

窗口热辐射下基于视觉显著性的红外目标检测方法

彭志勇^{1,2,3}, 王向军^{1,2}, 卢进³

- (1. 天津大学 微光机电系统技术教育部重点实验室, 天津 300072;
2. 天津大学 精密测试技术及仪器国家重点实验室, 天津 300072;
3. 天津津航技术物理研究所, 天津 300308)

摘要: 针对红外成像应用于高速飞行器发展的需求, 开展了光学窗口气动热辐射条件下的目标检测方法研究。首先介绍了目前小目标检测方法工程应用现状及其应用于气动效应条件的不足, 总结了窗口红外热辐射的特征分析, 给出了图像整体灰度分布, 目标对比度、目标灰度与边缘变化程度的分析; 针对热辐射特征与图像特点, 提出了基于梯度域的视觉显著性目标检测方法, 并给出了算法运行的流程; 最后, 从背景抑制后的目标对比度、运行时间、检测效果等方面, 对提出的方法与常用的小目标检测算法进行了对比实验, 显示了方法在处理窗口热辐射条件下的目标检测性能的优越性。

关键词: 高温窗口; 红外辐射; 目标检测; 视觉显著性

中图分类号: TN219 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2014)06-1772-05

Infrared target detection under hot dome infrared radiation based on visual saliency method

Peng Zhiyong^{1,2,3}, Wang Xiangjun^{1,2}, Lu Jin³

- (1. MOEMS Education Ministry Key Laboratory, Tianjin University, Tianjin 300072, China;
2. State Key Laboratory of Precision Measurement Technology and Instruments, Tianjin University, Tianjin 300072, China;
3. Tianjin Jinhang Institute of Technical Physics, Tianjin 300308, China)

Abstract: For infrared imaging meeting the development needs of high-speed aircraft, a target detection method under the condition of high heat dome infrared radiation was proposed. Firstly, the current small target detection method used in current engineering application and its flaws was described when facing aero-thermal effect during high speed fly. Then infrared radiation characteristics of heat dome were analyzed in aspect of the energy intensity distribution, the target contrast, target gray and edge changes. According to radiation characteristics and features, target detection method was proposed based on the gradient domain saliency. And the detail processes was given in the paper; finally, target contrast after background suppressing, running time, detection rate, etc. were compared between the proposed method and the commonly used small target detection algorithms. The experiments showed that the proposed method performs superiority under the conditions of thermal radiation target detection.

Key words: high heat dome; infrared radiation; target detection; visual saliency

收稿日期: 2013-10-15; 修订日期: 2013-11-24

基金项目: 国家自然科学基金与中国民用航空总局联合研究基金(61179043); 国家教育部支撑项目(625010110)

作者简介: 彭志勇(1984-), 男, 博士生, 主要从事红外成像探测及其信息实时处理的研究。Email: foxdox@163.com

导师简介: 王向军(1955-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事光电探测技术及仪器与视觉测量方面的研究。

0 引言

带光学成像系统的高速飞行器为地面时间敏感目标精确打击提供了一种手段,但飞行器在稠密大气层中高速飞行时,红外成像系统将面临气动光学效应等一系列问题。在气动光学效应诸多表现形式中,又以窗口热辐射效应对红外成像的影响较为严重。

传统亚声速地面海面红外小目标检测技术研究得较多,方法也较为成熟。譬如常见的基于形态学方法、中值滤波方法、多级滤波方法的背景抑制技术,在天空背景、海面背景的小目标检测中都有所应用,且它们计算量较小,能满足系统的实时性要求,在工程中已经广泛应用^[1-3]。

新型的目标检测算法,譬如类似 SIFT 算法的基于梯度方向直方图的方法,在一些面目标譬如行人^[4-5]、大型建筑物、大型舰船的检测识别中也有所应用,但该算法设计较为复杂,梯度方向特征向量的提取等计算量大,且不利于使用可编程逻辑器件等硬件开展并行计算,且在实时性要求非常高的场合,实用性较差。传统地面移动目标检测主要采用基于图像配准并差分的运动特征检测的技术。配准要求图像帧间的点特征或灰度特征变化较小,利用 SIFT 特征点匹配方法或者区域相关匹配的方法,提取特征不变点或者特征不变区域的位置,通过解算相邻帧对应的位置获取图像的配准的矩阵。

