

基于 Sobel 算子滤波的图像增强算法

王云艳^{1,2} 周志刚¹ 罗冷坤¹

¹(湖北工业大学电气与电子工程学院 湖北 武汉 430068)

²(湖北工业大学太阳能高效利用及储能运行控制湖北省重点实验室 湖北 武汉 430068)

摘要 针对传统图像增强算法对噪声比较敏感、图像失真和细节信息丢失等不足,提出一种基于 Sobel 算子滤波的图像增强算法。通过理想高通滤波和 Sobel 算子提取出边缘掩膜,再利用平滑滤波和拉普拉斯算子结合得到简单的细节增强图像。然后将其和掩膜相乘后,再与输入图像相加可得到效果较好的边缘细节增强图像。通过实验进行比较分析,评价结果显示,该方法得到图像的视觉效果相对原始图像和同态滤波都有明显的改善。实验结果验证了该方法的有效性,在增强图像边缘细节的同时,能够抑制噪声并保持图像的真实性。

关键词 图像增强 Sobel 算子 图像降噪 峰值信噪比

中图分类号 TP3

文献标识码 A

DOI:10.3969/j.issn.1000-386x.2019.12.029

IMAGE ENHANCEMENT ALGORITHM BASED ON SOBEL OPERATOR FILTERING

Wang Yunyan^{1,2} Zhou Zhigang¹ Luo Lengkun¹

¹(School of Electrical and Electronic Engineering, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, Hubei, China)

²(Hubei Key Laboratory for High-efficiency Utilization of Solar Energy and Operation Control of Energy Storage System, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, Hubei, China)

Abstract In view of the shortcomings of traditional image enhancement algorithms, such as more sensitive to noise, image distortion and loss of detail information, this paper proposes an image enhancement algorithm based on Sobel operator filtering. The edge mask was extracted by ideal high pass filter and Sobel operator, and then the simple detail enhancement image was obtained by combining smooth filter and Laplacian operator. Then, it was multiplied by the mask and added with the input image to get a better edge detail enhancement image. Comparison and analysis were carried out through experiments. The evaluation results show that the visual effect of the image obtained by this method is better than that of the original image and homomorphic filtering. The experimental results verify the effectiveness of the method, which can enhance the edge details of the image, suppress the noise and maintain the authenticity of the image.

Keywords Image enhancement Sobel operator Image denoising Peak signal to noise ratio

0 引言

在航空航天、医疗和工业等众多领域中,图像增强技术都有着十分广泛的应用,目的是通过对图像进行加工使其视觉效果更好,更有利于图像信息的获取。通常,图像可能存在亮度不够、对比度不高、夹杂噪声等问题,这严重影响到了人们对图像的辨识和分析。

为了改善图像的质量,针对传统的灰度变换拉伸

图像的灰度级,Zohair 等^[1-2]提出了使用直方图修正使图像的灰度级均匀分布,这两种方法都可以有效增强图像的对比度;平滑滤波^[3-5]不仅能减少图像的噪声,也可以用来对图像做模糊处理;相比文献[6-8]提出的图像锐化来增强图像的边缘和轮廓,使其更加的清晰,文献[9-10]提出的同态滤波实现压缩图像亮度范围的同时,增强图像的对比度。然而,这些传统的方法,在改善图像的同时,常常也会对图像质量产生一些不好的影响。例如,直方图均衡化会减少图像原

始信息^[11],利用平滑滤波去噪时会使图像变得模糊;而高通滤波^[12-13]突出图像边沿的同时,图像平滑区域的信息可能丢失。因此,寻找一种在增强图像视觉效果使其变得清晰、明了,有助于分析的同时,尽可能地保持图像真实性,防止不利因素的产生对算法具有重要的意义。本文提出的基于 Sobel 算子^[14-17]滤波的图像增强算法,将 Sobel 算子与平滑滤波、高通滤波等相结合可以得到视觉效果较好的增强图像。同时引入图像的峰值信噪比 (PSNR)^[18-20]、熵 (entropy)^[21-23]和灰度均值等参数,对图像增强效果进行评估。

