

光学遥感图像信噪比评估方法研究进展

朱 博^{1,2,3}, 王新鸿², 唐伶俐², 李传荣²

(1. 中国科学院对地观测与数字地球科学中心, 北京 100190;

2. 中国科学院光电研究院, 北京 100190; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 遥感图像数据的信噪比是评价遥感传感器获取数据质量的一项重要指标, 图像数据的信噪比能够在很大程度上反映遥感仪器的信噪比性能。介绍了通过遥感图像分析评估传感器信噪比的常用方法, 以及这些方法的优缺点。并从原理上对各种方法进行了方法间的性能对比分析, 包括方法的自动化程度、运算速度、鲁棒性、适用面、准确程度和对图像计算区域的要求等。此外, 提出有必要对各种算法进行在实际应用中的比较分析, 从而能够针对不同传感器和不同类型的遥感图像选择最好的评估方法, 达到合理、准确地应用这些方法的目的。

关键词: 光学遥感图像; 信噪比; SNR; 噪声评估

中图分类号: TP 75 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2010)02-0303-07

1 引言

光学成像主要是依赖于传感器接受目标对太阳辐射的光谱反射来认识地物对象。随着传感器由单波段到多波段再到成像光谱仪的进步, 以及空间分辨率由低到高的逐步发展, 技术上已经可以获得地面目标越来越详细和精确的信息, 从而极大地开阔了人们对遥感对象的研究能力和研究范围。同时随着遥感技术的不断进步, 对遥感图像噪声评估已经成为光学传感器实飞成像质量评价中的一项重要检验内容, 信噪比是衡量遥感仪器性能的一项重要指标^[1]。人们从遥感图像中识别地物目标的能力有赖于图像的信噪比水平。国内外学者在遥感图像噪声评估方法上作了很多研究工作, 如 B-C Gao, Roger R E 和 Arnold J F 等, 提出了多种经典的方法, 使得后来的学者能够在其基础上发展、扩充新的方法和思想。

已有多种成型的信噪比计算方法, 新的方法也在研究中。在实际应用中, 信噪比计算的关键是如何正确获得噪声强度信息, 即尽可能将噪声与信号分离开。在实测图像中, 噪声情况比较复杂, 而且又根据一定的数学运算关系与信号结合在一起, 这就增加了对噪声强度计算的难度。而且随着遥感技术

的发展, 遥感图像中表达的地物信息越来越丰富, 地物类型也越来越复杂, 这在一定程度上也给信噪比计算带来困难。

已有的各种信噪比计算方法根据不同的原理在一定的条件下或多或少地减轻了地表性质对信噪比估算的影响, 从而使得信噪比计算值趋于准确。本文将介绍目前常用的光学遥感图像信噪比评估方法。

2 光学遥感图像噪声

噪声是影响遥感器成像质量的重要因素, 噪声高会严重降低遥感图像的实际应用价值。遥感图像的噪声根据统计特征可分为周期噪声和随机噪声两大类; 根据噪声产生的机理可分为信号传输噪声、仪器噪声、外界干扰噪声、像元变化引起的噪声^[2]、波段间光谱维噪声等; 根据噪声与信号的相互关系可分为加性噪声与乘性噪声^[3]。

2.1 光学遥感器的噪声

概括地说, 目前光学遥感卫星探测器主要有两种, 一是以 Landsat 卫星为代表的双向摆扫成像方式, 二是以 SPOT 卫星为代表的 CCD 推扫成像方式。

双向摆扫成像传感器的噪声主要分两种, 一是静态噪声; 二是动态噪声。静态噪声包括时间、空间上行、列噪声, 以及帧间偏移等。动态噪声包括探测

器的饱和、滞后响应和 RC 隔直电路、直流恢复电路对图像辐射质量影响而产生的噪声。

CCD(电荷耦合器件)单向扫描成像传感器的噪声主要是与暗电流、零响应偏移和响应不一致等有关。

无论是以哪种方式成像,都不可避免地会引入空间、时间上的噪声。这种噪声是由光子噪声和散粒噪声等白噪声经过空间和时间采样产生的^[4]。

2.2 光学图像的噪声

在光学遥感中,图像噪声主要由周期性(系统)噪声和随机噪声构成。周期性噪声可以经过频域变换滤波有效地消除。随机噪声可以由传感器造成,也可以由光线、云等自然界原因产生,一般认为是加性噪声^[5]。而且随机噪声的影响一直存在,是无法避免的。

