

·信号与信息处理·

空间观测图像弱小目标检测方法

韩艳丽, 刘 峰

(海军航空工程学院, 山东 烟台 264001)

摘 要:空间观测的星空图像中,由于恒星距离较远在图像中仅占几个像素,且存在大量噪声,因此很多信噪比较低的弱小目标被淹没。在预处理环节应将其有效地检测出来,降低后续目标识别和跟踪的虚警率。首先对星空图像的噪声模型进行了分析,通过最小二乘拟合法得到图像背景参数。利用两次检验的方法,首先对目标进行第一次粗检,利用管道滤波的方法进行第二次确认,滤除噪声得到目标。最后通过能量累积的方法对原图像中弱小目标进行增强。仿真实验结果表明了算法的有效性。

关键词:星空图像;弱小目标检测;最小二乘;管道滤波;能量累计

中图分类号: TP751

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2013)-04-0037-04

Detection Method of Dim Target in Space Observation Image

HAN Yan-Li, LIU Feng

(Naval Aeronautical Engineering University, Yantai 264001, China)

Abstract: Among images observed by systems in starry sky, because stars are far away from the systems, only several pixels in the images and much noise, lots of dim targets with lower signal-to-noise ratio are submerged. So it should be detected effectively during pre-processing so as to reduce false alarm rate of identification and tracking of subsequent targets. Firstly, noise models of the images are analyzed and image background parameters are got by the least squares fitting method. And then through secondary test method, targets are tested coarsely for the first time and pipeline filtering method is used for identification for the second time. So noise is filtered and the target is got. Finally, dim targets in original images are enhanced by energy accumulated method. Simulation results show that the algorithm is effective.

Key words: starry sky image; dim target detection; least squares; pipeline filter; energy accumulation

空间观测的星空图像中,包含有恒星,目标和大量的噪声,距离较远的恒星和目标亮度低,所占像素数少且无纹理特征,很容易被周围噪声所淹没,通常人眼亦难以发现目标^[1]。如果要可靠、稳定、准确地将目标从背景杂波中检测出来,则必须对图像进行预处理^[2]。

目前这类弱小目标的检测方法大多与红外小目标的检测相似。典型的方法主要包括空域滤波^[3]、频域滤波^[4]、小波降噪^[5]、形态学滤波^[6]等基本降噪方法,长期以来国内外学者提出了基于经典方法的多种组合和改进的方法。文献[7]提出了一种局部标准

差滤波的方法,通过求取原图像中各 $N \times N$ 邻域内像素标准差,提高小目标图像信噪比。文献[5]针对图像噪声分布特性,利用小波变换与支持向量机相结合的方法对高分辨率遥感图像进行识别。文献[8]用灰度分割方法首先完成对可能运动目标的检测和标记,然后由后续图像帧间信息来实施目标对象的确认并完成跟踪任务。但这些算法很难同时满足检测概率高、虚警率低、实时性好的要求。

文中根据星空图像的特点,提出了一种基于两次检验,通过时空域滤波先粗检后确认的弱小目标检测方法。首先通过最小二乘拟合的方法得到图像

收稿日期: 2013-05-14

基金项目: 国家自然科学基金(51005242)

作者简介: 韩艳丽(1964-),女,内蒙古赤峰人,教授,主要研究方向为图像处理、光电应用、目标检测等。

背景参数,利用均值和方差滤除大部分噪声。再通过管道滤波,将混有噪声的弱小目标进行二次提取,通过多帧关联滤除噪声。最后用空域能量累积的方法对目标进行增强,提高信噪比。

1 星空图像噪声模型分析

星空观测图像的模型如式(1)所示。其中 $r(x, y, t)$ 是原图像, $c(x, y, t)$ 是由电路引起的高斯分布噪声, $d(x, y, t)$ 是由暗电流和背景光引起的泊松分布噪声,由泊松定理,当单帧图像像素数非常大时,泊松分布收敛为高斯分布。 $s(x, y, t)$ 是运动目标信号, $n(x, y, t)$ 是静止恒星。图1为一帧典型的星空观测图像(灰度 16 bit, 1 024×1 024 pixel)。

