

# Panda型保偏光纤偏振轴图像识别算法

游建民 陶 林

(西南交通大学峨眉校区机械工程系, 峨眉山 614202)

**摘 要** 两 Panda型保偏光纤自动熔接时, 需要对准偏振轴, 为了高精度地探测保偏光纤的偏振轴, 针对 Panda型光纤横截面, 提出了一种偏振轴的计算机图像精确识别算法, 同时利用 LabV IEW 编程环境, 设计及开发了实现该算法的计算机程序, 并应用该程序对 Panda型保偏光纤偏振轴进行了实际图像的分析处理, 以验证该算法的有效性。通过实际运行结果的分析表明, 应用计算机图像识别和现代测控技术探测 Panda型保偏光纤的偏振轴, 可以实现保偏光纤跳线连接器自动化制造, 并可极大地提高光轴的识别精度和光纤连接器的生产效率。

**关键词** Panda型保偏光纤 计算机图像识别 LabV IEW 光纤跳线连接器 边缘检测算法

**中图分类号:** TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2008)02-0247-04

## Image Identification Algorithm on Polarization Axis of Panda Polarization Maintaining Fiber

YOU Jian-min, TAO Lin

(Department of Mechanical Engineering of Emei Campus, Southwest Jiaotong University, Emeishan 614202)

**Abstract** Polarization axis should match when two Panda polarization maintaining fibers connect in order to getting high accuracy identification of the polarization axis. An accurate computer image identification algorithm was presented to identify the polarization axis of the Panda polarization maintaining fiber. To validate the algorithm, program was developed to perform image analysis and processing with LabV IEW software. The practical data of application indicates that they are very useful to improve the identification precision of polarization maintaining fiber and raise productivity of fiber connector with the technologies of computer-aided vision detection and modern measurement & control.

**Keywords** Panda polarization maintaining fiber, computer image identification, LabV IEW, fiber jumper connector, edge detection algorithm

## 1 引言

随着科学技术的迅猛发展, 光导纤维(简称光纤)已在通信、电子、测试传感和电力等领域得到日益广泛的应用, 成为前途广大的新型基础材料, 反过来又推动着光纤技术的深入研究。超宽带光纤通讯的发展, 导致了光信号传输过程中对偏振保持的较高要求, 这又极大地促使了保偏光纤技术的研究和

发展。由于保偏光纤在连接的时候需要对正偏振轴, 因而产生了对保偏光纤跳线端头连接器的特殊要求, 这也使得其制造工艺要比普通光纤跳线连接器的制造更复杂。

针对这一问题, 通过对目前应用较广的 Panda型(即熊猫型)保偏光纤跳线端头连接器制作工艺的分析, 提出了利用计算机图像识别技术进行熊猫型保偏光纤偏振轴识别的算法。应用结果表明, 运用计算机图像识别技术识别保偏光纤光轴是一种非

收稿日期: 2006-09-30 改回日期: 2006-10-13

**第一作者简介:** 游建民(1965~), 男, 美国马里兰大学博士, 西南交通大学机械工程系教授。主要从事结构胶粘剂材料机械性能的研究、自动化系统的开发, 以及计算机图像识别的研究。E-mail: yjmyq@yahoo.com

常可行的方法。通过适当地改进,该方法可推广应用到其他保偏光纤光轴的识别应用中,也可以应用到其他领域的类似应用中。

## 2 背景

保偏光纤是偏振保持光纤 (polarization maintaining fiber, PMF) 的简称,有时也称之为固定偏振光纤。它是一种具有双折射主轴(快/慢轴)的特制光纤,其可以维持传输信号的偏振态。保偏光纤主要类型有:熊猫型、椭圆包层型、领结型、“一”字型和椭圆芯型等。该类光纤已广泛应用于高速光通信系统中,还应用到其他诸多领域,如光纤激光器、光纤放大器、光纤传感器中,以及光纤陀螺和光纤加速度计等<sup>[1]</sup>。由于通常熊猫型保偏光纤的偏振保持特性比一般的领结型和椭圆包层型结构光纤更好、应用较广,因此本文选用熊猫型保偏光纤作为研究对象。图 1 是通过 CCD 照相机获得的 Panda 型保偏光纤截面的放大图像。它主要具有以下结构:光纤截面外轮廓、两应力棒圆和一个纤芯圆。通过两应力棒圆圆心的直线为光纤的慢轴(如图 2 所示)。

