

文章编号 1004-924X(2015)08-2328-11

# 基于空时域融合处理检测超大视场红外目标

黄富瑜<sup>1,2\*</sup>, 沈学举<sup>1</sup>, 刘旭敏<sup>1</sup>, 崔铁成<sup>2</sup>

(1. 军械工程学院 电子与光学工程系, 河北 石家庄 050003;

2. 中国人民解放军 63861 部队, 吉林 白城 137001)

**摘要:**针对超大视场红外凝视成像系统用于目标检测时存在的背景复杂、杂波干扰多、目标信息少等问题,提出了基于空时域融合处理的目标检测方法。该方法在空域部分优化设计 Robinson 算子,完成单帧图像的目标初始检测;然后结合超大视场成像特性,利用基于天地线检测的图像区域自动划分和空域虚警抑制方法,有效滤除非目标检测区中的疑似目标。在时域部分则兼顾目标时域特征,采用基于时域多特征约束的邻域判决法对真实目标进行时域确认。开展了月空背景下的空中目标检测试验,验证了本文算法的有效性。试验表明:经空域部分处理后,原始图像中的背景杂波干扰大大减少,目标局部信噪比提高了 1.3 倍以上,而且疑似目标数目减少了 70%;经时域部分处理后,可成功检测出红外弱小目标,并输出其轨迹,检测概率在 95% 以上,而虚警率不足 1.5%,最低目标检测信噪比为 2.86。实验表明:本文方法适用于超大视场图像的红外弱小目标检测,对地物背景、恒亮孤立点源、瞬时强噪声等干扰有较强的抑制能力,对点状运动目标有良好的检测效能。

**关键词:**目标检测;超大视场;空时域融合;空中目标;红外目标

**中图分类号:** TN215; TP391.4 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20152308.2328

## Detection of super wide-field infrared target based on spatial-temporal fusion processing

HUANG Fu-yu<sup>1,2\*</sup>, SHEN Xue-ju<sup>1</sup>, LIU Xu-min<sup>1</sup>, CUI Tie-cheng<sup>2</sup>

(1. Department of Electronic and Optics Engineering,

Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China;

2. Unit 63861, the Chinese People's Liberation Army, Baicheng 137001, China)

\* Corresponding author, E-mail: submitoptics@163.com

**Abstract:** When a super wide-field infrared staring system is used to detect a target, it may show complex background, more noise jamming and little target information. Therefore, this paper proposes a spatial-temporal fusion algorithm. In spatial processing, the single image was filtered by an improved Robinson operator, and the primary detection of the target was carried out. Then, the image auto-partition and spatial false-alarm suppression were presented to eliminate the suspected target from a non-target detection region. In temporal processing, the temporal characteristics of the target was considered, the neighbor judgment method was improved to confirm the real target. A detection experiment for the space target was carried out in a moon light, and this proposed algorithm was vili-

收稿日期:2014-12-09;修订日期:2015-02-12.

基金项目:国家专项技术创新计划资助项目(No. 6130319)

fied. It shows that the background interference of original image is suppressed greatly, the local Signal to Noise Ratio(SNR) can be improved more than 1.3 times, the false target number decreases by 70% after spatial processing. Moreover, the infrared weak target is detected successfully with the detection probability of higher than 95%, the false-alarm probability of less than 1.5% and the minimum detection SNR of 2.86 after spatial processing. It concludes that this algorithm is suitable for the infrared weak target detection of super wide-field image and can detect the moving point targets effectively. It has a good suppression effect for background interference, isolated point sources and instantaneous noise.

**Key words:** target detection; super wide-field; spatial-temporal fusion; air target; infrared target

## 1 引言

目前,红外成像系统已在光学遥感、夜间导航、目标探测等领域得到广泛应用,然而,现有红外系统凝视视角一般不足 $40^\circ$ ,探测盲区达97%,因此,红外目标进行“全向”“实时”探测的超大视场凝视探测技术应运而生<sup>[1-2]</sup>。相比普通探测系统,超大视场红外凝视系统能单机实时监视物方 $120^\circ$ 甚至 $180^\circ$ 视场区域,探测盲区小,反应时间短。美军早在2002年就开展了超大视场红外预警演示试验,并于2005年研制出了执行半球空域导弹逼近告警的机载导弹引偏器,用于感知来袭导弹威胁<sup>[1,3-4]</sup>。法国在2010年利用2部鱼镜头为“阵风”战机研制了新一代导弹探测系统,可为飞行员提供战斗机周围的全景态势<sup>[5]</sup>。不难看出,超大视场( $\geq 80^\circ$ )凝视成像系统因具有视场大、凝视探测、被动工作、高度隐蔽等特点而在空中预警探测、飞行器全向感知、机载导弹逼近告警甚至空间态势感知等领域都有很高的应用价值。

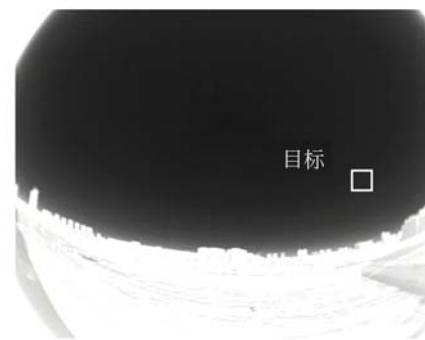
复杂背景下的红外弱小目标检测一直是图像处理 and 计算机视觉领域的热门研究方向<sup>[6-8]</sup>。近年来,针对小视场红外系统目标检测问题已经开展了许多算法研究,这些算法可分为两类:一类是空域算法,主要有高通滤波法、中值滤波法、数学形态学法、小波变换法、神经网络方法、最小二乘法、贝叶斯估计法等<sup>[9-12]</sup>;另一类是时域算法,主要有帧相关法、光流法、Hough变换法、能量积累法、动态规划法、高阶相关法等<sup>[12-15]</sup>。上述算法各具优势,有的已有工程应用,但现有算法并不能直接用于超大视场红外目标检测。这是因为低信噪比下超大视场红外图像中弱小目标检测有以下特殊难点:(1)目标成像面积小,超大视场图像中

