



电光与控制
Electronics Optics & Control
ISSN 1671-637X, CN 41-1227/TN

《电光与控制》网络首发论文

题目: 基于多尺度多直方图融合的红外图像增强映射方法
作者: 王豪斌, 汤志慧, 揭斐然, 刘琼, 张生伟
收稿日期: 2023-05-25
网络首发日期: 2023-11-14
引用格式: 王豪斌, 汤志慧, 揭斐然, 刘琼, 张生伟. 基于多尺度多直方图融合的红外图像增强映射方法[J/OL]. 电光与控制.
<https://link.cnki.net/urlid/41.1227.TN.20231114.1512.008>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

基于多尺度多直方图融合的红外图像增强映射方法

王豪斌^{1,2}, 汤志慧³, 揭斐然², 刘琼², 张生伟²

(1.空基信息感知与融合全国重点实验室, 河南 洛阳 471000; 2.中国航空工业集团公司洛阳电光设备研究所, 河南 洛阳 471000; 3.空军装备部驻洛阳地区第二军事代表室, 河南 洛阳 471000)

摘要：如何尽可能地保留原始图像信息的同时，将红外探测器采集到的高动态范围(HDR)数据压缩成细节突出、对比度高、背景噪声小的可观测低动态范围图像一直是红外技术的一个难点。针对这一问题，本文提出了基于多尺度多直方图映射融合的红外图像增强映射算法，该算法首先采用全局线性变换和多尺度窗口的CLAHE对HDR红外图像进行分别映射，再基于局部显著度和动态范围特征自适应计算权重，完成多直方图映射结果融合以解决场景适应性问题，同时在权重计算中利用引导滤波优化融合权重，最后通过灰度域的高斯核函数实现自适应细节增强。实验结果表明，与其它算法相比，本文算法能有效增强图像对比度，丰富图像细节，降低背景噪声，且具有较强的场景适应能力。

关键词：多直方图；CLAHE增强；引导滤波；动态范围；多尺度融合

中图分类号：TP391 **文献标志码：**A

Infrared Image Enhancement Mapping Method Based on Multi-scale Multi-histogram Fusion

WANG Haobin^{1,2}, TANG Zhihui³, JIE Feiran², LIU Qiong², ZHANG Shengwei²

(1. National Key Laboratory of Space-based Information Perception and Fusion, Luoyang 471000, China;
2. Luoyang Institute of Electro-Optical Equipment, AVIC, Luoyang 471000, China; 3. The Second Military Representative Room of Air Force Equipment Department in Luoyang, Luoyang 471000, China)

Abstract: How to keep the original image information as much as possible while compressing the high dynamic range (HDR) data collected by the infrared detector into the observable low dynamic range image with outstanding detail, high contrast and low background noise is always a difficult point of infrared technology. In order to solve this problem, an infrared image enhancement mapping algorithm based on multi-scale multi-histogram mapping fusion is proposed in this paper. Firstly, the global linear transform and multi-scale window CLAHE are used to map the HDR infrared image separately, and then the multi-histogram mapping results are fused to solve the scene adaptability problem based on local saliency and dynamic range feature adaptive weight calculation. At the same time, the fusion weight is optimized by guiding filtering in the weight calculation, and finally the adaptive detail enhancement is realized by the Gaussian kernel function in the gray domain. Experimental results show that, compared with other algorithms, the proposed algorithm can effectively enhance the image contrast, enrich the image details, reduce the background noise, and have strong scene adaptability.

Keywords: Multi-histogram; CLAHE enhancement; Guided filtering; Dynamic range; Multiscale fusion

0 引言

红外成像系统通常获取具有高动态范围的原

始红外图像，以应对温度变化大，温差变化丰富的目标场景并保持对目标细节灵敏精确的热感知能力。为了方便红外图像在显示设备上显示以及后续的图像处理工作，往往需要将14bits或更高精度数据压缩到8bits数据宽度^[1-3]。但是对原始红外图像

收稿日期：2023-05-25 修回日期：2023-07-03
作者简介：王豪斌(1998-)，男，河南周口人，硕士生。
通讯作者：揭斐然(1986-)，男，江西兴国人，本科，研究员。

