

# 零件尺寸图像检测数据处理与高精度检测方法<sup>①</sup>

黄品松<sup>1</sup>, 徐 杜<sup>1</sup>, 蒋永平<sup>1</sup>, 郭 斌<sup>1</sup>, 陈济棠<sup>1</sup>, 孔海鹏<sup>2</sup>, 梁 柱<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(广东工业大学 信息工程学院, 广州 510006)

<sup>2</sup>(怀集登云汽配股份有限公司, 怀集 526400)

**摘 要:** 针对机器视觉在轴类零件尺寸检测中的应用, 提出了一种利用工业中常用的标准件同时完成视觉检测系统的图像畸变校正与系统标定的方法, 有效的提高了检测精度, 简化了传统系统标定的繁琐过程。该方法通过分析图像检测中误差形成的主要来源, 建立了误差方程的正规方程式, 在求解正规式系数的同时完成对检测系统的校正与标定。不但操作简单, 且具有较高的检测精度。经实验证明, 在检测分辨率为 3450DPI 的情况下, 检测精度可达到 4 $\mu$ m, 完全适用于轴类零件的高精度检测。

**关键词:** 视觉检测; 尺寸检测; 畸变校正; 标定; 标准件

## Methods of Data Processing and High Accurate Detection for Image Detection of Part Sizes

HUANG Pin-Song<sup>1</sup>, XU Du<sup>1</sup>, JIANG Yong-Ping<sup>1</sup>, GUO Bin<sup>1</sup>, CHEN Ji-Tang<sup>1</sup>, KONG Hai-Peng<sup>2</sup>, LIANG Zhu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(Faculty of Information Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou, 510006, China)

<sup>2</sup>(Huajiji Dengyun Auto Parts Co. Ltd, Guangzhou 56400, China)

**Abstract:** For the use of Machine Vision in shaft size detection, this paper propose a method which completes the image distortion correction and system calibration by using commonly used industry standard parts. This method effectively improves the detection accuracy, simplifies the tedious process of calibration of conventional systems. By analyzing the main causes of error in image detection, the formal equation from error equation is established. Image distortion is corrected and calibrated at the same time. The coefficient of normal-type is calculated. This method is not only simple, but also effective to improve the accuracy of the image detection. The experiment proves that detection accuracy can reach 4 $\mu$ m at the resolution of 3450DPI, completely applicable to high-precision detection of shaft.

**Key words:** machine visual inspection; size detection; distortion correction; calibration; standard part

图像成像时往往会由于多种原因产生难以避免的几何畸变。特别是在高精度图像测量系统中, 需要采用图像标定和校正等方法来提高检测精度, 而图像标定和校正方法的效果显著影响测量系统的精度。

图像几何畸变的校正方法可分为两类: 系统校正和基于参考点的校正法。系统校正法是利用引起几何畸变的若干特征参量信息及其分布规律进行系统校正, 显然, 要获得相应特征参数及其分布的精确测量值往往比较困难。基于参考点的校正法需要在畸变前后的图像中找到对应的控制点对, 找到两组坐标的对

应关系, 对畸变图像进行变换校正, 校正精度高且易于实现。

标定是视觉测量系统的必要环节, 也是影响测量精度的关键之一。视觉系统的标定问题包括摄像机模型的建立及模型中各参数的精确值的获得, 过程复杂。本文考虑到多种原因产生的几何畸变最终综合反映在获取的检测图像上这一情况, 结合图像畸变校正和系统标定方法和根据所研究的图像尺寸检测系统的特点, 提出了一种通过求解误差方式来完成检测系统数据处理的方法。该方法具有精度高和速度快的特点。

① 基金项目:教育部广东省产学研结合项目(2010B090400382)

收稿时间:2011-01-17;修改稿时间 2011-03-02

### 1 零件尺寸图像检测系统测量原理

本系统是基于线阵 CCD 的二维尺寸图像检测系统，主要模块包括：线阵 CCD 相机及其光学系统、位移扫描平台与运动控制，图像采集和 PC 机等。PC 机通过运动控制卡激活伺服电机控制位移台运动，同时

触发图像采集获取零件图像，再将采集到的图像数据送到 PC 机进行处理。本系统通过光栅尺信号保证位移运动和图像采集同步进行，有效地消除了运动物体速度变化对检测分辨率和检测精度的影响<sup>[1]</sup>。系统结构图如下：

