

文章编号: 1007-4619 (2000) 04-0284-06

# OMIS 成像光谱数据信噪比的估算

陈秋林, 薛永祺

(中国科学院 上海技术物理研究所, 上海 200083)

**摘要:** 实用型模块化成像光谱仪(Operational Modular Imaging Spectrometer OMIS)是一种带有稳定平台的新机型载传感器。具有 128 波段,覆盖了从可见光到热红外的光谱范围,其应用范围有地质、农业、林业和海洋等领域。在分析 OMIS 数据中的噪声特性之后,指出 OMIS 系统中各通道的噪声是和信号无关的加性噪声,噪声自身并不相关。并且对比分析了现有的 4 种信噪比估算方法。指出基于空间和光谱维去相关的方法比较可靠,并给出实际的计算结果。最后指出在大气订正后,图像数据的信噪比能充分反映仪器的信噪比性能。

**关键词:** 实用模块化成像光谱仪; 信噪比; 地学统计量方法; 半方差函数; 去相关

**中图分类号:** TP751.1      **文献标识码:** A

## 1 引言

实用型模块化成像光谱仪(Operational Modular Imaging Spectrometer OMS)是一种带有稳定平台的新机型载传感器。具有 128 波段,覆盖了从可见光到热红外的光谱范围。其应用范围有地质、农业、林业和海洋等领域。这些应用主要利用成像光谱数据的高空间分辨率和高光谱分辨率。为了方便数据的广泛应用和仪器的优化改进,对传感器获取的成像光谱数据要有定量的质量评价。各通道数据的信噪比是一个非常重要的评价量,该度量对于用户来说是必需的,因为噪声的大小决定了识别地物光谱中吸收特征所能达到的精度,以及地物识别的精度。比如分析者想估计植被中的生物量,他必然要寻找包括 1.69  $\mu\text{m}$ (木质素)、2.10  $\mu\text{m}$ (淀粉)和 2.18  $\mu\text{m}$ (蛋白质)等位置的吸收特征。而要识别一个位置的吸收特征,要求噪声的幅度必须小于该吸收峰的深度<sup>[1]</sup>。所以噪声大小对于判断某个吸收特征的识别是否可能是必需的。仅仅只有噪声信息还不够,因为同样水平的噪声在信号弱时对数据质量的影响要比信号强时大,所以必须考虑信噪比。

本文在分析 OMIS 数据中的噪声特性之后,对

比分析了现有的 4 种信噪比估算方法。指出基于空间和光谱维去相关的方法比较可靠,并给出实际的计算结果。通过分析指出,在大气订正后,遥感图像数据的信噪比能充分反映遥感仪器的信噪比性能。

## 2 OMIS 数据噪声特性分析

R. E. Roger 在分析 AVIRIS 超光谱数据时指出,对于 AVIRIS 这样复杂的仪器,认为噪声均随机、在像素之间不相关的假设并非完全成立。特别是可见光波段噪声的变化非常复杂。因为噪声和探测器及电子线路有关,所以对于具体的不同的仪器要具体分析。

首先对 OMIS 系统中的噪声特性进行分析。因为噪声总是和信号混在一块,所以我们主要分析噪声和信号的相关性以及噪声自身的相关性。

### 2.1 噪声和信号的相关性

噪声主要有 2 大类:加性噪声和乘性噪声。加性噪声的大小和信号大小无关,而乘性噪声则正好相反。D. S. Lowe 指出 AVIRIS 信号中的噪声主要是加性噪声而不是乘性噪声。下面以 OMIS 图像的局部方差和局部均值之间的关系来验证 OMIS 信号中

收稿日期: 1999-08-16; 修订日期: 2000-01-20

基金项目: 863 计划资助。China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

作者简介: 陈秋林(1972—),男,中国科学院上海技术物理研究所博士研究生。1994年毕业于华东师范大学物理系物理学专业,学士。1997年毕业于华东师范大学电子系无线电电子学专业,硕士。主要从事图像处理、模式识别、遥感信息提取等方面的研究。已发表论文 3 篇。