本文算法的优点如下:通过理想高通滤波、Sobel 算子、平滑滤波等多步骤结合处理,尽可能地提取出了图像中有用的信息;通过图像叠加,在突出图像有用信息的同时,保留了原始图像的真实性,有效地防止了图像的失真。

1 相关工作

1.1 理想高通滤波

图像中的边缘部分可以有效地反映图像的轮廓和细节信息。在频域中,图像的边缘和细节信息对应于傅里叶变换中的高频部分。

Step 1 通过傅里叶变换将图像变换到频域空间:

$$F(k, b) = \sum_{i=0}^{X-1} \sum_{j=0}^{Y-1} f(i, j) e^{-j2\pi(\frac{ki}{X} + \frac{bj}{Y})} \quad (1)$$

$$k = 0, 1, \dots, X-1 \quad b = 0, 1, \dots, Y-1$$

式中: X 、 Y 为输入图像横向和纵向上的总像素数; $f(i, j)$ 为输入图像在点 (i, j) 处的灰度值。

Step 2 使用理想高通滤波器可以有效截断低频部分,从而起到锐化图像的作用,理想高通滤波器的传递函数为:

$$H(k, b) = \begin{cases} 0 & d(k, b) \leq d0 \\ 1 & d(k, b) > d0 \end{cases} \quad (2)$$

式中: $d0$ 为截断频率; $d(k, b)$ 为点 (k, b) 到原点的距离。得到结果: $G(k, b) = F(k, b) \times H(k, b)$ 。

Step 3 将 $G(k, b)$ 进行傅里叶逆变换便可得到理想高通滤波得到的结果 $g(i, j)$:

$$g(i, j) = \frac{1}{XY} \sum_{k=0}^{X-1} \sum_{b=0}^{Y-1} G(k, b) e^{j2\pi(\frac{ki}{X} + \frac{bj}{Y})} \quad (3)$$

$$i = 0, 1, \dots, X-1 \quad j = 0, 1, \dots, Y-1$$

1.2 Sobel 算子

Sobel 算子是一种离散差分算子,计算后的结果显

示了图像在指定像素点上的变化尖锐度。使用 Sobel 算子可以提取图像的边缘,对图像进行锐化处理,使得图像的轮廓细节更加清晰、明了。其实现方法是使用两个不同的卷积核在图像上滑动,做卷积运算,分别检测出图像的水平边沿及垂直边沿。Sobel 卷积核如图 1 所示, Sobel 算子边缘提取结果如图 2 所示。

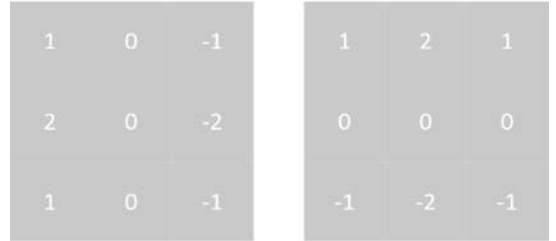
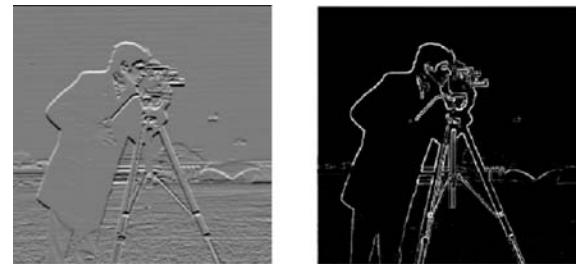


