



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200810031809.5

[43] 公开日 2008 年 12 月 31 日

[11] 公开号 CN 101334844A

[22] 申请日 2008.7.18

[21] 申请号 200810031809.5

[71] 申请人 中南大学

地址 410083 湖南省长沙市麓山南路 1 号

[72] 发明人 阳春华 桂卫华 周开军 许灿辉
唐朝晖 刘金平 程翠兰

[74] 专利代理机构 中南大学专利中心
代理人 胡燕瑜

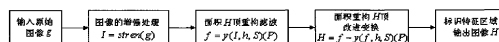
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 2 页

[54] 发明名称

用于浮选泡沫图像分析的关键特征提取方法

[57] 摘要

用于浮选泡沫图像分析的关键特征提取方法，本发明通过构建浮选泡沫图像采集平台，以工业摄像机获取泡沫图像基础，采用在 RGB、HSV 颜色空间提取相对红色分量及 H 分量颜色特征，结合形态学操作与分水岭方法分割泡沫图像并提取尺寸特征，通过计算泡沫全反射点提取承载量特征，采用图像块的相关性分析方法提取泡沫速度特征。本发明可用于浮选泡沫图像分析、矿物浮选过程工艺参数及回收率预测，实现浮选生产操作优化，减少矿物资源浪费。



1. 用于浮选泡沫图像分析的关键特征提取方法，其特征在于：将摄像机垂直安装于浮选槽上方，高度范围为 80-120cm，与摄像机的水平距离范围为 5-10cm，提取泡沫的泡沫颜色、气泡尺寸、泡沫速度及承载量四个关键特征，具体过程如下：

(1) 在 RGB 颜色空间提取相对红色分量，以及在 HSV 颜色空间提取 H 色调分量，其中提取相对红色分量方程为：

$$\text{相对红色分量} = \frac{\text{Red}_{\text{mean}} - \text{Grey}_{\text{mean}}}{\text{Grey}_{\text{mean}}}$$

式中 Red_{mean} 为红色分量平均值， $\text{Grey}_{\text{mean}}$ 为灰度值的平均值，RGB 分别为泡沫图像的红绿蓝分量；

(2) 根据下式将图像转换成灰度化图像：

$$\text{Grey} = W_R R + W_G G + W_B B$$

其中 W_R 、 W_G 、 W_B 分别为 RGB 的权值，取 $W_R=0.3$ 、 $W_G=0.59$ 、 $W_B=0.11$ ，对图像进行增强处理，采用形态学中 Top-Hat 变换和面积形态 H 顶重构方法，构造面积重构 H 顶改进变换，为分水岭变换提供标识信息，进而对浮选泡沫图像求反的结果为拓扑表面，其分水线即为气泡边缘，其中结构元素为 3×3 椭圆状结构，面积阈值为 3；

(3) 对于在浮选过程中大量移动的泡沫，泡沫局部形变而导致以不同的速率移动，采用图像块的相关性分析检测整个泡沫图像的平均速率，首先将 RGB 图像转换成灰度图像，公式为： $\text{Grey}=0.299 \times R + 0.587 \times G + 0.114 \times B$ ，在灰度图像中像素的诊断窗口大小为 32×32 ，搜索 8 个方向图像灰度值，取得最大互相关系数值的区域，连续计算 10 帧泡沫速度，求取平均速度；

(4) 采用扫描标号法对泡沫图像中互不连通的气泡中心亮点进行标号，测量各亮点的面积，对相同标号的像素点进行累加，得到每个亮点的像素点总面积，根据下式计算反射面积与泡沫图像面积的比例得到气泡承载量：

