

文章编号: 1672-8785(2020)04-0036-05

基于布谷鸟搜索优化的红外热像仪 对比度增强方法

张旭旭 毛 晨 陈志学 王清泉

(西安应用光学研究所, 陕西 西安 710065)

摘 要: 由于探测器原理性的缺陷, 红外热像仪所获图像的对比度低、细节不明显。对比度受限的自适应直方图均衡化方法(Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization, CLAHE)能够增强红外图像的对比度, 但是其受限参数无法适应不同的场景, 且需要手动调整。作为一种智能种群优化算法, 布谷鸟搜索算法具备强大的寻优能力。基于该算法, 使 CLAHE 方法在不同场景下获取最优参数, 进而实现红外图像对比度的场景自适应增强。实验分析表明, 这种改进的算法具有可行性和适应性。

关键词: 布谷鸟搜索; 对比度增强; 最优参数选取; 红外热像仪

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2020.04.006

A Contrast Enhancement Method of Infrared Thermal Imager Optimized by Cuckoo Search

ZHANG Xu-xu, MAO Chen, CHEN Zhi-xue, WANG Qing-quan

(Xi'an Institute of Applied Optics, Xi'an 710065, China)

Abstract: Due to the defect of the detector's principle, the images taken by the infrared thermal imager have low contrast and unobvious details. Contrast limited adaptive histogram equalization (CLAHE) can enhance the contrast of infrared images. But the parameters need to be adjusted manually since they cannot adapt to different scenes. As an intelligent swarm optimization method, cuckoo search algorithm has a strong ability to search for optimal solutions. In this paper, the cuckoo search algorithm is used to obtain the optimal parameters of CLAHE algorithm in different scenes, and the contrast of infrared images can be adaptive enhanced. The experimental analysis shows that the improved algorithm is feasible and adaptable.

Key words: cuckoo search; contrast enhancement; optimal parameter selection; infrared thermal imager

收稿日期: 2020-04-16

作者简介: 张旭旭(1985-), 男, 甘肃西和人, 工程师, 主要从事红外图像处理研究。

E-mail: sun_now@sina.com

0 引言

由于探测器成像原理的局限性, 红外热像仪容易受到大气环境的干扰, 所获取的红外辐射经大气衰减后造成成像温窗较窄, 导致原始图像的对比度不强、细节不清晰。因此, 红外热像仪获取的原始数据需要经过图像增强算法的处理, 以增强对比度和细节纹理, 从而满足人眼观测的要求。

对比度增强的目的是改变图像明亮目标与暗背景之间的灰度反差, 使得图像层次分明、细节突出。作为一种经典的对比度提升算法, 直方图均衡算法能够人为地改变图像的直方图概率分布, 使其灰度等级均匀分布, 从而提升图像的对比度。但是, 传统的直方图均衡算法在提升红外图像对比度的同时, 存在过饱和的问题, 而且对细节的提升不明显。国内外学者针对这一问题进行了大量研究, 并提出了各种改进算法。其中, 局部直方图均衡方法在提升对比度的同时还能增强细节, 因此成为研究的热点。典型的代表有亮度保持型双直方图均衡^[1]、双子块直方图均衡^[2]、最小平均亮度误差的双直方图均衡^[3]、递归均值分离型直方图均衡^[4]以及多直方图均衡等算法^[5]。作为多直方图均衡的典型代表, CLAHE^[6]由于具有良好的对比度提升效果而被广泛应用。然而 CLAHE 算法的场景适应性不高。在利用该算法对红外热像仪进行对比度调节时, 不同的场景需要匹配不同的参数, 因此在场景多变的情况下降低了使用效率。本文提出了一种将布谷

鸟搜索算法与 CLAHE 算法相结合的红外图像对比度调整算法, 可为不同场景寻优匹配最佳参数, 使得输出图像始终达到人眼视觉特性满意的效果。

1 CLAHE 对比度增强算法

对比度受限的局部直方图均衡算法的核心思想是提高图像的局部对比度和增强细节, 同时解决经典均衡算法放大噪声的问题。为此, 该算法将图像分割成若干子块, 并分别对各个子块进行直方图均衡化处理。对比度受限的目的是解决某些背景子块经过均衡以后过量的问题, 需要对其直方图的幅值进行限制。

具体的算法原理如图 1 所示。按照受限阈值对预先计算的累计分布函数(Cumulative Distribution Function, CDF)进行截取, 并将截取后的灰度分布部分重新分配到其它范围。

此外, 各子块经过均衡以后, 为了避免最终图像呈现块状效应, 需要运用每个像素点周围四个子块的映射函数对该像素点进行双线性插值。CLAHE 算法的实现流程如图 2 所示。

