文章编号: 1001-5078(2006)09-0900-04

复杂背景下含点目标单帧红外图像的预处理

林长青[1,2],孙胜利[1],陈桂林[1]
(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:对复杂背景下单帧红外图像的预处理做了研究,结合背景抑制及二次滤波,可以极大提高微弱点目标的信噪比,为后续处理降低数据量及运算量。通过合适的算法组合,可以有效地促进滤波质量的改善及硬件实现结构的简化。最后给出实验结果及对算法组合的评估。

关键词:点目标;红外;背景抑制
中图分类号: TP751 **文献标识码**: A

The Pretreatment for Single Infrared Image Frame with Point Target under Complex Background

LIN Chang-qing[1,2], SUN Sheng-li[2], CHEN Gui-lin[2]
(1. Shanghai Institute of Technical physics, the Chinese Academy of Science, Shanghai 200083, China;
2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: In the paper the pretreatment for detecting infrared point targets under complex background is discussed. After background suppressing and filtering, the intensity of target can be greatly improved, and complexity of operation can be greatly reduced. The appropriate combination of algorithms can effectively promote the quality of filter and simplify the architecture of hardware. Finally, the results of experiment and the evaluation are given.

Key words: point target; infrared; background-suppression

1 引 言

复杂背景下红外点目标检测是一个热门的课题,针对不同背景、目标特性所采用的算法有所差别。点目标本身由于成像距离远,反应在探测器上仅占一个或几个像元,且无结构信息,给检测带来一定的难度,特别是复杂背景下低 SNR的点目标检测难度更大。应用在空间对地观测的红外仪器便有这类问题,其背景图像主要来源于云层以及地球背景的大气辐射,既含有缓变的起伏背景,又有仪器本身工作时引入的噪声点,同时由于目标距离成像焦面较远,在大气传输环境中造成能量衰减,加上各种背景噪声和电磁干扰,图像中某些孤立噪声点强度可能大于目标信号强度。对于点目标的检测,前人做了大量的研究,给出了许多卓有成效的算法[1-3],一般采用多帧检测方法,实质是对点目标沿运动轨迹进行时间轴上的能量积累,数据存储量和运算量比较大。从降低运算量、提高实时性的角度来考虑,进行点目标检测时,可以先对单帧图像进行预处理,去除大面积的背景杂波,突出潜在目标点送后续处理。本文先进行背景估计,通过差分消除大面积的背景,通过二次滤波增强点目标信号;此后通过动态阈值分割,将潜在目标标记出来,保留位置信息待后续处理,通过这个算法组合,保证检测概率的同时降低了运算量,易于硬件实现。

2 背景抑制

对于含点目标的红外图像,一般建立模型为:

$$f(i,j) = f_T(i,j) + f_B(i,j) + n(i,j)$$

其中, $f_T(i,j)$为点目标信号,通常只占一个或几个像素; $f_B(i,j)$为杂波背景,包括起伏的云层以及探测器工作的不均匀性; $n(i,j)$为噪声,指图像采集过程引

作者简介:林长青(1980-),男,中科院上海技术物理研究所博士生,专业为电路与系统,研究方向是光电实时信号处理,红外弱小目标检测。

收稿日期: 2006-03-10

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

入的各种噪声,包括电路本身工作引起的噪声以及外部的干扰信号等,与背景不相关,在空间分布上是随机的。

定义图像信噪比为:

$$SNR=\frac{\bar{f}_T-\bar{f}_B}{\sigma}$$

其中,$\bar{f}_T$ 为目标点强度均值;$\bar{f}_B$ 为背景均值;σ 为图像标准差。

若能对背景进行适当的估计,将大面积相关性强的背景抑制掉,剩下目标点和高频噪声点,对于大视场的红外仪器,降低的数据量是非常可观的,可以极大降低硬件设计的复杂度。

背景抑制从实现的途径上来说,有帧间差分对消和自适应背景预测等。差分对消由于需要对各帧图像进行配准,增加了处理的难度,因此在自适应背景预测中得不到广泛应用。常用的自适应背景预测有线性预测器[4]、非线性预测器[5]、形态学滤波器[6]、卡尔曼滤波器[7]等。

