

基于机器视觉的光纤连接插芯内径测量系统

陈晓圆¹, 陈彪^{2*}

(1. 浙江工业大学 教育科学与技术学院, 浙江 杭州 310023; 2. 浙江大学 光电系, 浙江 杭州 310027)

摘要: 为了实现针对光纤连接插芯内径参数的精密和快速测量, 首先采用了机器视觉方案, 通过显微镜把内孔图像成像在高分辨率的 CCD 上, 并获取图像, 然后通过图像处理方法, 计算出了光纤连接插芯的内径大小和真圆度, 最后通过合理设计相应的硬件和软件, 实现了光纤连接插芯内径参数的快速非接触式自动测量; 同时提出了一种确定图像边缘的新方法, 消除了光强变化对阈值设定产生的干扰, 并对所采用的参数检测算法进行了阐述。实验结果表明, 整个自动测量系统的测量精度达到了亚微米级, 且具备抗光强变化干扰的性能。

关键词: 光纤连接插芯; 内径测量; 机器视觉; 边缘检测; 圆检测

中图分类号: TH741; TP274*.5

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)04-0394-03

Fiber optic connector ferrule inner hole measurement system based on machine vision

CHEN Xiao-yuan¹, CHEN Biao²

(1. College of Education Science and Technology, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China;
2. Department of Optical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Aiming at measuring fiber optic connector ferrule inner hole parameters, a scheme based on machine vision scheme was adopted. Firstly, the inner hole image was acquired by using a high definition camera and microscope, and then it was processed to calculate the hole diameter and roundness. Related hardware and software were designed properly to realize the swift and automatic non-contact measurement system. A novel method was presented to locate the edge points, with eliminating the interference aroused by light intensity fluctuation. The implemented parameter measuring algorithm was also presented. The experimental results show that the whole instrument system accuracy approaches sub-micron, and the system remains robustic to the variation of the light intensity.

Key words: fiber optic connector ferrule; hole diameter measurement; machine vision; edge detection; circle detection

0 引 言

光纤连接器主要用于实现光纤与设备、光纤与光纤、光纤与仪表之间快速可靠的通断连接, 是目前光纤线路中大量安装使用的光无源器件。光纤连接器的核心部件是插芯, 它是一种带有小孔的氧化锆陶瓷圆柱体^[1]。插芯的精度要求极高, 在只有 10.5 mm 长短、直径 1.25/2.5 mm 的陶瓷圆柱体上, 开有一个直径只有 0.125 mm 的内孔, 以便插穿单根光纤; 并且内孔孔径的误差需要控制在 1 μm 范围内, 因而其对测量的精

度提出了很高要求。同时, 由于插芯产品的检验须经过测量环节, 测量速度影响产能, 这也要求测量速度越快越好。

当前, 机械接触式高精度测量系统在传统工业领域得到了大规模的应用, 但在毫、微米级内孔测量上采用该系统尚存在着很多不足。国内对光纤连接插芯内孔测量, 主要还是采用传统的通针接触式测量。其测量速度慢, 且重复使用后精度会下降, 大批量测量时效率低下。而采用光电非接触式测量可以极大地改善其测量速度和精度稳定性, 因此近年来基于机器视觉非

收稿日期: 2011-12-12

作者简介: 陈晓圆(1993-), 女, 浙江杭州人, 主要从事计算机在工业和金融业方面的应用研究。E-mail: feiyang-0621@163.com

通信联系人: 陈彪, 男, 副教授, 博士。E-mail: chenbiao@zju.edu.cn

接触式测量方式得到世界广泛关注^[2-7]。

本研究通过优化设计的显微镜把内孔图像成像在高分辨率的CCD上并获取图像,再通过图像处理计算出内孔大小,以实现快速非接触式测量。

1 系统硬件设计

硬件系统设计总体框图如图1所示。自动送料系统从一盘被测插芯中自动攫取一个插芯送到测量位置。显微成像系统和工业数码相机完成图像采集送到计算机,计算机对图像进行处理、识别与测量,得出内径大小和真圆度值,通过显示器显示出来,并进行分类,由分拣系统进行分拣。

