

AOTF 高光谱探测系统对伪装目标的识别研究

何梓健^{1,2}, 时家明^{1,2}, 汪家春^{1,2}, 赵大鹏^{1,2}, 王启超^{1,2}, 甘桂华³

(1. 脉冲功率激光技术国家重点实验室, 安徽 合肥 230037; 2. 红外与低温等离子体安徽省重点实验室, 安徽 合肥 230037;
3. 电子工程学院科研部, 安徽 合肥 230037)

摘要: 为了获得目标和背景更精细的光谱信息, 解决目前伪装目标与背景在一定波长范围内接近“同色同谱”而造成的目标识别难题, 搭建了一套高光谱成像探测系统, 并以典型林地背景中的伪装目标为例, 对其进行探测与识别, 获得目标和背景的高光谱信息以及强度对比度曲线。通过分析发现, 伪装目标与背景难以实现完全的“同色同谱”, 在某些波长上目标的特征比较明显, 强度对比度较大。表明通过筛选特定的波长能对伪装目标实现有效快速的探测与识别。这些结果对于高光谱探测系统的应用具有指导意义。

关键词: 高光谱成像; AOTF; 伪装目标; 探测识别

中图分类号: TN65; TP751 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2014.07.019

Recognition of camouflaged target by hyperspectral imaging system based on acousto-optic tunable filter

HE Zi-jian^{1,2}, SHI Jia-ming^{1,2}, WANG Jia-chun^{1,2}, ZHAO Da-peng^{1,2}, WANG Qi-chao^{1,2}, GAN Gui-hua³

(1. State Key Laboratory of Pulsed Power Laser Technology, Hefei 230037, China;
2. Key Lab of IR and Low Temperature Plasma of Anhui, Hefei 230037, China;
3. The Research Department of Electronic Engineering Institute, Hefei 230037, China)

Abstract: For acquiring more accurate spectral information of the camouflaged target and background in high resolution and solving the problem that the camouflage target's color and character of spectral is close to that of the background, a hyperspectral image system was designed to detect the typical camouflaged target in the woodland background in this paper. Hyperspectral information and intensity contrast curve of the target and background were obtained. The analysis shows that the background and camouflage target's color and character of spectral is hard to being all the same. Consequently, this system can effectively identify the camouflaged target in special wave bands by analyzing the contrast of intensity and hyperspectral information obtained. The results are valuable to the application of the hyperspectral detection system.

Key words: hyperspectral imaging; AOTF; camouflaged target; detection and identification

1 引言

目前, 常见的军事目标均采用了各种伪装手段, 其中先进伪装涂料的使用使得目标与背景之间能够在一定波长范围内接近“同色同谱”, 因此, 利用传统的波段探测手段越来越难以有效识别伪装目标。高光谱成像技术能够在某个波段范围内获取目标在连续窄波段($\Delta\lambda < 10 \text{ nm}$)的图像数据^[1], 针对伪装

涂层难以实现目标和背景的光谱达到完全一致这个特点, 通过获取在某个波段范围目标和背景的连续

基金项目: 红外与低温等离子体安徽省重点实验室主任基金项目(No. 2010A001002D)资助。

作者简介: 何梓健(1989-), 男, 硕士研究生, 主要从事光谱成像和伪装研究。E-mail: hellozjian2010@hotmail.com

收稿日期: 2013-11-15; **修订日期:** 2014-02-25

窄光谱数据,以 $\Delta\lambda < 10 \text{ nm}$ 的光谱分辨率更精确地反映目标和背景的光谱特性,通过对比分析,可以实现目标的探测和识别,具有重要的军事应用价值^[2-4]。