我们对背景进行归一化,可以采用以下模板:

$$B_1=\frac{1}{16}\begin{bmatrix}1&1&1&1&1\\1&0&0&0&1\\1&0&0&0&1\\1&0&0&0&1\\1&1&1&1&1\end{bmatrix}$$

$$B_2[8]=\begin{bmatrix}-0.3&0.125&0.3&0.125&-0.3\\0.125&0&0&0&0.125\\0.3&0&0&0&0.3\\0.125&0&0&0&0.125\\-0.3&0.125&0.3&0.125&-0.3\end{bmatrix}$$

$$B_3=\frac{1}{24}\begin{bmatrix}2&2&2&2&2\\2&1&1&1&2\\2&1&0&1&2\\2&1&1&1&2\\2&2&2&2&2\end{bmatrix}$$

采用上述模板对红外图像进行卷积计算,用所得的值替换中间像素值,得到背景的预测值。B2为B1的改进,其对大面积起伏背景的估计比 B1更敏感,能得到更贴近真实的背景。将原始图像与背景图像进行差分运算,得到含潜在目标的残差图像。

图 1中给出了红外图像沿目标点所在的轴向剖面曲线图。实验表明,就单纯进行背景估计而言,上述模板中,B2模板的效果最好,背景抑制后残留的值振荡很小,但其运算最复杂,需要硬件乘法器;另一方面对背景过于敏感,在孤立噪声点较多时,后续分割目标的阈值选取将局限于很小的区间。因此,我们对残差图像进行二次滤波,进一步突显目标。

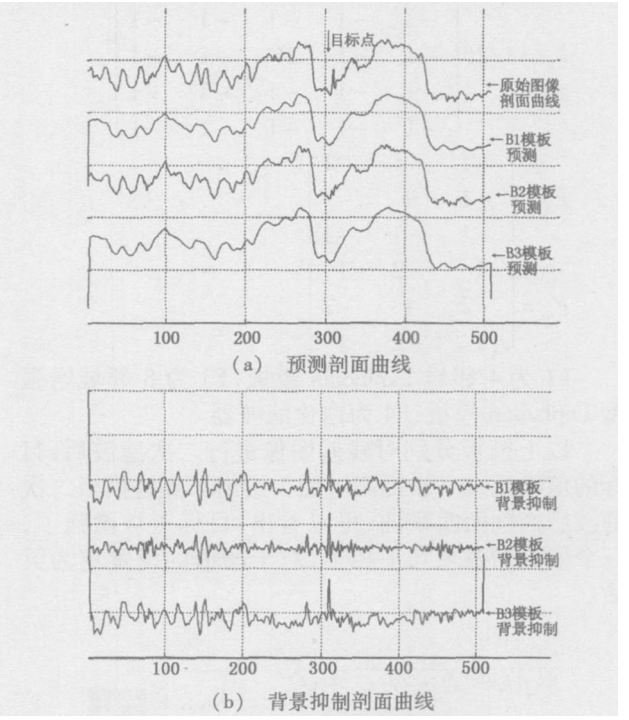


图 1 轴向剖面曲线图

3 二次滤波

对点目标的增强即对高频信号的增强,可以采用各种线性或非线性的方法,如小波滤波器、Robinson滤波器、高通滤波模板、白化滤波器等。由于空域滤波最容易在硬件上实现,且实时性好,因此得到了广泛的应用。下面列出几种常用空域滤波模板。

