

基于增强局部对比度的红外弱小目标检测方法

袁明^{1,2*}, 宋延嵩^{2**}, 张梓祺², 赵馨¹, 赵博²¹长春理工大学电子信息工程学院, 吉林 长春 130022;²长春理工大学空间光电技术研究所, 吉林 长春 130022

摘要 针对局部对比度方法对红外目标进行检测时难以提升目标的显著性及抑制背景困难的问题,提出一种基于特殊预处理的增强局部对比度方法来检测目标。通过快速中值滤波去除高频噪声,通过改进的形态学梯度来抑制背景,通过增强的局部对比度来提高目标的显著性,最后通过自适应阈值来获取需要检测的真实目标。结果表明,同经典人类视觉系统的检测方法相比,所提方法在检测红外弱小目标时具有优越性,在高亮度背景情况下效果更为显著。

关键词 红外弱小目标; 目标检测; 人类视觉系统; 局部对比度; 快速中值滤波; 形态学梯度

中图分类号 TP391.9

文献标志码 A

DOI: 10.3788/LOP212575

Infrared Dim Small Target Detection Method Based on Enhanced Local Contrast

Yuan Ming^{1,2*}, Song Yansong^{2**}, Zhang Ziqi², Zhao Xin¹, Zhao Bo²¹College of Electronic Information Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, Jilin, China;²Institute of Space Photoelectrics Technology, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, Jilin, China

Abstract The local contrast method is difficult to improve the significance of the target and suppress the background in infrared target detection, thus an enhanced local contrast method based on ring special preprocessing is proposed to detect targets. The high-frequency noise is removed by fast median filtering, the background is suppressed by improved morphological gradient, the significance of the target is improved by enhanced local contrast, and finally the real target to be detected is obtained by self-adaptive threshold. The results show that compared with the classical detection methods of human visual system, the proposed method has advantages in detecting infrared weak and small targets, and the effect is more significant in high brightness background.

Key words infrared small target; target detection; human visual system; local contrast; fast median filtering; morphological gradient

1 引言

随着无人机领域的飞速发展,“低、小、慢”目标的威胁日渐增大^[1]。“低、小、慢”目标通常指飞行高度在 1000 m 以下、飞行速度小于 200 km/h、雷达反射面积小于 2 m² 的小型飞行器。“低、小、慢”目标在成像系统中所占的像素点较少,在图像上占 3×3 到 9×9 个像素,因此实际小目标图像的像素占全图像素几十万分之一,同时在成像时往往存在着许多复杂的高亮度背景,小目标很容易被淹没在背景中。由于成像系统和

背景原因,会不可避免地存在着高频噪声,高频噪声在像素值上与目标非常接近,在检测过程中会造成虚警。

为解决这些问题,一批研究人员提出了不同的方法^[2]。郑浦等^[3]根据基于深度学习的方法,提出了改进的 SSD 算法,但是该算法所能检测的目标范围最小为 13×13。王笛等^[4]以双边滤波为基础进行红外目标检测,通过引入背景相关度因子来减少背景抑制对目标的影响。Zhang 等^[5]提出墨西哥帽分布方法,该方法根据目标的点扩散性来进行分析,但是也没能解决检测尺度相对较小的问题。朱婧文等^[6]提出一种改进复杂

收稿日期: 2021-09-22; 修回日期: 2021-11-11; 录用日期: 2021-12-21; 网络首发日期: 2022-01-02

基金项目: 吉林省科学技术厅项目(202002036JC)

通信作者: *850356084@qq.com; **songyansong2012@126.com

度的方法。由于“低、小、慢”的特殊性质,传统的算法都具有各自的不足之处。

近年来,人类视觉系统(HVS)^[7]逐渐作为红外弱小目标的主要检测思想。Chen等^[7]提出局部对比度衡量(LCM)算法,该算法采用嵌套窗口获取目标信息。张祥越等^[8]提出改进的局部对比度衡量(ILCM)算法。韩金辉等^[9-10]改进了局部对比度方法,引入了融合计算的思想。潘胜达等^[11]改变局部对比度比较层数,将传统的单层结构替换成了双层结构(DLCM),韩金辉等^[12]将双层结构扩展到了三层,这些方法的评价指标均有 20% 提升。Shi等^[13]引入了高增强滤波器,在预处理的角度上做出改变,有效地增强了目标的显著性。Han等^[14]提出相对 LCM(RLCM),改变了传统的对比度计算方式,同时引入差分和比值。新型 LCM(NLCM)方法^[15]通过多极值的方式减小噪声对算法的影响。还有绝对方向平均差(ADMD)^[16],其引入零值抑制,使评价指标提升为传统算法的 36 倍。

