

基于灰度冗余的红外图像自适应输出窗技术*

李怀琼 陈 钱

(南京理工大学电光学院 441 教研室, 南京 210094)

摘 要 根据红外图像的特点,提出了一种基于灰度冗余的红外图像自适应输出窗技术. 该技术通过对图像灰度直方图的统计,设定适当的阈值,将灰度像素分布为零的灰度级进行完全压缩,将小于阈值的灰度级映射到阈值灰度级,然后将有效灰度级在整个可显示灰度级范围内作等间距排列. 该算法在压缩灰度冗余的同时,实现了对有效图像灰度级的无损均衡,提高了图像质量,并能实现实时处理.

关键词 输出窗;直方图均衡;图像增强;灰度冗余;实时处理;红外图像

中图分类号 TN911.73 **文献标识码** A

0 引言

红外热像仪输出的图像实际上是景物温度的分布图. 实际景物的温度分布范围很宽,这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,表现为输出图像对比度低,灰度层次差,像素灰度值动态范围不大,很少充满整个灰度级空间,而且绝大部分像素集中于某些相邻的灰度级范围,这些范围以外的灰度级上则没有或只有很少的像素. 如何最大程度地反应有效图像细节,提高输出图像对比度就成了国内外专家学者的研究目标.

目前,国内外已有的红外图像增强的算法很多,比如:直方图均衡技术以及衍生的相关算法等^[1~8]. 这些算法虽然从不同程度上可以实现图像增强,但是,都没有考虑自适应有效图像窗口输出的问题,而且或多或少会丢失图像细节,出现灰度断层现象. 为了最大程度的显示有效图像(或感兴趣区域图像)的图像信息,有些研究人员采用人工控制的办法,手动设置直方图阈值来实现图像信息集中或感兴趣窗口的图像增强输出.

本文从实际应用出发,通过分析红外图像的具体表现特征,针对该图像处理技术要在硬件上实现,并且要有较好视觉效果的要求,提出了一种新的算法——基于灰度冗余的红外图像自适应输出窗技术. 该技术既实现了冗余灰度的完全压缩,又将有效图像动态范围增宽,不丢失任何有效图像信息,显示输出的图像能够看到外界场景中更多的细节,可以轻易地捕获所关心的目标.

1 直方图均衡算法的图像增强原理

图像的直方图就是图像中任意一个像素分布在某个灰度等级上的概率密度. 对于一幅数字图像,其离散的表达形式为

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

式中 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 是图像中像素的总数.

直方图均衡化算法^[4]是图像增强空域法中的最常用、最重要的算法之一. 直方图均衡就是把一幅已知灰度概率分布的图像,经过一种变换,使之变成具有均匀概率分布的图像,从而使信息熵最大.

数字图像(离散)的直方图均衡变换函数表达式为

$$S_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n} = \sum_{j=0}^k P_r(r_j) \quad (0 \leq r_k \leq L-1, k=0, 1, \dots, L-1) \quad (2)$$

假设直方图均衡化后的灰度等级量化为 8bit,即灰度范围为 $[0, 255]$, 变换函数的非归一化形式为

$$S_k = T(r_k) = \frac{255}{n} \sum_{j=0}^k n_j \quad (3)$$

通过直方图均衡变换后图像灰度级概率密度服从均匀分布,它进行灰度调整的策略是像素多的灰度被扩展到更多的灰度级上,像素少的灰度被压缩到很少的灰度级. 在增强意义上,这意味着图像各像素灰度的动态范围增加,图像的对比度得到提高,图像整体看起来比较均匀,提高了图像的视觉效果. 但是这种传统直方图均衡化处理有三个不足之处^[6]:

1) 在处理过程中,并不是变换同一灰度级下的各像素到不同的灰度级,而是整体的把同一灰度级

* 国防预研项目资助(40405050303)

Tel: 025-84315869 Email: lihuaiqiong@163.com

收稿日期: 2005-05-31

变换为另一个灰度级,图像的灰度级有可能被过多地合并,导致处理后灰度级过多减少,这就降低了图像的灰度层次感,降低了图像的分辨率,使一些细节产生模糊。

2) 这种变换不适应输入图像的局部亮度特性.当图像中含有较小目标时,可能会因为图像灰度级的变少而使较小目标消失或变模糊,反而使背景得到了增强,导致处理结果中背景和小物体的对比度恶化。