2.3 光学遥感器信噪比与光学遥感图像信噪比的关系

光学遥感器的信噪比是仪器的一个非常重要的性能指标,一般采用白板测试的方法在实验室内进行测试。光学遥感图像信噪比是光学遥感器所获取数据质量的一个重要评价标准,是对在轨光学遥感器信噪比的实际评估。它主要取决于仪器的性能,同时还和数据获取时的环境条件、大气条件等因素有一定的关系。图像数据的信噪比能在很大程度上反映遥感器的信噪比性能。

3 光学遥感图像信噪比评估方法

传感器噪声评估主要有3类方法:实验室法、暗电流法、图像法^[6]。其中适用于传感器在轨信噪比评估的是图像法,即利用遥感图像评估传感器信噪比的方法。当拿到一幅遥感图像的时候一般是二级及二级以上的图像产品,某些噪声在图像预处理时已经除去了,例如条带噪声等。遥感图像信噪比评估方法种类很多,新的思想和新的方法也在不断产生,本文讨论的是几种较为典型和有价值的方法,在它们基础上还可以发展、演化出诸多方法。

3.1 方差法^[7]

方差法,也可以称为定义式法。首先从图像中选取一个面积较大而且均匀的区域,然后计算该区域内的像元均值和标准差,均值和标准差的比值即作为所求的信噪比。公式如下:

$$\overline{DN} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N DN_i \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \sum_{i=1}^N (DN_i - \overline{DN})^2} \quad (2)$$

其中: DN_i 表示所选择区域图像中每个像素的DN值。 \overline{DN} 表示该区域图像DN值的均值。 σ 表示该区域图像DN值的标准差。

这种方法受地物目标的影响很大,并且需要操作者手动选择区域进行计算,即不能实现自动化计算。更大的问题是在实际图像中大面积的均匀区域是极少的,而若选择的均匀区域较小则计算结果难以表征整幅图像的信噪比水平。从原理上看,算法过于简单。但是当预先知道图像中地物的情况,而且确实存在大面积的均匀统一区域(如人工修建的大面积靶标)时,该方法还是较为实用的。

3.2 求地学统计量法^[2,8,9]

求地学统计量法认为地面像元的亮度值随着相隔距离 h 的变化而呈现不同程度的自相关性,这种相关性反映了地表参数的某种连续性和关联性,因此在一定程度上体现了遥感度量值的空间结构特性。该方法利用像素值在空间域的相关性变化来度量噪声的大小。在地学中,半方差函数^[10]可以用来表征像素值相关性的变化。公式如下:

$$\gamma(\hat{h}) = \frac{1}{2M(h)} \sum_{i=1}^{M(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (3)$$

其中: γ 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 为滞后期差, $M(h)$ 为根据 h 划分出来的像素对的个数。如果信号是平稳的,噪声也是平稳的,并且和信号既不相关,又不自相关,并且是加性的噪声,则成立如下式子: $\lim_{h \rightarrow 0} \gamma(h) = \sigma_n^2$,其中 σ_n^2 为噪声标准差。

使用地学统计量方法时需要满足如下条件:

- (1) 图像中大部分区域的像素值要稳定且各向同性。
- (2) 图像像素的空间分辨率相同。
- (3) 图像中各个方向上的变化应该独立不具有相关性。也就是说半方差函数曲线的斜率的变化不影响其在滞后期差趋近于零时的函数值。

