

基于遥感卫星图像的 ATCOR2 快速 大气纠正模型及应用

王 建^{1,2}, 潘竟虎³, 王丽红³

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000;

2. 冻土工程国家重点实验室, 甘肃 兰州, 730000; 3. 甘肃省遥感中心, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 在卫星遥感成像过程中, 由于气溶胶和大气中分子吸收和散射的作用, 造成数据质量下降甚至变化, 以至于极大地影响着遥感信息的提取和参数反演的精度。越来越多的研究表明: 大气纠正将成为遥感理论和应用研究中的重要组成部分, 能极大地提高卫星遥感数据在质量和时间系列的完整性。介绍一种适用于空间分布的快速大气纠正模型 ATCOR2 (A Spatially-Adaptive Fast Atmospheric Correction-2), 详细介绍模型的算法、模块结构和计算流程, 讨论参数文件的结构和意义, 并通过一个实例给出 ATCOR2 模型运行的结果。

关键词: 大气纠正; ATCOR2 模型; 参数文件

中图分类号: 文献标识码: A 文章编号: 1004-0323(2001)04-0193-05

1 引言

大气纠正是按照大气传输理论而建立的, 在局部区域的研究已经取得极大的成功。其算法在原理上基本相同, 差异在于不同的假设条件和适用的范围。因此产生很多可选择的大气纠正模型, 应用广泛的就有 20 多个。如针对不同尺度分辨率大气传输标准码 MODTRAN (Moderate Resolution Transmission) 和 LOWTRAN (Low Resolution Transmission); 标准高纬度辐射码 SHARC (Standard High-Altitude Radiation Code); 紫外与可见光辐射模型 UVRAD (Ultraviolet and Visible Radiation)、SHARC 与 MODTRAN 混合的大气传输模型 SAMP (SHARC And MODTRAN Merged); 大气恢复程 ATREM (The Atmosphere Removal program); 6S 模型 (Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum radiative code) 以及快速计算大气辐射 ATCOR 等等。其中以 MODTRAN、LOWTRAN、6S 和 ATCOR 模型应用最为广泛, 它们的共同特点是提供大量的参数文

件查找表 (Look-up table) 以方便用户选择适宜的大气状况参数文件。

ATCOR2 大气纠正模型是由德国 Wessling 光电研究所的 Rudolf Richter 博士于 1990 年研究提出的一种快速大气纠正算法, 并且经过大量的验证和评估^[1]。由于模型的算法和开发是针对卫星遥感图像成像的大气传输过程而广泛应用于所有的通用图像处理软件, 如 PCIWork6.3、ENVI3.4、ERDAS8.4 以及这些软件的更高版本^[2]。和其它大气纠正模型一样, 目前, ATCOR2 模型是 ATCOR 经历了多次改进和完善的产品, 上述软件中引入的即为 ATCOR2 版本。1999 年和 2000 年 ATCOR3 及 ATCOR4 模型适用范围推广到更广泛的山区^[3]。但由于受局地气候的控制以及新模块需要进一步的完善, ATCOR2 系列仍然是 ATCOR 的主产品。

2 ATCOR2 模型算法和模块介绍

2.1 一般的大气纠正原理和方法

在太阳光谱区间(0.4 ~ 2.5 μm), 卫星传感器成像在很大程度上受大气状况和太阳天顶角的影

收稿日期: 2002-05-14; 修订日期: 2002-06-22

基金项目: 中国科学院知识创新工程项目“西部生态演变规律与水土资源可持续利用研究(KZCX1-10-06)”, 中科院寒旱所创新项目黑河流域典型区土地覆盖遥感调查及主题精度分析(CACX210102)。

作者简介: 王建(1963-), 男, 江苏沙洲人, 研究员, 现主要从事积雪遥感研究工作。use. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

响,影像信息既包括来自地物的反射,也包括大气散射。散射过程改变了入射光的传播方向,吸收使光束减弱。散射分为分子散射(也称为 Rayleigh 散射)和气溶胶散射(又称为 Mie 散射),Raman 散射和非选择性散射。对可见光波段影响最大的是分子散射,使影像产生雾霾(如 Landsat MSS 数据在绿色波段的散射是近红外波段的 4 倍)。分子散射由大气中的氮、氧分子引起,散射系数 σ_M 与波长 λ 的 4 次方成反比:

$$\sigma_M = \frac{c}{\lambda^4} (1 + \cos^2 \theta) \quad (1)$$

其中: θ 为入射通量与散射通量的夹角。散射通量对称分布在散射中心周围,波长小于 $1 \mu\text{m}$ 时,分子散射可以忽略不计。

气溶胶散射取决于气溶胶的类型,如折射系数、微粒大小分布等^[6],其关系式可以表述为:

