

文章编号:1001-5078(2024)07-1086-04

· 红外技术及应用 ·

# 自适应平台直方图高动态范围红外图像显示方法

朱金华<sup>1</sup>, 李科<sup>2</sup>, 邵先军<sup>3</sup>, 孙子林<sup>2</sup>, 王少华<sup>3</sup>, 李特<sup>3</sup>, 姜凯华<sup>3</sup>  
(1. 国网浙江省电力有限公司, 浙江 杭州 310014; 2. 天津航技术物理研究所, 天津 300308;  
3. 国网浙江省电力有限公司电力科学研究院, 浙江 杭州 310014)

**摘要:**针对不同场景高动态范围红外图像的自适应显示方法问题,提出了一种基于图像分割的自适应平台直方图显示方法,首先进行图像分割,再根据分割结果讨论平台阈值的选取,并分析了平台阈值的选取依据。试验结果表明本文方法对不同场景均获得了良好显示效果,具备实用性。

**关键词:**红外图像;高动态范围;平台直方图;自适应平台值

**中图分类号:**TN219;TP391.41 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2024.07.013

## High dynamic range infrared image display method based on adaptive platform histogram

ZHU Jin-hua<sup>1</sup>, LI Ke<sup>2</sup>, SHAO Xian-jun<sup>3</sup>, SUN Zi-lin<sup>2</sup>, WANG Shao-hua<sup>3</sup>, LI Te<sup>3</sup>, JIANG Kai-hua<sup>3</sup>  
(1. State Grid Zhejiang, Hangzhou 310014, China; 2. Tianjin Jinhang Institute of Technical Physics, Tianjin 300308;  
3. State Grid Zhejiang Electric Power Research Institute, Hangzhou 310014, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of adaptive display method for high dynamic range infrared images in different scenes, an adaptive platform histogram display method based on image segmentation is proposed. Firstly, image segmentation is performed, and then the selection of platform values is discussed according to the segmentation results, and the basis for the selection of platform values is analyzed finally. The experimental results show that the proposed method obtains good display effect for different scenes and has practicality.

**Keywords:** infrared image; high dynamic range; platform histogram; adaptive platform value

### 1 引言

红外探测器输出的原始信号通常为 14 bit 或 16 bit 的高动态范围红外图像,而大多数的显示系统仅接受 8 bit 数据格式的信号输入,因此需要将 14 bit 的原始图像数据转换为适合显示的 8 bit 图像数据格式。这一过程被称为动态范围变换(也称之为色调映射 tone mapping),概况来看可分为两类方法,空域不变的全局方法和空域变化的局部方法<sup>[1-3]</sup>。

全局方法通过像素间点到点的对应函数(曲线)对高动态范围图像中的每个像素进行映射,这种映射是一一对一的,不同的全局映射算法主要区别在于映射曲线的形状不同。全局方法主要包含:增益控制、对数变换、S 函数、直方图均衡化等,其中增益控制是一种线性映射,其余均是非线性映射。局部方法不是一一对一映射,图像中相同亮度的像素可能被映射为不同的显示像素值,典型方法有分层处

**基金项目:**国家电网公司总部科技项目(No. 5500-202119489A-0-5-ZN)资助。

**作者简介:**朱金华(1976-),男,硕士,研究方向为电力设备智能感知与诊断技术、红外成像信息处理技术研究。

**通讯作者:**李科(1984-),男,博士,研究方向为红外成像技术、红外辐射测量技术。E-mail:likesea2003@163.com

**收稿日期:**2023-10-22

理方法。局部方法对图像细节的保留程度好,但是在较强边缘附近会出现或强或弱的光晕现象(halo artifacts)<sup>[4-8]</sup>。这些算法的运算复杂度也比全局方法要高。本文着重讨论全局方法。

在各类全局方法中,如何实现自适应参数调节使算法对不同场景保持较好的显示效果一直是该领域的关键性问题。S函数方法映射曲线固定,场景适应性差;增益控制方法在场景中存在高亮目标时会抑制弱目标的显示;直方图均衡化方法在场景中灰度级较少时会存在过度拉伸现象。相比之下,平台直方图均衡化方法可通过合理的选择平台阈值,实现较好的显示效果,但其平台阈值选择较为困难。常见的方法是将上平台值设定为像素总数的20%~30%,或依据直方图中波峰波谷的位置来设定<sup>[9]</sup>,由于场景的千差万别和高动态场景直方图的复杂性,这两种方法都不能得到理想的平台阈值。

