

文章编号: 2096-1618(2020)06-0621-04

CLAHE 融合边缘细节增强算法的 X 光图像处理

程艳梅, 刘志宏

(成都信息工程大学电子工程学院, 四川 成都 610225)

摘要:针对某些医疗器械设备在图像采集过程中,因人体结构和组织的复杂性以及噪声、X 线散射等不可抗因素导致 X 光图像质量差、对比度低的问题,利用限制对比度直方图均衡算法结合边缘细节增强算法对胸部 X 光图像进行增强操作。首先,使用对比度直方图均衡算法对灰度图像进行图像增强,有效地增强了图像清晰度并抑制了噪声的放大,然后在图像灰度值跳变部分通过卷积的原理对图像进行细节增强,最后利用信息熵、平均梯度、标准差等指标对图像增强效果进行客观评价。实验表明,该方法在胸片图像增强上有显著效果,增强后的图像纹理特征和细节对比明显,图像质量得到很大提高。

关键词:直方图均衡;图像增强;X 光胸片;边缘增强;评价指标

中图分类号:TP751.1

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcui.2020.06.007

0 引言

在肺部疾病诊断中,医生通过观察病人肺部纹理、肺叶密度等细节特征,对病人病情做出及时准确的判断。然而,许多地区因医疗条件有限,直接从医疗设备上获取的 X 光图像往往因图像模糊不清,导致无法辨认关键的病灶特征。

为改善医学图像质量问题,研究者相继提出过许多有关图像对比度增强的技术。目前,该技术可分为两大类,一是直接对比度增强法,二是间接对比度增强法,但传统方法在改善图像质量方面效果有限,对图像的噪声敏感且计算量太大。杨晖等^[1]将直方图变换与细节对比度增强相结合,有利于图像整体对比度的改善,但仍存在放大不利噪声的问题,吴君等^[2]提出将高频加强滤波和直方图均衡进行混合对医学图像进行增强,利用滤波原理对噪声进行抑制,李小飞^[3]将直方图均衡化和小波分析相结合,以减少噪声对图像的干扰,但对图像边缘的增强效果有限。

结合当前医学图像增强中仍存在的噪声抑制和图像边缘增强的主要问题,文中有效地将限制对比度自适应直方图均衡方法与边缘增强算法相结合,前者在抑制噪声的情况下整体提高图像清晰度和对比度,后者通过输入图像与自定义内核相卷积的方式获得边缘增强,从而达到有效增强图像细节和边缘特征的效果。

1 限制对比度自适应直方图均衡

在图像处理领域中,直方图均衡化(histogram equalization, HE)^[4]通过计算图像中各像素值等操作,

利用直方图对图像对比度进行调整,实现图像增强的过程。常见方法中大致可分为全局方法和自适应方法。全局方法不具备调整增强程度的机制,特别是在图像的背景或细节部分难以得到理想的增强效果,甚至会导致不自然的视觉效果。相较而言,自适应直方图均衡化(adaptive histogram equalization, AHE)^[5]通过对直方图的计算对图像亮度进行重新分布,以达到改变图像对比度的效果,适用范围更为广泛。在 AHE 基础上提出限制对比度自适应直方图均衡(contrast limited adaptive histogram equalization, CLAHE)^[6]算法,继承了 AHE 的优点,同时能有效地抑制不利噪声的放大。

CLAHE 算法主要流程^[7]如下:

(1)分块。输入一张图像,对其进行均匀分割,得到大小相等的子区域,并假设各子区域内包含的所有像素值和为 S 。

(2)计算直方图。以 $U_{xy}(k)$ 表示各个子区域的直方图,其中 k 表示局部子区域的灰度级数,取值范围为 $[0, N-1]$, N 表示该子区域内的最大灰度级数。

(3)计算受限值。

$$\beta = \frac{S}{N} \left\{ 1 + \frac{\alpha}{100} (l_{\max} - 1) \right\}$$

其中, α 表示截断系数,取值范围为 $[0, 100]$; l_{\max} 为最大斜率,取值范围为 $[1, 4]$, l_{\max} 的取值决定了对比度增强的幅度。

(4)像素点重分配。每一块子域都有对应的受限值 β , 利用 β 截取该子域内的直方图 $U_{xy}(k)$, 并得到截取总数为

$$E_x = U_{xy}(k) - \beta$$

截取的像素总数需要平均分配到直方图的各灰度级中,计算平均分配的像素数为

$$a_v = E_x / N$$

计算分配剩余像素数步长

$$L = L_s / E_x$$

其中 L_s 为灰度范围长度。循环检测直方图中各灰度级数大小,当其值小于该区域内受限值 β 时,为其分配平均像素数 a_v 。重复分配操作,直至截取的像素总数被分配完成。分配过程可由图1表示。

