

文章编号 1004-924X(2007)09-1322-06

# 基于图像处理技术的光纤准直器封装新方法

裘建新<sup>1</sup>, 钟平<sup>2</sup>

(1. 上海工程技术大学, 上海 201620; 2. 东华大学, 上海 201620)

**摘要:** 运用“可检测性”概念和 Design For Test(DFT)方法, 提出了一种基于图像处理技术的光纤准直器封装方法。在装配前利用机器视觉和数字图像处理技术保证插针到达正确相位, 然后保持插针相位姿态不变插入不锈钢套筒, 同时光纤插针做进给运动, 以调节插针和自聚焦透镜在不锈钢金属套筒中的间隙, 使插针快速地到达最佳装配位置, 保证输出光功率最大。该系统主要由 CCD 摄像机、图像采集卡、系统控制和图像处理软件构成, 由计算机控制其装配全过程。实验证明了该系统的有效性和实用性, 其相位误差可控制在公差 $\pm 3^\circ$ 内, 满足光纤准直器装配精度要求。该封装方法已应用于生产, 较大地提高了生产效率和产品合格率。

**关键词:** 光纤准直器; 机器视觉; 封装; 图像处理; 相位检测

**中图分类号:** TN253; TH161.7 **文献标识码:** A

## Novel packaging method for optical fiber collimator based on image processing

QIU Jian-xin<sup>1</sup>, ZHONG Ping<sup>2</sup>

(1. *Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China;*  
2. *Dong Hua University, Shanghai 201620, China*)

**Abstract:** On basis of the “measurability” conception and the Design For Test(DFT) method, a new packaging method for the collimator based on image processing technique was put forward. The computer vision and digital image processing technique were used to ensure the optical fiber plug to a right phase, and then keep the plug phase intercalating into the stainless steel tube. At the same time, the optical fiber plug feed was moved to adjust the clearance between the plug and GRIN lens in the stainless steel tube to make the plug get to the best assemble place to ensure the optical fiber collimator outputs in maximum light power. The main parts of the system were CCD camera, image board, controlling system and image processing software, and the whole assembly process was controlled by computer. The experimental results show that the system is practical and effective, and the assembly angle tolerance can be controlled less  $\pm 3^\circ$  to satisfy the demand of collimator assembly precision. The packaging method for collimator has been applied to production, which has increased productivity and the qualified rate greatly.

**Key words:** optical fiber collimator; computer vision; packaging; image processing; phase detecting

收稿日期: 2007-02-06; 修订日期: 2007-05-03.

基金项目: 上海市重点学科建设资助项目(No. P1405); 上海市教育委员会科研基金资助项目(No. 06NZ001)

## 1 引言

光纤准直器是光无源器件的基础元件,其作用是将光纤出射的发散光变成平行光束或者将平行光束汇聚进入光纤,以提高光纤器件的耦合效率。光纤准直器在光通信器件(如激光器、探测器、光隔离器、光环形器、光开关、光衰减器、光波分复用器等)中有着广泛应用。目前,光通信系统向大容量、高速率方向的迅速发展,对光纤准直器的产业化制造提出越来越高的技术要求,而光纤准直器的封装效率与质量是制约其批量生产制造的“瓶颈”问题之一。

目前准直器制造急待解决的关键技术是实现以最短的时间与最低的成本获得最低的稳定插入损耗<sup>[1-5]</sup>。而光纤插针斜端面与自聚焦透镜斜端面的相位偏差和间隙偏差所引起的光耦合损耗是影响光纤准直器封装质量的两个主要因素,因此光纤准直器的装配工艺直接影响整个器件的性能参数。在不透明的不锈钢金属套筒中调节光纤插针斜端面与自聚焦透镜斜端面的平行度有相当的难度,对此,本文提出一种基于数字图像处理技术的光纤准直器封装新方法。

## 2 光纤准直器封装工艺

光纤准直器由四分之一节距的自聚焦透镜(GRIN)、带有光纤的插针以及不锈钢金属套筒组成。自聚焦透镜和光纤插针的材质均为 $\text{SiO}_2$ ,自聚焦透镜和光纤插针各有与端面角度为 $\gamma$ (一般为 $8^\circ$ )的斜面。如图1所示。

