

文章编号 :1001-5078(2004)06-0484-03

一种低信噪比运动点目标检测算法

卓 宁,孙华燕

(装备指挥技术学院,北京 101416)

摘 要:为检测复杂背景中的低信噪比(SNR)点目标,提出了一种自适应带通门限检测算法。首先根据图像的信噪比选取合适的带通门限进行图像空间滤波,然后采用帧相关法进行时间滤波。实验结果表明,该算法可有效地抑制背景杂波的干扰、提高信噪比 SNR,检测出复杂背景下的低信噪比点目标,且易于实现。

关键词:点目标;低信噪比;带通门限;帧相关

中图分类号: TN911.73 **文献标识码:** A

An Algorithm of Point Moving Target Detection in Low SNR

ZHUO Ning ,SUN Hua-yan ,

(Institute of Equipment Command and Technology ,Beijing 101416 ,China)

Abstract :In order to detect the low SNR point moving target in the the condition of complicated background ,an adaptive bandpass threshold algorithm is presented in this paper .First ,select the appropriate bandpass threshold to image spatial filter ,then to frame relation temporal filter .The expeimental results show that the proposed method can effectively control the background ,greatly improve the SNR ,and detect the moving point target .It also can be easily realized .

Key words :point target ;low SNR ;bandpass threshold ;frame relation

1 引言

现代战争中,为了提高精确制导武器的打击能力和作战武器系统的防御能力,越来越需要用成像传感器对远距离目标进行检测、识别与跟踪。但由于作用距离远、目标辐射受到大气信道的衰减以及探测器噪声等因素的影响,其探测到的目标在成像视场中一般只有几个甚至一个像素,视场中可能还有云、地物等各种复杂的背景杂波,目标点极易被噪声所淹没。复杂背景下低信噪比点目标检测是武器系统中的关键技术之一,也是运动目标探测中一个亟待研究与解决的课题。

点目标的检测通常采用空间—时间滤波算法,先对图像进行空间滤波预处理实现点目标增强和背景抑制,提高图像的信噪比,然后通过时间序列分析进行时间域滤波,去伪存真,找到真正的点目标。早期算法利用时间相关或跟踪状态进行空间检测,这

些算法在目标比背景亮时,效果很好;但对杂波强而目标弱的情况效果较差^[1],因为它很难通过最初的空间检测和门限。最近的大多数算法则采用了将空间和时间信息并入多帧处理过程中的检验前跟踪(TBD)的算法^[2]

现有的研究方法比较多^[4],有匹配滤波器法、动态规划法、序贯假设检验法、最优投影法和 Hough 变换法,还有神经网络、小波变换、似然比检测、图像流法等等。这些方法都有计算量大和运算复杂等缺点,不能满足实时信号处理的要求。

本文提出了一种自适应带通门限检测算法^[5],可以实时检测出复杂背景下的低信噪比点目标,具有计算量小且易于实现的优点。

作者简介:卓 宁(1976-),女,工程师,在读硕士研究生,主要从事图像信号处理方面的研究。E-mail :rachelzn @sohu.com
收稿日期:2004-05-28

2 自适应带通门限检测

点目标探测算法最终都要演化成门限检测法。

传统的自适应门限检测法,设图像表示为:

$$I = \{f(i, j)\} \quad i \in [1, M] \quad j \in [1, N]$$

点目标存在与否可以表示为:

$$\begin{aligned} H_f(i, j) &\geq T \\ H_g(i, j) &< T \end{aligned} \quad (1-1)$$

$f(i, j)$ 表示某像素点, T 为门限或阈值。

对于远距离红外图像而言,可以认为图像是由目标和背景组成,背景中细节成分较少,在大部分情况下,背景是大面积平缓变化场景,像素之间有强相关性,对目标探测影响大,如果将背景白化成白噪声,则阈值探测法就可利用(1-1)式进行探测^[3]。背景白化符合高斯噪声条件,因而可以用最优滤波理论的性能参数来描述^[6]。

设恒定的虚警概率 P_f , 已知要求的探测信噪比,则根据

$$P_f = \int_T \frac{1}{\sqrt{2}} \exp\left[-\frac{(n - E(n))^2}{2}\right] dn$$

求出阈值 T , 然后通过下式求出最优探测概率:

$$P_D = \int_T \frac{1}{\sqrt{2}} \exp\left[-\frac{(n - E(n) - SNR)^2}{2}\right] dn$$