但在气动光学效应尤其是窗口快变热辐射条件下,图像灰度、纹理等特征变化迅速,背景尺度变化也比较迅速,上述传统的背景抑制技术在此条件下性能表现不佳;窗口热辐射条件下,动目标检测涉及到得图像配准难度较大,基于空间图像序列的差分检测方法使用比较困难。因此,基于窗口气动效应的特点,需要一种检测效果较好,计算量适中,且可利用可编程逻辑器件的并行计算优势,来高效实时完成地面小目标的目标检测,同时在完成目标检测的基础上,进一步进行结合目标红外特征包含灰度、边缘梯度、形状、位置等信息,采用一定的目标分类方法如支撑向量机、贝叶斯分类等,训练好的分类器,完成目标识别分类,从而最终完成目标识别的工作,满足目前高速飞行器发展的迫切需求。

1 窗口热辐射红外特性分析

通过设计的高温窗口加热试验获取了诸多图像数据^[6],通过进行分析,发现球形窗口热辐射的规律具有典型代表性特点是,热辐射近似成类高斯曲面状,其对应的灰度过渡较为均匀,其对图像的诸多指标均有影响,目标的对比度、边缘清晰度都有一定程度的退化;且在飞行过程中,快变温度窗口热辐射造成图像热辐射类高斯曲面的中心位置会产生一定的位移。

根据实验,对照性能分析指标,加入高温窗口后,四杆靶目标对比度相比室温窗口状态对比度有所降低,约为原来的 1/3,表明光学系统效率受高温窗口的影响有所衰减;图像的信噪比降低到原来的也约 1/3,系统的等效噪声温差 NETD 值上升到了几百 mK,对应估算成像系统作用距离降低较为明显。

利用去均值归一化互相关法,衡量窗口热辐射前后四杆靶灰度与边缘特征变化(如图 1 所示)。归一化互相关系数对亮度的整体等量均匀变化是不敏感的。实测结果表明灰度相关系数与边缘相关系数分别降低。其中四杆靶边缘梯度相关系数降低到原来的 1/2,说明窗口热辐射效应使图像产生了模糊,其对目标的边缘影响较大。

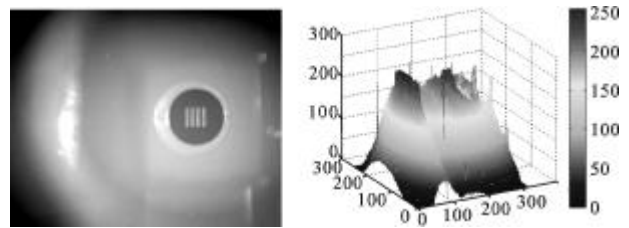


图 1 高温窗口热辐射条件下四杆靶中波红外图像

Fig.1 4-bar MW image under infrared radiation of hot dome

对窗口热辐射效应的解释,一方面是窗口热辐射噪声的不均匀分布,造成图像灰度变化不一致,导致目标对比度发生改变,另一方面,温度梯度导致窗口发生形变,窗口的折射率场发射变化,导致光线产生偏移,从而产生相应的目标边缘的模糊,此即热窗口光学传输效应。

2 地面小目标检测算法实现

常见的地面人工小目标如车辆、建筑物,由于材

质、甚至自身热源存在等原因,其红外发射率与周围环境存在差异,其与背景存在一定对比度。再根据前一部分的窗口热辐射效应的特征分析,充分利用好目标与背景的局部反差特性,以此作为线索来进行目标提取。通过计算原始图像的梯度并进行量化可以最大程度的挖掘图像的局部对比度。局部对比度描述的是候选目标与外界背景属性的差异,视觉感知领域,也把描述候选对象与外界属性对比差异的特征称为互显著性特征。利用差异度来表征候选对象的显著性信息。最后,通过分割显著性图像来提取小目标。

基于梯度域图像的视觉显著性窗口辐射条件下红外小目标检测算法流程如图 2 所示。

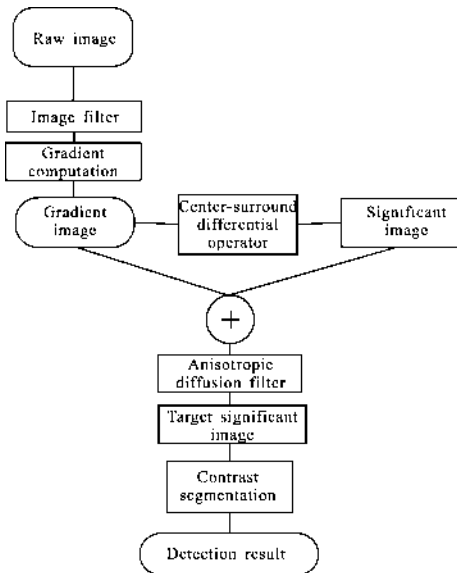


图 2 基于梯度域视觉显著性的小目标检测算法流程图

Fig.2 Flow chart of proposed algorithm based on visual saliency of gradient domain

