

文章编号 : 0253-2239(2001)10-1245-04

光纤几何参数的自动检测仪*

陈 磊¹⁾ 陈进榜¹⁾ 陆润华²⁾

(1), 南京理工大学电光学院, 南京 210094
(2), 上海电缆研究所, 上海 200093

摘要: 叙述了光纤几何参数的自动测试方法。光纤断面通过显微光学系统成像, 由 CCD 摄像头接收, 并通过图像采集系统传输到计算机中, 供进一步处理。介绍了测量原理及数学模型, 采用了图像增强、图像分割等处理技术, 消除图像噪声, 从光纤断面图像中提取有效信息。采用不同的算法, 精确计算了光纤几何参数, 编制了实用化软件。提供了实测结果及二、三维图示。根据上述原理与技术研制的仪器, 操作简便, 测量精度高。

关键词: 光纤; 几何参数; 测量

中图分类号: TN818 文献标识码: A

1 引 言

随着通信产业的蓬勃发展, 作为光通信的传输介质——光纤, 正得到越来越广泛的应用。光纤本身各种参数的精确测量对于光纤的制造与应用都具有十分重要的意义。光纤几何参数的一致性对于得到最小的耦合损耗是至为关键的。因此, 精确地测量光纤的几何参数成为光纤测试的必需项目之一。

由于光纤截面尺寸很小, 通常均使用显微镜将光纤截面放大之后再采用不同的方法测量其几何参数。光纤几何参数的测试方法主要有折射近场法与近场光分布法两种^[1], 实现的手段有人工判读法、图像剪切法^[2,3]和脉冲计数法^[4-6]。前两种方法是使用工具显微镜, 用目视的方法进行的, 或通过光电成像系统与计算机, 由操作者通过人机对话形式进行交互式半自动检测。第三种方法采用图像一维数据采样, 机构复杂, 且测量过程不直观。本文采用计算机图像采集系统采集光纤测试图像, 使用数字图像处理技术, 建立相应的数学物理模型, 实现光纤几何参数的自动化测试。

2 测量原理

光纤的几何参数包括: 纤芯直径、包层直径、纤芯不圆度、包层不圆度、纤芯-包层不同心度。各参数的定义如下:

纤芯直径

$$d = (d_{\max} + d_{\min}) / 2, \quad (1)$$

包层直径

$$D = (D_{\max} + D_{\min}) / 2, \quad (2)$$

纤芯不圆度

$$\alpha = (d_{\max} - d_{\min}) / d, \quad (3)$$

包层不圆度

$$\beta = (D_{\max} - D_{\min}) / D, \quad (4)$$

纤芯-包层不同心度

$$l = \sqrt{(x_{\text{core}} - x_{\text{clad}})^2 + (y_{\text{core}} - y_{\text{clad}})^2}, \quad (5)$$

其中 d_{\max} 与 d_{\min} 分别为纤芯的最大与最小直径, D_{\max} 与 D_{\min} 分别为包层的最大与最小直径 (x_{core} , y_{core}) 与 (x_{clad} , y_{clad}) 分别为纤芯与包层中心的坐标。

被测光纤端面采用背景照明方式, 纤芯单独有光注入。光纤端面图像(见图 1)由 CCD 摄像头接收, 并经图像采集卡转变为数字图像, 供微型计算机分析处理。

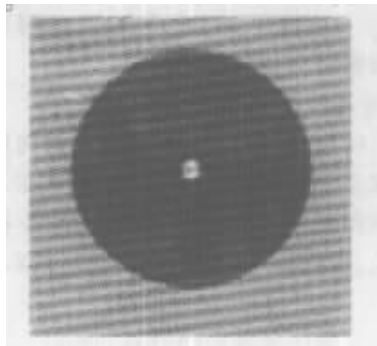


Fig. 1 Image of the fiber under test
光纤几何参数的测试包括以下步骤:

* 上海市科委资助课题。

1) 光纤图像预处理。

光纤测试图像中包含各种干扰噪声,必须加以抑制,才能保证测试精度。采用图像处理中通用的低通滤波、中值滤波等技术^[7],即可有效地消除噪声。

2) 图像分割及特征数据点的采集。

在计算光纤几何参数之前,必须从被测光纤端面图像中将纤芯与包层分割开来,从而可以分别采集纤芯、包层的数据点。在被测光纤端面的光强分布图中,根据纤芯与包层的定义,通过分析图像的灰度直方图,设置相应的灰度阈值,可获得被测光纤的二值图像^[7]。采用相应的图像处理算法,可以有效地提取纤芯、包层、纤芯边缘及包层边缘的特征数据点。

