

一种基于 Wiener 滤波的红外背景抑制方法*

聂洪山, 沈振康

(国防科技大学 ATR 国家重点实验室, 湖南长沙 410073)

摘要: 红外图像序列中小目标的检测问题是当前的研究热点。为了检测起伏背景中的弱小目标, 在理论分析的基础上提出了用 Wiener 滤波器去除起伏背景, 然后进行自适应目标检测的小目标检测方法。采用连续采集的长波红外图像序列进行了实验研究, 并给出了目标检测结果及其分析。结果表明, 该算法能够从信噪比大于 2.0 的图像序列中检测出目标轨迹。

关键词: Wiener 滤波; 红外; 背景抑制; 小目标

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A

An Algorithm Based on Wiener Filter for IR Background Suppression

NIE Hong-shan, SHEN Zhen-kang

(ATR Lab, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: The detection problem for small targets in IR image sequences is a hot topic nowadays. In order to detect small targets in IR clutter, an algorithm based on suppressing clutter background with Wiener filter and then detecting the small targets adaptively is put forward. Experiments are done with long-range IR image sequences, and results and analyses of these results are given. The results show that this algorithm can detect small targets within the IR image sequence with SNR higher than 2.0.

Key words: Wiener filter; background suppression; IR; small targets

由于大气辐射对红外传感器的影响, 红外图像中包含有严重的起伏背景; 同时由于要求成像距离远, 目标在图像平面上的投影只占一个或者几个像素, 且强度较弱, 这就给目标检测带来了很大的难度。前人已经就这一问题进行了广泛的研究^[1-6]: 文献[2]提出了一种空域平均法去背景均值, 然后采用广义最大似然比检测目标的方法; 文献[3]提出了基于膨胀累加的小目标检测方法; 文献[4]提出了一种多级假设检验(MHT)的目标检测方法; 文献[5]提出了一种自适应空一时技术来去除红外起伏背景; 文献[6]提出了一种基于空间高通滤波和时间域上最大递归滤波的运动点目标检测方法。在所有的检测算法中, 背景抑制都是重要的步骤, 背景抑制的效果将直接关系到算法的性能。本文提出了一种利用 Wiener 滤波器去除图形序列起伏背景的方法, 经过去除背景的图像非常接近于白噪声, 然后在背景抑制的基础上实现了目标的有效检测, 整个算法流程如图 1 所示。

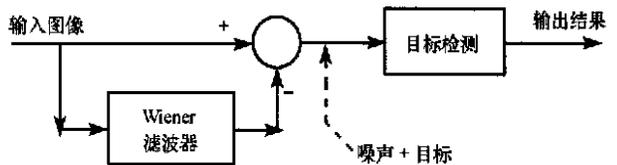


图 1 算法流程

Fig. 1 Flow chart of the algorithm

1 红外图像预处理

1.1 场景模型

一幅包含小目标的红外图像 $f(x, y)$ 可以用下式描述^[1]:

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

* 收稿日期: 2002-12-15

作者简介: 聂洪山(1975-), 男, 博士生。

其中, $f_T(x, y)$ 表示目标; $f_B(x, y)$ 表示背景图像; $n(x, y)$ 表示随机噪声。这里, 我们定义了图像的信噪比:

$$SNR = \frac{f_{lmax} - f_{lmean}}{\sigma} \quad (2)$$

式中, f_{lmax} 为局部窗口内信号的最大灰度值; f_{lmean} 为局部窗口内灰度均值; σ 为局部窗口内灰度标准差。

1.2 Wiener 滤波^[8,9]

Wiener 滤波器是一种在平稳条件下采用最小均方误差准则得出的最优滤波。方法就是寻找一个最佳的线性滤波器, 使得均方误差最小, 实质上是求解 Wiener-Hopf 方程。

在离散观测条件下, 滤波器输入数据为 $z_i = x_i + n_i (i = 1, 2, \dots, m)$, 根据估计理论, 线性滤波器输出的估计值 \hat{x}_m 是 z_i 的线性加权组合, $\hat{x}_m = \sum_{i=1}^m h_i z_i$, 其中 h_i 是对各个观测数据的加权系数, Wiener 滤波器就是要求在下列均方误差达到最小的条件下,

$$E[\varepsilon^2] = E[(x_m - \hat{x}_m)^2] \quad (3)$$

确定权重系数序列 $\{h_i, i = 1, \dots, m\}$, 这里 $\varepsilon = x_m - \hat{x}_m$ 为估计误差。将 $\hat{x}_m = \sum_{i=1}^m h_i z_i$ 代入(3)式并对 h_i 求导后令其结果为 0, 则可以得到如下方程:

$$R_x(m, k) = \sum_{i=1}^m h_i R_z(i, k), \quad k = 1, \dots, m \quad (4)$$

其中 $R_x(\cdot, \cdot)$ 和 $R_z(\cdot, \cdot)$ 分别为 x_m 与 z_i 的互协方差阵和 z_i 的自协方差阵。(4)式通常称为 Wiener-Hopf 方程, 求解(4)式就可以得到 h_i 。

