

文章编号: 1002-2082(2008)SO-0120-04

基于旋滤波的颗粒衍射图样滤波方法

屈红, 马卫红

(西安工业大学 光电工程学院, 西安 710032)

摘要: 应用光衍射法测量颗粒粒径, 在实际测量过程中, 由面阵 CCD 接收到的待测颗粒衍射图样不可避免地存在各种噪声, 影响了衍射图样的处理结果。因此, 对衍射图样进行高精度地分析和处理是非常重要的。在分析几种常见滤波算法的基础上, 考虑到光衍射法对衍射花纹的特殊要求, 提出基于旋滤波的衍射条纹图滤波方法。对仿真衍射花纹的滤波结果证明了曲线窗口旋滤波方法可以较好地去除衍射花纹的噪声, 同时有效地保持了图样中的有用信息, 能够很好地提高颗粒粒径的测量精度。

关键词: 颗粒测量; 衍射图样; 数值模拟; 滤波方法

中图分类号: O436.2

文献标志码: A

Filtering method for diffraction patterns of particles based on spin filtering

QU Hong, MA Wei-hong

(School of Optoelectronic Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710032, China)

Abstract: By the analysis of several common filtering methods, a filtering method of diffraction fringes is used based on the spin filtering with a thorough consideration of the special needs of light diffraction method to diffraction fringes. The filtering results of simulated diffraction patterns prove that the spin filtering with curve windows is effective in the noise filtering of diffraction patterns and keeps the available signal of patterns at the same time. It can improve the measurement accuracy of particle size.

Key words: particle measurement; diffraction pattern; numerical simulation; filtering method

引言

多年来人们发展了多种基于不同工作原理的测量方法和测量仪器对微小颗粒的粒径进行检测, 光衍射法^[1]便是其中一种, 其以优异的性能得到了极大的重视并迅速发展起来。光衍射法是通过探测激光通过颗粒后的夫朗和费衍射的能量分布及其相应的衍射角度来得到颗粒的粒径分布信息, 由此计算出样品的粒径及其分布。在实际测量中, 当把由面阵 CCD 接收到的光强分布的衍射图样转换成计算机处理的数字图像时, 在整个转换过程中, 由

于衍射系统是一个涉及光、电、计算机和机械等多种器件的复杂系统, 其各个环节都可能对衍射图样的清晰程度造成一定的污染, 直接利用会严重影响测量精度, 甚至得出错误的结果。所以, 我们要尽可能抑制使图像退化的各种干扰信号, 恢复图像中的有用信息。但是, 由于传统的滤波算法对图像的频谱有影响, 使得到的衍射图样丢失部分有用信息, 影响测量精度。因此, 如何选择最佳的衍射图样的滤波技术是非常重要的。

通过单颗粒子的仿真实验, 对微小颗粒衍射花

纹的几种常见的滤波方法进行分析和对比,主要应用的曲线窗口旋滤波法^[2-3]对衍射条纹图进行滤波处理能够得到最佳的效果,可以较好地滤除掉噪声而不使衍射条纹图变模糊,有效保持了图样中的有用信号。

1 光衍射法颗粒分析技术

基于夫朗和费衍射理论的测量方法称为激光衍射法^[1],其原理为具有一定粒径分布的颗粒,当用一束平行光照射时,光通过颗粒将出现夫朗和费衍射,不同粒径的颗粒产生的散射光随角度的分布并不一样,利用光能探测器探测激光通过颗粒后的夫朗和费衍射的能量分布及其相应的衍射角度,就可以计算出样品的粒径及其分布。其中,对接收到的待测颗粒的衍射图样进行高精度地分析和处理是光衍射法测量颗粒大小的重要环节。下面通过 Matlab 数值模拟^[4]对已知单个颗粒的衍射图样进行分析说明。

