

doi: 10.7690/bgzdh.2015.03.021

高光谱异常检测中背景抑制方法的研究进展

孟强强¹, 杨 桃¹, 宋开山², 解卫建³

(1. 空军航空大学, 长春 130022; 2. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130024;
3. 中国人民解放军 93787 部队 北京 100076)

摘要: 为解决目前高光谱图像的空间分辨率较低的缺点, 分析和总结了高光谱异常检测中背景抑制算法。对背景抑制方法进行了分类, 按照类别分别对背景抑制方法进行了分析介绍, 并针对目前背景抑制方法所存在的问题, 提出了未来高光谱图像异常检测中背景抑制方法的研究方向。该研究对弱小信号的检测具有一定的参考作用。

关键词: 异常检测; 背景抑制; 分类; 研究方向

中图分类号: TP75 **文献标志码:** A

Research Progress of Background Suppression Algorithm in Hyperspectra Abnormal Detection

Meng Qiangqiang¹, Yang Guang¹, Song Kaishan², Xie Weijian³

(1. Aviation University of Air Force, Changchun 130022, China; 2. Northeast Institute of Geography & Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130024, China; 3. No. 93787 Unit of PLA, Beijing 100076, China)

Abstract: For dealing with the low space resolution of current hyperspectra image, analyze and summarize background suppression algorithm in hyperspectra abnormal detection. Analyze and introduce background suppression algorithms according to classification. Aiming at the problems of current background suppression algorithm, introduce the research direction of background suppression algorithm in hyperspectra image abnormal detection in future. It has some references to detect weak signal.

Keywords: abnormal detection; background suppression; classification; research direction

0 引言

高光谱遥感技术是 20 世纪遥感领域最重要的发明之一。高光谱遥感图像具有光谱分辨率高、图谱合一的优点^[1]。异常检测不需要目标的先验知识, 可以有效地识别出光谱不同于周围地物的目标^[2]。但是目前高光谱图像的空间分辨率较低, 从而导致图像背景比较复杂, 严重影响异常检测效果。背景抑制的方法就应运而生。基于此, 笔者对高光谱图像异常检测中使用的背景抑制方法进行了介绍与总结, 对背景抑制方法存在的问题进行了讨论分析, 并在最后对背景抑制方法进行了进一步展望。

1 异常检测算法概述

最经典的高光谱图像异常检测算法是由 Reed 和 Xiaoli Yu 提出的 RX 算子 (RXD)^[3-4], 该算子是以广义似然比为基础的高斯异常检测, 其算子实质是计算实验样本到总体均值向量之间的马氏距离。但是具有以下几点局限: 一是 RX 算法假设实验数据要服从局部正态分布, 但是大部分图像并不能满足该假设, 及局部正态分布不能真实描述真实场景

的实际情况; 二是该算法需要计算样本的协方差矩阵的逆矩阵, 但是样本协方差矩阵会随波段数目的增加而增加, 导致计算量大大增加; 三是 RX 算法只能在像元向量和均值方差较小的方向上进行异常检测, 如果方差较大, 该算法的检测效果就会急剧下降。针对上述缺点和局限, Chein-I Chang 从匹配滤波器的角度对 RX 算法进行了解释, 并由此提出 NRX 算法和 MRX 算法^[5]。Harsanyi 提出了低概率检测算法。在此基础上, Chang 结合低概率检测算法 (LPTD) 对 RX 算法进行改进, 得到 RX-UTD 算法^[6]。Chang 采用互相关矩阵代替互协方差矩阵, 提出了实时 RX 异常检测方法 (causal RX, CRX)^[3], 并在 CRX 的基础上发展出了 ACAD 算法^[7], 文献 [8-9] 提出了一种权重的互协方差矩阵异常检测算法 (WRX 算法)。蒲晓丰等^[10]利用噪声背景集估计背景的协方差矩阵, 提出了 I-RX 算法对高光谱图像异常检测; 赵春晖等^[11]提出一种基于混合核函数的加权 RX 算法, 该算法可以在一定程度上削减协方差矩阵中的异常数据的比重; 文献 [12] 提出一种融合的 RX 算法, 该算法通过融合线性 RX 算法和

收稿日期: 2014-09-01; 修回日期: 2014-10-25

基金项目: 国家自然科学基金 (41171293); 吉林省科技发展计划资助项目 (20140101213JC)

作者简介: 孟强强 (1989—), 男, 江苏人, 硕士, 从事高光谱异常检测研究。

非线性 RX 算法的优点,得到了比 RX 算法更加稳定的新的融合 RX 算法;为充分挖掘高光谱图像的非线性信息,将核方法引入到高光谱异常检测算法中,Kwon 等人在提出了基于核的非线性 RX 算法^[13]。

