

可保留图像细节的直方图修正法

曹聚亮 吕海宝 谭晓波 楚兴春

(国防科技大学机电工程与自动化学院, 长沙 410073)

摘要 针对图像经直方图修正(Histogram Modification, HM)后因部分灰度级被合并而导致细节丢失的问题,提出了两种可保留图像细节的直方图修正方法:一种是扩展灰度范围的HM方法,另一种为局部灰度修正HM方法。对多幅不同类型图像进行处理后的实验结果表明,这两种方法不仅可有效保留图像细节信息,而且算法简洁,计算量小。

关键词 图像增强 直方图修正 直方图均衡 图像梯度

中图分类号: TN911.73 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2004)05-0631-05

Histogram Modification Methods Without Image Details Losing

CAO Ju-liang, LU Hai-bao, TAN Xiao-bo, CHU Xing-chun

(National University of Defense Technology, Changsha Hunan, China 410073)

Abstract The problem of gray level incorporation during image histogram modification is analyzed in the paper. And two histogram modification methods which can prevent image details losing are presented. One is addressed by expanding the gray-level range of image, so less gray levels are integrated and more details of the image can be hold. The other method is realized by modifying local gray level. According to the method, the image's histogram is modified by way of general histogram modification method firstly. Then the gradient of modified image and original image is calculated and compared. The pixels whose gradient decreased markedly are found. And their gray levels are modified according to the gradient of the original image finally. So the details lost during histogram modification can be resumed. Both the methods can enhance the image contrast and hold the details simultaneously. Further more, the proposed approach is simple and easy to be performed. Experimental results are given at the end of the paper. Four images are adopted to demonstrate the performance of the methods.

Keywords image enhancement, histogram modification(HM), histogram equalization, image gradient

1 引言

直方图修正是非常典型的图像对比度增强算法,它以概率理论作基础,利用图像灰度的点运算来实现直方图变换,即通过扩展图像的动态灰度范围来改善图像的视觉效果,以达到图像增强的目的。直方图修正(histogram modification, HM)一般包括直方图均衡化(histogram equalization, HE)和直方图规定化(histogram specification, HS)两种方法,其中直方图均衡处理应用更加广泛。直方图均衡化是利用一个灰度变换函数来修正输入图像的直方

图,使其趋向均匀,以增大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)而抑制掉另一些信息(占有较少像素的灰度)^[1],这样因占有较少像素的灰度不可避免地被合并^[2],其灰度范围被缩小,而占有较多像素的灰度范围被扩大,故整幅图像的实际有效灰度级必然小于或等于原图像的有效灰度级,由于图像的部分高频信息丢失,因此从信息论的角度来看,标准的HE或HM处理是熵减小的过程。

针对上述问题,Pizer提出了一种局部HE算法——自适应直方图均衡算法(AHE)^[3],算法对图像中的每一个像素都采用大小相同的滑动窗口,然后

在该窗口内进行局部 HE, 以实现对窗口中心像素的处理。文献[4]给出了一种改进的加权自适应 HE 算法(WAHE), 该算法根据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, 从而改进了 AHE 的效果。Paranjape 提出的自适应邻域直方图均衡方法^[5]也是一种局部 AHE 算法, 该算法也采用了可定义大小的滑动窗口, 并依照局部信息相关的观点, 在每一个滑动窗口中“自动”地筛选出局部的相关点, 先去除掉不相关的点, 再做局部 HE, 其中相关点的筛选是采用自适应邻域膨胀法来实现^[1]。虽然局部自适应 HE 方法的图像增强效果明显, 而且也可以保留图像细节, 但算法相对比较复杂, 即要对图像的每一个像素做子窗口局部 HE, 计算量非常大。

文献[6]给出了一种能强化细节的自适应直方图均衡方法, 即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, 这样可有效强化整幅图像的细节信息。这种方法由于对每一个像素均要作增强处理, 计算量也比较大, 而且对 HE 运算本身已增强了对比度的区域, 其细节将被过度放大, 因而影响图像质量。

为此, 本文提出两种可保留图像细节的直方图修正方法, 这两种方法都适用于直方图均衡和直方图规定化等各种 HM 方法, 下面以直方图均衡为例加以介绍。

2 扩展灰度范围的 HE 方法

首先分析 HE 处理中图像细节丢失的内在原因。图 1(a)、图 1(d)为具有 16 级灰度的原图像及其灰度直方图, 图 1(b)、图 1(e)为经 HE 处理后的图像及其灰度直方图。由图 1(e)可见, 图中包含像素数多的灰度级间隔被拉开, 对比度增强; 而包含像素数少的灰度级被合并。由于经 HE 处理后图像的有效灰度级数减为 5 级, 有 11 级灰度被合并, 因此被合并灰度像素处的图像细节丢失, 反映在频域上就是损失部分高频信息。