3) 变化后图像灰度级的变化范围小于等于原图像的灰度级变化范围。

2 基于灰度冗余的红外图像自适应输出窗技术的图像增强原理

由于常规的直方图均衡存在一些缺陷,而且红外图像本身又具有像素灰度比较集中,动态范围不大等特点,所以不能直接采用常规的直方图均衡化算法进行红外图像增强,而且直方图均衡法还不能自适应地改变有效图像输出窗口.为了克服这些缺陷,最大程度的显示有效图像细节,本文提出基于灰度冗余的红外图像自适应输出窗技术,通过计算无效信号或噪音的直方图最大值来设定自适应输出窗的直方图阈值,无需人为控制完成自适应输出窗图像输出.它极大地改善直接直方图均衡以及衍生的相关算法带来的缺陷,且速度快,更易于硬件实现。

通过红外热像仪采集到一幅红外图像,其灰度直方图如图 1. 从图中可以看到,红外图像的灰度分布集中在[90,200]范围内,在[0,90)和(200,255]灰度范围内几乎没有像素分布。

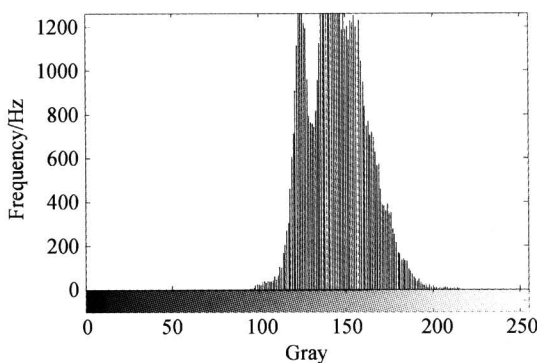


图 1 红外图像
Fig. 1 Histogram of infrared Image

假设一幅红外图像,其输出显示灰度级范围为[0,255],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,如图 2. 其灰度直方图表示为:his[z](z∈[0,255]),为了消除灰度冗余,对没有像素分布的灰度级[0,A)和(B,255]进行完全的压缩,将灰度分布集中的灰度级[A,B]进行整个输出灰度级的直方图映射,然后将

映射后的灰度直方图进行等距离重新排列,完成无损的直方图均衡。

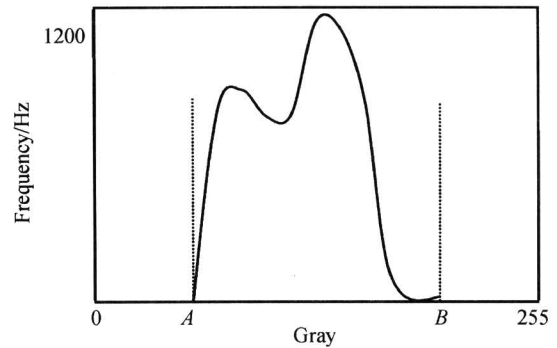


图 2 红外图像直方图
Fig. 2 Histogram sketch of infrared image

灰度直方图的映射采用线性映射的办法.首先进行一维的灰度级的线性映射,然后再将对应灰度级的直方图进行映射。

一维灰度映射的具体表达式为

$$z' = f(z) = \begin{cases} 0 & (z \leq A) \\ \frac{255}{B-A}(z-A) & (z > A) \end{cases} \quad (4)$$

直方图的映射表示为

$$his[z'] = his[z] \quad (5)$$

通过式(4),(5)就完成了将灰度分布集中的灰度级[A,B]进行整个输出灰度级的直方图映射。

要完成对映射后图像灰度级的直方图等间距重新排列,就必须对映射后的直方图灰度级进行统计.假设直方图的阈值为零,也就是说这时只对没有像素分布的灰度级进行压缩。

定义

$$g(z') = \begin{cases} 0 & (his[z'] = 0) \\ 1 & (his[z'] > 0) \end{cases} \quad (6)$$

