

文章编号: 1672-8785(2011)05-0009-05

空间瞬变光辐射目标定位方法

王 良^{1,2} 汶德胜¹ 张 雯^{1,2} 王 宏¹

(1. 中国科学院西安光学精密机械研究所, 陕西 西安 710119;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要: 基于瞬变光辐射目标的时空特性, 提出了一种基于模板的光辐射目标检测与定位方法。该方法采用加权平均法进行背景估计, 并利用 Robinson 滤波器对残差图像进行二次滤波, 有效降低了交叉投影法生成的模板数量。结合瞬变光辐射目标在空间上的局部特性和时间上的瞬时特性, 对备选模板进行了多级假设检验。最后利用模板提取了目标区域, 求得了目标重心。实验证明, 该方法能够以较高精度对多个目标进行定位。

关键词: 目标定位; 瞬变光辐射; 交叉投影; 模板; 质心

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2011.05.002

A Location Method for Space Transient Optical Targets

WANG Liang^{1,2}, WEN De-sheng¹, ZHANG Wen^{1,2}, WANG Hong¹

(1. Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese

Academy of Sciences, Xi'an 710119, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: According to the temporal and spatial features of transient optical targets, an optical target detection and location method based on templates is proposed. By using weighted average to estimate the background and using a Robinson filter for secondary filtering of the residual image, the method has effectively reduced the target templates segmented by the cross projection method. In light of the local spatial characteristics and temporal characteristics of transient targets, multiple hypothesis testing is conducted on the potential target templates and the ultimate target templates generated. Finally, the real targets are extracted from the background by using these templates and their barycentric coordinates are calculated. Experimental results show that this method can locate several targets with a higher accuracy at the same time.

Key words: target location; transient optical signal; cross projection; template; centroid

0 引言

空间瞬变光辐射信号主要包括大气层中的各种闪电和宇宙中的各种射线集中爆发所产生

的光强信号。利用天基观测平台对瞬变光辐射信号进行全天候、大范围的长期监测和定位, 全面掌握其发生规律并做好预报和预防工作, 对于空间探测器研制、实时气象预报、全球气候

收稿日期: 2011-03-11

作者简介: 王良(1985-), 男, 河南内乡人, 硕士研究生, 主要研究方向为图像采集与处理。

E-mail: wangliang.study@163.com

变化研究以及国防安全等都具有重要意义^[1]。

空间瞬变光辐射定位系统是通过高帧频图像传感器进行大视场成像,然后利用图像处理技术提取目标信号在成像面上的重心位置,最后再根据卫星的姿态和位置参量计算出瞬变光辐射实际发生地的坐标的。瞬变光辐射目标的检测定位本质上属于弱小目标检测问题,但与一般的运动目标检测又有所区别。瞬变光辐射具有随机发生、持续时间非常短和无位移等特点,即使是高速成像系统也只能捕获到两三帧含有目标的图像。因此,基于图像序列的运动目标检测方法^[2-4]一般不能应用于瞬变光辐射目标检测。传统的瞬变光辐射定位系统一般是采用帧间差分法进行检测的,这会引入大量虚假目标,因此它需要在后期对观测数据进行处理后才能进行目标鉴别,处理周期相对较长^[5]。

本文从空间瞬变光辐射成像中背景、噪声和目标的特征出发,采用背景估计、Robinson滤波和管道滤波等方法从空间域、时间域、灰度域对目标进行多级假设检验,能够在几帧图像中有效地检测出瞬变光辐射目标。最后利用生成的目标模板和质心法,便可求取目标的中心位置。与传统方法相比,该方法有效地减少了备选目标的数量,降低了数据处理量,同时也达到了比较理想的定位精度。

