

# 红外图像中小目标检测的新算法

刘伟, 杨万海

(西安电子科技大学 电子工程学院, 陕西 西安 710071)

**摘要:**分析了红外图像中小目标、噪声以及背景的特点。针对高通滤波后小目标经常被强噪声淹没的情况,基于Donoho提出的小波变换的软阈值去噪方法,提出了一种峰值检测算法。实验结果证明方法可以有效地抑制高通滤波后的强噪声,并能检测出小目标。

**关键词:**红外图像; 小目标; 小波变换; 软阈值; 峰值检测

**中图分类号:**TP391.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2276(2003)03-0264-03

## New detection algorithm for small targets in IR image

LIU Wei, YANG Wan-hai

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

**Abstract:** The characteristics of small targets, noise and background in IR image are analysed. Because the small target is often corrupted by high noise after high pass filters, a peak-value detection algorithm with wavelet transformation is presented based on the soft-threshold denoising method proposed by Donoho. The simulation results show that the proposed algorithm can effectively restrain the residual high noise filtered with high pass filter and detect the small target.

**Keywords:** IR image; Small target; Wavelet transformation; Soft-threshold; Peak-value detection

### 1 引言

探测飞机和导弹的红外警戒系统是现代高科技电子战的重要武器。为了尽早发现目标,使防御武器有足够的反应时间,要求在很远处就能检测到

目标,这时目标在成像平面只占几个到几十个像素的面积,表现为点状或斑点状,称为小目标。由于缺乏形状特征,现有成像系统又不能反映除温度以外的其他物理特征,故研究时只考虑亮度特性,即目标的灰度信息。

收稿日期:2002-08-01; 修订日期:2002-10-02

作者简介:刘伟(1977-),男,陕西西安人,硕士研究生,主要从事数据融合、红外目标检测方面的研究。

## 2 红外小目标场景图像模型

包含有小目标的红外场景图像可以描述为<sup>[1]</sup>:

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

式中  $(x, y)$ ——像素点的坐标;

$f(x, y)$ ——红外图像的灰度值;

$f_B(x, y)$ ——背景图像灰度值;

$f_T(x, y)$ ——目标点灰度值;

$f_N(x, y)$ ——噪声图像灰度值;

背景图像  $f_B(x, y)$  是大面积平缓变化场景, 像素之间有强相关性, 占据图像空间频率的低频分量。小目标  $f_T(x, y)$  亮度较背景高, 与背景不相关, 是图像中的孤立亮斑, 是图像中的高频部分。噪声图像  $f_N(x, y)$  是红外传感器内部产生的各类噪声的总和, 它与背景图像不相关, 是图像中的高频部分, 可近似为均值为 0, 方差为  $\sigma^2$  的高斯白噪声<sup>[2]</sup>, 它在空间上的分布是随机的, 所以  $f_N(x, y)$  的空间分布没有相关性。

高通滤波器能抑制低频分量, 通过高频分量, 采用高通滤波器可进行大面积背景的抑制, 同时保留目标和部分高亮度噪声点,  $5 \times 5$  窗口的高通滤波模板如图 1 所示。

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 4 & -1 & -1 \\ -1 & 4 & 4 & 4 & -1 \\ -1 & -1 & 4 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

图 1  $5 \times 5$  窗口的高通滤波模板

Fig. 1 High pass filter template with  $5 \times 5$  windows

## 3 峰值检测算法

原图像经高通滤波后, 得到高频成分的小目标和高亮度噪声点, 运用小波变换的软阈值去噪方法, 能有效地消除高亮度的噪声点。

### 3.1 小波变换

一维连续信号  $x(t) \in L^2(R)$  的小波变换定义为:

$$WT_x(a, \tau) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \phi^* \left( \frac{t-\tau}{a} \right) dt \quad (2)$$

式中  $a$ ——尺度因子;

$\tau$ ——时移因子;

$\phi(t)$ ——基本小波函数。

将  $a$  和  $\tau$  离散化, 令  $a = a_0^j, \tau = ka_0^j \tau_0 (a_0 > 1; k, j \in Z, Z$  为整数集), 得到的离散小波变换系数:

$$WT_x(a_0^j, k\tau_0) = \int_R x(t) \phi_{a_0^j, k\tau_0}^*(t) dt \quad (3)$$

式中  $\phi_{a_0^j, k\tau_0}^*(t) = a_0^{-j/2} \phi(a_0^{-j} t - k\tau_0)$ 。

设  $\{V_j\}_{j \in Z}$  为  $L^2(R)$  的一个多分辨分析,  $\varphi(x)$  为尺度函数, 则:

$$\varphi(x) = \sqrt{2} \sum_n h_n \varphi(2x - n) \quad (4)$$

$$\phi(x) = \sqrt{2} \sum_n g_n \phi(2x - n) \quad (5)$$

式中  $h_n$ ——低通滤波器的冲激响应;

