

## 有监督的高光谱图像伪装目标检测方法

刘志刚, 卢云龙, 魏一苇

(第二炮兵工程大学, 陕西 西安 710025)

**摘要:** 针对伪装目标检测问题, 提出了一种有监督的高光谱伪装目标检测方法。以植被型伪装目标为研究对象, 在分析伪装材料与绿色植被光谱之间特性的基础上, 先通过光谱重排、光谱微分以及光谱差异性增强处理, 对植被型伪装材料与真实植被(背景)之间的光谱差异进行放大, 然后利用主成分分析(PCA)变换进行降维, 从而实现了一种适用于大面积植被型伪装目标的高光谱检测方法。实验结果表明, 该检测方法在检测时间和检测效果上要优于基于加权的约束能量最小化法(WCM-CEM)和基于非监督目标生成处理的正交子空间投影法(UTGP-OSP)。

**关键词:** 高光谱; 监督类方法; 伪装; 目标检测

**中图分类号:** TP75      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1007-2276(2013)11-3076-06

## Supervised method for hyperspectral image camouflage target detection

Liu Zhigang, Lu Yunlong, Wei Yiwei

(The Second Artillery Engineering University, Xi'an 710025, China)

**Abstract:** Aiming at camouflage target detection problem, a supervised method for hyperspectral image camouflage target detection was proposed. The plant camouflage targets were taken as study objects, and then based on the spectral characteristics analysis of camouflage materials and plants, camouflage materials and plant's spectral differences were magnified through spectrum rearrangement, spectral derivative and spectrum difference enhancement. Then, principal components analysis (PCA) was used for dimensionality reduction, thus a detection method for big camouflage target in hyperspectral image was realized. The experimental result shows that the method outperforms weighted correlation matrix-constrained energy minimization (WCM-CEM) and unsupervised target generation process-orthogonal subspace projection(UTGP-OSP) both in the detection time and detection result.

**Key words:** hyperspectrum; supervised method; camouflage; target detection

收稿日期: 2013-03-14; 修订日期: 2013-04-15

基金项目: 国家自然科学基金(41174093)

作者简介: 刘志刚(1975-), 男, 副教授, 硕士生导师, 博士, 主要从事图像与信号处理方面的研究。Email: dennyizg@163.com

## 0 引言

侦察探测与伪装隐身,这一对“矛”和“盾”在长期的较量过程中不断发展。作为侦察领域最为常见的一种侦察手段,光学侦察在经历了全色和多光谱之后,进入了高光谱时代。高光谱大量的光谱波段为了解地物提供了极其丰富的信息,有助于完成更加精确的目标识别<sup>[1-2]</sup>。而与此同时,伪装技术也在不断发展,新型伪装材料不仅能够与伪装背景实现同色,而且在光谱曲线上能够与背景有很高的相似性<sup>[3]</sup>。在高光谱战场侦察影像中,如何快速发现隐身于背景环境(植被、沙漠)中的伪装目标,是当前军事伪装目标检测的一大难点。

目标检测方法可分为两类,一类是无监督的目标检测方法,另一类是有监督的目标检测方法。目前,无监督的目标检测方法多用于异常检测,这类检测方法需要从数据当中获得目标检测所需要的参数信息(例如:背景协方差矩阵的估计),在二元假设的基础上,通过广义似然比目标进行检测,因此对背景进行不同的统计模型假设就形成了不同的异常检测方法<sup>[4]</sup>。RX 异常检测方法<sup>[5]</sup>、基于一阶高斯马尔科夫随机场模型的异常检测方法<sup>[6]</sup>、白化空间相关滤波异常检测方法(Whitening and Spatial Correlation Filtering, WSCF)<sup>[4]</sup>等都属于无监督的目标检测方法,这类检测方法在目标较小时,效能较好,但当目标较大时,检测性能显著下降。在已知目标的光谱曲线的情况下,目前多采用监督类方法来进行目标检测,如光谱角度匹配法(Spectral Angle Mapping, SAM)<sup>[7]</sup>、约束能量最小化法(Constrained Energy Minimization, CEM)<sup>[8]</sup>和正交子空间投影法(Orthogonal Subspace Projection, OSP)<sup>[9]</sup>等,但这些检测方法都有它们的局限性。SAM 法通过计算光谱曲线的相似度(广义夹角)来进行目标检测,当两条光谱曲线差异性不明显时, SAM 法检测效果较差。CEM 法在探测小面积目标时效果较好,探测大面积目标时,性能急剧下降。一些学者对 CEM 检测方法进行了改进,提出了基于加权的 CEM 检测方法(Weighted Correlation Matrix Constrained Energy Minimization, WCM-CEM)<sup>[9]</sup>,虽然在一定程度上使得 CEM 检测方法在大目标检测时的效能有所改善,但同时也增加了 CEM 方法的检测时间。

