

文章编号 1004-924X(2007)04-0611-04

基于计算机视觉的微观稀疏离散粒子尺寸的检测

张学军,左春桢,文伟力,朱梦义

(吉林大学 机械科学与工程学院,吉林 长春 130025)

摘要:针对场流分离后,微粒处理时存在尺寸不直观等问题,提出了基于图像处理技术检测微粒尺寸的方法。首先用 CCD 并配合图像处理软件采集微粒图像并进行预处理,然后用阈值化方法分割图像。在测量尺寸时,以小麦粉作为被测量样本,利用动态聚类处理,得出微粒 16 个、最大半径 $1.600 \mu\text{m}$ 、最小半径 $1.000 \mu\text{m}$ 、平均半径 $1.1875 \mu\text{m}$ 、半径方差 0.6614 等。试验表明,本文提出的检测微粒尺寸参数的方法方便可行。

关键词:微粒半径;场流分离;CCD;动态聚类

中图分类号:TP242.6;TB92 **文献标识码:**A

Measurement of sparse scatter particulates based on computer vision

ZHANG Xue-jun, ZUO Chun-cheng, WEN Wei-li, ZHU Meng-yi

(College of Mechanical Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: A method to measure micro particulates based on image processing is presented. The particulate image is collected and pre-processed by CCD combined with a image-processing software system, then segmented by threshold method. By using flour as specimens and utilizing the dynamic clustering method coded by C++, the 16 particulates with the maximum radius of $1.600 \mu\text{m}$, minimum radius of $1.000 \mu\text{m}$, average radius of $1.1875 \mu\text{m}$ and standard deviation of radius of 0.6614 have been obtained. The experiment results indicate that the presented method is effective and feasible.

Key words: particulate radius; field flow fractionation; CCD; dynamic clustering

1 引言

微细粒子的尺寸对该粒子的性能有着重要的影响。研究表明粒径在 $2 \sim 2.5 \mu\text{m}$ 以下的粉尘是导致矽肺的主要原因^[1],而小麦粉颗粒的大小对小麦粉的应用有着重要的影响^[2-3],所以检测这些微细粒子粒径具有重大的现实意义。粒径分布

在 $1 \sim 100 \mu\text{m}$ 的范围内的细小粒子通常称为微粒,对这些微米级的细小粒子的尺寸检测十分复杂而且成本较高。

场流分离是一种用于微细粒子的分离技术^[4]。在场流分离中,当处理的微观粒子在微米量级时,欲获取分离后微粒的尺寸信息较为困难^[5]。利用计算机视觉进行尺寸参数测量是一种可行的方法。对于利用图像处理方法进行检测,

收稿日期:2006-12-13;修订日期:2007-02-18.

基金项目:国家自然科学基金(No. 10572053);高等学校博士学科点专项基金(No. 20040183057)

人们已做了许多探索研究工作^[6-8]。但在实验设施受限的情况下,往往获取的图像质量较差,如没有做染色处理的目标粒子与背景在灰度上差别太小,会导致目标粒子与背景难以分开或不能获取高质量图像;而显微镜放大倍数的限制也会导致单个粒子所占像素较少等。在这种情况下,图像经二值化处理之后,往往不能形成有效边界,应用传统的边界提取算法效果较差。针对这种情况,本文利用模式识别上的动态聚类分析方法提出了一种有效的提取出微观粒子某些特征值的方法。

2 检测原理

2.1 样本微粒的获取

实验使用小麦粉作为分离样本(内蒙古大公实业有限公雪花粉),并以水调制,体积比为 1:100。分离流道在塑料薄片上刻出,流道尺寸 $120\ \mu\text{m} \times 20\ \text{mm} \times 400\ \text{mm}$ 。塑料薄片置于两平板玻璃之间。两平板玻璃用有机玻璃夹紧,形成分离流道系统。驱动使用浙江大学医学仪器有限公司生产的 MICROINFUSION PUMP WZ-50C2 泵。试验时注射泵流速调整为 $1\ \text{ml}/\text{min}$,进样为每次 $0.2\ \text{ml}$ 。样本注入流道后停滞 $2\ \text{min}$,而后启动注射泵,开始驱动样本运动。

