

北京 1 号小卫星图像噪声评估

冉 琼^{1,2}, 迟耀斌^{2,3}, 王智勇², 陈正超⁴

1. 中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101;

2. 北京宇视蓝图信息技术有限公司, 北京 100096;

3. 北京遥感信息研究所, 北京 100085;

4. 中国科学院 对地观测与数字地球科学中心, 北京 100190

摘 要: 从理论和试验方面对图像的噪声评估方法进行了分析。结合北京 1 号小卫星特性, 进行了该类方法应用效能的评价, 讨论了分块评估噪声方法的最佳参数设置。选取满足噪声评估环境的图像, 实现了综合不同地表覆盖条件的北京 1 号小卫星图像噪声的评估。噪声评估结果与在轨测试情况的对比表明, 北京 1 号小卫星经过近 3 年的运行, 仍保持了较好的性能。

关键词: 噪声评估, 北京 1 号小卫星, 噪声标准差

中图分类号: TP79

文献标识码: A

1 引 言

北京 1 号小卫星于 2005 年发射, 星上同时携带了 4m 全色和 32m 多光谱传感器, 幅宽分别为 24km 和 600km。由于分辨率高、幅宽大和重返快等特性, 小卫星数据在土地利用、灾害评估、林业调查等方面获得了广泛的应用。为了对数据质量有一个定量的评定, 为数据处理及应用提供更好的支撑, 需对小卫星获取图像的噪声情况进行评估。

遥感图像的噪声来自于遥感成像的各个环节, 可以通过量化各分系统噪声得到整个载荷的噪声情况, 但是由于遥感的成像过程异常复杂, 使得这种方法较难实现, 一般通过对获取图像的特性进行分析来实现对噪声情况的直接评估。

噪声评估可为数据定量应用精度的评价提供依据, 为某些数据处理方法提供先验参数(陈述彭, 1990), 通过噪声评估还可对传感器载荷的性能进行检验(陈正超, 2005)。光学传感器获取图像中的噪声一般为加性噪声(陈秋林&薛永祺, 2000, 高连如等, 2007), 即叠加在图像上且与图像信号无关的噪声, 通常认为这种噪声是高斯分布且功率谱密度均匀的高斯白噪声, 噪声的大小用其标准差进行衡量(Corner, 2003)。

目前, 已经发展了多种基于图像的噪声评估方法(Fujimoto 等, 1989; Gao, 1993; Curran, 1989), 这些方法从不同的角度提取噪声的特性, 通过对含噪声图像的分析来实现对图像噪声水平的估计。为了获取全面的噪声评估结果, 本文综合这些方法对北京 1 号小卫星的噪声情况进行了评估, 得到各波段噪声的标准差值, 并参考在轨测试结果说明了小卫星的噪声情况。

2 噪声评估方法

由于噪声不能完全从图像中分离, 在进行噪声评估时借助于图像的统计特性进行评估, 下面对几种常用的噪声评估方法进行分析。

2.1 均匀区域法

均匀区域法是评估噪声最简单的方法。均匀区域法从图像中选择均匀区域, 通过计算这些均匀区域的标准差获取图像的噪声评估结果(Fujimoto 等, 1989)。但是由于在遥感图像中, 很难找到符合要求的大面积均值区, 这种方法的使用受到一定限制。

2.2 分块法

分块法是假设图像由大量均匀的小块构成, 利

收稿日期: 2008-09-05; 修订日期: 2008-10-30

基金项目: 北京市科技计划项目(编号: Z08000102010801)和国家科技支撑计划项目(编号: 2007BAH151303)。

第一作者简介: 冉琼(1981—), 女。2005 年 7 月获中国科学院遥感应用研究所硕士学位, 目前为中国科学院遥感应用研究所在职博士生, 研究方向为北京 1 号小卫星图像处理与应用研究, 发表论文 5 篇。

用各小块的方差进行噪声估计。首先将图像分割成小块, 认为在空间分辨率足够高和地物覆盖足够均匀的情况下, 这些子块是均匀的(Gao, 1993), 然后计算这些子块的标准差