动态范围压缩会不可避免地造成大量细节信息的丢失并难以通过后续的图像增强技术恢复或突出,导致原始红外图像中许多具有微小对比度的细节特征难以被呈现。红外图像增强映射是红外图像可视化研究领域的重要研究方向,对原始红外图像进行增强映射具有重要意义^[4]。

目前红外成像系统中广泛使用的全局映射算法包括线性映射算法^[5]、非线性映射算法和直方图均衡化(HE)算法^[6]。全局映射算法执行速度快,处理效率高,并且在硬件实现方面具有独特的优势。然而,由于动态范围的全局压缩,算法存在映射图像细节丢失的问题,并且还会导致图像整体对比度、亮度偏低,图像质量变差。为解决全局映射算法存在的问题,局部映射算法应运而生。该类算法将原始图像分成多个子块分别进行压缩映射,文献^[7]在自适应直方图均衡映射算法(AHE)基础上提出了对比度受限的直方图均衡化算法(CLAHE)^[8],该算法对各个子块局部区域直方图进行限幅来避免局部噪声放大,并将裁剪掉的部分均匀地加给有效灰度级,再对各个子块进行直方图均衡,最后使用双线性差值方法解决分块效应问题^[4]。局部映射算法能显著提升图像的局部对比度和细节丰富程度,较好的解决全局类算法的缺点。但相较于全局映射算法,局部映射算法存在全局对比度较差、噪声容易被放大、分块效应、图像过增强以及算法复杂度过大等问题^[4]。如何在保持图像全局一致性的同时避免细节信息丢失,在提升图像对比度的同时避免噪声放大成为红外图像增强映射算法的难点。因此,混合色调映射^[9,10]算法逐渐成为红外图像增强映射算法的主流。Duan等人提出了基于线性映射和直方图均衡化的混合色调映射算法^[11],该算法通过设置权重将线性映射与直方图均衡结合,从而在充分保持全局一致性的同时增强了局部对比度和细节信息。但该算法无法自适应计算融合权重,缺乏场景适应性。Jie Yang等人提出了基于多尺度直方图合成的色调映射算法^[12],该算法使用基于不同尺度的函数来将像素色调映射到不同的值。大尺度函数用

于保持图像亮度一致性,小尺度函数用于保持局部细节和对比度,并提出了一种基于局部方差的有效方法来融合不同尺度的值。但该算法采用逐像素色调映射的方法会大大增加计算量,且只依靠局部方差进行权重计算,仍会出现背景噪声放大的问题。

综上,本文针对全局映射算法存在的细节信息丢失、亮度对比度偏低,局部映射算法存在的图像过增强、噪声容易放大、分块效应以及混合色调映射算法中存在的场景适应性差等问题,提出了基于多尺度多直方图融合的红外图像增强映射算法。

1 算法流程

本文在原有红外图像增强映射算法基础上,针对整体局部对比度矛盾提出多尺度多直方图映射算法;针对背景噪声放大和场景适应性问题提出基于引导滤波显著性判断的融合算法;针对细节信息丢失问题提出基于灰度域高斯核函数的细节层自适应增强算法。最终算法流程如图1所示:首先将原有红外16bit图像数据进行基于双边滤波的细节层提取;然后采用全局线性变换和多尺度窗口的CLAHE对HDR红外图像进行分别映射;再基于局部显著度和动态范围特征自适应计算权重,完成多尺度多直方图映射结果融合;最后通过灰度域的高斯核函数实现自适应细节增强。

2 算法原理

2.1 细节层提取

基于分层思想的红外图像色调映射算法能取得较好的细节增强结果^[13-14],其主要思想是通过边缘保留滤波器将高动态范围图像分离为基础层和细节层,在映射过程中压缩基础层,保留细节层。受此启发本文采用双边滤波进行细节层提取,双边滤波器是在传统高斯低通滤波器的基础上改进的一种保边平滑滤波器,在高斯低通滤波的基础上进一步加入了像素灰度域的相关性,在平滑图像的同时还不会模糊强边缘信息^[15]。基础层由以下公式获得:

$$I_B = I * B_F(\Omega_{\sigma_s, \sigma_r}) \quad (1)$$

$$I_D = I - I_B \quad (2)$$

其中 I 是原始图像, $B_F(\Omega_{\sigma_s, \sigma_r})$ 是双边滤波器,

σ_s 为度量空间相似性的高斯标准差, σ_r 为度量灰度相似性的高斯标准差。 Ω 为滑动窗口, 大小为

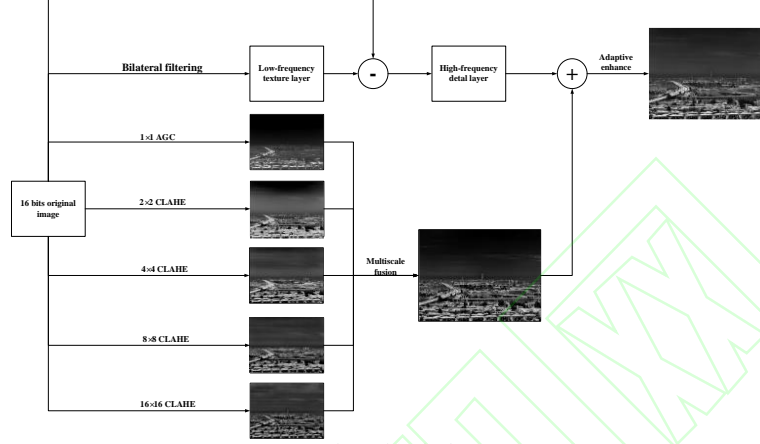


图 1 本文算法流程图
Fig.1 Algorithm Flow Chart

2.2 多尺度映射

在映射过程中, 通过不同尺度分块映射可以得到不同的成像效果。如果一个像素位于纹理区域中, 则适合使用小尺度窗口进行色调映射, 因为它显示了更多的细节和对比度。如果一个像素在一个均匀区域, 则更适合使用大尺度窗口进行色调映射, 因为它可以保持亮度一致性且不会放大噪声^[12]。因此, 本文在全局尺度下使用线性映射算法, 并在 2×2 、 4×4 、 8×8 、 16×16 窗口尺度下分别采用对应窗口尺度的 CLAHE 算法映射, 获得多尺度多直方图映射结果。

2.2.1 全局线性映射

本文算法对传统线性映射算法进行改进, 通过引进对比度、亮度参数^[16], 实现图像对比度和亮暗的调节功能, 使其更适用于均匀场景或低动态范围场景, 更好的压制背景噪声。核心映射公式如下:

$$I(i, j) = (\alpha \cdot O(i, j) / \rho + \beta) \quad (3)$$

其中, $O(i, j)$ 是原始图像, $I(i, j)$ 是线性映射后的图像, (i, j) 是像素坐标。 α 为对比度增益系数, 该参数与图像整体对比度有关, 越大对比度越高, 反之越小。过大时可能导致亮区域饱和。 β 为亮度偏置系数, 该参数与图像整体亮度有关, 越

$N \times N$ 。将经双边滤波后的图像 I_B 定义为基底层, 原始图像减去基底层得到细节层图像 I_D 。

大, 亮度越高, 反之越暗。其中, ρ 为固定值参数默认取值 8192, 针对不同位宽进行调整。

2.2.2 多尺度 CLAHE

本文在传统 CLAHE 基础上进行改进, 通过对各子块动态范围进行限制, 避免出现过度拉伸的现象。并引进对比度增益和亮度偏置系数, 使算法能调节图像的对比度和亮度^[16]。改进效果如图 2 所示, 核心映射公式如下:

$$r = \epsilon \cdot \min(R / 128, 1) \quad (4)$$

$$a = (\epsilon - r) / 2 \quad (5)$$

$$g(s) = a + \frac{2\alpha r \cdot P(s)}{128 \cdot P(H)} + (\beta - 64) \cdot \frac{r}{128} \quad (6)$$

其中, $g(s)$ 为灰度变换函数, $P(s)$ 为积分直方图, s 为灰度级, r 为映射范围, a 为映射起点, α 为对比度增益系数, β 为亮度偏置系数, ϵ 为固定值参数默认取值 230。