当使用跳线连接器连接两根保偏光纤时,光轴对接的细小偏差都会大大降低消光系数,比如出现

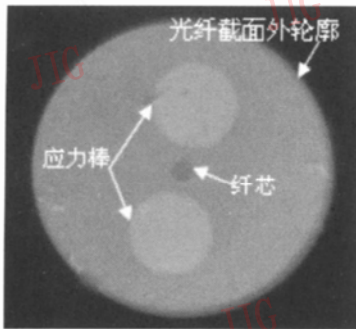


图 1 熊猫型保偏光纤截面图像

Fig 1 Cross section image of Panda polarization maintaining fiber

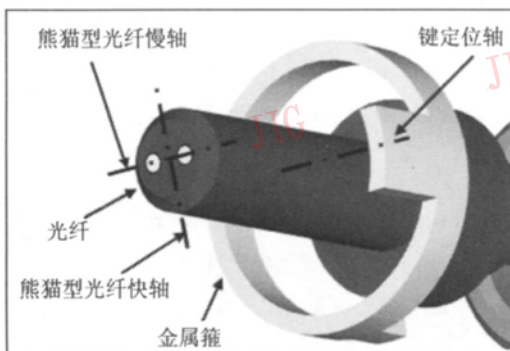


图 2 偏振光轴和连接器的定位键对准示意图

Fig 2 Diagram of alignment of polarization maintaining fiber polarization axis with connector orientation key

2°的角偏差时,消光系数就可以从 30dB 减少到 25dB<sup>[2]</sup>。要保证保偏光纤线路机械连接时光轴对接的精度,其跳线连接器定位键与光轴的对准精度必须非常高。由此可见,用连接器的定位键来对准保偏光纤的偏振轴是首要解决的问题。鉴于当前还没有为保偏光纤而特制的光纤连接器,而且连接器套管不能通过调整其定位键来实现保偏光纤双折射轴的对准,为此,这里先使用 FC 型连接器来制作熊猫型保偏光纤连接器,然后通过旋转套管中的保偏光纤来实现保偏光纤的偏振光轴和连接器的定位键对准,其原理如图 2 所示。于是笔者开发了一种基于计算机图像识别的自动化闭环反馈控制系统,并利用美国国家仪器公司 LabVIEW 图形化编程软件<sup>[3]</sup>开发了熊猫型保偏光纤光轴识别和其连接器自动化制造系统的分析测控程序,以实现偏振轴识别和与定位键对准的操作。

## 3 光纤端面图像识别

图像是一个 2 维亮度函数  $I(x, y)$ :  $(x, y)$  为像素点的空间坐标,  $I(x, y)$  定义了该点的亮度。数字图像是指图像  $I(x, y)$  在空间坐标和亮度的数字化。一个数字图像可以看成是一个矩阵或一个 2 维数组,其基本元素称为像素。数字灰度图像由有限个像素组成。其中, 8bits 数字灰度图像是应用最早和目前使用较多的一种。它的亮度由 0 到 255 共 256 级,其中 0 为黑色, 255 为白色。

借助于显微镜,使用 CCD 照相机可获得熊猫型光纤截面的数字灰度图像,它可表示为

$$I(x, y) = (0 \sim 255) \quad (1)$$

这里, 0 为黑色, 255 为白色,  $x = 0 \sim (M - 1)$ ,  $y = 0 \sim (N - 1)$ 。

### 3.1 光纤截面的识别

得到光纤截面的数字灰度图像后,紧接着的任务是获得光纤截面外圆的圆心和半径。可通过“二值化”的方法将灰度图像分割成目标和背景两个区域。这里将目标区域设定为 1 背景区域设定为 0 即如果  $I(x, y) > \theta$  则设定  $I(x, y) = 0$  否则  $I(x, y) = 1$ 。其中,  $\theta$  为“二值化”的阈值,  $I(x, y)$  为像素坐标  $(x, y)$  处的灰度值。“二值化”后的图像用  $J(x, y)$  来表示,光纤截面圆心坐标  $(x_0, y_0)$  及其半径  $R$  的计算如下:

$$x_0 = \frac{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} x \cdot J(x, y)}{A} \quad (2)$$

$$y_0 = \frac{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} y \cdot J(x, y)}{A} \quad (3)$$

$$R = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (4)$$

其中, 光纤截面面积  $A = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} J(x, y)$ 。图 3 给出了在 LabVIEW 中通过该算法得到的 Panda 型保偏光纤截面外圆周线。

