

引用格式: YANG Dezhen, HUANG Jingying, YU Songlin, et al. Single-frame Infrared Dim Target Detection Based on Guided Filter and Segmented Adaptive Thresholds[J]. Acta Photonica Sinica, 2023, 52(4):0410005

杨德振, 黄静颖, 喻松林, 等. 基于引导滤波和分块自适应阈值的单帧红外弱小目标检测[J]. 光子学报, 2023, 52(4):0410005

基于引导滤波和分块自适应阈值的 单帧红外弱小目标检测

杨德振^{1,2}, 黄静颖¹, 喻松林¹, 冯进军², 李江勇¹, 刘彤¹

(1 华北光电技术研究所, 北京 100015)

(2 北京真空电子技术研究所, 北京 100015)

摘要:为了在有效地检测复杂场景下红外弱小目标的同时保持较低虚警率,在满足算法实现实时性的前提下,提出一种基于引导滤波和分块自适应阈值的单帧红外弱小目标检测。首先,为缓解边缘杂波干扰,采用具有保边特性的引导滤波对图像进行背景估计;然后,利用弱小目标具备的局部灰度最大特性,提出基于软阈值非极大值抑制的九宫格滤波计算目标的概率。通过加权的方式进一步剔除背景,抑制结果中不满足目标特性的区域;最后,针对复杂场景目标检测虚警率和漏检率高的问题,提出一种分块自适应阈值分割方法提取候选目标。实验结果表明,在公开数据集上与 Top-Hat、LCM 和 Max-Median 等经典方法相比,所提方法性能优于其他方法,恒虚警下不同复杂度场景的召回率分别达到 87.97%、84.93% 和 86.22%,可有效抑制背景,增强目标信号,提高红外弱小目标检测的召回率,且具有更好的场景鲁棒性。

关键词:红外弱小目标;目标检测;背景抑制;分块自适应阈值;引导滤波

中图分类号: TP391

文献标识码: A

doi: 10.3788/gzxb20235204.0410005

0 引言

红外探测技术不仅可以全天时探测识别目标,同时能有效捕获电磁隐身目标和低空飞行目标,弥补雷达盲区,在探测领域具有特殊优势。伴随红外成像技术的迅速发展,红外探测技术广泛应用于远程侦察告警系统中^[1]。

通常随着探测距离的增加,远程侦察告警系统检测的目标尺寸和信杂比也进一步降低,因此红外弱小目标检测逐渐成为当前红外目标检测领域的研究重点,单帧红外弱小目标检测大致可以分成三类:第一类是基于空域或变换域滤波的方式(例如形态学滤波^[2]、最大均值、中值滤波^[4]、高通滤波^[5]等),这类方法的思路是抑制背景噪声干扰,同时增强弱小目标;第二类方法基于人类视觉系统,常见的有局部对比度^[6](Local Contrast Method, LCM)、局部梯度分布^[7](Local Maximum Gradient, LCG)、局部显著性映射^[8](Local Saliency Map, LSM),这类方法的核心是突出目标与背景的局部特征差异;第三类为基于图像数据结构的方法,如多尺度窗口红外块图像(Multiscale windows-Infrared Patch Image, MW-IPI)、稳健主成分分析^[9](Robust Principal Component Analysis, RPCA),这类算法利用红外图像中背景非局部自相似性和目标稀疏性,将弱小目标检测问题转化为低秩矩阵和稀疏矩阵的恢复问题,实现目标检测。前两类的算法的计算复杂度低,易于硬件实现,然而在复杂背景下难以区分目标信号和图像边缘,容易产生边缘虚警;最后一类算法比较耗时,在当前的信号处理硬件算力下难以满足实际工程应用的实时性需求。本文对多种复杂场景下的红外弱小目标进行高检出率、低虚警率、高场景适应性、高实时性的检测,提出了

基金项目:中电科专家基金(No. N202003000390),军委科技委基础加强基金(No. 2019JCJQZD33600)

第一作者:杨德振, yangdezhen88@126.com

通讯作者:喻松林, yusir8511@sina.com

收稿日期:2022-06-27;录用日期:2022-10-18

<http://www.photon.ac.cn>

一种结合引导滤波和九宫格滤波进行目标增强,通过不同复杂度的区域进行分块自适应阈值分割的单帧红外弱小目标检测算法。

1 复杂背景下的远程目标特性分析

远程侦察告警系统的红外目标特征有着典型的目标成像特征,是红外探测技术研究的难点,因此有必要切实地对其展开分析。一方面,为了实现尽早告警的目的,通常需要远距离大视场的成像;另一方面,由于成像距离远,目标尺寸通常只有若干像素,不具备形状、纹理等易于分辨的特性。此外远距离大视场会进一步地增加背景复杂度,目标容易淹没在背景中,信杂比极低。图1为不同场景下远程红外告警系统的目标与背景灰度分布(其中黑色框区域为目标所在的区域),显而易见目标在不同场景下均弱于其他背景杂波,且无显著目标特征,很难在有效检出目标的同时避免虚警^[2]。因此,复杂场景中的红外弱小目标低虚警检测具有很强的挑战性。

