

# ASTER 数据地表温度反演算法的 MATLAB 实现

王 坤, 姜琦刚, 韩复兴, 邢 宇, 张继承, 张红红

(吉林大学 地球探测科学与技术学院, 吉林 长春 130026)

**摘要:** 基于 ASTER TES 算法的思想, 用 ADE、RATIO 和 MMD 3 个模块计算地表温度, 并在 MATLAB 环境下编程实现了该算法。结果表明: 该程序简单明了, 便于操作, 可以在无人干预下快速实现 ASTER 数据地表温度反演, 非常适合其他领域非遥感专业人员的使用。

**关键词:** ASTER; 地表温度; 反演; MATLAB

**中图分类号:** P208 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2008)04-0438-04

## Program Algorithm of Retrieving Land Surface Temperature for ASTER Data in MATLAB

WANG Kun, JIANG Qi-gang, HAN Fu-xing,

XING Yu, ZHANG Ji-cheng, ZHANG Hong-hong

(School of Geo-Exploration Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026, Jilin, China)

**Abstract** Based on the thought of ASTER TES algorithm, the ground surface temperature is retrieved using the three modules ADE, RATIO and MMD, and the algorithm is programmed with MATLAB. The results indicate that the program is easy to be read and operated, and can retrieve ground surface temperature with ASTER data quickly without artificial intervention, and can satisfy the application of people in other fields.

**Key words:** ASTER; land surface temperature; retrieval; MATLAB

## 0 引言

地表温度是研究地表能量平衡的重要参数,也是区域和全球尺度地表物理过程的重要影响因素,而大区域、全球的连续地表温度的获得只能通过遥感反演方法得到。目前热红外遥感反演方法的主体基本上是基于最容易获取的较低空间分辨率或光谱分辨率的卫星遥感数据。ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) 于 1999 年 12 月搭载对地观测卫星 EOS-Terra 发射升空,是一个拥有 14 个波段的高分辨率多光谱成像传感器,在 14 个波段中有 5 个是高分辨率(90 m)的热红外波段,具有较高的空间分辨率

和较多的热红外波段,在反演区域地表温度方面具有良好地应用前景<sup>[1-2]</sup>。

目前 ASTER 温度产品官方采用的反演方法是 ASTER TES (Temperature/Emissivity Separation) 算法,该算法主要包括 NEM (Normalized Emissivity Method)、RATIO (RATIO Algorithm)、MMD (Maximum-Minimum Difference) 3 个模块<sup>[3]</sup>。考虑到 NEM 模块计算比较复杂,而且受最大发射率影响较大,所以用 ADE (Alpha Derived Emissivity) 算法替代 NEM 算法<sup>[4,6]</sup>,ADE 算法与 NEM 算法精度相当,并且 ADE 算法的适用范围更广。由于算法的实现过程比较复杂,这就要求使用者具有较高的编程基础,并且对算法的物理意义和

收稿日期: 2008-01-20

基金项目: 中国地质调查局项目(200315100002)

作者简介: 王 坤(1981-),女,吉林通化人,工学博士研究生,从事遥感与 GIS 技术应用研究。E-mail: wangk@email.jlu.edu.cn

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

使用规则充分理解, 为了便于非遥感专业人员的使用, 笔者在 MATLAB 环境下, 编程实现了该算法, 可以在无人干预下快速实现 ASTER 数据地表温度反演。

# 1 反演算法简介

## 1.1 ADE 算法

ADE 算法的基本原理是 Kirchhoff 定律和 Planck 公式, 主要是用来计算温度和比辐射率的初值<sup>[4,7]</sup>

$$\begin{cases} \alpha_i = \lambda_i \ln R_i - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \lambda_j \ln R_j + K_i \\ \mu = -0.085 (\sigma_{\alpha_j}^2)^{1/4} \\ \epsilon_i = \exp \left[ \frac{\alpha_i + \mu}{\lambda_i} \right] \quad i = 1, \dots, 5 \end{cases} \quad (1)$$

式中: 对于 ASTER 数据来说  $N$  为 5, 分别对应于 ASTER 的 5 个热红外波段;  $\lambda_i$  为波长;  $R_i$  为光谱辐射亮度;  $\epsilon_i$  为比辐射率;  $K_i$  可以作为常数被计算出来;  $\alpha_i$ 、 $\mu$  是为了简化计算过程所设的中间变量, 其中,  $\mu$  与  $\sigma_{\alpha_j}^2$  的关系是由 Kealy 和 Gahell 对 ASTER 光谱库的 86 个样本回归得到, 因此 ADE 算法对于多数地物都适用, 精度也比较高<sup>[7]</sup>。

