

·光电系统与amp;设计·

基于高光谱的目标探测方法分析

赵志勇^{1,2}, 吕绪良¹, 刘凯龙², 卢 辉¹

(1. 解放军理工大学, 江苏 南京 210007; 2. 总装工程兵科研二所, 北京 100093)

摘要:开展了基于高光谱成像的目标探测方法研究,提出了目标与背景最佳分离变换、最小噪声分离变换、目标解混探测等方法用于目标探测,并结合高光谱成像遥感试验,对上述方法进行了试验验证,成功实现了从自然背景中分离目标的目的。

关键词:高光谱成像;最小噪声分离变换;解混;遥感

中图分类号:TN215;TN911.74

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2010)03-0003-03

Analysis of Target Detecting Methods Based on Hyper-spectrum

ZHAO Zhi-yong^{1,2}, LV Xu-liang¹, LIU Kai-long², LU Hui¹

(1 Engineering Institute of Engineering corps, PLA Univ. of Sci. & Tech., Nanjing 210007, China;

2 The Second Engineers Scientific Research Institute of the General Armaments Department, Beijing 100093, China)

Abstract: The study of target detecting methods based on hyper-spectrum theory have been made. The methods such as optimal abstraction of target from background, minimum noise fraction and target detecting by unmixing are brought forward and used in detecting target. The methods are validated in the hyper-spectrum image remote sensing experiments, which successfully pick-up target from nature feature.

Key words: hyper-spectral imaging; minimum noise fraction; unmixing; remote sensing

高光谱遥感的兴起是 20 世纪 80 年代遥感技术的最大成就之一,高光谱目标探测技术是高光谱遥感最为重要的应用方向,可以有效地应用于环境检测、城市规划、地质岩矿的识别、海洋水色定量检测、植被的精细分类以及军事目标的探测等诸多方面。

1 高光谱遥感工作机理

高光谱成像技术是一种集光学、光谱学、精密机械、电子技术及计算机技术于一体的新型遥感技术。由其物化的成像光谱仪,根据光谱分辨率的不同,可分为多光谱型、高光谱型和超高光谱型 3 种,其光谱分辨率分别为几十个、数百个和上千个谱段。

高光谱成像仪能够在连续光谱段上对同一目标同时成像,可直接反映出被观测物体的光谱特征,甚

至物体表面的物质成分。技术人员认为,将光谱划分为多个波长,获取高光谱数据可使分析人员得到空间探测与地面实际存在之间更精确的数学相关内容。

高光谱成像技术已成功地应用于遥感和航空航天目标探测领域,它不但能对地面目标拍摄高分辨率单谱图像,而且还能将每一个目标像元的光谱测出。通过测出的这些光谱特征曲线,可反演出对应每一个像元的目标物的组成成分,如是树叶、绿色油漆还是塑料。从而区分开自然背景与目标的差别,并判断出目标的性质和种类,其最突出的特点是能够鉴别材料的组成成分^[1]。

2 高光谱目标探测方法

国际上现有的高光谱目标探测方法有 RX 异常

收稿日期:2010-04-16

基金项目:国家 863 计划

作者简介:赵志勇(1978-),男,工程师。主要研究方向为图像处理。

目标探测算法、最小噪声分离变换等算法. 当异常像元处于图像数据在其特征空间所构成的超平面之中时, RX 异常目标探测算法难以探测此类目标, 为此开发了目标与背景最佳分离变换算法.

2.1 目标与背景最佳分离变换

目标最佳分离变换的目的是为了突出某种(某些)地物信息(目标), 压制别的地物信息(背景), 从而达到从图像中分离某种地物的效果.

在高光谱数据中, 记 $S = \{r_1, r_2, \dots, r_N\}$ 为高光谱图像中所有样本数据集, $r_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{iL})^T$ 为图像中的 L 维光谱向量 ($i = 1, 2, \dots, N$), 其中 N 为像元的个数, L 为图像的波段数, 假设 d 是感兴趣的目标. 在数学上, 这相当于求出向量 u , 使得目标信号 d 在向量 u 上的投影能量尽量大, 而别的信号在此方向上的投影能量尽量小, 即求 u , 使得 λ 达到极大值.

$$\lambda = \frac{(u^T d)^2}{u^T R u} \quad (1)$$

上述极值问题可以转化为求下述特征值问题

$$R^{-1} d d^T u = \lambda u$$

其中, R 是各个波段间的协方差矩阵.

然后再把所有的像元都投影在 u 上即可得到目标在图像中的分布情况.

经过验证可知, 约束能量最小化算子 (CEM)

$w^* = \frac{R^{-1} d}{d^T R^{-1} d}$ 是上述特征值问题的第一主分量, 所以上述变换进一步揭示了 CEM 算法的本质所在.

开展了航空高光谱遥感成像试验, 遥感设备为成像光谱仪, 航高 2 200 m, 图像地面分辨率 7 m. 试验区高光谱三波段假彩色合成图像见图 1, 目标混杂于背景之中, 很难被发现.



图 1 高光谱试验图像

通过目标和背景的最佳分离变换算法对试验区

高光谱数据进行处理, 处理结果见图 2, 目标和背景的差别被显著增强.



