

图像边缘特征分析*

吴晓波

(后勤工程学院自动化系 重庆 400041)

摘要 图像测量技术是近年来在测量领域中形成的新的测量技术。在图像测量方法中,精确地确定图像的边缘位置极为重要。本文首先简要对图像测量系统进行阐述后,着重对图像边缘特征进行分析,并指出,边缘特征点处斜率最大,从而为实现亚象元边缘检测提供了理论依据。

关键词 边缘 边缘检测 图像测量

1 引言

图像测量技术是近年来在测量领域中形成的新的测量技术^[1-5]。所谓图像测量就是测量被测对象时,把图像当作检测和传递信息的手段或载体加以利用的测量方法,其目的是从图像中提取有用的信号。图像测量系统的测量原理是通过处理被测物体图像的边缘而获得物体的几何参数。可见,在图像测量系统中,图像边缘检测是测量的基础和关键。

本文先给出图像测量系统结构,然后重点对图像边缘成像过程进行分析,并证明边缘特征点处斜率最大。这为进一步提高图像测量系统的测量精度而进行的亚象元边缘检测提供了理论依据。

2 图像测量系统

图像测量系统的结构主要由 CCD 摄像机、图像卡、计算机及其外设等组成,如图 1 所示。其工作过程为,将被测物体置于转台上并位于尽可能均匀照明的可控背景前,计算机控制转台带动物体作任意角度的转动,CCD 和图像卡将被测物体不同角度的图像采集到计算机里,计算机按一定的算法计算出被测物体的几何参数,最后计算机对这些数据进行各种处理并将结果按一定要求予以显示,存储,打印。

* 国家教委光电技术及系统开放研究实验室基金资助项目(CET D96- 06)

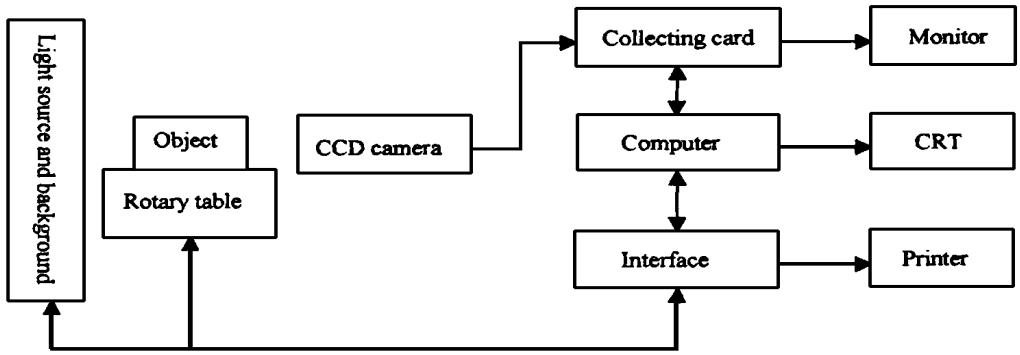


Fig.1 Schematic diagram of the image measurement system

3 边缘特征分析

设漫射光照下,一薄的无像差的正透镜对透射物成像的情况,如图2。此时下面的卷积成立:

$$I(x_i, y_i) = I_0(x_i, y_i) * |h(x_i, y_i)|^2 \quad (1)$$

式中 $I(x_i, y_i)$ 是衍射对象的光强函数, $I_0(x_i, y_i)$ 是几何光学理想像的光强函数, $|h(x_i, y_i)|^2$ 是点光源位于光轴时的衍射像。由傅里叶光学^[6]可知,像平面上以几何光学理想像点为中心产生各自的衍射斑,这些衍射斑的函数形式相同,都是透镜孔径的夫琅和费衍射图样,但受到对应物点光场的适当加权。系统的作用正是把物面上点的集合变换为像面上重叠的衍射斑的集合。因而像不再是物体的准确复现,而是物体的平滑变形。但在一定的近似条件下,下面将证明,边缘特征点处斜率最大。

