

基于微波数据的东北三省地表温度反演

满浩然 李苗

哈尔滨师范大学寒区地理环境监测与空间信息服务黑龙江省重点实验室

DOI:10.32629/gmsm.v3i3.726

[摘要] 本研究基于先进微波扫描辐射计(AMSR-E/Aqua L2A)亮温数据,使用单波段双极化方法,利用地表发射率与微波极化差异指数(MPDI)的关系反演东北地区地表温度。将地表覆盖类型分为混交林、农田和草地,基于不同的地表覆盖类型分别建立反演模型,以中等分辨率成像光谱仪(MODIS)地表温度产品分别检验其精度。结果显示:在不同地表覆盖类型区域每种波段反演精度不同,单波段反演无法达到预期效果。在此基础上提出组合每种地表覆盖类型反演精度较高的波段进行反演,反演结果标准偏差达到3.41,在60%以上的区域误差小于2K,具有良好的精度,反演结果具有利用价值。

[关键词] 被动微波遥感; AMSR-E; 地表温度; 东北三省

地表温度在陆地环境中起到重要作用,是地表能量平衡的主要参数之一,对陆地生物、物理过程影响强烈,包括地表水蒸发、植物呼吸和光合作用。地表温度作为重要参数已广泛应用于全球气候变暖、气象学、农业、水文学和生态学等研究领域。传统的地面站监测地表温度受到地面环境、人力成本和时间成本等因素制约不能广泛推广,遥感技术的发展为大面积观测地表温度提供了方法。自20世纪90年代以来,遥感数据估算地表温度方法得到了广泛的应用。依据遥感数据反演地表温度的方法主要分为两类:一种是基于热红外(TIR)数据,如单通道算法、温度和发射率分离算法以及分裂窗算法,他们分别使用一个、两个或多个热红外波段的传感器。基于热红外数据的地表温度反演方法已较为成熟,而且精度较高,被广泛用于模拟区域和全球气候变化。然而,使用热红外估算地表温度受天气和大气的影响,目前在有云条件下无法获得有效的地表温度。例如,MODIS地表温度产品中超过60%的地区受到天气影响,特别是云层覆盖。另一种是基于无源微波(PMW)遥感数据。与TIR遥感相比,无源微波遥感能克服大气影响,陆地表面的微波辐射可以透过云层以较小的衰减达到卫星传感器^[1]。McFarland et al等人使用被动微波SSM/I亮度温度(BT)产品建立线性回归模型,获得了潮湿土壤和干燥土壤表面温度,结果表明37GHz垂直极化波段反演地表温度效果最佳。Holmes等人分析了全球地表温度反演结果,验证了37GHz垂直极化波段是获取地表温度的最佳波段,开发了全球地表温度检索的经验算法。

本文采用Zhao等人提出的基于发射率和微波极化差异指数(MPDI)之间的关系,使用单波段双极化数据反演地表温度的方法,反演东北地区地表温度。本研究探求被动微波反演地表温度在地表覆盖类型较为复杂的东北地区的适用性,分析不同波段在不同地表类型的地表温度反演能力,并在前人研究基础上提出了基于不同地表覆盖类型的温度反演模型。

1 研究区与数据

1.1 研究区概况

研究区为我国东北地区,总面积约80万平方千米,位于38° 40' N~53° 30' N、115° 05' E~135° 02' E。全区年平均气温在0℃以下,年平均降水量460mm,属寒温带大陆性气候,冬季漫长,夏季短暂^[2]。区域内土地利用类型复杂,大兴安岭、小兴安岭、长白山地区主要为落叶林与混交林,三江平原、辽河平原和松嫩平原大部为农用地,松嫩平原西部以草地覆盖为主,城镇较为稀疏,湖泊河流较丰富^[3-4]。

1.2 数据介绍

AMSR-E数据是一种被动微波传感器,搭载在2002年5月发射的Aqua卫星上,用于观测陆地海洋和大气的水和能量循环变化。每天过境两次,分别

为白天13:30升轨过境和夜晚01:30降轨过境。AMSR-E是一个12波段,6个频段微波传感器系统,可测量6.9GHz、10.7GHz、18.7GHz、23.8GHz、36.5GHz和89GHz的水平(H)极化和垂直(V)极化亮度温度。单个测量的空间分辨率从89GHz的5.4km到6.9GHz的56km。本研究使用的MODIS数据是MYD11B1第六版产品,以瓦片为基础并以正弦投影网格化,分辨率为5.6km。

