

高斯拟合亚像素边缘检测算法

尚雅层, 陈 静, 田军委

(西安工业大学 机电工程学院, 西安 710032)

(hailingmm123@163.com)

摘 要:针对传统边缘检测算法的定位精度低、对噪声敏感等缺点,提出基于函数曲线拟合的亚像素边缘检测算法——梯度方向高斯曲线拟合亚像素定位算法。该方法首先在边缘附近选取一系列点,求得这些点的灰度值,进而求得这些点的梯度值,然后运用高斯曲线来对这些点的梯度值进行拟合,最后通过拟合曲线求得高斯曲线的对称轴位置即为亚像素位置。实验表明该算法能够很好地实现亚像素定位,通过与其他两种亚像素定位算法的比较,得出该算法运行时间较短,效率较高。

关键词:图像处理;亚像素;边缘检测;高斯拟合;最小二乘法

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A

Sub-pixel edge detection algorithm based on Gauss fitting

SHANG Ya-ceng, CHEN Jing, TIAN Jun-wei

(School of Mechatronic Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an Shaanxi 710032, China)

Abstract: Concerning the low accuracy in localization and sensitivity to noise in traditional edge detection algorithms, a sub-pixel edge detection algorithm based on function curve fitting, Gauss fitting of gradient direction sub-pixel edge detection algorithm was proposed. This method firstly chose a series of points near the edge, then got the grey level of these points, and then tried to get the gradient level of these points. Then Gauss curves were used to fit the gradient levels of these points. Finally the axis of the Gauss curves was got by fitting, and the position of axis would be the sub-pixel edge position. The experimental results show that this algorithm can localize the sub-pixel edge position accurately. The comparison with other two algorithms shows that the running time of this algorithm is shorter, and the efficiency is relatively higher.

Key words: image processing; sub-pixel; edge detection; Gauss fitting; least square method

0 引言

采用视觉技术对刀具的尺寸进行检测,具有非接触、高精度、高效率、成本低等许多优点。其原理就是通过处理刀具图像的边缘而获得刀具的尺寸,所以进行边缘提取是对刀具尺寸测量的基本任务,它对刀具尺寸的精度有很大的影响^[1]。因此边缘检测技术是刀具尺寸测量的核心技术。

边缘检测的实质是通过一些算法来提取图像中灰度不连续的边缘像素,而传统边缘检测算法是考查图像的每个像素在某个区域内灰度的变化,如 Sobel 算子、Laplacian 算子和 Robert 算子^[2-4]等,形式简单,易于实现,但定位精度差,只有整个像素级的精度,实际上,边缘的位置存在于像素的任何位置,并且微分算子对噪声非常敏感,常会产生一些伪边缘等,随着工业检测等对精度要求的不断提高,传统边缘检测算法已经不能满足实际测量的需要。

为了解决这个问题,从 20 世纪 70 年代起,就有不少专家提出了一些有效的亚像素定位方法。这些算法可以突破 CCD 相机分辨率的限制,使图像的边缘定位达到亚像素级,从而提高图像测量系统的检测精度。目前国内外研究的亚像素边缘检测理论与技术,在数学上可以归纳为插值法^[5-6]、拟合法^[7-8]、矩方法^[9-11]三种类型。这些算法都是采用传统边缘检测算法进行粗定位,使用指针进行处理,需要花费大量时间,为此本文提出了一种新的亚像素定位方法——梯度方向

高斯曲线拟合亚像素定位算法,很好地解决了上述问题。

1 亚像素边缘检测原理

梯度方向高斯曲线拟合亚像素定位算法的思想是对于 $M \times N$ 的图像,首先在图像边缘选取某一邻域 U ,譬如 $U(P_0, \delta) = \{(x, y) | x = x_0, |y - y_0| < \delta\}$,设 H 是在该邻域内的矩阵,表示在邻域内 (i, j) 点的灰度值,求得灰度矩阵 H 。

$$H = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_i \end{bmatrix}; i = 1, 2, \dots, N$$

若灰度分布函数为 $y = f(x)$,则 $t = f'(x)$ 即为梯度函数,使得 $f''(x) = 0$ 的点即为灰度分布特征点,且灰度分布特征点由灰度分布函数唯一确定,该特征点是灰度分布函数的一阶导数的凹点或凸点,如图 1(a) 的 k 点即为灰度分布特征点,图 1(b) 为实际边缘的梯度图。由图 1 可见,在特征点 k 的两边分别单调递减和单调递增,因此在 k 点必然形成一个凹点或凸点,因此要得到灰度分布特征点,只要求得梯度分布曲线的凹点或凸点即可。

