

文章编号:1000-582X(2011)06-123-04

保持 B 超图像灰度级的改进直方图均衡化算法

邢永康,雷群英

(重庆大学 计算机学院,重庆 400044)

摘要:介绍 B 超图像以及对其进行图像增强的原因。对直方图均衡化、对数直方图均衡化和排序直方图均衡化原理作介绍,从理论上分析这 3 种算法“吞噬”灰度值的原因。提出一种保留灰度级不变的改进直方图均衡化算法。使用直方图均衡化、对数直方图均衡化、排序直方图均衡化和该文提出的改进算法对 B 超体模图进行图像增强实验,结果表明该文提出的改进算法在 B 超图像上的增强效果比直方图均衡化、对数直方图均衡化和排序直方图均衡化算法要好。

关键词:B 超图像;直方图均衡化;灰度级;图像增强

中图分类号:TP391

文献标志码:A

Ultrasound B-mode image enhancement based on improved histogram equalization

XING Yong-Kang, LEI Qun-ying

(College of Computer Science, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China)

Abstract: The ultrasound B-mode image and the image enhancement are introduced. The cause of amalgamation for histogram equalization, logarithm and order histogram equalization is analyzed theoretically. An improved histogram equalization method is proposed to maintain the gray level. The experimental results with dummy ultrasound B-mode images demonstrate that the image enhancement performance of the proposed method is better than those of histogram equalization, logarithm and order histogram equalization.

Key words: ultrasound B-mode image; histogram equalization; gray level; image enhancement

B 超图像是 B 型超声仪器发射扫描超声波束而获得的二维图像。该图像反映被扫查组织中各界面反射回波幅度的分布图像,其中携带了组织形态和组织状况的丰富诊断信息。超声成像是从大量的背景噪声中提取有用信息^[1],因而 B 超图像受噪声的干扰比较严重,其包含的组织形态和组织状况的细节并不很清楚,具有灰度值对比度低、特别是在某些局部细节上没有明显的灰度差^[2-4],因此获得的图像质量并不是很理想。

图像的灰度直方图反映了各个灰度值在图像中

的分布概率,是图像的重要统计特征之一。直方图均衡化是一种常用的空间域增强算法,利用图像的灰度直方图对图像的灰度值作变换,使原始图像的灰度直方图映射为比之更均匀的输出图像灰度直方图,达到整体增强图像对比度^[5-9]的效果,获得一幅灰度值丰富且动态范围大的图像^[10]。

但是,在应用直方图均衡化及其有关的一些其它算法^[11-13]增加图像的对比度的同时,原始图像的灰度级可能过多的被“吞噬”(指原始图像中几个不同的灰度值在经过变换后合并为一个灰度值),从而

收稿日期:2010-12-10

基金项目:国家自然科学基金青年基金资助项目(60403009)

作者简介:邢永康(1971-),男,重庆大学副教授,主要从事图像处理与嵌入软件方向的研究,(Tel)1310388856;
(E-mail)504677265@qq.com。

使得变换后图像的灰度级数变少,导致原始图像的一些细节丢失。为此,有人提出了在直方图均衡化的基础上从小灰度值开始依次分配灰度值来达到尽量保持原始图像的灰度级数的目的^[14](简称为排序直方图均衡化);有人提出在直方图均衡化的基础上使用对数变换的方法来减少概率很低的灰度值被“吞噬”的数目^[15](简称为对数直方图均衡化)。当图像的高灰度值的数目较少时^[14]的算法中被 255 吞噬的灰度值较多。的算法在一定程度上减少了灰度值的吞噬^[15],但当某些灰度值的数目较少时,这些灰度值不可避免的被吞噬。为了保存 B 超图像的细节同时又增加其对比度,该文在综合^[14-15]的基础上提出一种改进的直方图均衡化算法对超声图像作增强处理,该算法能保持图像的灰度级且有效的提高图像的质量,易于医师对病情的诊断。

