

南京航空航天大学
论文集

(二〇〇三年) 第15册

民航学院

南京航空航天大学科技出版

二〇〇四年三月

民航学院

071 系

072 系

073 系

序号	姓名	职称	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期	备注
1	陈果 左洪福	副高 正高	071 071	显微图像的一种快速拼接算法	仪器仪表学报	2003.24.04	
2	陈果 左洪福	副高 正高	071 071	基于最小偏态指标的图像阈值分割新技术	小型微型计算机系统	2003.24.02	
3	陈果	副高	071	图像阈值分割的Fisher准则函数法	仪器仪表学报	2003.24.06	
4	陈果 左洪福	副高 正高	071 071	图像的自适应模糊阈值分割法	自动化学报	2003.29.05	
5	陈果 左洪福 杨新	副高 正高 硕士	071 071 071	基于神经网络的多种油样分析技术融合诊断	摩擦学学报	2003.23.05	
6	陈玉林 顾宏斌	硕士 正高	071 071	供电网中的异地开关互锁技术及应用	城市与工业安全 国际会议	2003.00.10	
7	杨新勇 黄圣国	博士 正高	071 071	小型固态航姿系统的研制	数据采集与处理	2003.18.01	
8	干敏梁 梁永明 刘海春	正高 硕士 硕士	071 071 071	智能型配电测控仪的研究	电工技术杂志	2003.00.03	
9	宫淑丽 周洁敏	初级 副高	071 071	VC++与MATLAB相结合的噪声主动控制方法	交通运输工程学报	2003.03.03	
10	高振兴 顾宏斌	硕士 正高	071 071	离散事件仿真在飞机航材管理的应用	中韩学术会议	2003.00.10	
11	梁永明 干敏梁	硕士 正高	071 071	Watchdog 在 Philips 8XC552 系列单片机系统中的应用	国外电子元器件	2003.00.02	
12	李艳军 左洪福 陈果	中级 正高 副高	071 071 071	基于灰色聚类的磨粒自动识别	航空学报	2003.24.04	
13	李艳军 左洪福 陈果 徐月芳	中级 正高 副高 副高	071 071 071	磨粒图像目标提取的遗传FCM算法	模式识别与人工智能	2003.16.03	
14	刘晖 顾宏斌	博士 正高	071 071	Drop Performance Study of Semi-active Control of Landing Gear	中韩学术会议	2003.00.10	
15	孙有朝 左洪福 王伟	副高 正高 硕士	071 071 071	民航发动机维修成本定量评估方法研究	应用科学学报	2003.21.04	
16	孙有朝 左洪福 倪凯	副高 正高 硕士	071 071 071	民用航空发动机维修成本	交通运输工程学报	2003.03.01	
17	吴东苏 顾宏斌	博士 正高	071 071	Genetic-based Neural-Fu22y Control of Semi-active Landing Gear	中韩学术会议	2003.00.10	

18	余玉棠 顾宏斌	硕士 正高	071 071	APIHOOK技术在个人防火墙中的应用	城市与工业安全 国际会议	2003.n10	
19	郑敏 中凡 鲍明	中级 讲师 教授	071 013 013	在时域中单独利用响应数据进行模态分析	中国机械工程	2003.14.05	
20	胡明华 田勇 李凯	正高 中级 硕士	072 072 072	机场近距平行跑道进近方法研究	交通运输工程与 信息学报	2003.01.01	
21	胡明华 朱晶波 田勇	正高 硕士 中级	072 072 072	多元受限的航班时刻优化模型与方法研究	南京航空航天大 学学报	2003.35.03	
22	韩松臣 张明 黄卫芳	副高 助教 硕士	072 072 072	管制扇区优化划分的方法及计算机实现技术	交通运输工程学 报	2003.03.01	
23	靳学梅 韩松臣 孙繁荣	硕士 副高 助理	072 072 072	自由飞行中冲突解脱的线性规划法	交通运输工程学 报	2003.03.02	
24	蒋兵 胡明华 田勇 黄卫芳	硕士 正高 中级 硕士	072 072 072	终端区空中交通容量评估的仿真方法	交通运输工程学 报	2003.03.01	
25	蒋兵 胡明华 田勇	硕士 正高 中级	072 072 072	机场跑道容量评估模型和估计方法的进一步研 究	交通运输工程学 报	2003.03.02	
26	田勇 胡明华	中级 正高	072 072	Study on Airpor Capacity and Delay Evaluation	2003'NUAA- HAU Joint Symposiom	2003.00.10	
27	白杨	中级	073	从航空运输走向综合物流	中国民用航空	2003.00.04	
28	白杨	中级	073	Analysis of Code-sharing Operation in Airline Companies	Proceeding of 2003'NUAA- HAU Joint Symposiom	2003.00.10	
29	彭怡	中级	073	中国民航可持续发展与现代物流	经济纵横	2003.增	
30	乔兵	副高	073	Impedance force Control for position controlled robotic manipulators under the constraint of unknown environments	Journal of Southeast Uni.	2003.19.04	
31	夏洪山 许峰	正高 博士	073 073	基于CORBA的开放式多层结构技术研究	南京航空航天大 学学报	2003.35.05	
32	徐月芳	副高	073	Improving the Security of Air Transportation Production by Using the Theory of Systems Engineering	第五届中韩学术 会议	2003.00.10	
33	周虹 许俐	硕士 副高	073 073	自组织人工神经网络在民航旅客盈利能力细分 中的应用	交通运输工程学 报	2003.00.04	

34	周虹 许俐	硕士 副高	073 073	Segment Airline Passenger With One Intelligent Method	Proceeding of 2003'NUAA- HAU Joint Symposiom	2003.00.03	
----	----------	----------	------------	--	---	------------	--

