

文章编号: 1672-8785(2016)01-0018-05

红外偏振成像在伪装目标识别中的应用研究

孙秋菊 王 鹏 黄文霞

(信阳师范学院物理电子工程学院, 河南信阳 464000)

摘 要: 红外偏振成像技术可以提高探测伪装或隐身目标的能力。作为对抗红外隐身的侦察手段, 它已成为国内外研究的重要内容。通过分析红外偏振成像的进展, 提出将红外偏振成像技术应用于目标检测。为了研究伪装目标的偏振散射特征, 利用红外偏振成像系统对覆盖和未覆盖军用三色迷彩伪装网的目标场景进行了探测研究。研究发现, 红外偏振成像可以作为探测伪装或隐身目标的新途径, 其成像效果较好。此外还证明偏振探测技术对复杂背景中低反射率伪装目标的独特识别优势在中红外波段同样成立, 而且偏振角成像对伪装网的外形特征非常敏感。

关键词: 红外偏振成像; 伪装网; 偏振度; 偏振角

中图分类号: TN219 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2016.01.004

Application of Infrared Polarization Imaging in Camouflage Detection

SUN Qiu-ju, WANG Peng, HUANG Wen-xia

(Physics and Electronic Institute of Xinyang Normal University, Xinyang 464000, China)

Abstract: Infrared polarization imaging can improve the ability to detect camouflage or stealth targets. As a reconnaissance means against infrared stealth, the infrared polarization imaging technology has become an important research content at home and abroad. By analyzing the progress of infrared polarization imaging, the infrared polarization imaging technology is suggested to be used in target detection. To study the polarization scattering characteristics of camouflage targets, an infrared polarization imaging system is used to detect the target scenes with and without three-color camouflage nets. It is found that the infrared polarization imaging can be used as a new approach to the detection of camouflage or stealth targets and it has a good imaging result. In addition, the research shows that the unique advantage of polarization detection in recognition of camouflage targets with low reflectivity against complex background is also valid in the mid-infrared wavelength band. Moreover, the polarization angle imaging is very sensitive to the external physical characteristics of camouflage nets.

Key words: infrared polarization imaging; camouflage net; polarization degree; polarization angle

收稿日期: 2015-11-17

基金项目: 河南省教育厅自然科学研究计划项目 (2011B510015); 河南省高等学校重点科研项目计划 (15A510011); 信阳师范学院青年基金项目

作者简介: 孙秋菊 (1981-), 女, 河南商丘人, 硕士, 讲师, 主要从事图像处理研究。

E-mail: sqjh@163.com

0 引言

红外偏振技术是近十年国内外发展迅速的新型成像技术, 其主要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^[1]。人造物体由于表面光滑, 其反射或辐射大都有不同程度的部分偏振; 而表面很粗糙的泥土、植被等的背景辐射或反射则几乎不表现出偏振特性。通过偏振器件对目标场景的反射或自身辐射进行偏振滤波, 然后利用红外成像器件进行成像, 就可得到场景的偏振信息图像。红外偏振成像不仅能获取目标景物的辐射强度信息, 而且能获取目标景物辐射的偏振度信息, 能提高热成像系统在复杂背景下的目标探测和识别能力, 具有广泛的军用和民用前景^[2]。

红外偏振理论和红外偏振探测技术一直是国内外研究的重点。科学家 B.Ben-Dor^[3] 和 Joseph A. Shaw^[4] 通过研究发现, 自然界中水的热红外偏振特性比较明显。Lawrence B.Wolff 在研究玻璃及塑料材料目标在中红外波段 (3~5 μm) 的偏振特性时, 发现目标的表面粗糙度是决定目标偏振特性的重要因素^[5,10]。Y. Aron 在沙漠地区做了大量实验, 发现热红外偏振探测技术在抑制背景噪声方面有一定的优势。这些研究表明, 红外偏振成像技术在伪装目标识别上具有很好的前景^[11]。

本文利用搭建的红外偏振成像系统对覆盖和未覆盖军用三色迷彩伪装网的目标场景进行实验探测, 对获得的偏振热图像进行处理和分析。由结果可知, 偏振度和偏振角图像均包含了从传统强度图像中难以获得的目标细节信息, 有利于对隐藏目标和伪装目标的探测与识别, 而且偏振探测技术对复杂背景中低反射率伪装目标识别的独特识别优势在红外波段也同样成立。偏振角成像对伪装网的外形特征非常敏感。