1 三种直方图均衡化算法原理及“吞噬”分析

1.1 直方图均衡化原理及“吞噬”分析

直方图均衡化灰度值变换公式如下

$$P_r(r_k) = \frac{n_k}{n}, k = 0, 1, 2, \dots, L-1, \quad (1)$$

$$s_k = T(r_k) = M \times \sum_{j=0}^k p_r(r_j) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n}, k = 0, 1, 2, \dots, L-1, \quad (2)$$

在上述式(1)和式(2)中 n 为图像的总像素, L 为图像中的灰度值总数,即图像的灰度级, r_k 为第 k 种灰度的灰度值,是灰度值 r_k 的像素个数, p_r 是灰度值 r_k 出现的概率密度, s_k 为 r_k 映射到变换后的图像中对应的灰度值。 M 为变换后的图像的最大灰度值。现行计算机系统中常用 256 级灰度来表示图像,图像中每个像素的灰度值在 0-255 之间,因此为了最大限度的扩大转换后图像灰度值的范围,一般取 $M=255$ 。令

$$s_k - s_{k-1} = M \times \left(\sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n} - \sum_{j=0}^{k-1} \frac{n_j}{n} \right) = M \times \frac{n_k}{n} = M \times \frac{n_k}{n}, k = 0, 1, 2, \dots, L-1. \quad (3)$$

式(3)中当 $\left(\frac{n_k}{n}\right) \rightarrow 0$, 即 $\lim\left(\frac{n_k}{n}\right) = 0$, 则有 $s_k = s_{k-1}$, 则出现了灰度“吞噬”的现象。当灰度值 r_k 的概率 p_r 很小时, 则 r_k 在变换后图像中对应的灰度值被“吞噬”

$$s_k - s_{k-1} = M \times \frac{n_k}{n} < 0.5k = 0, 1, \dots, L-1. \quad (4)$$

当式(4)成立时,通过四舍五入取整,有 $s_k =$

s_{k-1} , 亦即当 $n_k < n/2M$ 时, 出现吞噬。

1.2 排序直方图均衡化原理及“吞噬”分析

设 h_i 和 h_j 为直方图均衡化后 2 个相邻的灰度值, 且有 $h_i \leq h_j$; s_i 和 s_j 是排序直方图均衡化后 2 个相邻的灰度值, 通过排序算法, 尽量使 $s_i < s_j$, 调整规则如下

1) 对于最低灰度值 h_{\min} , 保持调整前后不变, 即

$$s_{\min} = h_{\min};$$

2) 对于其它灰度值, 若 $h_i = h_j$ 或 $h_j \leq s_i$, 则 $s_j =$

$$s_i + 1, \text{ 否则 } s_j = h_j; \text{ 若 } s_j > 255, \text{ 则 } s_j = 255.$$

易知, 当 s_j 的灰度值超过 255 时, 会有灰度值被“吞噬”。所以, 这种方法仍然没有完全杜绝“吞噬”。

1.3 对数直方图均衡化原理及“吞噬”分析

对数直方图均衡化是直方图均衡化的变异, 对灰度值 r_k 的像素个数取对数, 公式如下

$$n'_j = \ln(n_j + 1). \quad (5)$$

$$n' = \sum_{j=0}^{L-1} n'_j. \quad (6)$$

$$n = \sum_{j=0}^{L-1} n_j. \quad (7)$$

$$s'_k = M \times \left(\sum_{j=0}^k \frac{n'_j}{n'} \right), k = 0, 1, \dots, L-1. \quad (8)$$

由式(5)可得式(8)

$$n_j > n'_j > 0. \quad (9)$$

由式(6)、(7)可推出

$$\frac{n'}{n_j} = \frac{n'_0}{n_j} + \dots + 1 + \frac{n'_{j+1}}{n_j} + \dots + \frac{n'_{L-1}}{n_j}. \quad (10)$$

$$\frac{n}{n_j} = \frac{n_0}{n_j} + \dots + 1 + \frac{n_{j+1}}{n_j} + \dots + \frac{n_{L-1}}{n_j}. \quad (11)$$

综合式(9)、(10)、(11), $0 < \frac{n'}{n_j} < \frac{n}{n_j}$ 成立, 由此可以推导出式(12)

$$s'_k - s'_{k-1} = M \times \frac{n'_k}{n'} > M \times \frac{n_k}{n} = s_k - s_{k-1} \\ s'_k - s'_{k-1} > s_k - s_{k-1}. \quad (12)$$

