

9

305-310

# 基于背景自适应预测的红外 弱小运动目标检测\*

朱红 赵亦工

(西安电子科技大学测控工程与仪器系, 陕西, 西安 710071)

TN215

**摘要** 介绍了一种检测背景杂波中弱小红外目标的新方法. 该方法根据背景红外辐射空间分布上的相关性, 采用 LMS 自适应空间预测滤波技术对背景空间红外辐射分布进行预测, 并根据预测误差检测红外运动目标. 本文还介绍了改进预测效果的方法, 并以实际录取图像的处理结果, 说明了上述方法的有效性.

**关键词** 红外目标, 自适应预测, 目标检测.

弱小运动目标

## 引言

红外成像系统的重要用途之一, 是根据其所获得的红外图像对空、海自然背景中的运动目标(飞行器、舰船等)进行检测. 实际中, 自然背景的红外辐射强度在某些场合可能会与运动目标的辐射强度接近, 因此, 如何有效地抑制自然背景对目标检测的影响, 是提高检测准确性和可靠性的关键问题. 对于空、海自然背景中的云层和海浪, 由于在形成时受到物理规律的制约, 它们在空间上往往呈大面积的连续分布状态, 在红外辐射的强度上也呈渐变过渡状态, 从而使得它们的红外图像在图像灰度空间分布上具有较大的相关性. 对于空、海自然背景中的运动目标, 它的红外辐射强度与其周围自然背景的辐射强度无关, 并且一般都高于背景的辐射强度. 针对自然背景和运动目标在红外辐射空间分布上的特点和差别, 设想了如下的目标检测方法: 利用背景辐射的空间相关性对背景进行预测, 分析预测误差, 当误差超过一定限度时意味着预测点不同于背景, 因此可以判定为潜在的运动目标. 原理上讲, 选择适当的预测器, 背景预测的结果将使高强度背景转化为低强度白噪声背景, 从而达到抑制背景, 突出目标的目的.

## 1 自适应空间预测滤波算法

设  $G(m, n)$  表示一幅红外图像在  $(m, n)$  点处的亮度值, 则根据  $(m, n)$  点附近某一空间邻域内其它点的亮度值对  $(m, n)$  点的亮度值  $G(m, n)$  进行线性预测的估计值  $G'(m, n)$  可以表示为:

$$G'(m, n) = \sum_{(p, q) \in S} W(p, q)G(m-p, n-q), \quad (1)$$

式(1)中  $W(p, q)$  为线性预测系数,  $S$  为预测域. 由式(1)可见, 预测估计值是通过预测域

\* 国防科技预研基金(编号 95J2. 3. 1)资助项目  
稿件收到日期 1998-08-26, 修改稿收到日期 1998-12-07

内的每一点进行加权及求和得到的. 预测误差定义为:

$$E(m, n) = G(m, n) - G'(m, n). \quad (2)$$

实际中, 自然背景红外辐射的空间分布虽然存在较大的相关性, 但并不是均匀的, 在对背景红外辐射空间分布进行预测时要考虑到背景辐射强度的起伏. 因此, 当预测器的形式确定后, 预测器的参数应当随着背景辐射强度的起伏而变化. 本文采用二维 LMS(最小均方差) 自适应空间预测滤波技术以克服背景辐射强度的起伏对预测结果的影响.

二维 LMS 自适应空间预测滤波器根据预测域和被预测点的相对位置关系以及预测域的形状和大小, 可以分为因果、半因果和非因果三种情况<sup>[2]</sup>, 它们的差别在于数据利用率和预测估计准确性. 红外成像系统一般是在一幅图像采集完后, 再对其中的弱小目标进行检测, 因此可以采用非因果形式的二维 LMS 自适应空间预测滤波器, 利用被预测点周围尽量多的图像数据提高预测估计的准确性, 从而提高目标检测性能. 非因果二维 LMS 自适应空间预测滤波的具体算法如下<sup>[3]</sup>:

设图像  $G(m, n)$  尺寸为  $M \times M$ , 预测域为正方形, 预测域尺寸(对应于权矩阵  $W$  的尺寸)为  $N \times N$  ( $N$  一般取奇数), 被预测点选为预测域的中心点, 则图像  $(m, n)$  处像素点  $G(m, n)$  的预测值  $G'(m, n)$  为权矩阵与预测域内点的加权和:

$$G'(m, n) = \sum_{p=0}^{N-1} \sum_{q=0}^{N-1} W_j(p, q) G(m-p, n-q), \quad (m, n = 0, 1, 2, \dots, M-1). \quad (3)$$

