

# 遥感数字图像的大气辐射校正应用研究

阮建武, 邢立新

(吉林大学地球探测科学与技术学院, 吉林 长春 130026)

**摘要:** 卫星遥感数字图像成像过程中, 由于电磁波受大气作用造成数据质量下降, 影响遥感信息的提取及精度。介绍了大气辐射校正的一般原理和 PCI 软件 ATCOR2 模块的算法, 研究了基于该模块的遥感数字图像大气辐射校正实现方法。根据研究区实际情况, 选用 1976 年美国标准大气乡村气溶胶大气参数, 对一景 Landsat TM 影像进行校正处理。对比处理前后图像和直方图, 可知该方法增强了图像清晰度, 提高了视觉效果, 有利于遥感信息提取和专题解译。

**关键词:** 遥感影像; 大气辐射校正

**中图分类号:** TP 75      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1004-0323(2004)03-0206-03

## 1 引 言

遥感技术是以电磁波辐射为表现形式, 通过各种有效手段收集、处理、分析和提取所需要的特征, 识别研究对象的存在、状况和动态的<sup>[1]</sup>。然而, 电磁波在大气中的传输以及在传感器的测量过程中受到各种因素影响, 使得传感器的测量值与地物实际光谱辐射不一致, 测量值存在着辐射失真, 从而对遥感图像的质量和 application 效果产生了不可忽视的影响。定量遥感的兴起, 使得遥感数据的定标、大气辐射校正等越来越受到重视。对于太阳光谱区(0.4~2.5 μm)的遥感数据, 大气辐射校正的目的就是将传感器的测量值转换为地物真实的反射信息。本文利用 PCI 软件的 ATCOR2 大气辐射校正模块, 研究基于遥感影像的大气辐射校正实现方法, 消除大气透过率、天空光向下漫射等因素对图像质量的影响, 改善影像质量, 提高信息提取精度。

## 2 大气辐射校正一般原理

电磁波到达传感器之前需要经历一个在大气中的传输过程, 在这个过程中电磁波与大气发生相互作用——反射、折射、吸收、散射和透射, 其中对传感器接收影响较大的是吸收和散射作用。电磁波与大气的相互作用, 造成电磁波被大气部分吸收, 且散射使地物辐射电磁波能量衰减, 同时大气散射光到达

地物也将产生反射, 而部分散射光则向上通过大气直接进入传感器<sup>[2]</sup>。

假设天空辐照度各向同性且地面反射为朗伯面反射, 忽略大气的折射、湍流和偏振。经过大气到达地物表面的反射辐亮度为:

$$L_{g\lambda 1} = \frac{\rho_{\lambda}}{\pi} E_{0\lambda} \cos \theta \exp(-\delta_{\lambda} \sec \theta) \quad (1)$$

其中:  $L_{g\lambda 1}$  为反射光对地物表面的反射辐亮度,  $\rho_{\lambda}$  为地物表面反射率,  $E_{0\lambda}$  为波长为  $\lambda$  的太阳光谱辐照度,  $\theta$  为太阳天顶角,  $\delta_{\lambda}$  为相应波长的大气光学厚度。

来自各个方向的散射光以漫入射的方式照射地物, 其到达地物表面的辐亮度为:

$$L_{g\lambda 2} = \frac{\rho_{\lambda}}{\pi} E_D \quad (2)$$

其中:  $L_{g\lambda 2}$  为散射光对地物表面的反射辐亮度,  $E_D$  为来自各个方向的散射光辐照度。

通过大气向上直接进入传感器的部分散射光, 称为程辐射值, 亮度为  $L_P$ 。

卫星接收到的辐亮度则是前 3 项辐亮度  $L_{g\lambda 1}$ 、 $L_{g\lambda 2}$  和  $L_P$  的函数:

$$L_{s\lambda} = (L_{g\lambda 1} + L_{g\lambda 2}) \exp(-\delta_{\lambda} \sec \theta) + L_P \quad (3)$$

