

基于自适应局部灰度修正的直方图均衡算法

曹聚亮, 吕海宝, 李冠章

(国防科技大学 机电工程与自动化学院, 湖南 长沙 410073)

摘 要:分析了图像直方图均衡增强算法中信息损失的内在机理, 提出基于自适应局部灰度修正的直方图均衡算法。首先对图像作常规直方图均衡处理, 然后分析比较处理后图像和原图的梯度变化, 以此为依据对图像作局部灰度修正, 从而减小直方图均衡处理过程中信息损失的程度, 最后通过实验验证了算法的有效性。

关键词:直方图均衡; 图像梯度; 图像增强

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2276(2004)05-0513-03

Histogram equalization algorithm based on adaptive local gray level modification

CAO Ju-liang, LÜ Hai-bao, LI Guan-zhang

(Mechatronics and Automation School, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: The reason of information losing in image histogram equalization is analyzed and a new histogram equalization algorithm based on adaptive local gray level modification is proposed. The algorithm can enhance the image contrast and hold the detail simultaneously. Furthermore, the proposed approach is simple and easy to perform. Experimental results show that it is effective.

Key words: Histogram equalization; Image gradient; Image enhancement

0 引 言

图像直方图均衡(HE)增强技术是以直方图作为变换的依据, 使变换后的图像直方图成为期望的形状, 使之更适合人眼的观察判断或机器的分析处理, 是最常用的图像对比度增强算法^[1,2]。

直方图均衡化使用一个灰度变换函数对输入直方图作修正, 使修正后的图像直方图趋向均匀, 增大了图像灰度级的动态范围。其实质是有选择地增强图像中的某些信息(占有较多像素的灰度)而抑制另

一些信息(占有较少像素的灰度)^[3], 占有较少像素的灰度不可避免地被合并, 其灰度范围被缩小, 而占有较多像素的灰度的动态范围被扩大。故整幅图像的实际有效灰度级次肯定小于或等于原图像的有效级次, 部分图像高频信息被丢失, 因此标准图像经 HE 处理是熵减小过程, 反映在空域上就是失去部分细节信息。

为此, S. M. Pizer^[4]提出自适应直方图均衡算法(AHE), 这是一种局部 HE 算法, 对图像中的每一个像素都采用大小相同的滑动窗口, 在该窗口内进行局部 HE, 从而实现窗口中心像素的处理。参考文

收稿日期: 2003-11-29; 修订日期: 2003-12-20

作者简介: 曹聚亮(1976-), 男, 河北武安人, 博士生, 研究方向为光电检测、数字图像处理等。

献[5]给出了改进的加权自适应 HE 算法(WAHE),考虑到窗口中各像素对窗口中心被处理像素的影响不同,对 AHE 滑动窗口中的像素矩阵进行加权 HE,从而改进 AHE 效果。R. B. Paranjape^[6]提出的自适应邻域直方图均衡方法也是一种局部 AHE 算法,也采用了可定义大小的滑动窗口,依照局部相关信息的观点,在每一个滑动窗口中“自动”地筛选出局部的相关点,去除不相关的像素点,再作局部 HE。采用自适应邻域膨胀可实现相关点的筛选^[3]。参考文献[1]给出了一种能强化细节的自适应直方图均衡方法,把局部对比度增强法和 HE 结合起来,对每一个像素点作局部对比度增强处理,可有效地强化整幅图像的细节信息。局部自适应 HE 方法的图像增强效果明显,还可以保留图像细节,但算法相对比较复杂,要对图像的每一个像素作子窗口局部 HE,计算量非常大。强化细节方法由于对每一个像素作增强处理,计算量也比较大,而且经 HE 运算,对比度的部分细节将被过度放大,影响图像质量。

针对上述问题,提出基于自适应局部灰度修正的直方图均衡算法。

1 基于自适应局部灰度修正的 HE 方法

图像高频信息主要体现在图像梯度上,因此可以通过图像梯度变化来分析 HE 对图像细节信息的影响。

计算经 HE 处理后的图像梯度,与原图的梯度相比,可以发现部分区域的梯度增大,而部分区域梯度缩小,甚至变为零。梯度增大部分是包含像素数多的灰度级次所在像素位置,这部分图像对比度比原图更高。而梯度减小部分则是像素数较少的灰度级次所在像素位置,其灰度范围被压缩,图像信息丢失部分包含在该区域内。

对原图和经 HE 处理后图像的梯度值进行计算并比较,确定梯度显著减小处像素位置,然后参照原图中这些像素点处的梯度值,修正该像素的灰度值,增强其局部梯度,就可以有效地保留该点的图像细节信息。

