

基于最小偏态指标的图像阈值分割新技术

陈 果 左洪福

(南京航空航天大学 民航学院, 江苏 南京 210016)

摘 要: 本文在假设图像目标和背景像素灰度值均服从正态分布的前提下, 提出基于最小偏态指标的图像分割新技术, 该方法引入数理统计中的偏态指标作为图像分割的准则函数, 利用图像直方图计算各灰度级下的偏态指标值, 其最小值即对应于最佳分割阈值. 本文对最小偏态指标法进行了详尽的图像分割验证, 并与 Otsu 法、最大熵法和最小误差准则法进行了详细比较, 结果表明本文方法具有分割精度高、计算速度快以及对目标大小影响小等优点, 是一种很好的图像阈值分割方法.

关键词: 图像分割; 阈值; 正态概率分布; 偏态指标

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-1220(2003)02-0255-06

Image Segmentation New Technique Based on Minimum Bias-normal Distribution Index

CHEN Guo, ZUO Hong-fu

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

Abstract In this thesis, in case that the object and the background in image obey all normal distributions, the image segmentation new method based on minimum bias-normal distribution index is put forward. In new method, the bias-normal distribution index in mathematical statistics is introduced, and is regarded as image segmentation criterion function. The image histogram is used to compute the bias-normal distribution indexes of all gray grades, and the optimal threshold is determined at the minimum value of bias-normal distribution indexes. In the paper, the minimum bias-normal distribution index method is testified, and is compared with the Otsu method, the maximum entropy method, and the minimum error criterion function method in detail. The results show that the minimum bias-normal distribution index method which is put forward in this thesis has these advantages such as high segmentation precision, fast computation speed, and minor influence by the object's size.

Key words: image segmentation; threshold; normal probability distribution; bias-normal distribution index

1 引言

图像分割是计算机视觉的必经阶段, 由于其问题的复杂性和重要性, 长期以来成为了计算机视觉技术的一个瓶颈, 现有的图像分割方法数以百计, 但仍然没有一种方法能对所有的图像均适合, 也没有一种图像均适用于所有方法. 图像阈值分割是图像分割技术的主要方法, 其目的是将图像按给定的阈值划分为有意义的区域, 从复杂的背景中提取出目标对象, 为后续的图像识别提供前提. 由此可见图像阈值分割的重要性所在, 而阈值的选择又是图像阈值分割的关键. 若阈值取得过高或过低, 都将产生目标和背景像素点的误判, 这势必影响分割出来目标的大小和形状, 甚至会使命目标失落. 在现有的图像阈值分割算法中, 主要有直方图方法与直方图变换法, 最大类间方差法、矩量保持法、简单统计法、最小误差分割法以及

最大熵法等.

在图像阈值分割的方法中, 准则函数法是一种常用的分割方法, 其基本思路是通过构造一个准则函数, 计算各灰度级下准则函数值, 分割阈值将选择在使该准则函数最大或最小值处, 其中著名的准则函数法有最大类间方法(Otsu 法)^[1]、最大熵法^[2]以及最小误差准则分割法^[3]等. 本文不失一般性, 假设图像目标和背景像素灰度级均服从正态分布, 众所周知, 在数理统计中偏态指标是衡量数据分布偏离正态分布的程度, 因此, 本文将偏态指标引入到图像阈值分割中, 构造出基于图像偏态指标的准则函数, 图像分割阈值选取在图像偏态指标最小值处.

2 图像的最小偏态指标阈值分割技术

众所周知, 在数理统计^[4]中, 随机样本数据的均值为样本

的一阶统计矩,它衡量数据的平均值大小;方差为样本的二阶统计中心矩,它衡量随机数据离散的程度;而偏态指标为样本的三阶中心统计矩,它衡量随机数据分布偏离正态分布的程度,如图1所示(见下页)。设随机样本为 $x(t)$, 其概率密度分布函数为 $p(x)$, 则其定义分别为:

$$\mu_x = \lim_T \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt = \int_{-\infty}^{+\infty} xp(x) dx \quad (1)$$

$$\sigma_x^2 = \lim_T \frac{1}{T} \int_0^T [x(t) - \mu_x]^2 dt = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \mu_x)^2 p(x) dx \quad (2)$$

$$K_3 = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} (x - \mu_x)^3 p(x) dx}{\sigma_x^3} \quad (3)$$