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (s_i - \bar{s})^2} \quad (1)$$

式中, s_i 为图像子块第 i 个像素的灰度值, N 为图像子块的像素总数。求得子块标准差后, 在最大和最小标准差间建立若干等间隔的区间, 取包含子块数最多区间的局部标准差的平均值作为整个图像的最佳噪声估计。这种方法通过灰度差异的统计特性评估噪声, 不需要图像完全均匀, 只需图像中有多个小的均值区即可, 对图像均值性的要求较低, 比均匀区域法有更好的适用性。

2.3 地统计法

地统计法是利用像素值的空间域变化情况来度量噪声的大小(Curran, 1989)。像素值的变化可以借助地学中的半方差函数来计算。半方差函数 $\gamma(h)$ 的定义为:

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

式中 z 为信号值, x_i 为坐标值, h 为滞后程差, E 表示求数学期望值。

用地统计法进行噪声评估利用了半方差函数的区域化性质。半方差函数图中, 当滞后程差 h 较小时, 半方差值随其值增大而增加, 空间相关性降低, 当 h 达到某个值后, 半方差值上升到基台值 k , 并保持平稳, 此时对应的 h 值为最大空间相关长度, 代表了空间相关性的极限(图 1)。

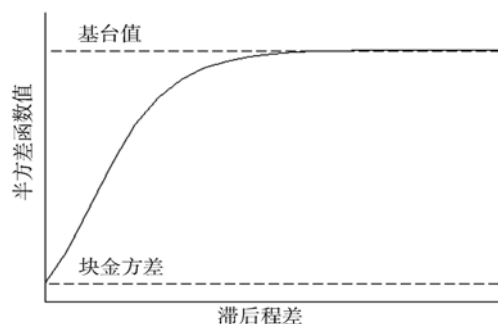


图 1 半方差函数曲线

半方差图到达基台值 k 之前的部分反映随 h 变化亮度的变化情况及空间相关性, 当 h 值趋近于 0 时, 此时的半方差函数值, 即块金方差值不包含像元之间的空间信息, 只说明噪声及像元内部的异质性。假设信号是平稳的, 噪声也是平稳的, 和信号不

相关, 也不自相关, 即有:

$$\lim_{h \rightarrow 0} \gamma(h) = \sigma_n^2 \quad (3)$$

式中, σ_n 为噪声标准差, γ 为半方差函数值, h 为滞后程差。

在以上的方法中, 分块法和地统计法对于图像均值性的要求比较低, 一般图像中较均匀的区域可满足。在进行噪声评估的过程中, 由于不可能完全排除图像信息, 不同地物得到的噪声结果会有一定的差别(Chen & Xue, 2000; Atkinson, 2005), 在进行噪声评估时需分析多种地物的噪声, 获得综合的评估结果。