1 图像特征分析

在天基瞬变光辐射定位系统中,由于成像距离远、视野大,瞬变光辐射目标可视为点光源,因此空间瞬变光辐射图像序列可以表示为

$$f(i, j, k) = A(k)H(i, j, i_T, j_T) + f_B(i, j, k) + f_N(i, j, k) \quad (1)$$

$$1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N$$

式中, $f(i, j, k)$ 为第 k 帧图像 (i, j) 处的灰度值, $f_B(i, j, k)$ 为背景灰度, $f_N(i, j, k)$ 为噪声灰度。瞬变光辐射目标可认为是固定位置 (i_T, j_T) 处强度为 $A(k)$ 的理想点光源经过点扩散函数 $H(\cdot)$ 而产生的光斑,其中 $A(k)$ 随时间增长而趋于 0。瞬变

光辐射定位系统在光辐射发生时触发成像,因此 $A(k)$ 仅仅在序列图像的初始几帧内不为 0。

在实际应用中,为了得到更高的定位精度和避免噪声对目标的干扰,需要对瞬变光辐射定位系统中的光学系统进行离焦设计,使目标在传感器靶面上的像点扩散到 3 至 5 个像元。

2 定位算法

2.1 背景抑制

瞬变光辐射目标仅仅占有几个像元,定位精度对像元的空间分布和灰度分布很敏感。常见的自适应滤波方法在较少的先验信息下很容易引入大量虚假目标。由于瞬变光辐射目标成像速度较快,背景变化相对较小,可以采用加权平均方法进行背景的精确估计。

在获取的序列图像中,第 1 帧图像的信噪比最高,所估计的背景应该与其相对应。背景可以看作是前 N 帧图像的加权平均,越靠近光辐射发生时刻,帧的权重越大,反之则越小。因此,背景帧的生成可以用以下公式表达。

$$f_b = Bf_0 + \sum_{i=1}^N (1-B)^i f_i$$

$$\bar{f}_b = \frac{Bf_0 + \sum_{i=1}^N (1-B)^i f_i}{\sum_{i=1}^N (1-B)^i + B} \quad (2)$$

式中, f_b 为归一化处理前的背景, $\bar{f}_b$ 为归一化处理后的背景, B 为增益因子, f_i 为第 i 帧图像。

背景估计实际上是完成时域高通滤波功能。增益因子 B 选取得过低会使背景估计值对背景强度变化没有足够快的响应,反之则会使目标污染背景估计,并且增加处理噪声。

$$\frac{N_R}{N_F} = \sqrt{\frac{2}{2-B}} \quad (3)$$

式中, N_R 为输出噪声, N_F 为输入噪声。根据输出噪声与输入噪声之比最小的原则,实际选择 $B=0.125$, $N=7$ 。

将背景帧与目标帧相减得到的残差图像中不仅含有目标,而且还含有近零、虚假信号。如直接进行二值化处理会导致备选目标过多,从而增加后续处理量,因此有必要进行二次滤波。

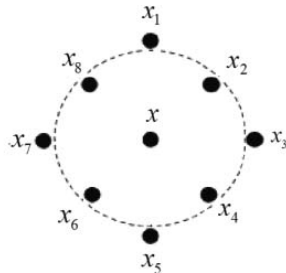
Robinson 滤波器基于点源目标具有局部极值这一特性,将中心像元的灰度值与邻域像元的灰度值进行比较,同时又考虑到实际点源目标通常具有一定面积,选取邻域时设置了一定的保护带,因而能够有效抑制背景和较大的面目标,增强点源目标。Robinson 滤波的计算方法如下:

$$f_T(x) = \begin{cases} f(x) - \max\{x_i\}, & f(x) > \max\{x_i\} \\ \min\{x_i\} - f(x), & f(x) < \min\{x_i\} \\ 0, & \min\{x_i\} \leq f(x) \leq \max\{x_i\} \end{cases} \quad (4)$$

式中, $f(x)$ 为输入图像, $f_T(x)$ 为滤波后的图像。考虑到点源目标在空间上具有对称性,本文将 Robinson 滤波器的模板由常见的矩形改为各向同性的圆形^[6]。该模板具有旋转不变性,对非凸集(如空洞、非连通)目标结构不敏感,同时还兼顾到多向性结构。通过调整圆形模板的半径 R 可以实现对特定目标的筛选。