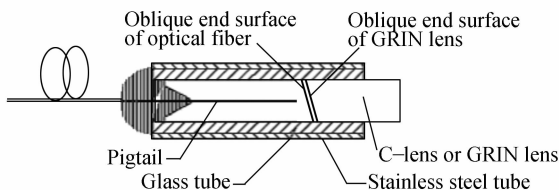


图1 光纤准直器结构图

Fig.1 Structure of optical fiber collimator

目前光纤准直器的装配工艺一般为:首先,将自聚焦透镜固装在不透明的微小偏心不锈钢金属套筒内的一端。接着,将带有光纤的斜面插针插入不锈钢金属套筒另一端,并做进给和旋转运

动,以调节不锈钢金属套筒中光纤插针斜端面与自聚焦透镜斜端面的平行度(即相位)和间距,同时用光学仪器(如光功率计)对入射于光纤并由自聚焦透镜出射的光信号进行监控。当检测到的光传输特性最佳时(如输出的光功率达到最大时),则认为斜面插针调整到了最佳位置。最后,给插针涂覆固定胶,加热以使粘胶固化,实现封装<sup>[6-9]</sup>。

原有工艺的缺点在于影响光纤准直器封装质量的两个主要装配指标,即光纤插针斜端面与自聚焦透镜斜端面的相位偏差和间隙偏差,是依靠光学仪器在线检测光传输特性被动保证的,很大程度依赖操作工人的技术和经验。这显然不符合微电子封装应该遵循的“可检测性”概念和 Design For Test(DFT)现代生产理念。

由此提出一种新的光纤准直器封装工艺<sup>[10]</sup>:首先,将自聚焦透镜固装在不锈钢金属套筒内的一端,并确定其斜端面的相位,光纤插针夹持在不锈钢金属套筒另一端的外侧。CCD成像系统的物镜位于水平放置的光纤插针的垂直面,由CCD得到光纤端面的投影图像。利用投影图像与原图像的面积关系,得到光纤插针的相位信息,并据此调节光纤插针的相位,使光纤插针的斜端面与自聚焦透镜的斜端面平行。然后保持插针相位姿态不变插入不锈钢套筒做进给运动,以调节插针和自聚焦透镜在不锈钢金属套筒中的间隙。同时用光学仪器对入射光纤由自聚焦透镜出射的光信号进行监控,反馈指导光纤准直器的封装动作,使斜面插针快速地到达最佳位置,保证输出的光功率最大。

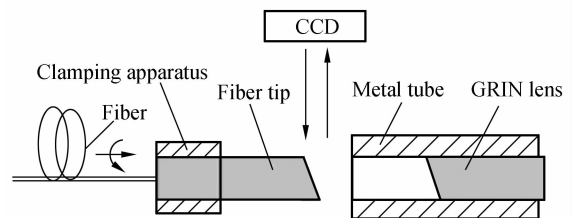


图2 光纤准直器封装原理图

Fig.2 Assembly principle of optical fiber collimator

基于DFT的光纤准直器封装原理如图2所示。利用机器视觉和数字图像处理技术实现光纤插针斜端面与自聚焦透镜斜端面的相位检测,端面间隙精度依靠微米级精密进给机构保证。本文着重介绍基于数字图像处理技术的光纤插针斜端面与自聚焦透镜斜端面的相位检测方法。

### 3 光纤插针相位的 CCD 检测原理及算法

光纤插针的斜端面及其投影如图 3 所示。在装配中,光纤插针的端面放置在与水平面垂直成像系统物镜(显微镜的物镜)的下面,并被放大成像于 CCD 的光敏面上。调节成像系统,可由 CCD 得到清晰光纤端面的投影图像。利用这个投影图像面积和原图像面积(光纤斜端面实际面积)的关系,得到光纤插针的相位信息。

