

## 强噪声背景下红外弱小目标的快速检测方法\*

罗继强<sup>1,2</sup>, 吴振森<sup>1</sup>, 董雁冰<sup>2</sup>, 姚连兴<sup>2</sup>

(1. 西安电子科技大学理学院, 陕西西安 710071; 2. 北京环境特性研究所, 北京 100854)

**摘要:**提出了一种强噪声背景下弱小目标的快速检测方法, 解决了在此背景下存在厚云层和大运动杂波的问题。在分析了强噪声背景图像之后, 提出了采用矩形结构元的形态滤波算子进行背景抑制, 对处理后的图像进行双门滤波, 实验结果令人满意, 易于硬件实现。

**关键词:** 矩形结构元; 形态滤波; 双门滤波; 自适应门限

**中图分类号:** TN911.73 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2004)01-0047-03

## New method of IR small dim target detection in big clutter background\*

LUO Ji-qiang<sup>1,2</sup>, WU Zhen-sen<sup>1</sup>, DONG Yan-bing<sup>2</sup>, YAO Lian-xing<sup>2</sup>

(1. Science School, Xidian University, Xi'an 710071, China; 2. Beijing Institute of Environmental Feature, Beijing 100854, China)

**Abstract:** A new method of IR small dim target detection based on big clutter background was provided. It worked well in heavy cloud and big moving clutter background. After analyzing the characters of big clutter background IR images, a new method was provided to detect the target using rectangle structure cell to eliminate noise based on morphological filter operator. Then, the later image was processed by doubled gated filter. The experiments process real data, and the results meet well and easy to realize by hardware.

**Keywords:** Rectangle structure cell; Morphological filter; Double gated filter; Recursive threshold

### 0 引言

近几十年来, 红外弱小目标跟踪检测问题一直是自动目标识别系统研究的热点和难点。研究者提出了多种检测跟踪算法, 这些算法的适应条件都是对比

度比较大, 目标比背景亮, 在处理弱小目标和点目标时效果不理想, 尤其是背景中存在小的运动杂波时虚警率高。新出现的三重时间滤波、连续墨西哥型二维小波、神经网络、分形、动态规划<sup>[1~8]</sup>等方法在设计信号处理器时不能解决低恒虚警率的问题, 运算量较大, 难以实时。

收稿日期: 2003-06-05; 修订日期: 2003-08-08

\* 基金项目: 国家自然科学基金项目资助(60081002)

作者简介: 罗继强(1979-), 男, 江西南昌人, 设计师, 硕士生, 主要从事小目标检测与跟踪数字图像处理、景象生成方面的研究。

提出了一种新的强噪声背景下弱小目标的检测方法,解决了复杂背景下存在厚云层、大运动杂波及强噪声的问题。在分析了强噪声背景下红外图像数据统计的基础上,提出了利用矩形结构元的形态滤波算子进行背景抑制,对处理后的图像进行双门滤波,此时选择门限对于恒定虚警率是关键问题,太高的门限可能丢失目标,太低的门限虚警率太高,根据图像的统计特性采用了自适应门限。采用 80 帧实测红外图像数据进行实验,结果令人满意。

## 1 图像特性分析

检测红外弱小目标时的关键问题是抑制背景噪声和系统噪声,减少虚警率。分析背景和噪声特性对于弱小目标的检测跟踪具有极其重要的意义。目标的红外场景图像可以描述为:

$$f(x, y, k) = f_T(x, y, k) + f_B(x, y, k) + n(x, y, k) \quad (1)$$

式中  $f(x, y, k)$  为第  $k$  帧像素点  $(x, y)$  处的红外图像灰度值;  $f_T(x, y, k)$  为第  $k$  帧目标在像素点  $(x, y)$  处的灰度值;  $f_B(x, y, k)$  为第  $k$  帧背景在像素点  $(x, y)$  处的灰度值;  $n(x, y, k)$  为第  $k$  帧系统噪声综合在像素点  $(x, y)$  处的灰度值。

经研究发现,图像的系统噪声综合可以视为正态分布噪声,实际采集的数据验证了这一点,并提出了几种获得图像系统综合噪声的方法。

对图像的行列进行切片灰度偏差统计,其结果如图 1、图 2 所示。实验结果表明:强噪声的统计特性是列的起伏大于行的起伏,并且在实际的目标飞行时也是垂直方向的抖动大于水平方向上的抖动。

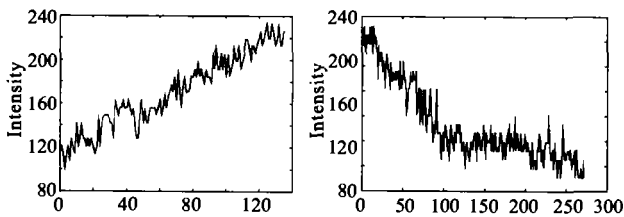


图 1 列灰度分布曲线

图 2 行灰度分布曲线

Fig. 1 Row intensity distribution curve Fig. 2 Line intensity distribution curve

## 2 形态滤波处理

数字形态学对图像处理具有直观、简明和严谨性,硬件上容易并行处理。近年来,有许多学者<sup>[9]</sup>进行了这方面的研究,并证明了形态滤波的高效性。

### 2.1 形态学基本理论

#### (1) 膨胀运算

$$(f \oplus b)(x, y) = \max\{f(x - m, y - n) + b(m, n) \mid (x - m), (y - n) \in D_f, (m, n) \in D_b\} \quad (2)$$