基于梯度域图像的小目标检测算法的具体步骤如下:假设原始红外图像为 I , 计算原始图像的梯度图像为 GM , 并进行量化, 量化后的梯度域图像为 GM_Q ; 对梯度域图像进行中心-周边差异算子运算来获得初始显著性图像 S_I ; 对梯度域图像和初始显著性图像做线性融合, 并对线性融合图像进行各向异性扩散滤波, 获得最终小目标显著性图像 S_F ; 利用对比度分割算法对最终小目标显著性图像进行分割, 对分割出来的候选目标进行连通量标记, 进行非目标尺度的虚警去除, 获得最终小目标检测结果。

首先使用常规图像平滑方法, 在这里采用均值滤波, 抑制部分较强图像噪声, 减小后续梯度及中间差分算子运行时的噪声干扰, 间接保证了背景抑制后目标的信噪比。

梯度图像的提取, 通过对比常用的 Sobel、Prewitt、Laplacian、Roberts 等梯度边缘提取方法。发现使用 Sobel 算子提取的边缘获取的效果与后续处理方法结合效果最佳。在这里不再赘述 Sobel 边缘提取方法。

梯度图像 GM 可以用公式(1)来表达, 假设梯度图像的均值为 μ , 标准差为 σ , 量化后的梯度域图像可以用公式(2)来表示, 大量实验表明, 可以取得较好的目标检测结果, 既增强了目标的局部对比度, 又不至引入过多的背景干扰。

$$GM = \sqrt{I_x^2 + I_y^2} \quad (1)$$

$$GM_Q(x,y) = \begin{cases} 255 & , GM(x,y) \geq \mu + k\sigma \\ \frac{255GM(x,y)}{\mu + k\sigma} & , GM(x,y) < \mu + k\sigma \end{cases} \quad (2)$$

中心-周边差分算子运算用高斯尺度差分来表达, 基于尺度差分的初始显著性图像可以用公式(3)表示, 中心-周边差分算子一般会拓展目标区域, 也就是说生成的显著性区域一般会大于实际目标, 容易将分布较为密集的多个小目标映射为同一个显著性区域, 该方法也存在一定的隐患, 对于分布较为密集的小目标检测会产生问题, 即将密集的多个小目标认为是一个目标。

$$S_I(x,y) = \sum_{\sigma=\sigma_1}^{\sigma_2} GM_Q(x,y) \otimes (GM(x,y,m\omega) - G(x,y,\omega)) \quad (3)$$

式中: $G(x,y,\omega)$ 代表高斯卷积核; ω 为高斯卷积核尺度因子; m 为正整数, 通过多个不同尺度的高斯差分图像的和作为算子运算结果。中间差分算子考虑不同尺度的目标的检测需求, 通过卷积不同尺度的高斯算子之差, 来获取不同大小目标的显著性特征。为了应对目标分布较为密集的问题, 梯度域图像和初始显著性图像做线性融合可以保证目标区域显著性值改变较小的前提下, 降低非目标区域的显著性值。这时目标区域分布在高亮区, 非目标区域的显著性值变得较为接近, 分布在低亮区。由于各向异性扩散滤波与普通高斯 Gaussian 平滑相比, 它不会平滑

边缘的图像,在平滑图像的同时保留边缘,并能增强边缘对比度。所以,对梯度域图像和初始显著性图像的线性融合图像进行各向异性扩散滤波,进而得到最终的小目标显著性图像,最终的小目标图像显著性图像中不但小目标整体被增强,而且小目标轮廓也较为清晰。其中各向异性扩散滤波是较为成熟的方法,在这里不再详细叙述其实施过程,可参见文献[7]。

在目标对比度得到大幅度提高的情况下,利用较为简单的对比度分割算法对最终小目标显著性图像进行分割,即可完成潜在目标区域的提取。如公式(4)所示,获取图像分割的阈值。

$$G_t = G_{avg} + h \times G_{std} \quad (4)$$

式中: G_t 为图像分割的阈值; G_{avg} 为图像分割的均值; G_{std} 为图像方差; h 一般取 2。

对分割出来的候选目标进行连通区域标记,初步根据飞行器提供的距离等信息,统计潜在目标形状、尺寸、不变矩特征等将非目标尺度的虚警去除,获得最终小目标检测结果。

在小目标检测的基础上,结合模式分类相关方法与红外目标特性的研究,通过对分类器的设计与训练,完成地面小目标如车辆等识别的目的。将在后续撰写专门的文章论述车辆等目标的识别过程。

