

AMSR - E 微波极化指数与 MODIS 植被指数关系研究

毛克彪¹⁻³, 唐华俊¹, 周清波¹, 陈仲新¹, 陈佑启¹, 赵登忠^{4,5}

(1. 农业部资源遥感与数字农业重点开放实验室/中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2. 遥感科学国家重点实验室/中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 4. 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029; 5. 南京大学国际地球系统科学研究所, 南京 210093)

摘要: 首先, 利用辐射传输方程对微波极化指数 (MPI, Microwave Polarization Index) 进行推导, 以 AMSR - E 像元经纬度为控制条件, 采集与之对应的 MODIS 植被指数 (LAI/NDVI), 并将其平均值作为 AMSR - E 对应像元的值; 然后, 对 AMSR - E 微波极化指数与 LAI/NDVI 进行相关分析。结果表明, MPI 与 LAI/NDVI 之间存在着指数关系, 而且频率越低, 相关性越好。

关键词: AMSR - E; MODIS; 微波极化指数 (MPI); 叶面积指数 (LAI); NDVI

中图分类号: TP 79; **文献标识码:** A **文章编号:** 1001 - 070X(2007)01 - 0027 - 05

0 引言

关于微波指数的研究虽有 20 多 a 的历史, 但其实际应用不多。国内对这方面的研究较少, 国外有人做过一些研究工作: Ulaby 等^[1] 利用机载微波辐射计 (1.4 GHz 和 5 GHz) 对裸地、小麦地和玉米地进行了监测, 分析结果表明, 植被对微波辐射计监测土壤水分有非常大的影响; Paloscia 等^[2] 利用热辐射计和微波辐射计 (Ka 波段, 36 GHz) 对植被的水胁迫进行了分析, 并定义了微波指数, 分析表明, 微波极化指数和水压抑指数之间存在指数关系; Paloscia 等^[3] 用微波辐射计 (X 和 Ka 波段) 对植被进行了分析, 结果表明, 微波指数对植被类型非常敏感, 植被含水量的变化对微波指数的影响很大; Choudhury 等^[4,5] 用 37 GHz 的极化差在 Sahara、Senegalese Sahel、Burkina Fasso 和美国 Southern Great Plains 与 AVHRR 植被指数进行了相关分析, 结果表明, 它们之间存在着指数关系, 并用 37 GHz 微波指数监测全球植被; Paloscia 等^[6] 用微波极化指数 (10 GHz 和 36 GHz) 对植被生长进行变化监测, 结果表明, 在植被生长期, 极化改变较大; Paloscia^[7] 通过理论模型和实验分析表明, 微波指数可以用来监测农作物的生物量和水分条件; Calvet, Felde, Owe 和 Jeu^[8-11] 也做了一些与微波指数相关的研究工作。

微波极化指数在土壤水分和生物量反演方面具有很大潜力。被动微波遥感可以用于反演地面温度^[12] 及植被含水量等地表参数, 但其相对光学遥感最大的优势还在于其具有反演土壤水分的能力。因此, 被动微波遥感对地表参数的反演研究重点通常围绕着土壤水分的反演展开的, 但地表温度和植被含水量是土壤水分反演的重要参数。在植被覆盖地区, 土壤水分的反演精度还远没有达到实用要求。由于被动微波的像元分辨率较低, 绝大多数像元都是混合像元, 这使对植被覆盖地区的土壤水分反演更加困难。在许多实验研究中, NDVI 被当作一种描述植被状态的重要信息^[13,14]。在地表土壤水分反演过程中, 通常将光学数据 (NDVI/LAI) 作为一种辅助数据源。但微波具备穿透性, 微波极化指数能更好地反映植被几何及生物量等方面的信息。为了促进国内这方面的研究, 本文集中对被动微波数据 AMSR - E 的微波极化指数进行推导, 并和 MODIS 的 LAI/NDVI 进行相关分析, 同时对微波指数做了一些应用分析。

1 微波极化指数

微波极化指数与光学植被指数建立在辐射传输方程基础上。微波在植被覆盖地区的辐射传输过程中, 通常假定植被为在土壤表层的一个吸收和散射

收稿日期: 2006 - 06 - 05; 修订日期: 2006 - 07 - 17

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863 计划) (编号: 2006AA12Z103)、农业部资源遥感与数字农业重点开放实验室开放基金和中国科学院遥感应用研究所、北京师范大学遥感科学国家重点实验室开放基金资助项目共同资助。