3) 纤芯与包层直径的计算。

从上述二值图像之中,只要分别将包含于纤芯或包层的数据点数累加,便可得到纤芯或包层的面积 S 。根据圆面积与直径的关系 $S = \pi D^2/4$,可以得到纤芯与包层的直径。

4) 纤芯与包层不同心度的确定。

纤芯或包层的中心可以通过分别求解其所包含的所有数据点的重心的方法获得:

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^N x_i g(x_i, y_i)}{\sum_{i=1}^N g(x_i, y_i)}, \quad (6)$$

$$y_c = \frac{\sum_{i=1}^N y_i g(x_i, y_i)}{\sum_{i=1}^N g(x_i, y_i)}, \quad (7)$$

其中 x_c, y_c 为中心坐标, x_i, y_i 为纤芯或包层内的数据点, N 为纤芯或包层内数据点的数量, $g(x_i, y_i)$ 为 (x_i, y_i) 像素点的灰度值。分别求出纤芯与包层的中心之后,由(5)式即可得到纤芯与包层的不同心度参数。

本文在计算直径与中心参数过程中,由于参与计算的数据点是包含于纤芯或包层圆面内的所有数据,而并非只有圆周边缘的数据点,数据量大,因此计算结果稳定、准确。

5) 纤芯与包层不圆度的计算。

由于纤芯与包层截面并非严格的圆形,需要用椭圆度来表示对于理想圆的偏差。使用最小二乘法,用椭圆方程拟合纤芯与包层边缘的数据点,根据不圆度定义,用椭圆的长短轴即可得到不圆度参数。

$$\varphi = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2M_{xy}}{M_{yy} - M_{xx}}\right). \quad (8)$$

由于所要拟合的椭圆的两条轴线并不一定与坐标轴重合,因此在用标准椭圆方程拟合之前,须经

坐标变换。设 a, b 为椭圆两轴的长度, φ 为其中一轴与 x 轴的夹角。则有^[8]

$$\left. \begin{aligned} M_{xx} &= \sum_{i=1}^N (x_i - x_c)^2, \\ M_{yy} &= \sum_{i=1}^N (y_i - y_c)^2, \\ M_{xy} &= \sum_{i=1}^N (x_i - x_c)(y_i - y_c). \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

经过坐标变换,对于新坐标系,用标准椭圆方程

$$x^2/a^2 + y^2/b^2 = 1 \quad (10)$$

进行拟合,得到长短轴 a, b ,由(3)式、(4)式可得到纤芯与包层的不圆度参数。

3 测量结果与讨论

光纤几何参数测试仪是光、机、电、算一体化仪器,如图2所示。被测光纤端面采用背景照明方式,包层内部没有光照射。在被测光纤的另一端,通过显微物镜向纤芯注入照明光。被测光纤末端夹持在多维精密调整工作台上,便于操作。显微光学系统将光纤端面图像精确成像在摄像头靶面上。该系统包括三种倍率的显微物镜(4倍、10倍、25倍),操作者可用低倍率物镜搜索目标,用高倍率物镜进行测试,便于调试。图像接收器采用面阵 CCD 摄像头,信息量大,精度高。图像采集卡将 CCD 摄像头所输入的模拟视频图像转变为数字图像,供计算机处理。另一方面,图像采集卡将数字图像实时转化为标准视频信号,输入图像显示卡,在计算机屏幕上显示,供操作者监视、观察。测量中所使用的图像处理、分析计算、绘图列表软件均采用 C 语言编写。操作软件使用中文界面,使用方便。

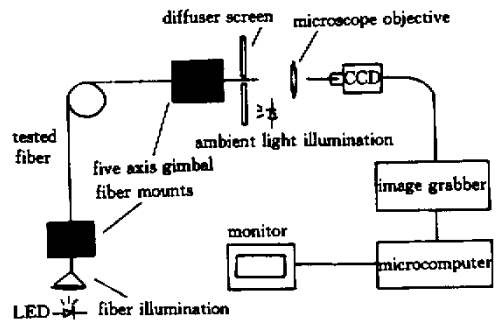


Fig.2 Schematic layout of optical fiber geometry

表1、表2分别列出了单模光纤与多模光纤的测试结果。表中共给出5组测试数据,各组数据测试时间间隔10 min。图3为图1所示图像的光强分布图。

Table 1. The test result of single-mode optical fiber

test order	$d/\mu\text{m}$	$D/\mu\text{m}$	$\alpha/\%$	$\beta/\%$	$l/\mu\text{m}$
1	8.49	125.61	3.38	0.15	0.18
2	8.49	125.59	2.54	0.15	0.17
3	8.47	125.59	2.39	0.19	0.18
4	8.47	125.61	3.12	0.15	0.17
5	8.45	125.55	2.18	0.22	0.18
RMS	0.02	0.02	0.50	0.03	0.01
technical indices of the instrument	0.05	0.05	<1.0	<0.08	<0.04
technical indices of the foreign instrument	0.05	0.05	<1.0	<0.10	≤ 0.04

