

文章编号: 1672-8785(2007)12-0012-05

# 基于最小梯度中值滤波的红外背景抑制方法

孙立辉<sup>1,2</sup>, 何永强<sup>1</sup>, 陈娅冰<sup>1</sup>, 王永仲<sup>1</sup>

(1. 军械工程学院, 河北石家庄 050001;

2. 河北经贸大学, 河北石家庄 050061)

**摘 要:** 背景抑制是红外运动点目标检测的核心技术之一。目前大部分背景抑制算法是针对平缓变化的背景而设计的, 对存在强起伏边缘的背景抑制效果很差。针对此问题, 本文提出了一种最小梯度中值滤波算法。该算法利用边缘方向和非边缘方向梯度的差异, 能最大程度地减少背景抑制结果中边缘的残差。把实际拍摄的红外图像序列与其它算法进行了实验对比, 证明该算法具有背景抑制残差小、目标信噪比增益大、计算量小、便于硬件实现等优点。

**关键词:** 点目标; 背景抑制; 最小梯度中值滤波

**中图分类号:** TN911.73 **文献标识码:** A

## Infrared Background Suppression Based on Minimum Gradient Median Filter

SUN Li-hui<sup>1,2</sup>, HE Yong-qiang<sup>1</sup>, CHEN Ya-bing<sup>1</sup>, WANG Yong-zhong<sup>1</sup>

(1. Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China

2. Hebei University of Economic & Trade, Shijiazhuang 050061, China)

**Abstract:** Background suppression is one of the key technologies of motive infrared point target detection. At present, most background suppression algorithms are designed for smoothly changed background and their suppression effectiveness for roughly fluctuant background is very poor. To solve this problem, a minimum gradient median filter algorithm is proposed in this paper. Because the gradient difference between edge direction and non-edge direction is considered in this algorithm, the residual edge error in the background suppression result can be reduced maximally. The new algorithm is compared with other algorithms in a series of experiments. The experimental results show that this algorithm has the advantages of low residual error, high SNR, low calculation quantity and easy hardware implementation.

**Key words:** point target; background suppression; minimum gradient median filter

## 1 引言

红外侦察系统因其被动侦测、高度隐蔽的特点而受到广泛的重视。由于目标远离探测器, 成像面积小、强度弱, 常表现为淹没在背景和噪声

中的一个点, 即所谓的点目标。如果要从强噪声和背景中检测到点目标, 需要对图像进行预处理, 抑制起伏的背景, 以提高信噪比。因此背景抑制是这类系统中的一项核心技术。

背景抑制的基本思路是首先对图像中的背

**收稿日期:** 2007-07-09

**基金项目:** 国家 863 资助项目

**作者简介:** 孙立辉 (1971—), 男, 河北东光人, 副教授, 军械工程学院光学工程专业博士研究生, 河北经贸大学教师, 主要从事数字图像处理、数字信号处理及嵌入式系统应用等方面的研究与开发。

景进行估计, 然后用原图像与估计的结果做帧差。帧差由目标、噪声组成, 它用于在后续处理阶段进行目标的检测。因此, 背景抑制的效果直接影响着目标检测的性能。近年来国内外研究人员对背景抑制算法进行了大量的研究, 取得了一些卓有成效的成果<sup>[3-5]</sup>。但大部分算法都基于背景是大面积平缓变化的场景及像素之间存在强相关性的假设。可是在实际应用中, 云杂波、海杂波等干扰的强起伏会产生很强的边缘。另外在系统实际架设时, 由于镜头视场大, 周围环境比较复杂, 如树木、电线杆、灯柱、墙角等一些物体不可避免地会进入视场。这些物体由于距离探测器近, 成像亮度高且呈线状或具有尖锐的边缘。在这些情况下, 现有大部分算法的假设前提不再成立, 背景抑制性能急剧下降。采用中值滤波技术虽然在一定程度上可以抑制边缘, 但经实际验证效果并不理想。为此本文设计了一种改进的中值滤波技术——最小梯度中值滤波(MGMF), 能利用图像中的边缘信息, 将具有尖锐边缘的背景抑制掉。

## 2 最小梯度中值滤波

传统的中值滤波算法由于要对整个滤波窗口中的所有元素进行排序以求取中值, 这样会带来两个问题: (1) 没有利用图像的边缘信息, 往往会造成图像边缘微小的扩大、移位或者缩小。这种微细的变化不会影响图像的视觉效果。但是若将这样的滤波结果用于目标检测系统中进行背景抑制, 原始图像和滤波结果的帧差中会留下明显的边缘痕迹, 这些痕迹就成为后续检测阶段的结构性噪声, 对检测性能带来很大的影响。(2) 计算量大。中值滤波的主要计算是排序, 当窗口增加时, 排序计算量会成 4 次方增长<sup>[2]</sup>。另外随着参与排序元素的增加, 会产生大量的中间结果, 而大大提高访存次数, 因此计算效率很低。若用于实时目标检测, 则会占用大量系统时间, 从而降低系统的实时性。本文提出的最小梯度中值滤波针对以上两个问题, 对传统的中值滤波算法进行了改进。

