

引用格式: 罗萍, 胡光宝, 吕霞付, 等. 基于改进 LOG 算子的图像增强算法[J]. 微电子学与计算机, 2019, 36(9): 26-29. [LUO P, HU G B, LV X F, et al. An image enhancement algorithm based on improved LOG operator[J]. Microelectronics & Computer, 2019, 36(9): 26-29.]

基于改进 LOG 算子的图像增强算法

罗 萍, 胡光宝, 吕霞付, 康 健

(重庆邮电大学 自动化学学院, 重庆 400065)

摘 要: 针对传统的高斯-拉普拉斯(LOG)算子处理图像边缘存在各向同性特点的问题, 提出了一种各向异性的 LOG 算法, 使之在图像增强中能自适应地处理各个角度的边缘. 首先在 LOG 函数的不同方向上取不同方差将尺度参数引入函数中, 然后结合几何学, 将角度参数引入带有尺度参数的算子中, 最后根据每个像素点的梯度值来确定尺度参数和角度参数的值, 得到各向异性的 LOG 算子. 仿真结果表明, 各向异性的 LOG 算子, 在峰值信噪比、结构相似性和均方误差方面均优于各向同性的 LOG 算子, 各向异性的 LOG 算子对噪声的抑制效果更好, 图像边缘细节保留的更多.

关键词: 图像增强; 高斯-拉普拉斯; 各向同性; 各向异性

中图分类号: TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1000—7180(2019)09—0026—04

An image enhancement algorithm based on improved LOG operator

LUO Ping, HU Guang-bao, LÜ Xia-fu, KANG Jian

(College of Automation, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: Aiming at the problem of the isotropic characteristics existed while dealing with image edges through traditional Gaussian-Laplace (LOG) operator, an anisotropic LOG algorithm is proposed to adaptively process image edge of various angles during image enhancement. Firstly, the scale parameters are introduced into the function by taking different variances in different directions of the LOG function. Then, combining with the geometry, the angle parameters are introduced into the operator with the scale parameters. Finally, the scale parameters are determined according to the gradient values of each pixel. The value of the angle parameter gives the anisotropic LOG operator. The simulation results show that the anisotropic LOG operator is superior to the isotropic LOG operator in terms of peak signal-to-noise ratio, structural similarity and mean square error. Thus the anisotropic LOG operator has more suppression effect on noise while retaining more image edge details.

Key words: image enhancement; Gauss-Laplace; isotropy; anisotropy

1 引言

传统的 LOG 算子在图像增强的过程中有着广泛的应用, 由于二维高斯函数是关于中心圆对称的, 因此算子对图像各个方向的边缘增强具有各向同性的特征, 但是自然界中物体的边缘具有不定向性, 各向同性的算子难以最佳化的进行图像增强. 为了解

决这个问题, 2003 年 Geusebroek^[1] 提出了一种各向异性的高斯滤波器, 该滤波器在两个不同方向上有不同的高斯方差, 能够在去噪的同时较好的保留边缘细节, 但是此方法在两个方向上高斯尺度保持不变, 对不同的像素点不能自适应的改变尺度大小. 葛朋等^[2] 人提出了一种引入尺度参数和角度参数的各向异性 LOG 算子, 能对不同方向上的边缘更有效

的检测,但此方法的尺度参数是根据经验而定的,尺度参数同样不能自适应.关斌^[3]提出了一种可以自适应的各向异性 LOG 算子,滤波器的形状是随像素的位置自适应变化的,但是在确定尺度参数时,加入了独立强度传播模型,实验效果并不理想.针对这些问题,本文提出了一种各向异性的 LOG 算子,利用能够反映边缘特征的梯度值来确定尺度参数.在图像预处理方面具有重大意义.

2 带有尺度参数和角度参数的 LOG 算子

2.1 传统的 LOG 算子

传统的 LOG 算子是对高斯核函数求取二阶导数得到的,在图像增强中表现为先对图像进行高斯滤波,然后再进行拉普拉斯变换^[4].高斯核函数 $G(x, y)$ 和 LOG 核函数 $\nabla^2 G(x, y)$ 表达式如下:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma} \cdot e^L \quad (1)$$

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

式中, σ 为高斯函数的方差; $L = -\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}$. 当 $\nabla^2 G(x, y)$ 中的方差 σ 为 1 时, LOG 算子的三维函数图如图 1 所示,由图 1 可知, LOG 算子是关于中心圆对称的,由公式(2)可知, LOG 算子中的高斯方差 σ 的取值并不影响 x 和 y 的值,这使得 LOG 算子在处理图像时对各个方向上的边缘表现出各向同性的特征.