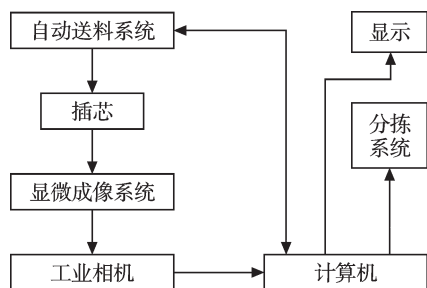


图1 硬件系统设计总体框图

本研究所采用的工业数码相机的光敏面大小为 $5\text{ mm}\times 7\text{ mm}$,分辨率为 $1\ 024\times 2\ 048$ 。而被测内径大小是 0.125 mm 左右,图像是个圆(如图2所示),圆直径占光敏面宽度的一半左右,对应成像系统的放大倍率要求为 $20:1$,易于实现;量化精度为 $0.244\ \mu\text{m}$,在容许的范围内。

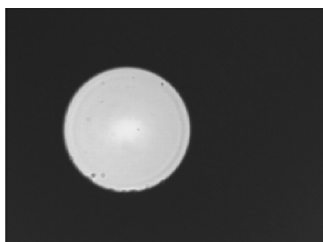


图2 内孔显微图像

2 系统软件设计

2.1 流程与界面设计

自动测量软件流程如图3所示。自动测量软件模块启动后开始初始化工作,包括设定相机的工作参数,然后启动自动送料系统,把第1个被测插芯送到工位上。本软件判断插芯送到工位上后即开始拍照,拍照完后立即启动送下一个被测插芯发送指令,由于自动送料系统从接收到指令至插芯到位需要一定时间,让其与数据处理并行工作可以节省这个时间,提高测量速度。数据处理包括图像处理和参数计算环节,先进行图像的边缘检测,再计算出内径大小和真圆度值,最

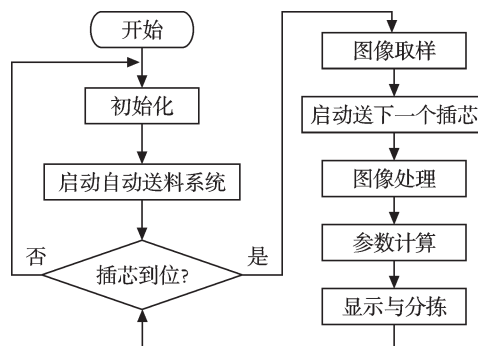


图3 自动测量软件流程

后把计算结果显示出来,也可以存档,同时进行分拣。然后,开始新的测量循环。

操作及显示界面设计如图4所示,用户点击控制面板的“自动测量”按钮就可以开始自动测量循环,点击“中止”按钮可以中止循环。控制面板其他按钮用于设置参数,设备调试及手工测量。取样照片框内显示的是被测插芯的显微图像,显示框内将显示测量结果,包括内径大小和真圆度值。

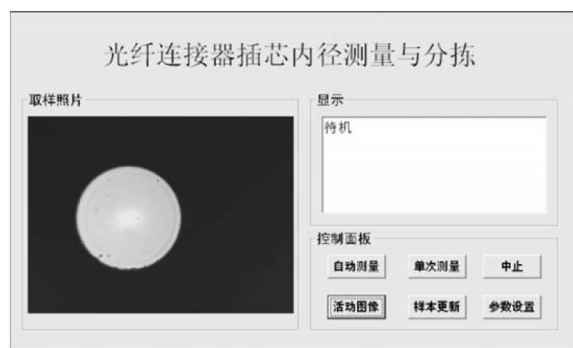


图4 操作及显示界面

2.2 图像边缘检测

现有边缘检测方法^[8]不具针对性,本研究则通过图像二值化处理定位边缘。在实际获取图像的过程中,由于光源的不稳定和外界其他因素(温度、杂散光、色度)的影响,如果简单地用静态阈值的方法去进行二值化处理会带来较大的误差。所以,本研究提出一种二值化处理算法,消除光源偏差的影响,合理界定边缘,确保测量的准确性。

