

# 基于形态学滤波结合 LOG 算法的边缘检测

黄玉蕾

(西安培华学院 智能科学与信息工程学院, 西安 710125)

**摘要:** 边缘检测是一种尝试从图像中提取有效部分的方法, 主要捕获图像像素的急剧变化和检测重要的区域; 为了更有效地进行边缘检测和抑制噪声, 文章中对常规形态学边缘检测进行了改进, 采用了多阈值分解对灰度图像进行二值化处理和分解, 之后对图像进行了基于二阶拉普拉斯算子的 LOG 边缘检测, 在初步提取出图像边缘后, 又进行了多结构形态学滤波来实现对图像边缘进行进一步边界增强; 实验结果表明, 该法保留了更完善的边缘信息, 有效消除了叠加噪声。

**关键词:** 边缘检测; 阈值分解; LOG 算法; 形态学滤波

## Edge Detection Based on Morphological Filtering Combined with LOG Algorithm

Huang Yulei

(Intelligence Science and Information Engineering College, Xi'an Peihua University, Xi'an 710125, China)

**Abstract:** Edge detection is a method of trying to extract the effective part from the image, mainly detecting sharp changes in image brightness and capturing important areas. In order to perform edge detection and noise suppression more effectively, the conventional morphological edge detection is improved, and the image is binarized by threshold decomposition. The LOG edge detection of the Laplacian operator is further enhanced by multi-structural morphological filtering after the initial extraction of the image edges. The experimental results show that the method retains more edge information and effectively eliminates the superimposed noise.

**Keywords:** edge detection; threshold decomposition; LOG; morphological filtering

### 0 引言

图像分割是像素分类的过程, 旨在从背景中提取或分割对象或区域。它是图像识别, 图像压缩, 图像可视化和图像检索成功的关键预处理步骤<sup>[1]</sup>。使用图像分割的主要原因是我们可以使用它来简化或将图像表示更改为更有意义且更易于分析的内容。当我们想要在图像中定位对象和边界时, 我们使用图像分割。它基于灰度图像的两个属性, 一是不连续性, 二是相似性。

边缘检测是一种可以尝试从图像中提取关键部分的方法。图像边缘是一幅图像最基本的特征。它由图像的局部不连续特征所引起, 比如灰度或者纹理上的突变等<sup>[2]</sup>。图像边缘检测是图像处理领域的重要研究内容。边缘检测是迄今为止检测灰度图像中有意义的非连续性的最常用方法。图像边缘含有一幅图像中丰富的内部信息, 比如目标物体的方向和形状, 它往往位于目标区域和背景区域之间。边缘检测是进行数字图像处理的关键步骤之一, 通过检测不同区域之间的边缘, 数字图像解决其物体分割问题<sup>[3]</sup>。

在本文中, 首先介绍了传统的 LOG 检测算法和常规形

态学滤波算法进行边缘检测, 之后采用联合 LOG 算法和多结构形态学滤波来检测灰度图像上的边缘, 从噪声中提高图像质量。最后, 分析了不同边缘检测方法的结果以及形态滤波的影响。

### 1 LOG 算法和常规形态学滤波

#### 1.1 LOG 算法

拉普拉斯算子是二维函数的标量二阶导数算子。这种算法能够寻找到图像灰度值中的二阶微分的过零点, 通过描述这些点来检测图像的边缘。拉普拉斯算子可以如下表示:

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2}$$

由于它是二阶导数, 拉普拉斯算子将在边缘处产生突然的过零点现象。拉普拉斯算子是一个线性、移位不变的算子, 它的传递函数在频率空间的原点是零。因此, 拉普拉斯滤波图像将具有零平均灰度级。它通常由以下所示的卷积核实现。

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \text{ 或者 } \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

如果图像具有剧烈变化的边缘并且不含噪声, 拉普拉斯算法可以较有效地检测到边缘。在零灰度级对拉普拉斯滤波图像进行阈值处理所产生的二值图像将在消除内部点时产生闭合的连通轮廓。然而, 图像中往往包含较多噪声,

收稿日期: 2019-02-11; 修回日期: 2019-02-26。

基金项目: 2018 年陕西省教育厅专项科研项目 (18JK1082)。

作者简介: 黄玉蕾 (1981-), 女, 陕西西安人, 硕士, 副教授, 主要从事算法分析方向的研究。

由于拉普拉斯算子对噪声较为敏感,因此在使用拉普拉斯算法之前需要进行滤波处理<sup>[4]</sup>。因为卷积是关联的,因此可以将拉普拉斯和高斯脉冲响应组合成单个拉普拉斯高斯核,这种方法可以有效提高算子的性能。

$$-\nabla^2 \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{\pi\sigma^4} \left[ 1 - \frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2} \right] e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}}$$

