

文章编号: 1672-8785(2015)10-0001-04

红外偏振成像下的弱小目标检测

宋敏敏 王 爽 吕 弢

(上海航天科技集团公司红外探测技术研发中心, 上海 201199)

摘 要: 为了验证红外偏振成像在海杂波中检测弱小目标的可行性, 开展了海背景下的红外偏振成像实验。使用未装偏振片和加装偏振片的红外热像仪对海杂波背景下的弱小目标进行了探测, 同时采集了相应状态下的数据。为了验证偏振片对海杂波的抑制效果, 对采集的数据进行了图像处理。从没有加装偏振片的红外热像仪数据中无法提取测试目标, 而从加装偏振片后的红外图像数据中通过图像增强、中值滤波以及边缘检测的图像处理手段提取出了测试目标。

关键词: 红外; 偏振; 成像; 偏振度; 偏振角

中图分类号: TN 215 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2015.10.001

Detection of Dim Target with Infrared Polarization Imaging

SONG Min-min, WANG Shuang, LV Tao

(Infrared Detection Technology Research and Development Center, Institute of Aerospace Control Technology, Shanghai 201199, China)

Abstract: To verify the feasibility of detecting small targets in sea clutter with infrared polarization imaging, experiments are carried out on infrared polarization imaging against the sea background. Both an infrared thermal imager with a polarizer and one without a polarizer are used to detect the dim target against the sea clutter background. At the same time, the data under the corresponding condition are collected. To verify the effectiveness of the polarizer in the inhibition of sea clutter, imaging processing is performed for the collected data. The target is not extracted from the data collected by the infrared thermal imager without a polarizer. However, the target is extracted from the data collected by the thermal imager with a polarizer through image enhancement, median filtering and edge detection.

Key words: infrared; polarization; imaging; degree of polarization; angle of polarization

0 引言

目标在红外波段的反射及自身辐射与物体在可见光波段对光的反射一样, 都具有偏振特性。偏振信息是不同于辐射的另一种表征事物的信息, 相同辐射的被测物体可能有不同的偏振特性。因此, 对偏振特性的探测可以像辐射强

度探测一样对物体的特性进行表征和区别。红外偏振成像^[1]就是利用目标与景物的红外偏振特性差异进行目标探测与识别的^[2]。本文在中波红外热像仪加装偏振片前后采集到的弱小目标在海杂波中的图像数据的基础上, 对红外偏振成像在海杂波中检测弱小目标的可行性进行分析, 验证偏振片对海杂波的抑制效果。

收稿日期: 2015-09-13

作者简介: 宋敏敏 (1985-), 男, 江苏启东人, 硕士, 主要从事红外探测技术研究。 E-mail: smm0102@hotmail.com

1 偏振成像探测原理

采用线栅偏振片,它的工作原理如图 1 所示。若入射是部分偏振光,金属线栅会反射与金属线栅平行的偏振分量 TE 偏振,而会透射与金属线栅垂直的偏振分量 TM 偏振。

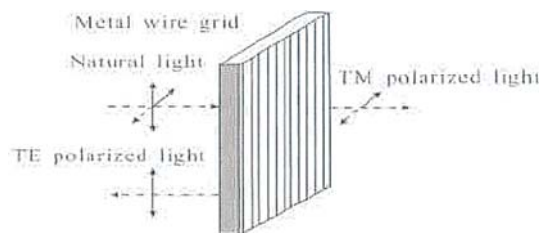


图 1 线栅偏振片工作原理

目前光波偏振态的描述方法主要有两种^[3]: 斯托克斯 (Stokes) 矢量表示法和琼斯矢量表示法。其中, Stokes 矢量表示法中的 Stokes 矢量与光强成正比,可利用 4 个 Stokes 参量来描述光波的偏振态和强度。同时, Stokes 参量又都是光强的时间平均值,是强度量纲,可以直接被探测器探测到。

因为 Stokes 矢量运算的矩阵 M_p (Mueller) 元素都是实数,同时有不少元素为零,运算也比较简单。所以,通常利用 Stokes 矢量来描述光波的偏振态:

$$S_{out} = M_p \cdot S_{in} \quad (1)$$

式中, S_{in} 是 Stokes 矢量 $[I \ Q \ U \ V]^T$ 入射光^[4], S_{out} 是经过线栅偏振器后的出射光,即

$$S_{out} = M_p \cdot \begin{bmatrix} I \\ Q \\ U \\ V \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & \cos 2\alpha & \sin 2\alpha & 0 \\ \cos 2\alpha & \cos^2 2\alpha & \sin 2\alpha \cos 2\alpha & 0 \\ \sin 2\alpha & \sin 2\alpha \cos 2\alpha & \cos^2 2\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I \\ Q \\ U \\ V \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, α 是偏振片旋转角, I 是辐射的强度, Q 和 U 描绘了在不同坐标下分解入射辐射获得的线偏振量, V 是和辐射的圆偏振分量相联系的数量,实际探测中认为圆偏振较小,可以忽略。

