

文章编号: 1007-4619(2006)01-0034-05

MPDI 在微波辐射计植被覆盖区 土壤水分反演中的应用

王 磊, 李 震, 陈 权

(中国科学院 遥感应用研究所 遥感信息科学国家重点实验室, 北京 100101)

摘 要: 大尺度上的土壤水分变化监测对于建立全球的水循环模型意义重大, 是实现气候变化预测和洪涝监测的基础。星载辐射计为实现大尺度上土壤水分的监测提供了监测途径。但是在星载辐射计观测时, 地表植被层的吸收和散射作用会对土壤向上的微波辐射产生衰减影响, 这种影响在反演土壤水分的过程中必须予以计算和消除。原有的反演算法中, 在计算这部分影响的时候, 需要大量的关于地表植被状况的辅助数据, 而这些即时的辅助数据往往不易获得。以 AMSR-E 数据为例, 研究证明了微波极化差异指数 (MPDI) 能够反映地表植被覆盖状况。以中国华北、华东地区为实验区, 选择 2004 年 4 月 8 日的 AMSR-E 亮温数据和 MODIS 数据为样本数据, 建立起 MPDI 与 NDVI 之间的负指数关系方程。基于对 NDVI 的认识, 得到植被覆盖度高、中、低三种状况所对应的 MPDI 域值, 以此域值为依据对中等植被覆盖度地区作出自动判断, 并用 MPDI 计算植被层不透明度。

关键词: 微波辐射计; AMSR-E; 土壤水分; 植被层不透明度; MPDI; NDVI

中图分类号: TP722.6 **文献标识码:** A

The Applications of MPDI during the Soil Moisture Retrieval from Radiometer in the Region with Vegetation Cover

WANG Lei LI Zhen CHEN Quan

(State Key Laboratory of Remote Sensing Science Institute of Remote Sensing Applications CAS Beijing 100101, China)

Abstract: Monitoring the soil moisture variety in large-scale is very important to establishing the global water-cycle model and to forecasting the weather and the floods. The spaceborne microwave radiometer is an efficient way to monitor the soil moisture variety in large-scale. When the radiometer observes the earth from the space, the absorbing and the scattering affection in the vegetation layer will attenuate the up-forward radiance from the soil, and this affection must be counted and reduced during the process of soil moisture retrieval. Much ancillary data are needed for computing the attenuating effects of the vegetation layer in the soil moisture retrieval model before, and the ancillary data are often unavailable. This paper proves that the Microwave Polarization Difference Index (MPDI) can be used to indicate the vegetation coverage conditions with the AMSR-E L2A brightness temperature data product. In this paper, we select the north-east and east part of China as the experiment area and the AMSR-E L2A brightness temperature and MODIS data as the sample data, and get the negative exponent relationship between MPDI and NDVI. Based on the relationship function and the knowledge about NDVI, MPDI has three threshold values that stand for High, Medium and Low vegetation coverage level. The threshold values can be used in the process of the soil moisture retrieval to judge the vegetation coverage level at the observed point and work out vegetation opacity.

Key words: microwave radiometer; AMSR-E; soil moisture; vegetation opacity; MPDI; NDVI

收稿日期: 2004-12-16; 修订日期: 2005-03-22

基金项目: 国家 863 项目 (2003AA131053) 和 KGW 项目资助。

作者简介: 王 磊 (1979-), 男, 中国科学院遥感应用研究所硕士研究生, 研究方向为微波遥感。E-mail: toneywang@ustc.edu.cn

1 引 言

大陆尺度的土壤水分变化对于建立全球的水循环模型很重要,进而可以预测气候变化和洪涝监测。传统的地面观测站网络不能满足大陆尺度上土壤水分的时间、空间变化研究的需要,星载辐射计通过测量全球的微波辐射来研究全球范围的水循环,为监测全球大陆范围内的土壤水分的变化提供了一种新的数据。

由于土壤含水量会影响土壤的发射率,进而影响土壤的微波辐射,因而可以根据观测得到的土壤的微波辐射反演得到土壤水分。但是在星载辐射计观测时,地表植被层的吸收和散射作用会对土壤向上的微波辐射产生衰减影响,这种影响用不透明度来描述。而且随着辐射计工作频率由 L 波段到 C 波段的升高,这种影响会愈加明显^[1,2]。