对原始图像分别进行 2×2 、 4×4 等多窗口尺度的 CLAHE, 以获得不同尺度窗口下的细节信息。

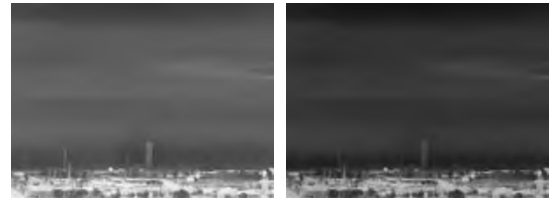


图 2 CLAHE 算法改进前后对比图像
Fig.2 CLAHE Algorithm Histogram Transformation Process

2.3 多尺度融合

获得多尺度多直方图映射结果后, 通常情况下, 各个尺度映射结果都包含其特有的图像特征, 很难在单一尺度下获取全部图像特征^[17], 需要通过构建权重矩阵将不同尺度的图像特征提取并融合, 最大限度地保留原始图像结构信息。因此如何构建融合函数, 成为多尺度融合算法的重点。本文提出了一种结合像素显著性和细节纹理信息的图像融合权重构建方法, 并利用动态范围评估的方式减少均匀区域噪声的引入, 最后采用引导滤波来平滑权重信息, 优化融合效果。

由 2.2 节可知原始高动态范围图像分别从多个尺度(本文以全局尺度、 2×2 、 4×4 、 8×8 及 16×16 的窗口尺度为例)被压缩映射为 8 位图像。全局尺度的图像虽然整体对比度低、细节信息模糊, 但保证了图像整体亮度的一致性, 且均匀区域噪声明显抑制。其余小尺度图像虽然对比度高、细节信息突出, 但会有轻微的分块效应, 且均匀区域噪声明显放大。本文选取拉普拉斯对比度权重、显著性权重和空间信息量权重进行图像融合, 使较大尺度的窗口用于均匀区域的色调映射, 而较小尺度的窗口将用于细节和纹理区域的色调映射, 从而获得对比度高、细节纹理突出、噪声抑制明显的融合图像。多尺度融合算法如下:

首先, 对各个尺度图像应用拉普拉斯滤波从而增强图像的全局对比度, 突出显示图像的边缘纹理信息以获得高通图像 H_n 。

$$H_n = I_n * L \quad (7)$$

其中 L 是拉普拉斯滤波器。拉普拉斯对比度权重可以保证图像的边缘和纹理具有较高的值。然后, 使用 H_n 的绝对值的局部平均值来构造显著性映射 S_n 。

$$S_n = |H_n| * g_{r_g, \sigma_g} \quad (8)$$

其中 g 是尺寸为 $(2r_g + 1) \times (2r_g + 1)$ 的高斯低通滤波器, r_g 和 σ_g 为经验参数。显著性映射 S_n 提供了不同尺度图像细节信息的显著性水平。

如果仅考虑显著性则可能将小尺度映射图像中被放大的噪声和分块的边界当成显著性信息, 从而增加噪声和块效应的融合权重。因此本文引入基于动态范围评估的空间信息量权重, 使均匀区域偏重全局尺度映射图像。

当 $n=1$ 时:

$$P_n^k = \begin{cases} 1 & \text{if } S_n^k = \max(S_N^k) \parallel R^k < \varphi \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

当 $n \neq 1$ 时:

$$P_n^k = \begin{cases} 1 & \text{if } S_n^k = \max(S_N^k) \& \& R^k \geq \varphi \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

其中 N 是多尺度映射后图像的数目, S_n^k 是第 n 个图像中像素 k 的显著性值。如图 3 所示, 图中为每个尺度映射图像及其对应权重 P_n^k 图, 如图所示每个尺度下图像对应的权重图 P_n^k 中均有偏重信息。 R^k 是原图像中以像素 k 为中心的小窗口的动态范围。然而, 上面获得的权重信息通常是有噪声的并且在边界区域存在数值波动, 这可能会对融合的图像产生一定影响。