2.2 图像处理

首先采用 Basler 公司图像处理软件进行微粒图像的采集及预处理,而后自编程序对图像进行二值化,动态聚类,微粒几何参数等计算。

2.2.1 图像采集

本测量系统使用德国 Basler 公司生产的 A102FCCD 数字摄像头采集数字图像,该摄像头像素个数为 $1\ 392\ \text{pixel} \times 1\ 040\ \text{pixel}$ 。通过 IEEE1394 数字接口卡将采集到的数字图像传输到计算机;观测装置使用荧光生物显微镜(XSZ-HS7 重庆光电仪器有限公司)。图 1 为分离流道出口 $5\ \text{min}\ 10\ \text{s}$ 由 CCD 采集的原始灰度图像,它是 BMP 格式的 256 灰度级文件。

2.2.2 图像的二值化

经降噪后的图像包括物体和背景,对灰度图像通常实施两类分割,一类是阈值法,另一类是梯度法。本系统采用灰度直方图进行二值化处理。设图像 f 的灰度值范围为 $[a, b]$,二值化阈值取 $T(a \leq T \leq b)$,二值化处理可用下式表示

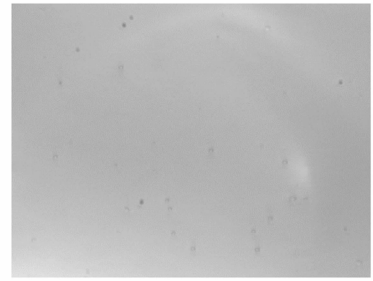


图 1 5 min 10 s 分离小麦粉

Fig. 1 Separation of flour particles at 5 min 10 s

$$f_T(x, y) = \begin{cases} 1 & f(x, y) \geq T \\ 0 & f(x, y) < T \end{cases},$$

式中, f_T 是二值图像。阈值化是输入图像 f 到输出图像 f_T 的变换,如果像素是物体上的, $f_T(i, j) = 1$;而处于背景上的像素,其 $f_T(i, j) = 0$ 。本文由于图中目标微粒与背景相差不大,因此先经灰度变化,再根据直方图选取阈值 $T = 187$ 。图 2 为对图 1 二值化的图像。图像经过二值化处理后,目标物与背景已经分开。但从该图可以发现,经二值化处理的图片中的微粒其边界很不规整,个别微粒甚至未形成完整颗粒。因此,对该图片中的微粒进行边界提取并获得微粒的尺寸参数是非常困难的。本文采用动态聚类方法很好地解决了这个问题。

