

文章编号: 1000-1220(2002)06-0721-05

Fisher 评价准则下的彩色磨粒图像自动分割

陈 果 左洪福

(南京航空航天大学 民航学院, 江苏 南京 210016)

摘 要: 本文针对彩色显微磨粒图像特征, 选择最大类间方差分割法, 并对其进行推广以应用于彩色图像分割。在详细分析各种彩色特征的前提下, 通过选择合适的正交彩色特征量 I_1 、 I_2 和 I_3 , 成功地进行了两类彩色磨粒图像分割和目标提取。同时, 本文提出了基于 Fisher 评价准则的彩色特征量自动选取技术, 通过比较 Fisher 准则函数的最大值以实现彩色特征量的自动选取, 避免了人的主观判断和决定, 最终实现了彩色磨粒图像的自动分割。算例表明了本文方法的有效性和稳健性。

关键词: 磨粒; 图像分割; 彩色特征; Fisher 评价准则

中图分类号: TP391.4; V233.4; V263.6

文献标识码: A

1 引言

机械领域的铁谱分析技术是机械设备故障诊断的重要分支, 其基本思路是通过识别机械系统润滑油中磨损微粒的磨损状态和种类达到对机械磨损故障进行诊断之目的。文献[1]将图像处理和模式识别理论运用于磨粒监测的铁谱分析技术, 开发了DMAS 智能化铁谱分析系统, 克服了传统铁谱分析技术误差大, 自动化程度低等缺点。显然, 在该系统中, 对磨粒图像的目标提取则又是磨粒识别的基础和前提。然而, 目前该系统还缺乏有针对性的有效磨粒图像分割技术, 而是依靠通用图像处理软件(如 photomagic 和 photoshop 等)来实现, 这对易于处理的玻片磨粒图像基本能满足要求, 但对膜片图像则需进行人工手动点选来提取, 因此很不可靠且自动化程度低。有鉴于此, 本文将针对各种复杂背景下的显微磨粒图像, 综合研究各种图像分割方法, 通过自动选择图像分割特征量的方法来实现彩色磨粒图像的自动分割, 从而达到磨粒图像的自动、有效和可靠分割的目的。该方法对增强 DMAS 系统的自动化程度有着极其重要的意义。

2 基于空间域聚类的图像阈值分割法

图像阈值分割是一种广泛使用的图像分割技术, 它利用了图像中要提取的目标和背景在灰度特性上的差异, 选择一个合适的阈值, 以确定图像中每一象素点应属于目标还是背景, 从而产生的二值图像。由此可见, 要从复杂背景中分辨出目标并将其形状完整地提取出来, 阈值的选取是关键。为此, 国内外学者针对这一课题进行了广泛深入的研究和大量实验, 提出了多种阈值选取方法^[2]。如直方图阈值分割、最大类间方差阈值分割、最大熵阈值分割以及模糊阈值分割等等。但是应该看到, 尽管目前已经存在许多图像阈值分割方法, 然而没有一种方法对所有的图像均能实现有效地分割, 也没有一种图像适用于所有的分割方法。因此根据具体图像特征选择特定的

