

文章编号: 1002-2082(2005)05-0037-04

匹配型保偏光纤自动对轴技术

王金娥, 林哲辉, 吴宇列, 李圣怡

(国防科技大学 机电工程与自动化学院, 湖南 长沙 410073)

摘要: 对匹配型保偏光纤自动对轴技术进行了研究。介绍了透镜效应法(POL)对轴原理, 由此设计了一套自动对轴系统并进行了性能测试。利用所设计的对轴平台进行了一系列实验, 发现不同观测物平面光纤成像存在不同的光强分布特征, 其中五点特征的光强分布对应的物平面范围最宽, 对轴时不需要费时调焦。对五点随光纤方位角的变化规律曲线进行了分析, 提出了五点特征值法。与原来的透镜效应法相比, 此法对轴更简单, 而且具有更高的测量精度, 更适用于自动对轴系统。

关键词: 匹配型保偏光纤; 自动对轴; 光强分布

中图分类号: TN929.11

文献标识码: A

The Auto-alignment Technique of PM Fiber of MRI

WANG Jin-e, LIN Zhe-hui, WU Yu-lie, LI Sheng-yi

(College of Mechatronics Engineering and Automation, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, Hunan)

Abstract: The auto-alignment technique is studied for the PM fiber (PMF) of matching refractive-index (MRI). The polarization observation by lens-effect-tracing technique (POL) is introduced. Based on the POL, an auto-alignment system is designed and its performance is then tested. Different light-intensity distribution characteristic is found on the different observation surfaces in a series of experiments. The widest range of adjustment is achieved when the observation surface corresponds to a light-intensity distribution with five characteristic points. This means it is easier to focus. The five-point method is presented after analysis of the curves of the five characteristic points with respect to the azimuth angle of the optical fiber. By comparison with the POL, this method is easier to be realized and has higher measurement accuracy, so it is suitable for auto-alignment system.

Keywords: PM fiber of MRI; auto-alignment; light distribution

引言

由于保偏光纤对线偏振光具有较强的偏振保持能力, 因此在相干光通信、光纤传感和光纤陀螺等领域的应用日趋广泛。但在保偏光纤的使用中, 尤其是在研制保偏耦合器的过程中, 如何自动精确快速地确定其方位角从而找到偏振主轴是当前面临的重要课题^[1]。高的对轴精度可以减小模间串扰。实验证明, 小于 0.5° 的对轴误差可有效地将串扰控制在 -41 dB, 小于 1° 的对轴误差可获得 35 dB 的消光比, 可满足大多数应用场合的精度要求。

针对保偏光纤的物理特性和应力结构特征, 许多研究者提出了各种定位对准偏振轴原理和方法^[2]。目前国内比较常用的是基于透镜效应侧视法的手动定轴^[3], 其原理如图 1 所示。平行光从侧面照射浸在匹配液中的裸光纤(此时入射光线在光纤包层与空气界面上的折射可忽略不计), 人眼所看到的是通过显微镜后放大的光纤。观察光纤两侧, 检测应力区, 手工转动光纤直至偏振轴位置。由于这种方法是通过人的眼睛观测定轴的, 所以它的定位精度依赖于操作者的调试技能。人为误差难以

收稿日期: 2004-09-01; 修回日期: 2004-10-09

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(No. 50235040)

作者简介: 王金娥(1978-), 女, 山东寿光人, 国防科技大学机电工程与自动化学院机电工程研究所博士, 主要从事光纤器件的亚微米制造理论及关键技术研究工作。

避免,并且工作强度大,操作者易疲劳,同时匹配液的使用也限制了工作效率,因此需要研制一套自动化对轴系统。另外,由于这种方法只适用于应力区折射率与包层折射率差值较大的光纤,从而比较容易观测到偏振轴的非匹配折射率保偏光纤。而在制作人造保偏耦合器时,为了减小器件的损耗,需要使用应力区折射率与包层折射率差值很小的匹配型保偏光纤,人眼很难观测到其明显的应力特征,因此急需研制适用于匹配型保偏光纤的自动对轴系统。

