一种红外小目标图像质量的评定方法

刁伟鹤 毛 峡 董旭阳

(北京航空航天大学 电子信息工程学院, 北京 100191)

摘 要: 提出了一个新的红外小目标图像质量评定标准——背景干扰程度,定义了"目标混淆度"和"目标遮隐度"两个指标,它们分别体现了背景噪声引入虚警的能力和背景噪声遮隐目标的能力,设计实现了利用两个指标对背景干扰程度的定量描述. 实验证明,与传统的小目标图像评定标准信噪比相比,利用该标准评定的结果与实际情况更加符合,更准确地描述了研究者所关心的检测识别目标难易程度的信息,同时,该标准对于无目标信息情况下小目标图像的质量评定也是有意义的.

关 键 词: 背景干扰程度; 图像质量; 小目标图像; 红外背景

中图分类号: TP 391.41

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2008)11-1335-04

Method for estimating quality of infrared small target image

Diao Weihe Mao Xia Dong Xuyang

(School of Electronics and Information Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: A new criterion named interferential degree of background was proposed to estimate the quality of infrared small target image. It was described quantitatively by two indicators, one is 'confusion degree of background upon target' which represents the ability of the background providing false targets, the other is 'shielding degree of background upon target' which represents the ability of the background shielding the target. Experimental results show that the results estimated by this criterion are more consistent with the facts compared with traditional methods (SNR, signal to noise ratio), and they can provide more accurate information about the difficulty degree of detecting or recognizing the targets which is concerned by the researchers. Meanwhile, the criterion is valuable for quality estimation of small infrared target image which does not contain the information of the target.

Key words: interferential degree of background; image quality; small target image; infrared background

根据战场环境的不同,红外小目标图像的背景有较为简单的天空背景,也有相对复杂的海杂波背景、地面背景等. 对于不同质量的图像,小目标的检测往往采取不同的方法. 近年来,人们关注和研究的热点集中在提高低图像质量条件下目标检测识别算法的性能,很少有人去关注检测识别算法所依赖的图像质量的信息来源是否可靠. 然而,在研究中发现,作为传统小目标图像质量评定标准的图像信噪比(SNR, Signal to Noise Ratio)[1-3]并不能准确描述小目标图像的质量.

一般而言,处理目标图像的目的是检测识别目标,所以,目标图像质量评定的结果应体现目标检测难易程度的信息,而对于小目标图像,评定结果应主要体现背景噪声对目标检测干扰的程度. 利用SNR对小目标图像质量进行评定时,对某些图像的评定结果与实际情况存在较大的出入,而且其评价结果不能准确地体现背景噪声对目标检测干扰程度的信息. 为解决传统评价方法存在的

收稿日期: 2007-11-30

基金项目: 航空科学基金资助项目(20070112001);国家863计划资助项目(2006AA01Z135)

作者简介: 刁伟鹤(1984—),男,吉林磐石人,博士生,diaoweihe@ee.buaa.edu.cn.

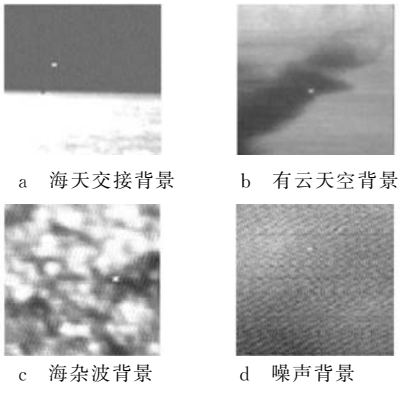
上述问题,本文从红外小目标检测难易程度的角度提出"背景干扰程度"的概念,并将其用于评价红外小目标图像的质量.

1 问题的提出

红外小目标图像质量的传统评定标准是SNR,其定义[2-4]为

$$V_{\mathrm{SNR}}=\frac{I_{\mathrm{t}}-I_{\mathrm{b}}}{\sigma_{\mathrm{b}}} \tag{1}$$

其中,V_{SNR}为图像信噪比的值;I_{t}为目标区域最大灰度值;I_{b}为背景平均灰度值;σ_{b}为背景噪声灰度值的标准差.由式(1)可知,SNR主要提取了图像中目标与背景对比度的信息以及背景灰度标准差的信息.本文选取了4幅不同背景的红外小目标图像[4-5],如图1所示,用SNR对它们的图像质量进行分析.