显微图像的一种快速拼接算法*

陈 果 左洪福

(南京航空航天大学民航学院 南京 210016)

摘要 针对高放大倍数下,在一帧显微图像中无法获取所观测对象全貌的问题。运用基于块匹配的算法进行了多帧图像的自动拼接,并采用多分辨率技术实现了匹配算法的快速实现。拼接结果表明提出的显微图像快速拼接算法的简洁有效性。

关键词 图像处理 图像拼接 显微镜 重叠图像

A Fast Mosaicing Algorithm for Microscope Image

Chen Guo Zuo Hongfu

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

Abstract Aiming at the problem that the watched object's total shape can not be obtained under high microscopic enlargement times, the matching algorithm based on block matching is applied to mosaic these overlapping images automatically, and the multi-resolution technique is introduced to realize fast computation of mosaicing algorithm. The mosaicing results show the fast mosaicing algorithm of microscopic image is simple and effective.

Key words Image processing Image mosaicing Microscope Overlapping image

1 引言

图像拼接的主要问题是处理相邻两个图像样本之间的重叠部分。图像拼接的质量主要依赖图像的对准程度,通常的匹配算法是基于两图像重叠部分的对应像素在RGB或CMY颜色系统中的灰度相似性。文献[1]提出了基于块匹配的算法。即取第一幅图像处于重叠部分中的一块作为模板,在第二幅图像中搜索是有相同(或相似)值的对应块,从而确定重叠范围,该算法只要块取得足够大,其精度较高,但计算量过大;文献[2]利用图像间隔一定距离的2列上的部分像素信息,即在一幅图像的重叠区域中不相邻2列取出部分像素,用它们的比值作为模板,在另一幅图像中搜索最佳匹配。该算法在计算量上较基于块匹配算法要小。但仍较大,且可靠性较低;文献[3]提出了一种基于网格匹配的快速匹配算法,其基本思路是利用图像中相邻像素的灰度值相差不大的特点,在第二幅图像的重叠区域取一个网格,然后将网格在第一幅图像上移动,计算

所有网格点的两幅图像对应点的RGB值的差的平方和。记录最小的值的网格位置,即认为是最佳匹配位置。并且将匹配分为粗细两个步骤,可明显减少计算量。

图像拼接技术目前主要应用于全景视频系统和地理信息系统中,实现若干幅部分重叠的小图像拼接成一幅大的图像,以得到全景信息。在显微图像的研究中,同样地存在类似的图像拼接问题。智能化铁谱诊断系统是一个典型的显微图像应用领域^[4],其基本思想是通过对显微图像中的机械磨损颗粒图像进行识别以进行机械磨损故障分析。在低的物镜放大倍数下(如 $\times 4$ 、 $\times 10$),磨粒的整体形貌在同一现场中基本上能得到完整显示,但在高放大倍数下(如 $\times 40$ 、 $\times 60$),在一个视场中往往不能完整显示一个尺寸较大的磨粒,所以经常出现磨粒被截断的现象,从而导致后续磨粒识别的困难。有鉴于此,在详细研究目前几种常用的图像拼接算法的基础上,基于智能铁谱显微系统,提出一种应用于高放大倍数下显微磨粒图像的快速拼接算法,实现被截断磨粒的无缝拼接。该方法同样适用于其他诸如生物医学

* 本文于2001年8月收到,得到南京航空航天大学人才基金(C0293—071)、南京航空航天大学民航科研基金(Y0202—MH)资助。

及材料科学等显微图像应用领域的显微图像拼接。

2 基于块匹配的拼接算法

基于匹配的算法又称为模板匹配,是一种最常用的图像匹配算法。在模板匹配中使匹配的两个表达都是图像。对图像的匹配可以是整幅图像和整幅图像间的匹配,也可以是图像间的一部分(子图像)间的匹配,显然图像拼接中的模板匹配是在第二幅图像中建立模板,在第一幅图像中寻找与模板最相似的图像区域,

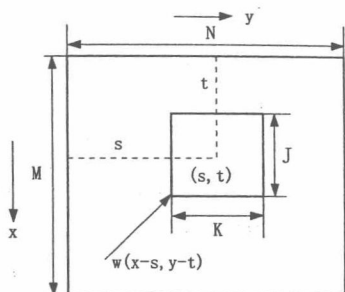


图1 模板匹配示意图

从而以确定图像的重叠区域,最终实现图像拼接。匹配中的主要工作是将模板在图上平移并计算相关,相关值最大处即为匹配最好处。考虑一个尺寸为 $J \times K$ 的模板 $w(x,y)$ 与一个 $M \times N$ 的大图像 $f(x,y)$ 的匹配位置,显然有 $J \leq M$ 和 $K \leq N$ 。尽管可借助矢量形式进行相关计算,但直接使用图像形式更为直观。在最简单的情况下, $f(x,y)$ 与 $w(x,y)$ 之间的相关函数可写为:

$$C(s,t) = \sum_x \sum_y f(x,y) w(x-s,y-t) \quad (1)$$

其中 $s=0,1,2,\dots,M-1$; $t=0,1,2,\dots,N-1$ 。式(1)中的求和是对 $f(x,y)$ 和 $w(x,y)$ 相重叠的图像区域进行的。图1给出了相关计算的示意图,对任何在 $f(x,y)$ 中给定的位置 (s,t) ,由式(1)可以算得 $C(s,t)$ 的值,当 s 和 t 变化时, $w(x,y)$ 在图像 $f(x,y)$ 中移动并给出函数 $C(s,t)$ 的所有值。而 $C(s,t)$ 的最大值则表明了 $w(x,y)$ 在 $f(x,y)$ 中的最佳匹配位置。