美国海军研究所(NRL)于1995年利用高光谱数字图像收集实验仪进行 Forst Radiance I 实验和 Desert Radiance II 实验,后期数据分析结果表明:高光谱图像识别伪装的能力较强,可以分辨出在绿色植被(自然草地等)背景下的真实目标和诱饵目标(假目标)^[5]。2002年3月至2005年2月,法国、德国、意大利、荷兰、挪威、瑞典和英国共同参与开发了 JP8.10 系统,其目标在于分析现有的从可见光至红外波段的光谱信息、分析高光谱图像目标的识别等^[5],利用该系统可清晰地揭示伪装目标。目前,国内也对高光谱侦察技术进行了一定的研究,浙江大学的颜文俊等人通过对各种迷彩伪装目标的高光谱特性的研究,建立训练样本集,通过判别函数能实现对迷彩伪装的较好识别^[6],但考虑到诸多环境因素的影响,算法实现的实时性有一定的困难。

本文搭建了基于声光可调滤波器(Acousto-Optic Tunable Filter, AOTF)的高光谱探测系统,利用该系统对涂有浅绿色伪装涂层的铝板进行了高光谱特性的实验研究,并同时获得草地的高光谱特性。通过目标与背景的高光谱特性的研究分析,能够获得目标与背景光谱特性差异较大的波段,从而筛选出有利于揭示伪装的若干波长,在这些波长上更有针对性地进行常规伪装目标的识别研究,实现对伪装目标的有效探测。

2 系统构成及工作原理

2.1 AOTF 工作原理

AOTF 是由较低声光衰减的光学材料制成的,它具有良好的光学性能和较高的声光品质因数^[7]。如图1所示,它是根据声光衍射原理制成的分光器件,由晶体和键合在其上的换能器构成。换能器将电信号转换为在晶体内的超声波振动,超声波产生了空间周期性的调制,其作用像一维相光栅。当满足布拉格衍射条件时,入射光照射到此光栅后将产生布拉格衍射,其衍射光的波长与驱动电信号的频率有着——对应的关系,所以只要改变驱动电信号的频率,即可改变衍射光的

波长。它的波长调谐速度通常只有几十微秒,从而能实现快速、连续、随机地波长选择^[8],且其光谱分辨率能够达到高光谱成像的技术要求,因此,本系统采用 AOTF 作为系统的光谱滤波器件,实现电调谐高光谱探测。

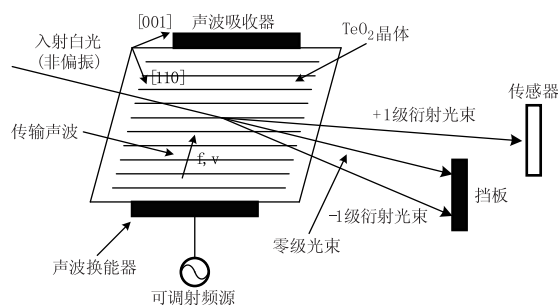


图1 AOTF 结构原理图

2.2 系统构成

探测系统由准直系统、AOTF 及其控制器、光学系统、CCD、图像采集系统以及控制计算机构成,如图2所示。本系统选用的 AOTF 为美国 Brimrose 公司生产的型号为 TEAFI10-0.55-1.0-L-PI 的声光晶体。其主要性能参数如下:①晶体材料:非共线氧化碲(TeO_2)晶体;②工作波段:550~1000 nm;③通光孔径:10 mm×10 mm;④光谱分辨率:2.9 nm (@543 nm), 9 nm (@792 nm)。

准直系统将物方入射的光线进行准直,保证入射光线以很小的发散角进入 AOTF,从而保证 AOTF 的正常工作,后端的成像系统将 AOTF 衍射出来的光重新成像在 CCD 的焦平面上,获得场景的光谱图像,最后通过软件计算得到场景的高光谱信息以及目标与背景的信号对比度。

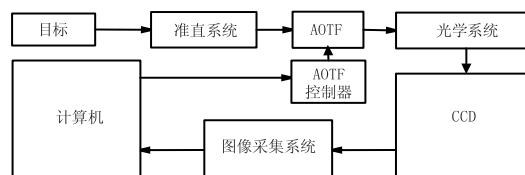


图2 高光谱成像系统的原理结构图

3 草地背景中伪装涂层的高光谱特性识别研究

3.1 浅绿色伪装涂层的光谱特性分析

在可见光和近红外波段,军事目标的伪装主要依靠伪装涂层,伪装涂层通过背景光谱特性的模拟实现目标与背景的“同色同谱”。由于林地型地貌是我国最为典型的地貌之一,本文以草地背景进行分析,图3给出标准叶绿素的可见光、近红外反射曲线^[9]。

