

基于数字图像处理的光纤直径测量方法

华 晋^{1,2} 赵志敏¹ 王开圣¹

(¹南京航空航天大学理学院, 江苏 南京 210016; ²南京林业大学, 江苏 南京 210037)

摘要 对多种光纤的纤芯直径进行了测量, 提出一种准确、实用的基于数字图像处理的光纤直径测量方法。通过光学显微系统和图像采集系统对待测光纤进行图像采集, 将采集到的图像通过计算机进行数据拟合, 实现对光纤直径的测量。分别对空芯光纤和传感用非通信石英光纤进行了直径测量实验, 得出了相应的数据结果, 给出了误差分析。实验结果表明, 提出的光纤直径测量方法对于光纤的几何尺寸测量简便易行, 可应用于某些无法进行直接测量的领域。

关键词 光纤光学; 典型参数; 直径测量; 图像处理

中图分类号 TP212.14 **文献标识码** A **doi:** 10.3788/AOS200929s1.0220

Measurement of Fiber Diameter Based on Digital Image Processing

Hua Jin^{1,2} Zhao Zhimin¹ Wang Kaisheng¹

(¹College of Science, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing, Jiangsu 210016, China)
(²Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037, China)

Abstract Geometric parameters of multifold fiber are measured, and an exact and applied fiber diameter measurement method is proposed based on the digital image processing. The method acquires the fiber picture via optical microscopy system and image acquisition system, and then processes the data via data fitting by computer. The diameter of vacant core fiber and non-communications fiber is measured, and then the data error is analyzed. The experimental results show that the proposed method is simple and easy, and it can be applied to some special areas where direct measurement is unfeasible.

Key words fiber optics; typical parameter; diameter measure; image processing

1 引 言

光纤具有优良的可埋入性、集信息传输于传感与一体和便于实现分布式传感或多点传感器复用等特点, 是智能结构首选的信息传输与传感的载体^[1~11]。光纤传感器由光源、传输光纤、传感元件或调制区、光检测等部分组成。与传统的传感器相比, 光纤传感器具有抗电磁干扰、灵敏度高、耐腐蚀、本质安全及测量对象广泛等特点, 而且在一定条件下可任意弯曲, 可根据被测对象的情况选择不同的检测方法, 再加上它对被测介质影响小, 非常有利于在具有复杂环境的领域中应用。

光纤传感器可探测的物理量很多, 目前已经实用

的光纤传感器可测量的物理量达 70 多种, 广泛应用于国防军工、工农业生产、环境保护、生物医学、计量测试、交通运输、自动控制以及家用电器等领域^[3~8]。

光纤的特征参数, 如直径、数值孔径等对光纤的应用有重要影响。本文提出一种基于数字图像处理的测量方法来检测光纤的芯径, 测量了特种光纤和传感用非通信石英光纤的几何尺寸。

2 光纤直径测量

光纤的几何尺寸对于光纤的实际应用非常重要, 目前对于光纤外径的测量已有一些测试方法, 如近场图像法、折射近场法、侧视法、机械法等^[12], 而

基金项目: 教育部博士点专项基金(20040287012)和航空基金(05G52047)资助课题。

作者简介: 华 晋(1976—), 男, 博士研究生, 讲师, 主要从事光学测量与应用等方面的研究。

E-mail: huajincy@nuaa.edu.cn

导师简介: 赵志敏(1955—), 女, 教授, 博士生导师, 主要从事现代光测技术与信息处理等方面的研究。

E-mail: zhaozhimin@nuaa.edu.cn(通信联系人)

用于测量内径的方法较少。对某些特殊光纤在测量其直径时,需要同时对内外径进行测量,如空芯光纤,由于纤芯为空芯,因此将对光纤纤芯直径的测量转变为对其包层的内径测量显得尤为重要。

本文提出一种基于数字图像处理的一种有效、实用的分析方法,该方法将光纤的横截面图像放大、采集进入计算机进行图像处理,可有效测量光纤直径的数值。

2.1 实验装置与方法

实验装置示意图如图 1 所示,通过光学放大系统经图像采集系统将光纤端面图像传入计算机。具体是将待测光纤制成样品,然后将样品固定在光学放大系统的平台上,光源照亮光纤的一个端面,并且使之能够聚焦在光纤的这个端面。实验中,尽量保证光源垂直照射。光学放大系统输出图像由图像采集系统将数字图像发送到计算机,在计算机上对数字图像进行处理。