的目标完全丧失了形状、纹理和结构信息;(2)目标背景干扰多,大视场会摄入更多干扰源,增加虚警;(3)目标信号强度低,经大气衰减和光学系统后,探测器接收到的红外目标能量很弱,信噪比很低;(4)单靠目标强度或者目标运动信息均不能很好地检测出红外弱小目标,必须结合目标空域和时域特征来检测目标,而当前对超大视场红外成像系统的目标检测问题的研究并不多。本文依托某型超大视场红外侦测设备,结合目标成像的空时域特征,研究了一种空时域融合的目标检测算法。

## 2 空时域融合算法流程

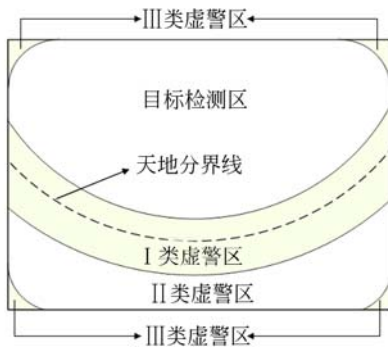
图1为超大视场红外侦测设备获取的空中飞机图像及其成像区域划分图。

目标图像可划分为三个区域:一是目标检测区,为天空成像区域,该区域背景灰度相对较低,飞机目标为点状亮斑;二是I类虚警区,为天地过渡区域,该区域是地物到天空的过渡区域,灰度差异较大,是目标检测的主要虚警源;三是II类虚警区,为地物成像区域,该区域整体灰度大于目标检



(a) 红外图像

(a) Infrared image



(b) 区域划分

(b) Region division

图 1 超大视场红外图像区域划分

Fig. 1 Region division of super wide-field infrared image

测区,像素间灰度差异仅次于 I 类虚警区;四是 III 类虚警区,为探测器非成像区域,这是由成像像面与探测器面积的匹配问题引起的,其主要干扰是探测器噪声。

在上述分析的基础上,本文提出采用空时域融合检测算法对空中目标进行检测,算法流程如下:

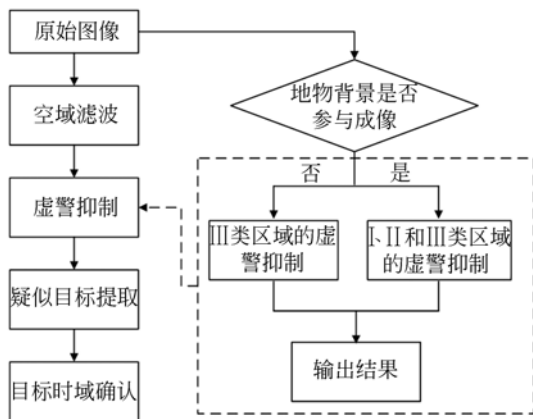


图 2 空时域融合算法检测流程

Fig. 2 Target detection flow of spatial-temporal fusion algorithm

第一步,对原始图像做两路处理,一路利用空域滤波做目标初始检测,提取出疑似目标;另一路根据地物与天空灰度响应的差异,判断地物是否参与成像,进而调用不同的虚警抑制方法。

第二步,虚警抑制。经空域滤波以后,在目标检测区主要剩下目标、孤立干扰源和少数噪声点,但在非目标检测区会出现大量假目标点,需要根据第一步判断结果,剔除非目标检测区中的假目标。

第三步,疑似目标提取。经第一步和第二步目标初始检测和虚警抑制后,只剩下了存在于目标检测区的疑似目标,此时提取它们的灰度、位置、面积、数量等特征信息并存储。

第四步,目标时域确认。与孤立干扰源和瞬时噪声引起的虚警相比,真目标具有驻留时间长、帧间灰度变化大、成像面积稳定等时域特征,此时可利用这些时域特征从剩余疑似目标中找出真目标。

### 3 基于空域处理的目标初始检测

#### 3.1 基于改进 Robinson 算子的空域滤波

空中目标在图像中表征为高斯噪声中的奇异点,其局部空间分布具有全向奇异性<sup>[15]</sup>。Robinson 滤波器正是针对这种局部特性而设计的,它是一种带保护带的非线性、非参数型滤波器<sup>[16]</sup>。该滤波器通过比较中心像素响应与与其邻域极值间的差异来达到抑制噪声、增强目标的目的。为更好保护目标,本文结合目标成像特点,对传统 Robinson 滤波器进行了优化,设计出了图 3 所示的多向滤波模板。

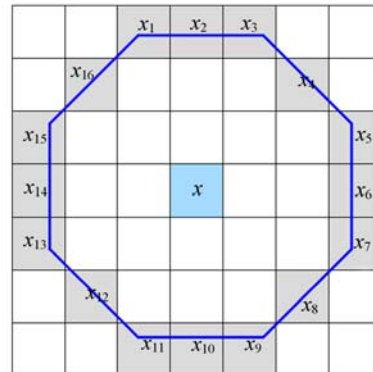


图 3 改进型 Robinson 滤波模板

Fig. 3 Improved Robinson filter template

改进后的滤波定义式如下:

$$g(x) = \begin{cases} f(x) - \max(f(x_i)) & f(x) > \max(f(x_i)) \\ 0 & \text{else} \end{cases}, \quad (1)$$

式中:  $f(x)$  和  $g(x)$  分别为为模板中心像元滤波前后的灰度值;  $f(x_i)$  为模板边界像元滤波前的灰度值。

#### 3.2 基于多向最大梯度模的天地线检测

超大视场图像中,空中目标位于目标检测区,

天地线是目标检测区和非检测区的分界线,因此,可通过检测天地线来提取目标检测区。根据超大视场图像中“直线变曲线”的成像特性,本文提出一种基于多向最大梯度模的天地线检测方法。