2 高斯曲线拟合点的提取

根据灰度值求得梯度值,根据梯度值进行高斯拟合。由于检测出的点并不是所有的点都是有用点,如图 2(a) 所

收稿日期:2010-05-23;修回日期:2010-07-13。 基金项目:陕西省科学技术研究发展计划项目(2010K08-16)。

作者简介:尚雅层(1966-),女,陕西西安人,教授,主要研究方向:数字图像处理、数控系统软硬件设计; 陈静(1986-),女,江苏扬州人,硕士研究生,主要研究方向:数字图像处理; 田军委(1973-),男,陕西西安人,副教授,博士,主要研究方向:数字图像处理、机器视觉、模式识别。

示,其中的1,2,3,4,5,6,7点是有用点,而8,9点为无用点。如果用了会影响拟合结果,如图2(b)所示,点线拟合出高斯曲线的对称轴,正确的拟合应该是梯度曲线和拟合曲线的对称轴重合,很明显图2(b)不正确。为了正确地检测出边缘,必须从所有的点里面选出有用点,对图2(a)只采用1,2,3,4,5,6,7这几个点,拟合出的结果如图2(c)所示,该图中点线也是梯度曲线的对称轴。哪些点才是有用点应根据梯度函数来选取。

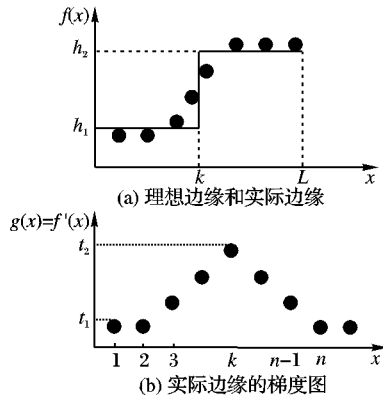


图1 一维理想节约边缘模型

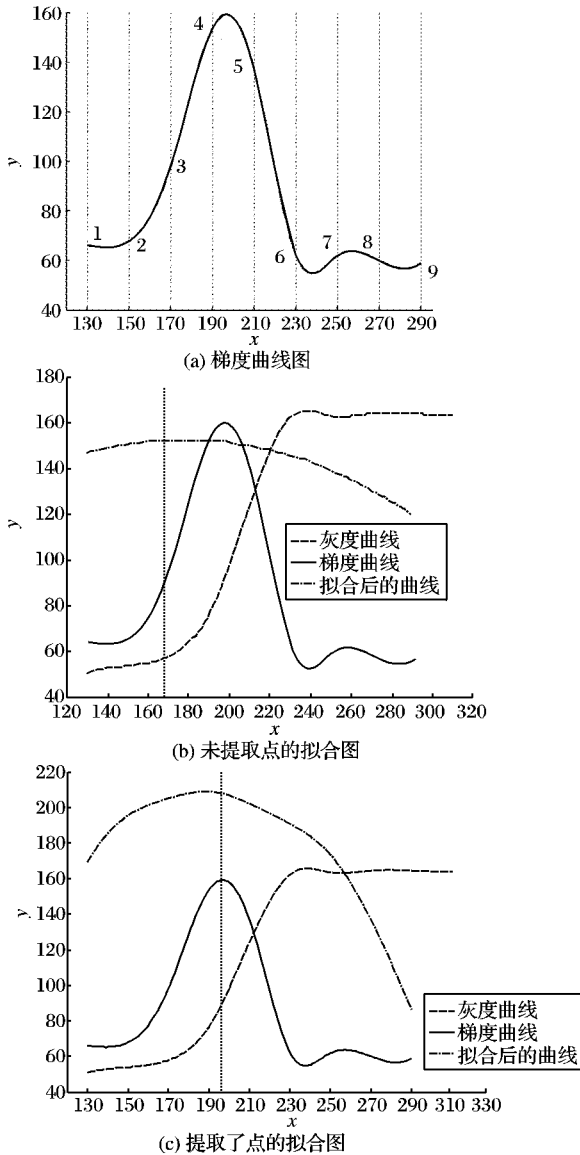


图2 拟合点的提取

根据梯度函数的曲线形状,有如下判断法则:

- 1) 从第一个点开始,依次计算 $t_i = g(x_{i+1}) - g(x_i)$ 的值,若 $t_i < t_e$ (t_e 是自己定的一个阈值), $t_{i+1} > t_e$, 则记下此时的 x_i , 该点即为起始点;
- 2) 若 $t_i > t_e, t_{i+1} < t_e, t_{i+2} > t_e$, 则继续计算后面的点;
- 3) 若 $t_i > t_e, t_{i+1} < t_e, t_{i+2} < t_e$, 则记下此时的 x_{i+1} , 即为终点值。

根据上述判断法则筛选出有用点,通过筛选出的有用点进行高斯拟合。

3 高斯曲线拟合算法

由梯度值得到的是离散的点,必须将离散点拟合为一条连续的曲线,通过曲线来求曲线的对称轴线的坐标,沿某一梯度方向灰度的一阶导数近似为高斯分布,并且高斯分布的中心即高斯分布的均值是在沿该梯度方向灰度变化最大的地方,也就是边缘所在之处,因此只要求出高斯分布的均值,就可以准确定位亚像素边缘坐标。

高斯曲线的表达式为:

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

其中: μ 为均值(即位置参数), σ 为标准差。直接对式(1)进行拟合很困难。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:

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

可以看出式(2)形如 $y = ax^2 + bx + c$, 是一条典型的对 x 的二次曲线,这样就能用取对数后的值来拟合出抛物线,求出顶点坐标,使计算大大简化。

用于拟合边缘信号的曲线方程为 $y = ax^2 + bx + c$, 由最小二乘法原理求取参数 a, b, c , 使误差平方和 S 最小。

$$S = \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - bx_i - c)^2 \quad (3)$$

将 S 分别对 a, b, c 求偏微分,并分别令其偏微分等于0,求得:

$$\begin{cases} a = \frac{d \times e - f \times g}{h \times d - g \times g} \\ b = \frac{f - g \times a}{d} \\ c = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i - a \times \sum_{i=1}^n x_i^2 - b \times \sum_{i=1}^n x_i \right) \end{cases} \quad (4)$$

其中:

$$\begin{cases} d = n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i \\ e = n \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i - \sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i \\ f = n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i \\ g = n \sum_{i=1}^n x_i^3 - \sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n x_i \\ h = n \sum_{i=1}^n x_i^4 - \sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n x_i^2 \end{cases} \quad (5)$$

应当注意到,解是在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,因此上述中的 y 应当用对数值代替。

进而求出 μ 和 σ :

$$\begin{cases} \mu = -b/(2 \times a) \\ \sigma = \sqrt{\frac{-1}{2 \times a}} \end{cases} \quad (6)$$

μ 值即为亚像素值。

由于过同一边缘点的任意方向求出的亚像素值相等即图像在同一边缘处具有旋转不变性,因此,求取亚像素值对选取的直线方向没有特别的要求,任何方向都可以。

4 实验结果分析

本文算法是利用 C# 语言在 VS2005 平台上编写的程序,用该平台对拍摄好的刀具图像进行实验。首先在刀具图像上过同一点选三个方向的直线,分别求出这三个方向的灰度曲线,如图 3(a) 所示,由图可见三条灰度曲线的不同之处在于它们的倾斜程度不一样,分别求出它们的梯度曲线,如图 3(b) 所示,三条高斯曲线的对称轴的位置相同,即三个不同方向的直线得到的亚像素值相同。