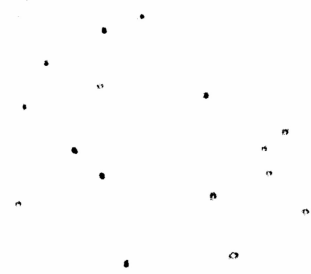


图 2 二值化处理后图像

Fig. 2 Image segmentation by binary

3 微粒尺寸参数检测

3.1 系统组成

整个系统由分离与检测两部分组成。分离包括驱动装置,进样装置,分离装置及分离样本收集;检测部分包括显微镜,CCD 摄像头和计算机。

样本的收集采用手工方式,系统组成如图3所示。

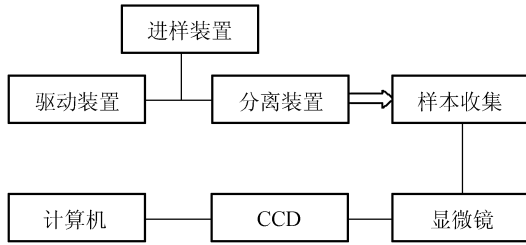


图3 系统组成示意图

Fig. 3 Schematic of system composition

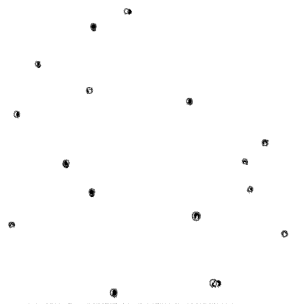


图5 聚类处理后微粒

Fig. 5 Dynamic clustering processed particulates

3.2 聚类

动态聚类的基本思想是:先将所研究的 n 个样品(或变量)各自为一类;计算它们之间的相似程度或距离,选择最相似的或距离最小的两类归为新的一类;计算新类与其它类之间的相似程度或距离;每次归类就减少一个类,直到所有样品(或变量)都划为一个类为止。图4是动态聚类分析流程图。

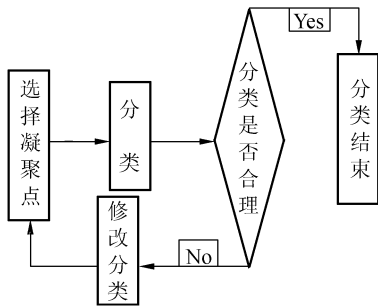


图4 动态聚类分析流程

Fig. 4 Analysis flow of dynamic clustering

凝聚点是指一批有代表性的点,是欲形成类的中心。凝聚点的选择直接决定初始分类,对分类结果也有很大的影响,由于凝聚点的不同选择,其最终分类结果也将出现不同。本文采用密度法选择凝聚点,使用逐个修改法实现图片中微粒像素的聚类。聚类经处理后的图片如图5。

3.3 标定

一般二维图像测量系统主要由被测物、光学成像系统、CCD 摄像机、信号处理电路及计算机组成。CCD 摄像机把带有边缘位置信息或尺寸信息的光学信号变为视频信号,经图像处理电路送入计算机处理。因此图像处理的数据是数字信号,得出的边缘位置是以像素为单位来表示的,如

果要给出被测物的实际尺寸,必须建立数字图像像素与实际尺寸的对对应关系。可以把一个图像像素在水平方向和垂直方向相当于实际尺寸的大小分别简称为像素的水平当量和垂直当量。目前,图像测量系统的标定方法大都采用标准件法,即把标准件的精确尺寸传递给数字图像。本文针对具体的视觉检测应用,使用标准的检测对象作为标定参照物,不需要标定摄像机的内外参数,只需要标定出摄像机的物面分辨率,这样不但简化了标定过程,而且保证了具体应用系统的标定精度和稳定性。

本文的标定目的就是要确定摄像机的物面分辨率,也就是要计算出检测图像中的一个像素代表多大的物理尺寸,一般包括两个方向的尺寸,即水平方向上的尺寸和垂直方向上的尺寸。但实际镜头与理论上的理想透镜有较大的差别,其物像关系也不像理想透镜成像公式描述的那么简单,所以在本测量系统中采用了试验标定的方法。即在图像测量系统的工作距离确定之后,为了从目标图像占有的像素个数计算目标的实际尺寸,先对已知尺寸为 W 的物体成像,得到该物体所占有的 CCD 像素个数 N ,由此得到每个像素对应的标定系数 $k=W/N$,它表示一个像素所对应的实际尺寸。当将被测物体置于该位置,即可得到被测物体的实际尺寸。具体过程如下:取与被测物尺寸相近的标准刻度尺,这里选用上海第三光学仪器厂生产的显微镜测微尺,对标准刻度尺进行测量以确立物像之间的尺寸比例关系,若摄像机镜头存在畸变,视场内对应的像素个数就会有所不同,因此,应在视场内不同方位多次随机测量,取其平均值作为其测量值。这样既可消除镜头畸变引起的误差又可去掉标定过程引入的随机