噪声也主要是加性噪声而不是乘性噪声。将图像分成  $4 \times 4$  的相对均匀的区域, 计算各小区域中的方差和均值, 如图 1。可以看出局部均值和方差之间并没有明显的趋势。

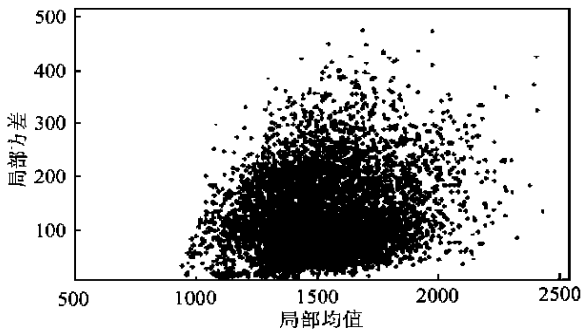


图 1 信号与噪声关系图

Fig. 1 Figure of relation between signal and noise

## 2.2 噪声的相关性

一般普遍认为成像光谱信号中的噪声是不相关的, 有时还假设其满足平稳高斯分布, 但 R. E. Roger<sup>[2]</sup>则认为 AVIRIS 中的噪声在像素之间有一定程度的相关性。

图 2 为 OMIS 数据去掉信号在光谱维上的相关性后的残差图像的相关系数图像, 由此可以看出。OMIS 信号中的噪声自身并不相关。

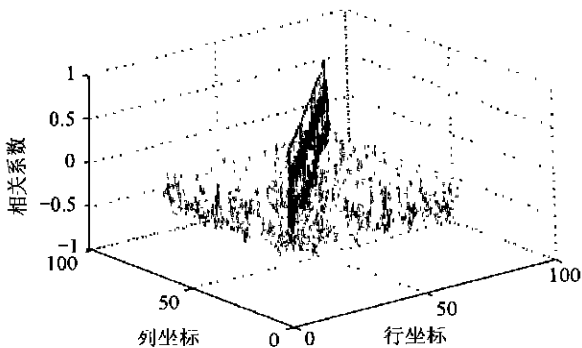


图 2 噪声相关系数

Fig. 2 Correlation coefficient of noise

## 3 各种噪声估计方法的对比分析

### 3.1 方差法

这是一种非常简单和粗糙的方法。从图像中选择一个均匀区域, 计算该区域内的均值和方差。均值和方差之比就是所求的信噪比。该方法的缺陷是

必须从图像中选一均匀的区域, 并且不能太小。这在地面分辨率为 3 m 左右的 OMIS 图像中也不易完全满足。另外以一个子区域内计算得到的信噪比来表征整个图像的信噪比, 这很容易受所选区域内目标的影响。并且不能做到自动化计算。

### 3.2 求地学统计量法

该方法主要用像素值在空间域的变化来度量噪声的大小。像素值的变化可以借助地学中的半方差函数计算。根据定义, 半方差函数为:

$$r(h) = \frac{1}{2} E[z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

$\gamma$  即为半方差函数值。其中  $z$  为一维信号值,  $x_i$  为一维坐标值,  $h$  为滞后程差,  $E$  表示求数学期望值。图 3 为从图像中选择一列计算出来的半方差函数曲线。

假设信号是平稳的, 噪声也是平衡的, 和信号不相关, 也不自相关。并且是加性的噪声。即有:

$$\lim_{h \rightarrow 0} \gamma[h] = \sigma_n^2 \quad (2)$$

其中  $\sigma_n$  为噪声标准差,  $\gamma$  为半方差函数值,  $h$  为滞后程差。具体推导见参考文献[2]。

求地学统计量的方法, 一定程度上是利用了成像光谱数据的空间相关性。它的合理性依赖于以下前提假设:

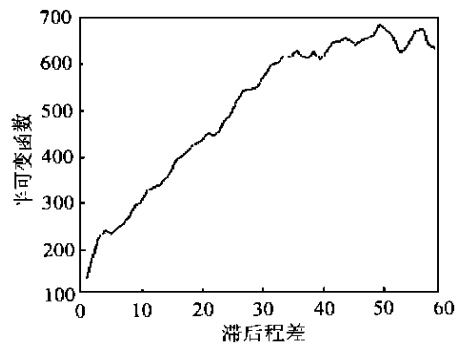


图 3 半可变量函数曲线

Fig. 3 Curve of Semivariance function

- (1) 平衡性, 比如数据中不能具有任何趋向;
- (2) 各向同性, 比如半方差函数必须在各个方向上一致;
- (3) 恒定的空间分辨率;
- (4) 观测场景中不包含随机信号;
- (5) 噪声不随地物空间分布的变化而变化, 也就是说, 半方差函数曲线的斜率的变化不影响其在

$h \rightarrow 0$  时的函数值。

对于 OMIS 数据,严格地说这些条件均不能很好地满足。所以其可靠性只能达到下面介绍的局部方差方法的水平。

### 3.3 局部方差法

该方法的基本思想是由于选择一定大小的均匀区域比较困难。那么把图像分割成  $4 \times 4$ ,  $5 \times 5$  或  $8 \times 8$  的小区域。这些小区域内基本上可以认为是均匀的。分别计算这些区域内的方差作为噪声大小。然后从所有这些小区域中选择一个众数最大的区间作为整个图像的平均噪声值<sup>[3]</sup>。实验表明,该方法对于比较均匀的目标区域效果较好。但噪声估计值随地物的不同差异很大。即方法的健壮性差。

### 3.4 去相关法

成像光谱仪是一个非常复杂的系统,在信号中引入噪声的因素很多。直接从噪声特性着手要估计噪声的大小具有相当的难度。另一方面,成像光谱仪高空间分辨率和高光谱分辨率的特性,加上地物的连续性,使得成像光谱数据在空间和光谱维上均具有很高程度的相关性,尤其是光谱维。去相关的方法是利用这一点,将原始数据中,这种具有高相关

性的信号去掉,余下的当然是噪声了。具体去相关的方法是采用多元线性回归<sup>[4]</sup>。即

$$\hat{x}_{i,j,k} = ax_{i,j,k-1} + bx_{i,j,k+1} + cx_{p,k} + d \quad (3)$$

其中  $\hat{x}$  为图像灰度的线性拟合值,  $x$  为图像灰度值,  $i, j$  为图像二维空间坐标,分别代表行和列方向的坐标值,  $k$  为波段序号。  $a, b, c, d$  为线性回归系数。并且有:

$$x_{p,k} = \begin{cases} x_{i-1,j,k} & i > 1 \\ x_{i,j-1,k} & i = 1, j > 1 \\ \text{无意义} & i = 1, j = 1 \end{cases} \quad (4)$$

去相关后的残差图像为:

$$r_{i,j,k} = x_{i,j,k} - \hat{x}_{i,j,k} \quad (5)$$

其中  $r$  为残差值。  $\hat{x}, x, i, j, k$  的意义同公式(3)。

最后噪声方差为:

$$\sigma_n^2 = \frac{S^2}{(M-4)} \quad (6)$$

其中  $\sigma_n^2$  代表噪声的方差,并且有:

$$S^2 = \sum_1^w \sum_1^h r_{i,j,k}^2 \quad M = w \times h - 1 \quad (7)$$

其中  $w, h$  为图像的宽和高,  $r$  为图像去相关后的残差值。

4 种方法的比较结果见表 1。

表 1 4 种信噪比估算方法性能比较

Table 1 Comparison of character of four available SNR estimation methods

特性 方法	对计算区域的要求	算法自动化程度	地物目标对结果的影响	计算速度
方差法	要求计算区域均匀	要选定均匀区域	受地物目标、计算区域均匀程度的影响较大	快
求地学统计量法	要求计算的扫描行或列均匀	要选定均匀的扫描行或列	受地物目标、计算区域均匀程度的影响较大	最快
局部方差法	要求计算区域的子区域均匀	全自动	受地物目标、计算区域的子区域的均匀程度的影响	较快
去相关法	无要求	全自动	基本不受地物目标、区域均匀程度的影响,稳定可靠性好	较快

