

文章编号:1001-9014(2012)02-0143-05

## 干涉成像光谱仪高光谱数据信息质量评估

张霞<sup>1</sup>, 帅通<sup>1,2\*</sup>, 赵冬<sup>1</sup>

(1. 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:**从信噪比和信息熵两个方面对于干涉成像光谱仪(IIM)高光谱数据的信息质量进行了评估, 以期 IIM 高光谱数据的深入应用提供参考依据. 结果显示, IIM 高光谱数据整体信息质量良好, 中间波段影像信息质量优于两端波段, 750 nm 附近作为月表斜长石、辉石光谱曲线反射峰, 表现出较好的信噪比和信息熵, 这对提取月表元素与矿物具有重要意义, 但作为辉石、斜长玻璃矿物吸收谷的 930 nm 波段附近则信息质量较差; 前 9 个波段信息质量上升趋势明显, 但整体较差, 建议在使用时对噪声做着重处理; 第一波段和最后一个波段信息质量较差, 建议舍去.

**关键词:**信噪比; 信息熵; 嫦娥一号; 干涉成像光谱仪(IIM); 信息质量

**中图分类号:**P184.5+4 **文献标识码:**A

### Assessment of the information quality of hyperspectral data from interference imaging spectrometer

ZHANG Xia<sup>1</sup>, SHUAI Tong<sup>1,2\*</sup>, ZHAO Dong<sup>1</sup>

(1. Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;  
2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** The information quality of the IIM hyperspectral data has been assessed from the aspects of signal-to-noise ratio and comentropy for the further applications of the IIM data. As the assessment results show, the information of the IIM data has a good quality as a whole. The quality of the information at the middle bands are much better than that at both ends of the bands. Corresponding to reflectance of plagioclase and the pyroxene, the peak in the spectrum centered around 750 nm exhibits high value of SNR and comentropy. This result is of great importance for retrieving elements and minerals on the lunar surface. However, the absorption valley, centered around 930 nm, exhibits poor information quality. Although the information quality of the first nine bands has an obvious trend of rising, the noise should be reduced carefully before use because of the low quality of them as a whole. Moreover, the information quality of the first band and the last one is too poor to use.

**Key words:** signal to noise ratio; comentropy; CE-1; interference imaging spectrometer (IIM); information quality

**PACS:** 95.30. Ky

### 引言

21 世纪初掀起了新一轮探月热潮, 许多国家都制定了未来几十年的探月计划<sup>[1]</sup>. 中国第一颗绕月卫星——嫦娥一号于 2007 年 10 月 24 日在西昌卫星发射中心成功发射.

干涉成像光谱仪(IIM)是嫦娥一号携带的主要载荷之一, 它为反演月表元素含量与岩矿信息获取了大量的光谱数据. 干涉成像光谱仪与色散型成

像光谱仪相比, 具有多通道、高通量的显著特点<sup>[2]</sup>, 针对 IIM 高光谱数据的研究已经陆续开展<sup>[3-4]</sup>. 各通道(波段)信息质量的好坏对于用户选择和处理数据是至关重要的, 它决定了地物识别的精度, 因此对遥感仪器图像质量的评估有很多, 如针对 OMIS 成像光谱仪<sup>[5]</sup>、中巴地球资源卫星载荷<sup>[6]</sup>、EO-1 Hyperion<sup>[7]</sup>等图像的质量评估. 对图像质量可以从各个方面进行评估, 如信噪比、地面分解力、信息熵、清晰度、反差、辐射精度等等.

收稿日期: 2011-02-24, 修回日期: 2011-06-14

Received date: 2011-02-24, revised date: 2011-06-14

基金项目: 863 国家高技术研究发展专项课题(2009AA122203); 遥感科学国家重点实验室自由探索基金(10ZY-04)

Foundation items: China 863 High Technology Development Program(2009AA122203), Special Foundation for Free Exploration of State Key Laboratory of Remote Sensing Science(10ZY-04)

作者简介: 张霞(1972-), 女, 山东乳山人, 博士, 副研究员, 主要研究方向为高光谱遥感图像处理与信息提取. E-mail: zx\_0101@163.com.

\* 通讯作者: t\_shuai@foxmail.com.