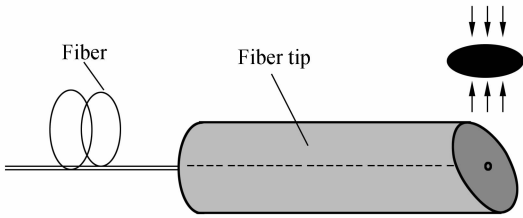


图 3 光纤插针端面及投影

Fig. 3 Tip surfaces and projection of optical fiber

原平面面积  $S_{origplane}$  和实际投影平面面积  $S_{realplane}$  有以下关系:

$$\cos \alpha = \frac{S_{realplane}}{S_{origplane}}, \quad (1)$$

其中,  $S$  为平面的面积,  $\alpha$  为投影平面和原平面的夹角。由于 CCD 摄像机得到是光纤插针端面投影平面的图像, 假设得到光纤插针端面投影的图像面积为  $S_{imageproj}$ , 成像系统的放大倍率为  $\beta$ , 则实际的投影面积为:

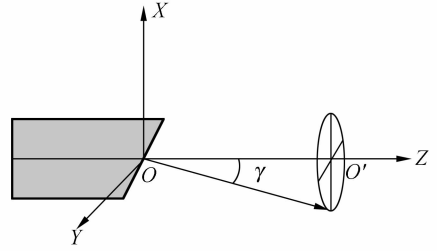
$$S_{realproj} = \frac{S_{imageproj}}{\beta^2}. \quad (2)$$

因为显微镜和 CCD 摄相机是垂直于装配工作台, 所以投影平面就是工作台平面即水平面。光纤插针端面和水平面的夹角由以下公式求出:

$$\cos \alpha = \frac{S_{realproj}}{S_{origplane}} = \frac{S_{imageproj}}{S_{origplane} \cdot \beta^2}, \quad (3)$$

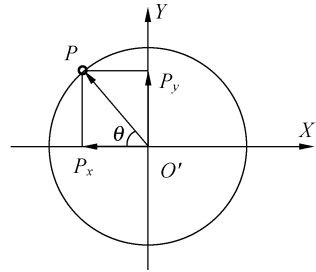
$$\alpha = \arccos \frac{S_{imageproj}}{S_{origplane} \cdot \beta^2}. \quad (4)$$

平面之间的夹角用各自法矢量的夹角表示。假设光纤插针端面的法矢量位于  $XOY$  平面内, 并设水平面的单位法矢量为  $(1, 0, 0)$ 。由于光纤插针端面被加工成  $8^\circ$  的斜面, 光纤插针斜端面绕  $Z$  轴线旋转时, 法矢量也绕  $Z$  轴旋转, 且法矢量的



(a) 光纤插针斜端面的法矢量示意图

(a) Diagrammatic sketch of normal vector of oblique tip surface



(b) 法矢量端点运动图

(b) Motion diagram of end point of normal vector

图 4 光纤插针斜端面的法矢量及法矢量端点的运动图

Fig. 4 Normal vector of oblique tip surfaces and track of end point

端点始终在一圆上, 如图 4(a) 所示。当光纤插针绕轴线旋转角  $\theta$  时, 光纤端面和水平面的夹角便可以由各自法矢量的夹角求得。

图 4(b) 为法矢量端点的运动图, 假设法矢量  $OP$  的长度为单位长度, 则  $O'P$  的长度为  $\sin \gamma$ , 光纤绕  $Z$  轴旋转  $\theta$  角, 法矢量  $OO'$  在  $Z$  轴投影为  $\cos \gamma$ , 在  $X$  轴、 $Y$  轴上的投影分别为  $-\sin \gamma \cos \theta$  和  $\sin \gamma \sin \theta$ , 因此法矢量端点的坐标为  $(-\sin \gamma \cos \theta, \sin \gamma \sin \theta, \cos \gamma)$ 。两个向量的夹角可以由夹角公式求得, 即:

$$\cos \alpha = \frac{|x_1 x_2 + y_1 y_2 + z_1 z_2|}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2} \cdot \sqrt{x_2^2 + y_2^2 + z_2^2}}, \quad (5)$$

