

不均匀亮度图像的增强

汤晓春

华中科技大学数学系, 武汉 (430074)

Email: txch-hust027@163.com

摘 要: 本文根据图像灰度的全局和局部的平均值及方差的关系, 将图像划分为亮、暗两部分, 再对两部分分别进行自适应对比度增强和乘常数处理, 最后结合减去背景法得到原图像的增强图像。此外, 还将此处理结果一般方法处理后的图像及其信噪比(SNR)进行了比较, 结果表明该方法有效的校正了图像的不均匀亮度, 增强了图像的清晰度, 提高了视觉效果。

关键词: 亮度不均; 局部方差; 局部平均值; 同态滤波; 减去背景

1 引言

在获取图像的过程中, 由于光照强度, 获取器材等多种因素的影响, 图像质量可能退化, 实际得到的图像灰度变化范围往往小于图像显示系统的最大容许灰度变化范围, 最常见的图像缺陷是全副偏暗或偏亮, 亮度范围不足或其他因素造成的对比度不足, 观看不理想^[1]。在这种情况下, 再对图像进行边缘检测、模式识别等其他工作就会受到影响。必须通过有效的方法对不均亮度进行校正。文献[2]运用同态滤波和减去背景法分别进行喷雾液滴图像不均亮度的校正, 效果较好。线性拉伸和直方图均衡化^[3]是两种应用比较广泛的全局图像增强方法, 常用来改进全局对比度, 而不能很好的显示出细节。采用局部增强的方法在一定程度上可以减小图像暗区在对比度增强效果上的影响, 从而还原出较清晰的图像, 突出图像的细节信息。文献[4]提出的自适应直方图均衡化只需要对图像的某个部分进行均衡化, 实现对图像切片进行操作, 使切片对比度增强, 但容易引起输入与输出图像中不同区域的灰度级的减少。文献[5]提出基于局部标准差的直方图均衡算法是一种局部算法, 在局部直方图处理的基础上加入了局部对比度增强因子, 用不同的增强因子进行相应的局部处理, 较好的增强了图像, 但算法复杂, 且在灰度变化明显的边缘处有边缘效应。基于上述问题, 并结合原亮度不均的米饭图, 本文提出了将局部统计增强方法与减去背景相结合的方法, 并与一些用其它方法处理后的图像及其信噪比和峰值信噪比进行了比较, 结果表明该方法对不均匀亮度图像的校正具有很好的效果, 增强了对比度, 提高了目视解译能力。

2 算法介绍及其实现步骤

2.1 基于局部统计的增强

2.1.1 全局和局部平均值及方差

就增强来说, 最关心的是一幅图像灰度的平均值和方差(或标准差)(它是平均对比度的量度)。

令 r 表示在区间 $[0, L-1]$ 上代表离散灰度的离散随机变量, 并且令 $p(r_i)$ 代表对应于 r 的第 i 个值的归一化直方图分量。 $p(r_i)$ 可以看做灰度级 r_i 出现的概率估计值, 则 r 的平均值(其灰度级均值)表示为:

$$m = \sum_{i=0}^{L-1} r_i p(r_i) \quad (1)$$

r 的方差表示为:

$$\rho^2(r) = \sum_{i=0}^{L-1} (r_i - m)^2 p(r_i) \quad (2)$$

标准差简单定义为方差的平方根。

全局平均值和方差是对整幅图像进行度量，并是对整幅图像强度和对比度的初步粗调整。这两种方法更强大的应用是在局部增强中，这里局部平均值和方差被用做实施改变的基础，而这两种改变依靠图像中对每个像素预先定义的区域图像特征。

