

文章编号:1004-4213(2010)04-0755-4

一种基于直方图非线性变换的图像对比度增强方法*

武治国,王延杰

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,长春 130033)

摘 要:针对可见光图像的特性,提出一种基于直方图分段非线性插值的对比度增强处理技术.通过将整幅图像分为背景段、过渡段和目标段,依据各部分的特点分别对不同的灰度段采用直方图非线性拉伸,即根据各段直方图的分布特性进行图像直方图灰度轴的横向非均匀拉伸,并采用基于冗余去除的灰度均衡方法实现图像增强.实验结果表明,该技术有效地增强了图像的对比度,同时抑制了背景噪音.

关键词:图像增强;分段灰度变换;非线性变换;灰度冗余

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A

doi:10.3788/gzxb20103904.0755

0 引言

空间观测图像在摄像机像面上成像的图像通常对比度低,直方图中灰度级分布集中,目标淹没在复杂的背景中.为了提高图像的视觉效果、改善像质,必须对图像进行增强处理.图像增强方法常用的有直方图均衡、直方图规定化、直方图拉伸等.直方图均衡化根据图像的累积直方图进行灰度调整,像素数多而且分布密集的灰度级之间的间隔变大,像素数少、分布较稀疏的灰度级间的间隔变小.若用直方图均衡化对空间观测图像进行增强处理,常会导致背景和噪音的对比度提高,而降低了目标的对比度.直方图规定化可以按指定的最佳直方图对图像增强处理,但实际中很难准确提取目标特征,制定最佳的特定直方图.直方图灰度变换是按一定的规则逐点修改输入图像每一像素的灰度,从而改变图像灰度的动态范围.它可以使灰度动态范围扩展,也可以使其压缩,或者是在某动态区中进行压缩而在另外区间中进行扩展.

本文通过对传统直方图灰度变换方法的研究,根据空间观测图像成像的特点,将原始图像做分段灰度变换,在此基础上对不同的灰度段采用直方图非线性拉伸,并采用去冗余直方图均衡方法实现图像增强.实验结果表明本文算法达到了预期的视觉效果,提高了图像的对比度,突出感兴趣区域的同时有效抑制了背景噪音.

1 传统灰度变换

将图像灰度区间分成两段乃至多段,分别作灰度变换称之为直方图灰度变换.文中将整幅图像根

据分段点分为背景段、过渡段和目标段,图 1 是分三段进行灰度变换的示意图.直方图灰度变换法可以根据需要,拉伸特征目标的灰度细节,相对抑制不感兴趣的背景的灰度级.

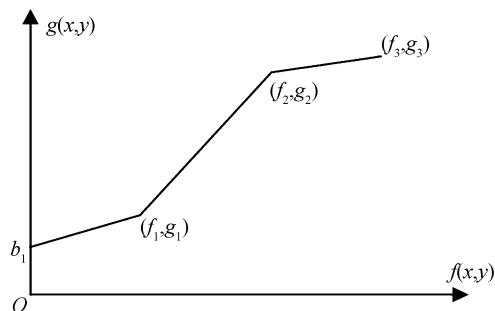


图 1 直方图变换灰度示意图

Fig. 1 Sketch map of gray scale transform

直方图灰度变换的关系式为

$$g(x,y) = \begin{cases} k_1 f(x,y) + b_1; & 0 \leq f(x,y) \leq f_1; \\ k_2 f(x,y) + b_2; & f_1 \leq f(x,y) \leq f_2; \\ k_3 f(x,y) + b_3; & f_2 \leq f(x,y) \leq f_3; \end{cases} \quad (1)$$

$k_1 = \frac{g_1 - b_1}{f_1}$
 $k_2 = \frac{g_2 - g_1}{f_2 - f_1}; b_2 = g_1 - k_2 f_1$
 $k_3 = \frac{g_3 - g_2}{f_3 - f_2}; b_3 = g_2 - k_3 f_2$

如果令 $k_1 < 1, k_2 = 1, k_3 > 1$, 变换使背景段灰度值在 $[0, f_1]$ 中像素的灰度差被压缩,使过渡段灰度值在 $[f_1, f_2]$ 中像素的灰度差保持不变,而使目标段灰度值在 $[f_2, f_3]$ 中像素的灰度差被扩展.对于空间观测图像增强来说,就是抑制背景段,保持过渡段,拉伸目标段.