图像分割方法应该是图像处理中的一个重要思路。

3 彩色磨粒图像分割

3.1 图像阈值分割法选取

对于彩色显微磨粒图像的分割, 其实是一个典型的单阈值分割问题。其目标是机械磨损颗粒在显微镜的反射和透射光作用下呈现的区域。在实验中^[3], 分别将黑色金属磨粒(如铁及其合金等)用玻片收集, 有色金属磨粒(如铜、铝及其合金等)用滤膜收集, 从而形成玻片图像和膜片图像, 一般玻片图像的目标可以靠其灰度加以区分, 而膜片图像的目标则需用彩色特征加以辨别。对于彩色磨粒图像, 其背景有时却会出现各种复杂的情形, 如噪声干扰、背景灰度不均匀等, 所以运用直方图阈值法将会使分割不可靠; 一维最大熵阈值分割对噪声很敏感, 二维最大熵阈值分割则又使问题变得更复杂, 且计算量大为增加; 模糊阈值分割法的缺点是窗口大小和资格函数的选取对图像的分割结果影响很大。对比起来, 由 Ostu 提出的最大类间方差阈值分割法是建立在最小二乘原理基础上的聚类分割, 其方法严密、原理简单, 是一种公认有效的传统图像分割方法, 其基本思路是将直方图在某一阈值处理分割成两组, 当被分成的两组的方差为最大时, 决定阈值。因此, 本文根据磨粒图像的特征选择了该方法。然而, 最大类间方差法是针对灰度直方图进行的图像分割, 有动态选取阈值实现目标自动提取的功能。但是彩色图像与灰度图像完全不一样, 如果只利用图像的灰度特征, 显然难于实现图像分割。事实上, 灰度也可以看成是彩色图像的一种特征, 如果能把握住彩色磨粒图像的主要特征, 并利用该特征的直方图来代替灰度直方图, 按同样的算法进行最大类间方差分割, 应该能对图像进行有效的颗粒目标提取。下面将首先对彩色图像的特征进行分析。

3.2 彩色图像特征选取

众所周知,彩色图像与灰度图像的描述不一样,灰度图像可以用标量来表示,而彩色图像通常要用三维矢量才能对其进行描述.描述彩色图像的坐标系有许多种,用哪一种才能更好地实现彩色图像目标提取呢?

Nevatia^[3]认为亮度 $D = R + G + B$ 和用比值 $r = R/D$, $g = G/D$ 比直接用 R, G, B 好; Ohlander^[4]则认为在 R, G, B 坐标系, Y, I, Q 坐标系和 D (亮度)、 S (饱和度)、 H (色调)坐标系这三种中的 Y, I, Q 最少使用,而 D, S, H 最有用.但由于 H 和 S 均为 R, G, B 的非线性变换,存在奇异点,在奇异点附近即使 R, G, B 的值有很小变化也会引起变换值有很大的跳动.所以从这点说,由 R, G, B 经线性变换法得到的彩色坐标系更为可取.

Ohta^[5]等人以动态K-L变换法找不同彩色区域,并由此得出一组适用于多种彩色图像分割的正交特征 I_1, I_2, I_3 ,即

$$\begin{cases} I_1 = (R + G + B) / 3 \\ I_2 = (R - B) / 2 \text{ 或 } (B - R) / 2 \\ I_3 = (2G - R - B) / 4 \end{cases} \quad (1)$$

显然, I_1, I_2, I_3 为 R, G, B 时的线性变换, I_1 实际上反映了图像的灰度特征, I_2 和 I_3 则反映了图象的彩色特征.因此,根据不同的图像选取不同的特征,在利用最大类间方差法进行图像分割时,只需将灰度直方图用 I_1 或 I_2 或 I_3 的直方图代替即可进行有效的分割.

3.3 彩色图像特征对图像分割的影响

在DMAS智能化铁谱分析系统中,通过彩色CCD摄像头和视频图像采集卡所获取的24位真彩色显微磨粒图像,基本上可以分为玻片图像和膜片膜片图像两类,计算中选择了—幅玻片图像(如图1a)和两幅膜片图像(如图2a和图3a),分别对应于磨粒图像1、2和3.其中图1(b,c,d),图2(b,c,d)和图3(b,c,d)分别为磨粒图像1、2、3的分割结果;所选取的正交彩色特征均分别为 I_1, I_2 和 I_3 .