$$\sigma_M = \frac{c}{\lambda^4} (1 + \cos^2 \theta) \quad (2)$$

此处 n 的范围一般在 $0.8 \sim 1.5$ 之间,散射通量在正方向有一个很大的峰值。由于大气的影,改变了地面的光谱信息并减弱了传感器的分辨率。此外,大气中的 CO_2 和水蒸气在某特定光谱范围内吸收作用非常强,在此范围区间不能作为卫星对地遥感的光谱,而只能利用所谓的“大气窗口”。高分辨率传感器扫描地球的大气窗口大都介于可见光和近红外波段,大气散射对到达传感器的辐射产生附加效应,导致地面反射响应增强。因此在分析不同波段的相关响应或需进行定量分析时,图像处理还受数据获取时刻大气成分的影响^[6]。

在热红外光谱区间,地面温度是重要的研究参量。为从遥感辐射测量中获取地温数据,一般需要多波段的热传感器以及地表发射率的信息。对于多波段热传感器,“分割窗口”或“多窗口”技术是常用的大气纠正方法。对于单波段热数据(如 Landsat TM),必须假定出地面的发射率。大气纠正方法可

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

其中: $L(\lambda)$ 为光谱辐射率, $E_s(\lambda)$ 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, λ 为中心波长, θ 为太阳天顶角, d 为日地距离。

来源于模型的反照率由下式给出:

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

以归结为定性法和定量法两类。

(1) 定性法: 不进行辐射转换计算(如缨帽转换)、统计法、多光谱法(利用两个波段的差如植被指数)雾霾补偿法(减少光路辐射)。

(2) 定量法: 近似利用简化的大气纠正算式,大气纠正算式包括以下两部分,第一步是利用地表特点或者直接测量大气成分,或使用理论模型预测大气的光学特征,然后利用在给定大气光学属性条件下的转换算式计算参数。第二步,来源于地表反射率的转换程序修正遥感影像。这些方法大都假定传感器对于入射光谱辐射产生一个线性响应,即线性辐射函数,每个传感器及光谱波段有其自己的响应函数,其特征由机载标定指示灯监控。绝对光谱辐射亮度输出值可以从发射前的标定值获得并假定在传感器的整个生命周期内保持不变,这就构成响应函数的基础,其关系如下:

$$DN = GL + B \quad (3)$$

其中: DN 为记录的数值, G 为响应函数的斜率(通道增益), L 为测量的光谱辐射亮度, B 为响应函数的截距。

$$L = \left[\frac{L_{\max} - L_{\min}}{255} \right] DN + L_{\min} \quad (4)$$

其中: L_{\min} 为 DN 响应为 0 时的光谱辐射亮度, L_{\max} 为产生最大 DN 值(此处是 255)所需的最小辐射亮度。

2.2 ATCOR2 模型算法

ATCOR2 是一个应用于高空间分辨率光学卫星传感器的快速大气纠正模型,它假定研究区域是相对平的地区并且大气状况通过一个查证表来描述。在具体实施过程中将针对太阳光谱区间和热光谱范围进行计算。

在太阳光谱区间($0.4 \sim 2.5 \mu\text{m}$),算式的第一步是将行星(地球/大气)反照率的测量值与来源于模型的值加以比较,计算表面反射率。测量值 ρ_p 与在 I 通道的数值(DN)关系如下:

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

$$a_1 = \frac{1}{\cos \theta} \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi(\lambda) E_g(\lambda) [\tau_{\text{dir}}(\lambda) + \tau_{\text{at}}(\lambda)] d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi(\lambda) E_s(\lambda) d\lambda} \quad (8)$$

其中: ρ 为同频带平均地面反射率($\rho = \rho(\lambda) \Phi(\lambda) d\lambda$), Atm 为对大气参数的依赖度, θ 为传感器的视角, φ 为相对方位角, Φ 为传感器的标准光谱响应函

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, τ_{air} 为地面到传感器的直接透射率, τ_{diff} 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:

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

对于近邻效应的纠正, 因其强度取决于邻近地域反射率的差异, 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, 这一过程是由一个 $N \times N$ 低通滤波器来实现的。近邻效应的有效范围约 500 ~ 1 000 m, 低通滤波器的大小一般选为 1 ~ 2 km (如 TM 选取 33 ~ 67 个像元), 但相邻区若反射率有很大差异时, 近邻效应的影响范围则扩大至 2 ~ 3 km。

