

背景预测模型中不同邻域预测效果评估

陈定国, 鹿 玮, 金刚石, 董维科
(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘要:当目标处于复杂背景中时,红外弱小目标检测将变得更加困难。背景预测是红外图像弱小目标检测的一种重要方法,背景预测模型中权值矩阵的确定策略对于预测和检测效果具有决定性的影响。定义了被预测点周围的三种不同邻域,探讨了不同邻域背景像素点预测的效果,并比较了不同邻域以及中邻域和多邻域的检测性能。仿真实验结果表明,中邻域具有比近邻域和远邻域更好的预测和检测性能,此外,中邻域与多邻域相比,在保证检测性能的同时具有更快的运算优势。

关键词:弱小目标;背景预测;邻域;评估

中图分类号:TP751.1 **文献标识码:**A

Performance Evaluation of Different Neighborhood in Model of Background Prediction

CHEN Ding-guo, LU Wei, JIN Gang-shi, DONG Wei-ke
(North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract: Detection of infrared dim small target becomes rather difficult if the target lies in a complicated background. Background prediction is one of the important methods for the detection of dim small target in infrared image, and the determination of weight matrix in model of background prediction is of great importance to the performance of prediction and detection. Three different neighborhoods around the predicted pixel are defined, prediction effects of different neighborhoods are discussed and detection performance is compared. Simulation indicated that the detection performance using middle neighborhood is more efficient and middle neighborhood approach is less computationally expensive than multi-neighborhood method.

Key words: dim small target; background prediction; neighborhood; evaluation

1 引言

远程精确打击、隐身与反隐身、夜战等现代高技术战争的特点使得红外热像仪在现代军事中得到了前所未有的应用,这要求现代武器系统必须具有快速、精确的反应能力。尽早发现目标是提高快速反应能力的先决条件,远距离红外弱小目标探测技术能够很好地满足这个要求,它使得尽早发现目标成为可能。红外弱小目标检测是红外搜索跟踪系统、

红外成像制导系统和红外告警系统等现代军事作战系统的核心技术,是提高武器系统检测概率等关键技术指标的重要途径,是进一步提高系统性能的关键技术环节,对提高武器系统的作用距离、作用效能和打击能力具有重大现实意义^[1-8]。

作者简介:陈定国(1976-),男,本科,主要从事光电系统设计方面的工程应用研究工作。

收稿日期:2008-09-02

2 背景预测模型原理

对于弱小目标,除了灰度,很难找到形状和纹理等有效的特征。在这样的约束条件下,为了更好地检测到弱小目标,在红外图像中寻找其他有价值的特征就显得尤为重要。与此相反的是,弱小目标所处的背景在红外图像中占有几乎全部的像素位置,背景灰度的分布具有明显的形状和纹理特征,因此,充分地利用背景的丰富信息,通过抑制背景达到增强目标的效果,成为有效解决弱小目标检测问题的重要思路之一。在这个思路下,被预测点邻域内背景灰度的分布就起了很大作用。与没有目标的情况相比,背景中目标的存在将会破坏背景灰度分布的连续性。换句话说,不管目标像素灰度值高于还是低于周围背景像素的灰度值,目标像素的灰度值都与它所处的背景像素灰度值的分布具有明显的不同。而这种不同,正是从背景中检测到目标的根本原因,也是背景预测模型原理的物理依据。因此,背景预测模型检测弱小目标的原理就是:如果某个像素属于背景,那么它的灰度值就可以通过它邻域内的像素灰度值进行预测。换句话说就是,无效的预测就预示着一个可能的目标像素。

背景预测模型的基本思想被称作敏感性原则。它指的是在对图像像素进行逐行逐列的预测后,与背景预测模型不相匹配的备选像素点将被检测出来以备后续处理。由于弱小目标是我们在红外图像中关注的焦点,背景在图像中占据了主要的信息,目标与它邻域内的背景具有明显不同的灰度分布特征。背景预测模型中的像素是它周围邻域内像素灰度值线性或者非线性的加权结果,它具体由式(1)给出:

$$Y(m,n) = K_1 \sum_{k=1}^N W_k G_k + K_2 \quad (1)$$

其中, $Y(m,n)$ 表示像素 (m,n) 的预测值; k 表示背景中像素值的序号; N 表示背景中参与预测像素的数量; K_1 和 K_2 是常数; G_k 是背景中第 k 个像素的灰度值; W_k 是第 k 个像素值的权重。 N, K_1, K_2 和 W_k 可以设置成常数或者变量。

