

doi: 10.11830/ISSN.1000-5013.201604006



采用二次灰度直方图的砂轮 磨粒图像阈值分割

吴文艺¹, 崔长彩¹, 叶瑞芳², 张勇贞¹, 余卿²

(1. 华侨大学 制造工程研究院, 福建 厦门 361021;

2. 华侨大学 机电及自动化学院, 福建 厦门 361021)

摘要: 为了解决金刚石砂轮表面磨粒灰度直方图阈值分割方法对区域划分存在误分割的缺陷, 提出一种基于二次灰度直方图连通区域标记磨粒图像分割方法. 首先, 将原始金刚石磨粒图像转换为灰度图像, 并对其滤波处理消除噪声. 其次, 设定阈值完成第一次直方图阈值分割, 消除较小结构暗细节. 然后, 标记各个连通区域, 填上不同的颜色. 最后, 设定阈值完成第二次直方图阈值分割, 获取感兴趣目标磨粒区域. 结果表明: 文中方法可将感兴趣目标磨粒与背景分离, 得到较好的分割效果和较高的分割效率.

关键词: 金刚石磨粒; 区域标记; 灰度直方图; 阈值分割

中图分类号: TP 391.41

文献标志码: A

文章编号: 1000-5013(2016)04-0422-05

Image Segmentation Method Using Second Time Gray Level Histogram of Connected Component Labeling of Grinding Wheel Abrasives Grains

WU Wenyi¹, CUI Changcai¹, YE Ruifang²,
ZHANG Yongzhen¹, YU Qing²

(1. Institute of Manufacturing Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China;

2. College of Mechanical Engineering and Automaton, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: In this work, an approach based on two gray levels histogram connected components labeling was proposed to reduce the undesirable effects of blurred segmentation of abrasive grains on the surface of diamond grinding wheels using traditional gray histogram method. This developed approach includes following steps. Firstly, an original diamond grain image was transformed into gray image and the noise was filtered and removed. Secondly, the obtained grey image was segmented by setting a proper threshold value to eliminate smaller structures. Thirdly, different connected components were labeled with different colors. Finally, another threshold was set to complete the second histogram segmentation and extract the target grain region of interests. A case study indicated that the proposed method can precisely and efficiently segment the target grains from background.

Keywords: diamond grain; component labeling; gray histogram; threshold segmentation

金刚石磨粒砂轮是重要的超硬磨料工具, 砂轮表面磨粒的分布状态和磨粒的参数特征对磨削加工过程和最终加工产品表面质量具有重要的影响^[1]. 对磨粒的测量和识别是监测砂轮磨粒状态和优化加

收稿日期: 2015-11-13

通信作者: 崔长彩(1972-), 女, 教授, 博士, 主要从事精密测量技术及光学仪器的研究. E-mail: cuic@hqu.edu.cn.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51475176, 51505162); 华侨大学研究生科研创新能力培育计划资助项目(1400203055)

工参数的基础,而图像分割是图像分析和模式识别的前提^[2-3].目前,图像分割主要有阈值化图像分割、基于边缘的图像分割、基于区域的图像分割和基于人工智能的图像分割等基于特征的方法^[4].各种方法都有优势和不足,主要问题是一种方法不能胜任对所有图像的分割,不同方法对同一图像的处理效果不同,而且缺少分割算法选择准则.阈值法因实现简单、计算量小、性能较稳定等优点而被广泛采用^[5].但是,灰度直方图阈值分割法对区域划分存在缺陷,即误分割.因此,如何确定分割阈值、提高图像分割效果一直是图像处理研究的热点问题^[6].本文提出一种基于二次灰度直方图连通区域标记磨粒图像分割方法,根据所要提取的目标磨粒与背景结合剂在灰度特性上的不同,运用连通区域标记法填上不同的颜色^[7],分两次选取合适的灰度阈值对图像进行分割,从而获取感兴趣的目标区域.