$$r(x, y, t) = c(x, y, t) + d(x, y, t) + s(x, y, t) + n(x, y, t) \tag{1}$$



图1 原始星空图像

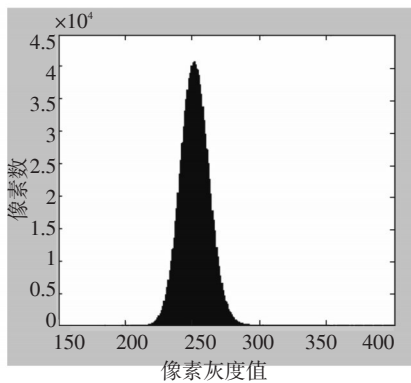


图2 灰度直方图

1.1 背景估计

除星空背景成像特征为大面积起伏背景噪声

外,其余均为点状小目标,且空间目标的亮度很弱,在背景存在大量恒星的干扰下,分析背景的统计特性并建立起精确的数学模型来描述图像中的起伏背景,对小目标检测、识别是至关重要的。

图1的灰度分布范围为[0~65 535],图2为截取的部分星空图像灰度直方图,灰度分布集中的部分为图像背景噪声,从图中可以看出背景符合高斯分布,且噪声大多集中在灰度[200~300]之间。通过最小二乘拟合方法得到图像背景的均值和方差,步骤如下:

步骤1:计算整图均值 μ_0 和标准差 σ_0 ;

步骤2:根据对大量图像的分析,设定最大标准差变化范围 $k=50$;

步骤3:计算最小二乘意义下的拟合误差 E ;

步骤4:剔除野点。赋值 $\mu_1 = \mu_0, \sigma_1 = \sigma_0$; 统计灰度介于 $(\mu_1 - 3\sigma_1, \mu_1 + 3\sigma_1)$ 之间的像素均值 μ_0 和标准差 σ_0 ;

步骤5:如果 σ_1 与 σ_0 之差大于 k ,跳转到步骤3;

步骤6: k 自减1,如果 k 大于1,跳转到步骤2;

步骤7:找出拟合误差 E 最小时的 μ_{\min} 和 σ_{\min} 。

此时得到的均值 μ_{\min} 和标准差 σ_{\min} 即为背景杂波的最小二乘拟合参数。对于图1所示星空图, $\mu_{\min} = 233.72, \sigma_{\min} = 9.23$ 。方法的流程如图3所示。

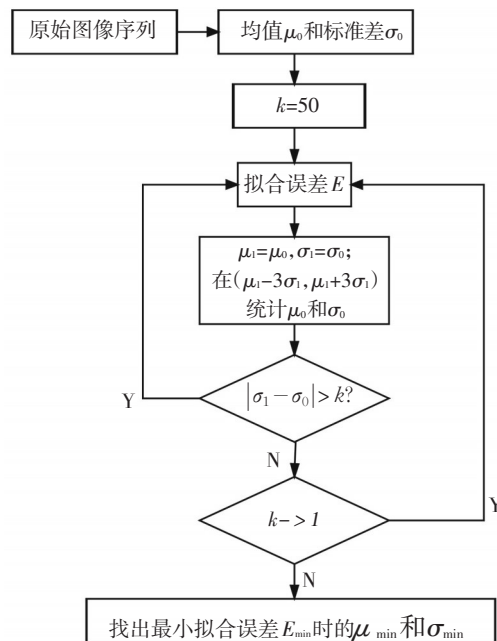


图3 背景杂波参数最小二乘估计流程图

取 $Thr_1 = \mu - 3 \cdot \sigma, Thr_2 = \mu + k \cdot \sigma$, 根据正态分布原理,理论上 $k=3$ 时,灰度范围在 $[\mu - 3 \cdot \sigma, \mu + 3 \cdot \sigma]$, 即灰度范围在 [206,262] 可以包括 99.7% 的背景噪声。最小二乘法拟合背景参数如图4所示。

