

文章编号: 1008-2786-(2016)5-632-05

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000171

# 高光谱遥感图像的地形校正和评价方法

鲁莹<sup>1</sup>, 姜广全<sup>2</sup>, 刘春锋<sup>3\*</sup>

(1. 61206 部队, 北京 100088; 2. 61139 部队, 北京 100088; 3. 96633 部队, 北京 100096)

**摘 要:** 高光谱遥感具有光谱分辨率高、图谱合一的突出特点,在地质勘探和植被遥感等定量应用中,较全色和多光谱更有优势。然而目标区复杂的地形效应,是制约高光谱数据应用效果的诸多外界因素之一,利用地形校正模型消除地形影响,已成为目前高光谱遥感图像步入应用前的有效处理手段。目前的地形校正方法研究当中,遥感数据以多光谱居多,且校正效果的评价方法较之高光谱图像的特点也略显不足。通过朗伯体和非朗伯体假设的不同校正模型(C-SCS+C-Minnaert, Minnaert+SCS)对Hyperion遥感图像进行地形校正,并利用目视效果、分类标准差、目标反射率对比校正结果分析评价,证明Minnaert+SCS模型最优,且评价方法合理、有效。

**关键词:** 高光谱遥感; 地形校正; 图像处理

中图分类号: TP751

文献标志码: A

成像光谱技术的发展,引领光学遥感进入了高光谱遥感阶段。获取的地表图像包含了丰富的空间、辐射和光谱三重信息,这种空间维和光谱维相结合的特殊数据结构,在描述地表空间特征的同时,丰富了目标的属性特征,且其较高的光谱分辨率,较多光谱图像有着更加精细的光谱响应,为判定目标以及分类工作提供了有效的手段。在植被参量反演和地质矿物含量勘探等山地农林应用中,起到关键性作用,因此高光谱图像在很多方面具有全色和多光谱图像无法比拟的优势。然而在复杂地形区受到地形起伏的影响,地表特征有别于平坦地区,例如太阳辐射在山林阴坡和阳坡则会存在目标辐亮度的差异,在光谱特征精度上同样存在误差,从而影响高光谱图像的进一步应用。那么要从高光谱遥感影像中获取目标的真实光谱信息,就必须对影像进行地形校正以消除地形的影响,而拟合散点图、直方图等<sup>[1]</sup>针对多光谱图像的地形校正效果评价方法并不适用于高光谱图像,因此对高光谱图像进行地形校正,并采用适当的方法进行效果评价,具有十分重

要的意义。

## 1 地形校正方法

在太阳光能“太阳-目标-传感器”的整个传输过程中,目标区的地形效应是传感器接收地面目标反射辐亮度差异的因素之一,而地形校正则是消除这种反射差异的有效手段。由于整个传输过程中,条件因素复杂多样,半经验校正模型比物理模型和经验模型更加适用,文中给出了4种基于朗伯体和非朗伯体假设条件下的地形校正方法,对高光谱图像进行地形校正。

### 1.1 C校正方法

C校正模型是目前应用最广泛的地形校正模型。它是在朗伯体假设条件下,Teillet<sup>[2]</sup>提出的Cosine校正模型的改进,这种校正方法计算简单,避免了当入射角较小时产生的过校正现象,从而影响校正效果。

收稿日期(Received date): 2015-11-21; 改回日期(Accepted): 2016-01-04。

作者简介(Biography): 鲁莹(1981-), 性别: 女, 工程师, 主要从事摄影测量与遥感方面的研究。[Lu Ying, (1981-), female, engineer, mainly engaged in photogrammetry and remote sensing.] E-mail: lu\_ying1981@sina.com

\* 通信作者(Author for correspondence): 刘春锋(1984-), 性别: 男, 工程师, 主要从事摄影测量与遥感方面的研究。[Liu Chunfeng, (1984-), male, engineer, mainly engaged in photogrammetry and remote sensing.] E-mail: lcfwm@163.com

$$L_H = L_T \frac{\cos\theta + c}{\cos i + c} \quad (1)$$

式中  $L_H$  是水平辐亮度;  $L_T$  是图像辐亮度; 经验常数  $c$  是利用像素辐亮度与太阳入射角余弦值两者间建立的回归方程得到的截距  $u$  和坡度  $k$  之间的比值来确定的, 作为半经验模型中每个波段像素辐射量调节的系数。

$$L_T = u + k \cos i \quad (2)$$

$$c = k/u \quad (3)$$

入射角余弦可以通过太阳天顶角和方位角, 以及地形坡度和坡向角求得。

$$\cos i = \cos\theta \cos\alpha + \sin\theta \sin\alpha \cos(A_s - A_r) \quad (4)$$

