

用被动微波 AMSR 数据反演 地表温度及发射率的方法研究

毛克彪¹, 施建成¹, 李召良², 覃志豪³, 贾媛媛²

(1. 中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室, 北京 100101; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 3. 农业部资源遥感与数字农业重点实验室, 北京 100081)

摘要: 针对对地观测卫星多传感器的特点, 提出了借助 MODIS 地表温度产品从被动微波数据中反演地表温度的方法。即利用 MODIS 地表温度产品和 AMSR 不同通道之间的亮度温度, 建立地表温度的反演方程。该方法克服了以往需要测量同步数据的困难, 为不同传感器之间的参数反演相互校正和综合利用多传感器的数据提供实际应用和理论依据。文中以 MODIS 地表温度产品作为评价标准, 对方法进行检验, 其平均误差为 2~3℃。另外, 微波的发射率是土壤水分反演的关键参数, 在对微波地表温度反演的基础上, 进一步对发射率进行了研究。

关键词: 亮度温度; 地表温度; AMSR; MODIS

中图分类号: TP 722.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2005)03-0014-04

0 引言

地表能量交换信息的获取是监测区域资源环境变化的一个重要环节。地表温度是地表能量平衡的决定因素之一, 因此, 获取区域地表温度空间差异, 进而分析其对区域资源环境变化的影响, 是区域资源环境动态监测的重要内容。近 20 a 来, 热红外遥感技术的飞速发展, 为快速获取区域地表温度空间差异信息提供了新的途径。目前, 已经开发了很多针对 NOAA/AVHRR 数据和 MODIS 数据反演地表温度的劈窗算法^[1-11]。Li and Becker^[12]、Wan and Li^[13]以及 Gillespie and Matsunaga^[14]分别针对 NOAA/AVHRR、MODIS 和 ASTER 数据提出了同时反演地表温度和比辐射率的多通道算法。这些算法在天气晴朗的条件下验证精度较高, 但由于热红外地表温度反演算法受天气影响较大, 所以, 在实际应用中, 精度有时难以得到保证。而且, 热红外遥感受云的影响很大, 从 NASA 提供的温度产品分析可知, 大部分的温度产品 60% 以上地区受到云的影响, 这在实际应用中有很大的局限性。由于被动微波能穿透云层, 并且受大气的影响非常小, 可以克服热红外遥感的缺点, 因此, 研究如何利用被动微波数据反演地表温度就显得非常迫切。

目前, 针对 AMSR 被动微波遥感数据的地表温度反演算法较少, 其主要原因是微波的地表辐射机理研究还不成熟, 而且由于空间分辨率的影响, 使得地面实测资料的获取非常困难。相对而言, 用 MODIS 热红外波段反演地表温度的算法已经比较成熟^[10, 13, 15]。本项研究利用对地观测卫星多传感器的特点 (Aqua 对地观测卫星同时拥有 MODIS 和 AMSR 传感器), 用 MODIS 地表温度产品代替 AMSR 所需要的地表实测数据, 建立 AMSR 各通道亮度温度和 MODIS 地表温度产品的关系, 分析不同地物类型在微波波段的辐射机制, 最后, 建立微波地表温度的反演方程。

1 理论基础

用被动微波数据反演地表温度是以地表热辐射传导方程为基础, 即通过建立能量平衡方程来反演地表温度。辐射传输方程描述了卫星的微波辐射计所观测到的辐射总强度, 不仅有来自地表的辐射, 而且还有来自大气的向上和向下的路径辐射。这些辐射成分在穿过大气层到达遥感器的过程中, 由于受到大气层吸收作用的影响而削减, 因此, 地表温度的反演实际上是一个复杂的求解问题。在微波波段,

热辐射平衡可以用下面的无散射的大气辐射传输方 程描述

$$B_f(T) = \tau_f(\theta)\epsilon_f B_f(T_s) + \tau_f(\theta)(1 - \epsilon_f) B_f(T_a^\downarrow) + B_f(T_a^\uparrow) \quad (1)$$

式中, $\tau_f(\theta)$ 表示频率 f 的透过率; ϵ_f 表示频率 f 的比辐射率; $B_f(T)$ 表示星上辐射强度, T 为星上亮度温度; $B_f(T_s)$ 表示地表辐射强度, T_s 表示地表温度; $B_f(T_a^\downarrow)$ 表示大气向下的总辐射强度, T_a^\downarrow 为大气向下平均作用温度; $B_f(T_a^\uparrow)$ 表示大气向上的总辐射强度, T_a^\uparrow 是大气平均向上作用温度。 $B_f(T)$ 为 Planck 函数, 表示为

$$B_f(T) = 2 h f^3 / c (e^{hf/kT} - 1) \quad (2)$$

$B_f(T)$ 单位为 $W m^{-2} sr^{-1} Hz^{-1}$; h 是普朗克常数 6.63×10^{-34} ; k 是波尔兹曼常数 $1.38 \times 10^{-23} J \cdot K^{-1}$; T 是绝对温度; c 是光速。根据在微波波段区间的 Ralleigh - Jeans 近似, 式(2)可以简化为

$$B_f(T) = 2kT/\lambda^2 \quad (3)$$

因此, 可将式(1)化简为

$$T_f = \tau_f \epsilon_f T_s + \tau_f (1 - \epsilon_f) T_a^\downarrow + T_a^\uparrow \quad (4)$$

