

# 玻璃微珠球度自动测试

姜淑华<sup>1</sup> 任延郡<sup>2</sup> 王文生<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 长春理工大学电信工程学院, 吉林 长春 130022; <sup>2</sup> 长春理工大学光电工程学院, 吉林 长春 130022)

**摘要** 将现代光学测试技术、计算机技术和光电子技术相结合,研究了基于面阵 CCD,成像物镜和微机的微小尺寸检测系统,实现了二维尺寸的高精度、非接触、实时自动检测。系统结构简单,易于操作,对环境要求宽松。为实现二维尺寸的非接触自动检测,需要获得被测工件的边缘轮廓参数。解决了非线性平滑、阈值确定和边缘提取等关键技术,利用边缘轮廓跟踪的方法获取工件的边缘轮廓图像,系统可精确地确定工件的边缘轮廓曲线。作为实例对微米级玻璃珠的球度进行了测试。该测试系统为非接触式测量,克服了传统测试方法一些固有的缺点,不会对工件造成永久性损伤。实验表明该系统测量范围大,绝对精度达到  $3.0 \mu\text{m}$ ,重复性好。

**关键词** 图像处理; 自动测试; 面阵 CCD; 成像物镜; 微机; 玻璃微珠

**中图分类号** O436      **文献标识码** A      **doi:** 10.3788/AOS200828s2.0149

## Automatic Test of Sphericity for Micro Glass Bead

Jiang Shuhua<sup>1</sup> Ren Yanjun<sup>2</sup> Wang Wensheng<sup>2</sup>

<sup>1</sup> School of Electronic Information Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130022, China  
<sup>2</sup> School of Photo-Electronic Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130022, China

**Abstract** Modern optical test technique, computer technique and photoelectric technique are combined. A test system with the CCD matrix, imaging objective and computer is researched to realize 2-D high accuracy, non-contact, real time and automatic measurement. The system has a simple structure and can be easily operated without the strict requests for environment. We need to obtain the edge contour parameter of the measured workpiece in order to achieve non-contact and automatic measurement. The testing device solves the key technologies of non-linearity smooth, the threshold value selection and edge abstraction. Because the system uses the method of the edge contour track to obtain the edge contour image of workpiece, the edge contour curve of workpiece can be precisely determined. Sphericity of micro glass bead is tested as an example. The testing system adopts non-contact test and overcomes some inherent disadvantages of the traditional testing method. The system will not cause permanent damage to the workpiece. The experiments show that the testing range is large, the absolute accuracy is less than  $3 \mu\text{m}$  with good repeatability.

**Key words** image processing; automatic test; CCD matrix; imaging objective; computer; micro glass bead

## 1 引 言

随着微机械、激光等加工技术的发展,对非接触、高精度、实时测试微小物体的要求越加迫切。新的测试方法和测试仪器在不断研究。其中,把光学非接触、高精度的方法与电子图像细分(像素)方法相结合,把光电检测方法和计算机数字图像处理方法相结合使微小物体的测试技术发展到一个新的阶段。

文献[1]提出了一种利用线阵 CCD 进行自动测量的方法,与人工测量相比,无论是测量精度还是测量效率都得到了很大的提高。但其缺点是设备比较复杂,需要扫描控制电路、驱动传送机构等。文献[2]的测试系统要求被测零件的水平尺寸小于  $0.5 \text{ mm}$ 。本文提出一种结合面阵 CCD-计算机系统实现对微小尺寸进行实时自动测量的方法,该系统使得设备相对简单,测量速度得到提高,测试系统水平尺寸满足