图像中任一点的最大梯度方向并不严格沿着水平或垂直方向,综合考虑 0、90、45、135° 4 个方向的梯度模,以其中最大值作为最终输出,这样选取的梯度值与该点实际最大梯度值的隶属度最大。假设检测窗口大小为  $n \times n$ ,那么图像中任一点在上述 4 个方向的梯度模定义如下:

$$\begin{aligned} 0^\circ \quad G_0(i, j) &= |f(i, j-n) - f(i, j+n)| \\ 45^\circ \quad G_{45}(i, j) &= |f(i-n, j+n) - f(i+n, j-n)| \\ 90^\circ \quad G_{90}(i, j) &= |f(i-n, j) - f(i+n, j)| \\ 135^\circ \quad G_{135}(i, j) &= |f(i-n, j-n) - f(i+n, j+n)| \end{aligned} \quad (2)$$

则点  $(i, j)$  处的输出梯度模为:

$$G_{\max}(i, j) = \max\{G_0(i, j), G_{45}(i, j), G_{90}(i, j), G_{135}(i, j)\}. \quad (3)$$

天地线处于灰度突变区域,在超大视场红外图像的最大梯度模图像中,天地线位置处的灰度值最大。假设梯度图像灰度均值为  $\mu$ ,标准差为  $\sigma$ ,经反复尝试,当采用式(4)对梯度图像进行阈值分割时,可以有效提取出天地线:

$$T = \mu + 6\sigma. \quad (4)$$

### 3.3 基于区域自动划分的虚警抑制

根据超大视场红外成像规律及天地线检测结果,可对图像 4 类区域进行自动划分,然后剔除非目标检测区内的假目标,保留目标检测区内的疑似目标。处理过程如下:

第一,抑制 III 类区域内的虚警。III 类虚警区为非成像区域,该区域内的强噪声及其与目标检测区交界处的梯度陡降都可能产生虚警。由于该区域在成像范围外,可根据成像规律对其进行分类和虚警抑制。对于图像中某一疑似目标点  $(i, j)$ ,当其满足式(5)时,点  $(i, j)$  属于非成像区,将该点空域滤波图像  $R(x, y)$  的对应位置赋值为零;否则,转入下一步。

$$\sqrt{(i-i_0)^2 + (j-j_0)^2} \geq R_{\max} + \Delta r, \quad (5)$$

式中:  $(i_0, j_0)$  为图像中心;  $R_{\max}$  为最大视场对应的像素半径;  $\Delta r$  为最大半径修正参数。

第二,抑制 I 类区域内的虚警。依据式(6)计算点  $(i, j)$  与天地线的最短距离  $Min_{ij}$ 。当  $Min_{ij} \leq 30$  pixel 时,该点处于 I 类虚警区,将该点赋

值为零;否则,转入下一步。

$$Min_{ij} = \min(\sqrt{(i-i_1')^2 + (j-j_1')^2}, \sqrt{(i-i_2')^2 + (j-j_2')^2}, \dots, \sqrt{(i-i_{n'}')^2 + (j-j_{n'}')^2}), \quad (6)$$

式中:  $(i_k', j_k')$  为天地线上任一点坐标,  $n'$  为天地线占有的像素数,  $1 \leq k \leq n'$ 。

第三,抑制 II 类区域内的虚警。当点  $(i, j)$  满足  $\sqrt{(i-i_0)^2 + (j-j_0)^2} < R_{\max} + \Delta r$  和  $Min_{ij} > 30$  pixel 时,该点可能属于 II 类虚警区或者目标检测区。此时,根据式(7)判断点  $(i, j)$  的区域隶属:

$$\begin{cases} (i, j) \in \{\text{II类虚警区}\} & \text{when } \left| \frac{\bar{f}_n(i, j) - \mu_1}{\bar{f}_n(i, j) - \mu_2} \right| < 1, \\ (i, j) \in \{\text{目标检测区}\} & \text{else} \end{cases} \quad (7)$$

式中:  $\mu_1$  和  $\mu_2$  分别为天空区域和地物区域的灰度均值;  $\bar{f}_n(i, j)$  为点的  $n \times n$  空心邻域的均值,满足:

$$\begin{aligned} \bar{f}_n(i, j) &= \frac{1}{2n-4} \left[ \sum_{i_1=-(n-1)/2}^{(n-1)/2} f(i - \frac{n-1}{2}, j + i_1) + \dots \right. \\ &\quad \sum_{i_1=-(n-1)/2}^{(n-1)/2} f(i + \frac{n-1}{2}, j + i_1) + \dots \\ &\quad \sum_{i_1=-(n-3)/2}^{(n-3)/2} f(i + i_1, j - \frac{n-1}{2}) + \dots \\ &\quad \left. \sum_{i_1=-(n-3)/2}^{(n-3)/2} f(i + i_1, j + \frac{n-1}{2}) \right]. \quad (8) \end{aligned}$$

当利用式(7)判定点  $(i, j)$  隶属于 II 类虚警区时,将该点在空域滤波图像  $R(x, y)$  中的对应位置赋值为零,进而完成 II 类区域的虚警抑制。

## 4 基于时域多特征约束和邻域判决法的目标确认

经空域处理后,非目标检测区中的假目标得到了有效滤除,剩下的目标检测区内的少量疑似目标,需要结合真假目标之间的时域特征差异进行时域确认。与假目标相比,真目标在连续数帧图像内具有连续性强、成像面积变化小和灰度变化稳定等特征,根据这些特征,本节提出了基于时域多特征约束和邻域判决法<sup>[17]</sup>的目标确认算法,如图 4 所示。