上式说明, 可以用亮温的线性组合建立反演方程。

2 反演方法

针对微波数据反演地表温度的算法和研究目前

$$T_s = A_0 + A_1 T_{36.5V} - A_2 T_{23.8V} - A_3 T_{18.7H} + A_4 T_{89V} \quad (5)$$

式中, $A_0 \sim A_4$ 是系数; T_s 是地表温度; $T_{36.5V}$ 、 $T_{23.8V}$ 、 $T_{18.7H}$ 和 T_{89V} 分别是 AMSR 的亮度温度。这个

$$T_s = C_0 + C_1 T_{36.5V} + C_2 (T_{36.5V} - T_{23.5V}) + C_3 (T_{36.5V} - T_{18.7H}) + C_4 T_{89V} \quad (6)$$

该方程的物理意义是: $T_{36.5V}$ 是主要的地表温度反演通道, $T_{36.5V} - T_{23.5V}$ 用来消除大气水汽含量的发射影响; $T_{36.5V} - T_{18.7H}$ 用来消除地表水分对微波的极化影响; T_{89V} 用来消除其它大气的平均影响。由于被动微波数据的分辨率很低, 而且地表比较复杂, 加上地面同步实测非常困难, 所以, 至今针对被动微波数据的地表温度反演方法很少。McFarland^[16] 只针对几个地物比较均一的实验区做了研究分析, 其得出的结论具有经验性, 在实际应用中有局限性。MODIS 的温度产品经验证^[17,18], 在实验区的精度在 1℃ 以下。

由于 MODIS 和 AMSR 在同一颗星上, 因此, 如何充分利用不同传感器的优势, 是遥感应用研究中的一个重要方法学。我们将同步的 MODIS 地表温度产品做为 AMSR 对应的地面实测数据, 从而克服了同步实测数据带来的困难。

较少, 还没有针对 AMSR 数据的地表温度反演算法公开发表。McFarland^[16] 对利用被动微波数据的 SSM/I 反演地表温度做了许多研究, 并且得到了一些有用结论。低频受大气中水汽、云粒子和雨的散射和吸收影响最小, 37V (GHz) 的亮温最适宜用来反演地表温度。在没有大气散射和再辐射的情况下, 与低频相比, 高频对水有较低的介电常数和小的辐射厚度, 而且 89V 与 MODIS 的地表温度相关性最高, 所以, 高频的垂直极化亮温能够提高反演地表温度的精度。对于有水存在的陆地表面, 水的影响必须校正。水的高介电常数降低了 19 GHz 的比辐射率, 而且, 由于水面的辐射是高极化的, 所以, 陆表水的效应造成亮温的减小和极化差异的增加。37 GHz 和 19 GHz 两通道亮温差异可以用来订正这一影响。22 GHz 通道位于水汽的吸收通道, 同时水汽对 37 GHz 也有较大的影响, 所以, 可用 37 GHz 和 22 GHz 垂直极化差异来订正大气水汽辐射的影响。对于 AMSR 数据, 地表温度的反演写成如下方程

算法也可以表示成

选择 3 个地表类型有代表性的地域作为研究区: 中国东北(森林)、北非(沙漠)及中国西藏(冰雪)。训练样本信息如表 1 所示。

表 1 中国东北、非洲北部及中国西藏 AMSR 数据和 MODIS 温度训练数据

地点	时间	像元数	温度范围/K	相对误差变化范围/℃	相对近似精度/℃
中国东北	2003-08-26	65	296~306	0.04~3.1	1.52
非洲北部	2003-03-07	57	303~314	0.1~4.2	1.76
中国西藏	2003-05-05	59	253~278	0.15~6.8	2.08

回归分析表明, 当将 3 个典型区域的样本数据放在一起分析时, 误差较大; 当把我国西藏地区和其它两个地区分别回归时, 能够获得比较高的精度。对非洲北部和中国东北地区的训练数据进行回归分析得到式(7)。

$$T_s = 252.369 + 0.295 T_{36.5V} - 0.073 T_{23.8V} - 0.079 T_{18.7H} + 0.031 T_{89V} \quad (7)$$

