

# 图象处理技术在电子枪扭弯曲特性检测中的应用

黄昌明<sup>1)</sup> 郑芸<sup>2)</sup> 崔新莹<sup>1)</sup> 韩九强<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(西安交通大学系统工程研究所, 西安 710049)

<sup>2)</sup>(西安交通大学电脑信息技术研究所, 西安 710049)

**摘要** 电子枪是彩色显像管中一个及其重要的部件,它的合格与否直接影响到电视画面的显示质量;而影响电子枪质量的因素主要有电子枪的扭曲特性和弯曲特性两种,因而必须对这两种特性进行检测.针对电子枪与其基座连接处结构特点,提出了一种新颖的技术解决方案,综合应用图象放大和自适应二值化、图象滤波、Laplacian 边缘检测和 Hough 变换等图象处理技术,对电子枪扭弯曲特性进行检测研究,检测出弯曲的平均绝对误差为 0.01mm,扭曲的平均绝对误差为 0.72'.实验结果表明,该检测方法精度高、速度快、检测结果准确可靠,检测系统性价比高.

**关键词** 图象处理 扭弯曲特性 电子枪

中图法分类号: TP391.41 TN141.320.7 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2002)08-0840-04

## Image Processing Technique and its Application in the Measurement of Electron Gun's Bend and Distortion Error

HUANG Chang-ming<sup>1)</sup>, ZHENG Yun<sup>2)</sup>, CUI Xin-ying<sup>1)</sup>, HAN Jiu-qiang<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(System Engineer Institute, Xi'an JiaoTong University, Xi'an 710049)

<sup>2)</sup>(Computer Information Technology Institute, Xi'an JiaoTong University, Xi'an 710049)

**Abstract** The electron gun of the picture tube is very importance in TV, the characteristic of the bend and distortion affect the quality of picture tube, so we have to measure the electron gun's bend and distortion error. According to the electron gun's structure characteristic, a new project about the measurement of the electron gun's bend and distortion error is designed. This paper introduces the image processing technique that contain Auto-adapted two-value method, image filter, laplacian edge detection, reformative hough transformation and their application in the measurement of electron gun's bend and distortion error. The experimental results show that these methods can effectively increase the measuring precision and the measuring speed of the electron gun's bend and distortion characteristic.

**Keywords** Image processing, Bend and distortion characteristic, Electron gun

## 0 引言

近年来,图象处理技术的迅速发展和 CCD 技术的成熟及 CCD 靶面分辨率的提高,特别是高分辨率 CCD 相机的出现,为解决有形对象微小变化的检测奠定了技术基础.在彩色电视机的生产过程中,影响电视画面的重要因素之一是电子枪与其基座的准确对位.由于电视机荧光屏分辨率为微米数量级,电子

枪与其基座的连接弯曲误差必须控制在微米级范围内,扭曲误差不能超过 1°,所以检测难度很大,国内至今还没有研制成功此类检测设备,而国外设备系统原理复杂,制造成本昂贵.针对这一难题,对电子枪的扭弯曲误差检测进行了深入研究,提出了一种新的技术方案,即采用高精度的 CCD 相机、图象采集卡和图象处理技术,使电子枪扭弯曲检测简单易行,检测精度达到产品判定要求.

# 1 检测原理

电子枪与其基座通过焊接连成一个整体。但是,在焊接时不可避免地会出现误差,表现为基座中心与电子枪中心不在同一垂直线上,出现弯曲误差;电子枪与其基座将产生一定的旋转角度,这就是扭曲误差。

在电子枪扭曲误差检测系统用于对这两种误差进行检测,并对检测结果进行判定。

电子枪安装点位置的实物外观如图 1 所示,3 个圆孔表示红、绿、蓝 3 色电子枪安装位置;在 3 个圆孔的两侧各有一个小方孔。

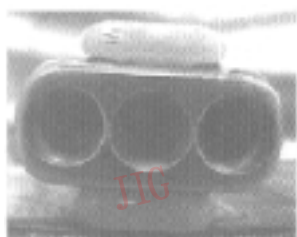


图 1 电子枪实物外观俯视图

## 1.1 原有设备检测原理

原有检测系统采用 3 路摄像机,其原理如图 2 所示。垂直方向摄像机 1 检测红(R)、绿(G)、蓝(B) 3 色电子枪安装点的位置图象;水平方向的摄像机 2 检测电子枪左侧小方孔的图象,水平摄像机 3 检测电子枪右侧小方孔图象;然后对这 3 幅图象进行综合处理,得到电子枪的弯曲误差和扭曲误差。其中,水平方向两摄像机光轴与电子枪两小方孔中心线重合,同时两水平摄像机互相给对方提供光源,因而要求一套非常精密的光学系统,从而使整体检测系统非常复杂,安装难度增大;此外,由于需要对 3 幅图象进行综合处理,因此图象处理方法也比较复杂。