其中:  $\theta$  为卫星遥感观测角。

由此可得:

$$\rho_{\lambda} = \pi(L_{s\lambda} - L_P) / \tau_{\lambda}(E_{0\lambda} \cos \theta \tau_{\lambda} + E_D) \quad (4)$$

收稿日期: 2003-09-11; 修订日期: 2004-03-17

基金项目: 中国地质调查局项目(200120140119)资助。

作者简介: 阮建武(1979), 男, 浙江瑞安人, 硕士生, 主要从事遥感数字图像处理研究。

其中:  $\tau_{\Lambda}$  和  $\tau_{s\Lambda}$  分别为向上和向下的大气透过率。在  $\theta$  和  $\theta_s$  小于  $70^\circ$  时,  $\tau_{\Lambda}$  和  $\tau_{s\Lambda}$  可近似为  $\exp(-\delta_{\Lambda} \sec \theta)$  和  $\exp(-\delta_{\Lambda} \sec \theta_s)$ 。

公式(4)中,  $L_{s\Lambda}$  可由星上或地面定标结果求得;  $E_{0\Lambda}$  可由探测器响应函数计算求得;  $\theta$  由遥感影像接收日期和时间计算求得;  $\theta_s$  可从数据头文件中读出。剩下的 4 个未知数:  $\tau_{\Lambda}$ 、 $\tau_{s\Lambda}$ 、 $E_D$ 、 $L_P$ , 可通过大气辐射传输模型进行模拟估算。

### 3 ATCOR2 算法

目前, 针对遥感数字图像建立的大气辐射校正模型很多, 但其算法在原理上基本相同, 共同特点是为用户提供大量可选择的大气状况参数文件。ATCOR2 是由德国 Rudolf Richter 博士研究提出的一种快速大气纠正算法, 由于该算法是针对卫星遥感图像成像的大气传输过程因而广泛用于图像处理软件, 如 PCI、ERDAS 等软件。ATCOR2 的算法分为两部分<sup>[6]</sup>, 第一步是将所测量得到的反照率与来自模型的反照率值进行比较, 并计算地表反射率。测量得到的反照率值  $\rho_p$  与在  $i$  通道的数值 ( $DN$ ) 的关系如下:

$$\rho_p(\text{Measurement}) = \frac{\pi L(\lambda) d^2}{E_s(\lambda) \cos \theta} = \frac{\pi d^2}{E_s(\lambda_i) \cos \theta} [c_0(i) + c_1(i) \times DN] \quad (5)$$

其中:  $L(\lambda_i)$  为光谱辐亮度,  $E_s(\lambda)$  为太阳辐照度,  $c_0(i)$  为标定系数的偏移量,  $c_1(i)$  为标定系数的斜率,  $\lambda_i$  为中心波长,  $\theta$  为太阳天顶角,  $d$  为天文上的日地距离。

模型的反照率值  $\rho_p$  由下式给出:

$$\rho_p(\text{Model}) = a_0(Atm, \theta, \theta, \varphi) + a_1(Atm, \theta, \theta) \times \rho \quad (6)$$

$$a_0 = \frac{\pi d^2 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi(\lambda) L_0(\lambda) d\lambda}{\cos \theta \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi(\lambda) E_s(\lambda) d\lambda} \quad (7)$$

$$a_1 = \frac{d^2 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi(\lambda) E_g(\lambda) [\tau_{dir}(\lambda) + \tau_{dif}(\lambda)] d\lambda}{\cos \theta \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi(\lambda) E_s(\lambda) d\lambda} \quad (8)$$

其中:  $\rho$  为同频带地面反射率 ( $\rho = \int \rho(\lambda) \Phi(\lambda) d\lambda$ ),  $Atm$  为大气参数的依赖度,  $\theta$  为传感器的观测角,  $\varphi$  为相对方位角,  $\Phi$  为传感器的标准化光谱响应函数,  $L_0$  为黑色地面 ( $\rho=0$ ) 的光路辐射,  $E_g$  为地面的全球辐照度,  $\tau_{dir}$  为地面到传感器的直接透射率,  $\tau_{dif}$  为地面到传感器的漫射透射率。

