

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 8
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年8月 第17卷 第8期(总第196期)

目次

综述

可计算图像美学研究进展 王伟凝, 蚁静斌, 贺前华(893)

图像处理和编码

利用混沌 PSO 或分解的 2 维 Tsallis 灰度熵阈值分割 吴一全, 吴诗嫻, 张晓杰(902)

H. 264 并行编码中负载均衡方法 侯兴松, 刘大齐, 盛凯, 赖玉洁(911)

提升细节捕捉能力的非下采样轮廓波变换 郭洪, 李雪军(919)

SVD 域的图像高斯噪声强度估计 柳薇(923)

图像扩散去噪模型的分析与改进 傅绪加, 刘峰, 王信松(934)

小波域最小嵌入失真函数设计及其在隐写中的应用 李军, 潘峰, 杨晓元, 刘镇(946)

图像分析和识别

抗压缩的照片图像与真实感计算机图形识别 张荣, 王让定(953)

云的自适应阈值检测方法 黄茜, 王少龙, 徐道磊, 廖婷婷(960)

煤矸区分中的间隔灰度压缩扩阶共生矩阵 于国防(966)

离群样本划分的半监督模糊学习策略 宋晓宁, 杨静宇, 杨习贝(971)

多相 Chan-Vese 模型的直接对偶方法 刘存良, 潘振宽, 郑永果, 王国栋, 丁洁玉(979)

利用梯度信息快速提取直线边缘特征 夏军营, 徐小泉, 熊九龙(987)

2 维双树复小波不确定度加权融合的人脸识别 王仕民,叶继华,邓涛,王明文(995)

图像理解和计算机视觉

流形学习与非线性回归结合的头部姿态估计 范进富,陈锻生(1002)

计算机图形学

角点距离矩阵和同心圆划分的曲线描述与匹配 曾接贤,刘秀朋,符祥(1011)

弹性二次曲面模型下的 3 维形状表现与平滑 郝世杰,蒋建国,郭艳蓉,詹曙(1021)

医学图像处理

主动学习的白细胞图像自动分割 崔凤,潘晨,吴向平,徐军(1029)

遥感图像处理

Bregman 交替迭代遥感图像复原方法 徐焕宇,孙权森,罗楠,夏德深(1035)

基于各向异性 Markov 随机场的遥感影像亚像元尺度建筑物提取 李晓冬,凌峰,杜耘(1042)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 8 期

2012 年 8 月 16 日出版

主管单位 中国科学院
主 办 中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所
主 编 李小文
编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会
北京 9718 信箱 邮编 100101
电子信箱:jig@irsa.ac.cn
电话:010-64807995 010-82614429
网 址:www.cjig.cn
印刷装订 北京北林印刷厂
广告经营许可证 京朝工商广字第 0346 号
总 发 行 北京报刊发行局
订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
(中国国际书店)
(北京 399 信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,
CAS China Society of Image and Graphics
Institute of Applied Physics and Computational
Mathematics
Chief editor LI Xiaowen
Editor, Publisher Editorial and Publishing Board
of Journal of Image and Graphics
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)
E-mail:jig@irsa.ac.cn
Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers
and Journals
Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading Corporation
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)
Printed by Beijing Beilin Printing House

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTFXZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00 元

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 8 August 2012

Contents

Review

Review for computational image aesthetics Wang Weining, Yi Jingjian, He Qianhua (893)

Image Processing and Coding

Two-dimensional Tsallis gray entropy image thresholding using chaotic particle swarm optimization or decomposition
..... Wu Yiquan, Wu Shihua, Zhang Xiaojie (902)

Load balancing for H. 264 parallel encoding Hou Xingsong, Liu Daqi, Sheng Kai, Dun Yujie (911)

Non-subsampled contourlet transform algorithm to promote detail information capturing ability Guo Hong, Li Xuejun (919)

Gaussian noise level estimation in SVD domain for images Liu Wei (923)

Analysis and improvement of image diffusion denoising models Fu Xujia, Liu Feng, Wang Xinsong (934)

Design of minimizing embedding impact function in DWT domain and its applications in steganography
..... Li Jun, Pan Feng, Yang Xiaoyuan, Liu Zhen (946)

