

二代小波直方图累积概率的红外图像细节增强方法

薛 俊^{1,2}
XUE Jun

摘 要

为有效解决因采集环境因素导致宽动态范围的红外图像容易出现纹理细节信息不突出、边缘模糊和对比度较差的问题,文章提出了一种基于二代小波累积概率红外图像细节增强方法。首先,利用累积概率分别统计经二代小波单层分解的3个高频子直方图;其次,设置背景噪声与目标的累积概率分布比值区分背景噪声与目标,并计算3个高频子图小波系数噪声阈值;最后,对3个高频子图分别进行直方图均衡处理并重构。实验结果表明,所提算法在红外图像数字细节增强处理的图像细节突出、噪声抑制效果较好。

关键词

信息熵;红外图像;二代小波;峰值信噪比

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2026.06.011

0 引言

红外热成像技术是一种辐射信息探测技术^[1],已广泛应用于军事侦察、无损探伤、医学诊断、指纹识别、航空航天等技术领域。红外传感自身因素导致拍摄的红外图像信噪比低,再加上大气热辐射、目标距离远等影响,普遍存在红外图像存在背景与目标边缘模糊、对比度较差缺点^[2]。因此有必要对红外图像进行细节增强处理,通过增强红外图像中背景与目标对比度、强化目标纹理、边缘等的对比度以提高对细小目标探测、识别的能力,突出图像中的有用信息,增强对图像内容和关键细节信息理解的准确性,可为人眼判断或后续自动识别和跟踪提供基础。红外图像增强算法主要有以下几类:

第一类是在空域作直方图统计均衡处理的算法,如苏志远等^[3]提出的通过最优窗口设置高阈值 T_H 、低阈值 T_L ,对 $[T_H, T_L]$ 灰度值作均衡处理,再在整个灰度区间作等间距均衡的方法;宋岩峰等^[4-5]通过对红外图像灰度作直方图统计,设置上限与下限统计值,对灰度统计值在此范围内灰度做均衡,再把均衡化后的灰度做等间距的处理方法。

第二类为基于变换的方法,如徐涛等^[6]提出的基于小波变换的彩色图像自适应细节增强算法;张博龙等^[7-8]提出引导滤波变换的红外图像非线性增强算法。

第三类为空域与频域组合,通过滤波器提取图像细节部分并增强,如杨家红等^[9]通过双域滤波器提取图像细节,

采用改进的最值归一化方法增强红外图像细节方法;刘斌等^[10-11]提出的基于空域和频域处理的红外图像细节增强算法。

以上算法在增强红外图像细节的同时,并未对噪声加以抑制,造成噪声被放大,虽然红外图像对比度提高,但信噪比却下降。针对此问题,利用累积概率分布函数统计红外图像的经第二代整数小波分解的细节部分直方图,通过设置累积概率比值区分背景噪声与目标,抑制噪声,突出图像中模糊的边界细节,实现噪声抑制下的红外图像数字细节增强。

1 红外图像噪声累积概率分布去噪

由于红外热像仪采集到的图像往往夹杂着大量的噪声,在进行红外图像增强处理中如何在去噪的同时尽可能地保持并增强边缘位置和图像细节,是红外图像数字细节增强处理的一对矛盾。

红外图像噪声处理的方法主要有:小波硬阈值、软阈值、 3σ 规则等方法,上述方法都是基于固定阈值处理细节部分小波系数,而未根据正负小波系数分布情况确定阈值进行处理,为解决此问题,提出对细节部分正负小波系数分别统计累积概率分布,分别确定阈值,用公式表示为:

$$\frac{CDF(i)}{CDF(\max)} = p \quad i \in [1, \max] \quad (1)$$

式中: CDF 为累积概率分布函数, $\max$ 为各细节部分正(负)小波系数最大值, i 为细节部分小波系数, p 为累积概率比值。

根据红外图像低对比度、低信噪比的特点,对于红外图像内所含噪声,可近似认为是符合高斯分布的,可以利用上

1. 扬中市教师发展和管理中心 江苏镇江 212200

2. 江苏省扬中高级中学 江苏镇江 212200

述方法对红外图像进行阈值去噪处理。大量红外图像去噪实验表明,去除噪声并保留图像细节的 p 取值为0.8~0.9之间。各细节部分正(负)小波经过 n 次循环计算,可求得 c_H 、 c_V 、 c_D 各细节正(负)小波阈值 T (如 ch 部分正阈值为 T_{CH1} 、负阈值为 T_{CH2}),当某位置小波变换值大于阈值时,保留原值,否则置零。