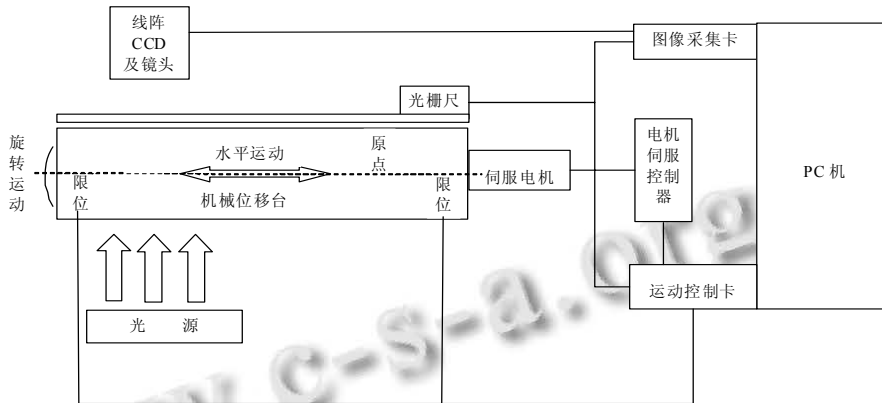


图 1 系统总体框图

### 2 图像畸变的主要来源

由于线阵摄像机与被测物之间必须有相对位移才能获取零件的二维图像，本图像检测系统采用相机固定、被测物移动的方案，其系统框图如图 1 所示。线阵摄像机几何模型在原理上等同于一个透视镜头和一个远心镜头的组合，如图 2 所示。从系统测量和成像模型可知，当被测物 P 的运动速度与线阵相机的行频不相符时，原本为方形的物体会畸变成长方形。V<sub>x</sub> 与 V<sub>y</sub> 运动方向不垂直时被测物体成像发生倾斜。当传感器不垂直于运动向量 V 时直线会变成双曲线，V<sub>z</sub> 分量不为 0 时更加严重。线阵传感器在投影中心正后方时，由于镜头畸变，图像中的每一行发生枕型畸变和桶型畸变。如果线阵传感器不在投影中心正后方，由于镜头畸变，图像中的每一行都会发生弯曲。

### 3 图像几何畸变模型

从对畸变的来源的分析可知，线阵 CCD 成像的畸变产生比较复杂，除了镜头本身会引入畸变外，还跟系统安装、平台运动和图像采集有关。由于系统本身和器件都会存在一些缺陷，即畸变无法避免。而在高精度测量中，图像的微小畸变都会引入较大的误差。所以必须对图像的畸变进行校正。本文用基于参考点的校正方法建立畸变图像与非畸变图像之间的解析关系。

设未畸变的图像为 f(x,y)，实际获得的畸变图像为 g(u,v)，点(x,y)、(u,v)分别表示畸变前后图像坐标中的同一点，由于图像存在畸变，两点关系不再相等，建立畸变图像点与非畸变图像点对应关系的解析表达式为<sup>[2]</sup>：

$$\begin{cases} x = h_1(u, v) \\ y = h_2(u, v) \end{cases} \quad (1)$$

$h_1(u, v)$ ， $h_2(u, v)$  可用多项式拟合表示为：

$$\begin{cases} x = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} a_{ij} u^i v^j \\ y = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} b_{ij} u^i v^j \end{cases} \quad (2)$$

多项式拟合的精度与次数有 n 关，次数越高拟合精度越高，但随着 n 的增大，系数增加，计算量急剧增大。对于一般的非线性失真取多项式的前三次幂就

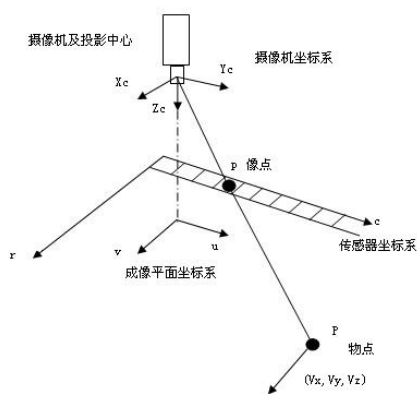


图 2 线阵 CCD 摄像机成像模型

足够了<sup>[3,4]</sup>。

当 n=3 时，对应关系式表示为：

$$\begin{cases} x = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^{3-i} a_{ij} u^i v^j \\ y = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^{3-i} b_{ij} u^i v^j \end{cases} \quad (3)$$