2 分段非均匀变换

模拟图像设备取样后,图像的灰度值是一个模拟量,在用计算机显示和处理之前,必须进行量化.

* 国家高技术研究发展计划(2006AA703405F)资助

Tel:0431-86176561

Email:wu78zg@163.com

收稿日期:2009-07-18

修回日期:2009-09-05

均匀量化是将采样后的图像脉冲幅值在一定的灰度区间内等间隔离散化. 均匀量化的前提是图像像元的灰度概率分布为常量, 而实际上图像的灰度常常是不均匀分布的, 这样带来了较大的量化误差. 为了解决这一问题, 采用压扩法的纵向非线性量化思想用于图像增强, 即先将图像直方图的灰度轴转化到非均匀域, 然后按点进行均匀拉伸. 依据这种思想直方图非均匀拉伸将图像直方图均匀的灰度轴按灰度分布不均匀插值, 即灰度分布高的区域插值较多, 灰度分布低的区域插值较少, 然后对插值后的灰度轴按插值点均匀化, 这样在直方图峰值处直方图拉伸的幅度比其他区域大, 拉伸幅度为非线性. 为了更加有效地提高各区域对比度, 改善直方图的分布, 本算法采用对分段后的直方图的背景段及目标段按灰度分布不均匀插值, 然后再分别对其按插值点均匀化. 图2为直方图分段非线性拉伸增强算法原理示意图.

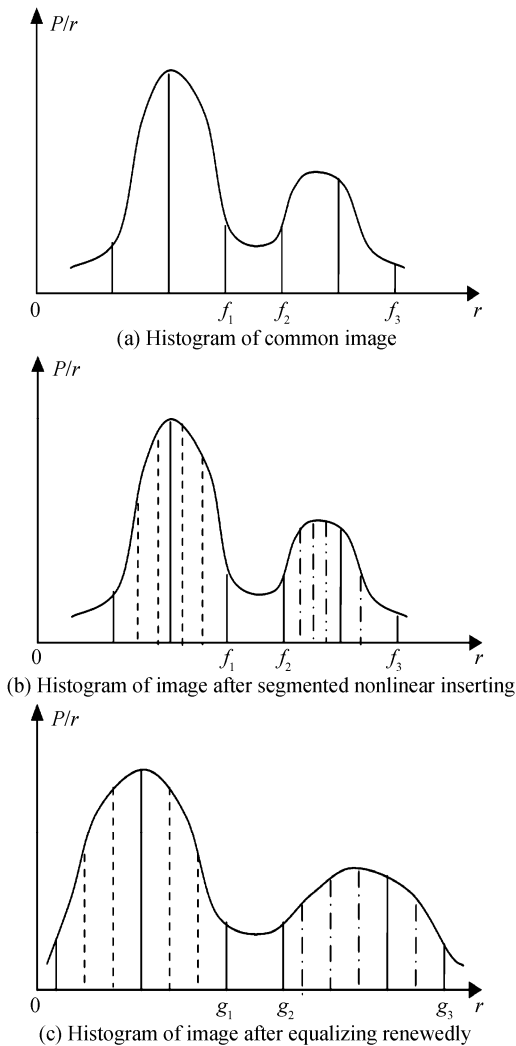


图2 直方图分段非线性拉伸增强示意图

Fig. 2 Sketch map of algorithm based on segmented histogram nonlinear extension

2.1 直方图分段非均匀插值

直方图分段非均匀插值是将目标段 n_1 、背景段 n_2 均匀分层的灰度轴不均匀拉伸为目标段 q_1 分层, 背景段 q_2 分层的过程 ($q_1 > n_1, q_2 > n_2$). 若目标段的灰度范围是 $f_0 \sim f_{n_1}$, 相应的灰度分布值为 $P_{f_0} \sim P_{f_{n_1}}$, 目标段直方图的灰度轴被均匀划分为 n_1 等份, 则直方图包络曲线下的总面积为

