

文章编号 1004-924X(2002)03-0281-04

采用 CCD 的非接触测量中提高精度的一种方法

李佳列,丁国清,颜国正,朱洪海
(上海交通大学 信息检测技术及仪器系,上海 200030)

摘要:利用 CCD 传感器对工件进行测量是非接触测量领域的常用方法,但受到 CCD 像元特征尺寸的限制,测量精度往往只能达到微米级,限制了该系统在非接触测量方面的更广泛应用。本文从算法角度提出了一种提高 CCD 精度的方法。实验证明,方法能将测量的精度提高一个数量级。

关键词:电荷耦合器件;尺寸测量;边缘检测;梯度
中图分类号:TB92 文献标识码:A

1 引言

近年来,作为一种有效的、快速的非接触测量手段,电荷耦合器件 CCD (Charge Couple Device) 在非接触测量系统中的应用相当普遍。CCD 器件具有精度高、动态范围大、稳定性好、工作电压低等,此外它的输出信号易于处理,便于计算机接口处理^[1]。它可以直接用于物体外部尺寸,轮廓以及位移和有关物理量的测量。

运用 CCD 进行测量时,测量精度取决于 CCD 像元的大小。为此人们进行了各方面的尝试来提高测量系统的精度:如改进制造工艺,减小 CCD 传感器的像元宽度^[2]采用光学系统放大被测物体,借此提高整个系统的精度^[3-4]等等。

本文借鉴了图像处理中边缘提取算法的思想,提出一种采用最小二乘法的边缘线性拟合检测算法来提高系统精度的方法,并对该算法在非接触尺寸测量系统中应用的可行性进行了验证。

2 测量系统

采用 CCD 的非接触尺寸测量系统构成简图如图 1 所示。平行光光源发光透过工件,工件实体部分遮住光线,而边缘部分(或工件中孔或槽等实体中挖空的部分)仍允许光线通过。这样,在阵

列 CCD 传感器上将形成一个该零件的投影图。由 CCD 输出的图像输入电脑主机,用算法对图像进行处理,得出需要的尺寸。针对不同的工件,测量主要分为两种方法:

1) 直接测量法:用于对小尺寸测量,如小的螺母、螺钉,或是工件上尺寸较小的键、槽等。一般将 CCD 的输出图像直接进行处理便可得到所要的数据。

2) 间接分割法:对于一些较大的对象,其尺寸超过了 CCD 传感器所能测量的最大范围,此时通过位置关系将测量分为几步进行:先在对象一端进行一次测量,然后将对象沿导轨移动,使另一端位于 CCD 传感器的测量范围内,再进行一次测量(如图 1 虚线所示),这时对象的尺寸即为两次的测量结果及移动距离之和。导轨上带有光栅,移动距离的测量精度可达 $1\mu\text{m}$,但最好的 CCD 传感器其像元特征尺寸也只能达到 $7\mu\text{m}$,限制了测量精度的进一步提高。

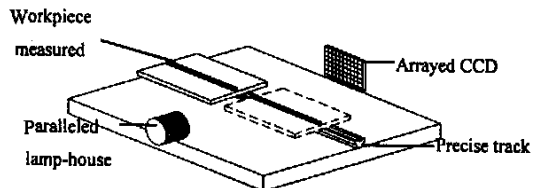


图 1 测量系统
Fig. 1 Measuring system.

3 算法

在尺寸测量中,读取数据后,一般将其处理为用不同数值表达的灰度图,输出图像的一个像素代表一个 CCD 像元间距,根据输出图像像素的灰度或灰度变化来判断边缘。这就决定了在尺寸测量时 CCD 的测量精度只能达到一个像元间距的大小。

3.1 数字图像的边缘检测^[5]

对灰度图像的边缘检测主要有两种办法:

阈值法:该方法是对灰度图用一个阈值进行二值化处理,阈值以上的点为黑,以下的为白,获得黑白图像后,边缘一目了然。这种算法操作简单,存在的问题是阈值难以选取,而且受环境的影响很大,现在一般的图像检测已摈弃了这种算法。

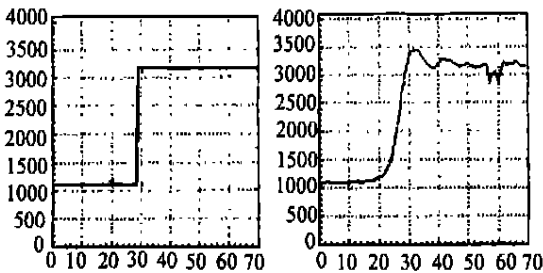
梯度法:该方法是当灰度图上的灰度等级发生急剧变化且变化最大时即认为出现了边缘。物理上灰度等级的变化在数学上表现为灰度对空间位置的梯度。