图 2 试验数据目标与背景最佳分离变换结果

2.2 最小噪声分离变换

最小噪声分离变换 (MNF) 被用于判定图像数据内在的维数, 隔离数据中的噪声, 减少随后处理计算的需求. MNF 本质上是 2 次层叠的主成份变换. 第一次变换 (基于估计的噪声协方差矩阵) 用于分离和重新调节数据中的噪声. 第一步产生的变换数据中噪声有单位变化, 没有波段-波段间的相关. 第二步是一次噪声白化数据的标准主成份变换. 为了进一步波谱处理, 数据内在的维数由检查最终特征值和相关图像来判定. 数据空间可以被分为两部分: 一部分与大的特征值和相对应的特征图像相关, 其余部分与相差不大的特征值以及噪声占主导地位的图像联系在一起. 仅仅用相关部分, 就可以将噪声从数据中分离出来, 用于提高波谱处理的效果^[2].

通过 MNF 变换从试验数据中消除噪声, 主要通过运行正向的变换, 将图像信息集中在前几个波段. 选取 MNF 变换后图像数据的前几个波段作假彩色合成, 由于目标与背景材质的差异, 可清楚地把目标区显示出来, 达到目标与背景分离的目的.

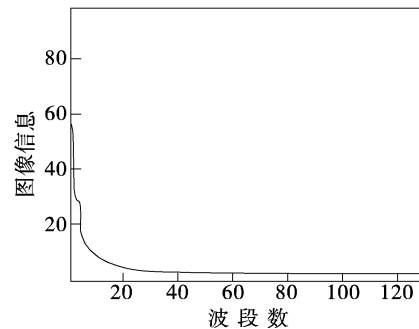


图 3 试验数据经 MNF 变换后生成的特征值图

对高光谱数据进行最小噪声分离变换, 结果见

图3、图4.图3是经MNF变换后生成的特征值图,其中横坐标表示波段数,纵坐标表示对应的图像信息,可以看出图像信息主要集中在前几个波段,而后的波段几乎全是噪声.图4是进行MNF变换后的试验区图像,经过MNF变换后,目标区清楚地显示出来.

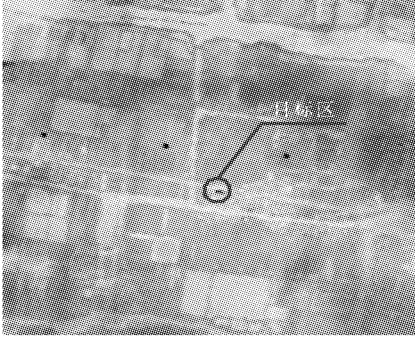


图4 试验数据 MNF 变换结果

2.3 目标解混探测

遥感探测器所获取的地面反射或发射光谱信号是以像元为单位记录的.它是像元所对应的地表物质光谱信号的综合.图像中每个像元所对应的地表,往往包含不同的覆盖类型,它们有着不同的光谱响应特征.而每个像元则仅用一个信号记录这些“异质”成份.若该像元仅包含一种类型,则为纯像元(pure pixel),也称为端元(endmember),它所记录的正是该类型的光谱响应特征或光谱信号;若该像元包含不止一种覆盖类型,则成为混合像元(mixed pixel),它记录的是所对应的不同覆盖类型光谱响应特征的综合^[3].由于传感器的空间分辨率限制以及自然界地物的复杂多样性,混合像元普遍存在于遥感图像中.

通常情况下,高光谱图像中每个像元都可以近似认为是图像中各个端元的线性混合像元

$$p = \sum_{i=1}^N c_i e_i + n = Ec + n \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N c_i = 1 \quad (3)$$

$$0 \leq c_i \leq 1 \quad (4)$$

其中, N 为端元数; p 为图像中任意一 L 维光谱向量(L 为图像波段数); $E = [e_1, e_2, \dots, e_N]$ 为 $L \times N$ 矩阵,其中的每列均为端元向量; $c = (c_1, c_2, \dots, c_N)^T$ 为系数向量, c_i 表示像元 p 中端元 e_i 所占的比例; n 为误差项.

线性解混就是在已知所有端元的情况下求出它

们图像的各个像元中所占的比例,从而得到与反应每个端元在图像中分布情况的比例系数图.利用最小二乘法可以得到式(2)的无约束解

$$\hat{c} = (E^T E)^{-1} E^T p \quad (5)$$

再加上式(3)可以得到部分约束的最小二乘解

$$\hat{c} = \left(\mathbf{I} - \frac{(E^T E)^{-1} l l^T}{l^T (E^T E)^{-1} l} \right) (E^T E)^{-1} E^T p + \frac{(E^T E)^{-1} l}{l^T (E^T E)^{-1} l} \quad (6)$$

其中, \mathbf{I} 为 N 阶单位矩阵; l 为分量均为1的 N 维列向量.研究证明,很难得到同时满足式(2)、式(3)和式(4)的全约束解^[4].

解混是一种根据材料的波谱特征判定高光谱图像中材料相对丰裕度的一种方法.假定图像中每个像元的反射系数是在这一像元点上每种材料(或终端单元)的反射系数的线性组合.