对于目标检测方法,形态学方法提升目标的显著性能力比较差,局部对比度对背景的抑制能力比较差。而近几年的研究中,大多将重点仅放在对局部对比度的构造上,使得问题越来越复杂。针对上述问题,本文提出了一种基于预处理的增强局部对比度的弱小目标检测算法,在局部对比度改进上从预处理方法入手,使用快速中值滤波,用于去除高频噪声;使用基于环状元素的形态学梯度进行背景抑制,用于去除高亮度背景,同时还具有保留小目标的能力;同时从对角和正交两个角度对局部对比度的滑动窗口进行分解并计算增强对比度。所提算法在抑制背景和噪声的同时保留目标一定的显著性。

2 传统的局部对比度算法

根据人类视觉系统的原理往往能够很快地准确从复杂场景中发现小目标,这是因为目标在灰度值上相对于背景具有显著性。通常以图 1 所示的滑动窗口来对整幅图像以从左到右、从上到下的方式进行遍历。其中 $B_1 \sim B_8$ 图像块代表背景区域子窗口, T 块代表目标区域子窗口,后续操作中用 0 号窗口表示,由于红外弱小目标的大小通常为 $3 \times 3 \sim 9 \times 9$ 个像素,因此通常设置其中每一个子窗口均包含 3×3 个像素。传统

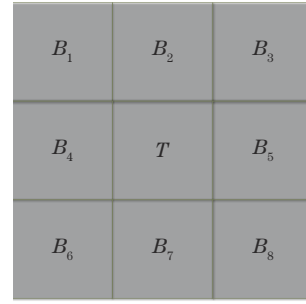


图 1 传统局部对比度滑动窗口

Fig. 1 Traditional local contrast sliding window

的局部对比度方法如下。

为了进行局部对比度计算,需要对每一个子窗口进行均值信息计算:

$$m_i = \frac{1}{n^2} \sum \sum I_i(x, y), i = 0, 1, \dots, 8, \quad (1)$$

式中: m_i 为一个子窗口的像素均值; $I_i(x, y)$ 为某一个子窗口内的像素值; n 通常代表子窗口的大小, $n=3$ 。以某一像素为中心展开的 3×3 的区域和滑动窗口中心子窗口相重合时,该点的像素值可以由该点的局部对比度来表示:

$$C_{LCM} = \min_i \left(L_0 \times \frac{L_0}{m_i} \right) = \min_i \left(\frac{L_0^2}{m_i} \right), \quad (2)$$

式中: L_0 为滑动窗口中心块的所有像素灰度值的最大值。通过使用该模板对图像进行遍历,可以得到图像整体的 LCM 计算结果,以便进行下一步的阈值分割。

通过各个图像块的均值信息,可以得到在不同算法下的局部对比度。对于局部对比度的计算方法,需要考虑各种不同的因素,比如高亮度背景的抑制、高频噪声的抑制、背景边缘的抑制^[17],但是都会使得建模变得相对复杂。

3 基于局部对比度的小目标检测

在实际检测过程中,高频噪声和高亮度背景是目标检测的主要干扰。传统的局部对比度计算中,由于考虑这些问题,算法结构相对复杂。为了简化这一过程,本文采用图像预处理的方式来使得局部对比度的建模过程变得简便。

所提算法的整体示意图如图 2 所示。首先对红外

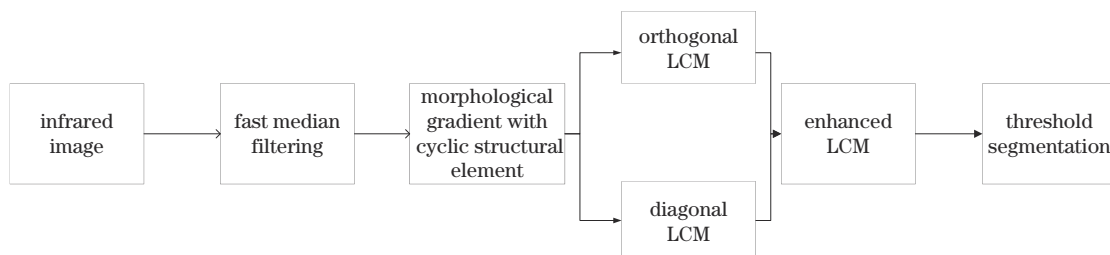


图 2 所提算法的整体流程

Fig. 2 Overall of proposed algorithm

图像进行快速中值滤波,去除高频噪声;使用基于环状结构元素的形态学梯度,在保护目标的同时抑制背景,并通过两个角度构造局部对比度;最后通过阈值分割方法分割出目标。

3.1 快速中值滤波

真实的图像往往会存在许多高频噪声,总会存在着和目标像素值接近的噪声像素,这会给目标的检测造成虚警。由于在局部对比度滤波之后通常会使用自适应阈值对图像进行二值化,因此高频噪声难以去除,为了能确定在目标检测时不检测到高频噪声,需要进