## 1.2 RATIO 算法

用 NEM 模块估算的比辐射率计算相对比辐射率<sup>[1,3]</sup>

$$\beta_i = \frac{\epsilon_i}{1/5 \sum_{j=1}^5 \epsilon_j} \quad i = 1, \dots, 5 \quad (2)$$

式中:  $\beta_i$  为相对比辐射率;  $\epsilon_i$  为比辐射率。

## 1.3 MMD 算法

通过最大最小相对比辐射率差值与最小比辐射率的经验、关系确定最小比辐射率, 进而估算比辐射率和温度<sup>[3]</sup>

$$\begin{cases} MMD = \max(\beta_i) - \min(\beta_i) \\ \epsilon_{\min} = 0.994 - 0.687 MMD^{0.737} \\ \epsilon_i = \beta_i \left( \frac{\epsilon_{\min}}{\min(\beta_i)} \right) \\ T_{\max} = \frac{C_2}{\lambda_{\max} \lg(C_1 \epsilon_{\max} / \lambda_{\max}^5 \pi R_{\max} + 1)} \end{cases} \quad (3)$$

式中:  $\epsilon_{\min}$  为比辐射率  $\epsilon_i$  的最小值;  $\max$  代表比辐射率  $\epsilon_i$  最大的波段;  $C_1$ 、 $C_2$  为普朗克常量。试验证明, 当 MMD 小于 0.032 时, 对于灰体来说计算误差比较大, 不再使用 MMD 算法, 直接把  $\epsilon_{\min}$  设为

0.983, 这是根据水体和浓密植被的性质确定的<sup>[3,7]</sup>。根据式 (3) 得到的  $T_{\max}$ , 用 Planck 公式重新计算各波段的比辐射率, 并作为下次计算的初始比辐射率。

重复式 (2)、(3), 直至相邻两次计算的温度差值小于 1 K<sup>[5,6]</sup>。

# 2 反演算法实现

## 2.1 数据预处理

利用 ASTER 影像数据进行地表温度反演前, 需要把 DN 值定标为光谱辐射亮度

$$\text{Radiance} = (\text{DN} - 1) \text{Gain}$$

式中: Radiance 为光谱辐射亮度; Gain 为定标系数, 从 ASTER 影像数据头文件中读取。

在辐射温度的遥感测量中, 大气效应不能忽视, 因此在反演真实辐射值前, 必须进行大气校正。笔者采用 ENVI 4.2 所提供的大气校正工具 Thermal Atm Correction 来消除大气影响<sup>[8]</sup>。

## 2.2 数据的读取

首先, 将经过预处理的 ASTER 热红外 5 个通道光谱辐射亮度值提取出来, 分别以 ASCII 文件形式保存。在 MATLAB 中, 应用数据读取命令, 将读入的 5 个波段数值合并为一个数组, 在以后的运算中, 可以直接应用该数组参加运算。程序代码如下 (%后为注释文字)

```
name = 'ASCII 文件名';
txt = '.txt';
for i = 1 : 5;
    filename = strcat (name, num2str (i),
txt);
    array (:, :, i) = load (filename);
    % 创建了一个三维数组
    disp ([ 'array num2str (i) ' 载入完成!
]);
end
```

这样, 5 个波段的全部数据都存储于一个三维数组中。

## 2.3 算法的实现

首先通过 ADE 算法计算初始地表比辐射率, 同时计算相对比辐射率  $\beta_i$ 。在计算初始地表比辐射率时, 鉴于 MATLAB 强大的函数调用功能, 使用求方差函数 var() 来快速求解  $\alpha_i$  的方差  $\sigma_{\alpha_i}^2$ <sup>[9]</sup>, 简化了程序的编写, 使程序简单易读。