该脉冲响应在  $x$  和  $y$  中是可分离的,因此可以有效地实现。从上式中可以看出,它具有一般带通滤波器脉冲响应的形状,在与图像进行卷积时不会改变原始图像的动态范围。空间尺度  $\alpha$  可以控制中心峰的宽度,从而控制高斯平滑量,进而实现对高斯平滑的控制<sup>[5]</sup>。



图 1 Lena 灰度加椒盐噪声图像

图 1 为 Lena 图像添加椒盐噪声后的效果,可以看出添加噪声后图像中出现了黑白噪点,这些早点对图像的提取会产生极大的干扰,导致直接进行常规的边缘提取会产生较差的结果,因此可以采用 LOG 算法对图像进行预处理实现对噪声的滤除。

以二阶拉普拉斯微分算子为基础的零交叉算法在实际应用中对图像边缘的变化是非常敏感的,具有较高的边缘定位精度,因此检测出的图像边缘大多是单像素宽,但同时也会存在伪边缘化<sup>[6]</sup>。

由于二阶微分算子的各向同性,LOG 算法对于包含噪声的图像进行检测时会产生较差的效果,会丢失图像的边缘信息,具体表现为处理后的图像具有较多的断点;由于拉普拉斯算子处理后的图像边缘信息和噪声都属于高频信号,因此这种处理从效果上看时加强了图像中的噪声信息<sup>[7]</sup>。如果图像包含噪声,LOG 算法相较于其他算法的处理效果较差,若不含噪声,该算法会取得较好的结果,但同时也会出现伪检测的后果。

### 1.2 常规形态学滤波

数学形态学是以集合论来进行描述,建立在数学应用理论之上,目前主要应用于模式识别和数字图像处理的方法<sup>[8]</sup>。利用数学形态学的方法进行数字图像处理可以有效地保留图像的原始信息和简化图像的信息存储结构,充分利用图像的相干特性。

数学形态学首先利用其相关的基本算子如膨胀和腐蚀以及多种组合进行处理,然后采用边缘检测的方法实现对图像边缘信息的提取。该方法主要使用一定形状的结构元素在目标图像区域中的填充的有效性和可放性获取图像中

形态结构的信息,进而实现对图像的细节分析和目标识别。腐蚀和膨胀时形态学滤波中的两种运算。

结构化元素  $B$  对数字图像进行腐蚀,可以用如下公式进行表示:

$$A \ominus B = \{z \in E \mid B_z \subseteq A\}$$

其中:  $B_z$  为矢量  $z$  对  $B$  的平移,可以如下表示:

$$B_z = \{b + z \mid b \in B\}, \forall z \in E$$

当结构元素  $B$  是一种具有中心的规则图形,如方形或圆盘,并且图形的中心位于  $E$  上时,图像  $A$  对于结构元素  $B$  的腐蚀可以理解为  $B$  在  $A$  中进行移动时,由  $B$  的中心所到达的点的轨迹<sup>[9]</sup>。例如,以半径为 2 的圆盘对以原点为中心的边长为 10 的正方形的寝室,得到的结果也是以原点为中心的边长为 6 的正方形。

结构元素  $B$  对  $A$  进行腐蚀,也可以用下式进行表示:

$$A \ominus B = \bigcap_{b \in B} A_{-b}$$

图像的腐蚀运算能够消除图像中的小成分,对于图像内部具有较好的滤波作用。腐蚀可以使得目标缩小的同时增大目标的内部空间,从而达到消除外部孤立的噪声点的效果,但是对于椒噪声,这种操作会加大其对图像的影响。

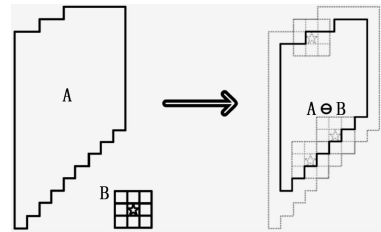


图 2 形态学腐蚀操作

与腐蚀操作相对应的是膨胀操作,结构化元素  $B$  对于  $A$  的膨胀由如下表示:

$$A \oplus B = \bigcup_{b \in B} A_b$$

由于膨胀操作是可交换的,因此也可以用下式进行表示:

$$A \oplus B = B \oplus A = \bigcup_{a \in A} B_a$$

如果结构元素的中心在原点上,那么图像在结构元素下的膨胀可以理解为当结构元素的中心在图像中进行滚动时,结构元素所覆盖的整个区域。例如同样用半径为 2 的圆盘对边长为 10 的正方形进行膨胀操作,则会得到边长为 14 并且具有半径为 2 的圆角的图形。

