

文章编号:1007-2780(2009)03-0448-05

基于错位放大原理的精密自动瞄准方法

王青麾,刘笃喜

(西北工业大学 机电学院, 陕西 西安 710072, E-mail: ballooning117@163.com)

摘 要: 提出了一种基于 CCD 传感器的精密图像式瞄准方法, 利用错位放大原理, 用多个基准点同时参与瞄准, 采用游标卡尺刻度线来模拟实际应用时的瞄准线。采用中值滤波和形态学算子相结合的边缘检测方法得到二值边缘图, 通过最小二乘拟合直线方程并求取最小平均距离的方法来识别瞄准位置。实验结果表明该算法能准确识别出对准刻线, 定位精度可达微米量级, 具有一定的实用价值。

关 键 词: 高精度瞄准; 中值滤波; 形态学边缘检测; 最小二乘拟合
中图分类号: TP752.1 **文献标识码:** A

1 引 言

在几何量测量仪器中, 瞄准系统是仪器的重要组成部分, 没有瞄准就无法进行测量。在高精度测量仪器中, 瞄准方法和瞄准部件的重要性尤为突出。作为整个测量系统的关键环节, 瞄准的效果将直接影响到测量结果的准确度。对尺寸测量中的瞄准方法, 国内外学者做了许多研究。四川大学的高政等人在大尺寸复杂形状薄片检测中, 用摄像头作为瞄准装置, 依靠图像处理进行事后误差补偿^[1]; 朱小平将 CCD 用于刻线的自动瞄准, 测量精度达到显微标尺检测的精度要求^[2]; P. F. Luo 等人用 CCD 代替三坐标测量机的探头, 实现了对一维尺寸的非接触测量^[3]。本文设计了一套基于 CCD 传感器的自动瞄准系统, 采用 CCD 摄像头^[4]采集图像, 利用错位放大原理用多个基准点同时参与瞄准, 计算机处理数据, 不仅提高了测量精度和测量效率, 实现了自动化瞄准, 而且大幅降低了测量人员的劳动强度。

2 基于 CCD 的自动瞄准系统结构

测量仪器的瞄准方法有很多, 如机械、光学、电学、光电和气动等, 概括起来可分为接触式和非接触式两大类^[5]。常用的对准方式如图 1 所示^[6], 所采用的大都是单点瞄准法, 即用一个可移动的基准点去对准要瞄准的位置点, 这种方法需

要不断地移动基准点直至两点对准重合, 瞄准精度较低。

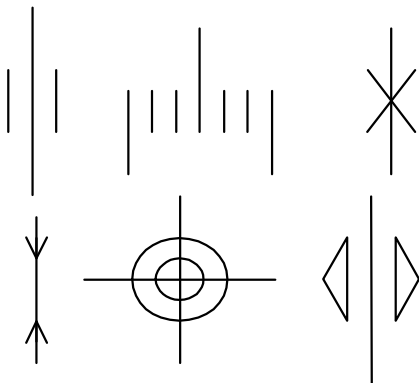


图 1 仪器中常见的对准方式

Fig. 1 Common collimation methods in instruments

实验中用游标卡尺的刻度线来模拟实际应用时的瞄准线: 游标上的刻度线模拟多个同时参与瞄准的基准点, 主尺上的刻度线模拟要瞄准的位置点。错位放大就是将总长为 9 mm 的游标(10 分度游标卡尺)划分为 10 个等分度, 即一个分度为 0.9 mm, 主尺上的最小分度为 1 mm, 主尺上一个刻度与游标上的一个刻度相差 0.1 mm, 根据游标尺和主尺的刻度错位可测量不足 1 mm 的长度。错位放大能够大幅提高瞄准精度。