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
x_{16}				x_6
x_{15}		x		x_7
x_{14}				x_8
x_{13}	x_{12}	x_{11}	x_{10}	x_9

(a) 矩形



(b) 圆形

图 1 Robinson 滤波模板

2.2 阈值分割

在瞬变光辐射序列图像中,目标大小相对固定,仅占几个像元,对整幅图像的数学统计影响很小。根据这一特性,采用恒虚警概率对图像进行二值化处理。门限 t 由式 (5) 决定^[7]。

$$t = u + k \cdot \delta \quad (5)$$

式中, u 为图像均值; δ 为标准差; k 为常数, k 的选取根据图像的信噪比而定。背景点错划为

目标的概率为

$$\alpha(t) = \int_t^{+\infty} p(x) dx \quad (6)$$

为了避免阈值对目标结构的破坏,并保证定位精度,一般选择比较低的阈值门限。

2.3 目标区域提取

本文采用管道滤波思想对目标区域进行提取与鉴别,即首先在单帧图像中提取出所有符合尺寸要求的可能目标区域,然后追踪其在多帧图像中的分布规律,依据目标的持续时间进行甄别。

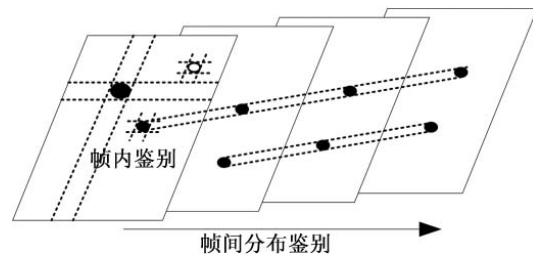


图 2 目标区域提取的示意图

由于成像距离极远,像面目标的大小差异不大,直接利用交叉投影法对目标进行分割提取,不会出现因目标过小造成漏检的情况。与连通域分析方法相比,交叉投影法过程简单,能够直接给出目标的尺度信息。交叉投影法^[8]是首先对图像进行水平投影运算,检测出灰度值非零点的坐标区间,然后在每个区间内对图像进行垂直投影检测,进而确定该区间内各个潜在目标的坐标范围的。因此,通过水平和竖直两次投影检测,便可得到各个潜在目标的分布范围。

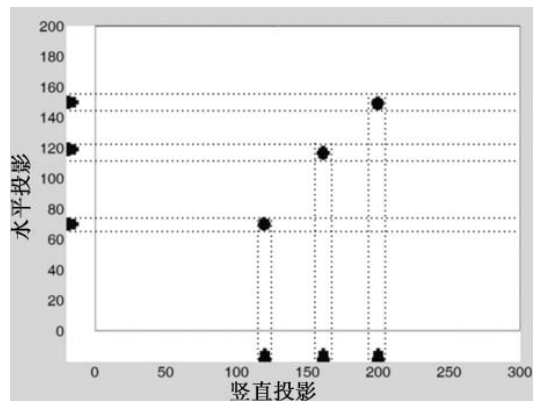


图 3 交叉投影法的原理图

由于采用了较低的阈值门限, 分割后的图像中会存在少数虚假目标。这些虚假目标主要由噪声和强烈的边缘产生。瞬变光辐射目标成像具有一定的面积要求, 可以据此将不符合要求的虚假目标直接剔除。

噪声一般会在每一帧图像中随机出现, 由边缘引起的虚假目标则会存在于每一帧图像中的特定位置, 而瞬变光辐射目标会根据不同帧频仅分布在有限的几帧图像内。空间瞬变光辐射定位系统是在光辐射发生后触发成像的。根据光辐射信号持续时间及成像帧频的不同, 可以确定前几帧图像中必定含有目标, 第几帧以后的图像必定为背景。

将帧间灰度变化定义为 $d(k_1, k_2)$, 其计算公式为

$$d(k_1, k_2) = \text{mid}[f(i, j, k_1) - f(i, j, k_2)], \quad i, j \in S \quad (7)$$