3 试验图像

在载荷设计中给定的噪声评估环境一般为大于

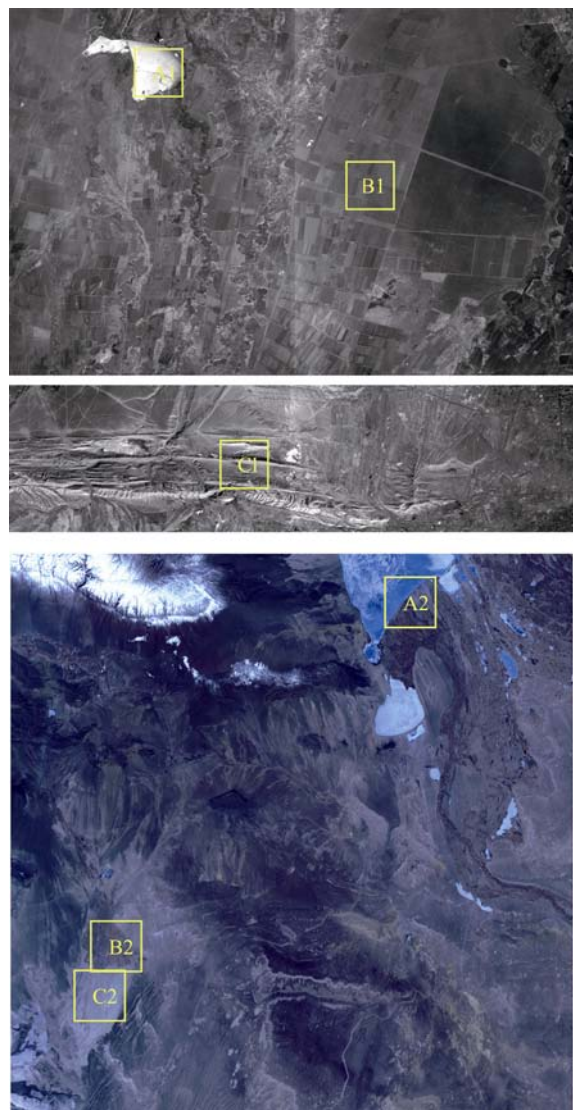


图 2 试验区分布 A1 盐田

B1 田地; C1 沙地; A2 结冰湖面; B2 田地; C2 盐田

20%地面反射系数和典型观测条件(春天, 纬度 45° , 乡村浮质) (SSTL, 2004)。按照这一要求, 评估噪声时选用的全色和多光谱图像分别为 2008-03-14 和 2008-03-21 新疆阿勒泰地区的图像, 其中心点纬度分别为 44.62° 和 45.9° ; 符合典型观测条件。由于对噪声的评估只考虑随机噪声, 因此对图像进行了辐射校正处理。