的平行介质,通常用式(1)描述^[6]

$$T_{bp}(\tau, \mu) = (1-w)(1-e^{-\tau/\mu})T_c + \varepsilon_p T_s e^{-\tau/\mu} \quad (1)$$

式中, $T_{bp}(\tau, \mu)$ 是植被层 θ 角度上的亮温; b 表示频率; p 表示垂直(V)或者水平极化(H); $\mu = \cos \theta$; τ 是光学厚度; w 是单次散射反照率; T_c 是植被层的亮温; T_s 是土壤温度; ε_p 是发射率。

如果将植被-土壤看作一个系统,则发射是极化的。但由于植被对单个发射具有去极化作用,因此,微波极化指数能够被用来描述植被的性质。通常将微波极化指数定义如下^[2,6]

$$MPI(\tau, \mu) = \frac{T_{bv} - T_{bh}}{\frac{1}{2}(T_{bv} + T_{bh})} \quad (2)$$

将(1)式代入(2)式得到

$$MPI(\tau, \mu) = \frac{(\varepsilon_v T_{bv} - \varepsilon_h T_{bh})e^{-\tau/\mu}}{(1-w)(1-e^{-\tau/\mu})T_c + \frac{1}{2}(\varepsilon_v T_{bv} + \varepsilon_h T_{bh})e^{-\tau/\mu}} \quad (3)$$

当地表没有植被时, $\tau=0$ 。因此,裸露地表可以表示为

$$MPI(0, \mu) = \frac{(\varepsilon_v - \varepsilon_h)}{\frac{1}{2}(\varepsilon_v + \varepsilon_h)} \quad (4)$$

假定 $\varepsilon_s = \frac{1}{2}(\varepsilon_v + \varepsilon_h)$, $T_c = T_s$ 之后^[6], 可得植被覆盖的微波指数和裸地微波指数的关系为

$$MPI(\tau, \mu) \approx MPI(0, \mu) e^{-\tau/\mu} \quad (5)$$

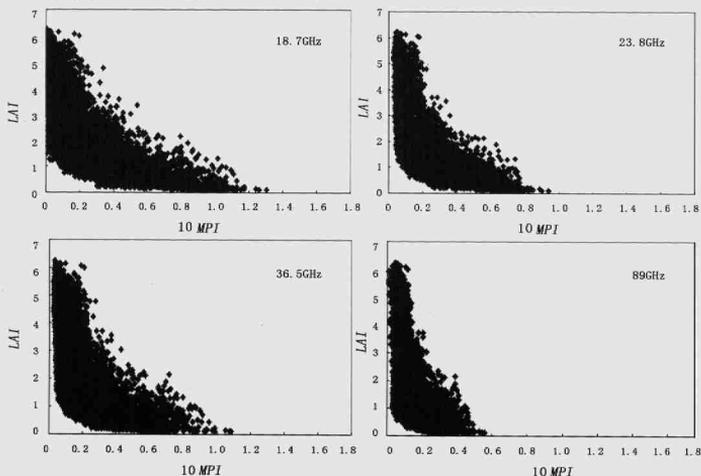


图1 MPI与LAI之间的关系

由式(5)可见,微波极化指数主要由植被的光学厚度 τ 和 μ 决定。光学厚度 τ 主要决定于植被的含水量。事实上,植被覆盖的微波指数和裸地的微波指数可能存在于一个更复杂的关系。因为在式(4)中,发射率是由介电常数决定,而介电常数主要是受水影响。植被的含水量在一定程度上由土壤水决定的,而植被的光学厚度也主要受植被水影响。从某种程度上讲,微波指数也能反映植被水分并间接地反映植被覆盖下的土壤水分含量。

2 微波极化指数与光学植被指数关系分析

对地观测卫星 Terra 上同时拥有被动微波传感器 AMSR-E 和光学传感器 MODIS, 这为综合利用多传感器的优势提供了方便。通过编程,以 AMSR-E 像元的经纬度为控制条件,将所有落在 AMSR-E 像元里面的 MODIS LAI/NDVI 值进行加权平均作为对应 AMSR-E 像元的 LAI/NDVI 值。研究中采集的 10 396 个像元主要分布在中国东北地区 and 邻近的部分俄罗斯地区。这部分地区的植被较好,便于分析。

图 1 是 LAI 与微波指数的关系。为了在同一个数量级上比较分析,横轴表示 10 MPI。从图 1 可以看出, MPI 和 LAI 之间是一种指数关系,频率越低, MPI 的变化范围越大。