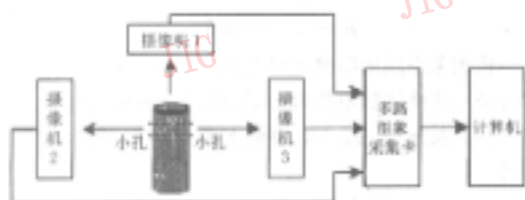


图 2 原有设备检测系统原理

## 1.2 检测系统的工作原理

针对上述问题,在垂直方向上安装一台摄像机,拍摄图 1 所示的 3 个圆孔,通过对它所得到的图象

进行处理,检测出电子枪的扭曲误差、弯曲误差。图 3 显示了电子枪扭曲的检测原理。当电子枪完全准确时,扭弯曲图象中 3 个圆心在同一水平直线上,且和标准位置重合。当电子枪在装配时出现失误时,3 个圆心将不在同一水平线上,其圆心连线同水平线构成了一定的夹角,形成扭曲误差;同时,电子枪的中轴将不再和标准位置重合(图 3(b)所示,即上部分的枪体中轴线和下部分的基座中轴线不再重合),在扭弯曲图象中表现为中间圆心同标准位置不再重合(图 3(a)所示, $B$  和  $B'$  之间的差值为“ $d$ ”),其差值就是弯曲误差。根据扭弯曲误差可以判定出电子枪是否合格。

图 3 中  $A$ 、 $B$ 、 $C$  为电子枪没有扭弯曲时的圆心; $A'$ 、 $B'$ 、 $C'$  为电子枪发生扭弯曲后检测到的圆心; $d$  为弯曲误差, $a$  为扭曲误差。图 3(b)为弯曲误差参考模型。

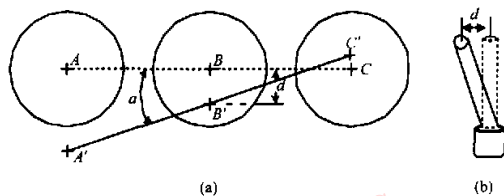


图 3 电子枪扭曲、弯曲检测原理

## 1.3 系统结构

电子枪的扭弯曲检测系统由高分辨率 CCD 摄像机、高速高精度图象采集卡和计算机组成。通过 CCD 相机拍摄到电子枪圆孔图象,输出视频信号,经过图象采集卡将此信号数字化输入计算机进行图象处理,最后计算出电子枪的扭弯曲误差结果。其系统结构如图 4 所示。

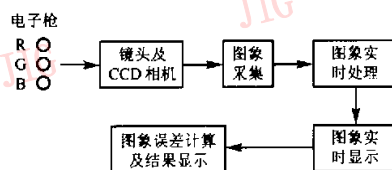


图 4 图象采集与图象处理结构图

# 2 扭弯曲检测图象处理算法

系统利用了多种图象处理方法,包括双线性插值放大、平滑滤波、Hough 变换、二值化处理和 Laplacian 边缘检测,并对 Hough 变换算法进行了改进。电子枪扭弯曲检测图象如图 5 所示。

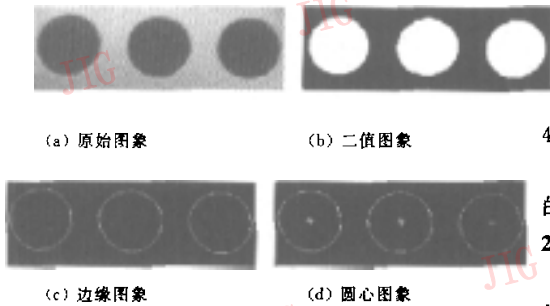


图5 电子枪扭曲检测图象

## 2.1 阈值动态自适应二值化算法

经过双线性插值放大与平滑滤波处理之后,整个图象的噪声大大下降,但是圆形边缘还有一些模糊,在不同的图象中这种模糊程度不同.为了不影响扭曲图象圆心的精确确定,系统采用阈值动态变化的自适应二值化图象处理方法.算法如下:

$$T = f(L, S) = \frac{\sum_{(x,y)=(0,0)}^{(w,h)} L_o(x,y)S(x,y)}{w \times h} \quad (1)$$

$$L'(x,y) = \begin{cases} 0 & L_o(x,y) \leq T \\ 1 & L_o(x,y) > T \end{cases} \quad (2)$$