Image Analysis and Recognition

Anti-compression approach to distinguishing photographic images and photorealistic computer graphics
..... Zhang Rong, Wang Rangding (953)

Adaptive threshold approach for night-sky cloud inspection Huang Qian, Wang Shaolong, Xu Daolei, Liao Tingting (960)

Expanded order co-occurrence matrix to differentiate between coal and gangue based on interval grayscale compression
..... Yu Guofang (966)

Semi-supervised fuzzy learning strategy by using a way of partitioning the outlier instances
..... Song Xiaoning, Yang Jingyu, Yang Xibei (971)

Direct dual method of Chan-Vese model for multiphase segmentation
..... Liu Cunliang, Pan Zhenkuan, Zheng Yongguo, Wang Guodong, Ding Jieyu (979)

Fast line edge feature extraction using image gradients Xia Junying, Xu Xiaoquan, Xiong Jiulong (987)

Two-dimensional dual-tree complex wavelet transform uncertainty weighted fusion in face recognition
..... Wang Shimin, Ye Jihua, Deng Tao, Wang Mingwen (995)

Image Understanding and Computer Vision

Combining manifold learning and nonlinear regression for head pose estimation Fan Jinfu, Chen Duansheng (1002)

Computer Graphics

Representation and matching for planar curve based on corner distance matrix and concentric circles
..... Zeng Jiexian, Liu Xiupeng, Fu Xiang (1011)

Three-dimensional shape representation and smoothing with elastic quadratic patch model
..... Hao Shijie, Jiang Jianguo, Guo Yanrong, Zhan Shu (1021)

Medical Image Processing

White blood cell image segmentation based on active learning Cui Feng, Pan Chen, Wu Xiangping, Xu Jun (1029)

Remote Sensing Image Processing

Bregman alternating iterative method for remote sensing image restoration Xu Huanyu, Sun Quansen, Luo Nan, Xia Deshen (1035)

Building extraction at the sub-pixel scale from remotely sensed images based on anisotropic Markov random field
..... Li Xiaodong, Ling Feng, Du Yun (1042)

中图法分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2012)08-0966-05

论文引用格式: 于国防. 煤矸区分中的间隔灰度压缩扩阶共生矩阵[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(8): 966-970.

煤矸区分中的间隔灰度压缩扩阶共生矩阵

于国防

中国矿业大学信电学院, 徐州 221116

摘要: 为了有效提高共生矩阵惯性矩在图像纹理分析及检索中的作用, 在常规纹理分析方法的基础上, 研究了一种基于间隔灰度压缩的扩阶共生矩阵惯性矩。该方法采用对原图像的灰度信息进行部分压缩和部分保留的综合处理方式, 并通过矩阵的扩阶提取未压缩的灰度信息, 达到灰度信息随机与有序兼容利用的效果。实验结果表明, 该算法比基于图像全局灰度压缩的常规共生矩阵惯性矩具有更大的目标类型区分度, 其目标区分正确率大于82%, 也更容易设置相应的区分阈值, 而且具有较高的图像分析实时性。

关键词: 块煤与矸石区分; 图像纹理; 间隔灰度压缩; 扩阶共生矩阵惯性矩

Expanded order co-occurrence matrix to differentiate between coal and gangue based on interval grayscale compression

Yu Guofang

College of Information and Electronic Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China

Abstract: In order to play the role of co-occurrence matrix inertia in the analysis and retrieval of image texture efficiently, a new expanded order co-occurrence matrix inertia based on interval grayscale compression is studied. One part of the grayscale information of the original image is compressed and another is retained in this integrated approach. The uncompressed grayscale information is extracted by an order expansion of the matrix. The effects of the grayscale information are used randomly. Experimental results show that the algorithm differentiates the target types better than the conventional co-occurrence matrix based algorithms. More than 82% of the objects are differentiated correctly, and the methods appropriate distinction threshold is easier to set and faster.