1 二次阈值图像分割法

1.1 灰度直方图分析法

设一幅图像的灰度级长度为 L ,其灰度级范围为 $i=0,1,\cdots,L-1$.当灰度级大小为 i 时,在图像中对应的像素数为 n_i ,则图像总像素 N 为

$$N = \sum_{i=0}^{L-1} n_i = n_0 + n_1 + \cdots + n_{L-1}. \tag{1}$$

设一幅图像的宽为 m ,高为 n ,则图像的大小为 $m \times n$,即有 $N=m \times n$.灰度级 i 出现的概率为

$$P_i = \frac{n_i}{N} = \frac{n_i}{n_0 + n_1 + \cdots + n_{L-1}}. \tag{2}$$

当图像的灰度直方图有明显的 2 个波峰,且这 2 个波峰间形成一个凹槽低谷,说明目标和背景在图像的灰度上各自形成一个波峰,低谷代表背景区与目标区的边界.因而,选择低谷处所对应的灰度值为阈值,可以较好地将 2 个区域分离^[8].因为处理的对象图像灰度直方图具有两个较为明显的波峰,所以在第一次灰度直方图的阈值设定时,采用双峰直方图阈值确定方法,标记各个连通区域后,使第二次灰度直方图变为单峰直方图.

1.2 阈值选择算法原理

将图像上某一像素值 P_i 与其邻域区间 P_l 内的最小像素值 $P_{l,\min}$ 、次小像素值 $P_{l,\min s}$ 、最大像素值 $P_{l,\max}$ 、次大像素值 $P_{l,\max s}$ 进行比较.如果像素值 P_i 小于其邻域区域内的最小像素值 $P_{l,\min}$,或者像素值 P_i 等于其邻域区域内的最小像素值 $P_{l,\min}$,同时, P_i 也小于其邻域区域内次小值 $P_{l,\min s}$,则可判断 P_i 为谷点,从而找到合适的阈值点^[9].

1.3 双峰灰度直方图

设 $f(x,y)$ 是大小为 $m \times n$ 的灰度图像上的一个像素点,其中,目标区域和背景区域的灰度级分布概率密度分别表示为 $p_1(i)$ 和 $p_2(i)$, λ 为目标像素数与图像总像素数的比值.图像直方图 $p(i)$ 表示为

$$\mu = \sum_{y=1}^n \sum_{x=1}^m f(x,y)/(m \cdot n), \tag{3}$$

$$\sigma^2 = \sum_{y=1}^n \sum_{x=1}^m [f(x,y) - \mu]^2/(m \cdot n), \tag{4}$$

$$p(i) = \lambda \cdot p_1(i) + (1 - \lambda) \cdot p_2(i) = \theta \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_1}} \times \exp[-\frac{(i-\mu_1)^2}{2\sigma_1^2}] + (1 - \lambda) \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_2}} \exp[-\frac{(i-\mu_2)^2}{2\sigma_2^2}]. \tag{5}$$

式(3)~(5)中: i 表示图像灰度级; μ_1 和 μ_2 分别为目标和背景的灰度均值; σ_1 和 σ_2 分别为目标和背景灰度的标准偏差.

在设定双峰灰度直方图阈值时,阈值的设定和选取至关重要.阈值设得过高,目标物体点可能会被作为背景;反之,则容易发生将背景点当作目标点^[10].

1.4 二值化图像处理

将多灰度级图像转化为只有 2 个灰度级 0,1 组成的二值化图像,即整个图像只呈现出黑色和白色

2 种颜色的表现效果. 一般地, 0 代表背景区域, 1 表示目标区域. 如果图像 $f(x, y)$ 的灰度范围是 (T_1, T_2) , 设 t 为 T_1 和 T_2 之间的一个阈值, 那么

$$f(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) \geq t, \\ 0, & f(x, y) < t. \end{cases} \tag{6}$$

式(6)中: $f(x, y)$ 为二值图像的灰度级, 即 0 或 1.

1.5 形态学闭运算

形态学闭运算用于消除小于结构元素的背景细节, 即小部分的暗色细节. 该运算的优点是大于结构元素的目标基本保持原有大小. 采用一个结构元素, 对图像进行先膨胀后腐蚀的运算^[11], 定义为

$$F \oplus S = \{x, y \mid S_{x, y} \cap F \neq \emptyset\}, \tag{7}$$

$$F \ominus S = \{x, y \mid S_{x, y} \subseteq F\}, \tag{8}$$

$$F \cdot S = (F \oplus S) \ominus S. \tag{9}$$

式(7)为膨胀运算, 式(8)为腐蚀运算, 式(9)为闭运算. 式(7)~(9)中: “ \oplus ”为膨胀算子; “ \ominus ”为腐蚀算子; “ \cdot ”为闭运算算子; F 为待处理的二值图像; S 为运算中所需的结构元素. 假设结构元素 S 在坐标原点处, 当其移动到坐标为 (x, y) 的位置时, 记为 $S_{x, y}$.

