

# 基于 CLAHE 的红外图像增强算法

刘玉婷, 陈 峥, 付占方, 郑逢勋  
(凯迈(洛阳)测控有限公司, 河南 洛阳 471000)

**摘 要:** 针对原始红外图像信息在压缩转换中数据信息丢失或弱化的问题, 提出一种基于 CLAHE(对比度受限自适应直方图均衡)的红外图像增强算法。该算法首先对 14 位原始红外图像的像素灰度级进行调整, 然后通过 CLAHE 算法获得基图像, 再通过原始图像与双边滤波后图像的差值获得细节图像, 进一步通过高斯滤波算法滤除细节图像的噪声, 最后合成得到输出图像。仿真结果显示: 通过该算法, 原始图像的对比度及边缘细节信息得到很大程度的增强。本文算法的图像增强效果优于 PE 算法和 CLAHE 算法。

**关键词:** 红外图像; CLAHE; 基图像; 双边滤波; 细节图像

**中图分类号:** TP391    **文献标识码:** A    **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2016.10.023

## Infrared image enhancement algorithm based on CLAHE

LIU Yu-ting, CHEN Zheng, FU Zhan-fang, ZHENG Feng-xun  
(CAMA(Luoyang) Measurement & Controls Co., LTD, Luoyang 471000, China)

**Abstract:** As the data of the original infrared image are easy to lose or weaken in compression transformation process, a kind of infrared image enhancement algorithm based on CLAHE(contrast limited adaptive histogram equalization) is proposed. Firstly, the pixel gray of original infrared image with 14 bit is adjusted, and then the based image is obtained by CLAHE algorithm. Secondly, image details are obtained through the difference of original image and the image after bilateral filtering, and the noise of detail image is filtered by Gaussian filter algorithm. Finally the output image is obtained. Simulation results show that the contrast of the original image and the edge detail information can be greatly enhanced by using this algorithm. Image enhancement effect of the algorithm is better than that of the PE algorithm and CLAHE algorithm.

**Key words:** infrared image; contrast limited adaptive histogram equalization; based image; bilateral filtering; detail image

### 1 引 言

由于成像原理以及探测器件的限制, 与可见光图像相比, 大多数红外图像具有较模糊、噪声大等特点<sup>[1]</sup>。这对后续的处理极为不利, 因此增强红外图像目标, 降低噪声等操作是必不可少的。

传统的图像增强算法如灰度变换<sup>[2]</sup>、直方图均衡<sup>[3]</sup>等, 概念简单, 数学上处理方便, 所以在一些要求

不高的场合已经取得了很好的图像增强效果。但是对于高动态图像中不同位置、具有相同灰度级的像素经常会表现出不同的图像结构, 此外这些算法在增强图像的同时也放大了噪声。近年来, 许多学者提出了一些图像局部增强的新方法, 充分利用了邻域信息, 形成了局部灰度调整算法, 如自适应直方图均衡(AHE)<sup>[4]</sup>、自适应对比度增强(ACE)<sup>[5]</sup>、一种自适应

邻域扩展对比度增强算法<sup>[6]</sup>等,该类增强算法能够根据图像的像素邻域的灰度分布特性,采用相应的直方图均衡方法处理图像,取得了较好的增强效果,但计算量大,而且处理不当会带来噪声干扰。

本文将对中波制冷焦平面热像仪输出的红外图像进行研究,针对图像在压缩转换中信息丢失的现象,采用直接对 14 位原始图像进行增强,通过不断调整 CLAHE 算法中的阈值获得信息度比较全的基图像,通过双边滤波算法获得较好的细节图像,通过高斯滤波滤掉细节图像中的噪声,最后合成得到输出图像。

## 2 算法设计

### 2.1 问题描述

假设红外原始图像  $f(x,y)$  的灰度级范围为  $(0, 16383]$ , 则增强后图像记为  $f'(x,y)$ , 其灰度级范围为  $(0, 255]$ 。

### 2.2 调整图像

假设原始图像  $f(x,y)$  的灰度级为  $(a,b)$ , 则调整后图像  $f_i(x,y)$  的灰度级为  $(0, b-a)$ 。

### 2.3 CLAHE

#### 2.3.1 图像分块

将图像  $f_i(x,y)$  划分成大小相等的  $k \times k$  个子块,  $k$  的取值为 4、8、16 和 32 等。子块的大小为  $m \times n$ ,  $m, n$  为子块的行数和列数。

