

文章编号:1001-5078(2007)09-0898-04

# 云天背景下单帧红外图像的点目标检测

郭杰锋<sup>1,2</sup>, 陈桂林<sup>1</sup>

(1. 中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:**针对云天背景下红外图像中不同的背景成分所具有的不同特性以及它们之间的差异, 本文从基于背景预测模型的红外点目标检测方法出发, 重点分析和对比了三种背景预测模板在背景预测、背景消除和阈值分割三个检测过程中, 对不同的背景成分表现出的不同处理性能。实验结果表明, 三种背景预测模板对云天背景中的各种不同背景成分具有不同的处理效果, 实际应用时应充分分析红外图像云天背景中的各种不同成分的比重和差异, 选择合理的背景预测模板。

**关键词:**点目标; 背景预测; 预测模板; 背景成分

**中图分类号:** TP751

**文献标识码:** A

## Point Target Detection of Single Infrared Image Frame under Cloudy Sky Background

GUO Jie-feng<sup>1,2</sup>, CHEN Gui-lin<sup>1</sup>

(1. Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** Aiming at the different characteristics of different components of infrared image under cloudy sky background, on the basis of background prediction algorithm of the infrared point target detection, this paper analyzed and compared the performances which three background prediction masks behaved in the detection process of background prediction, background suppression and threshold segmentation. The experiment results indicated that the three background prediction masks had different effects on different components of the cloudy sky background. Before choosing the better background prediction masks for application, proportion and diversity between different components of the cloudy sky background of infrared image should be distinguished.

**Key words:** point target; background prediction; prediction mask; background component

### 1 引言

由于红外探测器与目标距离远, 同时受到红外探测器灵敏度的限制, 目标在红外图像中是以点目标的形态出现的。点目标只占一个像元, 根本没有形状、结构信息, 也就不能像面目标那样直接利用目标的形状、尺寸等特征进行目标模式识别。同时整幅图像绝大部分是背景和噪声, 信噪比很低, 甚至有时目标会淹没在背景中, 传统的基于强度信息的目标检测方法难以继续使用。因此, 红外点目标的检测是相当困难的。

鉴于点目标只有灰度信息, 同时信噪比低, 因此用来检测、识别点目标的可用信息除了目标本身的

灰度信息外, 必须采用目标周围的灰度分布和灰度起伏特征, 这就是背景预测方法的出发点<sup>[3]</sup>。本文采用背景预测算法根据原始图像预测出背景图像, 再将原始图像与背景预测图像相减得到残差图像, 然后进行自适应阈值分割得到在单帧图像上的候选目标。常用的背景预测方法主要包括线性预测估计、非线性均值滤波、模板卷积滤波和神经网络技术等<sup>[4]</sup>。考虑到模板卷积滤波算法简单、易于硬件实

**作者简介:** 郭杰锋(1982-), 男, 中科院上海技术物理研究所博士生, 专业为电路与系统, 研究方向为光电实时信号处理, 红外点目标检测。E-mail: guojiefeng1982@yahoo.com.cn

**收稿日期:** 2007-01-21; **修订日期:** 2007-03-20

现,同时可并行处理、实时性好,本文重点分析和对比三种背景预测模板对红外图像中的不同云天背景成分在检测过程中表现出的不同的处理性能。

### 2 红外点目标、背景和噪声特性分析

在红外点目标图像中,点目标只占一个像元,整幅图像的信噪比很低,甚至目标有时淹没在背景中。云天背景主要为大气和云层,既有较亮的块状云团,面积小的云朵,也有较暗的大气背景,云团边缘起伏比较剧烈,同时具有较强的空间相关性。红外探测器噪声主要有:热噪声、散粒噪声、产生-复合噪声、 $1/f$ 噪声和温度噪声等<sup>[6]</sup>。实验证明,红外探测器噪声分布可以认为服从高斯分布<sup>[6]</sup>。