光从插芯内孔中穿过后,内孔透光的区域光强大,其他区域光强小,图像的RGB 3个数值(范围 $0\sim 255$)在三维坐标上均呈圆台形(理想状态是圆柱形)函数分布。扫描一行,在二维坐标上像素RGB数值均呈梯形(理想状态是矩形)函数分布。当外部的光强增强时,梯形函数的峰值也会相应提高,峰值区域的长度增长,边缘的斜率加大,光强减弱时则相反。在梯形函数的斜边上,二值化过程其实就是界定边缘的过程。如果用静态阈值来判别进行二值化的话,强光时测得的直

径偏大,弱光时测得的直径偏小。图像的边缘是由灰度的突变反映的,灰度的突变常常可用一阶导数或二阶导数检测到,一般地,研究者借助梯度表示图像中灰度的变化情况,它反映的是图像灰度变化最陡的方向,因而梯度的方向总是与图像边缘的方向相互正交,若边缘的方向为水平方向,则其梯度一定沿竖直方向^[9]。所以,笔者以梯度作为阈值评判的基础。

本研究设 $f(x, y)$ 表示图片中点 (x, y) 的像素光强值, $G(x, y)$ 表示点 (x, y) 的光强梯度值,绝大部分梯度算子把点 (x, y) 处的边缘梯度和方向定义为^[10-11]:

$$|\nabla f| = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2} \tag{1}$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right) \tag{2}$$

式中: G_x, G_y — f 对 x, y 的偏导数。

对于RGB模型,有 $I=(R+G+B)/3$, I 在这里代表的是入射光强(0~255)^[12]。 I 在图像上的分布函数即 $f(x, y)$,定义为:

$$G(x, y) = \left(\sum_{i=1}^5 (f(x+i, y) - f(x-i, y)) \right) / 30\vec{X} + \left(\sum_{i=1}^5 (f(x, y+i) - f(x, y-i)) \right) / 30\vec{Y} \tag{3}$$

这里,前一项表征 X 轴向每单位像素上的强度变化值,后一项表征 Y 轴向每单位像素上的强度变化值,即:

$$G(x, y) = \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \vec{X} + \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \vec{Y} \tag{4}$$

和Sobel, Prewitt算子模板不一样,本研究定义的 $G(x, y)$ 与圆域函数匹配各向同性,同时增加了 X, Y 轴上的卷积长度,对突发噪声加强滤波,目的是为了保证梯度计算的准确性和稳定性。对于圆域, $|G(x, y)|^2$ 将在边缘取到最大值。

2.3 参数检测算法

参数检测算法已有详细探讨,本研究限于篇幅,仅对所用的参数检测算法的方法和实际应用效果作一论述。Hough变换是从图像中识别几何形状的基本方法之一^[13],对于半径未知的情况,可以看作是有3个参数(中心坐标和半径)的圆的检测,参数空间的维数是3,计算量很大。本研究则通过一对相对的边缘点确定圆心坐标的一张选票,参数空间仅由圆心坐标 (a, b) 构成,因而是二维的,设 $V(a, b)$ 表示坐标 (a, b) 为圆心的选票数, (A, B) 为圆心坐标估计值,则:

$$A = a @ \max_b \sum V(a, b) \tag{5}$$

$$B = b @ \max_a \sum V(a, b) \tag{6}$$

即 A 和 B 分别是 $\sum_b V(a, b)$ 和 $\sum_a V(a, b)$ 取得最大值对应的 a 和 b ,再根据圆心和边缘点坐标值可以确定半径的一个样本点,根据半径样本的统计数据可以确定直径大小和真圆度参数。这两个步骤参数空间的维数分别是2和1,比维数是3的一个步骤运算速度要快得多。算法采用C语言编程,实际应用效果在实验结果一节讨论。