假设待测颗粒为球体(半径为 0.07 mm),图 1(a)是单个颗粒的仿真衍射条纹图(500×500 像

素);图 1(b)是图 1(a)归一化后的最大强度所在行截面 L 的相对强度分布曲线图。从图 1 可以看出单个粒子衍射的相对强度分布是一个振荡的波形,其振幅在中心达到最大值,能量也是绝大部分集中在中央亮斑内,亮环的强度随着其衍射角度的增大而急剧下降。一级极小(零点)的位置 θ_0 与粒径值 a 一一对应^[5],不同粒径粒子衍射光对应的一级零点也不同,粒径 a 越大, θ_0 越小。由导出式(1)可知,可以根据衍射图中央亮斑的半径得到单个颗粒的粒径。

$$2a = 1.22 \frac{\lambda}{\theta_0} = 1.22f \frac{\lambda}{r_0} \quad (1)$$

(1) 式中 r_0 为衍射图中央亮斑的半径, θ_0 即为半径为 a 的颗粒的衍射光艾里斑的角半径。但是,实际测量中衍射条纹图总是不可避免地存在各种噪声,极大地影响了衍射图样的处理精度。图样处理精度在很大程度上取决于怎样处理这些噪声。目前,人们所研究的光学系统成像的滤波方法^[6]有很多,传统的中值滤波和均值滤波是早期经常使用的方法。针对衍射条纹图,文中主要应用了曲线窗口旋滤波方法,下面对该滤波方法进行详细地介绍。

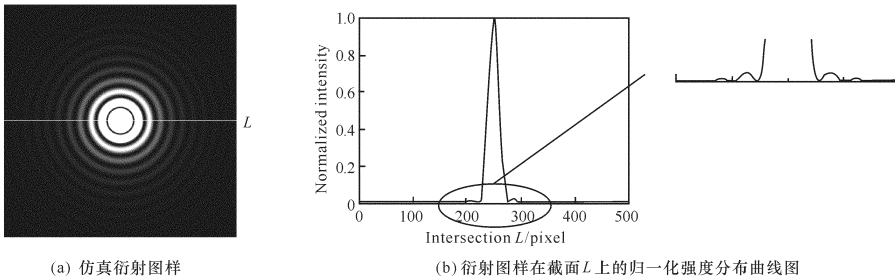


图 1 单个粒子仿真衍射图

Fig. 1 Simulated diffraction pattern of single particle

2 旋滤波的基本原理

条纹图的灰度分布是有规律的:在条纹的法线方向上,灰度分布变化最大,而在条纹的切线方向上,灰度分布变化最小,在其他方向上居于两者之间。在频域内分析此规律,图 2(a)和图 2(b)分别是条纹图中某一窗口内在条纹法线和切线方向的灰度分布对应的频谱分布图。在条纹法线方向,灰度变化较大,对应的频谱呈一条宽带,条纹信号和噪声的频谱是叠加在一起的,无法截然分开。在条纹切线方向,灰度变化很小,对应的频谱是在零频附近的一条窄带,而随机噪声仍然分布在高频,因此

可以用常规低通滤波器将条纹和噪声干净地分开,从而滤掉噪声,同时不损害条纹信号的任何信息。旋滤波的基本思想^[7]是:首先找到条纹灰度值的等值线,然后在灰度值等值线上作低通滤波。

由于待测颗粒的衍射条纹的曲率很大,采用一般的直线窗口旋滤波会引起较大的误差,所以文中采用曲线窗口旋滤波对衍射条纹进行滤波。此滤波窗口是条纹等值曲线,在此窗口上条纹的信号近似为常数,即为接近零频的信号,而噪声是高频信号。因此,用此曲线窗口进行滤波可以很好地消除噪声,同时对条纹结构信号没有损害。

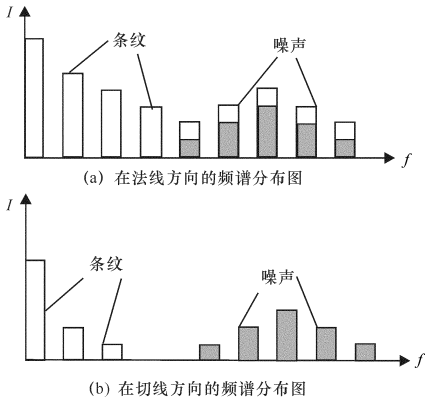


图2 条纹图在法线方向和切线方向的灰度分布对应的频谱分布图

Fig. 2 Distributions of frequency spectrum corresponding to gray levels in fringe-normal and fringe-tangential directions