图 2 是 MPI 和 $NDVI$ 之间的关系,与图 1 有些差别,但总体趋势相同。 MPI 与 LAI 和 $NDVI$ 之间的

关系如表 1 和表 2 所示。随着频率降低,其相关性越好。

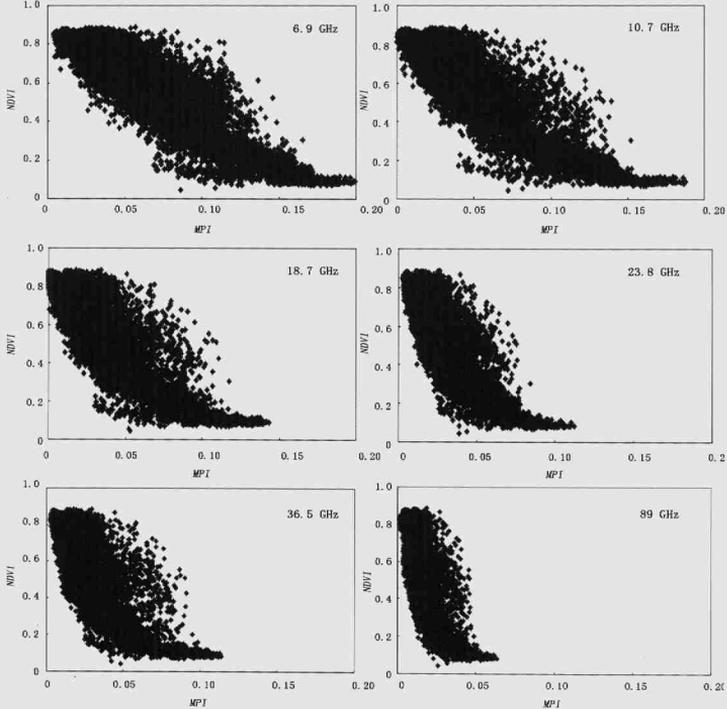


图 2 MPI 与 $NDVI$ 之间的关系

表 1 LAI 与 MPI 之间的关系

频率/GHz	表达式	R^2
6.9	$LAI = 5.612 61e^{-\frac{MPI}{0.035 33}} + 0.303 48$	0.767
10.7	$LAI = 4.945 14e^{-\frac{MPI}{0.007 72}} + 0.336 31$	0.724
18.7	$LAI = 4.227 54e^{-\frac{MPI}{0.017 77}} + 0.419 86$	0.689
23.8	$LAI = 5.746 79e^{-\frac{MPI}{0.012 26}} + 0.399 31$	0.665
36.5	$LAI = 5.374 57e^{-\frac{MPI}{0.041 87}} + 0.484 11$	0.591
89	$LAI = 6.258 9e^{-\frac{MPI}{0.007 51}} + 0.338 62$	0.484

表 2 $NDVI$ 与 MPI 之间的关系

频率/GHz	表达式	R^2
6.9	$NDVI = 7.696e^{-\frac{MPI}{1.472 27}} - 6.782 07$	0.845
10.7	$NDVI = 1.711 75e^{-\frac{MPI}{0.234 8}} - 0.814 02$	0.825
18.7	$NDVI = 1.217 72e^{-\frac{MPI}{0.110 91}} - 0.349 5$	0.796
23.8	$NDVI = 1.182 9e^{-\frac{MPI}{0.067 06}} - 0.248 56$	0.799
36.5	$NDVI = 1.045 62e^{-\frac{MPI}{0.056 07}} - 0.117 41$	0.705
89	$NDVI = 1.147 1e^{-\frac{MPI}{0.000 43}} - 0.158 52$	0.655

比较图 1 和图 2 可知, $NDVI$ 与 MPI 的相关关系比 LAI 与 MPI 的要高。它们之间的共同点是: 当 $NDVI$ 与 LAI 很大(即植被很多)时,微波极化指数很小(即极化差很小);相反,当 $NDVI$ 与 LAI 很小,或者是裸地时,微波极化指数最大。这表明,可以根据

微波极化指数来判断植被与裸地。

3 应用前景分析与结语

(1) 本文对微波极化指数的研究进行了简单介

绍和推导,利用对地观测卫星多传感器的特点,对 AMSR-E 的 MPI 和 MODIS 的 LAI/NDVI 产品进行了相关分析,结果表明,MPI 和 LAI/NDVI 之间存在一种指数关系,频率越低,相关性越好。