在图像中选取较为均匀的沙地、盐田、戈壁、田块和结冰湖面等地物作为试验区, 这些地物能满足反射系数大于 20%的要求, 图 2 为所选取试验区的情况。

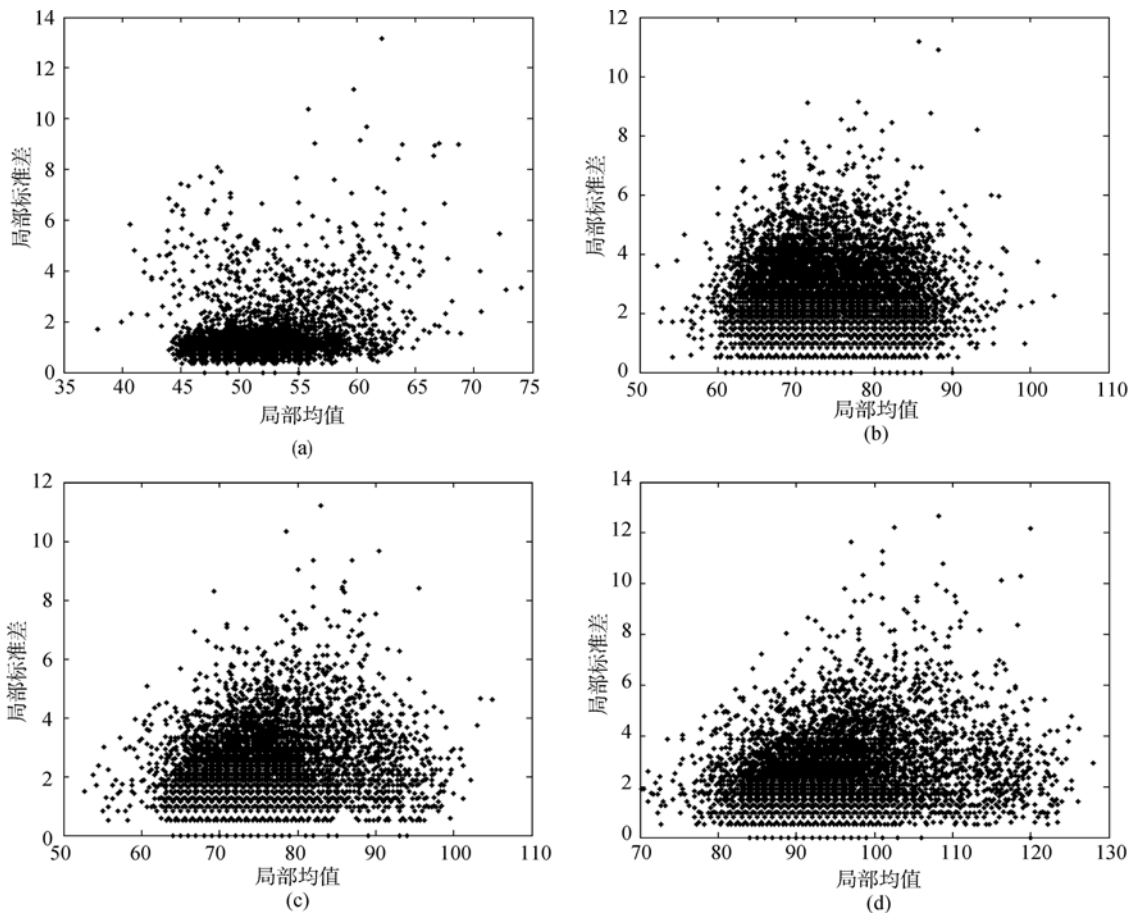


图 3 局部均值和局部方差散点图

a 为全色, b、c、d 分别为多光谱近红外、红、绿波段

在每个试验区各选择 4 个均匀区, 求其标准差的平均值, 得到结果如表 1。

用均匀区域法计算得到的噪声标准差依赖于均值区的选择, 很难表征整个图像的噪声情况, 并且在影像分辨率级别很难找到完全均值的地块, 但是其结果还是可以作为噪声评估的一个参考。

用分块法进行图像噪声评估时, 分块的大小决定了各分块子图像的均值性。当分块过小时, 不能

4 试验结果与分析

对北京 1 号小卫星图像用局部标准差和局部均值之间的关系验证噪声的特性。将图像分块, 计算各个小块的方差和均值并得到其分布的散点图如图 3(B1 和 B2 试验区)。

从图 3 可以看出, 全色和多光谱图像的局部标准差保持在一个较稳定的区间, 不随均值改变, 代表噪声的局部标准差和代表信号的局部均值之间并没有明显的相关性, 证明了北京 1 号小卫星图像的噪声为加性噪声。

对噪声进行较好的探测; 分块过大时, 图像信息会对得到的结果有较大的影响; 必须选取合适的分块大小获得对噪声的估计。在 Gao (1993)和高连如等 (2007)的研究中, 对于 20m 分辨率的 AVIRIS, 推荐采用的分块尺寸为 4×4 。在试验中参考这一先验知识对试验区图像采取不同的分块大小求噪声标准差的估计值, 对于全色图像, 采用 3×3 , 4×4 , 5×5 , 6×6 分块, 求得不同地物类型的标准差结果(表 2)。

由于多光谱图像均值性较差，采用 2×2 、 3×3 、 4×4 分块，得到各波段标准差结果为表 3。

表 1 均匀法噪声评估结果

图像类型	地物类型		标准差
全色	盐田		1.11
	田块		1.15
	沙地		1.2
多光谱	结冰湖面	近红	1.89
		红	1.96
		绿	2.1
	田地	近红	1.83
		红	1.11
		绿	1.17
	盐田	近红	1.75
		红	1.78
		绿	1.98

表 2 分块法全色图像噪声评估结果

地物类型	3×3 分块标准差	4×4 分块标准差	5×5 分块标准差	6×6 分块标准差
盐田	0.70	0.72	0.74	0.77
田块	0.86	0.87	0.92	0.96
沙地	0.71	0.72	0.78	0.80