其中, SNR 为信噪比, T 为检测门限, σ 为噪声均方差, $E(n)$ 为噪声的均值, P_f 为虚警概率, P_D 为探测概率。

背景白化后对图像整体求均值和方差:

$$\mu(k) = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f(i, j, k)$$

$$\sigma^2(k) = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i, j, k) - \mu(k)]^2$$

$$T(k) = \mu(k) + n \sigma(k)$$

其中, $f(i, j, k)$ 表示时刻 k 在 (i, j) 点的像素值,利用(1-1)式探测点目标。但是上式中系数 n 通常难以确定,基本上凭经验获得,因此计算出来的门限为固定门限,适应性较差。

鉴于以上原因,且实际的深空背景既存在间断的高频干扰又存在连续的低频干扰,本文提出了自适应带通门限法——根据信噪比自动调整门限宽度。

首先计算图像的信噪比 SNR , 信噪比的定义为:

$$SNR = \frac{Target - Mean}{Std}$$

其中 Target —— 目标灰度

Mean —— 图像平均灰度

Std —— 图像灰度的标准偏差

以信噪比为准确定 n 的取值,因此本方法可以表

示为:

$$f(i, j, k) = \begin{cases} f(i, j, k) & \mu(k) + d(k) < f(i, j, k) < \mu(k) + \sigma(k) \\ 0 & \text{其它} \end{cases}$$

经过上述门限处理后,我们得到一个去除背景的可能目标图像序列,可能是目标的点保留其灰度值,其余点的灰度值置零。

3 帧相关法

单帧图像处理不能实现对目标的可靠检测与跟踪,必须利用多帧图像的运动信息,将目标的运动特征和运动轨迹的连续性、一致性结合起来进行考虑。我们知道,点目标的运动具有运动的连续性和轨迹的一致性特征,因此,噪声点的运动是随机的,不能形成连续运动轨迹;而目标点的运动则是有规律的,具有连续的。基于以上考虑,下面提出一个判别准则,将第一步分离所得到的可能目标点在此判别准则下进行筛选,实现目标点与噪声点的进一步分离,其原理阐述如下:

设时间序列 $C(t)$, 其中 $t = 0, 1, \dots, T$ 。设在 $C(t), C(t+1)$ 中分别存在一个连通域 $L(t)$ 和 $L(t+1)$ 。由连通域 $L(t)$ 形成的小目标图像为 $P_t = \{P_t(m, n)\}, [m, n] \in L(t)$; 由连通域 $L(t+1)$ 形成的小目标图像为 $P_{t+1} = \{P_{t+1}(m, n)\}, [m, n] \in L(t+1)$; 若 P_t 中至少有一点存在于 P_{t+1} 中,则认为 P_t 和 P_{t+1} 是相关的,记为:

$$P_t \cap P_{t+1} \geq 1$$

4 实验结果

实验图像背景采用连续 128 × 128 红外图像序列,点目标是人工合成进去的,以 5 像素/帧的速度运动。在帧相关法中 $L = 10, M \geq 3$, 搜索邻域为 5×5 。部分实验结果如表一所示:

表 1 部分实验结果

No. 1	SNR	Mean	Std	Location of Point Target
1	1.06	0.3137	0.0113	(64, 64) (64, 65)
2	1.42	0.3075	0.0103	(79, 79) (79, 80)
3	1.97	0.3127	0.0121	(84, 84) (84, 85)

图 1(a)、图 1(b) 和图 1(c) 分别是信噪比为 1.06、1.42 和 1.97 的原始图像,图 1(d)、图 1(e) 和图 1(f) 分别是用该算法检测到的点目标。