在 MMD 算法中,通过最大比辐射率与最小比辐射率差值计算出最小比辐射率  $\epsilon_{\min}$ , 并确定其他波段比辐射率  $\epsilon_i$ 。然后搜索数据集  $\epsilon_i$  中最大的比辐射率  $\epsilon_{\max}$ , 记录  $\epsilon_{\max}$  所在波段的波长  $\lambda_{\max}$  和所对应的光谱辐射亮度  $R_{\max}$ , 利用 Planck 公式计算地表温度。如果使用其他程序语言, 可以通过循环语句来实现该算法, 程序编写比较复杂。这里采用的是 MATLAB 提供的数据比较函数  $\max()$ , 快速查找三维数组  $\epsilon_i$  中符合条件的像元, 返回它们所在的位置, 并利用所返回的位置数组, 提取相应波段的波长和光谱辐射亮度<sup>[9-10]</sup>, 简化了编写程序的难度, 节省了运算时间。部分程序代码如下:

```
SUM_E=sum(E(irow,icol,:));
% E(irow,icol,:)表示比辐射率  $\epsilon_i$ 
B(irow,icol,:)=5 * E(irow,icol,:)/SUM_E;
% B(irow,icol,:)表示相对比辐射率  $\beta_i$ 
MIN_B = min(B(irow,icol,:));
%求取相对比辐射率  $\beta_i$  的最小值
MAX_B=max(B(irow,icol,:));
%求取相对比辐射率  $\beta_i$  的最大值
MMD= MAX_B - MIN_B;
%计算 MMD
Emin = 0.994 - 0.687 * power(MMD,
0.737);
%求取比辐射率的最小值  $\epsilon_{\min}$ 
E(irow,icol,:)= B(irow,icol,:) * Emin/
MIN_b;
%根据  $\epsilon_{\min}$  求取其他波段的比辐射率  $\epsilon_i$ 
[Em,ind]=max(E(irow,icol,:));
%返回最大比辐射率  $\epsilon_{\max}$  及其所在的位置
T= C2/band(ind)/log(Em * C1/pi/power
(band(ind),5)/array(irow,icol,ind,:)+1);
%求取地表温度 T, band(ind)表示  $\epsilon_{\max}$  所在波段的波长
```

利用所得到的地表温度, 通过 Planck 公式重新计算各波段的比辐射率, 以此作为下次计算的初始比辐射率, 进行迭代优化, 直至相邻两次计算的温度差值达到精度要求。算法实现流程如图 1。

## 2.4 实例计算

选取的实验数据是 2003 年 8 月 17 日的青藏高原鄂陵湖附近的 ASTER 影像(图 2), 数据从日本地球遥感数据分析中心(<http://www.ersdac.or.jp>)购买。利用 ASTER 的热红外波段 10-14, 按

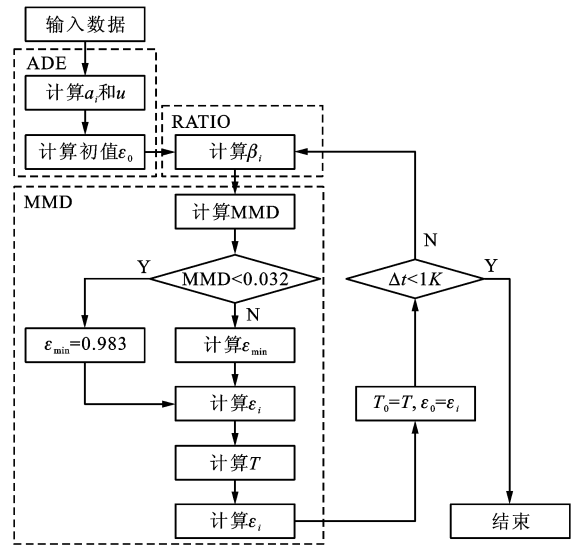


图 1 算法实现流程

Fig. 1 Algorithm Implementation Process  
照上述算法, 计算地表温度, 反演结果如图 3。



图 2 原始图像(b 3N, 2 1 合成)

Fig 2 Original Image (Band 3N, 2, 1 Composition)

## 3 结语

地表温度是地-气相互作用及其能量相互交换的综合反映, 因此越来越多的研究领域如气候、水资源和生态环境等都需要该参数。而 MATLAB 由于允许用户以数学形式的语言编写程序, 简单易学, 已被越来越多的人所熟悉。为了便于其他领域非遥感专业人员的使用, 在 MATLAB 环境下, 实现了 ASTER 数据地表温度的反演。

