

结合边缘细节局部自适应增强的直方图均衡化

冷 璐^{1,2}, 黎 明¹, 张家树²

(1 南昌航空大学 无损检测技术教育部重点实验室, 江西 南昌 330063;

2 西南交通大学 信号与信息处理四川省重点实验室, 四川 成都 610031)

摘 要: 在保持图像亮度的双直方图基础上, 结合 Canny 算子提取边缘细节, 并根据提取边缘的幅值结果建立自适应增强公式. 实验结果表明将空间边缘信息和局部灰度信息相结合的算法在满足全图灰度均衡分布的同时增强了局部细节, 并且有较强抗噪性.

关键词: Canny 算子; 边缘细节; 局部自适应增强; 直方图均衡化

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)01-0038-04

Histogram Equalization Algorithm with Local Adaptive Enhancement Based on Edge Details

LENG Lu^{1,2}, LI Ming¹, ZHANG Jia-shu²

(1 Key Laboratory of Nondestructive Test (Ministry of Education), Nanchang Hangkong University,

Nanchang 330063, China; 2 Key Laboratory of Signal&Information Processing

of Sichuan Province, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Bi-histogram equalization was combined with local enhancement to preserve brightness and improve performance of detail preservation. Since local enhancement is sensitive to noise, the adaptive algorithm was established based on the magnitude of edge pixels that are detected by Canny operator in this paper. The experimental results show that the algorithm, which combining spatial edge information with local gray information, can not only make grayscale of entire image distributed well-proportionally but also enhance local details. Furthermore it can overcome the disturbance of noise effectively.

Key words: Canny operator; edge details; local adaptive enhancement; histogram equalization

1 引言

传统灰度直方图均衡化是将原始图像的直方图变换为均匀分布, 通过增加像素灰度的动态范围达到增加图像对比度视觉效果的目的. 但此算法存在诸多问题, 如增加反差的同时也增加了图像的可视粒度. 由于算法本身合并了相近灰度级, 对于细节丰富的图像势必造成因细节信息丢失引起的模糊现象. 另外虽然直方图可以增加主观视觉效果, 但对于大多科研项目也带来了亮度畸变, 故须慎用.

针对以上问题提出了多种改善算法, 主要分为全局和局部两类. 全局的方法包括 Kim 针对图像亮度保持问题提出的双边直方图算法(BHE)^[1], 计算全图的灰度均值并以均值为界线将灰度级分成两部分分别均衡. 后来 Chen 提出基于平均亮度值递归分解直方图均衡法(RMSHE)^[2], 通过多次递归均值分解保留更多的图像亮度. Sim 把 RMSHE 改进成基于子图像递归的直方图均衡化(RSIHE)^[3], 不再采用平均亮度, 而是使用分布概率为 0.5 的灰度级作为分界点. 另一种思想是重新设计概率密度函

收稿日期: 2008-12-07; 修回日期: 2009-02-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(60475002); 航空基金项目(2008zd56003); 南昌航空大学无损检测技术教育部重点实验室开放基金项目

数的公式^[4],这种方法可以避免均衡化后灰度集中在灰度级的某个区域,尤其是低灰度区域.局部的方法主要在子块内进行均衡化,包括子块不重叠、子块重叠和子块部分重叠三类.子块不重叠会产生明显的方块效应,子块重叠是逐个像素进行计算,效率较低^[5].子块部分重叠是前两者的折中方法^[6-7].另外文献[8]中研究了参数(子块尺寸和移动步长)与性能(计算时间、块边缘的方块效应)之间的关系.

2 全局直方图均衡化

2.1 传统直方图均衡化

设 $f(x, y)$ 为需要处理的图像,图像的灰度变化范围为 $[0, 255]$,则直方图均衡化方法的具体流程如下:

- (1) $f(x, y)$ 的灰度直方图,灰度为 $f_i, i = 0, 1, 2, \dots, L - 1$.
- (2) 用 L 维的数组 h_f 表示不同灰度级像素个数.

