

利用曲线拟合方法的亚像素提取算法^{*}

贺忠海 王宝光 廖怡白 陈林才

(天津大学精密测试技术及仪器国家重点实验室 天津 300072)

摘要 在图像测量系统中, 测量系统的精度与边缘提取的精度成直接的正比关系, 普通算法的精度为像素级, 现在最常用的亚像素算法是重心法。这里提出了一种利用曲线拟合方法的亚像素边缘提取算法, 介绍了算法的推导过程, 给出了算法的计算公式, 最后给出了实验结果。

关键词 曲线拟合 边缘提取 亚像素算法

Subpixel Algorithm Using a Curve Fitting Method

He Zhonghai Wang Baoguang Liao Yibai Chen Lincan

(State Key Laboratory of Precision Measuring Technology and Instruments, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract In an image measuring system, the precision of the measuring system is directly proportional to the precision of edge detection. The usual algorithm precision is pixel precision. The most commonly used subpixel algorithm is centroid method at present. In this paper an algorithm using curve fitting method is introduced. The deductive steps are introduced. The calculating formula of the algorithm is given. The precision of the algorithm is discussed. Finally experimental result is presented.

Key words Curve fitting Edge detection Subpixel algorithm

1 引言

图像测量技术是近期在测量领域形成的新的测量技术。它以光学为基础, 融光电子学、计算机技术、激光技术、图像处理技术等现代科学技术为一体, 组成光、机、电、算综合的测量系统。它广泛应用于几何量的尺寸测量、航空遥感测量、精密复杂零件的微尺寸测量和外观三维检测, 以及光波干涉图、应力应变场状态分布图等和图像有关的技术领域中。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, 其目的就是 from 图像中提取有用的信号, 图像测量的重要课题是正确的测量和处理图像。

2 现有算法综述

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, 图像边缘提取是测量的基础和关键。早期常用像素级边缘提取方法, 主要是一些经典的边缘提取算子算法, 如常用的梯度算子^[1]、Lapacian 算子^[2]、Kirsch 算子^[3]和门式算子^[4]等。这些算法的精度为 1 个像素精度, 即能判断出边缘在哪个像素内, 至于更准确的位置, 传统算法就不能判断了。

随着测量精度要求的提高, 像素级提取已经不能满足实际测量的需要, 因此需要更高精度的边缘提取算法, 即亚像素算法。亚像素级精度的算法是在经典算法的基础上发展起来的, 这些算法需先用经典算法找出边缘的像素级精度的位置, 然后使用周围像素的灰度值作为判断的补充信息, 使边缘定位于更加精确的位置。最早应用的亚像素算法是重心法^[5], 后来又发展了应用不同原理的亚像素提取算法, 如概率论法^[6], 解调测量法^[7], 多项式插值法^[8], 滤波重建法^[9]以及矩法^[10]等。这些算法的精度和抗噪声能力都不相同, 其

* 本文于 2001 年 6 月收到, 系国家自然科学基金(59875066)资助项目。

中以重心法的计算最简单,滤波重建法的精度最高,矩法对输入数据中的加性噪声和乘性噪声不敏感。

3 算法

3.1 边缘的灰度值

边缘的灰度值如图1(a)所示,两边等灰度值部分分别为背景和物体,中间灰度值的渐变部分为边缘引起的灰度值变化。由于光学元器件的卷积作用以及光学衍射作用,在物空间是剧变的灰度值经光学成像成为渐变的形式。考虑边缘的差分如图1(b)所示,物体在边缘处的差分值最大,这也是经典边缘提取的原理。根据中心极限定理,最后得到的边缘灰度值变化应当是高斯分布,即图1(b)中的曲线是高斯曲线的采样值,如图2所示,曲线的顶点对应边缘点的精确位置。