式(3)中  $W_j$  代表第  $j$  次迭代的权矩阵. 若上述预测过程对一幅图像是逐行逐列进行的, 则迭代次数为  $j = mM + n$ . 预测误差为:

$$E(m, n) = \epsilon_j = G(m, n) - G'(m, n). \quad (4)$$

每次迭代后, 根据预测值误差和被预测点的实际值, 对权矩阵修正如下:

$$W_{j+1}(p, q) = W_j(p, q) - 2\mu\epsilon_j G(m, n), \quad (p, q = 0, 1, 2, \dots, N-1), \quad (5)$$

式(5)中  $\mu$  代表收敛因子.

在上述算法中, 收敛因子对预测效果有很大的影响, 实际中确定收敛因子的方法有多种<sup>[4]</sup>, 对于选用固定收敛因子的情况, 大量的实际数据实验表明比较合适的收敛因子数值约为  $\epsilon = 10^{-6}$ .

根据上述自适应空间预测滤波算法处理天空背景中弱小目标的红外图像, 获得的预测误差图像如图 1 所示, 其中图 1(a) 和 (b) 为目标处于云层缝隙中的情况, 图 1(c) 和 (d) 为目标处于云层中的情况. 这些结果说明: 一方面, 高强度的背景杂波被转化为低强度的类白噪声, 进而可以对预测误差图像进行相干积累和匹配滤波处理; 另一方面, 由于目标与背景杂波无关, 因此在目标点处将存在较大的预测误差, 从而使得在预测误差图像中目标的信噪比得到增强. 由此可见, 背景预测起到了背景杂波白化和目标增强的双重作用. 经过背景预测处理后的图像, 既可以继续进行相干积累和匹配滤波, 也可以直接对预测误差进行分析, 当误差超过一定限度时意味着预测点不同于背景, 因而可以判定为潜在的运动目标.

从图 1 可以看出, 经过自适应空间预测滤波处理, 大面积的亮云层背景得到有效的抑制, 目标的信噪比得到明显的增强.

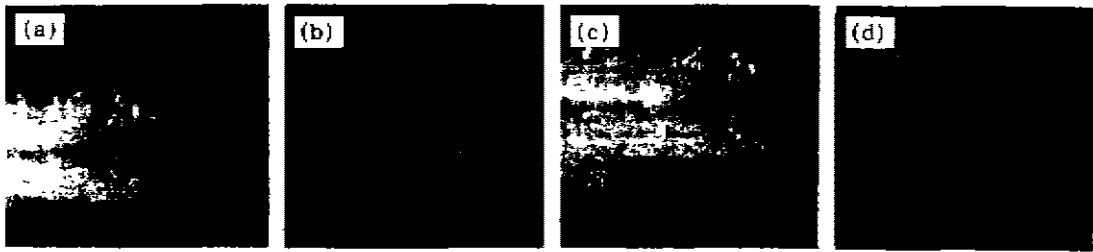


图 1 天空背景红外弱小目标原始图像(a)和(c)与预测误差图像(b)和(d)  
(a) (SNR=2.1), (b) (SNR=12.5), (c) (SNR=2.8), (d) (SNR=9.8)

Fig. 1 Original images(a), (c) and predicting error images (b), (d)  
for small infrared targets with the background of the sky

## 2 自适应空间预测滤波算法的改进

虽然自然背景在空间上往往呈大面积的连续分布状态,但也存在边缘,并且在边缘处红外辐射强度存在较大的起伏,例如:天空中云层的边缘与深空背景间在红外辐射强度上有时会有较大的起伏,因而在边缘处的预测误差将会呈现较大的数值,导致将云层的边缘误判为潜在的目标,如图 1(b)所示。

对上述问题进行深入的分析可以发现,导致将边缘误判为潜在目标的原因是当预测域窗口位于强亮云层的边缘时,窗口内的像素点明显地分为很亮和很暗两类,故而此时窗口内的像素具有明显的不平稳性。LMS 自适应空间预测滤波算法虽然能够通过修正权矩阵的方式在一定程度上适应背景的不平稳性起伏,但要获得好的预测效果仍要求在预测窗口的范围内背景具有局部平稳性。当预测窗口内的背景具有明显的不平稳性时,若取预测窗口内所有像素的加权和来获得被预测点的预测值,将会出现明显的预测误差,使得在云层边缘处背景的抑制效果变差,云层边缘处在预测误差图像中呈现较大的数值,由此产生虚警。