3 检测结果分析与对比

图 3 给出了公路背景窗口热辐射条件下,多车辆目标的检测结果。图(b1)为文中提出的算法背景抑制后的效果,图(b2)为文中提出算法分割并进行形状判别后的结果;图(c1)、(c2)为形态学方法背景抑制后的结果与检测结果;图(d1)、(d2)为多级滤波方法背景抑制后的结果与检测结果;图(e1)、(e2)为均值滤波方法背景抑制后结果与检测结果。

通过图 3(b1)、(b2)实验结果表明:文中算法可以获得较高的目标检测率,且考虑由于实时性的要求,算法没有考虑针对特定结构背景抑制策略,也能获得较高的目标检测率;文中提出的算法,由于引入了视觉注意机制,通过梯度域图像与视觉显著性图像的融合,对亮暗目标均有较好的适应能力。

从检测效果来看,文中提出的算法与形态学处理方法、均值滤波、多级滤波处理方法进行比较,可

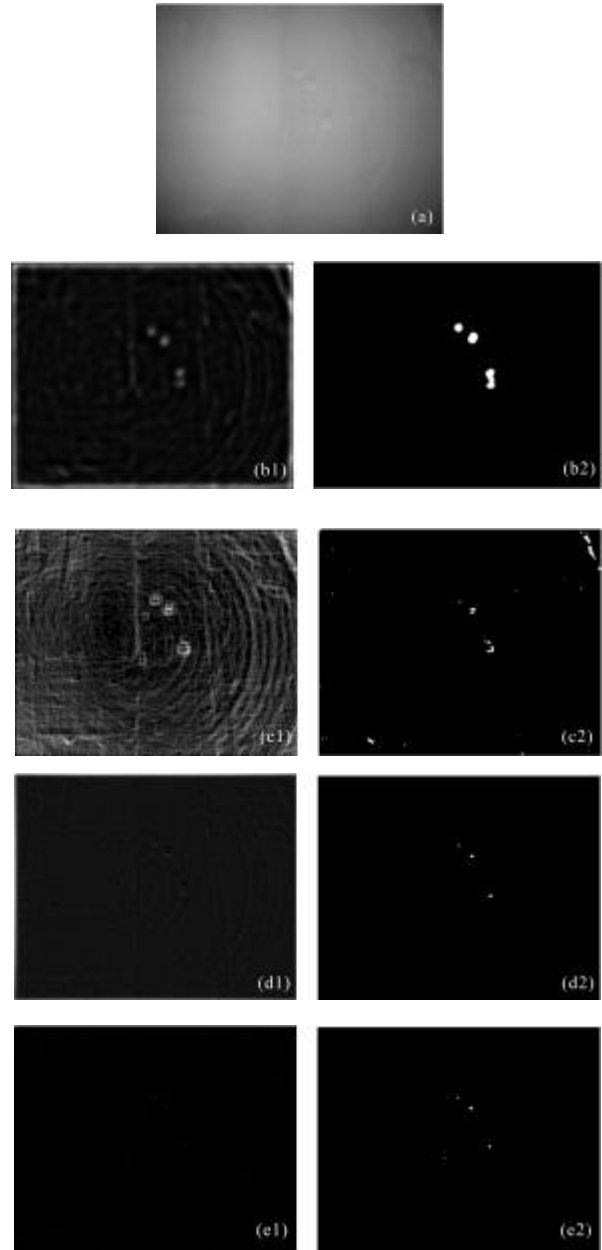


图 3 不同算法在公路场景下对车辆检测结果
Fig.3 Vehicle detection performance of different algorithms on highway scene

以看出:形态学方法在窗口热辐射条件下的背景抑制能力方面最差,分割后目标出现丢失现象,采用相同检测结果处理方法,虚警较高;均值滤波与多级滤波方法由于受所选的滤波结构模式、方法原理等原因,背景抑制后目标对比度提高有限,只对高亮小区域检测效果明显,获得的分割区域不能较好的覆盖整个目标区域,分割区域与目标形状相差甚远,为其设计的分割区域目标判断准则存在实用性差的问题。