$$\text{BL} = \frac{S_{\text{r}}}{S_{\text{im}}} \times 100\%$$

式中 S_{tr} 为全反射面积， S_{im} 为泡沫图像面积， BL 为气泡承载量。

2. 根据权利要求1所述的用于浮选泡沫图像分析的关键特征提取方法，其特征在于所述构造面积重构 H 顶改进变换的具体步骤为：

(1) 根据指定参数 h 和 S ，用面积重构 H 开操作滤除掉小面积和低对比度的区域；

(2) 对滤波结果做面积重构 H 顶开变换；

(3) 将变换结果中所有非零点组成的集合作为特征区域输出。面积重构 H 顶改进开变换是对图像高亮度区操作，而对偶的闭运算是对其暗的区域操作。

3. 根据权利要求1所述的用于浮选泡沫图像分析的关键特征提取方法，其特征在于：所述的统计气泡尺寸范围为 $[2\text{mm}, 50\text{mm}]$ ，采用连续计算10帧作为泡沫平均速度，计算速度范围为 $[-20\text{cm/s}, +20\text{cm/s}]$ 。

用于浮选泡沫图像分析的关键特征提取方法

[技术领域] 本发明涉及选矿过程中的图象处理方法，具体为浮选泡沫图像的关键特征提取方法，特别是轻金属浮选的泡沫特征提取。

[背景技术] 浮选是矿物加工中应用最广泛的一种选矿方法，它涉及到极其复杂的物理化学过程。一直以来，有经验的操作工人通过观察浮选槽泡沫特征，调节浮选操作，但由于操作人员的轮换、人眼观察的主观性，不能对泡沫状态做出准确判断，从而导致浮选过程不能处于最优运行状态。

浮选现场环境恶劣，光照不均，泡沫尺寸细小，气泡之间粘连，甚至出现堆积现象，气泡边缘及背景区域不明显，这给泡沫颜色和尺寸特征提取带来困难。此外，由于泡沫图像无背景、气泡数量多、流速快且产生形变，常规方法难以适用于速度特征提取。

[发明内容] 本发明的目的在于解决浮选泡沫特征不明显，且难以定量描述的问题，提供一种用于泡沫图像特征分析的关键特征提取方法，为矿物浮选过程的图像分析及指标预测提供有效信息。本发明采用摄像机、光源、图像采集卡、计算机及其附属部件构成系统硬件平台，由此获取浮选槽泡沫图像，并提取泡沫特征，系统软件采用 C++编程语言开发。本发明主要内容如下：

首先通过一系列硬件设备，如：计算机 PC、照明系统、CCD 彩色摄像机、图像采集卡及光纤构建泡沫图像获取平台。摄像机获取的视频信号经光纤传输至图像采集卡，随之转换为数字图像送往计算机，再由计算机对采集到的泡沫图像进行特征分析计算。

在 RGB 和 HSV 空间提取泡沫颜色特征，采用 h 顶开重构的改进变换及分水岭方法分割泡沫图像，进而根据像素比例提取起泡尺寸特征，根据图像块跟踪及相关性分析方法提取泡沫速度特征，最后利用泡沫全反射点提取泡沫承载量特征。

通过关键特征提取方法提取的泡沫特征，有效地解决了浮选泡沫特征难以定量描述的问题，在对浮选工艺参数与指标预测时，预测精度分别为 97.5% 和 95%。

[附图说明]

图 1 为本发明浮选泡沫图像分析系统硬件结构示意图；

图 2 本发明标识图像提取流程。

图 3 本发明泡沫图像分割流程。

图 4 本发明图像块跟踪及相关性分析。

[实施实施方式]

实施例 1 泡沫图像分析系统硬件结构如图 1 所示，主要由摄像机 1、光源 2、光纤 3、图像采集卡 4、计算机 5 构成。彩色 CCD 摄像机 1 垂直安装于浮选槽 7 上方，高度为 80-120cm，且与泡沫槽 8 的水平距离为 200cm，系统光源 2 为 200W 高频荧光灯，与摄像机 1 的水平距离为 5-10cm。摄像机 1 获取泡沫层 6 图像，将视频信号数字化并转换成光信号，通过光纤 3 传输到图像采集卡 4，转化为格式为 RGB-24bits 的数字图像信号然后读入计算机 5，图像处理程序通过图像采集卡 4 的底层驱动接口获取泡沫图像，图像分辨率为 1024×768。