式中  $\theta$  和  $A_s$  是太阳天顶角和方位角,  $\alpha$  和  $A_r$  是地形坡度和坡向角。

## 1.2 SCS + C 校正模型

植被遥感是高光谱遥感的一个重要应用, 但由于植被的向地性生长, 其冠层垂直于大地水准面而非地形坡度面, 那么利用地形的坡度和坡向的几何关系构建地形校正模型, 物理机制上是不准确的。Scott 在 Gu<sup>[3]</sup> 提出的 SCS 校正模型基础上, 将经验常数  $c$  引入到 SCS 模型中, 在消除植被冠层因向地性生长而产生的影响的同时, 来调节散射效应<sup>[4]</sup>。

$$L_H = L_T \frac{\cos\theta \cos\alpha + c}{\cos i + c} \quad (5)$$

参数  $c$  的引用, 增加了 SCS + C 模型的适用性, 其求解过程同 C 校正模型。

## 1.3 Minnaert 校正模型

在“太阳-目标-传感器”整个辐射过程中, 存在着辐射现象中特有的 BRDF 特性, 其描述了地表入射辐射和反射辐射方向变化的多样性, 其特性难以判断。所以仅以朗伯体条件进行前提假设, 显然不够准确, 即便类似于 C, SCS + C 校正模型, 亦无法正确描述入射和反射辐射特性。Smith 的研究表明<sup>[5]</sup>, 对于复杂地表环境, 入射辐射的散射性, 与地表的粗糙程度有关。以非朗伯体条件进行假设, 构建地形校正模型, 能体现出假设的有效性和模型的合理性。

$$L_H = L_T \frac{\cos\alpha}{\cos^k i \cos^k \alpha} \quad (6)$$

参数  $k$  用来反映地表类型的反射特性的度量。将等式两侧取对数, 令  $x = \log(\cos i \cos \alpha)$ ,  $y = \log(L_T \cos \alpha)$ ,  $\rho = \log(L_H)$ , 则可以通过线性拟合的方式计算得出参数  $k$ 。

## 1.4 Minnaert + SCS 校正模型

研究表明, C 模型中的参数  $c$  和 Minnaert 模型中的参数  $k$  具有一定的相关性, 为了简化 Minnaert 模型计算, Reeder David 借鉴 SCS 校正模型, 引入太阳天顶角, 提出了 Minnaert + SCS 校正模型<sup>[6]</sup>。

$$L_m = L \frac{\cos^k \theta \cos \alpha}{\cos^k i} \quad (7)$$

此模型可看做 SCS 模型的改进, 且物理机制上更适用于向地性生长的覆被地形, 参数  $k$  的求解同 Minnaert 校正模型。

# 2 实验与分析

## 2.1 实验数据

实验中采用的是 Hyperion 高光谱遥感数据, 光谱分辨率 10 nm, 空间分辨率为 30 m, 影像中心位置 38°5'43.72"N, 100°2'15.28"E, 太阳天顶角为 29.2°, 太阳方位角为 119.9°。有效波段数量 148 个, 其中 0~91 波段的波长范围是 426.82~1336.15 nm, 92~117 波段的波长范围是 1507.7~1759.89 nm, 118~148 波段的波长范围是 2032.35~2334.24 nm。该地区的地物类型主要是山林, 高程变化范围 2641~4237 m。

地形数据是与高光谱影像数据相匹配的 ASTER GDEM 数据, 投影变换后, 利用样条函数法内插获取与高光谱影像空间分辨率一致的 30 m DEM 高程数据。

## 2.2 实验结果分析及评价

本文用基于朗伯体假设为前提条件的 C 校正模型, SCS + C 校正模型和基于非朗伯体假设为前提条件的 Minnaert 校正模型和 Minnaert + SCS 校正模型对实验区进行地形校正实验。由于高光谱遥感影像具有光谱分辨率高, 波段数目多的特点, 所以单一波段地形校正效果无法评价整体地形校正的效果。