图 1 Sobel 卷积核



(a) 原始图像

(b) 基于垂直方向的边缘图像



(c) 基于水平方向的边缘图像 (d) Sobel 算子边缘提取图

图 2 Sobel 算子边缘提取

对于图像中的某个点,以其为中心取周围 8 个像素点组成一个 3×3 的区域,与图 1 中卷积核每个点对应相乘然后求和,结果为该点的新值。对于图像四周边缘的周围元素不全的点,缺失的部分取 0 处理。对于点 (i, j) 有:

$$\begin{cases} s_i = \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 I(m, n) h(i-m, j-n) \\ s_j = \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 J(m, n) h(i-m, j-n) \end{cases} \quad (4)$$

$$S(i, j) = \sqrt{s_i^2 + s_j^2}$$

式中: $I(m, n)$ 和 $J(m, n)$ 分别为 Sobel 算子的 3×3 的水平和垂直检测模板; $h(i, j)$ 为 Sobel 算子处理的图像; s_i 和 s_j 分别为图像在水平、垂直方向的度。

1.3 平滑滤波和拉普拉斯算子

平滑滤波器可以减少图像中的噪声,在使用拉普拉斯算子锐化图像之前先使用平滑滤波去除图像中噪

声。平滑滤波公式如下：

$$P(i,j) = \sum_{a=-m}^m \sum_{b=-n}^n q(a,b)f(i-a,j-b) \quad (5)$$

式中： $P(i,j)$ 为平滑滤波后的灰度值； $q(a,b)$ 是大小为 $(2m+1) \times (2n+1)$ 的滤波器模板； $f(i,j)$ 为平滑处理前图像的灰度值。

本文采用的 3×3 平滑模板如图 3 所示，即每个点的像素值由其领域的像素相加取平均值代替。因此，这种平滑方法也成为领域平均法。但是，在使用平滑去噪的同时，会使图像变得模糊，使用的平滑模板越大，图像将更模糊，边缘细节就会减弱。

1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9

图 3 3×3 平滑滤波模板

拉普拉斯算子是一种各项同性的二阶导数算子，也就是基于二阶导数的边缘提取方法，其计算是取二阶导数的水平和垂直方向的分量之和。图像中的噪声在拉普拉斯算子的作用下会有很强烈的响应，可能导致无法准确检测出图像的边缘，因此，在使用拉普拉斯算子处理时进行去噪处理是很有必要的。使用模板计算方法，拉普拉斯算子对应的掩码如图 4 所示，可看出拉普拉斯算子是各向同性的。

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

图 4 拉普拉斯算子掩码

其计算方法与 1.2 节中 Sobel 算子的计算方法类似，图像每个点和其周围 8 个点结合与图 4 掩码对应相乘求和得出该点的新像素值，则对于点 (i,j) ，有：

$$L(i,j) = \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 k(m,n)p(i-m,j-n) \quad (6)$$

式中： $k(m,n)$ 为 3×3 的拉普拉斯算子掩码； $L(i,j)$ 为经拉普拉斯算子处理后的图像。

1.4 图像掩膜

图像掩膜就是用选定的图像作为掩膜，和待处理的图像各位相乘。在数字图像处理领域，掩膜通常为二维矩阵数组，有时也可以是多值图像。通过掩膜与待处理图像各位相乘，即矩阵的哈达玛积，就可以得到我们想要区域的图像。

2 基于 Sobel 算子滤波的图像增强算法

本文算法流程图如图 5 所示。

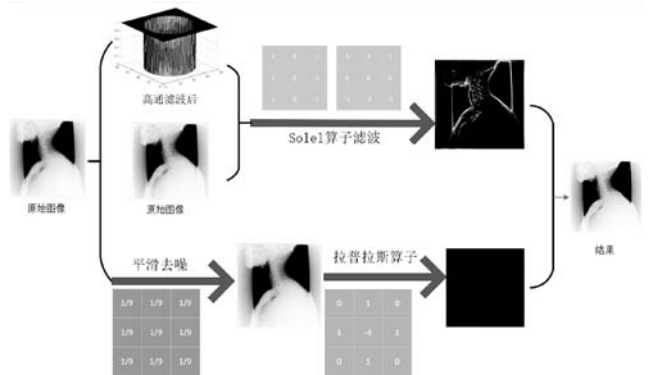


图 5 图像增强算法流程图

具体公式如下：

$$E(i,j) = \{ \sqrt{s_i^2 + s_j^2} \times [\sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 k(m,n)p(i-m,j-n) + f(i,j)] \} + f(i,j) \quad (7)$$