式(1)所定义的相关函数有一个缺点,即对 $f(x,y)$ 和 $w(x,y)$ 幅度值的变化比较敏感。当 $f(x,y)$ 的值加倍时, $C(s,t)$ 的值也会加倍。为了克服此问题,可定义如下相关系数:

$$\gamma(s,t) = \frac{\sum_x \sum_y [f(x,y) - \bar{f}(x,y)][w(x-s,y-t) - \bar{w}]}{\left\{ \sum_x \sum_y [f(x,y) - \bar{f}(x,y)]^2 \sum_x \sum_y [w(x-s,y-t) - \bar{w}]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (2)$$

式中 $\bar{w}$ 是 w 的均值,只需算一次, $\bar{f}(x,y)$ 是 $f(x,y)$ 中与 w 当前位置相对应区域的均值。显然相关函数已尺度变换到区间 $[-1,1]$,其值与 $f(x,y)$ 和 $w(x,y)$ 的幅度变化无关。

3 基于金字塔数据结构的多分辨率匹配

在模板匹配中,如果模板的尺寸选取过大,虽能保证足够的精度,但匹配的速度将大大降低;如果模板的尺寸选取过小,虽能有效地提高计算速度,但匹配的精度又将明显降低。文献[1]提出的方法虽然精度较高,但计算量随着模板的增大而明显增加;文献[2]所提出的方法虽能有效地减少计算量,但其匹配的可靠性又明显较低。文献[3]提出的由粗到细的网格匹配法虽能明显提高计算速度,但其计算量仍然较大。因此有必要寻找另一种快速模板匹配算法以提高图像拼接的速度。

事实上,一种减少匹配搜索时间的有效方法是用图像的金字塔式数据结构,按先粗后细的顺序寻找匹配位置^[5]。其基本思路是先对图像中 2×2 领域内的像点灰度值取平均,得到分辨率低一级的图像。照此原理,可得到一组呈金字塔式的图像。当把待匹配的两幅都作此预处理后,匹配搜索从二图的某一低分辨率的开始。这里不但像点数目少,高频信息也平滑掉一部分。因此粗匹配结果可能出现不只一个匹配位置。因为图中点数少,即使粗匹配是在全部参考点上进行搜索过程仍很快。接下去转到高一级分辨率的图上找匹配,但搜索空间只限于一个或几个粗匹配点附近,计算量不大。第三次找匹配同第二次的。仿此下去,直到在 $k=0$ 的一级即原图像上找出二图的匹配点为止。这一算法的加快程度可以从搜索位置数的减少看出:设图像大小为 $M \times N$,第一次(最低分辨率一级是全部搜索,搜索位置数为 $(M/2^L) \times (N/2^L)$,第二次到最高分辨率一级都只在拟匹配点附近搜索,由于普通不分级的搜索次数为 $M \times N$,所以该方法总的搜索位置数约为普通方法的 4^L 分之一。若 $L=3$,就只有普通搜索位置的 $1/64$ 。该算法扣除预处理的时间,计算总机时仍能得到大幅度的减少。通过计算表明,该方法与文献[3]的基于网格的拼接算法均远比文献[1]的速度快得多,而在此介绍的基于金字塔数据结构的多分辨率拼接算法较文献[3]的方法要快5倍左右。

将基于图像金字塔数据结构的多分辨率匹配技术运用于图像拼接需要注意以下几点:

(1) 图像的金字塔数据结构层数并不是越多越好,

它必定存在一个最佳值。一般以最顶层图像数据长和宽不少于 200 个像素较合适。

(2) 由于图像的金字塔数据结构顶层的图像分辨率低, 匹配精度不高, 所以顶层的最佳匹配点并不一定是真正的最佳点, 如果只在顶层寻找一个最佳的匹配点, 然后在逐层向下以顶层的匹配点为依据进行搜索, 这样误匹配的概率必将大大增加。解决的方法是在顶

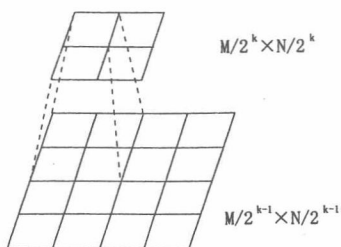


图2 金字塔式图像数据结构

层以相关系数值的大小为依据, 从大到小寻找多个匹配点, 然后以该多个粗匹配点为基础逐层向下搜索, 这样匹配的可信性将大为提高, 因此粗匹配点的选取数目也需要认真考虑。一般取 5~10 个点。

(3) 由于基于块匹配的图像拼接算法对图像灰度的依赖性很大, 所以不同质量的图像匹配的难易程度不同, 对于图像清晰, 对比度强, 图像中景物很多的图像, 显然匹配容易, 此时要求图像重叠区域要少些, 模板也可小些; 而对于图像模糊, 对比度差, 尤其是图像中景物很少的图像, 拼接将变得很困难, 有时甚至会失败, 此时要求图像的重叠应多些, 匹配的模板也要大些。所以在对具体图像进行拼接时, 图像的重叠区域大小及匹配模板的大小均需仔细考虑。一般要求图像重叠区域在 1/2 幅图像宽左右。

4 图像的无缝拼接

当找到两幅待拼接图像的最佳匹配点后, 下一步

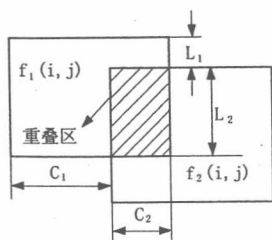


图3 图像拼接示意图

工作就是将两幅图像合成一幅图像, 如果对于重叠部分只是简单的取重叠区域中第一幅图像或第二幅图像数据, 将会造成图像的模糊和明显的连接痕迹, 这是图像拼接所不能容忍的, 它同样会影响到后续的图像分割和识别, 即使取两幅图像重叠

