

文章编号:1001-9014(2006)02-0157-04

一种用于光谱图像的基于邻域背景检测的矢量滤波器

马艳华, 王建宇, 马德敏, 舒嵘

(中国科学院上海技术物理研究所 航空遥感试验室, 上海 200083)

摘要:提出了一种通用性强的非线性矢量数字滤波器——基于邻域背景统计的矢量滤波器,该滤波器既可用于光谱图像又可用于灰度图像,具有腐蚀小面积奇异像元的作用,可以消除图像噪声和光谱散点,同时保持原有的光谱信息不变,此外还对图像边缘有一定的锐化作用.文章设计了该滤波器的一种简化实现算法,并给出了航空高光谱图像和彩色图像的处理实例,实验结果显示该滤波器滤波效果良好,对光谱图像的噪声消除和边缘检测都有很大帮助.

关键词:非线性滤波器;矢量滤波器;背景检测;光谱图像

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A

NEW VECTOR FILTER BASED ON BACKGROUND DETECTION USED IN SPECTRAL IMAGES

MA Yan-Hua, WANG Jian-Yu, MA De-Min, SHU Rong

(The Airborne Remote Sensing Lab, Shanghai Institute of Technical Physics, CAS, Shanghai 200083, China)

Abstract: A kind of universal nonlinear vector filter, i. e., a vector filter based on neighbour-background-detection, was presented. The filter can be used not only in gray images, but also in spectral images, and it can keep the spectral information unchanged during erasing noise and small areas of odd spectral. At the same time it can sharpen the edge of the images in some extension. A practicable algorithm was designed to realize the filter. The experiments on two real remote sensing images show that the filter is helpful for the edge detecting and noise erasing.

Key words: nonlinear filter; vector filter; background detection; spectral image

引言

成像光谱技术是现代空间对地遥感技术的重要组成部分.光谱图像是同时记录了多个波段的光强信息的三维数据——有 2 个空间维和 1 个光谱维,可以通过分析像元的光谱特性,获得该像元对应地物的类型或成分的信息.近几年进入应用领域的高光谱图像,具有波段带宽窄(一般 $< 10\text{nm}$)、波段多(几十到几百)、波段连续的特点,可以得到地物光谱曲线,极大增强了利用光谱对地物进行细致分类的能力,但同时也给图像处理带来挑战.

高光谱图像由于波段的带宽很窄,能量微弱,因此信噪比较小;地面脚印点较大,光谱混合现象突出,这些都给光谱分析造成困难,如分类精度低,分类图包含大量散点等^[1].在光谱图像分类前对数据进行滤波,滤除地面小尺寸光谱奇异点或噪声,将有利

于提高分类效果.

用于消除非周期噪声的滤波器种类很多,其中非线性滤波器因不模糊空间信息、考虑了像元间的关系而具有良好的性能,如排序滤波器(包括排序统计滤波器、加权排序统计滤波器、自适应中值滤波器)、形态学滤波器等^[2],这些滤波器往往只能用于灰度图像.用于光谱图像则需要引入矢量滤波器的概念,如常用的矢量中值滤波器(矢量加权中值滤波器)、矢量方向滤波器、距离-方向滤波器等,这些滤波器具有很好的滤除散点奇异光谱的作用^[3].

本文提出了一种基于局部背景统计的矢量滤波器,并设计了这种滤波器的简化实现算法.该算法非常接近矢量中值滤波器,但是比矢量中值滤波器有更加明确的物理意义,并且具有锐化图像边缘的作用.作者用实际高光谱图像和真彩色遥感图像进行了滤波试验,并和矢量中值滤波器进行了比较,结果

收稿日期:2005-02-04,修回日期:2005-10-18

基金项目:国家 863 计划(2001AA131090),上海市科委计划(045115019)资助项目

作者简介:马艳华(1970-),女,山东济南人,博士研究生,主要从事航空高光谱图像预处理与处理技术的研究.