$$S = \sum_{i=0}^{n_1-1} [(P_{f_i} + P_{f_{i+1}})/2 * 1] \quad (2)$$

若欲将目标段直方图拉伸为 q_1 分层, 即灰度范围拉伸为 $g_0 \sim g_{q_1}$, 则需向 $f_i \sim f_{i+1}$ 中插值, 即将区间 $f_i \sim f_{i+1}$ 重新分段. 设每一区间的分段数为 q_{1i} , 为了确保重新分区后每一小区间的面积相等的 S' , 则有下式

$$S' = \frac{(P_{f_i} + P_{f_{i+1}})/2 * 1}{q_{1i}} = \frac{(P_{f_{i+1}} + P_{f_{i+2}})/2 * 1}{q_{1i+1}} \quad (3)$$

由上面公式可知目标段每一区间的分段数 q_{1i} 与灰度分布成正比, 即灰度分布高的区间分段数比分布低的分段数多. 背景段采用同样的方式对 n_2 均匀分层的灰度轴非均匀插值拉伸为 q_2 分层.

2.2 直方图灰度轴均匀化

将目标段、背景段非均匀化后的灰度轴分别按点在对应灰度区间内均匀化, 灰度分布高的区间比分布低的区间拉伸幅度大, 设均匀化后的 f_i 对应灰度值变为 g_i , 则根据式(1)得变换关系式为

$$g(x, y) = \begin{cases} k_1 (f_i(x, y) + \sum_{l=0}^{i-1} q_{2l}) + b_1; & 0 \leq f_i(x, y) \leq f_1; k_1 = \frac{g_1 - b_1}{f_1 + \sum_{l=0}^{n-1} q_{2l}} \\ k_2 f_i(x, y) + b_2; & f_1 \leq f_i(x, y) \leq f_2; \\ k_2 = \frac{g_2 - g_1}{f_2 - f_1}; b_2 = g_1 - k_2 f_1 \\ k_3 (f_i(x, y) + \sum_{l=0}^{i-1} q_{1l}) + b_3; & f_2 \leq f_i(x, y) \leq f_3; \\ k_3 = \frac{g_3 - g_2}{f_3 + \sum_{l=0}^{n-1} q_{1l} - f_2}; b_3 = g_2 - k_3 f_2 \end{cases} \quad (4)$$

3 去冗余直方图均衡

利用公式(4)计算新灰度值时, 所得到的往往不是允许的灰度值, 这时就要采用舍入的方法求近似值, 以使用与它最接近的允许灰度来代替它. 在舍入的过程中, 一些相邻的灰度值变成了相同的灰度值, 这就产生了断层现象, 造成了灰度层次的损失. 同时直方图中各灰度级所包含像素个数不同, 当在分段直方图各段中灰度级的像素个数在该段所占比例小

于一定阈值时,该灰度级会减弱感兴趣区域,影响增强效果.为了改善直方图非线性插值的断层现象,提高视觉效果,突出感兴趣区域,本算法对目标段及背景段采用去冗余直方图均衡方法将个数小于阈值的灰度全部映射到前面最近的大于阈值的灰度级,然后等距排列.

基于冗余灰度去除的均衡方法可以描述为:

1)计算每个灰度的标记函数

$$T = \alpha A \quad (5)$$

$$m(i) = \begin{cases} 0, \text{his}[i] < T \\ 1, \text{his}[i] \geq T \end{cases} \quad (6)$$

式中 α 取 0.3, A 为目标段或背景段直方图的均值,即对应段像素个数与该段灰度范围的比值, T 为对应段阈值, $\text{his}[i]$ (i 属于目标段或背景段灰度范围).

2)按下式求取映射灰度

$$r(i) = \sum_{k=0}^i m(k) + \sum_{k=0}^{i-1} (qk * m(k)) \quad (7)$$

q 为灰度轴非均匀插值拉伸分层数.

