

彩色磨粒图像自动分割技术

陈果 左洪福

(南京航空航天大学民航学院 南京 210016)

【摘要】本文针对彩色显微磨粒图像特征,选择了最大类间方差分割法,并对其进行了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,本文提出了基于彩色特征量直方图三点循环平滑处理的特征量自动选取技术,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简洁有效性。

关键词: 磨粒 图像分割 彩色特征 直方图

一、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损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。

二、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,选择一合适的阈值,以确定图像中每一像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。

三、彩色磨粒图像分割

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^[1],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。

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 则反映了图像的色彩特征。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. 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,计算中选择了一幅玻片图像(如图 1a)和两幅膜片图像(如图 2a 和图 3a)。其中图 1b、图 1c 和图 1d 为图 1a 的计算结果;图 2b、图 2c 和图 2d 为图 2a 的计算结果;图 3b、图 3c 和图 3d 为图 3a 的计算结果。所选取的正交彩色特征均分别为 I_1 、 I_2 和 I_3 。

从图 1 的计算结果可以看出: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;对比图 2 的计算结果可以看到: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 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 为是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;再对比图 3 的计算结果可以看到:如果选择 I_1 作为图像特征量,则图像分割失败(如图 3b),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。从图 1 所示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, 图 2 和图 3 所示的膜片磨粒图像, 其目标和背景的主要区分在于其颜色, 目标的颜色为黄色, 而背景的颜色为灰色。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。

