文章编号:1001-5078(2013)08-956-04 ·图像与信号处理·

基于加权直方图均衡的红外图像增强方法

龚昌来,罗 聪,杨冬涛,黄杰贤
(嘉应学院电子信息工程学院,广东 梅州 514015)

摘 要:针对红外图像特点和传统直方图均衡增强方法的不足,提出了一种改进的直方图均衡增强方法。先采用所提出的加权函数对红外图像各灰度级直方图进行调整,其中对背景区低灰度级的直方图进行缩小,对目标区高灰度级的直方图保持不变,然后进行均衡化处理。实验结果表明,本文提出的方法有效地压制了背景噪声,提高了目标对比度,综合性能优于传统直方图均衡和双平台直方图均衡方法。

关键词:红外图像;图像增强;加权直方图;直方图均衡化
中图分类号:TP391 **文献标识码**:A **DOI**:10.3969/j.issn.1001-5078.2013.08.025

Infrared image enhancement method based on weighted histogram equalization

GONG Chang-lai, LUO Cong, YANG Dong-tao, HUANG Jie-xian
(School of Electronic & Information Engineering, Jiaying University, Meizhou, 514015, China)

Abstract: Aiming at the characteristics of the infrared image and the insufficient of traditional histogram equalization enhancement method, an improved histogram equalization method is proposed. Firstly, each gray level histogram of the infrared image are adjusted using the proposed weighted function, wherein the low gray level histogram of the background region is reduced, while the high gray level histogram remain unchanged, and then the equalization processing are done. The experimental results show that, the proposed method effectively suppresses background noise and improves target contrast. The overall performance is better than traditional histogram equalization and dual platform histogram equalization method.

Key words: infrared image; image enhancement; weighted histogram; histogram equalization

1 引 言

红外图像具有对比度低,信噪比低以及边缘模糊等特点,为了能够准确地对红外图像进行目标识别、跟踪、检测等处理,必须对红外图像进行增强预处理。直方图均衡化是一种常用的图像增强方法,该方法根据图像的直方图分布信息进行灰度调整,使得调整后的图像直方图趋于均匀,增大图像灰度级的动态范围,达到增强图像的整体对比度和清晰度的目的。直方图均衡化方法运算简单,对于可见光图像,能达到较好的增强效果。对于红外图像,由于图像自身的特点,采用一般的直方图均衡增强后造成背景和噪声的对比度被提高,目标的对比度被降低,并且在高灰度区出现过亮现象。为了克服传统直方图均衡化算法的不足,近年来出现了很多新的基于直方图处理的图像增强算法[1-4],其中以平台直方图[5-6]算法最具代表性,该算法通过选择合适的平台值对图像的直方图进行修改,实现对背景和噪声的抑制,但是这种算法的平台值确定比较困难,目前基本上是凭经验进行平台值的选择,限制了

基金项目:广东省自然科学基金项目(No. S2012010010368)资助。
作者简介:龚昌来(1962-),男,硕士,副教授,研究方向为图像与信号处理。E-mail:dzxgcl@sohu.com
收稿日期:2012-12-12;**修订日期**:2012-12-18

算法的应用[4]。

针对红外图像的特点,本文提出一种改进的直方图均衡算法,其特点是对红外图像的背景和噪声抑制性能好,并且运算简单、实时性好。

2 加权直方图均衡化

2.1 直方图均衡化原理

传统的直方图均衡化方法是以图像各灰度级概率的累积分布函数作为变换函数,将原图像映射为一幅灰度级分布较均匀的图像,以增大图像灰度级的动态范围,从而增强图像的对比度。对于一幅像素数为 n,灰度范围为[0,$L-1$]的图像,令 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,则 r_k 的直方图 $p_r(r_k)$ 为:

$$p_r(r_k)=n_k/n \qquad k=0,1,\cdots,L-1 \tag{1}$$

灰度累积分布函数 S_k 为:

$$S_k=\sum_{j=0}^{k}p_r(r_j) \tag{2}$$

直方图均衡化变换函数为:

$$r'_k=\mathrm{round}((L-1)S_k) \quad k=0,1,\cdots,L-1 \tag{3}$$

式中,r'_k 为原图像中灰度级 r_k 经直方图均衡化变换后的灰度级;round(·)为四舍五入取整运算。

对于红外图像,背景和噪声占用了大量的灰度级,而目标所占的灰度级较少,经过直方图均衡后,像素数多而且分布密集的背景灰度级之间的间隔变大;像素数少、分布较稀疏的目标的间隔变小。造成背景的对比度被提升,目标的对比度被减小,并增强了分布在背景中的噪声。因此,传统的直方图均衡化不适用于红外图像增强。