基于此, 本文提出了一种基于引导滤波^[18]的权重优化方法, 消除噪声和边界伪影, 完成多尺度多直方图图像融合。引导滤波的机理如下:

$$O_i = a_k I_i + b_k \quad \forall i \in \omega_k \quad (11)$$

$$a_k = \frac{\frac{1}{|\omega|} \sum_{i \in \omega_k} I_i P_i - \mu_k \bar{P}_k}{\delta_k + \epsilon} \quad (12)$$

$$b_k = \bar{P}_k - a_k \mu_k \quad (13)$$

其中, μ_k 和 δ_k 分别是引导图像在 ω_k 中的平均值和方差; $|\omega|$ 是 ω_k 中的像素数; \bar{P}_k 是输入图像在 ω_k 中的平均值。接下来, 可以根据(11)计算输出图像。

本文以对应的源图像 I_n 作为引导图像, 对每个权重图 P_n 执行引导图像滤波。用 $G_{r, \epsilon}(P, I)$ 表示引导滤波操作, 其中 r 和 ϵ 分别是决定引导滤波的滤波大小和模糊程度的参数。此外, P 和 I 分别指输入图像和引导图像。

$$W_n = G_{r, \epsilon}(P_n, I_n) \quad (14)$$

其中 r 和 ϵ 是引导滤波器的参数, W_n 是多尺度

映射图像的最终权重图。最后， n 个权重的值被规范化，使得它们在每个像素 k 处求和为 1。

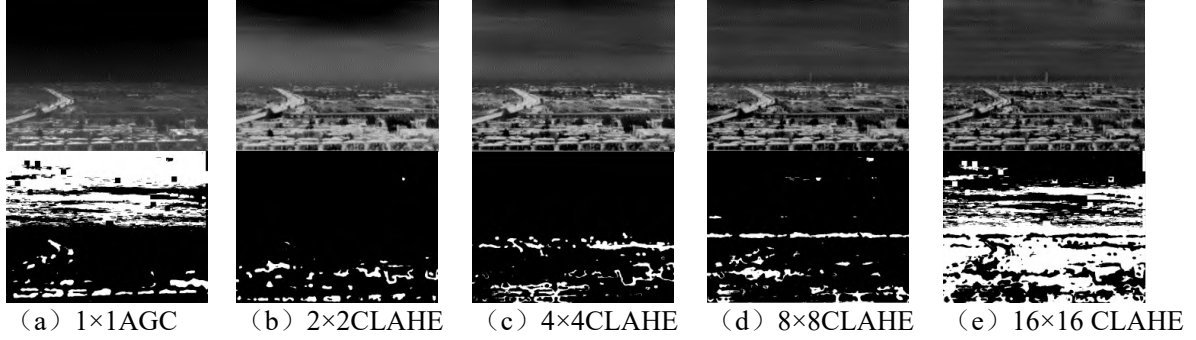


图 3 各尺度映射后的图像及其权重图

Fig.3 Image and Weight Map After Mapping

提出引导滤波权重优化方法的机理如下。根据式(11)、(12)和(13)，可以看出，当像素处于引导图像的平坦区域中，则 a_k 将变得接近 0，并且滤波输出 O 将等于 \bar{P}_k ，即相邻输入像素的平均值。相反，当像素处于边缘纹理区域，那么 a_k 作为非零值将满足 $\nabla O \approx \bar{a} \nabla I$ ，这意味着只有边缘两侧的权重才会被平均。在这两种情况下，具有相似灰度级的那些像素倾向于具有相似的权重。

最后通过加权平均将不同尺度的图像融合在一起：

$$F = \sum_{n=1}^N W_n I_n \quad (15)$$

其中， W_n 是第 n 个尺度的权重矩阵， I_n 是第 n 个尺度映射后的图像。

2.4 细节层自适应增强

多尺度融合后的图像模糊、细节纹理不清晰，需要加上细节层进行增强。传统细节层增强是通过压缩后的图像加固定倍数细节层实现的，该方法存在均匀区域过增强导致噪声放大，纹理区域欠增强导致边缘模糊等问题。因此，我们利用双边滤波其

中一个权值函数灰度域高斯核实现细节层自适应增强。具体算法过程如下：

计算灰度域高斯核函数，灰度域高斯核函数的表达式如下：

$$w_r(i, j) = e^{-\left(\frac{(f(i, j) - f(m_0, n_0))^2}{2\sigma_r^2}\right)} \quad (16)$$

其中， f 表示多尺度融合后的图像， (m_0, n_0) 表示窗口中心像素点的坐标， (i, j) 为滑动窗口中心像素点邻域像素点坐标， σ_r 为度量灰度相似性的高斯标准差。

