

## 中长波红外偏振成像对比试验研究

王晓娟<sup>1</sup>, 赵宝奇<sup>2</sup>, 兰卫华<sup>1</sup>, 潘晓东<sup>1</sup>, 刘琼<sup>1</sup>, 万敏<sup>1</sup>

(1. 中国航空工业集团公司洛阳电光设备研究所, 河南 洛阳 471023;

2. 中国人民解放军驻六一三所军事代表室, 河南 洛阳 471009)

**摘要:** 基于高灵敏度的中波和长波制冷焦平面探测器, 搭建了红外偏振成像系统, 针对特定场景中的典型目标, 开展了红外偏振试验, 获得了有效的试验数据, 并对图像进行了定性分析和定量评价。对比研究表明: 长波红外偏振成像易受水汽干扰, 但图像的平均灰度和平均梯度指标高; 中波红外偏振成像抗云干扰和观测人工伪装网能力强, 图像标准方差比较高。根据中长波红外偏振成像的特性, 在实际应用中可以按需要进行波段选择。

**关键词:** 中波红外偏振成像; 长波红外偏振成像; 图像融合

中图分类号: V271.4; TN219

文献标志码: A

文章编号: 1671-637X(2014)06-0035-03

## Contrast Experiment of Medium-Wave and Long-Wave Infrared Polarization Imaging System

WANG Xiao-juan<sup>1</sup>, ZHAO Bao-qi<sup>2</sup>, LAN Wei-hua<sup>1</sup>, PAN Xiao-dong<sup>1</sup>, LIU Qiong<sup>1</sup>, WAN Min<sup>1</sup>

(1. Luoyang Institute of Electro-Optical Equipment, Luoyang 471023, China;

2. Military Deputy Office of PLA in No. 613 Institute, Luoyang 471009, China)

**Abstract:** The medium-wave and long-wave infrared polarization imaging systems were set up separately based on medium-wave and long-wave cooled focal plane detectors, which have the characteristic of high sensitivity. Choosing typical targets at some particular scenes, infrared polarization imaging experiments were carried out and some effective experimental data were obtained. The results show that: 1) the long-wave infrared polarization imaging is more liable to be disturbed by the water vapor, but is better at the characteristics of mean gray scales and gradient; and 2) the performance of medium-wave infrared polarization imaging on anti-jamming from cloud and detecting camouflage nets is better than that of the long-wave infrared polarization imaging. Considering their characteristics, we can select medium-wave or long-wave infrared polarization imaging system according to the requirement.

**Key words:** medium-wave infrared polarization imaging; long-wave infrared polarization imaging; imaging fusion

### 0 引言

偏振信息是不同于物体红外辐射信息的另一种表征信息。由于目标和自然景物的红外偏振特性有较大差异, 所以通过偏振信息可以更好地识别自然景物中的人造目标, 而且对红外伪装目标的识别也很有效。

红外偏振探测技术是一种新型红外探测技术<sup>[1]</sup>, 既能探测目标景物的红外信息, 又能同时获取目标景物的偏振信息, 利用目标与景物的红外偏振特性差异

来获取更多的探测信息, 显著提高红外的探测能力, 应用前景广阔。目前, 红外偏振技术的发展已成为红外探测技术发展的重要方向之一。

就红外偏振成像技术本身而言, 国外从20世纪60年代开始就进行了大量的理论和试验研究, 近10年更是得到了迅速的发展; 而国内的研究起步较晚, 目前尚处于试验阶段, 有关红外偏振成像特性等方面需要进一步的研究。

红外偏振探测的效果与探测波段有着紧密的联系。因为红外热成像主要集中在中波和长波这两个大气窗口, 所以红外偏振探测研究主要也在这两个波段开展。为了得到精准的试验结果, 试验分别采用了高灵敏度制冷型的中波和长波焦平面红外探测器, 两个