ASTER 数据空间分辨率高, 并且一共有 5 个热红外波段参加运算, 因此数据量非常大。而且程序运行过程中, 采用的是面向数组的运行方式, 这

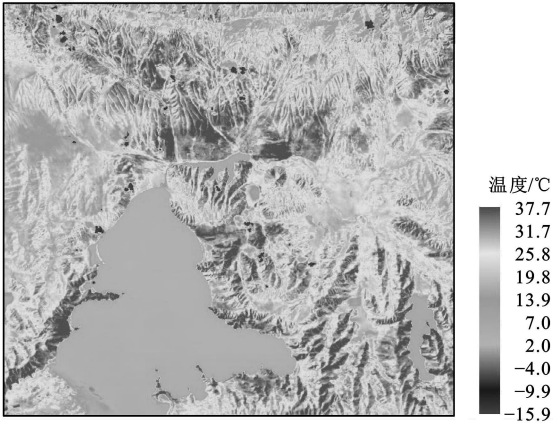


图 3 反演结果

Fig. 3 Results of Land Surface Temperature Retrieval

就要求系统开辟相当大的内存空间来存储数据。为了节省系统资源, 提高程序的运行效率, 在程序运行过程中, 鉴于 MATLAB 强大的函数运算功能, 多次调用 MATLAB 中已有功能函数来完成程序操作, 简化了程序的编写。在创建变量时, 动态分配内存空间并及时释放中间变量所占内存空间, 节省了系统资源和运行时间。结果表明, 该程序简单明了, 便于操作, 可以在无人干预下快速实现 ASTER 数据地表温度反演, 非常适合其他领域非遥感专业人员使用。

参考文献:

[ 1 ] 朱黎江, 秦其明, 陈思锦. ASTER 遥感数据解读与应用[ J ]. 国土资源遥感, 2003, 56(2): 59-63.

[ 2 ] 张廷斌, 唐菊兴, 刘登忠. 卫星遥感图像空间分辨率适用性分析[ J ]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(1): 79-82.

[ 3 ] Gillespie A, Rokugawa S, Matsunaga T, et al. A Temperature and Emissivity Separation Algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Images[ J ]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1998, 36(4): 1113-1126.

[ 4 ] 刘志武, 党安荣, 雷志栋, 等. 利用 ASTER 遥感数据反演陆地温度的算法及应用研究[ J ]. 地理科学进展, 2003, 22(5): 507-513.

[ 5 ] 唐世浩, 朱启疆, 苏理宏. 基于订正 ALPHA 差值谱的热红外温度与发射率分离算法[ J ]. 红外与毫米波学报, 2005, 24(4): 286-290.

[ 6 ] 唐世浩, 李小文, 王锦地, 等. 改进的基于订正 ALPHA 差值谱的 TES 算法[ J ]. 中国科学: D 辑, 2006, 36(7): 663-671.

[ 7 ] 田国良. 热红外遥感[ M ]. 北京: 电子工业出版社, 2006.

[ 8 ] 许军强. 长白山地表温度反演与地热分布特征研究[ D ]. 长春: 吉林大学, 2007.

[ 9 ] 王沫然. MATLAB 6.0 与科学计算[ M ]. 北京: 电子工业出版社, 2001.

[ 10 ] 姜立鹏, 覃志豪, 谢 雯. MODIS 数据地表温度反演分裂窗算法的 IDL 实现[ J ]. 测绘与空间地理信息, 2006, 29(3): 114-117.

(上接第 428 页)

[ 2 ] 何佳放, 何腾斌. 南京城市边缘带化工园区土壤重金属污染评价[ J ]. 环境科学学报, 2005, 25(9): 1182-1188.

[ 3 ] 谢 娟, 徐友宁, 钱 会, 等. 双桥河流域农田土壤重金属分析与评价[ J ]. 黄金, 2008, 29(3): 46-50.

[ 4 ] 毛健全, 顾尚义, 张启厚. 金矿采选过程中的重金属污染问题[ M ]. 贵州环境科技, 2000, 6(3): 17-23.

[ 5 ] 徐友宁, 张江华, 赵阿宁, 等. 潼关金矿区农田土壤重金属污染评价[ J ]. 土壤通报, 2007, 38(4): 732-736.

[ 6 ] 徐友宁, 柯海岭, 刘瑞萍, 等. 潼关金矿区农田土壤汞污染评价[ J ]. 黄金, 2006, 27(7): 47-50.

[ 7 ] 王定勇, 牟树森, 青长乐. 大气汞对土壤-植物系统汞累积的

影响研究[ J ]. 环境科学学报, 1998, 18(2): 194-198.

[ 8 ] 庞奖励, 黄春长, 孙根年. 西安污灌土中重金属含量及对蔬菜影响的研究[ J ]. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2001, 29(2): 88-91.

[ 9 ] 雷 梅, 岳庆玲, 陈同斌, 等. 湖南柿竹园矿区土壤重金属含量及植物吸收特征[ J ]. 生态学报, 2005, 25(5): 1146-1152.

[ 10 ] 杨胜利, 王文科, 张 威, 等. 砷污染生态效应及水土体系中砷的治理对策研究[ J ]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(3): 69-73.

[ 11 ] 徐友宁. 陕西潼关金矿区环境地质问题专题调查报告[ R ]. 西安: 西安地质矿产研究所, 2006.

[ 12 ] GB 2762—2005. 食品中污染物限量标准[ S ].