

一种基于高阶曲面拟合的图像边缘检测方法^{*}

王 蜂,王光华,刘文涛

(第二炮兵工程学院,西安 710025)

摘 要:提出一种基于高阶曲面拟合的边缘检测方法,首先对图像进行自适应 Wiener 滤波,然后用一个邻域内的像素点来拟合一个高阶曲面,由此计算该点的梯度值,再依据梯度方向对梯度值进行抑制,最后依据统计特性选取阈值,得到边缘图像。仿真实验表明,该方法计算梯度准确,定位精度较其他方法更高,适合各种类型的边缘。

关键词:边缘检测;曲面拟合;梯度

中图分类号:TP391.4 **文献标志码:**A

A Method of Edge Image Detection Based on Higher Order Surface Fitting

WANG Feng, WANG Guanghua, LIU Wentao

(The Second Artillery Engineering College, Xi'an 710025, China)

Abstract: An image edge detection method based on higher order curve fitting was presented in this paper. Firstly, the adaptive wiener filter was used for image filter. Secondly, a higher order surface was fitted with neighbor pixels and the gradient was calculated. Then, gradient direction was used to suppress the gradient. Finally, the thresh was chosen with statistical method and the edge image was obtained. The simulation results show the gradient is more accurate, the position precision is higher than other methods and it fits for all kinds of edges.

Keywords: edge detection; surface fitting; gradient

0 引言

边缘检测是图像处理、图像分析和计算机视觉领域中研究的主要内容之一,是进行模式识别和图像信息提取的基本手段。目前,比较典型的图像边缘检测方法有微分法,如 Roberts 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子,这类算法产生的边缘较宽,影响了边缘定位的精度,在此基础上发展起来的有最优算子法,如 LoG 算子、Canny 算子。LoG 算子依赖高斯滤波器尺度因子 ρ 的选取。 ρ 过大,滤波效果好,但会使边缘发生偏移; ρ 过小,边缘定位精度高,但边缘细节变化多,信噪比低。Canny 算子具有良好的边缘检测性能和信噪比,但容易丢失细节信息。

文中提出一种基于高阶曲面拟合的边缘检测方法,首先对图像进行自适应 Wiener 滤波,再

用 3×3 邻域内的 9 个像素点来拟合一个高阶曲面,由此计算该点的梯度值,然后依据梯度方向对梯度值进行抑制,最后依据统计特性选取阈值,得到边缘图像。由此计算的梯度准确,边缘定位精度较好。

1 基本原理

数字图像可看作一个离散化的空间曲面,根据某个邻域内像素的坐标及其灰度值,用一个高阶曲面来拟合这个空间曲面,这样图像便可以用一个精确的数学模型来描述,从而准确获取图像的梯度信息。为了消除噪声的影响,先对图像进行 Wiener 滤波处理。

1.1 Wiener 滤波

Wiener 滤波是一种自适应滤波,它比相应的线性滤波的效果好,可以较好的保持图像的边

^{*} 收稿日期:2007-07-18

作者简介:王蜂(1965—),男,安徽人,副教授,研究方向:模式识别与智能控制。

缘和低频细节信息,它对于白噪声的图像滤波效果更好。

滤波方法是:首先估计出像素的局部矩阵均值和方差。

$$\text{其中均值 } \mu = \frac{1}{MN} \sum_{n_1, n_2 \in \eta} a(n_1, n_2)$$

$$\text{方差 } \sigma^2 = \frac{1}{MN} \sum_{n_1, n_2 \in \eta} a^2(n_1, n_2) - \mu^2$$

其中: M, N 是局部矩阵的行列大小, n_1, n_2 是行列值, μ 为均值, σ 为方差, η 是图像中每个像素的 $M \times N$ 的邻域(可选择为 3×3 的邻域), $a(n_1, n_2)$ 为像素值。