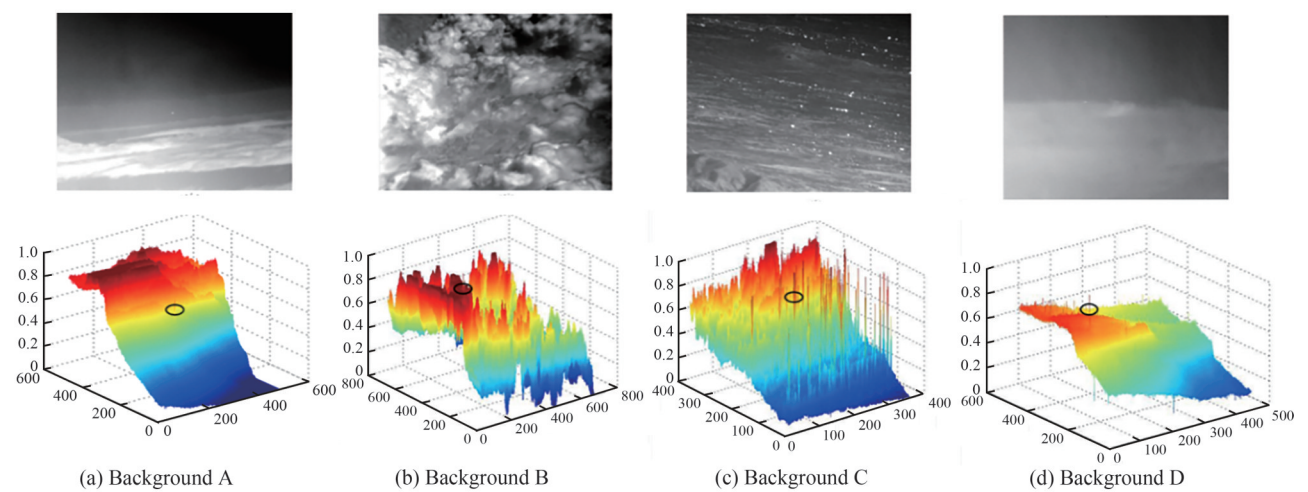


图1 不同背景的目标特性

Fig.1 Target characteristics for different backgrounds

结合单帧红外弱小目标检测算法的发展和工程应用背景,针对现有算法难以区分目标信号和图像边缘,容易产生边缘虚警的问题,本文提出基于引导滤波和分块自适应阈值的红外弱小目标检测方法。算法从区域内目标灰度分布和区域间灰度差异性两个方面进行算法设计,首先采用保边性能良好的引导滤波^[11]预测图像的背景,然后用原始图像减去预测的背景图像得到潜在目标图像,初步抑制图像背景。为进一步降低虚警,利用目标具有的局部灰度最大特性,借鉴软阈值非极大值抑制^[12]思想,提出九宫格滤波,计算每个像素位置属于目标的概率,通过将目标概率与背景抑制结果加权进一步抑制不满足目标特性的潜在目标,同时增强潜在目标之间的信号。最后,采用分块计算阈值策略对自适应阈值分割^[13]进行改进,设计了一种根据不同场景自动计算自适应阈值分割中依靠人工经验设置参数的映射方式,提升算法在复杂场景下的检测能力。

2 目标检测系统

基于引导滤波和分块自适应阈值的目標检测系统主要由三个算法单元组成:一是基于引导滤波的背景抑制;二是基于九宫格滤波的目标概率计算和加权;三是分块自适应阈值分割。所设计的算法总体流程如图2。

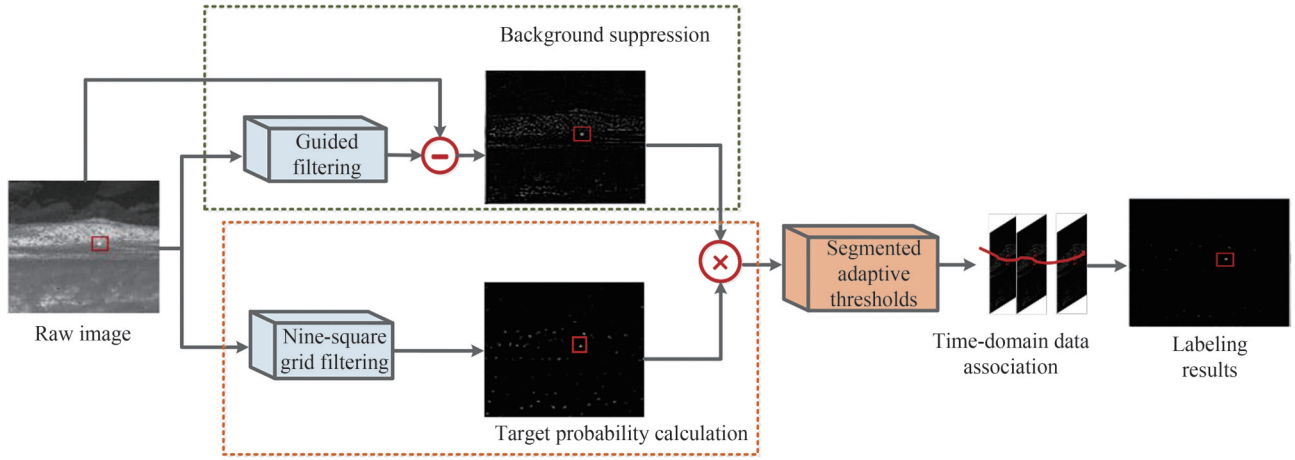


图2 算法总体流程

Fig.2 The overall algorithm flow

2.1 基于引导滤波的背景抑制

在红外弱小目标的成像建模^[14]中,通常将红外图像 $f_o(x, y)$ 划分为三部分,分别为背景分量 $f_b(x, y)$,目标分量 $f_t(x, y)$ 和随机噪声分量 $f_n(x, y)$,具体表示为