这种方法受图像中地物情况影响严重,严格的说满足以上全部条件的数据并不是很多,而且其可靠性并不是很高。

3.3 局部方差法^[11]

在实际图像中存在大面积均匀区域的可能性比较小,往往会存在均匀分散的小块区域,那么该方法提出把图像分割成 4×4 ,或……,或 8×8 的小区域,并假定在这么小的区域里地物是均匀的。再分

别计算每个区域的均值和标准差(利用公式(1)和(2)),该标准差值作为这个小区域的噪声值。然后根据所有这些小区域的标准差值选择一个众数最大的区间,以落入该区间的小区域的标准差均值作为整幅图像的平均噪声值。该方法在北京 1 号小卫星图像噪声评估测试中得到了应用^[12]。

这种方法对较为均匀的地表区域计算结果较好。但是噪声值随地表均匀性的不同结果也很可能不同,方法健壮性不够好。若图像中均匀的小块比较少,即存在很多不均匀子块时,方法的前提可能就不满足了,块数最多的区间有可能是由不均匀子块构成,这样对图像噪声的评估误差就会很大,使方法准确性、可靠性明显降低。而且图像尺寸的大小在很大程度上关联着该方法程序的运行速度。

3.4 基于边缘块剔除的局部方差法^[13]

分析地物光谱特征可知,同种地物具有相同或相似的光谱特征,那么在同一波段的遥感图像内就会具有相同或相似的灰度值。该方法基于局部方差法并且认为,图像中相邻两种地物间灰度值相差较大的线即为不同地物的分界线——边缘,包含边缘的子块可能包含不同的地物,这样的子块不是均匀的子块,应该舍去。如果先探测出图像中不同地物的边缘,并将包含边缘的子块进行标记然后除去,就可以减小图像中不均匀子块对噪声评估的影响,从而改进局部方差法,提高该方法的准确性和健壮性。

如何检测图像中地物边缘信息是方法的关键,而能否除去边缘在很大程度上受到边缘算子的影响。而且同种地物的不同部位有可能会产生不同光谱反射,也会对边缘检测结果产生影响,会错误地被认为是边界,也就是说该方法的“辨别”能力需要先行考证。不过图像中地物情况不很复杂时,该方法基本还是能较好地地区分地物边界,剔除边界子块,使计算结果相比局部方差法更为准确。

3.5 基于高斯波形提取的局部方差法^[13]

该方法认为,在使用局部方差法对地物覆盖均匀的图像进行信噪比评估运算时,落入各个区间的小块个数的统计曲线,在理论上应该是呈高斯分布的。然而在实际图像中,地物覆盖情况比较复杂,统计后的曲线会显示出有多个波峰,即由多个高斯波形构成。这时可以认为第一个波形表示对均匀子块统计的结果,而其它波形则表示对非均匀子块的统计结果。于是选择第一个波形的波峰对应的区间中小块标准差的均值作为这幅图像的噪声值。这种方法主要通过傅里叶变换和低通滤波器,提取统计曲

线的趋势波形,求第一个波形顶点对应区间的小块标准差平均值作为图像噪声最佳估计。

此方法避免了局部方差法中块数最多的区间不是由均匀子块构成的问题,使计算准确性提高。但是傅里叶变换运算起来速度较慢,若用快速傅里叶变换,子块标准差统计区间数最好为 2ⁿ,这样才能对大多数的数据进行变换。在实际应用中,波形受图像数据影响较大。第一个波峰有时显得不是那么明显,而且要认真辨别是否的确是第一个波峰。还会出现波峰顶点与原始统计曲线上块数最多的区间对应偏离的现象,因为在实际的快速傅里叶变换和傅里叶反变换时可能会造成对应位置的“漂移”。

3.6 去相关法^[14]

