

## ETM 图像大气邻近效应校正

刘成玉<sup>1</sup>, 陈 春<sup>1\*</sup>, 张树清<sup>2</sup>, 高箕悦<sup>1</sup>

1. 东北师范大学城市与环境科学学院, 吉林 长春 130024

2. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012

**摘 要** 准确地利用所获遥感图像反演地物的反射率,是提高遥感图像后续产品的质量和遥感定量化应用的前提。然而,由于大气对电磁波的散射作用,星载传感器所接收到的被观测目标的电磁辐射信号包含了来自背景地物的贡献,产生了邻近效应,使得所获遥感图像模糊不清,对比度降低,反演的地物反射率精度下降,从而降低了遥感图像后续产品的质量和定量遥感的精度。以 ETM 图像为实验数据,根据大气辐射传输模型,采用点扩散率函数法进行了 ETM 图像大气邻近效应校正实验。实验结果表明,经过大气邻近效应校正后,ETM 图像的对比度明显增大,图像清晰,可识别细节增加,反演的地物反射率更加准确。

**关键词** 大气邻近效应;点扩散率函数法;ETM 图像

**中图分类号**: O433.1, TP751.1

**文献标识码**: A

**DOI**: 10.3964/j.issn.1000-0593(2010)09-2529-04

### 引 言

大气散射使电磁辐射向各个方向散开,减弱了原来传播方向的电磁辐射,增加了其他方向的电磁辐射,产生了邻近效应,使得遥感图像变得模糊不清<sup>[1]</sup>。根据大气辐射传输模型,本文引入了新的点扩散率核函数,并以 ETM 图像为实验数据,采用点扩散率函数法进行了 ETM 图像大气邻近效应校正实验。校正后的图像对比度明显增大,图像清晰,可识别细节增加,反演的地物反射率更加准确。

### 1 算法原理

受大气影响,星载传感器接收到的电磁辐射主要包括 3 部分<sup>[2]</sup>:①直接由观测目标反射至传感器的辐射;②大气向上反射辐射;③由背景地物反射、后又被散射进入传感器视场的辐射。在平坦的朗伯体地表和水平方向上均匀的大气条件下,用辐射传输方程描述为

$$\pi L = E_0 \cos(\theta_s) \rho_{r+a} + E_0 \cos(\theta_s) T(\theta_s) T(\theta_v) \rho^* / (1 - \rho^* S) \quad (1)$$

其中: $\pi L$ 为传感器接收到的辐射通量密度, $L$ 为传感器接收到的辐亮度; $E_0$ 为大气上界太阳辐射通量密度; $\rho_{r+a}$ 为大气

向上反射率; $\theta_s$ 为太阳入射天顶角; $\theta_v$ 为传感器观测天顶角; $T(\theta_s)$ 为太阳入射方向上的总透射率函数; $T(\theta_v)$ 为观测方向上的总透射率函数; $S$ 为大气向内半球反射率; $\rho^*$ 为考虑大气邻近效应的有效反射率<sup>[3]</sup>,表示如下

$$\rho^*(x, y) = \left(1 - \frac{t_d(\theta_v)}{T(\theta_v)}\right) \cdot \rho(x, y) + \frac{t_d(\theta_v)}{T(\theta_v)} \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} H(\xi, \eta, \theta_v) \cdot \rho(x - \xi, y - \eta) d\xi d\eta \quad (2)$$

其中: $t_d(\theta_v)$ 为观测方向上的大气散射透射率函数, $T(\theta_v) = t_d(\theta_v) + e^{-\tau(\theta_v)/\cos(\theta_v)}$ , $\tau(\theta_v)$ 为对应的垂直方向( $0 \leq \theta_v < 60^\circ$ )上的大气光学厚度; $\rho(x, y)$ 为地表反射率; $x$ 和 $y$ 为像元的坐标,单位取 km; $H(\xi, \eta, \theta_v)$ 为点扩散率核函数,且 $\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} H(\xi, \eta, \theta_v) d\xi d\eta = 1$ 。传感器垂直观测时 $\theta_v = 0$ ,将点扩散率核函数定义为

$$H(\xi, \eta) = \frac{e^{-R^2}}{\iint_{0 \leq R < \infty} e^{-R^2} d\xi d\eta} \quad (3)$$