$$f_o(x, y) = f_b(x, y) + f_t(x, y) + f_n(x, y) \quad (1)$$

式中, (x, y) 表示像素点的位置坐标。从上述模型可以看出,红外弱小目标检测通常可以分成两个步骤:1)通过估计噪声 $f_n(x, y)$ 、预测背景 $f_b(x, y)$ 、求解模型(式(2))得到图像中的疑似目标,这一步骤又被称为背景抑制;2)通过目标筛选得到检测的最终结果。

$$f_t(x, y) = f_o(x, y) - f_b(x, y) - f_n(x, y) \quad (2)$$

迄今为止很多算法可以通过背景抑制完成目标检测,这些算法将背景和目标分别当作低频和高频信号进行区分,在预测背景的过程中将边缘高频信息同时滤除,导致模型求解过程中残留着许多边缘杂波,容易造成虚警(如图3)。其中Max-Median和Top-Hat都是采用 5×5 模板。针对上述问题,在背景估计的过程中,引入了保边性能更好的引导滤波。

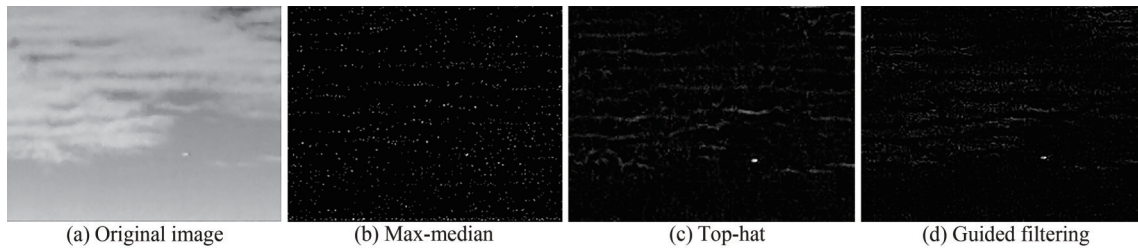


图3 背景抑制结果

Fig.3 Background suppression results

与其他滤波算法不同的是,引导滤波^[11]在进行滤波时需要额外的一幅参考图像,滤波的过程中要求输出结果与参考图像的梯度信息保持一致。因此,当参考图像与输入图像具有相同的边缘梯度信息,该滤波操作具有良好的保边性能,能有效地区分目标和边缘。引导滤波的具体定义为

$$q_i = a_k I_i + b_k \quad \forall i \in w_k \quad (3)$$

式中, q_i 是输出像素的值, I_i 是参考图像, i 和 k 分别是像素索引, a 和 b 是当窗口中心位于 k 时该线性函数的系数。该滤波器的代价函数可表示为

$$E(a_k, b_k) = \sum_{i \in w_k} (a_k I_i + b_k - p_i)^2 + \epsilon a_k^2 \quad (4)$$

式中, ϵ 为正则化系数, p_i 为待滤波图像像素值。

通过最小二乘法求解,即

$$a_k = \frac{1}{|\omega|} \frac{\sum_{i \in \omega_k} I_i \cdot p_i - u_k \bar{p}_k}{\sigma_k^2 + \epsilon} \quad (5)$$

$$b_k = \bar{p}_k - a_k u_k \quad (6)$$

式中, u_k 和 σ_k^2 为参考图像 I_i 在窗口 ω_k 中的均值和方差, $|\omega|$ 为窗口 ω_k 中的参数数量, 系数 ϵ 用于调节引导滤波器保边程度, 符号“ \cdot ”表示点乘操作, “ $\bar{\cdot}$ ”表示变量在窗口 ω_k 中的均值。

将待滤波图像作为引导图像, 即 $I = p$, 带入式(5)和式(6)后, 系数 a_k 的计算表达式为

$$a_k = \frac{\overline{p \cdot p_k} - \bar{p} \bar{p}_k}{\sigma_k^2 + \epsilon} \quad (7)$$

2.2 九宫格滤波目标概率计算和加权

从图4中可以直观地看出图像中目标、边缘和背景等干扰的区域灰度特性, 目标区域满足灰度值局部最大的特性。为了最大限度降低目标检测的虚警率, 提出了九宫格滤波用于计算每个像素位置属于目标的概率, 通过将此概率与引导滤波背景抑制的结果进行加权融合, 对潜在目标做了进一步的筛选。九宫格滤波利用目标区域的平均灰度值和其8邻域的灰度平均值关系, 计算目标权重。该操作定义为

$$w_i = \begin{cases} v_i - \max(v_{N_8(i)}) & v_i > \max(N_8(v_i)) \\ 0 & v_i \leq \max(N_8(v_i)) \end{cases} \quad (8)$$

式中, v_i 表示第 i 个目标区域的灰度均值, $N_8(i)$ 表示目标区域 i 的八邻域集合, w_i 表示目标 i 的概率值。计算具体步骤为: 1) 计算候目标区域内(图5中区域0)灰度平均值; 2) 分别计算区域8个邻域(图5中1~8)对应的灰度平均值, 并取其中的最大值; 3) 根据式(8)分别计算各个目标的概率。最后, 按照式(9)归一化权重。

$$w_i = \frac{w_i}{\sum_1^m w_i} \quad (9)$$

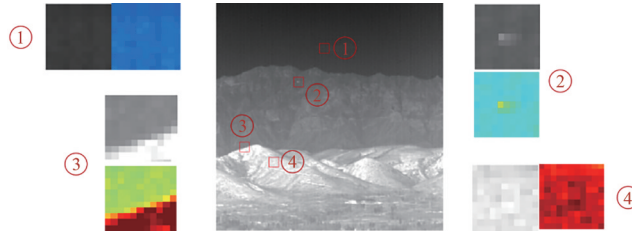


图4 图像中不同区域灰度值对应的热图(区域2为目标所在区域)

