

基于改进 LOG 算子的图像边缘检测方法

管力明, 李 磊, 林 剑

(杭州电子科技大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘要:针对传统基于 LOG 算子的边缘检测算法中高斯系数 σ 不确定性的问题, 提出了一种改进的 LOG 算子边缘检测方法, 该算法通过引入极坐标参数 θ , 计算不同方向 θ 的 1 阶导数, 并求得导数最大值所对应的 θ , 进而确定图像边缘点。研究表明, 利用该改进算子对图像进行边缘检测时, 边缘信息丰富, 细节体现明显, 伪边缘较少, 相对传统 LOG 算子其具有更好的检测效果, 同时与 Prewitt 算子、Canny 算子等算法相比较, 所提算法也具有明显的优越性。

关键词:边缘检测; LOG 算子; 高斯系数

中图分类号:TP242

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2010)12-0113-03

Image edge detection method based on improved LOG operator

GUAN Li-ming, LI Lei, LIN Jian

(College of Mechanical Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at improving the uncertainty of Gauss coefficient in the traditional edge detection algorithm based on LOG operator, an improved LOG operator was presented. Polar parameter θ was introduced in the proposed algorithm. The alue of θ and the edge point could be obtained by calculating first derivative of θ . The results indicate that the improved LOG operator could get better result than traditional LOG operator, it can get more marginal information, less inveracious edge. While compared with Prewitt operator, Canny operator and other algorithms, it has obvious advantages.

Key words: edge detection; LOG operator; Gauss coefficients

0 引 言

图像边缘检测是图像分析的重要内容,也是图像处理领域中的一种重要的预处理技术,广泛应用于轮廓、特征的抽取和文理分析等方面。图像的边缘是图像最基本的特征,它是图像分割所依赖的重要特征,也是纹理特征的重要信息源和形状特征的基础^[1]。因此边缘检测在计算机视觉、图像分析中起着重要的作用。在图像处理上,一般认为灰度发生急剧变化的点即为边缘,在频域中则表现为高频分量。传统的边缘检测算法主要利用了空域微分算子通过卷积完成。因为边缘灰度值不连续,导数算子可以检测出这种灰度变化,对图像运用导数算子,突出图像中的局部边缘,

将导数值作为相应点的边界强度,然后通过设置门限的方法提取边界点丛集。常用的边缘检测算法有 Canny 边缘检测算子^[2-3]、Sobel 算子^[4]、Prewitt 算子^[5]、Robert 算子等。Marr 和 Hildreth 将高斯滤波和拉普拉斯边缘检测结合在一起,形成 LOG 算子,但是高斯滤波中高斯系数仍然存在不确定性的问题。

基于此,笔者提出一种改进的 LOG 算子边缘检测方法,以减少不确定因素 σ 对图像边缘检测结果的影响。

1 原始 LOG 算子

LOG 算子(Laplacian of Gaussian)来源于 Marr 视觉理论中提出的边缘提取思想,首先用高斯函数 $G(r)$

和原始图像 $f(x, y)$ 做卷积, 以消除空间尺度小于高斯系数 σ 的图像变化, 得到平滑后的图像 $I(x, y)$:

$$I(x, y) = G(r) \cdot f(x, y) \quad (1)$$

其中:

$$G(r) = \left(\frac{1}{2} \pi \sigma^2 \right) \exp(-r^2/2\sigma^2) \quad (2)$$

再用拉普拉斯算子 (∇^2) 来获取平滑图像的 2 阶方向导数图像 $M(x, y)$:

$$M(x, y) = \nabla^2 \{I(x, y)\} = \nabla^2 (G(r) \cdot f(x, y)) = (\nabla^2 G(r)) \cdot f(x, y) \quad (3)$$

其中:

$$\nabla^2 G(x, y) = \frac{1}{\pi \sigma^4} \left(1 - \left(\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2} \right) \right) \cdot \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4)$$

求取 $M(x, y)$ 的零穿点轨迹即可得图像 $f(x, y)$ 的边缘。

在使用 LOG 算子^[6] 对图像进行平滑去噪时, 图像的平滑度由高斯系数 σ 来决定。当 σ 取较小值时, 能得到更多的边缘细节信息, 但对噪声的抑制不足; 当 σ 取较大值时, 图像能够得到较好的平滑去噪效果, 但是图像边缘细节也被消除了, 只能检测到模糊的边缘。因此, 高斯系数 σ 的大小, 直接影响着 LOG 算子边缘检测算法的性能, 所以该算法在实际应用中很难对边缘和噪声做出合理的取舍, 即无法根据具体的图像自动获得最佳的 σ 值。