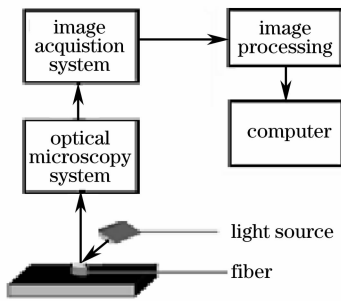


图 1 光纤直径测量系统示意图

Fig.1 Scheme of measurement system

2.2 图像处理及实验结果

2.2.1 空芯光纤的测量

因实验采用光学放大系统的显微倍数较大,计算

表 1 多组边缘点的曲线拟合情况

Table 1 Curve fitting of several edge points

	Coordinates of the edge points			Diameter /pixel	Centers coordinates
	(164,362)	(441,192)	(717,283)		
Inside diameter	(199,311)	(489,190)	(719,284)	736	(475,556)
	(137,420)	(571,205)	(730,298)	731	(475,555)
	(19,298)	(101,176)	(290,40)	1073	(500,535)
Outside diameter	(64,223)	(197,94)	(391,13)	1065	(495,535)
	(23,295)	(167,117)	(224,77)	1076	(505,535)

设边缘点坐标为 (X_i, Y_i) , 相应的圆心坐标为 (X_0, Y_0) , 则边缘点到圆心的距离为

$$R_i = \sqrt{(X_i - X_0)^2 + (Y_i - Y_0)^2},$$

则曲线拟合的均方差为

$$\sigma = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N (D_0 - 2R_i)^2}. \quad (2)$$

机已无法将整个放大图像显示出来,因此实验中用曲线拟合的方法来测量内外径,不需处理整个图像。截取图像如图 2(a)所示,图 2(b)是对图 2(a)采用直方图技术^[13]选取最佳阈值进行图像处理的结果,然后采用 Robert 算子进行图像边缘检测得到图 2(c)。

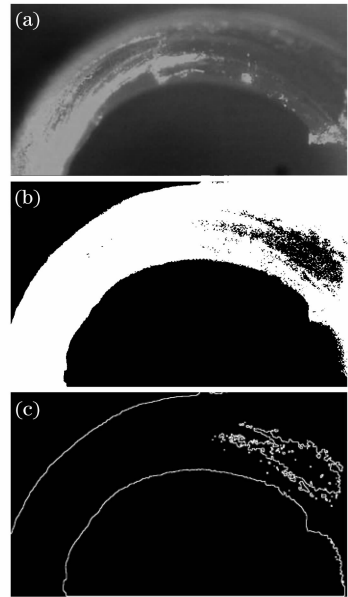


图 2 截取的光纤截面图(a)及其阈值处理图(b)和边缘检测图(c)

Fig.2 (a) Image of fiber section and (b) image after threshold processing, (c) image after edge detection

提取图 2 (b)边缘点的坐标,用曲线拟合的方法来确定内外圆的圆心和曲线。由于圆的曲线方程为

$$(X - a)^2 + (Y - b)^2 = r^2, \quad (1)$$

式中 a, b, r 三个未知数,因此取三个边缘点即可确定曲线方程。表 1 列出了部分点和相应的直径大小及圆心点坐标。

根据(2)式取最佳拟合,经计算后得,内径 732 pixel,外径 1073 pixel,内圆圆心 (475, 555),外圆圆心 (500, 535),内径均方差 2.336,外径均方差 0.9878,内外圆的同心度为(即内外经圆心距离)32 pixel。

要将上述的计算结果转换为实际尺寸,只要利用标定的单位进行计算即可,即需获得每个像素的

实际对应长度。用标准试件标定的方法来获得每个像素的实际长度为 $0.87 \mu\text{m}$ 。由此可得到内径 $0.87 \times 732 = 636.84 \mu\text{m}$, 外径 $0.87 \times 1082 = 933.51 \mu\text{m}$, 同心度 $0.87 \times 32 = 27.84 \mu\text{m}$ 。

2.2.2 非通信石英光纤直径的测量

以相同的光纤直径测量装置(图 1)来测量传感用非通信实芯石英光纤的直径。图 3(a)是测径系统采集得到的光纤原始图像,经过相同的图像处理技术,得到图 3(b)。

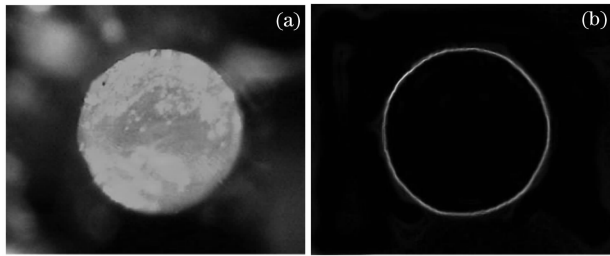


图 3 石英光纤原始图像(a)及处理后的图像(b)

Fig. 3 (a) Original image of silica fiber and (b) processed image

由于石英光纤的包层直径较小,经图 1 所示的光纤直径测量系统采集到的图像截面完整。因此可以采用计算面积的方法得到半径的大小,将边缘内的像素记录下来,得到像素的个数。图 3(b)中边缘内的像素数为 74990 个,根据圆面积计算公式得到石英光纤的半径 $r = 154.5 \text{ pixel}$ 。因此石英光纤直径为 $0.87 \times 154.5 \times 2 = 268.83 \mu\text{m}$ 。