Received date: 2005-02-04, revised date: 2005-10-18

表明该算法对光谱图像的分类、边缘检测具有良好的辅助作用。

1 基于局部背景统计的向量滤波器原理

1 个三维光谱图像可表示为 1 个二维矢量矩阵 I

$$I = [I_{i,j}], 0 < i < M, 0 < j < N \quad (1)$$

其中, M 为图像每行像元数, N 为图像行数, 黑体字母 $I_{i,j}$ 表示一个图像像元 i, j 的光谱矢量: $I = [I_1, I_2, \dots, I_B]$, B 为光谱图像的波段数。

在光谱图像中, 随机噪声或地面小尺寸地物的光谱往往和邻域大多数像元不同, 本文在此统一称为局部奇异光谱; 我们称局部范围内出现概率最大的光谱向量为局部背景光谱, 非背景光谱就有可能为奇异光谱或边缘, 用背景光谱取代奇异光谱, 就实现了去除随机噪声或地面小尺寸地物的目的。在这个过程中, 没有引入邻域范围内不存在的新光谱。

为此需要首先定义邻域的结构 (Structure element) S 。邻域结构的定义同形态学的结构元素相同, 一般定义成正方形或圆形, 图 1 为 3×3 的正方形和圆形的邻域结构, 0 表示非邻域像元, 1 表示有效邻域像元, 可表示为:

$$S = [s_{u,v}], s_{u,v} = 0, 1, u = -1, 0, 1, v = -1, 0, 1 \quad (2)$$

同理可根据需要采用 $5 \times 5, 7 \times 7, \dots$ 等邻域结构。

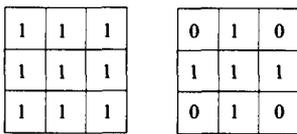


图 1 邻域结构
Fig. 1 Neighbour structure

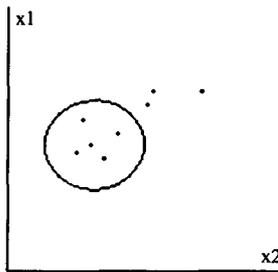


图 2 背景光谱聚类
Fig. 2 Neighbour spectral cluster

邻域结构在整个图像范围内滑动, 在每个像元的邻域范围内求解背景光谱矢量 B_c , 然后用求得的背景光谱 B_c 取代邻域结构的中心像元的光谱 $P_{i,j}$, 实现整个图像的滤波。由该滤波器的原理可见, 该算法实质是腐蚀局部小概率光谱, 保存局部大概率光谱的过程, 因此图像中的奇异光谱的空间面积小于邻域结构时, 该地物被消除。

2 简化实现算法

求解背景光谱矢量是该算法的核心, 其成败将影响光谱信息的准确性。首先明确局部范围内出现概率最大的光谱的定义, 如图 2 所示, 出现概率最大的光谱指经聚类分析, 模式特征点最密集数量最大的类的中心点光谱。根据该定义可以设计多种聚类求解方法, 但是该算法采用滑动窗, 太复杂的聚类方法容易增大计算量, 又因为邻域结构内像元数较少, 因此推荐采用近似计算方法。本文设计了一种效果良好的简化算法。

首先, 将背景光谱的定义进行简化, 模式特征点最密集数量最大的类的中心点可以简化为 si 个特征点分布最密集的区域, 进一步简化为距 $si - 1$ 个特征点距离和最小的点, 如图 2 所示, 这样的简化将距离分散的点和像元数量较少的类排除, 符合本文前述对背景像元的定义, 从而得到求解邻域背景像元的算法:

设邻域结构中有 sn 个非零元素, 求出这些元素对应的光谱矢量两两间的欧氏距离, 组成距离矩阵, 矩阵的每一个向量包含了邻域结构中的一个像元和所有其他邻域像元的距离, 对该矩阵的每一个向量的分量由小到大排序并求前 si 个距离的和, 该距离和的最小值为 d_{BC} , 其所在的像素就是背景光谱所在的位置。式中 $order()$ 表示由小到大排序, $\|$ 表示求矢量之间的欧氏距离, I 为一个像元矢量, 其下标表示在邻域结构内的序号。

$$d_{i,j} = \| I_i - I_j \| ,$$

$$d_{BC} = \min \begin{bmatrix} \sum_1^{si} order(d_{1,2} \quad d_{1,3} \quad \dots \quad d_{1,sn}) \\ \sum_1^{si} order(d_{2,1} \quad d_{2,3} \quad \dots \quad d_{2,sn}) \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ \sum_1^{si} order(d_{sn,1} \quad d_{sn,2} \quad \dots \quad d_{sn,sn-1}) \end{bmatrix} , \quad (3)$$

