

基于图像处理技术的量表验定系统的研究*

陈杰来, 尤丽华

(江南大学 机械工程学院, 江苏 无锡 214122)

摘 要: 随着数字图像处理技术的发展, 图像检测的应用逐渐成为许多工程应用中的关键技术。对原有的图像采集、检测系统——量表验定系统深入分析的基础上, 调整了系统的结构。提高了系统运行速度。在对图像边缘检测上应用了亚像素插分, 提高了精度。投入实际应用中, 取得了良好的效果。

关键词: 图像处理; 图像检测; 精度; 亚像素

中图分类号: TH711; TP751 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-5322(2005)03-0037-04

量表是一种在工业领域特别是制造业中大量使用的量具, 种类多, 用量大。由于是测量器具, 国家标准计量局特制定其出厂质量检定和使用期定期精度检定标准(GB/T1219-2000), 以保证该量具测量的可信度。目前江南大学机械学院已经设计、开发了一套基于图像处理的量表验定系统^[1], 并较成功应用到生产实践中。

本文对系统图像采集、处理中的误差进行分

析。并对系统图像处理方法进行改进, 提高原系统的速度和精度。

1 系统结构和原理

系统结构如图 1 所示。系统由精密标准位移控制系统、光学成像系统、高速 A/D 数据采集卡, 及计算机组成。

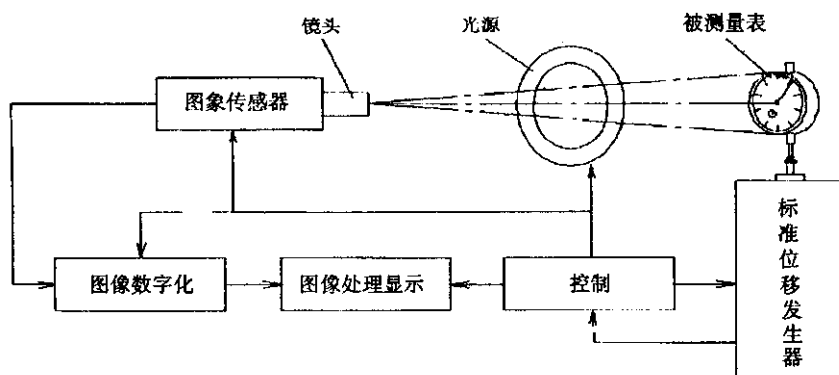


图 1 图像测量系统组成

Fig. 1 Image measuring system

检测时, 光源打开, 计算机控制标准位移发生器给予被测量表标准位移, 表针示值经过光学镜头投影到图像传感器上, 经过数字化(图像卡), 进

入计算机, 计算机进行图像处理检测, 读出量表示值。对系统深入分析发现, 在系统结构, 图像处理方法上进行调整可得到更好的运行速度和精度。

* 收稿日期: 2005-05-

作者简介: 陈杰来(1973—), 男, 江苏盐城人, 盐城工学院讲师, 江南大学在读硕士研究生。

2 系统分析,调整

2.1 系统图像采集、处理部分误差分析

2.1.1 系统系统误差

(1) CCD 摄像头本身由于像素的约束,产生的误差

图像传感器的理论分辨率是一个像素间距,按所选的图像传感器角度分辨率为 0.2° 。

(2) 面阵 CCD 像元光电响应不均匀性及非线性产生的误差

线性 CCD 应该满足下面的关系

$$V(x, y) = K[x, yE(x, y)]E(x, y) \quad (1)$$

式中: $V(x, y)$ 是面阵 CCD 的 (x, y) 像元输出的电压; $E(x, y)$ 是面阵 CCD 的 (x, y) 像元的曝光量; $K[x, y, E(x, y)]$ 是与位置 (x, y) 和曝光量 $E(x, y)$ 有关的比例系数。使用的 CCD 器件并不是理想元件, CCD 中每个像元对光进行反应的灵敏度是不一样的。而我们在测量假设 CCD 器件是理想的, 因此带来误差。