Key words: distinction between lump coal and gangue; image texture; interval grayscale compression; expanded order co-occurrence matrix inertia

0 引言

煤和矸石的分选是煤矿企业生产过程中的基本环节, 是提高煤质的主要途径。传统的人工捡矸石方式显然已经不能满足大规模选煤生产的要求, 于是, 根据煤与矸石的密度、射线透射能力以及硬度的差异, 基于顶水、双能 γ 射线或者旋锤冲击等方式的矸石自动分选方法应运而生^[1-3], 但是, 这些方法因分选

能力低、设备复杂或安全因素受限等而难以实际应用。而采用图像处理与模式识别技术的矸石分选研究近年来则开始逐渐扩展深入, 如根据煤与矸石的灰度以及纹理差异的研究, 许多研究基于灰度直方图峰值、灰度共生矩阵或小波变换的矸石分选^[4-9], 都取得一定的成果。但是, 这些方法在识别率、实时性等方面还需进一步提高。

根据块煤和矸石的灰度和纹理特征差异, 提出了一种专门用于块煤和矸石区分的间隔灰度压缩与

收稿日期: 2011-10-20; 修回日期: 2012-03-27

第一作者简介: 于国防(1965—), 男, 副教授, 2007年于中国矿业大学获控制理论与控制工程专业博士学位, 主要研究方向为图像处理与模式识别、多媒体技术。E-mail: gfyu85@126.com

扩阶共生矩阵惯性矩算法,该算法不仅区分阈值容易设定,而且具有较高的目标识别率和运算实时性,具有较好的生产实用性。

1 图像纹理及其灰度共生矩阵

1.1 图像纹理

纹理是一种反映像素的空间分布属性的图像特征,通常表现为局部不规则而宏观有规律的特性^[10]。它是一种重要的视觉线索,是图像中普遍存在而又难以描述的特征。

1.2 灰度共生矩阵

灰度共生矩阵是由 Haralick 等人于 1973 年首先提出的^[11],灰度共生矩阵的定义可描述如下:

设 $M \times N$ 像素宽高的图像中的任意一点 (x, y) 与其另一个偏移点 $(x + l_x, y + l_y)$ 构成一个点对, l_x 和 l_y 分别为水平方向和垂直方向的偏移距离。设每一个点对的灰度值分别为 i 和 j ,若固定 l_x 和 l_y ,而令点 (x, y) 遍历整幅图像,对于 L 级灰度的图像,可得到 L^2 种组合的 (i, j) 。点 (x, y) 的灰度对出现的次数为

$$p(i, j | l_x, l_y) = \# \left\{ [(x, y), (x + l_x, y + l_y)] \in (M \times N) \mid l_x = a, l_y = b; g(x, y) = i, g(x + l_x, y + l_y) = j \right\} \quad (1)$$

式中, $\#\{x\}$ 表示大括号中条件成立时的灰度对总数。对其进行归一化,则为

$$P(i, j | l_x, l_y) = \frac{p(i, j | l_x, l_y)}{R} \quad (2)$$

式中, R 为 $p(i, j | l_x, l_y)$ 出现的总次数,即

$$R = \begin{cases} L(L-1) & l_x = a, l_y = 0 \text{ 或} \\ & l_x = 0, l_y = b \\ (L-1)^2 & l_x = l_y = c < 0 \text{ 或} \\ & l_x = l_y = c > 0 \end{cases}$$

式中, l_x 和 l_y 共有 4 种组合,分别相当于点 $(x + l_x, y + l_y)$ 逆时针绕点 (x, y) 旋转 0° 、 45° 、 90° 和 135° 。

全幅图像中所有 $P(i, j | l_x, l_y)$ 构成一个方阵 $[P(i, j | l_x, l_y)]$,此即对应该图像的灰度共生矩阵。

因为图像的纹理是由其灰度分布在空间位置上重复出现所形成的,所以,在其图像空间中,相隔某一距离的两个像素之间必然存在着一定的灰度特征对应关系,所以灰度共生矩阵在图像分析研究中,起着非常重要的作用^[11-14]。

在灰度共生矩阵的基础上, Tamura 提出了与人的视觉感受相关的对比度、方向性和粗略度等 6 个纹理特征统计量^[14],其中,能量、熵和惯性矩是 3 个常用的纹理特征统计量。利用这 3 个量可以组合成一个 3 维空间,在这个空间中,两点间的欧氏距离与人对纹理的感知差距相当接近。

