methods [J]. **Multimedia Computing and Systems**, 1999. **IEEE International Conference on**, 1999, **2**: 793-797.
- [2] 万华林, CHOWDHURY Morshed U, 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, CHOWDHURY Morshed U, HU Hong, et al. Texture feature and its application in CBIR[J]. **Journal of Computer-aided Design & Computer Graphics**, 2003, **15**(2): 195-199.
- [3] MANAHILOV Velitchko, SIMPSON William A. Energy model for contrast detection: spatial-frequency and orientation selectivity in grating summation [J]. **Vision Research**, 2001, **41**(12): 1547-1560.
- [4] 盛 文, 杨江平, 柳 健, 等. 一种基于纹理元灰度模式统计的图像纹理分析方法[J]. 电子学报, 2000, **28**(4): 73-75.  
SHENG Wen, YANG Jiang-ping, LIU Jian, et al. A new texture analysis approach based on statistics of texture primitive's gray pattern[J]. **Acta Electronica Sinica**, 2000, **28**(4): 73-75.
- [5] 张妙兰, 付新文. 一种纹理图像分类方法的研究[J]. 中国图象图形学报 A, 1999, **4** (8): 680-683.  
ZHANG Miao-lan, Fu Xin-wen. A method of texture classification based on vector quantization[J]. **Journal of Image and Graphics A**, 1999, **4** (8): 680-683.
- [6] 刘忠伟, 章毓晋. 综合利用颜色和纹理特征的图像检索[J]. 通信学报, 1999, **20**(5): 36-40.  
LIU Zhong-wei, ZHANG Yu-jin. Image retrieval using both color and texture features[J]. **Journal of China Institute of Communications**, 1999, **20**(5): 36-40.
- [7] SMITH Guy, "Brodatz" Test Suite [EB/OL]. <http://www.cssip.uq.edu.au/meastex/imgs/brodatz.html>, 1998-01-19/2003-10-03.