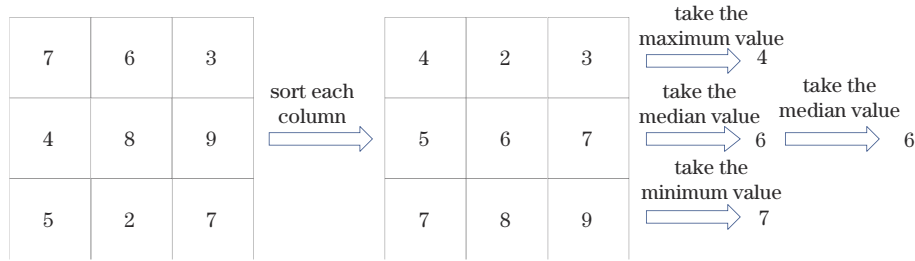


图 3 快速中值滤波示意图

Fig. 3 Schematic of fast median filtering

在目标检测过程中,图像中存在的高频噪声容易对目标检测的结果造成混淆,并且在阈值分割阶段无论如何对阈值进行调节都不能实现分割,因此引入中值滤波对高频噪声进行处理。

快速中值滤波相较于传统中值滤波不仅具有更快的速度,同时还具有一定的自适应性。在使用快速排序方法过程中会得到最大值、最小值、中值,当中值和该点的像素值均不在最大、最小值区间时,需要扩大中值滤波的窗口,直到符合上述条件。

3.2 改进的形态学梯度

在出现局部对比度滤波方法之前,形态学目标检测是红外小目标检测的主要方法之一,而膨胀和腐蚀是其中最基本的操作。现腐蚀和膨胀定义为

$$A \odot B = \{z|(B)_z \subseteq A\}, \quad (3)$$

$$A \oplus B = \{z|(B)_z \cap A \neq \emptyset\}, \quad (4)$$

式中: A 为原图像; B 为结构元素; z 表示结构元素在原图像 A 上的位移; $A \odot B$ 是腐蚀操作,用于减小图像的灰度值; $A \oplus B$ 为膨胀操作,用于增大图像的灰度值。基于膨胀和腐蚀操作,可以得到形态学梯度操作。本文使用基本形态学梯度^[19],其他形态学梯度并不能完整保留能代表计算局部对比度的目标信息,也不能将目标视为背景边缘保存下来。基本形态学梯度操作为

$$C = A \oplus B - A \odot B, \quad (5)$$

式中: C 表示形态学梯度的计算结果。

结构元素的选取对形态学变换来说非常重要,为了使得形态学梯度可以针对红外小目标的特性保留相应的目标区域,本文引入一种环状结构元素^[17],通过环状元素加强形态学变换能保留小目标的能力。图 4 为

行噪声相关的预处理。中值滤波是常用的用于高频噪声的预处理算法^[18]。在复杂天空背景下,经常会存在高频噪声,这会影响到目标检测的准确率和虚警率。因此引入快速中值滤波对高频噪声进行处理,弥补了局部对比度算法对高频噪声处理的缺陷。

快速中值滤波的计算方式为:首先以列为单位进行升序排列;然后分别将第 1 行的最大值、第 2 行的中值、第 3 行的最小值提取出来;最后从这三个值中所提取的中值,就是此时窗口内的中值。具体过程示意图如图 3 所示。

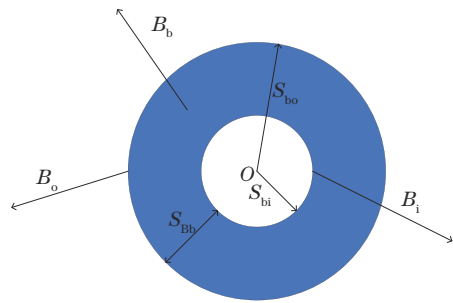


图 4 环状结构元素

Fig. 4 Cyclic structural element

环状结构元素的结构。其中, O 为圆环的圆心, B_i 为内部结构元素, B_o 为外部结构元素, B_b 为中间结构元素, S_{bi} 、 S_{bo} 、 S_{bb} 分别为对应结构元素所具有的面积。其本质是在使用腐蚀和膨胀的时候使用了不同大小的结构元素,此处大小指的是尺寸大小,分别使用尺寸大小为 5×5 和 7×7 的结构元素。环状结构元素可以使得形态学变换在抑制背景的同时可以对目标有一定的保留。

3.3 局部对比度检测

在传统的局部对比度算法中,由于没有使用算法对图像进行过预处理,使用 8 邻域子块的方式保留图像的信息。而所提算法使用了自适应中值滤波和形态学梯度作为预处理的方式,可以适当地改变计算方式,减少局部对比度中的计算量。