1) 能量:也称“角二阶矩”,用来描述图像纹理灰度分布的均匀程度和粗细度。数学表达式为

$$A = \sum_{j=0}^{L-1} \sum_{i=0}^{L-1} [P(i, j | l_x, l_y)]^2 \quad (3)$$

2) 熵:用来描述图像纹理的灰度分布的复杂程度或非均匀程度。数学表达式为

$$E = - \sum_{j=0}^{L-1} \sum_{i=0}^{L-1} P(i, j | l_x, l_y) \ln P(i, j | l_x, l_y) \quad (4)$$

3) 惯性矩:也称“对比度”,用来描述图像纹理的清晰度和沟纹的深浅度。数学表达式为

$$I = \sum_{n=0}^{L-1} n^2 \left(\sum_{j=0}^{L-1} \sum_{i=0}^{L-1} P(i, j | l_x, l_y) \right) \quad (5)$$

2 间隔灰度压缩与扩阶共生矩阵惯性矩

半方差图(semivariogram)是一种基于变差函数的方法,由于变差函数反映图像数据的随机性和结构性,因而能很好地表达纹理图像的特征。Miranda 及吴刚等人将单步长变差函数值作为图像纹理特征进行分割^[15-16],实验结果表明它对人造纹理以及大多数自然纹理的分割效果是十分有效的。基于非全局式的间隔灰度压缩的扩阶共生矩阵惯性矩,对图像中未被降级的灰度信息的统计具有一定的随机性,所以,其分析方法类似于半方差图法。

2.1 间隔灰度压缩

对于 $M \times N$ 像素宽高的图像,设 G 为其任意点的灰度值,遍历该图像的灰度值,将其 L 级灰度间隔压缩为 $L_p (< L)$ 级的算法公式为

$$G = \begin{cases} n-1 & G \geq (n-1)L/L_p \text{ 且} \\ & G \leq nL/L_p - \mu \\ G & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

式中, $\mu \in \text{Int}([1, L/L_p])$ 为灰度级间隔压缩阈值,这里的 $\text{Int}()$ 表示取整。共有 $L_p - 1$ 个间隔的 $L_p - \mu$ 级的原始灰度被保留(未被降级压缩),在此称这些未被降级压缩的灰度为“免压缩灰度”。灰度级间隔压缩阈值越小,则被降级压缩的灰度间隔越大,而免压缩灰度数量越多;反之,该值越大,则被降级压

缩的灰度间隔越小,而免压缩灰度数量也越小。通常取 $\mu = \text{Int}(L_p/2)$ 或 $\mu = \text{Int}(L_p/3)$, 结合下文的扩阶共生矩阵惯性矩,即可达到较好的应用效果。

2.2 扩阶共生矩阵惯性矩

当图像的灰度被压缩为 L_p 级后,按照常规的灰度共生矩阵的惯性矩计算式(5),式中的阶次上限 L 应当被替换为 L_p 。由于此前采用间隔灰度压缩时,仍有部分高灰度级未被降级,所以,为了能够融合这些灰度信息,就需要适度扩展累加统计中的阶次上限,设该值为 L_q ,则扩阶后的共生矩阵的惯性矩表达式为

$$I_e = \sum_{n=0}^{L_q-1} n^2 \left[\sum_{j=0}^{L_q-1} \sum_{i=0}^{L_q-1} P(i, j | l_x, l_y) \right] \quad (7)$$

式中, $L_q \in (L_p, L]$, 通常可取 $L_q = (2 \sim 3)L_p$, L_q 的取值越大,能够统计的灰度范围也就越广,但是该式的计算量也越大。所以,实际应用中,可通过对具体待识别目标的纹理实测统计分析,并兼顾数据处理实时性的情况下,选定一个最佳值。

3 块煤与矽石的区分

3.1 块煤和矽石样本选取

根据块煤和矽石的纹理特征不同、灰度不同,挑选了块煤和矽石各 3 块作为实验样本,并在相同光照、相同物距条件下,对它们逐一拍照取样,预处理为对应的单幅照片,用 $\{C, G\} \{1, 2, 3\} \{t, p\} 3$ 个组合字符对样本进行命名,其中 C 表示块煤, G 表示矽石;数字 1、2 和 3 表示样本编号; t 和 p 分别表示全局取样和局部取样,如图 1、图 2 所示。