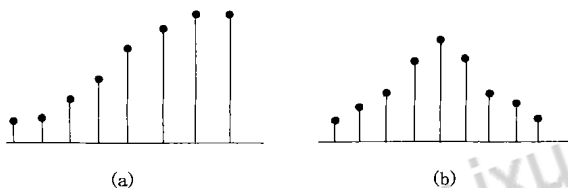


图1 (a) 图像边缘处的灰度值 (b) 边缘灰度值的差分

3.2 CCD 成像原理与方形孔径采样定理

CCD 是光积分器件,也就是说,它以固定大小的面积在固定的时间间隔内对投射在它感光面上的光强进行积分,输出的结果就是图像的灰度值。由于 CCD 的积分时间和积分面积是相对固定的,所以它的输出灰度值就只与它的感光面上的光强分布有关。对于某一个像素的灰度值输出可以表示为:

$$f(i, j) = \int_{j-1/2}^{j+1/2} \int_{i-1/2}^{i+1/2} g(x, y) dx dy \quad (1)$$

其中 $f(i, j)$ 为像素输出值,也就是灰度值, $g(x, y)$ 是连续图像的光强分布。由以上分析可以看出,像素的输出值是像素感光面上各部分光强综合作用的结果,这就是方形孔径采样定理(square aperture sampling)^[11],采样结果是一个以灰度值为数值的离散矩阵。

3.3 算法的推导

高斯曲线的表达式为 $y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$,

其中 μ 为均值, σ 是标准差。直接对此式进行拟合很困难,因为高斯曲线的积分表达式非常难求。这里的目的是找出曲线的顶点位置,把高斯曲线做一下变换,两边取对数得到下式:

$$\ln y = -\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2} + \ln \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}$$

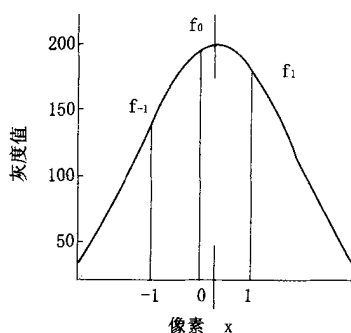


图2 高斯曲线拟合法

$$y^*(n) = \int_{n-1/2}^{n+1/2} (Ax^2 + Bx + C) dx$$

令差分最大的点的序号为 0, 值表示为 f_0 , 此点可用前述经典算法求出, 相邻的两个点的序号分别表示为 -1 和 1, 相应的值用 f_{-1} 和 f_1 表示, 可求出三个像素输出的灰度值如下所示:

$$\begin{aligned} f_{-1} &= \int_{-3/2}^{-1/2} (Ax^2 + Bx + C) dx \\ &= \frac{1}{3} Ax^3 + \frac{1}{2} Bx^2 + Cx \Big|_{-3/2}^{-1/2} \\ &= \frac{26}{24} A - B + C \end{aligned} \quad (2)$$

同样可得:

$$f_0 = \frac{1}{12} A + C \quad (3)$$

$$f_1 = \frac{26}{24} A + B + C \quad (4)$$

联合(2)~(4)式,可解出 A、B、C 得表达式如下所示:

$$A = \frac{1}{2} (f_1 + f_{-1} - 2f_0)$$

$$B = \frac{1}{2} (f_1 - f_{-1})$$

$$C = f_0 - \frac{1}{12} A = \frac{13}{12} f_0 - \frac{1}{24} f_{-1} - \frac{1}{24} f_1$$

抛物线的顶点的横坐标值为 $x = -\frac{B}{2A}$, 把上面的值代入, 得到抛物线的顶点坐标:

$$x = \frac{f_1 - f_{-1}}{2(2f_0 - f_{-1} - f_1)}$$

应当注意到解是把原高斯曲线取对数后得到的, 即像素的值取对数后符合二次曲线, 因此上式中的像素灰度值应当用对数值代替, 这样就得到亚像素边缘提取的公式:

$$x_g = \frac{\ln f_1 - \ln f_{-1}}{2(2\ln f_0 - \ln f_{-1} - \ln f_1)} \quad (5)$$