如果测量值与模型值一致, 则用下式求出表面反射率:

$$\rho^{(1)} = \frac{1}{a_1} \left[ \frac{\pi d^2}{E_s(\lambda) \cos \theta} \{c_0(i) + c_1(i) \times DN\} - a_0 \right] \quad (9)$$

模型的第二步是近邻效应的纠正, 这一过程是由一个  $N \times N$  的滤光器来实现的,  $N$  值的大小由大气参数、光谱波段、影像的空间频率等因素决定。ATCOR2 通过  $\rho^{(1)}$  影像计算出一个低通反射率的影像, 以描述邻近地区每个像元的平均反射率。

### 4 应用研究

目前, ATCOR2 模块已经嵌入到很多图像处理软件中, 本文利用 PCI 软件对一景 TM 数据(2001/11/19 115-030 珲春地区)进行大气辐射校正处理。ATCOR2 模块为 Landsat TM 遥感影像提供的大气参数文件类型如表 1。

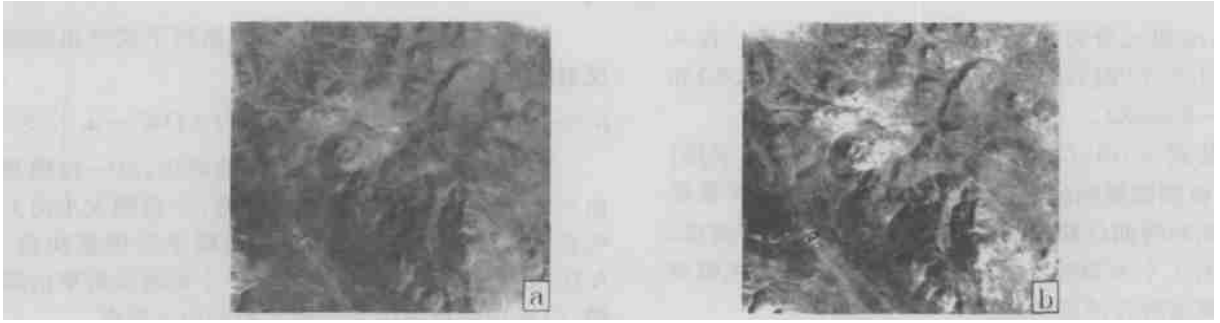
表 1 ATCOR2 模块的大气参数文件类型

大气参数文件名	大气类型	气溶胶类型
Aamsrura.atx	中纬度夏季大气	乡村气溶胶
Aamsurba.atx	中纬度夏季大气	城市气溶胶
Aamsmari.atx	中纬度夏季大气	海域气溶胶
Aausrura.atx	1976 年美国标准大气	乡村气溶胶
Aausurba.atx	1976 年美国标准大气	城市气溶胶
Aatrrura.atx	标准热带夏季大气	乡村气溶胶
Aatrdese.atx	沙漠(干旱区)热带大气	沙漠气溶胶

大气参数文件包含大气类型与气溶胶类型, 代表着不同的地域、季节、光学厚度和气溶胶。本文选择 1976 年美国标准大气乡村气溶胶作为大气参数文件(Aausrura.atx), 以替代研究区确切的云或气溶胶的细微结构。由于大气散射对可见光谱区的电磁波影响明显, 尤其是瑞利散射, 散射强度与波长的 4 次方 ( $\lambda^4$ ) 成反比,  $I \propto \lambda^{-4}$ , 波长越短, 散射越强, Landsat TM 影像的 TM1 与 TM2 波段受大气散射最为严重。处理结果如图所示, 图 1 为 TM2 波段处理前后对比图, 图 1a 为处理前原始图像, 图 1b 为处理后图像, 图 2 为处理前后两幅图像对应直方图。直方图能够反映图像的信息量及分布特征, 大气辐射校正的结果间接地改变了图像的直方图, 从图 2 的直方图对比可知, 处理后图像的直方图偏差明显得到了改善。可以看出, 利用 ATCOR2 模块进行大气校正处理, 可以消除大气影响并恢复部分下垫面原貌, 增强图像的清晰度, 提高图像的视觉效果, 有利于遥感信息提取和专题解译<sup>[8-9]</sup>。