令 (x, y) 为某一图像中像素的坐标，令 S_{xy} 表示一确定大小的邻域(子图像)，其中心在 (x, y) 。根据式(1)，可得到 S_{xy} 中像素的平均值 $m_{S_{xy}}$ ，其表达式如下：

$$m_{S_{xy}} = \sum_{(s,t) \in S_{xy}} r_{s,t} p(r_{s,t}) \quad (3)$$

此处 $r_{s,t}$ 是在邻域中坐标 (s, t) 处的灰度，且 $p(r_{s,t})$ 是与灰度值对应的邻域归一化直方图分量。由(2)式，区域 S_{xy} 中像素的灰度级方差为：

$$\rho^2_{S_{xy}} = \sum_{(s,t) \in S_{xy}} [r_{s,t} - m_{S_{xy}}]^2 p(r_{s,t}) \quad (4)$$

局部平均值是对邻域 S_{xy} 中的平均灰度值的度量，方差(或标准差)是邻域中对比度的量度^[6]。

2.1.2 自适应对比度增强算法

局部增强方法中，自适应对比度增强算法可以增强图像的细节信息。人眼对高频信号比较敏感，而原米粒图比较暗，且亮度分布不均，为了适应了图像灰度分布的特点，通过选择局部区域，对其进行局部对比度增强。这里选定局部处理区域的大小定义为 $(2n+1) \times (2n+1)$ ， n 为整数，窗口的中心在 (x, y) 。

自适应对比度增强算法是以局部均值为中心对局部区域的对比度进行拉伸，令 $f(x, y)$ 代表图像中像素的灰度值， $m_{S_{xy}}$ 为像素的局部均值，用 $g(x, y)$ 表示 $f(x, y)$ 经过对比度增强后的灰度值，自适应对比度增强算法由下式给出：

$$g(x, y) = m_{S_{xy}}(x, y) + k(x, y) [f(x, y) - m_{S_{xy}}(x, y)] \quad (5)$$

$k(x, y)$ 是算法中的对比度增强因子，它一般大于 1，因此图像就被增强了，确定 $k(x, y)$ 是自适应对比度增强算法的一个重要步骤，它决定了图像的增强程度，就对比度增强因子的不同，文献[5]给出了几种不同的形式。最简单的方法是令 $k(x, y)$ 为一个常数 c ，那么(5)式变为：

$$g(x, y) = m_{S_{xy}}(x, y) + c [f(x, y) - m_{S_{xy}}(x, y)] \quad (6)$$

本文中使用常量 c 来增强图像的亮度区域，所有的灰度都被同样比例的扩大了，细节信息得到了很好的增强。

2.1.3 基于局部均值和方差的对比度增强算法

全局直方图均衡算法不能有效的增强整幅亮度不均的米饭图像的对比度，自适应对比度增强算法能增强图像的对比度，且在一定程度上能控制图像细节信息，所以根据图像的全局和局部均值及方差的关系来确定图像的亮度区域和增强的候选点，再对能显示细节的亮度区域进行自适应对比度增强，通过把对比度增强运算压缩到图像的局部区域来扩展局部图像的

灰度范围, 然后遍历整个图像。具体为: 首先定义一个适当大小的移动子块, 计算子块和全图像的均值及方差, 将其局部均值和全局均值进行对比, 分辨出暗与亮的区域, 再将局部标准方差与全局标准方差进行对比, 同时给局部标准方差还设置一个较低的限制值, 以避免增强过程中增强标准差为 0 的恒定区域, 由此得到增强的候选点, 最后对满足局部增强条件的点简单的乘以一个固定的常数, 使其亮度增加, 而对其余的点在以每个像素点为中心的子块上进行灰度拉伸运算。其增强方法如下:

令 $f(x, y)$ 表示在图像任何坐标 (x, y) 处的像素值, 且令 $g(x, y)$ 代表这些坐标上相应增强的像素, 则

$$g(x, y) = \begin{cases} \alpha * f(x, y) & \text{如果 } m_{s_{xy}} \leq k_0 M_G \text{ 且 } k_1 D_G \leq \sigma_{s_{xy}} \leq k_2 D_G \\ m_{s_{xy}} + \beta(f(x, y) - m_{s_{xy}}) & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