可以看出上式是对 x 的二次曲线, 这样就能用取对数后的值来拟合抛物线, 求出顶点坐标, 使计算大大简化。

设二次曲线的形式为 $y^* = Ax^2 + Bx + C$, 根据方形孔径采样定理, 每个像素输出的灰度值为:

4 实 验

为了验证算法的精度,进行了两方面的实验。首先,进行计算机仿真实验,用计算机产生理想边缘^[12],考虑到实际的光学系统和传感器对于图像的平滑作用,该图像经 3×3 邻域平滑后,生成实验用的标准测试图像。图像的信噪比定义为 $SNR = \frac{k}{\sigma}$,其中 k 为边缘两侧的灰度差, σ 为噪声标准差。表 1 给出了图像的信噪比与边缘点定位精度的标准差 σ 之间的实验数据, σ 是计算边缘点与理想边缘点位置误差的标准差,从表中实验数据可以看出边缘点的定位精度随噪声增大而降低。

表 1 定位标准差(单位:像素)关于 SNR 的实验结果

SNR	50	30	10	
σ	0.03	0.05	0.07	0.11

第二个试验采用实际成像物体进行实验。图 3 为直线边缘的物体所成的像,首先计算出单个的像素坐标值,所得的像素坐标经直线拟合作为标准坐标,单点与直线上对应点的坐标差作为算法偏差。对于图 3 所示图像,图像信噪比经计算为 $30^{[13]}$,最后得到的标准偏差为 0.09。可以看出,实际图像的标准差要大于测试图像的标准差,这是由于光学系统的误差、摄像机标定误差等多种因素所引起的。



图 3 实际物体所成的像

5 结 论

以 CCD 成像基本原理为基础,利用曲线拟和方法计算边缘亚像素坐标,新方法计算精度高,抗噪声能力强,有很强的实用价值。

参考文献

1 Roberts L. G. Machine Perception of Three-dimensional Solids [M], J. T. Tippett et al. Eds , Optical and Electrooptical Information processing, MIT Press, 1965

2 Prewitt J. Object enhancement and extraction [M]. Academic Press, New York, 1970

3 Kirsch R. Computer determination of the constituent structure of biological images [J]. Computer and Biomedical Research. 1971, 14 (3).

4 Rosenfeld A, Thurston M. Edge and curve detection for visual scene analysis [J]. IEEE Trans, 1971, C-20 (5).

5 M. Elbaum, P. Diamant. Estimation of image centroid, size and orientation with laser radar [J]. Applied optics, 1977, 6: 2438~ 2440

6 郭彦珍,尹国鑫.应用概率论提高 CCD 尺寸测量的分辨力[J].仪器仪表学报,1988,9(2): 149~ 154

7 邹仲力.提高 CCD 尺寸测量分辨力的解调测量法[J].仪器仪表学报,1986,7(1): 38~ 45

8 吴晓波,钟先信,等.应用多项式插值函数提高面阵 CCD 尺寸测量的分辨力[J].仪器仪表学报,1996,17 (2): 154~ 158

9 P. Seitz. Optical superresolution using solid-state cameras and digital signal processing [J]. Optical engineering, 1988, 27(7): 535~ 540

10 E. P. Lyvers, O. R. Mitchell, et al. Subpixel measurements using a moment-based edge operator [J]. IEEE transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1989, 11(12): 1293~ 1308

11 E. P. Lyvers, O. R. Mitchell. Precision edge contrast and orientation estimation [J]. IEEE Trans on PAMI, 1988, 10(6): 927~ 937.