膨胀可以通过腐蚀操作来获得:

$$A \oplus B = \{z \in E \mid (B^c)_z \cap A \neq \emptyset\}$$

$$B^c = \{x \in E \mid -x \in B\}$$

通过上式可以看出,结构元素  $B$  对  $A$  的处理,可以看作  $B$  相对于原点进行 180 度旋转后对  $A$  进行一次腐蚀操作。膨胀操作能够将图像中与目标区域相接触的像素点合并到原始图像中,因此该过程使得目标区域进行扩展,图像中的孔洞也会相应缩小,尽可能地形成连通区域。

### 1.3 一般形态学边缘检测

利用形态学进行噪声的滤除,可以用以下操作进行描

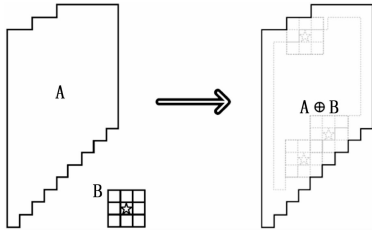


图 3 形态学膨胀操作

述: 设存在一个图像  $A$ ,  $B$  是相应操作的结构化元素, 利用结构元素对图像先进行膨胀操作, 之后进行腐蚀操作, 处理后, 图像的周围噪声可以被尽可能地消除, 但是此时图像内部仍会存在部分噪声, 因此再对图像进行逆操作, 首先进行腐蚀操作, 之后进行膨胀操作, 其目的是充分消除图像内部目标区域的噪声<sup>[10]</sup>。

对图像先进行腐蚀再膨胀即为开操作, 而先膨胀再腐蚀成为闭操作。开操作是闭操作的偶运算。开操作能够在一定程度上平滑图像的轮廓、消除小的断层和切断狭窄区域; 闭操作能够平滑图像的边缘、将小的间断进行相互融合, 同时消除小的空洞区域<sup>[11]</sup>。

经过上述处理后, 可以同时消除图像中目标区域周围和内部的噪声, 上述过程用公式可以表示为:

$$C_1 = \{[(A \oplus B) \ominus B] \ominus B\} \oplus B = (A \cdot B) \cdot B$$

$$C_2 = \{[(A \ominus B) \oplus B] \oplus B\} \ominus B = (A \cdot B) \cdot B$$

若利用形态学进行边缘检测, 则先将图像用结构元素腐蚀, 之后求得腐蚀后图像与原始图像的差值, 若设  $D$  为图像的边缘信息, 则可以表示为:

$$D_1 = A - (A \ominus B)$$

上式可以对图像的内边界进行边缘检测, 获得图像的内边界边缘信息。如果要对图像的外边界进行检测, 则可以用如下操作:

$$D_2 = A - (A \oplus B) - A$$

将两者进行结合后, 可以得到梯度边缘检测器:

$$D_3 = A - (A \oplus B) - (A \ominus B)$$

## 2 基于 LOG 算法的多结构形态学滤波

### 2.1 循环阈值分解和复合形态学滤波

在图像处理前, 首先应该将灰度图像进行二值化处理, 进行阈值处理后可以有效将灰度图像进行二值分解。设图像  $I$  为原始灰度级为  $L$ , 大小为  $M \times N$  的图像, 其中每个像素点可以用  $I(m, n)$  来表示, 则有以下约束:

$$1 \leq m \leq M, 1 \leq n \leq N, 0 \leq I(m, n) \leq L - 1$$

则对于图像  $I(m, n)$  的阈值分解可以如下表示:

$$i'(m, n) = T^t[I(m, n)] = \begin{cases} 1, I(m, n) \geq t \\ 0, I(m, n) < t \end{cases}$$

$$1 \leq t \leq L - 1$$

其中对于每个阈值, 都会得到对原始图像的一个分解, 同时可以得到所有分解图像的总和为原始图像。

$$I(m, n) = \sum_{t=1}^{L-1} i'(m, n)$$

之后对每个图像都进行基于二阶梯度算子的 LOG 算法的滤波, 该过程包括先对原始图像进行高斯平滑, 之后用拉普拉斯算子与图像进行卷积处理, 由于这个过程对每个阈值分解后的图像都有效, 因此对于单幅图像上的噪声来说, 可以进行更有效地滤除。

