

# 矿物显微图像中网孔状及针板状 成分识别方法研究

游劲敏<sup>1)</sup> 李咸伟<sup>2)</sup> 沈红标<sup>2)</sup> 刘其真<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(复旦大学计算机科学与工程系, 上海 200433) <sup>2)</sup>(宝山钢铁股份有限公司研究院环境与资源研究所, 上海 201900)

**摘要** 矿物的显微图像成分分析是一项具有挑战性的应用研究课题, 针对所要求的对某种矿石进行自动识别的任务, 提出了一种使用改进的统计假说方法对网孔状纹理成分进行识别的方法; 并提出了一种采用 Sobel 变换、骨架提取以及 Hough 变换相结合的技术进行针板状纹理成分识别的方法, 实验结果表明, 该方法是有用的。

**关键词** 矿石纹理 统计假说 边缘检测 Hough 变换 骨架提取 图像分割

**中图分类号**: TP391.41 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2006)11-1690-05

## An Approach of Mesh and Striation Texture Recognition for Ore Microscope Image Classification

YOU Jin-min<sup>1)</sup>, LI Xian-wei<sup>2)</sup>, SHEN Hong-biao<sup>2)</sup>, LIU Qi-zhen<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(Department of Computer Science and Engineering, Fudan University, Shanghai 200433)

<sup>2)</sup>(Institute of Environment and Resources, Baosteel Co., LTD., Shanghai 201900)

**Abstract** The ingredient analysis of ore microscope image is a challenging research area. To accomplish automatic recognition task on a kind of ore, this paper proposed an improved statistical hypothesis method for mesh texture ingredient recognition; and with Sobel edge detection, Skeleton Extraction, Hough Transformation another method is proposed on the recognition for needle like or striation texture ingredient. The experimental results show that the methods proposed in this paper are efficient.

**Keywords** mineral texture, statistical hypothesis, edge detection, skeleton extraction, Hough transformation, image segmentation

## 1 引言

工程中经常会遇到类与类灰度差别非常接近的情况, 单用阈值分割无法分类, 其原因是两个类在灰度图上相交部分相当多。本文改进的统计假说检测法除用于区分纹理外, 也可对处于灰度图上相交部分的像素进行有效的归类。因该方法需要的图像特性少, 所以具有普遍意义。

众所周知, 矿物的显微图像成分自动分析对于

精细冶金和化工生产具有积极意义。目前国内外一般采用人工数点法来对矿物的显微图像成分进行统计分析, 其不仅劳动强度大、效率低, 而且其分类精度不高。

采用计算机对矿物显微图像的成分进行自动分析, 其难点在于矿物的显微成分极其复杂, 且存在各种不同成分交混镶嵌的现象, 由于各成分边界不明显, 色彩不丰富, 不仅其中有些成分的灰度非常接近, 而且各特性差别不大的类经常会混杂在一起, 更有同属一类却有着不同的纹理或灰度表象, 这为准

收稿日期: 2006-06-08; 改回日期: 2006-08-03

**第一作者简介**: 游劲敏(1973~), 男, 1998年毕业于上海大学, 现为复旦大学计算机科学与工程系硕士研究生。主要研究方向为图像处理、模式识别、自动控制。E-mail: 052021192@fudan.edu.cn

确区分带来了难题,因而矿物显微图像的成分自动分析也是图像处理 and 模式识别应用领域的研究热点之一。

本项研究所涉及的某种矿石显微图像的成分有 10 多种,本论文仅针对其中某些成分自动分类识别任务,提出了一种改进的统计假说方法,用于识别网孔状纹理,并提出了一种采用 Sobel 变换、骨架提取以及 Hough 变换相结合的技术来对针板状纹理进行分类识别的方法,实验表明,本文所提出的方法是有效的,其无论在分类精度还是在分类时间上都能满足实际需求。