根据图像质量评价指标的特点及 IIM 数据目视质量的实际情况,选取表示影像信号纯度的信噪比和表示影像信息丰富程度的信息熵,对嫦娥一号 IIM 高光谱数据各波段的信息质量进行评估,为 IIM 高光谱数据的应用,特别是为基于波段/特征选择的岩矿信息提取提供参考。

## 1 实验数据及预处理

### 1.1 实验区选取

信噪比和信息熵都容易受地物均一程度的影响,为保证信噪比和信息熵分析的可靠性,实验数据选取哥白尼陨石坑进行分析,见图 1。图 1(a)为地物相对均匀的中心地区,图 1(b)为地物类型复杂的东部边缘地区,数据大小为 600 行  $\times$  128 列。作为近月面最著名的年轻陨石坑之一,哥白尼陨石坑的中央峰富含橄榄石,一直是月球研究的热点区域<sup>[9]</sup>。

### 1.2 数据预处理

使用的 IIM 数据处理级别为 2C 级,经过初步的暗电流校正、光谱辐射校正、几何粗校正、光度校正等处理。对 2C 数据进行了辐射校正<sup>[10]</sup>,主要包括反射率转换和行向响应不均一的校正。

对于反射率转换,首先, IIM 获取数据中 2225 轨第 11151 至 11167 行和第 69 至 73 列所围成的 17  $\times$  5 像元组成的区域和 Apollo16 登陆点月表物质基

本一致,该区域被选取为定标区域,并对其光谱进行平均;其次,采用 Gaussian 曲线作为光谱响应函数,将 Apollo16 获取的 62231 号月壤样品的双向反射率转换为 IIM 反射率,获取定标因子;然后,将定标因子应用于 IIM 图像,获取 IIM 的反射率数据。

行向响应不均一的校正,主要以地基望远镜光谱为标准,选取一定的实验区,通过多项式拟合获取校正因子,利用该校正因子对图像进行校正,具体处理步骤请参考文献[10]。

## 2 信噪比评估

### 2.1 IIM 数据噪声类型分析

根据噪声和信号的关系,噪声可分为加性噪声和乘性噪声两大类。加性噪声的大小和信号大小无关,乘性噪声大小与信号大小有关。以地物相对均匀的图 1(a)为例,进行噪声和信号的相关性分析,将图像按照 4  $\times$  4 分割为相对均匀的区域,局部均值代表信号,局部标准差代表噪声。局部均值和局部标准差散点图,见图 2。由图 2 看出,噪声和信号相关程度很低。计算 IIM 数据 32 个波段局部均值和局部方差的相关系数,见图 3。由图 3 可看出,相关系数 R 绝大多数低于 0.4,因此可以认为 IIM 数据以加性噪声为主。

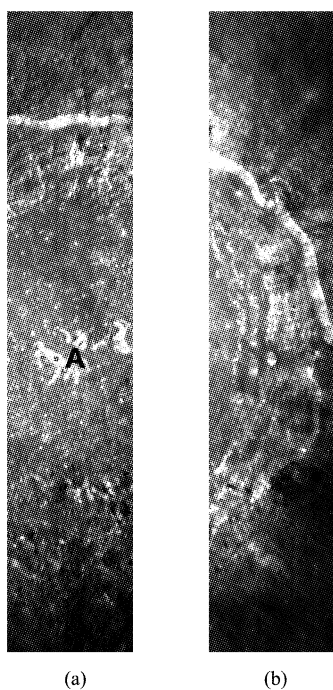


图 1 哥白尼陨石坑 (a) 中心地区 (b) 东部边缘  
Fig. 1 The Copernicus crater (a) the middle, (b) the east edge

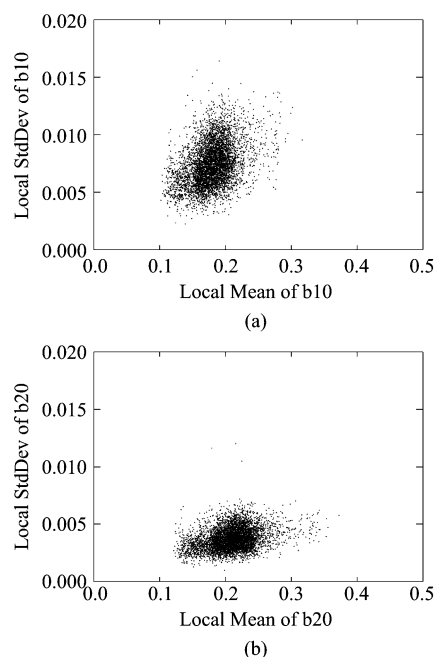


图 2 局部均值和局部标准差散点图 (a) 波段 10 (b) 波段 20  
Fig. 2 The scatter plot of the local mean and the local standard deviation (a) band 10, (b) band 20