### 2.2.1 影像视觉效果评价

图 1 中列出了原始高光谱图像与四种不同地形校正模型校正后的高光谱图像, 可以看出基于朗伯体假设的 C 和 SCS + C 模型矫正后的视觉效果不明显, 而非朗伯体假设条件下的 Minnaert 和 Minnaert + SCS 校正模型效果明显, 部分区域的地形效应有所减弱。

### 2.2.2 分类标准差比较

地形校正的目的是为遥感应用提供精确的影像数据, 不同的地形校正方法会产生不同的反射辐亮

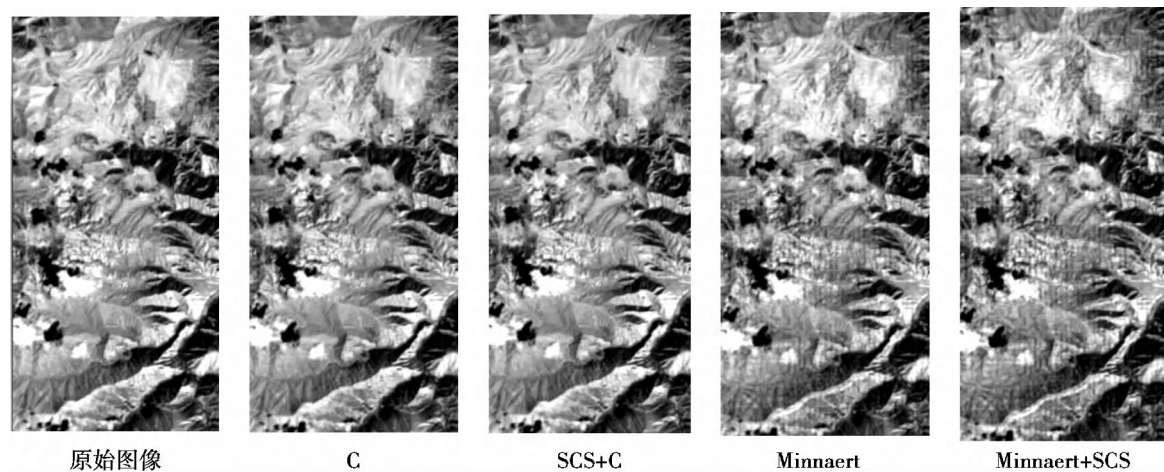


图 1 四种地形校正模型视觉效果图

Fig. 1 Visual effects of topographic correction model

度,从而影响校正后地物的反射率光谱特征,那么不同覆被辐亮度均值就会不同,通常用区域内同类或相似地物辐亮度的标准差来评价校正效果<sup>[7]</sup>。

图 2 中列举了原始和校正后高光谱图像分类结果中,每一种类别反射辐亮度的标准差变化。从图 2 可以看出,校正后影像各个波段类内标准差基本上都小于原始影像,而在 121 ~ 150 短波红外波段,四种模型的标准偏差较为接近,这是因为传感器在

短波红外波段信噪比较低造成的。从整个波段的标准差曲线来看,在植被和沙石两类地物中,以非朗伯体假设的校正模型整体效果要好于朗伯体校正模型,其中 Minnaert + SCS 模型在植被类中较其他模型更为突出;在植被和沙石混合类中,两种假设条件下的校正模型标准差较为接近,这是由于各个波段混合光谱特征的权重不同导致。整个图表现出来的特点与校正模型的构建思想相吻合,符合预期。