其中,  $S(x,y)$  为标准图象中噪声的随机函数,  $L_o(x,y)$  为原始扭曲图象中像素点的亮度值,  $L'(x,y)$  为二值化后图象  $(x,y)$  坐标处点的亮度值,  $T$  为二值化所取的阈值.

首先设定噪声的随机函数,根据式(1)遍历整个图象,计算阈值  $T$ ,然后用式(2)对图象中每一个点进行二值化处理,二值化结果如图5(b)所示.

## 2.2 Laplacian 算子

利用阶跃型边缘检测算子 Laplacian 改进卷积核,对扭曲二值图象进行卷积,对卷积后的图象灰度值逐点进行二维离散零交叉判断比较,如有零交叉,则为边缘点. Laplacian 算子卷积核如图6(a)所示,改进算子如图6(b)所示.

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

(a)

1	1	1
1	-8	1
1	1	1

(b)

图6

二维离散零交叉原理:

对于点  $(x,y)$ ,且  $L(x,y)$  足够小时,当满足下式

$$L(x-1,y)L(x+1,y) < 0$$

$$L(x,y-1)L(x,y+1) < 0$$

$$L(x-1,y-1)L(x+1,y+1) < 0 \quad (3)$$

$$L(x+1,y-1)L(x-1,y+1) < 0$$

4个条件中的任一条时,在  $(x,y)$  出现零交叉.

其中  $L(x,y)$  为经过 Laplacian 卷积后  $(x,y)$  点的灰度值,处理图象如图5(c)所示.

## 2.3 改进的 Hough 算法

针对电子枪扭曲误差检测的特点,采用改进的 Hough 变换圆心检测方法,在图象边缘大部分存在的情况下,能准确地检测出图象圆心,该算法具有很强的鲁棒性.

### 2.3.1 Hough 变换原理

采用 Hough 变换检测任意曲线的原理如下,设

$$f(a_1, a_2, \dots, a_n, x, y) = 0 \quad (4)$$

为检测曲线的参数方程.式中  $a_1, \dots, a_n$  为形状参数,定义了一个  $n$  维空间;  $x, y$  为图象空间的点坐标.对于图象空间的特定点  $(x_0, y_0)$ ,经过它的曲线有很多,每一条都对应着  $a_1, \dots, a_n$  空间中的一点,而这些都是以  $x_0$  和  $y_0$  为常量时的等式(4).对图象空间中位于同一曲线上的  $n$  个点逐一进行 Hough 变换,则在参数空间  $(a_1, \dots, a_n)$  中得到一个  $n$  维的参数矩阵,根据参数矩阵判定图象空间的曲线.圆常用的参数方程为

$$R = \sqrt{(x-a)^2 + (y-b)^2} \quad (5)$$

式中,参数方程涉及圆心坐标和半径,计算量比较大,计算时间也较长.为了克服这个缺点,人们在实际应用中提出了许多改进的算法.

### 2.3.2 Hough 变换的改进算法

改进的 Hough 变换算法原理如下:

(1) 根据图象特点,先由二值图象计算出圆形面积,并算出圆形半径  $r$ .

(2) 进而圆的参数方程改写为

$$\begin{aligned} a &= x - r \cos \theta \\ b &= y - r \sin \theta \end{aligned} \quad (6)$$

将图象空间中图象边缘点代入式(6)中,求出参数值  $(a,b)$ ,并将累加矩阵  $H(a,b)$  中相应的元素加1.

(3) 求出  $H(a,b)$  中的最大值,其对应着所求取的圆.