图1所示为背景预测模型检测红外弱小目标的流程。从图中可以看出,检测过程包括三个组成部分:背景预测、残差处理和阈值处理。检测结果通过图像的阈值处理得以实现。

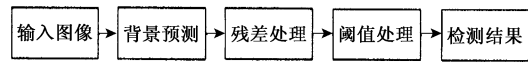


图1 背景预测模型检测红外弱小目标的流程框图

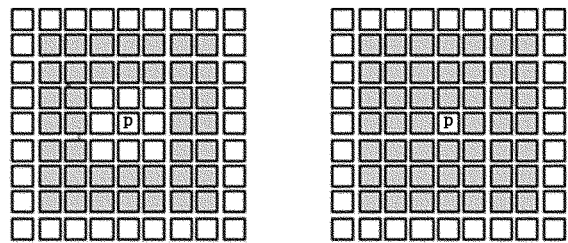
预测图与原图的差值得到残差图,由式(2)给出:

$$E(m,n) = X(m,n) - Y(m,n) \quad (2)$$

其中, $E(m,n)$ 表示残差图; $X(m,n)$ 表示输入图像; $Y(m,n)$ 表示预测图像,在残差图中通过阈值处理就可以确定目标的位置。

3 背景预测模型中的权值矩阵

从背景预测推导公式(1)中可以明显看到,权值矩阵 W_k 的确定方法对于预测和检测效果有直接的决定作用。参与预测背景点的选择方法如图2所示,标注为 p 的像素为被预测点,每一个方格代表一个像素点,灰色部分为所选择的背景点,图2(a)表示适用于尺寸在 3×3 以下的小目标的选点图,它在 3×3 邻域之外选择了40个像素,图2(b)则表示适用于只有1个像素大小的点目标的选点图,它选择了被预测点周围的48个像素。



(a)小目标选点图

(b)点目标选点图

图2 预测目标选点图

权重取值按式(3)给出:

$$W_j(l,k) = \frac{1}{L} \quad (3)$$

其中, L 表示归一化常数。这是一种最简单的设定,是一种等权重设置,相当于将局域背景像素点的灰度值进行平均作为预测值。图3显示了背景预测算法常用的固定权值矩阵,它们显然都只适用于点目标。

$$W = \frac{1}{48} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad W = \frac{1}{112} \begin{bmatrix} 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 \\ 3 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 3 \\ 3 & 2 & 1 & 1 & 1 & 2 & 3 \\ 3 & 2 & 1 & 0 & 1 & 2 & 3 \\ 3 & 2 & 1 & 1 & 1 & 2 & 3 \\ 3 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 3 \\ 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 \end{bmatrix} \quad W = \frac{1}{288} \begin{bmatrix} 9 & 9 & 9 & 9 & 9 & 9 & 9 \\ 9 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 9 \\ 9 & 4 & 1 & 1 & 1 & 4 & 9 \\ 9 & 4 & 1 & 0 & 1 & 4 & 9 \\ 9 & 4 & 1 & 1 & 1 & 4 & 9 \\ 9 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 9 \\ 9 & 9 & 9 & 9 & 9 & 9 & 9 \end{bmatrix}$$