自动瞄准系统结构如图 2 所示, 均匀的平行光投射在游标卡尺表面, 经过光学系统放大成像在 CCD 传感器的接收面上, 刻度线被 CCD 传感

器转换成具有对应颜色深度的二维平面点阵图,通过后续电路变换处理为数字信号后直接送入计算机进行处理。

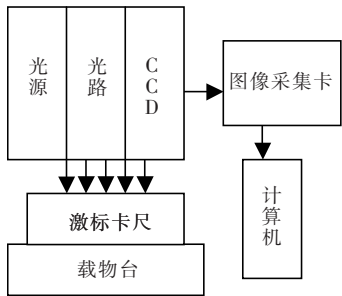


图 2 自动瞄准系统构成
Fig. 2 Constitutes of auto-collimation system

3 基于图像处理的自动瞄准原理及算法

自动瞄准流程图如图 3 所示。

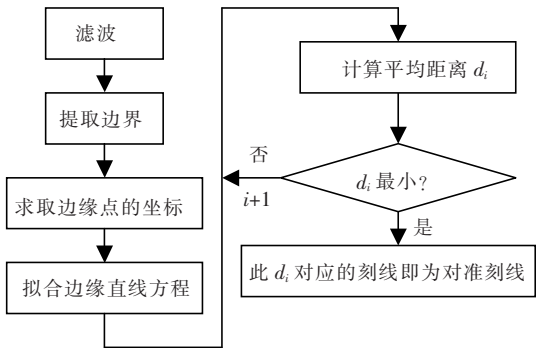


图 3 自动瞄准流程图
Fig. 3 Flow chart of auto-collimation

理论上刻度线之间应成平行线关系。要识别对准的那两根刻度线,只需求取游标和尺身上相邻的每两根刻度线之间的距离,若距离为 0 或满足系统允许误差范围即认为其是对准刻度线。实际应用中,由于游标卡尺在制造的过程中本身就存在误差,导致刻度线不可能完全平行,存在固有误差;其次,刻度线图像获取时,游标卡尺的摆放位置有一定的随机性,造成图像有一定程度的倾斜畸变,从而导致几何中心位置不准确甚至错误,进一步造成误识别。为了确保系统能准确识别出对准的刻度线,本文综合运用拟合直线并求取平均距离的方法来实现自动瞄准。模拟实验所采集的瞄准图像如图 4 所示。

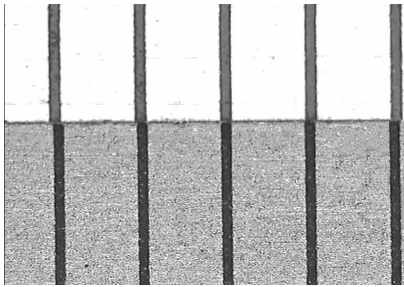


图 4 刻度线彩色图
Fig. 4 Color map of scale line

3.1 图像中值滤波

由于光、电等多种因素的作用,CCD 采集的图像不可避免地带有噪声。另外,图像信号在生成和传输过程中常受到各种噪声源的影响和干扰,导致图像质量变差,不仅影响图像的视觉效果,而且还会影响目标信息的获取及进一步处理。如果直接对这些图像进行边缘检测,会损失很多图像细节,检测效果很不理想,直接影响瞄准定位的精度,因此在图像处理中一个非常重要的课题就是对图像中所混有的噪声的滤除。非线性中值滤波方法可以在滤除噪声的同时保护图像信号的边缘使之不出现模糊现象,从而可以进一步提高其滤波性能,因此非常适用于线性滤波器无法胜任的数字图像处理^[7,8]。

根据以上讨论情况,设计中采用了一种基于中值滤波和数学形态学相结合的边缘检测方法,在对灰度图像和二值图像进行边缘检测时,能够有效地抑制噪声,保护边缘细节,提高检测精度。中值滤波的原理是把序列中一点的值,用该点邻域中各点值的中值来替代;在数字图像中,是把以某点 (i,j) 为中心的小窗口内的所有像素的灰度按从小到大的顺序排列,用中间值替代 (i,j) 处的原灰度值(若窗口中有偶数个像素,则取两个中间值的平均)^[6]。