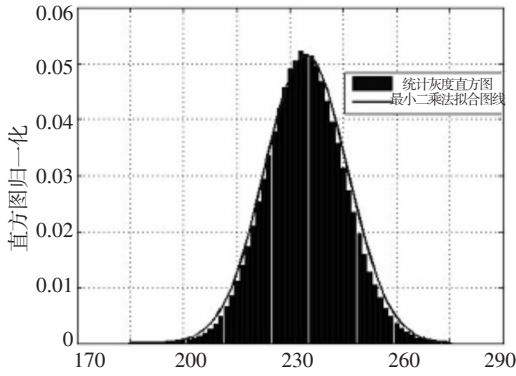


图4 最小二乘法拟合背景参数

2 弱小目标检验

对于弱小目标,要求的检测率较高而虚警率必须很低,同时目标本身的信噪比和对比度又较低,所以在单帧检测的情况下很难满足检测要求,必须结合多帧处理进行检验。像素灰度在小于 $\mu + 3 \cdot \sigma$ 的范围内,仍有一部分弱小目标因信噪比过低而被误检为噪声而滤除。在原图像中,以 $\mu + 3 \cdot \sigma$ 为中心, σ 为半径,即取灰度值在[253,271]之间的灰度置为1,其他灰度置为0,如图5所示。图像中亮点同时含有漏检的弱小目标和噪声。由于噪声的分布是随机的,在任意帧中噪声不重合且无轨迹规律。可通过多帧累加的方法区别弱小目标和噪声。连续求取3帧图像并相加,当某个亮点在同一位置或其邻域内连续出现时,提取其坐标值存入数据库中,作为第一次粗检结果。利用管道滤波的方法,以目标为中心建立一个空间管道,管道的直径代表空间作用尺寸,管道的长度代表检测时间长度。对粗检得到的结果进行扫描,定义检测帧数为5帧,当在同一条管道内连续5帧可以检测到目标时,认为所检目标是真实目标,否则为虚假目标。



图5 弱小目标和噪声混合图片

3 能量累计增加信噪比

对于检测出的弱小目标,其信噪比一般低于3,在图像中很难分辨,利用邻域信息对其进行能量累计增加信噪比。

一般认为,空间目标成像的灰度值在一定程度上高于背景噪声,通常具有一定的面积,可以从目标局部区域灰度较为稳定的特征出发来制订具体的分割标准。在预处理结果图像中选取 $m \times n$ 的滑动窗来统计图像中各局部区域的局部能量值。

首先给出关于图像局部能量的定义,以像素点 (i, j) 为起始点,大小为 $m \times n$ 的图像窗口的局部能量为

$$E_{\text{Local}}(i, j) = \sum_{x=i-m/2}^{i+m/2} \sum_{y=j-n/2}^{j+n/2} [g(x, y)]^2 \quad (2)$$

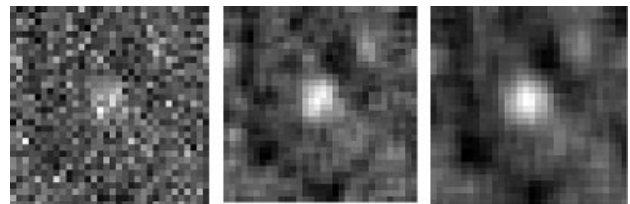
设 $I(i, j)$ 表示原始星像, $E(i, j)$ 表示能量累积后的星像, Area_T 表示星像区域,定义低信噪比扩展目标满足如下条件

$$\max_{(i, j) \in \text{Area}_T} (I(i, j)) < \text{Thr} \quad (3)$$

$$\max_{(i, j) \in \text{Area}_T} (E(i, j)) \geq \text{Thr}' \quad (4)$$

对于高斯背景噪声,假设其均值为 μ , 方差为 σ , 则经过能量累计后的图像均值 $\mu' = \mu$, 方差 $\sigma' = \sigma / (mn)^{1/2}$, 取 $\text{Thr}' = \mu + k\sigma / \sqrt{mn}$, $k = 10^{0.3}$ 。即低信噪比扩展目标区域经过能量累积后星像的峰值信噪比大于3。

图6为利用不同大小窗口对原始图像中暗弱的小目标进行增强的效果图。分别采用 3×3 , 5×5 的窗口进行能量累积。可以看到暗弱的小目标在经过能量累计后变得清晰。



(a)原始图像 (b)3x3 (c)5x5

图6 不同窗口能量累积图像

4 实验结果

为了验证方法的有效性,利用文中算法对拍摄的地基观测星空图像进行试验,图像灰度为16 bit,大小为 1024×1024 像素。软件平台为 Matlab R2008a,

运行环境为 Windows xp sp3, 硬件配置为 AMD 双核 2.3 GHz, 1 G 内存。

图7为原始星图局部放大的图像, 图片中较亮的星坐标为(564,236), 绿颜色圆内为3个暗弱的小目标, 信噪比很低几乎被背景所淹没。图8为采用背景均值方差的方法对图像进行处理, 可以提取出较亮的星点。图9为采用管道滤波对目标进行先检验后确认的方法, 可以看出暗弱目标被有效地检测出来, 提取其坐标并在原图中记录。图10为得到的最终结果, 原星图中暗弱目标得到明显的增强。