将光纤端面法矢量和水平面法矢量代入式(5)得:

$$\cos \alpha = |-\sin \gamma \cos \theta| = \sin \gamma \cos \theta, \quad (6)$$

联立式(3)和式(6), 最终得到光纤插针需要旋转的角度:

$$\theta = \arccos \frac{S_{imageproj}}{S_{origplane} \cdot \beta^2 \cdot \sin \gamma}. \quad (7)$$

### 4 光纤端面投影图像面积的算法

利用数字图像处理计算光纤插针端面的投影面积。对于用 CCD 采集到的光纤插针端面的数字图像,先用均值滤波方法去除噪声,然后根据光纤插针端面图像的灰度信息对采集的图像进行边缘检测,再用串行边界分割算法对边缘图像进行处理,分割出光纤插针端面,最后计算出光纤端面目标在图像中所占的像素,即可精确地计算出光纤端面的图像面积。

采用一种改进的均值滤波算法对图像进行除噪处理。均值滤波是常用的一种线性滤波方法,由于线性滤波的通病是在降低噪声的同时也模糊了整个图像,特别是图像的边缘和细节,因此直接使用均值滤波不利于边缘的提取。

均值滤波由于依次取操作像素点邻域的均值使图像模糊。本文不取均值而是有条件地保留原来像素点的值,即只当像素点的值比邻域均值大于某一阈值时,才取邻域均值为该点的值,否则该点的值保持不变,这样,图像就不会模糊,而且还去除了噪音。

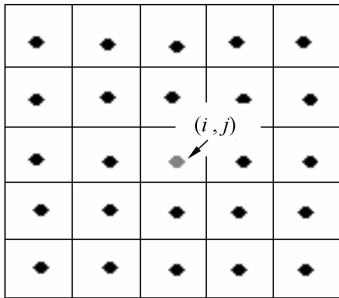


图 5 边缘检测算子窗口

Fig. 5 Operator window of edge detecting

利用灰度梯度极值算法分割出光纤端面的边缘。如图 5 所示,采用一个  $5 \times 5$  边缘检测算子窗口,原始灰度图像用  $f(x, y)$  表示,其中  $(i, j)$  为窗口中心像素,即待检测边界像素; $(x, y)$  为窗口中心像素八邻域的一个像素,定义窗口中心像素点  $(i, j)$ ,在  $N$  方向上的梯度强度为:

$$g_N(i, j) = f(x, y) - f(i, j),$$

为了求边界法线方向梯度极值点,至少需要三个梯度值(四个像素点)进行比较。采用一条直线上选择四个连续像素,求出相邻三个像素的梯度值,

其中三个连续像素中间的一个为窗口中心像素。按上述方法,环绕并通过窗口中心可引出八个方向的直线,则在窗口内有八个边界像素检测方向。设在窗口内,通过窗口中心像素的某一直线方向上的四个像素依次排列为: $(X_0, Y_0), (i, j), (X_1, Y_1), (X_2, Y_2)$ 。

在某一个方向上有下列不等式成立:

$$g_N(i, j) > \max\{g_N(X_0, Y_0), g(X_1, Y_1)\}, \quad (8)$$

则  $f(i, j)$  为  $N$  方向可能的边缘。采用边缘检测算子扫描整幅图像,将满足不等式(8)的所有像素置 1,其它像素为 0,可得到一幅边缘的二值化图像。要说明的是,在工程上仅满足不等式(8)是不够的。由于受光照强度及其它噪声的影响,非边缘某些点也能满足不等式(8),因此需适当选择一个参数  $k$ ,使其不仅满足不等式(8)且满足:

$$g_N(i, j) - |g_N(X_0, Y_0)| > k \text{ 或者}$$

$$g_N(i, j) - |g_N(X_1, Y_1)| > k,$$

才为边缘像素点,否则为非边缘像素。其中  $k$  值由实验来确定。图 6 为 CCD 所摄取的光纤端面图像及用以上算法所检测的端面投影面积。由于光纤的位置固定,对于检测后的边缘二值图像,从右到左找出闭合边缘所包含的像素的多少,如图 6 中的黑色部分,即可确定其面积。

