

基于 LoG 算子的双滤波边缘检测算法

张 阳 刘 缠 牢 卢 伟 家 刘 璐

(西安工业大学 光电工程学院 西安 710021)

摘 要: 边缘检测是图像处理中的重要步骤,为了有效抑制噪点并保留边缘信息,分析了高斯滤波不具有自适应性的缺陷,根据噪声灰度值不连续的特性,在改进传统均值滤波的基础上,提出了一种加权系数自适应的均值滤波,并通过与 LoG 算子相结合,得出一种基于 LoG 算子的双滤波边缘检测算法。通过实验对比发现,该算法可有效的消除噪点的干扰,又能保证获取边缘的准确性,并且与 LoG 算子、Canny 算子等算法相比较,在保持检测速度基本不变的情况下具有更好的检测精度。

关键词: 边缘检测;LoG 算子;加权均值滤波;高斯滤波器

中图分类号: TP391;TN06 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4050

Improved double filtering LoG operator edge detection

Zhang Yang Liu Chanlao Lu Weijia Liu Lu

(School of Optoelectronic Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

Abstract: Edge detection was an important step in image processing, in order to effectively suppressed noise and preserved edge information, analyzed the defects of Gauss filter was not adaptive, according to the characteristics of discontinuous noise gray value based on improved traditional mean filter, proposed a weighted mean filter coefficients adaptively, and through combined with LoG operator, a dual filter edge detection algorithm based on LoG operator was obtained. Compared with LoG operator and Canny operator, this algorithm has better detection accuracy while keeping the detection speed unchanged.

Keywords: edge detection; LoG operator; weighted average filter; Gaussian filter

0 引 言

图像边缘是图像亮度变化最显著和灰度值变化不连续的部分^[1]。图像边缘的检测对于特征提取、特征描述、目标识别和图像理解等有重大意义。生活中的指纹识别、虹膜识别、二维码识别等都需要图像边缘信息的检测。

边缘检测算法,基于一阶梯度算子的有 Roberts、Prewitt^[2]、Sobel^[3] 和 Canny^[4-5] 等算子,基于二阶微分算子的主要有 Laplacian 算子以及由 Marr 和 Hildreth 提出的 LoG(laplacian of Gaussian)算子^[6]。近年来,很多学者基于 LoG 算法提出了各种改进方法,但在实际应用中,效果不理想。图像在拍摄时易受到很多因素的影响,如光照和相机本身,导致得到的图像存在噪声,如果直接用 LoG 算子进行边缘检测,可能无法消除噪点的干扰。

本文首先分析了高斯滤波无自适应性和噪声灰度值不连续性的特性,然后提出一种加权系数自适应的均值滤波,最后将提出的自适应滤波与 LoG 算子结合,得到一种基于

LoG 算子的双滤波边缘检测算法,该算法能有效抑制噪声并准确检测图像边缘,并在实际中获得了良好的效果。

1 LoG 算子边缘检测

1.1 LoG 算子

LoG 算子是在 Laplacian 算子^[7]基础上改进的一种算法,Laplacian 算子是二阶微分算子,对噪声比较敏感。LoG 边缘检测算法,首先使用高斯滤波对图像进行滤波,再通过 Laplacian 算子进行边缘检测。呈正态分布的二维高斯平滑函数 $G(x, y)$ 表达式为:

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

式中: σ 是方差也称尺度,其大小决定平滑程度的大小^[8]。用 $G(x, y)$ 和原图像 $f(x, y)$ 进行卷积,可以得到平滑的图像 $g(x, y)$,其表达式为:

$$g(x, y) = G(x, y) \otimes f(x, y) \quad (2)$$

将得到的平滑图像 $g(x, y)$ 再进行 Laplacian 算子边

缘检测,可以减少部分噪声的干扰。

根据文献[6],对原图像与高斯函数卷积,再求卷积的 Laplacian 微分得到的结果和先求高斯函数的 Laplacian 微分,再求其和原图像的卷积得到的结果是等价的,即:

$$\begin{aligned}\nabla^2[f(x,y) \otimes G(x,y)] &= f(x,y) \otimes \nabla^2 G(x,y) \\ \nabla^2 G(x,y) &= \left(\frac{x^2 + y^2 - \sigma^2}{\sigma^4} \right) e^{-(x^2 + y^2)/2\sigma^2}\end{aligned}\quad (3)$$