小于 2.1 mm 即可,扩大了测试范围。

文献[3]中测量尺寸是先对工件的边缘提取后再进行边缘测量,这种方法测量精度较高,但如果边缘不连续,还要用到曲线拟合对不连续的边缘进行连接,这样就会增加测量时间。边缘检测是测试系统图像处理的关键部分。传统的边缘检测方法基于经典的微分算子——Sobel, Roberts 和 Prewitt 等。然而,通过成像设备获取的图像的边缘并不总是尖锐的,如果摄像机聚焦不准,或者在摄像机和被测工件之间存在相对运动,图像边缘就会模糊,同时,成像过程中的附加噪声是不可避免的,这些因素都会导致基于经典的微分算子的测量结果效果不好。基于 Sobel 算子和 Prewitt 算子检测的图像边缘不光滑,边缘定位不准确;基于 Roberts 算子检测的边缘虽然光滑,但是边缘太宽,大约 2~3 pixel<sup>[4]</sup>,而本文提出的边缘跟踪方法提取后的图像边缘光滑,且边缘只有 1 pixel,使图像边缘确定时的运算更简单,这非常适合于边缘定位和图像测量,在微小尺寸测量中显示出优越性。

本文研制了一种测量微小物体尺寸的显微-CCD-微机系统,将光学系统,CCD 相机,采集卡和微机结合起来得到工件的图像,并通过 VC++ 编写了测试程序,对所采集的工件图像进行处理和测量。CCD 相机作为接收器件放在显微物镜的像面上,这样被放大的工件就可以清晰地成像在 CCD 接收面上。图像经采集卡将模拟信号转换为数字信号输入到微机中用 Visual C++ 程序进行处理。该方法不仅能测量一些工件,如圆形、椭圆形、矩形和三角形的尺寸,还可以测量任意形状工件的周长及面积。该方法可用于工件的在线检测,及时控制产品的质量,减少浪费,提高生产效率。

## 2 测试系统装置

本装置主要包括:工作平台,显微物镜,CCD 相机,微机系统等,图 1 为显微-CCD-微机测试装置示意图。

本装置所设计的工作台为二维可移动式,上下移动可以调节 CCD 像面位置,左右移动可调整工件在 CCD 像面的成像区域,可满足物镜视场和成像的要求。成像系统包括两部分,一是显微物镜,二是反射棱镜,显微物镜的作用是将被测件的尺寸放大,反射棱镜起到折转光路的作用,使被测工件成像在 CCD 接收面上,以便于观察和测量。用 CCD 作为显微物镜的接收面来代替传统的显微物镜测量中的

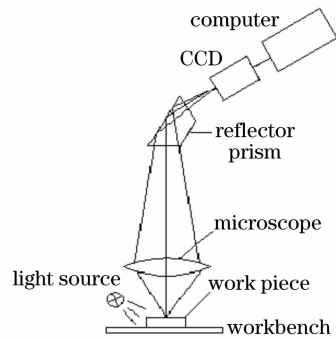


图 1 测量装置示意图

Fig. 1 Schematic of measure setup

分划板和目镜,使被放大的物体的像用 CCD 相机来接收,通过图像采集卡实现 A/D 转换,不仅避免了人为误差,而且大大提高了精度,满足了现在高精度测量的要求。显微物镜使被测工件成像在 CCD 的接收面上,CCD 相机实现对被测工件的图像采集,再经过 A/D 转换将所采集到的模拟信号转换为数字信号传入微机中,微机处理系统将此数字信号存储在内存中,再通过程序软件实现对数字图像的处理和检测。考虑增大系统的测量范围和 CCD 接受面的尺寸限制,系统采用的是数值孔径为 0.15,放大倍率为 3× 的显微物镜,这样该系统的测量范围为 2.13(*l*) mm × 1.6(*w*) mm。CCD 相机采用 CV-A50 型。图像采集卡是基于 PCI 总线的高速黑白图像采集卡。

## 3 图像处理

本系统既可实现绝对测量,也可以实现相对测量,软件编程实现是该系统实现测量的重要部分,它的主要作用就是把 CCD 相机拍摄的二维图像二值化,提取出工件信息,从而实现对工件尺寸的检测。本系统图像处理流程图如图 2 所示。用 VC++ 软件编写数字图像处理 and 检测程序,VC++ 软件的界面操作简单,处理速度快。图 3(a)为玻璃微珠经 CCD 采集获得的原始图像。