区域平滑, 目前广泛采用渐入渐出的方法, 即在重叠部分由第一幅图像慢慢过渡到第二幅图像。这样便可实现图像的无缝拼接。

两幅图像的左右方向拼接示意图如图 3 所示, 即: 设匹配点在第一幅和第二幅图像中对应点的行数分别为 L_1 和 L_2 ; 列数分别为 C_1 和 C_2 ; i 为拼接图像的列数, $f(i, j)$ 为拼接后新图像的灰度, $f_1(i, j)$ 为第一幅待拼接图像的灰度, $f_2(i, j)$ 为第二幅待拼接图像的灰度。在进行图像拼接过程中, 首先应将图像 $f_1(i, j)$ 中小于 L_1 行和图像 $f_2(i, j)$ 中大于 L_2 行的图像像素剪去, 然后只需对其他图像像素按式(3)进行拼接:

$$\begin{cases} f(i, j) = f_1(i, j) & i \leq C_1 \\ f(i, j) = df_1(i, j) + (1-d)f_2(i, j) & C_1 < i \leq C_2 \\ f(i, j) = f_2(i, j) & i > C_2 \end{cases} \quad (3)$$

其中 d 由 1 慢慢变化到 0, 为一渐变系数。

需要指出的是, 式(3)仅表示了两幅图像的左右拼接, 对于上下部分重叠的图像拼接, 其本质是相同的, 不过此时需要先将图像按顺时针方向旋转 90 度, 然后再进行左右拼接, 待拼接完成后, 再将拼接后的图像按逆时针方向旋转 90 度回去即可。因此对于两种情形的图像拼接, 均可统一按式(3)进行。

5 高放大倍数下显微磨粒图像的拼接

5.1 铁谱显微图像分析系统组成

在 DMAS 智能铁谱分析系统^[3]中, 对普通铁谱显

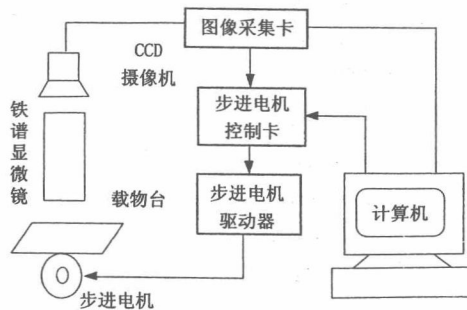


图4 DMAS 智能铁谱分析系统的显微镜控制硬件组成

显微镜进行了改造, 通过步进电机控制载物台进行前后左右以及上下方向的三维运动, 实现了磨粒图像的自动采集, 同时还可进行自动聚焦操作。系统通过彩色 CCD 摄像头获取磨粒图像, 再用视频图像采集卡将图像数字化后得到数字图像, 最后输入微机进行图像处理及识别工作。该系统的基本构成如图 4 所示。

5.2 显微磨粒图像拼接及自适应回程误差消除

在高的物镜放大倍数下(如 $\times 40$ 、 $\times 60$),经常会发现较大的磨粒无法在一个视场内显示出来,当然也无法获取该磨粒的完整图像,因此必须进行图像拼接。具体实现方法是在磨粒附近采集若干部分重叠的图像,设置采集图像的数量为 $n \times m$ (即左右方向采集 n 幅,前后方向采集 m 幅),则在磨粒右上角从右向左采集 n 幅,设为 $I_{11}, I_{12}, I_{13}, \dots, I_{1n}$;然后再回到起始点,并向下移动一定距离,再从右向左采集 n 幅,设为 $I_{21}, I_{22}, I_{23}, \dots, I_{2n}$;依此类推,直到采集完 $n \times m$ 幅图像。接下来进行图像拼接,其具体过程为:先将 $I_{11}, I_{12}, I_{13}, \dots, I_{1n}$ 拼接成图像 I_1 ,将 $I_{21}, I_{22}, I_{23}, \dots, I_{2n}$ 拼接成图像 $I_2, \dots$,将 $I_{m1}, I_{m2}, I_{m3}, \dots, I_{mn}$ 拼接成 I_m ,然后再将 $I_1, I_2, I_3, \dots, I_m$ 拼接成最终的大图像。

从理论上讲,按照上述思路应该容易实现磨粒图像的自动拼接,但是在实际的系统设计中,步进电机是通过齿轮机构来带动载物台运动,由于显微镜是高精密密度仪器,而机械加工的精度往往又很有限,或者随着使用时间的增加,机械传动的精度也往往要下降,所以在DMAS显微镜控制中普遍存在着回程误差,所谓回程误差是指当步进电机向右移动 n 步后,再向左移动 n 步,不能回到原始位置的现象,其具体的误差大小与显微镜的装配及使用条件均有关,带有很大的随机性。经多次试验发现左右方向的回程误差较大,最大达到10步,前后方向的回程误差较小,最大达到4步。显然回程误差给图像的自动拼接带来了很大的困难,因为在高放大倍数下,步进电机运动一步,图像将移动近 $1/3$ 幅图像,而回程误差又带有很强的随机性,所以按简单的消除方法效果并不好,为此在此提出了基于图像相关匹配的自适应的回程误差消除方法。该方法能在开始进行图像拼接采样时,将回程误差消除,使所采集的图像左右和前后方向能很好的对齐,从而大大提高了拼接的可靠性和效率。下面以消除左向回程误差为例来说明其具体步骤:

(1)获取当前视场的图像,并以该图像为基准图像,记为 $f_0(i, j)$;

(2)控制步进电机向左运动一步,并获取运动后视场的图像 $f_1(i, j)$;

(3)将图像 $f_1(i, j)$ 与基准图像 $f_0(i, j)$ 进行相关匹配,按式(2)计算相关系数 γ ;