其中, si 一般可设为邻域像元个数的一半, 即 $(sn - 1) / 2$ 。

3 与矢量中值滤波器的比较

上文根据本文所提出的矢量滤波器设计思想,成功地实现了一个性能良好的简化的基于局部背景统计的矢量滤波器.非常有趣的是,作者发现该滤波器的实现和矢量中值滤波器的实现算法^[4]非常接近:

$$d_{median} = \min \begin{bmatrix} \sum (d_{1,2} \quad d_{1,3} \quad \cdots \quad d_{1,sn}) \\ \sum (d_{2,1} \quad d_{2,3} \quad \cdots \quad d_{2,sn}) \\ \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \\ \sum (d_{sn,1} \quad d_{1,2} \quad \cdots \quad d_{sn,sn-1}) \end{bmatrix} \quad (4)$$

差别仅在于矢量中值滤波器求每个像元距其他所有邻域像元的距离和的最小值 d_{median} ,来作为 **BG** (在这里称为中值光谱,不是背景光谱),而不是其中最小的 si 个.那么这一点差别带来了什么?我们可以分别在一维空间(见图3)和聚类空间(图4)内直观分析其原理和滤波效果的差别.

图3中粗线是原始值,其中有3种类型的边缘,A为孤立脉冲,B为低通边缘,C为较锐利的阶跃边缘,对于A和C,两者的滤波效果是相同的——孤立的奇异光谱被滤除,阶跃边缘得到保持,而对低通边缘,中值滤波(图中虚线)将保持原始值基本不变,图中细线则是本文滤波器的滤波结果,可见低通边缘得到锐化.

在特征点空间中也可以解释这种差别:中值滤波器选择距所有点距离和最小的点,这个点一般在特征点分布区域接近中央的地方,也就是圆圈中的点,而本文设计的滤波器选数量最大的类的接近中央的部分,也就是矩形中的点.

在高光谱图像中混合像元在不同地物的边界处是不可避免的,图3^[5]中低通边缘上的点往往就是边缘两边光谱的混合光谱,经过本文设计的滤波器滤波后,部分混合光谱得到消除.从图4也可以看出中值滤波器比本文设计的滤波器更容易选择混合像

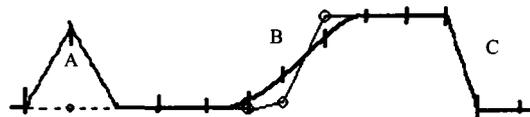


图3 中值滤波器与基于背景统计的滤波器的滤波效果差别

Fig.3 The difference between the median filter and the neighbour-background-spectral-detection filter introduced in this article

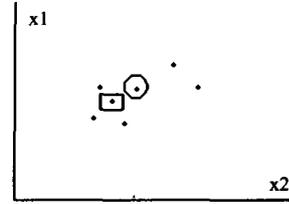


图4 在特征点空间的不同

Fig.4 The difference in characteristic space

元,因此本文滤波器在高光谱图像的边缘性能上更优,同时具有更明确的物理意义,更具普遍性.

4 试验结果

作者采用了2幅遥感图像来验证本文的结论,一幅为彩色数字航空摄影相片,一幅为124波段的高光谱图像.

图5是经过辐射校正后的124波段高光谱图像,图6和图7分别为 3×3 和 5×5 正方形邻域结构滤波的结果,滤波后的图像中的小尺寸地物被腐蚀,光谱分布更集中,不同尺度的细节被消除.

图8为彩色数字航空影像滤波前后的非监督分类比较,很明显,原始影像中的大量散点被滤除.

为了验证中值滤波器和本文滤波器的边缘性能,对两种图像滤波后进行了边缘检测.光谱图像边缘检测的算法采用了基于欧氏距离的 sobel 算子.图9和图10分别是高光谱图像和彩色图像的边缘检测效果比较,左侧图像边缘为中值矢量滤波梯度图,右侧为本文滤波器的梯度图,两者经过了同样的线性拉伸,后者的边缘更陡峭,动态范围更大.