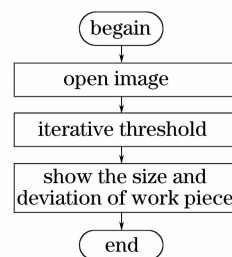


图 2 图像处理流程图

Fig. 2 Image processing flowchart

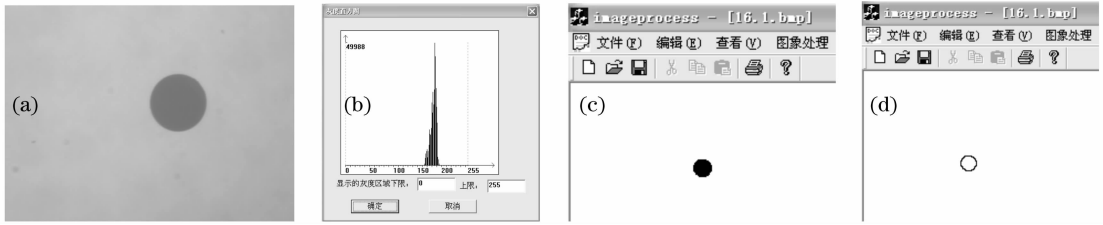


图 3 图像处理。(a) 玻璃微珠图像；(b) 灰度直方图；(c) 图像二值化；(d) 边缘提取

Fig. 3 Image processing. (a) Original image; (b) density histogram; (c) image binaryzation; (d) edge determination

本文采用的是对线性平滑改进的非线性平滑。非线性平滑不对所有像素都用它的邻域平均值来代替,而是取一个阈值,当像素灰度值与其邻域平均值之间的差值大于已知值时才以均值代替;当像素灰度值与其邻域平均值之间的差值不大于阈值时取其本身的灰度值。非线性平滑的优点是可消除一些孤立的噪声点,对图像的细节影响不大。

采用“固定阈值法”进行图像的二值化,将物体与背景分离出来。灰度直方图如图 3(b)所示,二值化结果如图 3(c)所示。最后,进行边缘提取。轮廓提取获得图像的外部轮廓特征,为图像的分析做准备。首先找到第一个边界像素的“探测准则”是:按照从左到右、从下到上的顺序搜索,找到的第一个黑点一定是最左下方的边界点。使用的“跟踪准则”为:从第一个边界点开始,定义初始的搜索方向为沿左上方;如果左上方的点是黑点,则为边界点,否则搜索方向顺时针旋转 45°。这样一直到找到下一个黑点为止。然后把这个黑点作为新的边界点,在当前搜索方向的基础上逆时针旋转 90°,继续用同样的方法继续搜索下一个黑点,直到返回最初的边界点为止。这样一幅边缘不清晰的原始图像可以变为边界清晰的二值化图像。图 3(d)就是利用上述过程进行变换后的图像。

### 4 玻璃微珠的测量

图 4 为测试系统的实物图。被测工件为微米级的玻璃珠,完全满足本实验装置的尺寸范围。以玻璃微珠的测量为例说明程序的执行过程和测量结果。打开需要检测工件的图像,图像处理程序直接对图像进行平滑处理、阈值选取等处理得到二值化的图像,边缘提取后给出测量结果的对话框,如图 5 所示。

表 1 列出了一个玻璃微珠的 6 次测量结果,每次测量都对玻璃微珠转动一个微小角度,这样,可以根据多次测量结果求得该玻璃珠的球度。将每次测得的赤道椭圆度曲线上的每个半径值记录下来,多