2 红外图像数字细节增强算法

2.1 算法描述

传统的基于卷积离散小波变换计算量大,计算复杂度高,对存储空间要求高,不利于硬件实现,而小波提升算法具有结构简单、运算量低、节省存储空间的优点,以及可逆的整数到整数变换,便于硬件实现^[12]。故算法采用第二代小波整数提升算法(即二代小波整数变换),对红外图像进行单层分解,具体算法描述如下:

(1) 利用db1二代小波整数提升算法对红外图像进行单层离散二维小波分解,得到低频子带的分解系数 c_A ,和分别对应于水平、垂直和对角三高频子带的分解系数 c_H 、 c_V 、 c_D ;

(2) 分别求解 c_H 、 c_V 、 c_D 的正向系数(大于0的系数)与负向系数(小于0的系数)的累积概率分布函数 CDF_{H+} 、 CDF_{V+} 、 CDF_{D+} 、 CDF_{H-} 、 CDF_{V-} 、 CDF_{D-} ,求解公式为:

$$cdf(i) = \sum_{i=\min}^{\max} n_i / n_{\text{总}} \quad i \in [\min, \max] \quad (2)$$

式中: $\min$ 、 $\max$ 为对应高频子带分解正向系数(或负向系数)的最小值与最大值, $n_{\text{总}}$ 为对应高频子带分解正向系数(或负向系数)的总数值, n_i 为对应高频子带分解正向系数(或负向系数) i 的个数值。

(3) 由公式 $p=CDF(i)/CDF(\max)$,设置 p 值,求解出三个高频子带分解正向系数(或负向系数)的对应阈值 T ;

(4) 依据3个高频子带分解正向系数(或负向系数)的对应阈值 T ,在3个高频子带分解系数 c_H 、 c_V 、 c_D 的正向系数与负向系数绝对值大于阈值 T 内进行小波直方图均衡化,小于阈值 T 的系数设置为0,计算3个高频子带分解正向与负向部分的新系数,用公式表示为:

$$f(x) = \begin{cases} 0 & x = 0 \\ 0 & \min \leq x < T \\ G(x) & T \leq x < \max \end{cases} \quad x \in [\min, \max] \quad (3)$$

$G(x)$ 为直方图均衡化算法,计算公式为:

$$G(x) = (\max - T) \times \frac{CDF(x)}{CDF(\max)} + T \quad x \in [T, \max] \quad (4)$$

式中: x 为3个高频子带分解系数, $f(x)$ 为增强后新系数。

(5) 将低频子带的分解系数 c_A 与3个高频子带新系数进行二代小波重构,得到细节增强后红外图像。

2.2 算法性能评价指标

用图像的信息熵(H)、平均梯度($\bar{G}$)和峰值信噪比(PSNR)对算法进行客观评价^[13-14],分别定义为:

(1) 信息熵:

$$H = -\sum_{q=1}^k p_q \log_2 p_q \quad (5)$$

$$p_q = \frac{n_q}{m \times n}$$

(2) 平均梯度:

$$\bar{G} = \frac{1}{(m-1)(n-1)} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} \sqrt{\frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial f(i,j)}{\partial i} \right)^2 + \left(\frac{\partial f(i,j)}{\partial j} \right)^2 \right]} \quad (6)$$

(3) 峰值信噪比:

$$PSNR = 10 \lg [m \times n \times f_{\max}^2 / \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [f(i,j) - f'(i,j)]^2] \quad (7)$$