针对以上问题,本文提出了依据图像分割的平台值选取方法,首先进行图像分割,再根据分割结果讨论平台阈值的选取。

## 2 双平台直方图均衡化

双平台直方图均衡是对直方图均衡以及单平台直方图均衡的改进。算法采用设定上限平台阈值 $T_2$ ,防止像素较多的灰度级(一般包含背景和噪声)使对比度过高,设定下限平台阈值 $T_1$ ,防止像素较少的灰度级(一般包含弱小目标和细节)在增强过程中被其他灰度合并,增强这些灰度级,同时适当降低高亮场景的对比度:

$$h_{\text{PHE}}(i) = \begin{cases} T_2(h(i) > T_2) \\ T_1(0 < h(i) < T_1) \\ h(i) \text{ (其他)} \end{cases} \quad (1)$$

式中, $h_{\text{PHE}}(i)$ 为图像的双平台直方图修正值; $h(i)$ 为图像的统计直方图值。从上述表达式可以看到:当下限平台阈值 $T_1$ 等于0时,双平台直方图均衡化就演化为平台直方图均衡化算法;当下限平台阈值 $T_1$ 等于0同时上限平台阈值 $T_2$ 大于等于灰度级最多的像素数目时,则将演化为直方图均衡化算法。

完成对统计直方图的修正后,由修正后的统计直方图得到图像的累积直方图 $Cu$ ,然后与直方图均衡化方法相同,通过累积直方图对图像的灰度重新分配,得到新的灰度映射 $M$ ,式(2)中 $L$ 表示原有图像灰度级的总数:

$$Cu(j) = \sum_{i=0}^j h_{\text{PHE}}(i) \quad (2)$$

$$M(k) = \frac{255 \cdot Cu(k)}{\sum_{i=0}^L h_{\text{PHE}}(i)} \quad (3)$$

## 3 自适应平台阈值选取方法

平台直方图的关键性问题在于平台值的自适应选取,目前所发表的文献中还未见到对平台值选取依据的明确讨论。本文试对上平台值选取问题进行明确讨论。

从统计角度来看,一幅图像中可大体可分为背景区域和目标区域两个部分,目标区域灰度值较大,背景区域灰度值较小,因此可应用图像分割方法得到分割点,并在直方图中分析分割特点。

观察图1(a)中的示例图像,对其原始14 bit数据进行直方图统计,得到图2(a)所示的直方图,图2(b)为原始直方图的截取,可以更加清晰地观察到灰度级的分布情况。应用ostu分割方法分割图1(a),分割点位于灰度级 $P_c = 3529$ 位置,分割点像素数量 $N_c = 232$ ,并标注在了截取的原始直方图中。峰值点位于灰度级 $P_c = 3644$ 位置,像素数量 $N_{\text{max}} = 3050$ 。同理处理其他示例图像,注意本文选取了大量示例图像,图像规模涵盖了 $320 \times 256$ 、 $640 \times 512$ 、 $384 \times 288$ ,成像器包含了制冷型和非制冷型,场景包含典型场景和测试靶标,在此并未全部展示。

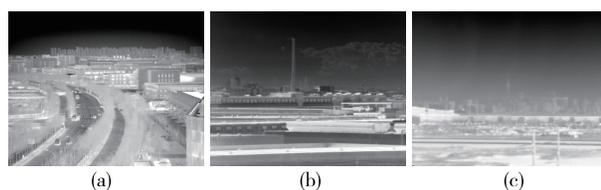
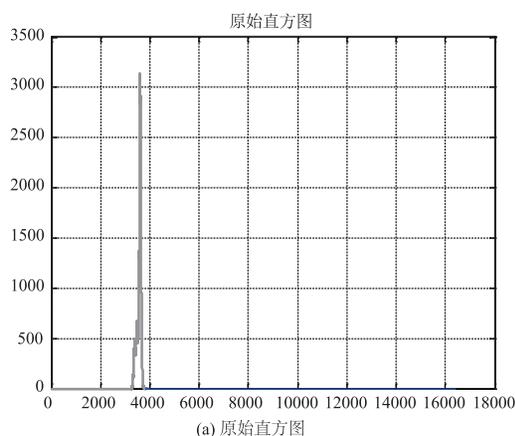