a 海天交接背景 b 有云天空背景

c 海杂波背景 d 噪声背景

图1 4幅红外小目标图像

利用式(1)计算得到4幅红外小目标图像的SNR分别为:图1a 2.4188;图1b 3.6732;图1c 5.8036;图1d 7.9079.计算结果表明,图1a的质量最差,然后依次为图1b、图1c、图1d.然而,实际情况是:图1a、图1b两幅图像背景噪声干扰较小,目标检测比较容易;图1c、图1d背景比较复杂,容易引入虚警,目标检测比较困难.上述实例说明,利用SNR对小目标图像质量进行评定,在一些情况下与实际情况不符,其应用存在一定的局限性.由于SNR定义式本身的局限,导致在无目标信息的情况下无法利用SNR进行图像质量评定.然而在实际图像中,由于目标被遮挡或目标移出视场,图像中可能不存在目标信息,这种情况下图像质量的评定也是必要的,SNR在这种情况的应用也存在局限.

由于利用SNR对小目标图像质量进行评价存在上述问题,所以需要提出一种新的有效的评价方法.对于以检测目标为应用目的的红外小目标图像,其质量的评价结果应满足以下要求:①准确体现背景噪声对检测目标的影响程度;②强适应性,即对各种成像条件下的小目标图像均有效;③对有无目标信息的图像均有效.

背景噪声对小目标检测的影响主要体现在两个方面:①背景中存在类似于目标的区域,容易引入虚警,从而对目标检测造成干扰;②背景存在的强灰度区域,容易使目标淹没在强灰度区域中,造成目标信息的丢失.如果图像质量评价方法可以准确描述这两方面的信息,则可以认为利用该方法评价小目标图像质量是有效的.

基于上述思想,本文提出"背景干扰程度"的概念,并将其用于评价小目标图像的质量,其包括两个定量的描述指标:①目标混淆度,主要体现小目标图像中背景噪声引入虚警的能力;②目标遮隐度,主要体现小目标图像中强灰度的背景区域淹没目标的能力.

2 背景干扰程度

定义1 背景干扰程度是一个用于评价红外小目标图像质量的性能指标,主要描述了图像中背景噪声对检测识别目标影响程度的信息,即图像引入虚警的能力越强、可遮隐目标的背景区域面积越大,则背景干扰程度越高,反之亦然.

为实现"背景干扰程度"的定量描述,本文提出了"目标混淆度"和"目标遮隐度"两个指标.

2.1 目标混淆度

定义2 目标混淆度是一个定量的值,用D_1表示,体现背景引入虚警的能力.为便于标准化,令其最大值是1,表示虚警最大的情况;最小值是0,表示无虚警情况.

设疑似目标(可能引入虚警的区域)个数为m,疑似目标最多情况时疑似目标的个数为s,采用线性归一的方法,则

$$D_1=\frac{m}{s} \tag{2}$$

目前,普遍认为小目标是指目标像素少于整个视窗的0.15%[4],则对于128×128的图像,可认为是在1×1个像素至6×6个像素之间的目标.以128×128的图像为例,计算疑似目标数目实现过程如图2所示.将原始图像与top_hat变换所得到的图像相加,然后再减去bottom_hat变换所得到的图像,在尽量保留图像较高灰度区域的同时,将有可能引入虚警的区域隔离出来;为尽量多地提取可能引入虚警的区域,采用较低的图像二值化门限(目标灰度值的$\frac{3}{4}$,此为经验值),连

通区域标定时采用四连通准则而非八连通准则；根据小目标的定义，将小于等于 6×6 像素的区域看作是疑似目标进行计数，而对于大于 6×6 像素的区域，采用权重进行计数，面积为 $n\times n$ 的区域，将其判定为$\frac{6\times 6}{n\times n}$个疑似目标. 图 3 所示为计算疑似目标数目的一个实例，从实例中可以看到，该方法有效地提取了可能引入虚警的区域.