图像特征提取方法具体实现如下：

泡沫颜色，在 RGB 颜色空间提取相对红色分量及在 HSV 颜色空间提取色调 H，结合两个颜色值表示泡沫颜色。工业应用中，H 表示不同的颜色，S 取值范围[0, 1.0]，对应从不饱和到全饱和（无白色）；V 取值范围[0, 1.0]，对应色彩由暗到亮。首先根据式（1）在 RGB 颜色空间提取相对红色分量，然后根据式（2）将该颜色空间转换成 HSV 空间，提取色调 H。

$$\text{相对红色分量} = \frac{\text{Red}_{\text{mean}} - \text{Grey}_{\text{mean}}}{\text{Grey}_{\text{mean}}} \quad (1)$$

$$V = \frac{R+G+B}{3}$$

$$S = 1 - \frac{3}{R+G+B}(\min(R, G, B)) \quad (2)$$

$$H = \cos^{-1} \left[\frac{(R-G) + (R-B)}{2\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right] \quad R \neq B \text{ 或 } G \neq B$$

气泡尺寸，采用形态学开运算和面积重构操作对图像进行预处理；用基于 h 顶开重构的改进变换为分水岭变换提供标识点从而完成泡沫图像的分割；采用分水岭算法标记气泡连通区域的骨架图像，计算每个连通区域的像素数

目，由此得到泡沫图像的尺寸。

根据泡沫颜色分量的重要性赋予 RGB 不同的权值，得到图像灰度值的加权平均，即：

$$Grey = W_R R + W_G G + W_B B \quad (3)$$

其中 W_R 、 W_G 、 W_B 分别为 RGB 的权值，取 $W_R=0.3$ 、 $W_G=0.59$ 、 $W_B=0.11$ 。

泡沫图像 $f(x,y)$ 的灰度范围为 $[a,b]$ ，经线性变换(对比度扩展)的图像 $g(x,y)$ 的灰度范围为 $[c,d]$ ，则原始图像和变换后的图像关系由式(4)表示：

$$g(x,y) = c + \frac{d-c}{b-a}(f(x,y)-a) \quad (4)$$

其中 a 、 b 由直方图求得， c 、 d 为映射到的灰度范围。

结合形态学中 Top-Hat 变换和面积形态 H 顶重构方法，构造面积重构 H 顶变换及其改进变换，为分水岭变换提供标识信息。Top-Hat 变换算子定义为：

$$HAT(f) = f - (f \circ B) \quad (5)$$

式中“ \circ ”表示开运算操作， f 为原图像， B 为 3×3 椭圆状结构元素。

根据 Top-hat 变换与面积形态 H 重构，定义灰度图像的面积重构 H 顶开变换：

$$\forall p \in D, H(g, h, S) = g(p) - \omega(g, h, S)(p) \quad (6)$$

式中面积阈值 $S=3$ ，利用对偶特性可得到相应的面积重构 H 顶闭算子，当取参数 $h=0(f=g)$ 时，面积重构 H 开闭操作将简化为面积滤波开闭操作，面积重构 H 顶变换等同于基于面积滤波的 hat 变换。

面积重构 H 顶改进开(闭)变换实现步骤如下：

(1) 根据指定参数 h 和 S ，用面积重构 H 开(闭)操作滤除掉小面积和低对比度的区域。

(2) 对滤波结果做面积重构 H 顶开(闭)变换。

(3) 将变换结果中所有非零点组成的集合作为特征区域输出。面积重构 H 顶改进开变换是对图像高亮度区操作，而对偶的闭运算是对其暗的区域操作。

采用面积重构 H 顶改进开变换提取分水岭变换标识点，对浮选泡沫图像求反的结果为拓扑表面，其分水线即为气泡边缘，具体过程见图2，其中在求取

分水岭变换的拓扑表面时，采用双队列方法，具体步骤如下：

(1) 根据面积重构 H 顶改进开变换对浮选泡沫图像反转图中各项区域赋予不同的编号。记录下各区域边缘点的灰度值，并进行排序，得到数列 L ；

(2) 取出数列 L 中的最小灰度值(L_{min})，取 L_{min} 为当前搜索灰度值 h ，并将图像中的对应点加入到队列 K ；表明有一个新的种子点参加生长；