(3) 处理电路带来的误差

CCD 摄像头对图像进行抓取实际就是对图像进行采样的过程, 自然数据采集部分误差的来源有量化误差和截断误差。

(4) 图像处理中产生的误差

在计算机采集到 CCD 摄像头图像后进行图像处理。系统中图像处理的目的是对指针角度的精确判断。原系统中对指针角度判断采用前后两幅图像二值化后异或的方法。对指针角度的判别要经过预处理、二值化、前后两副图像异或处理、细化处理、直线抽取^[1]。这些数字图像处理过程中不可避免的出现信息丢失, 且在表盘上还有干扰图形。这些对指针角度判别都产生误差。从重建图像中就可以看出明显的误差(图 2)。

2.1.2 随机误差

CCD 噪声影响、空气扰动影响。以及电源、光强等随机因素的影响^[2]。

2.2 系统调整

分析系统发现, 系统在控制标准位移发生器时占用大量时间, 经测算, 这段时间大概为 400ms。占用系统大量资源, 现采用单片机控制标准位移发生器产生匀速位移。计算机在整个检测过程中只要负责图像的采集、处理。提高检测速度。系统在图像处理方法上进行调整, 采用了图像插分、亚像素边缘检测。减小系统误差、随机

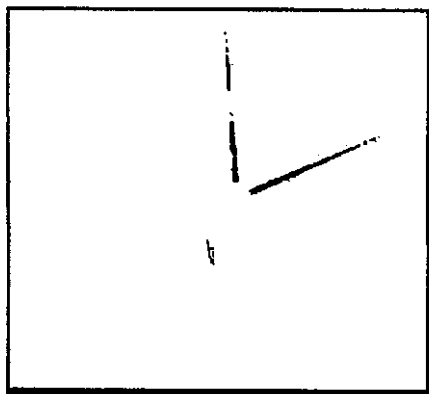


图 2 异或后的图像

Fig. 2 Image after computing

误差对指针角度判别的影响。同时, 减小了由于指针匀速运动后, 采集的图像模糊对指针角度的影响。

3 系统实现

3.1 系统主要硬件

系统采用 CCD 为 Honeywell 公司 GC-145CB 摄像头。CCD 器件的驱动电路是采用加拿大 MATROX 公司生产的 Matrox Meteor II Standard 高速图像采集卡, 该图像采集卡直接与计算机接口, 完成数据的采集与处理过程。直接使用已成型的产品可以缩短系统的开发周期, 减少程序设计的工作量。该图像采集卡直接与计算机接口, 完成数据的采集与处理。另外驱动 CCD 器件需要一个 24V 的稳压电源。光源选择为红色 LED 圆环同轴光源。

系统根据国家检测标准, 每 $1/10$ 圈检测指针角度。则指针旋转一转共须处理 10 幅图像。处理图像程序执行一幅图像角度计算时间根据测试小于 400ms。(1.7G CPU 256M 内存 PC 机)。换算步进电机提供适合的速度为 $0.25\mu\text{m/ms}$ 。

3.2 系统图像的处理

图像处理软件由图像采集卡函数库 MatroxMIL6.0 及 C++ Borland 公司开发的、运行于 Windows 平台上的交互式可视化集成开发环境。本系统以 Windows 为应用环境, 采用 BorlandC++ 为开发环境, 采用了 OOP 编程, 使软件具有较高的执行效率, 较好的可扩展性, 良好的人机界面和可读性。

在编程过程中, 对 MIL 所带的动态链接库加载的方式引入。BorlandC++ 静态加载允许调用模块, 加载可执行文件所需信息, 这些信息可以

定位导出 DLL 函数代码所在的位置,这是通过一个导入库链接到调用模块来实现的。可以用 C++ Borland 所带的 imblib 工具从相应的动态链接库(DLL)获得,命令格式如下:

IMPLIB LibName DLLName

上述命令中, DLLName 为源动态链接库名, LibName 为目标导入库文件名。从 mil.dll、milpul.dll 等 MIL 动态链接库文件获得相应的 mil.lib、milpul.dll 动态链接库文件,就可以在 C++ Borland 下调用相关函数了。

系统采集到图像后对指针角度的判别是关键,指针在运动过程中图像的灰度被分散了。实际是降低了分辨率。系统采用的 CCD 摄像头快门时间为 1/50s。设在这段时间里指针走动了角度为 α