如果要保留这部分图像细节, 则可考虑在对图像做 HE 之前首先扩展图像的灰度范围, 例如将原图扩展为 256 级灰度图像, 而图像的实际有效灰度级仍为 16, 即这一步并不改变原图的视觉特征; 然后再做 HE, 结果如图 1(c)、图 1(f)所示。

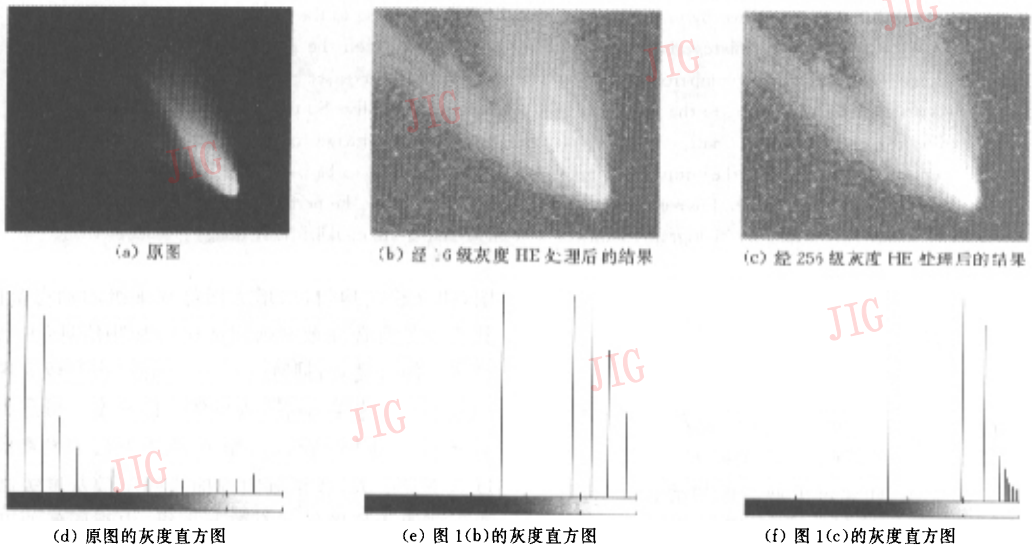


图1 彗星图像处理结果

这样由于灰度范围被扩展, 图中包含像素数多的灰度级对比度被增强, 而包含像素数少的灰度级并未被全部合并, 因此图像细节信息得以保留。图 1(f)中实际灰度级为 15, 被合并的灰度级仅为 1。

图 2 为图像某一局部灰度变化对比, 下侧曲线

为原图灰度变化, 中间曲线为经 16 级灰度 HE 处理后图像同一位置的灰度变化, 上侧曲线为经 256 级灰度 HE 处理后的结果。由图 2 可见, 由于灰度级合并, 致使 HE 处理后图像细节信息丢失, 但经扩展灰度范围 HE 处理后, 对图像中包含较少像素数的灰

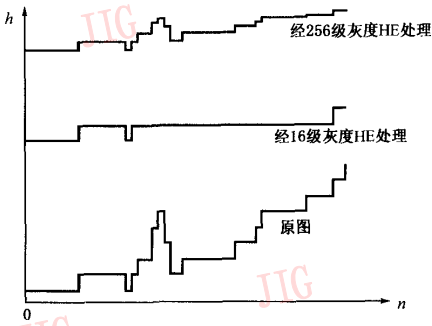


图2 图像局部灰度变化对比

度级,虽然灰度动态范围在一定程度上被压缩,但相邻像素间的灰度差异仍被保留,故图像细节信息也得以保留,这也便于对图像作进一步处理,如特征提取、频谱分析、图像分割、图像配准等。

3 局部灰度修正 HE 方法

由于图像细节信息主要体现在图像的灰度梯度上,因此可以通过其灰度梯度变化来分析 HE 对图像细节信息的影响。计算经 HE 处理后的图像的灰度梯度,再与原图的灰度梯度相比,可以发现部分区域的梯度增大,而部分区域梯度减小,甚至为零。梯度增大部分就是像素数多的灰度级分布位置,这部分图像对比度比原图更高。前文所述图像细节丢失部分就是包含在图像的灰度梯度变小的区域内。在计算并比较原图和经 HE 处理后图像的梯度值时,先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来修正该像素的灰度值,以增强其局部梯度,这样就可以有效地保留该点处的图像细节。