(4)相关系数 γ 如果很大(如大于0.5),则表明回程误差未消除完,步进电机虽然运动了一步,但并未带动载物台的运动,因此需继续消除回程误差,故转向(2)继续重复操作;一旦相关系数 γ 变小(如小于0.5),则回程误差已基本消除,即可结束。

5.3 算例

图5(a)、(b)、(c)、(d)为在40倍物镜下对一大磨粒进行采样所得到的图像序列,拼接采样的大小根据磨粒为长条状的特点取为 1×4 ,在采样过程中,运用了这里提出的自适应消除回程误差的方法,从图中可以看出图像序列左右的对齐较好,从而为拼接提供了可靠的保证。图5(e)为图5(a)、(b)、(c)、(d)四幅图像的拼接结果,显然实现了被截断磨粒的无缝拼接。

从最后拼接得到的大图像(如图5(e))中不难发现,该磨粒为一典型的严重滑动磨粒,是由于机械磨粒表面应力过高而出现严重滑动磨损的结果。其典型特征是磨粒的粒度范围一般在 $15\mu\text{m}$ 以上,磨粒表面有划痕,通常有直的棱边,有时会出现因高速滑动引起的表面烧伤。由此可见,磨粒图像的拼接为磨粒图像的识别提供了可靠的前提和基础。

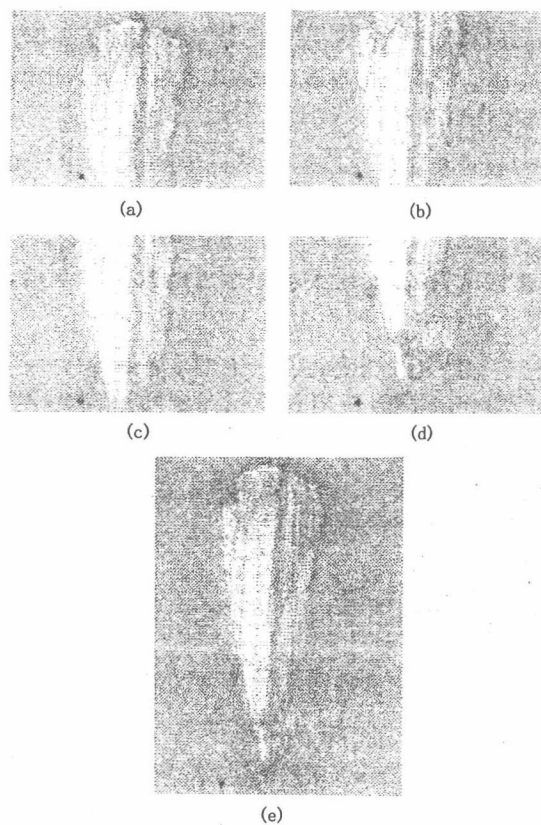


图5

6 结 论

以铁谱显微分析系统为例,针对高的物镜放大倍数下,在一帧显微图像中无法获取所观测磨粒全貌的

问题。运用基于块匹配的算法进行了多帧部分重叠图像的自动拼接,并采用基于图像金字塔数据结构的多分辨率技术实现了匹配算法的快速实现。同时还针对显微镜控制中出现的回程误差,提出了基于图像相关匹配的自适应消除方法。最后的磨粒图像拼接算例充分表明了这里提出的显微图像快速拼接算法的可靠性和有效性。应该指出的是,这里所提出的方法对包括生物、医学及材料科学等其他显微图像应用领域均可适用。

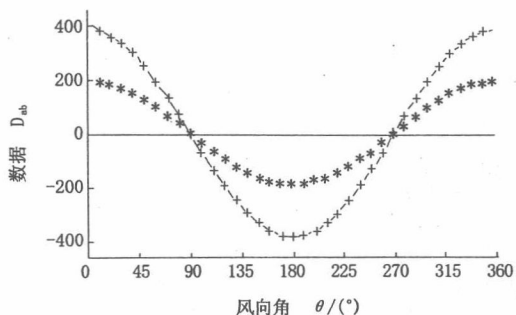
参考文献

- 1 汪成为,等. 灵境(虚拟现实)技术的理论、实现及应用.

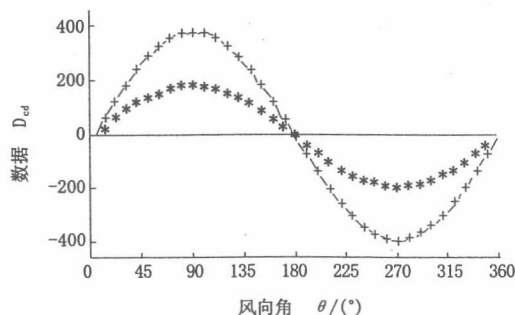
(上接第342页)

5所示。为了测试的需要,此芯片直接压焊在一块圆形PCB板上。芯片经特殊的封装并与外部信号处理电路相连,经过数字化处理从而形成一个测试系统。

在室温情况下,利用纯氮气作为风源对此传感器进行了测试。当风速分别为5m/s和20m/s时,此传感器的数字化输出结果如图6所示。



(a) X轴测试数据 D_{ab}



(b) Y轴测试数据 D_{cd}

图6 传感器测试结果(*, $U=5\text{m/s}$; +, $U=20\text{m/s}$)

广西:广西科学出版社,1996.

- 2 钟立,胡晓峰. 重叠图像拼接算法. 中国图像图形学报, 1998,3(5):367~370.
- 3 李志刚,纪玉波,薛全. 边界重叠图像的一种快速拼接算法. 计算机工程,2000,26(5):37~38.
- 4 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.
- 5 Wong R Y. Sequential scene matching using edge features. IEEE Trans. Aeros. Elec. Syst. AES-10(3), 1978: 353~357.