2 改进的增强算法

2.1 布谷鸟搜索算法的原理

布谷鸟搜索算法^[7-8]是由剑桥大学的 Yang X S 提出的一系列智能种群算法中的一种, 即通过模拟种群行为来进行寻优。它主要基于布谷鸟的寄生性育雏行为, 并通过 Levy 飞行搜索来加以增强而不是简单的各项同性随机游走。Levy 飞行是一类非高斯随机过程, 其平稳增量服从稳定分布, 飞行步长满足一个重尾

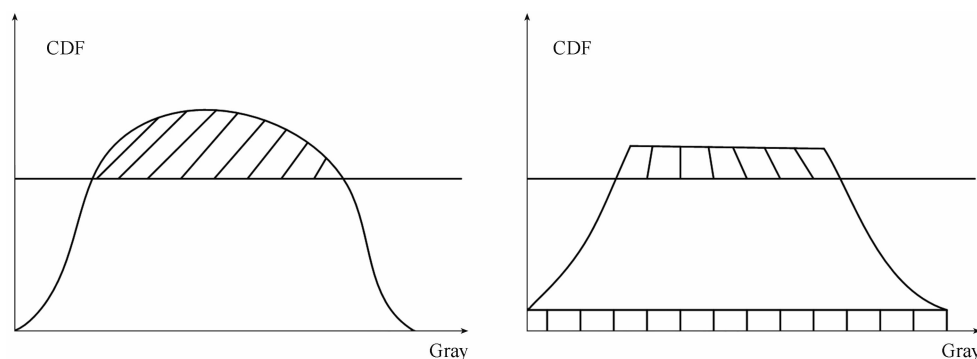


图 1 直方图限幅截取方式

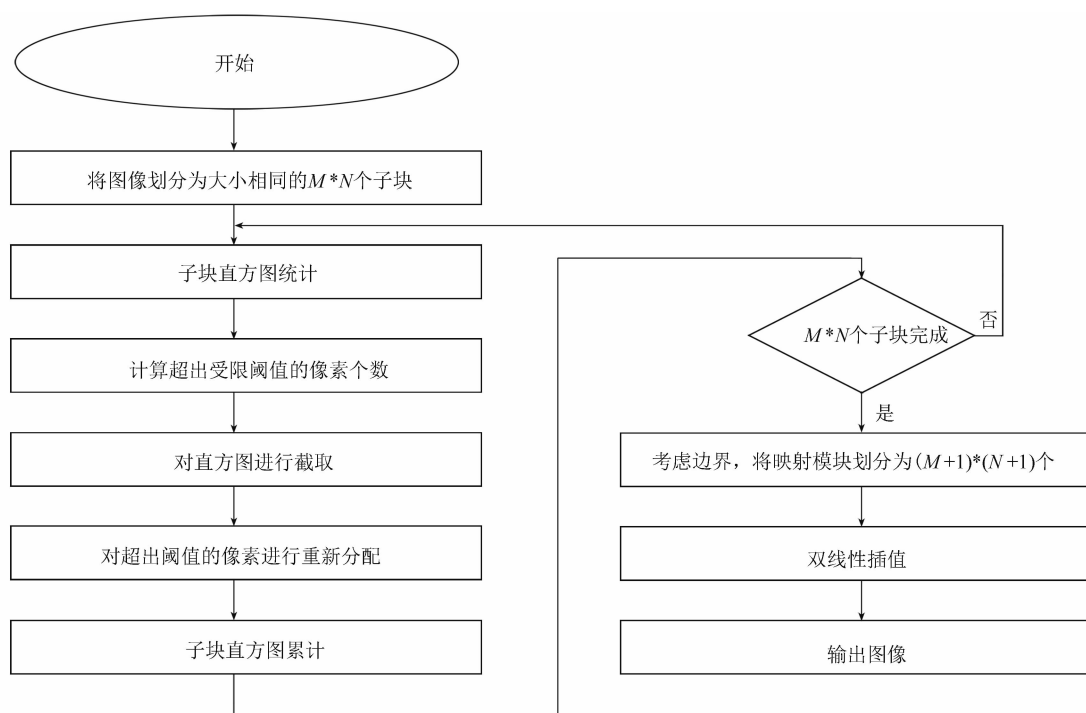


图2 CLAHE算法的流程图

的Levy稳定分布^[9]。因此,布谷鸟搜索可以简化为以下规则:每个巢中的蛋代表一个解,而每只布谷鸟只能产一个蛋,则可使用新的解和可能更好的解来取代不太好的解。该算法的寻优路径公式为

