第4卷 第5期 中国光学 Vol. 4 No. 5
2011年10月 Chinese Optics Oct. 2011

文章编号 1674-2915(2011)05-0474-06

基于自适应平台阈值和拉普拉斯变换的红外图像增强

孙海江[1,2],王延杰[1],刘伟宁[1]
(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033;
2. 中国科学院 研究生院,北京 100039)

摘要:针对红外图像对比度低和边缘模糊的特点,提出了一种结合自适应平台直方图均衡化和拉普拉斯变换的方法。采用双数字信号处理器(DSP)并行处理,其中一片DSP采用自适应平台直方图均衡化的方法获得对比度增强后的图像;另一片DSP则进行拉普拉斯变换获得原始图像的边缘图像;最后由第二片DSP完成两幅图像按系数相乘后的叠加融合。实验结果表明:该算法增强效果和实时性较好,处理频率可达50 Hz,既提高了图像对比度又清晰了图像边缘,是提高图像对比度和边缘清晰度的高效算法。

关 键 词:红外图像;自适应平台直方图;边缘增强;实时增强
中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A

Enhancement of infrared images based on adaptive platform threshold and Laplace transformation

SUN Hai-jiang[1,2], WANG Yan-jie[1], LIU Wei-ning[1]

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun* 130033, *China*;
2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100039, *China*)

Abstract: As for low contrasts and fuzzy edges of infrared images, an infrared image enhancement method combined with adaptive platform histogram equalization and Laplace transformation is pressented to not only improve the image contrasts but also to sharp the image edges. The algorithm uses double Digital Signal Processors(DSP) to complete parallel processing. Among them, a DSP obtains the image contrast enhancement by using the adaptive platform histogram equalization, and the other one performs Laplace transform algorithm to obtain the edge image from an original image. Finally, the multiplied fusion of two images is finished by coefficient superposition. Experimental results show that this algorithm has an excellent enhancement effect and real-time performance, which satisfies the requirement of 50 Hz processing frequency and improves the image contrast and sharps the image edge.

Key words: infrared image; adaptive platform histogram; edge enhancement; real-time enhancement

收稿日期:2011-07-19;**修订日期:**2011-08-18

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1　引　言

红外热像仪已被广泛应用于光学测量、目标识别、军事和航空侦察等领域。然而,相机灵敏度和红外图像探测器件的固有特性使红外图像存在很多不足,如亮度不够、对比度低和物体边缘模糊等。

为了有效地改善红外图像的质量,提高对比度,锐化物体边缘,红外图像增强算法极受人们关注。由于增强算法的处理结果会直接影响增强后红外图像的质量,尤其在实时性要求较高的情况下,提出的算法应在保证算法对图像增强效果的同时不影响算法的实时性。

直方图均衡化[1]是常用的图像增强算法之一。采用该方法进行红外图像增强,常出现由于背景和物体之间的温度差很低,使其灰度差较小;抑或亮目标与背景之间的温度差很高,出现灰度差很大;此时,会有或者背景图像的增强效果不好,或者亮目标被饱和等情形,因此直方图均衡化并不适合红外图像的特点。为了克服传统直方图均衡化算法的不足,后期又出现了平台直方图算法,该算法的关键是平台值的选择。它可以有效增强背景的对比度,但是其运算复杂,影响实时性,而且图像边缘依然模糊,没有增强边缘的效果。根据上述算法的实际应用,本文提出一种结合自适应平台直方图与边缘增强叠加融合的红外图像增强算法和结合双 DSP 并行处理的硬件设计方法,其特点是平台直方图阈值的自适应选取、边缘增强、实时性好。

2　红外图像增强算法[2]

2.1　自适应平台直方图均衡化[3-4]

平台直方图是根据平台阈值对直方图进行修正后的直方图均衡化方法,如果直方图的阈值小于平台阈值,则阈值保持不变,否则取平台阈值,如式(1)所示:

$$H_T(i) = \begin{cases} H(i) & H(i) \leqslant T \\ T & H(i) > T \end{cases}, \qquad (1)$$

其中: i 代表图像的灰度级,$i \in [0,255]$,$H(k)$ 是原始图像统计的直方图,即修正前的直方图;$H_T(i)$ 为修正后的平台直方图;T 为平台阈值,$T \in [0,255]$。