#### 4 建立误差方程

从 (3) 式可以知道，要消除图像的畸变至少需要十个控制点。设畸变图像上有两点(u<sub>1</sub>,v<sub>1</sub>), (u<sub>2</sub>,v<sub>2</sub>)经校正后对应于(x<sub>1</sub>,y<sub>1</sub>), (x<sub>2</sub>,y<sub>2</sub>)。令校正后的图像单位像素长度对应物理长度 kmm，两点水平方向上的实际长度为 l<sub>1</sub>，两点水平方向的测量长度为 L<sub>1</sub>。其中 x<sub>1</sub> 和 x<sub>2</sub> 用 (3) 式表示为：

$$x_1 = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^{3-i} a_{ij} u^i v^j \quad (4)$$

$$x_2 = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^{3-i} a_{ij} u^i v^j \quad (5)$$

用 (5) 式减去 (4) 式得到：

$$\begin{aligned} x_1 - x_2 = & a_{01}(v_2 - v_1) + a_{02}(v_2^2 - v_1^2) + a_{03}(v_2^3 - v_1^3) + \\ & a_{10}(u_2 - u_1) + a_{11}(u_2 v_2 - u_1 v_1) + a_{12}(u_2 v_2^2 - u_1 v_1^2) + \\ & a_{20}(u_2^2 - u_1^2) + a_{21}(u_2^2 v_2 - u_1^2 v_1) + a_{30}(u_2^3 - u_1^3) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{又有: } L_1 = k * (x_1 - x_2) \quad (7)$$

联合 (6) 和 (7) 式并重新整理得：

$$L_1 = \sum_{i=1}^9 a_i x_i \quad (8)$$

式中各量表示为：

$$x_1 = k * a_{01}, \quad x_2 = k * a_{02}, \quad \dots, \quad x_9 = k * a_{30}。$$

$$a_{11} = v_2 - v_1, \quad a_{12} = v_2^2 - v_1^2, \quad \dots, \quad a_{19} = u_2^3 - u_1^2。$$

式中有九个未知数，用九个点即可解得方程，在应用中为获得较高精度需要进行最小二乘处理，令为残余误差，取 n 个点有：

$$\begin{cases} \Delta_1 = l_1 - L_1 \\ \vdots \\ \Delta_n = l_n - L_n \end{cases} \quad (9)$$

在等精度测量中满足残余误差平方和为最小<sup>[5]</sup>：

$$\sum_{i=1}^n \Delta_i^2 = \Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2 = \text{最小} \quad (10)$$

为此对 (10) 式求导并令其为 0 有：

$$\frac{\partial (\sum_{i=1}^n \Delta_i^2)}{\partial \Delta_i} = -2 \{ \sum_{i=1}^n a_i l_i - (x_1 \sum_{i=1}^n a_i a_{i1} + \dots + x_i \sum_{i=1}^n a_i a_{in}) \} = 0 \quad (11)$$

t 的取值为 1 到 9，整理得正规方程式：

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n a_{i1} a_{i1} x_1 + \sum_{i=1}^n a_{i1} a_{i2} x_2 + \dots + \sum_{i=1}^n a_{i1} a_{i9} x_9 &= \sum_{i=1}^n a_{i1} l_i \\ &\vdots \\ \sum_{i=1}^n a_{i9} a_{i1} x_1 + \sum_{i=1}^n a_{i9} a_{i2} x_2 + \dots + \sum_{i=1}^n a_{i9} a_{i9} x_9 &= \sum_{i=1}^n a_{i9} l_i \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

#### 5 实验验证

本文采用阶梯形轴类零件作为标准件，经扫描后得到的图像如图 3 所示。各阶梯的直径为，…。通过对标准件直径的测量求解正规方程式的未知数具体步骤为：

- ① 用 Prewitt 算子对标准件边缘定位找到边缘的坐标；
- ② 进行亚像素精确定位，找到各阶梯对应点的精确位置；
- ③ 在各阶梯上各取 30 组对应点，代入 (8) 式计算方程的各系数；
- ④ 求解正规方程式解得系数。计算结果如表 1 所示。