当风向突然改变时,此传感器的响应时间大致为16ms。此传感器经过一定的定位和调试也可以用于一维气体流量的测量。

5 结束语

这种新型结构的二维风向和风速传感器较好地利用了CMOS工艺的标准化与MEMS工艺的特殊化,从而避免了硅片的背面腐蚀所带来的一些缺点。另外此传感器的合理布局节省了芯片面积,并且实现了传感器与电路的简单集成化。为了能够将此传感器应用到自然风的测量中以及扩大它的应用领域,进一步的芯片封装改进和后处理电路的调试以及样片的测试和分析实验正在继续进行中。

参考文献

- 1 Mayer F., Häberli A., Jacobs H. et al.. Single-chip CMOS anemometer. Proc. IEDM, 1997, 12: 895~898.
- 2 Yoon E., Wise K. D.. An integrated mass flow sensor with on-chip CMOS interface circuitry. IEEE Trans. Electron Devices, 1992, 39(6): 1376~1386.
- 3 Van Oudheusden B. W., Huijsing J. H.. An electronic wind meter based on a silicon flow sensor. Sensors and Actuators, 1990, A21-A23: 420~424.
- 4 张昭勇,秦明,黄庆安. 硅热流量传感器的研究与发展. 电子器件, 2001, 24(1): 41~47.
- 5 杨世铭,等. 传热学. 北京:高等教育出版社,1985.
- 6 黄庆安. 硅微机械加工技术. 北京:科学出版社,1996.

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

收稿日期: 2001-05-28 基金项目: 南京航空航天大学民航科研基金 (No. Y0202-MH) 作者简介: 陈 果, 博士后, 主要从事图像处理、模式识别、信号分析与处理、机械振动以及故障诊断等研究工作。E-mail: cgzyx@263.net 左洪福, 教授, 博士生导师, 主要从事摩擦学、铁谱分析、机械故障诊断和磨损检测等研究工作。

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:

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

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

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

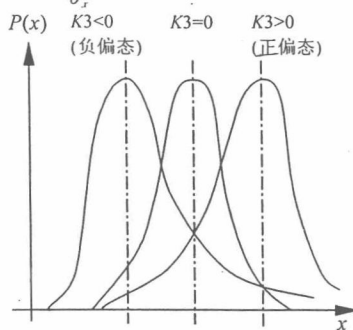


图 1 偏态指标 K_3 对概率密度函数的影响

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 的像素皆被认为目标物,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

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

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

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

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

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

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

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:

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

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

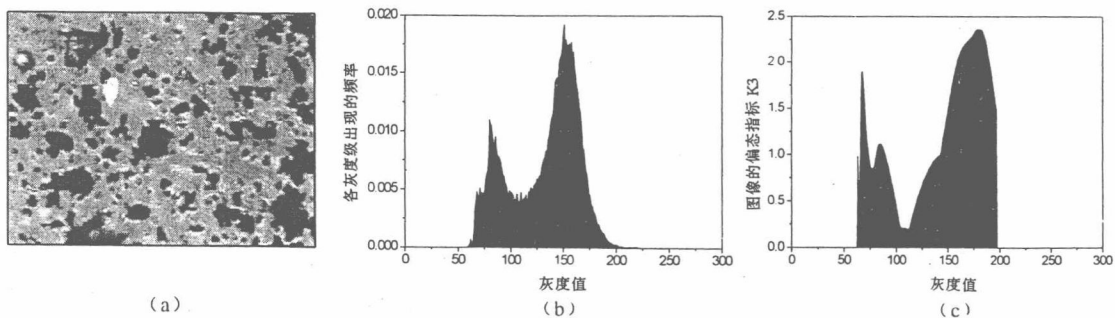


图 2 磨粒图像一(原始图像、直方图及偏态指标)

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的分割结果.

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

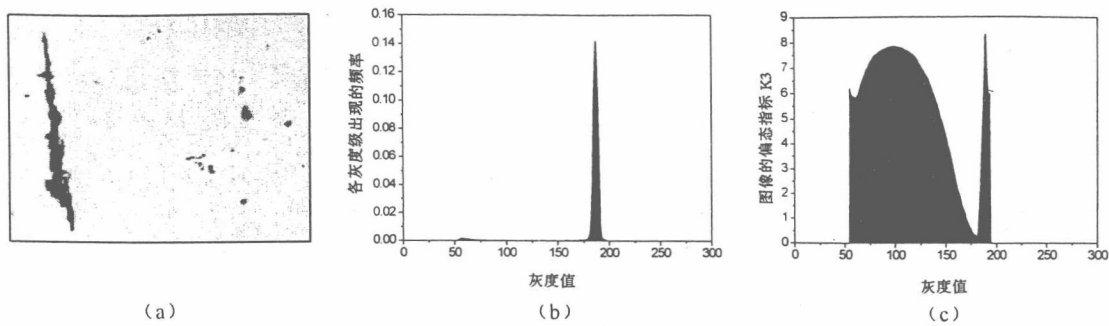


图 3 磨粒图像二(原始图像、直方图及偏态指标)

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

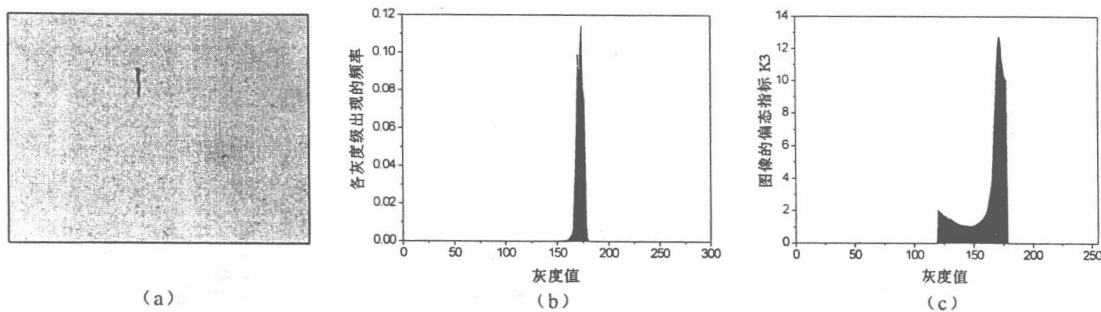


图 4 磨粒图像三(原始图像、直方图及偏态指标)