设 x 和 y 分别是水平方向和竖直方向,则 $f(x, y)$ 在 y 方向的梯度为:

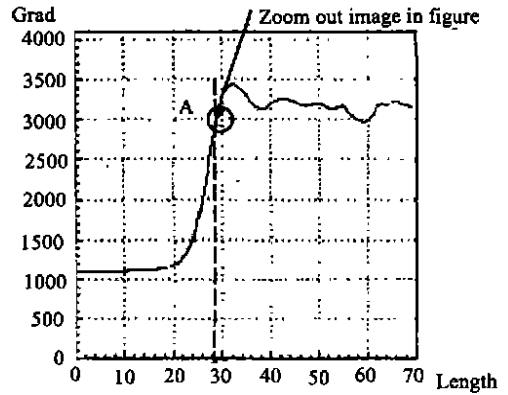
$$G_y(x, y) = \nabla_y f(x, y) = \frac{\partial f(x, y)}{\partial y}, \quad (1)$$

3.2 对 CCD 输出图像的分析

采用线阵 CCD,理想的图像边缘输出应为阶跃函数,如图 2a。但由于光的衍射,成像系统的球差、像差和调焦误差,以及噪声影响,从 CCD 输出的原始灰度图像(边缘处)如图 2b,采用平滑滤波算法处理后的图像为图 2c,对图 2c 的图像求梯度,得到梯度图像为图 2d,根据边缘检测梯度算法的理论,梯度值最大的点 m 对应图像的边缘,即图 2c 中的 A 点。

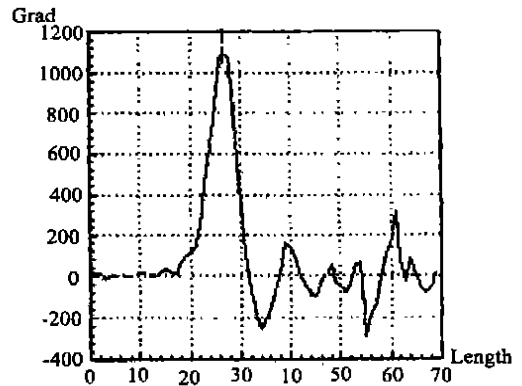


(a) 理想梯度图 (a) Ideal grads image (b) 实际梯度图 (b) Practical grads image



(c) 平滑处理后的灰度图

(c) Gray image after smoothed



(d) 灰度图的梯度图

(d) Grads image of the gray image

图 2 CCD 输出的灰度图及梯度图

Fig. 2 CCD output gray image and grads image.

考虑到 CCD 的输出是离散值,将图 2c 中 A 点附近的图像放大得到图 3a,由此图可以看到,图 2 中的各图是由锯齿状的离散值近似而成。实际的边缘点可能位于 A 点与 A 点之间。

3.3 具体算法

针对上述情况,在找到 CCD 输出图像中灰度梯度最大点 A 后,以该点为中心,两边各取几点,进行直线拟合,算法如下:

所取的灰度图像中的点为

Y_I	R_{-n}	.....	R_{-1}	R_0	R_1	.....	R_n
X_I	A_{-n}	.....	A_{-1}	A_0	A_1	.....	A_n

取拟合直线为:

$$y_i = ax_i + b$$

设

$$= \sum_{i=1}^n 2(y_i - Y_i)^2 = \sum_{i=1}^n 2(ax_i + b - Y_i)^2, \tag{2}$$

$$\text{当} \begin{cases} \frac{\partial}{\partial a} = \sum_{i=1}^n 2(ax_i + b - Y_i) x_i = 0 \\ \frac{\partial}{\partial b} = \sum_{i=1}^n 2(ax_i + b - Y_i) = 0 \end{cases} \tag{3}$$

即

$$\begin{cases} a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i Y_i - \sum_{i=1}^n Y_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2}{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \\ b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i Y_i - \sum_{i=1}^n Y_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2}{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \end{cases}, \tag{4}$$