将传统的直方图均衡化过程转化为由平台直方图为基准,进行每个灰度的累积直方图的计算,再由累积直方图对原图像的灰度重新分配,得到均衡化的新图像。累积直方图计算公式如式(2)所示,均衡化后新的图像的灰度计算公式如式(3)所示:

$$P_T(i) = \sum_{j=0}^{i} H_T(j), \qquad (2)$$

$$D_T(i) = [255P_T(i)/P_T(255)], \qquad (3)$$

其中: i 代表像素的灰度值,$i \in [0,255]$;$P_T(i)$ 代表灰度值为 i 的累积直方图,$D_T(i)$ 代表原像素灰度值为 i 的均衡化后的新灰度值,符号 $[\ ]$ 代表取整数。

如何根据红外图像自适应选取合适的平台阈值 T,是红外图像增强好坏和程序执行效率的关键。为了使相对集中的背景灰度被拉伸,而较亮的目标不被饱和,平台阈值必须在直方图中的背景峰值和目标峰值的中间,因此,需要获得 2 个峰之间的中间值。一般背景峰都处于直方图的左侧,而亮目标峰值处于直方图的右侧,要找的是两者之间所有属于谷底波形的直方图值的集合,求取集合中的中间值,即为要求的平台阈值。方法简述如下: 统计原始红外图像灰度直方图,得到直方图 $H(i)$,$i \in [0,255]$,去掉 $H(i)$ 中为零的单元,构成集合$\{P(k) \mid 0 \leqslant k \leqslant K\}$,$K$ 为 $H(i)$ 中非零的个数;对 $P(k)$ 进行 3 邻域的一维中值滤波,去掉毛刺干扰;这里简化了文献[3]的方法,直接查找 $P(k)$ 中有多少个灰度值在直方图的位置符合波谷性质,即该灰度的像素个数小于两侧灰度值的像素个数,即求出集合$\{m_i \mid 1 \leqslant m_i \leqslant K-1, P(m_i-1) > P(m_i) < P(M_i)+1)\}$,$i$ 为 m_i 的个数,找出 m_i 的中间值,设为 m_z,则平台阈值 T 为$P(m_i)$。

2.2　图像边缘锐化[1]

通过平台直方图均衡化后的红外图像的对比度得到了增强,整体亮度得到了提高,但是,原红外图像中较亮目标的灰度被过度拉伸,造成了饱和现象,而且没有对边缘进行处理,所以原有模糊的红外图像依然模糊,清晰度并没有提高。为了

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

改善这两方面的不足，对原始红外图像进行拉普拉斯变换，获得边缘图像，再将平台直方图均衡化后的图像乘以一个经验系数∂，与边缘图像叠加，获得新的图像。此红外图像对比度、清晰度都得到了提高，而且，减少了饱和现象的发生。设原始红外图像为$f(x,y)$，通过拉普拉斯变换后，得到边缘图像$f_B(x,y)$，拉普拉斯边缘提取算子为一个3×3的滤波器，如图1所示。

0	−1	0
−1	4	−1
0	−1	0

图1 边缘提取滤波器

Fig. 1 Edge extracting filter

设自适应平台直方图均衡化后的红外图像为$f_T(x,y)$，与系数∂相乘后，再与边缘图像叠加生成的红外图像为$f_{dj}(x,y)$，公式如下：

$$d_{dj}(x,y) = \partial \cdot f_T(x,y) + f_B(x,y), \quad (4)$$

其中，系数∂的数值可调。为了防止灰度值越界，对叠加后的灰度值进行限制，得到最终的红外图像$f_N(x,y)$，公式如下：

$$f_N(x,y) = \begin{cases} 0 & f_{dj}(x,y) < 0 \\ f_{dj}(x,y) & 0 \leqslant f_{dj}(x,y) \leqslant 255. \\ 255 & f_{dj}(x,y) > 255 \end{cases} \quad (5)$$

2.3 基于双DSP的硬件设计[5-7]

如果红外图像的增强算法用于实时显示系统时，对算法的执行效率要求很高。这里介绍一种以双DSP为核心处理器，以现场可编程门阵列(FPGA)为协处理器，配有接口芯片和数模转换等芯片的硬件设计平台。硬件原理框图如图2所示。