图 3 标准件图像

表 1 各阶梯及其直径及系数

阶梯	阶梯直径(mm)	系数	系数值
L1	4.4401	X1	9.60450898882404
L2	6.4372	X2	-0.000181915296137598
L3	9.4501	X3	-7.93597748586804E-09
L4	12.450	X4	0
L5	15.4431	X5	-0.000222277826060009
L6	20.4543	X6	1.94312257767738E-08
L7	30.4582	X7	0
L8	40.4236	X8	1.38932317189548E-08
L9	50.2170	X9	0

将系数代入(8)式,对10支发动机气门杆的杆部直径测量。经图像检测系统采集的气门杆图像及测量位置如图4所示。



图4 气门杆图像

各气门杆测量结果及误差分析如下:

表2 检测结果与误差(单位: mm)

气门编号	真实值	校正前测量值	校正前误差值	校正后测量值	校正后误差值
1#	6.9769	6.94285	-0.03405	6.97714	0.00024
2#	6.9883	6.9559	-0.0324	6.98882	0.00052
3#	5.9773	5.95598	-0.02132	5.98116	0.00386
4#	5.4708	5.45865	-0.01215	5.46878	-0.00202
5#	7.9692	7.96373	-0.00547	7.97182	0.00262
6#	8.9191	8.89428	-0.02482	8.92246	0.00336
7#	8.6944	8.67332	-0.02108	8.69114	-0.00326
8#	6.3093	6.30564	-0.00366	6.31084	0.00154
9#	6.5407	6.5306	-0.0101	6.5405	-0.0002
10#	5.964	5.96029	-0.00371	5.96538	0.00138

(上接第184页)

8845A(电流测试精度10nA)串接于图2的V47处,测试整机各模式下工作电流如表2。工程应用上约定 $k=80\%$ ,  $t_1=0.1h$ ,  $(t-t_1)=0.4h^{[5]}$ ,由公式(3)得电池使用寿命约不小于3.25年。

## 6 结论

本文从系统分析出发,从细节研究着手,将低功耗设计理论延伸到产品设计中,针对管网终端产品的系统结构,量身定制其电源拓扑结构,最终在FLUKE 8845A上的测试,所得指标优于文献[2]。该系统安装在定制外壳中,达到IP68的防护等级,目前已在多个城市投入使用,整机运行稳定可靠。本方案同样适用于其他智能终端产品的低功耗设计,尤其为无人看守

从表中校正前后的测量误差可见,采用本文提出的方法对零件尺寸进行测量,测量精度得到明显的提高。

## 6 结语

从上述提出的图像畸变校正方法和实验结果可以看出,本方法对采集的图像数据进行处理的同时完成了对检测图像的标定和校正,有效地提高了测量的速度和精度,测量误差可以达到 $4\mu m$ 以内,并且快速方便。该方法适用于对速度和精度要求较高的应用场合,可实际应用于高精度视觉检测的在线测量中。

## 参考文献

- 1 徐杜,蒋永平.采用数字同步技术的轴类零件尺寸光电检测.光电工程,2004,31(8):45-48.
- 2 牛建军,刘上乾,姚荣辉,郑毅,冀芳.高准确度成像系统图像畸变校正算法.光子学报,2006,35(9):1317-1320.
- 3 刘金根.一种基于现场定标的光电图像畸变校正算法.光子学报,2004,33(6):732-735.
- 4 乔彦峰,高峰瑞,王志乾,赵雁,李建荣.基于三次拟合方程畸变校正的光电测量系统.光电工程,2008,33(6):28-31.
- 5 费业泰.误差理论与数据处理.第五版.北京:机械工业出版社,2005.60-150.

地段自来水、燃气、石油等管网计量和监控提供强有力的参考案例。

## 参考文献

- 1 周宽久,迟宗正,西方.嵌入式软硬件低功耗优化研究综述.计算机应用研究,2010,27(2):423-428.
- 2 致远电子.低功耗GPRS无线数据采集应用--自来水管网压力实时监测系统.电子技术应用,2009,5:28-29.
- 3 SIMcom.硬件设计手册-SIM900A\_HD\_CN\_V1.01.2010.48-49.
- 4 Atmel. 8/16-bit AVR XMEGA A3 Microcontroller-datasheet.2008.65-74.
- 5 Wasion Group.管网智能信息管理终端静态功耗严重超标处理报告.2010.