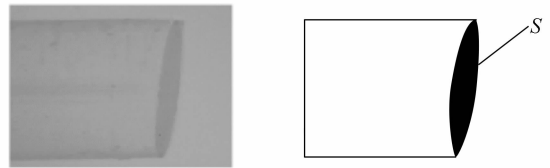


图 6 光纤斜端面图像及检测的投影面积

Fig. 6 Image of oblique tip surface and projection area of optical fiber

### 5 检测实例及精度分析

课题组研制了光纤准直器封装装备<sup>[11]</sup>,利用 VC++6.0 编制了图像处理和系统控制软件,对美国 New Focus 公司 C-I、C-II 环形器中光纤准直器实施封装。自聚焦透镜的直径  $D = 1.8 \text{ mm}$ ,斜端面偏角  $\gamma = 8^\circ$ ,计算得到自聚焦透镜斜端面的面积  $S_{\text{origplane}} = 2.57 \text{ mm}^2$ 。利用 CCD 装置对某一相位的插针端面进行图像采集和处理,所采用成像设备的放大倍数为 160。通过计算图

像所占的像素,测得该相位插针斜端面放大 160 倍的图像投影面积为  $S_{\text{imageproj}} = 5\,969.03 \text{ mm}^2$ ,利用本算法得到光纤插针需旋转角度(旋转方向为反时针)为:

$$\theta = \arccos \frac{S_{\text{imageproj}}}{S_{\text{origplane}} \cdot \beta^2 \cdot \sin 8^\circ} = \arccos \frac{5\,969.03}{2.57 \times 160 \times 160 \times \sin 8^\circ} = 49.3^\circ$$

利用光斑表征准直器的插入损耗,检测此封装方法批量装配质量的结果表明:光斑直径的误差均可控制在  $10 \mu\text{m}$  以内,光斑差值可控制在  $15 \mu\text{m}$  以内,符合质量要求,可用于准直器的生产。

光纤插针相对于聚焦透镜相位的误差,主要取决于光纤插针斜端面投影图像的采集和其面积计算的方法。光纤端面的投影图像面积计算越精确,角度(或相位)的计算也越准确<sup>[12-13]</sup>。生产实践验证,所提出的光纤准直器的装配方法,其计算相位的误差在公差  $\pm 3^\circ$  内,能保证实现光纤准直器装配调整相位精度的要求。

## 6 结 论

(1) 运用“可检测性”概念和 DFT 方法,提

出了一种光纤准直器封装新工艺,利用机器视觉和数字图像处理技术检测插针相位,并结合光学仪器进行监控微调,能使斜面插针快速地到达最佳装配位置,保证输出光功率最大。

(2) 以美国 New Focus 公司新一代环形器(C-I、C-II)中准直器制造为背景,在批量生产实践中应用了光纤准直器装配新工艺及其封装设备。对光纤准直器产品性能的检测验证完全满足插入损耗  $< 0.1 \text{ dB}$ ,回波损耗  $> 60 \text{ dB}$  的技术要求,较大幅度地提高了批量生产的效率和产品的合格率。

(3) 所提出的光纤准直器封装技术的特点在于:以光纤插针相位姿态的 CCD 检测为内环、准直器插入损耗的光功率计检测为外环,构成双环反馈控制装配系统,由精密进给机构控制尾纤的前进和旋转,使插针快速地到达最佳装配位置,保证输出光功率最大。

(4) 所提出的数字图像处理技术检测插针相位的特点在于:采用一种改进的均值滤波器对图像进行预处理,有助于提高投影图像面积的计算精度。采用灰度梯度极值算法对光纤端面进行目标分割,并根据其所占像素多少求出面积,这种算法具有较高的精度。