OSP 法将目标和背景投影到与背景正交的子空间中,使背景得到极大抑制,但如何得到背景端元的光谱又成了难题。针对这一问题目前常采用非监督目标生成处理(Unsupervised Target Generation, UTGP),直接从图像背景中提取未经确定的背景特征光谱向量组,即 UTGP-OSP 检测方法。虽然这种方法解决了背景端元提取的问题,但背景端元的确定与初始端元的选择有很大关系,而且随着端元数目的增多,检测时间也随之增加<sup>[10]</sup>。

针对如何发现隐身于背景环境(植被、沙漠)中的高仿生大面积伪装目标的问题,文中给出了一种较简单的有监督目标检测方法。

## 1 有监督目标检测方法

### 1.1 应用前提

该方法针对高光谱图像中大面积植被伪装目标的检测问题,以多种常见伪装材料的光谱特征作为先验知识,采用人工参与的方法对伪装目标进行检测与分割,从而为人工识别等处理提供辅助支持。

### 1.2 总体思路与处理流程

伪装目标之所以能隐藏自身,躲避侦察,主要源于伪装目标与背景具有非常好的相仿性,在颜色和光谱曲线上能与背景趋于一致。因此,要使伪装目标能从背景中被检测出来,就要使目标与背景的差异性得到增强,使伪装目标的伪装效能得到大大降低,失去其“隐身”特性。基于这个思路,文中提出了一种适合于大面积伪装目标检测的方法。步骤如下。

(1) 以伪装材料的反射光谱为基准对高光谱图像中的所有像元进行光谱重排。

(2) 对重排后的所有像元的光谱进行一阶微分。

(3) 将经过前两步处理后的高光谱图像逐点进行差异性增强处理。

(4) 对处理后的高光谱图像进行主成分分析(Principal Components Analysis, PCA)变换。

### 1.3 光谱重排

光谱重排是一种简单的增强光谱差异性的方法,它打破了光谱按照波长排列的次序,对作为基准的光谱曲线按反射值从大到小的顺序重新排列,使其变为单调下降(或上升)的重排曲线,而对其他的光谱曲线按相应顺序重排<sup>[9]</sup>。

图 1 为植被型伪装网和绿草的反射光谱曲线,由 FieldSpace3 便携式地物波谱仪采集,波段为 350~1 000 nm。由 SAM 法计算相似度为 0.987 1。

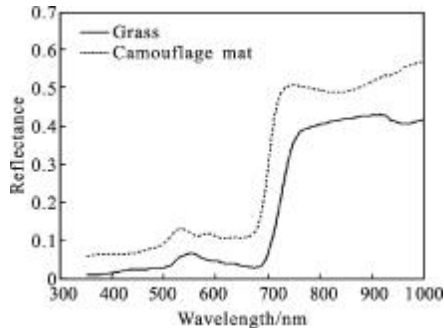


图 1 伪装网与绿草的光谱曲线

Fig.1 Spectrum curves of camouflage mat and grass

图 2 为以伪装网的光谱曲线为基准对图 1 中的两条光谱曲线进行光谱重排后的结果。

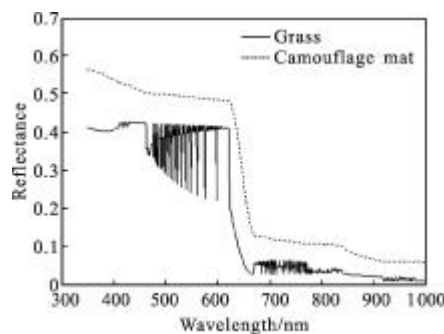


图 2 光谱重排的输出结果

Fig.2 Reordering results based on camouflage mat

从图中可以发现绿草的光谱经光谱重排之后在某些区域振荡比较激烈,与伪装网的光谱曲线有明显差异,但整体趋势与伪装网的光谱曲线仍具有一致性。

#### 1.4 一阶微分

一阶微分的定义式如公式(1)所示:

$$\rho'(\lambda_i) = \frac{\rho(\lambda_{i+1}) - \rho(\lambda_i)}{2\Delta\lambda} \quad (1)$$