#### 2.3.2 直方图映射表

用  $h(s)$  表示子模块的直方图,  $s$  代表灰度级, 取值范围是  $[0, L-1]$ ,  $L$  为直方图总的灰度级数。

子区域内设定上限阈值  $Cliplimit$ :

$$Cliplimit = \min cliplimit + (\alpha \times (m \times n - \min cliplimit)) \quad (1)$$

其中,  $\min cliplimit = \frac{m \times n}{L}$ ,  $\alpha$  是截断系数, 取值范围是  $[0, 1]$ 。

用  $f(s)$  表示  $h(s)$  经重分配处理后的子模块直方图。计算子模块直方图映射到 8 位的变换函数  $g(s)$ 。

#### 2.3.3 双线性插值

在第一块子模块中, 对于像素点  $(x,y)$  的原始灰度为  $s$ , 与其临近的四个子块 A、B、C、D 中, 灰度同为  $s$  的变换函数分别为  $gA(s)$ 、 $gB(s)$ 、 $gC(s)$  和  $gD(s)$ ;

对于图像四个边角区域, 如图 1 所示的数字 1 区域, 直接使用顶角 A 点的变换函数代替。因此, 对于该区域某一点  $(x,y)$  的原始灰度为  $s$ , 则经过变换后该点的灰度为:

$$s' = gA(s) \quad (2)$$

对于图像的首行、末行、首列、末列(除了四个边角区域), 如图 1 所示的数字 2 区域, 采用线性插值计算。对于该区域某一点  $(x,y)$  的原始灰度为  $s$ , 则经过变换后首行内该点的灰度为:

$$s' = (1-x) \times gA(s) + x \times gB(s) \quad (3)$$

末行:

$$s' = (1-x) \times gC(s) + x \times gD(s) \quad (4)$$

首列:

$$s' = (1-y) \times gA(s) + y \times gC(s) \quad (5)$$

末列:

$$s' = (1-y) \times gB(s) + y \times gD(s) \quad (6)$$

对于图像的中间区域, 如图 1 所示的数字 3 区域, 采用双线性插值计算。假设该区域某一点  $(x,y)$  的原始灰度为  $s$ , 则经过变换后该点的灰度为:

$$s' = (1-y) \times ((1-x) \times gA(s) + x \times gB(s)) + y \times ((1-x) \times gC(s) + x \times gD(s)) \quad (7)$$

#### 2.3.4 像素重构

像素点灰度值重构后得到一幅新的图像  $f_{ij}(x,y)$ 。

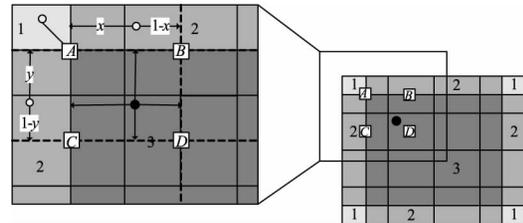


图 1 双线性插值示意图

Fig. 1 Bilinear interpolation schemes

### 2.4 双边滤波算法

双边滤波<sup>[7]</sup> (Bilateral Filtering) 是一种非线性的边缘保持平滑滤波器。令  $f$  为原始图像,  $f(x,y)$  表示图像中点  $(x,y)$  处的像素值,  $g(x,y)$  表示经过双边滤波后的细节图像, 则:

$$g(x,y) = \frac{\sum_{(i,j) \in S_{x,y}} w(i,j) f(i,j)}{\sum_{(i,j) \in S_{x,y}} w(i,j)} \quad (8)$$