误差。

选用 $10\ \mu\text{m}$ 的显微镜测微尺对检测系统进行标定,在视场内不同方位分别进行五次标定,显微镜测微尺对应的像素值见表 1 所示。

表 1 标定系数

Tab.1 Calibration coefficients

测量次数	1	2	3	4	5	平均值	标定系数
像素值	51	50	50	49	49	49.8	0.200 1

3.3 检测结果

利用自编程序得到了被测微粒的如下参数:16 个微粒,微粒最大半径 $1.600\ \mu\text{m}$,最小半径 $1.000\ \mu\text{m}$,平均半径 $1.187\ 5\ \mu\text{m}$,半径方差 $0.661\ 4$,平均面积 $4.513\ 7\ \mu\text{m}^2$ 。

4 结 论

利用面阵 CCD、1394 接口卡及计算机对经场流分离的小麦粉微粒尺寸参数进行了非接触测量,实现了光、机、电与计算机技术的有机结合。在获取的微粒图像不很理想的情况下,利用动态聚类方法实现了同一微粒中各像素的聚类,并在此基础上完成了微粒尺寸参数的自动测量,获得了所需的微粒参数,即微粒个数,微粒最大半径、最小半径、平均半径、半径方差及微粒平均面积。该方法不仅适用于小麦粉尺寸参数的测量,同时也可用于其它微粒尺寸参数的测量,如环境中粉尘微粒,电厂中煤粉微粒等。因此,本文提出的微粒测量方法为多种微粒参数的测量提供了一种方便可行的手段。

参考文献:

- [1] 鲍含诚,李庆海. 矿山粉尘与相关疾病[M]. 煤炭工业出版社,1999.
BAO H CH, LI Q H. *Mine-dust and It's Correlative Disease*[M]. China Coal Industry Publishing House, 1999. (in Chinese)
- [2] 司笑丁,于宏文. 影响小麦生产啤酒专用糖浆过滤的几个因素[J]. 酿酒科技, 2005, 6(132): 83-85.
SI X D, YU H W. Some influencing factors in the filtration of beer syrup produced by wheat[J]. *Liquor-making Sci. Technol.*, 2005, (6): 83-85. (in Chinese)
- [3] 王化斌,刘钟栋,安红杰,等. 小麦淀粉颗粒结合蛋白质的研究[J]. 湘潭大学自然科学学报, 2004, 3: 64-67.
WANG H N, LIU ZH D, AN H J, et al.. Studies on wheat starch granule associated proteins[J]. *Natur Sci. J. Xiangtan Univ.*, 2004, (3): 64-67. (in Chinese)
- [4] 张学军,左春桢,文伟力. 场流分离理论的研究现状及发展趋势 [J]. 精细化工, 2005, 10(22): 773-776.
ZHANG X J, ZUO CH CH, WEN W L. Current theory of field-flow fractionation and its development trend[J]. *Fine Chem.*, 2005, 10(22): 773-776. (in Chinese)
- [5] SANZ R, PUIGNOU L, RESCHIGLIAN P, et al.. Gravitational field-flow fractionation for the characterisation of active dry wine yeast[J]. *J. Chromatograph. A*, 2001, 919: 339-347.
- [6] 王朝晖,李莉,李引生,等. 基于遗传算法的生物组织图像最佳挖取点寻优[J]. 光学 精密工程, 2005, 13(2): 231-236.
WANG CH H, LI L, LI Y SH, et al.. Seeking of tissue image digging point method based on genetic-arithmetic[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2005, 13(2): 231-236. (in Chinese)
- [7] 高春甫, 郭敏. 粗糙表面精度测量系统的研究[J]. 光学 精密工程, 2005, 13(6): 697-702.
GAO CH F, WU M. Study of measurement system for rough surface accuracy[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2005, 13(6): 697-702. (in Chinese)
- [8] 周贤,刘义伦. 炭素制品缺陷的 X 射线自动检测技术研究[J]. 光学 精密工程, 2006, 14(3): 503-508.
ZHOU X, LIU Y L. X-ray automatic inspection techniques for carbon product defect [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(3): 503-508. (in Chinese)