本文采用的灰度修正计算公式为:

$$\hat{x}_{i,j} = m_{i,j}^{HE} + k(x_{i,j} - m_{i,j}) \quad (1)$$

式中, $x_{i,j}$, $\hat{x}_{i,j}$ 分别为灰度修正算法处理前后的中心像素; $m_{i,j} = \frac{1}{P \times Q} \sum_{(p,q) \in W} x_{p,q}$ 为原图中以 $x_{i,j}$ 为中心的窗 W 内各像素的灰度平均值, P 和 Q 为 W 的长和宽; $\hat{m}_{i,j} = \frac{1}{P \times Q} \sum_{(p,q) \in W} x_{p,q}^{HE}$ 为经 HE 处理后的图像,以 $x_{i,j}$ 的对应点 $x_{i,j}^{HE}$ 为中心的窗 W 内各像素的灰度平均值; k 为修正因子,可以取常数,也可以取为自适应参数^[6,7]:

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

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, \hat{k} 为比例系数。

具体的处理过程为,首先对图像做 HE 处理,然后逐像素计算并比较原图和处理后图像的梯度值,若显著变小,则做局部灰度修正,否则不做任何处理。

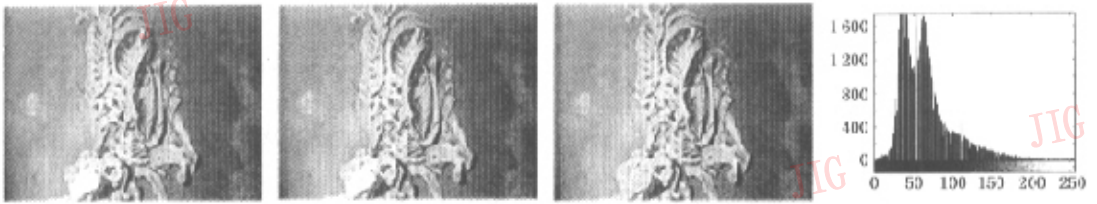
4 局部灰度修正 HE 的实验结果

图3为用局部灰度修正 HE 方法对一水下目标图像进行处理后的结果。图3(a)为原图,图3(d)为其直方图,图像有效灰度级为253级,由该图可见,其直方图分布很不均匀,适于作 HE 处理;图3(b)为经 HE 处理后的图像,由该图可见,灰度较大处的图像细节被丢失,图3(e)为图3(b)的灰度直方图,其有效灰度级减为48;图3(c)为经局部灰度修正后的图像,图3(f)为图3(c)的灰度直方图,其有效灰度级为156,远大于48。图3(g)为经 HE 处理后的图像较原图梯度大大减小的像素点位置分布示意图。由该图不难发现,原图直方图中包含像素较少的灰度级所在像素处的图像梯度损失较大,图像细节被丢失。在本例中,这些像素点的数量为12072,约占全图像像素点的12%。为对比其效果,可对照图3(g)来观察图3(a)、图3(b)两图中的相关细节。图3(h)为图像某一局部灰度变化情况。

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。为提高计算速度,这里采用最简单的 x, y 方向两像素邻域差分来计算。邻域 W 可以选 5×5 或 3×3 邻域,这里采用 3×3 邻域。采用的图像梯度“显著减小”的判断为变换后图像梯度是否小于原图相应点梯度的一半或在水平/垂直方向上梯度是否由非零变为零,两者满足其一,则修正该点灰度值,否则跳过。为了提高运算速度,灰度修正因子 k 取常数2。

图4(a)为一人脸图像,图4(b)、图4(c)为处理后的图像。原图有效灰度级为253级,图4(b)为61级,图4(c)为232级。可见,经 HE 处理,图像左侧对比度明显增强,而右侧脸部细节特征则丢失,经局部灰度修正后才得以保留,其中被修正像素数为27359,约占总像素的25%。