从表 1 和图 1(d) ~ 图 1(f) 可以看出该算法能准确的检测到点目标。

经过大量的试验统计,本算法的检测概率在 90% 以上。

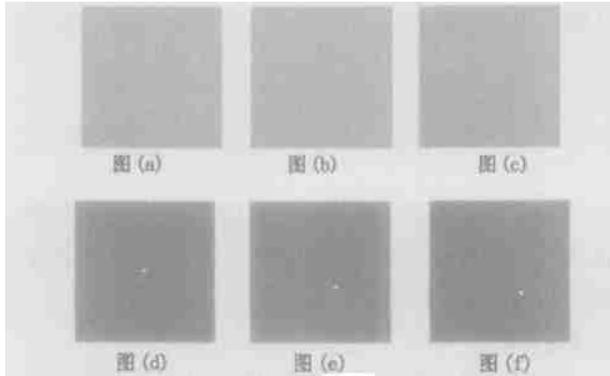


图 1

5 结 论

本文提出了一种自适应带通门限检测法,带通滤波器的上下限是根据图像的信噪比自适应的确定,该方法具有适应性强,效果好等优点,比传统的门限检测法更能有效的去处噪声点的影响;帧相关法可有效的去除固定目标点的影响,确定真正的目标。实验结果表明该算法能够检测出在帧间作快速运动的低信噪比点目标,实验取得了很好的效果。同时,该算法计算量小且易实现,对低信噪比运动

点目标的检测具有较好的实用价值。

参考文献:

- [1] Alexis P tzanner ,Dana H Brooks. Detection of Point Targets in Image Sequences by Hypothesis Testiong A Temporal Test First Approach[J]. IEEE. 1999 ,07803 - 5041 - 3 :3377 - 3380.
- [2] R C Warren. The Real Time Calculation Of Cloud Motion in Infrared Image Sequence Using Mathematics Morphology Operations[J]. IEEE1999 ,0 - 7803 - 5256 - 4 :83 - 89.
- [3] Zhu ZF. Detection and acquisition of small targets with low Signal-to-clutter ratio[A]. Proc. SPIE3809 1999 ,564 - 569.
- [4] 张弘,赵保军,毛二可,等. 复杂背景下红外点目标的检测[J]. 红外与激光工程,2001,4:96 - 99.
- [5] 张金锁,宋利权,靳民会等. 基于带通滤波的红外小目标捕获算法研究[J]. 红外与激光工程,2002,8:294 - 296.
- [6] 朱海陵,卢焕章,常青. 低信噪比下两种点目标检测算法的研究[J]. 红外与激光工程,1999,2:5 - 7.

(上接第 480 页)

层神经元数目 $J = 9$, 参数 $\alpha = 0.05$ 。其中:图 2(a)、图 2(c)和图 5(a)分别为目标处于云层边缘、云层中和云层缝隙三种典型情形。图 2(b)、图 2(d)和图 5(b)分别给出了三种典型情形下的线性预测误差图像,其结果表明:线性自适应预测起到了抑制起伏背景和增强目标的双重作用。图 4(b)、图 4(d)和图 5(c)为基于神经网络的预测误差图像,由图可知,神经网络预测器的背景抑制作用好于线性预测器。且目标更加突出。图 6 为利用神经网络预测器对 2(a)、图 2(c)和图 5(a)进行处理,在此基础上根据获得预测误差图像进行目标检测的结果(二值图像)。



图 5 天空背景下的小目标原始图像(a)、线性预测误差图像(b)及神经网络预测误差图像(c)



图 6 天空背景下的小目标检测结果

5 结束语

文中首先讨论了一种基于均方误差最小的自适应线性预测器,该预测器计算量小,易满足实时要求,且对平稳和线性云层红外背景图像具有很好的背景预测能力。然后提出了一种基于非线性函数可调整的 BP 神经网络预测器,由于该预测器中的非线性函数可调整且非线性程度很高,能很好的适应各种复杂的起伏背景(特别是非平稳和非线性杂波背景)。因此,神经网络预测器在复杂的杂波背景中检测低信噪比的小目标具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] Wang D ,Adaptive spatial/ temporal/ spectral filters for background clutter suppression and target detection. [J]. in Opt. Eng. 1982 ,21 :1033 - 1038.
- [2] Ohki M Hashiguchi S. Two-dimensional LMS adaptive filters [J]. IEEE Trans. Consumer Elect. 1991 ,37:66 - 73.
- [3] Simon Haykin,Liang Li. Nonlinear Adaptive Prediction of Nonstationary Signals[J]. IEEE Tmas on Signal Processing, 1994 ,43(2) .
- [4] 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.