自适应权重计算表达式如下：

$$W(i, j) = 2 \times (1 - w_r(i, j)) \quad (17)$$

则细节层增强后的图像为：

$$I_{mrc} = F + W(i, j) * I_D \quad (18)$$

其中， $W(i, j)$ 是细节层权重矩阵， F 是基础层融合后的图像， I_D 是细节层， I_{mrc} 是本文算法输出的最终图像。如图 4 所示，为多尺度融合细节增强前后的对比图像。

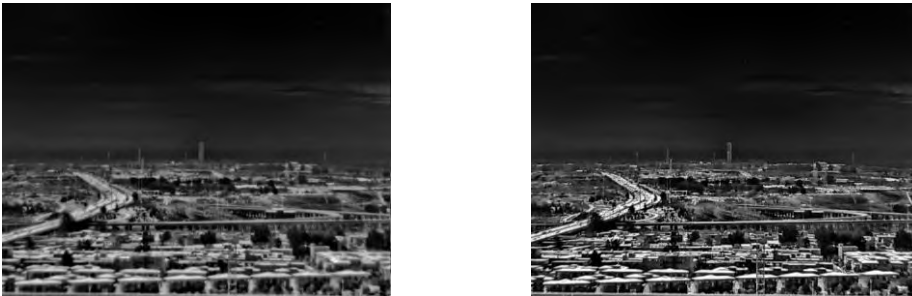


图 4 多尺度融合细节增强前后对比图像

Fig.4 Contrast Image Before and After Detail Enhancement In Multi-Scale Fusion

3 实验结果分析

为了验证本文算法可行性,将本文算法和全局线性映射、8×8CLAHE、文献[11]混合映射和文献[12]基于多尺度直方图合成的算法进行对比,同时从主观和客观方面进行对比分析。

3.1 主观评价

本文对 5 种不同环境下的图像进行对比仿真实验,处理结果如图 5 所示。从图 5 中可以看出,全局线性映射可以保证图像整体亮度的一致性,均匀区域噪声较小,但存在对比度低,细节丢失的问题;

8×8CLAHE 虽然可以提高图像局部对比度,突出边缘细节,但是仅采用局部处理会导致整体局部矛盾,并且还会放大噪声;混合映射可以在一定程度上综合整体和局部映射两者的优势,但两者的劣势也不可避免;多尺度直方图合成基本解决了分块效应的问题,图像的对比度和细节也得到了提升,但仍存在噪声放大和边缘模糊问题;本文算法大幅提高了图像对比度,整体局部矛盾得到解决,突出了图像边缘细节,成像视觉效果更好。



图 5 五种不同红外图像增强映射结果

Fig.5 5 Different Infrared Image Enhancement Mapping Results

3.2 客观评价

本文采用 4 种性能指标来评估红外图像质量。峰值信噪比 (Peak signal-to-noise ratio, PSNR)、平均梯度 (Average gradient, AG)、标准差 (Standard Deviation, SD)、信息熵 (Information Entropy, IE)。峰值信噪比 (PSNR), 意思就是到达噪音比率的顶点信号, 是一种评价图像的客观标准。PSNR 主要

计算最大值信号与背景噪声之间的比值, PSNR 值越大, 图像质量越高, 其计算公式如下:

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (X(i, j) - Y(i, j))^2 \quad (19)$$

$$PSNR = 10 \lg \left(\frac{(2^n - 1)^2}{MSE} \right) \quad (20)$$

其中, M 、 N 表示图像的宽, 高; MSE 表示图像的均方误差; n 表示图像像素的比特数。

平均梯度 (AG) 用来衡量图像的边界或影线两侧附近灰度差异即灰度变化率的指标, 这种变化率的大小可用来表示图像清晰度和纹理变化, 平均梯度越大说明图像越清晰。其计算公式如下:

$$G = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sqrt{\frac{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}{2}} \quad (21)$$

其中, $M \times N$ 表示图像的大小; $\frac{\partial f}{\partial x}$ 表示水平方

向的梯度, $\frac{\partial f}{\partial y}$ 表示垂直方向的梯度。

标准差 (SD) 表示一组像素值和其平均值的差异大小, 可以用来衡量均匀区域的噪声情况, 均匀

区域标准差越小, 噪声影响越小。其计算公式如下:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (P(i, j) - \mu)^2} \quad (22)$$