基于灰度信息的红外点目标图像场景模型可描述为:

$$F(i,j) = F_T(i,j) + F_N(i,j) + F_B(i,j) \quad (1)$$

其中, $F(i,j)$ 为红外图像的灰度值; $F_T(i,j)$ 为点目标灰度值; $F_N(i,j)$ 为噪声图像灰度值; $F_B(i,j)$ 为背景图像灰度值。点目标 $F_T(i,j)$ 和噪声 $F_N(i,j)$ 为图像中的灰度奇异点<sup>[7]</sup>,为图像的高频部分,背景 $F_B(i,j)$ 为图像的低频部分。

基于式(1)场景模型的红外点目标图像的信噪比定义为:

$$SNR = \frac{F_T - \bar{F}}{\sigma} \quad (2)$$

其中, $F_T$ 为目标灰度均值; $\bar{F}$ 为图像灰度均值; $\sigma$ 为图像标准偏差。

### 3 背景预测

模板卷积滤波算法的数学表达式可表示为<sup>[10]</sup>:

$$G(i,j) = \sum_{s=-(M-1)/2}^{(M-1)/2} \sum_{t=-(N-1)/2}^{(N-1)/2} W(s,t) F(i+s,j+t) \quad (3)$$

其中, $F$ 为 $M \times N$ 的原始图像; $G$ 为预测图像; $W$ 为 $m \times n$ 的权值模板。模板卷积滤波算法的关键就是权值模板 $W$ 的确定,不同的权值模板 $W$ 会产生不同的效果。以下主要讨论三种背景预测的权值模板。

#### (1) 邻域平均模板<sup>[8]</sup>

该模板 $W_1$ 也是最常用的线性低通滤波器。

$$W_1 = \frac{1}{49} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

#### (2) 自适应线性模板<sup>[4]</sup>

该模板 $W_2$ 为封闭环状型且有明显的对称性,正、负权值交错排列,增强了对图像环境的自适应处理能力。

$$W_2 = \begin{bmatrix} -0.3 & 0.125 & 0.3 & 0.125 & -0.3 \\ 0.125 & 0 & 0 & 0 & 0.125 \\ 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0.3 \\ 0.125 & 0 & 0 & 0 & 0.125 \\ -0.3 & 0.125 & 0.3 & 0.125 & -0.3 \end{bmatrix}$$

#### (3) 区域最小值化背景预测模板<sup>[5]</sup>

文献[5]提出了一种新的基于“区域最小值化背景模型”的背景预测算法。该算法的基本思想是:将像素点周围背景的像素点以该像素点为中心划分为4个区域,对应着欧几里德空间的4个象限,分别以这4个区域为预测区来预测被预测点的灰度值,得到4个预测值,然后取这4个预测值的最小值为最终的预测值<sup>[5]</sup>。该算法采用的预测权值矩阵为 $W_1$ 。

该算法也可以看成一个它的权值矩阵 $W_1$ 扩展四倍的模板 $W_3$ ,可以认为是模板 $W_1$ 的改进,有:

$$W_3 = \begin{bmatrix} W_1 & W_1 \\ W_1 & W_1 \end{bmatrix}$$

我们选取一张红外背景图像,在其中叠加一个 $1 \times 1$ 的点目标来模拟红外点目标图像。图1(a)给出了原始图像和预测图像中点目标所在行的灰度曲线,分别简称为原始图像的剖面曲线和预测图像的剖面曲线。从图1(a)可以看出:

(1)在原始图像的剖面曲线中,红外图像中不同的云天背景成分在剖面曲线上表现为不同的形状;最左边的尖峰是点目标;具有一定宽度的波峰是比较亮的、内部分布较均匀的块状云团;比较陡的波峰是面积小的、较亮的云朵;中间和右边相对平坦的曲线是比较暗的大气背景。

(2)模板 $W_1$ 对原始图像预测得比较平滑,点目标尖峰基本上被“削平”了,较亮云朵被“削弱”了大部分;模板 $W_3$ 比模板 $W_1$ 预测得更加平滑,点目标尖峰和较亮云朵完全被“滤除”了,只有块状云团得到部分保留;模板 $W_2$ 对于较亮云朵和块状云团都能较准确地预测出来,保留了原始图像中较丰富的细节。