2.2 加权直方图均衡化原理

分析式(2)和式(3)可知,原图像的两个灰度级 r_k 和 r_{k-1} 经直方图均衡化变换后的灰度值差为:

$$r'_k-r'_{k-1}=(L-1)\times(s_k-s_{k-1})=(L-1)\times\left(\sum_{j=0}^{k}P_r(r_j)-\sum_{j=0}^{k-1}p_r(r_j)\right)=(L-1)\times p_r(r_k) \tag{4}$$

由式(4)可知,若原图像第 k 级灰度 r_k 的直方图 $p_r(r_k)$ 越大,则均衡化后的灰度值 r'_k 比第($k-1$)级的灰度值 r'_{k-1} 增加越多,即获得越大增强,反之亦之。因此,若要增强某个灰度级只需放大其直方图,反之,若要抑制某个灰度级只需缩小其直方图。红外图像表征景物的温度分布,一般情况下,背景区域温度较低,图像灰度值相对较小,而目标区域温度较高,图像灰度值相对较大。因此,对红外图像的背景区低灰度级的直方图进行缩小,目标区高灰度级的直方图进行放大或保持不变,就可达到为了抑制背景,增强目标的目的。本文采用简便的加权法对各灰度级直方图进行调整,实现抑制背景,增强目标的目的。加权调整后的直方图为:

$$p'_r(r_k)=\lambda(r_k)\times p_r(r_k) \qquad k=0,1,\cdots,L-1 \tag{5}$$

灰度累积分布函数 S'_k 为:

$$S'_k=\sum_{j=0}^{k}p'_r(r_j)=\sum_{j=0}^{k}\lambda(r_j)\times p_r(r_j) \tag{6}$$

式中,$\lambda(r_k)$ 为加权函数。本文采用的加权函数表达式为:

$$\lambda(r_k)=\begin{cases}\left(\dfrac{r_k}{T}\right)^{\alpha} & 0\leqslant r_k<T\\ 1 & T\leqslant r_k\leqslant L-1\end{cases} \tag{7}$$

式中,α 为背景抑制系数;T 为阈值。式(7)的波形见图1。$\alpha\geqslant 0$,α 越大,对低灰度的背景抑制性越强,但 α 值不能过大,否则造成背景过度抑制,实验发现对大多数红外图像 α 取值范围为[0,3]。当 $\alpha=0$时,$\lambda(r_k)=1$,式(6)退化为普通直方图均衡化的灰度累积分布函数。式(7)中 T 是红外图像目标与背景分割的阈值。红外图像目标与背景分割阈值的计算有多种方法如迭代阈值法、最优阈值法、Otsu法等[7],这些方法所获阈值虽然分割比较准确,但计算量大。本文采用计算简单的平均值阈值法[8],即:

$$T=\frac{1}{MN}\sum_{x=1}^{M}\sum_{y=1}^{N}f(x,y) \tag{8}$$

式中,$f(x,y)$ 为原图像;M、N 为图像的尺寸。

加权直方图均衡化变换函数为:

$$r'_k=\mathrm{round}((N-1)S'_k/S'_{L-1}) \qquad k=0,1,\cdots,L-1 \tag{3}$$

由上面分析可知,对于低灰度背景区,$r_k<T$,$\lambda(r_k)<1$,直方图缩小,背景区灰度动态范围被压缩,目标区灰度范围则相对地被拉伸。对高灰度目标区,$r_k>T$,$\lambda(r_k)=1$,直方图保持不变,避免目标区过度增强。

