

文章编号 1004-924X(2007)04-0587-05

# 光笔式视觉坐标测量中控制点光斑图像的识别

黄风山<sup>1,2</sup>, 王春梅<sup>3</sup>

1. 河北科技大学 机械电子工程学院, 河北 石家庄 050054;
2. 天津大学 精密测试技术及仪器国家重点实验室, 天津 300072;
3. 河北科技大学 电气信息工程学院, 河北 石家庄 050054)

**摘要:**介绍了一种光笔式单摄像机便携三维坐标视觉测量系统。在分析该系统成像特点的基础上,提出了一种控制点椭圆形光斑图像的数字识别方法。常用的方法是在 CCD 摄像机镜头上加滤光片来隔离背景干扰亮斑图像,该方法以光笔上被测控制点在摄像机 CCD 像平面上的光斑图像轮廓所占像素个数为基准,剔除过大和过小的图像轮廓,进而采用基于椭圆线轮廓度误差的评定方法实现控制点椭圆形光斑图像的识别。给出了该方法的具体算法,实验结果表明该方法简单方便,易于实现,检测速度较快,适用于圆形被测控制点的视觉检测系统,具有一定的理论意义和工程实用价值。

**关键词:**图像识别;控制点;椭圆光斑;视觉坐标测量;光笔

**中图分类号:**TP391 **文献标识码:**A

## Control points' light spot image recognition in light-pen vision coordinate measurement

HUANG Feng-shan<sup>1,2</sup>, WANG Chun-mei<sup>3</sup>

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050054, China; 2. State Key Laboratory of Precision Measuring Technology and Instrument, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 3. College of Electric Engineering and Information Science, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050054, China)

**Abstract:** A light-pen single-camera 3D coordinate vision measurement system is introduced in this paper. By analysing characteristics of the system image, a digital method for recognizing the elliptical light spot images of the measured control points is proposed. On the basis of the pixel number of a measured control point' elliptical light spot image contour, too large and too small light spot images can be eliminated. Then, using the method based on the evaluation for elliptical profile error, the measured control points' elliptical light spot image can be recognized. The algorithm for this method is given, and the experimental results show that this algorithm is simple, fast, easy to realize and practical to the vision inspection system with circular measured control points. Compared with the common method, which applies the filter mounted on the CCD camera lens to segregate the noise bright spot image in the image background, it has certain theoretical significance and practical project value.

收稿日期:2006-03-16;修订日期:2007-02-19.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 50475116);河北科技大学校立基金资助项目

**Key words:** image recognition; control point; elliptical light spot; vision coordinate measurement; light-pen

## 1 引言

近年来,研究开发满足现场测量要求的便携式三维坐标测量系统已成为测量领域的一大热点,并受到了各个国家的高度重视。近一两年来,在瑞士和美国取得了突破性的进展,已有成型产品推出并应用于测量和装配现场,其中最具代表性的是光笔式便携三维坐标视觉测量系统。在国内,这项工作还处于起步阶段,其中,如何从 CCD 摄像机拍摄的复杂背景下的光笔图像中有效识别和提取被测控制点对应的的光斑图像是系统的关键技术之一。本文以一种光笔式单摄像机便携三维坐标视觉测量系统为例,研究了光笔上被测控制点光斑图像的数字识别方法。

## 2 系统组成

光笔式单摄像机便携三维坐标视觉测量系统的组成如图 1 所示,主要由一支光笔、一架摄像机、一台笔记本电脑和系统附件组成。光笔的笔体上至少装有作为系统被测控制点的三个点光源(发光二极管)和一个带球形笔尖的触发测头,各点光源和触发测头球形笔尖的中心必须在一条直线上。



图 1 系统组成

Fig. 1 System composition

测量时,触发测头的球形笔尖接触被测表面,摄像机摄取笔体上三个发光二极管的像,计算机进行图像处理得到各发光二极管光斑图像中心的

像面坐标,进而由预先编制好的软件计算出球形笔尖测头中心的三维坐标(即被测面上笔尖接触点的三维坐标)<sup>[1]</sup>。

## 3 光笔上发光二极管的成像特点

光笔上发光二极管在 CCD 摄像机像平面上的图像为椭圆形光斑。测量的场所不同,测量背景总是不一样的。图 2 是比较典型的测量现场图像,在背景上经常出现亮度与发光二极管光斑差不多的图像,这些光斑图像对二极管椭圆形光斑的准确识别干扰最大。尽管图像背景环境比较复杂,变化比较大,但是图像仍有以下几个特点<sup>[1]</sup>:

- (1) 光斑附近的背景是黑色的笔架,与光斑的灰度差较大,有利于光斑的提取;
- (2) 光斑为类椭圆形,有利于从图形上识别;
- (3) 光斑的中心基本在一条直线上,有利于从背景中识别出各光斑的位置。

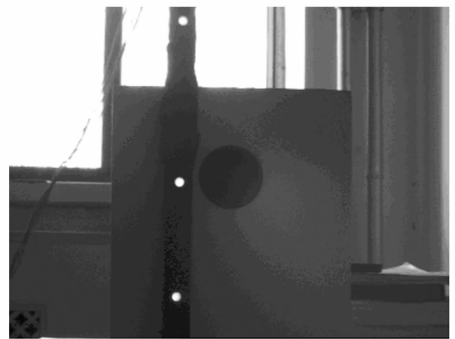


图 2 实际光笔图像

Fig. 2 Actual light-pen image

## 4 发光二极管椭圆形光斑图像的识别

通常从图像中提取有用信息的方法,要经过图像预处理,边缘检测,轮廓跟踪,图像辨识等几个步骤。由本系统光笔图像的特点可知,图像预处理,边缘检测,轮廓跟踪可采用常用的图像处理方法来完成<sup>[2-4]</sup>。图 4(a)为一实际被测零件在测量现场的采集图像,图 4(b)是经过图像预处理,边缘检测后的结果,可以看出图 4(b)除了光笔上

五个二极管对应的椭圆形图像外,还有测量背景中的不同大小和形状的图形轮廓。为了最终获得发光二极管的椭圆形图像轮廓中心的像面坐标,必须在图像中所有的图形轮廓中识别出发光二极管的椭圆形图像轮廓,滤除图像中的背景干扰,可以采用在 CCD 摄像机镜头上加滤光片的方法<sup>[5-6]</sup>,本文提出了一种数字方法,主要包括以下两个方面的内容。

#### 4.1 剔除图像中过大和过小的轮廓

在系统深度方向的测量范围内(1 000 mm),通过实际测量确定出光笔上发光二极管在摄像机 CCD 像面上的封闭轮廓所占有像素个数的范围  $R$ (系统试验时采用  $50 \leq R \leq 500$ ),再经图像轮廓跟踪以后,可将图 4(b)中的非封闭轮廓剔除,同时统计检测出每个封闭轮廓占有的像素个数,如果这个像素个数在范围  $R$  内,就保留此轮廓,否则剔除。这样即剔除了与发光二极管的椭圆形图像轮廓相比过大或过小的轮廓,如图 4(c)所示。

经过以上图像处理后,图 4(c)中只剩下与发光二极管的椭圆形图像轮廓大小相近的图像轮廓。由于本测量系统中光笔上发光二极管的亮度与旁边的黑色笔架有明显区别,所以其成像清晰,椭圆线轮廓度误差很小,如图 4(a)所示,尽管背景噪音很多,但经过边缘提取后发现,呈现较规则椭圆形状的仅有发光二极管对应的椭圆形光斑图像,因此,本文提出了基于椭圆线轮廓度误差评定的控制点椭圆形光斑图像的识别方法。