### 4 背景消除

利用式(3)对原始图像进行背景预测,得到背景预测图像 $G(i,j)$ :

$$G(i, j) = F'_B(i, j) \quad (4)$$

其中,  $F'_B(i, j)$  为对原始图像背景  $F_B(i, j)$  的预测。将原始图像减去背景预测图像, 得到残差图像  $R(i, j)$ , 即:

$$R(i, j) = F(i, j) - G(i, j) \quad (5)$$

将式(1)和式(4)代入式(5), 得:

$$R(i, j) = F_T(i, j) + F_N(i, j) + F_B(i, j) - F'_B(i, j) \quad (6)$$

其中,  $F_T(i, j)$  为原始图像中的点目标; 而  $F_N(i, j)$  与  $F_B(i, j) - F'_B(i, j)$  两部分的和, 一般认为是白噪声<sup>[5]</sup>。

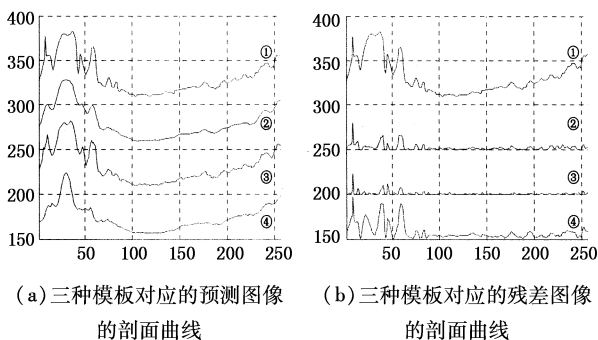


图1 背景预测和背景消除的结果

①对应于原始图像; ②对应于模板  $W_1$ ; ③对应于模板  $W_2$ ; ④对应于模板  $W_3$ 。

图1(b)给出了原始图像减去背景预测图像, 而得到的残差图像的剖面曲线。从图1(b)可以看出: 模板  $W_1$  得到的残差图像含有较多的高频成分, 较亮云朵被保留了, 块状云团则被抑制了; 模板  $W_3$  得到的残差图像比模板  $W_1$  保留了更多的高频成分, 块状云团内部基本上被抑制了, 但云团边缘保留了比较高的灰度值, 容易产生虚假目标; 模板  $W_2$  预测得更加接近原始图像背景, 所以当原始图像减去预测图像后, 原始图像中的背景绝大部分被抑制了, 残留的高频成分最少。

## 5 阈值分割

由上述分析可知, 残差图像是包含点目标的白噪声图像<sup>[5]</sup>, 可以采用适当的分割算法将点目标分割出来, 本文采用单门限阈值分割, 也就是将图像中的每一像素灰度值跟阈值  $T$  进行比较, 像素灰度值小于阈值的置0, 像素灰度值大于或等于阈值的保留原来的值, 即<sup>[2]</sup>:

$$Z(i, j) = \begin{cases} R(i, j) & R(i, j) \geq T \\ 0 & R(i, j) < T \end{cases} \quad (7)$$

而阈值则根据图像的统计特性来确定, 即<sup>[9]</sup>:

$$T = m + K \times \sigma^2 \quad (8)$$

其中,  $T$  为检测阈值;  $m$  为图像均值;  $\sigma^2$  为图像方

差;  $K$  为与虚警概率有关的系数。为了保证以尽可能高的概率检测出点目标, 同时又为了尽可能地减低虚警概率, 一般取  $K$  近似为图像的幅度信噪比<sup>[9]</sup>。

经过对以上三种模板对应的残差图像进行自适应阈值分割后, 得到了包含少量噪声点和可能目标点的二值图像。图2(a)给出了利用上述三种模板得到的残差图像中点目标所在行的各像素点的阈值分割示意图, 其中三条虚线分别为利用式(8)对三幅残差图像进行计算得到的阈值。图2(b)给出了阈值分割后二值图像的剖面曲线。

