

文章编号:1671-6833(2013)03-0125-04

基于 TM 影像的大气辐射校正方法对比分析

赫晓慧,张曦文

(郑州大学 水利与环境学院,河南 郑州 450001)

摘要:比较 6S 模型与改进 DOS 模型进行大气辐射校正的原理与算法,以期选取基于 TM 影像的更优大气辐射校正方法.选择陆地卫星 7 号 TM 遥感影像的可见光 TM1、TM2、TM3 波段数据,分别探讨基于 6S 模型与改进 DOS 模型进行大气辐射校正和反射率反演.研究表明:改进 DOS 模型较 6S 模型辐射校正效果更好,地表反演精度更高,且可操作性强,易于接受.对于 TM 影像而言,改进 DOS 模型是一种较优的大气辐射校正方法.

关键词:大气校正;TM;6S 模型;DOS 法;地表反照率

中图分类号: P407;TP751

文献标志码: A

doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2013.03.030

0 引言

电磁波在大气-目标物-传感器传输过程中会受到大气吸收、散射的影响,引起目标地物反射辐射能量到达传感器时的衰减误差,为获取地物真实信息,需要对图像预处理——大气校正.

目前,关于大气校正和地物反射率反演的方法很多,早期 DOS 法^[1-2](Dark-Object Subtraction)利用清洁水体的像元值代替大气辐射,随后发展出多种模型,以 6S、MODTRAN、LOWTRAN 和 ATOCOR 模型应用最广泛.但是这些方法计算量大,要输入大量参数,而且大气参数的随机性和不均匀分布限制了大气纠正精度.

本研究采用 2002 年 9 月 2 日的 Landsat7 卫星 TM 影像的 1,2,3 波段数据,提取郑州市附近植被较为浓密的区域对 6S 模型与改进 DOS 模型进行实验研究.

1 原理及算法

6S 模型在假设地表为均一朗伯面且大气水平均匀条件下,给出传感器接受的大气顶部反射率公式^[3]:

$$\rho_{\text{Top}}(\mu_s, \mu_v, \phi) = \rho_0(\mu_s, \mu_v, \phi) + \frac{T(\mu_s)T(\mu_v)\rho_s(\mu_s, \mu_v, \phi)}{[1 - \rho_s(\mu_s, \mu_v, \phi)]S}; \quad (1)$$

地表反射率:

$$\rho_s(\mu_s, \mu_v, \phi) = \frac{\rho_{\text{Top}}(\mu_s, \mu_v, \phi) - \rho_0(\mu_s, \mu_v, \phi)}{T(\mu_s)T(\mu_v) + [\rho_{\text{Top}}(\mu_s, \mu_v, \phi) - \rho_0(\mu_s, \mu_v, \phi)]S} \quad (2)$$

式中: ρ_{Top} 为大气顶部反射率; ρ_0 为路径辐射项等效反射率; $T(\mu_s)$ 为上行辐射总透过率; $T(\mu_v)$ 为下行辐射总透过率; θ_s 为太阳天顶角; θ_v 为观测天顶角; ϕ 为方位角; S 为大气下界的半球反射率,

其中, $\mu_s = \cos\theta_s$, $\mu_v = \cos\theta_v$.将式中 $T(\mu_s) \cdot T(\mu_v)$ 记做参数 x_c , S 、 ρ_0 分别记为 x_a 、 x_b ,则利用大气参数 x_a 、 x_b 、 x_c 可从表观反射率计算得到地表反射率,即实现大气校正.

DOS 模型在假设天空辐照度各向同性且地面为朗伯体反射条件下,将行星反射率^[4]表示为

$$R_\lambda = \frac{\pi L_\lambda}{E_\lambda \cos\theta_s \cdot W_i(\lambda)}; \quad (3)$$

地表反射率:

$$R_{s\lambda} = \frac{R_\lambda - \rho_{\mu\lambda}}{(T_{d\lambda} + \frac{1 - T_{\mu\lambda}}{2\cos\theta_s})T_{\mu\lambda}} \quad (4)$$

式中: L_λ 为波段平均单位光谱辐亮度; E_λ 为大气层外相应波长的太阳光谱辐照度; $W_i(\lambda)$ 为各波段宽度; θ_s 为太阳天顶角; $\rho_{\mu\lambda}$ 为程辐射反射率; $T(\mu_s)$ 为上行辐射总透过率; $T(\mu_v)$ 为下行辐射总透过率.