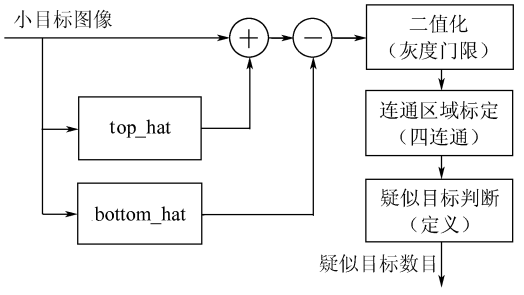


图 2　提取并计算疑似目标方法

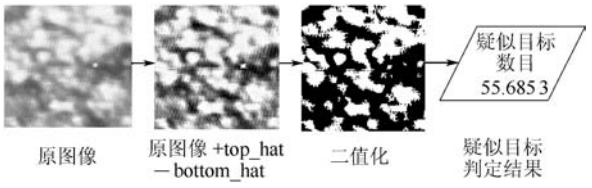


图 3　疑似目标数目计算实例

对于 128×128 的红外小目标图像，理论上疑似目标数目的最大值是 8 192 个（均为一个像素点），但是这种情况在实际中是不可能出现的. 本文在对大量复杂背景小目标图像的疑似目标进行计算后，得到最大的疑似目标数为 963.378 6，为保证归一化的合理性，本文设定疑似目标数目最大值 $s=1\,000$，对于疑似目标数目大于 1 000 的特殊情况，将其看作为 1 000.

同时，考虑到对大多数成像条件下的小目标图像，疑似目标数目小于 100，所以为使结果在低量值区域分辨率更高，将归一化方法由式(2)修正为式(3).

$$D_1=\begin{cases}\dfrac{m}{100}\times 0.7 & m\leqslant 100\\ \dfrac{m-100}{s-100}\times 0.3+0.7 & m>100,s=1\,000\end{cases}\tag{3}$$

利用式(3)计算图 3 的实例，得到该小目标图像的“目标混淆程度”为 0.389 8.

2.2　目标遮隐度

定义 3　目标遮隐度是一个定量的值，用 D_2 表示，代表背景噪声遮隐目标的能力. 为便于标准化，令其最大值是 1，表示目标出现在图像中任何位置都会被背景淹没；最小值是 0，表示背景噪声没有遮隐目标的能力.

不同灰度的背景区域对目标的遮隐能力是不同的，高灰度区域对目标的遮隐能力强，如果目标所在区域的背景灰度值大于目标灰度值，则小目标将淹没在背景噪声中. 基于此，本文做如下规定：假设目标的灰度值为 I_t，图像中任意像素点的灰度值为 I_i，在计算背景对目标的遮隐程度时，将图像中灰度值大于等于 I_t 的像素的权值设为 1，将灰度值小于 I_t 的像素的权值设为$\frac{I_i}{I_t}$. 则可以得到 D_2 的计算式：

$$D_2=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}p_i\tag{4}$$

其中，n 为图像的总像素数；i 为图像中任一像素；p_i 为像素 i 的权值，且 p_i 满足下式：

$$p_i=\begin{cases}1 & (I_i\geqslant I_t)\\ \dfrac{I_i}{I_t} & (I_i<I_t)\end{cases}\tag{5}$$

由式(4)和式(5)可知，当图像中所有像素值都大于等于目标像素值时，“目标遮掩度”达到最大值 1. 利用式(4)计算图 3 所示小目标图像，计算得到其“目标遮掩度”为 0.697 8.

2.3　无目标信息情况下的应用

为了解决无目标信息情况下小目标图像质量的评定问题，本文对“目标混淆度”和“目标遮隐度”的计算做了如下补充.

对大量红外小目标图像进行分析得知，目标区域的灰度级一般较高，设图像中的最高灰度值为 I_{max}，则目标灰度值一般大于$\frac{3}{4}I_{max}$；而且，一般情况下目标灰度值大于 150. 基于这一分析，在图像中无目标信息的情况下，在计算“目标混淆度”和“目标遮隐度”时本文对目标灰度值 I_t 的大小进行预设，设定规则如下式：

$$I_t=\begin{cases}150 & \dfrac{3}{4}I_{max}<150\\ \dfrac{3}{4}I_{max} & \dfrac{3}{4}I_{max}\geqslant 150\end{cases}\tag{6}$$

其它计算方法同有目标信息情况.

3　实验及结果

为验证“背景干扰程度”评判小目标图像质量的有效性和准确性，本文做了大量的实例验证，并与传统的方法（SNR）进行了比较. 表 1 和表 2 为其中具有代表性的实例，表 1 中的原始图像为有目标信息的小目标图像，表 2 中的原始图像为无目标信息的小目标图像.