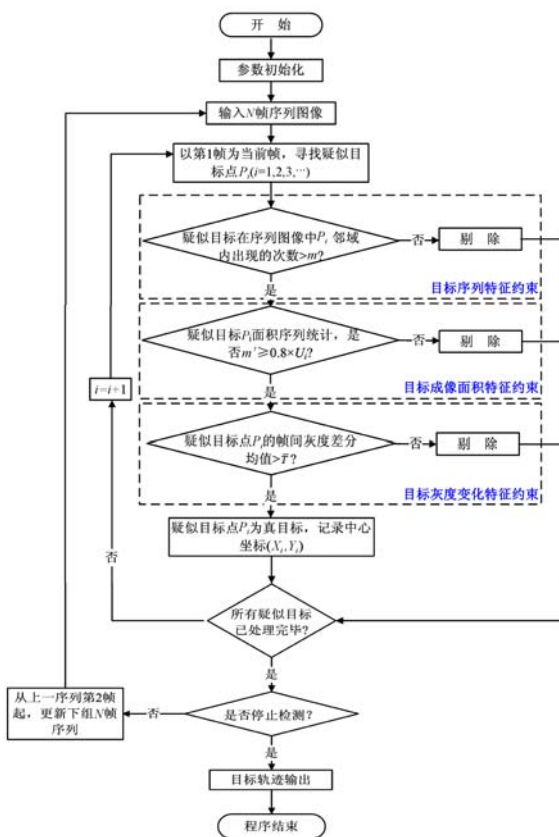


图 4 基于时域多特征约束和邻域判决法的目标检测流程

Fig. 4 Target detection flow based on time-domain multi-feature restriction and neighborhood-judgment method

对图 4 流程简要表述如下:

步骤 1: 参数初始化。根据实际情况, 设定单帧检测疑似目标数目的上限值  $M$ 、一次判别的序列图像帧数  $N$  以及邻域尺寸大小  $n \times n$ 。

步骤 2: 序列输入图像。当图像帧数达到  $N$  以后, 判别器开始工作。

步骤 3: 取  $N$  帧序列图像的第一帧为当前帧, 寻找当前帧中所有的疑似点  $P_i (i=1, 2, 3, \dots)$ , 记录坐标位置。

步骤 4: 目标序列特征约束。判断某一疑似点在  $N$  帧图像中出现的次数  $U_i$ , 当目标计数器输出值  $U_i$  不小于预设值  $m$  时, 疑似目标点  $P_i$  可能为真目标, 转入下一步继续判断, 否则为假目标, 予以剔除, 并转至步骤 8。

步骤 5: 目标成像面积特征约束。对满足序列特征约束条件的疑似目标点  $P_i$ , 统计它在  $U_i$  帧图像中成像面积满足约束条件的帧数  $m'$ , 若

$m' \geq 0.8 \times U_i$ , 则点  $P_i$  可能为真目标, 转至下一步继续判断, 否则为假目标, 予以剔除, 并转至步骤 8。

步骤 6: 目标灰度变化特征约束。对于满足以上两个约束条件的疑似目标点  $P_i$ , 对其  $U_i$  帧图像中的目标平均灰度做帧间差分处理, 并对得到的差分数据取均值  $\mu$ , 根据设定的检测阈值  $\bar{T}$ , 判定  $\mu$  是否大于等于  $\bar{T}$ , 如果是, 则疑似目标点  $P_i$  为真目标, 否则为假目标, 予以剔除, 并转至步骤 8。

步骤 7: 当目标点  $P_i$  为真目标时, 记录并标识其在当前帧的像素坐标。

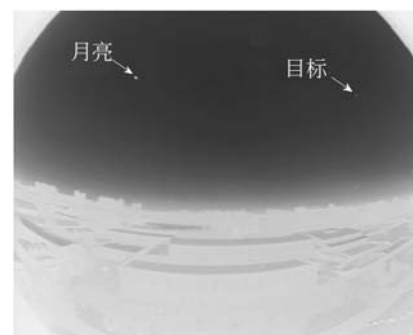
步骤 8: 判断当前帧中疑似目标点是否全部处理完毕, 如果没有, 则跳至下一疑似目标点, 重复步骤 4~步骤 7, 否则, 转至下一步。

步骤 9: 根据检测条件, 判断是否停止, 如果是, 则更新帧序列图像, 重复步骤 2~步骤 8, 如果是, 则输出目标轨迹。

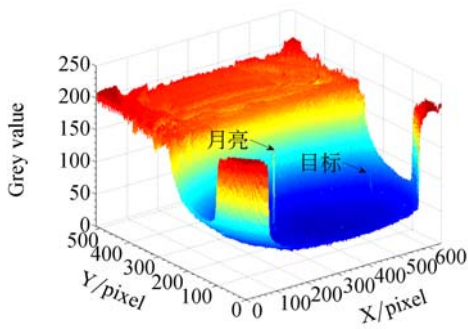
## 5 试验验证与分析

### 5.1 试验条件

试验用超大视场长波红外侦测设备的凝视视角在  $110^\circ \times 90^\circ$  以上, 对角线方向达  $180^\circ$  视场。为检验该设备在点源、背景杂波和噪声等干扰下的目标检测能力, 试验选择在月夜进行, 地点为某高层楼顶平台。试验中, 飞机目标从场景右上方进入视场, 沿倾斜路径飞行并逐渐远离, 成像大小约为  $3 \text{ pixel} \times 2 \text{ pixel}$ , 像面速度小于  $3 \text{ pixel/frame}$ 。图 5 为采集的一帧图像, 飞机目标表现为天空低照度背景下的亮斑目标。月亮与目标的成像特征类似, 属于点源干扰。地物背景干扰要强于目标, 属于背景杂波干扰。此外, 图像瞬时噪声也会对目标检测产生影响。