## 参考文献:

- [1] 张天浩,贾峰,满江伟,等. 新型光纤信号调制器[J]. 光电子·激光,2006,17(5):526-528.  
ZHANG T H, JIA F, MAN J W, *et al.*. A new type of modulator for signal in fiber[J]. *Journal of Optoelectronics • Laser*, 2006, 17(5): 526-528. (in Chinese)
- [2] 任丽静,王廷云,杜柏林. 聚合物光纤损耗及光谱特性的测量分析[J]. 光电子·激光,2006,17(2):162-164.  
REN L J, WANG T Y, DU B L. Analysis on transmission loss and optical spectrum properties of polymer optical fibers [J]. *Journal of Optoelectronics • Laser*, 2006, 17(2): 162-164. (in Chinese)
- [3] 孙锴,安宏林,徐万劲,等. 双芯光纤分光插复用器的理论分析和设计[J]. 光电子·激光,2001,12(11):1099-1103.  
SUN K, AN H L, XU W J, *et al.*. Theoretical analysis and device design for the twin core fiber add/drop multiplexer [J]. *Journal of Optoelectronics • Laser*, 2001, 12(11): 1099-1103. (in Chinese)
- [4] PAN J J. Variable Polarization Beam Splitter combiner and Mixer[P]. *U. S. Pat, No. 05740288 Apri 14*, 1998.
- [5] JUICHI N. Polarization-maintaining fibers and their application[J]. *J. of Lightwave Technology*, 1988, 4(8): 1071-1089.
- [6] MARCUSE, PRESBY H M. Automatic geometric measurements of single - mode and multimode optical fibers [J]. *Appl. Opt.*, 1979, 18 (3) :402-408.
- [7] 王素芹,阮玉,邓天. 保偏双光纤准直器的研究与设计[J]. 光电子·激光,2002,13(9):916-919.  
WANG S Q, RUAN Y, DENG T. The research and design of polarization-maintaining dual fiber collimator[J]. *Journal of Optoelectronics • Laser*, 2002, 13(9):916-919. (in Chinese)

- [8] 杨坤清,陈捷. 光纤准直器自动调试装配系统的设计[J]. 光电工程,2003,30(2):36-39.  
YANG K Q, CHEN J. Design of automatic debugging and assembling system for optic fiber collimator[J]. *Optoelectronic Engineering*, 2003,30(2):36-39.
- [9] 段瑞玲,段惠波,李庆祥,等. 基于图像处理的微装配自动调焦系统[J]. 光学精密工程,2006,14(3):468-472.  
DUAN R L, DUAN H B, LI Q X, *et al.*. Micro-assembly auto-focusing system based on image processing[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006,14(3):468-472. (in Chinese)
- [10] 裘建新,钟平,宓一鸣. 一种新的光纤准直器封装工艺[P]. 发明专利,申请号:200510111567.7.  
QIU J X, ZHONG P, MI Y M. *The New Technuics of Collimator Packaging* [P]. Chinese Patent; 200510111567.7.
- [11] 裘建新. 基于可检测性的设计理念的保偏双光纤准直器精密封装技术[J]. 吉林大学学报(工学版), 2006,36(3):355-358.  
QIU J X. The packaging technology of the polarization-maintaining dual fiber collimator based on DFT[J]. *Journal of Jilin University Engineering and Technology Edition*, 2006,36(3):355-358. (in Chinese)
- [12] GILSDORF R W, PALAIS J C. Single-mode fiber coupling efficiency with graded-index rod lenses[J]. *Appl. Opt.*, 1994, 33(16):3440-3445.
- [13] 付树军,阮秋琦,王文洽,等. 基于特征驱动的双向耦合扩散方程的图像去噪和边缘锐化[J]. 光学精密工程, 2006,14(2):315-319.  
FU SH J, RUAN Q Q, WANG W Q, *et al.*. Feature-oriented coupled bidirectional flow equation for image denoising and edge sharpening[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006,14(2):315-319. (in Chinese)

作者简介:裘建新(1946—),男,浙江嵊州人,上海工程技术大学教授,从事光机电一体化设计制造的研究。E-mail:jxqiu@sues.edu.cn