图3 背景预测模型常用的固定权值矩阵

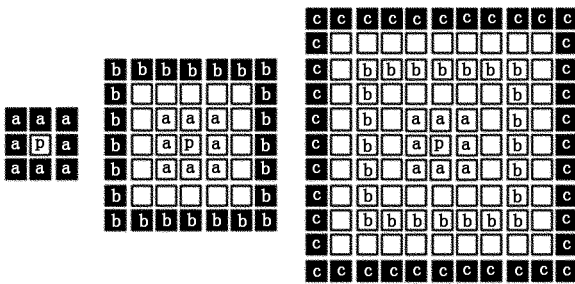
此外,为了得到更好的效果,还有比较复杂的自

适应方法确定权值矩阵,如 Wiener 滤波法、LMS 法、Kalman 滤波法等。

从以上分析可以看出,确定权值矩阵的值是背景预测算法中必须解决的一个关键问题。要确定权值矩阵,还必须明确应该选取多少局域背景的点,在什么地方选取以及如何选取。背景预测是逐点进行的,每一点运算量的增加都会使整个算法的运算量显著增加,因此,选取的点越多,运算量就会越大,并且更多的局域背景点在带来更大运算开销的同时,未必能够更好地提高预测和检测性能。在对弱小目标和背景的灰度分布特性没有先验知识的情况下,应该在被预测点周围的所有方向上选取背景点,并使它们的权重取值相同。

4 权值矩阵中的不同邻域

从这一部分开始,将比较背景预测模型中被预测点周围不同邻域像素的预测和检测效果。为了便于清楚地比较,假设目标为点目标,并且对背景预测模型中被预测点周围的邻域做如下定义:近邻域定义为直接环绕被预测点的 8 个像素,如图 4(a)所示;中邻域定义为直接环绕 5×5 邻域的 24 个像素,如图 4(b)所示;远邻域定义为直接环绕 11×11 邻域的 40 个像素,如图 4(c)所示。图中 p 表示被预测点,a 表示近邻域中的像素,b 表示中邻域中的像素,c 表示远邻域中的像素。



(a) 近邻域 (b) 中邻域 (c) 远邻域

图 4 不同邻域图

5 结果分析

为了便于计算,我们选用固定的权值矩阵,并且权值矩阵在各个方向上具有相同的权值。

我们选取了两组具有不同信噪比的红外图像,如图 5 所示,它们的信噪比分别为 1.403 和 3.441,

分别使用在各个方向上取值相同的近邻域、中邻域和远邻域权值矩阵以及图 3 中的多邻域权值矩阵进行比较测试。

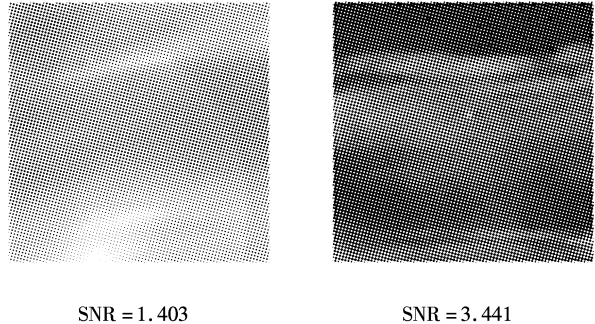


图 5 不同信噪比红外测试图像

残差图信噪比指标的比较定量地显示了三种不同邻域的预测和检测性能差异。

本文使用的图像信噪比采用式(4)的定义:

$$SNR = \frac{g_t - g_b}{\sigma} \tag{4}$$

其中, g_t 是弱小目标的灰度均值; g_b 是背景的灰度均值; σ 是背景的灰度标准差。

表 1 比较了近邻域、中邻域和远邻域分别进行背景预测的信噪比结果。从表中可以看到,中邻域具有比近邻域和远邻域更好的性能,这说明,近邻域的预测效果容易受到目标像素点灰度的扰动,远邻域的预测性能则会使距离被预测点太远而使邻域与被预测点的相关性大大降低。

表 1 三种不同邻域结果残差图的信噪比

原 SNR	处理后 SNR			SNR 增益		
	近邻	中邻	远邻	近邻/%	中邻/%	远邻/%
1.403	4.994	7.388	6.637	71.9	81.0	78.9
3.441	4.629	7.473	7.180	25.7	54.0	52.1

表 2 比较了中邻域和多邻域分别进行背景预测的信噪比结果,容易看出,多邻域的性能并没有因为参与预测点数量的增加而增加。

表 2 中邻域与多邻域结果残差图的信噪比

原 SNR	处理后 SNR		SNR 增益	
	中邻域	多邻域	中邻域/%	多邻域/%
1.403	7.388	7.221	81.0	80.6
3.441	7.473	7.302	54.0%	52.9%