其中 M_G 和 $m_{s_{xy}}$ 分别是输入图像的全局平均值和局部平均值, D_G 和 $\sigma_{s_{xy}}$ 分别是输入图像的全局标准差和局部标准差, α, β, k_0, k_1 和 k_2 是特定的参数, 且 k_0 是小于 1 的正常数, $k_1 < k_2$, 如果增强亮区, k_2 将大于 1, 否则小于 1。

2.3 减去背景法

2.3.1 原理

减去背景属于数字图像代数运算中的图像相减。图像相减可以用于去除一幅图像中所不需要的加性图案, 加性图案可能是缓慢变化的背景阴影周期性的噪声, 或在图像上每个像素处均已知的附加污染等, 也可以作为复杂图像处理的前期操作。本文将背景看作图像所不需要的加性图案而将其除掉。

其数学模型为:

$$g_o(x, y) = g(x, y) - h(x, y) \quad (8)$$

其中 $g(x, y)$ 为原始图像, $h(x, y)$ 为背景图像, $g_o(x, y)$ 为减去背景后的图像。

2.3.2 实现方法

运用邻域操作的方法实现背景图像的采样, 实现过程为:

Step1 选择 $k \times k$ 的小方形区域将图像分为 $M \times N$ 块, 不一定可以完全等分, 可能会有小的余块, 这种情况就对图像进行最大灰度填充。邻域记为 A_{ij} , 则原图像 $f(x, y)$ 可表示为

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & \cdots & A_{1N} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & \cdots & A_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \ddots & \vdots \\ A_{M1} & A_{M2} & \cdots & \cdots & A_{MN} \end{bmatrix} \quad (9)$$

取每个小块的像素的最小值作为输出, 即

$$b_a(i, j) = \text{Min}(A_{ij}) \quad (10)$$

其中 $i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N$

根据式(10)得到大小为 $M \times N$ 的图像的背景估计图像 $b_a(i, j)$ 。

Step2 将背景估计图像扩展到与原始图像一样大小，并对其平滑，这里采用双线性插值以确保精度。

Step3 从原始图像中减去 step2 处理后的图像。

2.4 实现步骤

Step1 根据式(1)-(4)算出图像的全局和局部灰度均值及方差，选择一个 3×3 的移动子块，按照式(7)的条件，得到暗区和亮区，并分别进行增强处理。

Step2 根据 2.3.2 的方法估计 Step1 处理后的图像的背景图像，再将 Step1 处理后的图像减去其背景图像。

3 实验结果及分析

图 1(a)为原米粒图像，其尺寸大小为 256×256 个像素，式(7)中的参数分别取 $M_G = 112$, $D_G = 7$, $\alpha = 4.0$, $\beta = 1.2$, $k_0 = 0.4$, $k_1 = 0.02$, $k_2 = 1.2$ ，图 1(b)为本文算法处理后的图像，可看出米粒与背景的对比度增强了，米粒变得清晰。与直方图均衡化、同态滤波和分段线性拉伸处理后的图像(分别为图 1(c)-(e))相比，整个图像亮度更均匀，下部分的暗区得到了改善，且能看出部分米粒上暗淡的细节，易于辨识。