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \alpha \oplus L(s, \lambda), i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

其中Levy飞行服从

$$L(s, \lambda) = \frac{\lambda \Gamma(\lambda) \sin(\pi\lambda/2)}{\pi} \cdot \frac{1}{S^{1+\lambda}}, 1 \leq \lambda \leq 3 \quad (2)$$

式中, \oplus 表示点乘, $\alpha > 0$ 为步长缩放因子, s 为步长, x_i^t 为第*i*只鸟在第*t*代的巢穴位置。基于Levy飞行的布谷鸟搜索的主要步骤如表1所示^[10]。

综上所述,布谷鸟算法具有寻优参数少、操作简单、容易实现、随机搜索路径优和寻优能力强^[11]等优点,因此可以用作最优参数的选取方法。

2.2 增强参数自适应选取

受限参数的取值范围为(0,1),默认值一般为0.01。但是在不同的应用场景下,CLAHE算法的受限参数选取是不同的。若不同的

场景使用同样的调节参数,则会导致图像出现过亮或者没有完全提高对比度或者放大图像噪声等情况。为了使红外图像始终保持很好的对比度,需要对该参数进行优化求解。相关文献表明,与粒子群算法及遗传算法等最优算法相比,布谷鸟搜索算法的寻优能力更强。本文利用布谷鸟算法对受限参数进行寻优。

参数寻优的目标是使图像质量达到最佳,因此将图像质量函数作为求取最优解的目标函数。目前对于图像增强效果的客观评价还没有一个统一标准,常用的评价方法有局部对比度和信息熵两种。其中,局部对比度反映了图像感兴趣区域的黑白反差,信息熵则体现了对图像信息量的度量。二者均可定量地反映增强后的图像改善程度。最优参数的选取需要将最佳的图像质量作为寻优目标,为此本文引入局部对比度作为图像的评价目标函数。

局部对比度是计算一幅图像中感兴趣区域亮度的标准差,其计算公式如下^[12]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^{MN} \left(I_i - \frac{1}{M \times N} \sum_{j=1}^{MN} I_j \right)^2} \quad (3)$$

评价函数值最大,表明对比度的增强效果

表 1 布谷鸟搜索程序的伪代码

布谷鸟搜索
1: 求解目标函数为 $f(x)$, 搜索空间为 d 维 $X=(x_1, \dots, x_d)$
2: 初始化随机产生 n 个鸟窝的种群 x_i
3: while ($t < \text{MaxGeneration}$) or (stop criterion) do
4: 随机取一个布谷鸟
5: 通过 Levy 飞行产生一个解
6: 评估解的质量或目标函数值 f_i
7: 从 n 个巢中随机选择一个(假设为 j)
8: if $f_i < f_j$ then
9: 将 j 用解 i 代替
10: end if
11: 一部分(P_a)糟糕的巢被抛弃
12: 新巢由式(1)产生
13: 保存最佳的解
14: 排列解找出当前最佳
15: 更新 $t \leftarrow t+1$
16: end while

最好, 则增强参数的选取实现了最优。

3 实验与分析

实验采用图像分辨率为 640×512 、像元尺寸为 $15 \mu\text{m}$ 的某型中波红外热像仪, 获得了不同场景的红外图像(见图 3 和图 4)。

利用本文算法分别对图 3(a)所示的山体场景原始图像和图 4(a)所示的楼宇场景原始图像进行处理。图 3(b)所示为基于布谷鸟搜索获取的受限值为 0.05 (最佳受限值)时的处理结果。此时图像的对比度最佳, 局部对比度的计算值 $\sigma=10.2$, 同时整幅图像的细节提升很明显。图 3(c)所示为对比度受限值为 0.15 时的处理结果。可以看出, 图像出现了过度增强, 天空背景已经失真。图 4(b)所示为受限因子为 0.05 时的处理结果, 基本达到人眼视觉效果。图 4(c)所示为受限因子为 0.12 (最佳受限因子)时的处理结果。此时局部对比度的计算值达到最大($\sigma=4.66$), 同时细节部分也有一定的提升。

4 结论

经典 CLAHE 算法在不同场景下提升红外

图像对比度时需要手动调整参数, 导致算法自适应程度不高。而通过用布谷鸟搜索算法获取 CLAHE 的最优参数, 可以保证对比度增强维持在最佳效果, 而且能够实现不同场景下的自适应增强。实验结果表明, 基于布谷鸟算法优化的改进 CLAHE 算法进一步提升了红外图像对比度增强的场景自适应性。本文只对该算法进行了仿真验证, 因此具体工程实现中的算法优化和基于 FPGA 的实时处理, 将是后续工作的重点。