1.6 算法计算流程

金刚石砂轮磨粒图像分割流程, 如图 1 所示. 根据处理对象选择双峰型直方图, 并经过两次阈值分割和形态学运算及连通域标记, 实现磨粒的清晰提取分割.

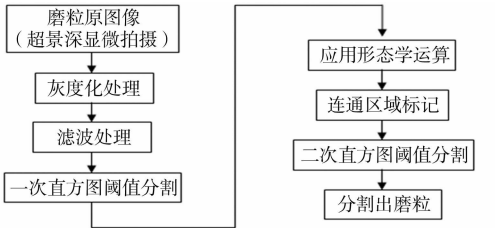


图 1 磨粒图像分割流程

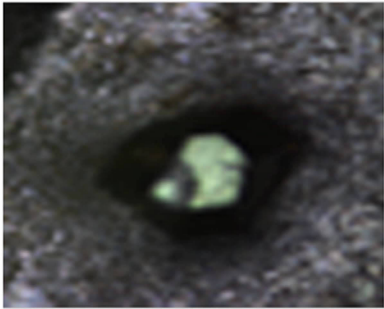
Fig. 1 Flow chart of grain image segmentation

2 实验与分析

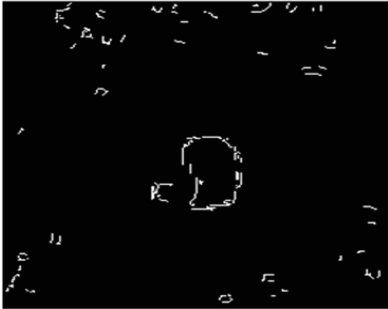
选用粒度号为 120/140 的金刚石磨粒砂轮, 测量设备为超景深测量系统, 处理的图像像素大小为 $250 \text{ px} \times 250 \text{ px}$. 在 32 位操作系统、双核 2.93 GHz 处理器、2 GB(1 066 MHz)内存的戴尔台式机上, 应用 Matlab 软件对图像进行计算分析. 编写图像分割程序, 将文中方法与几种图像分割方法的分割效果和分割效率进行比较.

3 种经典算法的分割结果, 如图 2 所示. 由图 2(b)可知: 磨粒边缘提取出现较多的非目标区域边缘. 由图 2(c)可知: 基于 Ostu 算法的图像分割的最终分割结果出现部分误分割, 不便于标记目标磨粒, 背景中与目标具有相近强度的部分也被分割出来作为目标. 由图 2(d)可知: 基于贝叶斯算法的图像分割结果与 Ostu 算法相似都存在较多的误分割, 也不便于标记目标磨粒.

文中基于二次灰度直方图连通区域标记的图像分割的具体分割结果, 如图 3 所示. 磨粒图像左上方存在光线不足区域, 计算第一次灰度直方图(图 3(b)), 完成第一次灰度直方图阈值分割并消除较小结构暗细节后, 图像剩余 4 块连通区域, 对这些连通区域进行标记, 使其填充上不同颜色. 光线不足区域与磨粒模糊区域被填充上相同的颜色, 计算第二次灰度直方图(图 3(e)), 二次灰度直方图为单峰直方图, 因单峰直方图灰度级单一, 背景占据了图像的大部分比例, 而目标所占的比例相对较小. 因此, 根据直方图呈现的各灰度级占据个数的分布情况, 选择属于目标灰度级范围内的任意一级设为阈值, 完成第二次