式中： $k(m,n)$ 为 3×3 的拉普拉斯算子掩码； $p(i,j)$ 为平滑滤波后的灰度值； s_i 和 s_j 分别为图像在水平、垂直方向的梯度。

算法的具体流程如下：

Step 1 进行图像预处理，对原始图像进行数据归一化，若原始图像为彩色图像，则转换成灰度图像，并以归一化和灰度化处理后的图像作为后续步骤的输入图像。

Step 2 预处理之后分两步操作分别得到我们需要的掩膜以及一幅简单的细节增强图像。

1) 先利用理想高通滤波器对输入图像进行处理，通过这一步可以提取出图像在频域空间的高频部分，也就是图像的边缘细节；然后将理想高通滤波器提取出的图像加在输入图像上便可得到一幅简单的边缘增强图像，但是这样只有简单的边沿增强效果，达不到预想的目标；接着使用 Sobel 算子作为卷积核对上一步得到的图像做卷积运算，这样便可以检测出比之前更好的图像边缘信息图像作为掩膜。

2) 先对输入图像进行平滑去噪,由于后面利用拉普拉斯算子处理时对噪声非常的强烈的响应,会造成不好的影响,所以要先进行去噪处理;再对去噪之后的图像利用拉普拉斯算子处理后可以更好的突出图像中的小细节。

Step 3 将这一结果加到输入图像上便可得到一幅初步的细节增强图像。由于拉普拉斯算子是各向同性的,检测孤立点的效果很可观,但是会丢失边缘的方向信息,所以还需要进行后续操作。

Step 4 将 Step 1 处理得到的掩膜图像与 Step 2 得到的初步增强图像点乘,这样便可以很好地提取出图像中的边缘及细节信息,再与输入图像相加的结果就是本文图像增强算法的结果。

3 实验

通过多组实验得到本文算法增强图像与原图像和同态滤波算法得到的增强图像对比,并且计算图像的灰度均值、峰值信噪比和熵等参数对图像的增强质量做定量分析,同时结合图像的视觉效果进行比较。

3.1 灰度均值

灰度均值是通过将所有像素的灰度值相加然后除以像素总数得到的,是一种十分有效的计算灰度图像浓度的方法。灰度均值大的图像整体明亮,相比灰度均值小的比较暗的图像易于辨识。其计算方法是将图像中所有像素点的像素值相加然后除以总像素数。

$$mean = \frac{1}{X \times Y} \sum_{i=1}^X \sum_{j=1}^Y R(i, j) \quad (8)$$

式中: $X \times Y$ 为图像总像素数; $R(i, j)$ 为图像点 (i, j) 的像素值。

3.2 峰值信噪比

峰值信噪比 (PSNR) 是客观衡量图像质量的指标之一。

$$\begin{cases} MSE = \frac{1}{X \times Y} \sum_{i=1}^X \sum_{j=1}^Y [R(i, j) - f(i, j)]^2 \\ PSNR = 10 \times \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \end{cases} \quad (9)$$

式中: $R(i, j)$ 和 $f(i, j)$ 分别为输出和输入图像在点 (i, j) 处的灰度值; MSE 为均方误差, 255 为最大灰度级。 $PSNR$ 越大说明图像失真越小。