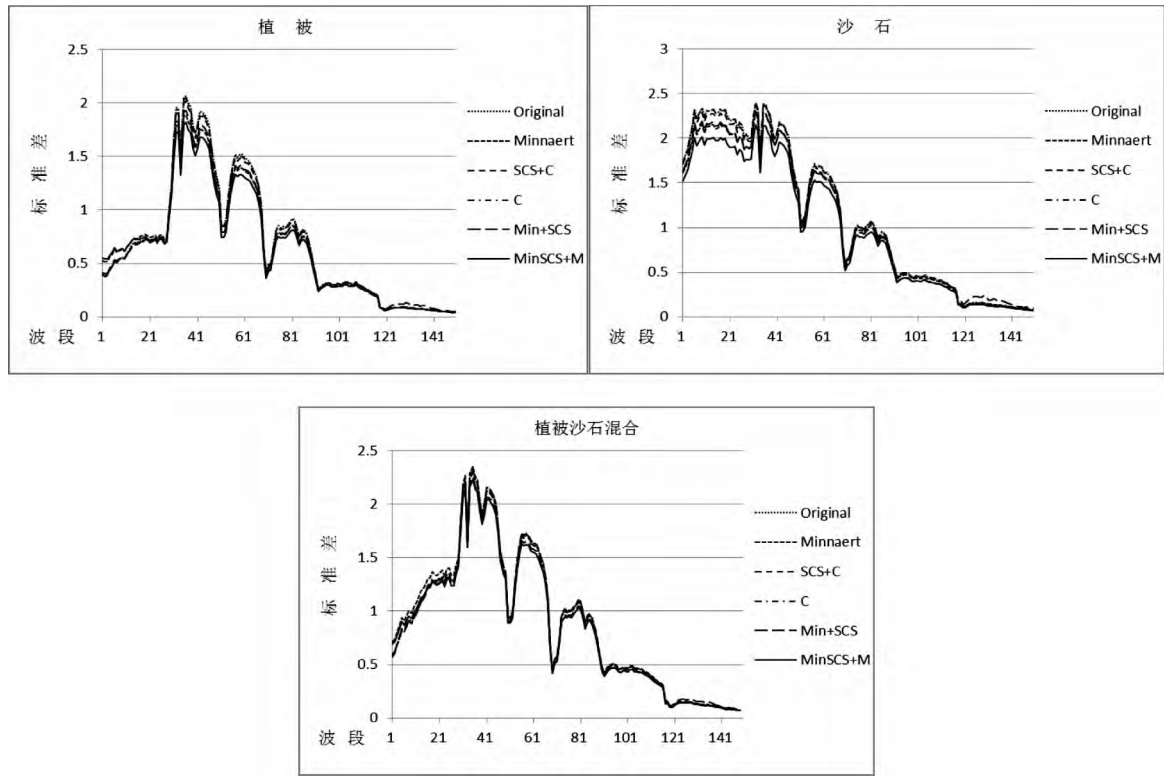


图 2 不同模型校正后的分类标准差

Fig. 2 Classification standard deviation between different models

### 2.2.3 阴阳坡反射率光谱对比

由于受到地形起伏的影响,阴坡接收到的辐射量主要是依靠散射作用,从而出现阴坡反射率光谱幅值低于阳坡的现象,地形校正则需要消除这种偏差。图3中,在地形校正前后,对于典型的植被光谱曲线,在可见光部分由于反射率较低,校正前后幅值变化不明显,而对近红外波段,反射率较高,其幅值变化明显,因此近红外波段的幅值变化,可以用来较好的评价不同模型下地形校正的效果。

经实验结果对比,总体上看,四种模型校正结果中阴坡与阳坡的反射率光谱较原始图像均有明显程度的接近。2000 nm 波段往后,原始图像和各校正模型均出现了部分波段的阴坡反射率光谱幅值高于阳坡的现象,这是由于传感器在短波红外波段,其信噪

比较低而导致的幅值偏差。在C模型和SCS+C模型校正结果中,同类地物阳坡的反射率光谱幅值较原始图像增大,这说明在近红外波段C和SCS+C模型出现了不同程度的光谱失真,在增强阴坡辐亮度的同时,阳坡也在增强,这是由于在朗伯体假设条件下,忽略了覆被地形中的BRDF反射特性导致的。非朗伯体假设条件下的Minnaert和Minnaert+SCS校正模型阴坡与阳坡的反射率光谱幅值接近程度较为明显,但是在可见光波段范围内,模型出现了一定程度的过校正现象,地物的整体反射率光谱曲线幅值变化影响较小,在1700 nm 波段以内的可见近红外光谱响应区,光谱反射率幅值变化符合预期。综上所述,整个试验结果符合地形校正预期和目标光谱特征变化规律。