在这两个地区(中国东北和非洲北部)的模拟精度(指相对于 MODIS 地表温度产品的平均误差)分

$$T_s = 64.583 - 2.205 T_{36.5V} + 2.371 T_{23.8V} - 0.008 T_{18.7H} + 0.629 T_{89V} \quad (8)$$

从回归表达式(7)和式(8)的系数可以看出,冰雪覆盖地表和非冰雪覆盖地表的温度表达式各通道的系数差别很大,说明各通道的辐射能量对地表温度贡献不一样,从某种程度上说明了其辐射机理差别比较大。同时,由于不同的微波波段对地表和植被的穿透能力不一样,从而导致卫星接收到的不同地表层面的地表辐射能量也不一样。

目前,对地表温度反演算法的实际精度评价是反演方法研究中的一个难点,其主要原因在于实测数据与影像成像时的同步性问题,同时,也存在着几何配准和尺度效应等问题;其次,很难用地面一个点的观测数据来代表一个像元对应的地表几公里范围的地表温度。对于热红外波段,国际上通常采用大气模拟数据法对反演算法进行精度评价。对于微波波段,目前还没有好的方法对地表温度反演算法进行验证。然而,MODIS 温度产品为用微波反演地表温度算法提供了较好的条件,克服了以往获取同步测试数据的困难。我们在非洲北部和中国东北、西藏采集了验证数据,采集数据信息如表 2 所示。

表 2 中国东北、非洲北部及中国西藏 AMSR 数据和 MODIS 温度验证数据信息

地点	时间	像元数	温度范围/K	相对误差变化范围/°C	相对近似精度/°C
中国东北	2003-08-26	95	295~304	0.04~4.3	1.76
非洲北部	2003-03-07	78	301~314	0.01~4.9	1.73
中国西藏	2003-05-05	57	255~287	0.8~5.7	2.64

结果表明,相对 MODIS 温度产品,用 AMSR 反演精度还是比较高的。与热红外相比,微波不需要太多地表先验知识,主要原因在于微波的波长较长,除土壤含水量外,受地表的影响较小,而且对大气和云有穿透作用。

3 方法应用

3.1 温度反演

本文用非洲北部地区 AMSR 图像,通过上述方法反演得到地表温度如插页彩片 3 所示,平均温度近 30.78°C,最高温度近 34.5°C。从插页彩片 3 可以看出,温度的分布成块状,其主要原因是 AMSR 的分辨率很低(本文用到是 25 km × 25 km)。这种大

面积为 1.73°C 和 1.52°C。对我国西藏地区进行回归得到式(8),模拟精度为 2.08°C。

面积温度分布规律在高分辨率的 TM 图像上体现不出来,反映大区域的全球温度分布差异是 AMSR 图像的一个优势。

3.2 比辐射率计算

利用 AMSR 反演地表温度的另一个重要意义就是通过地表温度计算比辐射率。地表比辐射率也是微波反演土壤水分的关键参数之一,因此,反演地表温度可以解决以往反演土壤水分含量算法需要通过比值法消除比辐射率参数的困难。由于微波受云和大气影响小,因此,比辐射率通常可以应用 $\epsilon_f = T_i/T_o$ 计算,计算结果如插页彩片 4 所示。

4 结语

本文在分析 Aqua 卫星多传感器特征的基础上,将 MODIS 的温度产品作为 AMSR 数据反演地表温度的地表实测数据,从而克服了以往需要测量同步数据的困难。多传感器的综合利用是遥感研究中一个重要的方法论研究;为不同传感器之间的参数反演相互校正和综合利用多传感器提供实际应用和理论依据。分析表明,不同地表覆盖类型的辐射机制是不同的。要精确地反演地表温度,至少要将地表分成雪覆盖和非雪覆盖两种地表类型。以 MODIS 地表温度产品作为评价标准,本文建立的统计方法在选定的 3 个研究区平均精度在 2~3°C 之间。由于发射率是土壤水分反演的关键参数,而微波受大气的影响非常小,因此,在用微波进行地表温度反演的基础上,可进一步计算发射率。由于微波具有穿透地表的能力,特别是在植被覆盖的地区,因此,反演得到的地表温度和发射率所代表的有效范围在应用中还需要进一步研究确定。

参考文献

- [1] Prata A J. Land surface temperatures from derived from the advanced very high resolution radiometer and the along-track scanning radiometer 2. Experimental results and validation of AVHRR algorithms[J]. J. Geophys. Res., 1994, 99:13025-13058.
- [2] Becker F, Li Z-L. Towards a local split window method over land surface[J]. Int. J. Remote Sens., 1990, 11:369-393.
- [3] Coll C, Caselles V, Sobrino A, et al. On the atmospheric dependence of the split-window equation for land surface temperature