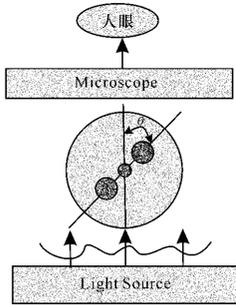


图1 手工定轴

Fig. 1 The manual-alignment system

在基于透镜效应侧视定轴法手动定轴的基础上,我们设计了一套CCD视觉自动对轴系统,其原理如图2所示。实验发现,观测物平面改变时,计算机得到的光强图像存在不同的特征,选取合适的特征量就可得到光强随光纤方位角的特征和变化规律,从而找到偏振轴,实现保偏光纤的自动对轴。通

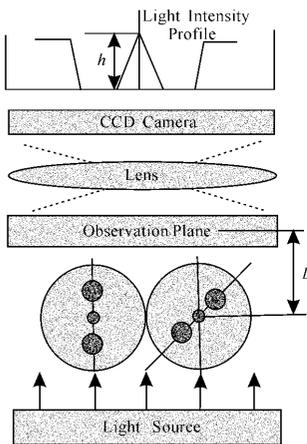


图2 自动对轴系统

Fig. 2 The auto-alignment system

过对不同观测物平面光强变化规律进行分析研究,

发现:当物平面置于某一位置时,所取的特征量——5点特征值随角度变化的特征最明显且易于找到;此时物平面可调范围最宽,容易实现偏振主轴的定位,并且相对于普通的透镜效应侧视法,其测量精度更高。实验所用光纤为46所研制的匹配型熊猫光纤。

1 保偏光纤自动对轴系统工作原理及算法分析

1.1 CCD视觉对轴系统组成及工作原理

为了实现偏振主轴的自动定位,本文设计了一个原理如图2所示的CCD视觉自动对轴系统。它包括4个部分,即光源、对轴机械平台、显微图像系统、处理和软件。该系统可使保偏光纤的定位精度达到1°以内。

光源发出平行光照向光纤侧面。光纤通过对轴机械平台(通过4个步进电机带动定位在齿轮上的2根光纤的两端旋转实现定位)实现固定、夹紧和旋转。为保证控制速度,采用单片机单独控制步进电机。显微图像系统借助显微镜放大光纤,并使光透过保偏光纤在CCD上成像。由于保偏光纤内部折射率的不同,透过纤芯和包层的光会呈现明暗不同的光强分布,通过图像采集卡显示在计算机上。计算机根据光强特征进行图像处理,由处理和软件驱动运动平台使两根光纤的偏振主轴平行从而完成对轴过程。

1.2 对轴平台性能测试

设计对轴平台的目的是实现保偏光纤的自动对轴,其性能测试主要是针对光纤的定位精度。在对轴中,采用步进电机带动保偏光纤两端旋转,其步距角为1.8°(采用64细分法),其精度满足角度对准要求。

CCD摄像头的采集频率约为60帧/s,采集卡显示频率可达30帧/s。在程序中设置的预视帧频为25帧/s,即每隔40ms就调用一次回调函数进行特征参量的采集及计算分析。实验利用单片机控制电机,不占用CPU。在光纤旋转360°过程中,改变电机旋转速度,可以采集到不同的数据,即可得到每一采集点对应转过的角度。如在程序中设置一定速度,在360°中取640个点,使得相邻点-点的角度值为0.56°,即可达到角度对准要求。

1.3 保偏光纤自动对轴原理及算法分析

当平行光从侧面照向裸光纤时(此时保偏光纤本身作为一个柱面透镜),就会在距光纤中心为L的观测面上形成一个可测量的光强分布^[4]。移动观

侧面,可以发现光强的最大对照 h (光强最大值与最小值的差值)位于光纤中心位置。随着光纤的旋转,光强分布不断变化,光对照值在焦点处改变。分析 360° 的光对照分布值(即本文所取的特征值)就可得到一个新的光强分布。对于一根给定的光纤,以光对照值为特征量,测量其随角度变化的曲线,并利用其对称性和周期性进行傅里叶展开,便可得到起始角为零度(光纤光轴与入射光平行时)的标准曲线。随后对任意方位角起始的标准曲线与测量曲线作互相关,极大值所对应的角度即为所求保偏光纤的方位角。