1.3 背景去除

由于 Wiener 滤波器具有低通特性, 因此, 它能保留具有低频特性的起伏背景 $f_B(x, y)$ 和抑制噪声 $n(x, y)$ 以及消除具有高频特性的目标 $f_T(x, y)$, 所以 Wiener 滤波器输出为:

$$f(x, y) = f_B(x, y) + n'(x, y) \quad (5)$$

其中 $f(x, y)$ 为输入图像估计, $f_B(x, y)$ 为背景估计, $n'(x, y)$ 为滤波后的白噪声。

进一步, 如果将输入图像 $f(x, y)$ 与估计图像 $f(x, y)$ 进行相减, 即(1)式减(5)式, 则可得到

$$\Delta f(x, y) = f(x, y) - f(x, y) = f_T(x, y) + n''(x, y) \quad (6)$$

其中, $n''(x, y)$ 是由背景对消残差 $\Delta f_B(x, y) = f_B(x, y) - f_B(x, y)$ 和 $n'(x, y)$ 两部分组成的。一般地说, $\Delta f_B(x, y)$ 亦是一白噪声。因此, 背景对消后图像 $\Delta f(x, y)$ 为一含目标 $f_T(x, y)$ 和噪声 $n''(x, y)$ 的图像, 从而可采用一般的门限检测法将目标检测出来。

2 目标检测

通过上述分析, 我们已获得了背景对消后的图像 $\Delta f(x, y)$, 遗下的问题是如何基于 $\Delta f(x, y, k)$ 序列将目标 $f_T(x, y)$ 从噪声 $n''(x, y, k)$ 中检测出来。为此, 我们定义门限分割后的图像为^[7]:

$$h(x, y, k) = \begin{cases} 1, & \Delta f(x, y, k) \geq th(k) \\ 0, & \Delta f(x, y, k) < th(k) \end{cases} \quad (7)$$

其中, $th(k)$ 为阈值亦即门限。为了自适应的目的, 按统计方法令门限为^[1]:

$$th(k) = m(k) + \alpha \cdot SNR \cdot \text{var}(k) \quad (8)$$

其中, $m(k)$ 为图像序列中第 k 帧的均值, $\text{var}(k)$ 为其方差, SNR 为该图像序列的信噪比, α 为加权系数, 这里取 1~2。经过门限后, 图像 $h(x, y, k)$ 中除了目标之外, 还含有少量的噪声点。

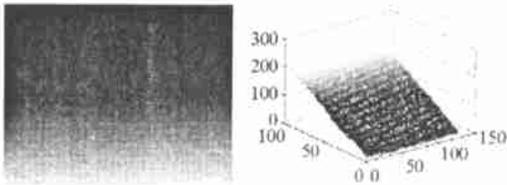
进一步, 根据目标运动的连续性和规则性以及噪声的随机性, 利用相邻帧中可能目标点之间的位置关系来进行目标判别, 简言之, 就是根据当前帧中的可能目标点, 如果在接下来的 n 帧中该点的邻域中出现可疑目标点 k 次以上(含 k 次), 则判定该点为目标点。具体算法如下:

- (1) 初始化参数, 初始化邻域管道, 当进入管道的帧数满 $n+1$ 帧后, 判别器开始工作;
- (2) 首先, 判别器得到判别帧中的可疑目标点 P_i ;
- (3) 然后, 对每一个可疑目标点 P_i 到第 2 帧中该点的 3×3 邻域内观察是否有可疑目标点存在;
- (4) 如果有, 则计数器加 1, 并记录第 2 帧中可疑目标点 P_{i+1} 的位置, 设为当前位置, 再到第 3 帧中进行搜索;
- (5) 如果没有, 跳过第 2 帧, 到第 3 帧中进行搜索;
- (6) 处理完 $n+1$ 帧数据后, 如果计数器结果大于等于 $k+1$, 则判定 P_i 为目标点; 否则剔除。

3 实验结果

试验用的图像是实际连续采集的长波红外图像序列, 图像序列中含有一个真实目标。图像大小为 90×120 。按幅度信噪比定义仿真了不同信噪比的运动目标序列, 仿真的目标信号为: 目标大小 2×2 ; 目标速度 $V_x = 0.3 \text{ pixel/frame}$, $V_y = 0.8 \text{ pixel/frame}$; $SNR = 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0$, 每种信噪比下的图像均为 50 帧。

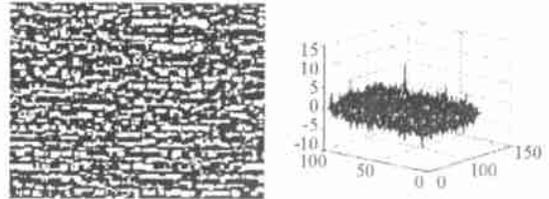
图 2 是 $SNR = 3$ 这组图像中的第 10 帧原图及其三维灰度图, 可以看得到图像中心部位有一个目标存在, 这是一个固定目标, 而我们感兴趣的另一个目标在图中几乎看不出来。



