

一种基于数学形态学的红外弱小目标检测方法

苏新主,姬红兵,高新波

(西安电子科技大学 电子工程学院,陕西 西安 710071)

摘 要:提出了一种红外图像序列中运动弱小目标检测的新方法。该方法在时间剖面上采用数学形态学滤波和中值滤波来抑制杂波背景干扰,并对去除背景后的图像进行分割,然后利用序列图像中目标运动的连续性和轨迹的一致性来检测出真正的目标。利用实测数据进行了仿真,实验结果表明了该方法的有效性。

关键词:弱小目标检测; 红外图像序列; 数学形态学

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2276(2004)03-0307-04

Detection method for dim small IR targets based on mathematical morphology

SU Xin-zhu, JI Hong-bing, GAO Xin-bo

(School of Electronic Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: A new detection method for moving dim small targets in infrared image sequences is presented. Firstly, the proposed method suppresses the background clutter with mathematical morphology and median filtering in temporal profile of image sequences, then segments the candidate target from background. Finally, the continuity of moving and the consistency of track of the target in sequential images are used to identify the real target. The experimental result shows the effectiveness of the proposed method.

Key words: Dim small target detection; Infrared image sequence; Mathematical morphology

0 引 言

近年来,红外热成像技术被广泛地应用于军事领域,如现代防御武器系统越来越重视通过目标所产生的红外辐射来探测、识别和攻击目标。为了尽可能早发现目标,使防御武器有足够的反应时间,要求目

标必须在很远处就被检测到。这时目标的图像很小,只有很少的几个像素;而且接收器内部的噪声及背景杂波干扰又较强,使得目标图像信噪比(信号和杂波+噪声比,SCNR)很低。因此,为了提高防御系统的作用距离,研究红外图像中弱小目标的检测显得尤为重要。

由于利用红外传感器获得的小目标图像信噪比

低,目标所占的像素很少,缺乏可用的结构信息,这样就难以从单帧图像中分离出目标。经过 10 多年来潜心研究,国内外学者提出了许多小目标检测方法^[1~5],但是这些方法都有各自的适用条件和应用范围,红外图像中弱小目标的检测问题仍然没有得到完全的解决。根据运动目标和无运动目标经过的像素在时间剖面上的灰度变化差异,采用数学形态学滤波和中值滤波的方法,抑制杂波背景的干扰,从而检测出真正的目标。

1 弱小目标检测方法

对于连续采集的红外图像序列,若从小目标经过背景像素的时间剖面上看,具有类似“脉冲”的形状^[6]。“脉冲”宽度与目标的速度成反比,亮度与目标的强度成正比;而没有小目标经过的背景像素灰度则是缓慢变化的。本文根据像素在时间剖面上的灰度变化差异,采用基于数学形态学和中值滤波的方法,滤除由于运动小目标所引起的“脉冲”,通过对背景杂波的正确估计,进行目标分割和连续滤波,从而准确地检测出小目标,其方法流程如图 1 所示。

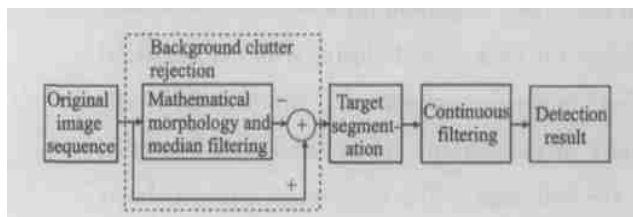


图 1 检测方法流程

Fig. 1 Diagram of the detection method

1.1 杂波背景抑制

由红外目标、杂波背景以及噪声共同构成的红外图像,杂波背景的灰度值往往存在起伏,这种起伏干扰具有较强的相关性,是一种缓慢变化且非平稳的二维随机过程。军事目标属于热源目标,其灰度值一般大于其邻域的背景值,但难以同强杂波干扰区分开,特别是对于复杂背景中的弱小目标,如果要利用空间处理技术来分割出目标,其难度更大。图 2 是含有目标的某一行的一维信号,从图中可以看到,背景起伏很大,因此,目标虽然为一个突出的窄“脉冲”型信号,但从空间特性来看(如所占面积大小),仍很难同一些背景杂波区分开。所以,当采用空间杂波抑制技术