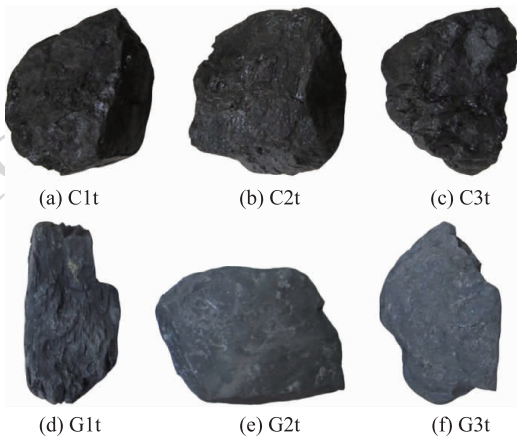


图 1 块煤和矽石全局取样

Fig. 1 Global sampling of lump coal and gangue

显然,全局所采样的各图大小不确定,而且有些

图的尺寸可能比较大,实时处理效率可能比较低,为此,又对图 1 所示的各样本,分别进行尺寸为 200 像素 \times 200 像素的局部取样,如图 2 所示。

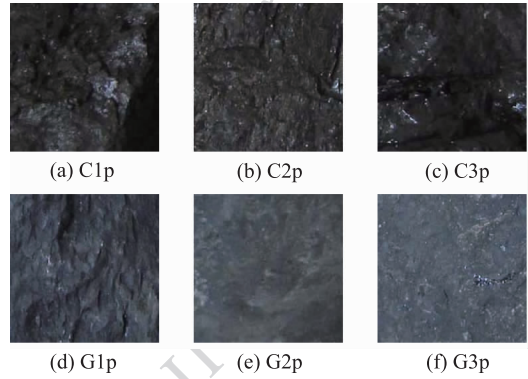
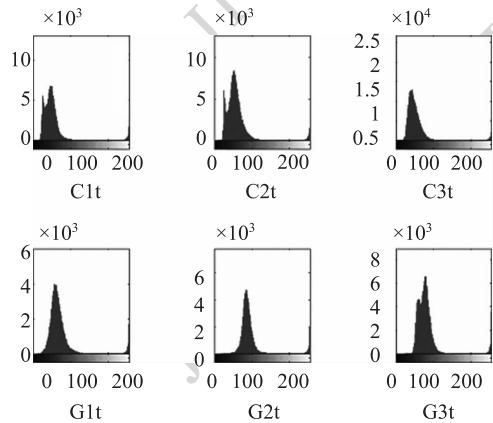


图 2 块煤和矽石局部取样

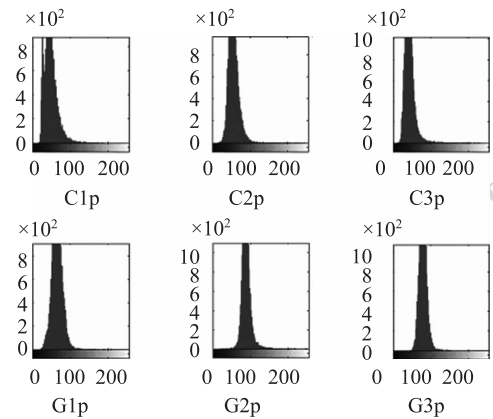
Fig. 2 Partial sampling of lump coal and gangue

3.2 利用灰度直方图峰值差异区分

对图 1 所示的全局样本,提取相应的灰度直方图,如图 3(a)所示。为了对比检验灰度直方图峰值



(a) 全局样本直方图



(b) 局部样本直方图

图 3 块煤和矽石灰度直方图对比

Fig. 3 Gray histogram contrast of lump coal and gangue

差异的局部样本区分效果,又提取了图 2 所示的局部样本的灰度直方图,如图 3(b)所示。

由图 3 可见,当矸石与块煤的灰度差异较大时,容易设定一个灰度阈值,无论是通过比较矸石与块煤的全局样本还是局部样本的灰度直方图,都可以实现对二者的区分。但是当矸石与块煤的灰度较接近时,这种方法就难以奏效了。

以图 3(a)为例,设定区分阈值为 65,就可以正确地区分灰度直方图峰值差异较大的块煤 C1t、C2t、C3t 与矸石 G2t、G3t;但是,矸石 G1t 却因其灰度直方图峰值接近块煤的且小于区分阈值而被误判,参见表 1。