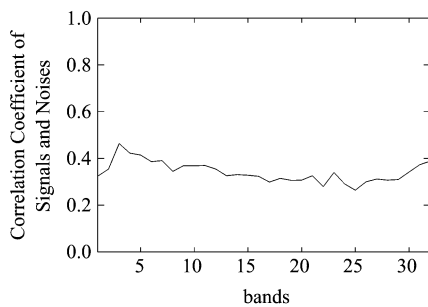


图3 各波段局部均值和局部标准差的相关系数  
Fig. 3 The correlation coefficient of the local means and local standard deviations of all bands

## 2.2 信噪比计算

信噪比的计算方法很多,并大多以加性噪声为理论前提,主要包括均匀区域法(HA)、地统计法(GS)、局部均值和局部方差法(LMLSD)<sup>[11]</sup>以及针对高光谱数据的去相关法(SSDC)<sup>[12]</sup>等.信噪比计算方法各有所长,具有不同的适用范围.RLSD(Residual-scaled local standard deviations method)算法针对SSDC算法在不均质分割区域的噪声评估不稳定性进行了改进,并很好地融合了LMLSD算法求取最佳噪声的思想,适合于高光谱图像的噪声评估<sup>[13]</sup>.本文选取RLSD算法计算IIM数据的噪声强度,选用各分割区域均值的均值表示各波段的信号强度.

### 2.2.1 RLSD算法的基本原理

首先分割,即将图像分割成 $w \times h$ 的相对均匀区域,区域均值作为该区域的信号强度;其次去相关,即以分割区域为单位,利用 $k-1$ 和 $k+1$ 波段来线性拟合第 $k$ 波段的值作为纯信号,原信号和纯信号的残差作为单个象元的噪声强度;然后求局域噪声,即计算各分割区域残差的标准差,作为该区域的噪声强度LSD;最后求全图噪声,即将整幅图像的所有LSD按照一定的分割区间进行分割,取众数最大的分割区间内LSD的均值作为整幅图像的噪声水平.算法细节参见文献[13].

应用到IIM数据时,首先图像分割成 $4 \times 4$ 的均匀区域;其次在去相关处理中,第1波段数据利用第2、3波段拟合,第32波段数据利用第30、31波段拟合;最后在求取最佳LSD区间步骤中,原RLSD算法沿用了Gao B. C. (1993)的方法,即当图像尺寸不小于 $500 \times 500$ 时,在LSD最小值与LSD均值的1.2倍值之间划分150个分割区间,但IIM数据只有128列,远小于500列,经实验分析表明,在LSD最小值和最大值之间取60个分割区间,IIM数据噪声估算

的稳定性较好.

## 3 信息熵评估

信息熵是从信息论角度反映图像信息丰富程度的一种度量方式,可以反映图像包含地物信息的详细程度.熵有多种定义形式,常用的有Shannon熵、条件熵、平方熵、立方熵等.Shannon熵将遥感影像视作离散无记忆信源,其应用范围较广<sup>[14]</sup>.Shannon熵具有以下特点:

(1) 当影像中像元在各个灰度级均匀分布时,Shannon熵具有最大值.此时影像信息量最丰富,灰度分布最均匀,图像层次感最强.

(2) 当影像中所有像元都分布在一个灰度级,而没有其他灰度级时,Shannon熵具有最小值0.此时影像没有任何纹理信息,信息量为0.

(3) 当影像中灰度级减少时,熵也减少.

本文采用shannon熵表示信息熵:

$$H(X) = - \sum_{i=0}^{L-1} P_i \log_2 P_i, \quad (1)$$

其中, $i$ 为像元可能的灰度级, $L$ 为像元最大的灰度级, $P(i)$ 为影像 $X$ 上像元灰度级为 $i$ 的像元出现的概率.为方便计算并保证Shannon熵表达信息量的能力,将各波段划分为256个灰度级来计算Shannon熵.