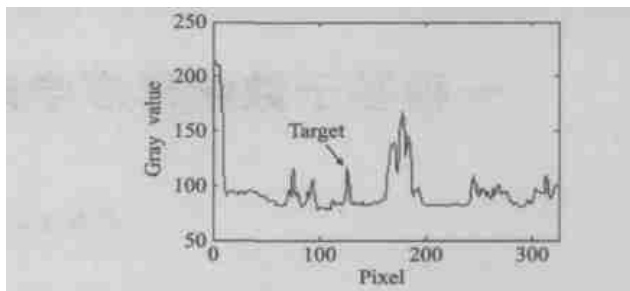


图 2 图像中某一行的一维信号

Fig. 2 One dimension signal of a row in original image

(如 Top-hat 变换法^[3]等)和阈值分割时,很容易丢失目标,或者把杂波误认为目标,即会产生高的漏检或高的虚警概率。为了克服这一缺点,本文从时间序列上来估计不含目标和噪声的杂波背景。在时间剖面上,有小目标经过的背景像素灰度(虚线表示)具有类似“脉冲”的形状,“脉冲”宽度与目标的速度成反比,亮度与目标的强度成正比;而没有小目标经过的背景像素灰度(实线表示)则是缓慢变化的(见图 4(a))。由于数学形态学^[7]中的灰度开启操作(即对图像进行先腐蚀后膨胀操作)可以消除与结构元素相比尺寸较小的亮细节,而保持图像整体灰度值和大的亮区域基本不受影响。因此可以在时间剖面上采用一维的灰度开启操作,消除由于运动目标经过而产生的“脉冲”,即滤除目标信号,而保持缓慢变化的背景信息基本不变;另外非线性中值滤波可以消除随机噪声对背景估计的影响而保留背景的细节信息。通过以上分析,文中采用时间剖面的形态学和中值滤波相结合的杂波背景抑制方法。

设 $f(r, n)$, $n = 1, 2, \dots$ 是从红外传感器获得的图像序列,每一帧图像大小为 $N_1 \times N_2$, 则 n 时刻获取的场景图像可以用以下模型表示:

$$f(r, n) = b(r, n) + s(r, n) + \zeta(r, n) \quad (1)$$

式中 $b(r, n)$ 为杂波背景图像; $s(r, n)$ 为目标图像; $\zeta(r, n)$ 为传感器噪声图像, $r = (r_i, r_j)$, $i = 1, \dots, N_1$, $j = 1, \dots, N_2$, 表示图像空间中像素点的坐标。

记 $b_T(r, n)$ 为 T 帧观测 $f_T(r, n) = \{f(r, n - T + 1), \dots, f(r, n)\}$ 的基础上对背景 $b(r, n)$ 的估计; $\tilde{f}(r, n)$ 为残差图像,即背景抑制后的图像; g 为结构元素; $\circ$ 表示形态学中灰度开启运算。杂波背景抑制

方法步骤为:

(1) 对序列 $f_T(r, n)$ 做一维形态学开运算, 即 $f_T(r, n) \circ g$, 滤除由于运动小目标经过背景像素产生的“脉冲”和部分噪声起伏, 而保持缓慢变化的背景灰度信息基本不变;

(2) 在时间剖面上求中值得到背景的估计:

$$b_T(r, n) = \text{median}\{f_T(r, n) \circ g\} \quad (2)$$

(3) 用当前图像 $f(r, n)$ 减去 $b_T(r, n)$, 并取正值部分, 即:

$$\tilde{f}(r, n) = \max\{f(r, n) - b_T(r, n), 0\} \quad (3)$$

取正值部分是考虑到军事目标一般为热源, 对于红外图像来说, 目标的灰度可以认为是单极性的(一般为亮的)且灰度强度一般大于其周围的背景。由公式(1)可知:

$$\tilde{f}(r, n) \approx s(r, n) + \zeta(r, n) \quad (4)$$

即滤波输出只有信号和高斯噪声。算法中 T 的长度和结构元素 g 的大小可以根据目标的大小以及运动速度来确定。

1.2 目标分割

经过滤波处理后的图像, 信噪比大大地提高, 采用自适应的阈值对图像作二值化处理, 阈值 $V = m + c\sigma$, 式中 m 为图像的均值; σ 为图像的标准差; c 为常数, 可以通过实验得到, 一般取值为 $3 \sim 10$ 。阈值分割后可以利用小目标的特点, 消除一些不可能为目标的孤立噪声点和大面积的连续区域。

