

# 基于小波分析的成像光谱图像随机点噪声消除\*

郭小方 王润生

(国土资源部航空物探遥感中心 北京 100083)

成像光谱技术为实现遥感定量分析、识别地物提供了一种重要的有效技术手段,但是成像光谱图像中往往含有严重程度不一的随机点噪声。要优化成像光谱图像质量,提高依据地物光谱特征探测、识别地物地物的有效性和精度,必须将图像中的随机点噪声予以消除或压抑。在分析已有各种随机点噪声消除或压抑方法的基础上,提出了一种基于小波分析理论的成像光谱图像随机点噪声消除方法。对成像光谱图像的试验处理及与邻域平均、中值滤波去噪声处理方法的对比分析结果表明,该方法不仅能高质量地消除图像中的随机点噪声,而且有效地保留了原图像中丰富的细微影纹和边缘信息。

关键词 成像光谱,噪声消除,小波分析

## 1 引言

成像光谱是80年代初发展起来的一种具超光谱分辨率的新型遥感技术,它能在获取地表地物空间展布信息的同时,对每一像元形成一条类似实验室获取的地物光谱曲线,使研究人员可以利用地物光谱特征快速、定量地分析、识别地物类型和确定物质性质。成像光谱技术使遥感技术的发展产生了质的突变,将成为21世纪遥感技术的主流数据源。

但是,成像光谱图像中往往存在较严重的随机点噪声的干扰<sup>[1-4]</sup>,这种随机点噪声严重影响了成像光谱图像地物光谱特征提取和识别的精度,降低了各种遥感定量分析方法技术的有效性。从对成像光谱图像随机点噪声性质的研究来看<sup>[1,2,4]</sup>,成像光谱图像的随机点噪声具加性特征,主要是探测器暗电流、像元内和像元间物质空间分布不均匀性的反映。随着波长和大气吸收强度的增加,图像信噪比急剧降低。一般信噪比较高的谱段为0.5—0.7 μm(水和土壤),0.7—0.9 μm(植被),而信噪比较低的谱段则是近红外和中红外等较长波长区或大气吸收谱带<sup>[1]</sup>。

严重的随机点噪声的干扰使成像光谱图像质量严重退化,而要有效地检测一个光谱诊断吸收特征,噪声的级别应比光谱吸收深度约小一个数量级<sup>[1]</sup>。因此,要优化成像光谱图像质量,有效地提取地物诊

断光谱特征和相应的光谱特征指数,必须有效地消除或压抑图像中的随机点噪声。

现有的遥感图像随机噪声消除或压抑方法大致可以划分为两类:一类是频率域方法,主要通过图像进行付氏变换以后,采用交互方式确定随机点噪声频率范围,然后选取适当的频域带通滤波器进行滤波处理,经付氏反变换后获得去噪声图像<sup>[3,5]</sup>。这种处理方法对周期性特征较强的随机点噪声不失为一种较有效的方法,但在处理过程中,由于难于区分与随机点噪声频率相近的图像信息,以至往往造成大量图像信息的损失。近来发展的基于门限的小波去噪声处理方法亦存在同样的图像信息损失问题。另一类方法是空间域方法,主要采用各种图像平滑模板对图像进行卷积处理,以达到压抑或消除噪声的目的,如邻域平均、中值滤波等都属于这一类方法。这类方法在消除或压抑随机点噪声的同时,往往使图像变模糊,损失了图像中大量的细微影纹和边缘特征信息。

如何有效地消除或压抑成像光谱图像的随机点噪声,而且尽可能地减少图像信息的损失是实际应用中急需解决的关键技术问题。在基于小波分析理论的基础上提出了消除图像随机点噪声的RRNW方法(Removal of Random Noise Based Wavelet Analysis)。对成像光谱图像的处理试验与邻域平均、中值滤波方法的对比分析结果表明,RRNW方法不仅能高质量地消除图像中的随机点噪声,而且能有效地保留原图像中大量的细微影纹和边缘信息。

\* 原地质矿产部“九五”重点科技项目,成像光谱方法技术开发应用研究。

收稿日期:1998-04-17;收到修改稿日期:1999-04-10

## 2 二进小波变换的快速算法

目前已有大量介绍小波分析理论的文献,此处只简单介绍一下二进小波变换的快速算法<sup>[6]</sup>。在实际应用中,一般采用下面的方式定义小波变换:

$$W_f(x) = f^* \psi_s(x) = \frac{1}{s} \int_R f(t) \psi\left(\frac{x-t}{s}\right) dt \quad (1)$$