式中: $\rho(\lambda_{i+1})$ 和 $\rho(\lambda_i)$ 为波段 $i, i+1$ 处的反射率; $\Delta\lambda$ 为波段 $i$ 到 $i+1$ 的波长值; $\rho'(\lambda_i)$ 为光谱曲线的一阶微分值。

图 3 为对图 2 进行一阶微分的结果图。

在光谱重排过程中,伪装网的光谱反射值是按照从大到小的顺序进行排列的,是一条较光滑的光谱曲线,所以其一阶微分曲线波动较小。而绿草的光

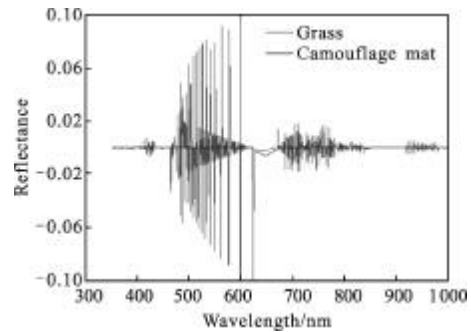


图 3 一阶微分的输出结果

Fig.3 First-order differential spectral curves of Fig.2

谱曲线在按照伪装网光谱重排顺序进行重排后,波动加剧,其一阶微分跳变极为明显。因而经过以上处理之后,绿草与伪装网光谱之间的差异性得到了明显的增强。尽管经过光谱重排和光谱微分之后,光谱已经失去了原始光谱的意义,但是光谱所在的空间位置并没有改变。

#### 1.5 差异性增强处理

由图 3 可知经光谱重排和光谱微分之后,基谱的光谱曲线的幅度变化较背景光谱曲线的幅度变化要小。可以通过非线性的处理进一步拉大目标与背景之间的差异,文中采用公式(2)进行处理。

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if } (x_{ij} > a) \text{ or } (x_{ij} < b) \\ x_{ij}, & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

式中: $x_{ij}$ 为第 $i$ 个波段的第 $j$ 个像元的反射值; $a, b$ 取值为 $a = \eta * \text{average}(\text{image}_i)$ ,  $b = \kappa * \text{average}(\text{image}_i)$ ,  $\text{average}(\text{image}_i)$ 为每层单波段图像的均值, $\eta, \kappa$ 分别为每层单波段图像的均值的加权值,取值大小视具体情况而定,但 $\eta, \kappa$ 的绝对值大小一般小于 1。

#### 1.6 PCA 变换

原始高光谱图像经过以上处理之后仍为一组高维的图像,需要通过降维的方法输出检测结果。PCA 是最基本的高光谱数据降维方法,它将原始的海量高光谱数据变为少量的几个主要成分,在降低数据维数的同时最大限度地保持了原始数据的信息,在特征提取、混合像元分解、地物分类和目标探测领域有广泛的应用<sup>[11-12]</sup>。经过光谱重排、光谱微分和光谱差异性增强处理之后,伪装目标与背景的差异性得到增大,伪装目标已经作为一种独立于背景的成分从背景中剥离出来,经 PCA 变换后,分析主要成分信息从而实现伪装目标的检测。

## 2 验证实验

### 2.1 数据采集条件

实验仪器为地物/海洋高光谱成像仪(MSHyperSIS)。该成像仪有两个镜头,分别是 V10E 系列的 V10E-QE 可见光-近红外镜头和 N25E 系列的 N25E-SWIR 短波红外增强型镜头,该实验选用 V10E-QE 镜头。数据采集的波段范围为 400~1 000 nm,光谱分辨率为 2.8 nm。