$g_n$ ——高通滤波器的冲激响应。

### 3.2 小波变换的软阈值去噪

Donoho 认为<sup>[3]</sup>, 在小波域上, 所有的小波系数都对噪声有贡献, 所以可把小波系数分为两类: 第一类小波系数仅仅由噪声变换后得到, 这类小波系数幅值小, 数目较多; 第二类小波系数由信号变换获得, 并包含噪声的变换结果, 这类小波系数幅值大, 数目较少。通过小波系数幅值上的差异可以构造一种降噪方法。对信号的小波系数设置一个阈值, 大于这个阈值的小波系数认为属于第二类系数, 可以适当保留, 而小于这个阈值的小波系数, 则认为是第一类小波系数, 去掉这些系数, 就达到了降低噪声的目的, 这就是 Donoho 的软阈值去噪方法。

$$\hat{w} = \begin{cases} \text{sign}(w) \cdot (|w| - T) & |w| \geq T \\ 0 & |w| < T \end{cases} \quad (6)$$

式中  $w$ ——分解后的小波系数;

$T$ ——阈值;

$\hat{w}$ ——去噪后的小波系数。

小波变换可以将  $g(x, y, t_k)$  分解为  $LL$ 、 $LH$ 、 $HL$  和  $HH$  四部分, 分别表示图像的低频信号与水平、垂直和对角线方向的高频信号。分别求  $LH$ 、 $HL$  和  $HH$  三部分的阈值<sup>[4]</sup>:

$$T = \sigma \sqrt{2 \log(N)} / \log(j + 1) \quad (7)$$

式中  $N$ —— $LH$ 、 $HL$  和  $HH$  中各自的像素数;

$\sigma$ —— $LH$ 、 $HL$  和  $HH$  各自的标准差;

$j$ ——分解层数。

然后选用小波函数并且利用求得的阈值分别对  $LH$ 、 $HL$  和  $HH$  去噪。

用去噪后的小波系数重构图像, 得到图像  $g_1(x, y, t_k)$ , 杂散噪声将被消除, 而由于小目标具有一定的空间尺度, 所以该区域内的灰度值将会较好地保留。取出  $g_1(x, y, t_k)$  中的峰值点, 作为小目标的中心, 设定一个  $l \times l$  的正方形区域, 认为小目标在此区域内。

#### 4 实验结果

通过实验仿真, 选用 Daubechies(4) 小波对 100 帧图像进行分解和阈值去噪,  $j=1, l=7$ , 取得了良好的效果, 检测概率达到了 90%。原始图像中, 一帧的检测过程如图 2~5 所示。

表 1 Daubechies(4) 小波对应的滤波器系数  
Table 1 Coefficients of filter corresponding to Daubechies(4) wavelet

Coefficients of low pass filter	Coefficients of high pass filter
0.162 901 714 025 62	-0.007 493 494 665 13
0.505 472 857 545 65	-0.023 251 800 535 56
0.446 100 069 123 19	0.021 808 150 237 39
-0.019 787 513 117 91	0.132 253 583 684 37
-0.132 253 583 684 37	-0.019 787 513 117 91
0.021 808 150 237 39	-0.446 100 069 123 19
0.023 251 800 535 56	0.505 472 857 545 65
-0.007 493 494 665 13	-0.162 901 714 025 62

实验结果表明该方法能有效地检测出小目标。

#### 5 结 论

小目标检测一直是困难的问题。小目标没有形



图 2  $t_k$  时的原始图像  
Fig. 2 Original image at  $t_k$



图 3 高通滤波后的图像  
Fig. 3 Image filtered with high pass filter



图 4 小波去噪后的图像  
Fig. 4 Image denoised with wavelet



图 5 检测结果  
Fig. 5 Detection result

状、尺寸、纹理结构, 因而可以利用的信息较少。峰值检测算法利用了红外图像中小目标、噪声、背景的不同特点, 根据 Donoho 提出的小波变换的软阈值去噪方法, 对红外图像中的小目标进行了检测, 实验结果证明了方法的有效性。

#### 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] Alexander Tartakovsky, Rudolf Blazek. Effective adaptive spatial-temporal technique for clutter rejection inIRST[A]. SPIE Proceedings: Signal and Data Proceeding of Small Targets[C]. Orlando, FL. 2000, 4048, 85-95.
- [3] David L Donoho. De-nosising by soft-thresholding[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1995, 41(3): 613-627.
- [4] 赵瑞珍. 小波变换及其在信号去噪与重构中的应用[R]. 西安: 西安电子科技大学, 2000.