为了解决微波辐射计对中等植被覆盖度地区土壤水分的反演,提高其反演能力,需要计算和消除植被层不透明度的影响。在已有的反演流程方法^[3-5]中,计算植被层影响的时候,需要关于地表植被覆盖状况、植物类型、植被层含水量等辅助数据。这些数据的获取和应用都需要大量的人工操作,而且计算得到的不透明度不能直接体现出植被生长变化过程中的差异。

本文利用 AMSR-E 亮温数据,以中国东部地区为例,结合 NDVI 数据,得到微波辐射极化差异指数 (MPDI) 与 NDVI 之间的负指数关系方程,基于对 NDVI 的已有的认识,以 MPDI 对地表植被覆盖度状况作出判断决策,再把 MPDI 计算植被层不透明度的方法引入到地表土壤水分反演当中,改进了原有地表土壤水分反演的算法和流程。

2 反演模型和方法

2.1 反演算法和定义

基于微波辐射传输模型,辐射计观测得到的亮温 T_{bp} 的正演计算方程为:

$$T_{bp} = T_u + e^{-\tau_a} [T_{bp} + r_p (T_d + T_{sky} e^{-\tau_a})] \quad (1)$$

式中, T_{bp} 为经过植被层衰减,植被顶层处的向上辐射, T_u 和 T_d 为大气的上行和下行辐射。 r_p 为植被层上表面处反射率, τ_a 为大气层不透明度。 p 代表 V 或者 H 极化方式。 T_{sky} 为宇宙背景亮温 2.7K。

Richard 提出可以根据微波极化差异指数

(MPDI) 计算植被层不透明度,无需植被含水量等辅助数据,直接利用亮温数据计算 τ_a 方法。

微波极化差异指数 (MPDI) 的定义与 NDVI 的定义相似,定义为^[6]:

$$MPDI = \frac{T_{BV} - T_{BH}}{T_{BV} + T_{BH}} \quad (2)$$

其中, T_{BV} , T_{BH} 分别为垂直和水平极化方式的亮温。由于地表的垂直极化辐射强于水平极化辐射,所以通常情况下 MPDI 都是正值。

2.2 数据源

研究区域位于中国华北和华东地区,研究范围在 $E112^{\circ}24' - 125^{\circ}41'$, $N28^{\circ}1' - 45^{\circ}42'$ 范围内,华北地区主要都是平原,华东地区主要分布有丘陵和湖泊。

选择 2004 年 4 月 AMSR-E L2A 亮温数据产品作为辐射计数据源。辐射计数据选择 C 波段 (6.9GHz) 的 V 极化和 H 极化两个通道亮温数据, L2A 数据产品的分辨率为 10km。关于 AMSR-E 的基本参数见表 1。

表 1 AMSR-E 辐射计基本参数

Table 1 Characters of AMSR-E

AMSR-E 传感器的基本参数						
极化方式	V 和 H 极化					
入射角 / (°)	55					
通道中心频率 /GHz	6.925	10.65	18.7	23.8	36.5	89.0
灵敏度 /K	0.3	0.6				1.1

光谱数据选择 2004 年 4 月 8 日的 MODIS 数据产品,计算得到的 NDVI 作为研究区的植被覆盖状况的参考数据。

图 1 是研究区 4 月 8 日 AMSR-E 升轨时 C 波段亮温和 NDVI 的分布图。其中图 1(a), 图 1(b) 是 6.9GHz 的 V 极化和 H 极化通道的亮温图像;图 1(c) 是根据图 1(a), 图 1(b) 计算得到的 MPDI 图像;图 1(d) 是根据 MODIS 光谱数据得到的 NDVI 图像。

比较图 1(a) 和图 1(b), 发现两种极化方式的亮温在北方地区差别大,南方差别小。在内蒙古中部地区亮温差可以达到 30-40K,在河南、安徽两省附近大部分地区亮温差在 10-20K 左右。