#### (2) 腐蚀运算

$$(f \square b)(x, y) = \max\{f(x + m, y + n) + b(m, n) \mid (x + m), (y + n) \in D_f, (m, n) \in D_b\} \quad (3)$$

#### (3) 开运算

$$f \circ b = (f \square b) \oplus b \quad (4)$$

#### (4) 闭运算

$$f \bullet b = (f \oplus b) \square b \quad (5)$$

### 2.2 形态结构元选取

利用形态学的基本运算可以组成各种复杂的形态运算,许多学者正在进行这方面的研究。选取一结构元  $b$  对图像进行运算,若结构元的长度为  $m$ ,进行开运算时,结构元能抹去长度小于  $m$  的凸起;进行闭运算时,结构元能填平长度小于  $m$  的凹陷,因而原始图像减去经过开运算处理的图像能从较暗的背景中提取较亮的目标,而减去经过闭运算处理后的图像就可以从较亮的背景中提取较暗的目标,这就是 Top-Hat 滤波,前者称为 White Top-Hat 变换,后者称为 Black Top-Hat 变换。利用这一性质,使用 Top-Hat 形态滤波:

$$T = \left| f - \frac{1}{2}(f \bullet b + f \circ b) \right| \quad (6)$$

传统的形态结构元的选取都是使用正方形结构元,并没有考虑图像本身的统计特性的规律,增加了搜索时间。对于矩形结构元来说,考虑到行方向的抖动小于列方向的抖动,在行搜索时缩短结构元的长度,可以减少数据运算量,节约了实时检测跟踪的宝贵时间,并且通过进行两个方向的形态滤波,即水平

方向和垂直方向滤波,将矩形算子行列分开处理,硬件上容易实现,可以并行处理,实验验证效果良好,较好地解决了背景泄漏问题。

实验中选择的结构算子如表 1 所示。

表 1 形态滤波结构元

Tab. 1 Morphological filter structure cell

Filter	Row operation	Line operation
	1×7	5×1
Morphological	1×9	5×1
filter	1×9	7×1
	1×11	7×1

### 3 双门滤波处理

由于背景的复杂和大的云层的运动,仍然会造成一些背景泄漏,而导致虚警。形态滤波后的图像有一些假目标出现,太大或太小的斑状块应该滤除,因此,设计一双门滤波进行处理。传统的双门滤波<sup>[7]</sup>是设置两个同心的滤波窗口,背景窗内套目标窗,缺点是当目标与背景灰度值差别较小时容易漏警,文中的双门滤波的取法是设置两个同心的滤波窗口,一个目标窗,外面被一背景窗围绕,中间加了一个缓冲区。增加缓冲区的目的是为了减少目标和背景的重叠,使目标更容易从背景中分离出来。双门的取法如图 3 所示。

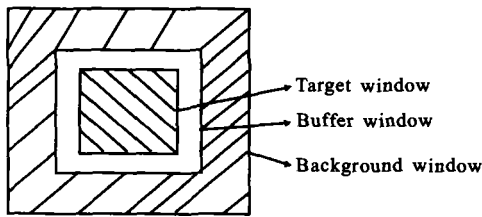


图 3 双门取法

Fig. 3 Double gated choice

通过两个滑动窗对整个视场扫描,给定一个滤波响应函数进行目标和背景分离。

$$h = \frac{\mu_T - \mu_B}{\sigma_B} \quad (7)$$

式中  $\mu_T$  为目标窗内像素灰度的均值; $\mu_B$  为背景窗内像素灰度均值; $\sigma_B$  为背景窗内像素灰度的方差。传统的自适应分割的阈值取法是  $threshold = \mu_B + k\sigma_B$ ,文中反映的是目标与背景的差值关系,根据第 1

部分分析,  $threshold = \frac{\sigma_B}{n}$ ,  $n$  与图像的统计特性有关,只要  $h > threshold$ ,就认为当前像素点为可能目标点。试验过程选取了如表 2 所示的几种窗。

表 2 试验双门窗选择

Tab. 2 Windows choice

Filter type	Target window size	Buffer window size	Background windows size	Probable targets number
	3×3	4×4	9×9	1
Double	5×5	6×6	11×11	5
gated filter	7×7	8×8	13×13	9
	9×9	10×10	15×15	9

### 4 实验结果及分析

由于红外成像的机理限制,弱小目标没有形状、尺寸、纹理等信息。多数情况下,单帧图像的检测无法得到满意的检测概率和虚警率,只能通过序列图像对累加多帧的目标能量来确认目标,提出了提高单帧图像红外弱小目标检测和跟踪算法,针对实验室在晴朗天气、特定探测器采集的数据,对信噪比在 1.5 以上的复杂背景的图像有一定效果。