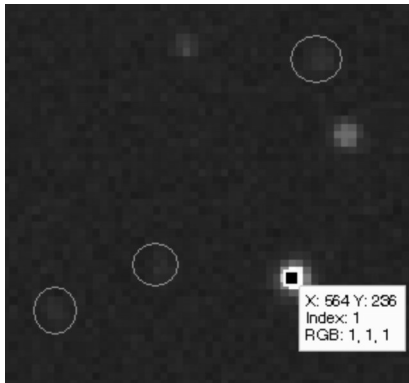


图7 原始星图局部放大

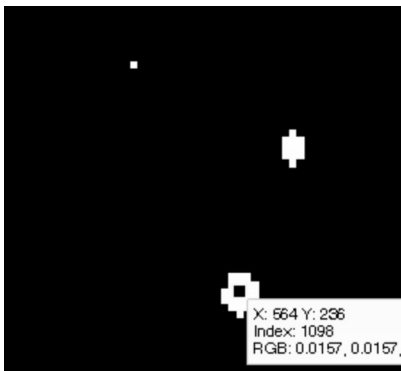


图8 $[\mu-3\cdot\sigma, \mu+3\cdot\sigma]$ 检测结果

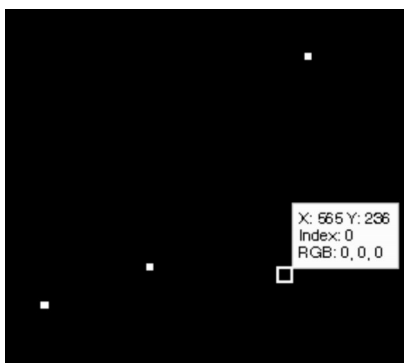


图9 管道滤波检测结果

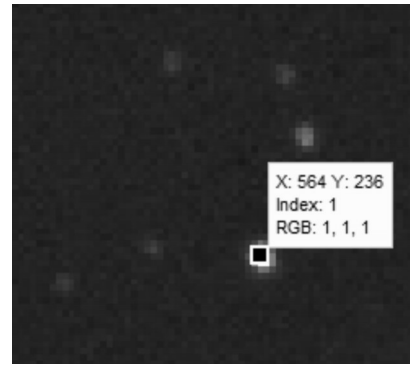


图10 增强的暗弱目标

5 结论

文中提出了一种有效的星空图像中弱小目标的检测方法, 首先用最小二乘拟合的方法得到图像的背景参数, 确定噪声所在的范围, 利用阈值将大部分噪声滤除。并用两次检测, 提取漏检目标, 利用管道滤波的方法将暗弱小目标提取出来。最后通过能量累计的方法提高图像信噪比。经过此预处理后图像的信噪比显著增强, 暗弱目标得到有效的划分和检测。

参考文献

- [1] 漆长松, 刘恩海, 钟建勇. 天基平台深空运动小目标检测[J]. 光电工程, 2008, 35(5): 28-32.
- [2] 张耀, 雍杨, 张启衡, 等. 低对比度小目标检测[J]. 强激光与粒子束, 2010, 22(11): 2566-2570.
- [3] 曹琦, 毕笃彦, 张齐. 一种新的空时域滤波小目标检测方法[J]. 光电工程, 2009, 36(7): 41-44.
- [4] 尹德强, 李文海, 宋有为. 基于频域滤波的分数阶 Fourier 变换的目标检测[J]. 现代电子技术, 2011, 34(19): 35-38.
- [5] 陈向东, 张瑾. 一种基于小波变换的红外图像去噪方法[J]. 传感器与微系统, 2006, 25(8): 7-9.
- [6] 汪洋, 郑亲波, 张钧屏. 基于数学形态学的红外图像小目标检测[J]. 红外与激光工程, 2003, 32(1): 28-31.
- [6] Yilmaz A, Shafique K, Shah M. Target tracking in airborne forward looking infrared imagery[J]. Image Vision Comput, 2003, 21(7): 623-635.
- [7] 刘健, 刘忠. 基于小波变换和支持向量机的水下目标分类方法[J]. 火力与指挥控制, 2011, 36(9): 88-92.
- [8] Efficient Detection of Small Moving Objects. ADA213314.