当被预测点位于边缘时,说明此时预测窗口内有边缘通过,对于这种情况,不能取预测窗口内的所有像素参与预测,而应有选择地取预测窗口内的部分像素参与预测,以降低亮云层边缘所产生的预测误差。根据这一思想对上述算法进行修正,具体的步骤为:

(1) 利用边缘提取算法提取原始图像的边缘;

(2) 采用适当的分割方法保留强边缘;

(3) 对原始图像进行自适应空间预测滤波:

(a) 当被预测点不是边缘点时,计算预测值和预测误差及修正权矩阵的算法与上述相同(如式(3)、(4)和(5)所示)。

(b) 当被预测点是边缘点时,首先利用灰度图像的分割算法将预测域内的像素点分为两类:若亮像素点为多数,则根据亮像素点及其对应的权系数计算预测值;若暗像素点为多数,则根据暗像素点及其对应的权系数计算预测值。预测误差及修正权矩阵的算法与式(4)和式(5)相同。

根据上述改进后的自适应空间预测滤波算法处理天空背景中弱小目标的红外图像,获

得的预测误差图像如图 2 所示。

从图 2 可见,改进后的自适应空间预测滤波,有效地降低了亮云层边缘产生的预测误差,目标更加突出,目标的信噪比得到进一步的增强。

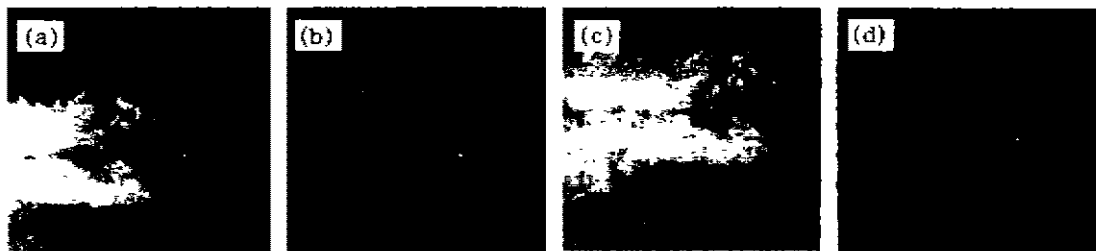


图 2 天空背景红外弱小目标原始图像(a)和(c)与改进的预测误差图像(b)和(d)  
(a) (SNR=2.1), (b) (SNR=18.3), (c) (SNR=2.8), (d) (SNR=18.9)

Fig. 2 Original images (a), (c) and modified predicting error images (b), (d)  
for small infrared targets with the background of the sky

### 3 计算机仿真结果

图 1—图 5 为利用实际图像数据进行计算机仿真的结果,其中:

(1) 图像数据参数:  $8\sim 12\mu\text{m}$  的红外图像;  $128 \times 128$  像素; 天空背景, 弱小目标. 图 1 (a)、图 1(c)、图 3(a) 分别为目标位于云层缝隙、云层中和云层边缘三种典型情况。

(2) 处理参数和算法: 预测窗口  $5 \times 5$ , 被预测点为窗口中心点, 收敛因子  $\epsilon = 10^{-6}$ ; 利用 Sobel 算子提取图像边缘; 采用  $p$ -参数分割算法 ( $p = 0.05$ ) 保留强边缘; 采用简单统计算法对预测窗口内的灰度图像进行分割<sup>[4]</sup>。

(3) 信噪比计算:  $\text{SNR} = (\text{目标灰度} - \text{图像平均灰度}) / \text{图像灰度的标准偏差}$ 。

(4) 目标检测算法: 由于目标在预测误差图像中的特征强度一般为最大值, 并且目标所占的像素数约为 3, 由此可以设计如下检测方法:

(a) 以 3 倍的像素数为门限, 保留预测误差图像中值最大的像素。

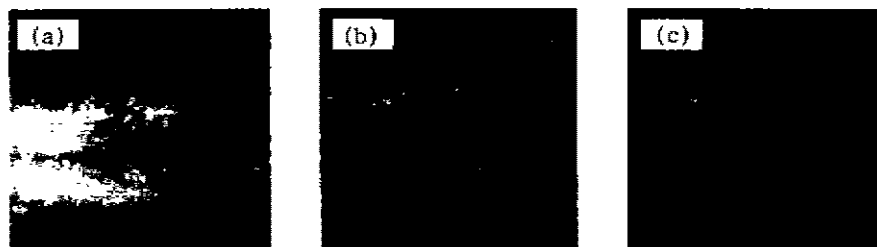


图 3 天空背景红外弱小目标原始图像(a)与改进前后的预测误差图像(b)和(c)  
(a) (SNR=2.20), (b) (SNR=12.3), (c) (SNR=18.3)

