

文章编号:1000-582X(2011)02-082-04

## 视频显示的小尺寸工件精密测量方法

郭永彩,高 潮,杨 阳,朱红军

(重庆大学 光电技术及系统教育部重点实验室,重庆 400044)

**摘 要:**传统的显微测量视场小,操作繁琐,读数与定位存在人员的主观误差。针对这些缺点,设计了一种机器视觉与显微测量相结合的测量系统。该系统利用显微镜和视频显示的放大作用,光栅测微仪测量的精准性,实时检测被测工件的倒角位置,在人工干预下实现了高精度测量。对一般的测量显微镜进行改装,采用双屏幕显示。既有效的利用了摄像机的分辨率,使测量视场可以全屏显示,又使得计算机进行倒角测量的同时可以采集并显示其它参数测量模块的数据,实现一机多用,因此具有较高的性价比。对特殊工件尺寸的精密测量具有实用价值。

**关键词:**显微测量;倒角;SUSAN 算法;视频技术

**中图分类号:**TH741.8

**文献标志码:**A

### Precise measurement system of small workpiece base on video

GUO Yong-cai, GAO Chao, YANG Yang, ZHU Hong-jun

(Key Laboratory of Optoelectronic Technology and Systems, Ministry of Education,  
Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China)

**Abstract:** There are some weaknesses for traditional microscope measurement, including small scope field, complex operation and subjective errors. To avoid these issues, a measurement system combining video and microscope is made. With the magnification of microscope and video, the accuracy of grating micrometer and the real-time notification of chamfer location, this system achieves high precise measurement. By displaying with two monitors, the computer can collect and display other measurement data while the chamfer is measured, which makes full use of the display resolution and enhances the efficiency of instruments. The method is valid for measuring size of special work-pieces.

**Key words:** microscope measurement; chamfer; SUSAN algorithm; video technique

在制造业生产过程中,需要对产品进行质量检测。测量显微镜作为一种传统的尺寸测量仪器,因其准确度高、性能稳定而得到了广泛的应用。但是传统的测量显微镜本身有很多不可克服的缺点,如:人员需要通过目镜观察视场,由于人眼的屈光度不同,会导致对焦出现误差;人员读数时会带有主观误差,并且每次测量需要对横竖 2 个方向多次读数,操作繁琐;人员对被测物边缘的判断有差异等。因此,

提高测量显微镜的测量精度和可操作性是现代测试技术发展的需要。

随着机器视觉的迅速发展,机器视觉的灵敏度和精度显著提高,并且便于进行数字化处理和计算机连接,所以传统的显微镜和数字摄像机结合成为了显微测量发展的趋势<sup>[1-6]</sup>。

目前,对基于图像处理的小尺寸工件测量方法已有一些理论上的研究,但这些方法或者操作复杂,

收稿日期:2010-07-10

基金项目:国防科工委资助项目(JW200802)

作者简介:郭永彩(1963-),女,重庆大学教授,博士生导师,主要从事光电测控技术与智能仪器方向研究,  
(Tel)65103153;(E-mail)ycgou@cqu.edu.cn。

或者测量精度较低,或者测量范围小。提出了一种光栅显微测量与视频图像处理相结合的尺寸测量方法,满足了实际工程测量中测量精度和范围的要求,并给出了实际测量结果和分析。

## 1 测量系统的组成和工作原理

整体测量系统的硬件由测量显微镜光学系统、光源、CMOS摄像机、精加工V型槽、光栅位移传感器、光栅数显表和计算机等组成。系统组成如图1所示。系统采用双视频显示技术,1个用于实时全屏显示被测区域的视频,1个用于显示测量软件的界面和测量结果。精加工的V型槽水平放置于显微镜载物台上,以准确定位被测工件。

### 1.1 系统工作原理

被测的圆柱型工件如图2所示,操作员将被测工件放置于V型槽中。移动测量显微镜载物台,在视频中观测倒角成像。分别在倒角1和倒角2处进行2次读数操作,读取横竖2个方向上光栅测微仪的数据,通过计算2次读数便可以同时得到倒角的高度和宽度值。

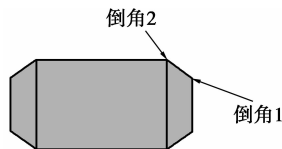


图1 工件的示意图

### 1.2 图像采集显示部分

图像采集部分由光源、显微镜、CMOS摄像机和PC组成。

根据人眼视见函数曲线和摄像机的光谱响应曲线,同时尽量减少成像系统的色差,光源采用绿色LED作为发光光源<sup>[7]</sup>。选用远心光路照明方式,保证在视场范围内的光照较为均匀<sup>[8-9]</sup>。考虑到显微镜系统的成像质量较好,并且为了匹配显微镜光学系统的分辨率,选用了分辨率为 $1280 \times 1024$ 的CMOS摄像机作为图像采集设备。被测工件在均匀的背景光照明下,通过光学系统成像于CMOS的感光面上,由USB接线连接至计算机。经相应处理后,计算机将视频显示在另1个显示器上,同时在视频窗体正中绘制双十字分划线。