1.3 连续滤波

二值化后的图像序列可能还存在着一些噪声点, 为了检测出真正的目标, 根据目标运动的连续性, 采用参考文献[8]中流水线结构的方法来进行序列检测, 其主要依据是目标运动的连续性, 即如果在第 i 帧中像素 (x, y) 处有目标, 则该目标在第 $i+1$ 帧中必然会在该像素的一个小邻域内, 但由于分布的随机性, 在连续多帧的图像中, 噪声块的位置没有这种连续性。

2 实验结果分析

实验采用 6 组图像大小为 244×320 、长度为 100

帧、不同天空背景的红外图像序列, $SCNR \approx 2.5 \sim 3.0$, 将结果与 Top-hat 算子的检测方法^[3]进行比较, 文中 $SCNR$ 定义为:

$$SCNR = \frac{G_t - G_b}{\sigma_b} \quad (5)$$

式中 G_t 为目标的平均灰度值; G_b 为背景的平均灰度值; σ_b 为背景的标准差。

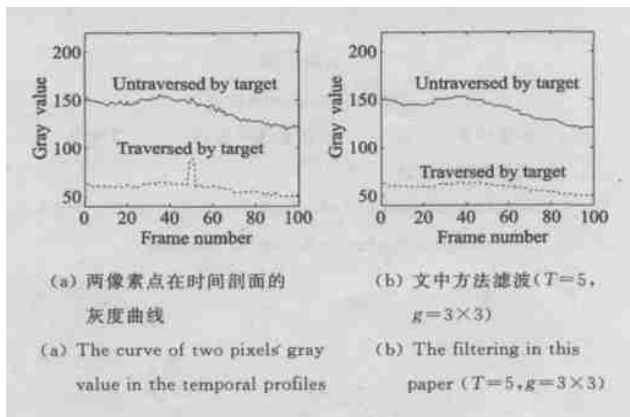
图 3 是某个红外图像序列^[6]中的一帧, 背景为天空、云层, 图中只有一个小目标, 用白色方框标注; 目标大小约为 3×3 , 运动速度约为 1 像素/帧, 所以实验中取 $T=5$, 结构元素 g 取 3×3 的平面正方形。图 4(a) 是红外原始图像中的两个像素点在时间剖面上的灰度曲线, 虚线是有目标经过, 实线是没有目标经过



图 3 某原始图像序列中的一帧

Fig. 3 One frame of original infrared image sequence

过; 图 4(b) 是采用文中方法的滤波结果, 作为比较, 给出了基于时间剖面的均值和中值滤波的实验结果, 分别如图 4(c) 和 (d) 所示, 二者的滤波窗口长度均为 T 。从图中可以看出, 在滤除由于运动小目标所引起的“脉冲”同时保留背景信息方面, 文中的滤波方法都优于均值和中值滤波。图 5 示出实验各阶段的结果图, 左边是采用文中检测方法的实验图, 右边是采



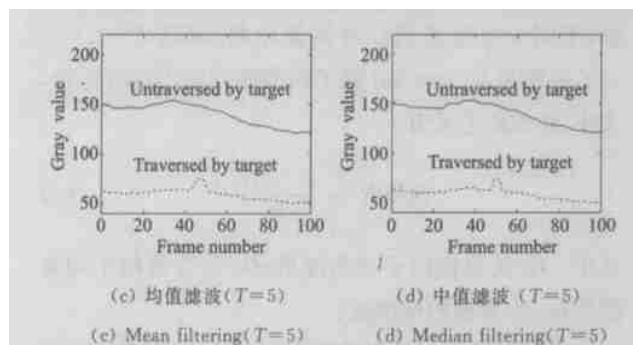


图 4 滤波效果的比较

Fig. 4 Comparison of the output of filterings

用参考文献[4] Top-hat 变换法的实验图,图像均作过反色处理;检测结果经过膨胀处理。图 5(a) 是杂波抑制后的残差图像;(b) 为自适应分割后的图像;