(3) h_f 求原图的灰度分布概率,记为 p_f 则有

$$p_f = \frac{1}{N_f} h_f(f_i), i = 0, 1, 2, \dots, L - 1 \quad (1)$$

式中, N_f 是图像总的像素数.

(4) 计算图像各个灰度值的累计分布概率,记为 p_a ,有

$$P_a = \sum_{i=0}^k p_f(f_i), i = 0, 1, 2, \dots, L - 1 \quad (2)$$

(5) 进行直方图均衡化计算,得到处理后的图像 g_j 为

$$g_j = \text{INT}[(g_{\max} - g_{\min})p_a(k) + g_{\min} + 0.5] \quad (3)$$

若 $g_{\min} = f_{\min} = f_0 = 0, g_{\max} = f_{\max} = f_{L-1} = L - 1$,计算式简化为

$$g_j = \text{INT}[(L - 1)P_a + 0.5] \quad (4)$$

式中, $\text{INT}[\cdot]$ 是取整符号.

2.2 双直方图均衡化

若对图像亮度一致性要求不高,并为了加快处理时间,可采用 Kim 的双直方图法(BHE)进行全局直方图均衡化.文中按照双直方图方法计算原图灰度均值 mean ,并以 mean 为边界按照亮度分解成两个子图,两个子图的灰度范围分别为 $[f_{\min}, \text{mean}]$ 和 $[\text{mean}, f_{\max}]$,其中 $f_{\min}, f_{\max}$ 对应原图像灰度的最小和最大值.然后在两个子图区间范围进行 2.1 节中的均衡化处理.

3 局部增强的双直方图均衡算法

细节增强算法通常采用的是局部增强,通常判断是否需要增强使用的是方差,若方差大说明细节信息多,需要增强处理,若方差小,说明局部的灰度变化频率小.但是这种判断标准不能很好的克服噪声影响.一种方法是扩大窗口尺寸,减小噪声对子块灰度方差的影响,但窗口的扩大又可能会使非噪声区域和噪声区域划分到一个子块内.为了减少噪声的影响,文中从边缘方面进行细节区域的判断,并采用抗噪效果最佳且具有一定智能性的 Canny 算子进行边缘提取.

3.1 Canny 算子边缘提取

Canny 算子边缘提取的主要步骤如下:

- (1) 滤波.滤波器降低边缘强度的同时可以降低噪声影响,通常采用如式(5)所示的高斯平滑滤波器平滑图像.

$$H(x, y) = e^{-\frac{a^2 + b^2}{2\sigma^2}} \quad (5)$$

- (2) 增强.采用有限差分计算梯度的幅值和方向,将邻域中灰度有显著变化的点突出显示. Roberts 算子提取边缘较为粗糙,相比 Sobel 算子定位更准确,这里采用 Sobel 算子如下所示.

① 水平方向模板

$$H_1 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

② 垂直方向模板

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\varphi_1(m, n) = G(m, n) * H_1(m, n),$$

$$\varphi_2(m, n) = G(m, n) * H_2(m, n) \quad (6)$$

$$\varphi(m, n) = \sqrt{\varphi_2^2(m, n) + \varphi_1^2(m, n)} \quad (7)$$

$$\theta_\varphi = \arctan \frac{\varphi_2(m, n)}{\varphi_1(m, n)} \quad (8)$$

将 Sobel 模板和图像进行卷积运算可以得到对应像素水平和垂直方向的梯度 φ_1, φ_2 ,代入式(7)、式(8)分别计算边缘的幅值和方向.

(3) 检测.仅根据全局的梯度幅值阈值判定幅值较大的点是否为边缘并不可靠,因此为确定边缘必须保留局部梯度最大的点.抑制非极大值的操作方向如图 1 所示.

$3\pi/4$	$\pi/2$	$\pi/4$
0	中心像素	0
$\pi/4$	$\pi/2$	$3\pi/4$

图1 非极大值抑制方向示意图

根据边缘方向量化后分成了四个方向,分别对应 $0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4$. 若中心像素幅值比沿边缘方向的两个临近像素的幅值大,则为边缘点,否则将幅值清 0.