在大多数情况下,小波模型不要求使用连续的尺度  $S$ ,为使小波变换能够快速数字化实现,假定尺度参数按序列  $[2^j]_{j \in Z}$  取值,则形成了二进小波变换。

一个小波函数就是一个均值为 0 的函数  $\psi(x)$ , 令:

$$\psi_{2^j}(x) = \frac{1}{2^j} \psi\left(\frac{x}{2^j}\right) \quad (2)$$

则  $f(x)$  在尺度  $2^j$  的位置  $x$  的二进小波变换定义为

$$W_{2^j} f(x) = f^* \psi_{2^j}(x) \quad (3)$$

基于多分辨率分析的框架下, Mallat 在塔式算法的基础上建立了对离散信号进行小波变换的快速算法。

对于一维离散信号,小波  $\psi(x)$  由  $H, G, K$  3 个滤波器决定。定义  $H_p, G_p, K_p$  为滤波器  $H, G, K$  在系数之间插入  $2^p - 1$  个零点而生成的离散滤波器,它们的传输函数分别是  $H(2^p\omega), G(2^p\omega), K(2^p\omega)$ , 定义  $\hat{H}_p$  为传输函数是  $\overline{H(2^p\omega)}$  的滤波器。

以下则是计算一维离散信号  $S_1^d f$  在各个尺度  $2^j$  下的离散小波变换快速算法。将  $S_2^d f$  分解为  $S_{2^j}^d f$  和  $W_{2^j}^d f$ 。

```

j = 0
while (j < L) {
    W_{2^{j+1}}^d f = \frac{1}{\lambda_{j+1}} S_{2^j}^d f * G_j
    S_{2^{j+1}}^d f = S_{2^j}^d f * H
    j = j + 1
}
end of while

```

从离散二进小波系数重建  $S_1^d f$ , 在每个尺度  $2^j$ , 从  $S_{2^j}^d f$  和  $W_{2^j}^d f$  重构  $S_{2^{j-1}}^d f$

```

j = L
while(j > 0) {
    S_{2^{j-1}}^d f = \lambda_j W_{2^j}^d f * K_{j-1} + S_{2^j}^d f * \hat{H}_{j-1}
    j = j - 1
}
end of while

```

为了方便,在此仅列出一维离散信号的小波快

速变换和反变换算法,其可以很方便地推广到二维和多维的形式。在小波变换过程中,对于有限的离散信号存在边界问题,可采用对称周期化技术防止边界的不连续性。

## 3 随机点噪声的消除方法

小波分析的最大特点在于具有极敏感的变焦特征,它能形成一个可调时频窗,在低频段采用高的频率分辨率和低的时间分辨率,而在高频段则采用低的频率分辨率和高的时间分辨率。从而在不同的分辨率下,反映出不同的图像结构特征,使其在处理突变信号方面具有特殊的能力<sup>[6]</sup>。根据小波分析的这一特点,结合图像空间域数据处理方法,形成了以下基于小波分析的成像光谱图像随机点噪声消除方法 RRNW。

图像经小波变换之后,形成 LL, HL, LH, HH 四幅小波图像,它们分别反映了原图像中不同频率、不同方向的信息特征, LL 对应的是低频模拟分量, HL 反映的是垂直边缘和细微影纹信息, LH 反映的是水平方向边缘和细微影纹信息, HH 则主要对应的是  $45^\circ, 135^\circ$  方向上的高频分量,在去噪声处理中,根据所需去除噪声的尺度选择具相应尺度的反映边缘和细微影纹信息的小波图像进行处理。

成像光谱图像中的随机点噪声空间尺度一般为一个像元,对图像进行尺度为 1 的小波变换之后,小波图像中主要反映的则是原图像中的随机点噪声信息、细微影纹和边缘突变信息。一般应用小波变换消除点噪声处理中将反映高频信息的小波分量全部置零,这样处理将导致原图像中丰富的细微影纹和边缘信息的大量损失。为了避免原图像中丰富的细微影纹和边缘信息的损失,必须将随机点噪声信息与图像中丰富的细微影纹和边缘信息有效地分离。