## 2 用改进的统计假说检测法识别网孔状纹理成分

本项研究中,存在一种待识别的矿石目标成分(如图 1 所示),称为网孔状纹理图像。这种矿石成分图像的特点是网状纹理不规范,由于其纹理不同于布料等那样规则、细密,而且其不同区域的色彩与平均灰度均呈现较大变化,所以若仅简单使用 RGB-HIS 色彩空间检测盒来检测该类纹理,则很容易造成误分类,为此,本文主要依据其灰度统计特性来实现分类识别。

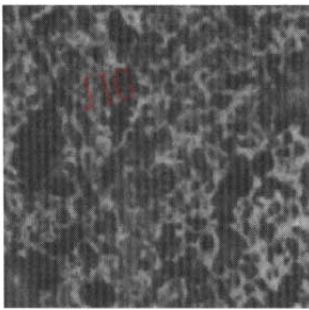


图 1 网孔状纹理图像  
Fig.1 Mesh texture image

本文提出并使用一种改进的统计假说检测法来识别网孔状纹理成分。其思想为首先将图像分成小区域,然后根据小区域内的灰度分布与训练样本的经验灰度直方图来进行相似性比较。具体为在一般统计假说检测法的基础上,采用加区域权值的方法对其进行优化,再通过对其数学公式进行合理变形及简化,从而提高了运行速度及准确度,以解决不同

区域的网孔状纹理成分具有细微灰度分布差别的分类问题。

具体识别步骤如下:

(1)把图像分成大小为  $n \times n$  的小正方形区域(例如  $50 \times 50$  pixels 的子图像方块);

(2)生成小区域的灰度直方图,如果其灰度分布情况相似于经验灰度直方图,那么就归为具有该纹理特征的一类。

检测灰度分布情况的相似性,可采用下面的方法:设  $h_1(x)$  为某小区域内的灰度直方图, $h(x)$  为经验灰度直方图,然后从这个直方图求出累积灰度直方图  $H_1(x)$  和  $H(x)$ ,根据以下准则进行判别:

$$\varepsilon = \sum_{x=0}^{255} |H_1(x) - H(x)| \quad (1)$$

如果该值小于一检测阈值  $\varepsilon_0$ ,就归并为具有相似直方图的一类。灰度直方图  $h(x)$  的累积灰度直方图  $H(x)$  定义为

$$H(x) = \int_{x-1}^x h(x) dx \quad (2)$$

如果上述方法将  $h(x)$  改为  $h_2(x)$ ,以代表另一小区域内的灰度直方图,则常用于无先验知识条件下的区域合并,称为 Smoothed-difference 检测<sup>[1]</sup>。

(3)为了更精确地分类,本论文针对区域灰度分布不均衡的问题,提出下面两种适应方法:假设有某类纹理 A 的小区域内大部分为暗区域,只有小部分为亮区域,若暗区域部分存在一定的灰度方差,则对于本类归并其检测阈值  $\varepsilon_0$  不能设得太小。另一类纹理 B,同样小区域内大部分为暗区域,只有小部分为亮区域,而且其暗区域部分与纹理 A 暗区域部分具有相差无几的均值与方差,在这种情况下,即使根据两者亮区域灰度值可区分,在上述已规定的检测阈值下用 Smoothed-difference 检测准则区分纹理 A 与纹理 B 是不适宜的。其原因是由于小部分亮区域数量太少,其在数值上不足以拉开纹理 A 与纹理 B 的 Smoothed-difference 值,因此必须对被积函数加以权值改进处理。其处理方法有以下两种:

**方法 1** 基于 Smoothed-difference 检测准则,提高小部分亮区域的权值,即

$$H(x) = \int_{x-1}^x h(t)g(t) dt \quad (3)$$

$g(t)$  为权值函数,由训练样本实验确定,但纹理 A 与纹理 B 具有不同的  $g(t)$  分布。对上面情况, $g(t)$  在各自的小部分亮区域灰度处应有个峰。