## 4 评估结果与分析

### 4.1 信噪比分析

采用RLSD算法,图1(a)、图1(b)影像的信噪比计算结果如图4所示.由图4可见,地物均一地区图1(a)的信噪比比地物复杂地区图1(b)的信噪比曲线更为平滑,但变化趋势基本保持一致,说明所选取的信噪比评估算法具有很好的稳定性,适用于IIM数据.

IIM数据信噪比显示,整体上中间波段信噪比

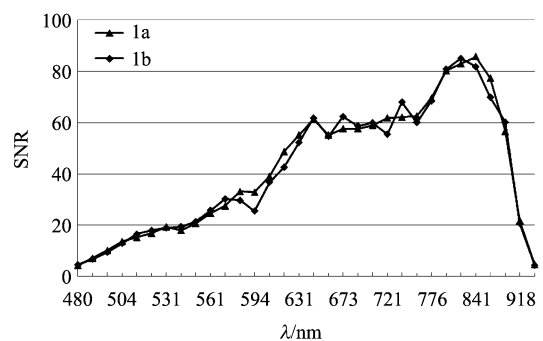


图4 图1(a)、图1(b)信噪比评估结果  
Fig. 4 The signal to noise ratio of Fig. 1 (a) and Fig. 1(b)

较高,向两端逐渐降低,这与干涉型成像的机理有关.大部分波段(第15~30波段)信噪比大于40,图像质量较好,尤其是对于识别矿物具有重要意义的750 nm附近的信噪比则高于60,750 nm附近波段作为斜长石、辉石光谱曲线的反射峰,结合其他波段可用于区分富镁铁类矿物和斜长石<sup>[15]</sup>,可见IIM数据在其波段范围内总体质量较好;作为辉石和斜长玻璃矿物吸收谷的930 nm附近波段的信噪比则比较低;第一波段和最后一个波段的信噪比都低于5,信噪比过低,噪声影响太大,建议舍去;此外前9个波段的信噪比低于20,在应用时需做去噪增强处理.

#### 4.2 信息熵分析

图1(a)、图1(b)影像的Shannon熵计算结果如图5所示.整体上来看,地物均一地区图1(a)的Shannon熵比地物复杂地区图1(b)的Shannon熵要低,符合Shannon熵表达信息丰富程度的特性;Shannon熵同样具有中间高、向两端逐渐降低的分布特点;前10个波段信息熵增长比较明显,表现出IIM数据前10波段信息量逐渐增加的特征;最后两个波段下降明显,尤其是最后一个波段信息熵在所有波段中最低;中间第10~30波段,Shannon熵整体略有增长,但基本维持在5.0~6.5之间.750 nm附近波段表现出较高的信息熵,波段信息比较丰富,而930 nm附近波段信息熵很低,信息质量较差.信息熵的分析结果与信噪比的分析具有很好的一致性.

#### 4.3 均匀区域光谱分析

选取图1(a)中哥白尼陨石坑中央峰地区4×4大小的均匀区域A进行光谱分析,图6为该区域16个像元的光谱曲线.由图6可见,前9个波段各像元的反射率数值波动较大,但逐渐减小;从第10波段(560 nm)开始,均匀区域A的各像元反射率数值趋于一致;但最后两个波段的反射率数值波动又明显