1) Robinson滤波器

如图 2所示,以 5×5的滤波器模板为例,输出值为:

$$g=\begin{cases}X-\max\{Yi\} & X>\max\{Yi\}\\ \min\{Yi\}-X & X<\min\{Yi\}\\ 0 & \min\{Yi\}<X<\max\{Yi\}\end{cases}$$

Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
Y6				Y7
Y8		X		Y9
Y10				Y11
Y12	Y13	Y14	Y15	Y16

图 2 5×5的 Robinson滤波器

其实质是一种非线性滤波器,可以有效地保留目标信息而抑制背景,硬件上较容易实现。

2)线性高通滤波器

$$F_1=1/5\begin{bmatrix}0&-1&0\\-1&4&-1\\0&-1&0\end{bmatrix}$$

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$F_2 = 1/25\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 24 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$F_3 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$F_4 = \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}$$

F1为 4邻域 Laplacian模板, F3为 8邻域增强型 Laplacian模板, F4为白化滤波器。

以上模板分别对残差图像进行二次滤波后,目标的信噪比进一步提高。图 3给出了经过模板二次滤波后的剖面曲线图,可以看出,目标点被增强了,三个模板的效果几乎相当,对于阈值的设置更为灵活。

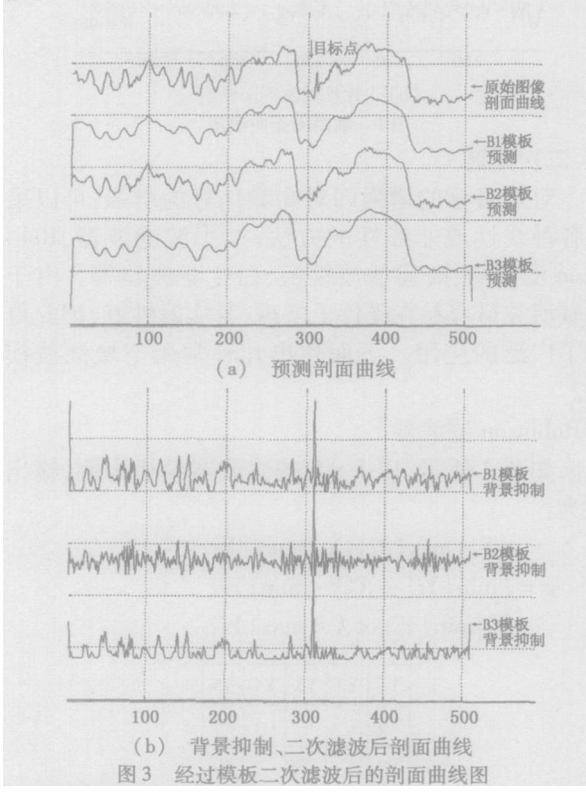


图 3 经过模板二次滤波后的剖面曲线图

4 阈值分割

在复杂背景下采用全局阈值进行背景和目标分割明显是不合适的,在进行背景抑制后,由于各个算法适应性不同,或多或少会残留下部分高频噪声、强杂波边缘点等,特别是采用空域滤波模板,在消除低频背景与增强奇点目标时,会使高频孤立噪声也增强。因此,为降低虚警率,有必要对消除背景后的图像进行动态阈值分割,即通过图像的统计特性自适应地改变阈值。

一般地,将图像分为 M ×N边缘重叠的子块,对每个子块采用以下式计算阈值:

$$Th_{i,j} = X_{i,j} + \alpha\delta(X_{i,j})$$

其中, $X_{i,j}$为子块均值, $\delta(X_{i,j})$为子块方差, α为系数,通过实验设定。阈值分割将目标二值化,同时在阈值计算过程中剔除残留大面积目标。