FPGA采用XILINX公司的V2P4，具有40万个系统门，800多个逻辑单元，主要负责图像的采集、存储和传输；两片DSP都采用Ti公司高性能的DSP(TMS320C6416)，主频1 GHz，运算速度可达8 000 MIPS；其中DSP_1负责算法中的平台直方图阈值选取和均衡化处理，生成平台直方图均衡化后的红外图像，并传给DSP_2；DSP_2负责算法中

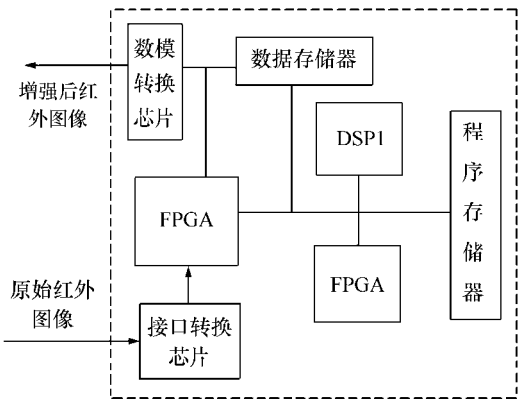


图2 硬件原理框图

Fig. 2 Schematic diagram of hardware

红外边缘图像的生成，并与DSP_1传来的红外图像叠加融合生成最后的红外图像。由于采用双DSP并行处理，提高了系统运行效率，处理一幅320×256的图像只用15.67 ms，保证了50 Hz的处理频率要求。

3 试验结果

红外热像仪输出的红外图像分辨率为320×256，输出频率为50 Hz。原始红外图像如图3所示，用传统直方图均衡化方法处理后的红外图像如图4所示，平台直方图均衡化方法处理后的红外图像如图5所示，本文方法获得的红外图像如

图3 原始红外图像

Fig. 3 Original infrared image

图6所示。从图中可以看出，原始红外图像对比度低，边缘模糊，通过传统直方图均衡化处理后，提高了整体的亮度，但是烟囱的灰度值达到饱和，

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

图 4　直方图均衡化后的红外图像

Fig. 4　Infrared image base on histogram equalization

图 5　平台直方图均衡化后的红外图像

Fig. 5　Infrared image base on plateau histogram equalization

图 6　本文方法增强后的红外图像

Fig. 6　Infrared image after enhancement by proposed algorithm in this work

而楼宇灰度的层次依然不明显；而平台直方图处理后的楼宇对比度得到了增强，但是饱和现象依然存在，而且模糊的边缘依然不清晰；而本文的方法不仅降低了烟囱的饱和，在增强了天空云彩、楼宇等对比度的同时，对烟囱、窗户等物体的边缘进行了增强，使红外图像对比度更好，边缘更加清晰。

取出 4 幅图像中的两个小烟囱的局部图像放大后可以清楚地看到，本文处理后的红外图像不仅没有饱和现象，而且对比度好，烟囱的纹理和周围景物的边缘都清晰可见，如图 7 所示。

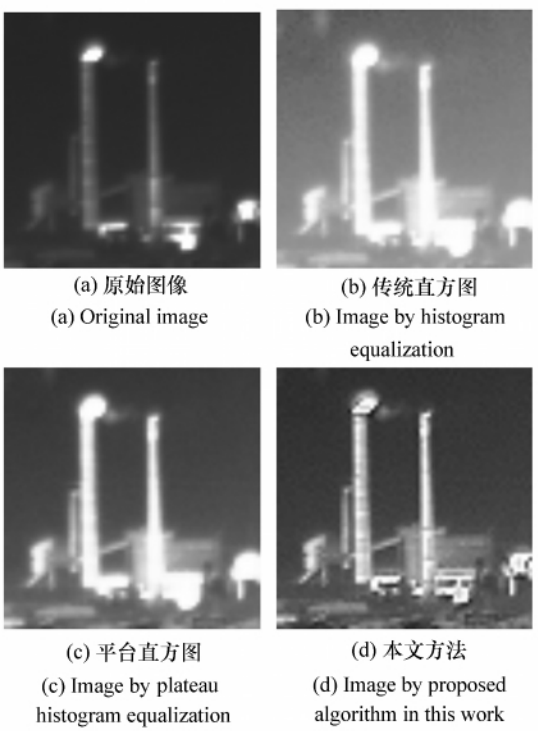


图 7　对比图

Fig. 7　Comparison of images

通过对比图 3 ~ 图 6 4 幅图像的直方图可以看出，本文方法获得的红外图像直方图分布最均匀，说明图像中包含的灰度信息最多，图 8 所示从上至下依次为图 3 ~ 图 6 的直方图。