收稿日期: 2013-08-19

修回日期: 2013-09-02

收稿日期: 洛阳电光设备研究所预研基金项目

作者简介: 王晓娟(1980—), 女, 山东烟台人, 学士, 工程师, 研究方向为红外成像技术。

探测器除了波段外,规格和类型都完全相同。短波红外主要是非制冷红外,虽然也被广泛应用,但其探测成像质量与制冷型中长波红外的相比有很大差距,所以不在试验研究范围内。

很多公开文献资料表明,自然环境中地物背景的偏振度非常小( $<1.5\%$ ),根据这一偏振特性,选择建筑物作为探测目标。本文通过对建筑物目标进行探测的试验现象,分析了中长波红外偏振成像的效果和质量,并将两者进行比较,研究中长波红外偏振的成像特性。

## 1 红外偏振成像原理

光波的偏振态有多种表示方法,本试验采用斯托克斯矢量<sup>[2]</sup>( $S_0 S_1 S_2 S_3$ )表示, $S_0$ 表示辐射强度, $S_1$ 和 $S_2$ 是不同坐标分解入射辐射获得的线偏振分量, $S_3$ 和圆偏振分量相关,实际探测中圆偏振光较小,可忽略不计,即 $S_3 \approx 0$ 。

具体算式为

$$I'(\theta) = (S_0 + S_1 \cos 2\theta + S_2 \sin 2\theta) / 2 \quad (1)$$

$$S_0 = [I'(0) + I'(45) + I'(90) + I'(135)] / 2 \quad (2)$$

$$S_1 = I'(0) - I'(90) \quad (3)$$

$$S_2 = I'(45) - I'(135) \quad (4)$$

$$P = \sqrt{S_1^2 + S_2^2} / S_0 \quad (5)$$

式中: $I'(\theta)$ 表示偏振度, $\theta$ 表示偏振角(偏振片透光轴相对水平的夹角),当偏振片分别旋转到不同偏振角位置时,可以获得不同偏振度和偏振方向的光强图像; $P$ 表示偏振度,是一个从0到1的无量纲数。

## 2 红外偏振成像试验

### 2.1 红外偏振成像系统

红外偏振成像探测系统组成如图1所示,红外偏振成像仪如图2所示。

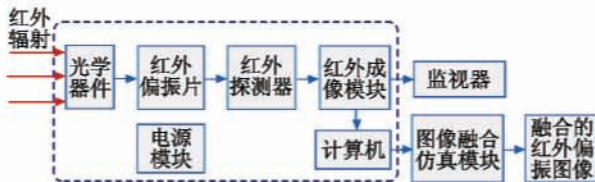


图1 红外偏振成像系统组成图

Fig.1 Composition of infrared polarization imaging system

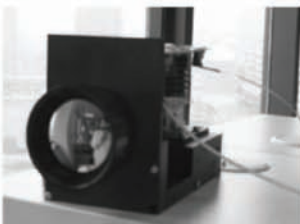


图2 红外偏振成像仪

Fig.2 Infrared polarization imaging system

由于中波和长波两个红外探测器外形相同,其成像系统样机外形也一样,所以只取其一照片进行演示;红外偏振成像仪的主要技术参数如表1所示。

表1 红外偏振成像仪的主要技术参数

Table 1 Configuration parameters of infrared polarization imaging system

No.	Parameters	Value
1	Working band of MWIR/ $\mu\text{m}$	5~7
2	Working band of LWIR/ $\mu\text{m}$	9~12
3	Detector kind	Cooled HgCdTe 320 * 240
4	Working band of polarizer/ $\mu\text{m}$	2~12
5	Polarizer material	BaF <sub>2</sub>
6	Polarizer extinction coefficient	150:1 @ 3 $\mu\text{m}$ ; 300:1 @ 10 $\mu\text{m}$
7	Polarizer transmittance/%	>65

### 2.2 试验概况

试验选取大约3 km远的建筑物作为目标,冬季天气晴朗,气温0℃,空气湿度24%,无雨、雪、雾霾,1级风,各项指标稳定,这样就更好地减小了外界干扰造成的误差<sup>[3]</sup>。

试验通过0°、45°、90°和135°这4个不同偏振角,获得4个不同的光强图像和偏振度。通过式(1)~式(5)计算,可以获得目标和背景的偏振度 $P$ 的信息。

将试验采集的数据按式(1)~式(5)进行计算,得出红外无偏振图像和偏振度图像数据;然后再采用特定的图像融合算法将红外无偏振图像和偏振度图像进行图像融合,生成红外偏振融合图像。通过对图像的定性分析和定量评价,研究中长波红外偏振成像的差异和各自成像的特点。