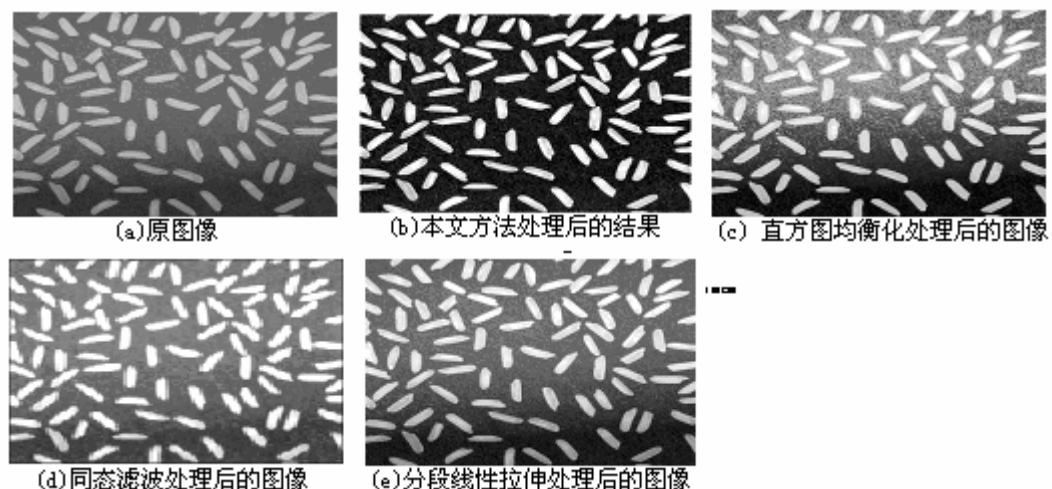


图 1(a)-(e)分别为原图像，本文算法最后处理的图像，直方图均衡化处理后的图像，同态滤波处理后的图像，分段线性拉伸处理后的图像。

图 2(a)-(e)分别为图 1 (a)- (e)对应的直方图。从处理前后的直方图分布来看，本文方法处理后的图像的直方图(图 2(b))呈现明显的双峰，这很适合原图像的特征辨识。此外，像素的灰度值分布范围明显增大了，几乎调到了整个灰度级，而且比原图要平滑，没有较大的尖峰，确实达到了增强的目的。其它方法处理后的图像(除图 2(d)外)的灰度级虽然都扩展了，但不利于原米饭图的目视解译。

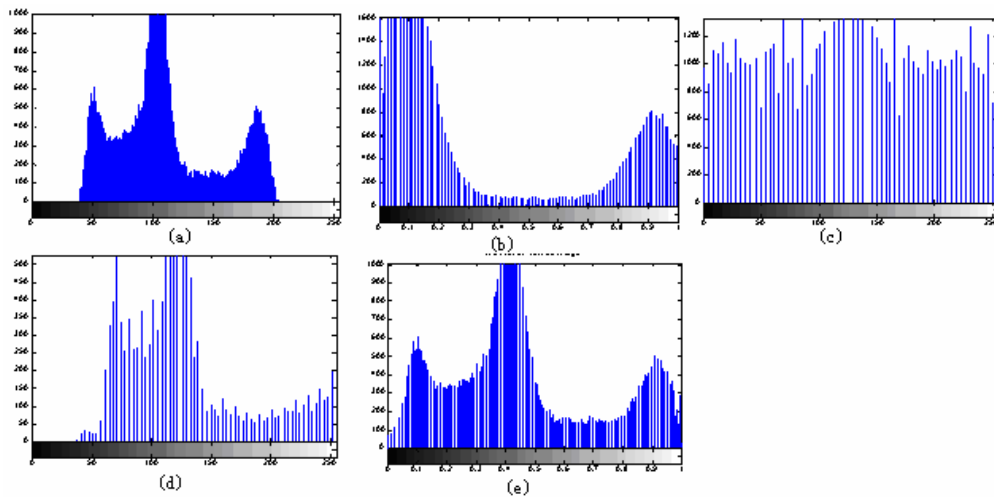


图 2(a)-(e)分别为图 1(a)-(e)对应的直方图。

定义 1 峰值信噪比（经常缩写为 PSNR）是一个表示信号最大可能功率和影响它的表示精度的破坏性噪声功率的比值的工程术语。由于许多信号都有非常宽动态范围，PSNR 通常用对数分贝单位来表示。

定义 2 信噪比(signal-to-noise ratio, SNR or S/N)是指信号处理中有效信号功率与噪声功率的比。它的单位一般使用分贝，其值为十倍对数信号与噪声功率比。