其中: $R = \sqrt{\xi^2 + \eta^2}$ ,单位取 km; $\alpha = 2$ 。

(2)式右边的第一项为直接透射贡献,第二项为邻近效应贡献。第二项用卷积形式可表示为

收稿日期:2009-12-02,修订日期:2010-03-06

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973)项目(2009CB426305),国家自然科学基金项目(40871188)和东北师范大学科技创新平台培育项目(106111065202)资助

作者简介:刘成玉,1985年生,东北师范大学城市与环境科学学院硕士研究生 e-mail:413658374@qq.com

\*通讯联系人 e-mail:chenc@nenu.edu.cn

$$H * \rho = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} H(\xi, \eta) \cdot \rho(x - \xi, y - \eta) d\xi d\eta$$

则(2)式变换为

$$\rho^* = \left(1 - \frac{t_d(\theta_v)}{T(\theta_v)}\right) \cdot \rho + \frac{t_d(\theta_v)}{T(\theta_v)} \cdot H * \rho \quad (4)$$

将(4)式两边用核函数  $H$  做卷积运算得

$$H * \rho^* = \left(1 - \frac{t_d(\theta_v)}{T(\theta_v)}\right) \cdot (H * \rho) + \frac{t_d(\theta_v)}{T(\theta_v)} \cdot (H * H * \rho) \quad (5)$$

令  $d = \rho^* - H * \rho^*$ , 由(4)式和(5)式相减得

$$d = \left(1 - \frac{t_d(\theta_v)}{T(\theta_v)}\right) \cdot (\rho - H * \rho) + \frac{t_d(\theta_v)}{T(\theta_v)} \cdot (H * \rho - H * H * \rho) \quad (6)$$

假设(6)式右边第二项为 0, 可得

$$d = \left(1 - \frac{t_d(\theta_v)}{T(\theta_v)}\right) \cdot (\rho - H * \rho) \quad (7)$$

由(4)式得

$$\rho - \rho^* = \frac{t_d(\theta_v)}{T(\theta_v)} \cdot (\rho - H * \rho) \quad (8)$$

用(8)式比(7)式可得

$$\begin{aligned} \rho &= \rho^* + k(\rho^* - H * \rho^*) \\ k &= \frac{t_d(\theta_v)}{T(\theta_v)} / \left[1 - \frac{t_d(\theta_v)}{T(\theta_v)}\right] \end{aligned} \quad (9)$$

对于离散情况, (9)式可表示为

$$\begin{aligned} \rho(x', y') &= \rho^*(x', y') + \\ &k \left[ \rho^*(x', y') - \frac{\sum_{i=-N}^N \sum_{j=-N}^N \rho^*(x' - i, y' - j) \cdot e^{-r^2}}{\sum_{i=-N}^N \sum_{j=-N}^N e^{-r^2}} \right] \end{aligned} \quad (10)$$

其中:  $r = a \cdot \sqrt{i^2 + j^2}$ ,  $a$  为像元尺寸, 单位为 km;  $x'$  和  $y'$  为离散像元坐标;  $N$  为窗口半径。邻近效应的影响范围随大气状况不同在 0.1~1 km 之间, 可以根据像元尺寸结合邻近

效应的影响范围选取  $N$  值。

2 实 验

实验数据采用 Landsat-7 ETM 测量的数字图像, 图像分幅编号: 117-29(WRS-2), 成像日期: 2001 年 8 月 13 日。成像时太阳天顶角: 35.6°, 太阳方位角: 139.9°, 卫星观测天顶角: 0°。地面分辨率 30 m。成像区域位于吉林省吉林市。成像波段分别为  $B_1$ : 450~515,  $B_2$ : 525~605,  $B_3$ : 630~690,  $B_4$ : 775~900,  $B_5$ : 1550~1 750,  $B_7$ : 2 090~2 350 (nm)。

2.1 计算有效反射率  $\rho^*$

Landsat-7 ETM 传感器检测到的辐射亮度值在图像中用一个字节记录, 为了减少精度损失, 对  $L$  值进行了线性变换, ETM fast 格式数字图像的像元值  $D$  与  $L$  值(单位:  $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$ )的换算关系是

$$L = G_{AINS} \cdot D + B_{IASES} \quad (11)$$

$G_{AINS}$  和  $B_{IASES}$  见表 1。

Table 1 Transform parameters for  $L$

Band	BIASES	GAINS
1	-6.199 999 809 265 137	0.775 686 297 697 179
2	-6.400 000 095 367 432	0.795 686 274 883 794
3	-5.000 000 000 000 000	0.619 215 662 339 154
4	-5.099 999 904 632 568	0.965 490 219 639 797
5	-1.000 000 000 000 000	0.125 725 488 101 735
7	-0.349 999 994 039 536	0.043 725 490 920 684

