

文章编号: 0529-6579 (2000) 02-0024-04

光纤线径无接触测量及其计算机图像处理方法

傅思镜, 钟伟彬, 梁丽贞

(中山大学物理学系, 广州 510275)

摘 要: 扼要介绍了采用光衍射方法, 通过 CCD 摄像实现无接触测量光纤等细丝线径的原理和实验过程, 着重叙述了用计算机进行图像处理的方法和技巧。

关键词: 光纤; 测量; 图像处理; 电荷耦合器件

中图分类号: TN25; TP391 **文献标识码:** A

70 年代初由美国贝尔实验室的 Boyle 和 Smith 等研制成功的电荷耦合器件 (charge coupled device, 简称 CCD), 它是一种固体成像器件, 它与以往的真空摄像器件等相比, 有体积小、质量轻、工作电压低、耐冲击、可靠性高、寿命长、使用光谱范围宽 (从紫外、可见至红外), 基本上不保留残像、无像元烧伤、扭曲, 像元尺寸的几何位置精度高 (优于 $1\ \mu\text{m}$), 具有自扫描的视频信号、易与微型计算机接口等许多优点, 因此它被各行各业广泛应用, 尤其在工业生产、军事、公安、科学研究、传媒、交通、金融等部门和领域的自动监控和自动监测等系统上, 我们用 CCD 拍摄 He-Ne 激光束照射单根光纤 (或其它细丝) 的衍射图样, 用计算机储存, 分析处理这些图像, 从而达到远距离无接触测量光纤线径或其它微小物体线度的目的, 这是一个成功的实验, 在此交流其应用原理和使用方法、技巧, 对巧妙使用 CCD、提高 CCD 的应用水平, 实现更高的监控、监测等信息传递要求, 促进各行各业的工作有着重要的现实意义和经济价值。

1 用光衍射法测量光纤线径的原理概述

如图 1 所示, 当 He-Ne 激光束照射光纤时, 只要满足远场条件, 就会得到夫琅和费衍射图像, 我们知道单缝夫琅和费衍射的光强分布为^[1]

$$I = I_0 \sin^2 u / u^2 \quad (1)$$

其中, $u = \pi a \sin \theta / \lambda$, $\theta = \arcsin (\lambda / a)$, a 为单缝宽度, λ 为衍射光波长, θ 为衍射角, 光纤与单缝可认为互补物, 由夫琅和费衍射理论及衍射巴俾涅定理 (互补定理)^[2], 可推导出光纤衍射图像 (以下出现的衍射图像若非特别说明, 则都指光纤衍射图像) 的中央主极强的中心与第一次极强的中心距离 d 满足

* 基金项目: 广东省自然科学基金资助项目 (980368)

收稿日期: 1999-07-19 作者简介: 傅思镜 (1945~), 男, 副教授。

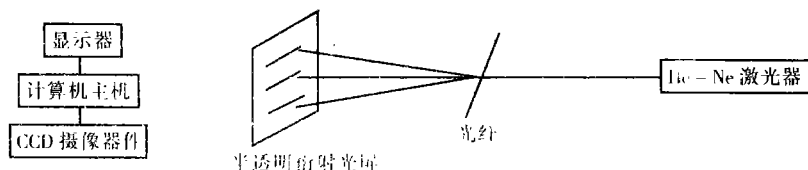


图1 用光衍射法测量光纤线径的原理图

Fig.1 The principle of fiber diameter measurement with optical diffraction

$$d = 1.43L\lambda/a \quad (2)$$

这里 a 为光纤直径, λ 为 He-Ne 激光波长, L 为光纤到半透明衍射光屏的距离。

当用 CCD 摄像器件将衍射图像摄入时, 由于摄入的灰度图像的大小与实际图像大小不同, 故须知道灰度图像与实际光学图像的尺寸的对应关系, 就必须先进行定标工作, 测出每一像素 (灰度图像的每一点) 对应的实际长度^[3]。

定标方法: 在半透明衍射光屏上作 2 个固定点 (连接这 2 点的直线平行于过所有衍射条纹中心的直线, 最好是重合), 用 CCD 摄像器件将包含这 2 点 (须为亮点) 的图像摄取, 经过处理图像, 再往计算机中输入实际长度, 就可由计算机自动进行计算, 而得到对应关系。

有了定标关系, 可以计算出在屏上衍射条纹的中央主极强的中心与第一次极强的中心距离 d , 再由 d 及输入的 λ 和 L 的值, 按 (2) 式就可以自动计算出光纤直径 a 来。

2 计算机图像处理方法

CCD 拍摄的光纤衍射图像分析处理是由一个图像处理软件来完成的, 软件用 Borland C++ 5.02 在中文 Windows 95 环境中编制而成^[4,5]。图 2、3 分别示出该软件的程序结构和介面——菜单结构。