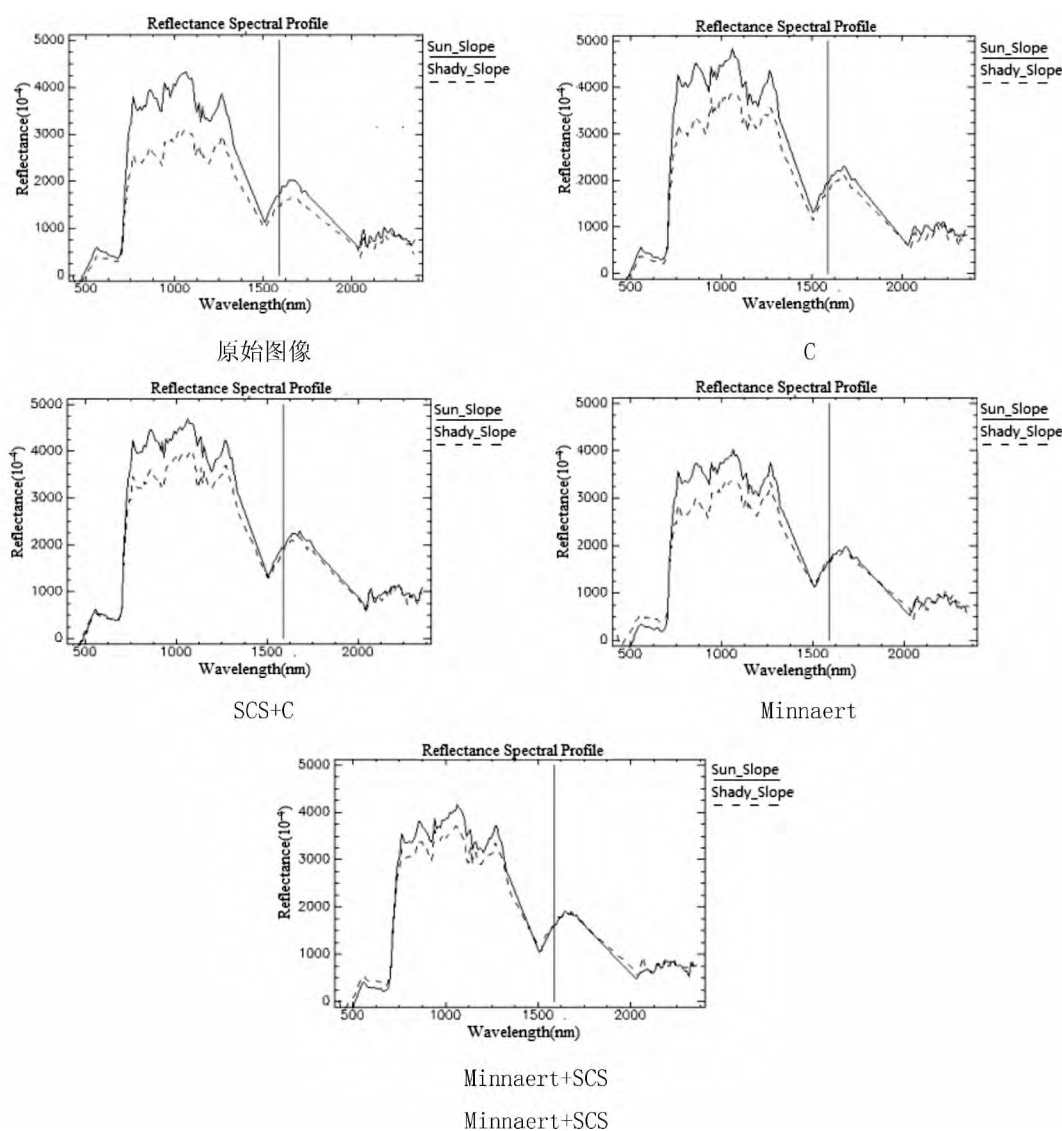


图3 同类地物在阴坡(Shady\_Slope)和阳坡(Sun\_Slope)在不同模型校正结果下的反射率光谱曲线对比

Fig. 3 Contrast of reflectance spectral for similar features in Shady\_Slope and Sun\_Slope between different models