2 LST 反演方法

2.1 被动微波辐射传递理论

被动微波辐射传输方程可写为方程(1)描述了卫星传感器观测到的总辐射强度。可以发现,传感器接收到的辐射不仅来源于地面辐射,还来自大气上行辐射和向下辐射,这些辐射只占很小一部分。

$$B_f(T_f) = \tau_f(\theta) \mathcal{E}_f B_f(T_s) + [1 - \tau_f(\theta)] (1 - \mathcal{E}_f) \tau_f(\theta) \mathcal{E}_f B_f(T_a \downarrow) + [1 - \tau_f(\theta)] B_f(T_a \uparrow) \quad (1)$$

其中 B_f 是普朗克函数, T_f 是在频率 f 处的亮度温度, $\tau_f(\theta)$ 是在观看方向 θ (从天底角开始的天顶角) 处的频率 f 处的大气透射率, T_s 是LST, \mathcal{E}_f 是地面发射率, 以及 $B_f(T_a \uparrow)$ 和 $B_f(T_a \downarrow)$ 上升和下降路径辐射。

普朗克函数描述了黑体发射的光谱辐射亮度与其温度之间的关系,如方程(2)所示。

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

其中 $B_f(T)$ 是 $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot Hz^{-1}$ 中的黑体辐射度, T 是K中的黑体温度, h 是普朗克常数 ($6.63 \times 10^{-34} J \cdot s$), f 是以Hz为单位的频率, k 是玻尔兹曼常数 ($1.38 \times 10^{-23} J \cdot K^{-1}$), c 是光速 ($2.992458 \times 10^8 m \cdot s^{-1}$)。根据普朗克函数的Raleigh-Jeans近似,方程(1)可以简化为

$$T_f = \tau_f \mathcal{E}_f T_s + (1 - \tau_f) (1 - \mathcal{E}_f) \mathcal{E}_f T_a \downarrow + (1 - \tau_f) T_a \uparrow \quad (3)$$

2.2 基于MPDI的先验知识的LST反演方法

由于微波波长远大于TIR波长,它们的发射率受大气影响较小。方程(2)可以进一步简化为方程(4)忽视大气的影响,特别是在低频情况下。

$$T_s = \frac{T_f}{\mathcal{E}_f} \quad (4)$$

正如方程(5)中,表面发射率 \mathcal{E}_f 是用于反演LST的关键参数。MPDI被定义为水平和垂直极化中亮度温度之差与温度之和的比值,如方程(5)所示。它用于描述土壤水分的地表覆盖密度的特征。

$$MPDI_f = \frac{Tb_{Vf} - Tb_{Hf}}{Tb_{Vf} + Tb_{Hf}} \quad (5)$$

其中 $MPDI_f$ 是指频率为 f 的MPDI,而 Tb_V 和 Tb_H 分别是V和H极化中的亮度温度。

Zhao等人在此基础上进行了MPDI估算发射率的尝试。首先利用AMSR-E亮度温度的先验知识,推导出相应的MPDI(5)。随后使用方程式根据AMSR-E亮度温度和MODIS LST计算发射率。结果显示使用方程(6)计算的发射率的均方根误差(RMSE)在水平和垂直极化方向都大约为0.01,具有较高的可信度。

$$\mathcal{E}_{f,p} = a_{M1,f,p} \cdot MPDI_f^2 + b_{M1,f,p} \cdot MPDI_f + c_{M1,f,p} \quad (6)$$

结合方程(5)与方程(6)得到地表分度反演公式(7)。

$$T_s = \frac{T_f}{a_{M1} \cdot MPDI_f^2 + b_{M1} \cdot MPDI_f + c_{M1}} \quad (7)$$

3 结果与分析

如图1研究区图所示,本研究所使用的MODIS 1km分辨率地表覆被类型产品按照IGBP(全球植被分类方案)将地表覆被类型分为了17类。从MODIS地表覆被类型数据导出的17个类别根据其物理特征重新分类。剔除水和永久湿地;常绿针叶林、常绿阔叶林、落叶针叶林、落叶阔叶林、混交林组成混交林;封闭灌丛、开放灌丛、木本稀树草原、稀树草原、草原、稀疏植被组合成草地;农田和自然植被合并为农田。最终将东北地区地表覆被类型分为混交林、草地和农田三类。以MY11A1 L2每日地表温度数据产品作为真实值分区域进行检验。其中混交林检验了150个样本点,草地60个样本点,农田260个样本点,检验结果如表1所示。

表1 不同地表覆被类型各波段反演结果均方根误差

	6.9H	6.9V	10.7H	10.7V	18.7H	18.7V	23.8H	23.8V	36.5H	36.5H	89H	89V
混交林	8.06	3.66	6.35	3.40	4.64	4.90	4.30	4.75	4.18	5.35	6.43	8.92
草地	28.71	5.68	25.33	4.80	19.06	3.32	17.36	3.30	16.54	3.06	11.08	3.49
农田	24.23	6.18	20.86	4.89	13.64	3.61	12.61	3.33	10.97	3.13	6.68	3.90