## 4 计算结果分析

图 4(a-d)是 4 幅测试图像。图 4(a)和图 4(b)目标比较丰富,其中图 4(b)是以城镇为目标。图 4(c)主要是植被。而图 4(d)则基本上是水体。图 5—图 8 分别是图 4(a-d)用 4 种方法计算出来的信噪比曲线图。

为了检验算法的效果,采用的全部是原始图像。图 4(a)中的第 34, 43, 50 波段均有比较严重的亮纹

噪声,这一点可以从结果曲线图上反映出。图 4(d)的信噪比曲线上可以看出,对于第 32 波段,选择一列求地学统计量的方法和去相关的方法结果正好相反。这是由于该波段有 4 个坏行,求地学统计量的方法计算的半方差函数中在滞后程差为 4 时函数值很小,造成外推到滞后程差为 0 时函数值很大,从而计算出的信噪比很小。而去相关的方法由于坏行数目很少,基本上不影响计算结果。有坏行并不表示噪声大,这一点可以看出,去相关方法比求地学统计量的方法要稳定可靠。这些测试图像均是 1998 年 8

月 OMIS 系统首次试飞时获得的,有的只是从不同航带截取的,成像条件基本一致,从图 5—图 8 也可

以看出,不同目标图像对于去相关方法结果基本相似,这也进一步证明了去相关方法的稳定可靠。

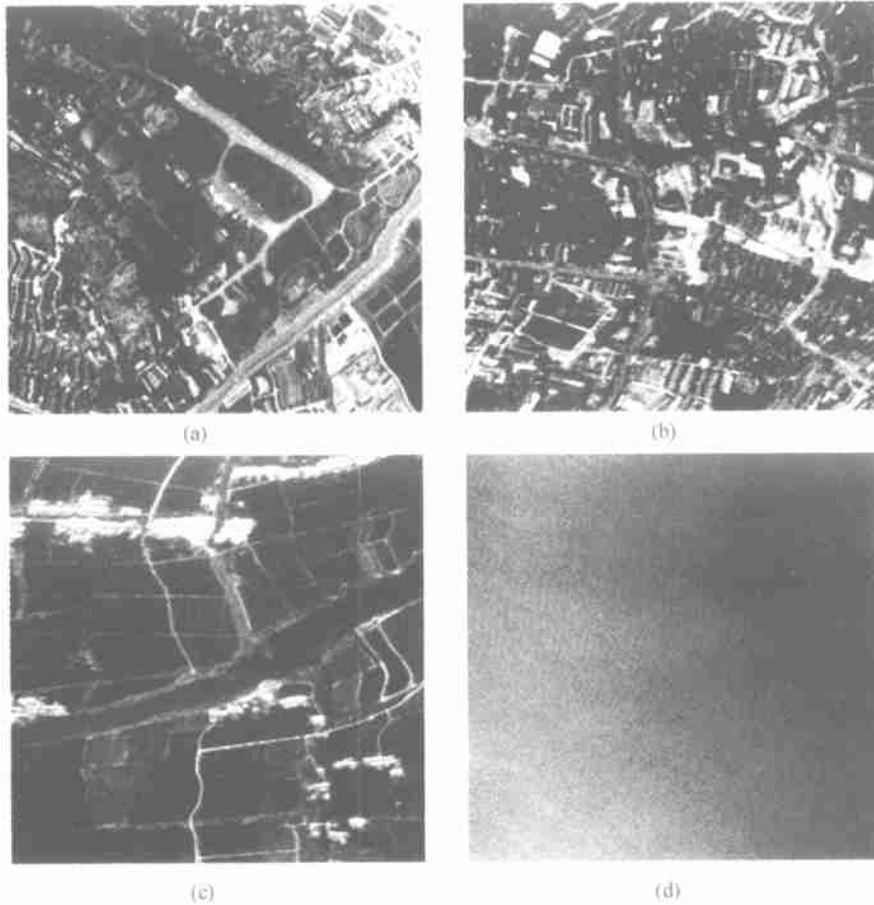


图 4 用于计算信噪比的原始图像(a—d)