该方法主要针对高光谱图像来评估成像光谱仪信噪比。成像光谱仪在成像过程中会引入许多噪声,从噪声分解角度对噪声强度进行分析具有一定的难度。然而在高光谱状态下,大气衰减作用、地表类型的光谱反射都会在相邻波段间相对平滑的变化,也就是说信号在光谱间或者是波段间具有强烈的相关性。所以去相关法就是通过线性回归来去除图像中具有很高光谱相关性的信号,即去相关化,从而将噪声分离出来。回归公式如下:

$$\hat{x}_{i,j,k} = ax_{i,j,k-1} + bx_{i,j,k+1} + cx_{p,k} + d \quad (4)$$

将图像按照一定大小分割成许多小块, $x_{i,j,k}$ 为某个小块中第 k 波段、第 i 列、第 j 行的图像像素灰度值; $\hat{x}_{i,j,k}$ 为 $x_{i,j,k}$ (图像灰度) 的线性拟合值; a 、 b 、 c 、 d 为线性回归系数,用于使残差的平方和最小。对于 $x_{p,k}$ 来说:

$$x_{p,k} = \begin{cases} x_{i-1,j,k} & i > 1 \\ x_{i,j-1,k} & i = 1, j > 1 \\ \text{无意义} & i = 1, j = 1 \end{cases} \quad (5)$$

去相关后的残差图像为:

$$r_{i,j,k} = x_{i,j,k} - \hat{x}_{i,j,k} \quad (6)$$

其中 $r_{i,j,k}$ 为残差值,有:

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

图像噪声方差 σ_n^2 :

$$\sigma_n^2 = \frac{S^2}{(M-4)} \quad M = w \times h - 1 \quad (8)$$

其中: w 、 h 分别为每一小块图像的宽度和高度。

去相关法是一种可靠的、自动化的评估高光谱图像噪声的方法,也是一种非常稳定的高光谱图像噪声评估方法^[15]。既适用于场景均匀的图像,也适用于不均匀的情况;既可用于主动遥感图像,也可适

用于被动遥感图像。但是该方法也存在一些不足之处:

(1) 若地物对成像光谱仪的某波段存在特征吸收,那么该波段及其附近的几个波段就不适合用去相关法进行噪声评估。

(2) 噪声一定,地物光谱反射率的大小会影响该方法对图像噪声评估的结果。

(3) 该方法不适用于信号相关性低的多光谱图像噪声评估。

(4) 图像中的噪声若具有相关性,则计算残差时会有误,导致最后计算结果不准确。

高连如等借鉴 Kettig^[16] 和 Geng^[17] 的高光谱图像分类方法提出了一种改进的去相关方法——均匀区域划分和光谱维去相关法^[18] (HRDSDC)。这种方法在一定程度上比去相关法更可靠、更适用于高光谱图像,在算法上也更健壮,可用于对高光谱图像在数据处理和应用方面的质量评价。另外,对于干涉成像的高光谱图像,往往由干涉引起的噪声要比普通噪声对干涉光谱仪图像影响更严重^[19,20]。所以,使用信号/(普通噪声+干涉噪声)^[21]来评价这种图像质量就更合理、准确。

3.7 人工神经网络^[22]

人工神经网络(Artificial Neural Network, ANN)是一种模仿动物神经网络行为特征,进行分布式并行信息处理的算法模型。它是由大量处理单元(神经元)广泛相连接而成的非线性映射或自适应动力系统。用人工神经网络在轨测量航天光学遥感器信噪比的方法可以通过任意一幅地面景物图像进行测量,避免了选取固定的均一场景测量中的诸多缺点,李宏壮^[22]等的测试取得了平均误差小于10%的结果。Delvit^[4]等曾率先使用这种方法对SPOT卫星信噪比进行了测量。

这种方法的关键是要有大量的多状态样本进行训练,而且输入向量需能够反映要解决问题的规律。图像的信噪比不能太小,否则测试误差将会很大。这种方法还有一个优点是既适用于加性噪声模型,也适用于乘性噪声模型。

