

## 复杂环境下的红外弱小目标检测技术研究

姜新军, 邢永鹏

太原卫星发射中心 山西太原

**【摘要】**复杂环境下的红外弱小目标的检测是光学制导的研究热点。如果红外目标距离探测器较远,其光学成像显示为无纹理的弱点源。噪声干扰使得目标与噪声难以区分。基于此,本文提出基于侧抑制网络的红外背景抑制算法,然后研究高信噪比下的红外弱小目标检测技术,首先抑制红外背景,然后分割红外图像,确定红外目标,基于目标运动的时间相关性进行单帧检测,过滤虚警点,实现弱小目标检测,最后,结合实际数据验证检测技术的可行性,结果显示该技术对于复杂环境下红外弱小目标的检测率达到 96%,实际应用效果较好。

**【关键词】**复杂环境; 空间背景; 红外检测; 弱小目标; 目标检测

**【收稿日期】**2023 年 1 月 26 日 **【出刊日期】**2023 年 3 月 21 日 **【DOI】**10.12208/j.aics.20230017

### Research on infrared dim small target detection technology in complex environment

*Xinjun Jiang, Yongpeng Xing*

*Taiyuan Satellite Launch Center, Taiyuan, Shanxi*

**【Abstract】**Infrared dim small target detection in complex environment is a research hotspot in optical guidance. If the infrared target is far away from the detector, its optical imaging appears as an untextured source of weakness. Noise interference makes the target indistinguishable from noise. Based on this, this paper proposes the infrared background suppression algorithm based on side suppression network, and then studies the infrared dim target detection technology under high signal-to-noise ratio. Firstly, the infrared background is suppressed, and then the infrared image is segmented to determine the infrared target. Based on the time correlation of the target motion, the single frame detection is carried out to filter the false alarm points and realize the dim target detection. Combined with the actual data to verify the feasibility of the detection technology, the results show that the detection rate of the technology for infrared dim small targets in complex environment reaches 96%, and the practical application effect is good.

**【Keywords】**Complex environment; Spatial background; Infrared detection; Weak target; Object detection

在红外目标检测技术研究领域,红外弱小目标的检测是研究热点之一。红外检测系统使用光学图像将视野中每个物体的光强度转换为电信号,经过高速信号处理后,对红外图像中的目标进行检测识别,为制导系统提供目标信息<sup>[1]</sup>。红外检测技术具有隐蔽、灵敏、环境适应能力强、检测距离远等优点。作为红外检测系统的核心技术之一。目前,检测红外弱小目标的方法主要包括空间域方法、变换域方法、深度学习方法和神经网络方法四大类<sup>[2]</sup>。由于红外弱小目标没有明显轮廓,同时受到强噪声和杂波干扰,导致其检测难度大大增加。可见,复杂环境下的弱小红外目标

检测是红外目标检测与跟踪研究领域中的一大难点,弱小红外目标检测技术研究具有重要的理论和实践意义。

#### 1 复杂环境下的红外背景抑制技术

红外弱小目标检测是红外检测系统中起到定位作用的核心技术。在远距离成像过程中,导弹、飞机等红外目标呈现出明显的弱小目标特性,即目标占用的像素较少,没有明显的轮廓。随着红外隐身技术的诞生和应用,目标的红外辐射强度越来越低,周围的背景杂波也越来越多<sup>[3]</sup>。复杂的背景环境给检测弱小的红外目标造成了很大的困难,而红外背景抑制是通

过图像处理达到抑制图像背景杂波干扰,从而突出检测目标的目的,是检测红外弱小目标的重要前提。因此,研究复杂环境下的红外背景消除非常重要,本次研究提出将横向抑制网络应用于弱小红外目标背景抑制,取得了良好的应用效果<sup>[4]</sup>。