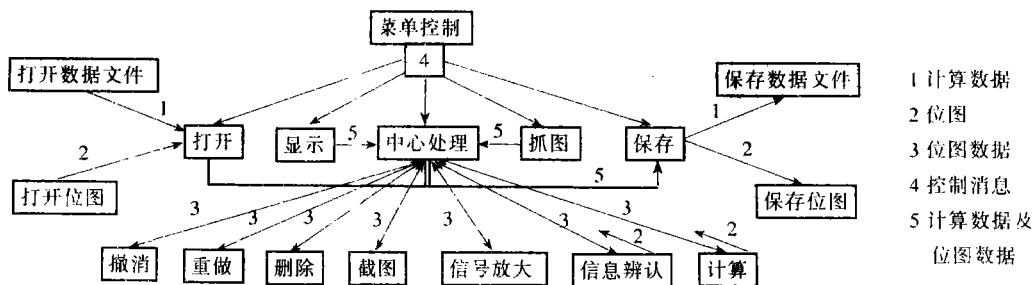


图2 程序结构图

Fig.2 The program construction

重要软件操作说明:

(1) 开矩形窗. 所摄图像中除了有所需要的衍射图像之外, 还有一些由于镜面反射和光在介质中传播的折射现象而产生的亮点, 以及由外界光产生的亮斑, 其亮度都比较高. 因此, 为了避免产生错误, 须把有用的图像部分用矩形窗口框起来。

$$\begin{aligned}\delta e &= e \cdot \frac{1}{2} \frac{\delta[(x'_2 - x'_1)^2 + (y'_2 - y'_1)^2]}{(x'_2 - x'_1)^2 + (y'_2 - y'_1)^2} = \\ &= \frac{1}{2e} \cdot \sqrt{[\delta(x'_2 - x'_1)]^2 + [\delta(y'_2 - y'_1)]^2} = \\ &= \frac{1}{2e} \cdot \sqrt{[\sqrt{2}(x'_2 - x'_1)\delta(x'_2 - x'_1)]^2 + [\sqrt{2}(y'_2 - y'_1)\delta(y'_2 - y'_1)]^2} = \\ &= \frac{1}{2e} \cdot \sqrt{2(x'_2 - x'_1)^2[(\delta x'_2)^2 + (\delta x'_1)^2] + 2(y'_2 - y'_1)^2[(\delta y'_2)^2 + (\delta y'_1)^2]}\end{aligned}$$

定标值 $b_{\text{biao}} = d/e$, 其标准误差为 $\delta b_{\text{biao}} = \sqrt{(\delta d/d)^2 + (\delta e/e)^2} \cdot b_{\text{biao}}$, 其中, d 为屏上实际距离, δd 为其标准误差, e 为定标图像中用来定标的两点的距离。

定标后, 处理分析衍射图像后, 就可以得光纤的直径: $a = 1.43\lambda L/d = 1.43\lambda L/(e \cdot b_{\text{biao}})$, 其中, λ 为激光波长, e 为计算机衍射图像中的条纹间距, $d = e \cdot b_{\text{biao}}$ 为实际图像中条纹间距, $\delta d = d \cdot \sqrt{(\delta e/e)^2 + (\delta b_{\text{biao}}/b_{\text{biao}})^2}$ 为其标准误差, L 为光纤到衍射屏的距离, 所求直径的标准误差 $\delta a = a \cdot \sqrt{(\delta L/L)^2 + (\delta e/e)^2 + (\delta b_{\text{biao}}/b_{\text{biao}})^2}$, δL 为 L 的标准误差, δe 为 e 的标准误差。

用以上公式进行计算, 若 $\delta e/e$ 在 1% 左右 (一般可达到), $\delta d/d$ 在 3% 左右, $\delta L/L$ 在 5% 左右, 可计算得 $\delta b_{\text{biao}}/b_{\text{biao}}$ 在 3% 左右, 则得 $\delta a/a$ 为 2.5%, 误差很小, 若 L 和 d 测得更精确, 则误差可更小。一般来说, 只要能取得较清晰的衍射数字图像, 就可以测出在误差允许范围内的结果。

注意, δL 、 λ 、 L 、定标时的 d 及其标准误差 δd 都要求输入。

我们还用阿贝比长仪对 CCD 的测量作一比较, 对 120 多 μm 线径的光纤, 两者的测量读数偏差在 0.5 μm 范围内。

参考文献:

- [1] 母国光, 盛元令. 光学[M]. 北京: 人民教育出版社, 1978. 297 ~ 302.
- [2] 赵凯华, 钟锡华. 光学(上册)[M]. 北京: 北京大学出版社, 1984. 191 ~ 192.
- [3] 钱浚震, 郑坚立. 光电检测技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1993. 111 ~ 150.
- [4] McCORD J W. Borland C++ 3.1 开发 Windows 应用程序[M]. 北京: 清华大学出版社.
- [5] 陈志全. Borland C++ 5.0 入门与提高[M]. 北京: 清华大学出版社.

Optical Fiber Diameter Non-contact Measurement with Computer Image Processing

FU Si-jing^{*}, ZHONG Wei-bin, LIANG Li-zhen

Abstract: The principle of the fiber diameter measurement through optical diffraction with a CCD camera is introduced and image processing with computer is described in detail.

Keywords: optical fiber; measurement; image processing; charge coupled device (CCD)

^{*} Department of Physics, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China