因此,探测器输出的光强响应为 $\frac{I+Q \cdot \cos 2\alpha + U \cdot \sin 2\alpha}{2}$ 。因为 V 可忽略,所以确定一束光线的偏振状态需要解算出另外三个偏振量,同时可以得到景物光波的偏振度 P 和偏振片旋转角 α , 即

$$\begin{cases} P = \frac{\sqrt{Q^2 + U^2}}{I} \\ \alpha = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left| \frac{U}{Q} \right| \end{cases} \quad (3)$$

式中,偏振度 P 是从 0 到 1 的无量纲量。 $P=0$ 表示非偏振光, $P=1$ 表示全偏振光, $0 < P < 1$ 表示部分偏振光。偏振角 α 表示入射光的偏振方向相对于参考方向的夹角,对于部分偏振光,就是能量最大的偏振方向与参考方向的夹角。

2 试验过程

2.1 试验内容

本次试验是通过红外热像仪在加装偏振片前后采集海杂波中的船目标信息。红外热像仪采用致冷焦平面阵列探测器,像元总数为 320×256 ,工作波段范围为 $3 \sim 5 \mu\text{m}$,量化精度为 14 bit。检偏器采用 ZnSe 金属线偏振片,透过波段为 $2 \sim 19 \mu\text{m}$ 。在 $3 \mu\text{m}$ 波长处,其消光比为 150:1,在 $10 \mu\text{m}$ 波长处消光比为 300:1。试验时通过旋转红外偏振片的透光轴方向 (0° 、 45° 和 225°) 采集目标不同偏振角度的 3 幅图像,拍摄阵地如图 2 所示。

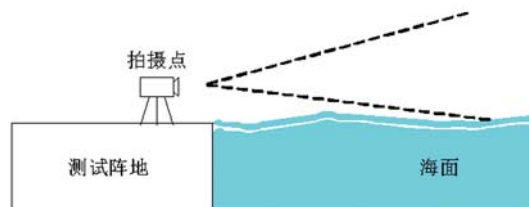


图 2 拍摄阵地

2.2 试验时间

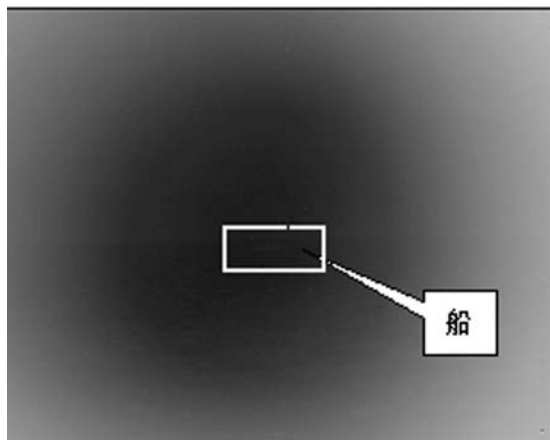
整个试验的采集时间为上午 9:30 左右,主要根据测试海面海亮带的产生时间进行采集。

3 数据采集

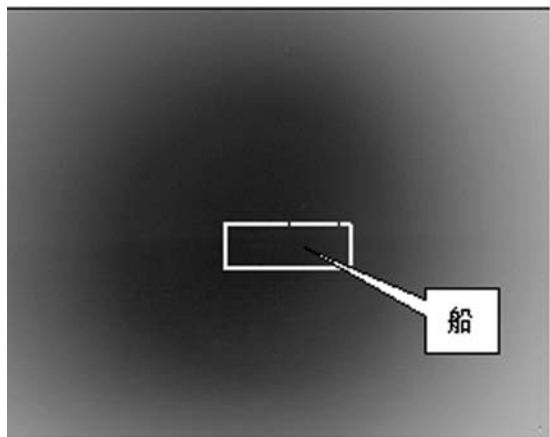
船处在海杂波中时, 分别在加载偏振片前后采集数据, 偏振片旋转 360° , 如图 3 所示。



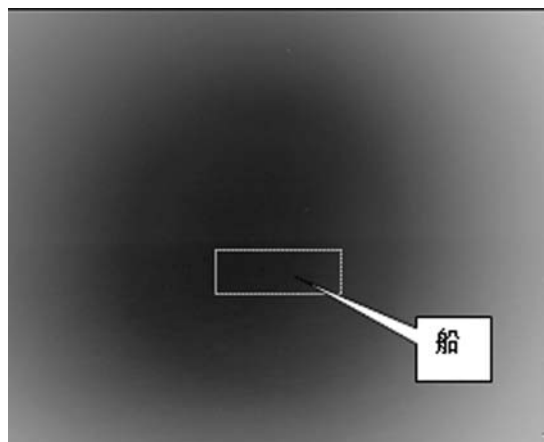
(a) 没加偏振片时无目标



(b) 加偏振片且偏振片在 0° 时的船目标



(c) 加偏振片且偏振片在 45° 时的船目标



(d) 加偏振片且偏振片在 225° 时的船目标

图 3 加偏振片前后的船目标

如图 3(a) 所示, 红外热像仪在没有安装检偏器时, 红外热像仪探测不到目标, 船淹没在海杂波中。在加装检偏器后, 如图 3(b)、3(c) 和 3(d) 所示, 偏振片在旋转至 0° 、 45° 和 225° 时发现了目标。