题,且对后续目标检测和识别带来了较大困难。

从计算量上来考虑,处理同样大小的区域,文中提出的算法计算量最大,多级滤波次之,中值滤波再次之,形态学方法用时最少。但分析文中提出的算法结构可以看成了多个滤波器的级联与并联组合完成,且滤波器的结构及参数在处理的图像区域上无差异,可参照目前较为成熟的常规平滑去噪、中值滤波等算法硬件实现技术,利用可编程逻辑器件并行计算+流水处理的优势,将图像分为多块同时开展运算,弥补其计算量上的劣势。

从对窗口热辐射的适应性来看,文中提出的算法对抑制大面积高亮且灰度较为连续变化区域是有效果的,能有效的提高潜在感兴趣区域的对比度,有效的提高感兴趣目标的强度。这也是一种校正与检测一体化的检测方法,而这里的校正更多的传统意义上的图像预处理,而不是目前高速飞行器图像处理中的过多追求图像质量,采用类似盲去卷积等校正方法来复原像质,而忽略检测算法本身性能对原始受气动效应影响图像的鲁棒性与适应性。

4 结 论

为满足高速飞行器对目标检测与识别的需求,从实时性、窗口气动热辐射效应等方面出发,结合目前嵌入式硬件计算平台发展水平,提出了一种梯度域视觉注意机制的目标检测算法。该算法继承了传统工程目标检测算法的设计思想,基于图像的特点,通过梯度域图像与视觉显著性图像融合的方法,较好的抑制了窗口热辐射与目标的背景,有效的提高了感兴趣小目标的对比度,保证了目标的检测率。通过与传统的目标检测算法对比分析,文中提出的算法可以较好的解决目前的工程问题,为应用于高速飞行器的红外目标检测方法提供了一种思路。同

时,该算法的目标检测结果需要进一步通过目标识别算法进行判别,通过训练获取的分类器,完成目标的识别与分类。目标识别算法将在后续论文中进行研究论述。

参考文献:

- [1] Zhang Wei, Meng Xianglong. Algorithms of space target detection for IR scan images [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2009, 38(5): 922-925. (in Chinese)
张伟,孟祥龙.天基红外扫描图像点目标检测算法[J].*红外与激光工程*, 2009, 38(5): 922-925.
- [2] Wang Jianlai, Yang Chunling. Dim moving target detection against background in IR image sequence based on GLRT [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2011, 40 (12): 2546-2551. (in Chinese)
王睐来,杨春玲.空天背景下基于GLRT的红外弱小运动目标检测[J].*红外与激光工程*, 2011, 40(12): 2546-2551.
- [3] Peng Zhiyong, Hu Xiaomei. The research of dual-band IR imaging information processing [C]//SPIE, 2009, 7494: 102-107.
- [4] Jin Ting, Zhou Fugen. Moving object detection in airborne video using kernel density estimation [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2011, 40(1): 153-157. (in Chinese)
金挺,周付根.利用核密度估计的空基视频运动目标检测[J].*红外与激光工程*, 2011, 40(1): 153-157.
- [5] Liu Xingmiao, Wang Shicheng. Infrared image moving object detection based on image block reconstruction [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2011, 40(1): 176-180. (in Chinese)
刘兴淼,王仕成.图像分块重建的红外运动目标检测算法[J].*红外与激光工程*, 2011, 40(1): 176-180.
- [6] Peng Zhiyong, Wang Xiangjun. A heating window effect imaging experiment and its analysis [C]//Proceedings of SPIE, International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging, 2013, 8907: 15-18.
- [7] Perona P, Malik J. Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion[J]. *PAMI*, 1990, 12(7): 629-639.

窗口热辐射下基于视觉显著性的红外目标检测方法

作者: 彭志勇, 王向军, 卢进, Peng Zhiyong, Wang Xiangjun, Lu Jin

作者单位: 彭志勇, Peng Zhiyong(天津大学 微光机电系统技术教育部重点实验室, 天津 300072; 天津大学 精密测试技术及仪器国家重点实验室, 天津 300072; 天津津航技术物理研究所, 天津300308), 王向军, Wang Xiangjun(天津大学 微光机电系统技术教育部重点实验室, 天津 300072; 天津大学 精密测试技术及仪器国家重点实验室, 天津 300072), 卢进, Lu Jin(天津津航技术物理研究所, 天津, 300308)

刊名: 红外与激光工程 

英文刊名: Infrared and Laser Engineering

年, 卷(期): 2014(6)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_hwyjggc201406014.aspx