经过 LOG 算法滤波后, 可以得到图像的大致轮廓, 但此时仍会出现许多断点和狭窄的沟渠, 同时在图像的内部会出现较多空洞。因此后续采用形态学滤波对图像处理, 此时对图像进行开闭操作可以极大消除噪声的影响, 同时能够有效地保留图像的边缘信息。

采用传统的形态学滤波方法进行滤波时, 能够实现对图像的平滑作用, 但是常常效果并不理想, 此时可以选择使用复合形态学滤波算子的方法, 进行滤波效果的改善。综合  $C_1$  和  $C_2$  的公式可以得到:

$$C_3 = 1/2\{[(A \cdot B) \cdot B] + [(A \cdot B) \cdot B]\}$$

以上公式将两种不同的传统形态学滤波器相结合, 得到了一种复合的形态学滤波器, 能够有效地提高滤波效果。同时, 可以考虑将复合滤波器与开闭操作相结合, 可以得到:

$$D_4 = ((A \cdot B)A \oplus B) - ((A \cdot B) \ominus B)$$

上式不仅将膨胀和腐蚀相结合, 同时将腐蚀与开操作结合形成峰值噪声滤波器, 将膨胀与比操作结合, 得到低谷噪声滤波器, 因此综合起来可以同时抑制图像中高峰和低谷的噪声。

### 2.2 结构元素的选择

对于形态学滤波, 其优势不仅体现在其灵活的数学变换方式, 而且结构元素的变化同样会对图像边缘提取具有不同的效果, 适合的结构元素能够更好地保留图像的边缘信息和消除噪声, 从而同时提高图像的信噪比和定位精度<sup>[12]</sup>。

当不断在图像中对结构元素进行移动时, 能够得到不同部分之间的联系, 进而提取更为关键的信息作为整个结构的分析依据。对于同样的形态学滤波过程, 若采用不同的结构元素, 图像将会得到不同的滤波效果<sup>[13]</sup>。

结构元素应依据噪声的类型以及图像本身的大小和尺寸进行选取。由于需要将结构元素在图像中进行移动, 因此结构元素的大小需要尽可能小于原始图像的尺寸, 而当结构元素的形状与图像中噪声的分布形状相近似时, 会取得更好的滤波效果。本次实验中, 选择给原始图像加入椒盐噪声。在二值化图像中, 椒盐噪声表示随机出现的黑点和白点, 依据这个特性, 选择结构元素为圆形进行实验。

## 3 实验仿真及结果

### 3.1 实验方法

实验在 Matlab 环境下进行, 原始图像使用尺寸为  $256 \times 256$  的彩色 Lena 图像进行处理, 将原始 Lena 图像进行灰度级为 256 的灰度处理, 叠加背景噪声为椒盐噪声进行干扰测试。在实验过程中, 采用  $5 \times 5$ 、方差为 10 的正方形模板对原始图像进行高斯平滑, 从而实现对图像的预处理。

为了进行对比, 在实验中同时设置一对对照组, 对照

组采用了传统的 LOG 算法以及常规的形态学滤波算法，其输入图像以及滤波参数与改进算法相同。首先采用传统的边缘提取操作模型对原始图像进行处理，在得到常规图像处理结果后与改进后的多阈值算法模型进行对比，分析得到更优的处理方案。

### 3.2 实验步骤

在实验过程中，由于在本方法中的色彩信息对于边缘检测的贡献有限，并且处理成本会大大提高，因此首先将 Lena 图像转换为灰度图像，之后再继续进行后续边缘检测。

首先将灰度图像采用不同的阈值进行处理实现图像的阈值分解，得到不同阈值下的二值图像，之后将所有得到的阈值分解后的图像进行高斯平滑滤波，然后使用 LOG 算法提取平滑后的图像的边缘信息。