其中, $M \times N$ 表示图像的大小; $P(i, j)$ 表示第 i 行、第 j 列的像素值, μ 表示均值。

图像信息熵 (IE), 熵是衡量图像中所包含的信息量的大小的指标, 熵越大说明包含的信息越多, 意味着可以从处理后的图像中获取更多的信息。其计算公式如下:

$$H = - \sum_{i=0}^{255} P_i \log_2 P_i \quad (23)$$

其中, H 是图像信息熵, P_i 为灰度值 i 所占的比例。

上述指标的客观评价数据如表 1 ~ 表 4。

表 1 不同算法 PSNR 性能比较

Table.1 Comparison of PSNR performance of different algorithms

PSNR	(a)全局线性映射	(b) CLAHE	(c)混合映射	(d)多尺度	(e)本文算法
Picture1	-	16.2671	15.5054	18.3177	18.3492
Picture2	-	17.7424	21.6815	21.2809	24.3979
Picture3	-	18.4593	17.2628	21.7889	23.9517
Picture4	-	9.9182	10.499	9.7463	10.3801
Picture5	-	18.1967	26.2706	21.1662	21.6899

表 2 不同算法平均梯度性能比较

Table 2 Comparison Of Average Gradient Performance Of Different Algorithms

AG	(a)全局线性映射	(b) CLAHE	(c)混合映射	(d)多尺度	(e)本文算法
Picture1	0.2772	0.8572	0.2542	0.7865	1.9779
Picture2	0.3757	0.4679	0.2366	0.4688	1.0348
Picture3	0.4642	0.6565	0.3910	0.5822	0.5943
Picture4	0.2194	0.6891	0.5182	0.2949	0.6822
Picture5	0.1420	0.1907	0.1037	0.1570	0.3317

表 3 不同算法均匀区域标准差性能比较

Table 3 Comparison Of Standard Deviation Performance In Uniform Region Of Different Algorithms

SD	(a)全局线性映射	(b) CLAHE	(c)混合映射	(d)多尺度	(e)本文算法
Picture1	0	6.2974	3.7918	3.0979	3.1847
Picture4	0	9.0806	4.4388	2.0872	1.1090

表 4 不同算法图像信息熵性能比较

Table 4 Comparison Of Information Entropy Performance Of Different Algorithms

IE	(a)全局线性映射	(b) CLAHE	(c)混合映射	(d)多尺度	(e)本文算法
Picture1	6.0937	6.7304	6.3630	6.8086	6.8252
Picture2	7.0321	7.0405	6.6420	7.1387	7.2005
Picture3	6.3594	6.5995	6.7049	6.5975	6.7030
Picture4	4.6619	7.0430	6.4029	6.6106	6.6503
Picture5	6.6975	6.4518	6.3771	6.5807	7.0197

表 1 是不同算法 PSNR 性能比较表, 从表 1 可以看出本文算法的 PSNR 值基本上是对比算法中最混合映射算法细节更加丰富, 对比度亮度更

高的, 除了 Picture5 混合映射的 PSNR 值高于本文算法, 但结合图像进行主观判断, 本文算法相较于好。表 2 是不同算法平均梯度性能比较表, 从表 2

可以看出本文算法的平均梯度是所有对比算法中最高的,说明本文算法纹理细节更加清晰。表3是不同算法均匀区域标准差性能比较表,由于只有图1和图4存在天空均匀区域,因此只对这两个场景进行计算,从表3可以看出本文算法在图像均匀区域标准差最低,说明本文算法噪声抑制效果更好。表4是不同算法图像信息熵性能比较表,从表4可以看出本文算法图像信息熵最高,说明本文算法在多尺度映射融合后保留了原始图像更多的信息。

主观上,图5中不同图像增强后的效果来看,本文算法可以有效解决目前红外图增强映射算法中所存在的问题,呈现出良好的视觉效果;客观上,从以上表格可以看出本文算法各项指标的数值几乎都是最优的。因此,本文算法可以有效增强红外图像