(4) 定位. 为了精确确定边缘的位置, Canny 算子采用的是双阈值方法和连接边缘. 双阈值算法对非极大值抑制图像作用两个阈值 τ_1 和 τ_2 , 且 $2\tau_1 \approx \tau_2$, 从而可以得到两个阈值边缘图像 $N_1[i, j]$ 和 $N_2[i, j]$. 算法不断地在 $N_1[i, j]$ 中收集边缘, 直到将 $N_2[i, j]$ 连接起来为止.

3.2 局部自适应增强

局部增强可采用式(9).

$$f'(i, j) = f(i, j) + k * [f(i, j) - m(i, j)] \tag{9}$$

式中, $f(i, j)$ 为原像素的灰度, $m(i, j)$ 为局部区域内灰度均值, k 为增强的系数. 若 $f(i, j) > m(i, j)$, $f(i, j) - m(i, j) > 0$, $k * [f(i, j) - m(i, j)] > 0$, $f'(i, j) > f(i, j)$, 即如果灰度高于局部均值, 增强后的数值更高, 反之亦然. 此公式关键的问题是 k 的取值和在什么区域形状和尺寸的窗口中计算 m .

文中窗口尺寸采用 3×3 矩形窗口, 局部增强系数 k 并非固定值, 而是根据 Canny 算子计算子块内的边缘统计信息计算获得, 故具备自适应的能力. 确定 k 的一种方法是根据 3×3 窗口内边缘点的个数确定系数 k 的大小, 边缘点个数越多, 说明细节越多, 需要设置较大的 k 进行局部增强; 若边缘点个数越少, 说明子块内细节较少, k 取值随之降低. 但这种方法只有从 0 到 9 个像素点 10 种不同的情况, 量化误差过大. 文中根据边缘提取后对应边缘点的幅值累加判断是否为细节块.

根据式(10)在 3×3 窗口内计算九个像素边缘提取的幅值均值 Magn. 通过实验证明 $\text{Magn}(m, n)/k(m, n) \in [50, 150]$ 效果较好, 通常情况下可以取 $k(m, n) = \text{Magn}(m, n)/100$.

$$\text{Magn}(m, n) = \frac{1}{9} \sum_{-1 \leq i \leq 1, -1 \leq j \leq 1} \varphi(m+i, n+j) \tag{10}$$

3.3 局部自适应增强双直方图均衡算法

为了使算法具备全局双边直方图均衡和局部细节自适应增强的效果, 将式(9) 修改为式(11).

$$f'(i, j) = \text{BHE}[f(i, j)] + k * [f(i, j) - m(i, j)] \tag{11}$$

$\text{BHE}[f(i, j)]$ 表示对原图像像素灰度进行灰度双直方图均衡化. $f'(i, j)$ 由宏观的灰度级均衡和局部的细节增强两部分加和, 兼具了两种方法的优良特性, 可称该算法为局部自适应增强双直方图算法 (Local adaptive enhancement bi-histogram equalization, short for LAEBHE).

4 实验结果

4.1 局部自适应增强双直方图均衡算法

从实验结果可以看出, Leha 图 HE 后得到的图灰度比较均匀, 但也损失了部分细节, BHE 后的亮度和原图更为逼近, 而 LAEBHE 在保证视觉对比度效果和亮度一致的同时强化了局部细节信息.

4.2 多细节图像效果对比

文中解决的一个关键问题是传统全局直方图均衡化的细节丢失问题, 从图 2 可以看出文中方法的优势. 图 2(a) 进行 HE、BHE、LAEBHE 后的效果如图 2(b)、图 2(c)、图 2(d), 图 2(d) 和图 2(c) 全局灰度对比效果相仿, 但更突出了细节, 视觉感觉更为清晰.



图2 多细节图像效果对比

4.3 抗噪声实验

以高斯噪声为例,其他噪声情况通过实验也有类似得结果.对Lena图加入高斯噪声(mean=0,分别是采用Roberts算子、Sobel算子、Canny算子提取边缘幅值进行LAEBHE的效果.Canny算子由于对噪声敏感度低的优势,对噪声干扰的图像局部增强效果更好,所以文中采用Canny算子提取边缘,其结果细节突出更明显,这种局部增强的强度跟边缘幅值成正相关关系.

