

基于 WBCT 和 LBP 融合的焦炭显微图像识别方法

周芳^{1),2)} 王培珍²⁾ 蒋建国¹⁾

¹⁾(合肥工业大学计算机信息学院,合肥 230009) ²⁾(安徽工业大学电气信息学院,马鞍山 243002)

摘要 焦炭显微光学组织的分类识别是判定焦炭质量和指导生产配煤的关键内容,由于传统的空域和频域方法效果都不理想,提出了一种基于小波分解 Contourlet 变换(WBCT)与局部二进制模式(LBP)融合的焦炭显微图像识别算法。首先,运用 WBCT 对图像进行多尺度多方向分解,提取出各子频带的统计特征量;然后,在空域采用均匀 LBP 算子,计算图像 LBP 特征描述子;最后,根据融合的相似性度量准则判断图像的光学组织类别。与其他方法对比实验结果表明,该算法不仅可获得更高的识别精度,而且具有较强的抗干扰能力,尤其是对泊松分布噪声敏感性较小,因此,适合于焦炭显微图像的分析。

关键词 焦炭显微图像 光学组织 多尺度几何分析 小波分解 Contourlet 变换 局部二进制模式

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2009)10-2088-04

A Fusion Scheme for Coke Micrograph Recognition Based on WBCT and LBP

ZHOU Fang^{1),2)}, WANG Pei-zhen²⁾, JIANG Jian-guo¹⁾

¹⁾(School of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009)

²⁾(School of Electric and Information, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243002)

Abstract The classification and recognition of the coke optical texture is one of the key elements to determine the quality and guide the production of cokes. As the results of the traditional methods in spatial and frequency domain are not so ideal, a fusion algorithm, which is based on WBCT and LBP, is proposed. Firstly, the method decomposes the coke micrograph with WBCT for multi-scale and multi-direction, and extracts the statistical features from each sub-band. Then in spatial domain, the features of coke micrograph are calculated with uniform LBP operator. Finally, according to the fusion similarity measure criteria, the classes of optical texture in coke micrograph are identified. Comparing with other methods, the results of experiments show that the proposed algorithm not only obtain a high recognition accuracy, but also has strong anti-interference ability, especially for the Poisson distribution of noise. Therefore, it is suitable for micrograph analysis of coke.

Keywords coke micrograph, optical texture, multiscale geometric analysis(MGA), wavelet-based contourlet transform (WBCT), local binary patterns(LBP)

1 引言

焦炭是高炉炼铁的主要原料,而焦炭的显微结构对焦炭的反应性、热传导性、机械强度等有着直接

影响^[1]。因此,焦炭微观光学组织的分类识别对评价焦炭质量、指导生产配煤有着重要意义。然而,目前国内几乎都是采用人工肉眼观察测定的方法,不仅劳动强度大、实时性差,而且准确率也不高。所以,运用图像处理技术,实现焦炭显微光学组织的自

基金项目:国家自然科学基金项目(50874001)

收稿日期:2009-06-19;改回日期:2009-07-15

作者简介:周芳(1977~),女,讲师。现为合肥工业大学计算机信息学院计算机应用专业博士研究生。研究方向为信号处理与模式识别。E-mail: zt7782@ahut.edu.cn

动识别,有着重要的实际意义。

小波变换以其良好的时频特性在信号处理领域取得了巨大成功。然而,小波对含“线”或“面”的高维函数,却不能挖掘出更多的方向边缘和纹理等信息。因此,近来出现了多尺度几何分析方法^[2](MGA),其中 Contourlet 变换被誉为一种“真正”的图像 2 维表示,可惜它不具有平移不变性,而且文献^[3]中还指出,其子频带统计特性作为图像特征描述子并不充分,因为可根据图像变换的频域特性轻易构造出具有完全相同的子带统计特性,而视觉效果上却完全不同的图像来。因此,提出了一种基于小波分解的 Contourlet 变换(WBCT),融合局部二进制模式(LBP)^[4]特征的识别算法,不仅保持了小波和 Contourlet 变换的优点,而且子带划分更加细致,图像特征描述也更加全面。

2 WBCT 变换

Contourlet 变换是 2002 年由 Do 和 Martin Vetterli 提出的^[5]。它将多尺度分析与方向分析分开,通过拉普拉斯金字塔滤波器(LP)获得多尺度分解,再通过扇形方向频率剪切滤波器组(DFB)实现方向分解。