3.8 其它方法

除了以上提到的还有一些其它方法,比如光学传递函数法^[23]、三维噪声分析法^[24]、空间结构函数分析法^[25-27]、信息量(信息熵)法^[28,29]等。但是这些方法的使用不是很普遍,实际应用案例也较少。

4 算法性能比较分析

对于应用来说,通常会考虑算法的自动化程度、

运算速度、健壮性、准确程度、适用面以及计算区域条件等。自动化程度,指算法实现过程中操作人员对图像处理过程的非干预程度,如是否需要选择区域等。自动化程度高表示操作人员不需要对处理做多少干预。运算速度,指该算法程序对图像进行处理运算过程所需时间。健壮性,用于衡量对图像中不同地物(或者是区域)的计算结果差异程度。准确性,用于衡量算法的计算结果与真值的接近程度。适用面,指该算法是否适合用于对各种类型的图像进行评估。区域条件,指该方法对图像中用于噪声评估区域的地物要求。

从方法的自动化角度来说,方差法、局部方差法、求地学统计量法自动化程度不高。因为方差法和局部方差法要求计算区域均匀,求地学统计量法要求计算区域扫描的行、列均匀,这往往需要操作者手动设定合适的计算区域。去相关法与神经网络法没有特别的要求,当然图像中计算区域越均匀越好,地物复杂度越简单越好。

从方法的运算速度来看,求地学统计量法和方差法最快。因为方差法原理和计算复杂度是最简单的。通过分析求地学统计量法的公式可以看出,其计算难度并不高,而且在实际测试中确实反映出该方法速度快的特点。局部方差法受到图像尺寸的影响较大,因为算法中含有分块计算的步骤。而且基于边缘块剔除法和高斯波形提取法分别有进行边缘检测和傅里叶变换、滤波、反变换等过程均增加了计算的复杂度,也就更耗时。去相关法的原理和公式表明,该方法要同时操作几个相邻波段图像,那么必然带来计算机内存和计算时间上的消耗。人工神经网络法运算速度也不快,尤其神经元的训练需要耗费大量计算和时间。

从方法的鲁棒性角度来看,方差法、局部方差法、求地学统计量法的鲁棒性差一些。这3种方法对地物的变化很敏感,在计算结果的体现上差别较大。虽然基于边缘块剔除法和高斯波形提取法都是从局部方差法发展而来的,但是这两种方法的健壮性要高于单纯的局部方差法。因为无论是边缘提取或者是高斯波形选择都在一定程度上减轻了地物变化带来的影响。去相关法只受到图像各波段间相关性的影响,与图像本身的地物情况基本无关。人工神经网络法对地物没有什么要求,主要是受训练样本采集情况的影响。

从准确性角度来看,去相关法是比较准确的,因为对于高光谱图像来说,相邻几个波段间同一空间

位置的图像灰度值总是存在一定的相关性,由此来“估计”当前波段的灰度值是合理的,而且在图像满足算法所需条件的基础上,得到的估计值也是准确的。方差法完全不考虑地物本身变化带来的图像灰度值空间变化,所以准确性受地物影响很大。求地学统计量法对图像条件要求较高,并且求趋零值的时候容易产生较大误差。其它的算法多少都受到算法本身的限制,如局部方差法受到分块大小、地物复杂度影响;基于边缘块剔除法的结果与边缘检测算子(在实际应用中 Canny 算子^[30,31]效果较好)和阈值设定密切相关;高斯波形提取法受到第一波峰判断是否准确、波峰位置与区间对应是否正确的影响。

人工神经网络法的准确程度跟训练样本有关,要求样本采集合理,对图像输入的特征向量准确。

从方法的适用性角度来看,去相关法的原理是利用不同波段信号的相关性来实现对噪声大小的评估,所以该方法不适用于单波段或较少波段图像,和相关性低的多光谱图像,该方法仅适用于高光谱图像。其它方法均没有特殊要求。