则 $\alpha = t_1 * 360^\circ / t_2$, 其中 t_1 快门时间 1/50s, t_2 为指针运行一转时间为 4s。

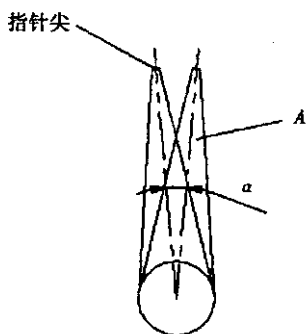


图2 指针运动示意

Fig. 2 Sketch map for pointer moving

我们以指针尖为考察对象,计算指针尖的灰度在本系统运动下灰度变化。指针的针尖宽度相对于圆心角度为 0.36° 。针尖走过角度相当于 5 个针尖。则指针尖的灰度被分散在 5 个指针尖的范围。经过检验指针尖灰度为 250 左右,则在本系统中运动时指针尖灰度为 50。而经检查背景表盘的灰度也在 50 左右,则指针在运动时,CCD 采集到的图像上指针尖“消失”了。

计算指针灰度在匀速运动状况下能够分辨出的位置 A 点;设 A 点灰度在运动时间内是灰度分散到由 250 分散到 70。根据角度和指针尺寸计算。A 点距离距圆心约为 3/4 位置。则相当于 CCD 的分辨率下降了 1/4。满足不了角度判断的要求。必须采用更好的算法,判断指针位置。为满足系统检测的需要,我们采取预先采集量表基

准图像。对待测图像和基准图像进行预处理(滤波、二值化),然后对预处理后的待测图像和基准图像进行逻辑运算^[3],只留下指针图像如图(2)。在二值图像提取图像的直线特征,在此基础上利用多项式插值函数对原始待测图像边缘点进行插值加密的方法,将直线点集的坐标定位在亚像素上。再对边缘点的亚像素坐标值做最小二乘法拟合,求出直线^[4]。算法步骤:

第一步 采集基准图像 $b(x, y)$ 并二值化 $d(x, y)$;

第二步 待测图像 $f(x, y)$ 二值化图像 $g(x, y)$;

第三步 $d(x, y)$ 与 $g(x, y)$ 异或图像为 $h(x, y)$;对 $h(x, y)$ 采用 Roberts 算法边缘检测,霍夫变换霍夫(Hough)变换,分辨率为 0.1° 和统计学相关算法提取边缘直线 L_1, L_2 。

第四步 直线 L_1 点记录为点列:

$$(x_0, y_0), (x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_{p-1}, y_{p-1})$$

其中 p 为位于直线上的点数(即该直线在 X 轴上的投影长度)。

第五步 对取得的点的坐标,求出直线的斜率 k

$$k = \frac{y_{p-1} - y_0}{x_{p-1} - x_0}$$

第六步 取得的点列坐标值从原始灰度图像 $f(x, y)$ 中取一个 $p \times w$ 子图像 $f_{pw}(i, j)$ 其中: $i = 0, 1, 2, \dots, p-1$; $j = 0, 1, 2, \dots, w-1$ 。

$w = 5$ 。取法为:对直线上的每一个点 (x_i, y_i) ,有:

$$f_{tw}(i, j) = f(x, y_{i+j-2})$$

第七步 用 Roberts 算法求 $f_{pw}(i, j)$ 的梯度图像 $R_{pw}(i, j)$;

第八步 在梯度图像 $R_{pw}(i, j)$ 中,对 $j = 1, 2, 3$,搜索最大值 $R_{pw}(i, j_m)$,其中 $i = 1, 2, 3, \dots, p-2$,则 $R_{pw}(i, j_m)$ 为边缘点。它在原始图像 $f(x, y)$ 中的坐标为 $(x_i, y_i + j_m - 2)$,记为 (X_{Ei}, Y_{Ei}) 。