#### 4.2 基于椭圆线轮廓度误差评定的控制点椭圆形光斑图像的识别

椭圆、渐开线等异形曲线,一般按照线轮廓度误差来评定,其线轮廓度误差的计算方法如下。

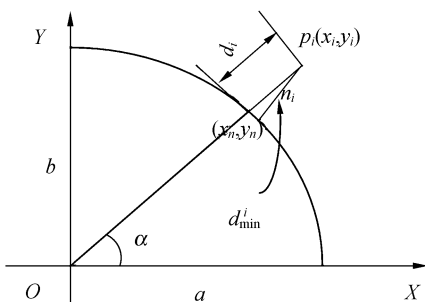


图3 椭圆线轮廓度误差

Fig. 3 Ellipse profile error

设由检测到的轮廓像素拟合得到的理想椭圆曲线为<sup>[7]</sup>:  $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ ,如图 3 所示。任意一像素点  $p_i(x_i, y_i)$  到理想椭圆轮廓的最短距离,即法向( $n_i$ )距离  $d_{\min}^i = \pm \sqrt{(x_i - x_n)^2 + (y_i - y_n)^2}$ ,其具体求解方法为:先计算出直线  $Op_i$  与椭圆的交点和像素点  $p_i(x_i, y_i)$  之间的直线距离  $d_i$ ,再使直线  $Op_i$  从当前位置开始绕  $O$  点沿逆时针和顺时针两个方向旋转,找出使  $d_i$  减小的方向,并沿该方向以  $\Delta\alpha$  为旋转角步长旋转,计算每一旋转位置对应的  $d_i$ ,直到搜索到  $d_i$  开始增大时对应的  $d_i$  即为像素点  $p_i(x_i, y_i)$  对应的  $d_{\min}^i$ ,按如此算法求解出每一像素点对应的  $d_{\min}^i$ 。当  $p_i$  点位于理想椭圆之外时,  $d_{\min}^i$  取正值;反之,  $d_{\min}^i$  取负值,则椭圆的线轮廓度误差  $\Delta = \text{Max}\{d_{\min}^i\} - \text{Min}\{d_{\min}^i\}$ 。

在视觉检测系统中,图像中轮廓点的提取精度可达到亚像素级,所以经过椭圆曲线拟合,离散轮廓点偏离理想椭圆上的对应点在 1 个像素左右,以像素为单位,可取线轮廓度公差  $T_\Delta = 2$ 。

基于椭圆线轮廓度误差评定的控制点椭圆形图像轮廓的识别与提取的具体算法如下:

(1) 对经过图像预处理和边缘检测后的图像从左到右,从上到下,扫描图像中的每一个像素。

(2) 当检测到轮廓点时,记录下该轮廓点位置,按一定探测准则顺时针进行轮廓跟踪。若轮廓为开放的、轮廓点数过多或过少,则舍去该组轮廓点;否则,对跟踪到的所有轮廓点进行椭圆拟合,取得圆心、长短半轴及转角等椭圆参数,若椭圆参数不合理,如圆心在图像外或者长短半轴过大或者过小等,则放弃该组轮廓点;否则,计算出该轮廓的椭圆线轮廓度误差  $\Delta$ 。若误差大于 2,则判定此轮廓不是目标椭圆轮廓;否则,将该椭圆的参数作为控制点的像面参数记录下来。

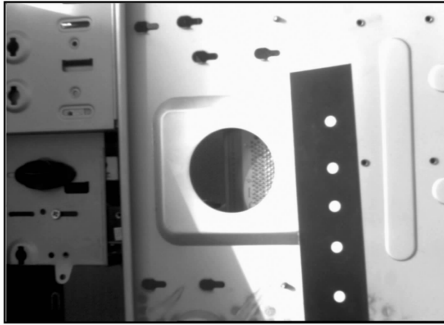
(3) 继续往下扫描图像,并返回(2)。

(4) 直到扫描完整幅图像,算法终止。

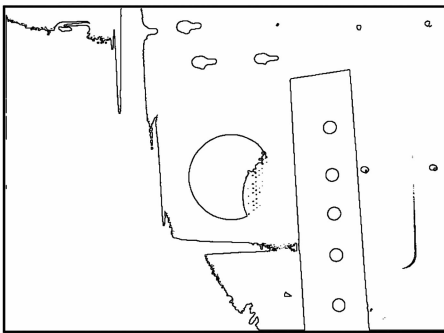
## 5 实验

为了验证本方法的实用性,进行了实际测量。图 4(a) 为一被测零件在测量现场的采集图像,图 4(b) 是经过边缘检测处理后的结果,图 4(c) 是经轮廓跟踪以及剔除过大和过小图像轮廓后的结果,最后基于椭圆线轮廓度误差评定算法识别的