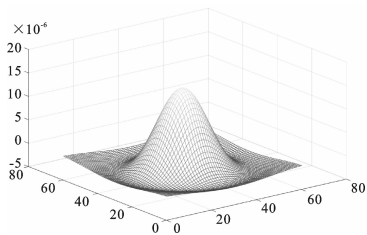


图 1 LOG 算子三维函数图

2.2 改进后的 LOG 算子

将 LOG 算子改进为各向异性,适用于各个边缘角度的图像增强,只需要引入尺度参数和角度参数即可,尺度参数就是在 x 方向和 y 方向上对高斯方差 σ 取不同的值 σ_x 和 σ_y ,使得 LOG 算子对不同方向上的边缘增强的效果不一样,角度参数就是图像的边缘细节方向.

2.2.1 引入尺度参数

在 $\nabla^2 G(x, y)$ 的基础上,对每项 x 和 y 取不同的高斯方差 σ ,即将 σ_x 和 σ_y 引入公式(2)中得:

$$\nabla^2 G(x, y, \sigma_x, \sigma_y) = \frac{(M-2)}{2\pi \left(\frac{\sigma_x}{2} + \frac{\sigma_y}{2}\right)^4} \cdot e^{-\frac{M}{2}} \quad (3)$$

式中, $\nabla^2 G(x, y, \sigma_x, \sigma_y)$ 为带有尺度参数的 LOG 算子; $M = \frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}$; σ_x 为函数在 x 方向上的方差; σ_y 为函数在 y 方向上的方差.若 σ_x 和 σ_y 的值不相等,算子 $\nabla^2 G(x, y, \sigma_x, \sigma_y)$ 在各个方向上的处理强度也不相同.为了较好显示算子空间形状, σ_x 取值为 0.8, σ_y 取值为 0.6 时,带尺度参数的 LOG 算子三维函数图如图 2 所示.可以看出,引入尺度参数的 LOG 算子是关于中心椭圆对称的,它有长轴和短轴,当 σ_x 的取值大于 σ_y 时,椭圆的长轴在 x 轴上;当 σ_y 的取值大于 σ_x 时,椭圆的长轴在 y 轴上.当长轴落在边缘细节的切线方向上时,图像增强的效果最佳^[5].

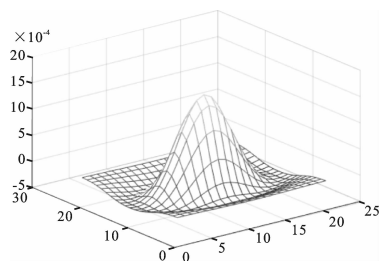


图 2 引入尺度参数的 LOG 算子三维函数图

2.2.2 引入角度参数

由图 2 可知,引入了尺度参数的 LOG 算子三维函数图在 XOY 平面的投影是一个椭圆.将椭圆逆时针旋转 θ 角度,椭圆旋转图如图 3 所示.

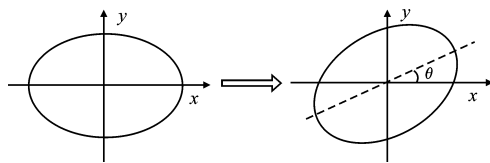


图 3 椭圆旋转图

椭圆标准方程为:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, a \neq b \quad (4)$$

将椭圆逆时针旋转 θ 角度后,由几何学知识可得旋转后的坐标关系式为:

$$\begin{cases} x' = x \cdot \cos\theta - y \cdot \sin\theta \\ y' = x \cdot \sin\theta + y \cdot \cos\theta \end{cases} \quad (5)$$

式中, x' 是旋转后的横坐标; y' 是旋转后的纵坐标.将旋转后的坐标关系式(5)带到 $\nabla^2 G(x, y, \sigma_x, \sigma_y)$ 中便引入了角度参数 θ ,得到带有尺度参数和角度参

数的 LOG 算子 $\nabla^2 G(x, y, \sigma_x, \sigma_y, \theta)$, 其表达式为:

$$\nabla^2 G(x, y, \sigma_x, \sigma_y, \theta) = \frac{(N-2)}{2\pi \left(\frac{\sigma_x}{2} + \frac{\sigma_y}{2}\right)^4} \cdot e^{-\frac{N}{2}} \quad (6)$$

式中, $N = \frac{(x \cdot \cos\theta - y \cdot \sin\theta)^2}{\sigma_x^2} + \frac{(x \cdot \sin\theta + y \cdot \cos\theta)^2}{\sigma_y^2}$.