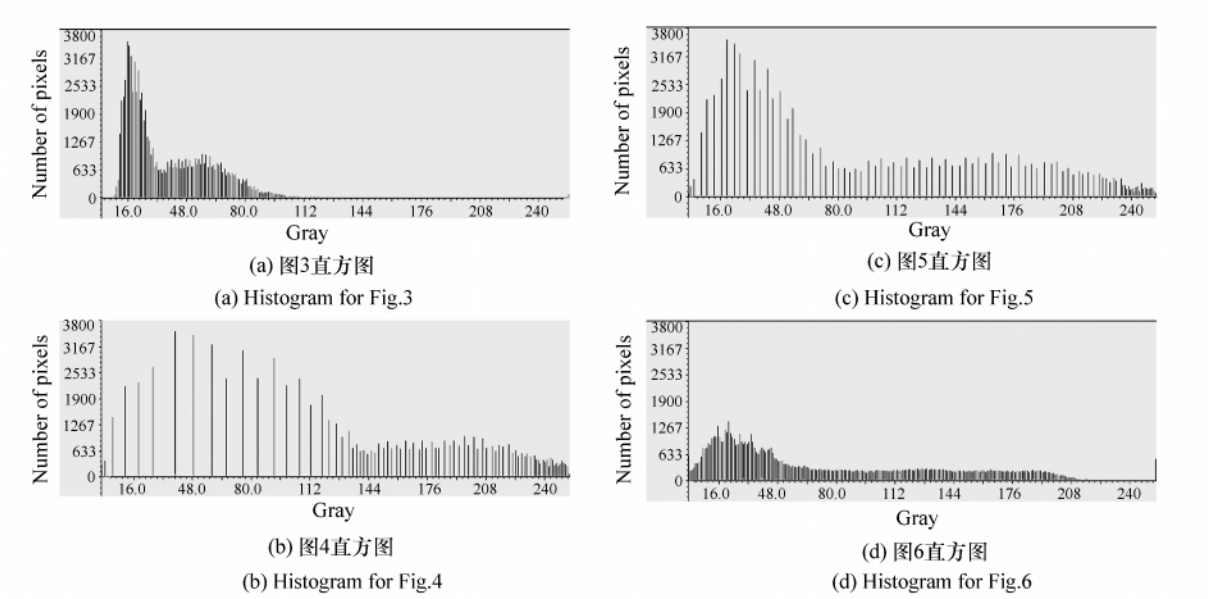
为了给出红外增强效果的定量分析，引用一种表示模糊度的函数[7]，公式如下：

$$F_B = \frac{1}{MN}\sum_i \sum_j \min\left[P(i,j), 1 - P(i,j)\right], \tag{6}$$

式中：$P(i,j) = \sin\left[0.5(1 - I(i,j)/I_{\max})\right]$，$I(i,j)$ 表示图像的灰度值，$I_{\max}$ 表示图像的灰度量程，如 8 bit 的图像数据 $I_{\max} = 255$。根据函数的定义，模糊度越低，图像越清晰，增强效果越好。表 1 为 4

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

幅图像的模糊度计算结果。



(a) 图3直方图
(a) Histogram for Fig.3

(c) 图5直方图
(c) Histogram for Fig.5

(b) 图4直方图
(b) Histogram for Fig.4

(d) 图6直方图
(d) Histogram for Fig.6

图8 4幅图像的直方图

Fig. 8 Histograms of four infrared images

表1 4幅图像(图3~图6)的模糊度计算结果

Tab. 1 Results of ambiguity for four images

	原始图像(图3)	直方图均衡(图4)	平台直方图(图5)	本文方法(图6)
模糊度值	0.144 058 7	0.204 211 9	0.143 879 7	0.135 219 1

4 结 论

本文介绍的红外图像增强算法,采用自适应平台直方图均衡化与边缘图像叠加的方法来增强图像的对比度和清晰度。由于采用双DSP并行处理的硬件设计,保证了实时性,其处理频率达到50 Hz。

参考文献:

[1] 阮秋琦. 数字图像处理学[M]. 北京: 电子工业出版社,2001.
RUAN Q Q. *Digital Image Processing*[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry,2001. (in Chinese)

[2] 周妮,张勇,吴滢跃. 一种新的实时红外图像增强技术[J]. 红外技术,2010,32(6):324-327.
ZHOU N,ZHANG Y,WU Y Y. A new real-time image enhancement in IR imaging system[J]. *Infrared Technology*,2010,32(6):324-327. (in Chinese)

[3] 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.
WANG B J,LIU SH Q,ZHOU H X,*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)

[4] 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.
SONG Y F,SHAO X P,XU J. New enhancement algorithm for infrared image based on double plateaus histogram[J]. *Infrared and Laser Eng.*,2008,37(2):308-311. (in Chinese).

[5] 郭强,陈桂林. 基于双DSP的遥感图像实时并行处理系统[J]. 光学 精密工程,2002,10(6):547-551.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

GUO Q,CHEN G L. Real-time parallel processing system for remote sensing images based on two DSPs [J]. *Opt. Precision Eng.*,2002,10(6):547-551. (in Chinese)

[6] 朱明,鲁剑峰,赵健,等. 基于 TMS320C6202DSp 的实时数字图像处理系统的设计 [J]. 光学 精密工程,2003,11(5):497-501.
ZHU M,LU J F,ZHAO J,*et al.*. Design of real time digital image processing system based TMS320c6202 DSP [J]. *Opt. Precision Eng.*,2003,11(5):497-501. (in Chinese)

[7] GUO J,LIU W G,*et al.*. Adaptive algorithm of infrared target enhancement for target recognition of infrared detector [J]. *SPIE*,2009,7283:728311.

[8] 赖睿,刘上乾,王炳健,等. 一种新的自适应红外图像增强算法 [J]. 半导体光电,2006,27(6):767-769.
LAI R,LIU SH Q,WANG B J,*et al.*. A new adaptive enhancement algorithm for infrared image [J]. *Semiconductor Optoel Ectronics*,2006,27(6):767-769. (in Chinese)

[9] 邓志鹏,许丽敏,杨杰,等. 基于直方图相关的图像灰度校正 [J]. 红外与激光工程,2003,32(2):167-169.
DENG ZH P,XU L M,YANG J,*et al.*. Image gray calibration based on histogram correlation [J]. *Infrared and Laser Eng.*,2003,32(2):167-169. (in Chinese)

[10] 曹聚亮,吕海宝,李冠章. 基于自适应局部灰度修正的直方图均衡算法 [J]. 红外与激光工程,2004,33(5):513-515.
CAO J L,LÜ H B,LI G ZH. Histogram equalization algorithm based on adaptive local gray level modification [J]. *Infrared and Laser Eng.*,2004,33(5):513-515. (in Chinese)

[11] 张志龙,李吉成,沈振康. 一种保持图像细节的直方图均衡新算法 [J]. 计算机工程与科学,2006,28(5):36-38.
ZHANG ZH L,LI J CH,SHEN ZH K. A new algorithm for image-detail-preserving histogram equalization [J]. *Computer Eng. Sci.*,2006,28(5):36-38. (in Chinese)

[12] HUCKRIDGE D A,EBERT R R. Dynamic range compression and contrast enhancement in IR imaging systems [J]. *SPIE*,2007,6737:67370P.

[13] CHEN Q,ZHANG B M,GU G H. Dynamic inter-frame filtering in IR image sequences [J]. *J. Institute Technol. Nanjing*,2003,27(5):653-656.

[14] ZHOU M,XU SH H. A little infrared goal picture detection method [J]. *Semiconductor Optoelectronics*,2004,25(3):224-225.

[15] 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.
CHEN ZH,JI SH P. Enhancement algorithm of infrared images based on Otsu and plateau histogram equalization [J]. *Laser & Infrared*,2010,40(4):438-441. (in Chinese)

作者简介:孙海江(1980—),男,吉林辉南人,博士,助理研究员,主要从事基于 DSP 的实时数字图像处理方面的研究。
E-mail: sunhaijiang@126.com
王延杰(1963—),男,吉林长春人,研究员,博士生导师,主要从事数字图像实时处理技术方面的研究。
E-mail: wyjciomp@gmail.com

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net