4 结束语

本文针对目前主流的红外图像增强映射算法中存在的整体局部矛盾、细节丢失、场景适应性、噪声放大等问题,提出一种基于多尺度多直方图融合的红外图像增强映射方法。提出一种基于CLAHE的多尺度映射算法,能从不同尺度提取图像特征信息,大尺度函数用于保持图像整体的一致性,小尺度函数用于增强图像对比度,丰富图像细节纹理信息,解决整体局部矛盾问题;提出一种结合像素显著性和空间动态范围的图像融合权重构建方法,并利用引导滤波进行优化,从而融合各尺度图像的优势,提高场景适应性;提出一种基于灰度域高斯核函数的细节增强算法,实现图像自适应增强,进一步增强图像细节,提高图像对比度。对比实验结果显示,本文算法无论是主观评价还是客观评价方面都优于其他典型红外图像增强映射算法。

参考文献

[1] 任其干,谭钦红,万志卫.红外热成像系统的采集与驱

- 动电路设计[J].红外, 2011, 32(2): 13-17.
- [2] 祝红彬,李伟,刘子骥,等.一种低噪声红外焦平面器件采集电路的设计[J].红外技术, 2010,32(3):165-168, 172.
- [3] 谈卫星.全彩色LED显示屏系统的设计与实现[D].杭州:杭州电子科技大学, 2010.
- [4] 欧阳慧明,李泽民,周永康,等.红外图像动态范围压缩算法综述[J].红外技术, 2021,43(3):208-217.
- [5] 金伟其,刘斌,范永杰,等.红外图像细节增强技术研究进展[J].红外与激光工程, 2011, 40(12): 2521-2527.
- [6] Gonzalez, Rafael C, Woods, Richard E. *Digital Image Processing*[M].Beijing: Publishing house of electronics industry, 2010.
- [7] Pizer S M, Amburn E P, Austin J D, et al. Adaptive histogram equalization and its variations[J]. *Computer Vis. Graph. Image Process*, 1987, 39(3): 355-368.
- [8] Zuiderveld K. *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization*[M].San Diego: Academic Press Professional, Inc. 1994.
- [9] A. Hore and O. Yadid-Pecht, "A statistical derivation of an automatic tone mapping algorithm for wide dynamic range display," in 2014 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), pp. 2475-2479, IEEE, 2014.
- [10] A. Hore and O. Yadid-Pecht, "A new filter for reducing halo artifacts in tone mapped images," in *Pattern Recognition (ICPR), 2014 22nd International Conference on*, pp. 889-894, IEEE, 2014.
- [11] J. Duan, M. Bressan, C. Dance, and G. Qiu, "Tone-mapping high dynamic range images by novel histogram adjustment," *Pattern Recognition*, vol. 43, no. 5, pp. 1847-1862, 2010.
- [12] J. Yang, A. Hore, U. Shahnovich, and O. Yadid-Pecht, "Multi-scale histogram tone mapping algorithm for display of wide dynamic range images," in *Computational Advances in Multi-Sensor Adaptive Processing (CAMSAP), 2017 IEEE 7th International Workshop on*, pp. 1-5, IEEE, 2017.
- [13] Durand F, Dorsey J. Fast bilateral filtering for the display of highdynamic-range images[C]//Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. ACM, 2002: 257-266.
- [14] ZUO C, CHEN Q, REN J. Display and detail enhancement for high-dynamic-range infrared images[J]. *Optical Engineering*, 2011, 50(12): 895-900.
- [15] 杨静,李争.一种基于双边滤波的红外图像细节增强方法[J].激光与红外, 2016, 46(4): 507-511.
- [16] 林道庆,田鹏,崔昌浩,等.全图与局部相结合的图像线性动态范围压缩方法及系统[P].[2019-05-31], CN109829860A.
- [17] MA Jinxiang, FAN Xinnan, ZHU Jianjun, et al. Multi-scale retinex with color restoration image enhancement based on Gaussian filtering and guided filtering[J]. *International Journal of Modern Physics B*, 2017,31:16-19
- [18] K. He, J. Sun, and X. Tang, "Guided image filtering," in *Proc. Eur. Conf. Comput. Vis.*, Heraklion, Greece, Sep. 2010, pp. 1-14.