式中: $\nabla^2 G(x,y)$ 称为 LoG 算子^[9-10],它是一个轴对称、各向同性的函数,为墨西哥草帽形。

1.2 高斯滤波的缺陷

高斯平滑滤波的平滑程度决定了 LoG 算子边缘检测的精度。高斯平滑滤波的大小取决于尺度 σ 的大小,同时

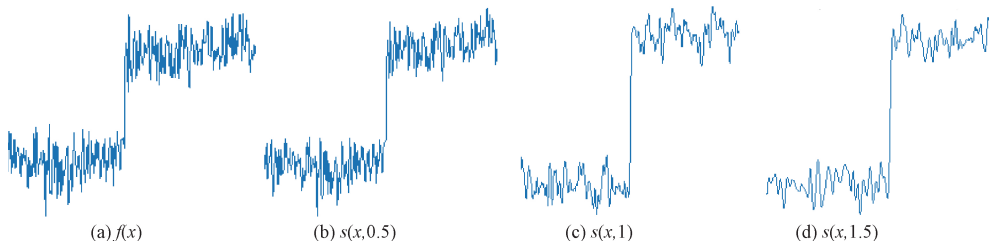


图 1 σ 取不同值时的滤波效果

2 双滤波边缘检测算法

针对高斯滤波的尺度 σ 无自适应性和噪点多为高灰度值和低灰度值像素点的特性,提前用一种自适应加权均值滤波,滤除区域内高灰度值和低灰度值的噪点,再用小尺度 σ 的高斯平滑滤波,从而达到降低噪声的效果,最后通过使用 Laplacian 算子,实现对图像边缘的检测。

2.1 自适应加权均值滤波

加权均值滤波是以均值滤波为基础,根据模板内的像素点与被平滑像素点的距离远近而加权不同,越近的点加权系数越大,同时加权系数根据窗口内像素灰度值的大小赋值,将与最小灰度值、最大灰度值和第二大的灰度值的像素点重合的加权系数赋 0^[13-14]。加权的目的在于减轻平滑过程中造成的图像模糊。设加权均值滤波模板为:

$$g(i,j) = k \begin{bmatrix} w_1 & w_2 & w_3 \\ w_4 & w_5 & w_6 \\ w_7 & w_8 & w_9 \end{bmatrix}$$

为了保持平滑滤波后的图像平均值不变,模板的元素之和为 1,即 $\sum_{n=1}^9 w_n k = 1$ 。 $g(i,j)$ 也是线性加权模板,对图像 $f(x,y)$ 进行线性加权滤波输出,表示为:

$$\begin{aligned}f(x,y) \otimes g(x,y) &= w_1 \times f(i-1,j-1) + w_2 \times f(i-1,j) + w_3 \times f(i-1,j+1) + w_4 \times f(i,j-1) + w_5 \times f(i,j) + w_6 \times f(i,j+1) + w_7 \times f(i+1,j-1) + w_8 \times f(i+1,j) + w_9 \times f(i+1,j+1)\end{aligned}\quad (5)$$

利用噪声不连续的特性,同时为了计算方便, $g(i,j)$

σ 不具有自适应性。当 σ 取值较小时,可得到更多的边缘点,但对噪点抑制不足。当 σ 取值较大时,可以很好的平滑噪声,但同时也会使边缘变宽、细节减少^[11-12]。

设一维高斯函数为 $g(x,\sigma)$,用 $g(x,\sigma)$ 对加入噪声的信号函数 $f(x)$ 进行滤波得到 $s(x,\sigma)$,表达式为:

$$s(x,\sigma) = f(x) \otimes g(x,\sigma)\quad (4)$$

当尺度 σ 分别取值 0.5、1、1.5 时,得到不同的滤波效果,如图 1 所示。

由图 1 可以看出, $f(x)$ 被 $g(x,\sigma)$ 滤波后,当 $\sigma=0.5$ 时,波形能很精确的显示阶跃位置,但噪点得不到抑制,当 $\sigma=1, 1.5$ 时,噪声被很好的平滑,但阶跃位置变宽,阶跃略微倾斜。