从方法的计算区域条件来看,方差法和局部方差法要求计算区域均匀,求地学统计量法要求计算区域扫描的行、列均匀。其它方法基本不受这方面的限制。

方法之间的横向比较如表 1。

表 1 遥感图像信噪比评估方法性能比较
Table 1 Comparison of methods for SNR estimation of optical remote sensing imagery

性能 方法	自动化程度	运算速度	鲁棒性	准确程度	适用面	区域条件
方差法	★	★★★	★	★	★★★	★★
求地学统计量法	★	★★★	★	★	★★★	★
局部方差法	★	★★	★	★★	★★★	★★
基于边缘块剔除法	★★	★★	★★	★★	★★★	★★★★
高斯波形提取法	★★	★★	★★	★★	★★★	★★★★
去相关法	★★★★	★	★★★★	★★★★	★	★★★★
人工神经网络法	★★★★	★	★★★★	★★	★★★	★★★★

标识符含义:

	自动化程度	运算速度	鲁棒性	准确程度	适用面	区域条件
★	手动选择区域	一般	差	一般	固定种类	计算区域行列均匀
★★	介于两者之间	较快	一般	较高	—	计算区域均匀
★★★	自动	快	好	高	普遍	无要求

5 结 语

根据上文介绍的信噪比评估方法可以看出,各种算法思想从简单到复杂逐渐演变,数据处理方式从单一到多元逐步发展。本文描述了各算法的原理和各自的特点,并从原理上对这些方法进行了综合分析。但是,很少有人对各方法适用性与准确性进行深入研究,亦缺乏对各种典型方法性能的系统性对比分析。接下来工作中有必要对各种算法进行横向的、实际应用的比较分析,经过认真、严谨、系统、科学的对比分析之后,能够更加透彻地掌握这些方法在实际应用中的优势与不足并确定方法具体的适用性和准确性,从而能够对不同遥感器和不同类型的图像选择最好的方法来进行评估,达到合理、准确地应用这些方法的目的。

从整体来看,随着遥感技术的发展和各种新型传感器的产生以及越来越多的科研人员、业内人士对信噪比评估方法的深入研究,必将进一步推动新方法的产生和发展。另外,学科之间的融合、相互交叉使得新方法的研究有了更广阔的前景。随着人们对图像质量和遥感器信噪比的重视程度不断加深,图像信噪比评估方法必将有更大的发展和应用前景。

参考文献:

[1] Chen Zhengchao. A Research on the Technology of On-orbit Calibration and Validation of China DMC Micro-satellite[D]. Institute of Remote Sensing Applications Chinese Academy of Sciences,2005. [陈正超. 中国 DMC 小卫星在轨测试技术研究[D]. 中国科学院遥感应用研究所,2005.]