从图中可以看出,在可见光波段叶绿素的反射率较低,在400~500 nm和640 nm处呈低谷,在550 nm的绿色波段出现一个小反射峰,一般在15%附近;在680~780 nm的红光波段,反射率从较低的水平迅速上升;在780~1000 nm的近红外波段,光谱反射率保持在一个较高的水平,在50%附近。

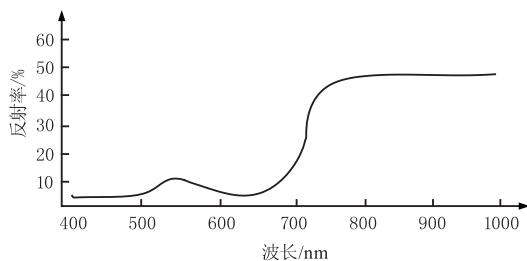


图3 标准叶绿素可见光、近红外反射曲线

在草地背景中,浅绿色是伪装的主色调。本实验采用的浅绿色伪装涂层的反射率曲线如图4所示。

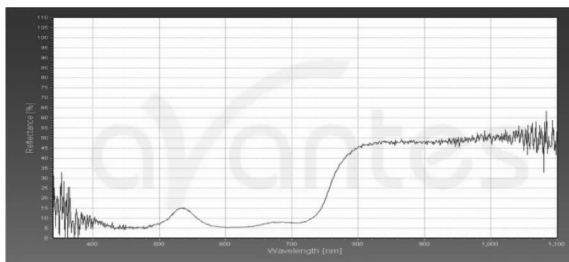


图4 浅绿色伪装涂料可见光、近红外反射曲线

对比图3和图4,可以看出,在可见光、近红外波段,伪装涂层的反射光谱与标准叶绿素的反射曲线非常接近,该浅绿色涂料在550 nm同样具有一个小反射峰,在720~800 nm波段反射率快速增加,在800~1000 nm基本稳定在50%。美军对浅绿色涂层的伪装效能提出了军用标准^[9],图5为浅绿色隐身涂层光谱反射曲线最大允许偏差曲线。伪装涂层的光谱曲线若在图5中的阴影区域,则可认为其达到伪装效果,符合军用标准要求。由图3、图4和图5可以看出,本文选用的浅绿色伪装涂层符合伪装要求,能够获得较好的伪装效果。

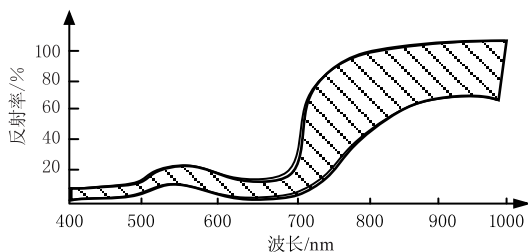


图5 浅绿色隐身涂层光谱反射曲线最大允许偏差

3.2 伪装涂层与草地背景的高光谱特性分析

本文利用搭建的高光谱探测系统对草地背景中的浅绿色伪装板进行光谱成像探测,该系统固定于三角架上,可水平、俯仰调节。实验在阴天条件下进行,探测角为45°,以正东方向为0°,方位角为180°。实验在550~900 nm波段范围内,以10 nm的光谱间隔采集高光谱图像。

图6给出了实验获得的部分高光谱图像,可以看出,在550~630 nm波长范围内,图像亮度普遍较低,目标和背景的对比较低,基本上是融为一体,以致于难以区分目标和背景;在640~680 nm波长范围内,图像亮度逐渐增大,目标的轮廓比较清晰,可以较容易地分辨出目标和背景,尤其是在660 nm处,伪装板和草地的亮度差异较大,特征区别比较明显,容易识别出伪装目标;在690~900 nm波长范围内,图像亮度随波长的增大先增大后减小,而目标和背景的对比较低却一直较小,伪装板的伪装效果较好,从图像中难以区分伪装目标。