(3) 比较 L_{min} 是否等于当前搜索灰度值 h ，如果相等转到步骤2，否则执行步骤4；

(4) 搜索队列 K 中各点(K_p)的八邻域 $N_{K_p}(i)$ ，如果 $N_{K_p}(i)$ 的灰度小于等于 $h+1$ ，就赋予和 K_p 相同的编号，即认为和点 K_p 属于同一目标，如果某点同时被赋予不同的编号，就定为边界点；如果点 K_p 的八邻域都已经被编号，那么点 K_p 就可以从对列 K 中移出；

(5) 将新赋值的非边界点加入到队列 K ；重复执行步骤4，直到没有新点加入队列 K ；

(6) 如果当前搜索灰度小于图中最高灰度值，则 $h=h+1$ ，并返回执行步骤3，否则结束搜索；

基于面积重构 H 顶改进变换和分水岭变换的浮选泡沫图像分割算法具体流程见图3。由相机分辨率、工作距离及视场确定象素比例，根据分割区域即可计算起泡泡尺寸特征。

对于在浮选过程中大量移动的泡沫，泡沫局部形变而导致以不同的速率移动，采用图像块的相关性分析检测整个泡沫图像的平均速率。泡沫速度求取原理的定义式为：

$$u_x = \lim_{\Delta t} \frac{x_2 - x_1}{\Delta t} \quad (7)$$

$$u_y = \lim_{\Delta t} \frac{y_2 - y_1}{\Delta t} \quad (8)$$

其中 Δt 为连续两帧图像的时间间隔， x_1 ， x_2 ， y_1 和 y_2 分别为 Δt 前后的泡沫坐标位置， u_x 和 u_y 分别为泡沫速度分量。当 Δt 足够小时泡沫位移也足够小，从而测量的速度极限值能很好的近似该时间点泡沫速度。

为了跟踪同一气泡区域，采用如图4所示方法，首先将RGB图像转换成灰度图像，公式为： $Grey=0.299 \times R + 0.587 \times G + 0.114 \times B$ 。在灰度图像中任意取一个 32×32 象素的诊断窗口，区域内的相邻气泡具有基本相同的运动矢量，气泡在连续两帧图像中将保持基本相同的形状。分别在 T_0 和 T_1 时刻的连续两帧泡

沫图像中同一位置处各取一个诊断窗口 W_1 、 W_2 ，计算两个窗口的相关系数，其定义为：

$$C = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [f(k,l) - f_m][g(k+m,l+n) - g_m]}{\sqrt{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [f(k,l) - f_m]^2 [g(k+m,l+n) - g_m]^2}} \quad (9)$$

式中 f 、 g 分别为两个窗口的灰度分布函数， f_m 、 g_m 分别为两个窗口的灰度平均值。第一帧中目标的位置为 x_0 、 y_0 ，其灰度值为 V ，在第二帧图像中，在 x_0 、 y_0 的位置跟踪8个方向泡沫的灰度值，取得最大互相关系数值的区域，即为同一泡沫区域。由两个泡沫区域的形心坐标，即可求得泡沫在时间间隔 Δt 时段内的位移，进而求出运动速度。为避免单帧图像的随机误差，连续计算10帧图像的速率，求取这些值的平均值作为最终泡沫速率。

泡沫承载量，在泡沫图像中，含大量矿物的泡沫往往没有全反射点，首先采用扫描标号法对泡沫图像中互不连通的亮点（气泡中心）进行标号，测量各亮点的面积，其方法是对相同标号的像素点进行累加，得到每个亮点的像素点总面积，然后根据式（10）计算气泡总面积与泡沫图像面积的比例得到气泡承载量。