从磨粒图像1的分割结果可以看出:如果选择 I_1 作为图像特征量,则图像的分割效果最佳(如图1b).如果选择 I_2 或 I_3 作为图像特征量,则效果均很差(如图1c和图1d).由此可见, I_1 是该彩色图像的主要特征, I_2 和 I_3 均不能作为图像特征;对比磨粒图像2的分割结果可以看到:如果选择 I_1 作为图像特征量,则根本不能有效分割图像(如图2b),如果选择

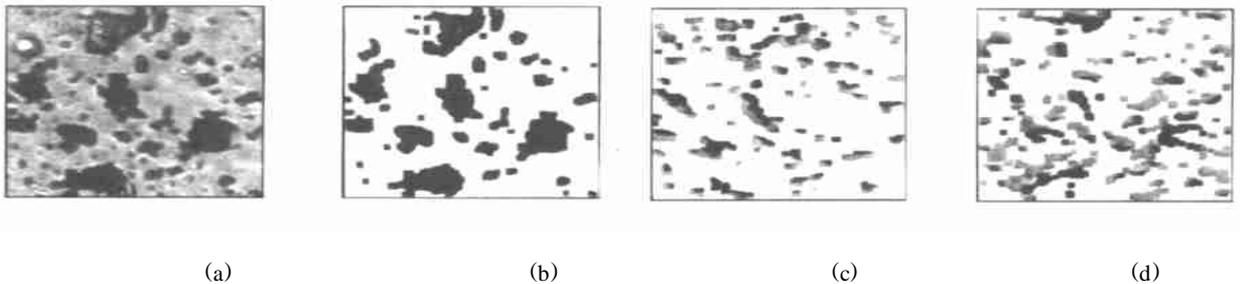


图1 彩色显微磨粒图像1

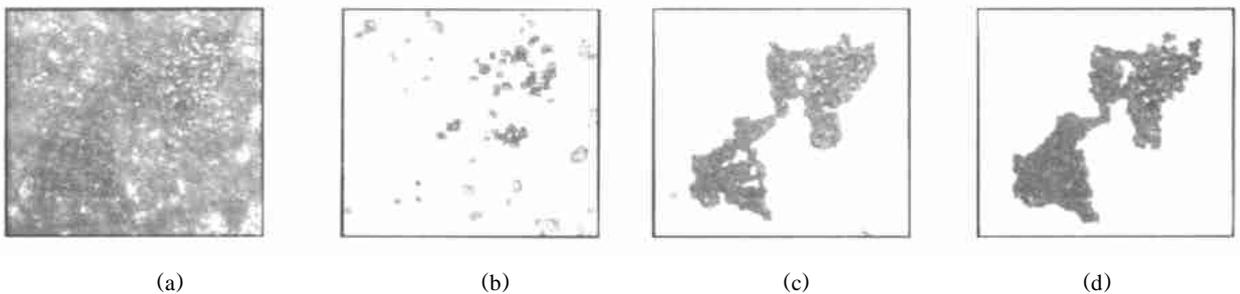


图2 彩色显微磨粒图像2

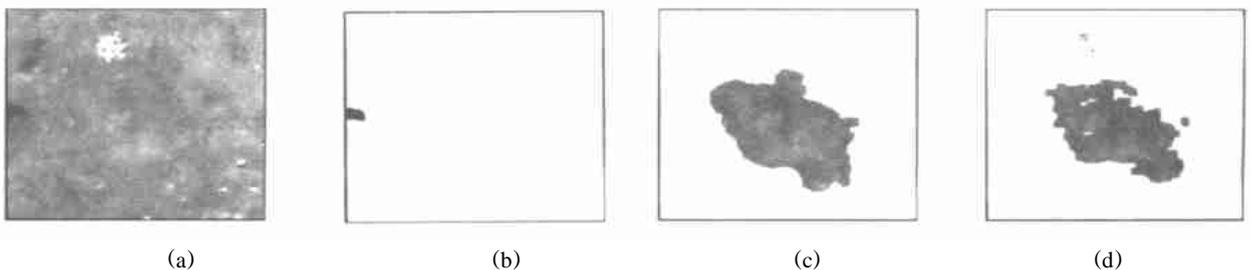


图3 彩色显微磨粒图像3

I_2 或 I_3 作为图像特征量, 则能实现有效分割, 其中 I_3 作为图像特征量效果最佳(如图 2d), 而 I_2 则次之(如图 2c). 由此可见, I_3 为该彩色图像的主要特征, I_2 是次要特征, 而 I_1 不能作为图像的特征量; 再对比磨粒图像 3 的分割结果可以看到: 如果选择 I_1 作为图像特征量, 则图像分割失败(如图 2b), 如果选择 I_2 或 I_3 作为图像特征量, 则能实现有效分割, 其中 I_2 作为图像特征量分割效果最佳(如图 3c), 而 I_3 则次之(如图 3d). 由此可见, I_2 为该彩色图像的主要特征, I_3 是次要特征, 而 I_1 不能作为图像的特征量

事实上, 从式(1)可以看出, 正交彩色特征量 I_1 、 I_2 和 I_3 反映的图像特征不一样, 其中 I_1 反映像素间的灰度差别, I_2 和 I_3 则反映像素间的颜色差别. 从磨粒图像 1 所代表的玻片磨粒图像可以看出, 目标和背景像素的主要区分在于其灰度的差别, 所以必须要用特征量 I_1 进行图像分割; 但是, 磨粒图像 2 和 3 所代表的膜片磨粒图像, 其目标和背景的主要区分在于其颜色, 所以必须要用特征量 I_2 或 I_3 进行目标提取, 由于 I_1 不是该类图像的特征, 因此, 如果将其作为特征量, 则必然不能提取出图像磨粒目标

4 彩色特征量的自动选取