使用中值滤波需要正确选择窗口的尺寸形状及掩膜大小。对于细节多、细线多的图像,可采用加权中值滤波^[9]。CCD 采集到刻度线的彩色图像,将其转化为 256 色的灰度图像,利用中值滤波去除点状尖峰干扰而边缘不会变坏。本文采用 3×3 邻域的矩形窗进行中值滤波。

3.2 数学形态学边缘检测^[10]

中值滤波后的图像还需进行二值化处理。由

于游标卡尺表面存在油污,光线散射等原因,图像二值化后,在刻度线部分仍有颗粒状噪声和细小孔洞存在[图 5(a)],所以在提取刻度线轮廓之前,还需采用形态学算子滤波^[5]。数学形态学的基本运算是集合、膨胀与腐蚀、开运算和闭运算、击中与击不中,其中膨胀与腐蚀是对偶关系。形态学的其它算法基本都是以这几种算法为基础的,其定义如下:

二值腐蚀:集合 A(输入图像)被集合 B(结构元素)腐蚀,表示为 $A \ominus B$, 定义为: $A \ominus B = \{x: B + x \subset A \neq \phi\}$ 。

二值膨胀:结构元素 B 对输入图像 A 的膨胀记为 $A \oplus B$, 定义为 $A \oplus B = \bigcup \{A + b: b \in B\} = \{x: (-B + x) \cap A\}$ 。

灰度值开运算:灰度值开运算是先作腐蚀再作膨胀的运算,定义为: $f \circ g = (f \ominus g) \oplus g$, 灰度值开运算具有非扩展性,即滤波结果总是位于原始图像的下方,它从图像的下方磨光图像灰度值向上突出的尖峰。

灰度值闭运算:其定义为: $f \cdot g = (f \oplus g) \ominus g$ 。灰度值闭运算具有扩展性,即滤波结果总是位于原始图像的上方,它从图像的上方磨光图像灰度值表面向下突出的尖峰^[11]。

传统的边缘检测算法一般利用梯度极大值或二阶导数过零点值来检测边缘,对噪声比较敏感,在处理含有噪声的图像时,易造成检测出的边缘模糊,效果不太理想。Canny 最优边缘检测算子采用与 Gaussian 函数的一阶导数相近的滤波函数,性能优于传统的边缘检测算子,但定位不够精确,且计算量较大。数学形态学建立在集合论的基础上,其基本思想是:用一定形态的结构元素去度量和提取图像中的对应形状以达到对图像分析和识别的目的。基于形态学的边缘信息提取不像微分算法那样对噪声敏感,同时计算量较小,并且可以通过改变结构元素和形态尺度的大小来克服噪声的影响。

设计中采用形态学中最基本的腐蚀和膨胀运算,通过腐蚀和膨胀构成的开运算与闭运算来平滑边缘,达到滤波的目的。腐蚀在数学形态学运算中的作用是消除物体边界点,腐蚀可以把小于结构元素的物体(如毛刺、小凸起)去除,如果两个物体之间有细小的连通,那么当结构元素足够大时,通过腐蚀运算可以将两个物体分开。反复使用腐蚀和

膨胀就可以检测或清除二值图像中的小成分或孔洞。最后得到刻度线的边缘图像如图 5(b)所示。

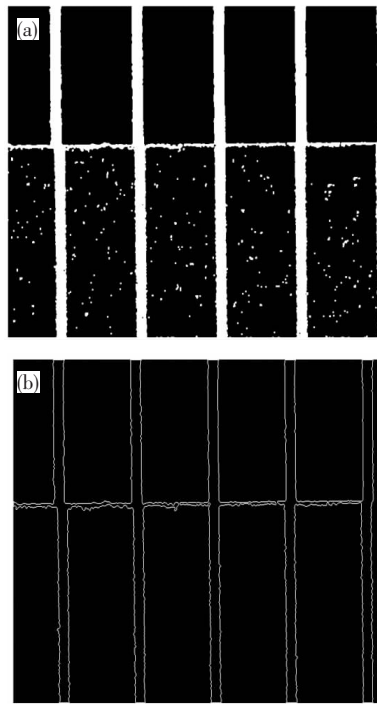


图 5 刻度线图像的二值化(a)与边缘图(b)
Fig. 5 Binary image (a) and edge image (b) of scale linea