进行灰度级映射后灰度级直方图的统计函数为

$$L_z = \sum_{k=0}^{z'} g(k) \quad (z' \in [0,255]) \quad (7)$$

将映射后灰度级作等距离排列,其产生的新的灰度级表达式为

$$T_k = j \times \frac{255}{L_z'} \quad (j=0,1,2,\dots,k) \quad (8)$$

通过式(8),可以得出重新排列的灰度级输出序列,但是存在非整数的情况,这在实际的灰度级排列中是不存在的,所以还必须对 T_k 进行判定和取整.首先找到 T_k 在 z' 中的具体位置,假如有 $z_i < T_k < z_{i+1}$,具体计算为

$$T'_k = \begin{cases} z_{i+1} & (T_k \geq \frac{z_{i+1} + z_i}{2}) \\ z_i & (T_k < \frac{z_{i+1} + z_i}{2}) \end{cases} \quad (9)$$

最后进行对应的直方图映射.找到 T'_k 在 z' 中对应

的具体位置,然后用该位置所对应的直方图 $his[z']$ 来表示 T_k 灰度级的直方图. 具体表达式为

$$his[T_k] = \begin{cases} his[z'_{i+1}] & (T_k \geq \frac{z'_{i+1} + z'_i}{2}) \\ his[z'_i] & (T_k < \frac{z'_{i+1} + z'_i}{2}) \end{cases} \quad (10)$$

通过式(10)的处理,可以将没有像素分布的灰度级进行完全压缩,对有效灰度级进行无损均衡. 但是由于红外图像本身的特点,总是存在一些干扰和无用的背景,表现在红外图像的直方图统计上为非零的现象. 如果完全采用上述的方法,势必不能达到无效灰度级压缩的目的,所以我们在此基础上作了进一步的改进.

假设一幅红外图像,其有效灰度分布集中在 $[A', B']$ 范围内,在 $[0, A')$ 和 $(B', 255]$ 灰度范围内没有像素分布或像素分布较少(干扰等无用的信息的直方图分布). 其灰度直方图表示为: $his[z]$ ($z \in [0, 255]$). 为了消除无用的信息,将以上的灰度级的线性映射关系表达式(4)改写为

$$z' = f(z) = \begin{cases} 0 & (z \leq A') \\ \frac{255}{B' - A'}(z - A') & (z > A') \end{cases} \quad (11)$$

定义

$$g(z') = \begin{cases} 0 & (his[z'] < \Delta) \\ 1 & (his[z'] \geq \Delta) \end{cases} \quad (12)$$

式中的 Δ 表示进行灰度级直方图统计的直方图阈值. 接下来的处理仍然按上述的式(7)、(8)、(9)、(10)进行. 通过这些处理,就可以将原始图像中直方图统计中小于 Δ 阈值的无用信号或干扰进行抑制,有效图像信号获得无损均衡.

Δ 的取值是该基于灰度冗余的红外图像自适应输出窗技术处理效果的关键. Δ 过大造成有效信号被压缩, Δ 太小处理效果不太明显. 假设图像大小 $W \times H$, A 为该图像直方图的均值,即 $(W \times H) / 256$, 通过多次红外图像采集和该图像处理仿真,得出如下结论,阈值取 $\Delta = 0.3A$ 比较合适,这时获得的处理后的图像信噪比是最高的,噪音去除得很干净,对比度也大大提高,人眼视觉效果较好. 这样一来 Δ 的取值存在人为控制的因素,所以在进行基于灰度冗余的红外图像自适应输出窗技术处理时要对图像信号进行认真分析, Δ 的取值要进行多次校正,以使输出图像达到较好的视觉效果.

这里的 Δ 的取值也可以根据上面的算式来确定. 红外图像有效灰度分布集中在 $[A', B']$ 范围内,

$[0, A')$ 和 $(B', 255]$ 灰度范围内没有像素分布或像素分布较少(干扰等无用信息). 通过对区间 $[0, A')$ 和 $(B', 255]$ 内的灰度级进行统计,将其中灰度级直方图的最大值作为 Δ , 这样就完全将红外图像灰度级映射与灰度级直方图阈值对应在一起了,无需进行人为的阈值控制,实现自适应输出窗图像输出.