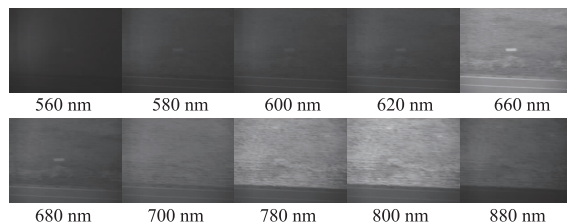


图6 高光谱图像

对本系统采集的高光谱图像进行处理,得到伪装板和草地的强度高光谱曲线,如图7所示。

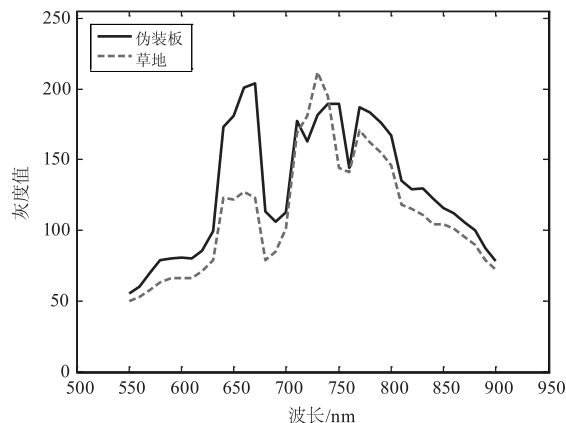


图7 伪装板和草地背景的灰度值变化曲线

从图7可以看出:(1)伪装板和草地的灰度值变化趋势基本一致;(2)在550~630 nm和810~900 nm波段范围内,伪装板和草地的灰度值均较低,且两者差值不大,难以有较好的识别效果;(3)

在 690 ~ 800 nm 波段范围内,伪装板和草地的灰度值均较高,但差异较小,因此并不能有效的识别目标;(4)在 640 ~ 680 nm 波段范围内,伪装板的灰度值明显高于草地的,伪装板的特征十分明显,因此,对于典型的草地背景中的伪装目标的探测,可在该波段内进行。

对比图 4 和图 7 可以发现,浅绿色伪装涂料的光谱曲线具有较大差异,图 7 中的“近红外高原”消失,这是由本系统在进行高光谱图像的数据处理阶段未进行光谱标定所致。但对于目标的探测与识别而言,只需获得目标与背景的相对强度变化,在强度差异较大的波长处即可有效识别伪装目标,而不需要获得目标与背景的绝对强度,因此未对系统标定并不影响识别效果,而且可以提高系统处理的速度。

目标和背景某一特征的差异是实现对目标的探测和识别的前提和基础,对比度则是衡量目标和背景差异的一个重要指标^[10],强度对比度 C_I 的定义为:

$$C_I = \frac{I_t - I_b}{I_t + I_b}$$

式中, I_t 表示目标的强度值; I_b 表示背景的强度值。

根据上式计算得到目标和背景的强度对比度曲线,如图 8 所示。

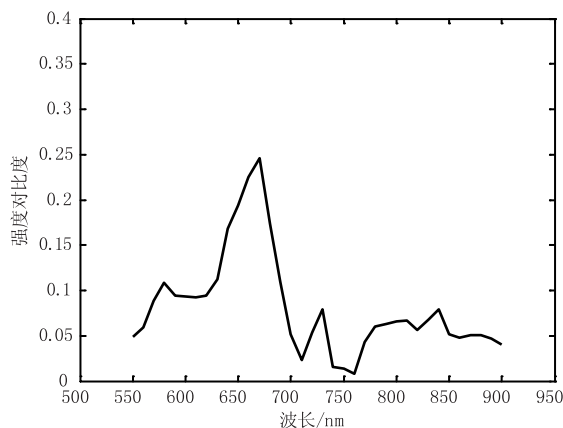


图 8 伪装板和草地背景的强度对比度变化曲线

由图 8 可以看出,伪装板和草地背景的强度对比度变化曲线在 660 nm 处达到峰值,在该波长附近,两者的强度对比度较大,伪装板失去了原有的伪装效果,可以实现对目标的有效探测与识别;而在其他的波段,虽然曲线有起伏,但是总体上维持在 0.1 以下,因此,在这些波段范围内,目标实现了较好的伪装效果。但考虑到高光谱成像技术处理的数据量较大,可以根据图 8 的变化曲线筛选出强度对比度