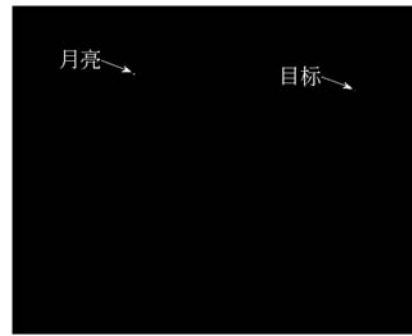
(a) 2D



(b) 3D

图 5 超大视场红外目标图像

Fig. 5 Super wide-field infrared image



(b) 空域滤波+虚警抑制(二维)

(b) Spatial filtering combined with false alarm rejection(2D)

### 5.2 试验与结果分析

本文采用“先空域预检、再时域确认”的检测策略,算法执行过程中的相关参数设置如表 1 所示。

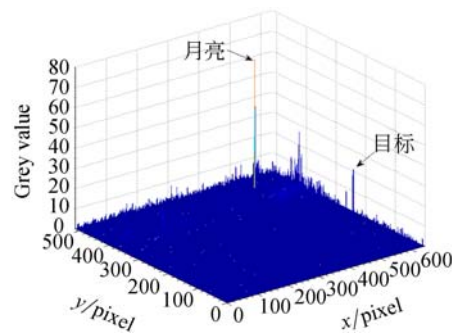
表 1 本文方法参数设置

Tab. 1 Parameter setting of proposed method

参数名称	参数值
单帧检测概率	90%
疑似目标数上限	$M=10$
一次判别序列帧数	$N=10$
邻域尺寸	$10 \times 10$
判断阈值	$m=7$
帧间差分检测阈值	$\bar{T}=1.2$

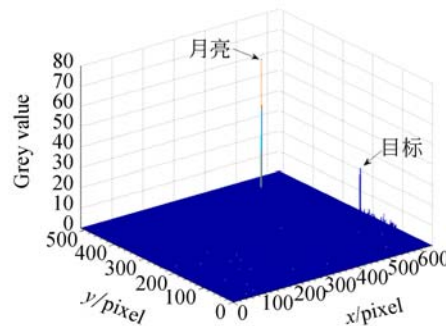
#### 5.2.1 空域处理结果与分析

按照第 3 节方法对目标图像做空域滤波和虚警抑制处理,结果如图 6 所示。其中,图 6(a)和图 6(c)分别为本文方法空域滤波后的效果图,图 6(b)和图 6(d)为进一步做虚警抑制后的效果图。通过与图 5 原始图像的对比可以看出,经空域滤波后,大面积高亮背景得到了有效抑制,目标特征



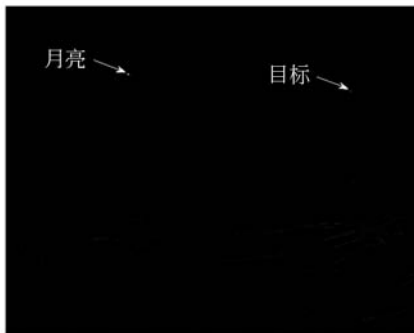
(c) 空域滤波(三维)

(c) Spatial filtering(3D)



(d) 空域滤波+虚警抑制(三维)

(d) Spatial filtering combined with false alarm rejection(3D)



(a) 空域滤波(二维)

(a) Spatial filtering(2D)

图 6 空域处理效果

Fig. 6 Spatial processing results

更为明显,但在非目标检测区仍然存在许多疑似目标点,这些疑似目标的强度甚至超过了目标强度,会引起虚警。进一步进行虚警抑制后,非目标检测区中的疑似目标会被全部滤除,图像中剩下了飞机目标、月亮恒亮点源和少量瞬时强噪声点,此时需依据这些目标之间的时域特征差异来做进一步目标时域确认。

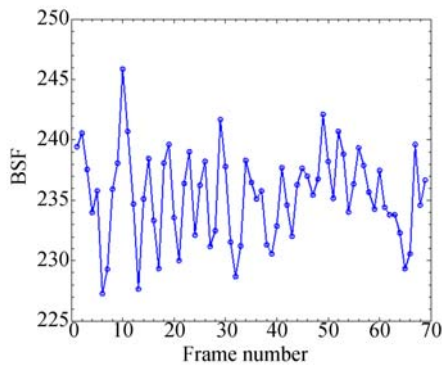
为定量描述本文空域处理效果,引入背景抑制因子(BSF)、局部信噪比增益(LISNR)和虚警抑制率(FASR)几个客观评价指标,定义如下:

$$BSF = \frac{\sigma_1}{\sigma_2}, \quad (9)$$

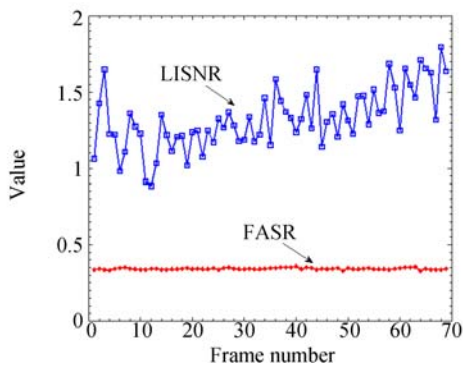
$$LISNR = \frac{LSNR_2}{LSNR_1}, \quad (10)$$

$$FASR = \frac{FA_2}{FA_1}, \quad (11)$$

式中:  $\sigma_1$  和  $\sigma_2$  分别为处理前后的图像标准差;  $LSNR_1$  和  $LSNR_2$  分别为处理前后目标局部信噪比(取 30 pixel×30 pixel);  $FA_1$  为空域滤波后虚假目标数目;  $FA_2$  为“空域滤波+虚警抑制”后的假目标数目。



(a) BSF



(b) LISNR and FASR

图 7 空域处理效果客观评价

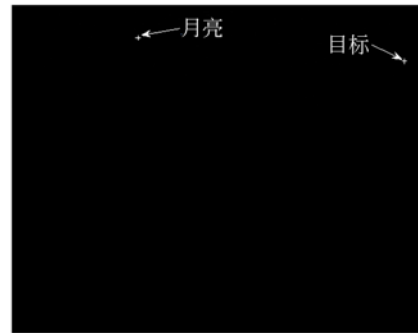
Fig. 7 Objective evaluation of spatial processing effect