在已知参数 a^0 、 a^1 及 q 的条件下 (前面已经详述其算法), 可计算出每个波段的地面反射率, 包含这些参数的大气目录贮存在查找表里。模型计算流程如图 1 所示。

2.3 模块流程

为方便用户在处理中针对各自的需要, ATCOR2 模型按照功能分解若干个模块。每一模块在计算上保持独立而结果又相互关联, 一个完整的纠正算法运行流程如图 2。

3 参数文件的结构和说明

大气参数是用来描述大气状况或者类型的一系列表格数据, ATCOR2 模型用文本格式保存不同的文件 (在 PCIWorks 中并以 * .atx 后缀名指明)。文件名隐含着传感器、大气及气溶胶类型, 它们之间的差异主要反映在气温 (代表季节、地域) 和水汽廓线 (代表气溶胶、光学厚度) 4 种气温模式。如表 1 所示。

表中所列的各种大气类型和气溶胶类型只适用于大范围的大气纠正选择, 对于特定的地区需要对其进行修改和编辑。

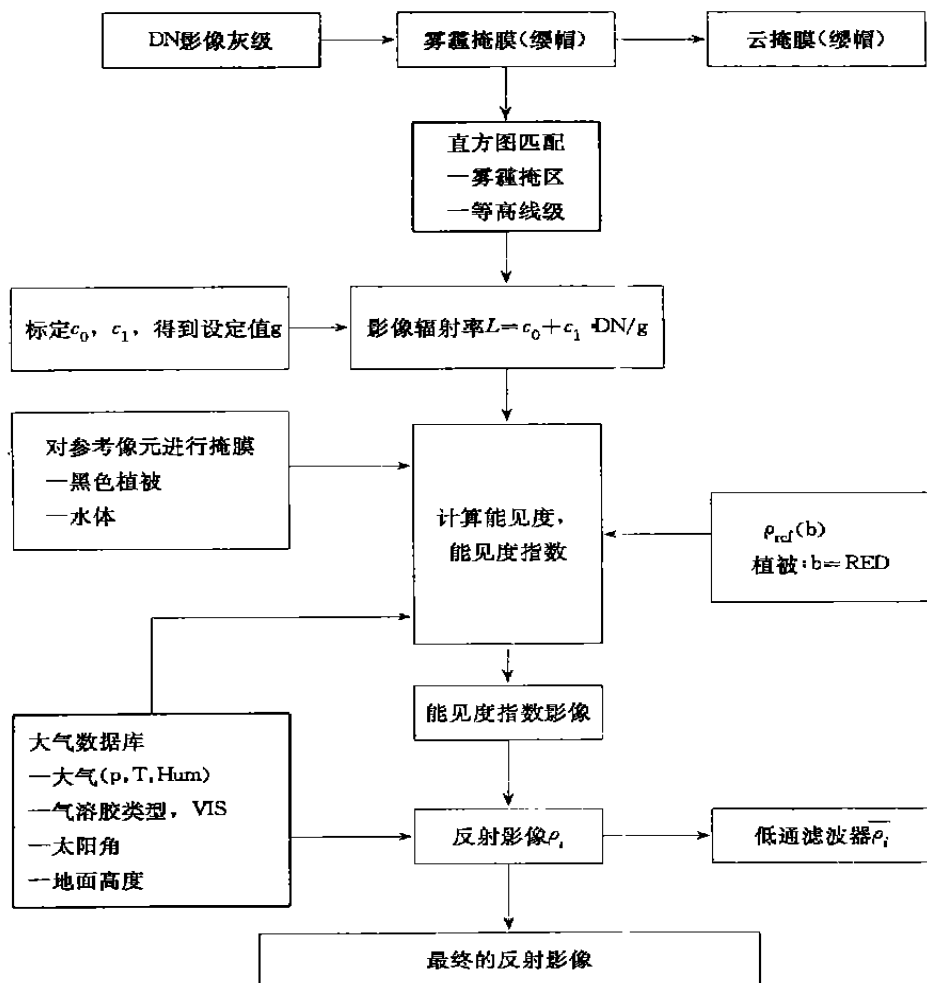


图1 ATCOR2模型算法流程

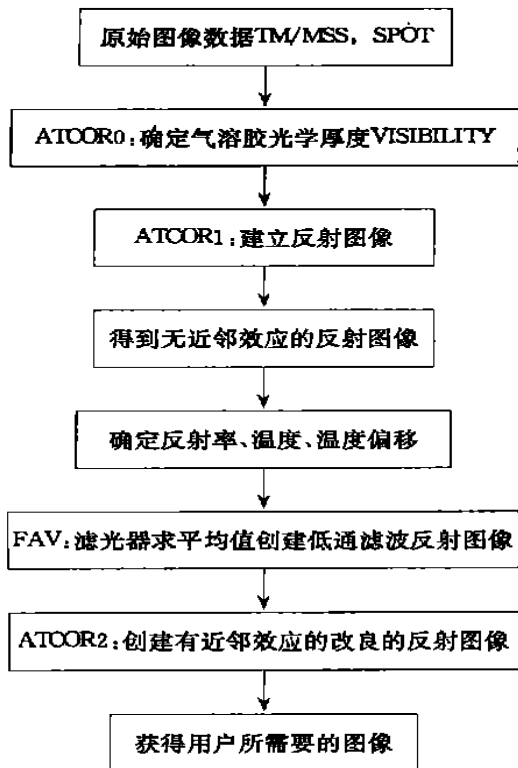


图2 ATCOR2模块运行流程

表1 ATCOR2模型应用于Landsat TM数据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
Aatrdess.atx	沙漠(干旱区)热带大气	沙漠气溶胶

4 卫星图像大气纠正实例

目前, ATCOR2 大气纠正模型已经被嵌入在很多的图像处理软件中, 并作为软件中的一个功能模块使得在实际操作中简便而快捷。本文利用 PCIWork6.3 图像处理软件的大气纠正模块对黄河源区的一景 Landsat TM 影像(2000年)进行处理, 选择中纬度夏季大气和乡村气溶胶类型作为大气参数文件(Aamstrura.atx), 结果如图3所示。其中左图

为原始图像(原始TM4, 3, 2合成), 由于受大气影响地面仿佛被一层薄雾所笼罩; 右图是应用 ATCOR2 模块进行大气纠正的结果, 可以看出, 明显地消除了大气影响并恢复了下垫面的原貌。



图3 黄河源区 TM 图像大气纠正结果

5 结语

由于气溶胶和大气中分子吸收的影响而造成卫星遥感数据质量下降和信息变换严重地影响了遥感数据的应用和时间系列的完整性以及遥感的参数化反演精度, 大气纠正已被认定是遥感数据处理不可缺少的步骤之一。ATCOR2 模型由于嵌入到广泛应用的图像处理软件中而被普遍使用, 它对于大气均匀分布的雾霾和其它气体都具有独特的效果, 尤其适合在小尺度局部区域应用。但是值得注意的是, ATCOR2 模型对于地形复杂的地区往往需要应用数字地形模型(Digital Terrain Model-DEM)对图像进行预处理以消除复杂地形对反射特性的影响。

参考文献:

- [1] Richter R. A Fast Atmospheric Correction Algorithm Applied to Landsat TM images [J]. Int J Remote Sensing, 1990, 11: 159 ~ 166.
- [2] Richter R. A Spatially Adaptive Fast Atmospheric Correction Algorithm [S]. ERDAS IMAGINE-ATCOR2 User Manual (Version 1.0).
- [3] Richter R. Value Adding Products Derives from the ATCOR Models [R]. Report DLR-IB 564-01/00, Wessling, Germany, 2000.