表 3 分块法多光谱图像噪声评估结果

地物类型	波段	2×2 分块标准差	3×3 分块标准差	4×4 分块标准差
冰冻湖面	近红	0.96	1.00	1.29
	红	0.82	1.42	1.50
	绿	0.96	1.58	1.86
田块	近红	0.96	1.74	1.86
	红	0.96	1.23	1.63
	绿	0.96	1.42	1.67
盐田	近红	0.96	1.87	1.75
	红	0.96	1.74	1.79
	绿	0.96	1.73	1.79

从不同分块的结果中可以看到，当分块尺寸变大时，由于受地物纹理信息的影响，标准差值增加。在北京 1 号小卫星全色图像分块法噪声评估的结果中，随分块尺寸增加，得到标准差值增大，但是 3×3 与 4×4 分块的结果较为相近，而 5×5 和 6×6 分块标准差结果持续增加，说明在 4×4 尺度得到的标准差基本为噪声，而在 5×5 及以上分块尺寸时各分块受到图像信息影响较大，因此，取 4×4 分块的结果作为噪声估计更为准确。对于多光谱，由于其分辨率较全色低，所取的分块尺寸应小于全色，取 2×2 分块尺度太小，不能有效探测噪声，因而取 3×3 结

果作为噪声估计值最为合理。

在地统计法噪声评估的试验中，为了充分利用离散点的趋势，减少噪声点和图像信息的影响，采取了先确定半方差函数的形式，然后对离散点进行拟合的方法控制估算误差。通过选择发现，半方差函数的特征相似于 Sigmoid 函数系列中的 Gompertz Relation 函数曲线，其表达式为：

$$y = ae^{-e^{-bx}}$$

(4)

式中， a, b, c 为拟合参数。

从北京 1 号全色图像得到的半方差函数离散点及其拟合结果如图 4 (A1 试验区)。

从图 4 可以看出，北京 1 号小卫星得到的离散点呈现出较标准的半方差函数形式，选用 Gompertz Relation 函数进行拟合能获得很好的拟合效果。用地统计法得到的各试验区的噪声情况如表 4。

将半方差法获取的结果与分块法对比，发现半

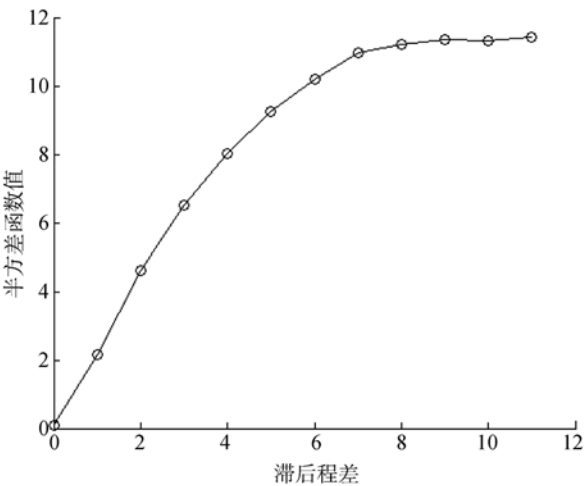


图 4 北京 1 号小卫星图像半方差函数拟合结果

表 4 地统计法图像噪声评估结果

图像类型	地物类型		标准差
全色	盐田		0.388
	田块		0.75
	沙地		1.21
多光谱	结冰湖面	近红	1.67
		红	1.60
		绿	1.90
	田地	近红	1.24
		红	1.86
		绿	1.91
	盐田	近红	1.53
		红	1.83
		绿	1.93

方差法获取的噪声标准差值高于分块法, 并且得到结果稳定性也较差, 这是由于在 h 值趋近于 0 时半方差法得到的块金方差值既包含噪声, 同时也包含图像像元内部的相关性及误差, 从这个意义上讲, 半方差法得到的值高于噪声标准差的实际数值。另外, 由于在选择试验区时已经尽量选取了较均匀的图像区, 用分块法比较容易获取均匀分块, 只要确定合适的分块大小即可得到比较可靠的噪声估计值。因此, 可以认为, 用分块法对北京 1 号全色和多光谱图像进行噪声评估的结果比较可靠。