实验对象为植被型伪装网和两辆小型汽车,汽车颜色分别为白色和浅黄色,分别编号为 A 车和 B 车。实验地点为某树林,该树林的植被覆盖率较高,地域较为开阔。实验在天气晴朗时进行,时间在 10:00~14:00 之间。

### 2.2 数据采集过程

用伪装网对 A 车进行伪装,B 车不进行任何伪装,用高光谱成像仪对同一视场中的 A、B 车进行高光谱成像,获取高光谱数据。图 4 为真彩色图像。



图 4 A 车伪装的真彩色图像  
Fig.4 True color of disguised car A

### 2.3 数据处理

以伪装网的光谱曲线为基准,按 1.2 节的流程对所采集的图像进行处理。

图 5 为经 PCA 处理后的第二主成分的检测图。从结果来看,已基本将伪装目标从背景中剥离出来。



图 5 PCA 结果图  
Fig.5 Result of PCA

接下来,将 WCM-CEM 法、UTGP-OSP 法与文

中检测方法进行了实验比较,CEM 法的加权自相关矩阵为公式(3):

$$R^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^T p_d^\perp x_i x_i^T \quad (3)$$

式中: $R^*$  为经加权后的自相关矩阵; $p_d^\perp$  为目标像元的正交空间投影矩阵; $x=[x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}]$  为像元向量( $i=1, 2, \dots, n$ ), $n$  为像元个数。UGTP-OSP 检测方法的背景端元数确定为 6。试验在 Intel Xeon 2.4 GH 处理器和 24 GB 内存的硬件配置下进行,在 Matlab7.11.0 的编程环境下实现,试验数据的大小为 592×336×256。

图 6 为利用 WCM-CEM 检测的结果,图 7 为利用 UGTP-OSP 法检测的结果。



图 6 WCM-CEM 检测结果  
Fig.6 Result of WCM-CEM



图 7 OSP 检测结果  
Fig.7 Result of UTGP-OSP

从检测的图像质量来看,文中检测方法的效果是最好的,目标与背景的区分度最大,其次是 UGTP-OSP 检测方法,效果最差的是 WCM-CEM 检测方法。表 1 对这三种检测方法的检测时间进行了统计,从实验结果来看,文中的检测方法的计算速度明显优于其他两种检测方法。

表 1 不同检测方法耗用的检测时间

Tab.1 Detection time of different detection methods

Detection method	Detection time/s
WCM-CEM	125
UTGP-OSP	120
Presented method	26

### 3 另一种应用与验证

伪装目标的光谱有时难以得到,这使得文中检测方法的适用范围受到一定限制。相对于目标的光谱,背景物质的光谱是比较容易得到的,当背景是同种类型的物质(植被、沙漠),受光均匀,且没有阴影等因素的干扰时,可以以背景物质的光谱曲线为基准进行目标检测。

针对以上分析,文中将假草皮覆盖在绿草地上并采集了其高光谱图像。图 8 为真假草皮在 550 nm (绿峰)处的单波段图像。利用文中的检测方法在可见光波段范围内(400~700 nm)对假草皮进行检测,图 9、图 10 是分别以假草皮和真实绿草的光谱曲线为基准按 1.2 节的流程进行处理后,PCA 输出的第一主成分的检测结果。从检测结果看,假草皮已从绿草当中被检测出来,这进一步证明了文中检测方法的有效性和实用性。