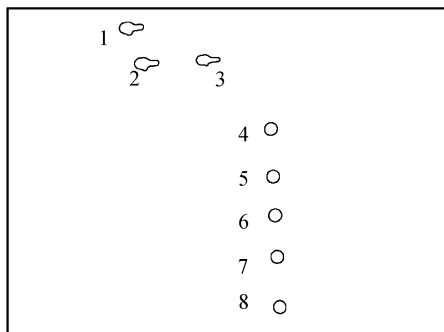
结果如图 4(d)。可见,该方法很好地剔除了噪音图形,简单快速,易于实现,适于圆形被测控制点的视觉检测系统。图 4(c)中各图形轮廓的椭圆线轮廓度误差结果见表 1。



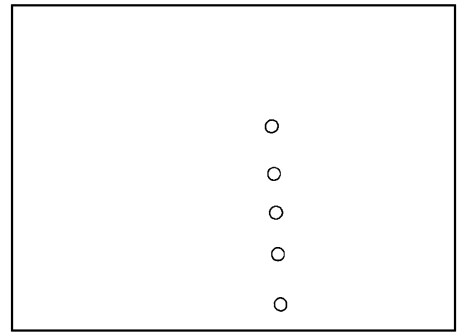
(a) 原始图像  
(a) Original image



(b) 轮廓跟踪  
(b) Profile tracking



(c) 椭圆识别  
(c) Ellipse recognition



(d) 识别结果  
(d) Recognition result

图 4 椭圆形光斑图像轮廓的识别

Fig. 4 Elliptical light spot image's profile recognition

表 1 封闭轮廓曲线的椭圆线轮廓度误差(误差阈值=2)  
Tab. 1 Elliptical line profile error of close curves' profile  
(The error threshold is 2)

封闭轮廓序号	轮廓最大椭圆线轮廓度偏差(pixel)	轮廓最小椭圆线轮廓度偏差(pixel)	轮廓椭圆线轮廓度误差(pixel)	轮廓是椭圆否(Y/N)?
1	5.23	-2.06	7.3	N
2	6.08	-1.95	8.0	N
3	4.29	-3.01	7.3	N
4	0.56	-0.91	1.5	Y
5	0.85	-0.77	1.6	Y
6	0.69	-0.90	1.6	Y
7	0.89	-0.67	1.6	Y

## 6 结论

以一种光笔式单摄像机便携三维坐标视觉测量系统为例,在分析该系统成像特点的基础上,提出了基于椭圆线轮廓度误差评定的控制点椭圆形光斑图像的识别方法,给出了该方法的具体算法。实验结果表明,该方法能较好地解决光笔式便携三维坐标视觉测量系统中的控制点光斑图像的识别问题。

## 参考文献:

- [1] 黄风山. 光笔式单摄像机三维坐标视觉测量系统关键技术的研究[D]. 天津:天津大学,2005.  
HUANG F SH. *Study on the key technique of single camera 3D coordinate vision measurement system using a light pen*[D]. Tianjin:Tianjin University,2005. (in Chinese)
- [2] 刘松涛,王学伟,周晓东,等. 基于传感器参数和目标轮廓中心的自动配准算法研究[J]. 光学精密工程,2005, 13(3):354-363.  
LIU S T, WANG X W, ZHOU X D, *et al.*. Automatic registration algorithm based on sensor parameters and target's contour centroid[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2005, 13(3):354-363. (in Chinese)
- [3] 林玉池,崔彦平,黄银国. 复杂背景下边缘提取与目标识别方法研究[J]. 光学精密工程,2006,14(3):509-513.  
LIN Y CH, CUI Y P, HUANG Y G. Study on edge detection and target recognition in complex background[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(3):509-513. (in Chinese)
- [4] 付树军,阮秋琦,王文洽. 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. Feature-oriented coupled bidirectional flow equation for image denoising and edge sharpening[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006,14(2):315-319. (in Chinese)
- [5] 潘武,田贻丽. 光学全息的数字实现[J]. 光学精密工程,2005,13(增):15-20.  
PAN W, TIAN Y L. Digital implementation scheme of optical hologram[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2005, 13(supp.):15-20. (in Chinese)
- [6] PETTERSEN A D. System for point-by-point measuring of spatial coordinate[P]. USA: 6166809, 2000,12,26.
- [7] GANDER W, GOLUB G H, STREBEL R. Least-square fitting of circles and ellipses[J]. *BIT*, 1994, 43:558-578.

作者简介:黄风山(1970—),男,河北人,副教授,博士研究生,主要从事精密测试技术与仪器方面的研究。E-mail: hfshyt@sohu.com