3 基于灰度冗余的红外图像自适应输出窗技术在热像仪中的实现

热像仪中红外图像实时处理模块^[9]见图3. 图

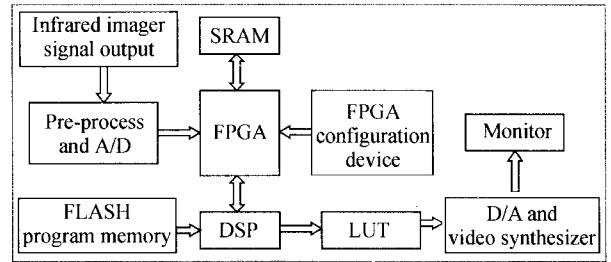


图3 红外热像仪实时处理模块原理框图

Fig. 3 Schematic diagram of real-time processing module for thermal camera

像实时处理是将算法硬件化的一个过程,过于复杂的算法,硬件开销太大,导致图像实时处理模块体积庞大,成本增加,降低了其实用价值. 同时图像实时处理模块的可靠性还会降低. 本文提出的算法经过图3的图像实时处理模块进行处理,完全可以实现图像的实时处理.

具体的图像处理实现流程是,在FPGA的驱动和控制下,将红外探测器的图像信号读出,经过信号的一系列预处理和A/D转换,将红外图像的数字信号送到FPGA进行灰度的直方图的统计. 具体的基于灰度冗余的红外图像自适应输出窗算法和相关的直方图阈值存储在DSP的程序存储器中,DSP从FPGA中获得直方图统计数据,然后根据具体的算法和阈值生成查询表并存入查询表列表中,最后进行数字视频信号的编码,生成标准的模拟视频信号供显示器显示^[10].

4 实验结果

为了说明该算法的优点,本文采用实验室仿真的办法对该算法进行了验证. 图4原始红外图像,图6为经过直方图均衡算法处理的图片,图8为本文算法处理后的图片,图5、图7、图9分别为对应图像的直方图.



图 4 原始红外图像
Fig. 4 Original infrared image

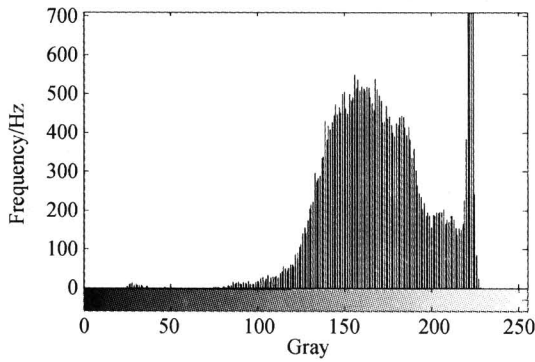


图 5 原始红外图像的直方图
Fig. 5 Histogram of original infrared image



图 6 直方图均衡算法处理的图像
Fig. 6 Image after histogram equalization

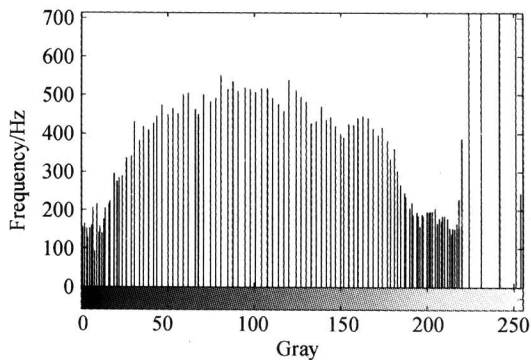


图 7 直方图均衡算法处理的图像直方图
Fig. 7 Histogram resulting from histogram equalization



图 8 自适应输出窗技术处理后的图像
Fig. 8 Image resulting from adaptive output window technique

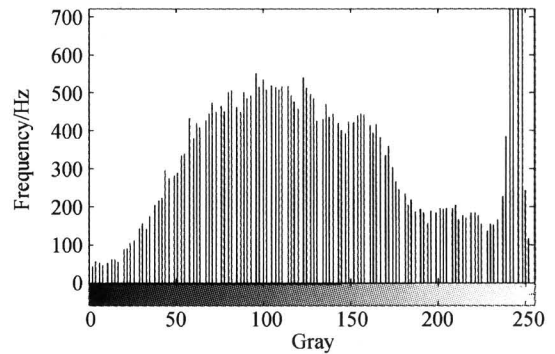


图 9 自适应输出窗技术处理后的图像直方图
Fig. 9 Histogram resulting from adaptive output window technique

为了定量评价算法的处理效果,本文采用图像峰值信噪比(PSNR)对图像处理效果进行评估:

峰值信噪比 PSNR (Peak Signal to Noise Ratio)是一种定量评价图像质量的参量.假设一幅图像大小为 $M \times N$,参考的原图像为 $f_0(x, y)$,则图像 $f(x, y)$ 的 PSNR 表示为

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [(f(i, j) - f_0(i, j))^2]} \quad (13)$$

采用上面的定量图像质量评价标准分别对原始红外灰度图像、直方图均衡化后的图像、以及本文提出的算法处理后的图像进行计算,得出表1的结果.