- [4] Shettle EP, Fenn RW. Models of the Aerosols of the Lower Atmosphere and the Effects of Humidity Variations on Their Optical Properties, AFGL-TR-79-0214, Air Force Geophys [R]. Lab., Bedford, MA.
- [5] Fraser R S, Kaufman Y J. The Relative Importance of Scattering and Absorption in Remote Sensing [J]. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, 1985, 23: 625 ~ 633.

An Introduction to a Spatially-Adaptive Fast Atmospheric Correction for Satellite Remote Sensing Images

WANG Jian, PAN Jing-hu², WANG LI-hong³

- (1. *Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000 China;*
2. *The State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering, Lanzhou 730000, China;*
3. *Gansu Remote Sensing Center, Lanzhou 730000 China)*

Abstract: In the process of satellite sensor imaging, the received message (digital code) have been impacted and changed as the reason of atmospheric absorption and scattering. This impact will lead to extract fallibly and also reduce the accuracy of Parameterization Methods for Remote Sensing Data. The fact derived from studies and conclusions shows the atmospheric correction is an important procedure and component in the remote sensing methods and applications. This paper gives an introduction of a Spatially-Adaptive Fast Atmospheric Correction (ATCOR2) including fast atmospheric correction algorithm, the structure of modules and calculation flow. Also, the Look-up Table presented the atmospheric profiles and catalogues would be recommended in detail. Meanwhile, a sample by using ATCOR2 for atmospheric correction has been given with a part of Landsat TM in the Source Region of Yellow River.

Key words: Atmospheric correction, ATCOR2 model, Atmospheric profiles and catalogues