算法流程图如图 1 所示。

其中灰度修正计算公式为:

$$x'_{i,j} = \begin{cases} m_{i,j}^{\text{HE}} + k(x_{i,j} - m_{i,j}) & |d_y^{\text{HE}}| < s |d_y| \\ x_{i,j}^{\text{HE}} & |d_y^{\text{HE}}| \geq s |d_y| \end{cases} \quad (1)$$

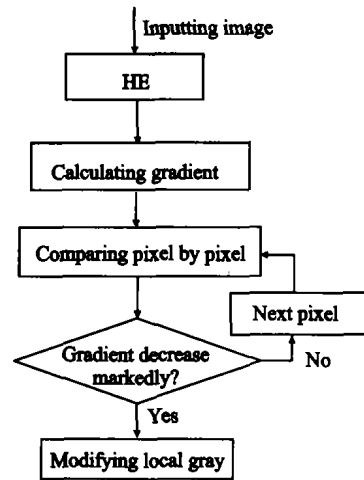


图 1 局部灰度修正 HE 算法流程图

Fig. 1 Flowchart of the HE algorithm of local gray level modification

式中 $x_{i,j}$ 、 $x_{i,j}^{\text{HE}}$ 、 $x'_{i,j}$ 分别为原图、经 HE 处理和局部灰度修正算法处理后的中心像素; $m_{i,j} = \frac{1}{m \times n} \sum_{(i,j) \in W} x_{i,j}$, 为原图中以 $x_{i,j}$ 为中心的窗 W 内各像素的灰度平均值; $m_{i,j}^{\text{HE}} = \frac{1}{m \times n} \sum_{(i,j) \in W} x_{i,j}^{\text{HE}}$, 为经 HE 处理后以 $x_{i,j}$ 的对应点 $x_{i,j}^{\text{HE}}$ 为中心的窗 W 内各像素的灰度平均值; d_x 、 d_y 分别为原图和经 HE 处理后图像的梯度值; s 为梯度变化判断阈值; k 为自适应修正因子, 可取^[7,8]:

$$k = k' \left[\frac{\sigma_{i,j}^2}{\sigma_n^2} - 1 \right] \quad (2)$$

式中 $\sigma_{i,j}^2$ 为窗 W 内的灰度方差; σ_n^2 为整幅图像的噪声方差; k' 为比例系数。

图像梯度计算可用各种梯度算子来实现,如 Roberts 算子、Prewitt 算子、Sobel 算子等, s 和 k' 可根据实际情况选取,一般要满足 $0.1 < s < 1$ 。为了提高计算速度,灰度修正因子 k 也可取常数。

2 实验结果

为检验算法的效果,分别对下面两幅图像进行 HE 和局部修正 HE 处理,其中邻域 W 选为 3×3 , s 取 0.5。

图 2 为一幅图像的处理结果。图 2(a)为原图; (b)为原图直方图分布图,其有效灰度级次为 236 级; (c)为经 HE 处理后的图像,灰度较大处的图像细节

已丢失;(d)为图(c)的灰度直方图,由于包含像素数少的灰度级次被合并,有效灰度级次减为 52 级;(e)为经局部灰度修正后的图像;(f)为图(e)的灰度直方图,有效灰度级次为 209 级,远大于经 HE 处理后的 52 级;(g)为被修正像素点的位置示意图,这些像素点的数量为 3951,约占全图像像素点的 12.5%。可对照(g)图观察(a)、(c)两图中的相关细节;(h)为(a)、(c)、(e)图中同一局部灰度变化情况。