(2)用被动微波遥感反演地表温度和土壤水分依然是当前的一个研究热点和难点,至今还没有一种真正实用的地表温度和土壤水分监测方法能达到实用要求,现今这个领域的所有工作都是实验性或研究性的,特别是植被覆盖地区,需要进一步加强研究。

(3)微波具有穿透能力,MPI 是描述植被的一个非常重要参数,但由于被动微波的分辨率比较低,绝大多数像元都是混合像元,其信号相当复杂,因此需要进一步研究,尤其是要结合光学、热红外的优势。

(4)与 NDVI/LAI 相比,MPI 能更好地监测植被水分和生物量,为反演植被下面的地表温度和土壤水分提供了条件。

(5)在微观尺度上(包括理论模型与经验模型),研究分析得到的 MPI 与 LAI/NDVI 关系在实际应用中很难推广到大尺度像元的实际应用中,这就需要我们从 3 方面着手:①提高像元的空间分辨率;②提高模型和算法的适用范围;③研究微波指数如何更好地描述植被及其与土壤水分的关系。

参考文献

- [1] Ulaby, Razani, Dobson. Effects of Vegetation Cover on the Microwave Radiometric Sensitivity to Soil Moisture[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1983, 21: 51-61.
- [2] Paloscia S, Pampaloni P. Microwave Remote Sensing of Plant Water Stress[J]. Remote Sensing of Environment, 1984, 16: 249-255.
- [3] Paloscia S, Pampaloni P. Experiment Relationships Between Microwave Emission and Vegetation Features [J]. INT. J. Remote Sensing, 1985, 6: 315-323.
- [4] Choudhury B J, Tucker C J. Monitoring Vegetation Using Nimbus-7 Scanning Multichannel Microwave Radiometer's Data [J]. INT. J. Remote Sensing, 1987, 8: 533-538.
- [5] Choudhury B J, Tucker C J. Monitoring Vegetation Using Nimbus-7 37GHz Data (Some Empirical Relations)[J]. INT. J. Remote Sensing, 1987, 8: 1085-1090.
- [6] Paloscia S, Pampaloni P. Microwave Polarization Index for Monitoring Vegetation Growth [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1988, 26: 617-621.
- [7] Paloscia S, Pampaloni P. Microwave Vegetation Indexes for Detecting Biomass and Water Conditions of Agriculture Crops [J]. Remote Sensing of Environment, 1992, 1: 15-26.
- [8] Calvet J C, Wigneron J P, Mougé E, et al. Plant Water Content and Temperature of the Amazon Forest from Satellite Microwave Radiometry [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1994, 32: 397-408.
- [9] Felde G W. The Effect of Soil Moisture on the 37 GHz Microwave Polarization Difference Index (MPDI) [J]. INT. J. Remote Sensing, 1998, 19: 1055-1078.
- [10] Owe M, Jea R, Walker J. A Methodology for Surface Soil Moisture and Vegetation Optical Depth Retrieval Using the Microwave Polarization Difference Index [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2001, 39: 1643-1654.
- [11] Jea R A, Owe M. Further Validation of a New Methodology for Surface Moisture and Vegetation Optical Depth Retrieval [J]. INT. J. Remote Sensing, 2003, 1-20.
- [12] 毛克彪,施建成,李召良,等.用被动微波 AMSR 数据反演地表温度及发射率方法研究[J]. 国土资源遥感, 2005, (3): 14-18.
- [13] 高中灵,汪小钦,周小成.火烧迹地信息遥感快速提取方法研究[J]. 国土资源遥感, 2005, (4): 38-41.
- [14] 马雪梅,张友静,黄浩.城市热场与绿地景观相关性定量分析[J]. 国土资源遥感, 2005, (3): 10-13.

A STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN AMSR-E/MPI AND MODIS LAI/NDVI

MAO Ke-biao¹⁻³, TANG Hua-jun¹, ZHOU Qing-bo¹, CHEN Zhong-xin¹, CHEN You-qi¹, ZHAO Deng-zhong^{4,5}

(1. Key Laboratory of Resources Remote Sensing and Digital Agriculture, MOA, Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Jointly Sponsored by the Institute of Remote Sensing Applications of Chinese Academy of Sciences and Beijing Normal University, Beijing 100101, China; 3. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 5. International Institute for Earth System, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: This paper describes in brief the development of the MPI (Microwave Polarization Index) technology and makes a derivation for MPI according to the radiance transfer equation. The authors collected MODIS LAI/NDVI

matching to AMSR - E MPI by using the longitude/latitude as the control condition. The analysis indicates that there exists an exponent relationship between MPI and LAI/NDVI. The better the relationship, the lower the frequency. This paper also deals with the microwave polarization index in the application field.

