

L 波段多角度微波植被指数研究

陈亮, 杜今阳

(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)

摘要: 植被指数是卫星遥感领域中用来表征地表植被覆盖, 生长状况的一个简单有效的度量参数。通常由于植被光谱受到植被本身、环境条件、大气状况等多种因素的影响, 植被指数往往具有明显的区域性和时效性。微波遥感具有全天时、全天候的工作能力, 利用被动微波遥感观测数据建立植被指数, 将能够弥补现有植被指数的局限性。2009 年发射的土壤水分和海洋盐度(SMOS)卫星首次采用 L 波段多角度微波观测。通过双极化多角度微波辐射信号组合, 可以最小化地表辐射的影响, 从而发展了仅与植被参数有关的微波植被指数。这种方法为 SMOS 监测全球植被信息提供新的机会。

关键词: 微波植被指数; L-波段; 多角度

doi:10.3969/j.issn.1000-3177.2010.01.003

中图分类号: TP79 文献标识码: A 文章编号: 1000-3177(2010)01-0013-04

1 引言

在遥感应用领域, 通常所说的植被指数往往是指利用光学、红外遥感手段获取的光谱数据, 通过不同光谱遥感数据的分析运算, 产生某些对植被长势、生物量等有一定指示意义的数值。由于植被光谱受到植被本身、环境条件、大气状况等多种因素的影响, 因此植被指数往往具有明显的区域性和时效性。微波遥感具有全天时、全天候的工作能力, 利用被动微波遥感观测数据建立植被指数, 将能够大大弥补现有植被指数的局限性。微波传感器对于植被特性的变化敏感, 可以探测到相对较厚的植被层。所提供的信息不仅仅有叶片生物量的, 而且对植被木质生物量具有非常强的敏感性。SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) 是欧空局于 2009 年发射的对地观测卫星。搭载了第一个极轨、多角度观测 ($0^{\circ} \sim 55^{\circ}$)、L 波段 (1.4GHz) 综合孔径微波辐射计, 空间分辨率为 35km~50km, 重访周期为 1 天~3 天。SMOS 将有可能为气候、海洋、气象、水文、农业等方面的科学研究提供更为可靠的、高精度的全球土壤水分、植被信息和海洋盐度信息。我们基于微波辐射传输模型, 基于 SMOS 传感器配置研究发展了一种 L 波段多角度微波植被指数 (LMVI)。和以前的微波植被指数不

同的是, 利用我们的方法推导出来的微波植被指数所含的植被信息和土壤发射信号是独立的。它仅仅取决于植被特性, 比如植被覆盖度、生物量、植被含水量、散射体大小特性及植被层的几何结构。

2 多角度地表发射率模型模拟

理论模型近年来取得了显著地发展, 与传统模型如小扰动模型、物理光学模型和几何光学模型相比, 高级积分方程模型 (AIEM) 已被证实具有更高的精度和更宽的粗糙度范围^[6]。为了分析和表征粗糙度效应在不同角度对地表发射率的影响, 根据 AIEM 模型建立了基于 SMOS 传感器参数设置的辐射模拟数据库: L 波段 (1.4GHz), 两种极化 V 和 H, 入射角从 0° 到 55° 。该数据库覆盖了尽可能宽的土壤水分和地表粗糙度参数, 表 1 列出了模拟数据库土壤水分和粗糙度条件。

表 1 模拟数据库中土壤水分和地表粗糙度参数

参数	最小值	最大值	间隔	单位
土壤水分	2.0	44	2	%
均方根高度	0.25	3.5	0.25	cm
相关长度	2.5	30	2.5	cm
入射角	0	55	5	$^{\circ}$