Fig. 4 Original image used to test the SNR estimation methods

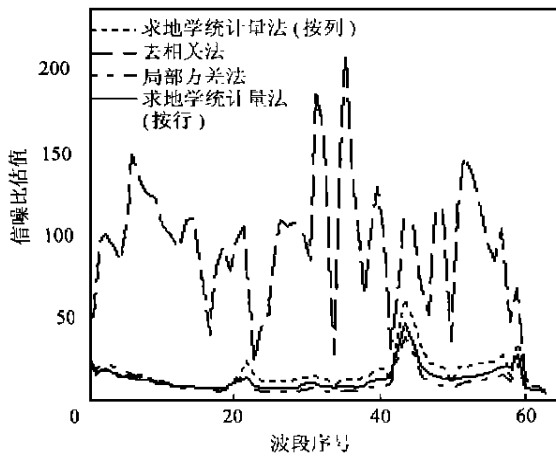


图 5 对图 4(a) 分别用 4 种方法计算得到的信噪比曲线

Fig. 5 SNR curve of Fig. 4(a) estimated by four different methods

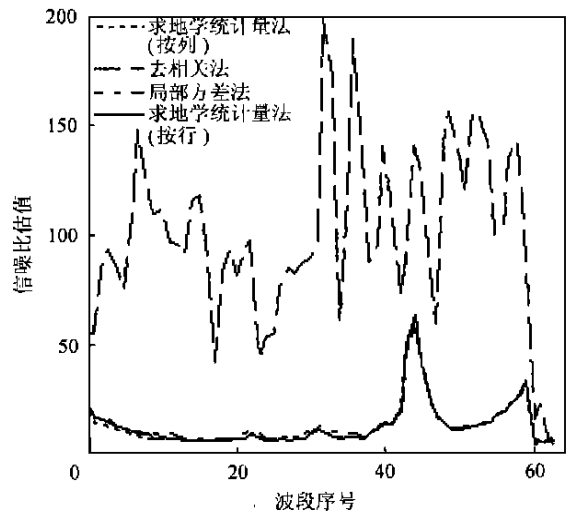


图 6 对图 4(b) 分别用 4 种方法计算得到的信噪比曲线

Fig. 6 SNR curve of Fig. 4(b) estimated by four different methods

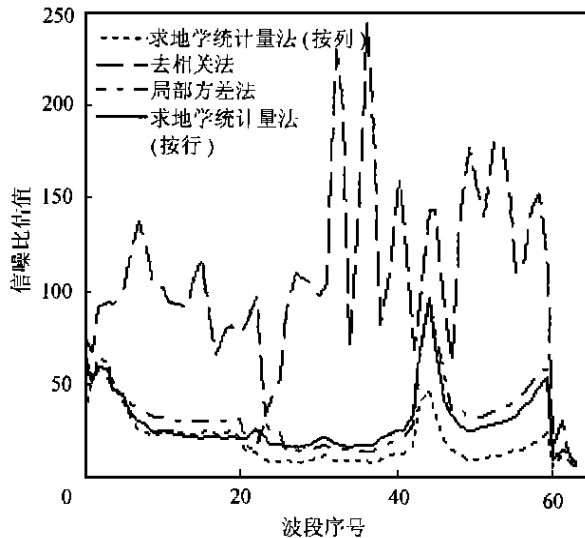


图 7 对图 4(c) 分别用 4 种方法计算得到的信噪比曲线  
Fig. 7 SNR curve of Fig. 4(c) estimated by four different methods

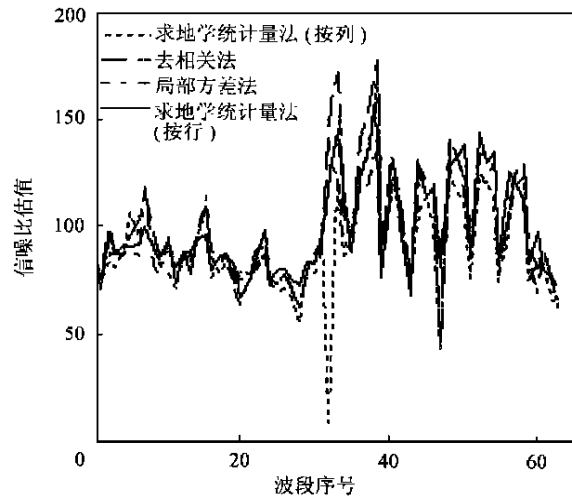


图 8 对图 4(d) 分别用 4 种方法计算得到的信噪比曲线  
Fig. 8 SNR curve of Fig. 4(d) estimated by four different methods

