

一种基于截取法的灰度级等距离拉伸图像增强研究

彭佳琦, 刘秉琦, 王金玉, 王运波

(机械工程学院光学与电子工程系, 河北 石家庄 050003)

摘要:针对灰度直方图均衡化所引起的过增强和灰度级“吞并”等缺陷,提出基于截取法的灰度级等距离拉伸增强图像的对比度。通过对原始图像灰度直方图的统计,利用正态分布的“ 3σ ”原则对灰度级进行截取,再将其有效灰度级进行等距离排列,完成排列后的直方图映射,最后利用中值滤波对图像进行平滑处理。该算法在增强图像对比度的同时,保留图像细节信息,提高图像质量,并且避免了直接均衡化所带来的灰度级断层现象。

关键词:直方图均衡;图像增强;灰度级等距离拉伸

中图分类号:TP391

文献标识码:A

A Method of Image Enhancement Based on Gray-levels in Equal Distance with Interceptive Way

PENG Jia-qi, LIU Bing-qi, WANG Jin-yu, WANG Yun-bo

(Dept. of Optics and Electronic Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: The paper proposes a method of image enhancement based on gray-levels in equal distance with interceptive way due to the drawback of histogram equalization with the phenomenon of over-enhancement and gray-levels annexation. The paper intercepts gray-levels using the principle of “ 3σ ”, then, the gray-levels are arranged in equal distance. Finally, the output image is smoothed by median filtering. This method not only enhance image contrast, save image detail, and also overcomes the drawback of gray-level truncation in histogram equalization.

Key words: histogram equalization; image enhancement; gray-level in equal distance

1 引言

图像增强就是指按特定的需要突出一幅图像的某些信息,同时消弱或去除某些不需要信息的处理方法,其目的是使处理后的图像对于某种特定的环境比原始图像更适用,更便于人和机器对图像的分析理解。图像增强主要分为两部分:图像对比度的提高和图像中噪声的去除。对于图像对比度提高方法的研究已经有很多,并已在不同的领域中得以应用,例如,分段线性增强,直方图均衡化等全局增强处理和局部增强处理等。其中,直方图均衡化因其算法简单、便于实施而应用相对广泛。直方图均衡化的优点在于它能自动地增强整个图像的对比度,使得处理后图像的直方图占据了整个图像灰度值允许的范围,许多细节被看清。但是直方图均衡化的增强效果不易控制,往往会出现过增强的现象,并且其运算过程中小概率灰度值会与其相近的大概率灰度值合并,因而它可能损失一些较为重要的图像细节,且使得处理后的图像显得有些粗糙。基于直方

图均衡化的缺点,可以应用灰度级等距离拉伸处理图像直方图,增强对比度。灰度级等距离拉伸顾名思义就是将灰度级按照相等的距离重新排列,处理后的图像显然可以保留更多的图像信息。但是处理过后的图像有时存在着图像过亮或过暗的现象,这是由于原始图像直方图中在低亮度或高亮度区存在的小概率灰度值较多,重排时这些小概率灰度值占用空间较大而造成的。针对这样的不足,本文提出基于截取法的灰度级等距离拉伸增强图像对比度。通过实验验证,该方法可以有效地增强图像对比度,保留更多的图像细节。

2 直方图均衡算法的图像增强原理

直方图均衡化算法是图像增强空域法中最常用、最重要的算法之一。图像直方图反映了不同灰

作者简介:彭佳琦(1983-),女,硕士研究生,研究方向为图像处理。E-mail: pengjiaqi613@sina.com

收稿日期:2008-05-08; **修订日期:**2008-10-22

度值的像素的面积(连续图像)或像素个数(离散图像)在一帧中的比例,反映了图像的某些信息。直方图均衡就是把原始图像的直方图通过灰度变换函数修正为灰度均匀分布的直方图,然后按均衡直方图修正原始图像,使得均衡化后的图像具有最大熵(信息量)。

对于一幅像素数为 n , 灰度范围为 $[0, L-1]$ 的图像, 其第 k 个灰度级的出现概率为^[1]:

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

其中, r_k 表示第 k 个灰度级, n_k 表示图像中 r_k 出现的像素的个数。

直方图均衡化变换后的函数, 即图像的灰度累积分布函数 S_k 为:

$$s_k = T(r_k) = \sum_{i=0}^k P_r(r_i) = \sum_{i=0}^k \frac{n_i}{n}$$

这说明根据原始图像像素灰度值的累积分布函数做变换函数, 产生了一幅灰度级具有均匀密度的图像。在增强意义上, 这意味着均衡化图像动态范围的增加。由于含有像素多的灰度级的间隔被拉大了, 原来灰度不同的像素经处理后可能变为相同, 形成了一片相同灰度的区域, 各区域之间有明显的边界, 从而出现了伪轮廓, 这样处理后视觉可接受的信息量大大增加, 并且图像对比度也增大。但是由于一些灰度级没有像素分布, 而另外一些灰度级像素集中, 从而造成图像地灰度级别减少和损失, 出现灰度断层现象, 而且这种动态范围的扩大是建立在合并相近灰度级图像元素的基础上的, 因而它降低了图像的分辨率, 使一些小概率灰度级被“吞并”, 图像细节产生模糊。如果原始图像直方图灰度级相对集中, 则处理后图像的局部细节会出现过增强的现象。