从上面的分析结果可以看出, 不同的图像需要选择不同的彩色特征量才能进行正确的分割. 通常要实现一幅图像的有效分割, 有时需要选定不同的特征量来试探, 最后才能决定究竟选取那种特征才能达到最好的分割结果. 显然, 这种由人来进行彩色特征量的选取方法使系统的自动化程度大大降低, 因此, 在进行图像分割前, 实现彩色特征量的自动选择是非常重要的. 有鉴于此, 本文将引入模式识别理论中的 Fisher 评价函数作为判别准则以实现彩色特征量的自动选择

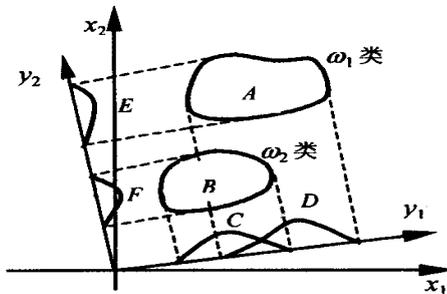


图 4 二维特征向量在直线上的投影

众所周知, 在模式识别理论^[6]中, 可以利用评价函数进行特征选择, 假设 n 维特征 X 在一直线上投影, 即研究使 n 维特征从 n 维减少到一维的情况. 这时, 如何选取投影直线, 才能使类间的距离最大呢? 如图 4 所示, 对于两个类别 ω 和 ω , 假定各类的特征是二维分布(图 4 中 A、B 部分), 将它们在 Y_1 和 Y_2 直线上投影时, 可以明显看出, 类间分离在 Y_2 直线方向上为好. 一般情况下, 特征向量 X 的线性组合 Y 可表示为

$$y = Y^T X \tag{2}$$

当 $Y = 1$ 时, 则 y 就是 X 向 Y 方向直线上的投影

图 4 中: A 表示 X 属于 ω 的分布; B 表示 X 属于 ω 的分布

布; C 表示 $Y_1^T X, X$ 属于 ω 的分布; D 表示 $Y_1^T X, X$ 属于 ω 的分布; E 表示 $Y_2^T X, X$ 属于 ω 的分布; F 表示 $Y_1^T X, X$ 属于 ω 的分布

另外, 属于 ω 类的特征向量 X 的平均值 μ_i 用式(3)表示

$$\mu_i = \frac{1}{n_{iX}} \sum_{X \in \omega_i} X \tag{3}$$

其中 n_i 表示属于 ω 类 X 的个数, 所以 y 的平均值 m_i 和 y 类别内的方差 σ_i^2 为

$$m_i = \frac{1}{n_{iX}} \sum_{X \in \omega_i} Y^T X = Y^T \mu_i \quad \sigma_i^2 = \frac{1}{n_{iY}} \sum_{y \in \omega_i} (y - m_i)^2 \tag{4}$$