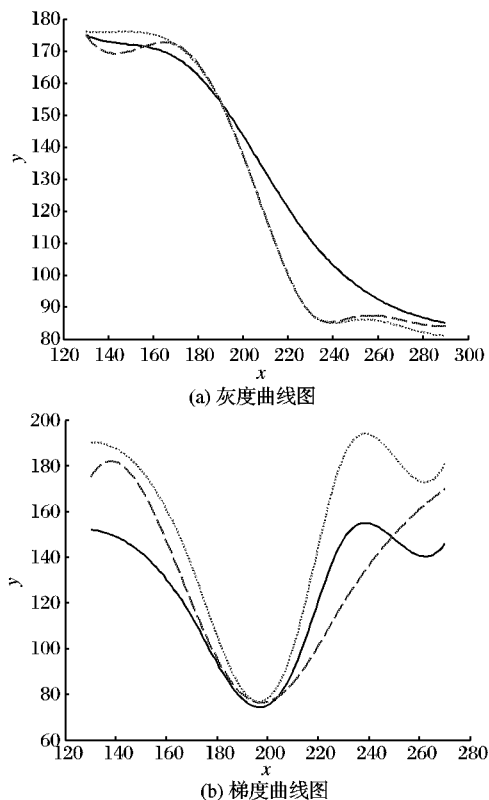


图 3 三个方向的灰度图与梯度图

表 1 不同角度的直线得到的亚像素值

角/(°)	亚像素位置	角/(°)	亚像素位置
30	786.96	120	786.96
45	786.96	135	786.96
60	786.96	150	786.96
90	786.96	180	786.96

求出 90° 方向某一条直线处边缘的亚像素值,结果为 786.9603,过该求出的亚像素坐标值,旋转直线到一定角度,

得到新的直线,通过新的直线取过边缘的点,得到其灰度值,进而得到梯度值,再根据此梯度值得得亚像素值。分别取表 1 中所示的角度,并求出这些方向的亚像素值,由表 1 可知,该值不变,因而具有旋转不变性。

其次,对同一幅 2592×1944 图像,分别采用高斯拟合亚像素定位算法、基于 LOG 算子的亚像素定位算法以及基于二次插值的亚像素定位算法进行亚像素定位,分别得到它们的亚像素位置及定位时间如表 2 所示。由表 2 可知,三种亚像素定位算法的亚像素位置值差别不大,但三者的运行时间差别较大,其中高斯拟合亚像素定位算法运行时间较短,效率较高。

表 2 三种亚像素定位算法运行时间对比

亚像素算法	计算值/像素	运行时间/ms
基于 LOG 算子的亚像素定位算法	786.97	145.6379
基于二次插值的亚像素定位算法	786.93	81.1562
高斯拟合亚像素定位算法	786.96	80.6392

5 结语

为了提高检测效率,本文并没有采用传统边缘检测算法进行粗定位,而是在待测边缘的附近先取一点,接着在这点的某一方向取几个点,然后用高斯模型对其梯度进行拟合从而得到亚像素位置。并通过实验验证了在待测边缘的任意方向选取的点得到的亚像素值不变,即具有旋转不变性。

经过与其他两种亚像素边缘检测算法的运行时间进行比较,可以看出本文算法的运行速度快、效率高、实时性强,在刀具参数检测方面有较好的应用前景。

参考文献:

- [1] 邹福辉,李忠科. 图像边缘检测算法的对比分析[J]. 计算机应用, 2008, 28(1): 215-219.
- [2] 赵芳,栾晓明,孙越. 数字图像几种边缘检测算子检测比较分析[J]. 自动化技术与应用, 2009, 28(3): 68-72.
- [3] 朱振伟,刘广瑞,刘巧红. 一阶边缘检测算法的研究[J]. 现代电子技术, 2009, 32(24): 88-90.
- [4] 刘蕊,陈红卫. 一种改进的图像边缘检测算法[J]. 科学技术与工程, 2009, 9(21): 6395-6398.
- [5] 高娟,段中兴. 基于数学形态学的套印偏差自动检测算法[J]. 计算机应用, 2010, 30(2): 437-440.
- [6] COLEMAN S A, SCOTNEY B W, HERRON M G. A validated edge model technique for the empirical performance evaluation of discrete zero-crossing methods[J]. Image and Vision Computing, 2007, 25(6): 1315-1328.
- [7] 常治学,王培昌,张秀峰. 基于抛物线拟合的十字激光图像屋脊边缘检测[J]. 光电工程, 2009, 36(5): 93-97.
- [8] ANGELA C, ALFREDO C, REMO S, *et al.* Hyperbolic tangent algorithm for periodic effect cancellation in sub-pixel resolution edge displacement measurement[J]. Measurement, 2009, 42(4): 1226-1232.
- [9] 曲迎东,李荣德,袁晓光,等. 两级 Zernike 矩算子的快速亚像素边缘检测[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2009, 41(5): 178-180.
- [10] 高世一,赵明扬,张雷,等. 基于 Zernike 正交矩的图像亚像素边缘检测算法改进[J]. 自动化学报, 2008, 34(9): 1163-1168.
- [11] ZHAO P, QIANG N G, BANG P Z. Simultaneous perimeter measurement for multiple planar objects[J]. Optics and Laser Technology, 2009, 41(5): 186-192.