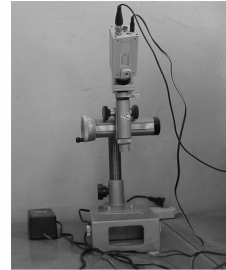


图 4 工件二维尺寸测量装置

Fig. 4 Setup for testing 2D work piece

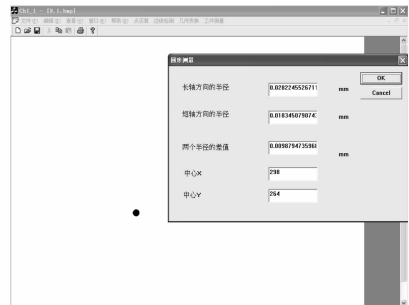


图 5 测量程序执行过程

Fig. 5 Implementation process of testing program

次测量后的最大半径与最小半径差值作定义为球度值,测量结果和尺寸偏差保留小数点后 4 位。

表 1 玻璃珠的测量结果 (μm)

Table 1 Test result of micro glass bead (μm)

| Number | Major axis | Short axis | Difference |
|--------|------------|------------|------------|
| 1      | 27.5326    | 21.6971    | 5.8355     |
| 2      | 30.0910    | 17.1430    | 12.9480    |
| 3      | 30.4732    | 18.8163    | 11.6569    |
| 4      | 27.5326    | 21.1569    | 6.3757     |
| 5      | 30.4732    | 18.8164    | 11.6568    |
| 6      | 31.0998    | 17.9775    | 13.1223    |

测量结果表明,该玻璃微珠是个椭球,测量结果中的长轴最大半径  $R_{max} = 31.0998 \mu\text{m}$ ,短轴最小半径  $R_{min} = 17.1430 \mu\text{m}$ ,二者差值为  $\Delta R = R_{max} - R_{min} = 13.9568 \mu\text{m}$ ,因此玻璃微珠的球度值为  $13.9568 \mu\text{m}$ 。所有的数据处理由计算机进行,测量速度快,精度高,重复性好。实验表明该测量方法可以快速、准确地实现大批量同类零件的尺寸测量及合格度的检验。

测量误差包括 CCD 像素量化误差, 显微透镜放大倍率误差, 系统调焦误差。

1) CCD 像素量化误差  $\alpha_1$

$$\alpha_1 = \Delta C / \beta, \quad (1)$$

式中  $\Delta C$  为像素间距,  $\Delta C = 8.4 \mu\text{m}$ ;  $\beta$  为显微透镜放大倍率,  $\beta = 3$ 。所以

$$\alpha_1 = 8.4 / 3 = 2.8 \mu\text{m}, \quad (2)$$

2) 显微透镜放大倍率误差  $\alpha_2$

该误差取决于两个因素: 一个是光栅尺刻度误差  $\Delta x = 0.0001 \text{ mm}$ ; 另一个是显微透镜产生的读数误差  $\Delta x' = 0.001 \text{ mm}$ 。则

$$\alpha_2 = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta x'^2} = \sqrt{0.0001^2 + 0.001^2} = 1.005 \mu\text{m}, \quad (3)$$

3) 系统调焦误差  $\alpha_3$

该误差非常小, 可以忽略。

所以, 总误差

$$\alpha = \sqrt{\alpha_1^2 + \alpha_2^2} = \sqrt{2.8^2 + 1.005^2} = 2.97 \mu\text{m}. \quad (4)$$

由误差分析可知, 主要误差源是 CCD 的成像误差, 有两种方法可以减小该误差: 一是选择高分辨率的 CCD 或 CMOS, 例如选择像素尺寸为  $4 \mu\text{m}$  的 CMOS; 第二种方法可以通过提高成像透镜的放大倍率来实现, 例如将放大倍率  $\beta$  提高一倍, 这样成像误差可以小于  $1 \mu\text{m}$ , 但会缩小测量范围。系统的显微物镜的机械结构具有相容性, 即可以根据测件的精度要求选择不同倍率的显微物镜。例如, 如果选用放大倍率为  $10\times$  的显微物镜, 则该系统的分辨率将提高 3.33 倍, 测量精度达到  $1 \mu\text{m}$ 。