收稿日期:2012-11-06;修回日期:2012-02-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41101095)

作者简介:赫晓慧(1978-),女,河南商丘人,郑州大学讲师,博士,主要从事水文生态遥感及地理信息系统应用方面的研究,E-mail:hexh@zzu.edu.cn.

二者在假设条件上相似,均考虑地表为朗伯面且大气均匀,但 DOS 模型是以阴影区植被作为黑体,假设阴影区植被反射率为 0,借以估算出大气散射对程辐射的贡献,涉及参数运算量较少。

2 模型使用

2.1 辐射定标

6S 模型与 DOS 模型在大气校正之前均需对图像进行辐射定标,定标过程相似。

用定标系数将原始 DN 值转换为大气层顶太阳辐亮度,定标关系式如下^[5]:

$$L_{\lambda} = a \cdot DN + b. \tag{5}$$

式中: L_{λ} 是某个波段光谱辐射亮度, $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$; DN 为原始影像的像元灰度值; a 和 b 分别为增益和偏置, $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$ 。

地物在大气外的顶部光谱反射率^[6]:

$$\rho_{TOA} = \frac{d^2 \cdot \pi \cdot L_{\lambda}}{E_{\lambda} \cdot \cos(\theta_s)}. \tag{6}$$

式中: d 为日地天文单位距离,此处取值 1.009 2; E_{λ} 为大气层顶平均太阳光谱辐照度, $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$; θ_s 为太阳天顶角,此处取值 34.71° 。

表 1 辐射定标参数

Tab.1 Radiometric calibration of parameters

参数	TM1	TM2	TM3
a	0.775 7	0.795 7	0.619 2
b	-6.2	-6.4	-5.0
E_{λ}	1 969	1 840	1 551

2.2 参数设置

6S 模型需要输入 9 个参数:几何参数、大气模式、气溶胶模式、气溶胶浓度、地面高度、探测器高度、探测器光谱参数和地表特性及表观反射率。6 S 模型提供多种可选参数,需针对成像时间地点及气候条件选择参数相应值;而 DOS 模型所有参数均是从影像中直接提取成像时大气状态参数,更具有针对性。

两者的最大不同在于,6S 模型中气溶胶参数可直接以影像能见度表示,此处取值 23 km,而 DOS 模型中则需要计算光学厚度。

本实验采用夏季晴空遥感影像数据,只考虑大气散射,忽略吸收作用,则大气光学厚度包括分子光学厚度和气溶胶光学厚度。

(1) 分子光学厚度: τ_{λ} 是 Rayleigh 散射光学厚度^[7],可由下式求得

$$\tau_{\lambda}(\lambda, h) = \exp(-0.118\ 8h - 0.001\ 16h^2) \cdot (0.008\ 59\lambda^{-4}(1 + 0.001\ 13\lambda^{-2} + 0.000\ 13\lambda^{-4})). \tag{7}$$

式中: λ 是波长, μm ; h 是海拔高度, km 。

(2) 气溶胶光学厚度:可按下式对气溶胶光学厚度 τ_a 进行估算:

$$\tau_a = \frac{4\rho_{\mu\lambda} \cdot \cos\theta_s - \omega_r \cdot \tau_r \cdot p_r(\theta_s)}{\omega_a \cdot p_a(\theta_s)}. \tag{8}$$

式中: ω_r 为瑞利散射单次散射反照率,一般取 1; ω_a 为大陆性气溶胶单次散射反照率,此处取值 0.92; θ_s 为太阳天顶角; $p_a(\theta_s)$ 为散射相函数; $\rho_{\mu\lambda}$ 为程辐射反射率。