通过对强噪声背景下的弱小目标的分析和处理,得出以下结论(如图 4~图 7 所示):

- (1) 选择形态滤波算子可以并行处理,易于硬件实现,选择矩形结构元,处理速度提高了 30%;
- (2) 在使用双门滤波时,增加了缓冲窗,容易从背景中剥离目标,并给出了自适应门限法,能有效地提取出弱小目标。

以上的分析方法可以处理其他不同复杂背景条件下的类似问题,效果不好时,也可以利用空间连通性进行后续处理,累加多帧的目标能量来增强目标。



图 4 原始图像  
Fig. 4 Original image



图 5 中值滤波图像  
Fig. 5 Median filter image

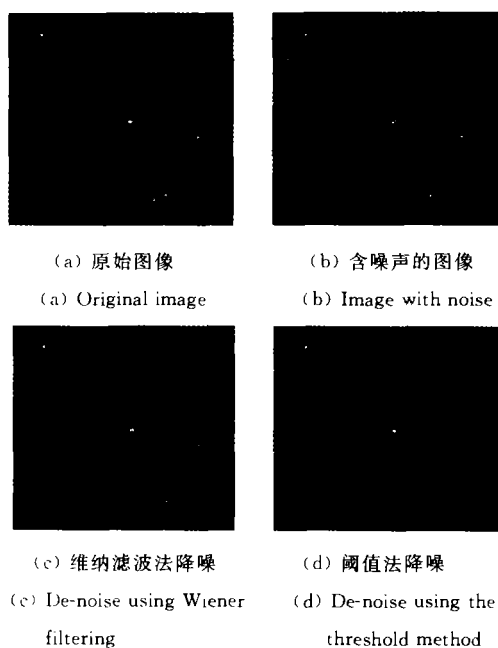


图 3 小波域 Wiener 滤波法对星图降噪处理

Fig. 3 Denoised image using wavelet domain Wiener filtering

将该方法应用到星图的降噪处理中,图 3(a)是原始图,(b)为加噪后的图像,(c)是采用文中提出的维纳滤波法处理后的图像,(d)是采用阈值法处理

(上接第 49 页)



图 6 形态滤波图像

Fig. 6 Morphological filter image



图 7 双门滤波图像

Fig. 7 Double gated filter image

#### 参考文献:

- [1] 朗晓红. 起伏背景下红外目标的检测与跟踪[D]. 长沙:国防科技大学,1995,10-21.
- [2] 杨卫平,沈振康. 起伏背景下的自适应门限检测方法[J]. 红外与毫米波学报,1999,18(2):120-124.
- [3] 陈非,敬忠良,李建勋. 红外序列图像中缓动点目标的投影算法及其改进[J]. 红外与毫米波学报,2003,22(2):96-100.

后的图像,实验结果表明降噪效果明显优于一般的阈值方法。

#### 参考文献:

- [1] Donoho D L. De-noising by soft-thresholding[J]. IEEE Trans on IT, 1995, 41(3): 613-627.
- [2] Jansen M, Bultheel A. Experiments with wavelet based image denoising using generalized cross validation[A]. Image Processing, SPIE Proceedings[C]. 1997, 3034. 206-214.
- [3] Donoho D L, Johnstone I M. Ideal spatial adaptation via wavelet shrinkage[J]. Biometrika, 1994, 81:425-455.
- [4] Grace Chang, Bin Yu, Martin Vetterli. Adaptive wavelet thresholding for image denoising and compression[J]. IEEE Trans on Image Proc, 2000,9:1532-1546.
- [5] 陈武凡. 小波分析及其在图像处理中的应用[M]. 北京:科学出版社,2002.
- [6] 杨福生. 小波变换的工程分析与应用[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [7] 涂丹. 小波域上的图像降噪 Wiener 滤波器设计[J]. 系统工程与电子技术,2001, 23(6): 4-7.

- [4] Alexis P Tzanner, Dana H Brooks. Temporal filters for point target detection in IR imagery[A]. SPIE Infrared Technology and Application XXXIII[C]. 1997, 3061. 508-520.
- [5] New W L, Tan M H, Er M H, et al. New method for detection of dim point-targets in infrared images[A]. SPIE Signal and Data Processing of Small Targets[C]. 1999, 3809. 141-150.
- [6] Morin A. Adaptive spatial filtering techniques for the detection of targets in infrared imaging seekers[A]. SPIE in Acquisition Tracking and Pointing XIV[C]. 2000,4025. 182-193.
- [7] Ronda V, New W L, Tan M H, et al. Adaptive threshold based spatio-temporal filtering techniques for detection of small targets [A]. SPIE Signal and Data Processing of Small Targets[C]. 2000,4048. 58-67.
- [8] Murat Bagci A, Yardimci Yasemin, Enis Cetin A. Small moving object detection using adaptive sub-band decomposition and fractional lower order statistics in video sequences[A]. SPIE Signal and Data Processing of Small Targets[C]. 2001,4473. 25-33.
- [9] 刘忠领. 非线性图像处理及在光电跟踪中的应用[D]. 北京:中国航天科工集团第二研究院,2001. 23-46.