5 结语

针对光谱图像,本文提出了一种通用矢量滤波器的设计思想,并设计了简化实现算法,该算法具有腐蚀小面积目标的作用,对散点噪声滤波效果良好,



图5 原始高光谱近真彩色合成图

Fig.5 Hyperspectral image

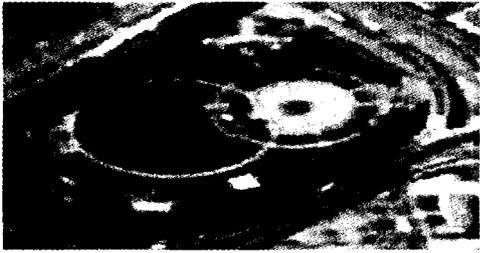


图6 3 * 3 正方形邻域结构滤波
Fig. 6 Filtered with 3 * 3 neighbour



图7 5 * 5 正方形邻域结构滤波
Fig. 7 Filtered with 3 * 3 neighbour

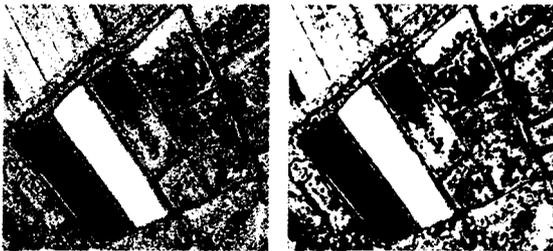


图8 未经滤波与经 5 * 5 方邻域(结构)单元滤波后的分类比较
Fig. 8 The auto classification results before (left) and after (right) being filtered

并在一定程度上锐化边缘,是一种比中值矢量滤波器性能更为优良的滤波器.其运算量和大多数非线性滤波器一样,相对较大,和中值矢量滤波器运算量相近.

REFERENCES

[1] GENG Xiu-Rui, ZHANG Xia, CENG Zheng-Chao, et al. Classification algorithm based on spatial continuity for hy-

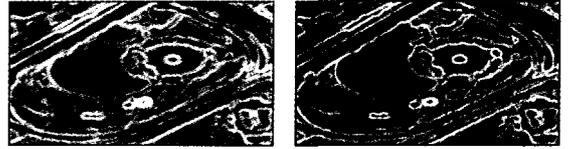


图9 高光谱图像矢量中值滤波后的边缘与本文的矢量滤波后的边缘比较
Fig. 9 The hyperspectral image edge after being filtered with median filter (left) and with the filter introduced in this article (right)

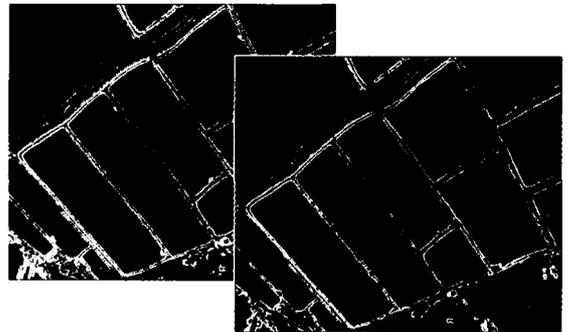


图10 彩色航空影像矢量中值滤波后的边缘与本文的矢量滤波后的边缘比较
Fig. 10 The aerial RGB image edge after median filter (left) and the filter introduced in this article (right)

perspectral image [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (耿修瑞,张霞,陈正超,等.一种基于空间连续性的高光谱图像分类方法. *红外与毫米波学报*), 2004, 23 (4): 299—302.

[2] Gonzalez Rafael C, Woods Richard E. *Digital Image Processing-Second Edition* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry (数字图像处理第二版-中译版.北京:电子工业出版社), 2003, 3.
[3] Karakos D G, Trahanias P E. Combining vector median and vector directional filters [C]. *Image Processing. Proceedings. IEEE, International Conference Washington D C, USA, 1995, 1(23—26): 171—174.*
[4] Astola J, Haavisto P, Neuvo Y. Vector median filters [J]. *Proc. IEEE*, 1990, 78(4): 678—689.
[5] LIU Hong-Jian, LIU Yun-Cai. Method for image segmentation based on rough sets [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (刘宏建,刘允才.一种基于粗集理论的图像分割方法. *红外与毫米波学报*), 2004, 23(6): 459—464.