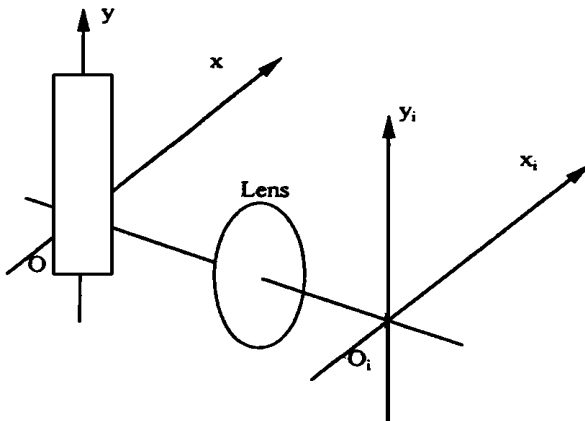


Fig.2 Coordinate system of object and image plans

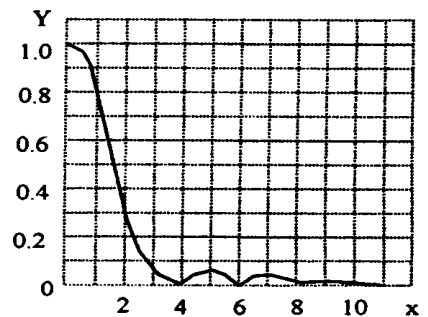


Fig.3 Function $y = \left[\frac{2J_1(x)}{x} \right]^2$

设 CCD 平面置于 (x_i, y_i) 平面,且 CCD 平面的行平行于 x_i 轴。如测量目标宽度,于是式

(1) 中的二维卷积可表示成一维的:

$$I(x_i) = I_0(x_i) * |h(x_i)|^2 \quad (2)$$

设成像放大率为 1, 输入光强函数为线宽函数, 即:

$$I_0(x_i) = I_0[u(-x_i - b) + u(x_i - b)] \quad (3)$$

式中 $u(\zeta) = \begin{cases} 1, & \zeta \geq 0 \\ 0, & \zeta < 0 \end{cases}$ 将式(3)代入式(2), 并对 x_i 求偏导, 得:

$$\frac{\partial I(x_i)}{\partial x_i} = I_0 |h(x_i - b)|^2 - I_0 |h(x_i + b)|^2 \quad (4)$$

由波动光学,

$$|h(x_i)|^2 = K(\lambda, A) \left[\frac{2J_1(Ax_i/2)}{Ax_i/2} \right]^2 \quad (5)$$

式中: λ 为输入光波长; A 为光瞳直径; $2b$ 为输入函数宽度; $J_1(x)$ 是贝塞尔函数。函数

$\left[\frac{2J_1(Ax_i/2)}{Ax_i/2} \right]^2$ 的图形如图 3。这个函数的特性为:

在原点 $x = 0$ 处函数取最大值, 且当 $|x| > 3.238\lambda d_2/A$ (d_2 为像距) 时, 函数值近似于零。因此, $x_i = b$ 和 $x_i = -b$ 时, 输出光强函数的导数为最大, 如图 4 所示。

对一般测量系统而言, 如果它的传递函数是对称的, 那么输出信号的导数最大值所对应的位置就是输入线宽函数的边缘点。文献[5]建立了图像测量系统的数学模型, 求出了整个系统的传递函数, 并证实了系统的传递是对称的。

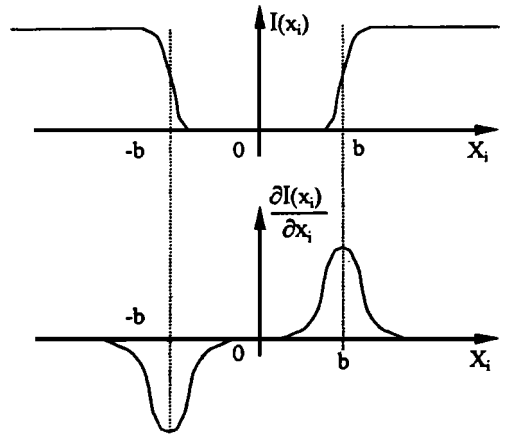


Fig. 4 Characteristic point of edge

4 边缘检测算法

图像最基本的特征是边缘。在图像处理中, 图像的边缘是图像分割所依赖的最重要的特征, 也是纹理特征的重要信息源和形状特征的基础。同时, 图像的边缘检测也是利用图像处理方法对物体进行非接触三维测量的关键技术。

从 60 年代以来, 已提出了许多图像边缘检测算法^[7-13], 这些边缘检测算法大致可分为以下几类: (1) 利用图像的一阶导数特性的边缘检测算法; (2) 利用图像的二阶导数特性的边缘检测算法; (3) 最优边缘检测器(滤波器)算法; (4) 其它边缘检测方法。

