

地表温度反演软件（V1.0）

使用手册

毛克彪

中国农业科学院农业资源与农业区划研究所

2009年9月

近20年来,热红外遥感技术的飞速发展,为快速地获取区域地表温度空间差异信息提供了新的途径。地表温度在区域资源环境研究中的重要性已经使热红外遥感成为遥感研究的一个重要领域,目前已经开发了很多实用的地表温度遥感反演方法,如热辐射传输方程法、劈窗算法、单窗算法和多通道算法。许多算法是针对具体的传感器开发的,例如劈窗算法是用来从具有两个热红外波段的NOAA/AVHRR数据中反演地表温度,而单窗算法则主要是用于只有一个热红外波段的Landsat TM数据。1999、2002年搭载MODIS遥感的对地观测卫星发射成功,为全球和区域资源环境动态监测开辟了又一新的途径。MODIS是一个拥有36个波段的中分辨率遥感系统,每1~2天可获得一次全球观测数据,其飞行与太阳同步,每天同一区域至少可获得昼夜两景图像,并且是免费接收,因此非常适合于中大尺度的区域资源环境动态监测。在MODIS的36个波段中有8个是热红外波段,因而非常合适于区域尺度的地表热量空间差异分析。但是,目前针对MODIS遥感数据的地表温度反演算法还很少。有些应用研究还在利用针对NOAA/AVHRR数据开发的反演算法反演地表温度。由于大气的影 响,星上亮度温度与真正 的地表温度有很大差距。在晴空时其差距为3-6 K;在大气水分含量较高情况下,这种差异可以超过10 K。因此,为了更准确地分析区域热量空间差异,为农情监测和气候变化提供更加准确的地表温度参数,很有必要对MODIS所观测到的亮度温度进行大气校正,反演出真正 的地表温度。

1. 地表温度反演算法现状

目前已经开发了很多针对NOAA/AVHRR数据中两个热红外波段(第4和5波段)的劈窗算法。劈窗算法的主要原理是利用两个相邻热红外波段对大气的不同吸收性质来校正大气的影 响。虽然劈窗算法的形式基本一致,但由于其参数的计算不同而形成了不同的劈窗算法。有些算法假定地表为黑体,即发射率为1,后面对次又有一些改进。有些算法考虑了太阳天顶角 θ 和不同波段之间的发射率(ϵ)的影响。有些算法对大气透过率和发射率进行了订正。但由于缺乏同步获取大气水汽含量的波段,不得不从其它卫星传感器(比如被动微波)或者地面气象观测站获得大气水汽参数,使得参数在匹配和同步上存在不一致性,精度受到一定的影响。美国宇航局(NASA)提出了两个针对MODIS地表温度的反演算法,都比较复杂,需要比较多的卫星参数,一般科研人员难以操作,且难以实现。我国科研人员毛克彪等(即本软件的主要完成人)提出了一个比较实用的劈窗算法,该算法发表在国际权威遥感刊物上(Kebiao Mao, Qin Z., Shi J., Gong P., A Practical Split-Window Algorithm for Retrieving Land Surface Temperature from MODIS Data, International Journal of Remote Sensing, 2005,26:3181-3204.),简单实用,且保证了一定的精度,得到了国内外同行的认同。

2. 地表温度反演计算方法

该方法的具体推导和计算可以参见 (Kebiao Mao, Qin Z., Shi J., Gong P., A Practical Split-Window Algorithm for Retrieving Land Surface Temperature from MODIS Data, International Journal of Remote Sensing, 2005,26:3181-3204.)

2.1 大气水汽含量计算

在MODIS的36个波段中, 有5个波段(2, 5, 17, 18, 19)是近红外, 中心波长分别是 $0.865 \mu\text{m}$, $0.905 \mu\text{m}$, $0.936 \mu\text{m}$, $0.940 \mu\text{m}$, $1.24 \mu\text{m}$ 。其中17、18、19波段是水汽吸收波段, 而2、5波段是大气窗口波段。这样设计的主要目的是为了利用MODIS的吸收波段与窗口波段的比值来反演大气中的水汽含量。计算公式如下:

$$T_{obs}(0.936\mu\text{m}) = \rho(0.936\mu\text{m}) / \rho(0.865\mu\text{m}) \quad [1]$$

$$T_{obs}(0.936\mu\text{m}) = \rho(0.936\mu\text{m}) / [C1 * \rho(0.865\mu\text{m}) + C2 * \rho(1.24\mu\text{m})] \quad [2]$$