[2] Curran P J,Dungan J L. Estimation of Signal-to-noise; A New

- Procedure Applied to AVIRIS DATA[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1989, 27(5): 620-628.
- [3] Lee J L, Hoppel K. Noise Modelling and Estimation of Remotely Sensed Images[C]//IGARSS'89, 12th Canadian Symposium on Remote Sensing. Vancouver, Canada, 1989, (2): 1005-1008.
- [4] Delvit J M, Leger D, Roques S, *et al.* Signal to Noise Assessment from Non Specific Views[J]. SPIE, 2001, 4541: 370-381.
- [5] Corner B R. Noise Estimation in Remote Sensing Imagery Using Data Masking[J]. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(4): 689-702.
- [6] Freek D, Van D M, Steven M D. Imaging Spectrometry: Based Principles and Prospective Applications[J]. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [7] Liu Jiangui, Zheng Lanfen, Tong Qingxi. Estimation of Signal to Noise Ratio of Remote Sensing Images[J]. Journal of Basic Science and Engineering, 1999, 7(4): 361. [刘建贵, 郑兰芬, 童庆禧. 遥感图像信噪比的估算[J]. 应用基础与工程科学学报, 1999, 7(4): 361.]
- [8] Eklundh L R. Noise Estimation in NOAA AVHRR Maximum-value Composite NDVI Images[J]. International Journal of Remote Sensing, 1995, 16(15): 2955-2962.
- [9] Chappell A, Seaquist J W, Eklundh. Improving the Estimation of Noise from NOAA AVHRR NDVI for Africa Using Geostatistics[J]. International Journal of Remote Sensing, 2001, 22(6): 1067-1080.
- [10] Curran P J. The Semivariogram in Remote Sensing: An Introduction[J]. Remote Sensing of Environment, 1988, 24: 493-507.
- [11] Gao Bocai. An Operational Method for Estimating Signal to Noise Ratios from Data Acquired with Imaging Spectrometers[J]. Remote Sensing of Environment, 1993, 43: 23-33.
- [12] Ran Qiong, Chi Yaobin, Wang Zhiyong, *et al.* Image-based Noise Estimation of Beijing-1 Small Satellite[J]. Journal of Remote Sensing, 2009, 13(3): 554-558. [冉琼, 迟耀斌, 王智勇, 等. 北京1号小卫星图像噪声评估[J]. 遥感学报, 2009, 13(3): 554-558.]
- [13] Gao Lianru, Zhang Bing, Zhang Xia, *et al.* Study on the Method for Estimating the Noise in Remote Sensing Images Based on Local Standard Deviations[J]. Journal of Remote Sensing, 2007, 11(2): 203-208. [高连如, 张兵, 张霞. 基于局部标准差的遥感图像噪声评估方法研究[J]. 遥感学报, 2007, 11(2): 203-208.]
- [14] Roger R E, Arnold J F. Reliably Estimating the Noise in AVIRIS Hyperspectral Images[J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(10): 1951-1962.
- [15] Jiang Qingsong, Wang Jianyu. Study on Signal-to-noise Ratio Estimation and Compression Method of Operational Modular Imaging Spectrometer Multi-spectral Images[J]. Acta Optica Sinica, 2003, 23(11): 1335-1340. [蒋青松, 王建宇. 实用型模块化成像光谱仪多光谱图像的信噪比估算及压缩方法研究[J]. 光学学报, 2003, 23(11): 1335-1340.]
- [16] Kettig R L, Landgrebe D A. Classification of Multispectral Image Data by Extraction and Classification of Homogeneous Objects[J]. IEEE Trans. Geosci. Electron. 1976, 14(1): 19-26.
- [17] Geng X R, Zhang X, Chen Z C, *et al.* Classification Algorithm Based on Spatial Continuity for Hyperspectral Image[J]. Infrared Millim Waves, 2004, 23(4): 299-302.
- [18] Gao Lianru, Zhang Bing, Zhang Xia, *et al.* A New Operational Method for Estimating Noise in Hyperspectral Images[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2008, 5(1): 83-87.
- [19] Chang C I, Sun T L, Althouse M L G. An Unsupervised Interference Rejection Approach to Target Detection and Classification for Hyperspectral Imagery[J]. Opt. Eng., 1998, 37(3): 735-743.
- [20] Chang C I, Brumbley C. An Orthogonalization Target Signature Space Projection Approach to Image Classification in Unknown Background[C]//In Proc. 31st Conf. Inf. Sci. Sys., 1997: 174-178.
- [21] Chang C I, Du Q. Interference and Noise-adjusted Principal Components Analysis[J]. IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sens., 1999, 37(5): 2387-2396.
- [22] Li Hongzhuang, Tian Yuan, Han Changyuan, *et al.* Assessment of Signal-to-noise Ratio of Space Optical Remote Sensor Using Artificial Neural Network[J]. Opto-electronic Engineering, 2006, 33(4): 44-49. [李宏壮, 田园, 韩昌元, 等. 航天光学遥感器信噪比的人工神经网络评价[J]. 光电工程, 2006, 33(4): 44-49.]
- [23] Liu Yaxia. Research on the Calibration Technique of the TDI CCD Remote Sensing Camera[D]. Changchun: Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, the Chinese Academy of Sciences, 2004. [刘亚侠. TDI CCD 遥感相机标定技术的研究[D]. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2004.]
- [24] Tang Hairong. A Noise Analysis Method to Evaluate Image Quality of Optical Satellites[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2004, 26(3): 370-374. [唐海蓉. 一种评价光学卫星辐射特性及图像质量的噪声分析方法[J]. 电子与信息学报, 2004, 26(3): 370-374.]
- [25] Gu Songyan. The Analysis of Noise Level about VIS Channels on Spin Span Radiometer of FY2 Meteorology Satellite[J]. Meteorological Monthly, 1998, 24(8): 26-28. [谷松岩. 风云二号可见光通道噪声分析[J]. 气象, 1998, 24(8): 26-28.]
- [26] Donald W H, Thomas H V H. Estimating Noise Levels of Remotely Sensed Measurements from Satellites Using Spatial Structure Analysis[J]. J. Atmos. Ocean Tech, 1988, (5): 206-214.
- [27] Zhao Ruixia, Li Wei, Wang Yubin. The Application of Spatial Structure Functions to the Design of Weather Station Networks in Beijing Area[J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 2007, 18(1): 94-101. [赵瑞霞, 李伟, 王玉彬. 空间结构函数在北京地区气象观测站网设计中的应用[J]. 应用气象