在图像处理中，峰值信噪比和信噪比可以这样计算

$$\text{信噪比公式} \quad \text{SNR1} = 10 * \log_{10} \left[\frac{(L-1)^2}{\text{temp2} * \text{Row} * \text{Col}} \right] \quad [8]$$

$$\text{峰值信噪比公式} \quad \text{SNR2} = 10 * \log_{10} \left(\frac{\text{temp1}}{\text{temp2}} \right) \quad [9]$$

其中

$$\text{temp1} = \sum_{i=1}^{\text{Row}} \sum_{j=1}^{\text{Col}} \text{Old Image}[i][j]$$

$$\text{temp2} = \sum_{i=1}^{\text{Row}} \sum_{j=1}^{\text{Col}} (\text{Old Image}[i][j] - \text{New Image}[i][j])^2$$

Row 和 *Col* 分别表示数字图像的行数和列数，*Old Image*[*i*][*j*]和 *New Image*[*i*][*j*]分别是原始图像和增强图像在(*i*, *j*)点的灰度值，*L*为图像的最大灰度级。

表 1 为用各种方法处理后的信噪比和峰值信噪比的具体数据，从表上看，很明显用本文方法处理后的图像的信噪比和峰值信噪比都比其它方法高，这说明了本文方法很好的保留了原图像的信息，是一种比较好的方法。

表 1 各种方法处理后的信噪比和峰值信噪比

	局部统计增强	减去背景	直方图均衡化	分段线性
信噪比	5. 6256	5. 6590	5. 6247	5. 6312
峰值信噪比	0. 0064	0. 0264	0	0. 005

4 结论

从上述各种方法处理的图像来看,都比原始图像有了一定程度上的改善,特别是本文运用的局部统计自适应对比度增强结合减去背景法处理后的效果比较好。此类方法可推广到其它因拍摄过程中光照不均而造成的明暗不均的一类图像的处理,使图像变得较清晰且亮度均匀,从而获得图像中隐藏的细节。当然,此方法中增强函数的参数的选取与人为因素有关,这对图像的最终处理结果很关键。需要在处理过程中多次调整使得趋于精确。值得说明的是,本人认为对于图像效果好坏的评价是相对的,并没有唯一的标准,它与观察者的目视判断能力有关,不同的人会有不同的看法。

参考文献

- [1] 张淑娟,金淑英.利用分段线性拉伸法增强图像阴影区的亮度和反差.测绘与空间地理信息.2006.6(29): 81-83.
- [2] 简林莎,张田昊.喷雾液滴图像亮度不均的校正方法[A].计算机工程.2006.32(7): 1000-3428.
- [3] A.Rosenfeld,A.C.Kak.Digital Picture Processing.AcademicPress.New York.1976.
- [4] S.m.Pizer.etal.Adaptive histogram equalization and its variations comput Ksion.Graphics Image Proccessing.vol 39.pp.355-368.1987.
- [5] CHANG D-C, WU W-R.Image Contrast Enhancement Based on a Histogram Transformation of Local Standard Deviation [J]. IEEE transactions on medical imaging, 1998, 17 (4): 518 – 531.
- [6]RAFAEL C.GONZALEZ,RICHARD E.WOODS. Digital Image Processing (Second Edition).Publishing House of Electronics Industry.2003.3.

The Enhancement for Uneven Brightness of Image

Tang Xiaochun

Dept . of Mathematics, Huazhong University of Science and Technology(HUST), Wuhan
(430074)

Abstract

According to the relation of the global mean and the local mean ,as well as the global standard deviation and the local standard deviation of the image,the image is parted into the light part and the dark part,then the former is processed by the adaptive contrast enhancement (ACE)algorithm, and the latter is processed by multiplying a constant, finally,an enhanced image processed by the algorithm of subtracting background.is obtained.Besides, compare with the images processed by ordinary methods,as well as their signal noise ratios(SNR), the result indicates that the method effective adjusts the uneven brightness of images, enhances the definition of the image effective,ameliorates the visual effect.

Keywords: uneven brightness, local mean, local standard deviation, homeostasis filter, subtract background

作者简介: 汤晓春, 硕士研究生, 研究方向为数字图像处理。