两种极化方式的亮温差在海岸线地区达到 50K 以上。这是因为两个原因共同作用的结果: (1) 6.9GHz 观测时分辨率只有 56km,在海岸线附近

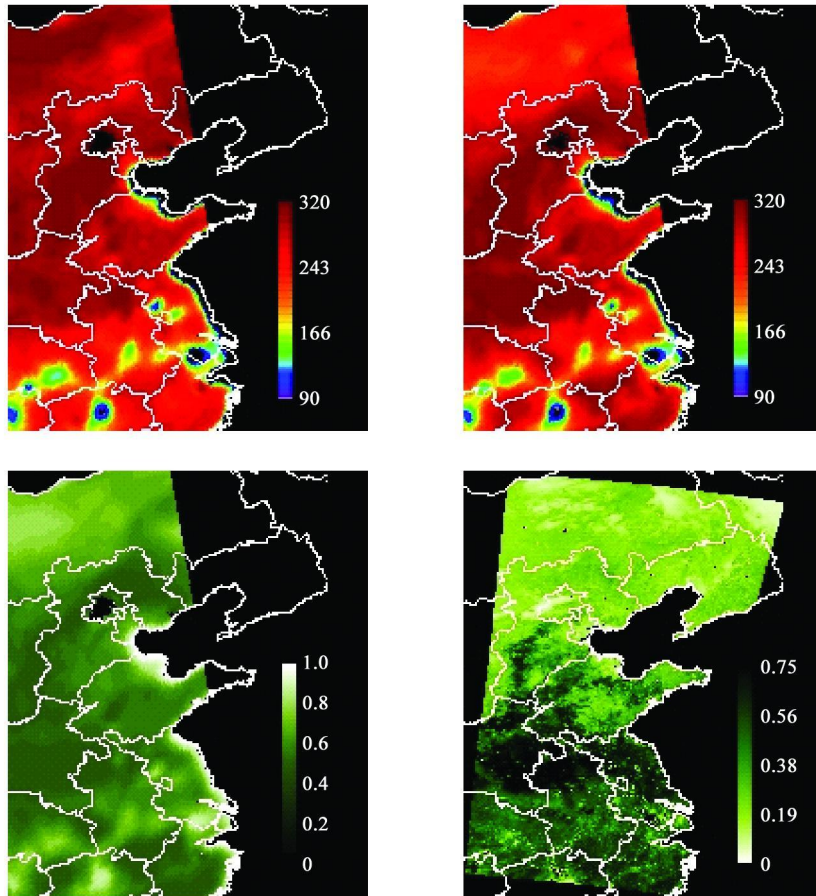


图 1 实验区 4 月 8 日 AMSR-E 升轨时 C 波段亮温和 NDVI 的分布图

(a) V 极化通道亮温; (b) H 极化通道亮温; (c) MPDI 图像; (d) NDVI 图像

Fig 1 Image of AMSR-E brightness temperature at C-band and NDVI in the experiment area on 8 Apr

(a) V-polarization TB; (b) H-polarization TB; (c) MPDI; (d) NDVI

存在边界模糊效应; (2) 在海岸线附近植被较少, 裸露地表较多。

比较图 1(c) 和图 1(d) 发现, MPDI 的分布较低的地区 (鲁豫皖交界地区、河南省大部分地区) 也是 NDVI 较高的地区。而且图 1(c) 中, 海岸线附近地区的 MPDI 普遍很高, 因为在海岸线附近 V 极化通道亮温较 H 极化通道亮温高很多, 由于 MODIS 的分辨率较 AMSR-E 的 6.9GHz 的通道高很多, 沿海地区的这种模糊效应不明显。

2.3 MPDI 与 NDVI 的关系

文献 [3] 中展示了水平极化亮温对于植被层含水量的敏感性要高于垂直极化亮温, 随着植被层含水量的升高, 水平极化亮温会迅速升高, 则根据公式 (2) 可得 MPDI 会迅速降低。认为植被层含水量与植被的浓密程度存在正相关对应关系, 则随着植被

覆盖度的增加, MPDI 会降低。

对图 1(c) 和图 1(d) 的比较观察发现, MPDI 和 NDVI 分布趋势总体上是相反的, 二者之间是负相关的关系, 大致符合前面预期变化规律。把 MPDI 和 NDVI 的样本数据区选择在 $E114.367^\circ$ 经线上, $N28.15^\circ-45.83^\circ$ 纬度范围内, 研究 MPDI 和 NDVI 之间的关系。