## 5 结 论

本文研究的测试系统集成测量技术、计算机技术、光电技术于一体, 将显微透镜、面阵 CCD 与微机组合起来, 实现了高精度、非接触二维微小尺寸工件自动测量。该系统结构简单, 操作方便, 可实现微小物体的高精度、非接触、实时检测, 其中包括圆形、矩形、三角形以及椭圆。基于 VC++ 的数字图像处理与检测程序, 大大提高了检测速度和测量的精度。由于系统利用边缘轮廓跟踪的方法获取工件的边缘

轮廓图像, 可精确地确定工件的边缘轮廓曲线。可用于微小尺寸工件的测试领域, 而且该系统使在线检测成为可能, 提高了生产效率。

## 参 考 文 献

- Li Haoyu. Design of clearance measuring apparatus based on linear array CCD[J]. *Applied Optics*, 2005, **26**(2): 18~20  
李浩宇. 基于线阵 CCD 的测隙装置设计[J]. *应用光学*, 2005, **26**(2): 18~20
- Zhang Jian, Wang Zhihong, Wen Jian. Research on measure system of microdimension image processing and analysis[J]. *Chin. J. Scientific Instrument*, 2001, **22**(3): 223~245  
张 建, 王智宏, 温 坚. 微小尺寸精度图像处理检测系统的研究[J]. *仪器仪表学报*, 2001, **22**(3): 223~245
- Zhang Shaojun. Size measurement with digital image processing technology [J]. *J. Beijing University of Science and Technology*, 2002, **24**(3): 284~287  
张少军. 利用数字图像处理技术测量几何尺寸[J]. *北京科技大学学报*, 2002, **24**(3): 284~287
- Fu Shujun. Edge detection for image measurement based on nonlinear diffusion filtering [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2007, **15**(2): 289~293  
付树军. 基于非线性扩散滤波的边缘检测和图像测量[J]. *光学精密工程*, 2007, **15**(2): 289~293
- He Bing. Digital Image Processing [M]. Beijing: Posts and Telecommunications Press, 2002. 394~458  
何 斌. 数字图像处理 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2002. 394~458
- Wang Zhihong, He Wenjing, Chen Daimin. Further research on image processing of micro-dimension measurement[J]. *Chin. J. Scientific Instrument*, 2001, **22**(6): 235~236  
王智宏, 何文静, 陈岱民. 微小尺寸检测图像处理方法的进一步研究[J]. *仪器仪表学报*, 2001, **22**(6): 235~236
- Gao Aihua, Tian Ailing, Zhao Guibo. A dimension measuring device based on line scan CCD [J]. *J. Xi'an Institute of Technology*, 2003, **23**(3): 189~193  
高爱华, 田爱玲, 赵贵波. 基于线阵 CCD 的尺寸测量装置[J]. *西安工业学院学报*, 2003, **23**(3): 189~193
- Zhang Zhihui, Tian Di, Yang Yixian. Methods for design of linear CCD driving circuit[J]. *Instrument Technique and Sensor*, 2004, **6**: 32~33, 52  
张智辉, 田 地, 杨义先. 线阵 CCD 驱动电路设计的几种方法 [J]. *仪表技术与传感器*, 2004, **6**: 32~33, 52
- Duan Zhijiao. Measurement of outline size by line-CCD sensor [J]. *Metrology and Measurement Technique*, 2004, (5): 26~27  
段志皎. 用线阵 CCD 传感器测量工件外轮廓尺寸[J]. *计量与测试技术*, 2004, (5): 26~27
- Zhang Jianhui, Song Pinggang. Technology of linear CCD and its application in noncontact measurement [J]. *Machinery & Electronics*, 2004, (8): 63~65  
张建辉, 宋平岗. 线阵 CCD 技术及其在非接触检测中的应用[J]. *机械与电子*, 2004, (8): 63~65