3.3 熵

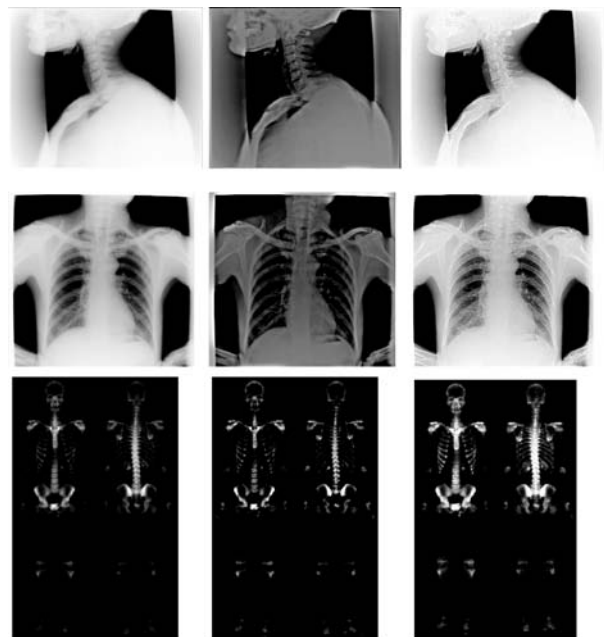
通过计算图像熵值也可以测量图像的质量:

$$entropy = - \sum_{i=0}^{255} P(i) \times \log_2 p(i) \quad (10)$$

式中: $P(i)$ 表示灰度值为 i 的像素占像素总数的比例。熵越大,反映的纹理信息越丰富。

4 实验结果及分析

实验结果如图 6 所示,各图像的灰度均值、峰值信噪比以及熵等数据如表 1、表 2 所示。从主观来看,可以明显地观察到本实验得出的图像相比原图有了十分明显的改善,细节信息更加清晰;相对于同态滤波算法,本文算法得到的图像更加明亮,骨头纹理明显,可读性强。客观上看,与使用同态滤波方法得到的增强图像相比,从实验得出的数据可以看到,通过本方法得到的增强图像的峰值信噪比 ($PSNR$) 比同态滤波更高,说明增强的图像失真更小,质量更高;得到的增强图像的熵值 ($entropy$) 比同态滤波得到的更大,图像质量更好。同时,本文增强图像的灰度均值 ($mean$) 比原图有些许的提升,使得图像更加的明亮、可观,而同态滤波算法得到的图像则比较灰暗。



(a) 原始图像 (b) 同态滤波算法结果 (c) 本文算法结果

图 6 实验结果图

表 1 本发明增强图像质量参数

图像名称	$mean$		$PSNR$	$entropy$	
	原始图像	增强图像		原始图像	增强图像
上身骨骼	135.941 2	148.616 2	61.702 3	7.173 0	7.006 9
全身骨骼	17.217 3	24.143 8	71.638 9	4.660 7	4.843 9
脊椎骨骼	166.670 4	178.058 5	59.938 8	6.723 1	6.426 2

表 2 与同态滤波增强图像参数比较

图像名称	mean		PSNR		entropy	
	同态滤波	本文方法	同态滤波	本文方法	同态滤波	本文方法
上身骨骼	95.163 4	148.616 2	60.243 6	61.702 3	7.006 8	7.006 9
全身骨骼	16.031 4	24.143 8	70.248 1	71.638 9	4.839 6	4.843 9
脊椎骨骼	110.295 9	178.058 5	59.257 6	59.938 8	6.280 7	6.426 2

5 结 语

本文提出的基于 Sobel 算子的图像增强算法与同态滤波等现有方法相比,可以得到更好的边缘细节增强图像。合理有效地将图像锐化、去噪和掩膜等方法相结合,克服了传统算法的单一性。实验结果表明,本文算法在提取图像边缘细节的同时保证了图像信息的真实性,有效地克服了图像中噪声的影响,最终得到视觉效果非常不错的增强图像。图像增强算法的研究对于医疗、航空航天和工业等众多领域都有着非常重要的意义,希望本文算法对图像信息的分析起到积极的作用。