从滤波器角度来看,Contourlet 变换先由 LP 分解为低频子带和高频子带,其中低频子带由原始图像经过 2 维低通滤波和隔行隔列下采样产生;而低频子带经过上采样和低通滤波后形成与原始图像尺寸相同的低频分量,用原始图像减去这个低频分量得到高频子带;高频子带再经过 DFB 分解为 2^i 个方向子带。对低频子带重复上述过程,便可实现图像的多分辨率多方向分解。图 1 为一幅焦炭显微光学

组织图像的两层 Contourlet 变换,第 1 层方向数为 4,第 2 层方向数为 8。

从图 1 可以看出,子带含有丰富的方向和形状特征,从而可以更稀疏地表示图像。而且变换中的尺度和方向分解独立进行,可在不同尺度上实现不同的方向滤波,使得图像展开更加灵活。

然而,虽然 DFB 可以很好地捕获输入图像的高频信息,但对低频信息效果却很差^[6]。所以,考虑和多尺度小波分解相结合,防止低频信息“泄漏”到高频子带中去,出现了基于小波分解的 Contourlet 方法^[6]。

WBCT 算法主要步骤为首先对图像进行正交小波变换,然后对得到的 LH,HL,HH 3 个高频子带分别用 DFB 分解 2^i 个方向子带,再对低频子带重复上述步骤,直到满足指定层为止,其分解过程如图 2 所示。

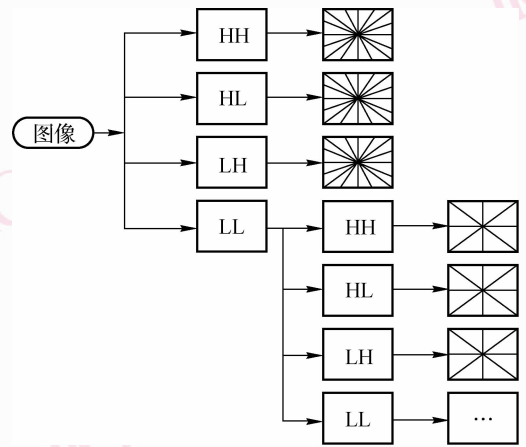


图 2 WBCT 分解示意图

Fig. 2 Schematic plot of WBCT

与单纯小波和 Contourlet 变换相比, WBCT 可进一步挖掘图像的方向、纹理等特征。

3 融合 LBP 直方图的相似性度量

LBP 是一种有效的空域纹理特征描述算子。Ojala 在文献^[4]中定义:设单色调图像局部邻域纹理特征为 $T, P(P > 1)$ 个图像像素的灰度联合分布为

$$T = t(g_c, g_0, \dots, g_{p-1}) \quad (1)$$

式中,灰度值 g_c 是局部邻域中心值, g_p 是在半径为 $R(R > 0)$ 的圆对称区域内 P 个相等空间像素灰度值。

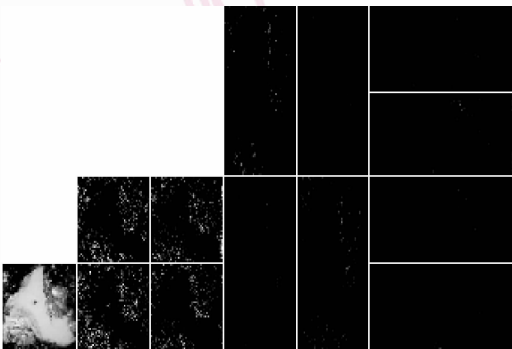


图 1 焦炭显微图像的两层 Contourlet 变换

Fig. 1 Two-level Contourlet transform for coke micrograph

假设 g_c 分布独立,且 $t(g_c)$ 代表图像亮度,不影响纹理描述,式(1)可简化为

$$T \approx t(g_o - g_c, g_1 - g_c, \dots, g_{p-1} - g_c) \quad (2)$$

又因为相邻像素与中心像素差值代替相邻像素的像素值,可实现旋转不变性,则式(2)可又简化为

$$T \approx t(s(g_o - g_c), s(g_1 - g_c), \dots, s(g_{p-1} - g_c)) \quad (3)$$

其中

$$s(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases} \quad (4)$$

为每个邻域像素指定一个二进制权重 2^p ,便可得到均匀 LBP 算子编码:

$$\text{LBP}_{p,R} = \sum_{i=0}^{p-1} s(g_i - g_c) \cdot 2^i \quad (5)$$

图像每个像素都可计算出对应的 $\text{LBP}_{p,R}$,而图像 $\text{LBP}_{p,R}$ 直方图可以有效刻画图像的纹理信息,不受尺度空间变换的影响,且具有旋转不变性^[7],是一种较好的空间模式特征度量工具。因此,将 $\text{LBP}_{p,R}$ 直方图定义的图像相似度与 WBCT 变换各子带统计特性相似度融合起来,判定两幅图像 X 和 Y 的相似距离,定义如下:

$$D(X, Y) = \sum_{i=1}^l [k_i D_{\text{WBCT}}(X, Y)] + k_j D_{\text{LBP}}(X, Y) \quad (6)$$

式中, l 为特征向量个数, k_i, k_j 为加权系数,且 $0 \leq k_i, k_j \leq 1$ 。子带统计特征向量分别选用系数能量 f_1 , 平均 l_1 , 范数 f_2 和方差 f_3 , 定义如下:

$$f_1 = \sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N x(i, j)^2} \quad (7)$$

$$f_2 = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |x(i, j)| \quad (8)$$

$$f_3 = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [x(i, j) - u]^2 \quad (9)$$

式中, $u = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N x(i, j)$ 。

为消除特征量间过大差异,进行归一化处理:

$$v(i, j) = \frac{v(i, j) - \min_v(j)}{\max_v(j) - \min_v(j)} \quad (10)$$

式中, $v(i, j)$ 为特征向量集, \min_v 为最小行矢量, \max_v 为最大行矢量。

D_{WBCT} 和 D_{LBP} 分别采用闵可夫斯基距离法和 χ^2 直方图匹配法^[7], 定义如下:

$$D_{\text{WBCT}}(f_X, f_Y) = \left(\sum |f_X - f_Y|^\lambda \right)^{\frac{1}{\lambda}} \quad (11)$$

$$D_{\text{LBP}}(H_X, H_Y) = \sum_{k=0}^{L-1} \frac{[H_X(k) - H_Y(k)]^2}{H_Y(k)} \quad (12)$$

4 实验与分析

4.1 实验环境

焦炭光学组织图像的采集系统包括光度计、自动扫描物台、显微镜调焦系统、控制系统以及显微镜目镜上的摄像头和 PC 机等组成,主要功能集中在一台专用 HD 型显微光度计上。图 3 为采集的焦炭显微光学组织图像。

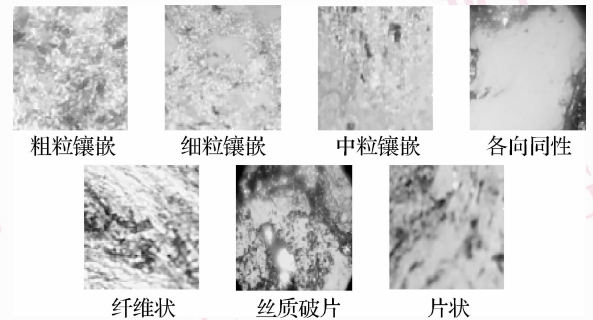


图 3 焦炭显微光学组织图像

Fig. 3 Micrographs of coke optical texture

4.2 不同算法的比较

实验对 7 种焦炭光学组织图像分类,即图 3 所示的各向同性、粗粒镶嵌、中粒镶嵌、细粒镶嵌、片状、纤维状和丝质破片等。根据专家经验,选择了 210 个样本图像,每类 30 个,将其中 2/3 作为训练集,1/3 作为测试集。

表 1 给出了相同实验条件下,本文方法与灰度共生矩阵 GLCP, $\text{LBP}_{p,R}$, 小波变换 (WT)、Contourlet 变换 (CT) 和 WBCT 变换方法对测试样本中 7 种焦炭显微光学组织平均识别精度和计算时间。

表 1 不同算法识别效率比较

Tab. 1 Comparison of different algorithms

	GLCP	LBP	WT	CT	WBCT	本文方法
正确率 (%)	65.71	71.43	82.86	85.71	88.57	91.43
时间 (s)	0.45	0.36	0.31	0.33	0.35	0.42