为有效提升远距离弱小红外目标的检测效率,提出一种基于自适应侧抑制网络的红外背景抑制方法,用于剔除红外目标检测中的复杂背景,通过建立侧抑制网络模型,通过各向异性高斯核函数根据图像信息自适应确定侧抑制网络的抑制系数,同时改进了各向异性高斯核的长轴和短轴的确定方式,引入对比度尺度模型(CDSF)、强度尺度扩展模型(IDSF)<sup>[5]</sup>,分别确定两个各向异性高斯核函数,消除了长轴对短轴的限制,这样可以更全面地利用图像信息,使得图像可以根据自身的局部信息确定长短轴,并自适应地改变长短轴的尺度,提高可操作性。与传统小目标检测方法的相比,该方法可以更高效地抑制背景杂波,突出待检测目标,从而提高红外弱小目标的单帧检测效率<sup>[6]</sup>。基于自适应侧抑制网络的红外背景抑制方法基本流程如图1所示。

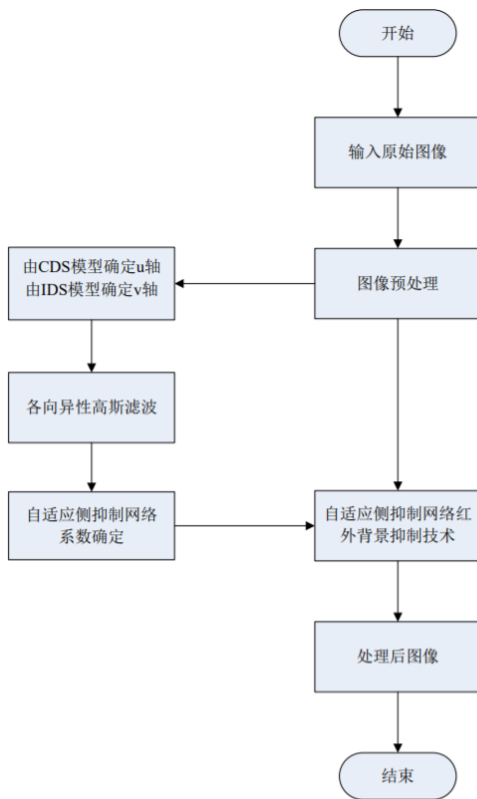


图1 基于自适应侧抑制网络的红外背景抑制方法流程

## 2 高信噪比下的红外弱小目标检测

### 2.1 基本思路

当信噪比超过 3dB 时,图像具有高信噪比,此类红外图像通常亮度高,意味着待检测目标很明亮且与背景形成鲜明对比,即图像具有高对比度,给红外弱小目标检测带来较大挑战<sup>[7]</sup>。解决此类图像目标检测问题的主要方法是“跟踪前检测”算法,其遵循“单帧检测、多帧确认”的基本思路,对于高信噪比的图像检测和高对比度的图像检测效果很好。红外成像系统在拍摄图像或视频时背景回波干扰严重,因此检测算法通常需要在跟踪目标前对输入图像序列进行红外背景抑制处理,以突出显示待检测目标,从而提高目标的单帧检测率,然后对图像进行分割以确定潜在目标,最后根据目标运动的时间相关性确定单帧检测结果,剔除虚警点,最终达到目标检测目的,前文简单介绍了红外背景抑制技术,接下来开始探讨红外序列图像中弱小目标的检测方法。

### 2.2 检测算法流程

高信噪比红外序列图像中的弱小红外目标检测流程见图2:

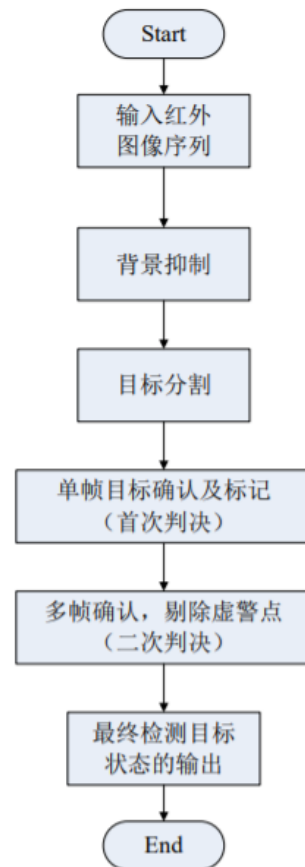


图2 高信噪比红外序列图像中的弱小红外目标检测流程

### 2.3 图像分割方法

#### (1) 基于恒虚警率阈值的图像分割方法

恒定虚警率 (Constant False Alarm Rate, CFAR) 阈值检测方法属于自适应阈值检测算法的一种。在复杂环境中确定检测率和恒定的虚警率, 在红外目标检测领域的应用广泛, 自适应阈值分割的算法公式如下<sup>[8]</sup>:

$$f_T(x, y) = \begin{cases} 0 & f(x, y) < T \\ 255 & f(x, y) \geq T \end{cases}$$

阈值一般通过以下公式确定:

$$T = u + K\sigma$$

式中  $u$  表示像素,  $\sigma$  表示图像标准差,  $K$  表示经验常数。

从上式可以看出, 如果阈值过高, 可能会出现灰度值较低的目标点, 其值小于阈值  $T$ , 被标记被认为是非目标点, 导致检测准确性下降。反之, 如果阈值过低, 可能会将一些噪声点识别为目标点, 导致虚警率提高<sup>[9]</sup>。因此, 最好的选择是随着红外图像背景噪声的变化而自适应调整虚警率  $T$  的阈值, 使虚警率保持不变。虚警率  $P_f$  是指噪声点被误认为是目标点的概率, 是衡量红外检测系统的重要指标之一。

其中,

$$P_f = \frac{1}{2} \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{\operatorname{TNR}}{\sqrt{2}} \right) \right]$$

$$\operatorname{TNR} = \frac{V_{th}}{\sigma}$$

其中,  $\sigma$  表示红外序列图像的灰度标准差,  $\operatorname{TNR}$  表示虚警率阈值噪声比,  $V_{th}$  表示虚警率阈值。

由于  $K$  为常数, 对图像处理的适应性较差, 通常取值为 6。使用恒定虚警率阈值进行图像分割的效果如图 3 所示。从图中的效果可以看出, 分割后的渲染图中有很多虚警点, 这些虚警点给后续的多帧检测带来了一些困难。图中显示了两个具有恒定误报率阈值的红外图像在多云背景下的图像分割效果。图中的  $K$  值为 6, 在分割效果方面, 该方法未能有效分割云层边缘, 导致大量虚警点产生, 效果不理想。

#### (2) 基于绝对对比度的图像分割方法

在高信噪比的红外序列图像中, 背景通常具有较大的连续区域和均匀的灰度。待检测目标的亮度高于背景的亮度, 呈现高对比度。因此, 基于图像对比度分割图像可以有效地突出目标, 达到将其与背景分

离的目的<sup>[10]</sup>。对比度是指图像中的对象与背景之间的灰度或亮度级别的差异, 其定义可表示为:

$$C = \frac{f_T - f_B}{f_{\max} - f_{\min}}$$

其中,  $f_T$  表示待检测目标的灰度值,  $f_B$  表示图像背景灰度值,  $f_{\max}$  表示灰度峰值,  $f_{\min}$  表示灰度谷值,  $C$  表示图像对比度, 绝对对比度, 定义表示为:

$$c(a, b) = m(|F(a) - t, F(b) - t|)$$

其中,  $F(b)$  表示小于门限  $t$  的灰度平均值,  $F(a)$  表示大于门限  $t$  的灰度平均值, 分割门限最理想值为

$$T = \arg \max_{0 \leq t \leq 255} (c(t))$$

基于绝对对比度的图像分割方法适用于信噪比、对比度较高的红外弱小分割, 效率高。多云背景下的两幅红外图像采用基于绝对对比度的图像分割方法分割后效果如图 4 所示, 可见该方法可有效分割图像中的弱小红外目标。