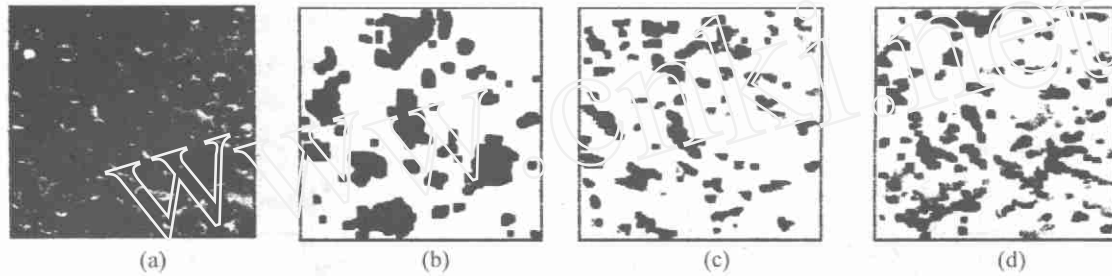


图 1 彩色显微磨粒图像 1

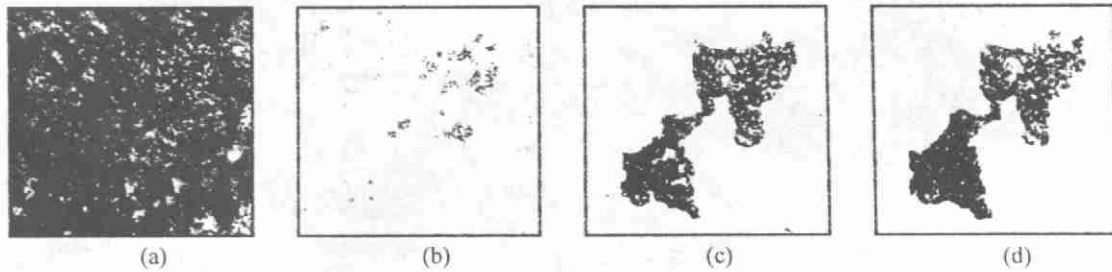


图 2 彩色显微磨粒图像 2

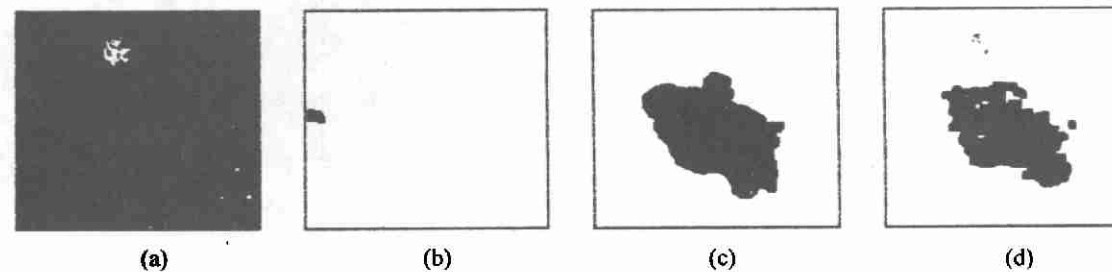


图 3 彩色显微磨粒图像 3

四、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。本文下面将详细探讨并解决该问题。

由于本文采用的分割方法是基于图像直方图的最大类间方差法, 而不同的磨粒图像需要选择不同的彩色特征才能实现正确分割, 显然对某一磨粒图像, 彩色特征量 I_1 、 I_2 和 I_3 的直方图应该具有显著的差别。图 4a、

图 4b 和图 4c 分别表示了磨粒图像 1 的彩色特征量 I_1 、 I_2 和 I_3 的直方图；图 5a、图 5b 和图 5c 分别表示了磨粒图像 2 的彩色特征量 I_1 、 I_2 和 I_3 的直方图；图 6a、图 6b 和图 6c 分别表示了磨粒图像 3 的彩色特征量 I_1 、 I_2 和 I_3 的直方图；从图 4 可以看到，对磨粒图像 1（玻片图像），特征量 I_1 的直方图存在明显的双峰特性，而特征量 I_2 和 I_3 的直方图则表现为明显的单峰，显然对该图像只有选择特征量 I_1 才能实现有效分割，特征量 I_1 为该图像的主要特征；从图 5 可以看到，对磨粒图像 2（膜片图像），特征量 I_1 的直方图表现出明显的单峰，而特征量 I_2 和 I_3 的直方图则表现为明显的双峰，而 I_3 直方图的双峰又较 I_2 更为明显，显然特征量 I_1 不是该图像的主要特征，特征量 I_3 是该图像的主要特征， I_2 为该图像的次要特征，因此只有选择特征量 I_2 可以实现图像的最佳分割；从图 6 可以看到，对磨粒图像 3（膜片图像），特征量 I_2 的直方图表现出明显的双峰，而特征量 I_1 和 I_3 的直方图则表现为明显的单峰，显然特征量 I_2 是该图像的主要特征，因此只有选择特征量 I_2 才能实现图像的最佳分割；