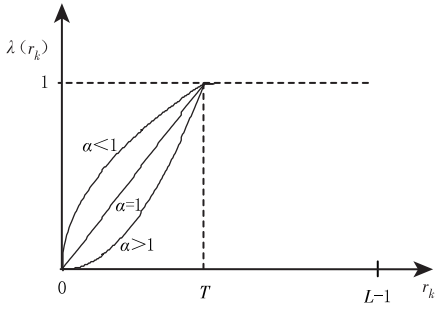


图1 加权函数曲线

2.3 算法步骤

本文方法的算法步骤如下：

1)读取待增强的红外图像；

2)计算待增强图像的灰度直方图 $p_r(r_k)$；

3)按式(8)计算目标与背景分割阈 T；

4)在[0,3]中任选一个 α 值,按式(7)计算各灰度级直方图加权值 $\lambda(r_k)$；

5)按式(6)计算灰度累积分布函数 S'_k；

6)按式(9)计算均衡后新的灰度值 r'_k；

7)改变 α 值,重复第4~6步,直到获得满意增强图像为止,输出最终增强图像。

3 实验结果与分析

为验证本文方法的有效性,将本文方法与传统直方图均衡化和目前广泛应用的双平台直方图均衡化进行增强效果对比实验。采用信息熵和标准差作为增强效果的定量评价指标。

信息熵：

$$H=-\sum_{k=0}^{L-1}p_r(r_k)\log_2 p_r(r_k) \tag{10}$$

标准差：

$$S=\sqrt{\frac{1}{MN}\sum_{y=1}^{M}\sum_{x=1}^{n}\left(f(x,y)-\bar{f}\right)^2} \tag{10}$$

式中,$\bar{f}$表示图像 $f(x,y)$ 的灰度平均值;M 和 N 表示图像的行数和列数。图像的信息熵反映图像包含的信息量大小,信息熵越大,图像中含有的信息量就越多。图像的标准差反映图像的细节信息,标准差越大,图像细节信息就越多。原图像及三种方法增强的图像见图2,实验结果数据如表1所示。

表1 三种方法增强图像客观评价数据

评价指标	原图像	直方图均衡化	双平台直方图均衡化	本文方法
信息熵	6.1656	5.9438	6.0522	6.0547
标准差	33.7443	71.6461	66.3182	74.3514

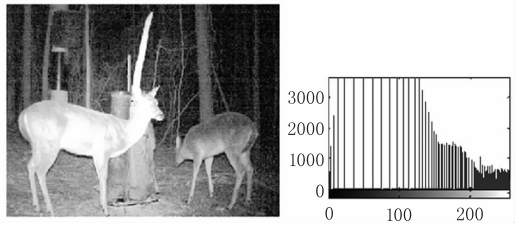
在主观评价上,由图2可见,直方图均衡化图像的细节欠丰富,一些杂乱的背景噪声被放大;双平台直方图均衡化的增强效果优于直方图均衡化,但是背景中的杂波和噪声仍然较大;本文方法的增强图像细节丰富,目标清晰度高,背景噪声被较好地压制,增强图像的主观视觉效果明显优于前二种方法。

在客观评价上,由表1可知,直方图均衡化增强图像的标准差虽然较大,但信息熵最小,整体增强效果差。双平台直方图均衡化增强图像的标准差最小,清晰度不高。本文方法增强图像的信息熵及标准差最大,清晰度最好。

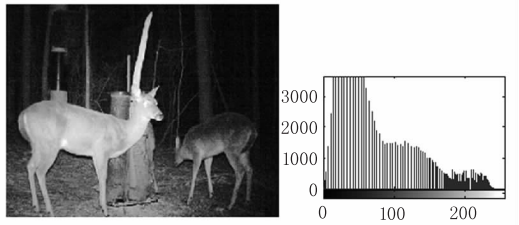
由图2和图3中的直方图可见,原图像灰度范围较窄,对比度低;直方图均衡化图像扩展至整个灰度范围,但在中低灰度区存在大量灰度级被合并,灰度级减少,细节丢失；双平台直方图均衡化图像灰度级比直方图均衡化增多,但分布不均匀,高灰度级直方图较小;本文方法的灰度级不仅多,而且分布比较均匀。