5 结束语

文中综合了空间边缘局部信息和灰度全局信息对图像进行增强.此方法的主要创新体现在以下几个方面.

第一,兼顾了宏观和微观两个方面的优点,宏观方面提高增强图像视觉效果,增加图像对比度,并保持了图像的亮度;微观方面根据边缘幅度建立的局部自适应增强公式可以更好地保留细节信息.单一根据灰度难以达到效果时,边缘和灰度结合的方法提供了一种新的研究思路.

第二,Canny算子作为边缘提取的高级算子较其他算子具有更多优势,例如边缘连续性更好,定位更准确等,但关键是抗噪能力强.以往有文献采用方差^[9]、熵^[10]或根据中心像素灰度和均值灰度的差异判断噪声和噪声强弱.对于多细节图像,灰度提供的信息是有限的,边缘将灰度和空间信息结合起来,对于噪声的判断和自适应公式系数的计算更为可靠.

第三,在算法中更多地考虑了中心像素的邻域信息,例如幅值的计算采用了均值策略,另外在边缘增强中用Sobel算子替换了Roberts算子.

由第三部分实验结果可以看出文中方法在多方面得到了较好的效果,但部分问题仍可以继续改进和钻研,如是否可以建立兼顾细节保持能力的全局直方图均衡化方法,如何提高局部增强的能力,如何确定区域窗口尺寸和形状,是否可以在式(11)的两部分中自适应地加入权值,是否可以改进边缘检测算子或检测方法进一步提高算法的性能,这些都可在未来的工作中做进一步探索和完善.

参考文献:

[1] Kim Y T. Contrast enhancement using brightness preserv-

ing bi-histogram equalization[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 1997, 43(1): 1-8.

- [2] Chen S D, Ramli A R. Contrast enhancement using recursive mean-separate histogram equalization for scalable brightness preservation[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2003, 49(4): 1301-1309.
- [3] Sim K S, Tso C P, Tan Y Y. Recursive sub-image histogram equalization applied to gray scale images[J]. Pattern Recognition Letters, 2007, 28(10): 1209-1221.
- [4] Yeganeh H, Ziaei A, Rezaie A. A novel approach for contrast enhancement based on histogram equalization[C]// Computer and Communication Engineering, International Conference on. Kuala Lumpur: IEEE Communications Society, 2008: 256-260.
- [5] Caselles V. Shape preserving local contrast enhancement [C]// Proceedings of the 1997 International Conference on Image Processing (ICIP'97). Washington: IEEE Computer Society, 1997: 314-317.
- [6] Xudong Xie, KinMan Lam. Face recognition under varying illumination based on a 2D face shape model[J]. Pattern Recognition, 2005, 38(2): 221-230.
- [7] Kim J Y, Kim L S, Hwang S H. An advanced contrast enhancement using partially overlapped sub-block histogram equalization[J]. IEEE Trans. Circ. Syst. Video Technol, 2001, 11(4): 475-484.
- [8] Guodong Zhang, Peiyu Yan, Hong Zhao, et al. A contrast enhancement algorithm for low-Dose CT images based on local histogram equalization[C]// Computer and Communication Engineering, International Conference on. Shanghai: IEEE EMBS, 2008: 2462-2465.
- [9] JiaGuu Leu. Image contrast enhancement based on the intensities of edge pixels[J]. CVGIP: Graphical Models and Image, 1992, 54(6): 497-506.
- [10] 高美真, 申艳梅. 基于颜色直方图的图像检索技术[J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(4): 25-27.

作者简介:

冷璐 男, (1982-), 博士研究生. 研究方向为图像处理、模式识别.

黎明 男, (1965-), 博士, 教授, 博士生导师. 研究方向为图像处理、模式识别、进化计算.

张家树 男, (1965-), 博士, 教授, 博士生导师. 研究方向为混沌信息工程学、现代信号处理、智能信息处理系统及其安全技术、图像工程学.