3 实验结果

本研究任意抽取一个陶瓷插芯,对它的内径参数进行10次重复测量,测量结果如表1所示,可以看出,测量重复精度(相对精度):直径优于0.2 μm ,真圆度优于0.25 μm 。批量测量结果表明对直径和真圆度测量精度均优于0.3 μm ,测量速度小于6 s/个。

表1 重复测量记录(单位: μm)

编号	直径	真圆度	编号	直径	真圆度
1	125.83	0.48	6	125.75	0.54
2	125.76	0.52	7	125.86	0.47
3	125.72	0.36	8	125.81	0.55
4	125.89	0.46	9	125.85	0.58
5	125.80	0.53	10	125.78	0.50

本研究在不同照度下对一个插芯的测量结果如表2所示,设计静态阈值在50%照度。从实验中得知,静态阈值法在最大光强(照度)远大于静态阈值时才能保证精度,当最大光强接近于静态阈值时,测量结果已经完全偏离理论值,而梯度动态阈值的方法能够很有效地适应光强的变化,即使是入射光强下降的情况下仍然能够保证5%左右的精度,提高了工程实用性。

表2 不同相对照度下直径测量值比较

照度	梯度法	静态法	照度	梯度法	静态法
46%	125.63	22.32	65%	125.64	121.69
50%	125.58	59.78	69%	125.60	123.23
54%	125.70	92.12	73%	125.76	125.68
58%	125.69	108.45	77%	125.75	125.71
61.5%	125.74	112.87	100%	125.66	125.70

4 结束语

本研究所开发的基于机器视觉的检测系统已投入实际应用,满足实用要求,硬件和软件设计的合理性也得到验证。通过设计梯度动态阈值法提高了工程实用性,在编程上兼顾了精度和效率两个因素,以更好地适用于大批量检测,参数检测算法维数得到降低,空间复杂度低,提高了运算的速度。

(下转第438页)

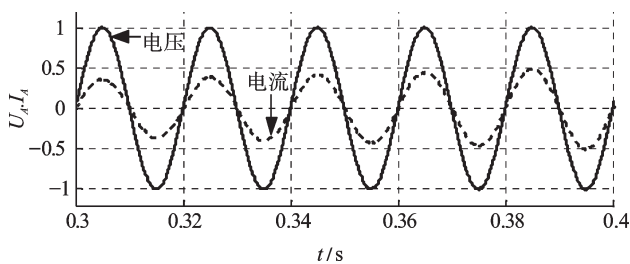


图11 风机系统输出到电网的A相电压及电流(标么值)

5 结束语

风力发电系统的优良控制对其安全平稳运行具有重要意义,本研究提出了一种桨距控制策略,利用Matlab/Simulink对基于双PWM变换器的永磁直驱风电系统进行了建模仿真。仿真结果表明,永磁直驱风电系统能够在不同风速下稳定运行,在额定风速以下可实现风能的最大功率跟踪,在额定风速以上通过桨距角控制能将风机系统的功率输出限制在额定值附近,验证了所提出的桨距角控制策略的可行性,为系统实现提供了良好的理论基础,具有重要的实际意义。

参考文献(References):

- [1] 胡非凡,胡幸江,陈国定. 变速恒频双馈风力发电机矢量控制研究[J]. 机电工程,2009,26(11):27-30.
- [2] 胡书举,李建林,许洪华. 永磁直驱风电系统变流器拓扑分析[J]. 电力自动化设备,2008,28(4):77-81.