由上述推导过程可知该算法的核心是通过对 n_j 进行对数改造, 使得 s'_k 与 s'_{k-1} 的间距 $M * (n'_k/n')$ 增大, 四舍五入取整为 0 的几率减少, 从而达到减少灰度“吞噬”的目的。很显然, 对数直方图均衡化与直方图均衡化相比是能减少灰度吞噬, 但是, 与分析直方图均衡化“吞噬”方法一样对该算法进行“吞噬”分析, 当 $n'_k < n'/2M$ 时, 灰度值 s'_k 被“吞噬”。所以该算法只能减少“吞噬”并不能完全杜绝“吞噬”。

2 保留灰度级的改进直方图均衡化

对数直方图均衡化的思想是通过减小 n_j , 促使 n 减小得更多, 从而使得 s'_k 与 s'_{k-1} 之间的距离增大来

减少灰度值被吞噬;排序直方图均衡化是通过重新调整 s_j 的值,从而使得灰度值尽量不被“吞噬”。

为了确保灰度值不被“吞噬”,提出一种新的算法如下

$$n_j = \ln(n_j + 1)。 \quad (13)$$

$$n = \sum_{j=0}^{L-1} n_j。 \quad (14)$$

$$s_k = s_{k-1} + \text{Round}\left(M \times \frac{n_k}{n} + 0.5\right)。 \quad (15)$$

$k=0, 1, 2, \dots, L-1$ (Round()为四舍五入函数)

对 s_k 作调整,将 s_k 中大于 M 的灰度值调整到 M 以内,且调整过程中保证灰度值不被吞噬。

设 s_{L-1} 是转换后最大的灰度值, s_{k-1} 和 s_k 是相邻的 2 个灰度值,在调整前有 $s_{k-1} < s_k$ 。当 $s_{L-1} \leq M$ 时,不进行调整;否则,调整由 s_{L-1} 开始,依次进行调整

$$s_{L-1} = M。$$

从 s_{L-1} 开始,两两相邻的两灰度值进行比较,若 $s_{k-1} \geq s_k$,则 $s_{k-1} = s_k - 1$;否则,调整结束。

假定 $m = \text{Round}(M \times (n_k/n) + 0.5)$,则 $m \geq 1$,有 $s_{k-1} < s_k \leq M$ 。调整后 $s_k = s_{k-1} + m, m \geq 1, s_k \in [0, M]$ 。

上述调整步骤的流程如图 1 所示

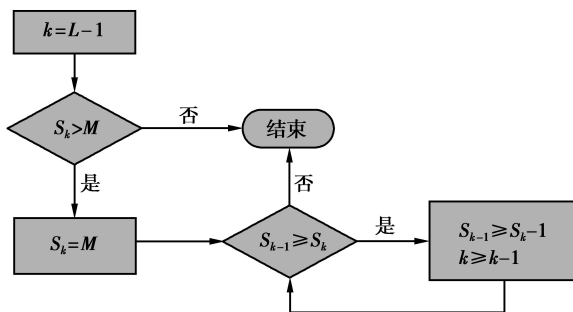


图 1 步骤流程图

容易看出,使用该算法对图像进行变换,完全杜绝了灰度值被“吞噬”的现象。

3 实验结果与分析

B 超体模是一种由仿生组织(TM)材料组成的设备,超声在其内的传播速度是 $(1\ 540 \pm 15)$ m/s,温度在 $(23\ ^\circ\text{C} \pm 3\ ^\circ\text{C})$ 时,衰减为 (0.7 ± 0.05) dB/cm/MHz^[13],与超声在人体组织中的传播速度和衰减度是一样的,主要是在研制 B 超过程中用来做超声实验。

图 1(a)是利用 B 超原型仪器获得的超声体模一部分回波信号,利用 Matlab 经过 AD 变换、动态滤波、采样之后直接生成的原始图像,省略了坐标变换、二维插值、线相关、帧相关等步骤。尽管图像效果较差,但是这样可以确保原始图像没有经过二次处理干扰实验结果。