Fig.4 Heat maps corresponding to grayscale values for different areas in the image (zone 2 is the target region)

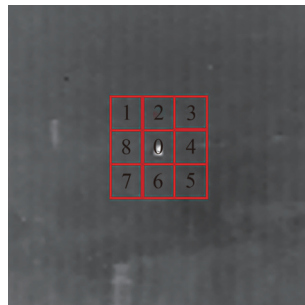


图5 目标区域及其8邻域示意(区域0表示目标区域, 区域1~8表示目标周围的8邻域)

Fig.5 Schematic of background suppression results(zone 0 represents the target area and zones 1~8 represents its 8 neighborhoods)

2.3 分块自适应阈值分割

在复杂场景下,一幅图像同时包含不同的场景,其中的干扰往往也不相同。例如,与纯空区域相比,卷云区域干扰更强。全局阈值分割(如OTSU和最大熵)算法计算全局图像的阈值,难以适应图像中不同区域的变化,容易导致目标漏检和虚警(如图6,采用高的全局阈值容易出现漏检,低的全局阈值会导致较多的虚警)。为了在保持较低虚警的前提下提高目标的检测率,本文提出一种分块自适应阈值分割的方式,首先将整幅图像划分成 $N \times N$ 个图像块,然后分别计算各个图像块的自适应阈值,最后分别对各个图像块进行阈值分割。

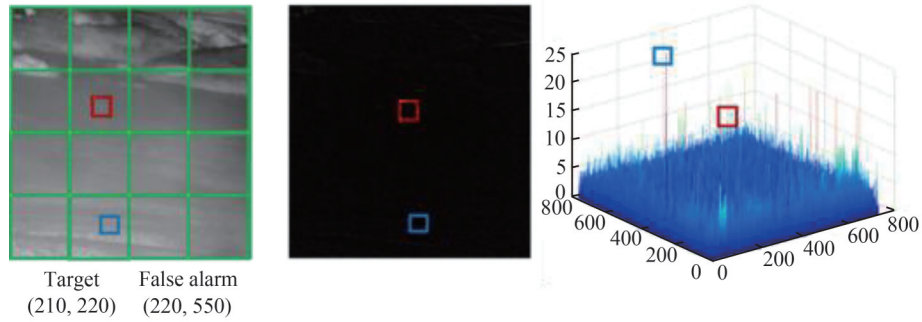


图6 不同区域背景抑制结果及其三维特性

Fig.6 Background suppression results of different regions and their 3-dimensional characteristics

本文的分块自适应阈值分割是基于快速自适应阈值分割^[10]进行改进。在快速自适应阈值分割中,阈值 T 是由图像灰度值的均值 μ 和标准差 σ 决定,图像中灰度大于 T 的被标记为目标,具体可表示为

$$T = \mu + k\sigma \quad (10)$$

$$O = \begin{cases} 1 & I \geq T \\ 0 & I < T \end{cases} \quad (11)$$

式中,参数 k 用于控制算法的检测率和虚警率。在不同的场景下,为了获得更好的检测效果,需要精细地调整 k 的取值。为了使本文提出的阈值计算方式更好地适应一幅图像中不同区域中包含的不同场景,对 k 值的计算进行了改进。

复杂场景中干扰较多,需要较高阈值才能剔除干扰。在简单场景中,则反之,由于图像的场景复杂度和灰度值的标准差呈正相关,该模块借鉴Sigmoid函数设计了灰度值标准差到参数 k 的映射曲线,具体表示为

$$k = \frac{1}{1 + 2^{m-\sigma}} \omega \quad (12)$$

式中, ω 表示基准参数, m 用于调整映射曲线的平移,图7为不同参数 m 与 k 值的映射曲线。

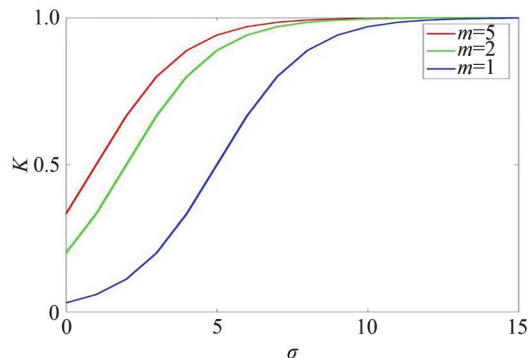


图7 不同参数 m 对 k 值映射曲线的影响

Fig.7 The influence of different parameters m on the value k mapping curve

3 实验结果与分析

3.1 实验设置

将本文方法与 Top-Hat、LCM、Max-Median 三种方法进行对比,在五种不同场景公开的红外弱小目标图像和 3 段带标注的红外视频数据^[17]验证本文方法的性能。其中 Top-Hat、LCM、Max-Median 三种方法的滤波窗口皆为 5×5 。本文方法中,引导滤波中平滑系数 $\epsilon = 0.001$,窗口 w_k 为 3×3 ,候选框的大小设为 3×3 ,滤波的感受野与对比方法保持一致。阈值分割时,三种对比方法均采用快速自适应阈值分割^[2],其中参数 $k = 3$ 。本文分块自适应阈值分割中分块数 $N = 4$,基准权重 $w = 3, m = 2$ 。