(a) 原图



(b) Canny 算子边缘检测

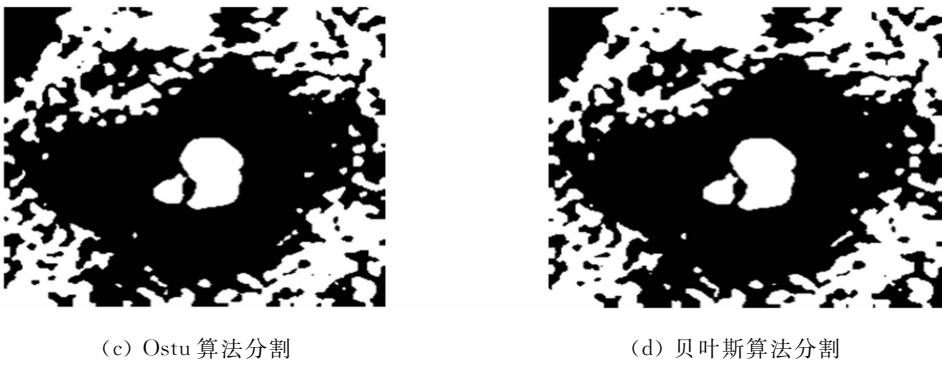


图 2 3 种经典算法的分割结果

Fig. 2 Segmentation results of the three kinds of classical algorithms

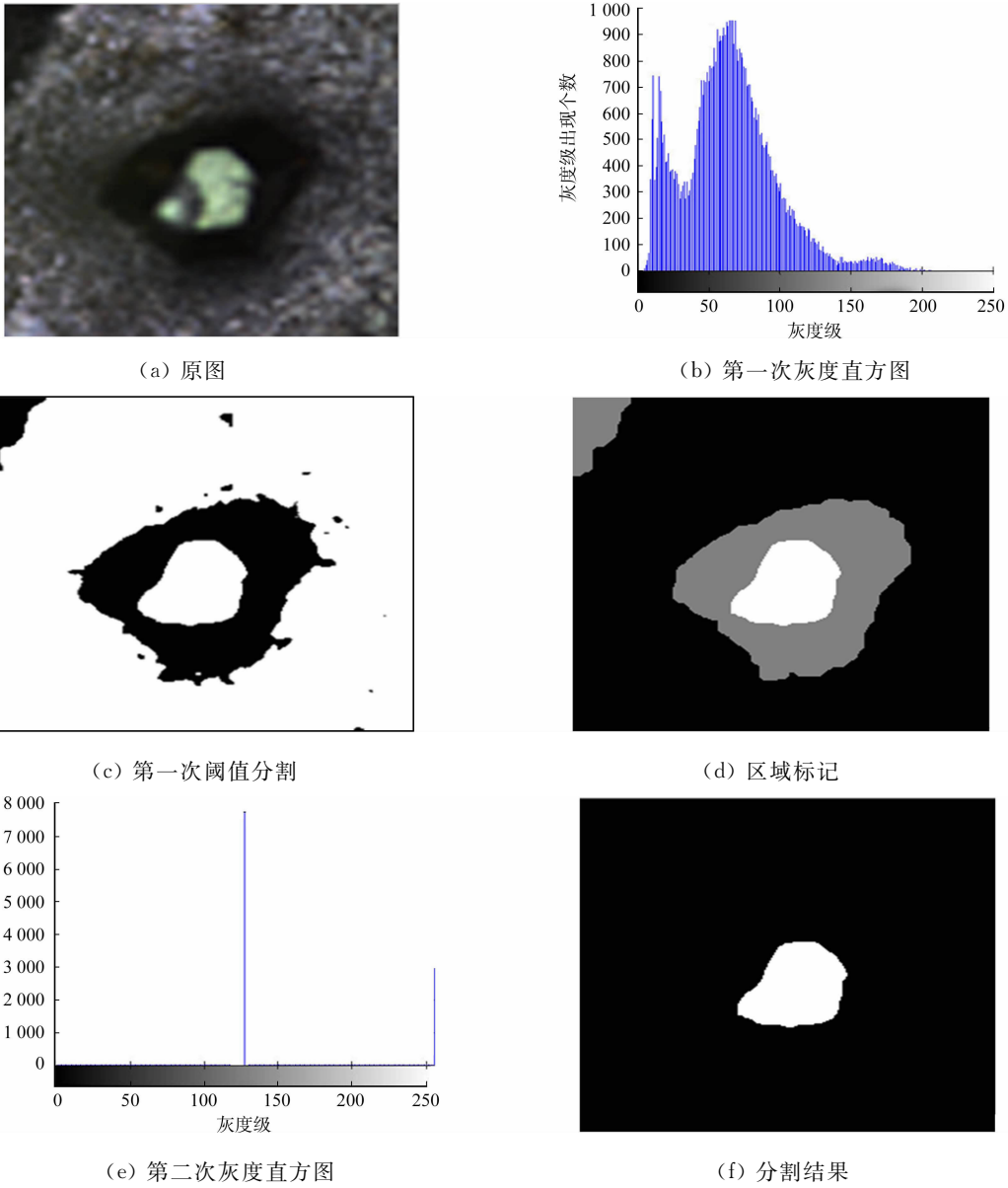


图 3 文中方法的具体分割结果

Fig. 3 Concrete segmentation results of our method

直方图阈值分割,对图像进行第二次灰度直方图阈值分割,最终将目标磨粒清晰区域分割出来.与其他 3 种算法相比,文中方法能将感兴趣目标磨粒清晰区域完整分割出来,得到较好的分割效果.

Canny 算子、Otsu 算法、贝叶斯算法和文中算法对磨粒图像分割所需要的时间分别为 2.73,0.18,

0.73, 0.19 s. 由此可知: 文中方法在整个图像分割过程中用时与 Otsu 算法相当, 而 Canny 算子用时最长. 与其他 3 种算法相比, 在兼顾分割精度的同时, 文中算法具有花费较少时间的优势.

3 结论

图像分割的目的是将图像中感兴趣目标区域和背景区域分离, 以便进行深入的图形分析和处理, 如特征尺寸计算和模式识别. 阈值化图像分割是通过阈值将各像素进行分类的过程, 主要根据物体和背景的灰度差异确定阈值. Otsu 算法、贝叶斯算法和文中算法属于这类方法, 其关键在于阈值的确定, 这种方法较为简单, 计算量较少. 而边缘检测图像分割是根据图像局部特性的不连续性, 所要确定的边缘是在灰度或结构等信息的突变处, 这种分割适用于目标与背景间有明显的边缘突变. Canny 算子属于这种方法. 基于区域的图像分割是根据像素的相似性构成区域, 再由图像空间局部特征进行区域划分. 基于人工智能图像分割是根据人工智能的方法获取某一图像分割参数, 如图像灰度、纹理和颜色等分割图像, 具有克服不确定性因素和转为能量最小化问题的能力.

文中对砂轮表面金刚石磨粒图像进行分析, 针对灰度直方图阈值分割方法对区域划分存在误分割这一缺陷, 提出基于二次灰度直方图连通区域标记图像分割方法. 实验结果表明: 文中方法对目标磨粒与背景进行分割能够得到较好的分割效果, 且具有较高的分割效率.

参考文献:

- [1] 周丽君. 基于垂直扫描白光干涉测量法的砂轮磨粒测量及评定[D]. 厦门: 华侨大学, 2013: 1-16.