图 3(a)为另一红外图像原图;(c)、(e)为处理后

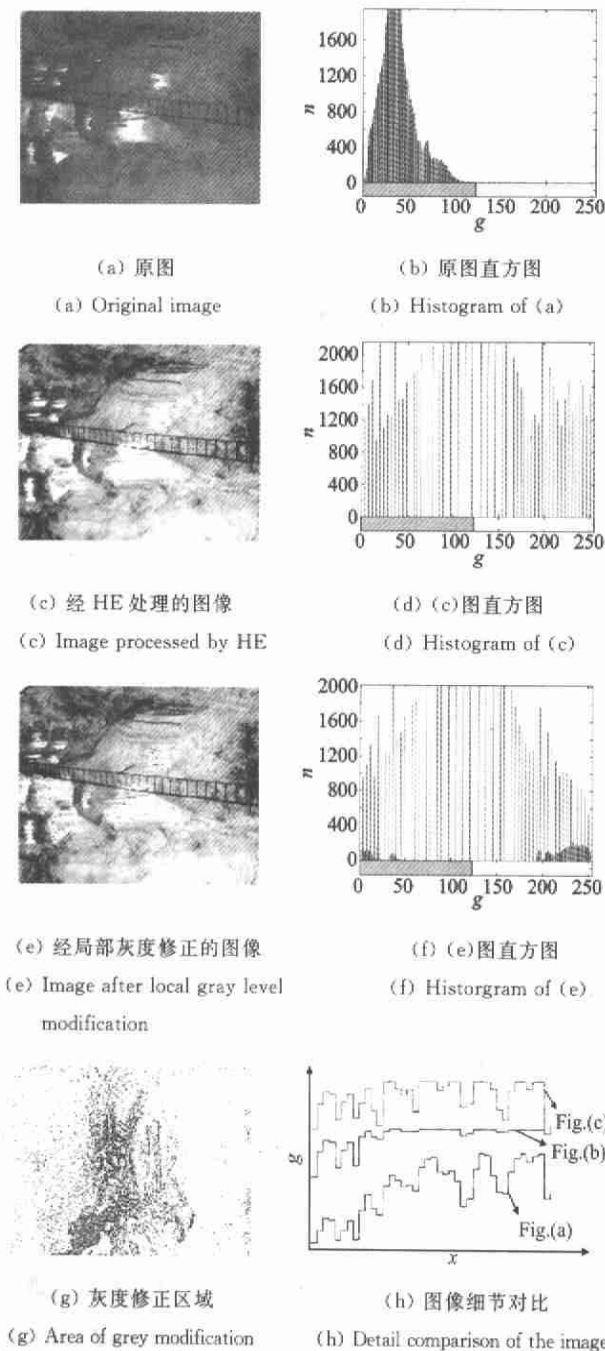


图 2 图像 1 的处理结果

Fig. 2 Results comparison of image 1

图像,有效灰度级次分别为 256、57、255 级,其中被修正像素数为 38403,约占总像素的 25%。(b)、(d)、(f)分别为(a)、(c)、(e)的局部放大,可见经 HE 处理后图像更平滑,但一些细节信息被丢失,经局部灰度修正后细节信息得以恢复。

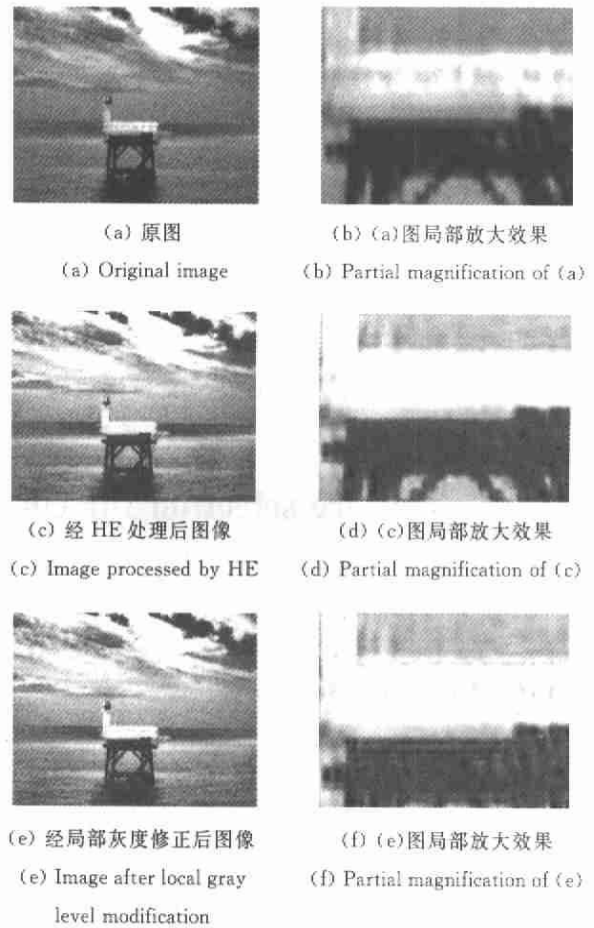


图 3 图像 2 处理结果比较

Fig. 3 Results comparison of image 2

本算法与局部 AHE 算法相比处理效果大致相同,但由于局部 AHE 算法要对图像中每个像素的一个邻域窗口内图像作一次标准 HE 处理,计算量非常大,而本算法只需对图像作一次标准 HE 处理,灰度修正处理也只针对部分(一般<25%)像素,因此计算量相对较小,实验过程中发现其处理速度要比局部 AHE 算法快 10 倍以上。

3 结束语

自适应局部灰度修正法通过计算并比较图像梯度来判断图像细节损失位置,然后对图像进行局部灰

(下转第 523 页)