利用上述解混技术,可以获得目标与标准样品高光谱数据的相对丰裕度图,尤其是对地面几何分辨率较低的高光谱数据,能够排除混合像元光谱反射曲线的变化影响,以确定目标的纯净光谱和几何形状.利用解混算法进行目标检测的意义在于:一是便于鉴别地面几何分辨率较低的高光谱图像中的小型目标形状;二是用于检测材料(纯净像元)的光谱模拟效果.

解混的结果将以一系列灰阶图像的形式出现,每幅灰阶图像加上一个平方根误差图像对应于一个终端单元.较高的丰裕度(RMS误差图像的较大误差)对应较亮的像元(较大的浮点数).

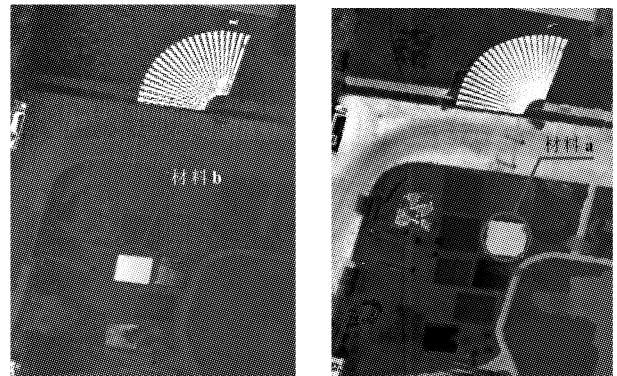


图5 试验数据线性解混结果

图5是用ROI波谱和线性波谱解混技术对某次试验处理后得到的解混结果,较亮的像元分别代表了材料 a 和材料 b 的丰裕度高.

(下转第9页)

表面温度竟达到 233.8 °C。由此可以看出,目标经过热管温控后,其热特征基本与静态目标的热特征相似。

表2 不同热管散热器功率下目标表面温度

热管散热器功率/(W)	目标表面温度/(°C)
985	20.1
980	21.8
975	23.5
950	32
925	40.1
900	48.1
875	55.8
850	63
825	70.5
800	77
775	84.4
0	233.8

4 结 束 语

提出了纳米周期结构辐射抑制和高效导热散热结构辐射抑制,通过理论分析、模型建立及数值计算,验证了其应用于红外抑制的可行性。使用纳米周期结构材料可以明显地抑制目标在红外探测器工作波段(8~14 μm)范围的红外辐射;通过借鉴热管原理的高效导热散热结构可以快速地传导目标热源处的热量。

(上接第5页)

3 结 束 语

结合高光谱成像遥感试验数据,用目标与背景最佳分离变换、最小噪声分离变化对试验中布设的目标进行了检测,实现了从背景中提取目标的目的,高光谱成像遥感数据探测效果显著。用目标解混探测算法对某试验数据进行了处理,证明材料 *a* 和材

参考文献

- [1] 张建奇,方小平.红外物理[M].西安:西安电子科技大学出版社,2004.
- [2] 刘必鏊,时家明.一种基于光子晶体的红外伪装材料[J].红外技术,2008,30(9):512-515.
- [3] Supco R F. Blue-gray low infrared emitting coating [M]. US Pat. 4311623A1, 1982.
- [4] Shan Y, Zhou Y, Cao Y, et al. Preparation and infrared emissivity study of collagen-g-PMMA/In₂O₃ nanocomposite[J]. Mater. Lett. 2004, 58(10): 1655-1660.
- [5] 唐晋发,顾培夫,刘旭,等.现代光学薄膜技术[M].杭州:浙江大学出版社,2007.
- [6] F P Incropera, D P DeWitt, T L Bergman, et al. 传热和传质的基本原理. 6版. 葛新石,叶宏.北京:化学工业出版社,2007.
- [7] 李时娟,杨彬.新型平板热管传热性能的实验研究[C]//第十一届全国热管会议论文集,2008:288-292.
- [8] 崔丽萍.柔性热管的传热试验研究与分析[C]//第十一届全国热管会议论文集,2008:293-298.
- [9] 康建英.热管技术简介[J].中国特种设备安全,2006,22(9):65.
- [10] 魏新宇.热管技术的应用展望[J].甘肃冶金,2006,28,(3):98-102.
- [11] 莫才颂,李权.热管传热及散热分析[J].茂名学院学报,2006,16(3):31-34.
- [12] 宣益民,韩玉阁.地面目标与背景的红外特征[M].北京:国防工业出版社,2004.
- [13] Li Jin, Ye Hong, Wei Mengliu. The suppression of the atmospheric window band emission using photonic crystals, proceedings of the Inaugural US-EU-China Thermophysics Conference(ASME), 2009(5): 28-30, Beijing, China.

料 *b* 模拟相应背景的效果更好。

参考文献

- [1] 浦瑞良,宫鹏.高光谱遥感及其应用[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [2] ENVI User's Guide, 2001. 9.
- [3] 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.
- [4] 耿修瑞.高光谱遥感图像目标探测与分类技术研究[D].北京:中国科学院研究生院,2005.