可由修改高斯滤波得到,通过式(5)对已知 3×3 的高斯模板进行修改,将最小灰度值、最大灰度值和第二大的灰度值的像素点位置的加权系数赋 0,再利用模板内的加权系数之和与 k 互为倒数的关系得到 k 值,最终得到 $g(i,j)$ 。当 $g(i,j)$ 滤波移动过程中,其加权系数随着模板内的噪声灰度值变化而变化,例如,当 $g(i,j)$ 中的加权系数 w_2, w_8, w_9 分别对应模板内的最小灰度值、最大灰度值和第二大灰度值的像素,则此刻 $g(i,j)$ 为:

$$g(i,j) = \frac{1}{10} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

2.2 双滤波边缘检测算法实现

利用高斯滤波和 Laplacian 算子及 2.1 节提出的自适应加权均值滤波 $g(i,j)$,可得出文中的双滤波边缘检测算法,算法的实现过程如下:

- 1) 将模板 $g(i,j)$ 自左至右、自上向下移动。模板的加权系数位置点与图像的像素点的灰度值重合;
- 2) 将图像 $f(x,y)$ 与模板 $g(i,j)$ 重合像素点的灰度值大小记录下来;
- 3) 将模板 $g(i,j)$ 与最小灰度值、最大灰度值和第二大的灰度值的像素点重合的加权系数赋 0;
- 4) 将随图像位置变化而加权系数变化的模板 $g(i,j)$ 对图像进行平滑滤波得到图像 $f_g(x,y)$;
- 5) 最后图像 $f_g(x,y)$ 先用小尺度 σ 的高斯滤波进行平滑,再通过 Laplacian 算子进行边缘检测。即:

$$\nabla^2[f(x,y) \otimes g(i,j) \otimes G(x,y)] = f(x,y) \otimes$$

$$\nabla^2[g(i,j) \otimes G(x,y)] \tag{6}$$

式中: $\nabla^2[g(i,j) \otimes G(x,y)]$ 为双滤波边缘检测算子,
 $G(x,y)$ 为高斯滤波。

3 实验结果及分析

以 MATLAB 为平台,在加入不同噪声的情况下用经

典的 LoG、Canny 边缘检测和文中提出的双滤波边缘检测算法做对比(高低阈值系数统一为 0.8 和 0.5, $\sigma=1$)。分别用 Lena、Pepper 做为测试图像。图 2 和 3 所示为加入椒盐噪声,强度 $d=0.02$ 。图 4 和 5 所示为加入均值为 0,方差为 0.01 的高斯噪声。