### 1.3 尺寸测量部分

尺寸测量部分主要由安装在横竖2个方向上的光栅位移传感器组成,如图3所示。系统选用分辨率为 $0.0005\text{ mm}$ ,重复性误差 $0.001\text{ mm}$ ,回程误差 $0.001\text{ mm}$ 的光栅数显测微仪,利用其高度精确和高可靠性特点,完成对倒角的高精度测量。计算机利

用光栅数显表提供的RS-232C串口进行通讯,采集当前的数显表的显示数值。避免了人工读数的繁琐,提高了系统的工作效率。

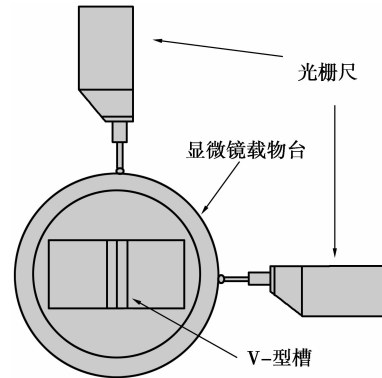


图2 位移传感器装配示意图

由于工件倒角容易磨损,直倒角边缘会变成平滑的曲线。不同人员的判断标准不同,给定位带来误差,所以需要显示的视频图像进行实时处理,提示用户倒角的位置,使得不同人员的定位大致相同。传统的十字分划线会遮挡目标区域,所以本系统选用双十字分划线为对准线绘制于输出显示屏上。

## 2 图像处理

图像处理的目的是检测出被测工件的边缘轮廓。利用最小二乘拟合法,根据边缘轮廓拟合出被测工件的倒角位置,显示于视频窗体中提示用户。由于摄像机自身的噪声影响,导致同一幅图像在显示时各像素值会有跳变。在这种情况下,如果采用基于微分的边缘检测算子会带来边缘误判,并且微分算子在边缘检测前需要对图像进行预处理,不利于实时检测。所以本系统采用改进的Susan检测算子<sup>[10-12]</sup>,该算子不涉及梯度计算,对高斯噪声不敏感,并且当边缘变模糊时,边缘响应会随着边缘的平滑而增强,这是一般的边缘算子所不具备的<sup>[13]</sup>。

### 2.1 SUSAN算子原理

SUSAN算子采用圆形模板,模板在图像上移动,模板内部每个图像像素点的灰度值都和模板中心像素的灰度值做比较。若该像素的灰度值和模板的中心像素灰度的差值小于一定的阈值,则认为该点与中心点具有相同的灰度。由满足这种条件的像素组成的区域称为USAN区(即核同值区)。如图4所示,当核像素处在图像中的灰度一致区域时,USAN面积达到最大,即c、d模板。当模板核像素越靠近直边边缘时,USAN区域就会减小,如b模板。当模板核处于角点处时,USAN区域会变得更小,如a模板所示。所以利用USAN面积的上述变化性质可以检测出边缘和角点。

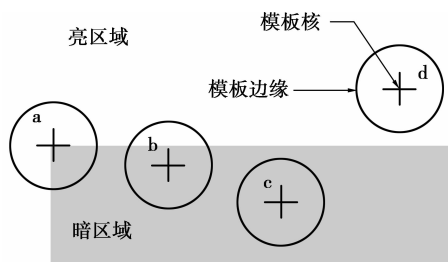


图 3 圆形模板在图像中的不同位置

## 2.2 SUSAN 边缘检测算法

为了更稳定的检测边缘,利用公式 1 将模板中的像素点和模板核像素点进行比较

$$C(x_0, y_0; x, y) = \exp \left\{ - \left[ \frac{f(x_0, y_0) - f(x, y)}{T} \right]^6 \right\}, \quad (1)$$

式中,  $f(x_0, y_0)$  为模板核处的灰度值,  $f(x, y)$  是其他位置的灰度值,  $T$  为门限阈值。

由此可得 1 个输出游程和。这个和就是 USAN 区域中的像素个数,即 USAN 区域面积

$$S(x_0, y_0) = \sum_{(x, y) \in N(x_0, y_0)} C(x_0, y_0; x, y). \quad (2)$$

由式(3),即可获得该模板核的边缘响应值。根据 USAN 原理,USAN 面积越小边缘响应就越大。

$$R(x_0, y_0) = \begin{cases} G - S(x_0, y_0), & S(x_0, y_0) < G; \\ 0, & \text{否则。} \end{cases} \quad (3)$$