3.2 评价指标

采用信噪比(SNR)、背景抑制因子(BSF)^[15]两个背景抑制评价参量指标,进一步对比验证算法抑制背景杂波的有效性。SNR 用于衡量信号和背景噪声的比值,BSF 用于衡量算法处理后的图像比原始图像的背景减少的程度,分别定义为

$$\text{SNR} = \frac{|u_t - u_b|}{\sigma_b} \quad (13)$$

$$\text{BSF} = \frac{\sigma_{in}}{\sigma_{out}} \quad (14)$$

式中, u_t 和 u_b 分别表示目标和背景区域的平均亮度, σ_b 表示背景区域像素的标准差; $\sigma_{in}, \sigma_{out}$ 分别代表原图和背景抑制图像的背景方差。本文采用的前景是目标周围 11×11 大小的目标区域,背景区域是目标周围 31×31 大小除去前景的区域,其中 SNR 和 BSF 的值越高,表示性能越好。

通过统计不同算法检测结果与标注框的位置关系,得到不同算法检测的召回率^[16],具体计算表达式为

$$R = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FP}} \quad (15)$$

式中, R 表示召回率, TP 和 FP 分别表示正确和错误检测的目标数,正确检测目标数定义为检测结果位于 10×10 的标注框内(含)目标总数。

3.3 实验结果

3.3.1 消融性实验

设置了两组对比实验,分别验证基于软阈值非极大值抑制的候选框筛选和不同分块数量对检测性能的影响,实验结果如图 8 所示。

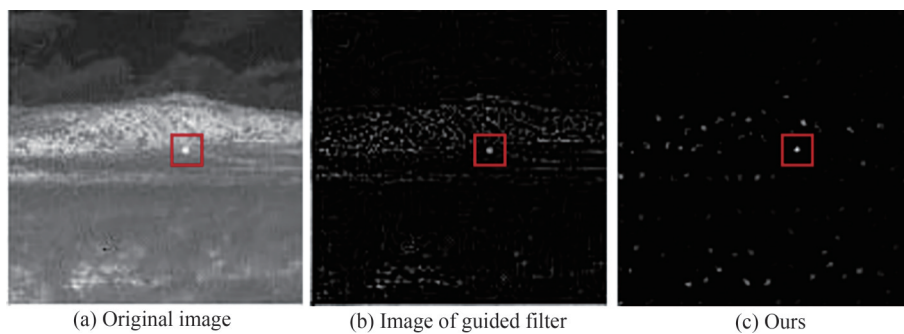


图 8 消融性实验结果

Fig.8 Ablation experiment results

从图 8 可以直观地看出,非极大值抑制候选框筛选的步骤能够有效地剔除山地的反光,同时提升目标的信号。

选取 3 段不同场景的公开视频数据^[18](如图 9,分别为纯空、地面和建筑),分别计算不同分块条件下算法检测的召回率。从表 1 可以看出(最佳结果用加粗标出,次佳结果用下划线标出),对于简单的场景(data1),分块自适应阈值计算对检测的召回率没有提升,对于复杂的场景(data9),分块数量的增加能够有效提升算法检测的召回率。综合来说,分块自适应阈值策略能够有效地提升算法的检测性能。

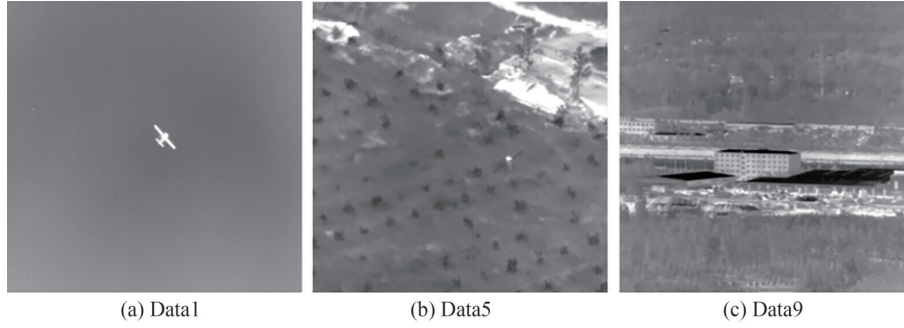


图9 不同测试视频图像示例
Fig.9 Example of different test video figure

表1 消融性实验检测召回率对比结果
Table 1 Ablation experiments test recall comparison results

Data set	N=1	N=2	N=4
Data1	87.97%	87.97%	87.97%
Data5	82.87%	87.73%	<u>84.93%</u>
Data9	83.46%	<u>85.71%</u>	86.22%

3.3.2 与其他算法对比实验

为了验证本文提出算法背景抑制的性能,从公开红外弱小目标数据集中选取了五种典型的场景(受云层干扰的天空、山地、强噪声、远距离纯空、海面、建筑)与三种典型的算法 Top-Hat、Max-Median(简称 Max-Med)、LCM 进行对比。表2中展示了各方法在图10中五种不同场景SNR和BSF两个客观指标的对比结果,表中性能最好的数据加粗显示,性能次佳的数据用下划线显示。从实验结果及其性能指标中可以看出,在这五种场景中本文方法对目标信噪比的提升效果明显,背景抑制因子提升最大,具有优异的背景抑制性能,同时能够有效地增强目标信号。