在高光谱图像中,存在大量的亚像元目标,RX 算法等算法并不能很好地检测出该类像元,于是结合端元提取的异常检测方法应运而生,该方法可以有效地解决亚像元目标的异常检测。李智勇等^[14]提出了一种基于改进的迭代误差分析法的异常检测方法,该方法首先提取高光谱图像中的目标端元向量,然后异常检测;寻丽娜等^[15]采用主成分分析法完成高光谱图像的背景抑制,用迭代误差分析法提取目标端元,结合光谱角度匹配技术完成目标的检测;赵春晖等^[16]利用高光谱图像端元是单形体顶点这一特点,提出了一种背景抑制及顶点成分分析(EVCA)的异常检测方法;文献^[17]提出了一种端元提取方法结合核 RX 算法的异常检测方法,有效地抑制了高光谱图像的背景信息,提高了检测效果;Ashton 和 Schaum^[18]结合线性光谱混合模型,通过端元提取得到背景光谱,再通过背景抑制后使用 RX 检测异常。

还有许多其他算法也被应用于高光谱图像异常检测中。同 RX 算法类似的算法还有约束能量最大化算法^[19],由 Hazel 提出的基于高斯马尔科夫随机场的目标检测算法^[20];支持向量描述(support vector data description, SVDD)也被应用到高光谱图像处理领域^[21-23],取得了较好的效果;Carlotto^[24]和 Catterall^[25]都将聚类方法引入到高光谱图像异常检测之中,在异常检测中取得了较好的成果;王维等^[26]则将投影寻踪方法应用到高光谱图像异常检测方法之中。

2 背景抑制算法综述

高光谱图像中,异常目标最大的特点就是发生概率小,背景的存在就容易导致高光谱图像异常检测效果下降。针对该问题,文献^[3]指出,背景的去除可以提高 RX 算法的检测效果。为了抑制高光谱图像中复杂背景对检测结果的不良影响,首先对高光谱图像的背景采取抑制措施,得到背景抑制后图像,在抑制背景的同时,突出了异常目标信息,可以有效提高异常检测的结果。目前应用在高光谱图像中的背景抑制方法较多,大部分可以分为 2 类:一种是基于矩阵分析的方法;另一种是基于多分辨率分解的方法。

2.1 基于矩阵分析的背景抑制方法

高光谱图像可以看作是一个高维矩阵,通过矩

阵运算的方法就可以达到背景抑制的目的。目前常用的基于背景抑制的方法主要有噪声白化、主成分分析方法(PCA 方法)等。噪声白化是计算各个波段的方差,然后使其为一。在文献^[27]中,在验证几种高光谱图像处理算法之前,首先采用了白化处理方法。同时文献^[28]中也采用了白化方法。白化方法主要是抑制或者是消除高光谱图像波段中的噪声。主成分分析方法则是利用主成分分析中得到的前几个波段构造投影空间,然后将高光谱图像投影到投影空间中,达到抑制背景的目的。文献^[29]首先利用主成分分析技术扣除了图像背景信息,之后借助迭代误差分析方法选取端元,以端元光谱作为已知光谱代入 CEM,从而很好地提取小目标;寻丽娜等^[15]使用主成分分析方法抑制高光谱图像中的背景信息,达到突出目标信息的目的,然后使用端元提取的方法进行高光谱图像的异常检测。

2.2 基于多分辨率分解的背景抑制方法

基于多分辨率分解的背景抑制方法是将高光谱图像的各个波段看作是一幅图像,对每一幅波段图像进行多分辨率分解,以达到背景抑制的目的。宗靖国等^[30]首先采用非子采样拉普拉斯金字塔分解抑制高光谱图像的背景信息,再进行异常检测,有效地抑制了高光谱图像的背景信息;文献^[31]将小波应用到背景抑制中,然后使用 RX 算法异常检测;秦翰林等^[32]采用多尺度分解结合核 RX 算法的一种新的异常检测算法,也充分抑制了背景信息对异常检测算法的不良影响;张翔等^[33]采用多分辨率分解方法处理高光谱图像,然后对分解后图像进行一些处理,达到抑制背景,突出目标信息的效果。

2.3 其他背景抑制方法

还有许多其他方法也被引入到高光谱图像背景抑制之中。文献^[34]构造背景子空间,通过投影的方法抑制高光谱图像的背景信息,通过背景误差的积累,突出图像中的目标信息;梅锋等^[35]则是利用高光谱图像中同一波段相邻像素的空间相关性,采用分波段空域滤波的方式优化背景数据的分布方式,构造出更优的核矩阵;Chiang 等^[36]采用投影寻踪的方法实现抑制图像背景,突出目标信息的作用;李杰将光谱解混技术应用到背景信息的抑制中,有效地分离了目标信息和复杂背景信息;谷延锋等^[37]利用光谱解混技术利用光谱解译技术分离目标信息和复杂背景信息,并结合主成分分析法和 RX 算法完成图像的异常检测;成宝芝等^[38]使用光谱解混技

术分离目标信息和背景信息, 然后结合 SVDD 算法实现异常检测; 刘德连等在文献[39]中采用期望最大化聚类法对高光谱图像实现分解, 然后将得到的分解后图像采用背景子空间模型方法。图像分解之后更加适合于目标检测。