式中,阈值  $G$  设为  $3 \times S_{\max} / 4$  时可以给出最优的噪声消除性能<sup>[14]</sup>,  $S_{\max}$  为模板像素点数减 1。由此,可以利用边缘响应  $R(x_0, y_0)$  至来判断该模板核是否处在边缘位置。

## 2.3 SUSAN 边缘检测的改进

为了实时显示图像,考虑到图像的分辨率很大,为  $1280 \times 1024$ ,对算法的运算时间要求较高,在 0.5 s 以内要完成处理和显示,所以对上述的检测算法需要改进。考虑到对准时应将倒角移动至中心位置,所以只对中心十字分划线范围内的点进行扫描,区域范围为  $360 \times 360$ 。由于是对特定的图像进行处理,根据已找到的边缘点可以预测下一个边缘点的大致位置,进而再次缩小了检测区域,实现了实时倒角检测。

## 2.4 倒角位置的拟合

倒角边缘容易磨损,使得直倒角边缘变得圆滑,如图 5 所示。需要以统一的标准对倒角的位置进行拟合,提示用户操作。

本系统采用直线的最小二乘法,利用倒角 2 侧的边缘点拟合倒角两侧的直线参数,计算 2 条直线交点,即倒角点的位置。理想直线的方程为:  $y = k \times x + b$ ,则利用检测到的边缘点序列  $(x_i, y_i) (i = 1, 2,$

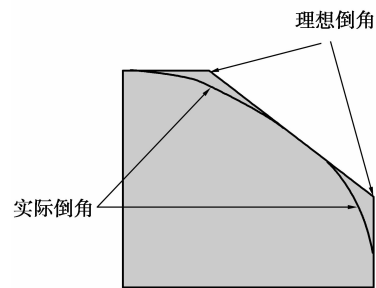


图 4 理想的倒角与实际的倒角

$\dots, n)$  可得到  $k$  和  $b$  的估计值。

$$k = \frac{n \left( \sum_{i=1}^n x_i y_i \right) - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)}{n \left( \sum_{i=1}^n x_i^2 \right) - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2};$$

$$b = \frac{\left( \sum_{i=1}^n x_i^2 \right) \left( \sum_{i=1}^n y_i \right) - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \left( \sum_{i=1}^n x_i y_i \right)}{n \left( \sum_{i=1}^n x_i^2 \right) - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2};$$

设倒角两侧的直线方程分别是  $y = k_1 \times x + b_1$  和  $y = k_2 \times x + b_2$ ,则 2 条直线交点为  $X = \frac{b_2 - b_1}{k_1 - k_2}$ ,  $Y = \frac{k_2 \times b_1 - k_1 \times b_2}{k_2 - k_1}$ ,该点即为倒角位置。

## 3 测量结果

以倒角宽的测量为例,分别使用传统的目镜

表 1 对同一倒角进行倒角宽测量的部分结果

序号	Mode 1/mm	Mode 2/mm	Mode 3/mm
1	0.8680	0.8710	0.8680
2	0.8715	0.8670	0.8695
3	0.8785	0.8685	0.8675
4	0.8720	0.8680	0.8690
5	0.8685	0.8705	0.8705

观察测量(Mode 1)、视频直接显示测量(Mode 2)和视频显示并实时提示倒角位置(Mode 3)3 种方式,对同一倒角位置进行测量。实测的部分结果如表 1 所示。

表 2 为对 30 组实测数据进行分析的统计结果。从结果可以看出 3 种方式的平均值大致相同。使用视频后的测量误差明显低于目镜直接测量方式,用户在 Mode 3 下的测量误差最小,测量精度是 Mode 1 的 2 倍。但是相对 Mode 2, Mode 3 提高的精度不是很明显,这是由于这 2 种测量模式下,处理的主要误差是由载物台导轨的精度误差、光栅尺的

### 装配和自身

的误差累加造成的,不同之处是 Mode 3 中用边缘提取进一步明确了倒角位置。统计数据表明,视频测量系统精度较好,可重复性高。系统操作便捷,可以使用视频提示,排除了人为因素的干扰,同时提高了测量的效率。

表 2 不同测量方式的统计分析结果

参量	Mode 1/mm	Mode 2/mm	Mode 3/mm
平均值	0.869100	0.868593	0.868966
标准差	0.004245	0.002438	0.002025