### 2.3.3 扭曲图象圆心提取

由于图象经过二值化后,3个圆的灰度值  $p(i,j)$  为255,背景灰度值  $p(i,j)$  为0,见图5(b),因而可以根据二值图象对3个圆分别进行计算,求取半径.令:

$$f(i, j) = \begin{cases} 1 & \rho(i, j) = 255 \\ 0 & \rho(i, j) = 0 \end{cases} \quad (7)$$

于是求出该光斑图象的面积为:

$$S = \sum_{(i, j) \in U} f(i, j) \quad (8)$$

式中  $U$  为圆形区域, 由此, 其等效半径由下式算出

$$r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad (9)$$

接着根据图 5(c) 提取圆心, 将参数  $a, b$  离散化, 对应着式(6)中参数  $\theta$  离散化; 构造离散矩阵

表 1 检测结果(单位  $X_{Hole}$ : mm,  $Y_{Hole}$ : mm, Distance: mm, Rotate: 分)

检测参数	1		2		3		4		5	
	国外仪器	本检测法	国外仪器	本检测法	国外仪器	本检测法	国外仪器	本检测法	国外仪器	本检测法
$X_{Hole}$	-0.14	-0.13	0.26	0.27	0.23	0.24	-0.05	-0.04	0.15	0.17
$Y_{Hole}$	0.01	0.01	0.10	0.09	0.08	0.09	0.16	0.15	0.12	0.11
Distance	0.14	0.13	0.28	0.29	0.24	0.26	0.17	0.16	0.20	0.20
Rotate	-6.00	-5.4	15.75	15.0	13.30	12.6	-11.20	-12.0	9.75	9.0

上表中,  $X_{Hole}$  为  $X$  方向弯曲误差,  $Y_{Hole}$  为  $Y$  方向弯曲误差, Distance 为总的弯曲误差, Rotate 为扭曲误差。从上表的检测结果分析,  $X_{Hole}$  的平均绝对值为 0.01mm,  $Y_{Hole}$  的平均绝对值为 0.01mm, Distance 的平均绝对误差为 0.01mm, Rotate 的平均绝对误差为 0.72'。由于这种型号的电子枪扭曲误差要求和弯曲误差要求分别为 60' 和 0.5mm, 因而扭曲和弯曲的百分比误差分别为 1.2% 和 2%。

实验结果表明, 电子枪的扭曲检测精度和弯曲检测精度达到了国外同类产品水平, 这对我国电子枪扭曲检测具有实际意义, 对各种有形无损、无接触高精度检测也有借鉴意义。

参考文献

- 1 Yuen S Y, Ma CH, An investigation of the nature of parameterization for the Hough transform [J]. Pattern Recognition, 1997, 30(6): 1009~1040.
- 2 Kenneth R Castleman. 数字图像处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 1998: 391~406.
- 3 杨耀权, 施仁, 于西宁等. 用 Hough 变换提高激光光斑中心定位精度的算法[J]. 光学学报, 1999, 19(12): 1655~1660.
- 4 Sangwine S J, Horne R E N. The color image processing handbook, London[M]; New York: Chapman & Hall, 1998.
- 5 赵建林, 谭海蕴, 田立强等. 图象采集系统中 CCD 靶面有效尺寸的测量[J]. 航空精密制造技术, 1998, 34(4): 30~32.

$H(a, b)$ ; 对图象中的每一个边缘点按式(6)进行 Hough 变换. 对所有符合变换方程的点  $(a, b)$ ,  $H(a, b)$  累加 1. 变换完成后, 找出累加矩阵  $H(a, b)$  中最大值  $h_{max}$ , 其对应着所求的圆和圆心. 图 5(d) 为经过改进算法的 Hough 变换后的圆心图象.

3 实验结果分析

选取同一种型号的一组电子枪进行对照检测, 检测结果如表 1 所示.



黄昌明 1976 年生, 1999 年获西安交通大学自动控制工程学士学位, 同年进入西安交通大学系统工程研究所攻读硕士学位. 研究方向为模式识别、计算机辅助检测、远程测控, 现已发表论文 1 篇.



郑芸 1976 年生, 1999 年获西安交通大学计算机学士学位, 同年进入西安交通大学计算机信息研究所攻读硕士学位. 研究方向为计算机系统结构、网络安全.



崔新莹 1980 年生, 2000 年毕业于东北大学, 现在西安交通大学系统工程研究所攻读硕士学位. 研究方向为计算机辅助检测、多传感器信息融合.



韩九强 1952 年生, 教授, 博士生导师. 主要研究方向为网络测控与多传感信息融合理论与应用.