式中: q 为红外图像像素数值大小, n_q 为像素 q 数值出现的频次, p_q 为概率; m 、 n 分别为红外图像的行数与列数, i 、 j 为红外图像像素坐标值, $f(i,j)$ 为原始红外图像, $f'(i,j)$ 为增强后图像。

据图像信息论,图像的信息熵是衡量图像信息量的重要指标,若图像的信息熵 H 越大,则表明图像的细节越突出,图像越清晰,对比度越好,即算法增强效果越好。

平均梯度是衡量图像清晰程度的重要指标,平均梯度越大,说明图像越清晰。峰值信噪比是衡量对噪声抑制程度的重要指标,峰值信噪比越大,说明对噪声抑制效果越好。

3 实验结果及分析

以MATLAB为实验工具,对本文算法与经典直方图均衡、同态滤波、文献[3-5]算法,编写程序进行实验比较仿真,实验对象为红外图像,实验结果如图1~6所示。

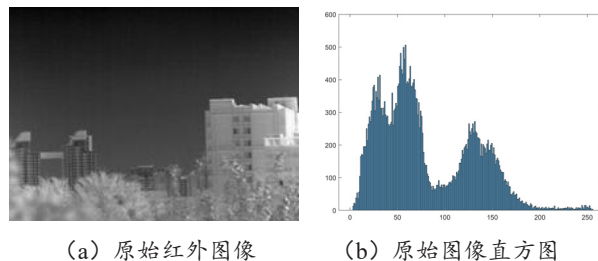


图1 原始红外图像及其直方图

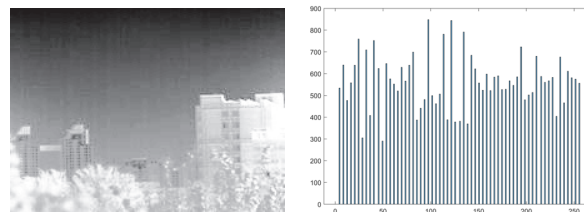
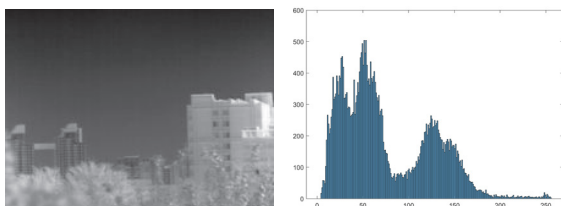
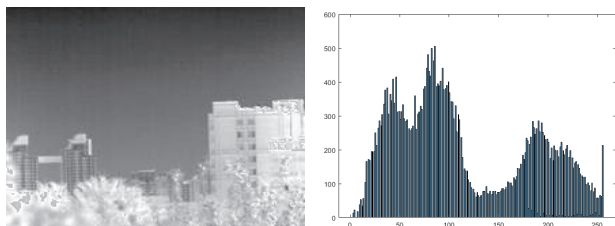


图2 直方图均衡算法及其直方图



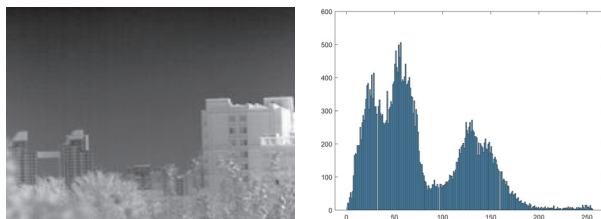
(a) 同态滤波算法 (b) 同态滤波算法直方图

图3 同态滤波算法及其直方图



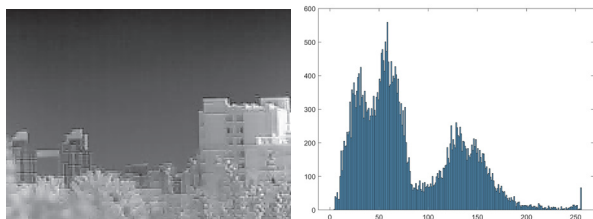
(a) 文献[3]算法 (b) 文献[3]算法直方图

图4 文献[3]算法及其直方图



(a) 文献[5]算法 (b) 文献[5]算法直方图

图5 文献[5]算法及其直方图



(a) 本文算法 (b) 本文算法直方图

图6 本文算法及其直方图

图1~6中同态滤波增强系数取 $H_H=2.0$, $H_L=0.5$, 锐化参数 $c=1.3$; 文献[4]算法上限平台阈值取300, 下限平台阈值取30; 本文算法累积概率分布比值 $p=0.85$ 。