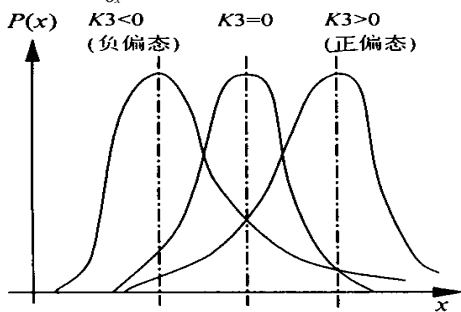


图1 偏态指标 K_3 对概率密度函数的影响
Fig 1 The influence of bias-normal index K_3 on probability density

设一幅图像只由目标物和背景组成,其灰度分布范围为 $0 \sim G$; 已知其灰度级分布概率密度分别为 $p_1(t)$ 和 $p_2(t)$, 不失一般性,假设 $p_1(t)$ 和 $p_2(t)$ 均服从正态分布,其灰度均值分别为 $\mu_1(t)$ 和 $\mu_2(t)$, 方差分别为 $\sigma_1^2(t)$ 和 $\sigma_2^2(t)$, 偏态指标分别为 $K_{31}(t)$ 和 $K_{32}(t)$ 。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 $\theta(t)$, 则

$$\theta(t) = \sum_{i=0}^t h(i) \quad (4)$$

$$\mu_1(t) = \frac{\sum_{i=0}^t h(i) i}{\theta(t)}, \quad \mu_2(t) = 1 - \mu_1(t) \quad (5)$$

$$\sigma_1^2(t) = \frac{\sum_{i=0}^t [i - \mu_1(t)]^2 h(i)}{\theta(t)},$$

$$\sigma_2^2(t) = \frac{\sum_{i=t+1}^G [i - \mu_2(t)]^2 h(i)}{1 - \theta(t)} \quad (6)$$

$$K_{31}(t) = \frac{\sum_{i=0}^t [i - \mu_1(t)]^3 h(i)}{[\sigma_1(t)]^3 \cdot \theta},$$

$$K_{32}(t) = \frac{\sum_{i=t+1}^G [i - \mu_2(t)]^3 h(i)}{[\sigma_2(t)]^3 \cdot (1 - \theta)}$$

定义图像的偏态指标:

$$K_3(t) = |K_{31}(t)| + |K_{32}(t)| \quad (8)$$

由于 $K_{31}(t)$ 和 $K_{32}(t)$ 可以为正值(正偏态)或为负值(负偏态),因此其绝对值即表明了偏离正态分布的绝对大小,所以图像总的偏态指标 $K_3(t)$ 表明了目标和背景两区域像素灰度分布偏离正态分布的程度大小。显然,当阈值 t 为最佳阈值时,被阈值 t 划分的目标和背景灰度分布最接近正态分布,偏离正态分布的程度最小,因此图像总的偏态指标应为最小值;而在其他阈值处时,目标和背景区域像素点的统计概率分布必然与正态分布相差很大,自然图像总的偏态指标值一定要增大。由此可见,图像偏态指标可以作为图像分割阈值选取的准则函数,其选择准则为:

$$t^* = \text{Arg} \min_{0 \leq t \leq G} [K_3(t)] \quad (9)$$

3 基于最小偏态指标的图像分割

上面通过引入数理统计中的偏态指标,提出了图像分割的最小偏态指标法,为了说明该方法的有效性,下面将针对具有不同特点的真实图像来具体讨论图像偏态指标的特性,并

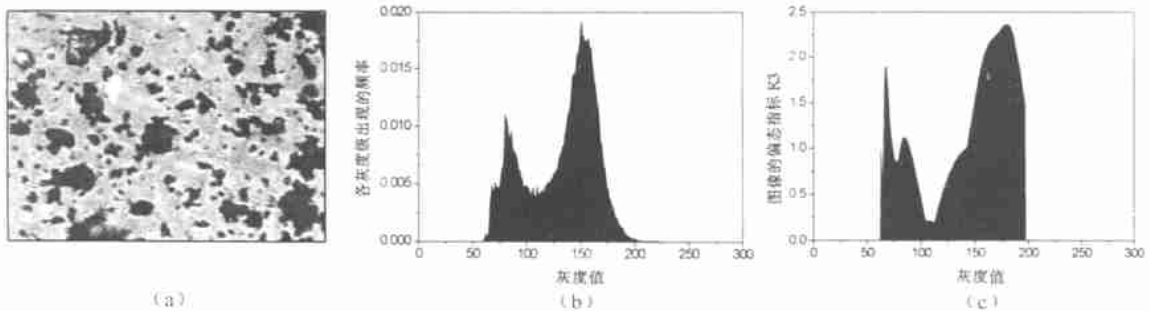


图2 磨粒图像一(原始图像、直方图及偏态指标)

Fig 2 Wear particle image 1 (original image, histogram, bias-normal index)

假设图像仅由目标和背景两类像素构成,即为单阈值分割情况,对于多阈值分割问题,不难从单阈值分割加以推广而得到。所以本文选择了三幅有代表性的磨粒图像(其中的目标代表机械磨损微粒,为图像的低灰度区域),分别如图2a(磨粒图像一)、图3a(磨粒图像二)和图4a(磨粒图像三)所示,其直

方图分别如图2b、图3b和图4b。不难看出,图2中磨粒目标在整幅图中所占的比例较大,图3较小,而图4最小(已达到1%以下)。图2c、图3c和图4c分别为图2、图3和图4的偏态指标值。图5a、图5b和图5c分别为本文方法对磨粒图像一、磨粒图像二和磨粒图像三

图 2c、图 3c 和图 4c 可以看出, 对于不同形状的直方图, 偏态指标曲线上存在局部极小值的数目不同, 图 2c 和图 3c

为两个, 图 4c 为一个。这些局部极小值一般对应于直方图上的一个“谷”, 极小值越小, 其对应的“谷”越深, 所以当图像的

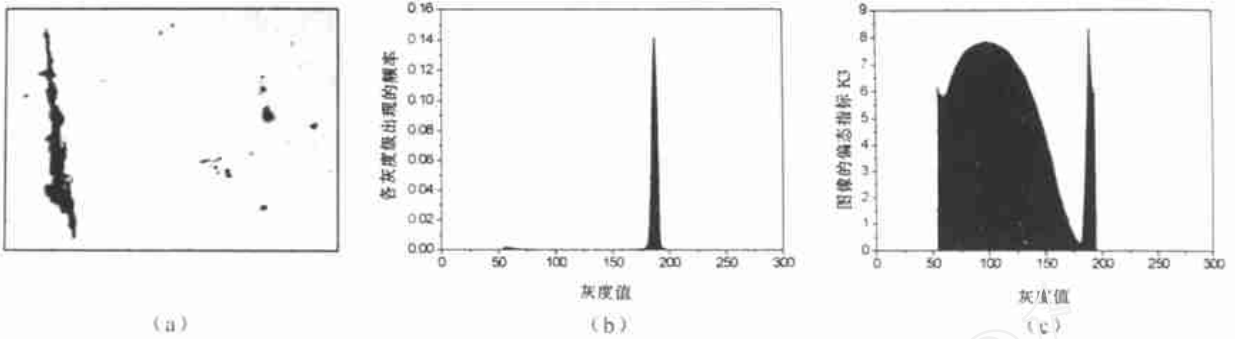


图 3 磨粒图像二(原始图像、直方图及偏态指标)

Fig 3 Wear particle image2 (original image histogram, bias-normal index)