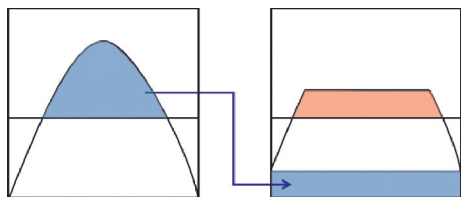


图1 CLAHE 算法裁剪分配过程

(5)直方图均衡。将对比度受限后每个子块的灰度直方图进行均衡化处理。

(6)双线性插值进行灰度值重构。对经过均衡处理后的直方图进行灰度双线性插值。

假设函数 $f(x)$ 有4个已知点的值分别为 $Q_{11}(x_1, y_1)$ 、 $Q_{12}(x_1, y_2)$ 、 $Q_{21}(x_2, y_1)$ 、 $Q_{22}(x_2, y_2)$,则在函数 $f(x)$ 上的任意点 $p=(x, y)$ 可通过线性插值近似求出。

在 x 方向上进行线性插值,得到:

$$f(R_1) \approx \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{11}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{12})$$

$$R_1 = (x, y_1)$$

$$f(R_2) \approx \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{21}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{22})$$

$$R_2 = (x, y_2)$$

在 y 方向上进行线性插值,得到:

$$f(p) \approx \frac{y_2 - y}{y_2 - y_1} f(R_1) + \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} f(R_2)$$

$$R_1 = (x, y_1)$$

$$R_2 = (x, y_2)$$

其中 $f(Q_{11})$ 、 $f(Q_{12})$ 、 $f(Q_{21})$ 和 $f(Q_{22})$ 表示经过直方图均衡化后,4个相邻区域中直方图的灰度值。利用上述方法,计算输出图像各点的灰度值,实现像素点灰度值的重构。

2 边缘细节增强

为提高X光图像的可读性,对图像边缘及灰度跳变部分使用边缘细节增强算法进行增强,使图像的边缘模糊部分变得清晰,从而获取更多的图像细节部分。边缘细节增强也称为图像锐化^[8],传统的空间域图像锐化方法可分为:一阶微分算子、二阶微分算子和非锐化掩膜法^[9],但都存在一定的弊端。一阶微分算子得到的边缘信息较少,容易丢失关键信息;二阶微分算子可有效获取边缘细节信息,但反映的边界不够清晰;非

锐化掩膜通过对原图做模糊处理后,再与原图做差值运算的方式实现边缘增强,该过程会导致图像整体亮度被提高。考虑到胸片图像对于边缘细节要求的特殊性,以上传统方式都不是边缘增强的最佳选择。目前,随着深度学习技术的崛起,可利用卷积的原理对图像进行边缘细节的增强,通过使用掩模板矩阵计算每个像素值,再与图像进行卷积,能够有效增强图像细节和边缘部分,并且不影响图像的整体明亮度。综合考虑,选用自定义2D卷积内核的方式对图像边缘进行增强处理。具体过程:

(1)自定义卷积核 K ,该内核强调在相邻的像素值的差异。

$$K = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

(2)计算内核与图像相似性,计算输出矩阵公式为

$$\text{dst}(x, y) = \sum_{\substack{0 \leq x' < 3 \\ 0 \leq y' < 3}} K(x', y') \times S(x + x' - \text{anchor}(x, y) + y' - \text{anchor}(y))$$

其中, x, y 表示输出矩阵各元素的坐标, x', y' 表示内核 K 各元素的坐标。anchor 表示内核锚点,位于内核中心。

3 实验结果与分析

3.1 结果评价指标

单一使用人眼判断图像增强效果,具有一定的主观性,因此使用客观评价指标辅助判断图像质量较合理^[10]。客观评价指标主要利用数学公式反映图像中包含信息量和图像清晰度等。其内容是物理参量,评价的手段是物理量测量度,所以客观评价的特点是能够做到严格准确,具有较高的科学性和客观性。选取信息熵^[11]、平均梯度^[12]、标准差^[13]等统计学量作为图像质量客观评价指标。

3.1.1 信息熵

图像信息熵是一种特征的统计形式,反映图像中包含信息量的大小。一般而言,图像信息熵越大,表示其包含信息量越丰富,图像对细节的保留越完整。若假设图像中每个像素点的灰度值之间相互独立,则各灰度值分布概率可表示为 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_x, \dots, p_n\}$,则图像信息熵计算公式为

$$E = - \sum_{i=0}^n p(x) \log_2 p(x)$$

其中, $p(x)$ 即表示灰度值在图像中出现的概率, n 为灰度级总数,此处输入为256灰度等级图像,故 $n=255$ 。

3.1.2 平均梯度

图像平均梯度指的是图像在梯度图上所有点的均值,由于图像边缘部分或影线周围区域的灰度值存在显著差异,所以可以用于表征图像的清晰度。梯度图

上均值越大,表示图像对细节对比的表达能力越强,图像就越清晰。其计算公式为

$$G=\frac{1}{M\times N}\sum_{i=1}^M\sum_{j=1}^N\sqrt{\frac{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}{2}}$$