表1 有目标信息情况下小目标图像质量评定实例

编号	原始图像	SNR	目标混淆度	目标遮隐度
A		2.4188	0.0070	0.6867
B		3.6732	0.0280	0.6193
C		5.8036	0.3898	0.6978
D		7.9079	0.9878	0.5597

表2 无目标信息情况下小目标图像质量评定实例

编号	原始图像	SNR	目标混淆度	目标遮隐度
E			0.0820	0.1006
F			0.0498	0.5886
G			0.2322	0.7773
H			0.2674	0.7722

表1中的A,B,C,D四幅图像分别为海天交界背景、有云天空背景、海杂波背景和噪声背景的128×128的红外小目标图像.利用SNR对图像进行评定的结果与实际的情况有出入,没有准确体现出背景对目标检测的干扰程度.

利用本文提出的"目标混淆度"和"目标遮隐度"对背景干扰程度进行定量描述,进而对图像进行评定的结果说明:A,B两幅图像,背景对目标有一定的干扰程度,背景有较大的遮隐目标的能力,但背景几乎不会在目标检测时引入虚警;C图像,背景干扰程度较高,背景不仅有较强的遮隐目标的能力,而且还有一定的引入虚警的能力;D图像,背景干扰程度很高,背景不但有一定的遮隐目标的能力,而且在目标检测中容易引入大的虚警.这样的判断结果与实际情况是相符合的,其准确地描述了背景噪声对目标检测造成的干扰程度,不仅如此,该结果还明确了背景对目标检测产生影响的原因.

表2中的E,F两幅图像为天空和云背景的小目标图像,G,H图像为海杂波背景的小目标图像.对它们的评定结果说明:E图像的背景干扰程度很低,质量较好,背景遮隐目标和引入虚警的能力均较弱,该图像如存在目标则对目标的检测将比较容易;F较之E,背景干扰程度高了一些,虽然该图像背景引入虚警的能力也较弱,但是有一定的遮隐目标的能力;G较之F其背景干扰度更高,图像的背景有较强的遮隐目标的能力,同时还有一定的引入虚警的能力,这种背景下的小目标检测存在一定的困难;H图像的背景干扰程度也较高,其有一定的引入虚警的能力,同时也有较强的遮隐目标的能力,这种背景下对小目标检测也会产生较大的干扰.以上分析的结果与实际情况相吻合,说明本文所提出的方法对于无目标信息的图像也是有效的.

4 结束语

本文提出的"背景干扰程度"可以准确地描述背景噪声对目标检测识别的造成干扰的程度,"目标混淆度"和"目标遮隐度"的定义和引入使得该描述更定量化和标准化.由实验结果可以看出,"背景干扰程度"是一种比传统评定标准SNR更有效的红外小目标质量评定标准.

在本文的后续工作中,将把"目标混淆度"和"目标遮隐度"应用于背景描述,最终设计出具有背景自适应能力的目标检测识别算法.

参考文献(References)

[1] Yonoviz D. Tunable wavelet target extraction preprocessor [C]//Acquisition, Tracking, Pointing, and Lster Systems Technologies XXI. Orlando:SPIE, 2007: 65690A, 1-12

[2] Andrew Nevis. Image characterization and target recognition the surf zone environment [C]//Proceedings for Detection and Remediation Technologies for Mines and Minelike Targets. Orlando, FL, USA:SPIE,1996:2765,46-58

[3] 赵钦佩.复杂背景条件下的红外图像预处理、检测算法研究[D].上海:上海交通大学电子信息学院,2007
Zhao Qinpei. The research of infrared image preprocessing and small target detection under complex background [D]. Shanghai: Institute of Image Processing and Pattern Recognition, Shanghai Jiaotong University, 2007(in Chinese)

[4] 聂洪山.强起伏条件的红外小目标检测算法研究[D].长沙:国防科技大学电子科学与技术学院,2004
Nie Hongshan. A study on the detection of small tagets in IR image sequences with heavy cloud clutter [D]. Changsha: College of Electrical Science and Engineering, National University of Defense Technology, 2004(in Chinese)

[5] Yang Lei, Yang Jie, Ling Jiangguo. New criterion to evaluate the complex sea-sky infrared background [J]. Optical Engineering, 2005, 44(12): 1-5

(责任编辑:娄 嘉)