图1 示例红外图像(8 bit)

Fig. 1 Sample image (8 bit)



(a) 原始直方图

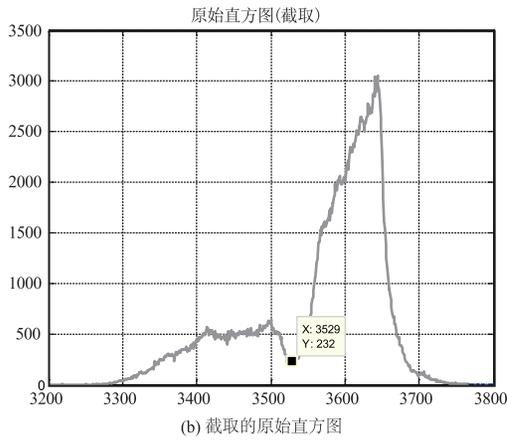
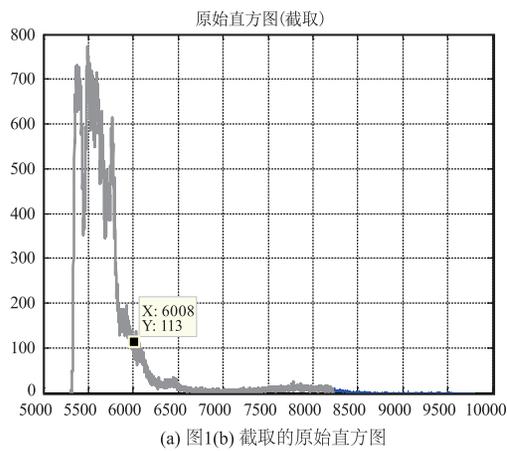


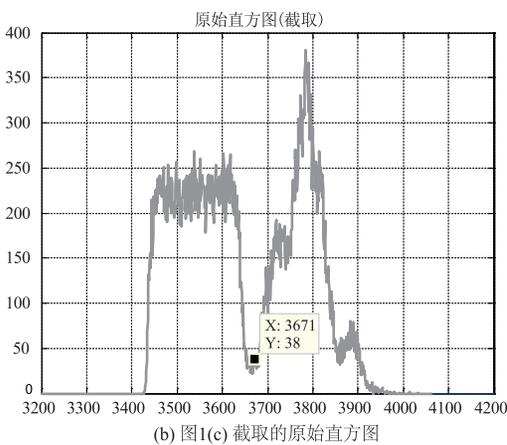
图2 红外图像原始数据的直方图

Fig. 2 Histogram of raw infrared image data of figure

观察各图的分割结果可分为两类,分割点在峰值点的左侧,即  $P_c < P_{max}$ ,如图2(b)、图3(b),和分割点在峰值点的右侧,即  $P_c > P_{max}$ ,如图3(a)。对于两类分割情况,分割点的左侧灰度值较小,通常为背景区域,分割点的右侧灰度值较大,通常为目标区域。



(a) 图1(b) 截取的原始直方图



(b) 图1(c) 截取的原始直方图

图3 红外图像截取的直方图

Fig. 3 Local histogram of raw infrared image data of figure 1(b) and 1(c)

多数图像处理的目的在于压缩背景、扩展目标,以提高图像整体对比度增强显示效果。因此,当分

割点在峰值点的右侧时,代表灰度值较小的背景像素占据了场景的多数,此时上台值  $T_2$  可适当偏小,以压制背景显示,防止背景被过度扩展,造成对比度下降;当分割点在峰值点左侧时,代表灰度值较大的目标像素占据了场景的多数,此时上台值  $T_2$  可适当偏大,以增强目标的显示效果。该思想的数学表述可如式(4)所示,为防止  $T_2$  过大或过小失去意义,限定了  $T_2$  上限 1000 和下限 300。对于  $T_1$  的选取可如式(5)所示,本文不再详述。

$$T_2 = \begin{cases} \min(0.8 \cdot N_{max}, 1000) & (P_c < P_{max}) \\ \max(N_c, 300) & (P_c \geq P_{max}) \end{cases} \quad (4)$$

$$T_1 = \begin{cases} 0.1 \cdot T_2 & (P_c < P_{max}) \\ 0.05 \cdot T_2 & (P_c \geq P_{max}) \end{cases} \quad (5)$$