用 6S(second simulation of the satellite signal in the solar spectrum)源代码提供的函数<sup>[4]</sup>计算 1, 2, 3, 4, 5, 7 波段的  $T(\theta_s)$ ,  $T(\theta_v)$ ,  $t_d(\theta_v)$ ,  $S$ ,  $\rho_{r+a}$  和  $E_0$  参数, 计算结果见表 2。

Table 2 Parameters for ETM imaging bands

Band	$T(\theta_s)$	$T(\theta_v)$	$t_d(\theta_v)$	$S$	$\rho_{r+a}$	$E_0/(W \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1})$
1	0.839 177	0.867 721	0.253 675	0.162 322	0.072 550 1	1 915.46
2	0.831 870	0.851 473	0.195 593	0.111 761	0.039 365 2	1 795.36
3	0.870 961	0.885 512	0.159 858	0.077 558	0.021 631	1 513.43
4	0.834 004	0.855 782	0.112 719	0.037 414	0.017 518	1 031.39
5	0.830 002	0.863 412	0.081 236	0.018 700	0.00	222.47
7	0.792 514	0.813 714	0.076 235	0.009 350	0.00	79.97

将(1)式变换后可得

$$\begin{aligned} \rho^* &= \frac{\rho^* - \rho_{r+a}}{T(\theta_s)T(\theta_v) + (\rho^* - \rho_{r+a}) \cdot S} \\ \rho^* &= \frac{\pi L}{E_0 \cos(\theta_s)} \end{aligned} \quad (12)$$

用(12)式和  $T(\theta_s)$ ,  $T(\theta_v)$ ,  $S$ ,  $\rho_{r+a}$ ,  $E_0$  参数计算 1, 2, 3, 4, 5, 7 波段的有效反射率  $\rho^*$ 。

2.2 计算地表反射率  $\rho$

令(10)式中的  $N=20$ , 根据  $T(\theta_s)$ ,  $t_d(\theta_v)$  (见表 2), 用

(10)式计算 1, 2, 3, 4, 5, 7 波段的地表反射率  $\rho$ , 并将结果合成真彩色图像(R: 3, G: 2, B: 1), 见图 1。

3 结果与讨论

单从视觉效果上看, 校正后的图像(图 1, R: 3, G: 2, B: 1)和校正前的图像(图 2, R: 3, G: 2, B: 1)并无很大的差别, 校正前后的差值图像(图 3, 2%线性拉伸)可以比较明显地反映出校正前后图像像元值的变化特点, 差值比较大的

像元大都位于亮地物(如城区)和暗地物(如农田)的交界处,与地物的轮廓基本一致,这也充分说明地物反射率的差异性也会影响邻近效应的强弱。从校正前后各个波段的统计数据(表 3)来看,经过校正后各波段反射率的最大值和平均梯度明显变大,最大值变大,最小值变小。因此,图像清晰度增