从视觉上看, 几种算法中直方图算法、同态滤波算法对红外图像增强上整体亮度偏高, 有些由于过亮, 细节明显已经丢失(如图像右边的楼房边缘等信息已模糊); 文献[3-4]算法, 相比于前两种算法, 视觉上相对较好, 但细节并未强化, 细节也有类似丢失现象; 而本文算法对红外图像边缘等细节信息相比于原图得到明显增强, 感觉明显清晰, 视觉效果较好。

上面是从主观的角度对5种算法进行定性分析, 运用图像的信息熵(H)、平均梯度($\bar{G}$)和峰值信噪比(PSNR)3个性能指标定量对该5种算法进行客观评价, 计算结果如表1所示。

表1 计算结果

性能指标	同态滤波	直方图	文献[5]	文献[3]	本文算法	原始图像
H	7.63	7.09	7.14	6.94	7.36	7.30
$\bar{G}$	2.22	2.30	2.42	2.70	5.07	1.87
PSNR	15.14	13.03	18.58	17.73	22.94	—

从信息熵(H)大小数值看, 增强后红外图像的信息量比原始图像信息量大的算法有: 同态滤波算法与本文算法, 说明该两种算法在图像细节丰富方面比其他三种算法要好, 但由于同态滤波将背景噪声放大, 形成图像信息量大, 导致信息熵大, 视觉上本文算法增强的红外图像感觉不到噪声, 比同态滤波增强的效果要好。

从平均梯度($\bar{G}$)看, 本文算法相比其他算法的平均梯度值为最大, 表明增强后的红外图像清晰程度上, 本文算法效果最好。

从峰值信噪比(PSNR)看, 本文算法的峰值信噪比值为最大, 表明在增强后的红外图像噪声抑制效果上为最好。

综合上面主观与客观上的分析, 在红外图像的细节增强及噪声抑制方面, 本文算法比其他4种算法要优越。

4 总结

针对红外图像普遍存在着目标与背景对比度较差、边缘模糊、纹理信息不足等缺点, 提出了基于二代小波整数变换累积概率分布红外图像数字细节增强方法。创新点主要为:

- (1) 通过统计计算经二代小波分解的红外图像背景噪声与目标的累积概率分布, 设置背景噪声与目标的累积概率分布比值, 分别循环计算出红外图像高频部分正(负)小波系数阈值;
- (2) 对大于正(负)小波系数阈值部分的小波系数, 分别进行直方图均衡处理。实验比较表明该算法在红外图像数字细节增强处理的图像细节突出、噪声抑制效果好。

参考文献:

- [1] 章怡, 王海峰, 李垣江. 引导滤波与Retinex相结合的彩色图像暗部细节增强方法[J]. 计算机应用与软件, 2025, 42(8): 234-241.
- [2] 文洪青, 钱蓉蓉, 贾赞, 等. 基于引导滤波分层的宽动态范围红外图像细节增强算法[J]. 激光与红外, 2024, 54(5): 804-813.
- [3] 苏志远, 周晓光, 金黎等. 基于灰度等间距密度均衡的红外图像增强算法[J]. 吉林大学学报(信息科学版)2010, 28(6): 592-595.
- [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.