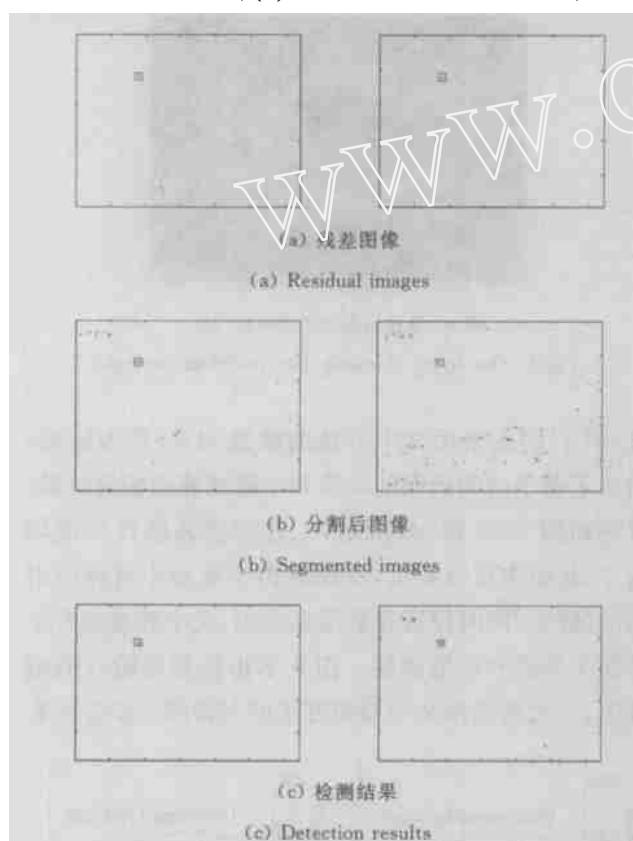


图 5 实验结果。左边——文中的检测方法;右边——Top-hat 变换的检测方法

Fig. 5 Experimental results. Left: detection method in this paper, right: detection method with Top-hat transform

为最后检测结果。从图中可以看出,文中方法对杂波背景抑制效果显然要好于基于空间处理的 Top-hat 变换法,自适应分割后的虚警也大大降低,连续滤波后能够准确地检测出目标,而 Top-hat 变化法最终无法完全剔除杂波干扰。

3 结 论

分析了运动目标和背景杂波分别在时间剖面上所产生的像素灰度的变化差异,采用基于时间剖面的数学形态学和中值滤波来抑制背景杂波,克服了基于空间处理技术对复杂背景抑制的困难。然后利用目标运动的连续性和轨迹的一致性检测出真正目标。实验结果表明,该方法能够很好地从复杂背景干扰中检测出弱小目标。

参考文献:

- [1] Nishiguchi K, Kobayashi M, Ichikawa A. Small target detection from image sequences using recursive max filter[A]. SPIE[C]. Orlando, 1995, 2561: 153-166.
- [2] 李宽国,彭嘉雄,李红. 基于向量小波变换的小目标检测方法[J]. 华中理工大学学报, 2000, 28(1): 73-75.
- [3] 吴巍,彭嘉雄,叶斌. 一种云层背景抑制与小目标检测方法[J]. 华中科技大学学报, 2001, 29(11): 56-57.
- [4] 张弘,赵保军,毛二可. 低信噪比下抖动的红外弱小目标的实时检测[J]. 激光与红外, 2001, 31(4): 225-227.
- [5] 陈铭节,丁明跃,彭嘉雄. 红外图像序列中运动点目标检测技术[J]. 数据采集与处理, 1994, 9(4): 294-299.
- [6] Cafer C E, Silverman J, Mooney J M, et al. Temporal filtering for point target detection in staring IR imagery: I. damped sinusoid filters[A]. SPIE[C]. Florida, 1998, 3373: 111-122.
- [7] 崔屹. 图像处理与分析——数学形态学方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [8] 彭嘉雄,周文琳. 红外背景抑制与小目标分割检测[J]. 电子学报, 1999, 27(12): 47-51.