图5(a)为 NASA 的火星探路者所拍摄的火星一卫星表面图像,图5(b)、图5(c)为处理后图像。

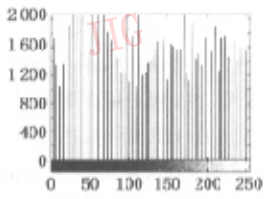


(a) 原图

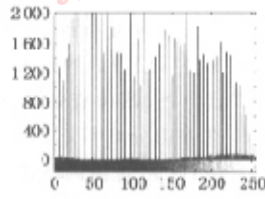
(b) 经 HE 处理后的图像

(c) 经细节保留处理后的图像

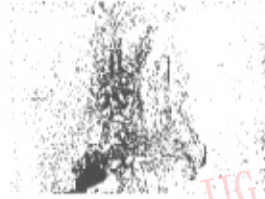
(d) 图 3(a) 的灰度直方图



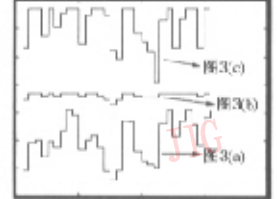
(e) 图 3(b) 的灰度直方图



(f) 图 3(c) 的灰度直方图



(g) 高频损失示意图



(h) 图像局部灰度变化比较

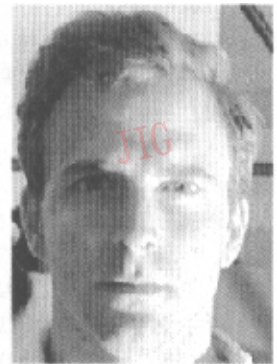
图 3 水下目标图像处理结果



(a) 原图

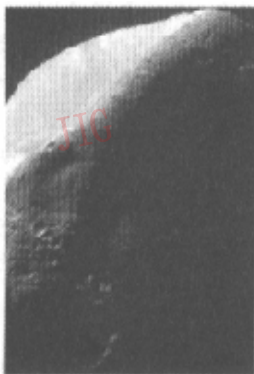


(b) 经 HE 处理后的图像

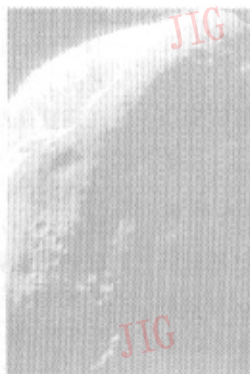


(c) 再经局部梯度修正处理后的图像

图 4 人脸图像处理结果



(a) 原图



(b) 经 HE 处理后的图像



(c) 再经局部梯度修正处理后的图像

图 5 火星卫星表面图像处理结果

5 结 论

可以从以下3个方面来衡量HM或HE算法的优劣:图像视觉改善效果、图像信息损失程度和计算量大小。

扩展灰度范围的HE方法比较简单,且计算量小,其在对灰度级较少的图像进行处理时,效果比较明显,还可在有效增加图像对比度的同时,保留图像细节,但在对灰度级较多的图像进行处理时,例如由256级灰度扩展到4096级灰度,虽然原图像的灰度变化仍被保留,但由于受人眼视觉灰度分辨率的限制,无法分辨被保留,但灰度范围被压缩了的图像细节,因此与常规HE方法相比,对图像视觉改善效果虽不像处理低灰度级的图像那样显著,但由于有效避免了图像的信息损失,因而有助于对图像的进一步处理。该方法的另一个缺点是由于扩展了图像的灰度范围,致使处理后的图像所占用的存储空间变大。

局部灰度修正HE方法首先通过计算图像梯度来判断图像细节损失位置,然后对图像进行灰度修正,其可在不增加图像灰度级的条件下有效保留并增强图像局部细节,且图像视觉效果改善明显。该方法尤其适合处理原图直方图灰度层次比较丰富,但灰度分布失衡的图像,而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处理本身有扩展灰度范围的功能,使其灰度级合并比较少,图像细节损失也较小,因此应用本方法处理的必要性不大。与其他类似算法相比,由于本方法只处理部分图像数据(5%~25%),不仅计算量小,而且算法比较简洁,容易实现,因此便于实时处理。

另外,这两种方法也适用于直方图规范化处理。

参 考 文 献

- 1 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.
- 2 沈嘉励,张宇,王秀摊.一种夜视图像处理的新算法[J].中国图象图形学报,2000,5(6):479~483.
- 3 Pizer S. Adaptive histogram equalization and its variations[J]. CVGIP (Computer Vision, Graphics, and Image Processing), 1987,39(3):355~368.
- 4 杨词银,黄廉卿.基于幂函数的加权自适应直方图均衡[J].光子·激光,2002,13(5):515~517.
- 5 Paranjape R B. Adaptive-neighborhood histogram equalization for image enhancement [J]. CVGIP: Graphical Models and Image Processing, 1992,54(3):259~267.
- 6 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):81~85,93.
- 7 Lee Jongsan. Digital image enhancement and noise filtering by using of local statistics [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis Machine. Intelligence, 1980,PAMI-2(2):165~168.



曹聚亮 1976年生,1997年毕业于国防科技大学,现在该校攻读博士学位。研究方向为光电检测、数字图像处理。获国家发明专利两项,发表论文二十余篇。



吕海宝 1941年生,1964年毕业于哈尔滨工业大学自动控制与无线电系,现任国防科技大学机电工程与自动化学院教授,博士生导师,中国光学学会光电技术专业委员会委员。研究方向为光电精密检测,发表论文150余篇。



谭晓波 1974年生,北京军医学院讲师。1997年毕业于国防科技大学,现在该校攻读硕士学位。研究方向为光电检测、数字视频处理。



楚兴春 1972年生,现在国防科技大学攻读博士学位。研究方向为光电检测,数据处理。发表论文数篇。