如表1所示,地表覆盖类型为混交林时,整体反演精度较好,其中6.5GHz波段垂直极化均方根误差达到3.66有较好的精度,与前人的结论相符。在土地利用类型为草地和农田区域,垂直极化与水平极化分异性明显,水平极化整体精度低不适用于地表温度的反演,垂直极化仍表现出良好的精度。东北地区草地主要分布在松嫩平原西部,湿地与草地交错分布地表水分含量大,在25km分辨率的遥感影像上多为湿地与草地的混合像元。在草地区域18.7GHz的反映精度最高,这与McFarland等人得出的19GHz波段可以补偿地表水对反演地表温度的影响结论相符。89GHz整体精度较高这与前人得出的89GHz波段是单波段反演地表温度的最佳波段结论相一致。

对反演结果进行分析发现东北地区土地覆盖类型较为复杂,单波段反演地表温度的方法并不适用。在此基础上提出通过组合最优精度波段进行地表温度反演即混交林,草地和农田分别使用精度最好的6.5GHz垂直极

化,18.7GHz垂直极化和23GHz垂直极化进行反演。利用修正后的温度反演方法精度明显提高,均方根误差达到3.41,在60%以上的区域误差小于2K,具有良好的精度。如图所示AMSR-E反演的地表温度大大提高了有效覆盖面积,整体温度趋势与MODIS地表温度产品一致(见图2)。在本研究的遥感数据中,大兴安岭北部与小兴安岭北部受云层影响导致数据缺失,反演的地表温度数据弥补了缺失部分,并具有较好的精度。松嫩平原地表覆被类型为农田的区域反演精度最好,均方根误差小于1,其主要原因为该区域地表覆被类型单一,像元较为纯净,降低了混合像元对反演精度的影响。如图3所示,反演精度较低的区域主要分布在沿海地区,松嫩平原中部和长白山脉地区。其中松嫩平原中部地表水系丰富,在25km的分辨率中无法剔除水面对微波亮度温度的影响,导致反演精度下降;辽东半岛沿海地区,混合像元中海水的影响更大,精度较低;长白山脉地区地形起伏大,地表温度随着海拔的升高变化巨大,MODIS地表温度产品升尺度后的平均温度在此区域可信度较低,因此反演精度较低。

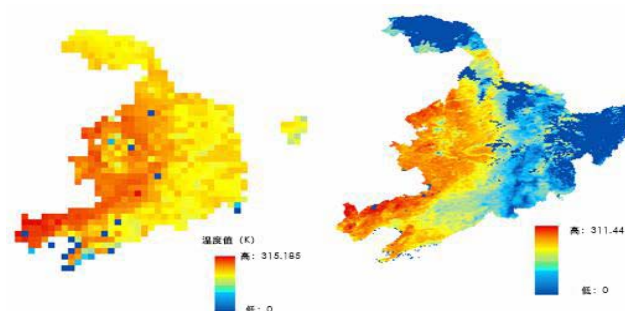


图2 AMSR-E地表温度与MODIS地表温度的比较

4 结论

本研究应用地表发射率和微波极化差异指数之间的关系,使用单波段双极化AMSR-E被动微波数据反演了东北地区地表温度。虽然大体趋势与前人总结的经验相符,但局部地区基于单波段的反演效果并不理想。针对东北地区地表覆盖类型较为复杂的特征,提出了组合精度高的波段组合反演地表温度,结果表明使用最优精度组合的方法反演东北地区地表温度是一种简单易于实施的方法并且标准偏差达到3.41,具有较好的精度。但本研究仍有一定的局限性,在高程起伏较大的区域和地表水覆盖区域精度较低,在未来的研究中进一步解决。

[参考文献]

- [1]贾媛媛,李召良.被动微波遥感数据反演地表温度研究进展[J].地理科学进展,2006,(03):96-105.
- [2]郑红星,刘静.东北地区近40年干燥指数变化趋势及其气候敏感性[J].地理研究,2011,30(10):1765-1774.
- [3]刘霞.寒温带冻土区森林—湿地生态系统土壤呼吸及其影响因素研究[D],2015.
- [4]郝占庆,王庆礼,代力民.天然林保护工程在东北林区生物多样性保护中的意义[A].中国科学院生物多样性委员会、国家环境保护总局自然生态保护司、国家林业局野生动植物保护司.面向21世纪的中国生物多样性保护——第三届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文集[C].中国科学院生物多样性委员会、国家环境保护总局自然生态保护司、国家林业局野生动植物保护司:中国科学院生物多样性委员会,1998:6.