表 1 全局样本的灰度直方图峰值对照

Table 1 Gray histogram peak contrast of global sample

样本	灰度直方图峰值	正确区分
C1t	50	是
C2t	50	是
C3t	47	是
G1t	52	否
G2t	80	是
G3t	76	是

可见,仅仅依据灰度直方图峰值差异来区分块煤与矸石,其区分正确率有限。

3.3 利用灰度共生矩阵惯性矩区分

1) 全局样本区分

对图 1 所示的全局样本,分别计算它们纹理的常规灰度共生矩阵惯性矩和本文研究的间隔灰度压缩与扩阶共生矩阵惯性矩,结果如表 2 所示。

表 2 全局样本的灰度共生矩阵惯性矩

Table 2 Gray level co-occurrence matrix inertia of global sample

样本	常规惯性矩	扩阶惯性矩
C1t	0.597 7	63.619 3
C2t	0.723 0	45.896 4
C3t	0.517 4	50.079 6
G1t	0.870 7	1.116 7
G2t	0.745 7	0.633 9
G3t	0.464 5	0.252 6

2) 局部样本区分

同样,为了对比检验灰度共生矩阵惯性矩在局

部样本区分中的效果,又计算了图 2 所示的局部样本的灰度共生矩阵惯性矩,结果如表 3 所示。

表 3 局部样本的灰度共生矩阵惯性矩

Table 3 Gray level co-occurrence matrix inertia of partial sample

样本	常规惯性矩	扩阶惯性矩
C1p	0.366 3	77.605 1
C2p	0.571 3	22.523 1
C3p	0.420 6	64.712 4
G1p	0.381 3	0.830 1
G2p	0.580 6	0.455 8
G3p	0.157 8	0.028 6

通过表 2 和表 3 的对比可见,利用常规灰度共生矩阵惯性矩,分析块煤和矸石的纹理差异,结果会因样本灰度不同或采用方式(全局或局部)不同而明显不同,所以不易设定一个惯性矩阈值以此来区分块煤和矸石。

而本文基于纹理的灰度压缩与扩阶共生矩阵惯性矩,无论是比较矸石与块煤的全局样本还是局部样本,二者的扩阶共生矩阵惯性矩都具有很大的差异(全局样本平均相差 79.8 倍,局部样本平均相差 124.9 倍),所以很容易设定一个惯性矩阈值并以此来区分块煤和矸石。另外还可看出,原本利用灰度直方图峰值差异不易区分的 G1t(或 G1p)样本,利用本文方法也能明细地区分开来。

3.4 测试与分析

为了进一步验证本文方法,在 4 个不同矿区采集了不同质地的煤与矸石样本各 48 块,将它们分成 A、B 两组,每组 24 块样本,以全局样本方式进行图像提取,利用 A 组图像信息设置区分算法的特征参数或阈值,然后分别采用基于灰度信息的识别法、基于常规惯性矩的纹理识别法和基于扩阶惯性矩的纹理识别法,对 B 组样本进行区分测试,统计结果如表 4 所示。

表 4 煤与矸石样本不同区分方法的正确率

Table 4 Correct rates of different distinguishing methods for lump coal and gangue samples /%

样本	灰度	常规惯性矩	扩阶惯性矩
煤	70	78	87
矸石	65	71	83

表4的结果表明,本文方法具有更高的区分度。另外,通过多次样本测试发现,同一组中的测试样本,光照强度、图像清晰度等取样因素会直接影响识别结果的共生矩阵惯性矩,可能会使不同类别样本的惯性矩差异缩小以至难以区分和设置区分阈值,所以,对基于纹理的图像分析,在合理选样的基础上,更需要合理的图像取样。

4 结 论

本文灰度共生矩阵不仅具有较高的块煤与矸石的区分度,而且其算法参数设定容易,特别是由于算法采用了灰度压缩,又进行了低量级矩阵扩阶,所以提升了图像分析的速度,从而更利于生产现场的实时性要求。

参考文献 (References)