对序列图像的空域处理效果进行客观评价,结果如图 7 所示,图 7(a)为 BSF 曲线,图 7(b)为 LISNR 曲线和 FASR 曲线。由于当  $BSF > 1$  时,对背景有抑制效果,而 7(a)显示空域处理后的 BSF 值在 200 以上,说明背景杂波得到了极大抑制;又由于 LISNR 数值越大,红外目标越突出,而

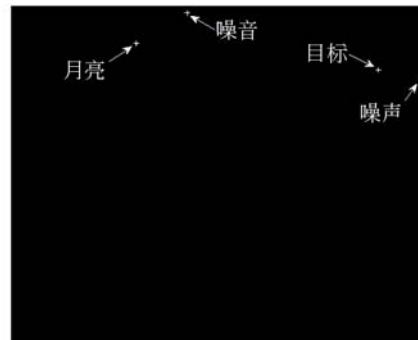
图(b)显示,本文方法将目标信噪比提高了 1.3 倍以上,并且随着原始图像信噪比的降低, LISNR 值呈上升趋势,说明本文方法有利于弱小目标的检测;另外, FASR 曲线显示本文方法将疑似数目减少至原来的 1/3,这表明本文方法可降低后续时域处理的计算量。

### 5.2.2 时域处理结果与分析

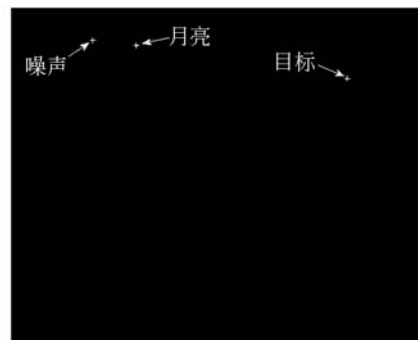
在空域处理的基础上,进行疑似目标时域确认。图 8 和表 2 给出了时域处理的部分过程结果。其中,图 8 为随机 4 frame 图像的疑似目标提取结果,表 2 为这些疑似目标在原始图像中的坐标、大小和平均灰度参数。可以看出,疑似目标由月亮、噪声和飞机目标等构成,对于噪声等随机



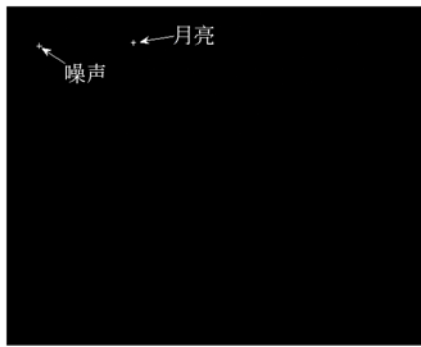
(a) The 5<sup>th</sup> frame



(b) The 19<sup>th</sup> frame



(c) The 41<sup>th</sup> frame



(d) The 62<sup>th</sup> frame

图 8 部分序列帧中疑似目标提取结果

Fig. 8 Extraction results of suspected targets in part frames

干扰,可利用序列特征约束和面积特征约束加以限制滤除,而月亮属于恒亮假目标,其与飞机目标相似度很大,只能依据灰度变化特征约束来进行辨识。图 9 为月亮与飞机目标帧间灰度差分数据(文中取 6 frame 平均),图中显示,飞机目标帧差数据明显大于月亮恒亮假目标,本文根据这一特点来对月亮假目标进行抑制。

表 2 疑似目标参数提取结果

Tab. 2 Detected parameters of suspected targets

帧序号	目标序号	中心坐标/pixel	面积/pixel	平均灰度
第 5 帧	①	(57.45,193.60)	8	157.11
	②	(94.00,600.60)	7	90.50
第 19 帧	①	(57.45,193.61)	8	157.33
	②	(97.97,567.10)	8	80.02
	③	(10.55,271.90)	3	50.25
	④	(111.50,632.90)	2	67.50
第 41 帧	①	(57.45,193.70)	8	156.74
	②	(107.10,518.20)	6	72.33
	③	(49.13,126.08)	3	53.60
第 62 帧	①	(57.49,193.80)	9	156.89
	②	(62.30,50.17)	3	65.27

为定量描述本文时域处理效果,引入漏警率(FDP)、虚警率(FAP)和最低可探测信噪比(LD-SNR)几个客观评价指标,FDP 和 FAP 的定义见式(12)和式(13),LDSNR 为自动检测中的最低目标信噪比。

$$FDP = \frac{n_d}{n_{sum}}, \quad (12)$$

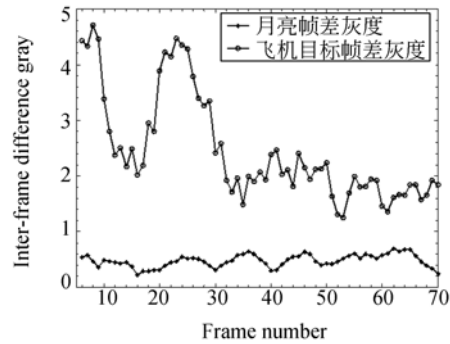


图 9 部分序列帧中疑似目标提取结果

Fig. 9 Extraction results of suspected targets in part frames

$$FAP = \frac{n_a}{n_{sum}}, \quad (13)$$

$$LDSNR = \min\{SNR_1, SNR_2, \dots, SNR_{n_{sum}}\}, \quad (14)$$

式中:  $n_d$  和  $n_a$  分别为目标序列中的漏警帧数和虚警帧数;  $n_{sum}$  为目标序列总帧数;  $SNR_i$  为第  $i$  帧图像目标信噪比。