对图 1(a)利用上述 4 种不同的直方图均衡化算法进行图像增强后的结果图如图(b)到图(e)所示。图 2(a)至 2(e)是上述图像依次对应的直方图。

通过图像可以看出,原图近场和远场的部分细节不清晰;图 2(b)和 2(c)的增强效果明显较差。图(d)对远场图像清晰度有所提高但近场图像效果反而下降。图(e)的近场和远场的细节比原图要清晰并且图像中间的边缘也很清晰,并没有被弱化,噪声的干扰比前三种算法要弱得多。因而本算法兼顾了图像的细节、组织边缘清晰和减少了图像增强带来的噪声干扰,达到了 1 个较好的平衡。从图 2(a)至 2(e)的灰度直方图的分布情况也可以看出这一点。

因此,该图像的增强效果是这几种增强方法中最好的,也是比较适合 B 超图像进行增强化处理的一种算法。

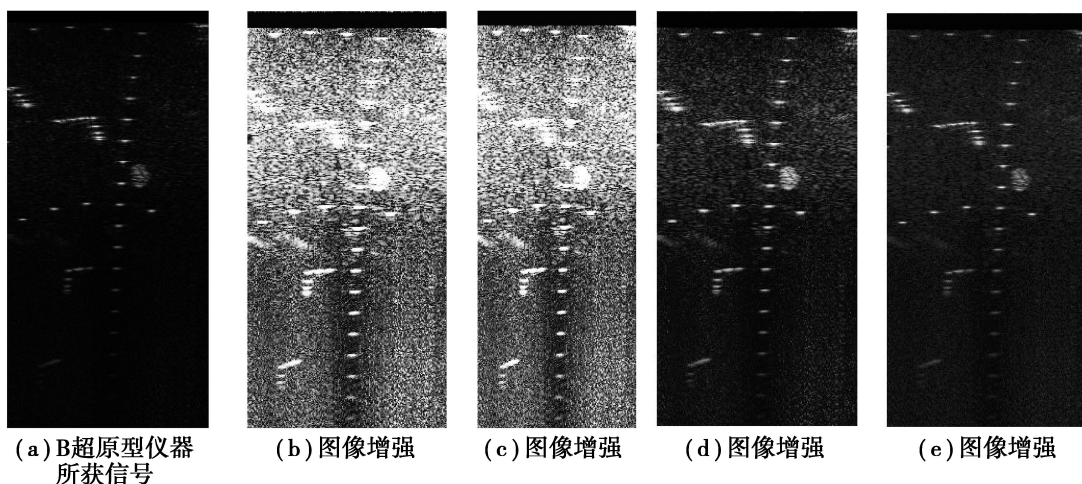


图 1 各条件下图形信号

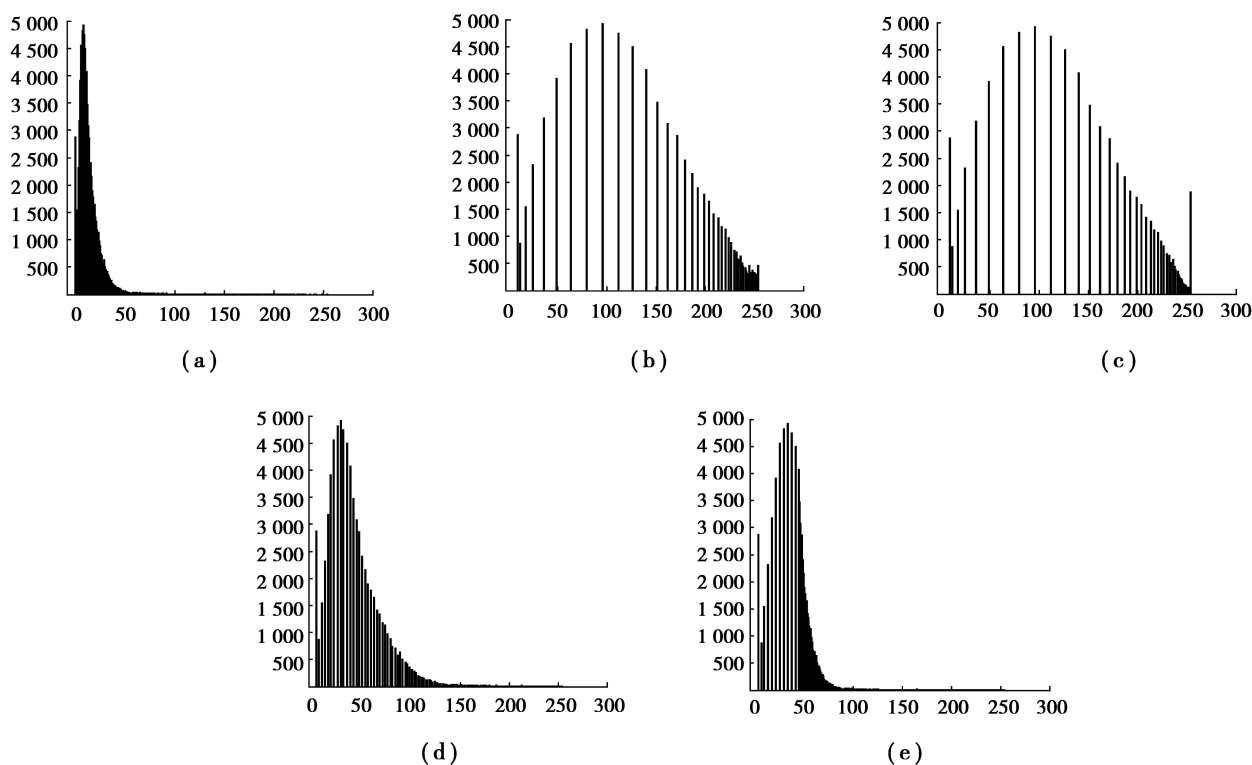


图 2 图 1 中各图对应的直方图

4 结 论

B 超图像受噪声的干扰比较严重,它是一种低灰度图像,大量的噪声和背景都是低灰度值像素,少量的组织和诊断信息是高灰度值。直方图均衡化算法是从整体上增强图像,但在增强的过程中容易将一些概率大的灰度值多增加很大的灰度,而一些概率小的灰度值增加很小灰度甚至被吞噬掉,所以使用直方图均衡化算法来对 B 超图像增强,将大量的噪声也增强了,图像的增强效果不好。在直方图均衡化的基础上提出一种保持图像灰度级的改进算法,并通过对 B 超体模图像进行实验与分析,证明了该算法能够对 B 超图像进行有效的增强化处理,能使 B 超图像得到更多的诊断信息,同时还能抑制噪声的增强。

当然算法的出发点并不是抑制噪声,而是保持灰度级使图像包含更多的细节信息,而实验过程中发现噪声增强问题,所以可对在保持灰度级不变的条件下来减少噪声做进一步的研究。

参考文献:

- [1] 彭虎. 超声成像算法导论[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,2008.
- [2] 王龙,汪天富,郑昌琼. 基于灰度直方图均衡的超声医

学图像增强方法[J]. 四川大学学报:工程科学版,2002,34(1):105-108.

WANG-LONG, WANG TIAN-FU, ZHENG CHANG-QIONG. Enhancement of medical ultrasonic image based on gray-level histogram equalization[J]. Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition, 2002,34(1):105-108.

- [3] PARANJAPE R B, MORROW W M, RANGAYYAN R M. Adaptive-neighborhood histogram equalization for image enhancement[J]. CVGIP: Graphical Models and Image Processing, 1992, 54(3): 259-267.
- [4] GANCH J M. Investigations of image contrast space defined by variations on histogram equalization [J]. CVGIP: Graphical Models and Image Processing, 1992, 54(4): 269-280.
- [5] 周明全,孙蕾. 基于灰度均匀度的图像增强算法[C]// 文化遗产的数字化保护研究: 第三届中华文化遗产数字化及保护国际研讨会. 北京: 北京师范大学出版社, 2005.
- [6] RANGAYYAN R M, SHEN L, SHEN Y, et al. Improvement of sensitivity of breast cancer diagnosis with adoptive neighborhood contrast enhancement of mammograms[J]. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 1997, 1(3): 161-170.