式中, (i, j) 为像素坐标; k_1 和 k_2 为帧号; S 为目标区域。灰度在两帧间的连续性可以用式 (8) 进行判断:

$$|d(k_1, k_2)| \leq \varepsilon \quad (8)$$

式中, ε 为给定常数。当式 (8) 满足时, 可认为目标出现在两帧中。

目标区域提取与鉴别的步骤如下:

(1) 对交叉投影后的目标区域大小进行检测, 将小于 2×2 或者大于 5×5 的区域清除。

(2) 计算当前帧与相邻帧对应目标区域的 $d(k, k+1)$, 将满足 $|d(k, k+1)| > \varepsilon$ 条件的目标区域清除;

(3) 计算当前帧与第 N 帧 (背景帧) 目标区域的 $d(k, k+N)$, 将满足 $|d(k, k+N)| \leq \varepsilon$ 条件的目标区域清除。

2.4 目标精确定位

细分定位方法采用带阈值的质心法。该方法不仅具有较高精度, 而且受噪声的影响也较小^[9]。其计算公式如下:

$$X_c = \frac{\sum_{i=1}^m [f_T(x_i, y_i) - th(x_i, y_i)]^2 x_i}{\sum_{i=1}^m [f_T(x_i, y_i) - th(x_i, y_i)]^2}$$

$$Y_c = \frac{\sum_{i=1}^m [f_T(x_i, y_i) - th(x_i, y_i)]^2 y_i}{\sum_{i=1}^m [f_T(x_i, y_i) - th(x_i, y_i)]^2} \quad (9)$$

式中, (X_c, Y_c) 为重心坐标, m 为目标所占的像素个数, $f_T(x_i, y_i)$ 为 (x_i, y_i) 处的灰度值, $th(x_i, y_i)$ 为 (x_i, y_i) 处所对应的阈值。

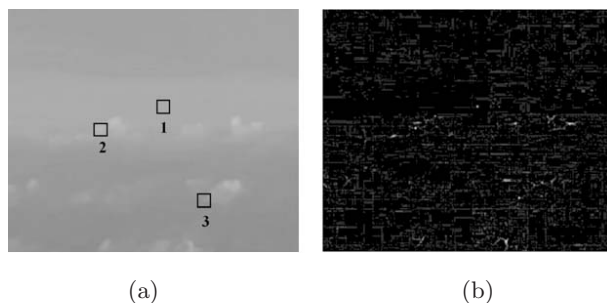
由于本文中的目标模板处理的是背景被抑制后的图像, 相当于已经对原图像进行了阈值处理, 因此可以直接采用传统质心法对模板选择区域进行计算。

3 实验及性能分析

在瞬变光辐射定位系统中, 光学系统的点扩散函数可近似成二维高斯函数, 单帧图像内的瞬变光辐射目标可以表示为

$$f_T(i, j) = Ae^{-\frac{i^2+j^2}{2\sigma^2}} \quad (10)$$

通过调整幅度 A 和方差 σ 可以控制目标的强度和大小。在不同环境下, 瞬变光辐射目标的尺寸变化不大, 定位精度主要受信噪比影响。通过调整目标幅度 A 可以产生具有不同信噪比的序列图像。在一幅真实的云层图像中添加三处目标点: 云边缘处 (剧变背景) 目标 1, 纯净区域中 (近似不变背景) 目标 2, 云内 (缓变背景) 目标 3。通过将降低为原值的 60% 的目标幅度 A 作为下一帧图像中的目标幅度, 并将原始图像作为背景图像, 得到了一组瞬态光辐射仿真图像。图 4 给出了其图像处理过程: (a) 为目标帧, (b) 为差值图像, (c) 为二次滤波后的图像, (d) 为二值化图像, (e) 为尺寸鉴别后的图像, (f) 为帧间鉴别后的图像。