最后,对每一个像素利用 Wiener 滤波器估计出其灰度值:

$$b(n_1, n_2) = \mu + \frac{\sigma^2 - \nu^2}{\sigma^2} (a(n_1, n_2) - \mu)$$

$b(n_1, n_2)$ 为滤波后的像素值, ν^2 是图像中噪声的方差。

1.2 曲面拟合

把滤波过后的图像看作一个三维空间曲面,

$$A = \begin{bmatrix} 9x^4 + 36x^2 + 6 & (3x^2 + 2)(3y^2 + 2) & 3y(3x^3 + 6x) & 9x^3 + 18x & 3y(3x^2 + 2) & 3(3x^2 + 2) \\ (3x^2 + 2)(3y^2 + 2) & 9y^4 + 36y^2 + 6 & 3x(3y^3 + 6y) & 3x(3y^2 + 2) & 9y^3 + 18y & 9y^2 + 6 \\ 3y(3x^3 + 6x) & 3x(3y^3 + 6y) & (3x^2 + 2)(3y^2 + 2) & 3y(3x^2 + 2) & 3x(3y^2 + 2) & 9xy \\ 9x^3 + 18x & 3x(3y^2 + 2) & 3y(3x^2 + 2) & 9x^2 + 6 & 9xy & 9x \\ 3y(3x^2 + 2) & 9y^3 + 18y & 3x(3y^2 + 2) & 9xy & 9y^2 + 6 & 9y \\ 3(3x^2 + 2) & 9y^2 + 6 & 9xy & 9x & 9y & 9 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} \sum f(x, y)x^2 \\ \sum f(x, y)y^2 \\ \sum f(x, y)xy \\ \sum f(x, y)x \\ \sum f(x, y)y \\ \sum f(x, y) \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \end{bmatrix}$$

根据曲面方程计算梯度幅值和方向:

$$\text{沿 } y \text{ 方向的梯度 } \frac{\partial g}{\partial y} = 2by + cx + e$$

$$\text{沿 } x \text{ 方向的梯度 } \frac{\partial g}{\partial x} = 2ax + cy + d$$

该点梯度幅值为:

$$|G(x, y)| = \left[\left(\frac{\partial g}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

用像素点邻域内的像素值去拟合该曲面,得到空间曲面方程,由此计算该点的梯度。

文中采用一个 3×3 邻域,用 9 个点拟合一个二阶曲面。各像素点的位置关系如表 1 所示。

表 1 像素点的位置关系

$f(x-1, y-1)$	$f(x-1, y)$	$f(x-1, y+1)$
$f(x, y-1)$	$f(x, y)$	$f(x, y+1)$
$f(x+1, y-1)$	$f(x+1, y)$	$f(x+1, y+1)$

选取的二阶曲面的参数方程为:

$$g(x, y) = ax^2 + by^2 + cxy + dx + ey + f$$

二阶曲面与真实曲面的均方差:

$$\epsilon = \sum [g(x, y) - f(x, y)]^2$$

按照均方差最小的原则,则:

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial a} = \frac{\partial \epsilon}{\partial b} = \frac{\partial \epsilon}{\partial c} = \frac{\partial \epsilon}{\partial d} = \frac{\partial \epsilon}{\partial e} = \frac{\partial \epsilon}{\partial f} = 0$$

由此求出参数 a, b, c, d, e, f , 得到曲面方程。

最终可推导出:

$$AX = C \quad X = A^{-1}C$$

其中:

$$\text{梯度方向为: } \alpha = \arctan \begin{bmatrix} \frac{\partial g}{\partial y} \\ \frac{\partial g}{\partial x} \end{bmatrix}$$

1.3 对梯度值进行抑制

把梯度的方向划分为 4 个方向,计算该点的方向梯度,在该方向上,把该点的梯度值与它相邻的两个

表 2 梯度的方向划分

d	b	c
a	$ G(x, y) $	a
c	b	d

梯度值进行比较,如果为极大值,则保持不变,否则,则将该点的梯度设为 0,从而对梯度进行抑制,可以达到细化的目的。

1.4 用统计方法进行阈值的选取

对梯度图像进行归一化,获得梯度直方图(如图 1 所示, th 为阈值)。由直方图可知,非边缘点梯度值小,数量多,边缘点的梯度值大,数量少。非边缘点在图像中占的比重较大,这样可以