Fig. 3 Original images (a) and unmodified and modified predicting error images  
(b), (c) for small infrared targets with the background of the sky

(b) 根据空间连通性, 像素数超过 3 的区域识别为目标。

图 4 为利用目前在检测弱小目标时常用的中值滤波对图 1(a)、图 1(c) 和图 3(a) 进行处理获得的滤波误差图像, 虽然信噪比获得一定的提高, 但与本文所提出算法相比仍有很大差距, 由此可见本文所提出算法的优越性。

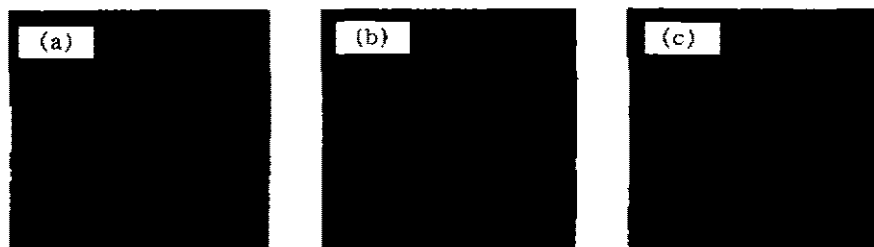


图 4 天空背景红外弱小目标中值滤波误差图像  
(a) (SNR=4.9), (b) (SNR=6.9), (c) (SNR=3.7)  
Fig. 4 Median filtering error images for small infrared targets  
with the background of the sky

图 5 为利用改进后的自适应空间预测滤波对图 1(a)、图 1(c) 和图 3(a) 进行处理, 并根据获得的预测误差图像检测目标的结果 (二值化图像)。

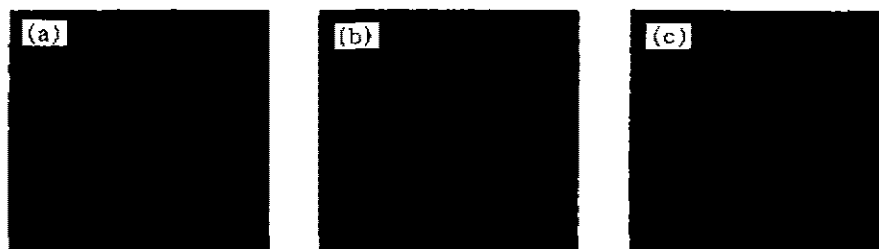


图 5 天空背景红外弱小目标检测结果  
Fig. 5 Detecting results for small infrared targets  
with the background of the sky

## REFERENCES

- 1 ZHANG Xian-Da. *Modern Signal Processing*. Beijing: Tsinghua University Press (张贤达, 现代信号处理, 北京: 清华大学出版社), 1995: 324~333
- 2 Jain A K. *Fundamentals of Digital Image Processing*. London: Prentice-Hall International, 1989: 204~213
- 3 Soni T, Zeidler J R, Ku H. Performance evaluation of 2-D adaptive prediction filters for detection of small objects in image data. *IEEE Trans. on Image Processing*, 1993, 2(3): 327~340
- 4 Haralick R M, Shapiro L G. Survey: image segmentation. *Comput. Vision, Graphics, Image Proc.*, 1985, 29: 100~132

## DETECTION OF WEAK AND SMALL MOVING INFRARED TARGETS BY ADAPTIVE PREDICTION OF BACKGROUND\*

ZHU Hong ZHAO Yi-Gong

(Department of Measurement-Control and Instrument, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China)

**Abstract** A new procedure for detecting weak and small infrared targets in the background clutter was presented. Based on the spatial correlation property of the infrared radiation of the background, the spatial distribution of the infrared radiation of the background clutter was predicted by the approach of LMS adaptive spatial predicting filtering, and the moving infrared targets were detected by the predicting error. The method to improve the predicted quality was also discussed. Finally, some experimental results for practical infrared images were presented to show the effect of the procedure.

**Key words** infrared targets, adaptive prediction, target detection.

---

\* The project supported by the Foundation of Preliminary Research of National Defense  
Received 1998-08-26, revised 1998-12-07