1 红外偏振成像探测原理

1.1 红外偏振成像常用的表示方法

Stokes 参数在偏振探测中用于表示光的偏振状态。Stokes 矢量与光的强度成正比, 可表示为

$$S = \begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_0 + I_{90} \\ I_0 - I_{90} \\ I_{45} - I_{135} \\ I_{RCP} - I_{LCP} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, S_0 、 S_1 、 S_2 、 S_3 描述成像光波的偏振态及强度。 S_0 与入射光的强度有关; S_1 与 0° 和 90° 两个方向的线偏振信息有关; S_2 与 45° 和 135° 两个方向的线偏振信息有关; S_3 与左 / 右旋的圆偏振信息有关, 由于自然目标的圆偏振分量很小^[6], 通常假定 $S_3 = I_0 + I_{90} - 2I_{45} = 0$ 。 $I_\rho (\rho = 0, 45, 90, 135)$ 表示偏振片旋转度时的偏振态图像; 下标 LCP 和 RCP 分别表示左旋和右旋圆偏振。假设 $S_3 = 0$ 时, 偏振态可用偏振度 p 和偏振角 α 表征^[12]:

$$p = \frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2}}{S_0}, \quad \alpha = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left[\frac{S_2}{S_1} \right] \quad (2)$$

式中, 偏振度 p 是一个从 0 到 1 的无量纲数, $p = 0$ 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 x 轴的夹角, 相对于部分偏振光来说, 就是能量最大的偏振方向与 x 轴的夹角。

1.2 红外偏振成像系统

为了研究红外偏振成像对目标的探测能力, 本实验室搭建了红外偏振成像系统。图 1 为红外偏振成像图像获取实验系统的组成, 系统采用了法国 CEDIP 公司产的 Jade 测温热像仪。热像仪的焦平面探测器像元数为 320×240 , 像元尺寸为 $30 \mu\text{m} \times 30 \mu\text{m}$, 工作波段范围为 $3 \sim 5 \mu\text{m}$, A/D 量化精度为 14 bit。试验采用的红外检偏器的有效光学口径为 50 mm, 栅网间距为 $0.25 \mu\text{m}$, 透过率为 86/



图 1 红外偏振成像图像获取实验系统

2 红外隐身的手段及伪装网的偏振探测实验

2.1 红外隐身的伪装及隐身手段

红外伪装和隐身技术在战争中经常使用, 主要实现方法有: (1) 利用低发射率材料伪装红外迷彩; (2) 采用具有相变性能的材料实现伪装; (3) 采用热惯量和热容量大的材料制作成伪装服等。其中伪装网是针对红外成像探测和制导的主要隐身技术手段, 它的优点是功能全、效费比高和通用性好, 因此成为伪装效果最佳

的隐身伪装器材, 得到了广泛应用。美军在伊拉克战争中就使用了大量荒漠型伪装网对坦克、装甲车、火炮等战斗装备进行伪装, 使得战场损失大大减少。由于伪装网具有与背景一致的光谱反射特征和热红外辐射特征, 因此利用常规的光学成像与红外成像很难发现^[13,14]。

2.2 伪装网的偏振探测实验

利用中波偏振热成像实验系统(图 1), 进行无伪装网及有伪装网的偏振热图像采集和处理。测试场景如图 2 所示。将 U 型切花缝制在底网上, 得到树叶状的三色迷彩伪装网, 如图 2(b) 所示。测量示意图如图 3 所示, 图中 i 为入射角, r 为观测角度, α 为方位角。实验在晚上 20 点进行, 利用白炽灯作为光源, 环境温度约为 33°C , 观测角约为 80° , 测试水平距离为 5 m。首先, 接通白炽灯电源, 将其放置到草丛深处, 通过红外偏振成像系统获得无伪装网时的 Stokes 参数图像。然后, 在白炽灯的上方覆盖两层军用伪装网, 获得有伪装网时的 Stokes 参数图像。



(a) 无伪装网时



(b) 有伪装网时



(c) 伪装网实物图

图 2 可见光目标测试场景图

3 测试结果及分析

3.1 中波红外偏振成像的目标探测能力

图 2 中, 白炽灯均处于接通电源状态。经观察可知, 图 2(b) 中有伪装网遮盖时, 白炽灯的位置并不明显, 仅可从伪装网的通透孔处观察到微弱的灯光, 伪装的效果较好。图 4 和图 5 分别为无伪装网和有伪装网时的强度图像(不加偏振片时)及偏振信息图像。由图 4(a)、图 5(a)可知,