### 3 结论

从以上的结果中分析得出,对基于朗伯体和非朗伯体假设条件下提出的 C,SCS + C 和 Minnaert, Minnaert + SCS 这四种半经验校正模型,均有助于调节散射辐射的经验系数,但 Minnaert + SCS 校正模型的校正效果最好,且其分类后的各类别反射辐射标准差,均低于校正前,而且在相同地物阴坡和阳坡的反射率光谱曲线变化上也有较好的表现。

高光谱图像,较多光谱图像有更详尽的波谱信息,在遥感领域有更加广泛的应用,且地形校正和校正效果评价是图像在定量应用前不可缺少的处理环节。在地形校正的研究中,以往的学者多以 Landsat 等多光谱影像为主,很少以高光谱图像为对象进行研究,且以往的评价方法对高光谱图像略显不足。本文以高光谱图像的应用为前提条件,突破了以往学者在地形校正研究中,数据源单一性的局限性,并且针对高光谱应用特点,利用目视效果,分类标准差,同类地物在阴阳坡的反射率对比三种方法对校正效果进行了有效评价,得到了合理的论证结果。

### 参考文献(References)

- [1] Yongnian Gao, Wanchang Zhang. Comparison test and research progress of topographic correction on remotely sensed data [J]. Geographical Research 2008 27(2): 467 - 478 [高永年, 张万昌. 遥感影像地形校正研究进展及其比较实验 [J]. 地理研究 2008, 27(2): 467 - 478]
- [2] Teillet P M, Guindon B, Goodenough D G. On the Slope-aspect Correction of Multispectral Scanner Data [J]. Canadian Journal of Remote Sensing, 1982 8(2): 84 - 106
- [3] Gu D, Gillespie A. Topographic normalization of Landsat TM images of forest based on subpixel sun-canopy-sensor geometry [J]. Remote Sensing of Environment, 1998 64: 166 - 175
- [4] Soenen S A, Peddel D R, Coburn C A. SCS + C: A Modified Sun-canopy-sensor Topographic Correction in Forested Terrain [J]. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing. 2005 43(9): 2148 - 2159
- [5] Smith J A, Lin T L, Ranson K J. The Lambertian Assumption and Landsat data [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 1980 46(9): 1183 - 1189
- [6] Reeder D H. Topographic correction of satellite images: theory and application [G] // Dissertation Abstracts International. Hanover, New Hampshire: Dartmouth College 2002: 5123 - 5275
- [7] Riano D, Chuvieco E, Salas J, et al. Assessment of Different Topographic Corrections in Landsat - TM Data for Mapping Vegetation Types (2003) [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 2003 41(5): 1056 - 1061

## Terrain Correction and Evaluation Methods of Hyperspectral Remote Sensing Image

LU Ying<sup>1</sup>, JIANG Guangquan<sup>2</sup>, LIU Chunfeng<sup>3</sup>

(1. Unit No. 61206 Beijing 100088, China; 2. Unit No. 61139 Beijing 100088, China; 3. Unit No. 96633 Beijing 100096, China)

**Abstract:** Hyperspectral remote sensing has prominent properties of high spectral resolution and the combining between image and spectrum. In the quantitative application of geological exploration and vegetation remote sensing, which has advantages than panchromatic and multi spectral. However, the complex terrain effect is one of the many external factors that restrict the application of high spectral data. Terrain correction models are used to remove terrain effect, and it has become an effective method for application of hyperspectral remote sensing images. At present, among the methods of terrain correction, the multispectral images are used mostly, and the evaluation methods of the correction effect is slightly less due to the characteristic of hyperspectral image. In the paper, terrain correction for Hyperion image is used by different models (C, SCS + C, Minnaert, Minnaert + SCS) with Lambertian and non-Lambertian assumptions, and the visual effect, classification standard deviation, target reflectivity contrast are used to analyze and evaluate the correction result. Above all, the Minnaert + SCS model is best and the evaluation methods are reasonable and effective.

**Key words:** Hyperspectral remote sensing; terrain correction; image processing