根据红外背景图像的特点可知, 在平缓变化的背景区, 各个方向上的梯度大致相等并较小; 在边缘区域, 沿边缘的方向上梯度较小而其余方向上的梯度很大。最小梯度中值滤波正是利用这个原理工作的。

如图 1 所示, 将矩形邻域的二维窗口沿不同的方向划分成几个一维窗口。对于点目标, 选  $3 \times 3$  的邻域即可。为简化计算, 本文将梯度定义为沿一个方向上相邻像素相减的绝对值之和。对于  $3 \times 3$  的邻域, 不同方向上的梯度按照下面的一组算式计算:

$$T_1(i, j) = |f(i, j) - f(i, j - 1)| + |f(i, j) - f(i, j + 1)|$$

$$T_2(i, j) = |f(i, j) - f(i - 1, j - 1)| + |f(i, j) - f(i + 1, j + 1)|$$

$$T_3(i, j) = |f(i, j) - f(i - 1, j)| + |f(i, j) - f(i + 1, j)|$$

$$T_4(i, j) = |f(i, j) - f(i - 1, j + 1)| + |f(i, j) - f(i + 1, j - 1)|$$

对于  $5 \times 5$  的邻域, 梯度按下面一组算式计算:

$$T_1(i, j) = |f(i, j) - f(i, j - 1)| + |f(i, j - 1) - f(i, j - 2)| + |f(i, j) - f(i, j + 1)| + |f(i, j + 1) - f(i, j + 2)|$$

$$T_2(i, j) = |f(i, j) - f(i - 1, j - 1)| + |f(i - 1, j - 1) - f(i - 2, j - 2)| + |f(i, j) - f(i + 1, j + 1)| + |f(i + 1, j + 1) - f(i + 2, j + 2)|$$

$$T_3(i, j) = |f(i, j) - f(i - 1, j)| + |f(i - 1, j) - f(i - 2, j)| + |f(i, j) - f(i + 1, j)| + |f(i + 1, j) - f(i + 2, j)|$$

$$T_4(i, j) = |f(i, j) - f(i - 1, j + 1)| + |f(i - 1, j + 1) - f(i - 2, j + 2)| + |f(i, j) - f(i + 1, j - 1)| + |f(i + 1, j - 1) - f(i + 2, j - 2)|$$

从以上梯度值中求出最小梯度  $T_{min} = \text{Min}\{T_1, T_2, T_3, T_4\}$ , 用  $T_{min}$  对应方向上的中值作为当前邻域的滤波输出。

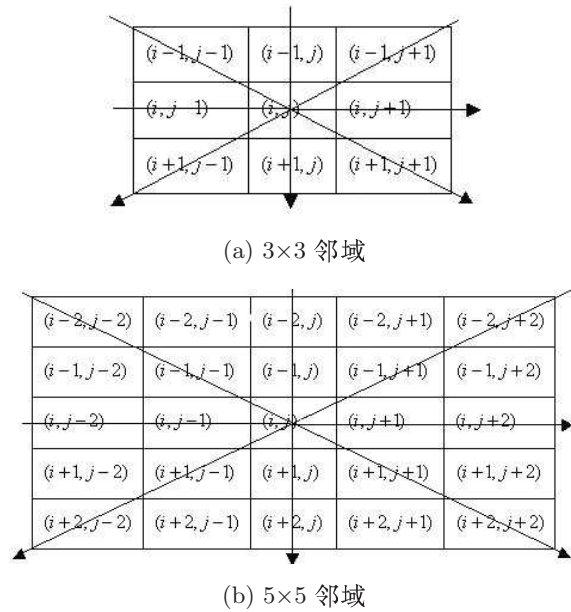


图 1 最小梯度中值滤波的不同方向

### 3 实验结果及滤波性能分析

#### 2.1 实验设计

本文用图 2(a) 和图 3(a) 对不同的背景抑制算法进行实验对比。图 2(a) 是在某机场附近楼顶拍摄的红外序列图像中随机抽取的一幅  $240 \times 320$  的 16bit 红外图像。视场中可清晰地看到有一根细的电线杆和两根路灯灯柱。图 3(a) 是包含缓变云层的一幅红外背景图像。两幅图中均嵌入一个信噪比为 3 的孤立点目标，图 2(a) 中目标在天地线附近，坐标为 (190,65)。图 3(a) 中目标在云层的边缘位置，坐标为 (50,125)。