图 2 为样本区的 MPDI 和 NDVI 的散点图, 以 MPDI 横轴, 以 NDVI 为纵轴。可以看出在 $MPDI < 0.03$ 范围内, NDVI 变化明显; 在 $MPDI > 0.03$ 范围内, NDVI 趋于稳定。由散点图进行曲线拟合得到拟合曲线, NDVI 与 MPDI 之间的负指数方程为:

$$NDVI = 0.132 + 1.982 \exp\left(-\frac{MPDI}{0.0106}\right) \quad (3)$$

拟合方程的 $R^2 = 0.8006$ 。

根据对 NDVI 已有的认识, 当 $NDVI > 0.5$ 时, 可

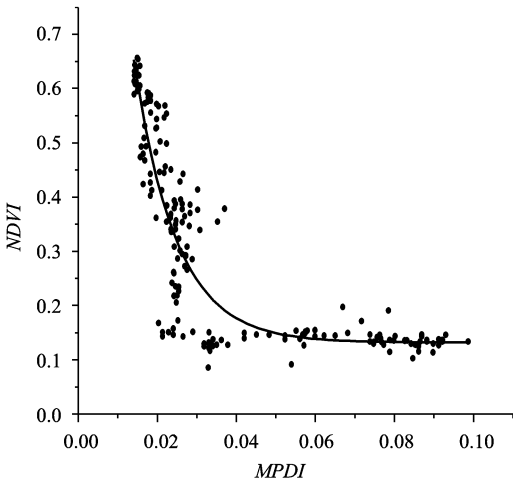


图 2 NDVI与 MPDI样本数据关系及拟合曲线
Fig 2 Sample NDVI and MPDI data and simulated exponent curve line

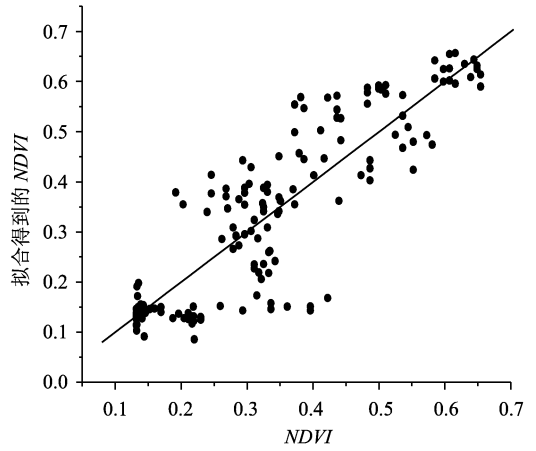


图 3 由 MPDI计算得到的 NDVI与真实值的关系
Fig 3 Comparing the real NDVI and the NDVI computed with MPDI

以认为植被覆盖度高;当 $0.3 < NDVI < 0.5$ 时,可以认为中等程度的植被覆盖;当 $NDVI < 0.3$ 时,可以认为植被覆盖度很低,甚至没有植被覆盖。由此得到 MPDI对应三种状况的域值:

(1) 当 $NDVI > 0.5$ 时, $MPDI < 0.0178$, 此时由于植被覆盖度很高,辐射计测量得到的亮温对土壤水分的灵敏度已经很低了^[1],对这种地区反演土壤水分的结果并不具有实际意义;

(2) 当 $0.3 < NDVI < 0.5$ 时, $0.0178 < MPDI < 0.0262$, 此时对应于中等程度的植被覆盖,辐射计测量的亮温对土壤水分具有一定的灵敏度,利用辐射计数据反演这种地区的土壤水分的过程中需要计算并消除植被层的影响;

(3) 当 $NDVI < 0.3$ 时, $MPDI > 0.0262$, 此时植被覆盖度很低,甚至没有植被覆盖,辐射计测量的亮温对土壤水分具有很好的灵敏度,这种情况正是适合辐射计工作的情况。利用辐射计数据反演这种地区的土壤水分时,可以视为裸露地表来处理。

水体的表面参数(表面温度)的反演不是本研究的目标,因而样本数据中没有选择纯水体像元,这里不再深入讨论。但是根据 MPDI在纯水体像元上很高(可以达到 0.3 以上)的性质,已经能够将水体同陆地区分开来。

图 3 给出了利用拟合方程由 MPDI 计算 NDVI 的效果,横轴为真实的 NDVI 纵轴为由 MPDI 计算得到的 NDVI 值。对图 3 中散点数据进行线性拟合得到线性方程

$$y = 0.00014 + 0.9992x \quad (4)$$

拟合方程的 $R^2 = 0.895$ 。

2.4 MPDI在反演土壤水分中的应用

前面的分析表明:MPDI与 NDVI之间存在负指数关系,而且能够随着植物生长变化而相应变化,对于植被覆盖度具有指示意义。在利用辐射计数据反演土壤水分的过程中,可以直接利用 MPDI来计算植被层不透明度:

(1) 当 $MPDI < 0.0178$ 时,观测点为浓密植被覆盖地区,反演时认为无法消除植被影响,不用计算植被层不透明度;