将提取到的图像边缘进行圆形结构元素的形态学滤波，以此来进一步消除噪声，最终将图像叠加得到最终的处理结果，并进行后续分析，该算法的整个处理流程如图 4 所示。

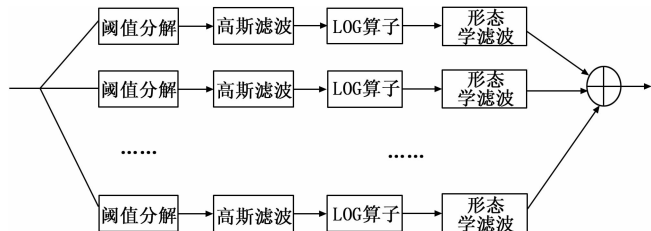


图 4 处理流程图

原始灰度图像中没有噪声干扰图像的轮廓信息，在叠加椒盐噪声后，噪声的存在会降低图像的信噪比，并对图像的边缘检测产生影响。

### 3.3 实验结果及分析

将传统的 LOG 算法和改进后的 LOG 算法进行比较，可以看到传统算法处理后的效果如图 5 左图所示，右图为改进算法的效果图。

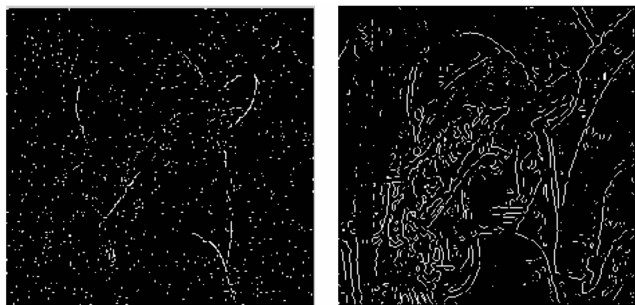


图 5 传统 LOG 算法（左）和改进后（右）的边缘检测结果

通过对比左图和右图可以看出，传统算法的处理结果中几乎难以分辨出图像中的目标，仅仅能大致描述出人物的轮廓，并且轮廓几乎是不连续的，如果不仔细观察难以分辨出图像中的物体，并且对于一些细节没有进行详细的描述，如人物的面部信息等。而在右图中，改进后边缘检测的输出结果保留了更多的边缘信息，能够较为清晰地分

辨出图像中存在一个人物，并且人物的面部表情和帽子都可以分辨得到，实现了较好的边缘提取效果。后续对两者进行形态学滤波操作，得到图 6 的处理结果。

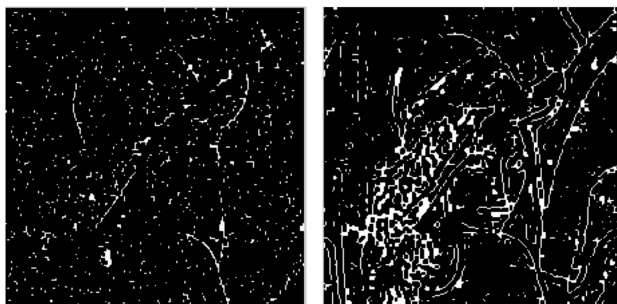


图 6 传统算法结合形态学滤波（左）和改进算法结合复合形态学滤波（右）

由于图像的形态学滤波操作会将图像中的孔洞打破，并且消除部分椒盐噪声，通过图 4 可以看出，经过形态学滤波后的图像已经无法辨认出目标物体，即使原来图像中存在的仅有的一点轮廓也被 LOG 算子认作噪声进行了消除，很难分辨出图像中的物体。而在图 5 中，复合形态学操作对输出图像进行了进一步的滤波处理，有效地保留了图像的边缘信息，使得图像的高频信息得以恢复，加重刻画了某些细节部分，更好地提取出了图像的边缘。

## 4 结论

针对在传统图像边缘检测中，二阶拉普拉斯算子对叠加噪声异常敏感而产生的较差的边缘检测结果，本文研究了一种首先采用多阈值处理，结合 LOG 算法与复合形态滤波的改进算法。在椒盐噪声的背景条件下分析了结构元素的选取方式，最终采用了相应的结构化元素。

利用多阈值处理后的分层处理，可以有效地弱化背景噪声的影响，并且具有较高的定位精度，可以准确地提取出图像中目标区域的边缘信息，对每一个二值化图像进行后续的复合形态学滤波能够进一步滤除图像中的噪声，保留更多的图像边缘信息，较好地解决了图像的信噪比和定位精度之间的矛盾。

由于图像的形态学滤波操作能够有效地简化数字图像的数据存取方式、维持图像的结构特征和消除不相干的数字结构，因此再对包含椒盐噪声的图像进行图像的边缘提取时，同时利用形态学的滤波优势与 LOG 算法的高频提取特性，在不影响 LOG 算法检测性能的同时，较好地实现了图像中噪声的滤除和边缘的提取，具有良好的应用前景。

### 参考文献：

[1] 郑剑锋. 基于感兴趣区域的图像分割及其在图像检索中的应用 [D]. 上海：上海交通大学，2018.  
 [2] 赵海涛，李万玉，董介春，等. 自适应图像边缘检测 LOG 算法的 DSP 实现 [J]. 青岛大学学报（工程技术版），2005，20（4）：65-68.