然而, 以上这些边缘检测算法所得到的边缘都具有一定的宽度, 尺寸分散, 检测分辨率低, 不能直接用于测量, 为满足图像测量的需要和提高测量分辨率, 经过 20 年来的努力, 国内外学者已提出了许多关于数字图像亚像元边缘检测算法。有关进展请参阅文献[14-19]。

5 结 论

本文首先简要对图像测量系统的测量原理进行阐述, 给出了图像测量系统的结构框图, 然

后对图像边缘成像过程进行分析并指出,边缘特征点处斜率最大。这为进一步提高图像测量系统的测量精度而进行的亚像元边缘检测算法的推导提供了理论依据。

参 考 文 献

- 1 Waldhausl P, Forkert G, Rasse M, Balogh B. Photogrammetric surveys of human faces for medical purposes. Proc SPIE, 1990, 1395: 704 ~ 710
- 2 Choate A G. Optical and digital processing techniques in a machine vision metrology system. Optical Engineering, 1989, 28(12) , 1311 ~ 1316
- 3 藤森直往. 新しい非接触寸法測定法とその应用. 機械の研究, 1993, 45(4), 429 ~ 435
- 4 吴晓波, 钟先信等. 高精度图像测量系统. 光学精密工程, 1995, 3(1), 28 ~ 33
- 5 吴晓波. 异形三维回转体亚像元轮廓图像测量技术的研究: [博士学位论文]. 重庆大学光电精密仪器系, 1995
- 6 吕乃光. 傅里叶光学. 北京: 机械工业出版社, 1988
- 7 Marr D C, Hildreth E C. Theory of edge detection. Proceedings of the Royal Society of London, 1980, B207: 187 ~ 217
- 8 Rosenfeld A, Kak A C. Digital picture processing. 2nd. New York: Academic Press, 1982, 2
- 9 Ulupinar F, Medioni G. Refining edge detected by a LoG operator. CH2605, 1998: 202 ~ 207
- 10 Haralick R M. Digital step edges from zero crossing of second directional derivative. PAMI, 1984, 6(1) : 58 ~ 68
- 11 Canny J A. Computational approach to edge detection. PAMI, 1986, 8(6) : 699 ~ 698
- 12 Huang J S, Tseng D H. Statistical theory of edge detection. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1988, 43: 337 ~ 346
- 13 Nalwa V S, Binford T O. On detecting edge. PAMI, 1986, 8(6) : 699 ~ 715
- 14 Tabatabai A J, Mitchell O R. Edge location to subpixel values in digital imagery. PAMI, 1984, 6(2) : 188 ~ 201
- 15 Huertes A, Medioni G. Detection of intensity changes with subpixel accuracy using Laplacian-Gaussian masks. PAMI, 1986, 8(5) : 651 ~ 664
- 16 Hyde P D, Davis L S. Subpixel edge estimation. Pattern Recognition, 1983, 16(4) : 413 ~ 420
- 17 Lyvers E P, Mitchell O R, Akey M L, Reeves A P. Subpixel measurements using a moment-based edge operator. PAMI, 1989, 11(12) : 1293 ~ 1309
- 18 Kisworo M, Venkatesh S, Vest G. Modeling edge at subpixel accuracy using the local energy approach. PAMI, 1994, 16(4) : 405 ~ 410
- 19 吴晓波. 亚像元边缘检测算法. 后勤工程学院学报, 1998, 14(2) : 1 ~ 4

Analyzing of the Characteristic of Image Edge

WU Xiao-Bo

(*Dept. of Automation of Logistical Engineering University, Chongqing 400041*)

Abstract

The technology of image measurement is a newly rising technology in the domain of the measurement recent year. It is very important to locate the position of image edge precisely using the method of image measurement. First, in this paper, we describe briefly the image measuring system, then analyze the characteristic of image edge and point out the gradient is the maximum at the characteristic points of edge. This provides the theoretic foundation for subpixel edge detection.

Key words: Edge, Edge detection, Image measurement

吴晓波 男, 1963 年 6 月生。1984 年后勤工程学院发供电与自动控制专业毕业获学士学位, 1992 年重庆大学自动化系获硕士学位, 1995 年在重庆大学光电精密仪器系获博士学位。所搞科研项目“空军某油库自动化系统工程”1988 年获军队科技进步二等奖; “异形曲面薄壁零件轮廓面非接触在线测量技术研究”, 1995 年获部委科技进步二等奖。已公开发表论文 16 篇。现正从事自动控制系统故障诊断、容错控制、图像处理及精密测量等研究工作。