2.3 误差分析

误差主要来自两个方面:系统误差和操作误差。

系统误差包括标定误差和算法误差。定标过程中由于图像采集系统中电荷耦合器件的精度等都会产生一些偏差,从而造成定标误差。在图像处理和边缘提取过程中,边缘不清晰会使边缘点的提取产生误差,而且在曲线拟合中对直径的计算也存在一定的误差。而操作误差包括样品误差和采集误差,本文选用切割中损伤很小、抛光好的光纤来测量以减小样品误差。另外在测量过程中要保持光纤的截面尽量水平,并利用均匀的白光照射以减小采集误差,使采集的图像更清晰。

根据多组计算结果,得到整个过程中存在 $-10 \sim 10 \text{ pixel}$ 的误差,即 $\pm 8.7 \mu\text{m}$ 的误差,由此可见该方法的测量精度较高。

实验结果表明,本文方法对于光纤直径的测量简便易行。由于该方法由于是非接触式的测量,所以可以应用于某些无法进行直接测量的领域。

3 结 论

对多种光纤的直径进行了测量,提出一种准确、实用的基于数字图像处理的分析方法,分别对空芯光纤和传感用非通信石英实芯光纤进行了直径测量,得出了相应的数据结果,并给出了误差分析。实验结果表明,提出的光纤直径测量方法简便易行,测量装置简单,数据处理方法灵活准确,可应用于某些无法进行直接测量的领域。

参 考 文 献

- 1 Tu Yaqing, Liu Xingchang. Fiber Optic Smart Structures[M]. Beijing: Higher Education Press, 2005
涂亚庆,刘兴长. 光纤智能结构[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005
- 2 Tao Baoqi, Xiong Ke. Smart Materials Structures[M]. Beijing: National defense industry Press, 1997
陶宝祺,熊克. 智能材料结构[M]. 北京: 国防工业出版社, 1997
- 3 K. S. C. Kuang, W. J. Cantwell. Use of conventional optical fibers and fiber Bragg gratings for damage detection in advanced composite structures: A review[J]. *Applied Mechanics Reviews*, 2003, **56**(5): 493~513
- 4 T. Samasphyros, George J., Kanderakis G. N. et al.. Selection of optical fibers paths and sensor locations for monitoring the integrity of composite patching [J]. *Applied Composite Materials*, 2003, **10**(6): 331~338
- 5 Anders Sjogren, Bengt Lindstrom. Connection of optical fibers embedded in aircraft composite components[C]. *SPIE*, 2000, **3985**: 533~542
- 6 Anna Stewart, Greg Carman, Lance Richards. Use of imbedded fiber optic thermal sensors to monitor the health of composite structures[C]. *SPIE*, 2002, **4701**: 70~77
- 7 Guo Linfeng, Zhao Zhimin, Gao Mingjuan. Novel photoelectric system for optical intelligent structure health monitoring [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2006, **33**(3): 133~136
郭林峰,赵志敏,高明娟. 新型光纤智能监控系统设计[J]. *光电工程*, 2006, **33**(3): 133~136
- 8 Li Peng, Zhao Zhimin, Hong Xiaoqin. Design and study on a new fiber sensor with self-repairing functions[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(4): 573~576
李鹏,赵志敏,洪小芹. 新型快速自修复光纤传感器的设计与性能[J]. *中国激光*, 2008, **35**(4): 573~576
- 9 Guo Linfeng, Zhao Zhimin, Li Wei et al.. Design of monitoring system with certain optical fiber intelligent structure[J]. *Transducer and Microsystem Technologies*, 2008, **27**(2): 118~120
郭林峰,赵志敏,李伟等. 一种光纤智能结构的监控系统设计[J]. *传感器与微系统*, 2008, **27**(2): 118~120
- 10 Guo Linfeng, Zhao Zhimin, Ma Chengli. Load monitoring of fiber optic smart structures[J]. *Applied Laser*, 2007, **27**(5): 375~377
郭林峰,赵志敏,马成立. 一种基于光纤的智能结构承载位置监测与分析研究[J]. *应用激光*, 2007, **27**(5): 375~377
- 11 Xi Qingkui, Chen Lei, Zhu Rihong et al.. An image processing-based method to measure optical fiber [J]. *Computer Applications and Software*, 2004, **21**(7): 22~24
席庆奎,陈磊,朱日宏等. 基于计算机图像处理的光纤测量方法研究[J]. *计算机应用与软件*, 2004, **21**(7): 22~24
- 12 Fang Fang, Lin Meirong, Li Yingjie et al.. Design and study of micro-fiber imaging system [J]. *Acta Optica Sinica*, 2000, **20**(5): 654~658
房芳,林美荣,李英杰等. 微型光纤图像传输系统的设计与研究[J]. *光学学报*, 2000, **20**(5): 654~658