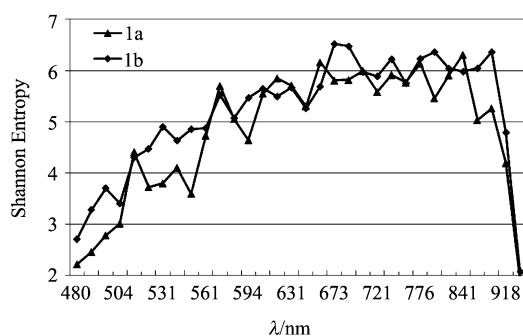


图5 图1(a)和图1(b) Shannon熵评估结果  
Fig. 5 The Shannon entropy of Fig. 1a and Fig. 1b

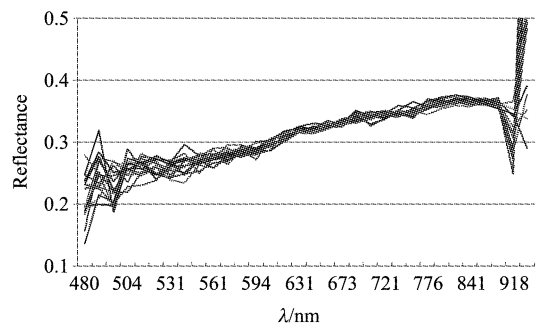


图6 中央峰均匀区域A的光谱曲线  
Fig. 6 The reflectance plots of the homogeneous region A

增大,尤其是第32波段,数值极不稳定.这与信噪比和信息熵的评估结果也极为吻合.同样,750 nm附近波段的反射率数值表现出很好的一致性,而930 nm附近波段则表现出较大的波动性.

## 5 结论

信噪比的评估容易受地物分布均一程度的影响,因此选取了代表地物相对均一和地物较复杂的两幅嫦娥一号IIM影像进行了分析.RLSD算法计算的信噪比不受地物分布的影响,具有较高的可靠性,可以推广到其他高光谱图像数据的评估.

通过信噪比和信息熵的综合分析,IIM数据整体信息质量良好,具有中间波段(第10~30波段)图像信息质量优于两端波段的分布特征,信息熵与此基本一致;作为月表斜长石、辉石光谱曲线反射峰对提取月表元素与矿物具有重要意义的750 nm附近波段表现出较好的信噪比和信息熵,而作为辉石、斜长玻璃矿物吸收谷的930 nm附近波段则信息质量较差;前9波段信息质量上升趋势明显,但整体较差,建议在使用时对噪声做着重处理,或根据需要对波段做一定的取舍;第一波段和最后一个波段信息质量较差,建议使用时舍去.

IIM首次将干涉成像高光谱遥感技术应用于深空探测,分析结果显示,IIM能够为月表成分的定量分析提供一定的数据支撑.