式中 ρ 为反射率, C1 等于 0.8, C2 等于 0.2。这两种比值法的思想基本是一致的, 都是利用大气水汽吸收波段与大气窗口波段的比值与大气水汽含量的关系来估计大气水汽含量。对于大气透过率与大气水汽含量的关系, 可以通过MODTRAN, LOWTRAN 来模拟, 进而建立大气水汽含量与大气透过率之间的关系表达式。波段比值与大气水汽含量的关系如下:

$$T_w(940/865) = \exp(\alpha - \beta\sqrt{w}) \quad [3]$$

式中 T_w 可以从影像算出, 通过下式求解水汽含量 w , 得到:

$$w = \left(\frac{\alpha - \ln T_w}{\beta} \right)^2 \quad [4]$$

2.2 大气透过率计算

MODIS 热红外波段透过率计算方法是: 首先是用 MODTRAN 来模拟大气透过率随大气水汽含量的变化, 然后建立通过大气水汽含量和大气透过率的关系。我们对 MODIS 的第 31 和 32 波段的中心波长进行了模拟计算, 得到 MODIS 第 31 和 32 波段的大气透过率与大气水汽含量之间的关系, 方程如下:

$$\text{第 31 波段: } \tau_{31} = 2.89798 - 1.88366e^{\frac{w}{21.22704}} \quad [5]$$

$$\text{第 32 波段: } \tau_{32} = -3.59289 + 4.60414e^{\frac{w}{-32.70639}} \quad [6]$$

式中 τ 为大气透过率, 大气水汽含量 w 通过式 4 计算得到。

2.3 NDVI 计算

$$NDVI = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \quad [7]$$

其中, ρ_1 、 ρ_2 分别表示 MODIS 第 1 波段 (红外波段) 和第 2 波段 (近红外波段) 的反射率。

2.4 发射率计算

利用 NDVI 计算第 31 波段和 32 波段的发射率, 分四种情况, 水, 裸土, 裸土和植被, 植被。

当 $NDVI < 0$ 时, 判断为水, $\varepsilon_{31} = 0.992$, $\varepsilon_{32} = 0.988$

当 $0 < NDVI < 0.05$, 判断为裸土, $\varepsilon_{31} = 0.986$, $\varepsilon_{32} = 0.991$

当 $0.05 < NDVI < 0.65$, 判断为混合像元, 土和植被
计算植被盖度 $PV = (NDVI - 0.05) / 0.6$

$$\varepsilon_{31} = 0.986 * (1 - PV) + 0.972 * PV,$$

$$\varepsilon_{32} = 0.991 * (1 - PV) + 0.976 * PV;$$

当 $NDVI > 0.65$ 判断为植被 $\varepsilon_{31} = 0.972$, $\varepsilon_{32} = 0.976$

2.5 云判断

云的判别公式:

当 $0 < (\rho_1 - \rho_6) / (\rho_1 + \rho_6) < 0.2$ 或者 $\rho_{26} > 0.1$ 或者 $\rho_4 > 0.4$ 该像元为云

式中 ρ 为波段反射率。

2.6 地表温度计算

先计算第 31 和 32 波段的星上亮度温度

$$T_{31} = 14380 / (11.03 * \ln(2 * 59500000 / (B_{31} * 11.03^5 + 1)))$$

$$T_{32} = 14380 / (12.02 * \ln(2 * 59500000 / (B_{32} * 12.02^5 + 1)))$$

将上述计算得到的参数 (透过率, 发射率) 代入计算辐射传输方程组的系数 (A_i , B_i ,

C_i , D_i):

$$A_{31} = 0.13787 \varepsilon_{31} \tau_{31}$$

$$B_{31} = 0.13787 T_{31} + 31.65677 \tau_{31} \varepsilon_{31} - 31.65677$$

$$C_{31} = (1 - \tau_{31})(1 + (1 - \varepsilon_{31})\tau_{31}) * 0.13787$$

$$D_{31} = (1 - \tau_{31})(1 + (1 - \varepsilon_{31})\tau_{31})31.65677$$

$$A_{32} = 0.11849\varepsilon_{32}\tau_{32}$$

$$B_{32} = 0.11849T_{32} + 26.50036\tau_{32}\varepsilon_{32} - 26.50036$$

$$C_{32} = (1 - \tau_{32})(1 + (1 - \varepsilon_{32})\tau_{32})0.11849$$

$$D_{32} = (1 - \tau_{32})(1 + (1 - \varepsilon_{32})\tau_{32})26.50036$$

将上述系数代入辐射方程组:

$$A_{31}T_s = B_{31} - C_{31}T_a + D_{31}$$

$$A_{32}T_s = B_{32} - C_{32}T_a + D_{32}$$

计算得到地表温度 T_s

$$T_s = (C_{32}(B_{31} + D_{31}) - C_{31}(D_{32} + B_{32})) / (C_{32}A_{31} - C_{31}A_{32})$$

3. 实施路线

实施路线主要包括数据准备, 透过率参数计算, 发射率计算, 地表温度计算等。

3.1 数据准备

MODIS 1B 数据和美国 JPL 提供的波谱库。

3.2 参数计算

利用 2.1-2.6 公式计算各个参数计算透过率和发射率。

4. 算法特点

- 1) 充分利用了 MODIS 水汽吸收波段, 保证了热红外波段透过率计算的同步性和实时性;
- 2) 利用 NDVI 计算发射率, 并且考虑了亚像元, 与以往通过分类获得发射率有所不同, 保证了发射率获取的同步性;
- 3) 地表温度反演计算能进行批处理运算。

5. 地表温度反演软件操作

5.1 界面介绍

界面简单, 直接点击批处理文件运行, 出现土下图的界面, 选择文件 MODIS 1B 数据的存储文件目录, 和新建立地表温度存储目录, 点击确认运行。