第九步 用多项式插值求出亚像素边缘。对边缘点 (X_{Ei}, Y_{Ei}) ,从 $R_{pw}(i, j)$ 中取出三点 $R_{pw}(i, j_{m-1}), R_{pw}(i, j_m), R_{pw}(i, j_{m+1})$,求 $R_{pw}(x, y)$ 在 Y 轴方向的二次多项式插值函数 $\varphi(y)$,对 $\varphi(y)$ 求导并令其导数等于零,由此可推出 Y 轴亚像素坐标的求解公式。其亚像素边缘坐标 (X_i, Y_j) 为

$$X_i = X_{Ei}$$

$$Y_i=Y_{Ej}+\frac{R_{pvc}(i,j_m-1)-R_{pvc}(i,j_m+1)}{2R_{pvc}(i,j_m-1)-4R_{pvc}(i,j_m)+2R(i,j_m+1)}$$
设直线方程为 $y=kx+b$, 根据求得的亚像素边缘点做最小二乘直线拟合, 可得 k 和 b 的值。

$$k=\frac{\sum_{i=0}^{p-1}X_i\cdot\sum_{i=0}^{p-1}Y_i-P\cdot\sum_{i=0}^{p-1}(X_i\cdot Y_i)}{\sum_{i=0}^{p-1}X_i\cdot\sum_{i=0}^{p-1}Y_i-P\cdot\sum_{i=0}^{p-1}(X_i\cdot X_i)}$$
$$b=\frac{\sum_{i=0}^{p-1}Y_i\cdot\sum_{i=0}^{p-1}X_i}{p}$$

由此求出直线 L_1 对 X 轴的角 θ_1 。同样对求出直线 L_2 对 X 轴的角度 θ_2 。根据 θ_1, θ_2 和指针几何尺寸算出指针示值角度。理论上采用亚像素边缘检测, 多项式插分可以提高 $1/60$ 像素^[5~6]。满足测量要求。

3 实际应用

系统对百分表指针自动验定。光源选择为红色 LED 圆环同轴光源。LED 装配限流电阻, 以保证照明均匀性和可靠性。红色 LED 光源显色性好, 光谱范围宽。漫反射光源可增加亮度的均匀性且无反射、无光晕。圆环形减小阴影。百分表的外径 D 为 60mm, 取图像传感器的靶面的 3.6

$\times 3.6\text{ mm}^2$ 的正方形作为成像有效区域, 因此系统放大倍数 M 为 $3.6/60=0.06$ 。角度分辨率为 $\tan^{-1}/(0.5\times 582)=0.2^\circ$ 。折算到百分表分辨率, 分辨率为 $0.2^\circ\times(1/360^\circ)=0.56\mu\text{m}$, 满足读数精度要求。实际检测中, 系统识别指针角度达到 0.1° , 每点检测时间为 $1/50\text{s}$ 。

4 结语

本文介绍了量表验定系统的结构和主要软、硬件开发特点。实际检测结果表明该系统具有适合的精度和较快的检测速度, 能够满足量表验定设备中。由于背景较复杂, 系统采用了逻辑运算的方法滤去背景。系统达到了对指针匀速中对指针角度的实时判断, 采用了图像亚像细分技术确定指针位置, 保证了指针识别的精度。经过改进后的系统, 在实际运行中, 得到了良好的应用。速度由原来的每点 0.8s 提高到 0.4s 。角度判别精度提高了到 0.1° 。本文虽然研究的是量表图像测量系统。可实际是对图像处理、图像检测的研究, 其方法对基于图像的工业实时检测系统的设计均具有参考意义。

参考文献:

[1] 尤丽华, 陶荣伟, 顾勇. 基于图像测量技术的量表精度检定方法[J]. 江南大学学报, 2003, 2(6): 614—617.
[2] 刘文耀. 光电图像处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
[3] 杨淑莹. VC++图像处理设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
[4] 孙家广. 计算机图形学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
[5] 吴晓波. 高精度图像测量系统[J]. 光学精密工程, 1995, 3(1): 28—33.
[6] 杨丽凤, 韩冀皖, 李元宗. 面阵 CCD 高精度测量技术的应用[J]. 太原理工大学学报, 2001, 4(9): 455—458.

Dialgauge Measuring System Research Based on Image Processing

CHEN Jie-lai, YOU Li-hua

(1. School of Mechanical Engineering, Southern Yangtze University, Jiangsu Wuxi 214122, China)

Abstract: With the development of digital image processing technology, image detecting has become a pivotal technique in engineering application. This paper adjusts the system structure and improves the system running rate, based on the analysis of the original image grabbing, detecting system and dialgauge measuring system. Through edge detection and pixel subdivision technique, the accuracy of measurement has been raised. In the practical application, the good effect has been obtained as well.

Keywords: image processing image measurement precision pixel subdivision