- [3] 王志华,李亚西,赵栋利,等. 变速恒频风力发电机最大功率跟踪控制策略的研究[J]. 可再生能源,2005(2):15-19.
- [4] 尹潮鸿,谢桦,童亦斌,等. 直驱风力发电机的功率控制[J]. 机械与电子,2009(7):37-39.
- [5] 熊亮,邹轩. 直驱式风力发电系统的控制方法研究[J]. 电测与仪表,2010,47(2):31-34.
- [6] 赵仁德,王永军,张加胜. 直驱式永磁同步风力发电系统最大功率跟踪控制[J]. 中国电机工程学报,2009,29(27):106-111.
- [7] YIN Ming, LI Geng-yin, ZHOU Ming, et al. Modeling of the Wind Turbine with a Permanent Magnet Synchronous Generator for Integration[C]//Power Engineering Society General Meeting, 2007. PES 07. IEEE, 2007:1-6.
- [8] 何继爱,王惠琴. 永磁同步电机空间矢量控制系统的仿真[J]. 电力系统及其自动化学报,2005,17(6):14-16.
- [9] 耿华,许德伟,吴斌,等. 永磁直驱变速风电系统的控制及稳定性分析[J]. 中国电机工程学报,2009,29(33):68-75.
- [10] 翟兴鸿,廖勇,姚骏,等. 永磁同步直驱风力发电系统并网变流器设计[J]. 电力电子技术,2008,42(3):22-24.
- [11] 姚骏,廖勇,庄凯. 永磁直驱风电机组的双PWM变流器协调控制策略[J]. 电力系统自动化,2008,32(20):88-92.
- [12] 张崇巍,张兴. PWM整流器及其控制[M]. 北京:机械工业出版社,2005.

[编辑:张翔]

(上接第396页)

致 谢

感谢谭立、陈松以前的工作为本论文的工作打下基础;也感谢洪健、徐国昌、张美华等人完成本系统的机械结构设计和制作。

参考文献(References):

- [1] 中华人民共和国信息产业部. YD/T 1198-2002 光纤活动连接器插针体技术要求[S]. 北京:人民邮电出版社,2002.
- [2] NIKO H, MARKO S, FRANCE LJ T, et al. A machine-vision system for automated quality control of welded rings [J]. **Machine Vision and Application**, 2011, 22(6):967-981.
- [3] 杨立娜,单越康. 基于机器视觉的陶瓷基板检测系统[J]. 机电工程,2009,26(3):50-52.
- [4] 任济钢,宾鸿赞. 薄片零件尺寸机器视觉检测系统中的线扫描步长自适应优化研究[J]. 机械,2010,37(1):71-74.
- [5] 杜俊斌,黄泽文,黄云,等. 机器视觉半导体分选系统的研制[J]. 机电工程技术,2011,40(8):64-65.

- [6] 王红军,陈临强,王磊. 机器视觉中矩形几何提取和校正[J]. 机电工程,2010,27(4):95-96.
- [7] JIN Yan, ZHOU Yong-liang, CHEN Biao. A practical method for circular hole measurement based on machine vision [J]. **Advanced Materials Research**, 2011(317-319):837-842.
- [8] 段瑞玲,李庆祥,李玉和. 图像边缘检测方法研究综述[J]. 光学技术,2005,31(3):415-417.
- [9] 夏平,李小玲,罗晓曙. 基于多尺度小波算子的图像边缘检测[J]. 广西大学学报:自然科学版,2002,27(3):264-267.
- [10] 任济钢,宾鸿赞. 薄片零件尺寸机器视觉检测系统中边缘检测技术的对比研究[J]. 机电工程技术,2010,39(2):26-28.
- [11] 孙根云,柳钦火,刘强,等. 图像的模糊边缘检测算法[J]. 光电工程,2007,34(7):141-144.
- [12] 霍宏涛. 数字图像处理[M]. 北京:北京理工大学出版社,2002.
- [13] HART P E. How the Hough transform was invented [J]. **IEEE Signal Processing Magazine**, 2009, 26(6):18-22.

[编辑:李辉]