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

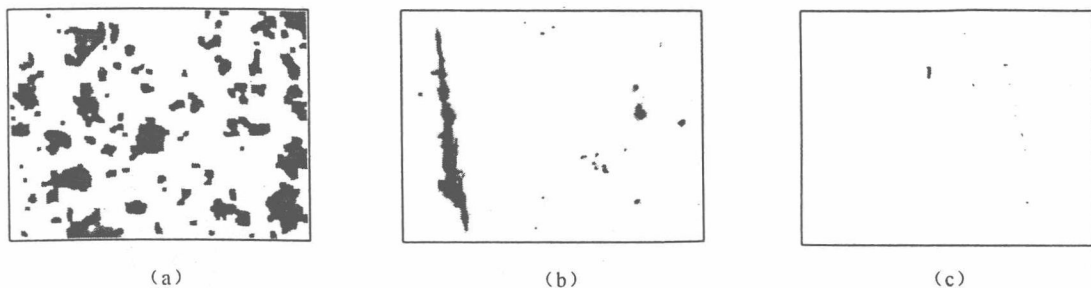


图 5 磨粒图像一、二、三的分割结果

Fig. 5 Segmentation results of wear particle 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:

① 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;

② 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。

③ 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。

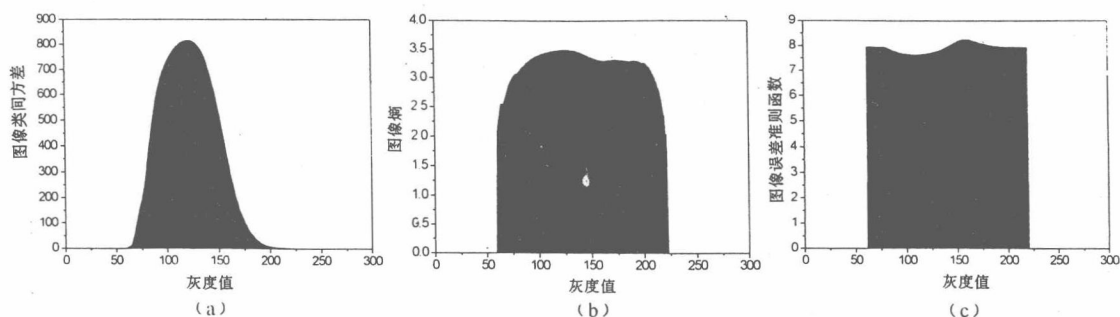


图 6 磨粒图像一的准则函数(类间方差、熵及最小误差准则)

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

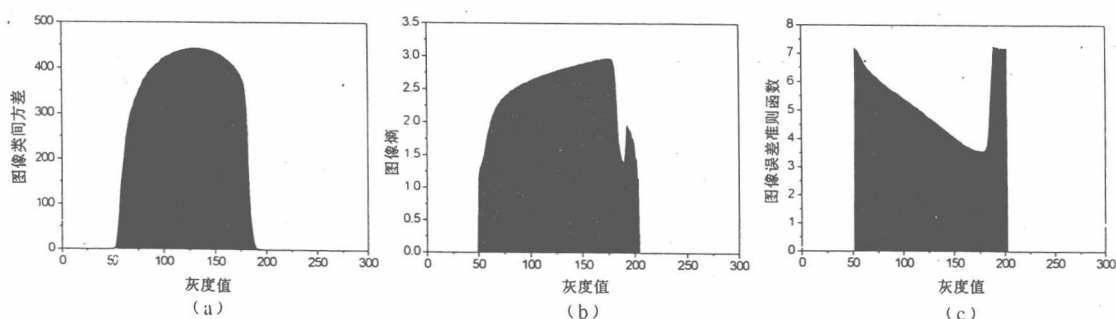


图 7 磨粒图像二的准则函数(类间方差、熵及最小误差准则)

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

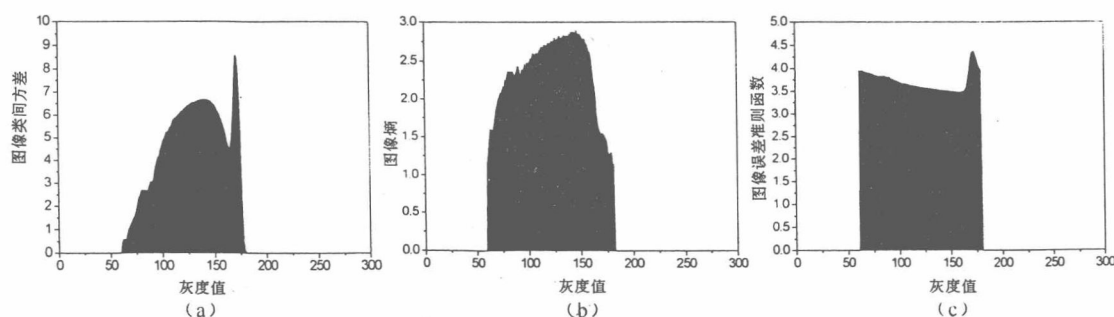


图 8 磨粒图像三的准则函数(类间方差、熵及最小误差准则)