信噪比定义为

$$SNR = \frac{I_{target} - I_{mean}}{\sigma} \quad (1)$$

式中， $I_{target}$  为目标的强度， $I_{mean}$  为邻域内像素的均值， $\sigma$  为邻域内的方差。实验中计算信

噪比采用的邻域大小为  $20 \times 20$ 。

实验对不同的背景抑制算法性能进行了对比分析。图 2(b) ~ (h) 分别是对图 2(a) 采用不同的滤波算法进行背景抑制后的结果。图 2(b) 和图 2(c) 是采用文献 1 中给出的  $3 \times 3$  模板  $k_1$  和  $5 \times 5$  模板  $k_2$  用去图像局部均值法抑制背景的结果。

去图像局部均值滤波实验用的模板为：

(a)  $3 \times 3$  模板

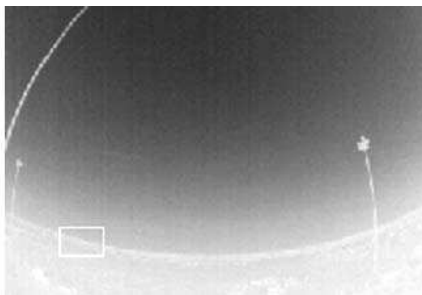
$$k_1 = \frac{1}{5} \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

(b)  $5 \times 5$  模板

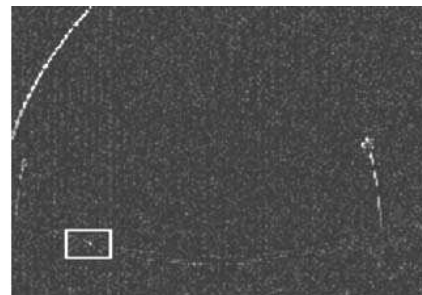
$$k_2 = \frac{1}{25} \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 24 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

图 2(e) 和图 2(f) 分别是采用  $3 \times 3$  邻域和  $5 \times 5$  邻域的维纳滤波法进行处理的结果。去图像局部均值和维纳滤波这两种背景抑制方法实质上都是高通滤波法。当背景本身含有较多高频成份时，其背景抑制效果就很差。从 4 张图的对比可以看出，邻域越大，滤除的频率成份越低，背景抑制的效果就越差。

图 2(d) 是采用  $3 \times 3$  邻域进行中值滤波的结果。虽然中值滤波相对于其它几种滤波算法保护边缘的效果较好，反映在背景抑制结果中就是比其余几种算法的边缘残差少，但从背景抑

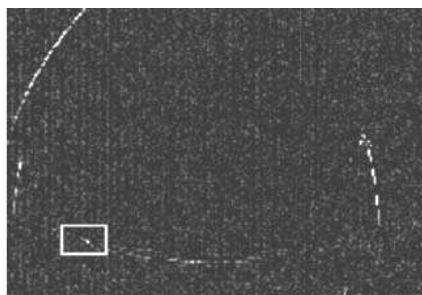


(a) 原始图像 1#

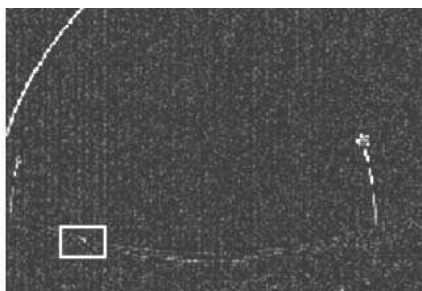
(b) 去图像局部均值滤波的背景抑制结果 (模板  $k_1$ )



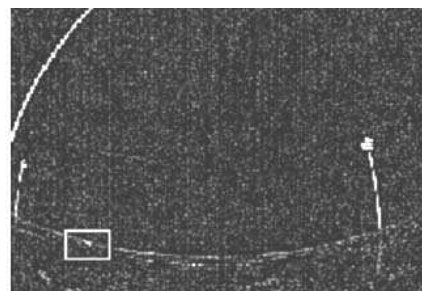
(c) 去图像局部均值法的背景抑制结果 (模板 k2)



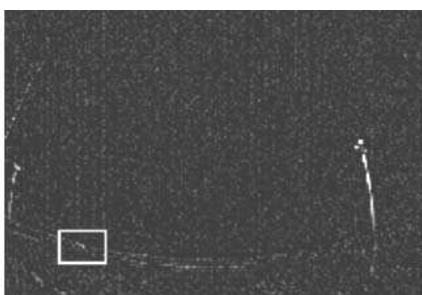
(d) 中值滤波的背景抑制结果



(e) 维纳滤波的背景抑制结果 (3×3 邻域)



(f) 维纳滤波的背景抑制结果 (5×5 邻域)



(g) 形态 Top-hat 变换滤波的背景抑制结果 (采用线型 45° 度结构元素)