**方法 2** 不设  $g(t)$ ,而只关心原  $g(t)$  峰值处的

统计特性,约定称其峰值处的灰度级段为“关注灰度段”。具体为对待分的小方块区域的内部统计其灰度直方图的关注灰度段的累积灰度  $H_i(x_0, x_1)$ ,

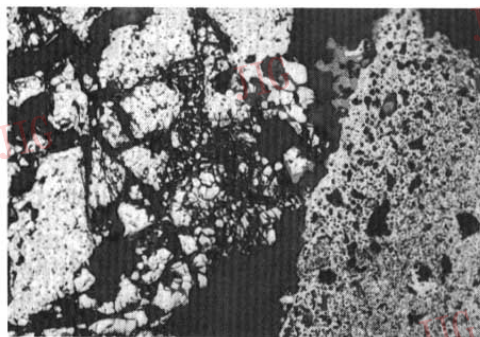
$$H_i(x_0, x_1) = \int_{x_0}^{x_1} h(t) dt \quad (4)$$

$[x_0, x_1]$  为某一关注灰度段(下面用下标  $i$  表示)。有  $n$  个类可分(下面用下标  $j$  表示,  $j = 1, 2, \dots, n$ ), 记  $N$  为小方块的总像素数。则某一关注灰度段  $i$  上累积灰度百分比为  $H_i(x_0, x_1)/N$ 。用绝对差  $|H_i(x_0, x_1)/N - C_{i,j}|$  ( $C_{i,j}$  为第  $j$  类在灰度段  $i$  上的标准累积灰度百分比) 来刻画样本与类  $j$  在关注灰度段  $i$  上的偏离度 ( $i = 1, 2, 3, \dots$ )。若偏离度越小则表明该样本块与第  $j$  类的相似度越大。不同的两类之间几乎总有在某一灰度段  $i$  上的累积灰度百分比的不同(此段处  $g(x)$  可取峰值), 因此可以

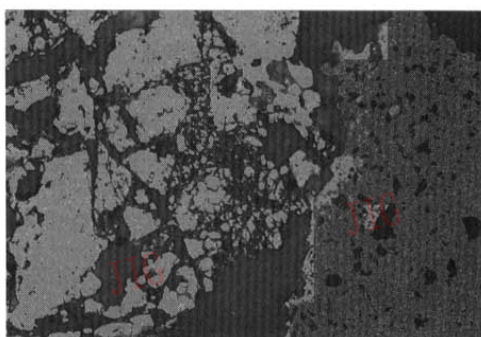
此来细分具有该差别的不同的纹理的小方块。若两类在灰度直方图上几乎无差别(如两类为一种物质的两种形态), 则可用下文介绍的依据边缘性质的方法来进行分类。

不同于 Smoothed-difference 检测准则中  $x_i: [0 \sim 255]$ , 方法 2 检测盒关心的只是灰度图横轴上的一个或几个小段, 故既减小了噪声的影响, 亦提高了处理速度。

另外, 工程中经常会遇到类与类灰度差别非常接近的情况, 单用阈值分割无法分类, 其原因是两个类在灰度图上相交部分相当多, (如图 2(a) 所示)。对于处于灰度图上相交部分的像素可视其所在的小方块经上述方法 2 处理后所得的结果来归分, 效果显著(见图 2(b))。



(a) 含有网孔状纹理成分的矿物原图



(b) 网孔状成分的识别结果

图 2 网孔状纹理成分识别结果示例

Fig. 2 Mesh texture image recognition

### 3 基于 Hough 变换实现针板状纹理的识别

在本项研究中, 还有一种呈现不规则细条状(针状和板条状-合并称为针板状)的待识别纹理(如图 3 所示)。其特点是中等亮度、白色, 呈现粗细不等、长短不等、不规则排列的针状和板状纹理。由于该类纹理具有上述不规范特性, 且与灰度一样的另一类物质混杂在一起, 从而为分类识别带来了困难。

