

红外图像直方图双向均衡技术研究

陈 钱 柏连发 张保民

(南京理工大学电子工程与光电技术学院, 江苏, 南京, 210094)

摘要 提出了新颖的红外图像直方图双向均衡技术. 该技术在进行直方图均衡化处理的同时, 消除灰度冗余, 并在整个显示范围内对图像灰度级进行等间距排列, 从而获得灰度连续的红外图像, 解决了热像仪信号处理中输入信号大动态范围和显示输出的小动态范围的矛盾. 实验表明该技术能够使红外图像的细节和清晰度得到明显的增强.

关键词 红外图像, 图像处理, 直方图均衡, 图像增强.

HISTOGRAM DOUBLE EQUALIZATION IN INFRARED IMAGE

CHEN Qian BAI Lian-Fa ZHANG Bao-Min

(School of Electronic Engineering & Optoelectronic Technology,
Nanjing University of Science & Technology, Nanjing, Jiangsu 210094, China)

Abstract A new technique of histogram double equalization for the infrared thermal image is presented. At the same time of having histogram equalization, the gray redundancy is removed and the gray level is reconstructed with equal interval in the whole display region. Then the continuous gray images are obtained. The problem of the large dynamic range of input signal against the small dynamic range of output display is solved in the signal processing in infrared thermal image system. Theoretical and experimental results show that the detail and definition of infrared thermal image are greatly improved.

Key words infrared image, image processing, histogram equalization, image enhancement.

引言

用热像仪观察外界景物时, 其输出的图像实际上是景物红外辐射的分布图, 自然界景物红外辐射的分布范围通常是比较宽的, 特别是在一些快速变化的场景中, 例如: 火箭的发射, 温度在几秒之内从环境温度升高到几百度甚至上千度, 这就要求使用的观察仪器具有足够宽的动态范围. 在热成像系统中, 由探测器输出并经预放的红外视频信号所代表的景物红外辐射动态范围很宽. 如果实际景物红外辐射的最大变化范围为 900K, 而系统温度分辨率为 0.1K, 忽略非线性因素的影响, 那么一个典型的红外景象动态范围就有大约 9000 个等级, 而显示系统的动态范围没有这么大, 这样就产生了热像仪信号处理中信号源大动态范围和显示输出的小动态范围的矛盾. 传统的方法是采用直方图均衡 (Histogram Equalization, HE)^[1], 但该算法主要提升了红外图

像的背景和噪声, 而非图像细节. 另一种 HE 的改进算法—平台直方图均衡 (Plateau Equalization, PE)^[2,3], 该算法给细节提升留出了空间, 但很难直接确定其上限平台. 为此, 我们提出了新颖的具有自适应处理准则的红外图像直方图双向均衡技术, 该技术就是在直方图的灰度密度和灰度间距 2 个方向同时进行均衡化处理.

1 红外图像直方图灰度密度均衡处理

在一幅图像中, 在 $[0, 1]$ 区间内的灰度级是随机变量. 假定对每一个瞬间它们是连续变量, 那么可以用它们的概率密度函数 $P_r(r)$ 和 $P_s(s)$ 分别表示原始图像和变换图像的灰度级. 从基本概率理论知道, 如果 $P_r(r)$ 、 $T(r)$ 是已知的, 那末变换图像灰度级的概率密度函数为

$$P_s(s) = [P_r(r) \frac{dr}{ds}]_r = T^{-1}(s), \quad (1)$$

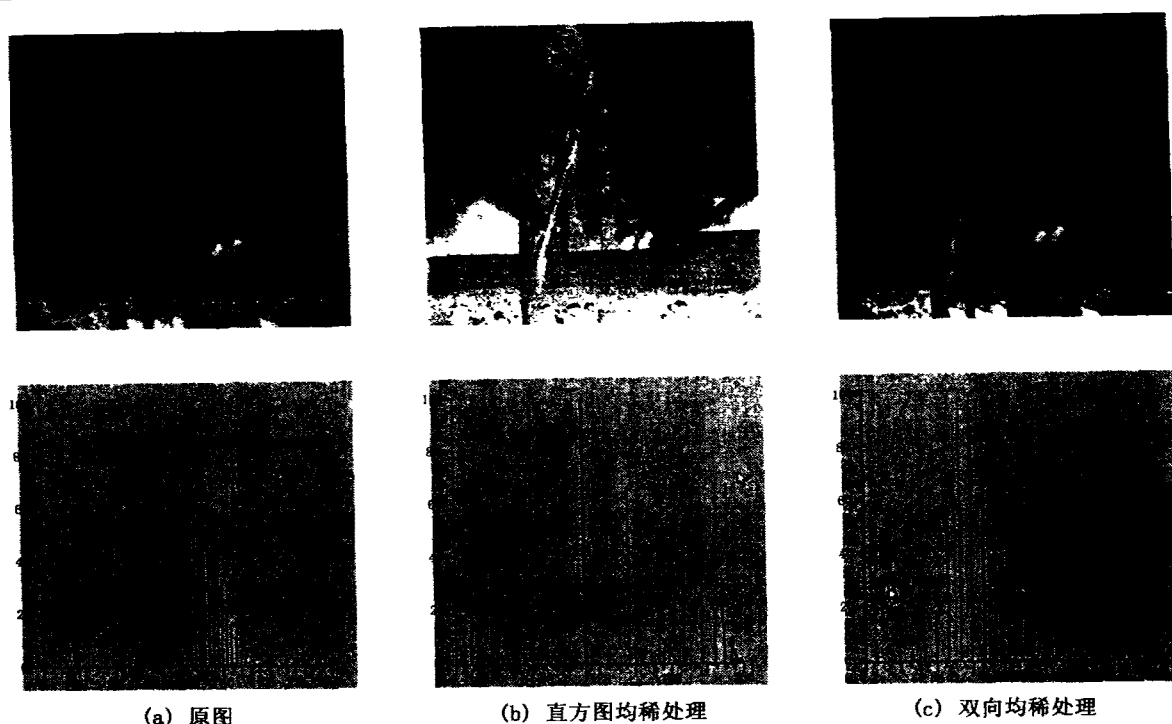


图1 红外图像直方图均衡、双向均衡处理效果对比
(a)原图 (b)直方图均衡处理 (c)双向均衡处理

Fig. 1 The infrared thermal image histogram double equalization results
(a) original image (b) histogram equalization (c) histogram double equalization