### 5 结 语

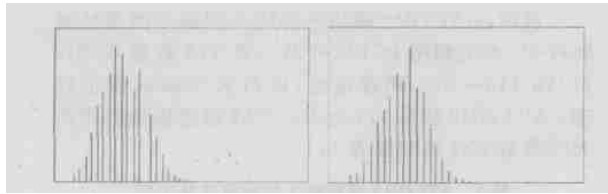
由于大气对电磁波的作用, 造成数据质量的下



(a) 原始 TM 2 图像

(b) 处理后图像

图 1 TM2 波段图像处理前后对比



(a) 原始图像直方图

(b) 处理后图像直方图

图 2 TM2 波段图像处理前后直方图对比

降,影响遥感信息的提取和精度,大气纠正是遥感数据处理不可缺少的环节。利用 ATCOR2 模块进行大气辐射校正可以消除主要大气影响,恢复下垫面原貌,增强图像清晰度,提高图像视觉效果,有利于遥感信息提取和专题解译。该模型在实际计算中方便、灵活,并嵌入到很多图像处理软件中而被普遍使用,具有良好的应用前景。本文的研究方法是针对太阳反射光谱区的遥感图像,适用于可见光与短波红外数据,如 TM 的 1、2、3、4、5、7 波段以及 SPOT 卫星和气象卫星的可见光通道数据。值得一提的是,下垫面的多次散射作用相当复杂且计算量大,本文采

用  $N \times N$  的滤光器对邻近效应进行近似地纠正。

#### 参考文献:

- 1) 童庆禧. 中国典型地物波谱及其特征分析 [M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- 2) 梅安新, 秦其明, 刘慧平. 遥感导论 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- 3) Richter R. A Fast Atmospheric Correction Algorithm Applied to Landsat TM Images [J]. Int J Remote Sensing, 1990, 11: 159 ~ 166.
- 4) 闵祥军, 朱永豪. 基于 Landsat TM 图像自身的反射率反演方法 [J]. 遥感技术与应用, 1997, 12(3): 1 ~ 9.
- 5) 秦益, 田国良. NOAA-AVHRR 图像大气影响校正方法研究及软件研制 [J]. 环境遥感, 1994, 9(1): 11 ~ 21.
- 6) 李放, 吴北婴. 辐射传输 LOWTRAN 程序气溶胶模式分析评述(二): 发展现状 [J]. 遥感技术与应用, 1996, 11(1): 62 ~ 66.
- 7) 文军, 王介民, 何淑杰. 辐射传输 PCModWin 程序及应用前景评述 [J]. 遥感技术与应用, 1997, 12(4): 46 ~ 52.
- 8) 宁书年, 吕松棠, 杨小勤, 等. 遥感图像处理与应用 [M]. 北京: 地震出版社, 1995.
- 9) 丰茂森. 遥感图像数字处理 [M]. 北京: 地质出版社, 1992.

## The Application of Atmospheric Radiation Correction on Remotely Sensed Digital Image

RU AN Jian-wu, XING Li-xin

(College of Geo-exploratin Science and Technology, Jili University, Changchun 130026, China)

**Abstract:** The atmosphere modifies the radiance reflected at the ground and contributes an additive path radiance term in the process of acquiring remote sensing image. Introducing the principle of the atmospheric radiation correction and the algorithm of PCI's ATCOR2 module, and studying the atmospheric radiation correction method of remote sensing image based on this module, and then using the ATCOR2 module to correct a scene of Landsat TM images. The atmospheric radiation correction of the digital image by ATCOR2 module enhances the definition of the image, ameliorates the visual effect and benefits the information extraction and thematic interpretation of the remote sensing image.

**Key words:** Remotely sensed image, Atmospheric radiation correction