目标在图像中以一个特殊的点表现,这一个特殊的点同时具有正交方向上的特征,也具有对角方向上的特征,通过对像素块按照方向特征进行分解并分别计算,可以得到一组局部对比度,使得目标更具有显著性。

a) 正交分割窗口

图 5 中, 每个窗口大小为 $n \times n$ 个像素, 其中心图像块 T 代表目标区域, $B_1 \sim B_8$ 区域为背景区域。为了实现对图像数据的拆分, 同时考虑目标的点扩散性质, 仅将与目标图像块相邻的 4 个图像块加入正交局部对比度计算中, 图 5 黑色区域为暂不考虑计算的区域。

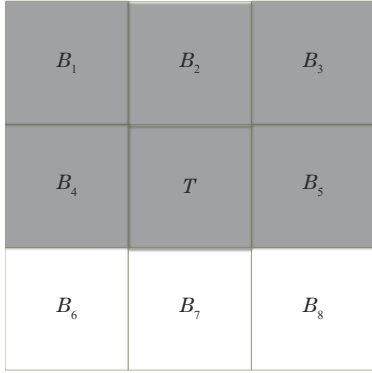


图 5 拆分滑动窗口结构

Fig. 5 Splitting sliding window structure

$$L = \max \{ I_T(x, y) \}, \quad (6)$$

式中: $I_T(x, y)$ 为中心子窗口的像素值; L 为中心子窗口的最大像素值。由于 $I_T(x, y)$ 经过快速中值滤波处理, 每个背景子窗口的像素均值计算方式为

$$m_{i_0} = \frac{1}{n^2} \sum \sum I_i(x, y), \quad i = 0, 2, 4, 5, 7. \quad (7)$$

其中需要计算所有背景子窗口的像素均值, 公式为

$$m_{u_0} = \frac{1}{4} \sum m_i, \quad i = 2, 4, 5, 7, \quad (8)$$

式中: m_{i_0} 为正交分块下每个子图像块的像素均值; m_{u_0} 为正交分块情况下所有背景子窗口的像素均值。

在该种对图像块分组的方式下, 正交局部对比度衡量(OLCM)为

$$C_{OLCM} = L \times \frac{m_{i_0}}{m_{u_0}}. \quad (9)$$

这种滑动窗口的选取方式可以获取局部对比水平与垂直方向上的特征, 同时利用了点扩散的性质, 但是在减少数据计算量的同时, 会造成结果的不准确。

b) 对角滑动窗口

相似地, 在图 5 中, 仅将目标图像块与 4 个对角图像块加入对角局部对比度计算中, 而与目标块直接相邻的 4 个白色图像块暂不考虑计算。计算方式为

$$m_{i_d} = \frac{1}{n^2} \sum \sum I_i(x, y), \quad i = 0, 1, 3, 6, 8, \quad (10)$$

$$m_{u_d} = \frac{1}{4} \sum m_i, \quad i = 1, 3, 6, 8, \quad (11)$$

式中: m_{i_d} 为对角分块下每个子图像块的像素均值; m_{u_d} 为对角分块情况下所有背景子窗口的像素均值。

在此图像分块方式下, 对角局部对比度衡量(DLCM)为

$$C_{DLCM} = L \times \frac{m_{i_d}}{m_{u_d}}. \quad (12)$$

当目标处于背景边缘时, 使用对角局部对比度同样可以有效地抑制边缘背景。

c) 增强局部对比度

实际上, 两种方法仅仅从两种角度将局部对比度的计算从八邻域改为四邻域, 并不能涵盖目标的所有特征, 为了在维持目标本具有的特征下, 再增强目标的显著性, 对两种局部对比度进行算术叠加:

$$C_{ELCM} = \alpha \times C_{OLCM} + \beta \times C_{DLCM}. \quad (13)$$

ELCM 称为增强局部对比度, 是两种角度得到的 LCM 乘上相应的权值再相加得到的。由于本文在下一阶段对生成的叠加图像进行归一化, 权值设置的意义不大, 且将权值设置为 1。如果不进行归一化, 可以设置其他权值。

3.4 归一化

由于对从两个角度分割的显著图结果进行叠加, 目标区域的像素值会远大于原本像素的最大值, 如果没有在叠加的过程中追加权值, 为避免像素值溢出, 出现目标外局部白色的情况, 需要将所有的像素统一规范化到 $[0, 255]$ 范围内。

为保留目标的显著性, 使用最大最小值来对像素值进行归一化, 公式为

$$I_{NORM}(x, y) = \frac{[I_{ELCM}(x, y) - V_{\min I}] \times (V_{\max} - V_{\min})}{V_{\max I} - V_{\min I}}, \quad (14)$$