3)将灰度进行等距排列,则式(4)改为

$$g_i = \begin{cases} k_1 r(i) + b_1; 0 \leq f_i(x, y) \leq f_1; \\ \quad k_1 = \frac{g_1 - b_1}{r(f_1)} \\ k_2 f_i(x, y) + b_2; f_1 \leq f_i(x, y) \leq f_2; \\ \quad k_2 = \frac{g_2 - g_1}{f_2 - f_1}; b_2 = g_1 - k_2 f_1 \\ k_3 r(i) + b_3; f_2 \leq f_i(x, y) \leq f_3; \\ \quad k_3 = \frac{g_3 - g_2}{r(f_3) - r(f_2)}; b_3 = g_2 - k_3 r(f_2) \end{cases} \quad (8)$$

4 实验结果及分析

为了检验本算法的增强效果,文中选取分辨率为 $1280 * 1024$ 的 8 位空间观测观测图片采用不同图像增强算法进行对比实验.几种增强算法对图像增强的结果如图 3.

由于目前对于图像质量的评价尚没有客观、统一的标准,因此图像质量主要依靠观察者的视觉分析.图 3(a)为原图的空间观测图像,原图的目标与背景的灰度级比较低,灰度比较接近,目标被背景淹没,对比度很差.图 3(d)结果明显优于图 3(b)和图 3(c). (b)在增强了目标的同时,将一些杂乱背景也增强,且导致了目标细节的下降. (c)使目标与背景的灰度都得到提高,但目标与背景的对比度视觉效果不明显.图 3(d)不损失图像信噪比、对比度高且非均匀性已经去除,图像灰度范围增大,图像边缘得到锐化,整体效果好.为了能对图像进行定量分析,

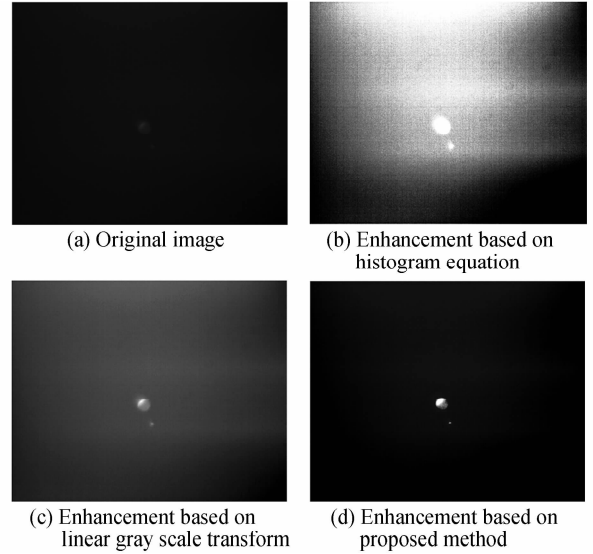


图 3 用三种增强方法增强的结果

Fig. 3 Results by three methods

本文利用信息熵、平均梯度、均值和图像标准方差对原始图像及视觉效果较好的(c)和(d)进行比较.根据信息论原理,一幅 8bit 表示的图像的信息熵为

$$E = - \sum P_g \ln P_g \quad (9)$$

式中, P_g 为图像像素灰度值为 g 的概率,熵越大,表示图像所含的信息越丰富,图像质量越好.平均梯度 h 可敏感地反映图像对微小细节反差表达的能力,可用来评价图像的清晰程度,其计算公式为

$$h = \frac{1}{(M-1)(N-1)} \sum_{x=1}^{M-1} \sum_{y=1}^{N-1} \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{\partial g(x, y)}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial g(x, y)}{\partial y} \right)^2 \right] / 2} \quad (10)$$

式中, $g(x, y)$ 为图像, M, N 分别为图像的行、列数,一般来说 h 越大,表示图像越清晰.信息熵 E 从整体上表示了信息源的总体特征,平均梯度 h 则反映了图像中微小细节反差与纹理变化特征及清晰度.此外,在某种程度上,均值和均方差也可用来评价图像反差的大小,分别定义为

$$\mu = \frac{1}{M * N} \sum_{i=1}^{M * N} g_i$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{(M * N - 1)} \sum_{i=1}^{M * N} (g_i - \mu)^2} \quad (11)$$

式中, M, N 分别为图像的行、列数, g_i 为图像第 i 个像素灰度值,则均值为图像像素的灰度平均值,对人眼反映为平均亮度.如果均值适中则视觉效果较好.均方差反映了相对于灰度均值的离散情况,均方差越大,则灰度级分布越分散,图像的反差大,从而包含的信息量越趋于最大.表 1 给出了原始图像、灰度线性变换图像和采用文中方法所得图像的统计参量.