通过模拟数据库, 我们发现在相邻入射角下, H 极化地表发射率存在着近似线性的关系 (图 1)。

收稿日期: 2009-03-24

基金项目: 基金项目: 国家高新技术支撑项目 (863) No. 2007AA12Z135。

作者简介: 陈亮 (1982~), 男, 河南省信阳市人, 中国科学院博士研究生。主要从事微波遥感方面的研究。

E-mail: chenliangrs@sina.com

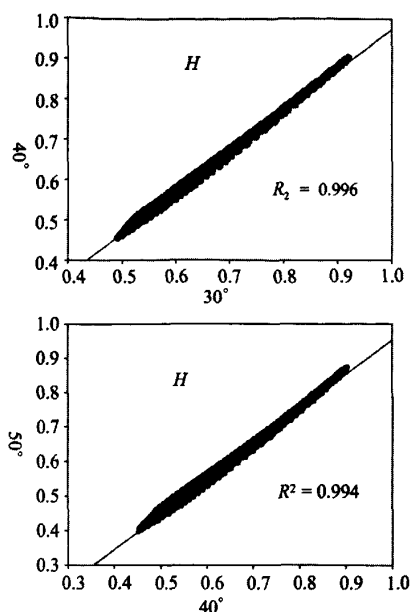


图1 相邻入射角(不超过15°)
裸露地表发射率(H极化)之间的关系

$$E_p^s(\theta_2) = a + b \cdot E_p^s(\theta_1) \quad (1)$$

$$E_h^s(40^\circ) = -0.0404 + 1.0128 \cdot E_h^s(30^\circ) \quad (2)$$

$$E_h^s(50^\circ) = -0.0551 + 1.0069 \cdot E_h^s(40^\circ) \quad (3)$$

这种函数关系可以用公式(1)来表示, a 、 b 分别为 H 极化两个角度下发射率线性关系的截距与斜率。式(2), (3)为利用模拟数据库回归出来的公式。

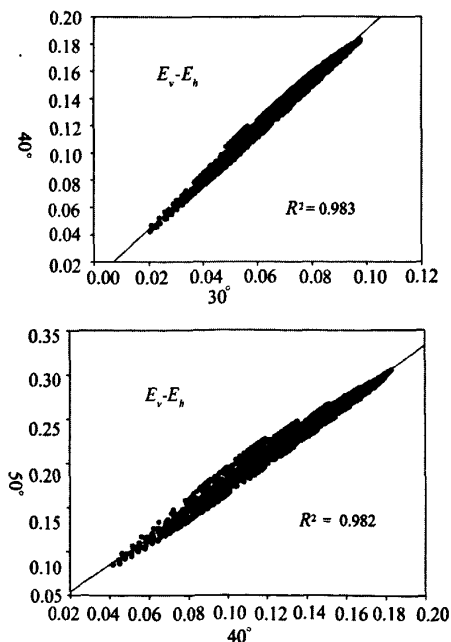


图2 相邻入射角下(不超过15°)
裸露地表发射率极化差的关系

由图2可以发现, 相邻入射角下(不超过15°)裸露地表发射率极化差也近似呈线性关系, 可以用式(4)来表示:

$$E_v^s(\theta_2) - E_h^s(\theta_2) = c(\theta_1, \theta_2) \cdot (E_v^s(\theta_1) - E_h^s(\theta_1)) \quad (4)$$

通过模拟数据库可以回归出 c 参数:

$$E_v^s(40^\circ) - E_h^s(40^\circ) = 1.8321 \cdot (E_v^s(30^\circ) - E_h^s(30^\circ)) \quad (5)$$

$$E_v^s(50^\circ) - E_h^s(50^\circ) = 1.5491 \cdot (E_v^s(40^\circ) - E_h^s(40^\circ)) \quad (6)$$

参数 c 为 H 极化两个角度下发射率线性关系的截距与斜率。式(5), (6)为利用模拟数据库回归出来的公式。通过多角度地表发射率模型模拟发现的结果, 为下面发展微波植被指数提供了前提条件。

3 多角度微波植被指数发展

植被层是影响地表发射的一个重要因素, 可看作是一个位于粗糙土壤之上的散射层。植被层对地表辐射既有衰减的作用, 同时又有增加的作用。在低频混合像元情况下, 忽略多次散射, 植被上界的辐射贡献来自于4部分: ①植被直接发射的部分; ②植被入射到地表经地表反射的部分; ③地表发射经植被衰减的部分; ④地表直接发射的部分。模型的框架为零阶辐射传输模型, 考虑混合像元下可有不同的植被覆盖度, 地表总辐射的理论表述为:

$$\begin{aligned} T_{Bp} &= f_v \cdot E_p^s \cdot T_v + f_v \cdot E_p^s \cdot T_v \\ &+ (1 - f_v + f_v \cdot L_p) \cdot E_p^s \cdot T_s \\ &= CF_{vol} \cdot T_v + CF_{at} \cdot E_p^s \cdot T_s \end{aligned} \quad (7)$$

其中, f_v 为植被覆盖度, L_p 为植被层的衰减因子, E_p^s, E_p^s, E_p^s 分别为植被辐射, 植被与地表之间的相互辐射和地表辐射。 T_v, T_s 分别为植被和地表温度。(7)式中不同项组合后可进一步表示成:

$CF_{vol} = f_v \cdot E_p^s \cdot (1 + L_p)$ 记作植被自身的辐射项和 $CF_{at} = 1 - f_v + f_v \cdot L_p - f_v \cdot E_p^s \cdot L_p$ 记作植被衰减项。

在被动微波遥感星下尺度观测到的植被冠层信号是许多植被类型总的影响结果。当许多有着不同散射体大小, 形状和朝向的植被冠层平均后, 我们可以假设植被信号不依赖于极化。两个角度极化差可以用来消除植被辐射项 CF_{vol} 的影响:

$$\begin{aligned} T_{Bv}(\theta) - T_{Bh}(\theta) &= (E_v^s(\theta) - E_h^s(\theta)) \\ &\cdot CF_{at}(\theta) \cdot T_s \end{aligned} \quad (8)$$