上式中,  $S_{x,y}$  表示中心点  $(x,y)$  的  $(2N+1) \times (2N+1)$  大小的邻域。  $N$  为正整数, 本文取  $N=2$ 。对该邻域内的每一个像素点  $f(i,j)$ , 其加权系数  $w(i,j)$  由两部分因子的乘积组成:

$$w(i,j) = w_s(i,j) w_r(i,j) \quad (9)$$

其中,

$$w_s(i,j) = e^{-\frac{|i-x|^2 + |j-y|^2}{2\sigma_s^2}} \quad (10)$$

$$w_r(i,j) = e^{-\frac{|f(i,j) - f(x,y)|^2}{2\sigma_r^2}} \quad (11)$$

2.5 高斯滤波

高斯滤波是一种线性平滑滤波,本文用该滤波进行噪声消除。令  $g(x,y)$  为经过双边滤波后的图像,  $h(x,y)$  表示去噪后的图像,则:

$$h(x,y) = \frac{\sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s,t)g(x+s,y+t)}{\sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s,t)} \quad (12)$$

上式中,分母表示模板的各系数之和,  $a,b$  为模板的大小,本文选择  $3 \times 3$  模板。

2.6 细节图像

用原始图像减去高斯滤波后的图像,获得细节图像  $f_{di}(x,y)$ , 其公式为:

$$f_{di}(x,y) = f(x,y) - h(x,y) \quad (13)$$

2.7 增强后图像

由  $f_{bf}(x,y)$  和  $f_{di}(x,y)$  合成最后的输出图像,其公式为:

$$f'(x,y) = G_{bf} \times f_{bf}(x,y) + G_{di} \times f_{di}(x,y) \quad (14)$$

其中,  $G_{bf}$  和  $G_{di}$  分别为基图像和细节图像的强度调节系数,  $G_{bf}$  的取值为  $0.2 \sim 1.5$ ,  $G_{di}$  的取值为  $2 \sim 10$ 。

3 算法步骤

根据以上的算法设计和描述,确定本文的算法实现流程如图 2 所示。

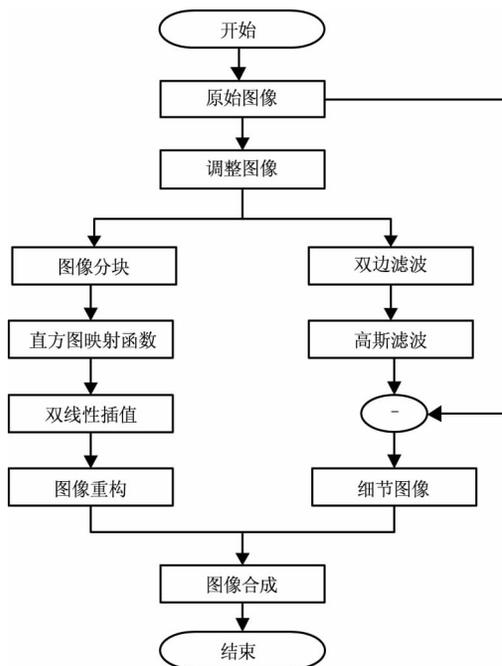


图 2 本文算法流程图  
Fig. 2 Algorithm flow chart

4 仿真分析

采用 MATLAB 编程对算法进行仿真<sup>[8]</sup>, 图中的红外图像采自中波制冷焦平面热像仪,其探测器规

模为  $320 \times 256$ ,可输出 14 bit 数字视频流图像。

为了验证本文算法的增强效果,采用多种算法对不同场景、不同温度范围的图像进行仿真。

4.1 主观视觉效果对比

图 3、4 和 5 分别给出了 3 种不同场景下 PE 算法,CLAHE 算法和本文算法的仿真图,其中图 3 为晴天所采集的红外图像,室外温度  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ , 距离镜头 2000 m 左右,图 4 为高温天所采集的红外图像,室外温度  $39 \text{ }^\circ\text{C}$ , 距离镜头 1000 m 左右,图 5 为下雨天所采集的红外图像,室外温度  $22 \text{ }^\circ\text{C}$ , 距离镜头 500 m 左右。图(a)是原始图像,图(b)是原始图像经 PE 算法的仿真图,图(c)是原始图像经 CLAHE 算法的仿真图,图(d)是原始图像经本文算法的仿真图。