式中: V_{\max} 和 V_{\min} 为所定义的最大像素值和最小像素值, 由于使用 8 bit 图像, 分别设置为 255 和 0; $V_{\max I}$ 和 $V_{\min I}$ 为当前图像最大的灰度值和最小的灰度值; $I_{ELCM}(x, y)$ 为局部对比度叠加后需要归一化的某一像素; $I_{NORM}(x, y)$ 为最终要替换的归一化后的像素值。这种归一化的方法在保留图像特征的同时也为阈值提取提供了方便。

3.5 阈值操作提取目标

在经过局部对比度计算得到显著图后, 由于使用形态学梯度作为预处理方法, 真实目标具有相对的显著性而非绝对的显著性, 因此需要使用阈值分割来提取目标。阈值分割定义为

$$T_{th} = u + k \times \sigma, \quad (15)$$

式中: u 是显著图的所有像素的均值; σ 为显著图的所有像素的方差; k 为自适应系数, 取值会随着目标的改变而改变, 设置为 3~5, 这是一种基于高斯阈值的阈值定义, 可以捕获大量数据中的信息, 同时也契合小目标的点扩散特性。这样经过阈值分割后, 在确保目标完整且具有一定显著性的同时, 还能保证目标检测的正确性。为了将目标在原图上进行表示, 需要求取分割后的目标区域

的质心^[20],目标无关的干扰部分已经被完全抑制,因此是对整幅图像的叠加。由于阈值化的同时进行二值化操作,因此被抑制的部分像素值为0,未被抑制的目标区域像素值为1。故目标质心的求取公式为

$$x_t = \frac{\sum_{(x,y)} x \times I_{\text{NORM}}(x,y)}{\sum_{(x,y)} I_{\text{NORM}}(x,y)}, \quad (16)$$

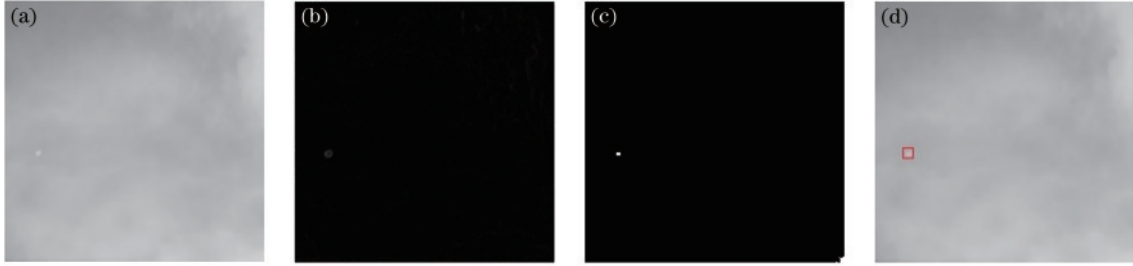


图6 所提算法的处理示例。(a)预处理图像;(b)局部对比度图像;(c)阈值分割图像;(d)标记的原图

Fig. 6 Processing examples of the proposed algorithm. (a) Pretreatment image; (b) local contrast image; (c) threshold segmentation image; (d) marked original image

4 实验结果与分析

4.1 实验设计

为了验证红外小目标检测系统的有效性,利用典型的红外小目标图像数据对包括噪声和高亮度背景在内的复杂背景进行仿真实验。所有的实验均在Nvidia生产的Jetson Tegra X2开发板上进行。该开发板具有4个ARM Cortex-A57核心,2个NVIDIA Denver 2 ARM CPU核心。最终在OpenCV-4.1.1的程序环境中实现算法。

为了验证所提算法的有效性,选用ILCM、TOP-HAT、MLCM方法进行比较。其中,ILCM方法是经典的局部对比度算法, TOP-HAT算法是典型的形态学滤波方法,MLCM是使用了高增强滤波图像预处理的局部对比度方法。

为了进一步验证所提算法的性能,引入信噪比增益(SCRG)表示算法适用前后信噪比的增加程度,引入背景抑制因子(BSF)表示算法处理后背景杂波和噪声的剩余程度。其中信噪比增益的计算方式为

$$R_{\text{SCR}} = \frac{|u_t - u_b|}{\sigma_b}, \quad (18)$$

$$R_{\text{SCRG}} = \frac{R_{\text{SCR}_0}}{R_{\text{SCR}_i}}, \quad (19)$$

式中: R_{SCR_i} 为图像检测前的信噪比; R_{SCR_0} 为检测之后的信噪比; u_t 和 u_b 分别为图像中目标区域和背景区域的像素灰度均值; σ_b 为图像背景部分的灰度值标准差。