通过变换函数 $T(r)$ 就可以改变图像灰度级的概率密度函数.

假定变换函数为

$$s = T(r) = \int_0^r P_r(w) dw, 0 \leq r \leq 1 \quad (2)$$

式(2)中 w 是积分的假变量,式(2)最右边可以看作是 r 的累积分布函数,并单调地从 0 增加到 1. 从式(2)求 s 对 r 的导数得到

$$\frac{ds}{dr} = P_r(r), \quad (3)$$

将 $\frac{dr}{ds}$ 代入式(1),得到

$$\begin{aligned} P_s(S) &= [P_r(r) \frac{1}{P_r(r)}]_{r=T^{-1}(s)} \\ &= [1]_{r=T^{-1}(s)} \\ &= 1, 0 \leq s \leq 1 \end{aligned} \quad (4)$$

这说明在变换后的变量 s 的定义域内 $P_s(S)$ 是均匀密度,用 r 的累积分布函数作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,这意味着象素的动态范围的增加.

对于数字图像,假定灰度级取离散值,则

$$P_r(r_k) = \frac{n_k}{n}, 0 \leq r_k \leq 1 \quad k=0,1,\dots,L-1 \quad (5)$$

式(5)中 L 是灰度级的数目, $P_r(r_k)$ 是第 k 级灰度级的概率, n_k 是在图像中出现这种灰度级的次数, n 是图像中象素的总数. 变换函数的离散形式

$$\begin{aligned} S_k = T(r_k) &= \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n} = \sum_{j=0}^k P_r(r_j), \\ 0 \leq r_k \leq 1, k &= 0,1,\dots,L-1 \end{aligned} \quad (6)$$

在数字图像实时处理系统中,灰度级的数量和每个灰度级上的像素数均由计数器进行统计. 假设灰度等级的量化为 8bit, 范围为 $[0, 255]$, 则变换函数的非归一化形式

$$S_k = T(r_k) = \frac{255}{n} \sum_{j=0}^k n_j. \quad (7)$$

灰度密度的均衡就是把输入的直方图近似地变换为具有均匀密度分布的直方图,增加动态范围.

2 红外图像直方图灰度间距均衡处理

利用直方图密度均衡处理大大地改善了原始图像的对比度,但并非是非常理想的图像效果,其原因就是密度均匀处理使图像对比度往往偏高,同时灰度的丢失和不连续使图像产生色斑,为此在直方图密度均衡的基础上再进行灰度间距的均衡处理.

首先对密度均衡处理后灰度级数目 L_s 进行统

计

$$L_c = L_j = \begin{cases} \sum_{j=0}^{255} L_j + 1 & n_j \neq 0 \\ \sum_{j=0}^{255} L_j & n_j = 0 \end{cases} \quad (8)$$

式(8)说明对 L_c 的统计实际上是对灰度范围内不为零的灰度级进行累加计算,从而获得有效的实际度级数.然后对这些有效灰度级进行重新排序,在整个灰度范围内作等间距排列,变换函数为

$$T_k = S_k = j \times \frac{255}{L_c}, \quad j = 0, 1, \dots, k \quad (9)$$

灰度间距的均衡就是把灰度等级在整个显示范围内等间距排列,从而获得灰度连续的红外图像,增加图像的细节和清晰度.

3 实验结果与分析

红外图像直方图双向均衡处理在直方图的灰度密度和灰度间距两个方向同时进行均衡化处理,该技术应用于红外图像实时处理系统中,得到了很好的处理结果.如图1所示.从图中可以看出原始图像以大面积低对比度区域为主,直方图分布比较集中且带有陡峭的上升沿或下降沿.直方图均衡处理后的图像对比度得到很大的增强,但灰度的丢失和不

连续使图像产生色斑,直方图分布比较集中在两边,中心部分间隙较大.直方图双向均衡处理后的图像对比度和清晰度都得到了很大的改善,直方图在整个显示范围内均匀分布.

4 结语

利用直方图双向均衡技术可以使红外图像得到更加清晰的图像效果,更重要的是该技术能够针对千变万化的红外图像实现自适应实时处理,是一种高效、实用、简洁的红外图像实时处理算法.实现该算法可采用 DSP 进行直方图数据的统计和映射关系的计算,再采用查找表(Look-up table, LUT)实现图像数据的映射^[4].

REFERENCES

- [1] Gonzalez R C, Wintz P. *Digital Image Processing*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1977
- [2] Silverman Jerry. Signal processing algorithms for display and enhancement of IR images. *SPIE*, 1993, **2020**: 440—445
- [3] Virgil M, Vickers E. Plateau equalization algorithm for real-time display of high-quality infrared imagery. *Optical Engineering*, 1996, **35**(7): 1921—1926
- [4] Li Xiyang. Real-time image histogram equalization using FPGA. *SPIE*, 1998, **3561**: 293—299