虽 DOS 模型中大气光学厚度的计算量较大,但完全依据图像确定参数,具有针对性,比 6S 模型单纯地用可见度代替气溶胶浓度的精度高。

2.3 校正参数

分别向 6S 模型与 DOS 模型输入各波段的参数文件,模拟计算得到各波段大气纠正参数,如表 2 和表 3 所示。

表 2 6S 模型各波段的大气校正参数

Tab.2 The band atmospheric correction of the 6S model parameters

波段	x_a	x_b	x_c
TM1	0.002 78	0.111 81	0.167 80
TM2	0.002 87	0.064 25	0.119 39
TM3	0.003 14	0.037 89	0.089 13

表 3 DOS 模型各波段大气校正参数

Tab.3 The band atmospheric correction of the DOS model parameters

参数	TM1	TM2	TM3
$\rho_{\mu\lambda}$	0.078 3	0.067 8	0.039 6
τ_r	0.1480	0.086 6	0.044 9
τ_a	0.049 0	0.094 5	0.050 6
τ_{λ}	0.197 0	0.181 1	0.095 5
$T_{d\lambda}$	0.786 9	0.802 3	0.890 3
$T_{\lambda\mu}$	0.821 2	0.834 4	0.908 9

2.4 地物真实反射率

6S 模型中在假定地面为均一朗伯体条件下,直接根据下式计算地物真实反射率:

$$\begin{cases} \rho = \frac{y}{1 + x_c \cdot y}, \\ y = x_a \cdot L_i - x_b. \end{cases} \tag{9}$$

式中: ρ 为校正后反射率; L_i 是 i 波段辐射亮度; x_a 、 x_b 、 x_c 为大气校正参数。

DOS 模型的地物真实反射率反演过程如下:分别读取水体和植被阴影区各波段行星反射率 R_{λ} ,对比发现水体值比植被阴影区小,由此认为影像直方图下限值对应的暗体即为植被阴影区,则所读取阴影区植被的值即为程辐射反射率。

3 效果展示

3.1 目视效果对比分析

黄河流域附近地物反演情况如图 1 所示. 由于阴霾较少, 目视效果较好, 故校正后目视效果对比不太明显, 改进 DOS 效果图中旱地颜色相对更暗, 效果更好一些.

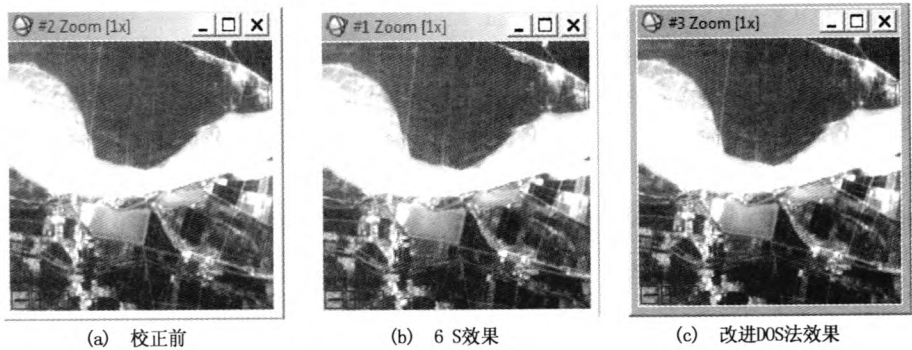


图 1 黄河流域附近地物反演
Fig.1 Feature inversion of near the Yellow River Valley

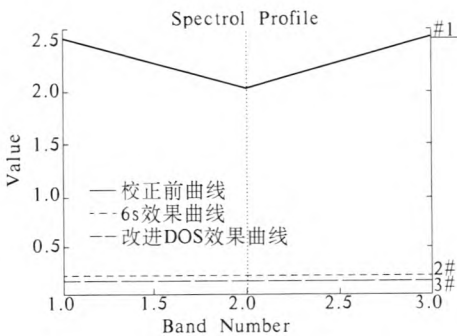


图 2 校正前后反射率波谱曲线
Fig.2 Reflectance spectra before and after calibration curve

3.3 反射率值对比分析

大气校正后的反射率 (display1) 与辐射定标的表观反射率 (display2) 值对比分别见图 3、图 4, 可以看出, 改进 DOS 法得到的反射率值更低, 更好地消除散射影响, 更接近地物真实反射率.