表 1 图像统计参量
Table 1 Evaluation statistical parameter

Method	Gray average	Standard deviation	Entropy	Average grads
Original image	41.469	4.276	3.986	1.163
Linear grayscale transform	34.381	8.459	3.986	2.093
Proposed method	35.249	22.581	4.132	6.127

5 结论

本文通过对空间观测图像的分析,将图像的灰度范围分为目标段、过渡段和背景段,提出了一种新的直方图分段非线性插值变换方法,并对之进行去冗余均衡处理.通过主观与客观相结合的质量评价方法对几组目标图像的增强效果比较,从表 1 中可以看出,文中方法要比灰度线性变换增强方法能够更好的刻画图像细节,所包含的图像信息丰富.采用直方图分段非线性插值变换方法进行图像增强,通过扩展感兴趣区域的灰度范围来获得最佳视觉效果,在增加对比度和去除噪音的同时还抑制了背景,达到了预期的效果.实验表明:该算法对图像增强和边缘保持取得良好效果.

参考文献

- [1] CHEN Zhi-gang, YIN Fu-chang. Enhancement of remote sensing image based on contourlet transform[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2008, **16**(10):2020-2037.
陈志刚,尹福昌.基于Contourlet变换的遥感图像增强算法[J]. *光学精密工程*, 2008, **16**(10):2020-2037.
- [2] YANG Bi-wu, GUO Xiao-song, WANG Ke-jun, et al. New algorithm of infrared image enhancement based on histogram nonlinear extension [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2003, **32**(1):1-3.
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] GU Guo-hua, CHEN Qian, WANG Li-ping. Image intensifying technique based on gray-level redundancy equilibrating and restricted airspace sharpening [J]. *Laser & Infrared*, 2006, **6**(4):318-320.
顾国华,陈钱,王利平.灰度冗余均衡与受限空域锐化的图像增强技术[J]. *激光与红外*, 2006, **36**(4):318-320.
- [4] ZHAO Yao-hong, SHI Ze-lin, LUO Hai-bo, et al. Self-adaptive Histogram equalization enhancement algorithm for infrared image[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2008, **35**(3):97-101.
赵耀宏,史泽林,罗海波,等.自适应红外图像直方图均衡增强算法[J]. *光电工程*, 2008, **35**(3):97-101.
- [5] LEI Xiao-li, DANG Qun. A new image enhancement by non-linearity transform method[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(6):346-348.
雷小丽,党群.一种新的非线性变换法实现图像增强的方法[J]. *光子学报*, 2007, **36**(6):346-348.
- [6] SONG Yan-feng, SHAO Xiao-peng, XU Jun. New enhancement algorithm for infrared image based on double plateaus histogram [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, **37**(2):308-311.
宋岩峰,邵晓鹏,徐军.基于双平台直方图的红外图像增强算法[J]. *红外与激光工程*, 2008, **37**(2):308-311.

An Image Enhancement Algorithm Based on Histogram Nonlinear Transform

WU Zhi-guo, WANG Yan-jie

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: Aiming at the character of visible image, a new contrast intensifying technique is presented using segmented histogram nonlinear extension. For the image being intensified effectively, the specific image is cut into three parts (target area, transition area and background area). Based on the characteristic of each part, different gray scale transforms are designed to carry out image nonlinear transform (the uneven transverse extension of the image histogram). Then using the gray-level redundancy equilibrating. The result shows that the technique can increase the contrast and suppressing the background.

Key words: Image enhancement; Gray scale transform; Nonlinear transform; Gray-level redundancy

WU Zhi-guo was born in 1978. He is an associate researcher with Ph. D. degree, and his research interests focus on image processing and data fusion.



WANG Yan-jie was born in 1963. He is a Doctoral Supervisor and researcher, and his research interests focus on digital signal processing.