码后的比特数; B_3 为游程编码后的比特数。对图像采用前面提到的预处理方法进行预滤波后再进行三级 GHM 多小波分解, 第三级各个子块大小为 32×32 , 第二级为 64×64 。低频子块采用传统的 DPCM 方法进行编码, 第一级高频子块采用游程编码。第二级、第三级分别用改进的码书生成算法生成 2 个多分辨率码书, 大小均为 256。二级码书每个矢量含有 12 个系数, 三级含有 48 个系数。通过调整矢量所含的系数个数以及码书的大小, 可以获得不同的压缩效果。表 1 是实验对比结果。其中, 第一列是典型测试图像的名称; 第二列是压缩等级, 用位比特率表示 ($b.p.p = 1/C$); 第三列是多小波结合矢量量化编码后重建图像的峰值信噪比; 第四列和第五列分别是用经典的 Daub4、Biroth 单小波进行编码后的重建图像的峰值信噪比^[5]。从表 1 中可以看出, 多小波变换与矢量量化结合的方法基本上优于相应的单小波编

码方法, 尤其是对含纹理成分较多的 Barbara 图像编码很好。

3 结 论

提出了一种基于多小波变换结合矢量量化的图像编码算法。利用多小波的优良性质并结合改进的 LBG 码书生成算法和用多分辨率码书进行矢量量化的方法对一些典型的测试图像进行了编码和比较。验证了该算法在降低位比特率的同时可以很好地改善图像的重建质量, 同时编码效果基本上优于传统的单小波编码方法。

参考文献:

- [1] Geronimo J S, Hardin D P, Massopust P R. Fractal functions and wavelet expansions based on several scaling functions [J]. *J of Approx Theory*, 1994, 78(3): 73-401.
- [2] Miller J T, Li C C. Adaptive multiwavelet initialization [J]. *IEEE Trans on Signal Processing*, 1998, 46(12): 3282-3292.
- [3] Xia X G, Geronimo J, Suter B. Design of prefilters for discrete multiwavelet transforms [J]. *IEEE Trans on Signal Processing*, 1996, 44(1): 25-35.
- [4] V Strela V. Multiwavelets: theory and application [D]. US: MIT, 1996.
- [5] Mariantonia Cotronei, Damiana Lazzaro, Laura B Montefusco et al. Compression through embedded multiwavelet transform coding [J]. *IEEE Trans on IP*, 2000, 9(2): 184-188.

表 1 多小波矢量量化和单小波编码的实验对比

Tab. 1 Comparison of MDWT + VQ and single DWT coding methods

Test image	$b.p.p$	MDWT+VQ	Daub4	Biroth
Lena	0.5	35.69	34.89	35.72
Lena	0.25	32.28	31.56	32.24
Barbara	0.5	26.60	24.29	24.10
Barbara	0.25	24.71	22.52	22.40
Boats	0.5	32.02	32.81	33.27
Boats	0.25	29.33	29.34	29.67

(上接第 515 页)

度修正, 可有效保留并增强图像局部细节, 图像视觉效果明显改善。该方法尤其适合原图直方图灰度层次比较丰富, 但灰度分布失衡的图像。对直方图分布比较集中、但部分直方图分布为零的图像, 由于 HE 处理有扩展灰度功能, 因此灰度级次合并比较少, 图像细节损失较少, 应用本方法处理的必要性不大。与其他类似算法相比, 本方法只处理部分图像数据, 而且算法比较简洁, 容易实现, 计算量小, 便于实时处理。

参考文献:

- [1] 邓志鹏, 许丽敏, 杨杰, 等. 基于直方图相关的图像灰度校正

[J]. *红外与激光工程*, 2003, 32(2): 167-169.

- [2] 杨必武, 郭晓松, 王克军, 等. 基于直方图非线性拉伸的红外图像增强新算法 [J]. *红外与激光工程*, 2003, 32(1): 1-3.
- [3] 王龙, 汪天富, 郑昌琼, 等. 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.
- [4] Pizer S. Adaptive histogram equalization and its variations [J]. *CVGIP*, 1987, 39(3): 355-368.
- [5] 杨词银, 黄廉卿. 基于幂函数的加权自适应直方图均衡 [J]. *光电子·激光*, 2002, 13(5): 515-517.
- [6] Paranjape R B. Adaptive-neighborhood histogram equalization for image enhancement [J]. *CVGIP*, 1992, 54(3): 259-267.
- [7] Lee Jongsan. Digital image enhancement and noise filtering by using of local statistics [J]. *PAMI-1*, 1980, 2(2): 165-168.
- [8] 宋刚, 刘瑶华. 一种能强化细节的自适应直方图均衡法 [J]. *山东工业大学学报*, 1999, 29(1): 81-85.