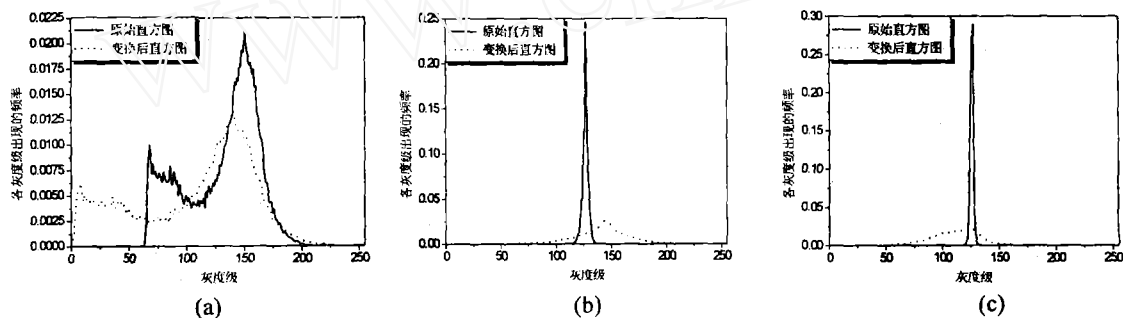


图 4 彩色显微磨粒图像 1 的 I_1 、 I_2 和 I_3 直方图

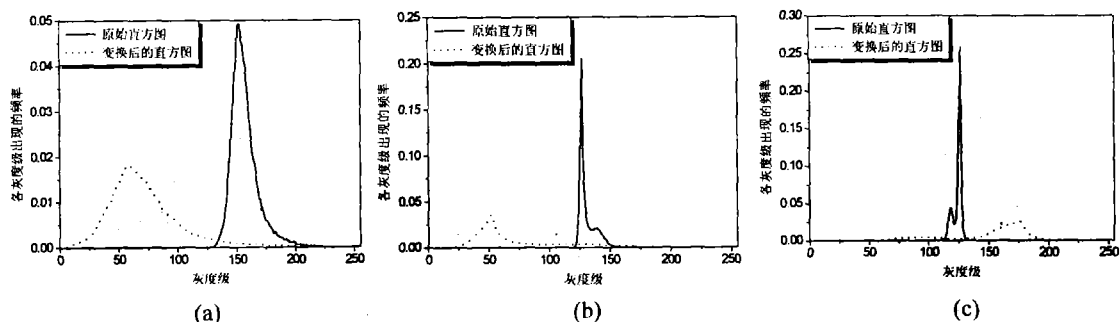


图 5 彩色显微磨粒图像 2 的 I_1 、 I_2 和 I_3 直方图

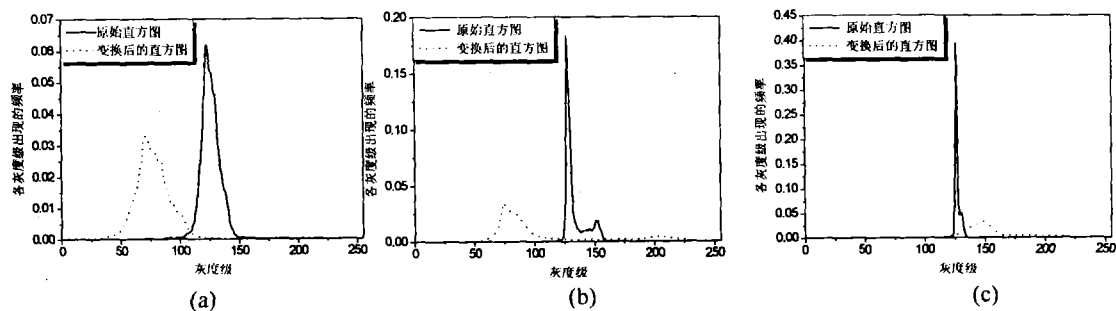


图 6 彩色显微磨粒图像 3 的 I_1 、 I_2 和 I_3 直方图

由此可见，彩色特征量 I_1 、 I_2 和 I_3 的直方图存在明显的差异，因此可以通过提取直方图的特征来实现彩色特征量的自动选取，但是实际中的原始图像直方图一般不够平滑，而且彩色特征量的分布范围也不一样，因此很难找到一个统一的平滑窗口进行平滑处理，显然给自动寻找直方图上的波峰带来了困难，同时也使得自动选择图像分割的彩色特征量成为了一个难题。

为此，本文提出了一种基于直方图三点循环平滑处理的彩色特征量自动选择技术，其基本思路就是对三个彩色特征量直方图进行最小平滑窗口（三点平滑）循环平滑，平滑至直方图仅为单峰时停止，得到累计平滑次数，显然双峰直方图的累计平滑次数一定远较单峰直方图多。因此可以通过比较三个直方图的平滑次数来实现特征量的自动选择。由于三个特征量直方图的分布范围不同，所以比较的前提将有所区别，因此，本文首先将三个直方图的特征量分布范围均扩展到 0~255，然后再对未出现的特征量进行线性插值，最后对扩展、插值后的直方图进行归一化处理，使变换后的直方图累计概率为一。图 4、图 5 和图 6 中的虚线表示了变换后的直方图。完成这些预处理后，再对变换后的直方图进行三点循环平滑处理，这样将使本文的彩色特征量的自动选择更加合理、更加可靠。具体计算流程见图 7。本文分别对三幅磨粒图像的 I_1 、 I_2 和 I_3 的直方图进行了三点循环平滑处理，表 1 列出了其计算结果，从表中可以看到，磨粒图像 1 的 I_1 直方图的累计三点平滑次数远远大于 I_2 和 I_3 ；磨粒图像 2 的 I_3 直方图的累计三点平滑次数远远大于 I_1 和 I_2 ；而磨粒图像 3 的 I_2 直方图的累计三点平滑次数远远大于 I_1 和 I_3 。显然累计平滑次数最多的特征量代表该图像的主要特征，因此可以选择累计平滑次数最多的特征量作为图像分割的特征，从而实现了分割特征的自动选取。由于各特征量的累计平滑次数相差很大，所以为特征量的正确选取提供了充分的保证，同时也验证了本文方法的有效性和可靠性。