- [J]. *Int. J. Remote Sens. Environ.*, 1994, 27:105 - 122.
- [4] Franca G B, Cracknell A P. Retrieval of land and sea surface temperature using NOAA - 11 AVHRR data in northeastern Brazil[J]. *Int. J. Remote Sensing*, 1994, 15:1695 - 1712.
- [5] Harris A R, Mason I M. An extension to the split - window technique giving improved atmospheric correction and total water vapour [J]. *Int. J. Remote Sens.*, 1992, 13:881 - 892.
- [6] Sobrino J A, Coll C, Caselles V. Atmospheric corrections for land surface temperature using AVHRR channel 4 and 5 [J]. *Remote Sens. Environ.*, 1991, 38:19 - 34.
- [7] Price J C. Land surface temperature measurements from the split - window channels of the NOAA - 7 AVHRR [J]. *J. Geophys. Res.*, 1984, 79:5039 - 5044.
- [8] Kerr Y H, Lagouarde J P, Imbernon J. Accurate land surface temperature retrieval from AVHRR data with use of an improved split window algorithm[J]. *Remote Sens. Environ.*, 1992, 41:197 - 209.
- [9] Sobrino J A, Li Z - L, Stoll M P, et al. Improvements in the split window technique for land surface temperature determination[J]. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 1994, 32:243 - 253.
- [10] Wan Z, Dozier J. A generalized split - window algorithm for retrieving land surface temperature measurement from space[J]. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 1996, 34:892 - 905.
- [11] Qin Zhihao, Giorgio Dall Olmo, Arnon Karnieli. Derivation of split window algorithm and its sensitivity analysis for retrieving land surface temperature from NOAA - advanced very high resolution radiometer data[J]. *Geophysical research*, 2001, 22:655 - 670.
- [12] Li Z, Becker F. Feasibility of Land Surface Temperature and Emissivity Determination from AVHRR data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2001, 1993(43):67 - 85.
- [13] WAN Zhengming, LI Zhao - liang. A Physics - Based Algorithm for Retrieving land - surface emissivity and temperature from EOS/MODIS data[J]. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 1997, 35:980 - 996.
- [14] Gillespie A R, Rokugawa S, Matsunaga. A Temperature and emissivity separation algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) images [J]. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 1998, 36:1113 - 1126.
- [15] Mao K, Qin Z, Shi J, et al. A practical split window algorithm for retrieving land surface temperature from MODIS data[J]. *INT. J. Remote Sensing*, 2005, in press.
- [16] Marshall J. Mcfarland, Robert L, et al. Land surface temperature derived from the SSM/I passive microwave brightness temperature [J]. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 1990, 28:839 - 845.
- [17] Wan Zhengming, Zhang Yulin, Zhang Qincheng, et al. Validation of the land - surface temperature products retrieved from Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data [J]. *Remote Sensing Environ.*, 2002, 83:163 - 180.
- [18] Wan Z, Zhang Y, Zhang Q, et al. Quality assessment and validation of the MODIS global land surface temperature[J]. *INT. J. Remote Sensing*, 2004, 25:261 - 274.

THE LAND SURFACE TEMPERATURE AND EMISSIVITY RETRIEVED FROM THE AMSR PASSIVE MICROWAVE DATA

MAO Ke - biao¹, SHI Jian - cheng¹, LI Zhao - liang², QIN Zhi - hao³, JIA Yuan - yuan²

(1. State key Lab of Remote sensing Science, Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Institute of Geographical Science and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 3. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: AMSR and MODIS are two EOS (Earth Observing System) instruments in Aqua satellite. A regression analysis between the brightness of all AMSR bands and the MODIS land surface temperature product provided by NASA indicates good correlation, and hence retrieving land surface temperature from AMSR passive data is available without ground true data (soil moisture and land surface type). The analytical results in such regions as North Africa, Northeast China, Tibet China and India indicate that the radiation mechanism of snow - covered surface is different from mechanism of other conditions. In order to retrieve land surface temperature more accurately, we can classify the land surface at least into two groups. For land surface covered with no snow, the average land surface temperature error is about 2°C relative to the MODIS LST product. For snow - covered land surface, the average land surface temperature error is about 2 ~ 3°C relative to the MODIS LST product. Besides, the emissivity of passive microwave is a very important parameter for retrieving soil moisture. The authors computed the emissivity through land surface temperature retrieved by the statistical regression method and made an analysis.

Key words: Brightness temperature; LST; AMSR; MODIS

第一作者简介: 毛克彪(1977 -),男,博士,主要从事热红外、微波遥感、空间数据挖掘及 GIS 应用等方面的研究,提出了针对 MODIS 的实用劈窗算法,同时被国际遥感(International Journal of Remote Sensing)邀请审稿。

(责任编辑:刁淑娟)