偏态指标达到最小值时, 表明其对应于最深的“谷”, 此时, 如将此处确定为最佳阈值, 由该阈值划分开的目标和背景区域偏离正态分布的程度即为最小; 而在其它极小值处确定阈值时, 划分开的目标和背景区域偏离正态分布的程度只是达到

极小, 从对应的直方图上不难看出该规律 显然, 对单阈值分割情况, 应确定图像偏态指标的最小值处对应于最佳分割阈值, 推而广之, 不难发现对于多阈值分割问题, 也同样可以根据图像的偏态指标值, 并选择取其多个极小值来对应于多个

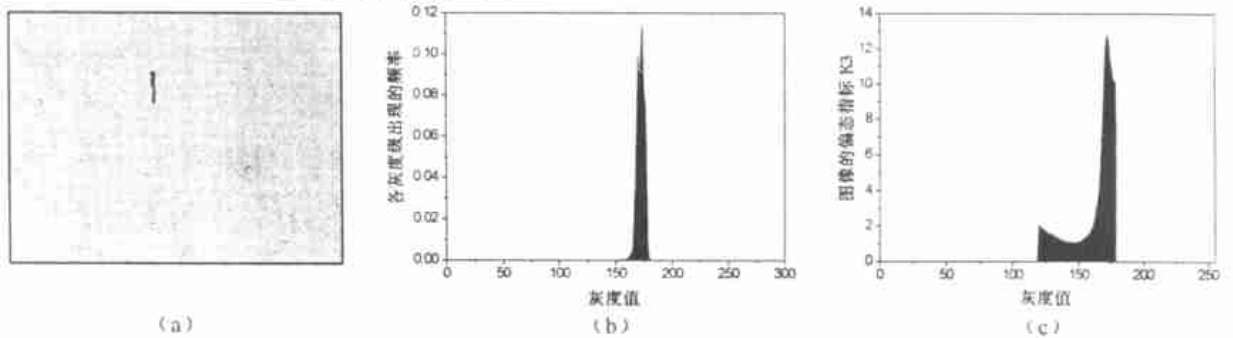


图 4 磨粒图像三(原始图像、直方图及偏态指标)

Fig 4 Wear particle 3 (Original image, Histogram, bias-normal index)

阈值的确定, 此时被选择的极小值应由小到大依次选取 对比磨粒图像一、二和三, 不难看出, 磨粒图像一中磨粒

目标在整个图像中所占的比例最大(其中磨粒数为 70~ 80), 所以其直方图上表现出明显的双峰; 磨粒图2中磨粒目标要

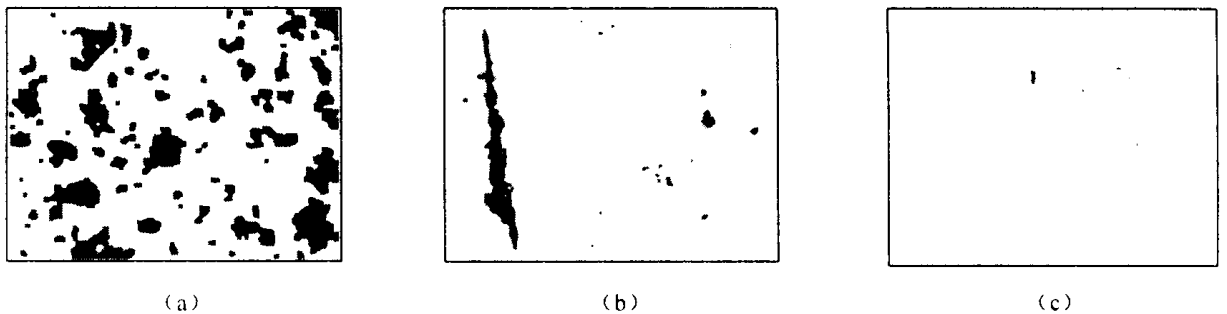


图 5 磨粒图像一、二、三的分割结果

Fig 5 Segmentation results of wear porticle 1, 2 and 3

小得多(其中磨粒数为 10~ 15), 所以其直方图上的双峰差别很大, 双峰间的谷宽广且平坦; 磨粒图 3 中磨粒目标最小(其中磨粒数为 1~ 2, 磨粒目标比例已在 1% 以下), 所以其直方图几无双峰, 表现出明显的单峰特性 对应于三幅图像的偏态指标和其分割结果, 可以看到, 由偏态指标最小值确定的分割