- tial H-plane filter implemented with folded substrate integrated waveguide[J]. IEEE Microwave Wireless Components Letters, 2009, 8(19): 494-496.
- [13] MIRA F, MATEU J, COGOLLOS S. Design of ultra wideband substrate integrated waveguide filters in zigzag topology [J]. IEEE Microwave Wireless Components Letters, 2009, 5(19): 281-283.
- [14] HAO Z C, HONG W, CHEN X P, et al. Compact super-wide bandpass substrate integrated waveguide (SIW) filters [J]. Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2005, 53(9): 2968-2977.
- [15] CHEW Q, DENG K, WANG D P, et al. Improved spiral compact microstrip resonance cell low-pass filter with wide stopband characteristics [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2007, 49(1): 121-124.
- [16] CHEW Q, DENG K, XU L, et al. A compact wide-band bandpass filter integrating SCMRC and SIRW structures [J]. Nanjing University of Science and Technology, 2006, 49(1): 195-198.
- [17] GENG L, CHE W Q, DENG K. Wideband bandpass filter of folded substrated-integrated waveguide integrating with stripline compact resonant cell [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2008, 50 (2): 390-393.
- [18] TAN B T, YU J J, KOH S J, et al. Investigation into broadband PBG using a butterfly-radial slot (BRS) [C] // 2003 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, June 8-13, 2003, Philadelphia, USA. USA: IEEE Incorporated, 2003: 1107-1110.
- [19] YU J J, TAN B T, CHEW S T. CPW ebg using butterfly-radial slot (BRS) for low pass wideband filtering [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2004, 41 (4): 320-323.

(编辑 侯 湘)



(上接第 126 页)

- [7] MUDIGONDA N R, RANGAYYAN R M, DESAUTELS J E L. Detection of breast masses in mammograms by density slicing and texture flow-field analysis [J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2001, 20 (12): 215-227.
- [8] ANDRE T C S S, RANGAYYAN R M. Classification of tumors and masses in mammograms using neural networks with shape and texture features [C] // The 25th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, September 17-21, 2003, Cancun, Mexico. USA: IEEE Incorporated, 2004.
- [9] CHENG H D, XUE M, SHI X J. Contrast enhancement based on a novel homogeneity measurement [J]. Pattern Recognition, 2003, 36(11): 2687-2697.
- [10] 冈萨雷斯. 数字图像处理 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [11] 何传江, 刘维胜, 申小娜. 基于规范子块五点和的快速分形图像编码 [J]. 计算机研究与发展, 2007, 44 (12): 2066-2071.
- HE CHUAN-JIANG, LIU WEI-SHENG, SHEN XIAO-NA. Fast fractal image coding based on quincunx sums of normalized blocks [J]. Journal of Computer Research and Development, 2007, 44(12): 2066-2071.
- [12] 何传江, 刘维胜, 申小娜. 基于行列式的快速分形图像编码算法 [J]. 中国图象图形学报, 2008, 13(3): 435-439.
- HE CHUAN-JIANG, LIU WEI-SHENG, SHEN XIAO-NA. Fast fractal image encoding algorithm based on local determinants [J]. Journal of Image and Graphics, 2008, 13(3): 435-439.
- [13] 李高平, 向慧芬. 基于平均偏差剔除的快速分形图像编码算法 [J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(19): 49-52.
- LI GAO-PING, XIANG HUI-FEN. Fast fractal image coding algorithm based on mean deviation kick-out condition [J]. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(19): 49-52.
- [14] 乔闹生. 一种改进的直方图均衡化 [J]. 光学技术, 2008, 34: 141-142.
- QIAO NAO-SHENG. An improved histogram equalization [J]. Optical Technique, 2008, 34: 141-142.
- [15] 王国权, 仲伟波. 灰度图像增强算法的改进与实现研究 [J]. 计算机运用研究, 2004, 12: 175-176.
- WANG GUO-QUAN, ZHONG WEI-BO. Study on Modification and actualization at algorithm of gray Image manipulation [J]. Application Research of Computers, 2004, 12: 175-176.

(编辑 侯 湘)