无伪装网时可以观察到白炽灯的灯口轮廓, 而有伪装网时仅可以看到白炽灯的灯泡。值得注意的是, 两种情况下白炽灯的周围均比较模糊。通过图 4 和图 5 的偏振信息图像, 可以观察到白炽灯周围的植被细节信息。特别需要指出的是, 图 4(c) 的偏振角图像将场景中植物的茎叶等细节表达得更加清楚, 白炽灯的灯口及灯泡轮廓也很清晰。在白炽灯表面覆盖军用伪装网后, 得到

的偏振角图像几乎很难发现白炽灯的信息。综上所述可以得出, 偏振度图像和偏振角图像均包含了传统强度图像中难以获得的目标细节信息, 有利于对隐藏目标和伪装目标的探测与识别。红外偏振成像作为探测伪装目标的新途径是可以实现的, 且其作为辅助红外成像的手段可增强系统探测伪装目标的能力。

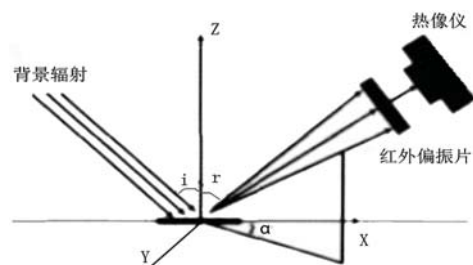
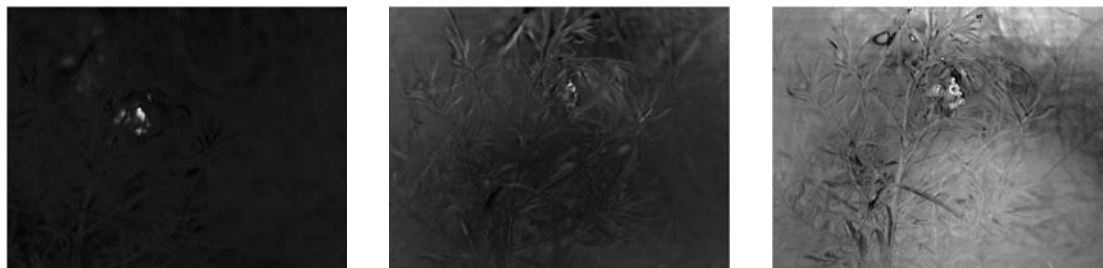


图 3 红外偏振测量示意图



(a) 强度图像 (不加偏振片时)

(b) 偏振度图像

(c) 偏振角图像

图 4 无伪装网时获取的强度及偏振信息图像



(a) 强度图像 (不加偏振片时)

(b) 偏振度图像

(c) 偏振角图像

图 5 两层伪装网时获取的强度及偏振信息图像

3.2 关于伪装目标的识别探测研究

军用目标的伪装手段主要依靠在表面涂覆伪装涂料和利用伪装网、伪装遮障等器材, 通过模拟植被、土壤等背景的反射光谱对抗光谱特征侦察。红外隐身也就是通过在伪装网表面涂敷与自然背景的光谱反射特性相近的伪装涂层来实现隐身。

文献 [8] 对于可见光、近红外波段的伪装网涂层的偏振特征进行了研究, 并指出伪装网的偏振度与其表面状态和反射率密切相关, 通常反射率低的表面产生较大的偏振度, 而偏振角成像对伪装网的外形特征非常敏感。通过观察图 5 可以发现, 此结论在中红外波段也同样成立。

通过观察图 5 的偏振度图像和偏振角图像可以发现, 偏振角度图像中的伪装网十分突出。这是因为图像获取系统中自然背景为草地及土壤, 它们的表面非常粗糙, 可以将其看作是一个散射体, 粗糙散射体的散射面可以分为大量的微面元, 由于这些微面元的形状和大小很不规则, 不存在方向性取向特征, 因此其散射光的偏振方向相近于平均分布, 使得草地背景的散射光表现出较小的偏振度和随机分布的偏振角^[14]。而伪装网的表面涂层相对平滑, 其散射光的偏振角度具有一定的取向性, 偏振特征十分明显。因此, 通过偏振角度图像可以很好地消除杂乱背景的影响, 分辨出其中的伪装目标。

4 结论与展望

国外的有关实验已表明,偏振热成像技术在伪装识别、探雷以及水面目标探测等方面具有独特的优越性^[2]。利用制冷焦平面测温热像仪搭建了中波偏振热成像实验系统,对有、无军用三迷彩伪装网的目标背景进行了偏振成像实验研究。结果表明,偏振度图像和偏振角图像均包含有传统强度图像中难以获得的目标细节信息,有利于对隐藏目标和伪装目标的探测与识别;另外,证明了偏振探测技术对复杂背景中低反射率伪装目标具有的独特识别优势在红外波段也成立,且偏振角成像对伪装网的外形特征非常敏感,利用偏振角成像技术能够较好地解决军事伪装目标的识别问题。