表2 各方法SNR和BSF指标结果对比
Table 2 Comparison of SNR and BSF index results of each method

Data set	Raw image	Top-Hat		LCM		Max-Med		Ours	
	SNR	SNR	BSF	SNR	BSF	SNR	BSF	SNR	BSF
Fig.10 (a)	0.47	<u>4.88</u>	<u>8.18</u>	3.64	1.17	0.70	6.82	79.58	371.45
Fig.10 (b)	0.43	0.30	3.05	1.47	1.97	0.05	<u>3.58</u>	<u>1.18</u>	15.88
Fig.10 (c)	0.40	0.47	1.00	2.41	1.13	0.15	<u>1.33</u>	<u>2.21</u>	16.30
Fig.10 (d)	0.43	3.59	5.29	<u>5.00</u>	1.22	1.68	<u>8.07</u>	9.47	46.99
Fig.10 (e)	0.43	0.81	5.15	5.53	1.59	1.10	<u>11.91</u>	<u>3.63</u>	38.93

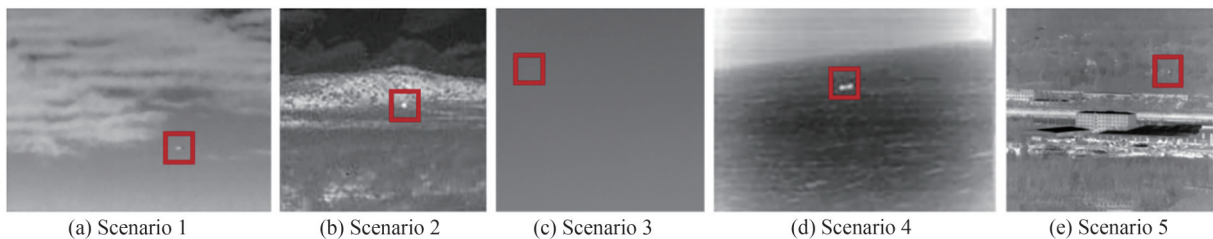


图10 五种典型的场景测试图
Fig.10 Five typical scenario test figure

图11为 Top-Hat、Max-Med 和本文方法的处理结果,偶数行分别是奇数行的灰度图归一化后的三维特性图。可以看出,对于山地场景,Top-Hat、Max-Med 处理结果中均存在着大量反光点,这类反光点受大气传输特性影响存在图像序列帧之间的不规则偏移,阈值分割之后经过实时性要求较高的多帧关联处理也无