较高的波长,在这些波长处有针对性地进行目标的探测,从而实现快速的目标探测与识别。从以上实验结果分析可知,对于林地背景中的常规伪装的探测与识别,在 660 nm 波长附近可以获得较好的识别效果。

4 结 论

本文基于 AOTF 的工作原理搭建了一套高光谱成像探测系统。该系统通过电调谐方式,能够连续、快速地在可见光和近红外波段范围内实现对目标场景的高光谱成像探测。利用该系统,对典型草地背景中的浅绿色伪装目标进行探测与识别,获得目标和背景的高光谱数据以及强度对比度曲线。通过分析,发现该系统在 660 nm 波长附近对于典型草地背景中的伪装目标有较好的识别效果。表明高光谱成像探测系统可以在某些波段范围根据目标和背景的光谱特性的不同实现对目标的识别,为该技术的军事应用提供了指导。

参考文献:

- [1] Silverman J, Caefer C E, Disalvo S, et al. Temporal filtering for point target detection in staring IR imagery: II. Recursive variance filter[C]//Proc of SPIE, 1998, 3373: 44-53.
- [2] DU Peijun, FANG Tao, TANG Hong, et al. Spectral features extraction in hyper-spectral RS data and its application to information processing[J]. Acta Photonica Sinica, 2005, 34(2): 293-298.
- [3] GAO Xiaojian, GUO Baofeng, YU Ping. Classification of hyperspectral remote sensing image based on spatial-spectral integration[J]. Laser & Infrared, 2013, 43(11): 1296-1300. (in Chinese)
高晓健, 郭宝峰, 于平. 高光谱一体化图像分类研究[J]. 激光与红外, 2013, 43(11): 1296-1300.
- [4] LIN Ying, XU Weiming, YUAN Liyin, et al. Signal component analysis and process for thermal infrared hyperspectral system[J]. Laser & Infrared, 2010, 40(12): 1324-1329. (in Chinese)
林颖, 徐卫明, 袁立银, 等. 热红外高光谱系统信号成分分析及处理[J]. 激光与红外, 2010, 40(12): 1324-1329.
- [5] MA Yongping, ZHANG Wei, LIU Dongxu. Characteristics of hyperspectral reconnaissance and threat to ground military targets[J]. Aerospace Shanghai, 2012, 29(1): 37-

40. (in Chinese)
麻永平,张炜,刘东旭. 高光谱侦察技术特点及其对地面军事目标威胁分析[J]. 上海航天,2012,29(1): 37-40.
- [6] YAN Wenjun, WANG Tongzhao. Research on testing method for camouflage of ground target in high spectral imaging[J]. Mechanical & Electrical Engineering magazine,2007,24(1):4-6. (in Chinese)
颜文俊,王同招. 高光谱遥感影像地面伪装目标检测方法的研究[J]. 机电工程,2007,24(1):4-6.
- [7] LIU Shishen. Accusto-optic tunable filter and the application of imaging spectrometer[J]. Infrared,2004,7:12-17. (in Chinese)
刘石神. 声光可调滤波器及其在成像光谱仪上的应用[J]. 红外,2004,7:12-17.
- [8] Zhu Y,Zhang C,Zhang B. Design and analysis of a novel noncollinear acousto-optic tunable filter[J]. Optics Communications,2012,285:2332-2334.
- [9] WANG Ning. Research on multi-spectral stealth tarp material[D]. Chongqing: Chongqing University, 2006. (in Chinese)
汪宁. 多频谱隐身篷布材料的研究[D]. 重庆:重庆大学,2006.
- [10] Forssell G, Hallberg T. Calibrated sensitive polarization measurement methods in the regions 3-5 μm and 8-12 μm , corrected for contributions to the detector signal from the polarizer [C]. Proc of SPIE, 2002, 4481: 257-269.