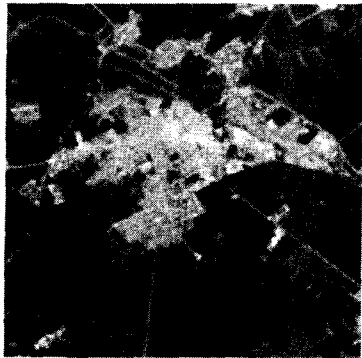


Fig. 1 Corrected image

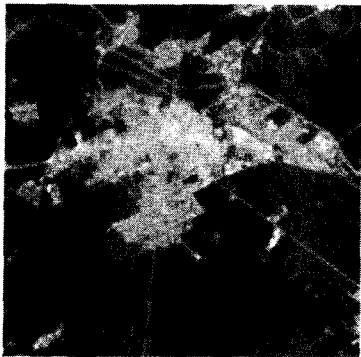


Fig. 2 Uncorrected image

大,可识别的信息增加。图 4 是 ETM 图像中纯净湖水校正前、校正后和实测的反射率折线图。校正后水体的反射率有所降低,更加接近实测反射率,更加准确。

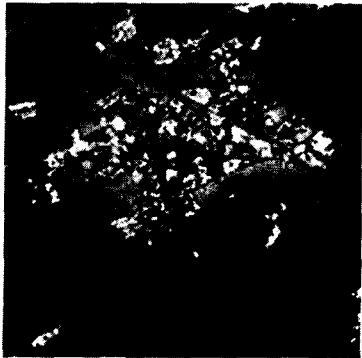


Fig. 3 Difference image of band 1 between corrected image and uncorrected image

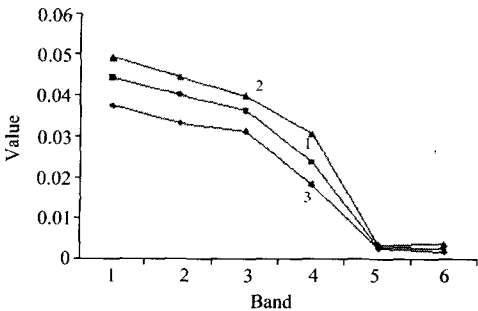


Fig. 4 Contrast of lake water reflectance  
1: Reflectance of corrected image;  
2: Reflectance of uncorrected image;  
3: Measured reflectance

Table 3 Statistical result for the corrected and uncorrected images

Band	Maximum		Minimum		Average Gradient	
	Corrected	Uncorrected	Corrected	Uncorrected	Corrected	Uncorrected
1	0.233 5	0.185 1	0.044 1	0.049 2	0.013 4	0.009 5
2	0.312 5	0.269 8	0.040 1	0.044 3	0.014 8	0.011 4
3	0.313 4	0.272 4	0.036 2	0.039 8	0.016 9	0.013 9
4	0.544 4	0.526 9	0.023 6	0.030 5	0.035 1	0.031 7
5	0.391 0	0.373 8	0.002 8	0.003 5	0.027 8	0.024 9
7	0.346 4	0.324 6	0.002 6	0.003 6	0.034 0	0.030 5

4 结 论

本文结合大气辐射传输模型,用点扩散率函数法进行了 ETM 图像大气邻近效应校正实验,校正后的图像更加清晰,

所得地物反射率更加准确。该方法也同样适用于目前被广泛应用于众多领域的 TM、CBERS 和 ASTER 等垂直视角卫星图像的大气邻近效应校正。同时由于点扩散率函数法校正遥感图像大气邻近效应使用的是近似模型,其校正精度有待于进一步的提高。

参 考 文 献

[1] Kaufman Y J, Karnieli A, Tanre D. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2000, 38(1): 525.  
[2] XU Xi-ru(徐希儒). Physics for Remote Sensing(遥感物理). Beijing: Peking University Press(北京:北京大学出版社), 2006. 328.  
[3] Liang Shun-lin, Fang Hong-liang, Chen Ming-zhen. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2001, 39(11): 2490.

[4] Vermote E, Tanre D, Deuze J, et al. 6S User Guide Version 2, 1997. 1.

## Atmospheric Adjacency Effect Correction of ETM Images

LIU Cheng-yu<sup>1</sup>, CHEN Chun<sup>1\*</sup>, ZHANG Shu-qing<sup>2</sup>, GAO Ji-yue<sup>1</sup>

1. College of Urban and Environmental Sciences, Northeast Normal University, Changchun 130024, China

2. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China

**Abstract** It is an important precondition to retrieve the ground surface reflectance exactly for improving the subsequent product of remote sensing images and the quantitative application of remote sensing. However, because the electromagnetic wave is scattered by the atmosphere during its transmission from the ground surface to the sensor, the electromagnetic wave signal of the target received by the sensor contained the signal of the background. The adjacency effect emerges. Because of the adjacency effect, the remote sensing images become blurry, and their contrast reduces. So the ground surface reflectance retrieved from the remote sensing images is also inaccurate. Finally, the quality of subsequent product of remote sensing images and the accuracy of quantitative application of remote sensing might decrease. In the present paper, according to the radiative transfer equation, the atmospheric adjacency effect correction experiment of ETM images was carried out by using the point spread function method. The result of the experiment indicated that the contrast of the corrected ETM images increased, and the ground surface reflectance retrieved from those images was more accurate.

**Keywords** Atmospheric adjacency effect; Point spread function method; ETM images

(Received Dec. 2, 2009; accepted Mar. 6, 2010)

\* Corresponding author