(2) 当 $0.0178 < MPDI < 0.0262$ 时,观测点为中等植被覆盖地区,可以利用 MPDI 计算 τ_c ^[6,7], 计算方程如式(5):

$$\tau_c = -0.223 \ln(MPDI/k^2) - 1.239^{0.12} \sqrt{MPDI - 0.001} + 0.00085k^2 - 0.0547k + 0.05411 \quad (5)$$

(3) 当 $MPDI > 0.0262$ 时,观测点为稀疏植被覆盖地区或者裸露地表地区,此时可以忽略植被的影响,不用计算植被层不透明度。当 $MPDI > 0.3$ 时,观测点为水体,也不必计算植被层不透明度。

采用 MPDI 计算植被层不透明度的方法,在缺少地面植被辅助数据的时候,仍能实现反演地表土壤水分;当植被辅助数据可以利用的时候,利用 MPDI 计算植被层不透明度可以大大提高反演流程的效率(可以省去数据整理、配准等大量人工操作),而且计算得到的植被层不透明度会随着植被生长和更新变化而变化,具有即时性。利用地面植被辅助数据计算植被层不透明度是利用经验公式计

算,不能很好地反映植被层不透明度的季节变化性。

3 结论和讨论

本文利用 2004 年中国华北和华东地区的 AMSR-E 数据对微波辐射极化差异指数 (MPDI) 特性进行了分析。对比研究区内 NDVI 和 MDPI 样本数据,得到二者之间的负指数关系方程。在对 NDVI 已有认识的基础上,可以计算出浓密植被覆盖、中等植被覆盖及稀疏植被覆盖和裸露地表三种植被覆盖状况所对应的 MPDI 的域值。根据确定的域值,在利用星载辐射计监测大尺度上土壤水分变化的过程中,为定性的确定地表植被覆盖状况提供了一种快速的方法。

在使用辐射计数据反演地表土壤水分的时候,根据对植被覆盖度的判断结果,对于中等植被覆盖度的地区,利用式 (5) 计算植被层不透明度时,就不再需要大量关于地表植被状况的辅助数据,可以提高原有的反演流程的效率。

在对 MPDI 性质的分析过程中没有考虑大气对微波辐射的衰减影响,这是因为 6.9GHz 处于大气窗口之内,此时大气可以近似地看作是透明的,大气的影响可以忽略。

致 谢 文中所使用的 AMSR-E 数据^[8]来自于美国国家雪冰数据中心 (National Snow and Ice Data Center),感谢数据中心提供即时数据进行试验研究。

参 考 文 献 (References)

- [1] Ulaby F T, Richard K Moore, Adrian K Fung. Microwave Remote Sensing Active and Passive[M]. Beijing: Science Press, 1987. [F. T. 乌拉比. 微波遥感 [M]. 北京: 科学出版社, 1987.]
- [2] Ulaby F T, Razani M, Dobson M C. Effects of Vegetation Cover on the Microwave Radiometric Sensitivity to Soil Moisture[J]. IEEE Trans Geosci Remote Sensing, 1983, GE-21(1): 51-61.
- [3] Eni G Njoku, Li L. Retrieval of Land Surface Parameters Using Passive Microwave Measurements at 6-18GHz [J]. IEEE Trans Geosci Remote Sensing, 1999, 37(2): 79-93.
- [4] Eni G Njoku, Thomas J Jackson, Venkataraman Lakshmi et al. Soil Moisture Retrieval From AMSR-E [J]. IEEE Trans Geosci Remote Sensing, 2003, 41(2): 215-229.
- [5] Eni G Njoku. AMSR Land Surface Parameters Algorithm Theoretical Basis Document (version 3.0) [R]. Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology Pasadena, CA, 1999.
- [6] Richard A M. de Jeu. Retrieval of Land Surface Parameters Using Passive Microwave Remote Sensing [D]. Ph. D. Print Partners Ipskamp, Enschede, the Netherland, 2003.
- [7] Wang L, Li Z, Ren X. The Effects of Vegetation in Soil Moisture Retrieval Using Microwave Radiometer Data [A]. IGARSS04 [C], 2004.
- [8] Ashcroft P, Wentz F. Updated Daily [A]. AMSR-E/Aqua L2A Global Swath Spatially-Resampled Brightness Temperatures [C]. (Tb) V001. Boulder, CO, USA: National Snow and Ice Data Center DVD, 2002.