当确定好滤波器核函数 $\nabla^2 G(x, y, \sigma_x, \sigma_y, \theta)$ 后, 输出图像 $h(x, y)$ 是通过输入图像 $f(x, y)$ 和卷积核函数 $\nabla^2 G(x, y, \sigma_x, \sigma_y, \theta)$ 的卷积获得的, 表示为:

$$h(x, y) = f(x, y) \otimes \nabla^2 G(x, y, \sigma_x, \sigma_y, \theta) \quad (7)$$

3 计算角度参数和尺度参数

3.1 角度参数的确定

图像边缘角度的方向可用图像梯度来确定^[6], 图像的梯度是一个矢量, 因此采用最常用的一阶偏导的有限差分来计算梯度的方向. 对任意一点 (i, j) , 求其 x 方向和 y 方向的偏导数公式为:

$$\begin{cases} E_x(i, j) = \frac{[f(i, j+1) - f(i, j) + f(i+1, j+1) - f(i+1, j)]}{2} \\ E_y(i, j) = \frac{[f(i, j) - f(i+1, j) + f(i, j+1) - f(i+1, j+1)]}{2} \end{cases} \quad (8)$$

式中, f 为待处理的图像; $E_x(i, j)$ 为 (i, j) 这点 x 方向上的梯度; $E_y(i, j)$ 为 (i, j) 这点 y 方向上的梯度. 则 (i, j) 这点的梯度方向 $\alpha_{(i, j)}$ 为:

$$\alpha_{(i, j)} = \arctan \frac{E_y(i, j)}{E_x(i, j)} \quad (9)$$

由于图像的梯度方向和图像的边缘方向是垂直的, 所以可以求出任意一点 (i, j) 的边缘角度 $\theta_{(i, j)} = \alpha_{(i, j)} + 90^\circ$.

3.2 尺度参数的确定

通常算法都是根据经验获得高斯函数在 x 和 y 方向上的方差 σ_x 和 σ_y , 对一张图片只使用固定的 σ_x 和 σ_y , 这样没有考虑到像素梯度的变化, 而像素梯度往往反映了诸如边缘等局部特征^[7]. 通过在算法上改进, 利用像素梯度值, 经过归一化后获取理想范围内的尺度参数. 这样可以针对不同的像素点, 得到最适合该像素点的一个滤波模板. 为了减少计算量, 在获取尺度参数时, 需要用到的像素梯度值采用公式 (7) 中的一阶偏导的有限差分来计算, σ_x 和 σ_y 的值由公式 (9) 所得出.

$$\begin{cases} \sigma_x = \frac{E_x}{q} \\ \sigma_y = \frac{E_y}{q} \end{cases} \quad (10)$$

式中, q 是归一化系数, 原图像和梯度图均为 8 位图像, 即灰度在 0 到 255 的范围内变化, 这里的 q 数值取 128 以获取适当的 σ 值. 而对于大部分的图像来说, 当高斯方差 σ 的取值范围在 0.9 到 1.25 之间, 边缘定位精度的效果最佳^[8], 当高斯方差 σ 太小时, 对噪声的抑制效果会很弱, 当高斯方差 σ 太大时, 图像的边缘细节信息会被滤除^[9]. 因此, 当尺度参数的值小于 0.9 时, 取 $\sigma = 0.9$, 当尺度参数的值大于 1.25 时, 取 $\sigma = 1.25$, 这样可以取得最合适的 σ_x 和 σ_y 的数值.

4 实验结果及数据分析

为了验证所提方法的效果, 使用像素大小为 512×512 的 8 位灰度 Lena 图像进行对比实验, 实验计算机配置 Intel Core i5-6500, 4GB 内存, 操作系统为 64 位 Windows7, 软件环境为 VS2013、OpenCV2.4.9, 编程语言为 C++.

图像在生成和传输过程中常常会产生不可避免的噪声, 为了更好的说明问题, 实验在原图的基础上加上椒盐噪声和模糊化后的图片, 将改进方法和几种经典的图像增强方法对比. 实验结果如图 4 和图 5 所示.