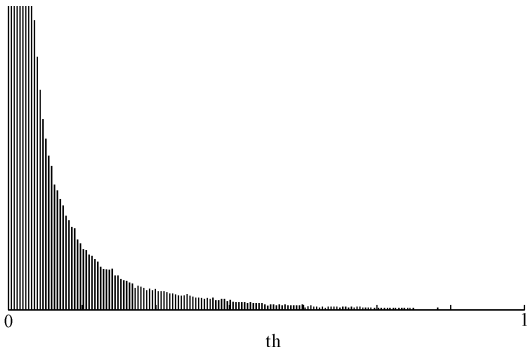


图 1 图像梯度直方图

在直方图中按梯度值由小到大统计像素点数量,当该数量达到总像素点的一定比例(75%~85%)时,对应的梯度作为阈值 th ,从而进行二值化,获得边缘图像。

2 仿真实验

以 MATLAB 为编程工具,对上述方法进行实验,同时给出 Sobel 算子、LoG 算子、Canny 算子的实验结果,边缘检测的结果如图 2~图 6 所示。为便于显示观看,将边缘图像进行了反色。从实验的结果来看,同其他几种算子相比,文中的方法是可行的。



图 2 Lena 原图

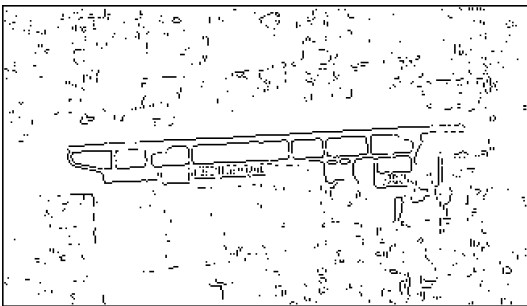


图 3 Sobel 算子检测结果

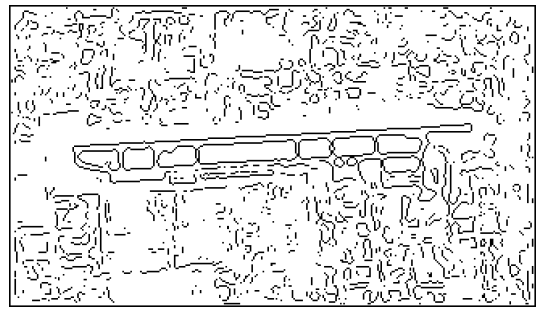


图 4 LoG 算子检测结果

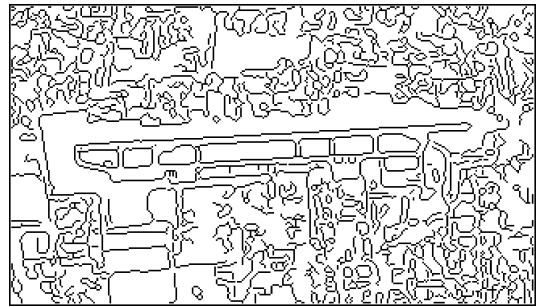


图 5 Canny 算子检测结果



图 6 曲面拟和的检测结果

其邻域内的各个像素值线性表示的,这种方法简单,但梯度计算不准确,导致边缘不准确。基于高阶曲面拟合的方法,计算的梯度较准确,从而边缘定位精度较高,且受边缘类型的影响较少。另外,该方法的缺点是计算量比较大,检测出来的边缘图像有不连续现象,需要进一步改进。

参考文献:

- [1] 张晶. 图像边缘检测算法的研究[D]. 济南: 山东大学, 2006.
- [2] 王建锋. 图像识别和边缘检测的若干研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- [3] 杨述斌. 图像边缘检测技术概述[J]. 武汉化学学院学报, 2003, 25(1): 73-76.
- [4] 孙兆林. MATLAB 6. x 图像处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.

3 结论

在传统的边缘检测方法中,某点的梯度是用