因此,RRNW 方法在对图像进行小波变换之后,对 HL, LH, HH 小波图像采用空间域线性体和边缘检测方法进行处理,提取图像中所反映的图像细微影纹和边缘信息,以达到区分随机点噪声、细微影纹和边缘信息的目的。

目前线性体和边缘检测的方法可供选择的很多,如各种基于线性或非线性算子的模板卷积或匹配方法,提取不同方向的影纹或边缘的全局性算子以及基于 Hough 变换的线性体和边缘检测方法等。

经过对小波图像进行细微影纹和边缘特征检测处理之后,图像中较明显的影纹和边缘特征信息基

本可以确定,但仍会有一些量的微弱影纹和边缘特征信息未能提取出来。为了有效消除随机点噪声和保留原图像中丰富的细微影纹和边缘信息,结合提取的影纹和边缘特征图像对小波图像采用一定尺度的模板进行条件平滑处理。即对属于细微影纹、边缘区域和非细微影纹、边缘区域的点噪声,选用不同尺度的平滑模板和方法分别进行消除随机点噪声的处理。处理中必须将亮、暗影纹和边缘特征区分开,以尽量避免恢复图像中边缘产生模糊现象。处理中所采用的平滑模板尺度和平滑处理方法对随机噪声的消除效果和保持细微影纹和边缘特征的锐化程度极为相关。一般在非细微影纹、边缘区域采用窗口平滑处理,而在细微影纹、边缘区域则采用定向平滑处理可取得较理想的结果。

最后将经过处理后的小波图像替代原小波图像进行小波反变换处理,即得到有效去除随机点噪声并良好保留细微影纹和边缘特征的图像。

在采用 RRNW 方法去除成像光谱图像随机点噪声时,必须先对图像进行有效的辐射畸变校正。

## 4 试验结果分析

为了检验提出的 RRNW 消除成像光谱图像随机点噪声方法的有效性,利用国土资源部航空物探遥感中心于 1997 年 5 月在河北张家口地区利用中国科学院上海技术物理研究所研制的 64 通道成像光谱仪获取的成像光谱图像进行了处理试验。该图像不仅含有较严重的、空间尺度为一个像元的随机点噪声,而且含有由探测器电子元件引起的、具较大空间尺度的周期性点噪声。图版 I 图 1 为第 40 波段经边缘辐射畸变校正后的图像,其波长范围为 1.702—1.733  $\mu\text{m}$ 。

图版 I 图 2、图 3 分别为采用  $3 \times 3$  模板对图版 I 图 1 进行邻域平均和中值滤波去噪声处理后的结果。从两幅图像中明显看出,邻域平均和中值滤波对于图像的随机点噪声都具有较明显的消除和压抑作用,但都不同程度地造成了图像中细微影纹特征的丢失和边缘特征的模糊。尤其邻域平均方法处理后的图像的整体影像特征变得极为模糊,中值滤波方法虽同样损失了大量的细微影纹特征,但边缘特征信息的保留比邻域平均方法要好。图版 I 图 4 为提出的 RRNW 方法对图版 I 图 1 进行去噪声处理后的结果图像,从图像中明显看出,RRNW 方法不仅高质量地消除了原始图像中的随机点噪声,而且有

效地保留了原始图像中丰富的影纹和边缘特征信息。图中 A(下方)、B(下方)两处是由梯田和冲沟形成的影纹特征,图版 I 图 4 中的这两处均可看出明显的影纹特征,而图版 I 图 2 和图 3 中这两处的影纹特征已基本丢失,影像特征模糊,已无法分辨原有的反映梯田和冲沟的细微影纹特征。

方差是反映数据动态变化程度的一种有效测度,表 1 列出了图版 I 图 5 中从试验图像中选取的 5 个  $10 \times 10$  子图的统计均方差分析结果,图版 I 图 5 中的 A, B, C 3 个子图为试验图像中光谱、物质组分和地貌形态都较为平滑和均匀的地物分布区, C, D 两个子图为试验图像中含反映地貌形态的细微影纹特征的图像。从统计分析的结果可以看出,在光谱、物质组分和地貌形态都较为平滑和均匀的地物分布区, 3 种去噪声数据处理方法具极为相近的图像处理结果,而在含细微影纹特征子图中,提出的 RRNW 消除图像随机点噪声的数据处理方法所得结果图像的统计均方差明显偏大,反映其保留了原图像中极为丰富的细微影纹特征信息。