- 学报,2007,18(1):94-101.]
- [28] Zheng Xuefen, Lin Zongjian, Fan Li, *et al.* Research on Methods for Computing the Volume of Information of Remote Sensing Image[D]. Journal of Shandong Univ. of Sci. and Technol. ;Nat. Sci., 2008, 27(1):80-83. [郑学芬, 林宗坚, 范丽, 等. 遥感影像信息量的计算方法研究[D]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2008, 27(1):80-83.]
- [29] Aiazzi B, Barducci A, Baronti S, *et al.* Evaluation of Quality and Information Content of CHRIS Hyper-Spectral Images [C]//Proceedings 5th EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy. Bruges, Belgium, April 23-25 2007.
- [30] Canny J. A Computational Approach to Edge Detect[J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6):679-698.
- [31] Jin Shengye, Chen Shengbo, Jin Lihua, *et al.* The Using of Differential Algorithm in Remote Sensing Image Edge Extraction[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2008, 23(6):729-734. [金晟业, 陈圣波, 金丽华. 遥感图像边缘提取微分方法及其应用[J]. 遥感技术与应用, 2008, 23(6):729-734.]

Review on Methods for SNR Estimation of Optical Remote Sensing Imagery

ZHU Bo^{1,2,3}, WANG Xin-hong², TANG Ling-li², LI Chuan-rong²

(1. Center for Earth Observation and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;
2. Academy of Opto-Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;
3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The signal-to-noise ratio (SNR) is one of the most important indices which can be used to evaluate the data quality obtained by a remote sensor. To a great extent, the SNR of an image reflects the SNR of the remote sensor. Several typical methods to estimate the SNR of optical remote sensing imagery are summarized in this paper, and their merit and restrictions are presented. And this paper also performs the comparison and analysis between these methods based on their own principles, from six aspects including the automatic computation, the computing time, the stability, the applicability, the suitable sensor category, and the uniformity of estimating areas. In addition, the paper points out that the comparison and analysis between methods in various specific applications should be done in the future. The study will help to choose a reasonable SNR estimating method aiming at different remote sensors and different types of remote sensing images.

Key words: Optical remote sensing imagery; Signal-to-noise ratio(SNR); Noise estimation