**致谢** 文章所用IIM 2C数据由探月与航天工程中心授权、探月与航天工程地面应用系统提供,在此表达谢意!吴昀昭博士对文章立意和评价指标选取提供了若干建议,两位匿名审稿人对文章提出的建设性意见使文章内容更加完整连贯,在此一并表示感谢!

## REFERENCES

- [1] Neal C R. The Moon 35 years after Apollo: What's left to learn[J]. *Chemie der Erde Geochemistry*, 2009, **69**(1): 3 - 43.
- [2] YUAN Zhi-Lin, ZHANG Chun-Min, ZHAO Bao-Chang. Study of SNR of a novel polarization interference imaging spectro meter[J]. *Acta Physica Sinica* (袁志林, 张淳民, 赵葆常. 新型偏振干涉成像光谱仪信噪比研究. *物理学报*), 2007, **56**(11): 6413 - 6419.
- [3] Liu F J, Qiao L, Liu Z, *et al.* Estimation of lunar titanium content: Based on absorption features of Chang' E-1 interference imaging spectrometer (IIM) [J]. *Science China Physics; Mechanics and Astronomy*, 2010, **53**(12): 2136 - 2144.
- [4] Wu Y Z, Zhang X, Yan B K, *et al.* Global absorption center map of the mafic minerals on the Moon as viewed by CE-1 IIM data[J]. *Science China Physics; Mechanics and Astronomy*, 2010, **53**(12): 2160 - 2171.
- [5] CHEN Qiu-Lin, XUE Yong-Qi. Estimation of signal-noise-ratio from data acquired with OMIS[J]. *Journal of Remote Sensing* (陈秋林, 薛永祺. OMIS 成像光谱数据信噪比的估算. *遥感学报*), 2000, **21**(4): 284 - 289.
- [6] ZHANG Xia, ZHANG Bing, ZHAO Yong-Chao, *et al.* Image quality assessment for the infrared multi-spectral scanner of the chinese-brazil earth resources satellite[J]. *Journal of Image and Graphics* (张霞, 张兵, 赵永超, 等. 中巴地球资源一号卫星多光谱扫描图象质量评价. *中国图象图形学报*), 2002, **7**(6): 581-587.
- [7] ZHOU Yu-Ji, TIAN Qing-Jiu. Image quality evaluation of EO-1 hyperion sensor[J]. *Geo-Information Science* (周雨
- 霁, 田庆久. EO-1Hyperion 高光谱数据的质量评价. *地球信息科学*), 2008, **10**(5): 678 - 683.
- [8] ZHAO Bao-Chang, YANG Jian-Feng, XUE-Bin, *et al.* Calibration of Chang' E-1 satellite interference imaging spectrometer[J]. *Acta Photonica Sinica* (赵葆常, 杨建峰, 薛彬, 等. 嫦娥一号干涉成像光谱仪的定标. *光子学报*), 2010, **39**(5): 769 - 775.
- [9] Mouelic S L, Langevin Y. The olivine at the lunar crater Copernicus as seen by Clementine NIR data[J]. *Planetary and Space Science*, 2001, **49**(1): 65 - 70.
- [10] Wu Y Z, Xu X S, Xie Z D, *et al.* Absolute calibration of the Chang' E-1 IIM camera and its preliminary application [J]. *Science in China Series G; Physics, Mechanics and Astronomy*, 2010, **52**(12): 1842 - 1848.
- [11] Gao B C. An operational method for estimating signal to noise ratios from data acquired with imaging spectrometers [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1993, **43**(1): 23 - 33.
- [12] 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.
- [13] Gao L R, Zhang B, Wen J T, *et al.* Residual-scaled local standard deviations method for estimating noise in hyperspectral images[J]. *Multispectral Image Processing*, 2007, **6787**: 78713 - 78713.
- [14] Shannon C E. A mathematical theory of communication [J]. *Bell System Technical Journal* 1948, **27**(3): 379 - 423.
- [15] Lucey P G. Mineral maps of the Moon[J]. *Geophysical Research Letters*, 2004, **31**(8), doi: 10. 1029/2003GL019406
- (上接 142 页)
- [13] Njoku E G, Li L. Retrieval of land surface parameters using passive microwave measurements at 6 ~ 18 GHz [J]. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*. 1999, **37**(1): 79 - 93.
- [14] Paloscia S, Macelloni G, Santi E. Soil moisture estimates from AMSR-E brightness temperatures by using a dual-frequency algorithm [J]. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*. 2006, **44**(11): 3135 - 3144.
- [15] Ray R L, Jacobs J M, Cosh M H. Landslide susceptibility mapping using downscaled AMSR-E soil moisture: A case study from Cleveland Corral, California, US [J]. *Remote Sensing of Environment*. 2010, **114**(11): 2624 - 2636.
- [16] Bindlish R, Jackson T J, Gasiewski A J, *et al.* Soil moisture mapping and AMSR-E validation using the PSR in SMEX02 [J]. *Remote Sensing of Environment*. 2006, **103**(2): 127 - 139.
- [17] Draper C S, Walker J P, Steinle P J, *et al.* An evaluation of AMSR-E derived soil moisture over Australia [J]. *Remote Sensing of Environment*. 2009, **113**(4): 703 - 710.
- [18] Sahoo A K, Houser P R, Ferguson C, *et al.* Evaluation of AMSR-E soil moisture results using the in-situ data over the Little River Experimental Watershed, Georgia [J]. *Remote Sensing of Environment*. 2008, **112**(6): 3142 - 3152.
- [19] Jackson T J, Cosh M H, Bindlish R, *et al.* Validation of advanced microwave scanning radiometer soil moisture products [J]. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*. 2010, **48**(12): 4256 - 4272.
- [20] Zhang X, Zhao J, Sun Q, *et al.* Soil moisture retrieval from AMSR-E data in Xinjiang (China): Models and validation [J]. *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of*. 2011, **4**(1): 117 - 127.
- [21] Zhang X, Zhao J, Sun Q. Soil moisture retrieval from TERRA/MODIS data using the adjusted TVDI model [C]. *The Proceedings of the Third International Conference on Earth Observation and Global Changes*, Munich, Germany, 13 - 15 April, 2011.
- [22] Moran M S, Clarke T R, Inoue Y, *et al.* Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index [J]. *Remote Sensing of Environment*. 1994, **49**(3): 246 - 263.
- [23] Njoku E G, Ashcroft P, Chan T K, *et al.* Global survey and statistics of radio-frequency interference in AMSR-E land observations [J]. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*. 2005, **43**(5): 938 - 947.
- [24] Cosh M H, Jackson T J, Moran S, *et al.* Temporal persistence and stability of surface soil moisture in a semi-arid watershed [J]. *Remote Sensing of Environment*. 2008, **112**(2): 304 - 313.