3 基于截取法的灰度级等距离拉伸

由于常规的直方图均衡化存在一些问题, 而低对比度图像像素本身具有灰度级比较集中、动态范围窄等特点, 可利用灰度级等距离拉伸对图像进行对比度增强。它可改善直接均衡带来的断层和灰度级被“吞并”等现象, 而且运算速度较快, 便于硬件实现实时处理。

假设一幅灰度图像, 其灰度分布集中在 $[A, B]$ 范围内, 在 $[0, A]$ 和 $[B, 255]$ 灰度范围内没有像素分布, 其灰度直方图表示为: $\text{his}[z] (z \in [0, 255])$ 为了改善直方图均衡的缺点, 将灰度分布集中的灰度级进行等距离重新排列, 并进行对应的直方图映射, 完成新的直方图映射^[2-3]。

具体步骤如下:

1) 对原始图像直方图中非零灰度级数目进行统计, 得出有效的灰度级数 count , 并且求出该有效灰度级中的最大值 $F_{\max}$ 和最小值 $F_{\min}$ 。

2) 计算重排后灰度级之间的距离:

$$\text{juli} = \frac{255}{\text{count}}$$

3) 将 $F_{\min}$ 映射为 0 灰度级, 将 $F_{\max}$ 映射为 255 灰度级, 其余灰度级按距离映射, 得到新的灰度直方图:

$$f(s) = j \times \text{juli}$$

其中, $f(s)$ 为产生新的灰度级。

综上可知, 灰度级等距离拉伸可以将原始图像的灰度级拉伸至显示器允许的最大动态范围, 图像对比度得以增强。由于灰度级之间的等距离排列, 使得新的直方图不会出现断层现象, 并且能有效地改善直方图均衡化中灰度级“吞并”的现象。

在灰度级等距离拉伸过程中, 对每一个非零的灰度级进行统计, 这样使得小概率灰度级得以保存。但是如果原始图像中小概率灰度级占用空间较多, 经拉伸后的增强效果将不理想, 使得图像过亮或者过暗。并且, 如果图像中有用像素灰度级只占整个范围的小部分, 拉伸后的图像模糊化程度加重。针对这样的缺陷, 结合统计理论中的截取法对灰度级等距离拉伸进行改进。

设连续型随机变量 X 的概率密度为:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad -\infty < x < +\infty$$

其中, $\mu, \sigma (\sigma > 0)$ 为常数; 则称 X 服从参数为 $\mu; \sigma$ 的正态分布^[4]。 $f(x)$ 的图形如图 1 所示, 它具有以下的性质:

1) 当 $x = \mu$ 时取到最大值

$$f(\mu) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}$$

x 离 μ 越远, $f(x)$ 的值越小, 这表明对于同样长度的区间, 当区间离 μ 越远, X 落在这个区间上的概率越小。

2) 如果固定 σ , 改变 μ 的值, 则图形沿着 Ox 轴平移, 而不改变其形状(如图 1(a) 所示), 可见正态分布的概率密度曲线的位置完全由参数 μ 所确定, μ 称为位置参数。

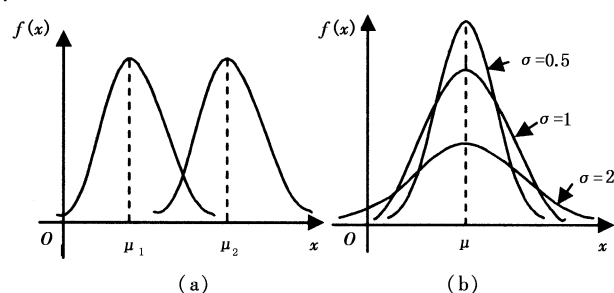


图1 正态函数曲线图

3) 如果固定 μ , 改变 σ 的值, 如图 1(b) 所示, 当 $x = \mu$ 时, $f(\mu)$ 取得最大值, 而 σ 越小, 图形变得越尖, X 落在 μ 附近的概率越大。

对于正态分布,存在一个重要数据,即:

$$\begin{aligned} P\{\mu - 3\sigma < X \leq \mu + 3\sigma\} \\ = \phi(3) - \phi(-3) = 2\phi(3) - 1 = 0.9974 \end{aligned}$$

通过该数据我们发现,对于正态随机变量来说,它的值落在区间 $[\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma]$ 内几乎是肯定的事。由此我们可推知,在图像直方图中与图像均值 μ 的距离超过 3σ 的像素点的影响可以忽略不计,由此得出基于截取法的灰度级等距离拉伸,其具体步骤如下:

- 1) 统计图像中灰度均值和其方差,得到满足 $[\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma]$ 的灰度范围;
- 2) 根据以上范围得出该范围内的最大值 $F_{\max}$ 和最小值 $F_{\min}$;
- 3) 统计范围内有效灰度级的个数,将最大值 $F_{\max}$ 映射为255,最小值 $F_{\min}$ 映射为0,其他有效灰度级按等距离重新排列构成新得直方图。
- 4) 根据新得到的灰度直方图将原始图像的像素映射到新的灰度值上。

经过上述直方图处理后,图像对比度有明显增强,但处理后图像中还存在着噪声,本文中采用中值滤波^[5]对处理后图像进行平滑。中值滤波是基于排序统计理论的一种有效抑制噪声的非线性信号处理技术。利用领域运算,把领域中的像素按灰度级进行排序,然后选择该组的中间值作为输出像素。经过上述处理后的图像,对比度有明显改善,并且图像平滑。

4 实验结果

图2显示原始图像的对比度比较低,图像中的目标难以看清楚,从灰度值方图中可看出其灰度级分布集中,在范围为 $[130, 180]$ 的灰度区间内像素分布较多,且近似呈正态分布。图3为直方图均衡化处理后的图像,从图中可以看出对比度有明显的提高,目标很容易就被看清,但是其图像中间亮度较高,目标火焰处细节并没有很好的保留下来。从图3的直方图中看知,灰度动态范围被很好的拉伸至整个灰度区间,但是大部分灰度级的概率值较高,这是造成图像过增强的原因。并且,灰度级之间出现断层现象,造成图像细节被“吞并”。图4为本文算法处理后的图像,虽然其对比度并没有直方图均衡化提高的明显,但是图像中的主要信息已被分清,达到增强的目的。计算时虽然对原有灰度级进行截取,但是图像中的整体性保留较好。从其直方图中可看出图像中的细节保留比较完全,灰度级之间的排列顺序与原始图像直方图没有区别,只是灰度级之间的间距被拉大,充满至整个显示器允许的最大

灰度范围,这也符合图像增强对灰度直方图的要求。

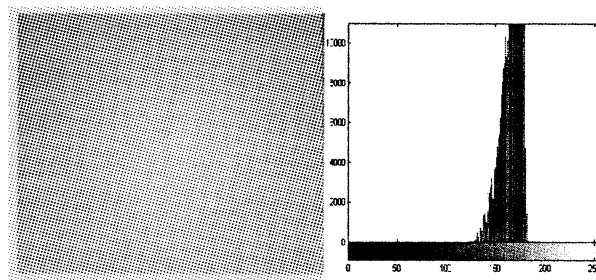


图2 原始图像及其直方图

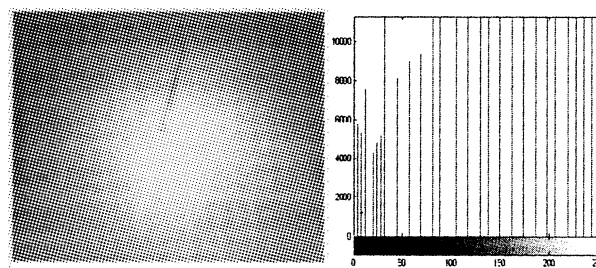


图3 直方图均衡化及其直方图

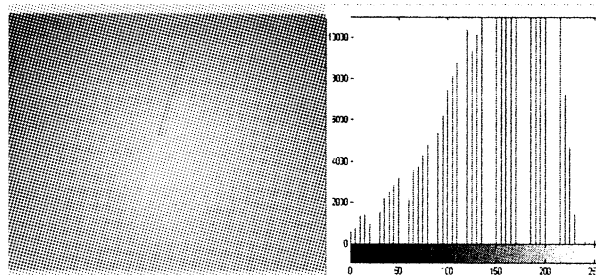


图4 本文算法及其直方图

5 结论

基于截取法的灰度级等距离拉伸处理低对比度图像,可将灰度范围拉伸至整个动态范围,并有效改善直接均衡化所带来的过增强和灰度级断层等问题,可有效地增强图像对比度,更多的保留图像细节信息,算法简单,易于实时处理,具有较广泛的应用范围。

参考文献:

- [1] 章毓晋. 图像处理和分析——图像工程(上册)[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999, 76-78.
- [2] 李怀琼, 陈钱, 隋修宝, 等. 基于灰度冗余的红外图像实时均衡技术[J]. 激光与红外, 2006, 36, (5): 409-412.
- [3] 陈钱, 柏连发, 张保民. 红外图像直方图双向均衡技术研究[J]. 红外与毫米波学报, 2003, 6, (22): 428-430.
- [4] 盛骤, 谢式千. 概率论与数理统计[M]. 第2版. 北京: 高等教育出版社, 1989.
- [5] 周杰. 应用于图像处理的中值滤波改进算法[D]. 北京: 北京邮电大学, 2007: 18-22.