(a) (b)

图 2 第 10 帧图像, $SNR = 3.0$

Fig. 2 The 10th frame with $SNR = 3.0$



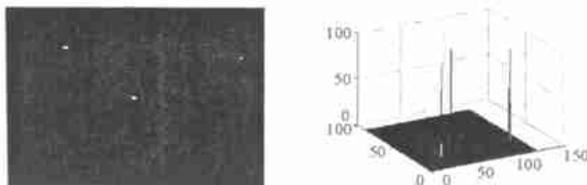
(a) (b)

图 3 背景去除后的图像

Fig. 3 Image after background suppression

图 3 是经原图像与 Wiener 滤波器输出图像相减后得到的高频图像及其三维灰度图, 可见, 原图像去除背景后实际上就是一幅包含噪声和目标的图像。

图 4 是经过门限后得到的图像及其三维灰度图, 图像中的亮点就是可能的目标点, 接下来的目标检测就是建立在这些图像的基础之上的。可见, 经过门限后, 虚警目标大为减少, 这给后面的目标检测判决带来很大方便。



(a) (b)

图 4 经过目标分割并二值化后的图像

Fig. 4 Image after targets segmentation and converting to binary



图 5 检测到的目标轨迹, $SNR = 3.0$

Fig. 5 The target trajectory with $SNR = 3.0$

图 5 是经过目标检测后得到的结果, 其中可以清楚地看到一条目标轨迹和一个固定目标点。

图 6 是在不同信噪比条件下的检测结果。

由试验结果得出如下初步结论:

- (1) 经过门限后, 只剩下少量可疑目标点;
- (2) 本算法具有多目标检测能力;

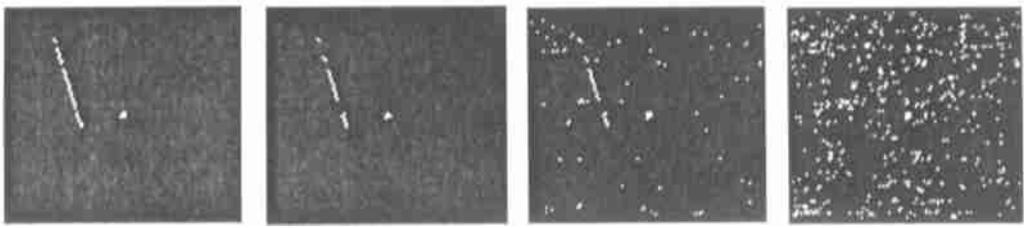
(a) $SNR = 2.5$ (b) $SNR = 2.0$ (c) $SNR = 1.5$ (d) $SNR = 1.0$

图 6 不同信噪比下的检测结果

Fig. 6 Detection results under different SNR levels

(3) 本算法对信噪比大于等于 2.0 的图像序列都能够很好地进行目标检测; 对于信噪比为 1.5 的图像序列, 本算法能够检测出目标轨迹, 但是产生很多虚警目标; 对于信噪比为 1.0 的图像序列, 本算法将不能检测出目标;

(4) 本算法运算量小, 便于硬件实现。

4 结束语

本文在分析红外图像场景模型以及 Wiener 滤波器特性的基础上, 提出了一种基于 Wiener 滤波的红外小目标检测方法, 并给出了实验结果。实验结果表明, 该方法能够从信噪比大于等于 2.0 的图像序列中检测出目标; 同时, 该算法具有运算量小、便于硬件实现的特点。

参考文献:

- [1] 聂洪山, 杨卫平, 沈振康. 基于 Wiener 方法的红外云背景中小目标检测方法(待发表)[J]. 红外与激光工程, 2003, 32(6).
- [2] Chen J Y, Reed I S. A Detection Algorithm for Optical Targets in Clutter[J]. IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., 1987, 23(1): 46- 59.
- [3] 熊辉, 沈振康, 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] Bbstein S D, Huang T S. Detect ion Small Moving Objects in Image Sequences Using Sequential Hypothesis Testing[J]. IEEE Trans. Signal Process, 1991, 39(7): 1611- 1629.
- [5] Tartakovsky A, Blazek R. Effective Adaptive Spatial-temporal Technique for Clutter Rejection inIRST[J]. SPIE Proceedings. Signal and Data Processing of Small Targets, 2000(4048): 1- 11.
- [6] 李吉成, 沈振康. 红外起伏背景下运动点目标的检测方法[J]. 红外与激光工程, 1997, 26(6): 8- 13.
- [7] 章毓晋, 著. 图像工程(上册)——图像处理和分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [8] 刘福声, 罗鹏飞. 统计信号处理[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1999.
- [9] 赵树杰, 等. 统计信号处理——检测理论估计和滤波理论及其应用[M]. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1986.