参考文献

- [1] Kim Y T. Contrast enhancement using brightness preserving bi-histogram equalization [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 1997, **43**(1): 1-8.
- [2] Wang Y, Chen Q, Zhang B. Image enhancement based on equal area dualistic sub-image histogram equalization method [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 1999, **45**(1): 68-75.
- [3] Chen S D, Ramli A R. Minimum mean brightness error bi-histogram equalization in contrast en

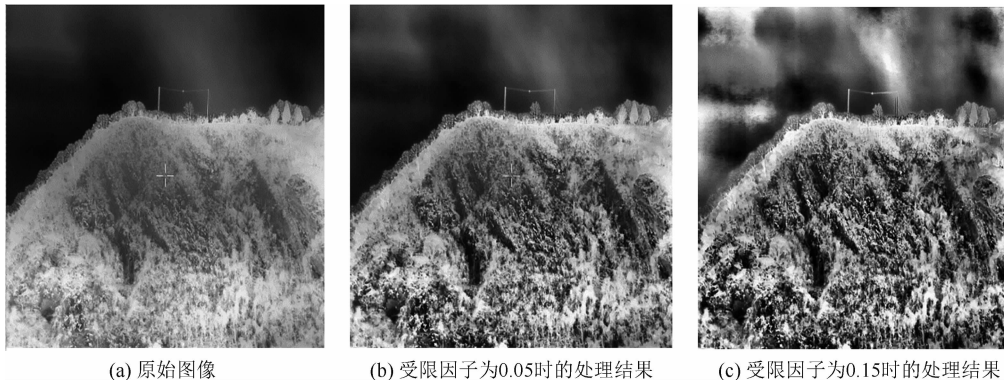


图 3 不同参数下山体红外图像处理的实验结果对比

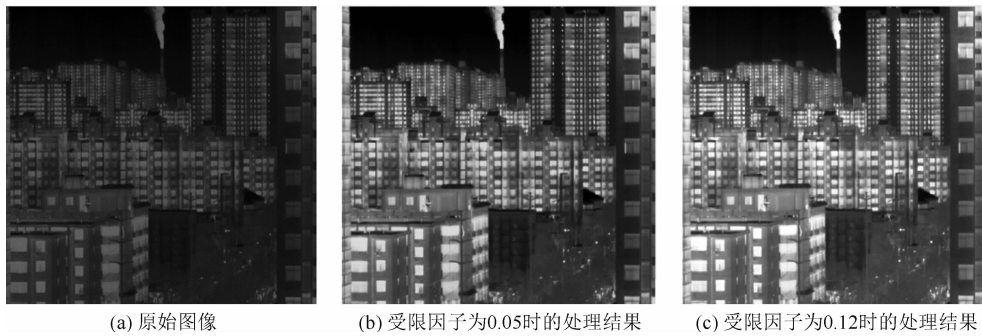


图 4 不同参数下楼宇红外图像处理的实验结果对比

- hancement [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2003, **49**(4): 1310–1319.
- [4] Chen S D, Ramli A R. Contrast enhancement using recursive mean-separate histogram equalization for scalable brightness preservation [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2003, **49**(4): 1301–1309.
- [5] Menotti D, Najman L, Facon J, et al. Multi-Histogram Equalization Methods for Contrast Enhancement and Brightness Preserving [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2007, **53**(3): 1186–1194.
- [6] Heckbert P S. *Graphics Gems IV* [M]//Zuiderveld K. Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization. Cambridge: Academic Press, 1994.
- [7] Yang X S, Deb S. Cuckoo search via Lévy flights [C]. Coimbatore: World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing, 2009.
- [8] Yang X S, Deb S. Engineering optimization by cuckoo search [J]. *Int J Mathematical Modelling and Numerical Optimisation*, 2010, **1**(4): 330–343.
- [9] 叶志伟, 赵伟, 王明威, 等. 一种基于杜鹃搜索算法的图像自适应增强方法 [J]. *测绘科学技术学报*, 2016, **33**(1): 38–42.
- [10] 布谷鸟搜索算法 [EB/OL]. <https://vlight.me/2017/12/17/Cuckoo-Search>, 2020.
- [11] 兰少峰, 刘升. 布谷鸟搜索算法研究综述 [J]. *计算机工程与设计*, 2015, **36**(4): 1063–1067.
- [12] Kumar V, Bansal H. Performance Evaluation of Contrast Enhancement Techniques for Digital Images [J]. *International Journal of Computer Science and Technology*, 2011, **2**(1): 23–27.