- [1] Song J, Du C L, Fang H P. Coal and gangue separation test underground well based on the role of top water [J]. *Coal Science and Technology*, 2009, 9(37): 122-126. [宋静, 杜长龙, 方树鹏. 顶水作用下井下煤与矸石分选试验[J]. *煤炭科学技术*, 2009, 9(37): 122-126.]
- [2] Kong L, Zheng C Y, Zhong Z P. Research on dynamic identification model for coal gangues based on double energy [J]. *Coal Preparation Technology*, 2001, (2): 9-12. [孔力, 郑朝阳, 钟志平. 煤矸石双能法动态识别模型研究[J]. *选煤技术*, 2001, (2): 9-12.]
- [3] Ding K X, Zhang Z G, Zhang J C, et al. Feasibility study of rotating-impact method of coal-gangue separation underground well [J]. *Coal Mine Machinery*, 2007, 28(8): 44-45. [丁开旭, 张志高, 张建臣, 等. 旋转冲击式井下煤矸分离可行性研究[J]. *煤矿机械*, 2007, 28(8): 44-45.]
- [4] Chen L, Shen H B, Li X W, et al. Application of image texture retrieval in mineral discrimination [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2006, 11(11): 1700-1703. [陈玲, 沈红标, 李咸伟, 等. 改进的图像纹理检索方法在矿石识别中的应用[J]. *中国图象图形学报*, 2006, 11(11): 1700-1703.]
- [5] Lan T C, Zheng H G. Research on separation technology of coal and gangue based on texture features fusion [J]. *Journal of Longyan University*, 2008, 26(6): 56-59. [兰添才, 郑汉垣. 基于纹理特征融合的煤矸石分选技术研究[J]. *龙岩学院学报*, 2008, 26(6): 56-59.]
- [6] Wang R B, Zhe L. Automatic separation system of coal gangue based on DSP and digital image processing [C]//*Photonics and Optoelectronics (SOPO), Symposium on Digital Object Identifier*. Wu Han, China: IEEE Computer Society, 2011: 1-3.
- [7] Ma X M. Coal Gangue image identification and classification with wavelet iransform [C]//*Intelligent Computation Technology and Automation*. Zhang Jiajie, China: IEEE Computer Society, 2009: 562-565.
- [8] Liu F Q, Qian J S. Automatic separation of waste rock in coal mine based on image proccession and recognition [J]. *Journal of China Coal Society*, 2002, 25(5): 34-37. [刘富强, 钱建生. 基于图像处理与识别技术的煤矿矸石自动分选[J]. *煤炭学报*, 2002, 25(5): 34-37.]
- [9] Li W H, Wang Y, Fu B, et al. Coal and coal gangue separation based on computer vision [C]//*Frontier of Computer Science and Technology (FCST), 2010 Fifth International Conference on Frontier of Computer Science and Technology*. Changchun, China: IEEE, 2010: 467-472.
- [10] Wang R S. *Image Understanding* [M]. Changsha: National University of Defense Technology Press, 1994: 145-146. [王润生. *图像理解* [M]. 长沙: 国防科学技术大学出版社, 1994: 145-146.]
- [11] Haralick R M, Shanmugam K, Dinstein I. Texture features for image classification [J]. *IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics*, 1973, 8(6): 610-621.
- [12] Wang B, Yao H Y, Li B C. An efficient image retrieval approach based on generalized image co-occurrence matrix [J]. *Geomatics and information Science of Wuhan University*, 2006, 31(9): 761-764. [王波, 姚宏宇, 李弼程. 一种有效的基于灰度共生矩阵的图像检索方法[J]. *武汉大学学报: 信息科学版*, 2006, 31(9): 761-764.]
- [13] Ndjiki-Nya P, Bull D, Wiegand T. Perception-oriented video coding based on texture analysis and synthesis [C]//*Image Processing (ICIP)*. Cairo, Egypt: IEEE Computer Society, 2009: 2273-2276.
- [14] Tamura H, Mori S, Yamawaki T. Texture features corresponding to visual perception [J]. *IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics*, 1978, 8(6): 460-473.
- [15] Miranda F P, MacDonald J A, Carr J R. Application of the semi-variogram textural classifier (STC) for vegetation discrimination Using SIR-B data of borneo [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1992, 13(12): 2349-2354.
- [16] Wu G, Yang J A, Wang H Y. An algorithm for segmentation of texture image based on image variogram function [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2001, 29(1): 44-47. [吴刚, 杨敬安, 王洪燕. 一种基于变差函数的纹理图像分割方法[J]. *电子学报*, 2001, 29(1): 44-47.]