表 1 子图均方差比较

Table 1 Standard deviation of sub-image for comparison

子图 方法	A	B	C	D	E
原始图像	19.2291	18.0959	12.2356	30.1213	24.7492
RRNW	6.0087	4.4673	5.6442	19.4427	13.9430
邻域均值	4.7951	4.7522	5.6368	11.6945	8.6462
中值滤波	7.5829	5.8447	6.5924	12.3522	9.7563

## 5 结 语

遥感图像随机点噪声的消除是一个非常复杂的问题,提出的 RRNW 去噪声数据处理方法与传统的去噪声数据处理方法相比,在消除随机点噪声的同时,在保留图像细微影纹和边缘信息方面具有明显的优点。对大量的成像光谱数据进行处理后的分析结果表明,RRNW 方法对优化成像光谱数据质量,提高基于光谱特征提取的成像光谱定量分析的有效性,提高精度具有良好的效果。此处以消除空间尺度为一个像元的成像光谱图像中的随机点噪声为主要目的介绍的 RRNW 去噪声数据处理方法很易于推广应用于消除图像中具较大空间尺度的随机点噪声。

## 参 考 文 献 (References)

- 1 Paul J. Curran, Jennifer L. Dungan. Estimation of Signal-to-Noise: A

- New Procedure Applied to AVIRIS Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1989, 27(5): 620.
- 2 Bo-Cai Gao. An Operational Method for Estimating Signal to Noise Ratios from Data Acquired with Imaging Spectrometers. *Remote Sens. Environ.* 1993, 43: 23—33.
  - 3 A.M. Denniss, D.A. Rothery *et al.* Lithological Discrimination Using Landsat and JERS-1 SWIR Data in the Oman Ophiolite. The Tenth Thematic Conference on Geological Remote Sensing. San Antonio, Texas, 9-12 May 1994, II -97.
  - 4 Freek van der Meer. *Imaging Spectrometry and the Ronda Peridotites*. Grafisch Service Centrum van de. Netherlands, 1995.
  - 5 Feng Maosen. *Remote Sensing Digital Image Processing*. Beijing: Geological Publishing House, 1992. [丰茂森. 遥感图像数字处理. 北京:地质出版社, 1992.]
  - 6 Xu Peixia, Sun Gongxian. *Wavelet Analysis and Applications*. Hefei: Publishing House of University of Science and Technology of China, 1996. [徐佩霞, 孙功宪, 小波分析与应用实例, 中国科学技术大学出版社, 1996.]

### 作 者 简 介

郭小方,男,1963年10月生,1984年获浙江大学遥感专业学士学位,1998年获北京大学地图学与遥感专业博士学位,现为国土资源部航空物探遥感中心高级工程师。长期从事地物光谱特征分析、遥感图像处理、信息提取及模式识别方法技术研究,已发表10多篇学术论文。

## Removal of Random Noises of Imaging Spectrometer Data Based on Wavelet Analysis

GUO Xiao-Fang WANG Run-Sheng

(The Center For Remote Seasing in Geology, Beijing 100083)

**Abstract** Imaging Spectrometer is an important tool for quantitative analysis and discrimination of ground objects. The images of Imaging Spectrometer contain random noises to varying degrees of severity in all channels. To optimize the use of the images of an Imaging Spectrometer and to improve the effectiveness and accuracy of discriminating ground objects according to spectral absorption features, removal of random noises of images is necessary. Based on the analysis of previous methods of removing random noises of images, this paper develops a new method of removing random noises from Imaging Spectrometer images based on wavelet analysis (RRNW). Experimental results show that the performance of this method is better than neighbor average and median filter in removing random noises and reserving richer fine textures and edge information.

**Key words** Imaging Spectrometer, Removal of random noises, Wavelet analysis





图 1 原始含噪声图像



图 2 邻域平均去噪声后图像



图 3 中值滤波去噪声后图像



图 4 RRNW 方法去噪声后图像



图 5 试验结果分析比较 (子区图像)