分析得到的噪声标准差结果发现, 不同地物类型噪声评估结果有细微的差别, 但总体水平较为一致。整合不同地物类型的噪声情况得到北京 1 号小卫星图像的噪声综合评估结果如下: 北京 1 号小卫星全色图像的噪声水平较低, 其标准差值在 0.72 左右; 多光谱图像噪声水平较高, 近红外、红、绿波段噪声标准差分别在 1.53, 1.46, 1.57 左右, 各波段噪声水平接近。

2005 年卫星刚发射时在轨测试结果为全色相机噪声标准差约为 0.67, 多光谱相机近红外、红、绿波段噪声标准差值分别为 1.59, 1.49, 1.48 左右, 对北京 1 号小卫星的两次噪声测试结果较为一致。

5 结 论

利用获取的图像进行噪声评估能够反映载荷噪声的整体情况, 能够在地面对载荷进行评价, 同时, 获取的噪声标准差对于图像处理、数据应用也提供了辅助参数和精度依据。

基于图像的噪声评估很容易受到图像内容的影响, 用不同方法得到的噪声情况会有一定的差异, 因此文中选取了多种地物类型进行噪声的评估, 并对多种方法进行对比, 从理论和试验两方面对噪声评估的方法进行分析, 得到北京 1 号小卫星实际的噪声评估结果。通过本文研究发现用分块法能对噪声进行较可靠的评估。利用 2008 年比较新的数据源得到的噪声评估结果与 2005 年卫星刚发射进行在

轨测试的结果相比变化不大, 说明北京 1 号小卫星经过近 3 年的运行, 仍然保持了比较好的性能。

REFERENCES

- Atkinson P M, Sargeant I M, Foody G.M and Williams J. 2005. Interpreting image-based methods for estimating the signal-to-noise ratio. *International Journal of Remote Sensing*, **26**: 5099—5115
- Chen S P. 1990. Dictionary of Remote Sensing. Beijing: Science Press
- Chen Z C. 2005. A Research on the Technology of On-orbit Calibration and Validation of China DMC Micro-satellite. Beijing: Chinese Academy of Sciences
- Chen Q L and Xue Y Q. 2000. Estimation of signal-noise-ratio from Data Acquired with OMIS. *Journal of Remote Sensing*, **4**(4): 284—289
- Corner B R. 2003. Noise estimation in remote sensing imagery using data masking. *International Journal of Remote Sensing*, **24**(4): 689—702
- Curran P J and Dungan J L. 1989. Estimation of signal-to-noise: a new procedure applied to AVIRIS data. *IEEE Trans. Geoscience Remote Sensing*, **27**(5): 620—628
- Fujimoto N, Takahashi Y, Moriyama T, Shimada M, Wakabayashi H, Nakatani Y and Obayashi S. 1989. Evaluation of SPOT HRV image data received in japan. Quantitative Remote Sensing: An Economic Tool for the Nineties
- Gao L R, Zhang B, Zhang X and Shen Q. 2007. Study on method for estimating the noise in remote sensing images based on local standard deviations. *Journal of Remote Sensing*, **11**(2): 201—210
- Gao B C. 1993. An operational method for estimating signal to noise ratios from data acquired with imaging spectrometers. *Remote Sensing of Environment*, **43**: 23—33
- Surrey Satellite Technology Limited. 2004. Detailed Design Description for BLMIT Enhanced Earth Observation Microsatellite (Version 8)

附中文参考文献

- 陈述彭. 1990. 遥感大辞典. 北京: 科学出版社
- 陈正超. 2005. DMC 小卫星在轨测试技术研究. 北京: 中国科学院
- 陈秋林, 薛永祺. 2000. MIS 成像光谱数据信噪比的估算. *遥感学报*, **4**(4): 284—290
- 高连如, 张兵, 张霞, 申茜. 2007. 局部标准差的遥感图像噪声评估方法研究. *遥感学报*, **11**(2): 201—210