- [2] KHAN J F, BHUIYAN M A, ADHAMI R R. Image segmentation and shape analysis for road-sign detection[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2011, 12(1): 83-96.
- [3] DESHMUKH K S. Color image segmentation: A review[C]// Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers Conference Series. Singapore: ISPE, 2010: 7546(4-6).
- [4] 黄长专, 王彪, 杨忠. 图像分割方法研究[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(6): 76-79.
- [5] 李森, 杨恢先, 张建波, 等. 改进二维直方图区域划分的阈值分割方法研究[J]. 光电子·激光, 2013, 24(7): 1426-1433.
- [6] 钱卫星, 黄丽亚. 二维 Otsu 自适应阈值快速算法的改进[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2015, 36(4): 427-431.
- [7] AL-KHISHALI M, AL-JUBOORI H. Automatic identification of grains of material samples[C]// International Conference on Information Society. Toronto: IEEE Press, 2013: 42-47.
- [8] 梁华为. 直接从双峰直方图确定二值化阈值[J]. 模式识别与人工智能, 2002, 15(2): 253-256.
- [9] 卢建华. 基于直方图阈值法的遥感图像分割算法研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2013: 29-31.
- [10] 阳树洪. 灰度图像阈值分割的自适应和快速算法研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2014: 4-26.
- [11] 张立国, 杨瑾, 李晶, 等. 基于小波包和数学形态学结合的图像特征提取方法[J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(10): 2285-2290.

(责任编辑: 黄晓楠 英文审校: 崔长彩)