### 3 红外弱小目标检测算法性能分析

虚警率、检测率可以评价算法性能优劣。首先, 单帧检测结果只检测到目标、未检测到目标两种结果<sup>[11]</sup>。单帧检测率、误检率是单帧检测的关键指标。单帧检测率表示检测到单帧图像中目标的次数与目标真实出现次数的比值。误检率表示虚假检测到目标的次数占总检测次数的比例。而多帧检测性能分析以单帧检测为基础, 图像各帧之间的检测相互独立<sup>[12]</sup>。假设检测  $n$  帧图像, 其中共  $k$  次准确检测到目标的概率为:

$$P_n(k) = C_n^k P_A^k (1 - P_A)^{n-k}$$

其中,  $P_A$  表示单帧图像共  $k$  次准确检测到目标的概率。

多帧图像的检测率  $P_d$  可通过下列公式计算:

$$P_d = \frac{n_d}{n}$$

多帧图像中的虚警率  $P_f$  计算式如下:

$$P_f = \frac{n_f}{n}$$

其中,  $n_d$  表示检测到的目标次数,  $n$  表示图像帧数, 采用检测率、虚警率评价算法性能, 比较本文提

出的算法、高通滤波算法、背景预测算法、形态学滤波算法的图像红外弱小目标检测性能, 如表 1 所示。

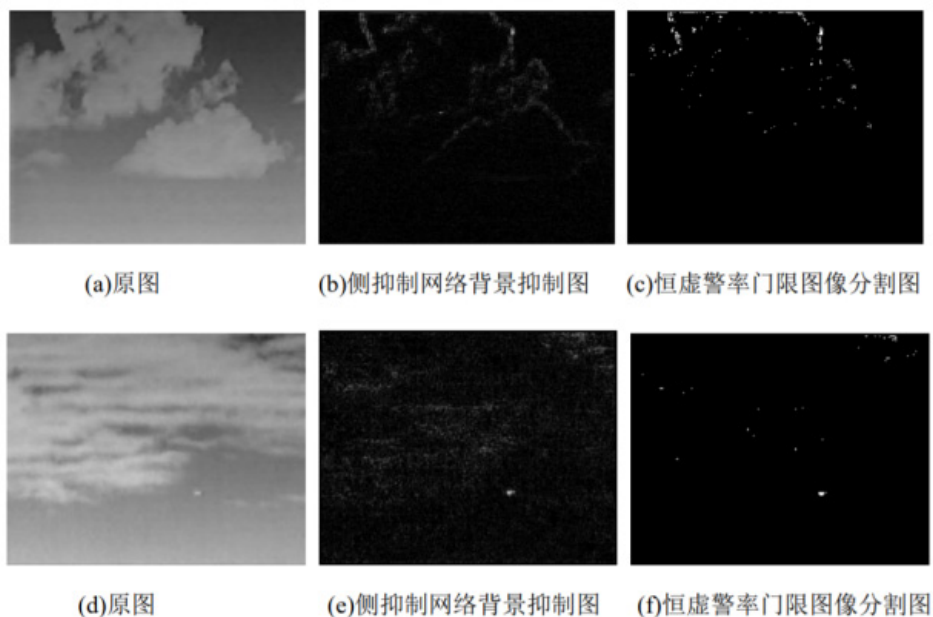


图 3 基于恒定虚警率阈值的图像分割效果

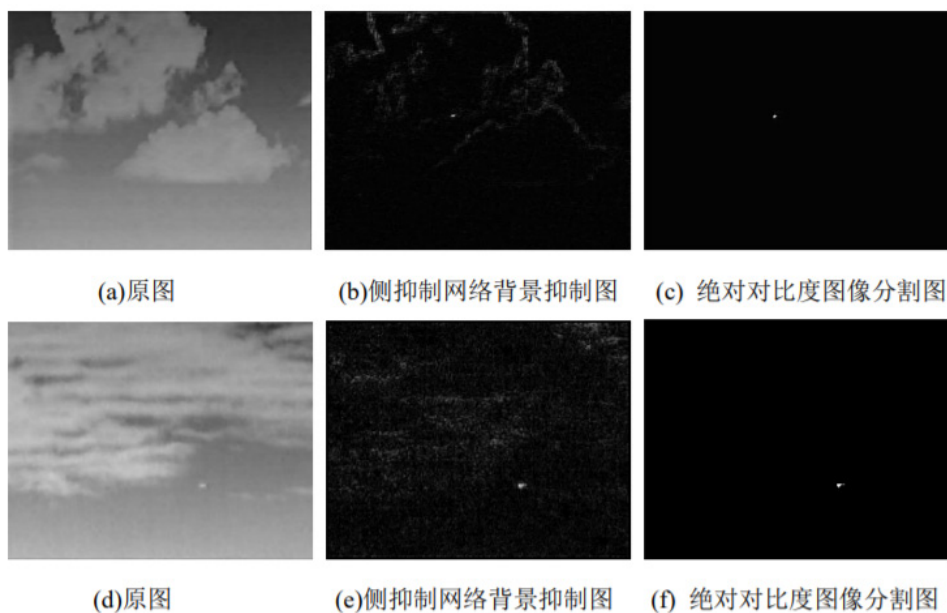


图 4 基于绝对对比度值的图像分割效果

表 1 算法检测性能比较

算法	虚警率	检测率
形态学滤波算法	9%	92%
高通滤波算法	12%	88%
背景预测算法	8%	95%
本文提出的算法	6%	96%

#### 4 结语

综上所述,为有效克服复杂环境下的传统红外弱小目标检测方法依赖背景精确分离,本文提出了新的算法,其基本步骤为:(1)红外图像预处理;(2)红外背景杂波抑制;(3)图像分割;(4)待检测目标获取。其中,红外背景抑制技术是红外弱小目标检测中的重要一步,对检测方法的实际应用效果起着至关重要的作用。本文采用基于自适应抑制网络的红外背景抑制方法,网络抑制系数由各向异性高斯滤波器确定。引入对比度尺度模型(CDSF)和强度尺度扩展模型(IDSF)来确定各向异性高斯核的两个轴,避免了长轴对短轴的限制,根据图像信息自适应确定抑制网络系数。该算法检测率达到96%,应用效果理想,未来将在不影响算法性能的前提下不断提升检测速度。