显然, 为了能对 ω 和 ω 进行有效的识别, 两类的特征应该分得越开越好, 因此必须要用一个评价函数来衡量两个类别间的分离度, 著名的 Fisher 评价函数 $J(Y)$ 就是基于这个思想提出的, 它可以对两个类别间的分离度进行定量描述, 其定义为

$$J(Y) = \frac{|\mu_1 - \mu_2|^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \tag{5}$$

从式(5)可以看出, 当两个类别平均值间距离很大, 且各类方差很小时, $J(Y)$ 取最大值. 同时, 还可求得 $J(Y)$ 取最大值时所对应的最佳投影直线方向

从上述分析可以看出, Fisher 评价函数 $J(Y)$ 不仅可以获取 n 维特征的最佳一维投影方向, 而且它也是判定类别分离程度的有效准则. 本文将利用 Fisher 评价函数作为彩色特征量选择的准则, 众所周知, 在一幅图像中, 其像素点一般可以分为目标物和背景两类, 对彩色磨粒图像, 可以分别选择彩色特征量 I_1 、 I_2 和 I_3 计算图像的 Fisher 评价函数, 通过比较其最大值来确定最佳的彩色特征以进行分割. 显然图像的 Fisher 评价函数最大值越大, 该特征量对图像的分离程度越好. 下面将推导 Fisher 评价函数 $J(Y)$ 在图像分割中的表达式

设图像的灰度分布范围为 $0 \sim G$; 不失一般性, 假设图像仅由目标和背景两类像素组成, 其灰度均值分别为 μ_1 和 μ_2 , 方差分别为 σ_1^2 和 σ_2^2 , 则设图像灰度级按阈值 t 划分为目标和背景两类, 这里认为图像是由亮背景上的暗物体所组成, 因此凡是灰度级小于 t 的像素皆标认为目标物, 大于的像素皆作为背景. 设图像归一化直方图为 $h(i)$, ($i = 0 \sim G$), 目标物像素占全图像像素数比为 θ , 即目标和背景的先验概率分别为 θ 和 $1-\theta$. 则

$$\theta = \sum_{i=0}^t h(i) \tag{6}$$

$$\mu_1 = \sum_{i=0}^t h(i) i / \theta, \quad \mu_2 = 1 - \mu_1 \tag{7}$$

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=0}^t [i - \mu_1]^2 h(i) / \theta, \quad \sigma_2^2 = \sum_{i=t+1}^G [i - \mu_2]^2 h(i) / (1 - \theta) \tag{8}$$

在进行图像分割时, 必须考虑目标和背景像素的先验概率 θ 和 $1-\theta$. 另外为了使各彩色特征量间有统一的比较前提, 应该让 $\theta = 0$ 时, Fisher 评价函数均归为 1, 故设 $\theta = 0$ 时, $J(t) = J_0$, 所以在考虑了类别先验概率的情况下, 归一化后的 Fisher

评价函数应该为

$$J(I) = \frac{|\theta\mu_1 - (1-\theta)\mu_2|^2}{\theta\sigma_1^2 + (1-\theta)\sigma_2^2} \cdot \frac{1}{J_0} \quad (9)$$

图5、图6和图7分别表示了磨粒图像一、二和三关于彩色

色特征量 I_1 、 I_2 和 I_3 计算的图像 Fisher 评价函数, 对于磨粒图像一, 其 Fisher 评价函数关于特征量 I_1 的最大值最大, 表明特征量 I_1 为该图像的显著特征, 所以应选取特征量 I_1 作为分割特征 同理对于磨粒图像二, 由于其Fisher评价函数最