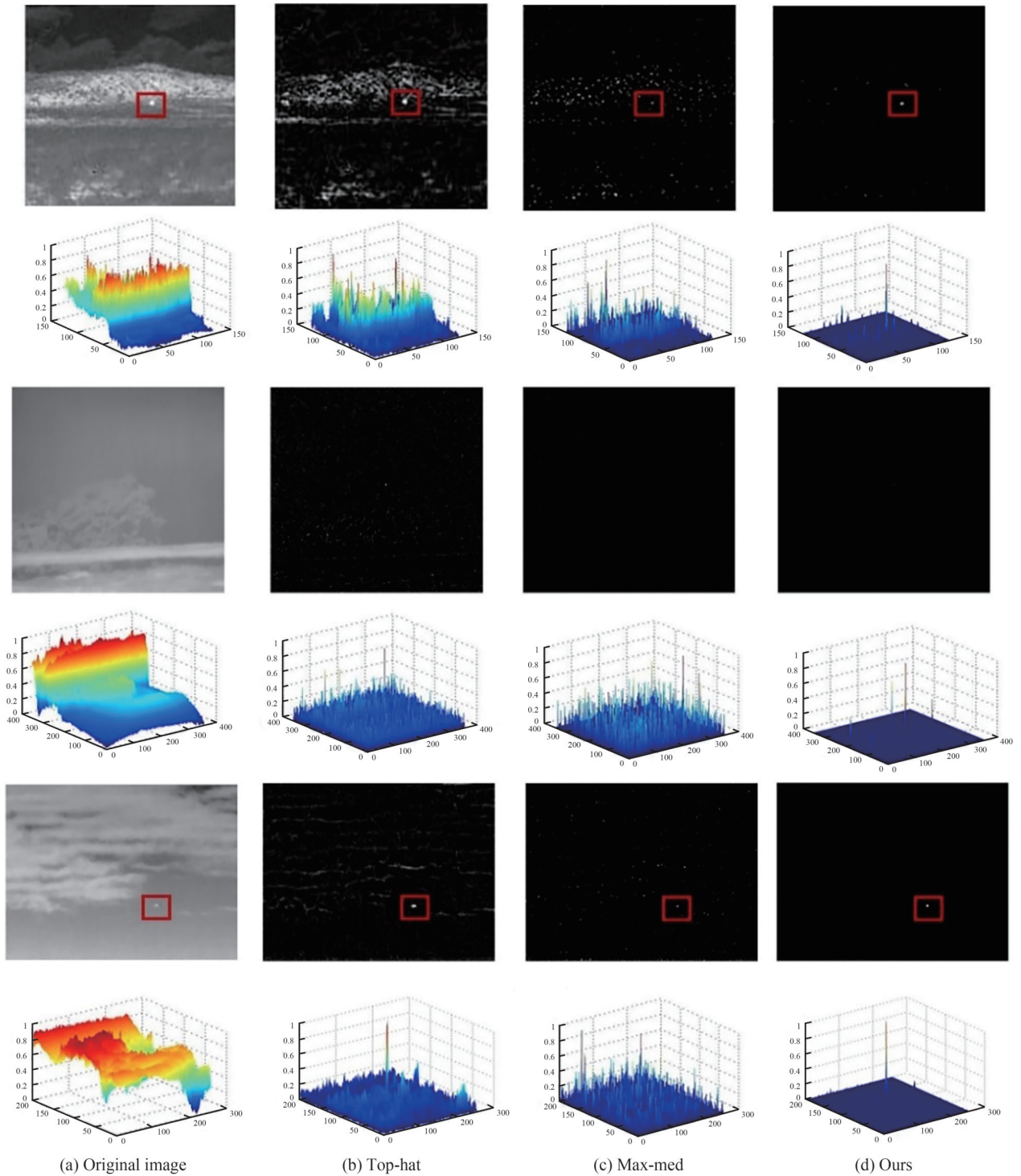


图 11 各方法在五种典型的场景视觉结果对比
 Fig.11 Comparison of visual results of each method in five typical scenarios

法有效剔除,容易导致虚警,而本文方法能够有效地剔除地面反光背景的干扰;对于噪声干扰强、目标距离远的场景,本文方法的抗噪声能力明显优于其他两种对比方法,同时有效保留目标信号。对于受云层干扰的天空场景,Top-Hat算法受到背景的边缘干扰最大,背景抑制结果中残留着明显的边缘杂波;Max-Med算法对背景边缘和角点较为敏感;本文算法背景抑制效果最好,能够有效的抑制边缘杂波,抗噪声的干扰能力强。综合背景抑制结果的三维特性图来看,本文方法边缘抑制和抗噪声干扰能力较强,对不同场景都具有较高的鲁棒性。

选取3段不同背景复杂度的场景公开视频数据^[17](如图9),通过计算不同算法检测的召回率,验证本文

算法的目标检测能力,实验结果如表3。实验结果表明本文方法对不同场景检测的召回率最高,对不同场景的检测稳定性优于其他方法。其中Max-Med算法对大目标的检测性能最差,而LCM算法对这两种场景的性能最差。

表3 各方法在不同视频数据检测召回率对比

Table 3 Comparison of recall rates of various methods in different video data detection

Data set	Top-Hat	LCM	Max-Med	Ours
Data1	79.45%	79.20%	1.25%	87.97%
Data5	83.67%	59.87%	81.40%	84.93%
Data9	73.68%	47.62%	76.69%	86.22%

3.3.3 算法硬件实现效果

为了验证实际应用中该算法的实时性和算法适应性,将本文算法在基于FPGA+DSP的信号处理架构硬件进行了实现,单帧处理主要实现硬件为Virtex-7系列的FPGA,其最终的弱小目标检测效果如图12。可以看出在不同复杂度的场景下,单帧红外目标检测采用了基于引导滤波和分块自适应阈值的方法均能有效检测目标,且具备可靠的抑制虚警的能力。在实时性方面,在分辨率为 320×256 红外图像下的处理速度达到75帧/s。



图12 本文方法在不同复杂度场景下的硬件实现效果

Fig.12 The hardware implementation effect of the proposed method in different complexity scenarios

4 结论

本文提出基于分块自适应阈值和引导滤波的单帧红外弱小目标检测方法。首先采用保边、去噪性能更好的引导滤波对图像估计图像背景,与原始图像做残差得到初步背景抑制结果;其次采用九宫格滤波计算目标局部区域的概率,通过加权的方式进一步抑制背景,增强信号;最后通过分块阈值自适应计算分割阈值,通过阈值分割完成目标检测。实验结果表明,所提方法在背景抑制客观指标和主观视觉效果上均优于其他单帧红外弱小目标检测方法,能有效增强目标信号,提升目标检测的召回率,并且对不同场景具有较好的鲁棒性能。在不同视频序列数据下的实验结果进一步表明本方法对红外弱小目标具有更好的检测能力,同时不会提升检测的虚警。后续将通过多帧目标的运动轨迹关联,进一步抑制虚警。同时,联合基于模型驱动传统算法和数据驱动的深度学习算法进行双边网路融合提取红外弱小目标,最终达到实时检测、实用化、工程化的目的。

参考文献

- [1] MIAO Zhuang, ZHANG Yong, LI Weihua. Real-time infrared target detection based on center points[J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2021, 40(6): 858-864.
苗壮, 张湧, 李伟华. 基于中心点的实时红外目标检测方法[J]. 红外与毫米波学报, 2021, 40(6): 858-864.
- [2] YANG Dezhen, YU Songlin, FENG Jinjun, et al. Low false alarm infrared target detection in airborne complex scenes[J]. Optics and Precision Engineering, 2022, 30(1): 96-107.
杨德振, 喻松林, 冯进军, 等. 机载复杂场景下的低虚警红外目标检测[J]. 光学精密工程, 2022, 30(1): 96-107.
- [3] BAI X, ZHOU F. Analysis of new top-hat transformation and the application for infrared dim small target detection[J].