#### 参考文献

- [1] 樊华,武文波,焦智,等. 基于三维滤波的红外弱小目标检测技术研究[J]. 电子技术应用,2021,47(3):106-110.
- [2] 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] 钮赛赛,周华伟,朱婧文,等. 基于YOLO智能网络的红外弱小目标检测技术[J]. 上海航天,2019,36(5):28-34.
- [4] 孙熊伟. 复杂背景下海面红外小目标快速检测技术研究[D]. 安徽:中国科学技术大学,2019.
- [5] 杨其利,周炳红,郑伟,等. 基于全卷积网络的红外弱小目标检测算法[J]. 红外技术,2021,43(4):349-356.
- [6] 蔡云泽,张彦军. 基于双通道特征增强集成注意力网络的红外弱小目标检测方法[J]. 空天防御,2021,4(4):14-22.
- [7] 杨海静. 基于视觉特征融合的红外弱小目标检测方法研究[D]. 重庆:重庆邮电大学,2020.
- [8] 王宇翔,韩振铎,王宏敏. 基于多向差异度的红外弱小目标检测算法[J]. 红外技术,2012,34(6):351-355.
- [9] 周慧鑫,赵营,秦翰林,等. 多尺度各向异性扩散方程的红外弱小目标检测算法[J]. 光子学报,2015,44(9):146-150.
- [10] 黄苏琦. 时空谱多特征联合红外弱小目标检测方法研究[D]. 四川:电子科技大学,2020.
- [11] 寇志强,艾斯卡尔·艾木都拉. 局部最大熵的红外小目标快速检测方法[J]. 激光杂志,2020,41(7):18-22.
- [12] 张秋实. 红外和可见光图像的融合分类及红外目标检测[D]. 北京:北京化工大学,2018.

**版权声明:** ©2023 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



**OPEN ACCESS**