利用上述指标对时域处理效果进行评价,结果见表 3。由表 3 可以看出,本文时域处理的漏警率 FDP 为 4.3%,这是由于引入时域多特征约束条件引起的,但通过轨迹预测,在具体处理中可准确预测出漏警帧中的目标位置,没有影响后续检测;虚警率 FAP 为 1.4%,这是背景光串扰引起的,其与时域处理的设置条件也有一定关系,在后续研究中还需进一步优化时域处理条件;目标最低检测信噪比为 2.86,已经达到了弱小目标的检测需求。

表 3 时域处理效果客观评价

Tab. 3 Objective evaluation of temporal processing effect

评价指标	FDP	FAP	LDSNR
数值	4.3%	1.4%	2.86

### 5.2.3 空时域融合处理结果与分析

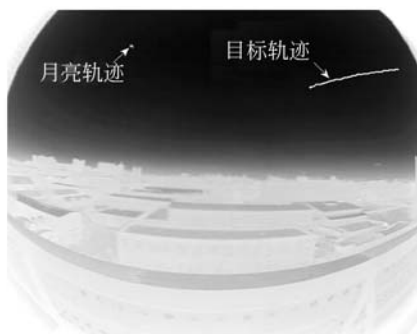
融合 5.2.1 节空域处理和 5.2.2 节时域处理,本节对采集到的空中目标超大视场红外序列图像做目标检测。为对比验证算法效果,分别利用传统邻域判决法和本文方法对同一视频序列进行处理,并在原始图像中进行轨迹标识,结果如图 10 所示。其中,图 10(a)和图 10(b)分别为传统

方法和本文方法的检测结果,图 10(c)为采用传统方法检测出的月亮轨迹,图 10(d)对比给出了两种方法检测输出的目标轨迹。对图示结果分析如下:

(1)总体来看,本文方法有效滤除了地物背景、恒亮孤立点源和瞬时强噪声的影响,从超大视场红外图像中准确检测出了仅占几个像素的空中目标,成功输出了空中飞机目标的运动轨迹。

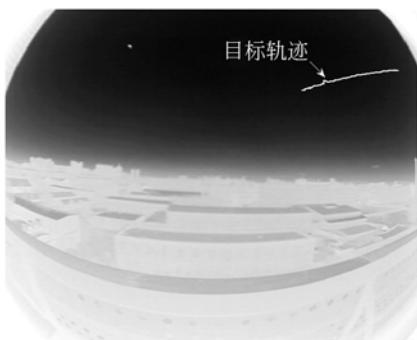
(2)对比来看,在图 10(a)中,传统方法检测出了两条轨迹,一条为飞机目标轨迹,另一条为月亮轨迹,图 10(c)为月亮轨迹的放大图;而图 10(b)显示,引入时域多特征约束条件后,本文方法有效滤除了月亮这一恒亮孤立干扰点源,只检测出了一条飞机目标轨迹。

(3)从检测过程看,图 10(d)显示,传统方法检测出的目标出现帧数稍多于改进算法,受时域特征约束条件的影响,改进算法在少数几帧中没有检测出目标,但依据目标在序列帧之间的连续性特征,目标在丢失帧中的位置被成功预测定位,保证了后续序列帧中目标检测的顺利进行。



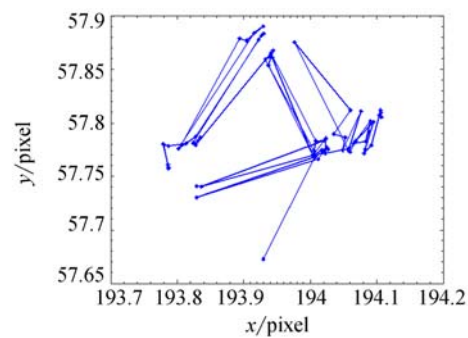
(a) 传统邻域判决法结果

(a) Results of neighborhood judgement method



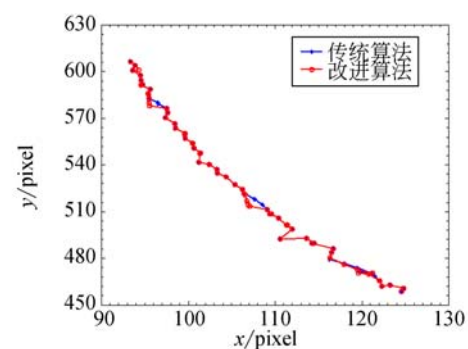
(b) 本文方法结果

(b) Results of proposed method



(c) 月亮检测轨迹

(c) Moon detection trajectories



(d) 目标检测轨迹

(d) Target detection trajectories

图 10 基于空时域融合算法的空中目标检测结果  
Fig. 10 Detection results of aerial targets based on spatial-temporal fusion algorithm

## 6 结 论

针对超大视场红外凝视成像系统应用中的目标检测问题,提出了一种空时域融合的检测方法,并试验验证了该方法对空中飞机目标检测的有效性。进行空域处理时,该方法首先采用改进的传统 Robinson 算法完成目标的初始检测,然后采用基于多向最大梯度模的天地线检测方法,实现图像区域的自动划分和虚警抑制。进行时域处理时则是在传统邻域判决法的基础上,充分考虑目标时域特征,完成对真目标的确认。试验结果表明:本文方法能极大降低背景干扰,提高目标信噪比,减少虚警率,适用于高亮背景、恒亮点源、瞬时强噪声等干扰下的超大视场红外弱小目标检测。本文工作对于超大视场红外凝视系统的拓展应用具有重要的现实意义。