2 改进 LOG 的算法

在二维情况下, 计算出不同 θ 方向的 1 阶导数, 同时求得导数最大值所对应的方向 θ 。如果这个方向垂直于边缘, 则根据方向导数的最大值确定一个边缘点^[7-8]。定义 $D_{u_\theta} f(x_0, y_0)$ 是点 $f(x_0, y_0)$ 在单位向量 $u_\theta = (\cos \theta, \sin \theta)$ 方向上的导数。在 $(\cos \theta, \sin \theta)$ 方向上的直线通过点 (x_0, y_0) 的函数 f 的约束条件:

$$\rho \rightarrow f(x_0 + \rho \cos \theta, y_0 + \rho \sin \theta) \quad (5)$$

方向导数 $D_{u_\theta} f(x_0, y_0)$ 定义为:

$$\begin{aligned} D_{u_\theta} f(x_0, y_0) &= \frac{\partial}{\partial x} f(x_0 + \rho \cos \theta, y_0 + \rho \sin \theta) = \\ &= \frac{\partial}{\partial x} f(x_0, y_0) \cos \theta + \frac{\partial}{\partial y} f(x_0, y_0) \sin \theta = \\ &= \nabla f \cdot u_\theta \end{aligned} \quad (6)$$

定义点:

$$\begin{cases} x = x_0 + \rho \cos \theta \\ y = y_0 + \rho \sin \theta \end{cases}$$

如果函数 f 在 θ 方向上的 2 阶导数, 即 $D_{u_\theta}^2$ 为 0, 则该点在此方向上的 f 方向导数为最大。 θ 方向上 f 的 2 阶

导函数为:

$$\begin{aligned} D_{u_\theta}^2 f(x, y) &= \frac{\partial^2}{\partial \rho^2} f(x_0 + \rho \cos \theta, y_0 + \rho \sin \theta) (\rho) = \\ &= \frac{\partial^2 f}{\partial x^2}(x, y) \cos^2 \theta + \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y}(x, y) \cos \theta \sin \theta + \\ &+ \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}(x, y) \sin^2 \theta = u_\theta^T H u_\theta \end{aligned} \quad (7)$$

其中, H 是 Hessian 算子:

$$H = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \end{bmatrix}$$

因此, 通过搜索 $D_{u_\theta}^2 f(x, y)$ 函数的过零点进行边缘检测, 其中 θ 方向平行于边缘法线方向。但边缘的位置是未知的, 根据灰度值的梯度方向 ∇f 可以解决这一难题。如果考虑图像中的一个像素点附近很小的区域, ∇f 的方向与该区域中函数值变化最快的方向一致。如果该区域包含边缘, 那么梯度将指向边缘的垂直方向, 这样只需计算梯度方向上灰度函数的方向导数即可。由以上分析可知, 不必检测所有 θ 方向上的 $D_{u_\theta}^2 f(x, y)$ 的过零点, 可以利用各方向上都相同的 2 阶求导算子替换 $D_{u_\theta}^2 f(x, y)$ 。2 阶求导算子可以检测任何方向上的边缘^[9]。Marr 和 Hildreth 认为图像的 Laplacian 算子的过零点为边缘点, 其中图像与 Gaussian 核函数进行卷积运算:

$$\begin{aligned} (x, y) \in \text{边缘} &\Leftrightarrow \nabla^2 = (G \cdot f)(x, y) = \\ &= (\nabla^2 G) \cdot f(x, y) = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

因为 Laplacian 算子是线性运算, 所以第 2 个等式成立, 二维算子 $\nabla^2 G$ 是各向同性的, 形状像墨西哥草帽。检测 $\nabla^2 (G \cdot f)$ 符号改变的像素点即为边缘像素点。

3 仿真分析

对原幅图像用不同算法进行仿真实验, 其结果如图 1 所示。从检测结果来看: Prewitt 算子定位较准, 但边缘信息不够精确; Canny 算子丢失了较多边缘信息; LOG 算子由于高斯系数 σ 需主观设定, 存在诸多不确定因素, 而所提算法不用进行阈值 σ 的选择, 且很多小的边缘都清晰可见。

为验证本研究所提算法的优越性, 笔者对 Canny 算子和所提算法做了进一步仿真比较, 如图 2 所示。从图 2 中可以看出, Canny 算子在进行边缘检测时丢失了一些边缘细节, 而所提算法则对边缘细节体现明显。综上所述, 用本研究所提算法进行边缘检测时, 边缘信息丰富, 定位准确, 取得了理想的效果。