- Pattern Recognition, 2010, 43(6):2145-2156.
- [4] YANG Yuyuan, SUN Weidong. Adaptive detection of infrared small target based on target-background separation with ratio minimization of singular values[C]. 2018 4th Annual International Conference on Network and Information Systems for Computers (ICNISC), IEEE, 2018: 144-149.
- [5] GONZALEZ R, WOODS R. Digital image processing[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2010.
- [6] HAN J, MORADI S, FARAMARZI I, et al. A local contrast method for infrared small-target detection utilizing a tri-layer window[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2019, 17(10): 1822-1826.
- [7] WANG Lu, LIU Mingna, YANG Jie. Infrared dim small target detection based on contrast and gradient distribution[J]. Aerospace Shanghai, 2019, 36(5): 89-93.
王露, 刘明娜, 杨杰. 基于对比度和梯度分布的红外弱小目标检测[J]. 上海航天, 2019, 36(5): 89-93.
- [8] HAN J, LIANG K, ZHOU B, et al. Infrared small target detection utilizing the multiscale relative local contrast measure[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2018, 15(4): 612-616.
- [9] LI W, ZHAO M, DENG X, et al. Infrared small target detection using local and nonlocal spatial information[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2019, 12(9): 3677-3689.
- [10] MA Mingyang, WANG Dejiang, SUN He, et al. Infrared dim-small target detection based on robust principal component analysis and multi-point constant false alarm[J]. Acta Optica Sinica, 2019, 39(8): 0810001.
马铭阳, 王德江, 孙嵩, 等. 基于稳健主成分分析和多点恒虚警的红外弱小目标检测[J]. 光学学报, 2019, 39(8): 0810001.
- [11] HE Kaiming, SUN Jian. Fast guided filter[J]. arXiv preprint arXiv:1505.00996, 2015.
- [12] BODLA N, SINGH B, CHELLAPPA R, et al. Soft-NMS-improving object detection with one line of code[C]. Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, 2017:5561-5569.
- [13] RONG Shenghui, LIU Gang, ZHOU Huixin, et al. Infrared dim and small target background suppression based on the improved shearlet transform and the guide filter[J]. Acta Photonica Sinica, 2015, 44(2): 0210002.
荣生辉, 刘刚, 周慧鑫, 等. 基于改进的剪切波变换和引导滤波的红外弱小目标背景抑制方法[J]. 光子学报, 2015, 44(2): 0210002.
- [14] KIM S, YANG Y, LEE J. Horizontal small target detection with cooperative background estimation and removal filters[C]. Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 2011:1761-1764.
- [15] GU Y, WANG C, LIU B, et al. A kernel-based nonparametric regression method for clutter removal in infrared small-target detection applications[J]. IEEE Geoscience & Remote Sensing Letters, 2010, 7(3):469-473.
- [16] LI Z, CHEN J, HOU Q, et al. Sparse representation for infrared dim target detection via a discriminative over-complete dictionary learned online[J]. Sensors, 2014, 14(6):9451-9470.
- [17] KIM S. Double layered-background removal filter for detecting small infrared targets in heterogenous backgrounds[J]. Journal of Infrared, Millimeter and Terahertz Waves, 2011, 32(1):79-101.
- [18] HUI Bingwei, SONG Zhiyong, FAN Hongqi, et al. A dataset for infrared detection and tracking of dim-small aircraft targets under ground / air background[J]. China Scientific Data, 2020, 5(3):286-297.
回丙伟, 宋志勇, 范红旗, 等. 地/空背景下红外图像弱小飞机目标检测跟踪数据集[J]. 中国科学数据, 2020, 5(3): 286-297.

Single-frame Infrared Dim Target Detection Based on Guided Filter and Segmented Adaptive Thresholds

YANG Dezhen^{1,2}, HUANG Jingying¹, YU Songlin¹, FENG Jinjun², LI Jianguo¹, LIU Tong¹
(1 North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)
(2 Beijing Vacuum Electronics Research Institute, Beijing 100015, China)

Abstract: A single-frame infrared dim and small target detection algorithm is proposed for the remote infrared target detection system based on the mobile platform. The system faces challenges in detecting targets due to the platform's movement and changes in the background, leading to false alarms. To address this problem, the proposed algorithm combines guided filtering and nine-square-grid filtering for target enhancement, performing block adaptive threshold segmentation through regions of different complexity to maintain a low false alarm rate while detecting targets in different complex scenes. The background of the image is estimated using guided filtering with edge-preserving characteristics to alleviate edge clutter

interference. The local grayscale maximum characteristic of dim and small targets is used to calculate the probability of the target using a nine-square filter based on soft threshold non-maximum suppression. Areas that don't satisfy the target characteristics in the background suppression results are eliminated by weighting. A block adaptive threshold segmentation method is proposed to extract the candidate target using the sigmoid function to design the mapping curve of the standard deviation of gray value to parameter k for threshold calculation. The proposed method outperforms classical methods such as Top-Hat, LCM, and Max-Median, with Signal-to-noise Ratio (SNR) and Background Suppression Factor (BSF) indicators maintained at optimal and sub-optimal levels. The recall rates of scenes with different complexity under constant false alarm respectively reached 87.97%, 84.93%, and 86.22%, improving the recall rate of infrared dim and small target detection. The algorithm is adaptable in engineering applications, as demonstrated by the addition of multi-frame target association on the basis of single-frame image detection. The hardware transplant of the infrared dim and small target detection algorithm is implemented using FPGA+DSP signal processing architecture, achieving a processing speed of over 75 frame/s for object detection on 320×256 infrared images. Therefore, the proposed algorithm effectively realizes the real-time detection of dim and small targets with low false alarm rates and scene robustness.

Key words: Infrared dim and small targets; Target detection; Background suppression; Segmented adaptive thresholds; Guided filtering

OCIS Codes: 100.2000; 040.2480; 110.3080; 100.3008; 110.2970