## 参考文献:

- [1] WANG Y Z. Biomimetic staring infrared imaging omnidirectional detection technology [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2010, 55(27-18):3073-3080.
- [2] 王永仲. 鱼镜头光学[M]. 北京:科学出版社, 2006.  
WANG Y ZH. *Fisheye Lens Optics*[M]. Beijing: Science Press, 2006. (in Chinese)
- [3] CHRISTOPHER R B, MARK A M, THOMAS J B. Operational testing and applications of the AIRS FPA with infrared fisheye optics[J]. *SPIE*, 2003, 4820: 515-524.
- [4] BAXTER C R, MASSIE M A, MCCARLEY P L, *et al.*. MIRIADS-miniature infrared imaging applications development system description and operation [J]. *SPIE*, 2001, 4369:129-139.
- [5] 李小磊. 法国“阵风”战斗机将装备新一代导弹探测器[EB/OL]. (2010-04-08) [http://www.mod.gov.cn/wqzb/2010-04/08/content\\_4138532.htm](http://www.mod.gov.cn/wqzb/2010-04/08/content_4138532.htm).  
LI X L. The French rafale will be equipped with a new generation of missile detector[EB/OL]. (2010-04-08) [http://www.mod.gov.cn/wqzb/2010-04/08/content\\_4138532.htm](http://www.mod.gov.cn/wqzb/2010-04/08/content_4138532.htm). (in Chinese)
- [6] 靳永亮, 王延杰, 刘艳滢, 等. 红外弱小目标的分割预检测[J]. *光学精密工程*, 2012, 20(1):171-178.  
JIN Y L, WANG Y J, LIU Y Y, *et al.*. Pre-detection method for small infrared target[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2012, 20(1):171-178. (in Chinese)
- [7] 李一芒, 何昕, 魏仲慧, 等. 采用降维技术的红外目标检测与识别[J]. *光学精密工程*, 2013, 21(5):1297-1303.  
LI Y M, HE X, WEI ZH H, *et al.*. Infrared target detection and recognition using dimension reduction technology[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21(5):1297-1303. (in Chinese)
- [8] 侯旺, 于起峰, 雷志辉, 等. 基于分块速度域改进迭代运动目标检测算法的红外弱小目标检测[J]. *物理学报*, 2014, 63(7):074208.  
HOU W, YU Q F, LEI ZH H, *et al.*. A block-based improved recursive moving-target-indication algorithm[J]. *Acta Phys. Sin.* 2014, 63(7):074208. (in Chinese)
- [9] 王玲玲, 辛云宏. 基于形态学与遗传粒子滤波器的红外弱小目标检测与跟踪算法[J]. *光子学报*, 2013, 42(7):849-856.  
WANG L L, XIN Y H. A small IR target detection and tracking algorithm based on morphological and genetic particle filter[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2013, 42(7):849-856. (in Chinese)
- [10] WANG K W, XU L J, SUN H Y, *et al.*. Small target detection and tracking based on hole filling algorithm and Kalman filter [C]. *IEEE, 2012 2nd International Conference on Computer Science and Network Technology, Changchun, P. R. China*, 2012, 10: 1245-1248.
- [11] 穆治亚, 魏仲慧, 何昕, 等. 采用稀疏表示的红外图像自适应杂波抑制[J]. *光学精密工程*, 2013, 21(7):1850-1857.  
MU ZH Y, WEI ZH H, HE X, *et al.*. Adaptive clutter suppression of infrared images by using sparse representation [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21(7):1850-1857. (in Chinese)
- [12] 卓宁, 孙华燕, 张海江. 红外图像中弱小目标检测算法概述[J]. *光学仪器*, 2005, 27(4):83-86.  
ZHUO N, SUN H Y, ZHANG H J. Algorithm surveys on small target detection in infrared image [J]. *Optical Instruments*, 2005, 27(4):83-86. (in Chinese)
- [13] SONG S J, QIN Q. A new algorithm for small target detection in liquid image sequence [C]. *IEEE International Conference on Intelligent Control and Information Processing, Dalian, P. R. China*, 2011, 5:234-237.
- [14] 柯泽贤, 江汉红, 张朝亮. 时空域结合的红外弱小运动目标检测新方法[J]. *仪器仪表学报*, 2013, 34(6):1401-1405.  
KE Z X, JIANG H H, ZHANG CH L. Novel detection method for small and dim moving infrared target based on spatial-temporal information[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2013, 34(6):1401-1405. (in Chinese)
- [15] 王鑫. 复杂背景下红外目标检测与跟踪算法研究[D]. 南京:南京理工大学, 2010.  
WANG X. *Research on infrared target detection and tracking algorithms under complex background*[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2010. (in Chinese)
- [16] 管志强, 陈钱, 钱惟贤, 等. 一种背景自适应调整的弱点目标探测算法[J]. *光学学报*, 2007, 27(12):2163-2168.  
GUAN ZH Q, CHEN Q, QIAN W X, *et al.*. An adaptive background adjusting algorithm for dim

- target detection[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, 27(12):2163-2168. (in Chinese)
- [17] XU F Y, GU G H, QIAN W X. The research and implementation of CFAR in infrared small target detection[C]. *International Symposium on Photo-electronic Detection and Imaging 2011: Advances in infrared Imaging and Applications*, Beijing, P. R. China, 2011, 8193: 1N1-1N10.
- [18] 鲁居强, 王新增, 刘顺生, 等. 基于八邻域判决的红外运动小目标检测方法[J]. *红外*, 2006, 27(9): 20-23.
- LU J Q, WANG X Z, LIU SH SH, *et al.*. A method for detecting small infrared moving target based on eight close area judgement[J]. *Infrared*, 2006, 27(9):20-23. (in Chinese)

#### 作者简介:



黄富瑜(1985—),男,河北南宫人,博士,讲师,2010年、2014年于中国人民解放军军械工程学院分别获得硕士、博士学位,主要从事光电对抗与图像信息处理方面的研究工作。E-mail: submitoptics@163.com



沈学举(1963—),男,山东淄博人,博士,教授,博士生导师,1989年于山东大学获得硕士学位,2008年于中国人民解放军军械工程学院获得博士学位,主要从事光信息处理和激光技术方面的研究工作。E-mail: shxjoptics@yahoo.com.cn

(版权所有 未经许可 不得转载)