通过阈值分割后,将可疑目标点的坐标及所在帧号保留下来,待后续的目标识别、跟踪等处理。

5 结 论

在 512 ×512真实红外图像中加入一个 1 ×2大小的微弱点目标进行仿真实验,分割子块大小为 32 ×32。由于对单帧图像的处理主要是考虑背景的抑制效果,引入背景抑制参数 (Background Suppression Factor: BSF)和图像信噪比增益 (Signal Noise Improvement Ratio: SNIR)两个概念,分别定义为:

$$BSF = \frac{mean_{in}}{mean_{out}} \qquad SNIR = \frac{SNR_{out}}{SNR_{in}}$$

对上述背景抑制、二次滤波后的效果进行评估,并根据系数 α的不同给出动态阈值分割后潜在目标的数目。

定义函数 F(m, T)为分割后评价函数, m为分割后潜在点目标数目, T为目标点状态,取值为 0 (目标点丢失)或 1(目标点存在)。

实验数据于下列各表列出。

表 1 背景抑制

value / mask	BSF	SNIR			
		SNR = 1.5	SNR = 2.0	SNR = 2.5	SNR = 3
		SNIR	SNIR	SNIR	SNIR
B1	5.51	2.86	2.66	2.53	2.45
B2	12.40	6.68	6.21	5.93	5.74
B3	5.65	2.59	2.39	2.27	2.19

表 2 二次滤波

value / mask		BSF	SNIR			
			SNR = 1.5	SNR = 2.0	SNR = 2.5	SNR = 3
			SNIR	SNIR	SNIR	SNIR
Robinson	B1	19.91	0.75	0.75	0.75	0.76
	B2	38.93	0.38	0.39	0.39	0.40
	B3	10.22	0.92	0.94	0.95	0.95
F1	B1	60.0	2.24	2.24	2.24	2.24
	B2	64.46	1.17	1.18	1.19	1.19
	B3	29.07	2.61	2.62	2.64	2.63
F2	B1	21.36	1.37	1.37	1.37	1.37
	B2	34.86	0.95	0.95	0.95	0.96
	B3	10.46	1.66	1.66	1.67	1.66
F3	B1	8.36	1.61	1.60	1.60	1.60
	B2	8.58	0.90	0.91	0.91	0.91
	B3	7.78	1.86	1.86	1.87	1.87
F4	B1	144	10.21	10.20	10.16	10.11
	B2	94.3	3.46	3.49	3.50	3.50
	B3	64.03	11.43	11.47	11.47	11.42

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1中,模板 B2的 SNIR和 BSF值最高,在图 1的曲线中也可以表现出来,其对起伏背景抑制能力最强。表 2列出二次滤波前后计算的 SNIR和 BSF,可以看出,B2在进行二次滤波的效果不是很明显,而 B1和 B3在二次滤波后 SNR进一步提高。表 3(a) (b)列出算法组合的阈值分割结果。

从实验结果上看,虽然 B1背景抑制的效果不如 B2明显,但通过二次滤波后两者的处理效果几乎相当,这是由于经过处理后的红外图像 SNR已经足够大了,已经达到能够检测的目的。这对于硬件的实现有重要意义,可以采用计算简单的 B1模板与 F2/F3的组合来实现单帧图像的处理,一方面可以获得令人满意的滤波效果;另一方面对于硬件设计来说容易实现,由于大部分是移位运算,避开了大量的乘法器,可以简化结构,降低对硬件资源的要求,同时提高运算频率,也减少了处理延迟。

综上所述,可以得到以下结论:

1)对于单帧图像处理,选取合适的算法组合比单一的较复杂的算法效果要好,可以降低对单一算法处理效果的苛刻要求,且可以灵活配置,在硬件上可以进行重构,针对不同背景采用不同的处理方法,硬件结构实现简单;

2)对单帧图像的处理,可以显著降低数据量,减轻对硬件运算能力的压力,而不以降低检测概率为代价;