## 4 小 结

传统的显微镜人工测量方式有很多不可克服的缺点,本系统针对这些缺点使用了视觉检测和显微镜结合的高精度测量方法。利用显微镜的准确放大、视频显示的图像放大、光栅测微仪的精准测量和图像实时处理技术,在人工干预下实现了工件倒角参数的高精度测量,测量精度比传统的显微镜法提高了一倍,而且操作便捷。和基于图像的可视测量相比,进一步提高了测量精度和可重复性高,同时降低了对整体图像的畸变要求,使用一般的测量显微镜进行改造即可胜任。基于此方法构建的系统采用双视频显示,在进行倒角测量的同时可以采集其他测量模块的数据,能够一机多用,多种测量同时进行,并且图像处理的方法容易拓展至其他形状的测量,具有较高的性价比。但是由于系统依赖于倒角的准确放置,即圆柱体工件的母线需要和竖直方向的导轨严格平行,和水平方向的导轨严格垂直,所以会存在一定的定位误差。同时导轨的加工精度以及光栅测微仪的装配精度也是影响测量结果的重要因素。

### 参考文献:

[1] 谷口庆治. 数字图像处理——应用篇 [M]. 北京:科学出版社,2002.

[2] 陈廉清,袁红彬,王龙山. 计算机视觉技术在微小尺寸测量中的应用[J]. 农业机械学报, 2006, 37(9):174-176. CHEN LIAN-QING, YUAN HONG-BIN, WANG LONG-SHAN. Study on measurement of micro size based on computer vision technology[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(9):174-176.

[3] DWORKIN S B, NYE T J. Image processing for machine vision measurement of hot formed parts [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2006, 174(1/3): 1-6.

[4] LU R S, LI Y F, YU Q. On-line measurement of the straightness of seamless steel pipes using machine vision technique [J]. Sensors and Actuators A:

Physical, 2001, 94(1/2): 95-101.

[5] 于起峰. 基于图像的精密测量与运动测量[M]. 北京:科学出版社,2002.

[6] ZHAO B, ASUNDI A. Micro-measurement using grating microscopy [J]. Sensors and Actuators A: Physical, 2000, 80(3): 256-264.

[7] 朱宁,孟宪斌,石磐. 用于仪器照明的电致发光光源的研制[J]. 光电子·激光, 2000, 11(2):173-175. ZHU NING, MENG XIAN-YU, SHI PAN. Study on electroluminescent light source for instrument illumination[J]. Optoelectronics · Laser, 2000, 11(2): 173-175.

[8] 何博侠,张志胜,戴敏,等. 基于序列局部图像的高精度测量[J]. 光学精密工程, 2008, 16(2):367-373. HE BO-XIA, ZHANG ZHI-SHENG, DAI MIN, et al. A high-precision dimension measurement method based on sequential partial images[J]. Optics and Precision Engineering, 2008, 16(2):367-373.

[9] 吴雯岑,赵辉,刘伟文,等. 精密视觉测量中照明对图像质量的影响[J]. 上海交通大学学报 2009, 43(6): 931-934. WU WEN-CEN, ZHAO HUI, LIU WEI-WEN, et al. Effects of illumination on image quality in precision vision measurement[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2009, 43(6):931-934.

[10] REZAI-RAD G, AGHABABAIE M. Comparison of SUSAN and sobel edge detection in MRI images for feature extraction [C/OL]//2nd Information and Communication Technologies, Damascus, April 24-28, 2006 [2006-10-16]. [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=1684528&-tag=1](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1684528&-tag=1).

[11] DRAGANOV I R, POPOVA A A. Handwritten text preprocessing algorithm applying SUSAN principle[C/OL]//International Symposium on Signal Processing and Information Technology, Giza, December 15-18, 2007 [2008-02-26]. [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=4458179](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4458179).

[12] SONG YU, LI M. Research on SUSAN based auto-focusing algorithm for optical microscope application [C/OL]//IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, Luoyang, China, June 25-28, 2006 [2006-12-11]. [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=4026263](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4026263).

[13] 贺秋伟,王龙山,刘庆民,等. 基于支持向量回归的小尺寸零件精密测量[J]. 光学精密工程, 2007, 15(4):557-563. HE QIU-WEI, WANG LONG-SHAN, LIU QING-MIN, et al. Precision measurement for small size parts based on support vector regression [J]. Optics and Precision Engineering, 2007, 15(4):557-563.

[14] SMITH S M, BRADY J M. An new approach to low level image processing [J]. International Journal of Computer Vision, 1997, 23(1): 45-78

[15] 李敬林,杨会静,解其生,等. 近代物理实验[M]. 北京:北方交通大学出版社,2003.

[16] 杨阳. 芯块几何尺寸和垂直度测量技术研究[D]. 重庆:重庆大学光电工程学院, 2006.

(编辑 侯 湘)