阈值均实现了三幅图像的有效分割, 其分割结果如图 5a、图 5b 和 图 5c, 所以这充分证明了本文提出的最小偏态指标分割法不仅适于分割目标较大的图像(如图 2), 而且对目标很小的极不平衡图像(如图 2 和图 3)的分割效果均能达到很好的效果, 这充分说明了本文方法的有效性

4 最小偏态指标法与 Otsu 法、最大熵法和最小误差准则法的比较

在基于准则函数的图像阈值分割法中,比较著名的有:

由 Otsu^[1]于 1978 年提出的最大类间方差法:它是一种引起较多关注的一种阈值选取方法,其基本原理是在判别分析或最小二乘原理的基础上推导出来的,将图像中的像素的灰度级按阈值划分为两类,两类间的方差越大,表明图像分割效果越好,所以用类间方差作为准则函数,阈值选择在类间方差最大处;

最大熵法是 1985 年由 Kapur 等人^[2]提出的最大熵法:阈值选择方法,熵是信息论中的概念,是一种均匀性度量,其基本思想是根据目标和背景两个概率分布来定义目标熵和背景熵,准则函数为目标熵和背景熵之和,目标和背景像素越均匀,分割效果越好,其熵值越大,所以最佳分割阈值选取在准则函数最大值处

最小误差准则分割法由 Kittler 和 Illingworth^[3]于 1986 年提出的阈值分割法,其基本思想是最佳阈值应使目标和背景的错判概率为最小,所以准则函数为误差分割概率的函数,显然准则函数越小,图像分割误差越小,分割效果越好。

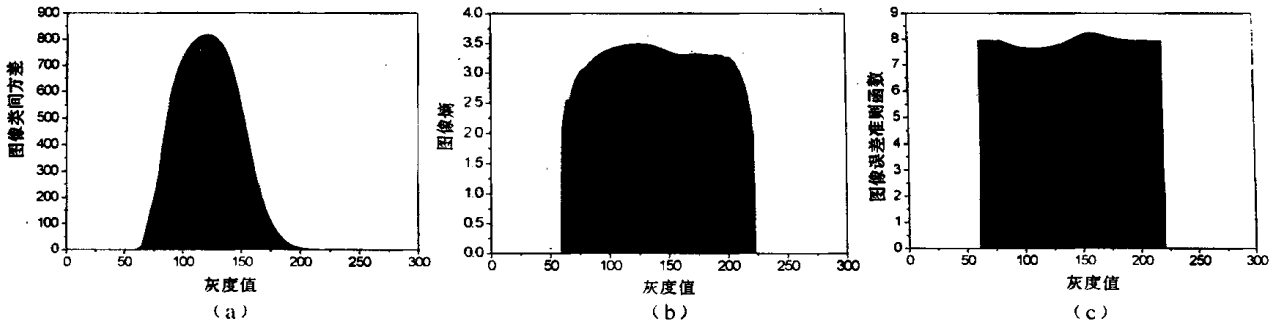


图 6 磨粒图像一的准则函数(类间方差、熵及最小误差准则)

Fig. 6 Criterion function curves of wear particle in image 1 (Variance between two classes, entropy, minimum error)