4 偏振成像应用的可行性验证

4.1 信噪比与对比度

为了验证某红外成像导引头用于偏振成像的可行性, 采集了加载偏振片前后船在海亮带中各个测试时间段的人脸图像数据, 同时分析了加载前后的信噪比与对比度。信噪比与对比度的计算公式为

$$\text{信噪比} = \frac{\text{目标灰度均值}}{\text{背景灰度均值}} \quad (4)$$

$$\text{对比度} = \frac{\text{目标灰度均值} - \text{背景灰度均值}}{\text{背景灰度均值}} \quad (5)$$

对目标在海杂波中的图像数据进行了分析, 红外热像仪加载偏振片前后采集的图像数据如图 3 所示。对亮带灰度均值与天空背景的比值以及对比度进行分析的结果见表 1。

表 1 分析结果

状态	目标灰度 均值	背景灰度 均值	信噪比	对比度
无偏振片	30399	34741	0.8750	-0.1250
有偏振片	33739	36583	0.9222	-0.0778

根据表 1, 加上偏振片后的图像信噪比及对比度有所加强。同时根据图 3, 在红外热像仪没有加载偏振片前, 船目标淹没在海杂波中。加载偏振片后, 对海杂波有明显的抑制作用。在偏振片旋转特定的角度后, 红外热像仪发现了船目标。

4.2 目标检测

如图 3 所示, 目标在加装偏振片后显现出来了, 同时能量衰减也很大, 目标在图像中不清晰。因此需要对图像进行增强处理, 即进行灰度调整。

如果原图像 $f(x,y)$ 的灰度范围是 $[m,M]$, 调整后图像 $g(x,y)$ 的灰度范围是 $[n,N]$, 即

$$g(x,y) = \frac{N-n}{M-m}[f(x,y) - m] + n \quad (6)$$

采集的图像中含有探测电路产生的噪声, 具备高频特性, 但一般帧与帧之间没有相关性, 可以认为是随机噪声。通过中值滤波过滤掉噪声, 再通过边缘检测便可将目标识别出来。边缘检测即对图像运用导数算子, 灰度变化较大的点处算得的值较高, 因此可将这些导数值作为相应点的边界强度, 通过设置门限的方法提取边界点集。

一阶导数 $\frac{\partial f}{\partial x}$ 与 $\frac{\partial f}{\partial y}$ 是最简单的导数算子, 它们分别为灰度在 x 和 y 方向上的变化率, 在方向 α 上的灰度变化率为

$$\frac{\partial f}{\partial \alpha} = \frac{\partial f}{\partial x} \cos \alpha + \frac{\partial f}{\partial y} \sin \alpha \quad (5)$$

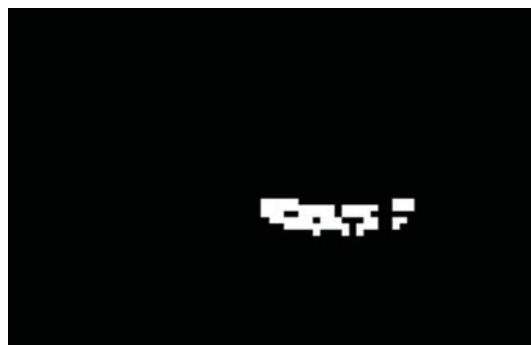
对采集的红外偏振图像先进行图像增强, 然后通过中值滤波和边缘检测来发现目标, 图像处理后的检测结果如图 4 所示。

5 结论

综上所述, 红外偏振成像在抑制海杂波方面效果显著, 有效地提高了目标在海亮带中的



(a) 图像增强结果



(b) 图像检测结果

图 4 图像数据

信噪比, 增加了目标在海亮带中被发现识别的几率。但是, 加载偏振片对红外辐射能量有明显的抑制作用, 不过通过图像处理等相应手段, 如图 4 所示, 可检测出对应的目标。

参考文献

- [1] 陈伟力, 王霞, 金伟其, 等. 采用中波红外偏振成像的目标探测实验 [J]. 红外与激光工程, 2011, 40(1): 7-11.
- [2] 王军, 丁娜, 李建军, 等. 红外偏振成像对伪装目标的探测识别研究 [J]. 应用光学, 2012, 33(3): 441-445.
- [3] 孙玮, 刘政凯, 单列. 利用偏振技术识别人造目标 [J]. 光学技术, 2004, 30(3): 267-269.
- [4] 陈伟力, 王霞, 金伟其, 等. 采用中波红外偏振成像的目标探测实验 [J]. 红外与激光工程, 2011, 40(1): 7-11.