3)点目标检测的前提是,灰度值必须和周围的背景有差异,只要局部信噪比能达到检测门限的要求,则目标都能得到增强,有利于后续处理。

表 3(a) 算法组合的阈值分割结果

F(m, T) / Algorithm	SNR = 1.5			SNR = 2.0			SNR = 2.5			SNR = 3		
	a = 10	a = 12	a = 15	a = 15	a = 18	a = 20	a = 10	a = 12	a = 15	a = 15	a = 18	a = 20
B1 Group												
(B1, F1)	(4,1)	(3,1)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(4,1)	(3,1)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(2,1)
(B1, F2)	(6,1)	(4,1)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(0,0)	(6,1)	(4,1)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(1,1)
(B1, F3)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(0,0)	(0,0)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(0,0)
(B1, F4)	(14,1)	(6,1)	(6,1)	(6,1)	(5,1)	(4,0)	(14,1)	(6,1)	(6,1)	(6,1)	(5,1)	(4,0)
B2 GroUp												
(B2, F1)	(8,1)	(3,1)	(2,1)	(2,1)	(1,0)	(0,0)	(8,1)	(3,1)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(0,0)
(B2, F2)	(9,1)	(3,1)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(0,0)	(9,1)	(3,1)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(0,0)
(B2, F3)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(0,0)	(0,0)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(1,0)	(0,0)
(B2, F4)	(12,1)	(10,1)	(7,0)	(7,0)	(4,0)	(4,0)	(12,1)	(10,1)	(7,0)	(8,1)	(4,0)	(4,0)
B3 Group												
(B3, F1)	(5,1)	(4,1)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(5,1)	(4,1)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(2,1)
(B3, F2)	(9,1)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(0,0)	(9,1)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(2,1)
(B3, F3)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(2,1)	(1,1)
(B3, F4)	(14,1)	(6,1)	(6,1)	(6,1)	(5,1)	(4,0)	(14,1)	(6,1)	(6,1)	(14,1)	(5,1)	(4,0)

表 3(b) 算法组合的阈值分割结果

F (m, T)	SNR = 1.5			SNR = 2.0			SNR = 2.5			SNR = 3		
	a = 15	a = 18	a = 20	a = 15	a = 18	a = 20	a = 15	a = 18	a = 20	a = 15	a = 18	a = 20
(B1, Robinson)	(15,1)	(6,1)	(4,1)	(15,1)	(6,1)	(4,1)	(15,1)	(6,1)	(4,1)	(15,1)	(6,1)	(4,1)
(B2, Robinson)	(9,1)	(3,1)	(1,0)	(9,1)	(3,1)	(2,1)	(9,1)	(3,1)	(2,1)	(9,1)	(3,1)	(2,1)
(B3, Robinson)	(18,1)	(5,1)	(4,1)	(18,1)	(5,1)	(4,1)	(18,1)	(5,1)	(4,1)	(18,1)	(5,1)	(4,1)

参考文献:

[1] 彭嘉雄,周文琳. 红外背景抑制于小目标分割检测[J]. 电子学报, 1999, 27: 47 - 52.

[2] A G Tartakovsky, S Kligys, A Petrov. Adaptive sequential algorithms for detecting targets in heavy IR clutter[A]. SPIE, 1999, 3809: 119 - 130.

[3] W L New, M H Tan, M H Er. New method for detection of dim point targets in infrared images[A]. Proc. SPIE, 1999, 3809: 141 - 151.

[4] 李吉成,沈振康,鲁新平,等. 基于背景杂波自适应预测的红外弱小目标检测[J]. 激光与红外, 2004, 34: 478 - 451.

[5] S D Deshpande, M H Er. Max-mean and max-median filters for detection of small targets[A]. Proc. SPIE, 1999, 3809: 74 - 85.

[6] 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: 200 - 204.

[7] 刘志军,陈朝阳,沈绪榜. 基于卡尔曼滤波器的背景抑制及小目标检测[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2004, 32: 7 - 9.

[8] 杨卫平,沈振康. 起伏背景下的自适应门限检测方法[J]. 红外与毫米波学报, 1999, 18: 120 - 124.

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net