从图2(a)和图2(b)可以看出: 单就点目标所在行的各个像素来说, 利用模板  $W_1$ 、模板  $W_2$  预测后得到的残差图像, 阈值分割后能够检测出点目标。而对于模板  $W_3$ , 虽然阈值分割后也能够检测出点目标, 但在比较亮的块状云团边缘和面积小的云朵处都出现了虚警点。

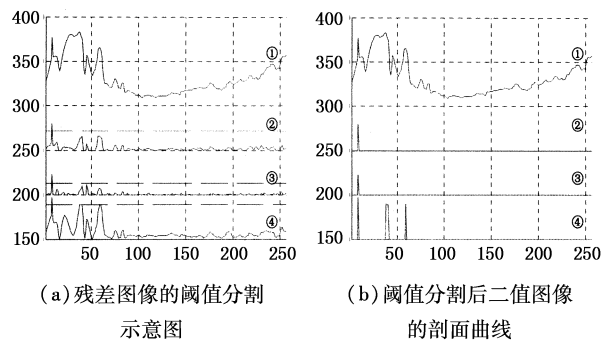


图2 阈值分割的结果

①对应于原始图像; ②对应于模板  $W_1$ ; ③对应于模板  $W_2$ ; ④对应于模板  $W_3$ 。

## 6 实验结果及分析

我们选定一幅具有复杂大气和云层背景的红外图像, 在其中叠加一个  $1 \times 1$  的点目标来模拟红外点目标图像, 以进行三种背景预测模板  $W_1$ 、 $W_2$  和  $W_3$  的对比实验。红外背景图像技术参数: 大小为  $256 \times 256$ , 图像灰度均值为 183.20, 图像标准偏差为 17.23。

### (1) 实验结果

我们不断改变点目标的灰度取值, 每改变一次点目标的灰度取值, 就模拟 100 帧红外点目标图像, 然后利用三种背景预测模板  $W_1$ 、 $W_2$  和  $W_3$  各进行检测实验一次, 从而得到不同信噪比下, 利用三种背景预测模板  $W_1$ 、 $W_2$  和  $W_3$  分别进行检测的各项数据, 如表1所示。为了评估背景预测模板的性能, 引入图像信噪比增益 (Signal Noise Improvement Ratio, SNIR), 定义为:

$$\text{SNIR} = \frac{\text{SNR}_{\text{out}}}{\text{SNR}_{\text{in}}} \quad (9)$$

表1 不同信噪比下,利用三种模板  $W_1$ ,  $W_2$  和  $W_3$  进行检测的性能

Mask SNR-1	$W_1$			$W_2$			$W_3$		
	SNR-2	SNIR	$P_D/\%$	SNR-2	SNIR	$P_D/\%$	SNR-2	SNIR	$P_D/\%$
1.06	4.02	3.79	1	7.37	6.95	4	1.89	1.78	1
1.18	4.92	4.17	1	9.00	7.63	14	2.21	1.87	3
1.29	5.83	4.52	4	10.63	8.24	63	2.53	1.96	4
1.41	6.74	4.78	8	12.25	8.69	87	2.85	2.02	4
1.52	7.65	5.03	16	13.87	9.13	96	3.17	2.09	7
1.64	8.57	5.23	26	15.49	9.45	98	3.49	2.13	10
1.75	9.48	5.42	45	17.11	9.78	100	3.80	2.17	13
1.87	10.39	5.56	68	18.73	10.02	100	4.12	2.20	13
1.99	11.30	5.68	79	20.33	10.22	100	4.44	2.23	18
2.10	12.21	5.81	90	21.95	10.45	100	4.76	2.67	23

注:a. SNR-1:100 帧原始图像信噪比的平均值;

b. SNR-2:100 帧残差图像信噪比的平均值;

c. 计算 SNIR 时,  $\text{SNR}_{\text{out}}$  取 100 帧残差图像信噪比的平均值;  
 $\text{SNR}_{\text{in}}$  取 100 帧原始图像信噪比的平均值;

d.  $P_D$ : 检测概率

## (2) 结果分析

结合对图 1(a)、图 1(b)、图 2(a) 和图 2(b) 的分析,从表 1 可以得出:

①模板  $W_1$  相当于对原始图像进行低通滤波,对于块状的云团抑制的效果比较好,而对于面积小的云朵和强噪声点则保留了下来。在信噪比较低的情况下,背景抑制能力一般,与其他高频成分相比,不能明显地突出点目标,图像信噪比增益和检测概率在三个模板中居于中间位置。

②模板  $W_2$  对图像环境具有较好的自适应处理能力,预测得比较接近原始图像背景,所以利用其得到的残差图像的信噪比比模板  $W_1$  和模板  $W_3$  都高,相应的图像信噪比增益和检测概率也都高于模板  $W_1$  和模板  $W_3$ ,特别是在原始图像信噪比逐步提高后更加明显。

③模板  $W_3$  是取以预测点为中心的四个象限预测区中的最小预测值,所以得到的预测图像的灰度值普遍偏低,这样原始图像和预测图像相减后得到的残差图像的灰度值反而偏高,点目标相对整幅残差图像来说,并没有特别明显地突出,这就是造成残差图像的信噪比和检测概率在三个模板中为最低的原因。另外,利用模板  $W_3$  进行背景预测,块状的云

团内部得到了抑制,但云团边缘保留了比较高的灰度值,点目标跟这些云团边缘相比,突出得也不明显,影响了检测概率的提高。

④对于既有灰度值比较低的大气,也有比较亮的块状云团和面积小的云朵,并且云团边缘起伏比较剧烈的云天背景下的红外点目标图像,模板  $W_2$  的检测效果较好,模板  $W_1$  其次,模板  $W_3$  最差。

## 7 结束语

实际的红外点目标图像背景复杂、起伏大、点目标唯有灰度信息且信噪比低,红外点目标检测相当困难。由于点目标只占一个像元,因此从背景出发,充分利用在图像中占绝大部分的背景来进行背景预测为点目标检测提供了一种可能。本文对三种背景预测模板在背景预测、背景消除和阈值分割三个检测过程中表现出来的性能进行分析和对比。从上述的分析可知,在三个检测过程中,三种模板对云天背景中较亮的块状云团、面积小的云朵和较暗的大气背景等不同的背景成分以及点目标奇异点具有不同的处理效果。在实际应用中,应充分分析实际的红外点目标图像云天背景中的不同成分的比重和差异,选择合理的背景预测模板,以期达到有效地抑制背景、突出点目标和提高信噪比。

## 参考文献:

- [1] Denney B S, de Figueiredo R J P. Optimal point target detection using adaptive auto regressive background prediction[C]//Signal and Data Processing of Small Targets. Bellingham USA SPIE, 2000, 4048: 46-57.
- [2] Yun Hu, Guan Hua, Zhen-kand Shen, et al. Detecting dim point target in image data using adaptive prediction filter [C]//Proceedings of the IEEE 1995 National Volume 1, Issue, 1995, 22-26: 197-200.
- [3] 向健勇, 等. 背景预测法检识空中红外弱小目标[J]. 激光与红外, 1997, 27(4): 205-208.
- [4] 余农, 吴常泳, 汤心溢, 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.
- [5] 向健勇, 尹超, 韩建栋. 一种红外弱小目标检测方法[J]. 电子科技, 2005, (1): 6-9.
- [6] 魏宏建, 任浩, 沈同圣. 红外图像探测器噪声的数值模拟方法[J]. 航天电子对抗, 2002(6): 33-35.
- [7] 叶斌, 彭嘉雄. 基于顺序形态滤波的运动点目标检测[J]. 红外与激光工程, 2001, 30(1): 25-29.
- [8] 章敏晋, 图像处理和分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [9] 王新增, 严国莉. 基于自适应门限滤波的红外弱小运动目标检测方法[J]. 红外, 2006, 27(8): 13-15.
- [10] 冈萨雷斯. 数字图像处理[M]. 第2版. 北京: 电子工业出版社, 2003.