#### 4 试验

图4~图7展示了不同处理算法对一些典型图像的处理结果。从结果对比中可以看出,常规直方图方法对于测试靶标场景给出了很差的结果,如图5(a)所示。增益处理方式在面对高动态范围场景时,即使手动调节增益值也无法达到理想的显示效果,如图6。单平台直方图方法在某些高亮场景中存在图像对比度偏小的现象。本文方法对于这些场景则表现出了较好的显示效果。

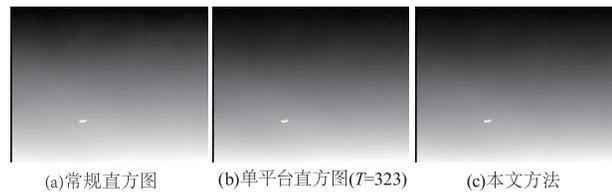


图4 不同处理方法的效果对比

Fig. 4 Comparison of the effects of different methods

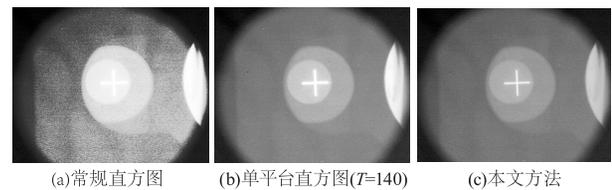


图5 不同处理方法的效果对比

Fig. 5 Comparison of the effects of different methods



图6 不同处理方法的效果对比

Fig. 6 Comparison of the effects of different methods



图7 不同处理方法的效果对比

Fig.7 Comparison of the effects of different methods

## 5 结论

提出了一种基于图像分割的自适应平台直方图高动态红外图像显示方法,创新了平台值的选取方法,并进行了图像显示效果的对比试验。试验结果表明,在不同场景、不同图像规模、不同信噪比的多幅测试图像中,本文方法的显示效果要优于常规直方图、自适应单平台直方图和增益处理方法。根据本文提出的平台值选取理论,本文方法在运算速度上还可获得极大优化,可以实现在硬件设备上的实时运算。

## 参考文献:

- [1] Liu Dongmei. Research on high dynamic range image display algorithms [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2008. (in Chinese)  
刘冬梅. 高动态范围图像显示算法的研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2008.
- [2] Chen Zhebo. Research on high dynamic range imaging technology [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2009. (in Chinese)  
陈浙泊. 高动态范围成像技术的研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2009.
- [3] Zhan Xiao. Research on detail enhancement algorithms for high dynamic range infrared image compression [D]. Nanjing: Nanjing University of Technology, 2014. (in Chinese)  
詹筱. 高动态范围红外图像压缩的细节增强算法研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2014.
- [4] Zhang Linlin. Research on image detail enhancement algorithm based on detail layering and dynamic compression [D]. Xi'an: Xi'an University of Electronic Science and Technology, 2013. (in Chinese)  
张临临. 基于细节分层和动态压缩的图像细节增强算法研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013.
- [5] Tumblin J. Three methods of detail-preserving contrast reduction for displayed images [D]. College of Computing Georgia Inst. of Technology, 1999.
- [6] F Durand, J Dorsey. Fast bilateral filtering for the display of high-dynamic-range images [C] // Proc. ACM SIGGRAPH, 2002: 257 - 266.
- [7] Huxiang Gu. Image guided tone mapping with locally non-linear model [C] // ECCV, Berlin, Heidelberg, 2012.
- [8] Wang Bingjian, Liu Shangqian, Zhou Huixin, et al. Self-adaptive contrast enhancement algorithm for infrared images 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.
- [9] Sun Haijiang, Wangyanjie, Liuweining. Enhancement of infrared images based on adaptive platform threshold and Laplace transformation [J]. China Optics, 2011, 4(5): 474 - 479. (in Chinese)  
孙海江, 王延杰, 刘伟宁. 基于自适应平台阈值和拉普拉斯变换的红外图像增强 [J]. 中国光学, 2011, 4(5): 474 - 479.