表 1 图像处理效果评价表

| | 直方图均衡后的图像 | 本文算法处理后的图像 |
|---------|-----------|------------|
| PSNR/dB | 11. 9755 | 13. 6521 |

5 结论

从定量的图像质量评价结果可以得出以下结论:经过图像直方图均衡化处理后的图像对比度得到了明显的提高,图像质量有所改善,但是造成图像的灰度级别减少和损失,出现了灰度的断层现象,视

觉效果很生硬. 其图像的 PSNR 也较低. 采用基于灰度冗余的红外图像自适应输出窗技术, 图像视觉效果比较柔和, 图像质量明显高于直方图均衡处理的图像, 其图像的 PSNR 也较高. 该技术目前已经应用到红外热像仪中, 实现了有效图像的自适应窗口图像输出, 并实现实时处理, 输出图像质量也得到显著改善.

参考文献

- 1 Stark J A. Adaptive image contrast enhancement using generalizations of histogram equalization. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2000, **9**(5): 889~896
- 2 陈钱, 柏连发, 张保民. 红外图像直方图双向均衡技术研究. *红外与毫米波学报*, 2003, **6**(22): 428~430
Chen Q, Bai L F, Zhang B M. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 2003, **6**(22): 428~430
- 3 李耀辉, 刘保军. 基于直方图均衡的图像增强. *华北科技学院学报*, 2003, **2**(5): 65~67
Li Y H, Liu B J. *Journal of North China Institute of Science and Technology*, 2003, **2**(5): 65~67
- 4 夏德深, 傅德胜. 现代图像处理技术与应用. 南京: 东南大学出版社, 2001
Xia D S, Fu D S. *Modern Image Processing Technology and Applications*. Nanjing: Southeast University Press, 2001
- 5 Caselles V, Lisani J L, Morel J M, *et al.* Shape preserving local histogram modification. *IEEE Trans Image Processing*, 1999, **2**(8): 220~230
- 6 Zhong Weibo, Zhao Fujun, Li Peng. Improved algorithm of histogram equalization and its actualization. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2003, **1**(13): 52~54
- 7 马林立, 沈云峰. 基于灰度修正的星图增强方法. *红外技术*, 2003, **3**(25): 29~31
Ma L L, Shen Y F. *Infrared Technology*, 2003, **3**(25): 29~31
- 8 王炳健, 刘上乾, 周慧鑫, 等. 基于平台直方图的红外图像自适应增强算法. *光子学报*, 2005, **2**(34): 299~301
Wang B J, Liu S Q, Zhou H X, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2005, **2**(34): 299~301
- 9 孔令彬, 易新建, 王典洪, 等. 320×240 长波非致冷微测辐射热计红外热像仪的研制. *光子学报*, 2002, **5**(31): 596~600
Kong L B, Yi X J, Wang D H, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2002, **5**(31): 596~600
- 10 代少升, 袁祥辉. 基于 DSP 的红外焦平面阵列非均匀性实时压缩校正研究. *光子学报*, 2004, **4**(33): 469~471
Dai S S, Yuan X H. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **4**(33): 469~471

An Adapted Output Window Technique Based on Gray Redundance for Infrared Image

Li Huaiqiong, Chen Qian

441 Lab, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094

Received date: 2005-05-31

Abstract An adaptive output window technique based on gray redundancy for infrared image is proposed in order to overcome the disadvantage of infrared image gray distribution. The adaptive output window threshold is calculated from the histogram, if the pixels sum of the same gray level is zero, this gray level is compressed. Those gray levels which pixel sum is less than the threshold are replaced by gray level of the threshold. Then effective gray-levels are distributed equidistantly. This algorithm can eliminate gray redundancy and no gray-level lost. The results show that the image quality has been improved. This algorithm achieved real-time processing.

Keywords Output window; Histogram equalization; Image enhancement; Gray redundancy; Real-time processing; Infrared image



Li Huaiqiong was born in 1965. She graduated from nanjing university of science and technology with master degree in 2000 and now studies for doctor degree in there. She is interested in infrared image processing and infrared imaging technology.