其中, $M\times N$ 表示图像大小, $\frac{\partial f}{\partial x}$ 表示水平方向上的梯度, $\frac{\partial f}{\partial y}$ 表示垂直方向上的梯度。

3.1.3 标准差

图像标准差是图像质量评价的常用指标之一,表征图像像素灰度值相对于均值的离散程度,标准差越大,表明图像中灰度级分布越离散,图像质量也就越高。若定义某张图像为 F ,则其标准差为

$$\text{std}=\sqrt{\frac{1}{M\times N}\sum_{i=1}^M\sum_{j=1}^N(F(i,j)-\bar{F})^2}$$

其中, \bar{F} 表示图像 F 像素总数的均值,若 $\text{std}\rightarrow 0$,表示图像趋于被相同灰度级填充,图像中能被观察到的有效信息非常少。

3.2 实验结果

为证明文中方法在 X 光图像上是否能较好地增强图像且保留有效信息,将原图、CLAHE 算法以及文中方法处理后的图像信息进行对比,并从主观和客观两个方面进行结果评测。选取两张 X 光图像,一张轮廓较为清晰,一张轮廓较为模糊,并对图像进行适当剪切,得到 256×256 的图像大小,分别对其进行 CLAHE 算法增强和文中方法增强,实验结果如图 2 所示。

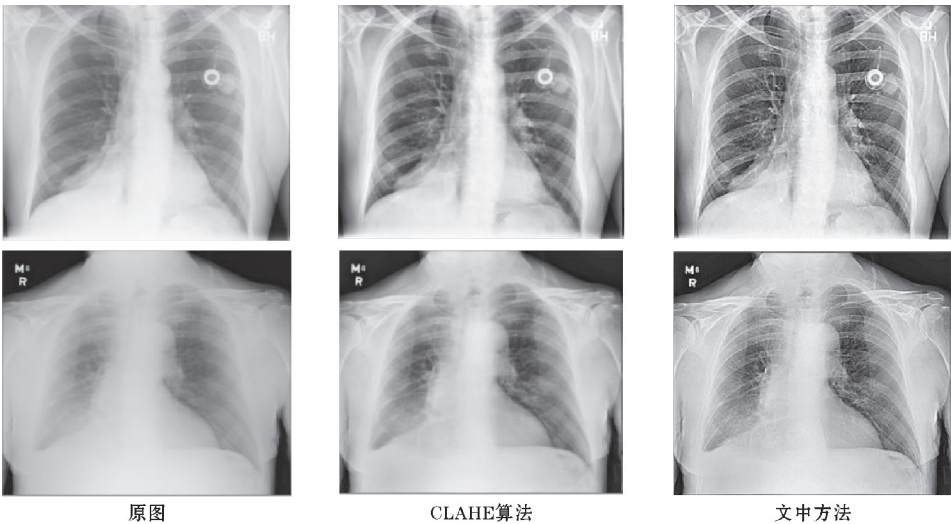


图 2 图像增强效果

通过主观分析判断,在经过 CLAHE 算法处理后的图像质量虽然也得到较大幅度的提升,能够较好地观察图像细节,但在原始图像质量不佳的情况下,图像在清晰度和细节部分上的增强效果并不十分明显。使用文中方法处理后,图像质量大幅提高,肺部纹理清晰可见,在图像信息丰富程度和视觉效果上都优于使用单一的 CLAHE 算法,图像纹理特征和细节反差更为明显,更适合人眼观察。通过 3 组图像在视觉上地对比,图像增强效果依次提高,体现了结合算法应用于胸部 X 光图像增强的有效性。

3.3 实验结果分析

根据图像质量客观评价指标,分别计算了两组图像的信息熵、平均梯度和标准差,各算法性能对比如表 1 所示。

由表 1 知,使用文中方法增强后的肺部 X 光图像的信息熵值比单一 CLAHE 算法高出 1.4% 和 1.8%,即文中方法处理后的图像包含的信息量更丰富;在平均梯度

表 1 算法性能指标对比

指标	原图	CLAHE 算法	文中方法
信息熵	7.3776	7.6395	7.7431
	7.1137	7.351	7.4869
平均梯度	16.9064	32.6933	99.5459
	11.0316	20.392	62.0344
标准差	48.1442	57.5826	63.3434
	55.7218	59.7937	62.7498