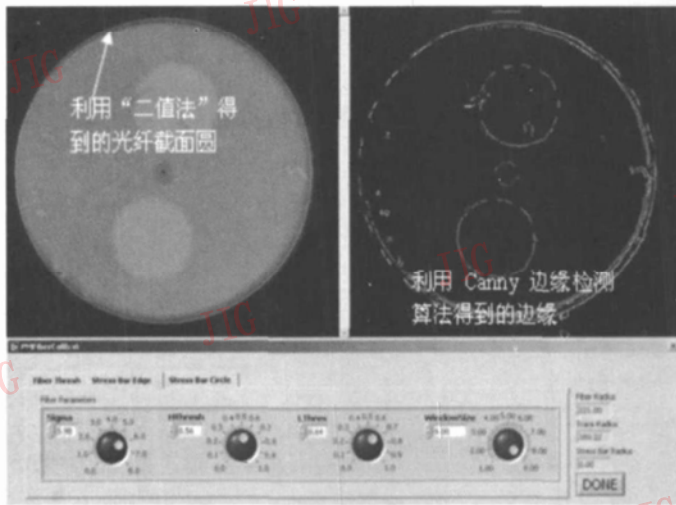


图 3 截面边界识别的软件用户界面

Fig 3 Software GUI of identification of cross section boundary

### 3 2 光纤应力圆棒边缘识别

计算机图像边缘检测算法有多种, 其中, Canny 提出的算法是首先对原图像进行平滑, 再进行边缘检测就能成功地检测到真正的边缘<sup>[4]</sup>, Canny 边缘检测算法是把边缘检测问题转换为检测函数极大值的问题<sup>[4 5]</sup>。在高斯噪声中, 一个典型的边缘代表一个阶跃的强度变化。由于 Canny 边缘检测法具有定位准确、单边响应和信噪比高等优点<sup>[6 7]</sup>, 因此本文采用 Canny 边缘检测法对光纤应力圆棒边缘进行探测。本文检测法的基本步骤如下:

首先使用式 (5) 对原图像  $I_0(x, y)$  进行平滑处理, 即

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (5)$$

其中,  $G(x, y)$  表示高斯函数滤波器。

然后, 利用两个滤波器分别沿横向和纵向求高斯函数的一阶导数, 再对平滑后的图像作卷积运算,

最后根据图像的梯度进行边缘检测。卷积运算式为

$$I(x, y) = \sum_{k=0}^{m-1} \sum_{l=0}^{n-1} I_0(x+k-1, y+l-1) \cdot g(k, l) \quad (6)$$

其中,  $I(x, y)$  表示过滤得到的图像,  $I_0(x, y)$  表示原图像,  $g(k, l)$  表示卷积核,  $(m-1)$  或  $(n-1)$  表示卷积核的大小。本文采用 LabVIEW 编程软件实现了该算法, 图 3 给出了采用 Canny 边缘算子检测得到的 Panda 型保偏光纤截面特征边缘。

### 3 3 应力棒圆心的计算

通过以上的分析计算, 就可以得到光纤圆心和半径, 同时也得到了应力棒的边缘。为了抑制图像中噪声的影响, 本文提出通过沿以光纤轴心为圆心和以  $1/2$  光纤半径为半径的圆的轨迹进行扫描来探测和计算应力棒圆, 如扫描角度可定为  $1^\circ$ , 这样就可以求得 360 个轨迹点, 再以这些点为圆心向外辐射多根直线, 直线与 Canny 边缘算法识别到的边缘产生交点, 然后再对这些交点进行圆拟合。根据熊猫型保偏光纤截面图像的特点, 一方面圆拟合的结果将会有两个圆出现的频率最高, 这两圆就是所要求的应力棒圆; 另一方面, 也可利用程序在显示屏幕上实时地绘制出两应力棒圆、光纤轮廓圆和慢轴, 这样操作者就可以方便地对结果进行观察及调整。最后, 通过两应力棒圆圆心来计算保偏光纤慢轴和垂直线的角度 (如图 4 所示)。