所有图像变换的分解尺度均为 3 级;小波变换选用的是近似对称且消失矩为 3 的 symlets 函数;Contourlet 选用的是“pkva”方向滤波器^[8],子带数分别为 4, 8, 8; $\text{LBP}_{p,R}$ 中的 P 和 R 分别取 8 和 1; GLCP 取 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ 和 135° 4 个方向的均值;式(6)中 l

取 3, j 取 4; 融合相似度距离中 $k_1 \sim k_4$ 分别取 1, 0.2, 0.3 和 1; 式(11)中 λ 取 2。实验结果表明, 子带统计特性中系数能量具有较好的分辨能力。以上识别率都是在没对图像做任何预处理的前提下获得的。

从表 1 中可以看出, 本文方法较其他方法对焦炭显微光学组织图像的分类识别有着明显的优势。因为该方法综合了诸多算法的优点, 将图像的全局与局部、空域与频域以及不同尺度、不同方向的纹理、几何等因素综合考虑, 使得图像特征描述更加全面, 从而获得了较高的识别率。从算法运行时间可以看出, 本文算法复杂度也不高, 易于实现。

4.3 算法抗干扰性能验证

为了测试本文算法对图像噪声的敏感程度, 对焦炭 7 类光学组织图像分别人工加入了高斯白噪声和椒盐噪声。高斯白噪声方差和椒盐噪声密度参数在 0.02 到 0.06 范围内, 分类结果如表 2 所示。

从表 2 可以看出, 本文算法对椒盐噪声的抗干扰能力比较强, 在噪声强度低于 0.06 的情况下, 分类正确率均可以达到 80% 以上。椒盐噪声满足泊松分布, 而泊松分布噪声往往出现在照度非常小以及高倍电子线路放大等情况下。因此, 抗泊松分布噪声能力对焦炭显微光学组织图像的分类识别具有很大意义。

表 2 算法抗干扰性能

Tab. 2 Performance of anti-interference

	高斯白噪声			椒盐噪声		
	$p = 0.02$	$p = 0.04$	$p = 0.06$	$p = 0.02$	$p = 0.04$	$p = 0.06$
识别率 (%)	81.43	75.71	71.43	84.29	82.86	80.00

5 结 论

针对焦炭显微图像特点, 提出了 WBCT 和 LBP 融合识别方法, 在没有对采集图像作任何预处理的前提下, 正确识别率达到了 90% 以上, 不仅远远高出了人工对图谱识别方法, 同时, 较其他同类算法也显出较明显优势, 且算法还具有较强的鲁棒性。

参考文献 (References)

- 1 Yang Jian-li, Stansberry P G, Zondlo J W, *et al.* Characteristics and carbonization behaviors of coal extracts [J]. *Fuel Processing Technology*, 2002, **79**(3): 207-215.
- 2 Jiao Li-cheng, Tan Shan. Development and prospect of image multi-scale geometric analysis [J]. *Chinese Journal of Electronics*, 2003, **31**(12A):43-50. [焦李成, 谭山. 图像多尺度几何分析: 回顾和展望 [J]. *电子学报*, 2003, **31**(12A):43-50.]
- 3 Gluckman J. Visually distinct patterns with matching sub-band statistics [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine*

- Intelligence, 2005, **27**(2):252-264
- 4 Ojala T, Pietikainen M, Maenpaa T. Multi-resolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, **24**(7):971-987.
- 5 Do M N, Vetterli M. *Contourlets Beyond Wavelets* [M]. Stoeckler J and Welland G V eds. New York, USA: Academic Press, 2002: 1-27.
- 6 Eslami R, Radha H. Wavelet-based contourlet transform and its application to image coding [A]. In: *Proceedings of International Conference on Image Processing* [C], Singapore, 2004:3189-3192.
- 7 Ahonen T, Hadid A, Pietikainen M. Face recognition with local binary patterns [A]. In: *Proceedings of 8th European Conference on Computer Vision* [C], Prague, Czech, 2004:469-481.
- 8 Yang Jia-hong, Xu Can-hui, Wang Yao-nan. Texture image retrieval based on transform using generalized Gaussian model [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2007, **12**(4):691-694. [杨家红, 许灿辉, 王耀南. 基于 Contourlet 广义高斯模型的纹理图像检索 [J]. *中国图象图形学报*, 2007, **12**(4):691-694.]