由图 2 和 4 可以得出,LoG 算法在 $\sigma=1$ 时不能有效的

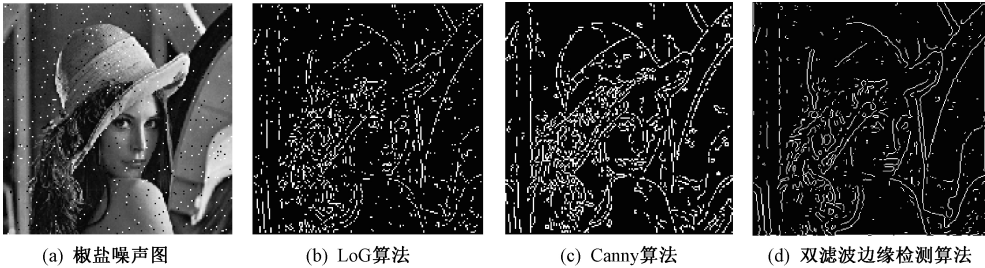


图 2 几种检测方式结果

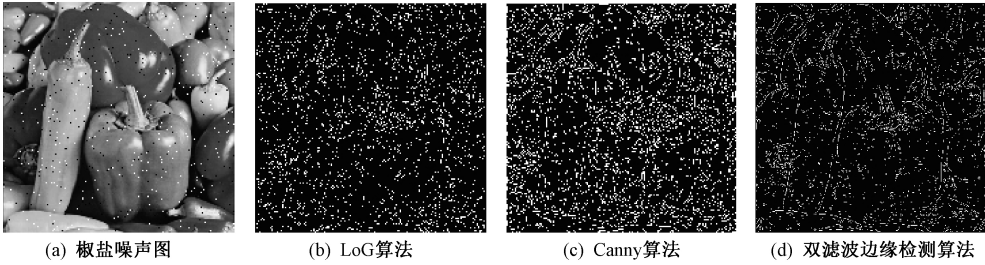


图 3 几种检测方式结果

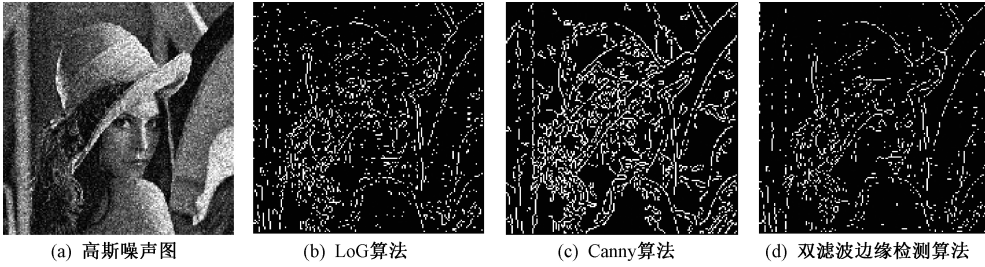


图 4 几种检测方式结果

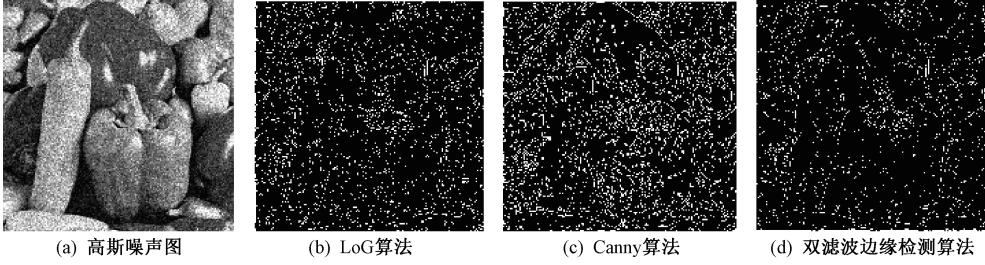


图 5 几种检测方式结果

抑制噪点,虽然高低阈值为(0.8,0.5)的 Canny 算法检测的边缘连续性比较好,但边缘检测不够精确,容易把阈值

内的噪点视为边缘。图 3 和 5 由于 Pepper 图像对比度较低、图像边缘梯度值较小和噪点与图像的灰度值相接近,

导致边缘提取较困难。LoG 算法和 Canny 算法检测效果不理想。从以上 4 幅图可知双滤波边缘检测算法能有效抑制噪点,检测出的边缘更加清晰。

文献[15]用了一种评价边缘检测算法优劣的方法,即分别将边缘像素的总数量 B 、四连通数 C 和八连通数 D 计算出来,然后用八连通数与边缘像素总数、四连通数作比值(即 D/B 和 D/C),再将这两个指标作为评价标准。 D/B 和 D/C 的值越小,表明其边缘线型连接程度与单像素边缘越好,即提取的边缘效果越好。对图 2 和 4 中的 Lena 图像做平均统计,LoG 算法用 A1 表示,Canny 算法用 A2 表示,本文提出的算法用 A3 表示,统计结果如表 1 所示。同样对图 3 和 5 中的 Pepper 图像做平均统计,结果如表 2 所示。