## 3 成像对比分析

### 3.1 成像结果

图3~图5为得到的中波红外偏振的图像。



图3 中波红外无偏振图像

Fig.3 Imaging of MWIR without polarization



图4 中波偏振度图像

Fig.4 Polarization imaging based on MWIR



图 5 中波红外偏振融合成像

Fig. 5 Fusion image of MWIR and polarization

图 3 为中波红外无偏振图像( $S_M$ ),图 4 为中波红外偏振度图像( $P_M$ ),图 5 为中波红外偏振融合图像( $S-P_M$ )。

图 6~图 8 为得到的长波红外偏振的图像,图 6 为长波红外无偏振图像( $S_L$ ),图 7 为长波偏振度图像( $P_L$ ),图 8 为长波红外偏振融合图像( $S-P_L$ )。



图 6 长波红外无偏振图像

Fig. 6 Imaging of LWIR without polarization



图 7 长波偏振度图像

Fig. 7 Polarization imaging based on LWIR



图 8 长波红外偏振融合成像

Fig. 8 Fusion image of LWIR and polarization

### 3.2 定性对比分析

通过人眼视觉上观察发现,长波红外偏振图像对云层感应很清晰,而长波红外无偏振图像中没有对云层感应迹象,但同一目标场景,中波红外无偏振图像和中波偏振度图像对云层感应的迹象都不明显。这个现象表明:长波红外偏振成像易受云层等水汽干扰<sup>[4]</sup>,中波红外偏振成像对水汽的抗干扰性较强。

从人眼视觉上观察,中波红外偏振探测不受云层

干扰,对楼房上防护网成像,其偏振信号强于长波,而且中波红外偏振透过遮挡网还可辨认出空窗部位和金属框架,建筑物的边缘部分也比较清晰。

同红外原始图像相比较,发现红外偏振融合图像的内容更丰富<sup>[5]</sup>,细节更清晰,目标边缘和轮廓的凸显效果增强,伪装目标识别效果增强了,同时,红外系统的探测能力增强了。

### 3.3 定量对比评价

本文采用实际研究中常用的评价指标(平均灰度、标准方差和平均梯度)对图像质量进行客观对比评价,其结果见表 2。

图像的灰度平均值<sup>[6]</sup>可以反映图像的平均亮度,若灰度均值适中,则图像的目视效果较好。标准方差表示灰度分布的离散程度,反映了图像的对比度状况。如果用  $G(x,y) = g$  表示图像中第  $(x,y)$  个像素的灰度值  $g$ ,  $L$  为图像灰度级数,图像规格为  $m \times n$ ,则图像的均值可以表示为

$$\bar{u} = \frac{1}{m \times n} \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n G(x,y) \quad (6)$$

图像的标准方差为

$$\sigma_g = \sqrt{\sum_{g=0}^{L-1} (g - \bar{u})^2 \times p(g)} \quad (7)$$

式中,  $p(g)$  是灰度等级为  $g$  的像素数与图像总像素数之比。

图像的平均梯度表示图像的清晰度,反映图像质量的改进及图像中微小细节的反差和纹理变化特征。平均梯度越大,则图像的清晰度越高,微小细节和纹理反映越好。 $\Delta_x G$  和  $\Delta_y G$  分别表示图像在  $x,y$  方向的梯度,图像的平均梯度定义为

$$G_a = \frac{1}{m \times n} \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n \sqrt{\Delta_x G^2(x,y) + \Delta_y G^2(x,y)} \quad (8)$$

表 2 中长波偏振红外图像评价<sup>[7]</sup>

Table 2 The values of original images and polarization images based on MWIR and LWIR

Image quality assessment	MWIR			LWIR		
	$S_M$	$P_M$	$S-P_M$	$S_L$	$P_L$	$S-P_L$
Average gray	115.4	119.6	142.9	120.5	105.3	153.2
Standard deviation	101.4	91.7	123.6	93.6	103.4	110.8
Average gradient	16.8	23.1	27.1	15.6	33.3	35.4

从表 2 中可以看出:与原始红外图像相比,融合后图像的指标都好;中、长波红外偏振图像相比,长波红外偏振图像的平均灰度和平均梯度指标好,中波红外偏振图像的标准方差指标高。