背景抑制因子用来表示包括高频噪声和边缘背景在内的背景杂波的抑制情况。背景抑制因子的计算方式为

$$F_{\text{BSF}} = \frac{\sigma_{\text{bi}}}{\sigma_{\text{bo}}}, \quad (20)$$

$$y_t = \frac{\sum_{(x,y)} y \times I_{\text{NORM}}(x,y)}{\sum_{(x,y)} I_{\text{NORM}}(x,y)}, \quad (17)$$

式中: (x,y) 为显著图中某一个像素点的坐标值; $I_{\text{NORM}}(x,y)$ 为归一化后对应点的像素值。图像处理的算法步骤示例如图6所示。

式中: σ_{bi} 为目标检测前图像灰度值的标准差; σ_{bo} 为目标检测后图像灰度值的标准差。

4.2 目标检测结果

为了验证所提算法的检测结果,采用3组不同的红外图像序列进行测试,测试时所用图像缩放至 256×256 的相同大小。几种方法得到的检测结果如图7所示。

从图7可以看出:每种算法在正常情况下均能检测出目标;虽然ILCM算法检测性能比较好,但是在遇到高亮度背景时会造成严重的检测错误;TOP-HAT算法也会将目标识别错误,同时还会丢失目标;MLCM算法由于高度增大了一些像素的像素值,也可以在各种情况下准确地找出目标;所提算法由于高度抑制了背景和噪声,在每种条件下检测效果都相对良好。

4.3 算法评价指标性能分析

为了验证算法的性能并对其进行量化,表1和表2分别给出了目标检测算法对3组红外图像序列进行处理后得到的BSF和SCRG值。第1组为在灰色背景天空的单目标图像,第2组为灰色背景天空下的多目标图像,第3组为高亮度背景下的单目标图像。在红外目标检测过程中,BSF和SCRG越高,算法的性能越好。

在不同的图像下:ILCM的两种指标均相对不高;MLCM在遇到高亮度或复杂背景时,抑制背景的能力较弱;TOP-HAT由于具有形态学操作的特性,背景抑制的能力相对较强,但是没有使目标显著的能力,信噪比增益相对较弱;所提算法结合了形态学操作的优点,信噪比增益平均可以达对比算法的10倍,背景抑制因子可以达对比算法的9倍。

为了体现所提算法在时间上的性能,还将单帧检

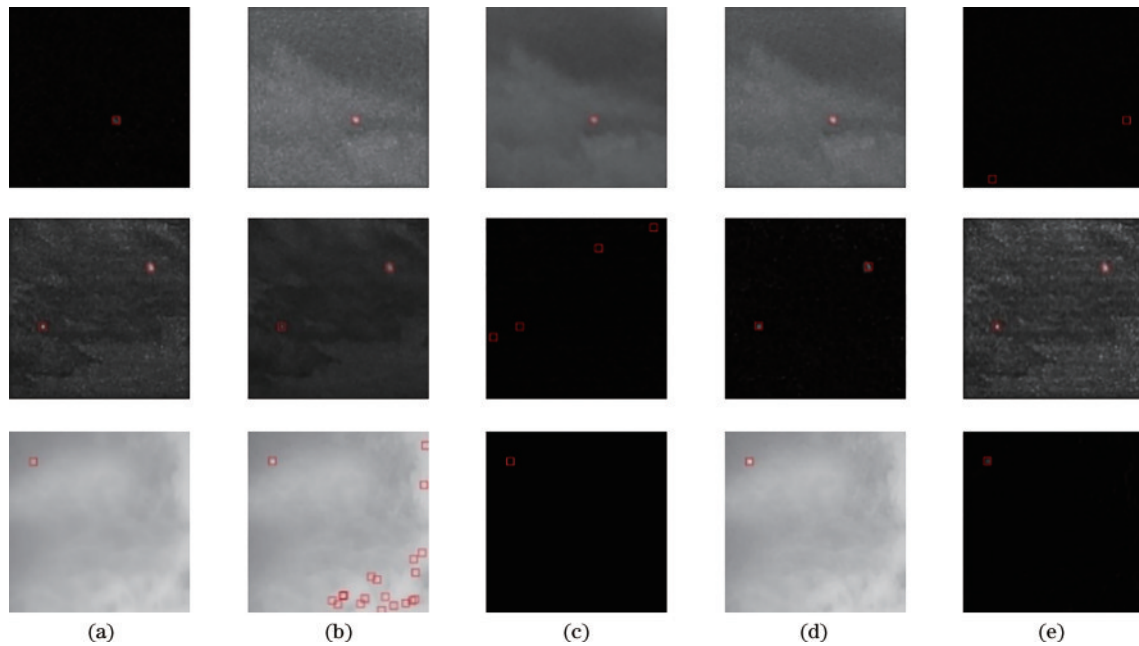


图 7 4 种方法的检测结果。(a)原图; (b)ILCM; (c) TOP-HAT; (d)MLCM; (e)所提算法

Fig. 7 Detection effects of four algorithms. (a) Original image; (b) ILCM; (c) TOP-HAT; (d) MLCM; (e) proposed algorithm