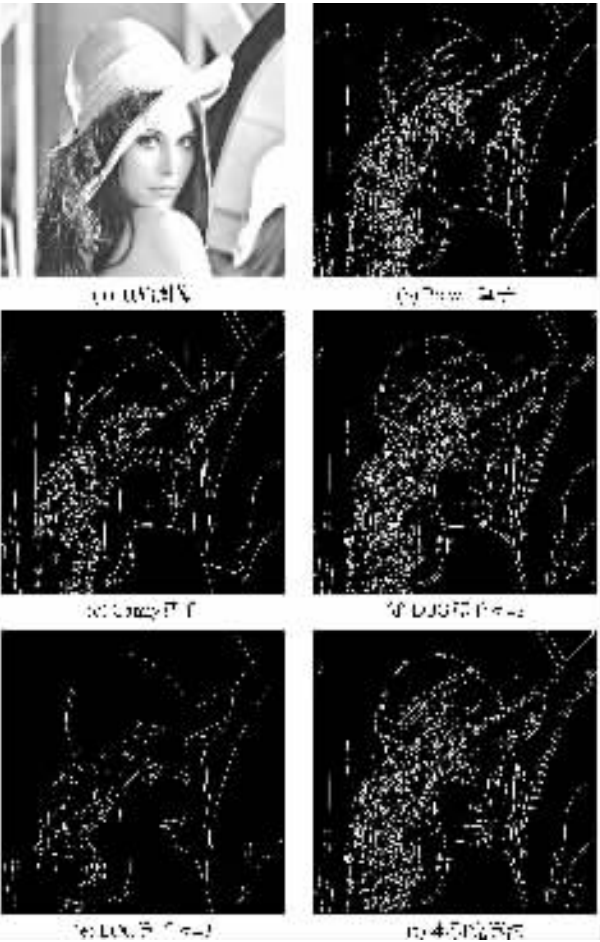


图 1 不同边缘检测算法仿真结果

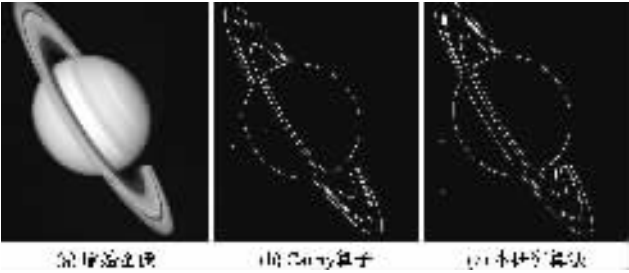


图 2 Canny 算子和本研究算子仿真比较

4 结束语

本研究在分析原 LOG 算子的基础上,提出了一种改进的 LOG 算子,该算子通过引入并计算不同方向极坐标参数的方法,实现图像边缘点的检测,不需要考虑

高斯系数 σ 具体取值对图像处理结果的影响,在实际应用中能对边缘和噪声做出合理的取舍,根据具体的图像自动获得图像边缘点。研究表明,所提算法对图像进行检测时,边缘细节明显,伪边缘相对较少,取得了理想的检测效果。且该算法较 Prewitt 算子、Canny 算子^[10] 等算法均具有明显的优越性。

参考文献 (References):

[1] 赵景秀,韩君君,王 菁,等. 一种改进的 LOG 图像边缘检测方法[J]. 计算技术与自动化,2009,28(3):74-77.

[2] 孙先达,黄其坤,王璞珺. Canny 算法在岩心图像边缘检测中的应用[J]. 长江大学学报,2009,6(2):268-270.

[3] CHEN Nai-jian, WANG Sun-an. An Image Edge Detection and Segmentation Algorithm Based on Small-World Phenomenon[C]//2008 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications,2008:2272-2277.

[4] ZHOU Ning-ning, ZHAO Zheng-xu, HONG Long, et al. A New Image Edge Detection Algorithm Based on Measuring of Medium Truth Scale[C]//Proceedings of 2008 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, ICNSC,2008:698-703.

[5] 张永亮,刘安心. 基于 Prewitt 算子的计算机数字图像边缘检测改进算法[J]. 解放军理工大学学报,2005,6(1):44-46.

[6] CHEN Yu, YAN Zhuang-zhi. A Cellular Automatic Method for the Edge Detection of Images[C]//Proceedings of the 4th international conference on Intelligent Computing: Advanced Intelligent Computing Theories and Applications, 2008:935-942.

[7] 吴镇扬,周 琳. 数字信号与图像处理[M]. 北京:高等教育出版社,2006.

[8] 田自君,刘 艺. 基于 LOG 算子边缘检测的图像二值化处理[J]. 中国测试技术,2007,33(6):109-111.

[9] [美]PRATT W K. 数字图像处理[M]. 邓鲁华,张延恒,译. 北京:机械工业出版社,2005.

[10] SHANKAR N G, RAVI N, ZHONG Z W. A real-time print-defect detection system for web offset printing[J]. Measurement,2009,42(5):645-652.

[编辑:张 翔]