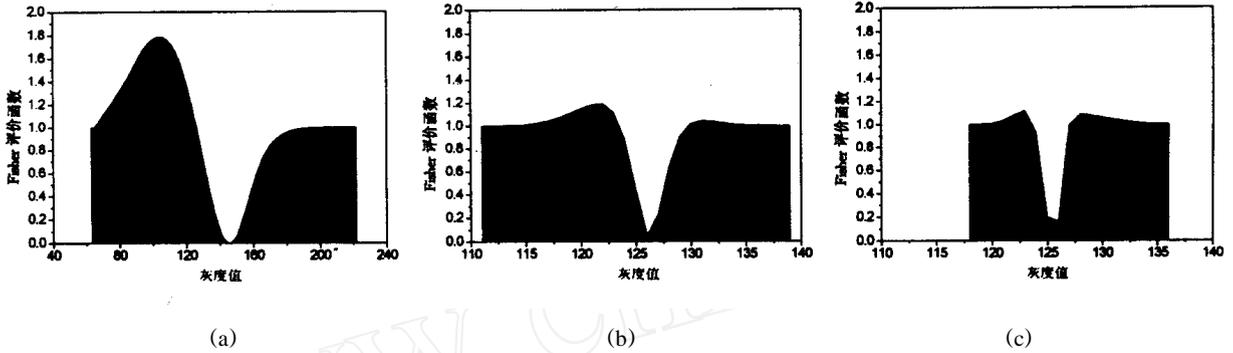


图5 彩色显微磨粒图像一关于 I_1 、 I_2 和 I_3 的 Fisher 评价函数

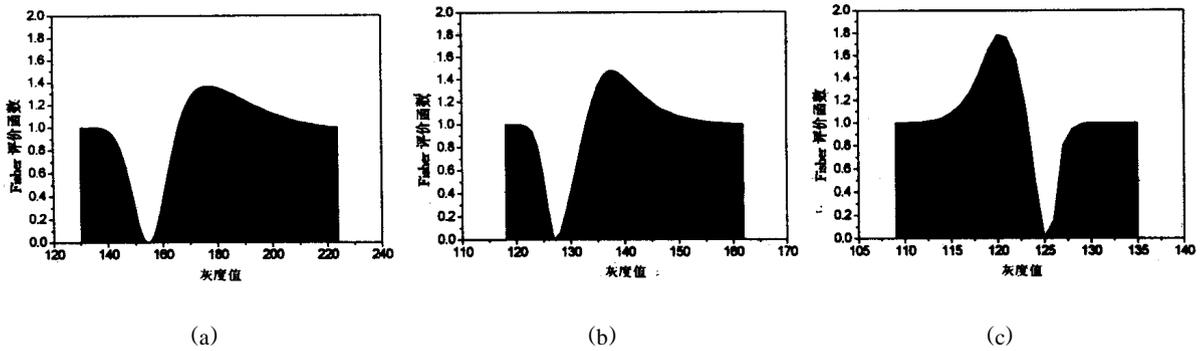


图6 彩色显微磨粒图像二关于 I_1 、 I_2 和 I_3 的 Fisher 评价函数

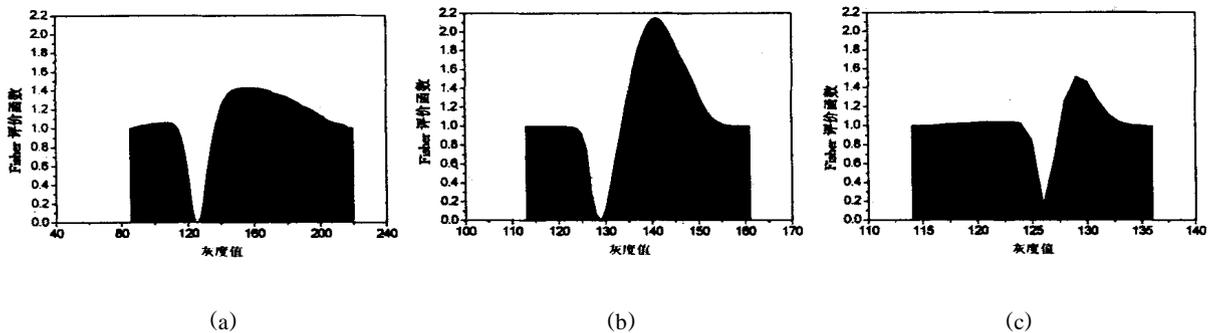


图7 彩色显微磨粒图像三关于 I_1 、 I_2 和 I_3 的 Fisher 评价函数

大值关于特征量 I_3 最大, 故应选取特征量 I_3 作为分割特征, 对于磨粒图像三, 其 Fisher 评价函数最大值关于特征量 I_2 最大, 故应选取特征量 I_2 作为分割特征 显然得到了与前面一致的结论 由此可见, 通过计算图像关于各特征量的 Fisher 评价函数, 比较其最大值, 可以实现彩色磨粒图像分割的彩色特征量自动选取

5 结论

本文将最大类间方差法加以推广, 并运用于彩色显微磨粒图像分割, 针对不同类型的显微磨粒图像, 通过选取不同的彩色特征量, 实现了图像的有效分割 同时, 本文还详细研究了分割特征量的自动选取技术, 提出了基于图像 Fisher 评价函数的特征量自动选取方法, 通过计算图像关于各彩色特征的 Fisher 评价函数, 并比较其最大值, 最大值最大时所对应的特征量即为应选取的分割特征量 本文计算结果充分表明了该方法的有效性和可靠性 本文提出的分割特征量自动选取

方法代替了人的判断和干预, 自动找到最适合彩色磨粒图像分割的彩色特征量, 从而实现了图像的自动分割, 整个过程不需人的干预便可自动完成, 更不需要人工手动点选来提取磨粒, 因此大大提高系统自动化程度。本文方法已成功地运用于 DMAS 系统, 实现了各类彩色磨粒图像的自动分割, 为后续的磨粒识别工作提供了可靠的前提。

参 考 文 献

- 1 Zuo Hong-fu. Conditions monitoring and fault diagnosis technique of engine wear [M]. Beijing: Aviation Industry Publishing House, 1995, 63~ 149
(左洪福. 发动机磨损状态监测与故障诊断技术. 北京: 航空工业出版社, 1995: 63~ 149)
- 2 Xia Liang-zheng. Digital image processing [M]. Nanjing: Southeast University Publishing House, 1999, 218~ 239
(夏良正. 数字图像处理 [M]. 南京: 东南大学出版社, 1999: 218~ 239)
- 3 Nevita R. A color edge detector [C]. Proc. 3rd IICPR, 1976: 829~ 832
- 4 Ohlander R B. A analysis of natural Scenes [D]. CMV. Dept. of Comput. Sci. Ph.D. Thesis, 1975
- 5 Ohta Y I et al., Color information for region Segmentation. CGIP, 13, 1980: 222~ 241
- 6 Bian Zhao-qi, Zhang Xie-gong. Pattern recognition [M]. Beijing: Qinghua University Publishing House, 2000, 87~ 90
(边肇祺, 张学工. 模式识别 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2000: 87~ 90)

Color Debris Image Automatic Segmentation Under Fisher Evaluation Criterion

CHEN Guo, ZUO Hong-fu

(Civil Aviation College, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract In this thesis, Based on researching all of image segmentation methods by thresholding, and aiming at color microscope debris image characters, the Otsu method that based on maximum variance between two classes is selected and extended to segment color image and abstract color particle objects. After the various characters are analyzed, correct color characters I_1 , I_2 or I_3 is selected to segment two kinds of color microscope particle image successfully. At the same time, the color characters' auto select technique which is based on Fisher evaluation criterion is put forward. So, the color character can be automatically selected through comparing the maximum of Fisher evaluation function, and the image can be segmented automatically under no human's join. Finally, the example shows that the method in this paper is effective and robust.

Key words debris; image segmentation; color characters; fisher evaluation criterion