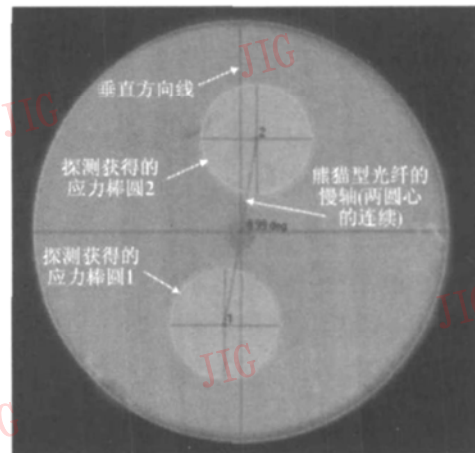


图 4 慢轴识别界面

Fig 4 Interface of slow axis identification

## 4 应用测试及结果

为检验该算法的有效性, 本文对一个 Panda 型保偏光纤进行了 120 次图像数据采样和慢轴角度计

算(相对于垂直线)。通过分析发现,该算法的标准偏差可以达到  $0.087^\circ$ ——利用六西格玛求自然极限可获得  $0.26^\circ$  ( $6\sigma/2=0.522/2\approx 0.26$ )的精度值,图 5 给出了这些数据的分布情况及分析结果。与其他的方法相比,戴维斯所介绍的方法<sup>[8]</sup>达到的精度为  $2^\circ$ ,而当前较常用的方法是先利用平行光侧向照射到裸保偏光纤上(光线受应力棒及纤芯的影响会发生不同程度的折射和散射现象),然后根据光纤影像的光强分布进行对轴,其定轴精度可达到  $1.67^\circ$ <sup>[9]</sup>,这优于文献[8]算法的  $2^\circ$ 的定轴精度。

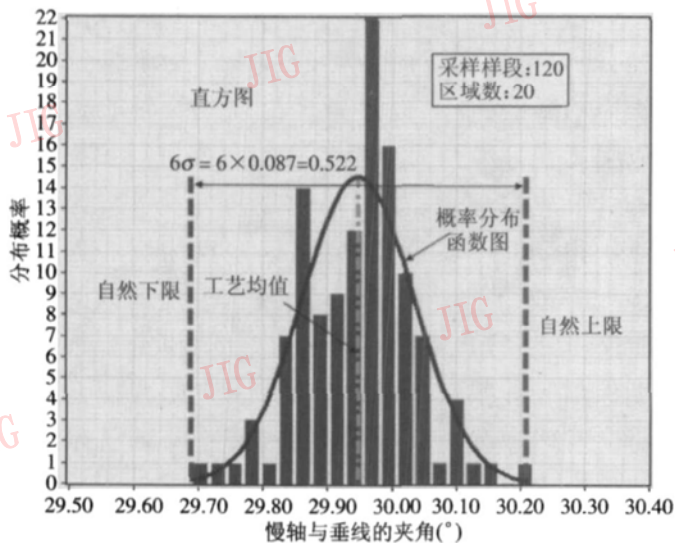


图 5 柱状图及概率正态分布函数

Fig 5 Histogram and normal probability distribution function

## 5 结 论

综上所述,可得以下结论:

(1) 本检测算法能有效地抑制光纤图像中噪声的影响,使探测准确有效;

(2) 应用计算机图像识别技术识别 Panda型保偏光纤的偏振轴是非常有效的,并可用于对轴精度小于  $0.5^\circ$ 的实际检测;

(3) 本文所提出的算法有效可行,并且很容易用 LabVIEW 编程软件实现;

(4) 该算法和软件可以推广到其他类型保偏光纤偏振轴的识别应用中和其他领域的类似应用中。

## 参考文献 (References)

- 1 Noda J Okamoto K, Sasaki Y. Polarization maintaining fibers and their applications[J]. Lightwave Technology, 1986, 4(8): 1071~1089
- 2 Derickson D. Fiber Optic Test and Measurement[M]. Englewood Cliffs, New Jersey, USA: Prentice Hall PTR, 1998: 642
- 3 Yang Le-ping. Program Design and Application with LabVIEW (The Second Edition) [M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2005 [杨乐平. LabVIEW 程序设计与应用(第2版)[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005]
- 4 Canny J. A computational approach to edge detection [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679~698
- 5 Lin Hui, Zhao Chang-sheng, Shu Ning. Edge detection and evaluation based on Canny arithmetic operators [J]. Journal of Heilongjiang Engineering College, 2003, 17(2): 3~6 [林卉, 赵长胜, 舒宁. 基于 Canny 算子的边缘检测及评价 [J]. 黑龙江工程学院学报, 2003, 17(2): 3~6]
- 6 Gonzalez R, Woods R. Digital Image Processing (Second Edition) [M]. New York: Addison-Wesley Publishing Company, 2002, Chap 4
- 7 Haralick R, Shapiro L. Computer and Robot Vision[M]. New York: Addison-Wesley Publishing Company, 1992, Chap 7
- 8 Davies E. Machine Vision Third Edition: theory, algorithms, practicalities[M]. San Francisco, CA, USA: Academic Press, 2004
- 9 Zhen Zong-min, Yang Yuan-hong. On-line adjusting axes technology of polarization maintaining fiber [J]. Acta Photonica Sinica, 2004, 33(9): 1060~1062 [甄宗民, 杨远洪. 保偏光纤在线定轴技术研究 [J]. 光子学报, 2004, 33(9): 1060~1062]