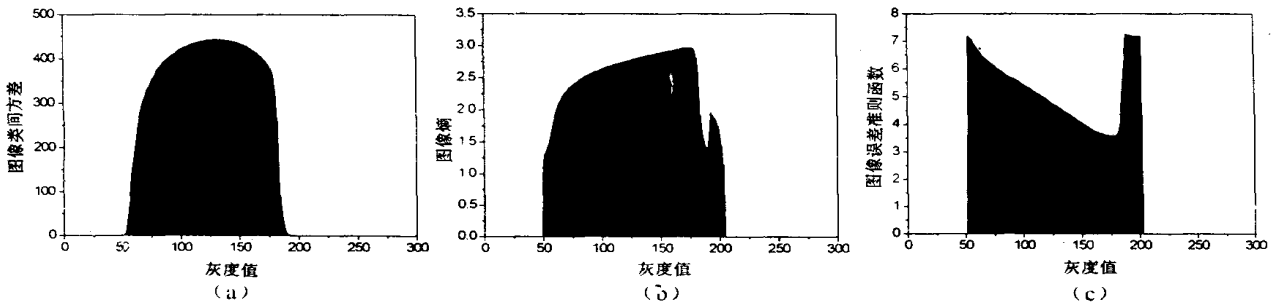


图 7 磨粒图像二的准则函数(类间方差、熵及最小误差准则)

Fig. 7 Criterion function curves of wear particle in image 2 (Variance between two classes, entropy, minimum error)

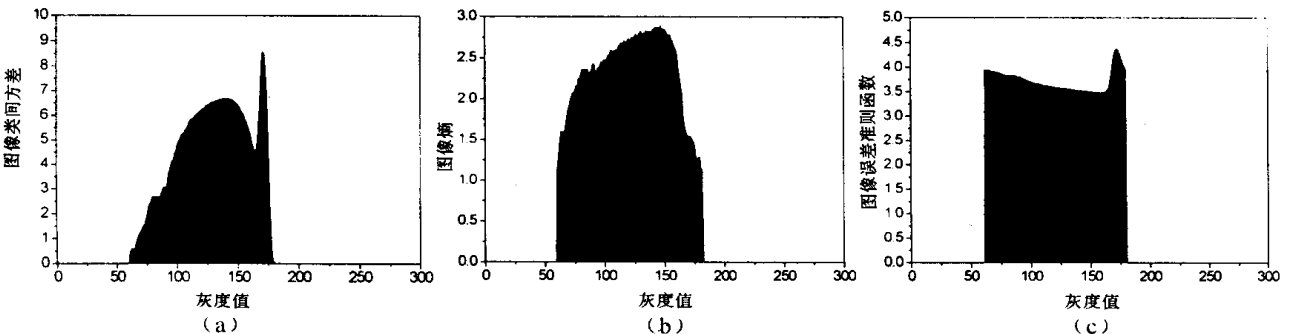


图 8 磨粒图像三的准则函数(类间方差、熵及最小误差准则)

Fig. 8 Criterion function curves of wear particle in image 3 (Variance between two classes, entropy, minimum error)

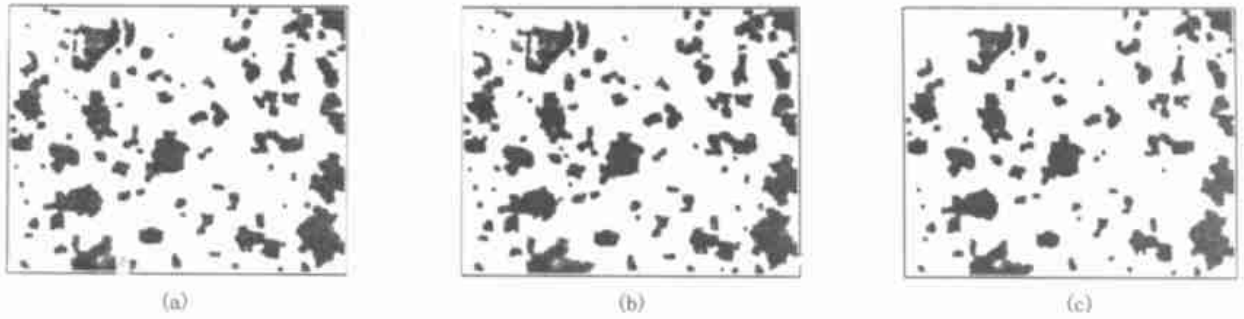


图 9 磨粒图像一的分割结果(Otsu 法、最大熵法及最小误差准则法)