表 1 三种场景下各算法的信噪比增益

Table 1 SCRG of each algorithm at three scenes

Algorithm	Dataset 1	Dataset 2	Dataset 3
ILCM	1.16201	1.07561	0.35458
TOP-HAT	0.266889	0.279975	1.59188
MLCM	0.734559	0.421035	1.15711
Proposed algorithm	1.64273	7.41625	10.7065

表 2 三种场景下各算法的背景抑制因子

Table 2 BSF of each algorithm at three scenes

Algorithm	Dataset 1	Dataset 2	Dataset 3
ILCM	1.11565	1.01187	0.64693
TOP-HAT	2.05966	1.50938	3.87014
MLCM	0.773845	0.53265	0.987807
Proposed algorithm	2.31521	1.35145	6.21517

测时间结果与其他算法作对比。计算 10 张图片处理所用的平均时间作为最终结果,结果如表 3 所示。由对比结果可知:由于局部对比度本是一种计算量大的方法,故 TOP-HAT 在时间上具有一定的优越性;所提算法相对于 MLCM 和 ILCM,平均时间上减少了约 0.01 s。

为了更直观地展现所提算法性能,通过对每组图

表 3 三种场景下各算法的计算时间

Table 3 Time of each algorithm at three scenes unit: s

Algorithm	Dataset 1	Dataset 2	Dataset 3
ILCM	0.1884	0.1838	0.1809
TOP-HAT	0.0671	0.0690	0.0851
MLCM	0.1824	0.1849	0.1808
Proposed algorithm	0.1830	0.1809	0.1754

像序列取 15 帧进行比较,根据图像的检测数据可以得到检测概率和虚警率。由于进行单目标检测,故列举的所有算法的检测率近似为 100%。在此条件下,对目标检测的虚警率(P_f)进行比较,结果如表 4 所示。

$$P_f = \frac{N_f}{N}, \quad (21)$$

式中: N_f 为虚假目标的帧数; N 为图像总帧数。

表 4 三种场景下各算法的虚警率

Table 4 False alarm rate of each algorithm at three scenes

Algorithm	Dataset 1	Dataset 2	Dataset 3
ILCM	0.133	0.4	0.6
TOP-HAT	0.467	1	0.2
MLCM	0	0	0.133
Proposed algorithm	0	0	0

由表 4 可以看出:ILCM 在亮背景下很容易出现虚警;TOP-HAT 会出现一组序列完全虚警的情况;所提算法在暗背景下也会产生一定的虚警率,而使用了高增强滤波的 MLCM 可以有效地增强暗背景,但是当遇到亮背景时,所提算法依旧有效且准确。总体来看,所提算法可以适应常规背景,而在高亮度背景下具有更显著的效果,可以降低虚警。

5 结 论

针对以无人机为主的红外“低、小、慢”目标,提出了一种结合特殊预处理与增强局部对比度的方法,使得局部对比度方法与形态学方法相互弥补的同时能保持对红外小目标检测的能力。为了消除图像中可能存在的高频噪声,对图像使用中值滤波。通过对图像引入基于环状结构元素的形态学基本梯度操作,抑制图

像的高亮度背景,最终通过质心来对目标进行标记。通过引入形态学变换和局部对比度的优点弥补各自的缺点。通过实验数据,验证了所提算法在解决普通图像序列时信噪比增益和背景抑制因子可以达对比算法的 2~3 倍,在高亮度背景下背景抑制因子可以达 9 倍,计算时间相较对比算法平均少 0.01 s。进一步开展的工作重点则是开发并行程序并将 TX2 开发板在工程应用中使用以增强算法的实时性,以及寻找更好的预处理方法进一步放大局部对比度算法的性能。