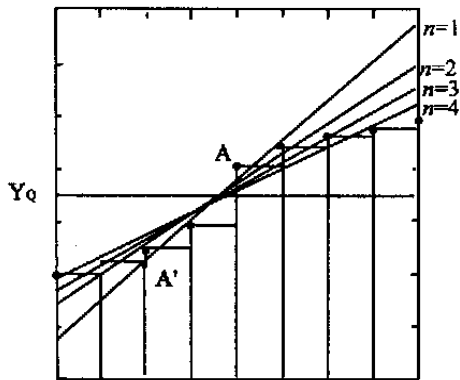
时, 有最小值。边缘点的位置为:

$$x_Q = \frac{Y_Q - b}{a}, \tag{5}$$

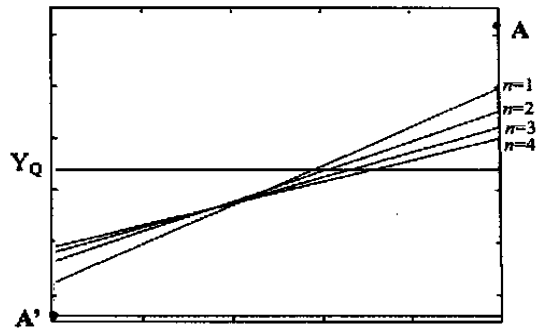
$$Y_Q \text{ 的灰度值} = \frac{A \text{ 的灰度值} + A' \text{ 的灰度值}}{2}$$

3.4 仿真结果

使用 MATLAB 对上述算法进行了仿真计算,结果如图3。从仿真结果来看, n 取2或3



(a) 局部梯度图和拟合直线
(a) Local grads image and fitted line



(b) 使用最小二乘法的结果(放大图)

(b) Results using LSM (enlarged image)

图3 局部梯度图和使用最小二乘法的结果

Fig.3 Local grads-image and results using LSM.

时,效果较好,对拟合曲线进行了检验之后,实际应用时 n 取3,即采用7点拟合直线,这一点在其他文献中也有论述^[6]。

3.5 实验验证

为了验证上述算法在实际应用中是否可行,采用了前述实验装置进行验证(如图1),采用日本的激光测量仪(型号 AN11250、最小准确测量尺寸 $1\mu\text{m}$) 标定。软件采用实时数据采集和处理,通过文中算法来判断边缘点的位置并完成尺寸的测量。结果证明,采用此算法的非接触测量系统误差小于 $1\mu\text{m}$,大大优于原先的 $14\mu\text{m}$,提高了一个数量级。

4 进一步的讨论

根据图像处理的边缘检测理论,采用曲线拟合的算法相比直线拟合算法能获得更理想的亚像素边缘检测结果,但此时算法的复杂度和计算量将大大增加,曲线的引入引起参数数量的增加,如何选取适应本系统的合适参数是个较难的问题,同时对于 Y_Q 值的选取也是一具有争论的问题,至今学者们的意见未能统一。有关这些问题,感兴趣的读者可对此做进一步的研究。

参考文献:

- [1] 蔡文贵,李永远,许振华. CCD 技术及应用[M]. 北京:电子工业出版社,1992.
- [2] 谈新权,许胜辉,梅晓. CCD 图像传感器的高分辨率技术[J]. 半导体光电,1999,(3):16-19.
- [3] 孙学珠. 高精度 CCD 尺寸自动检测系统的光学系统设计[J]. 光学技术,1995,(5):6-9.
- [4] 安志勇. 高分辨率 CCD 光电尺自动检测仪的研究[J]. 光学技术,1997,(5):24-27.
- [5] 余松煜. 数字图像处理[M]. 北京:电子工业出版社,1987.
- [6] 佟首峰,阮锦,郝志航. CCD 图像传感器降噪技术的研究[J]. 光学 精密工程,2000,8(2):140-145.

Method for improving precision in noncontact measurement by linear CCD

LI Jia-lie, DING Guo-qing, YAN Guo-zheng, ZHU Hong-hai

(*Department of Information Detection Technology and Instrument,
Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China*)

Abstract: To measure work pieces by CCD sensor is a common way in the noncontact measurement field, but the precision can only reach μm because of the size of CCD cells, which restricts the wide use of this kind of measurement system. This paper gives a method to improve CCD precision by arithmetic aspect. The experiment demonstrates that this method can improve the measurement precision by one order of magnitude.

Key words: charge coupled devices; dimension measurement; edge detection; grads

作者简介: 李佳列(1976-)男,上海市人,硕士研究生,研究方向:光电测量系统,单片机系统,微特机器人. E-mail: LijiaLie@263.net.