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

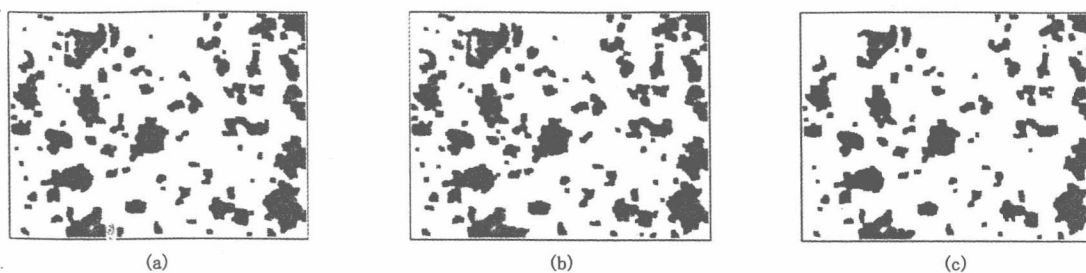


图 9 磨粒图像一的分割结果(Otsu 法、最大熵法及最小误差准则法)

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

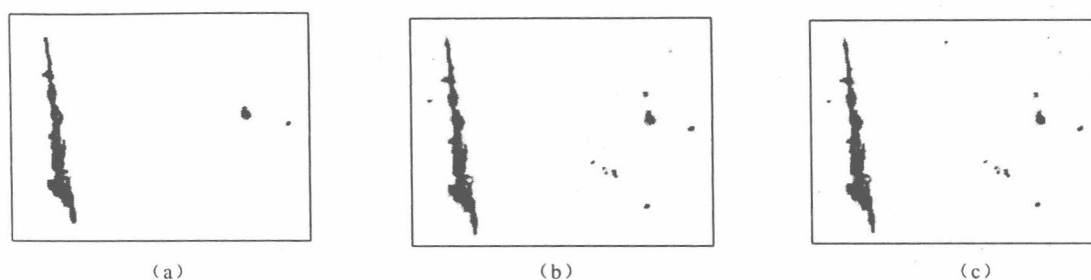


图 10 磨粒图像二的分割结果(Otsu 法、最大熵法及最小误差准则法)

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

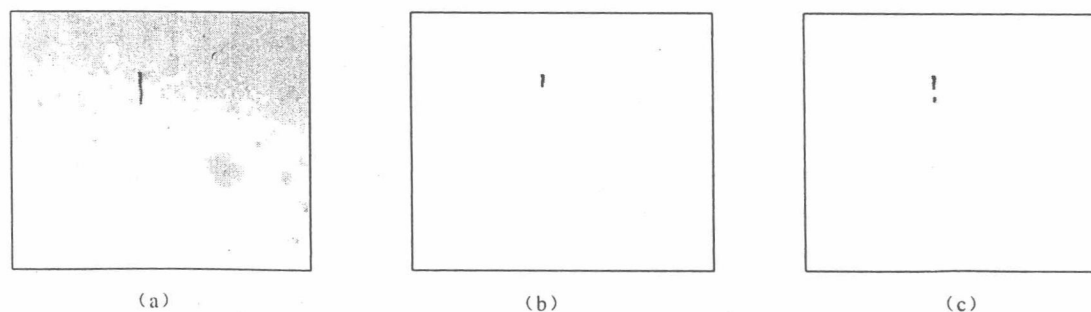


图 11 磨粒图像三的分割结果(Otsu 法、最大熵法及最小误差准则法)

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; SMC-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 Wei-ping, Wu Li-de. 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

图像阈值分割的 Fisher 准则函数法

陈 果

(南京航空航天大学民航学院 南京 210016)

摘要 针对图像分割中的阈值选取问题,通过引入模式识别理论中的 Fisher 评价函数作为图像分割的准则函数,提出了基于 Fisher 评价函数法的图像分割新技术。该方法利用图像直方图计算各灰度级下的 Fisher 评价函数值,其最大值即对应于最佳分割阈值。对该方法进行了详尽的图像分割实验,并与著名的 Otsu 法、最大熵法、最小误差准则法进行了详细比较,结果表明该方法具有分割性能稳定、计算速度快以及受目标大小影响小等优点,是一种实用有效的图像阈值分割新方法。

关键词 图像分割 阈值 模式识别 Fisher 评价函数

The Fisher Criterion Function Method of Image Thresholding

Chen Guo

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

Abstract The threshold selection problem in image segmentation is aimed at. The Fisher evaluation function is introduced, and is acted as the criterion function of image thresholding, a new thresholding method based on Fisher criterion function is put forward. In the new method, the image gray histogram is used to compute Fisher criterion function value of all gray grades, and the optimal threshold is determined at the maximum value of Fisher criterion function. In the paper, the Fisher criterion function method is tested, and is compared with the Otsu method, the maximum entropy method, and the minimum error criterion function method. The results show that, the Fisher criterion function method has these advantages such as stable segmentation performance, fast computation speed, and very little influence by the object's size, and it is a practicable effective new image thresholding method.

Key words Image segmentation Threshold Pattern recognition Fisher evaluation function

1 引言

图像分割是图像处理的基本问题,其目的是将图像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。而阈值分割法由于其简单可靠的优点,在图像分割中又占着主要地位,在图像阈值分割法中,阈值的选择又是分割的关键。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的目标大小和形状,甚至会使目标失落。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。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。众所周知,在模式识别理论中,可以运用 Fisher 评价函数得到特征向量的最佳投影方向。在该方向投影可以使类别间的分离度最大,此时 Fisher 评价函数值达到最大值。由此可见, Fisher 评价函数是类别分离程度的良好判据。因此,现将 Fisher 评价函数引入到图像阈值分割中,构造出图像分割的准则函数,图像分割阈值选取在图像 Fisher 评

• 本文于 2002 年 2 月收到,得到南京航空航天大学人才基金(C0293~071),南京航空航天大学民航科研基金(Y0202-MH)资助。