本文在大量方法实验的基础上, 提出了一种适用的在 Sobel 变换的基础上先进行骨架提取, 然后由 Hough 变换提取直线特征的针板状纹理识别

方法。

#### 3.1 用 Sobel 算子进行边缘检测

有许多不同类之间有着几乎相同的颜色, 且都没有足够粗的纹理用以区分, 其中一些虽有边缘形状的差异, 但由于其经常粘连在一起, 因此对这些区域应先分割成小方块区域, 然后用各向同性的 Isotropic Sobel 算子进行边缘检测<sup>[2]</sup>。在得到边缘后, 即可看到差异在于有些类的边缘呈直线的较多, 这些直线是针板状纹理的反映, 而直线的密度及其长度则反映了与标准针板状纹理的相似度。

#### 3.2 用 Hough 变换区分针板状纹理

本项研究中, 用 Hough 变换通过统计该小块内边缘呈直线的像素个数<sup>[1]</sup>来计量与针板状纹理的相似度。其原理如下:

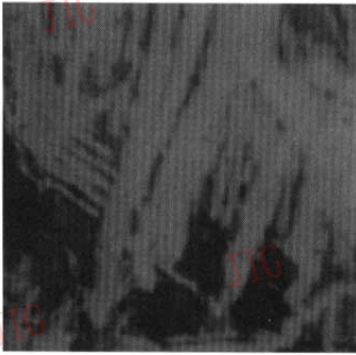


图 3 不规则针板状纹理示例

Fig. 3 Irregular striation texture image

设直线方程为  $y = kx + b$ , 其通过原点的法线方程为  $y = \hat{k}x$ , 则  $k \times \hat{k} = -1$ . 设法线与  $x$  轴的夹角为  $\theta$ , 直线到原点的距离为  $r$ , 则  $k = -\cos\theta/\sin\theta$ ,  $b = r/\sin\theta$ . 这样直线方程可表示为

$$y = \frac{-\cos\theta}{\sin\theta}x + \frac{r}{\sin\theta} \quad (5)$$

整理得

$$r = x\cos\theta + y\sin\theta \quad (6)$$

固定  $x, y$ , 变动参数  $\theta$  上式则表示经过  $(x, y)$  的一系列直线, 斜率由参数  $\theta$  决定. 直线到原点的距离为  $x\cos\theta + y\sin\theta$ , 即应变量  $r$  的值. 可见所有的这些直线有唯一的公共点  $(x, y)$ .

由 Hough 变换的参数  $r$  和  $\theta$  可定义一个 2 维空间, 式(6)中, 令参数  $\theta$  为自变量, 则  $r$  为应变量, 若  $x, y$  视为常数, 则正弦函数的和仍为正弦函数, 可见, 式(6)所示方程是由  $r$  和  $\theta$  定义的 2 维空间中的一条正弦曲线. 程序中扫描边缘上的点, 当每遇到一个未标记的边缘上的点, 则在  $r, \theta$  空间中画出一条正弦曲线. 若将  $r$  和  $\theta$  定义的 2 维空间分成小细格, 则程序中在跟踪正弦曲线(即  $r = x\cos\theta + y\sin\theta$ )时, 就将命中的小细格上的计数器加 1. 由于  $x, y$  平面的任意一直线对应于该空间的一个点, 记为  $(r, \theta)$ , 因此扫描到一直线上的任一点时都可画出经过  $(r, \theta)$  的一条正弦曲线. 这样  $(r, \theta)$  所在的小细格的计数及其邻域的计数和值会比较大. 通过设定阈值的比较就可知小区域中是否有较直长的边缘存在<sup>[2]</sup>.

### 3.3 用骨架提取方法增强检测效果

之前虽有各向同性的 Isotropic Sobel 算子进

行边缘检测, 先形成黑白二元色素图像, 再由 Hough 变换来对各划分成的小方块区域进行针板状纹理的相似度检测, 但由于各向同性的 Isotropic Sobel 算子, 其进行边缘检测显示出来的边界是有粗细的, 而 Hough 变换是基于各像素点选举的, 因此会出现以下情况, 即如果某一相对粗且短的直线段的像素点较之另一长且细的直线段的像素点多, 则粗且短的较之长且细的直线段经 Hough 变换检测得到的选举票数会更高, 可是检测的目的是为了找出更长的直线. 为避免这一情况, 可对 Sobel 算子边缘检测出来的图像进行骨架提取来去除上述影响.