## 4 结论

通过本文的试验可以看出,与原始红外系统相比,

(下转第 42 页)

- 2010;40-46.
- [4] SPANOS D P, OLFATI-SABER R, MURRAY R M. Approximate distributed Kalman filtering in sensor networks with quantifiable performance[C]//The Fourth International Symposium on Information Processing in Sensor Networks, 2005;133-139.
- [5] OLFATI-SABER R. Distributed Kalman filtering for sensor networks[C]//The 46th IEEE Conference on Decision and Control, 2007;5492-5498.
- [6] TALEBI M S, KEFAYATI M, KHALAJ B H, et al. Adaptive consensus averaging for information fusion over sensor network[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems, 2006;562-565.
- [7] OLFATI-SABER R, MURRAY R M. Consensus problems in networks of agents with switching topology and time-delays[J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 2004, 49(9):1520-1533.
- [8] 刘成林, 田玉平. 具有时延的多个体系统的一致性问题的综述[J]. 控制与决策, 2009, 24(11):1601-1608, 1614.  
LIU C L, TIAN Y P. Survey on consensus problem of multi-agent systems with time delays[J]. Control and Decision, 2009, 24(11):1601-1608, 1614.
- [9] ZHOU J, WANG Q. Convergence speed in distributed consensus over dynamically switching random networks[J]. Automatica, 2009, 45(6):1455-1461.
- [10] 王林. 多无人机协同目标跟踪问题建模与优化技术研究[D]. 长沙:国防科学技术大学, 2011.  
WANG L. Modeling and optimization for multi-UAV cooperative target tracking[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2011.

(上接第 37 页)

中、长波红外偏振成像系统的探测能力和探测效果都增强了,而中、长波红外偏振成像的各自特点是:长波红外偏振图像的细节和舒适度比较好,但易受水汽干扰;中波红外偏振图像的对比度高,而且抗云层干扰和观测人工防伪网成像的能力强。因此,可以根据中、长波红外偏振成像特性,按需要进行波段选择。

### 参 考 文 献

- [1] 徐参军, 赵劲松, 蔡毅, 等. 红外偏振成像的几种技术方案[J]. 红外技术, 2009, 31(5):262-266.  
XU C J, ZHAO J S, CAI Y, et al. Several schemes of infrared polarization imaging[J]. Infrared Technology, 2009, 31(5):262-266.
- [2] 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.  
CHEN W L, WANG X, JIN W Q, et al. Experiment of target detection based on medium infrared polarization imaging[J]. Infrared and Laser Engineering, 2011, 40(1):7-11.
- [3] 徐参军, 苏兰, 杨根远, 等. 中波红外偏振成像图像处理及评价[J]. 红外技术, 2009, 31(6):362-366.  
XU C J, SU L, YANG G Y, et al. Images processing and evaluation of middle wave infrared polarization imaging system[J]. Infrared Technology, 2009, 31(6):362-366.
- [4] 徐参军, 赵劲松, 潘顺臣, 等. 长波红外偏振图像及其误偏振信息分析[J]. 红外技术, 2012, 34(2):103-108.  
XU C J, ZHAO J S, PAN S C, et al. Analysis of LWIR polarization images and corresponding false polarization information[J]. Infrared Technology, 2012, 34(2):103-108.
- [5] 杨风暴, 李伟伟, 蔺素珍, 等. 红外偏振与红外光强图像的融合研究[J]. 红外技术, 2011, 33(5):262-266.  
YANG F B, LI W W, LIN S Z, et al. Study on fusion of infrared polarization and intensity images[J]. Infrared Technology, 2011, 33(5):262-266.
- [6] GONZALEZ R C, WOODS R E, EDDINS S L. 数字图像处理 (MATLAB 版) [M]. 北京: 电子工业出版社, 2007:144-178.  
GONZALEZ R C, WOODS R E, EDDINS S L. Digital image processing using MATLAB [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2007:144-178.
- [7] LIU G L, LI Y F, CAMERON B D. Polarization-based optical imaging and processing techniques with application to the cancer diagnostics[C]//SPIE, 2002, 4617:208-220.

欢迎投稿 <http://www.dgykz.com>