(h) 最小梯度中值滤波的背景抑制结果

图 2 具有强边缘的图像背景抑制实验结果

制结果上看, 仍残留很强的边缘信息。图 2(g) 是采用 Top-Hat 变换的形态滤波算法, 选用 45° 线性结构元素进行背景抑制的结果。从图上看, 左边近似成 45° 的电线杆已基本被抑制掉, 而与结构元素相差较多的右边灯柱的抑制效果很差。这是因为形态滤波的效果与结构元素的选取有很大关系。图 2(h) 是采用本文设计的方法进行背景抑制的效果, 由于本算法充分考虑了背景中边缘的方向信息, 所以从图中可以看出背景抑制效果明显优于其余几种算法。

### 2.2 滤波器的背景抑制能力分析

设原始图像是  $[X_{ij}]_{m \times n}$ , 滤波器输出图像是  $[Y_{ij}]_{m \times n}$ , 则背景抑制的结果图像为  $[Z_{ij}]_{m \times n} = [X_{ij}]_{m \times n} - [Y_{ij}]_{m \times n}$ , 本文用背景抑制结果的均方

误差以及目标信噪比增益来评价滤波器的背景抑制效果。

图 3(b) 是利用本文设计的算法对缓变云层背景的图像进行背景抑制的结果。

均方误差:

$$\begin{aligned}
 MSF &= \frac{1}{m \times n} \sqrt{\sum_{ij} (X_{ij} - Y_{ij})^2} \\
 &= \frac{1}{m \times n} \sqrt{\sum_{ij} Z^2}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

信噪比增益 [7]:

$$SNIR = \frac{SNR_{out}}{SNR_{in}}
 \tag{3}$$



(a) 原始图像 2#

(b) 最小梯度中值滤波的背景抑制结果

图 3 最小梯度中值滤波对缓变云层图像的背景抑制结果

表 1 对 1# 图像进行 7 种背景抑制实验所获得的均方误差和信噪比增益

	去局部均值 滤波 k1 模板	去局部均值 滤波 k2 模板	中值滤波	维纳滤波 3×3 模板	维纳滤波 5×5 模板	形态滤波	最小梯度 中值滤波
MSF	782.88	1740.7	235.09	20.32	47.50	3.97	1.84
SNIR	2.433	1.926	2.423	2.265	1.926	2.94	4.277

表 2 对 2# 图像进行 7 种背景抑制实验所获得的均方误差和信噪比增益

	去局部均值 滤波 k1 模板	去局部均值 滤波 k2 模板	中值滤波	维纳滤波 3×3 模板	维纳滤波 5×5 模板	形态滤波	最小梯度 中值滤波
MSF	0.5281	1.125	0.72	0.7284	1.125	0.528	0.26
SNIR	4.15	2.854	3.8	3.741	2.85	4.501	4.206

用以上两个指标对实验中所用的方法进行对比,经计算得表 1 和表 2。其中对第二幅图像进行形态滤波所采用的结构元素是 3×3 的矩形结构。

从实验结果可以看出,对于存在强起伏边缘的图像,利用本文设计的算法进行背景抑制取得了很好的效果,信噪比增益很大,总体性能明显优于其余几种算法。对于缓慢变化的背景,几种算法没有明显的差别,这说明本算法对于不同的背景均有很好的适用性。

#### 4 结论

经实验验证,对于存在强起伏边缘的图像,最小梯度中值滤波算法能有效地减少由边缘造成的背景抑制残差,有利于提高后续检测阶段的性能,对于缓变的背景同样具有适用性。该算法计算量小,便于用 FPGA 实现,适于应用在实时检测系统中。从实验结果可以看出,由于受图像中个别位置边缘点的干扰的影响,在输出结

果中仍会出现少量虚警点,需要在后续检测阶段结合目标的运动特征将其滤掉。

#### 参考文献

- [1] 韩客松. 复杂背景下红外点目标检测的预处理 [J]. 系统工程与电子技术, 2000, 22(1): 52-54.
- [2] 刘立宏. 目标检测中的快速中值滤波法 [J]. 吉林大学学报, 2004, 22(3): 232-235.
- [3] 汪洋, 等. 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(2): 28-31.
- [4] 叶斌, 等. 基于形态学 Top-Hat 算子的小目标检测方法 [J]. 中国图像图形学报, 2002, 7(A)(7): 638-642.
- [5] Deshpande S D, Er M H, Ronda V, et al. Max-mean and max-median filters for detection of small targets [C]. Proc. of the SPIE Conference on Signal and Data Processing of Small Targets, Orlando, Florida, USA: SPIE, 1999, 3809: 74-83.
- [6] 聂洪山, 等. 一种基于 Wiener 滤波的红外小目标检测方法 [J]. 国防科技大学学报, 2003, 25(3): 54-57.
- [7] 余农, 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): 200-204.