## 4 实验与结论

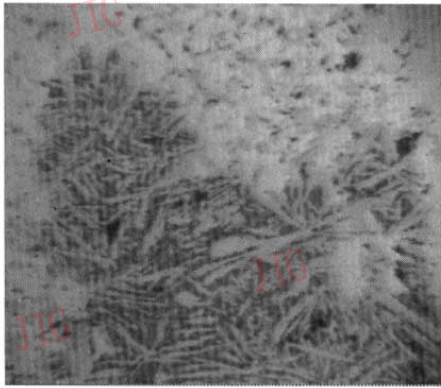
实验中发现, 小方块区域的大小选取得适当与否对上述两个方法都是至关重要的, 其原则是根据类之间的表象特性差别(如纹理粗细和直线段长度的下限)来合理设定小区域的大小. 若设定太大, 则精度会受到影响, 且分类得到的区域的交界会模糊.

而太小, 则小区域的统计意义减小. 这是由于类和类之间在小区域上往往是很相似的, 因此小区域归类出错的概率会上升, 若要在一定程度上减少小区域容易出错的概率, 则所有小区域必须根据其邻近小区域的倾向性来判定, 即做一次平滑. 本系统是采用高斯模板对图像进行卷积运算的方法来平滑.

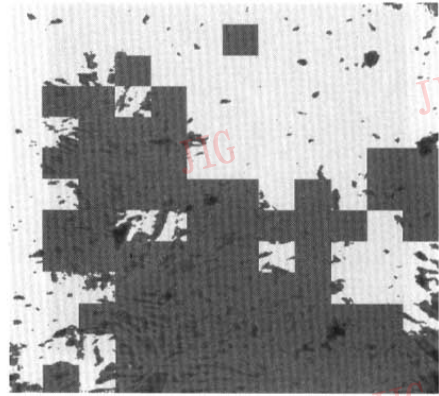
本文采用上述识别网孔状纹理图像和针板状纹理的图像的方法对某矿石的千余张显微图像进行了目标识别实验, 实验结果表明, 正确识别率达到实用要求, 识别速度也能满足用户的实际需求.

图 2(a)是用改进的统计假说检测法识别的网孔状纹理成分的实验原图. 图 2(b)是用改进的统计假说检测法识别的网孔状纹理成分的实验结果示例.

综上所述, 矿石的显微图像成分分析是一项具有挑战性的应用研究, 本文针对所要求的对某种矿石进行自动识别的任务, 提出了一种改进的统计假说方法用来识别网孔状纹理成分, 并提出了采用 Sobel 变换、骨架提取以及 Hough 变换相结合的技术进行针板状纹理成分识别的方法, 其识别结果如图 4(b)所示(图中灰色部分). 实验表明, 本文所提出的方法能够用于多种纹理成分的识别.



(a) 含有针板状网孔状纹理成分的矿物原图



(b) 针板状纹理成分的识别结果

图 4 针板状纹理成分识别结果示例

Fig.4 Irregular striation texture image Recognition

参考文献 (References)

1 HE Bing, MA Tian-yu, WANG Yun-jian, *et al.* VC + + Digital Image Processing(2th) [M]. Beijing: Post & Telecom Press 462, 426 ~ 432. [何斌,马天宇,王云坚等. VC + + 数字图像处理(第

二版)[M]. 北京: 人民邮电出版社, 462, 426 ~ 432. ]  
 2 Pratt William K. Digital image processing(3th) [M]. New York: Published by Jone Wiley & Sons, Inc. 387 ~ 391. [(美)William K. Pratt 数字图像处理(原书第三版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 387 ~ 391. ]