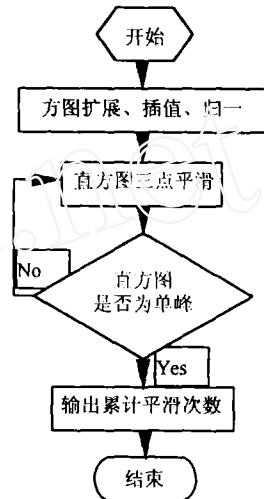


图7 直方图三点循环平滑处理流程

表 1 不同彩色特征量直方图三点平滑至单峰时的平滑次数

原始图像	磨粒图像 1			磨粒图像 2			磨粒图像 3		
	I_1	I_2	I_3	I_1	I_2	I_3	I_1	I_2	I_3
累计三点平滑次数	912	63	0	32	195	522	155	1223	73

五、结论

本文将最大类间方差法加以推广，将其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，成功进行了颗粒目标的提取。同时，本文还详细研究了分割特征量的自动选取技术，提出了基于特征量直方图三点循环平滑处理的特征量自动选取方法，通过对特征量直方图进行扩展、插值和归一化处理后，再对变换后的直方图进行三点循环平滑，直到直方图被平滑成单峰为止，最终得到累计平滑次数，累计平滑次数最多的特征量代表该图像的主要特征，因此可以选择其作为图像分割的特征量。本文计算结果充分表明了该方法的有效性和可靠性。由此可见，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，因此大大地提高系统自动化程度。本文方法已成功地运用于 DMAS 系统，实现了彩色各类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。

(下转第 428 页)

参考文献

- [1] 张澄波,《综合孔径雷达原理、系统分析与应用》,科学出版社,北京,1989年。
 [2] 程乾生,《信号数字处理的数学原理》,石油出版社,北京,1993年。
 [3] 王顺华,《机载大积累角 UWB-SAR 成像理论及算法研究》,博士论文,国防科技大学电子科学与工程学院,长沙,1998年。
 [4] John W. McCorkle, FOCUSING OF SYNTHETIC APPERTURE ULTRA WIDEBAND DATA. IEEE, 1991.
 [5] Robert L. Hutchins and Chris B. Wallace, Effects of sampling and propagation on ultrawideband synthetic aperture radar, SPIE Vol. 1631, Ultrawideband Radar (1992).

BP Imaging Algorithm of Ultra-Wideband LFM Signal

Zhu Guofu, Liang Diannong

(Institute of Electrical Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology)

Abstract: BP imaging algorithm of ultra-wideband LFM signal is deduced in this paper. The realization of azimuth focusing is researched after range compression. The effect of range sampling rate on azimuth focusing is discussed. The algorithm is validated by simulation results in the end.

Key words: Back Projection LFM SAR Pulse Compression

(上接第 453 页)

参考文献

- [1] 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] 夏良正, 数字图像处理. 南京: 东南大学出版社. 1999:218~239
 [3] Nevita R. A color edge detector. Proc. 3rd IJCP, 1976: 829-832.
 [4] Ohlander R B, Analysis of natural Scenes. 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

Color Microscope Debris Image Automatic Segmentation Technique

Chen Guo Zuo Hongfu

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

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 three adjacent circle smoothing of color characters histogram is put forward. So, the color character can be automatically selected, and the image can be segmented automatically under no human's join. Finally, the example shows that the method in this paper is briefly and effectively.

Key words: Debris Image segmentation Color characters Histogram