图 8 真假草皮 550 nm 波段图像

Fig.8 Image of 550 nm band of true and fake grass

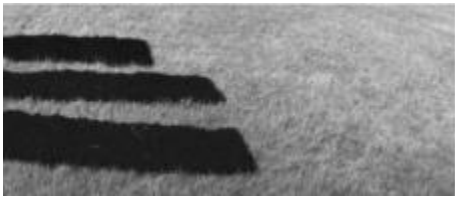


图 9 以假草皮光谱曲线为基准的检测结果

Fig.9 Detection result based on the spectra of fake grass



图 10 以真草光谱曲线为基准的检测结果

Fig.10 Detection result based on the spectra of true grass

### 4 结论

文中通过光谱重排、光谱微分以及差异性增强

等处理,实现了高光谱图像中大面积单一伪装目标的检测,为军事上的伪装目标检测提供了一种快速便捷的人工交互方法,有较强的军事应用价值。但该方法也存在以下局限性:一是伪装目标的光谱有时难以得到;二是不适用于存在多种伪装目标的情况;三是该检测方法对伪装目标光谱的一致性要求较高,当伪装目标表面光照不均匀或存在阴影时,该检测方法的检测效能将会受到影响;四是当伪装目标与背景的光谱十分接近并趋于一致,虽然经过了光谱重排,但仍旧无法放大目标与背景光谱之间的差异性时,该检测方法将失效。这些问题也是当前高光谱目标检测的共性问题。值得一提的是,当背景影像较为单一(如植被、沙漠等),文中方法对解决前两个问题在一定程度上是有效的,不过在进行光谱重排时要注意以背景物质的光谱曲线作为基准。

### 参考文献:

- [1] Wang Yiting, Huang Shiqi, Liu Daizhi, et al. A novel band selection method based on target detection [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2013, 42(8): 2294-2299. (in Chinese)  
王艺婷, 黄世奇, 刘代志, 等. 一种新的基于目标检测的波段选择方法[J]. *红外与激光工程*, 2013, 42(8): 2294-2299.
- [2] He Yuanlei, Liu Daizhi, Wang Jingli, et al. Independent component analysis-based band selection for hyperspectral imagery [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41(3): 818-824. (in Chinese)  
何元磊, 刘代志, 王静荔, 等. 利用独立成分分析的高光谱图像波段选择方法 [J]. *红外与激光工程*, 2012, 41(3): 818-824.
- [3] Yang Yujie, Liu Zhiming, Hu Biru, et al. Design of plant leaf bionic camouflage materials based on spectral analysis [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2011, 31(6): 1668-1672. (in Chinese)  
杨玉杰, 刘志明, 胡碧茹, 等. 基于光谱分析的植物叶片仿生伪装材料设计[J]. *光谱学与光谱分析*, 2011, 31(6): 1668-1672.
- [4] Gaucel J M, Guillaume M, Bourennane S. Whitening spacial correlation filtering for hyperspectral anomaly detection [C]// *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 2005: 333-336.
- [5] Reed I S, Yu X. Adaptive multiple-band CFAR detection of an optical pattern with unknown spectral distribution [J].

- Transactions on Acoustics Speech and Signal Processing, 1990, 38(10): 1760-1770.
- [6] Shweizer S M, Moura J M F. Hyperspectral imagery: Clutter adaptation in anomaly detection [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2000, 46(5): 1855-1871.
- [7] Kruse F A, Kierein-Young K S, Boardman J W. Mineral mapping at Cuprite, Nevada with a 63-channel imaging spectrometer [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1990, 56: 83-92.
- [8] Tong Qingxi, Zhang Bing, Zheng Lanfen. Hyperspectral Remote Sensing [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006, 225-226. (in Chinese)  
童庆禧, 张兵, 郑兰芬. 高光谱遥感——原理、技术与应用 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006, 225-226.
- [9] Geng Xiurui. Target detection and classification for hyperspectral image[D]. Beijing: Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Science, 2005. (in Chinese)
- 耿修瑞. 高光谱遥感图像目标探测与分类技术研究[D]. 北京: 中国科学院遥感应用研究所, 2005.
- [10] Zhang Bing, Gao Lianru. Hyperspectral Image Classification and Target Detection [M]. Beijing: Higher Education Press, 2011: 257-258. (in Chinese)  
张兵, 高连如. 高光谱图像分类与目标探测 [M]. 北京: 科学出版社, 2011: 257-258.
- [11] Goovaerts P, Jacquez G M, Marcus A. Geostatistical and local cluster analysis of high resolution hyperspectral imagery for detection of anomalies [J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 95(3): 351-367.
- [12] Lin Ying, Xu Weiming, Yuan Liyin, et al. Nonuniformity correction for LW infrared hyperspectral and its spectral feature abstraction [J]. Infrared and Laser Engineering, 2011, 40(4): 605-610. (in Chinese)  
林颖, 徐卫明, 袁立银, 等. 长波红外高光谱非均匀性校正及光谱特征提取[J]. 红外与激光工程, 2011, 40(4): 605-610.