此外,本文还使用了 ROC (receiver-operator

characteristics) 曲线,即探测概率与虚警概率的变化关系曲线,来进行性能比较,计算采用文献[9]中的方法。图6和图7分别展示了不同信噪比条件下不同邻域背景预测的ROC曲线图。图6显示了信噪比为1.403的情况,图7显示了信噪比为3.441的情况。所有实验都使用红外图像进行了测试,从图中同样可以看出中邻域具有比近邻域和远邻域更好的预测和检测性能。

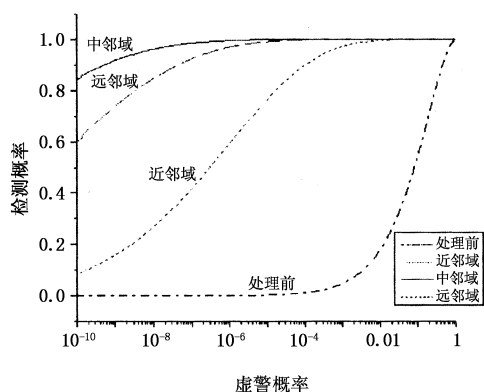


图6 信噪比为1.403的不同邻域ROC曲线

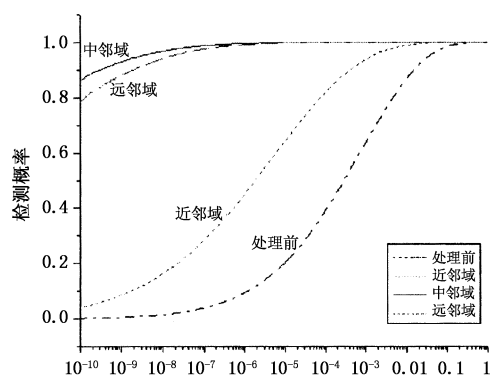


图7 信噪比为3.441的不同邻域ROC曲线

6 结论

红外图像中的弱小目标不具备一般目标的形状和纹理特征,目标检测的一般方法不适用弱小目标的检测。从弱小目标所处的背景出发研究弱小目标的检测问题是目前的一个重要研究方向。本文把被预测点周围的不同邻域定义为近邻域、中邻域和远邻域,探讨了这三种不同邻域的背景预测效果,并比较了它们的检测性能。仿真结果表明,中邻域具有比其他邻域更好的预测和检测性能。此外,中邻域单独预测与多邻域同时预测的检测性能相近,并且

明显减少了预测的运算开销,对于实时弱小目标检测具有重要应用价值。

参考文献:

- [1] David S Chan, David A Langan, Daniel A Staver. Spatial-processing techniques for the detection of small targets in IR clutter[J]. Proc. SPIE, 1990, 1305: 53 - 62.
- [2] B S Denney, R J P de Figueiredo. Optimal point target detection using adaptive auto regressive background prediction[J]. Proc. SPIE, 2000, 4048: 46 - 57.
- [3] Jianyong Xiang, Jun Xu, et al. Application of background forecast in detection and acquisition the aerial infrared small and weak targets [J]. Laser & Infrared, 1997, 27 (4): 205 - 208. (in Chinese)
- [4] Jun Xu, Jianhua Xiang, Changhong Liang. Small target detection based on maximum background model in IR images[J]. Acta Photonica Sinica, 2002, 31 (12): 1483 - 1486. (in Chinese)
- [5] Chao Yin, Jianyong Xiang, Jiandong Han. Small target detection based on mean background model in IR images [J]. Infrared Technology, 2004, 26(6): 62 - 65. (in Chinese)
- [6] Jicheng Li, Zhenkang Shen, Xiping Lu, et al. Weak and small target detection based on adaptive predictions of IR background clutter[J]. Laser & Infrared, 2004, 34 (6): 478 - 480. (in Chinese)
- [7] Zhijun Liu, Chaoyang Chen, Xubang Shen, et al. Background suppression and small targets detection based on Kalman filters[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Nature Science), 2004, 32 (12): 7 - 9. (in Chinese)
- [8] Yudan Chen. Image preprocessing for infrared small target detection based on maximum background model prediction[J]. Infrared Technology, 2006, 28 (12): 683 - 685. (in Chinese)
- [9] Steven M Kay. Fundamentals of statistical signal processing[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003, 501 - 512. (in Chinese)