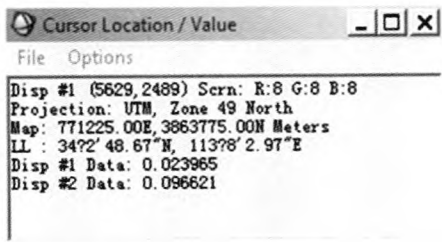


图 3 6S 校正后 TM1 反射率对比
Fig.3 After 6S correction TM1 reflectance contrast

3.2 波谱曲线对比分析

图 2 为校正前后反射率波谱曲线, 图中由上而下依次为校正前曲线、6S 效果曲线、改进 DOS 效果曲线. 可见光波段受大气吸收影响较小, 改进 DOS 法虽没有考虑吸收作用, 但较 6S 模型效果相差无几.

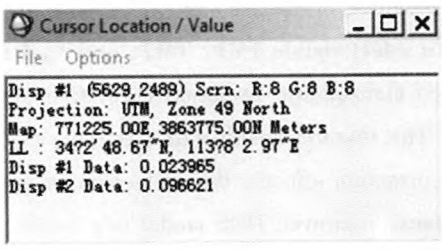


图 4 DOS 校正后 TM1 反射率对比
Fig.4 After DOS correction TM1 reflectance contrast

4 结论

6S 和改进 DOS 法大气校正均在一定程度上消除了大气成分 (主要是气溶胶和灰尘) 的影响, 恢复了下垫面原貌; 大气校正后地物反射率近似还原为地表真实值. 然而, 改进 DOS 法在地物反射率反演方面更具优势. 该法从影像中直接提取成像时大气状态参数, 具有针对性; 较传统的呈辐射传输模型运算时间短, 简单易用、可行性强, 尤其对多景 TM 影像在不同时间、不同天气状况下进行多时相比较, 利于动态监测. 但该模型在进行大气校正时仅考虑单次散射, 忽略了像元间的多次散射, 降低了像元间的反差; 只考虑散射作用, 忽略了大气对太阳辐射的吸收作用及地形因子, 因此该模型具有一定的局限性, 只适用于晴朗天气, 地形较简单, 起伏不大的地区影像.

参考文献:

- [1] 刘小平,邓孺孺,彭晓鹏. 基于 TM 影像的快速大气校正方法[J]. 地理科学, 2005,25(1): 87-93.
- [2] CHAVEZ P S Jr. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data[J]. Remote Sensing Environment. 1988, 24: 459-479.
- [3] LEE T Y, KAUFMAN Y J. Non-Lambertian effects on remote sensing of surface reflectance and vegetation index[J]. IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing, 1986, 24(5): 699-708.
- [4] RUDOLF R. A fast atmospheric correction algorithm applied to landsat TM images[J]. International Journal of Remote Sensing, 1990,11:159-166.
- [5] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2003:156-178.
- [6] 阿布都瓦斯提·吾拉木,秦其明,朱黎江. 基于 6S 模型的可见光、近红外遥感数据的大气校正[J]. 北京大学学报:自然科学版,2004,40(4):611-618.
- [7] HOWARD R. Gordonet aerosol analysis with the coastal zone color scanner; a simple method for including multiple scattering effects[J]. Applied Optics, 1989,28: 1320-1326.

Study on Comparison of Atmospheric Radiation Correction based on TM Images

HE Xiao-hui, ZHANG Xi-wen

(School of Water Conservancy and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: This paper compared the principles and methods of 6S model and improved DOS model for atmospheric radiation correction, to select more excellent atmospheric radiation correction method based on TM image. We select visible TM1, TM2, and TM3 bands of land satellite 7th TM remote sensing image, respectively discussed atmospheric radiation correction and reflectivity inversion based on 6S model and improved DOS model. The research result indicates that: the improved DOS model is better than 6S model radiation for radiometric correction effects, the surface inversion is more accurate, easier to operate and more acceptable. For TM images, improved DOS model is a better method of atmospheric radiation correction.

Key words: atmospheric correction; TM; 6S model; DOS; surface albedo