3 仿真实验与分析

在仿真衍射条纹图中加入随机高斯噪声,如图3(a)所示,当引入噪声后,噪声几乎淹没了旁瓣的能量分布,一级极小值的位置偏离很严重。在这种情况下通过衍射条纹图计算粒径的大小会得出错误的结果。下面分别用中值滤波、均值滤波^[8]、曲线窗口旋滤波方法对含有噪声的衍射图样进行滤波。图3是同一截面(最大强度所在行)上各种滤波前后的归一化强度分布图。为了能够清楚地对比各种滤波方法的滤波效果,把选定区域的强度分布曲线进行放大。通过图3(b)、(c)、(d)与图1(b)的比较可以看出,中值滤波和均值滤波将条纹的顶部和底部削掉一些,其中均值滤波有较强的模糊效应,条纹的特征已被明显破坏。旋滤波对衍射条纹没有明显的模糊效应,既滤掉了噪声,又保持了条纹特征,能够很好地将有用信号从噪声中还原出来。

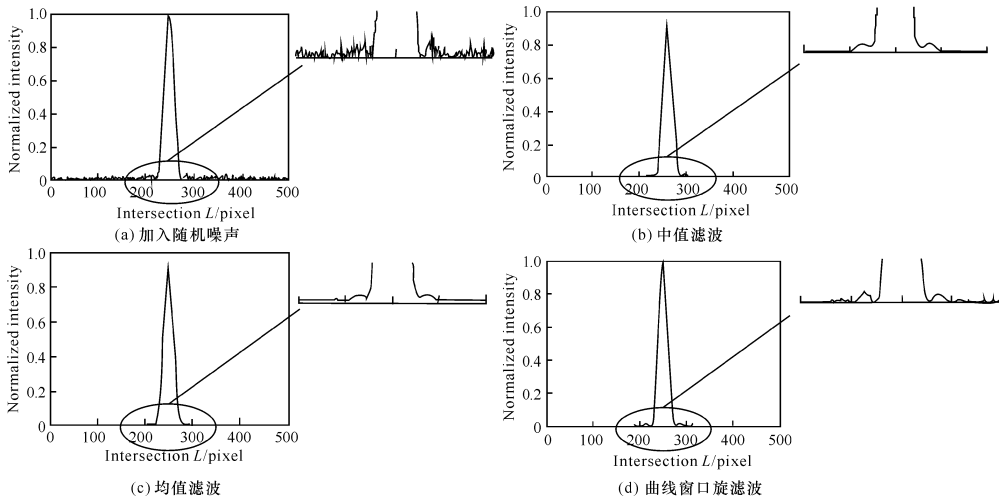


图3 同一截面L上各种滤波前后的归一化强度分布图

Fig. 3 Normalized intensity distributions before and after each kind of filtering in same intersection

为了进一步分析和比较旋滤波对衍射花纹的滤波效果,这里对一些带噪声的仿真衍射条纹图(均取 500×500 像素)分别用曲线窗口旋滤波、中值滤波、均值滤波以 $3 \times 3, 5 \times 5, \dots, 17 \times 17$ 的窗口进行滤波,最后比较各种滤波结果图与仿真无噪声的原条纹图的中央亮斑的半径。表1是以上3种滤波方法滤波后条纹图像的中央亮斑的半径随窗口尺寸变化的结果比较,未加噪声的原始衍射条纹图和加入噪声条纹图的中央亮斑的半径分别为27.5

和25个像素点。经过多次实验,对其他条纹图进行滤波的结果也有类似的分布趋势。

由表1可以看出,在各种窗口尺寸下,曲线窗口旋滤波给出了最佳的滤波效果,其滤波后衍射条纹图与原始图的中央亮斑的半径很接近,即使取较大窗口其误差也只有一个像素点。通常, 7×7 至 13×13 的窗口尺寸能给出最优结果,而对 3×3 的最小窗口,均值滤波能给出较满意的结果,但是 3×3 的窗口通常难以有效地滤掉高水平噪声。在大窗口