$$BL = \frac{S_{tr}}{S_{im}} \times 100\% \quad (10)$$

式中 S_{tr} 为全反射面积， S_{im} 为泡沫图像面积， BL 为气泡承载量。

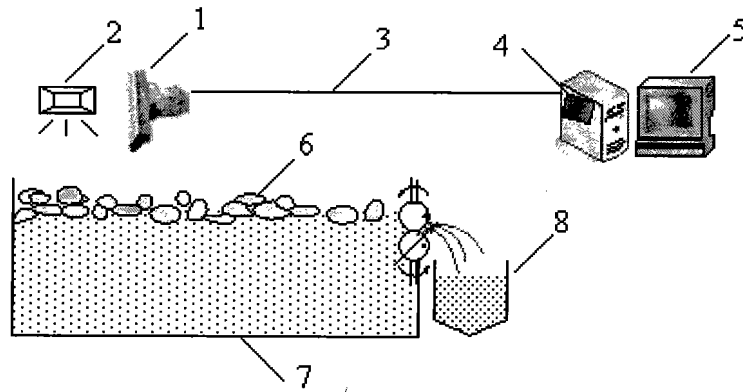


图 1

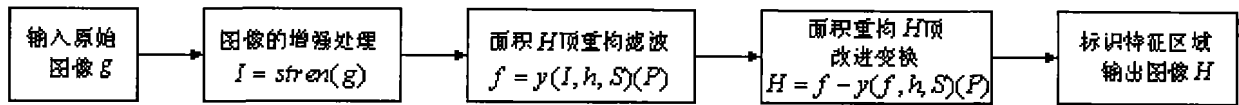


图 2

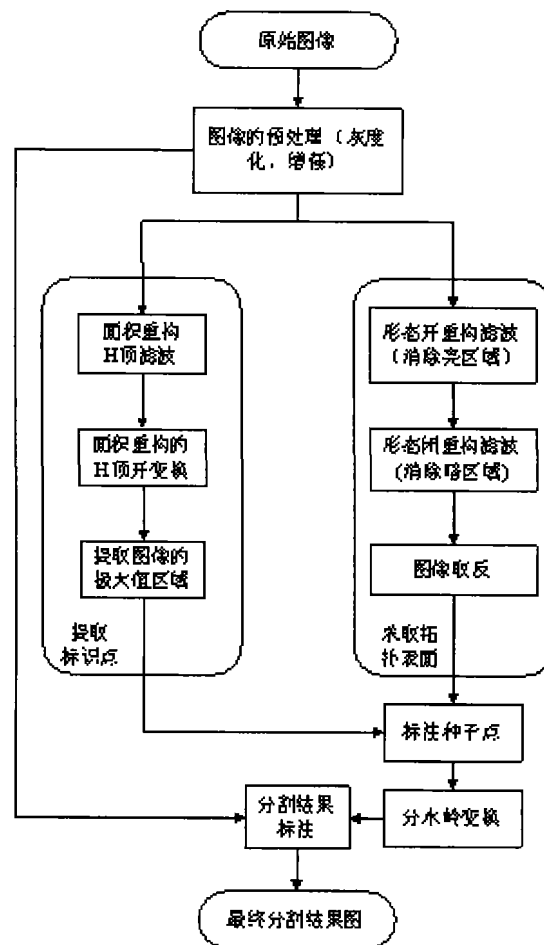


图 3

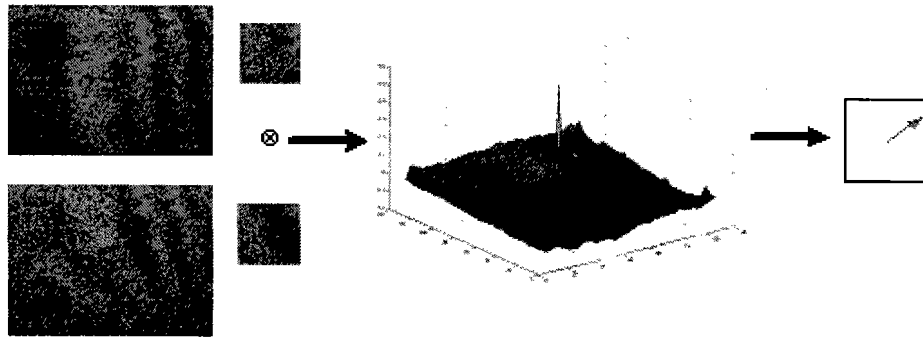


图 4