参考文献

- [1] 唐坤,邹继伟,姜涛,等.目标与背景的红外偏振特性研究[J].**红外与激光工程**,2007,**36**(5):611-614.
- [2] 聂劲松,汪震.红外偏振成像探测技术综述[J].**红外技术**,2006,**28**(2):63-67.
- [3] Ben-Dor B, Oppenheim U P, Balfour L S. Polarization Properties of Targets and Backgrounds in the Infrared [C]. *Proceedings of SPIE, 8th Meeting on Optical Engineering in Israel: Optical Engineering and Remote Sensing*,1993:68-77.
- [4] Joseph A S, Dennis H G, David B C. Infrared Polarization in the Natural Earth Environment [C].*Proceedings of SPIE, Polarization Measurement, Analysis, and Applications V*,2002, **4819**:129-138.
- [5] Wolff L B, Lundberg A, Tang R. Image Understanding from Thermal Emission Polarization [C]. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*,1998:625-631.
- [6] 王新,王学勤,孙金祚.基于偏振成像和图像融合的目标识别技术[J].**激光与红外**,2007,**37**(7):676-678.
- [7] 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.
- [8] 张朝阳,程海峰,陈朝辉,等.偏振遥感识别低反射率伪装网研究[J].**红外与毫米波学报**,2009, **28**(2):137-140.
- [9] 张朝阳,陈朝辉,程海峰,等.伪装材料的偏振散射光谱研究[J].**红外**,2010,**30**(11):21-25.
- [10] 汪震,洪津,乔延利,等.热红外偏振成像技术在目标识别中的实验研究[J].**光学技术**,2007, **33**(2):196-198.
- [11] 汪震,乔延利,洪津,等.利用热红外偏振成像技术识别伪装目标[J].**红外与激光工程**,2007,**36**(06):853-856.
- [12] 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.
- [13] 吕相银,凌永顺,李玉波,等.地面机动目标的红外伪装技术探讨[J].**激光与红外**,2006, **36**(9):893-896.
- [14] 张朝阳,程海峰,陈朝辉,等.偏振遥感识别低反射率伪装网研究[J].**红外与毫米波学报**,2009,**28**(2):137-140.
- [15] 唐坤,邹继伟,姜涛,等.目标与背景的红外偏振特性研究[J].**红外与激光工程**,2007,**36**(5):611-614.
- [16] 聂劲松,汪震.红外偏振成像探测技术综述[J].**红外技术**,2006,**28**(2):63-67.
- [17] Ben-Dor B, Oppenheim U P, Balfour L S. Polarization Properties of Targets and Backgrounds in the Infrared [C]. *Proceedings of SPIE, 8th Meeting on Optical Engineering in Israel: Optical Engineering and Remote Sensing*,1993:68-77.
- [18] 李柱贞,陈晓盼,陶国强.国外临近空间高超声速飞行目标光电特性研究概述[R].2010.
- [19] Gail C, Kamlesh L. Thermal Protection Systems [J]. *Engineering Innovations*, 2009, **1**: 182-199.
- [20] 付强,王刚,郭相科,等.临空高速目标协同探测跟踪需求分析[J].**系统工程与电子技术**,2015, **37**(4):757-762.
- [21] 王建华,李小将,王志恒,等.基于燃速的助推段固体弹道导弹红外特性分析[J].**激光与红外**,2012, **42**(10):1154-1160.
- [22] 张海林,周林,左文博,等.临近空间高超声速导弹红外特征研究[J].**激光与红外**,2015, **45**(1):41-44.
- [23] 李柱贞,陈晓盼,陶国强.国外临近空间高超声速飞行目标光电特性研究概述[R].2010.
- [24] 田博,谢放,范春懿,等.低轨红外探测卫星对大气层内高动态目标的探测能力研究[J].**红外**,2015, **36**(5):1-7.
- [25] 郑跃瑜,张志龙,郭建.高空远距离目标红外辐射及大气衰减模型研究[J].**红外**,2015, **36**(1):40-45.
- [26] Levin D A. Comparison of Theory with Experiment for the Bow Shock Ultraviolet Rocket Flight: AIAA 91-1411 [R].1993.

(上接第6页)