综合分析,本文方法较其他二种方法的增强图像清晰度高,背景噪声低,整体增强效果最佳。

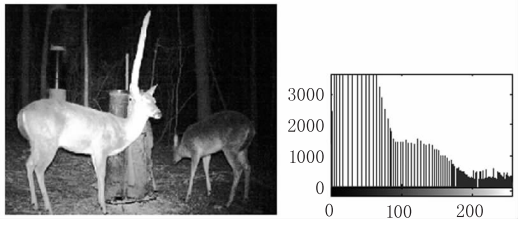
(a)原图像及直方图



(b)直方图均衡化图像及直方图



(c) 双平台直方图均衡化图像及直方图



(d) 本文方法增强图像及直方图

图2 红外图像增强实验结果

4 结 论

针对红外图像对比度低,噪声干扰大,用传统直方图均衡化增强时,噪声增大的问题,本文提出一种改进的直方图均衡增强方法。先用阈值法将红外图像分割为目标区和背景区,然后采用所提出的加权函数对各灰度级直方图进行调整,对背景区低灰度级的直方图进行缩小,压缩背景区的灰度动态范围,

相对地扩大目标区的灰度动态范围,从而有效地压抑了背景噪声,提高了目标对比度。对目标区高灰度级的直方图保持不变,防止目标区过度增强。实验证明,本文方法的综合性能优于传统直方图均衡法和双平台直方图均衡法,并且运算简单、实时性好,有一定工程实用价值。

参考文献:

[1] Wei Xin, Ma Lihua, Li Yunxia, et al. Infrared image enhancement algorithm based on image segmentation and platform histogram equalization[J]. Infrared Technology, 2012, 34(5): 272 – 275. (in Chinese)
魏新,马丽华,李云霞,等. 基于图像分割和平台直方图均衡的红外图像增强算法[J]. 红外技术,2012,34(5):272 – 275.

[2] Wu Ying. Adaptive image enhancement algorithm based on bi-histogram equalization[J]. Computer Engineering, 2011, 37(4): 244 – 245. (in Chinese)
武英. 基于双直方图均衡的自适应图像增强算法[J]. 计算机工程,2011,37(4):244 – 245.

[3] Gao Yan, Qiao Yanfeng. An image enhacing method based on reformative histogram equalization[J]. Computer Simulation, 2008, 25(4): 198 – 201. (in Chinese)
高岩,乔彦峰. 一种基于改进直方图均衡的图像增强方法[J]. 计算机仿真,2008,25(4):198 – 201.

[4] Zhao Yaohong, Shi Zelin, Luo Haibo. Self-adaptive histogram equalization enhancement algorithm for infrared image[J]. Opto-Electronic Engineering, 2008, 35(3): 97 – 101. (in Chinese)
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] Song Yanfeng, Shao Xiaopeng, Xu Jun. New enhancement algorithm for infrared image based on double plateaus histogram[J]. Infrared and Laser Engineering, 2008, 37(2): 308 – 311. (in Chinese)
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.

[6] Wang Bingjian, Liu Shangqian, Zhou Huixin, et al. Self-adaptive contrast enhancement algorithm for infrared image based on plateau histogram[J]. Acta Photonica Sinica, 2005, 34(2): 299 – 301. (in Chinese)
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[J]. 光子学报,2005,34(2):299 – 301.

[7] He Dongjian. Digital image processing[M]. 2nd ed. Xi'an: Xidian University Press, 2008. (in Chinese)
何东健. 数字图像处理[M]. 2 版. 西安:西安电子科技大学出版社,2008.

[8] Chen Zheng, Ji Shupeng. Enhancement algorithm of infrared images based on otsu and plateau histogram equalization[J]. Laser & Infrared, 2010, 40(4): 438 – 441. (in Chinese)
陈峥,吉书鹏. 一种基于 Otsu 法和平台直方图均衡的红外图像增强算法[J]. 激光与红外,2010,40(4):438 – 441.