Fig 9 Segmentation results of wear particle 1(Otsu method, maximum entropy method, minimum error method)

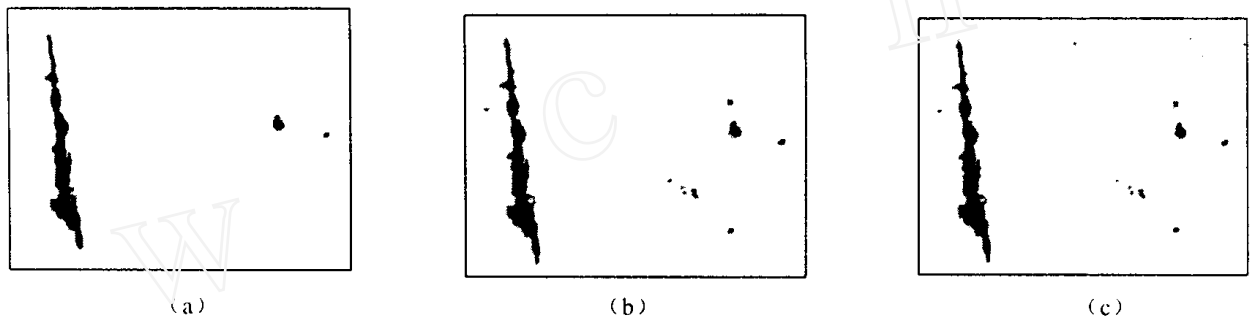


图 10 磨粒图像二的分割结果(Otsu 法、最大熵法及最小误差准则法)

Fig 10 Segmentation results of wear particle 2(Otsu method, maximum entropy method, minimum error method)

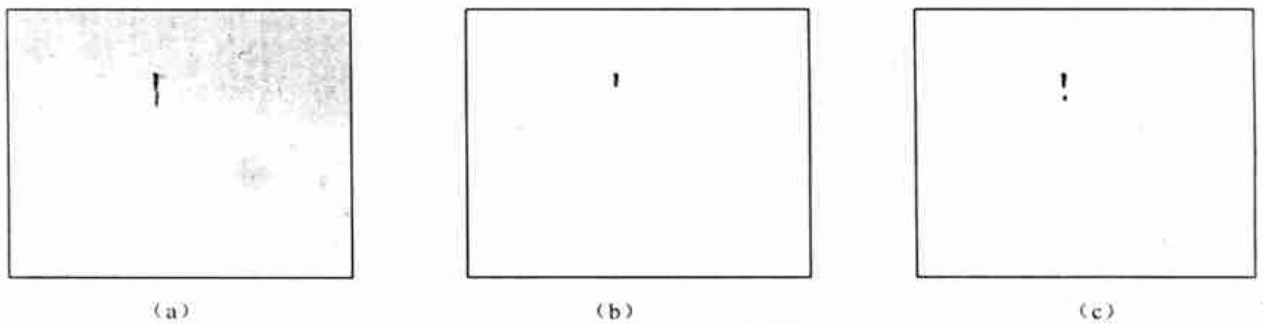


图 11 磨粒图像三的分割结果(Otsu 法、最大熵法及最小误差准则法)

Fig 11 Segmentation results of wear particle 3 (Otsu method, maximum entropy method, minimum error method)

表 1 四种方法最佳阈值和分割效果的比较

Table 1 Comparison of optimum threshold and segmentation effect of four methods

阈值 分割 方法	最小偏态指标法			Otsu 法			最大熵法			最小误差准则分割法		
	磨粒 图像一	磨粒 图像二	磨粒 图像三	磨粒 图像一	磨粒 图像二	磨粒 图像三	磨粒 图像一	磨粒 图像二	磨粒 图像三	磨粒 图像一	磨粒 图像二	磨粒 图像三
最佳 阈值	113	182	149	121	132	171	126	175	144	110	177	160
分割 效果	最好	最好	好	较好	较好	差	较好	最好	好	最好	最好	最好