3 结论

笔者总结分析了高光谱异常检测中背景抑制的方法, 这些方法在背景抑制方面发挥了一定作用, 有效地提高了高光谱异常检测的检测效果, 但目前的方法仍然存在一定的缺陷, 如基于矩阵的背景抑制方法只是将高光谱图像看作是矩阵进行处理, 并没有考虑高光谱图像的图像特性。而基于多分辨率分解的方法对图像进行分解之后, 主要使用分解后得到的低频信息, 从而忽略了高频信息中的信息量。未来的背景抑制方法应该注意到这些问题, 使用基于矩阵的分析方法之时要考虑高光谱图像所具有的图像特性, 而使用基于多分辨率分解的方法时, 要考虑高频信息中所包含的信息。而且可以将 2 种方法相结合, 最终形成一个适合于高光谱图像异常检测的背景抑制方法。

参考文献:

- [1] 罗文斐, 钟亮, 张兵, 等. 高光谱遥感图像端元提取的零空间光谱投影算法[J]. 红外与毫米波学报, 2010, 29(4): 307-311.
- [2] 蒲晓丰, 雷武虎, 张林虎, 等. 基于改进 RX 算法的高光谱异常检测[J]. 中国图像图形学报, 2011, 16(9): 1632-1636.
- [3] Reed I S, Yu Xiao-li. Adaptive multi-band CFAR detection of an optical pattern with unknown spectral distribution[J]. IEEE Trans on Acoustics Speech and Signal Process, 1990, 38(10): 1760-1766.
- [4] Yu X, Hoff L E, Reed I S, et al. Automatic target detection and recognition in multiband imagery: A unified ML detection and estimation approach[J]. Image Processing, IEEE Transactions on, 1997, 6(1): 143-156.
- [5] Chang, Oh D. System-level modeling and simulation of periodic jitter in high-speed links[C]//Electrical Performance of Electronic Packaging and Systems (EPEPS), 2010 IEEE 19th Conference on. IEEE, 2010: 117-120.
- [6] Chang, Chiang S S. Anomaly detection and classification for hyperspectral imagery[J]. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 2002, 40(6): 1314-1325.
- [7] Harsanyi J C, Farrand W H, Chang C I. Detection of subpixel signatures in hyperspectral image sequences[C]//Proceedings of the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. 1994: 236-247.
- [8] Hsueh M, Chang C I. Adaptive causal anomaly detection for hyperspectral imagery[C]//Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2004. IGARSS'04. Proceedings. 2004 IEEE International. IEEE, 2004, 5: 3222-3224.
- [9] Ren H, Chen C W, Chen H T. Weighted anomaly detection for hyperspectral remotely sensed images[C]//Optics East 2005. International Society for Optics and Photonics, 2005: 599507-599507-6.
- [10] 蒲晓丰, 雷武虎, 黄涛, 等. 基于稳健背景子空间的高光谱图像异常检测[J]. 光子学报, 2010, 39(12): 2224-2228.
- [11] 赵春晖, 李杰, 梅锋. 核加权 RX 高光谱图像异常检测算法[J]. 红外与毫米波学报, 2010, 29(5): 378-382.
- [12] 史振威, 吴俊, 杨硕. RX 及其变种在高光谱图像中的异常检测[J]. 红外与激光工程, 2012, 41(3): 796-802.
- [13] Kwon H, Nasrabadi N M. Kernel RX-algorithm: a nonlinear anomaly detector for hyperspectral imagery[J]. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 2005, 43(2): 388-397.
- [14] 李智勇, 郁文贤, 赵和鹏. 迭代误差分析方法在高光谱异常检测中的应用[J]. 系统工程与电子技术, 2008, 30(12): 2340-2344.
- [15] 寻丽娜, 方勇华, 李新. 高光谱图像中基于端元提取的小目标检测算法[J]. 光学学报, 2007, 27(7): 1178-1182.
- [16] 赵春晖, 王楠楠. 基于背景抑制及顶点成分分析的高光谱异常小目标检测[J]. 应用科技, 2009, 36(9): 11-14.
- [17] Wang L, Li Z, Sun J, et al. Anomaly detection algorithm for hyperspectral images based on background endmember extraction and kernel RX algorithm[C]//Computer Application and System Modeling (ICCSM), 2010 International Conference on. IEEE, 2010, 13: V13-288-V13-291.
- [18] Ashton E A, Schaum A. Algorithms for the Detection of Sub-Pixel Targets in Multispectral Imagery[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1998, 64(7): 723-731.
- [19] Ren H, Chen C W, Chen H T. Weighted anomaly detection for hyperspectral remotely sensed images[C]//Optics East 2005. International Society for Optics and Photonics, 2005: 599507-599507-6.
- [20] Stein D W J, Beaven S G, Hoff L E, et al. Anomaly detection from hyperspectral imagery[J]. Signal Processing Magazine, IEEE, 2002, 19(1): 58-69.
- [21] Banerjee A, Burlina P, Diehl C. A support vector method for anomaly detection in hyperspectral imagery[J]. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 2006, 44(8): 2282-2291.
- [22] Tax D M J, Duin R P W. Data domain description using support vectors[C]//ESANN. 1999, 99: 251-256.
- [23] Schölkopf B, Platt J C, Shawe-Taylor J, et al. Estimating the support of a high-dimensional distribution[J]. Neural computation, 2001, 13(7): 1443-1471.