3.3 自动瞄准算法原理

为了防止游标和尺身刻度线相接处的干扰,将图片中间相接处的线条清除,并将边缘线依次编号,如图 6 所示。分别求取每根线的 x 、 y 坐标,对上半边的边缘线用最小二乘拟合得到直线方程: $Ax + By + C = 0$, 根据点到直线的距离公式: $d = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Ax_i + By_i + C|}{\sqrt{A^2 + B^2}}$ 计算下半边对应直线上的点到该直线的距离, (x_i, y_i) 为下半边直线上点的坐标。然后对计算结果进行比较, 5 对刻线中

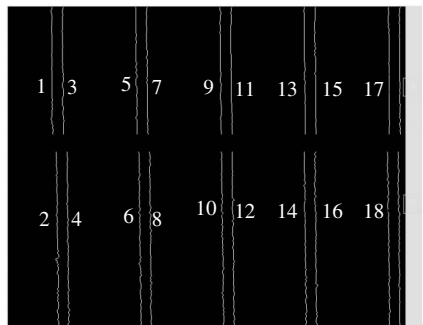


图 6 边缘线编号图
Fig. 6 Number graph of edge line

两个平均距离均最小的那一对即为对准刻线。

实验,计算结果数据见表 1。

3.4 模拟实验及结果

由表 1 中 d_i 的数值可知,第 3 对刻度线的 d_i 值最小。由标准块标定可知像素当量 $m=0.004\ 19\ \text{mm}$,则第三对刻度线之间的距离为 $\delta_1=d_5\times m=0.005\ 2\ \text{mm}$, $\delta_2=d_6\times m=0.002\ 6\ \text{mm}$,此时认为

实验中采用贵阳新天公司 JVT300 型号的复合型视频测量仪上的彩色 CCD 采集游标卡尺刻度线图像,选用最小档 4 倍的放大倍率进行模拟

表 1 模拟实验计算结果(单位:像素个数)					
Table 1 Results of simulation experiments (Units:Pixel number)					
	第一对	第二对	第三对	第四对	第五对
$d_i(i=1,2,\cdots 10)$	$d_1=3.802\ 7$	$d_3=1.549\ 1$	$d_5=1.247\ 7$	$d_7=4.023\ 6$	$d_9=8.208\ 1$
	$d_2=3.727\ 8$	$d_4=1.802\ 4$	$d_6=0.621\ 9$	$d_8=4.765\ 2$	$d_{10}=5.318\ 9$

该对刻度线所在位置即为瞄准点,这也与实际图像数据相吻合。

错位放大原理及中值滤波和形态学算子相结合的边缘检测方法实现了刻线的自动瞄准。该方法不但可以准确地识别出瞄准位置,定位精度可达微米数量级,而且可以实现测量过程的动态瞄准。

4 结 论

提出了一种图像式精密自动瞄准方法,利用

参 考 文 献:

[1] 高政,谢驰,李文涛,等. 基于摄像头的快速瞄准方法研究 [J]. 实用测试技术,2002,(1):10-11.

[2] 朱小平. CCD 传感器用于刻线自动瞄准的研究 [J]. 现代测量与实验室管理,2003,(1):15-17.

[3] Luo P F. Application of computer vision and laser interferometer to the inspection of line scale [J]. *Opt. and Lasers in Engineering*, 2004,(42):563-584.

[4] 马岩,胡君,吴伟平. 基于 CCD 成像单元仿真测试系统的实时性实现 [J]. 液晶与显示,2008,23(2):200-204.

[5] 王雷. 几何量测量中的瞄准现状分析 [J]. 计量与测试技术,2001,28(5):8-11.