下面将本文提出的最小偏态指标法与上面三种基于准则函数的图像分割方法进行比较。图 6a、图 6b 和图 6c 分别为磨粒图 1 的类间方差、熵和误差准则函数；图 7a、图 7b 和图 7c 分别为磨粒图 2 的类间方差、熵和误差准则函数；图 8a、图 8b 和图 8c 分别为磨粒图 3 的类间方差、熵和误差准则函数；图 9 (a, b, c)、图 10(a, b, c) 和图 11(a, b, c) 分别为磨粒图一、二和三的 Otsu 法、最大熵法及最小误差准则法分割结果；本文方法的准则函数分别如图 2c、图 3c 和图 4c 所示，分割结果如图 5(a, b, c)。

从图 6a、图 7a 和图 8a 可以看到，类间方差准则在图像目标较大时将出现唯一的极大值，即对应于最佳阈值，其分割结果还比较有效（如图 9a 和图 10a），当目标很小时将出现多个极大值，且此时的最大值有时并不是最佳阈值，因此导致分割失败（如图 11a）；对比图 6、图 7 和图 8 的 b 和 c 可以看到，图像的熵准则和最小误差准则虽也具有多个极值点，但其最大或最小值所对应的阈值是图像的最佳分割阈值，能实现图像的有效分割，其分割结果见图 9、图 10 和图 11 的 b 和 c。该结论与文献^[5]的比较结果基本一致，表明最小误差分割法和最大熵法是目前公认的具有分割精度高和受目标大小影响小等优点的方法。

表 1 表示了本文提出的最小偏态指标分割法与 Otsu 法、最大熵法和最小误差准则法的阈值选取结果比较，由于目前国内外对图像分割效果的评价尚无统一的标准，所以本文用“最好”、“好”、“较好”和“差”四个由好到差的模糊指标对图像的分割结果进行了简单的主观判断。从主观评价结果可以看出，本文的最小偏态指标法接近最小误差准则法，略优于最大熵法，明显优于 Otsu 法。

另外，在计算速度方面比较，从四种准则函数的计算可以看出，最小偏态指标法和 Otsu 法的计算量相当，而最大熵法和最小误差准则法由于涉及到对数运算，所以速度较慢。

综上所述，通过与 Otsu 法、最大熵法和最小误差准则法三种基于准则函数的图像分割方法的比较，结果表明：本文提

出的最小偏态指标法具有分割精度高、计算速度快以及对目标大小影响小等优点，不失为一种实用的图像分割好方法。

5 结论

本文不失一般性，假设图像的目标和背景像素灰度均服从正态分布，引入数理统计中衡量数据分布偏离正态分布的统计特征量——偏态指标作为图像分割的准则函数，利用图像直方图计算各灰度级下的偏态指标值，其最小值即对应于最佳分割阈值。本文通过对具有不同直方图分布的三幅磨粒图像的分割验证，并与公认有效的 Otsu 法、最大熵法和最小误差法进行了详细比较，结果表明本文提出的最小偏态指标法具有分割精度高、计算速度快以及对目标大小影响小等优点，是一种非常实用的图像阈值分割法。

Reference:

- 1 Otsu N. A threshold selection method from gray-level histogram [J]. IEEE Trans, 1979; SM C-15: 652~ 655
- 2 Kapur J N, Sahoo P K, Wong A K C. A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram [J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1985, 29: 273 ~ 285
- 3 Kittler J, Illingworth J. Minimum error thresholding [M]. Pattern Recognition, 1986, 19(1): 41~ 47
- 4 Li Guo-ha, Zhang Yong-zhong. Machine failure diagnosis [M]. Beijing: China Chemistry Industry Press, 1999, 30~ 39
- 5 Liu Weiping, Wu Lide. Comparison of threshold selection for image segmentation [J]. PR & AI, 1997; 10(3): 271~ 277

附中文参考文献:

- 4 李国华, 张永忠. 机械故障诊断 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1999; 36~ 39
- 5 刘文萍, 吴立德. 图像分割中阈值选择方法比较研究 [J]. 模式识别与人工智能, 1997; 10(3): 271~ 277