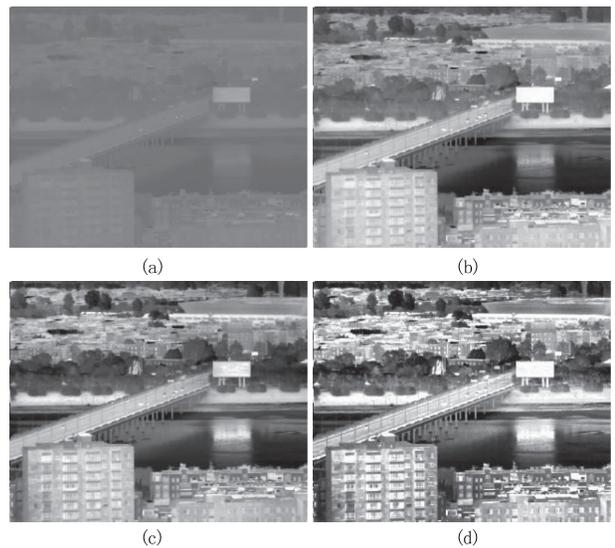


图 3 远距离各种算法仿真对比图

Fig. 3 Different algorithm simulation contrast figure over a long distance

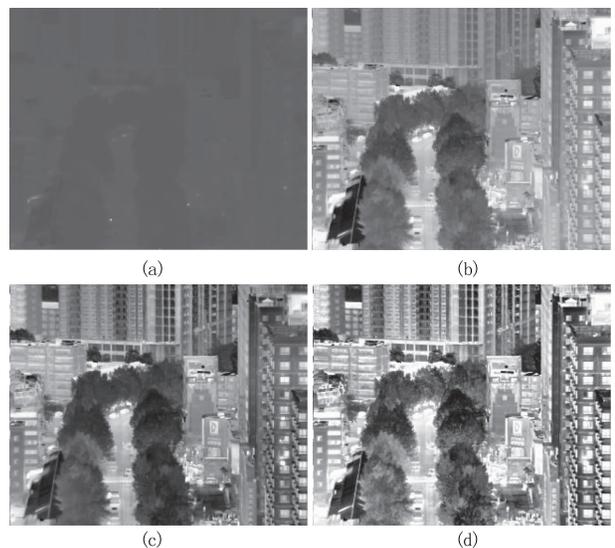


图 4 高温各种算法仿真对比图

Fig. 4 High temperature various algorithm simulation comparison chart

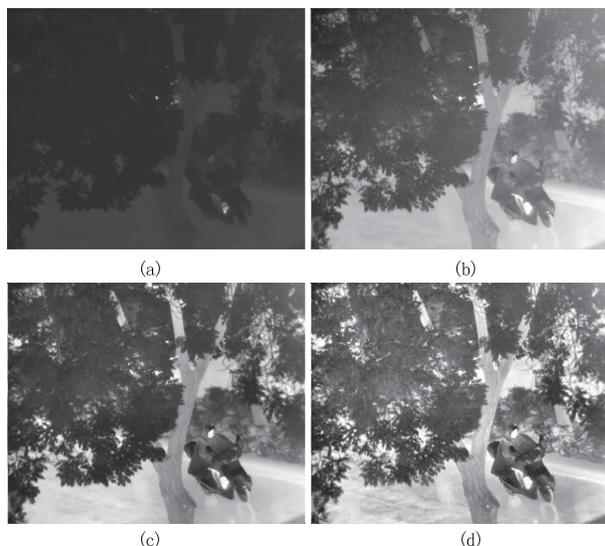


图5 雨天各种算法仿真对比图

Fig.5 Rainy days various algorithm simulation comparison chart

由图3、4和5的(b)图与(c)、(d)图进行比较,可以看出,不论是哪种场景下,CLAHE算法和本文算法在细节、亮度以及对比度上明显优于PE算法,由图3、4和5的(c)图与(d)图进行比较,可以看出,本文算法在细节增强上优于CLAHE算法,尤其从图4、5树叶的变化以及图5树的纹理上可以明显看出。

#### 4.2 图像客观评价

人眼观察是一种有效的图像质量评价标准,但它是一种主观评价,为了更加客观地评价文中各种算法的仿真结果,采用峰值信噪比(Peak Signal to Noise Ratio, PSNR)来计算各种算法的值。其表达式如下:

$$PSNR = 10 \lg \frac{L^2}{M \times N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (y(i,j) - x(i,j))^2$$