条件下,中值滤波和均值滤波对衍射条纹图总是有很强的模糊效应,破坏了衍射条纹的结构,滤波后衍射条纹图的中央亮斑的半径随滤波窗口尺寸的增大而增大。

表1 原始图及各种方法滤波后图像的中央亮斑的半径随窗口尺寸变化的结果比较

Table 1 Variation of radiuses of central bright spot before and after each kind of filtering with window sizes

窗口大小	中央亮斑的半径		
	曲线窗口旋滤波	中值滤波	均值滤波
3×3	26.5	27.0	27.5
5×5	26.5	28	—28.0
7×7	27.0	28.0	28.0
9×9	27.5	28.5	28.5
11×11	27.0	29.5	29.5
13×13	26.5	30.0	30.5
15×15	27.0	31.0	31.5
17×17	27.0	32.0	32.5

4 结论

应用光衍射法测量颗粒粒径中,对接收到的光强分布的衍射花纹进行高精度地分析和处理是非常重要的。文中应用的基于曲线窗口旋滤波处理方法,其滤波效果远远好于一样的中值滤波和平均滤波。它不是简单地滤掉高频信息,而是在灰度值等值线上滤掉高频噪声。对仿真衍射花纹的处理结果证明了该方法能较好地滤除掉衍射图样的随机噪声,有效地保持了条纹中的有用信息,能够很好地提高颗粒粒径的测量精度。

参考文献:

[1] 余荣斌. 改进小角前向光散射法颗粒测试理论与技术研究[D]. 广州:华南师范大学,2002:4-13.
YU Rong-bin. Particle measurement theory and technique research with improved small-angle forward light scattering [D]. Guangzhou: South Normal University of China, 2002: 4-13. (in Chinese)

[2] 于起峰,陆宏伟,刘肖琳. 基于图像的精密测量与运动

测量[M]. 北京:科学出版社,2002:38-41.

YU Qi-feng, LU Hong-wei, LIU Xiao-ling. The precision measurement and motion measurement based on image[M]. Beijing: Science Press, 2002: 38-41. (in Chinese)

- [3] YU Qi-feng, SUN Xiang-yi, LIU Xiao-lin. Spin filtering with curve windows for interferometric fringe patterns [C] // proceedings of third international conference on experimental mechanics. Beijing China: Chinese Mechanical Institute, 2001.
- [4] 王家文,曹宇. 图形图像处理[M]. 北京:国防工业出版社,2004.
WANG Jia-wen, CAO Yu. Graphics and image processing[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2004. (in Chinese)
- [5] 郁道银,谈恒英. 工程光学[M]. 北京:机械工业出版社,1999.
YU Dao-yin, TAN Heng-ying. Engineering optics [M]. Beijing: China Machine Press, 1999. (in Chinese)
- [6] 朱锡芳,吴峰. 基于小波阈值法和维纳滤波的稀疏孔径光学系统成像的恢复[J]. 应用光学,2007,28(5): 526-530.
ZHU Xi-fang, WU Feng. Imaging restoration for sparse sparse aperture optical systems based on wavelet threshold and Wiener filtering[J]. Journal of Applied Optics, 2007, 28 (5): 526-530. (in Chinese)
- [7] 徐建程,许乔,柴立群,等. 基于旋滤波法的干涉条纹预处理技术[J]. 强激光与粒子束,2006,18(1):69-72.
XU Jian-cheng, XU Qiao, CHAI Li-qun, et al. A new fringe-pattern preprocess method based on median spin filtering [J]. High Power Laser & Particle Beams, 2006, 18(1): 69-72. (in Chinese)
- [8] GONZALEZ R C, WOODS R E. 数字图像处理学[M]. 2版. 阮秋琦,阮宇智,等译. 北京:电子工业出版社,2003:183-186.
GONZALEZ R C, WOODS R E. Digital image processing [M]. Second Edition. RUAN Qiu-qi, RUAN Yu-zhi, et al translate. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003: 183-186. (in Chinese)