12 Ian Overington, Philip Greenway. Accurate local form and motion extraction by a composite 1st and 2nd difference processor based on an interpretation of human vision[C]. SPIE, 1986, 726: 188~ 196

13 S. I. Olsen. Estimation of noise in images: an evaluation [J]. CVGIP: models and image processing, 1993, 55(4): 319~ 323



知网查重限时 7折 最高可优惠 120元

本科定稿，硕博定稿，查重结果与学校一致

立即检测

免费论文查重：<http://www.paperyy.com>

3亿免费文献下载：<http://www.ixueshu.com>

超值论文自动降重：http://www.paperyy.com/reduce_repetition

PPT免费模版下载：<http://ppt.ixueshu.com>

阅读此文的还阅读了：

- [1. 关于曲线拟合的方法探讨](#)
- [2. 试论磁化曲线的连续可导拟合方法](#)
- [3. Matlab中曲线拟合的方法](#)
- [4. 基于滚圆方法的修边镶块曲线快速拟合算法研究](#)
- [5. 曲线的拟合](#)
- [6. 标准击实试验的曲线拟合方法](#)
- [7. 利用曲线拟合方法的亚像素提取算法](#)
- [8. 利用Origin软件实现自定义曲线拟合](#)
- [9. 用MATLAB进行曲线拟合的方法](#)
- [10. 地图曲线拟合方法的探讨](#)
- [11. 基于曲线拟合的投影算法的研究](#)
- [12. 基于NURBS曲线拟合的图像亚像素边缘提取方法](#)
- [13. 基于Matlab和Lingo的曲线拟合方法比较](#)
- [14. 用曲线拟合实现硅传感器温度补偿算法](#)
- [15. 拟合曲线光顺方法的研究](#)
- [16. 干涉条纹的拟合自动提取算法](#)
- [17. C++实现正弦曲线拟合的算法分析](#)
- [18. 基于Hermite算法的曲线拟合](#)
- [19. 利用二次曲线拟合的CCD图像亚像素提取算法](#)
- [20. 利用曲线面变形提取产品形态体特征的方法研究](#)
- [21. 磁瓦表面图像的曲线拟合缺陷提取方法](#)
- [22. 一种基于骨架算法的人体动态特征曲线提取算法](#)
- [23. 曲线拟合-遗传算法联合预测分级加载下的路基沉降](#)
- [24. 基于曲线拟合的棋盘角点提取算法](#)
- [25. 曲线拟合与特征点相结合的鞋印外轮廓特征提取算法](#)

- [26. 基于高斯积分曲线拟合的亚像素边缘提取算法](#)
- [27. 利用GETDATA和MATLAB拟合曲线函数](#)
- [28. 基于曲线拟合的亚像素边缘定位方法的研究](#)
- [29. 标准曲线拟合方法的改进](#)
- [30. 基于拟合的亚像素边缘检测的算法比较](#)
- [31. 基于滑动边缘点的高斯拟合亚像素定位算法](#)
- [32. 工件三维测量的激光线亚像素提取方法研究](#)
- [33. 基于二次曲线拟合的图像亚像素边缘定位算法](#)
- [34. 基于曲线拟合的Placido图像中心提取方法](#)
- [35. LMS方法拟合肺活量曲线](#)
- [36. 曲线拟合的方法](#)
- [37. 一种利用Fourier-Mellin变换和曲线拟合的遥感图像亚像素配准方法](#)
- [38. 一种基于骨架算法的人体动态特征曲线提取算法](#)
- [39. Clothoid曲线拟合及插补方法](#)
- [40. 基于matlab的电机拖动实验的曲线拟合方法](#)
- [41. 曲线拟合后再拟合探讨](#)
- [42. 电机空载曲线的分段拟合及算法](#)
- [43. LNG储罐液位测控曲线分段拟合算法研究](#)
- [44. 异步电机空载实验曲线的拟合方法研究](#)
- [45. 一种实时选取曲线拟合形式的计算方法](#)
- [46. 利用曲线拟合改善压控衰减器精度的方法](#)
- [47. 一种拟合曲线的新拟合算法](#)
- [48. 指纹曲线的拟合](#)
- [49. 水泵扬程—NPSH曲线拟合方法](#)
- [50. 粒子群算法在曲线拟合中的应用](#)