地理信息系统在城市应急管理中的动态调度应用研究

刘先龙¹ 郭富涛¹ 胡 洋¹
LIU Xianlong GUO Futao HU Yang

摘 要

针对城市复杂环境下应急资源调度低效与路径规划滞后的问题,文章研究构建了基于地理信息系统的动态调度技术体系。从需求分析入手,设计了多源异构数据融合与管理方法,提出面向应急场景的时变路网模型与TDA*动态路径规划算法,并建立了基于改进遗传算法的多目标资源协同调度模型,结合实时可视化实现应急态势直观展现。通过危险化学品泄漏场景模拟,验证该系统在响应时间缩短、资源匹配优化及路径调整能力方面的有效性,为城市应急管理提供了智能化支撑路径。

关键词

地理信息系统; 动态调度; 路径规划; 应急资源管理

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2026.06.012

0 引言

随着城市化进程加快,突发事件类型明显增加,传统依赖静态信息和就近原则的应急调度模式难以满足高时效性与精准性的需求。地理信息系统凭借空间数据集成、实时态势感知和可视化分析优势,成为提升应急管理水平的工具。本文在梳理应急动态调度系统需求的基础上,聚焦多源数据融合、动态路径规划与资源优化配置等关键问题,提出面向复杂场景的技术方案,并通过构建仿真环境开展系统验证。研究范围涵盖功能架构设计、算法实现与应用评估,旨在探索智能化调度机制对提升城市应急处置效率的作用。

1 基于 GIS 的应急动态调度系统需求分析

应急动态调度系统的构建需围绕功能、性能与数据三个维度展开。功能需求是系统的核心,要求具备事件精确定位与空间分析能力,能够通过多源信息自动或手动标定事件发生点,并即时生成影响范围评估^[1]。系统需提供应急资源的可视化查询与管理功能,实现对人员、车辆、物资、避难场所等资源的空间分布、实时状态与属性信息的动态检索。路径规划是关键功能,不仅要支持最优路径计算,还必须能够响应动态交通状况、道路管制与危险区域规避等约束,为调度单元提供动态导航。性能需求方面,高实时性是首要目标,系统响应延迟应控制在秒级,以保障决策与调度的时效性。数据处理与服务需支持高并发访问,满足指挥中心、现场人

1. 智成时空(西安)创新科技有限公司 陕西西安 710000

[5] 肖春蕾. 基于直方图均衡插值的盆底超声图像细节增强方法[J]. 自动化与仪器仪表, 2022(6): 261-264.
[6] 徐涛, 李冠章. 基于小波变换的彩色图像自适应细节增强算法[J]. 计算机应用与软件, 2011, 28(3): 240-242.
[7] 张博龙, 刘星, 水晨. 基于引导滤波图像分层的红外烟尘图像增强[J]. 国外电子测量技术, 2023, 42(4): 49-55.
[8] 路陆, 姜鑫, 杨锦程, 等. 基于自适应引导滤波的红外图像细节增强[J]. 液晶与显示, 2022, 37(9): 1182-1189.
[9] 杨家红, 向锦, 李翠红, 等. 一种新的红外图像细节增强算法[J]. 激光与红外, 2012, 42(5): 579-583.
[10] 刘斌, 金伟其, 王岭雪, 等. 基于空域和频域处理的红外图像细节增强算法[J]. 红外技术, 2011, 33(8): 477-482.
[11] 魏亮, 王炎, 胡文浩, 等. 基于双域分解的夜间车辆红外

图像研究[J]. 激光与红外, 2021, 51(11): 1538-1544.
[12] 汪伟, 许德海, 任明艺. 一种改进的红外图像自适应增强方法[J]. 红外与激光工程, 2021, 50(11): 419-427.
[13] 余峰. 基于双边滤波的红外图像对比度增强算法研究[J]. 信息记录材料, 2021, 22(4): 57-59.
[14] 王坤. 红外视频图像细节保持增强算法研究[J]. 电子制作, 2016(18): 33-34.

【作者简介】

薛俊(1979—), 男, 江苏扬中人, 本科, 中学一级教师, 研究方向: 计算机应用、高中信息技术。

(收稿日期: 2025-11-24 修回日期: 2026-06-10)