式中,  $M$ 、 $N$  分别表示图像的行数和列数;  $L$  是最大灰度值;  $x$ 、 $y$  分别是原始图像和经过处理后图像的灰度值。峰值信噪比表示了两幅图像间的差异,经过压缩处理后的图像峰值信噪比越大,则图像越趋于无劣化,图像失真越少,即与原图更加接近。表1、2和3分别是对4.1节图3、4和5三种场景下计算的结果。

表1 远距离各种算法 PSNR

Tab.1 Distance algorithm of PSNR

序号	算法	PSNR
1	PE	125.9989
2	CLAHE	134.2053
3	本文算法	178.1207

表2 高温各种算法 PSNR

Tab.2 High temperature algorithm of PSNR

序号	算法	PSNR
1	PE	126.0293
2	CLAHE	135.1637
3	本文算法	179.4553

表3 雨天各种算法 PSNR

Tab.3 Rainy days algorithm of PSNR

序号	算法	PSNR
1	PE	125.3788
2	CLAHE	134.9190
3	本文算法	177.8311

由表1、2和3的结果可以看出,采用本文算法仿真结果的PSNR值明显大于PE算法和CLAHE算法的仿真结果值,PSNR越大,抑制效果就越好,图像噪声被抑制的越明显,增强效果越好。

#### 5 总结

本文提出一种基于CLAHE的图像增强算法,该算法直接对原始14位红外图像进行增强,分别采用CLAHE算法和双边滤波算法获得信息度比较全基图像和细节图像,然后将两部分图像合成为新的图像。通过从主观视觉效果和客观质量评价两方面将本文算法和不同的增强算法进行效果对比。试验结果表明本文提出的算法有较好细节表现力和动态范围压缩能力。

#### 参考文献:

[1] GUAN Zhiqiang, CHEN Qian, GAO Yang. A filter for infrared image edge enhancement Based on local balance [J]. Laser & Infrared, 2008, 38(3): 285 - 288. (in Chinese)  
管志强, 陈钱, 高洋. 一种基于局部平衡的红外图像锐化算法[J]. 激光与红外, 2008, 38(3): 285 - 288.

[2] GONG Changlai, LUO Cong, YANG Dongtao, et al. Infrared image enhancement algorithm Based on sine gray-scale transformation [J]. Laser & Infrared, 2013, 43(2): 200 - 203. (in Chinese)  
龚昌来, 罗聪, 杨冬涛, 等. 基于正弦灰度变换的红外图像增强算法 [J]. 激光与红外, 2013, 43(2): 200 - 203.

[3] CHEN Zheng, JI Shupeng. An Infrared image enhancement algorithm based on otsu and platform [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.
- [4] ZHANG Yi, LIU Xu, LI Haifeng. Adaptive image histogram equalization algorithm[J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2007, 41(4): 630 - 633. (in Chinese)  
张懿, 刘旭, 李海峰. 自适应图像直方图均衡化算法[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2007, 41(4): 630 - 633.
- [5] YANG Guang, WU Zhongjian, LUO Zhenbao, etc. Limit the contrast of multilayer POSHE adaptive image enhancement algorithm[J]. Laser & Infrared, 2013, 43(1): 85 - 89. (in Chinese)  
杨光, 吴钟建, 罗镇宝, 等. 限制对比度的多层 POSHE 自适应图像增强算法[J]. 激光与红外, 2013, 43(1): 85 - 89.
- [6] Ching-His Lu, Hong-Yang Hsu, Lei Wang. A new contrast enhancement technique by adaptively increasing the value of histogram[C]. IST 2009 - International Workshop on Imaging Systems and Techniques, 2009: 407 - 411.
- [7] KANG Changqing, XU Gejing, XIANG Dongsheng, et al. The adaptive bilateral filtering algorithm Based on brightness invariant features [J]. Laser & Infrared, 2013, 43(5): 550 - 553. (in Chinese)  
康长青, 徐格静, 项东升, 等. 基于亮度不变特征的自适应双边滤波算法[J]. 激光与红外, 2013, 43(5): 550 - 553.
- [8] Refael C Gonzalez. Digital image processing using MATLAB[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2008: 276 - 284. (in Chinese)  
冈萨雷斯. 数字图像处理(MATLAB 版). 北京: 电子工业出版社, 2008, 276 - 284.