Table 2. The test result of multimode optical fiber

test order	$d/\mu\text{m}$	$D/\mu\text{m}$	$\alpha/\%$	$\beta/\%$	$l/\mu\text{m}$
1	62.54	125.39	0.31	0.06	0.25
2	62.66	125.38	0.37	0.11	0.26
3	62.61	125.38	0.26	0.09	0.28
4	62.63	125.38	0.32	0.10	0.26
5	62.60	125.39	0.34	0.06	0.27
RMS	0.04	0.01	0.04	0.02	0.01

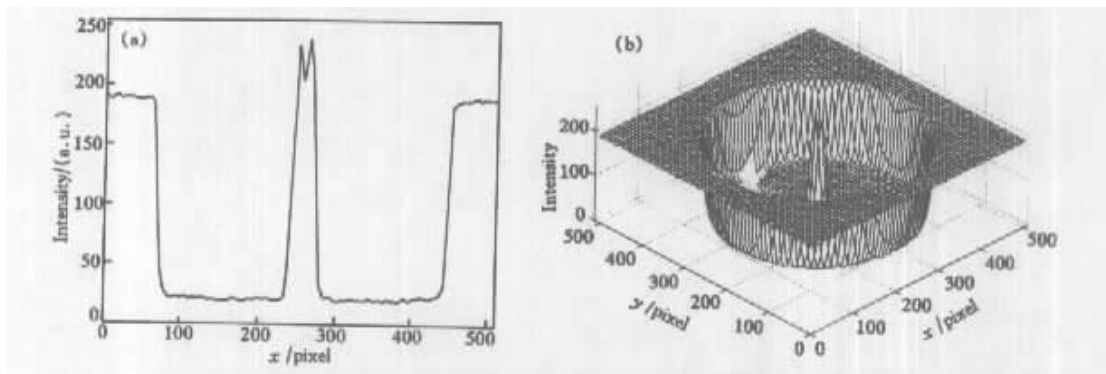


Fig. 3 The intensity distribution of the optical fiber under test

本文采用鉴别率板作为标准尺度,运用傅里叶分析方法,精确确定光栅的中心坐标,从而对仪器进行了准确标定。还采用自调焦技术,提高了仪器的测试精度。

仪器采用同屏显示技术,使光纤测试图像直接显示在计算机显示屏幕上,使操作者不仅可以在计算机显示器观察测试结果数据与图形,而且可通过计算机显示器直接监视光纤的调试与测量过程,操作方便。本系统为自动测试仪器,操作者在 30s 内,便可得到所有数据及图形。

本仪器已小批量生产,投放市场。

参 考 文 献

[1] 白崇恩,刘有信. 光纤测试. 北京:人民邮电出版社,

1988

- [2] Warnes G, Millar C A. A study of core concentricity error measurement and the implications for monomode systems. *Proc. SPIE*, 1984, **468**:138~144
- [3] Moore D. Precise measurement of fiber geometry by image shearing. *Proc. SPIE*, 1983, **374**:125~131
- [4] Nie Qihua, Nelson J, Fleming S. Geometric measurement of optical fibers with pulse counting method. *Proc. SPIE*, 1990, **1332**:409~420
- [5] 聂秋华,白贵儒. 光纤几何参数自动测试技术. 计量学报, 1992, **13**(2):99~104
- [6] 聂秋华,杨高波,俞建定等. FCG-1 型光纤几何参数测量仪. 仪器仪表学报, 1994, **15**(2):138~142
- [7] Pratt W K. *Digital Image Processing*. New York:Wiley, 1978
- [8] Pavlidis T. *Algorithms for Graphics and Image Process*. Rockville:Computer Science Press, Inc., 1982

Automatic Measurement of Optical Fiber Geometric Parameters

Chen Lei¹⁾ Chen Jinbang¹⁾ Lu Runhua²⁾

(1), *Electro-Optics College Nanjing Technology University , Nanjing 210094*)
(2), *Shanghai Electrical Cable Research Institute , Shanghai 200093*)

(Received 14 February 2001 ; revised 16 April 2001)

Abstract : An automatic method of measuring optical fiber geometric parameters is described. The end face of the fiber is imaged by a microscope and recorded by a CCD camera , and then the image is transferred to a image grabber plugged in a microcomputer for further analysis. Several digital image processing methods are used to remove the noise in fiber image. The image segment algorithm is used to extract feature datapoints. The data is analyzed by using different algorithms to give the geometry parameters of the fiber. Sophisticated software is programmed. An instrument developed based on the hardware and software described above can be operated conveniently with high accuracy.

Key words : fiber ; geometric parameter ; measurement