## 5 遥感图像数据信噪比与遥感仪器信噪比的关系

遥感仪器的信噪比是仪器的一个非常重要的性能指标。对于仪器信噪比的测试通常是在实验室内进行的。一般采用白板测试的方法。即用一个均匀

性和稳定性都很好的辐射源(标准灯或积分球的辐射输出)照射到一个镜面性很好的白板反射面上。白板的反射输出直接对准仪器的入射口,记录下仪器输出的数值量。保持入射辐射恒定的条件下,持续测量足够的次数。最后将所有记录下来数据求平均值和均方差。两者的比值即为仪器的信噪比。

遥感图像数据信噪比是遥感仪器所获取数据质量的一个重要评价标准。它主要决定于仪器的性能,同时还和数据获取时的环境条件,以及地物变化的空间频率等因素有一定的关系。数据获取时环境条件的影响可以通过大气订正来消除。本文所采用的方法已经将地物变化的影响降低到很低的程度。这样在大气订正后,图像数据的信噪比性能充分反映遥感仪器的信噪比性能。

## 6 结论与讨论

OMIS 成像光谱仪,作为一种具有 128 波段、瞬时视场为 3 mrad 光谱分辨率为 10 nm 的新型遥感器,系统非常复杂,噪声因素很多,各因素的特性也多种多样。为了估计数据的信噪比,不能直接从噪声特性入手,而应从信号的高相关性着手,运用去相关的方法可靠地估计出各个波段的噪声大小,进而求出信噪比。在大气订正后,OMIS 成像光谱数据的信噪比能充分反映 OMIS 遥感仪器的信噪比性能。

## 参考文献 (References)

- [1] Paul J. Curran, Jennifer L. Dungan. Estimation of Signal-to-Noise: A New Procedure Applied to AVIRIS Data [J]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing*, 1989, 27(5).
- [2] R. E. Roger, J. F. Arnold. Reliably estimating the noise in AVIRIS hyperspectral images [J]. *Int. J. Remote Sensing*, 1996, 17: 1951-1962.
- [3] Bo-Cai Gao. An Operational Method for Estimating Signal to Noise Ratios from Data Acquired with Imaging Spectrometers [J]. *Remote Sensing Environment*, 1993, 43: 23-33.
- [4] L. R. Eklum. Noise estimation in NOAA AVHRR maximum value composite NDVI images [J]. *Int. Remote Sensing*, 1995, 15: 2955-2962.

## Estimation of Signal-Noise-Ratio from Data Acquired with OMIS

CHEN Qiu-lin, XUE Yong-qi

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

**Abstract:** Operational Modular Imaging Spectrometer (OMIS) is a new type of airborne remote sensor. It has 128 spectral bands ranging from visible to thermal infrared wavelength. Its application fields include geography, agriculture, forest and ocean etc. For the convenience of the wide use of OMIS Data and the instrument improvement, quantitative evaluation of OMIS data is indispensable. Signal-Noise-Ratio (SNR) is an important evaluation scale. According to R. E. Roger's view, for a complex instrument such as AVIRIS, it is not reasonable to assume that the noise included is random and not correlative, especially in visible spectral bands. In this paper, through the analysis of the noise characters in OMIS data the authors point out that the noise mixed in OMIS data is a kind of additive noise and not correlative. Based on a thorough analysis of the four available SNR estimation methods, a conclusion can be drawn that the spatial and spectral decorrelation method is the most reasonable one for OMIS data. The experimental results are also presented. It is also pointed out that after radiometric correction, the SNR of the acquired data can efficiently reflect the SNR character of the remote sensor.

**Key words:** operational modular imaging spectrometer; signal-noise-ratio; geostatistical method; semivariance function; decorrelation