Key words: AMSR - E; MODIS; Microwave Polarization Index(MPI); Leaf area index(LAI); NDVI

第一作者简介: 毛克彪(1977 -),男,博士生,主要从事微波、热红外遥感、空间数据挖掘及 GIS 应用等方面的研究,目前在国内外期刊上已发表论文 40 余篇(其中 SCI 3 篇, EI 11 篇)。提出了针对 MODIS 的实用劈窗算法和同时反演辐射率和地表温度的多波段算法,提出了针对 ASTER 数据的劈窗算法和用神经网络优化的同时反演地表温度和发射率的多波段算法,提出了针对被动微波数据 AMSRE 反演地表温度的物理统计算法和用微波指数反演土壤水分的算法,并被邀请给国际遥感(International Journal of Remote Sensing)审稿。

(责任编辑:刁淑娟)

=====
(上接第 26 页)

参考文献

- [1] Ferretti A, Prati C, Rocca F. Permanent Scatterers in SAR Interferometry[J]. IEEE Trans. Geosci. and Remote Sens., 2001, 39(1):8-20.
- [2] Charles W, Urs W, Andreas W. Interferometric Point Target Analysis with JERS-1 L-band SAR Data[A]. IGARSS03[C]. Toulouse, France, 2003.
- [3] Andreas W, Charles W, Tazio S, et al. Combination of Point and Extended Target Based Interferometric Techniques[A]. IGARSS04[C]. Anchorage, Alaska, USA, 2004.
- [4] Schneider R Z, Papathanassion K, Hajnsek I, et al. Analysis of Coherent Scatterers over Urban Areas[EB/OL]. http://www.earth.esa.int/workshops/polinsar2005/participants/124/paper_Paper_PolinSAR_2005_Schneider.pdf.
- [5] Souyris J C, Henry C, Adragna F. On the Use of Complex SAR Image Spectral Analysis for Target Detection: Assessment of Polarimetry[J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 2003, 41(12): 2725-2734.
- [6] Mora O, Mallorqui J, Broquetas A. Linear and Nonlinear Terrain Deformation Maps from a Reduced set of Interferometric SAR Images[J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 2003, 41(10): 2243-2253.
- [7] Costantini M. A Phase Unwrapping Method Based on Network Programming[A]. Proceeding of the Fringe96 Workshop[C]. Zurich, Switzerland, 1996.
- [8] 夏耶,郭小方. 地面沉降和山体滑坡的雷达图像差分干涉监测分析[A]. 中国遥感应用协会 2005 年年会论文集[C]. 北京:中国宇航出版社,2005.

SURFACE DEFORMATION RATE DERIVATION BASED ON DIFFERENTIAL INTERFEROGRAMS STACK

GE Da-qing, GUO Xiao-fang, WANG Yi, WANG Yan, LIU Sheng-wei

(China Aero Geophysical Survey & Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: The conventional repeat-pass differential SAR Interferometry (D-InSAR) was proved to be a remarkable potential technology for mapping surface deformation. However, a full operational capability has not yet been achieved due to phase decorrelation and atmospheric disturbances. A stacking differential interferograms strategy is presented for surface deformation rate derivation in this paper. In this algorithm, the pixels that preserve a good coherence level in the whole interferograms stack are identified to generate the triangulation network with Delaunay criteria. The Minimum Cost Flow (MCF) algorithm is used for phase unwrapping of individual interferogram. The unwrapped phase series of each point is used to estimate the linear deformation rate, and the standard deviation of the estimates of the linear subsidence rate is calculated to indicate the nonlinear subsidence of the pixel. The algorithm was tested with 9 scenes ASAR data acquired from 2004 to 2005 to derive the linear subsidence rate of Langfang City.

Key words: D-InSAR; Decorrelation; Atmosphere disturbance; Interferograms stack; Linear deformation rate

第一作者简介: 葛大庆(1979 -),男,硕士,主要从事 InSAR 技术在地形测图与灾害性地表形变监测方面的理论、方法和应用研究。

(责任编辑:刁淑娟)