$P(\theta + \theta_0)$ 表示一个光强分布,其中 θ 为旋转角度, θ_0 是光纤的初始方位角。由于 $P(\theta + \theta_0)$ 有界且是以 2π 为周期的正函数,因此可将 $P(\theta + \theta_0)$ 展开成傅里叶级数的形式,则有(1)式^[5]、(2)式和(3)式的傅里叶系数:

$$P(\theta + \theta_0) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n(\theta_0)\cos(n\theta) + b_n(\theta_0)\sin(n\theta)] \quad (1)$$

$$a_n(\theta_0) = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} P(\theta + \theta_0)\cos(n\theta)d\theta \quad (n = 0, 1, 2, \dots, k) \quad (2)$$

$$b_n(\theta_0) = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} P(\theta + \theta_0)\sin(n\theta)d\theta \quad (n = 0, 1, 2, \dots, k) \quad (3)$$

由于保偏光纤的对称性, $P(\theta)$ 是一个偶函数,于是有:

$$P(\theta) = P(-\theta) \quad (4)$$

则有:

$$b_n(0) = 0 \quad (5)$$

另外,由保偏光纤横截面的几何关系可得:

$$P(\theta + k\pi/2) = P(-\theta + k\pi/2) \quad (6)$$

从而有:

$$\begin{cases} a_n(0) = 0 \\ a_n(\theta_0) = 0 \quad (n = 1, 3, 5, \dots) \\ b_n(\theta_0) = 0 \end{cases} \quad (7)$$

于是,保偏光纤的初始方位角为

$$\theta_0 = -\arctan[b_2(\theta_0)/a_2(\theta_0)]/2 \quad (8)$$

(if $a_2 \geq 2a_4$)

$$\theta_0 = -\arctan[b_4(\theta_0)/a_4(\theta_0)]/4 \quad (9)$$

(if $a_2 < 2a_4$)

初始方位角得到后,控制步进电机旋转至偏振轴位置。与此同时还可得到(10)式的仿真光强分布:

$$P_s(\theta + \theta_0) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^4 \{a_{2n}(0)\cos[2n(\theta + \theta_0)]\} \quad (10)$$

由于本算法中的光强分布是基于从一整个循

环得出的大量数据点和信息,因此它对噪声是不敏感的。

2 保偏光纤自动对轴实验研究及光学理论分析

2.1 实验研究

本文所采用的透镜效应侧视法基于光纤所形成的特殊柱面透镜的光学变换效果。分析CCD观测物平面上形成的特定光强分布,发现应力导致的折射率变化其光学作用近似于一个特殊的椭圆透镜,而光纤偏振方向的旋转对应于该透镜的光学主轴旋转。其中,观测物平面的选取以及选定物平面随转动角度变化的光强分布特征的检测是其应用中的关键问题。通常,选择的物平面位于柱面透镜的焦平面附近,以光强的最大对照 h (如图2所示)作为测量特征量,利用其随角度转一圈的变化,以及本文所述的算法进行分析计算和控制。但在实验中发现,选择不同的物平面时,垂直于光纤芯轴方向的横截面的光强分布会呈现不同的特征。图3~图6为本系统实验中所出现的几种特征。其中1点、3点和7点特征的情况出现时物平面的变化范围很窄。也就是说,要找到存在这些特征对应的物平面

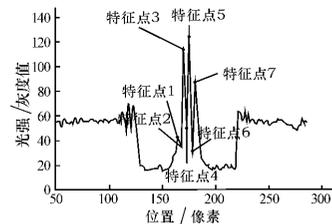


图3 保偏光纤横截面光强分布的7点特征
Fig. 3 The seven characteristic points of the cross-section intensity profile of polarization maintaining fiber

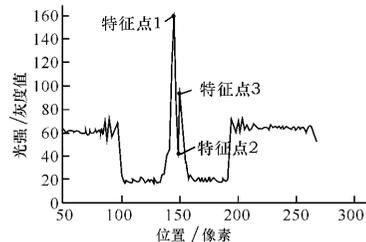


图4 光纤横截面的3点特征
Fig. 4 The three characteristic points of the cross-section intensity profile of polarization maintaining fiber