参 考 文 献

- [1] Al-Ameen Z, Sulong G, Rehman A, et al. An innovative technique for contrast enhancement of computed tomography images using normalized gamma-corrected contrast-limited adaptive histogram equalization[J]. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2015(1):32.
- [2] Lai Y R, Tsai P C, Yao C Y, et al. Improved local histogram equalization with gradient-based weighting process for edge preservation[J]. Multimedia Tools & Applications, 2017, 76(1):1585-1613.
- [3] Huang Y, Zhang Y, Li N, et al. Design of gaussian approximate filter and smoother for nonlinear systems with correlated noises at one epoch apart[J]. Circuits, Systems, and Signal Processing, 2016, 35(11):3981-4008.
- [4] 颜兵,王金鹤,赵静. 基于均值滤波和小波变换的图像去噪技术研究[J]. 计算机技术与应用, 2011, 21(2):51-53,57.
- [5] Jin B, You S J, Cho N I. Bilateral image denoising in the Laplacian subbands[J]. EURASIP Journal on Image and Video Processing, 2015(1):26.
- [6] Zhang Y, Han X, Zhang H, et al. Edge detection algorithm of image fusion based on improved Sobel operator[C]//2017 IEEE 3rd Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC). IEEE, 2017.
- [7] 王静,李竹林,贺东霞,等. 基于边缘检测的各种算子及其特点[J]. 延安大学学报(自然科学版), 2014, 33(1):5-8.
- [8] 代文征,杨勇. 基于改进高斯-拉普拉斯算子的噪声图像边缘检测方法[J]. 计算机应用研究, 2019, 36(8):2544-2547,2555.
- [9] 刘燕君,刘奇. 基于同态滤波与直方图均衡化的超声图像增强[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2011, 15(48):9031-9034.
- [10] 王晓勇,胡福乔,赵宇明. 同态滤波在图像角点提取中的应用[J]. 计算机工程, 2006, 32(11):211-212,264.
- [11] Sumathi K, Anitha S, Himabindu C. Image enhancement with histogram local minimas[C]//2017 IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering (ICPSCI). 2017.
- [12] 张琳梅,张雪峰. 基于频域高通滤波图像增强的改进方法[J]. 软件导刊, 2014, 13(12):137-139.
- [13] 贾文晶,顾桂梅,刘丽. 基于高通滤波和直方图均衡的钢轨裂纹红外图像增强技术[J]. 铁道标准设计, 2016, 60(11):41-44.
- [14] Nausheen N, Seal A, Khanna P, et al. A FPGA based implementation of Sobel edge detection[J]. Microprocessors and Microsystems, 2018, 56:84-91.
- [15] Zhang K, Zhang Y, Wang P, et al. An improved sobel edge algorithm and FPGA implementation[J]. Procedia Computer Science, 2018, 131:243-248.
- [16] 张棋,贾方秀,殷婷婷. 基于改进 Sobel 算法的实时图像边缘检测系统设计[J]. 仪表技术与传感器, 2018(2):101-104,108.
- [17] 卢珍. 单项 Sobel 算子提高 Φ -OTDR 信噪比方法的研究[J]. 光通信技术, 2017, 41(7):37-39.
- [18] Qiang W, Sheng B. Prediction of the PSNR Quality of Decoded Images in Fractal Image Coding[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2016, 2016:1-13.
- [19] 李娜,周蓬勃,耿国华,等. 色彩复原图像的质量评价方法[J]. 计算机应用, 2016, 36(6):1673-1676.
- [20] 丰明坤,赵生妹,邢超. 一种基于视觉特性的 PSNR 图像评价方法[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版), 2015, 35(4):33-38.
- [21] Tian X, Li T, Tian J W, et al. Prediction method for image coding quality based on differential information entropy[J]. Entropy, 2014, 16(2):990-1001.
- [22] Krbcova Z, Kukal J. Relationship between entropy and SNR changes in image enhancement[J]. EURASIP Journal on Image and Video Processing, 2017(1):83.
- [23] 卢鹏,林根巧,邹国良. 基于信息熵和深度学习的无参考图像质量评价方法研究[J]. 计算机应用研究, 2018, 35(11):314-318.
- [24] Pratt W K. Digital image processing[M]. 3rd ed. New York: John Wiley and Sons, Inc, 2001.