表 1 Lena 图像边缘统计

算法	B	C	D	D/B	D/C
A1	5 210	1 617	703	0.135	0.435
A2	5 964	1 289	519	0.087	0.403
A3	5 069	1 123	405	0.079	0.361

表 2 Pepper 图像边缘统计

算法	B	C	D	D/B	D/C
A1	30 168	6 744	3 045	0.101	0.451
A2	31 229	6 159	2 432	0.079	0.394
A3	28 373	4 948	1 801	0.063	0.364

从表 1 和 2 可以得出,本文提出的算法的 D/B 和 D/C 的值均小于其他两种算法,获取的图像在边缘连续性和单像素边缘方面,优于 LOG 算法和 Canny 算法。

双滤波边缘检测算法处理时间与 LoG 算法、Canny 算法处理时间如表 3 所示。表 3 中时间为 5 次处理时间的平均值。由表 3 可知,本文算法的检测速度和其他两种算法相差不大。

表 3 边缘检测时间统计

图片	噪声类型	LoG 算法/ s	Canny 算法/ s	双滤波边缘 检测算法/s
Lena	椒盐噪声	0.327 6	0.343 2	0.358 8
Pepper	椒盐噪声	0.374 4	0.421 2	0.405 6
Lena	高斯噪声	0.342 4	0.358 8	0.388 9
Pepper	高斯噪声	0.499 2	0.530 4	0.546 0

4 结 论

通过对 LoG 算法的高斯滤波进行研究,得出高斯滤波无自适应的缺陷。根据高斯滤波无自适应性和噪点的特性,提出一种基于 LoG 算子的双滤波算法,以加权系数变化的 3×3 加权平均模板做为第 1 次滤波,加权系数的变化

可使高灰度值和低灰度值的噪点得到有效抑制,用 $\sigma=1$ 的高斯平滑滤波进行第 2 次滤波,由于 σ 取值较小,使得平滑后的边缘信息精确。利用二阶微分的 Laplacian 算子进行边缘检测。

实验结果表明,基于 LoG 算子的双滤波算法在进行边缘检测时,可以有效抑制噪点,同时边缘细节得到保留,伪边缘相对较少,取得了良好的边缘检测效果。较 LoG 算法和 Canny 算法有更好的边缘连续性和单像素边缘,检测速度与 LoG 算法和 Canny 算法相差不大。

参考文献

[1] 冈萨雷斯,伍兹.数字图像处理 [M]. 第 3 版.北京:电子工业出版社,2011:445.

[2] 王浩南,沈天飞,龚雪.复杂背景下非正面肤色检测研究[J].电子测量技术,2018,41(12):124-127.

[3] 何东健.数字图像处理[M]. 第 2 版.北京:西安电子科技大学出版社,2007:463.

[4] 王小俊,刘旭敏,关永.基于改进 Canny 算子的图像边缘检测算法[J].计算机工程,2012,38(14):196-198,202.

[5] 许锦婷,陈仁文,余小庆.融合码本模型和边缘检测的目标检测算法[J].国外电子测量技术,2018,37(5):141-145.

[6] 许宏科,秦严严,陈会茹.一种基于改进 Canny 的边缘检测算法[J].红外技术,2014,36(3):210-214.

[7] 孙英慧,蒲东兵.基于拉普拉斯算子的边缘研究[J].长春师范学院学报,2009,28(12):4-6.

[8] 贺萌.基于自适应形态学的边缘检测及应用[D].长沙:中南大学,2013.

[9] 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):85-87,102.

[10] 贺强,晏立.基于 LOG 和 Canny 算子的边缘检测算法[J].计算机工程,2011,37(3):210-212.

[11] 王振华,窦丽华,陈杰.一种尺度自适应调整的高斯滤波器设计方法[J].光学技术,2007,32(3):395-397,402.

[12] 景晓军,李剑峰,熊玉庆.静止图像的一种自适应平滑滤波算法[J].通信学报,2002(10):6-14.

[13] 卢伟家,刘缠牢.一种基于 Harris 特征点检测的改进算法[J].仪表技术与传感器,2017(12):98-100,104.

[14] 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.

[15] 赵新秋,秦昆阳,冯斌,等.基于模糊推理的边缘检测算法[J].中国测试,2018,44(5):1-5.

作者简介

张阳,硕士研究生,主要研究方向为软件设计与图像处理。

E-mail:1227803294@qq.com