比较困难,需要不断地调整观测物平面,比较费时。相比之下,5点特征光强分布出现的几率非常大。由于自动化系统人为参与极少,因此当光纤放好之后,不需再调整物平面,选择特征最明显并且调整范围最宽的物平面下的光强——5点特征光强分布进行研究。

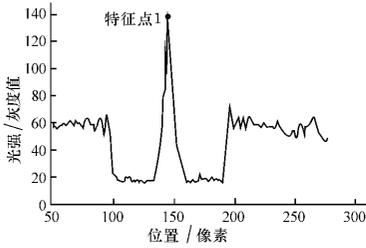


图5 光纤横截面的1点特征

Fig. 5 The one characteristic point of the cross-section intensity profile of polarization maintaining fiber

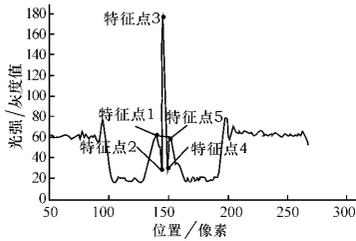


图6 光纤横截面的5点特征

Fig. 6 The five characteristic points of the cross-section intensity profile of polarization maintaining fiber

旋转光纤可以得到这5个特征点随光纤方位角度的变化曲线,如图7所示。图中曲线1,2,3,4和5分别为5个特征点随光纤方位角度的变化曲线。从图中可以看出,特征点1和2随角度的变化与3有着相同的趋势,而特征点4和5随角度的变化与3

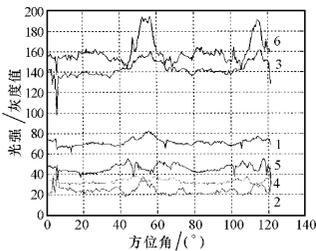


图7 5个特征点随光纤方位角变化的曲线及5点特征值曲线

Fig. 7 The curves of the five-characteristic-point variation with the azimuth angle of fiber and the five-point characteristic curves

有着相反的趋势。利用特征点1与2及3的数据之和减去4和5的差可以得到更为敏感的特征量。在本文中称此变量为5点特征值,此法称为5点特征值法。图中曲线6为由5点特征值法得到的敏感特征量随角度的变化曲线。可以看出,它比利用光对照值直接得到的特征曲线3随角度的变化更明显,曲线形态更规整且陡峭,因此测量精度更高。

2.2 光学理论分析

通过对相同尺寸特征普通单模光纤直接进行仿真和实验,发现单模光纤所形成的柱面透镜具有一定的光学像差,因此在焦距附近所形成的光强分布并不是单峰图形,而是具有类似于图6中的5点特征。在叠加了应力导致的椭圆透镜的影响下,此5点的光强随着光纤的转动而发生变化。由于应力导致的折射率变化比较小,整个POL图像基本保持单模光纤的POL图像特征。

2.3 结论

实验发现,不同观测物平面上光纤成像形成的光强分布特征不同,其中5点特征的光强分布对应的物平面范围最宽,对轴时调焦省时,特别适合于自动对轴系统。

3 结束语

匹配型保偏光纤用于保偏耦合器中时,可以减小损耗,但却不容易直接定轴。另外,目前采用的人工定轴,人为误差难以控制,且工作强度大,为此我们设计了一个CCD视觉自动对轴系统。采用5点特征值作为特征量进行光强分布分析,具有更高的测量精度。

参考文献:

- [1] 陈伟,李诗愈,成煜,等. 保偏光纤技术进展及发展趋势[J]. 光通信研究,2003,(总第120期):54—57.
- [2] 王冬云,刘承,舒晓武,等. 保偏光纤精确定位方法的研究[J]. 光子学报,2002,31(3):345—348.
- [3] Hiroyuki Taya, Mikio Yoshinuma, Takeshi Yamada, et al. Manufacturing method for polarization maintaining optical fiber couplers [P]. 美国专利: 5024501,1991—06—18.
- [4] Zheng Wenxin. Auto-aligning and splicing PM-fibers of different types with a passive method[J]. SPIE, 2837:356—367.
- [5] Zheng Wenxin. Automated fusion-splicing of polarization maintaining fibers. Journal of Light Wave Technology[J]. 1997,15(1):125—134.