上,CLAHE 算法比文中算法低出 67.2% 和 67.1%,即代表文中方法在边缘和图像细节方面的清晰度极大程度优于 CLAHE 算法;另外,图像标准差较 CLAHE 算法分别提高 10% 和 4.9%,表示文中方法比 CLAHE 算法有更好的细节强化能力。通过客观指标可以看出,文中方法对原始图像起到了很好的增强效果,有效地提高了图像清晰度、强化细节特征,并抑制了增强过程中不利噪声的放大,使图像质量得到很大提高。

计算两组胸片图像分别经过 CLAHE 算法和文中方法的图像增强所消耗的时间,结果见表 2。

表2 算法耗时分析

胸片图像	CLAHE 算法	文中方法
A	0.000998	0.025889
B	0.000956	0.025933

由数据分析可以看出,相比较与单独使用 CLAHE 算法,文中方法在处理图像过程中所消耗的时间更长,主要原因是融合了边缘细节算法,在提高图像质量的同时需要以牺牲时间为代价,适合于中小型医学图像集的图像增强,而在大型数据集上耗时较长。

4 结束语

将 CLAHE 算法与边缘细节增强算法有效融合,并根据图像信息熵、平均梯度、标准差等图像质量客观评价指标,对图像增强后的结果进行数值对比分析。实验结果表明,相比较于使用传统 CLAHE 算法进行图像增强的效果,文中方法完善了对图像边缘和细节部分的处理,同时,增强后的图像更利于人眼对图像细节进行观察和判断,这在临床医学上的应用具有重大意义。

参考文献:

[1] 杨晖,翟丽荣. X 线医学图像的对比度增强方法与实现[J]. 辽宁大学学报(自然科学版),2009,36(1):64-66.

[2] 吴君,阳建华,贺超,等. 图像增强技术在数字 X 射线医学影像中的应用[J]. 中国医学装备,2012,9(5):60-62.

[3] 李小飞. 基于直方图规定化和小波分析的医学图像增强[J]. 软件导刊,2014(4):150-151.

[4] 徐鹏飞,朱清泽. 基于直方图均衡化的图像增强

在医学中的应用[J]. 计算机产品与流通,2018(12):127.

[5] Kim T K,Paik J K,Kang B S. Contrast enhancement system using spatially adaptive histogram equalization with temporal filtering[J]. IEEE Transactions on Con-sumer Electronics,1998,44(1):82-87.

[6] Kim J Y,Kim L S,Hwang S H. An advanced contrast-enhancement using partially overlapped sub-block histo-gram equalization[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology,2001,11(4):475-484.

[7] Reza A M. Realization of the contrast limited adaptive histogram equalization (CLAHE) for real-time image en-hancement [J]. Journal of VLSI Signal Processing,2004,38(1):35-44.

[8] 孙忠玉. X 光医学图像的降噪和增强处理研究 [D]. 江门:五邑大学,2014.

[9] 王建,庞彦伟. 基于 CLAHE 的 X 射线行李图像增强[J]. 天津大学学报,2010,43(3):194-198.

[10] 魏德志,梁光明. 基于改进的 CLAHE 显微细胞图像增强算法[J]. 计算机技术与发展,2018,28(10):111-114.

[11] 杜欣宇,陈丽芳,刘渊. 基于分块信息熵的彩色图像融合算法[J]. 计算机系统应用,2015(7):24-30.

[12] 徐少平,杨荣昌,刘小平. 信息量加权的梯度显著度图像质量评价[J]. 中国图象图形学报,2014,19(2):201-210.

[13] 张小利,李雄飞,李军. 融合图像质量评价指标的相关性分析及性能评估[J]. 自动化学报,2014,40(2):306-315.

X-ray Image Processing based on CLAHE Fusion
Edge Detail Enhancement Algorithm

CHENG Yanmei, LIU Zhihong
(College of Electronic Engineering ,Chengdu University of Information Technology ,Chengdu 610225 ,China)

Abstract: In order to solve the problem of poor quality and low contrast of X-ray images due to the complexity of human body structure and tissue, as well as force majeure factors such as noise and X-ray scattering in the image acquisition process of some medical equipment. This paper uses the contrast histogram equalization algorithm combining the edge detail enhancement algorithm to enhance the chest X-ray image. First, the grayscale image is enhanced by the contrast histogram equalization algorithm, which effectively enhances the image clarity and suppresses the amplification of noise. Then, the details of the image are enhanced by the principle of convolution at the transition of the grayscale value. Finally, indicators such as information entropy, average gradient, and standard deviation are used to objectively evaluate the image enhancement effect. Experiments show that the method in this paper has a significant effect on the enhancement of chest radiograph images. The enhanced image texture features and details have higher contrast, and the image quality is greatly improved.

Keywords: histogram equalization; image enhancement; X-ray chest radiograph; edge enhancement; evaluation index