由图 4 可知, Lena 原图加上椒盐噪声后, 经过传统的 LOG 算子处理后, 虽然噪声被抑制了一部分, 但是图片中, 头发、帽子等边缘细节受到了一定程度的影响. 经过直方图均衡化处理后, 图片的对比度增加了, 但是并没有起到去噪的效果. 经过幂次变换后, 虽然图片的亮度得到了提升, 同样无法有效的抑制椒盐噪声, 经过改进的 LOG 算子处理, 不仅有不错的去噪效果, 而且很好的保留了边缘细节信息.

由图 5 可知, 改进后的 LOG 算子相比传统 LOG 算子和幂次变换处理图像时, 对比度更为强烈, 比直方图均衡化方法处理后的图像更符合人眼的视觉特性.

实验还提取了各增强图像的峰值信噪比 (PSNR)、结构相似性 (SSIM) 和均方误差 (MSE) 来客观的说明改进的 LOG 算子的优越性, 实验结果如表 1 和表 2 所示.

表 1 椒盐噪声图片实验数据

指标	传统 LOG	直方图均衡化	幂次变换	改进 LOG
PSNR	20.38	17.757 6	17.706 3	21.260 3
SSIM	0.440 6	0.526 7	0.560 2	0.552 8
MSE	595.776	1 089.73	1 102.68	486.469



(a)Lena 原图 (b)加上椒盐噪声的 Lena 图



(c)传统 LOG 算子 (d)直方图均衡化



(e)幂次变换 (f)改进 LOG 算子

图 4 椒盐噪声实验结果图



(a)模糊化 Lena 图 (b)传统 LOG 算子



(c)直方图均衡化 (d)幂次变换



(e)改进 LOG 算子

图 5 模糊图片实验结果图

表 2 模糊图片实验数据

指标	传统 LOG	直方图均衡化	幂次变换	改进 LOG
PSNR	25.325 8	19.194 4	19.701 2	26.528 4
SSIM	0.875 4	0.879 7	0.975 6	0.925 3
MSE	190.765	782.786	696.571	144.624

由表格可以看出,相比经典的图像增强算法,本文方法的 PSNR 值最高,失真度最小.其次,该方法

的 SSIM 比大多经典方法更加接近 1,图像增强的质量更好.并且该方法的 MSE 最低,有更好的图像增强的精确度.

5 结束语

在传统 LOG 算子的基础上,引入尺度参数和角度参数,提出一种各向异性的 LOG 算法.算法的关键在于根据每个像素点不同方向的梯度值,通过归一化系数得到算子不同方向上最为理想的高斯方差.仿真实验说明,该方法可以在去除噪声的同时,更好的保护图像边缘细节,通过主、客观对比分析,该方法在图像增强质量和精确度等方面均优于几类经典的图像增强算法.

参考文献:

[1] GEUSEBROEK J , SMEULDERS A , WEIJER J V D. Fast anisotropic gauss filtering[J]. IEEE Trans Image Process, 2003, 12(8):938-943.

[2] 葛朋,李龙,潘治云,等. 基于改进型 LOG 算子的图像增强方法在 InGaAs 宽光谱红外器件中的应用[J]. 红外技术, 2016, 38(8):670-677.

[3] 关斌. 一种改进的自适应各向异性 LOG 算子[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(12):2992-2994.

[4] 刘元宁,刘帅,朱晓冬,等. 基于 Log 算子与自适应 Gabor 滤波的虹膜识别算法[J/OL]. 吉林大学学报(工学版), 2018: 1-7 [2018-12-17]. <https://doi.org/10.13229/j.cnki.jdxbgxb20170605>.

[5] 严国萍,戴若愚,潘晴,等. 基于 LOG 算子的自适应图像边缘检测方法[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(3):85-87.

[6] 冈萨雷斯. 数字图像处理[M]. 阮秋琦,译. 北京:电子工业出版社, 2004.

[7] 牟韵文,潘明. 基于改进 LoG 算子的车牌定位识别系统实现[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2016, 41(2):570-578.

[8] 杨振亚,白治江,王成道. 自适应 Canny 边缘检测算法[J]. 上海海运学院学报, 2003(4):373-377.

[9] 王海菊,谭常玉,王坤林,等. 自适应高斯滤波图像去噪算法[J]. 福建电脑, 2017, 33(11):5-6.

作者简介:

罗 萍 女,(1971-),硕士,副教授.研究方向为控制工程与控制理论. E-mail:cylping@163.com

胡光宝 男,(1993-),硕士研究生.研究方向为机器视觉.

吕霞付 男,(1966-),博士,教授.研究方向为智能仪器仪表.

康 健 男,(1994-),硕士研究生.研究方向为图像去雾.