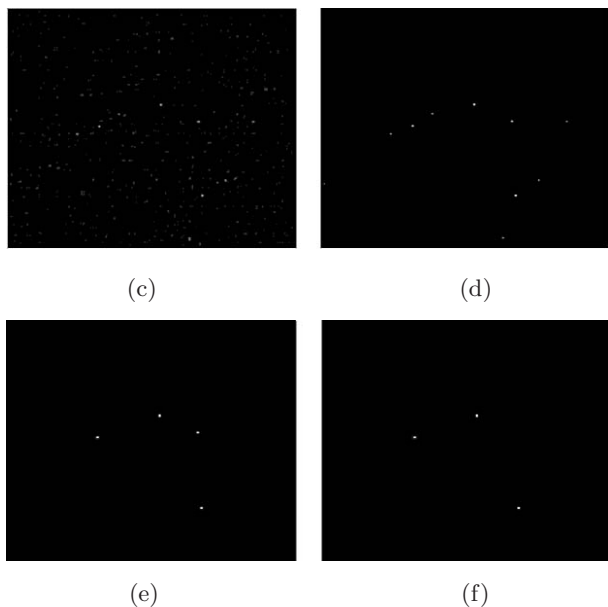


图 4 一组序列图像的仿真结果

为了检验本文所述方法的精度, 将实验求出的重心与真实位置进行了比较, 两者之间的距离反映了本文所述方法对瞬变光辐射目标定位的精度。大量实验数据表明, 当信噪比大于 1.5 时, 本文所述方法的检测率可达到 97%, 并可保证定位误差在 0.15 个像元之内。由于目标所占像元较少, 空间量化效应和背景分布差异等因素都会造成定位误差在一定范围内波动。

4 结论

本文根据瞬变光辐射定位探测器对定位精度和实时性的要求, 在分析瞬变光辐射目标的时

间和空间特性的基础上, 采用背景估计、Robinson 滤波和交叉投影等方法完成了背景抑制和目标检测, 提出了一套具有针对性的定位方法。该方法有效地保护了光辐射目标原有的灰度分布, 能够以较高的精度实现对多个目标的定位, 具有一定的实用价值。

参考文献

- [1] 王华, 汶德胜, 刘学斌, 等. 空间瞬态光辐射信号定位系统电路设计与实现 [J]. 光子学报, 2006, 35(9): 1421-1425.
- [2] 李斌, 彭嘉雄. 基于动态规划的红外小目标检测与识别 [J]. 华中科技大学学报, 2000, 28(6): 67-70.
- [3] 熊辉, 沈振康, 魏急波, 等. 低信噪比运动红外点目标的检测 [J]. 电子学报, 1999, 27(12): 26-29.
- [4] 陈尚峰, 肖山竹, 卢焕章. 图像序列弱小目标能量积累检测研究 [J]. 系统工程与电子技术, 2009, 31(2): 288-291.
- [5] Christian H J, Blakeslee R J, Goodman S J. The Detection of Lightning from Geostationary Orbit [J]. J Geophys Res, 1989, 94(13): 329-337.
- [6] 余农, 吴常泳, 汤心溢, 等. 红外目标检测的自适应背景感知算法 [J]. 电子学报, 2005, 33(2): 200-205.
- [7] 石勋, 侯立伟, 潘鸣, 等. 运动点目标精确定位方法研究 [J]. 电波科学学报, 2009, 24(4): 766-769.
- [8] 王兆魁, 张育林. 一种 CCD 星图星点快速定位算法 [J]. 空间科学学报, 2006, 26(3): 209-214.
- [9] Shortis M R, Clarke T A, Short T. A Comparison of Some Techniques for The Subpixel Location of Discrete Target Images [C]. SPIE, 1994, 2350: 239-250.

新闻动态 News

美国喷气推进实验室研制出 与通用读出集成电路兼容的 n-B-pi-p 超晶格红外探测器

据 www.techbriefs.com 网站报道, 美国喷气推进实验室最近通过在标准的 n-pi-p 结构的

n-pi 结处插入一个专门设计的势垒 (B), 研制出一种可大大减少产生 - 复合暗电流的 n-B-pi-p 超晶格红外探测器。这种新型 n-B-pi-p 超晶格红外探测器还减少了隧道暗电流, 因而可以解决目前 II 型应变层超晶格红外探测器易产生的一些问题。另外, 这项创新技术与通用读出集成电路是兼容的。

□ 高国龙