参 考 文 献

- [1] 屈旭涛, 庄东晔, 谢海斌. “低慢小”无人机探测方法[J]. 指挥控制与仿真, 2020, 42(2): 128-135.
Qu X T, Zhuang D Y, Xie H B. Detection methods for low-slow-small (LSS) UAV[J]. Command Control & Simulation, 2020, 42(2): 128-135.
- [2] 王好贤, 董衡, 周志权. 红外单帧图像弱小目标检测技术综述[J]. 激光与光电子学进展, 2019, 56(8): 080001.
Wang H X, Dong H, Zhou Z Q. Review on dim small target detection technologies in infrared single frame images[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2019, 56(8): 080001.
- [3] 郑浦, 白宏阳, 李伟, 等. 复杂背景下的小目标检测算法[J]. 浙江大学学报(工学版), 2020, 54(9): 1777-1784.
Zheng P, Bai H Y, Li W, et al. Small target detection algorithm in complex background[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2020, 54(9): 1777-1784.
- [4] 王笛, 沈涛. 复杂天空背景下的红外弱小目标检测算法研究[J]. 光学学报, 2020, 40(5): 0512001.
Wang D, Shen T. Research on weak and small infrared target detection algorithm under complex sky background[J]. Acta Optica Sinica, 2020, 40(5): 0512001.
- [5] Zhang Y B, Zheng L Y, Zhang Y B. Small infrared target detection via a Mexican-hat distribution[J]. Applied Sciences, 2019, 9(24): 5570.
- [6] 朱婧文, 刘文好, 印剑飞, 等. 基于改进复杂度的红外弱小目标区域检测算法[J]. 激光与光电子学进展, 2018, 55(10): 101006.
Zhu J W, Liu W H, Yin J F, et al. Infrared small target regions detection based on improved image complexity[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2018, 55(10): 101006.
- [7] Chen C L P, Li H, Wei Y T, et al. A local contrast method for small infrared target detection[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2014, 52(1): 574-581.
- [8] 张祥越, 丁庆海, 罗海波, 等. 基于改进 LCM 的红外弱小目标检测算法[J]. 红外与激光工程, 2017, 46(7): 0726002.
Zhang X Y, Ding Q H, Luo H B, et al. Infrared dim target detection algorithm based on improved LCM[J]. Infrared and Laser Engineering, 2017, 46(7): 0726002.
- [9] 韩金辉, 董兴浩, 蒋亚伟, 等. 基于局部对比度机制的红外弱小目标检测算法[J]. 红外技术, 2021, 43(4): 357-366.
Han J H, Dong X H, Jiang Y W, et al. Infrared small dim target detection based on local contrast mechanism[J]. Infrared Technology, 2021, 43(4): 357-366.
- [10] 陈园园, 韩金辉, 张鸿辉, 等. 采用反向局部多样加权对比度检测的红外弱小目标检测(英文)[J]. 红外与激光工程, 2021, 50(8): 151-167.
Chen Y Y, Han J H, Zhang H H, et al. Infrared small dim target detection using local contrast measure weighted by reversed local diversity[J]. Infrared and Laser Engineering, 2021, 50(8): 151-167.
- [11] 潘胜达, 张素, 赵明, 等. 基于双层局部对比度的红外弱小目标检测方法[J]. 光子学报, 2020, 49(1): 0110003.
Pan S D, Zhang S, Zhao M, et al. Infrared small target detection based on double-layer local contrast measure[J]. Acta Photonica Sinica, 2020, 49(1): 0110003.
- [12] 韩金辉, 蒋亚伟, 张小件, 等. 采用三层窗口局部对比度的红外弱小目标检测[J]. 红外与激光工程, 2021, 50(2): 20200146.
Han J H, Jiang Y W, Zhang X J, et al. Infrared small target detection using tri-layer window local contrast[J]. Infrared and Laser Engineering, 2021, 50(2): 20200146.
- [13] Shi Y F, Wei Y T, Yao H, et al. High-boost-based multiscale local contrast measure for infrared small target detection[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2018, 15(1): 33-37.
- [14] Han J H, 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.
- [15] Qin Y, Li B. Effective infrared small target detection utilizing a novel local contrast method[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2016, 13(12): 1890-1894.
- [16] Moradi S, Moallem P, Sabahi M F. Fast and robust small infrared target detection using absolute directional mean difference algorithm[J]. Signal Processing, 2020, 177: 107727.
- [17] 吴言枫, 王延杰, 孙海江, 等. 复杂动背景下的“低小慢”目标检测技术[J]. 中国光学, 2019, 12(4): 854-866.
Wu Y F, Wang Y J, Sun H J, et al. LSS-target detection in complex sky backgrounds[J]. Chinese Optics, 2019, 12(4): 854-866.
- [18] 曾溢良, 蓝金辉, 邹金霖. 滑动置信度约束的红外弱小目标跟踪算法研究[J]. 兵工学报, 2017, 38(9): 1771-1778.
Zeng Y L, Lan J H, Zou J L. Research on infrared dim-small target tracking algorithm with template sliding confidence constraint[J]. Acta Armamentarii, 2017, 38(9): 1771-1778.
- [19] Bai X Z, Zhou F G. Analysis of new top-hat transformation and the application for infrared dim small target detection[J]. Pattern Recognition, 2010, 43(6): 2145-2156.
- [20] Zhang K, Yang K, Li S Y, et al. A difference-based local contrast method for infrared small target detection under complex background[J]. IEEE Access, 7: 105503-105513.