[6] 王建民,浦昭邦,尹继学,等. 图像式显微自动调焦、瞄准系统的研究 [J]. 光学技术,2000,26(5):410-417.

[7] 何英,熊昌友,李俊强,等. 孔径测量中 CCD 瞄准方法与图像处理 [J]. 测量与检修,2002,22(5):10-19.

[8] 王伟,赵辉,陶卫. 自动瞄准系统中直线测量方法的研究与改进 [J]. 自动化仪表,2006,27(5):33-39.

[9] 谢驰,刘念. CCD 摄像快速瞄准的误差补偿方法研究 [J]. 激光杂志,2003,24(4):60-61.

[10] 刘清,林土胜. 基于数学形态学的图像边缘检测算法 [J]. 华南理工大学学报(自然科学版),2008,36(9):113-116.

[11] 孙宏琦,施维颖,巨永锋. 利用中值滤波进行图像处理 [J]. 长安大学学报(自然科学版),2003,23(2):104-106.

Auto-Collimation Method Based on Dislocation Enlarge Principle

WANG Qing-hui, LIU Du-xi

(Electrical and Mechanical College, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China, E-mail, ballooning117@163.com)

Abstract

An automatic collimation method based on CCD sensor was presented in this article. Using the vernier caliper's scale line, the practical collimation line was simulated. The dislocation enlarge principle and multiple datum points were participated in collimation at the same time. Median filtering

and morphological operator were combined to obtain the binary edge map. By fitting straight-line equation by least square method and calculating average distance, the collimation position was identified. The experiment result showed that this method can accurately identify the aligned lines, the positioning accuracy can reach micron grade, and has a certain practical value.

Key words: high precision collimation; median filtering; morphologic edge detection; least-squares fitting

作者简介:王青麾(1983—),女,陕西汉中,硕士研究生,研究方向为图像测量。



公差表示法

1. 参量与其公差单位相同时,单位可以只写 1 次。例如:“12.5 mm±0.2 mm”可写为“(12.5±0.2)mm”,但不得写作“12.5±0.2 mm”。公差用百分数表示时,例如:“λ=550 nm±2 %”这种表示是错误的,应为“λ=550×(1±0.02)nm”。
2. 参量的上、下公差虽不相等但单位相同时,公差分别写在参量的右上、右下角,且单位只写一次,例如:10^{+0.1}_{-0.2} g;当参量与公差单位不同时则要分别写出,例:30 cm⁺⁵₋₃ mm。
3. 参量上、下公差的有效数字应全部写出。例如:18^{+0.200}_{-0.255} mg。
4. 参量的上或下公差为“0”时,“0”前面的符号应省略。例如:273₀⁺¹ K。
5. 表示 2 个绝对值相等、公差相同的量值范围时,范围号不能省略。例如:(-7.0±0.5)~(7.0±0.5)℃。
6. 表示带百分数公差的中心值时,百分号只需写 1 次,且“%”前的中心值与公差应用括号括起来。例如:(65±0.5)%。

用阿拉伯数字表示的数值的书写规则

1. 4 位和 4 位以上的数字用三位分节法。例如:2 613.3,3.141 592 6,间隙大小为 1/4~1/2 个汉字。
2. 纯小数小数点前的“0”不能省略。
3. 多位数不能断开转行。例如:将一个小数从小数点处断开,小数点留在行末,小数点后的数字移下行行首。;将一个百分数在“%”前断开,将“%”移到下一行等。
4. 阿拉伯数字不能与除万、亿及 SI 词头中文字符号外的汉字数词连用。例如:“十二亿一千五百万”可以写成“121 500 万”或“12.15 亿”但不能写成“12 亿 1 千 5 百万”。
- 当百、千、兆等为法定单位词头时,可以与阿拉伯数字连用。例如:“5 000 米”可以写成“5 千米”,但“5 000 天”不能写成“5 千天”,天不允许加词头。
5. 数值的有效位数应全部写出。