根据公式(7),(8),发展衍生出了 L 波段多角度微波植被指数:

$$LMVI=\alpha \cdot \frac{T_{Bv}(\theta_2)-T_{Bh}(\theta_2)}{T_{Bv}(\theta_1)-T_{Bh}(\theta_1)} \tag{9}$$

α 依赖于不同的角度组合,可以进一步回归出植被指数的系数。

$$LMVI(40^{\circ},30^{\circ})\approx 0.5528 \cdot \frac{T_{Bv}(40^{\circ})-T_{Bh}(40^{\circ})}{T_{Bv}(30^{\circ})-T_{Bh}(30^{\circ})} \tag{10}$$

$$LMVI(50^{\circ},40^{\circ})\approx 0.6500 \cdot \frac{T_{Bv}(50^{\circ})-T_{Bh}(50^{\circ})}{T_{Bv}(40^{\circ})-T_{Bh}(40^{\circ})} \tag{11}$$

4 模拟数据和实验数据验证

为了评估和验证新发展的微波植被指数,我们

利用模拟数据和实验数据分别进行了比较。模拟数据库采用 AIEM 模型和 $\omega-\tau$ 模型来进行模拟,模拟数据库覆盖了大范围的地表辐射和植被信息。图 3 是利用模拟数据库比较微波植被指数与植被辐射项之间的关系。可以看出,新发展的微波植被指数和植被辐射有较好指数关系,受地表辐射的影响比较小。尤其在大角度组合中,受地表辐射的影响更小。野外试验数据,我们采用美国农业部 1980 年测量的多角度 L 波段辐射计数据,在辐射测量的同时,地表土壤水分和植被参数也进行了同步测量。图 4 比较了新发展的植被指数与 LAI 之间的关系,发现有较好的一致性。由于实验数据有限,尚未有 L 波段多角度卫星数据,在大尺度上新发展的植被指数还需要进一步验证。

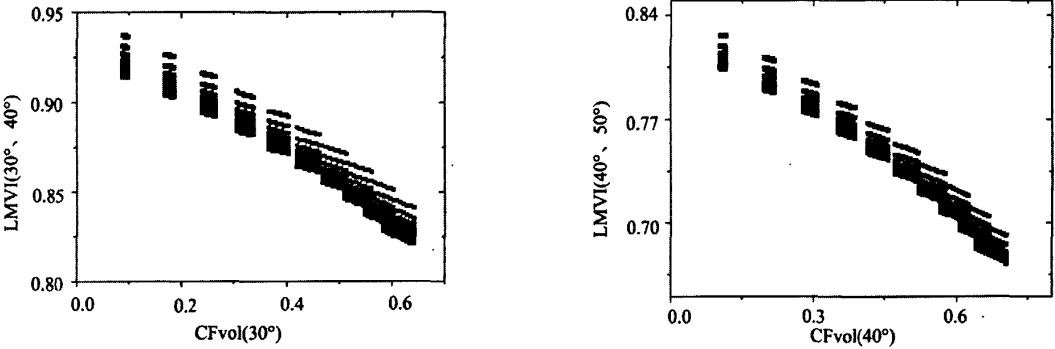


图 3 模拟数据库验证微波植被指数与植被辐射项之间的关系

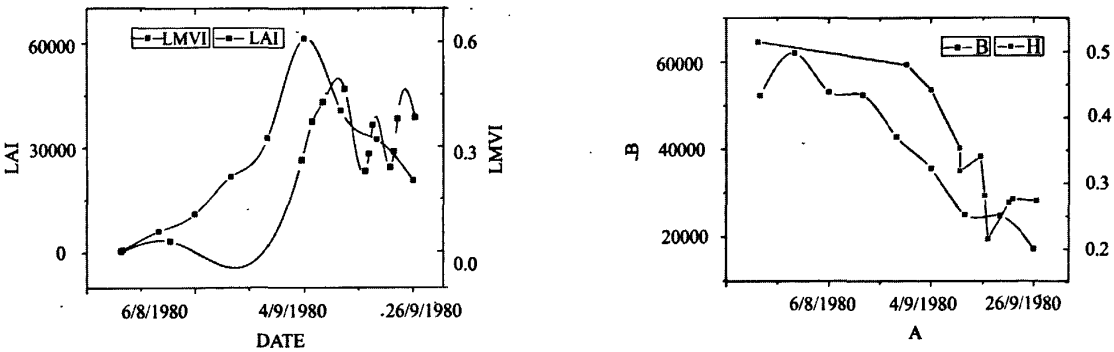


图 4 BARC1980 数据验证微波植被指数与 LAI 之间的关系

5 结束语

我们利用数值模拟,基于成熟的物理辐射传输模型研究发展了一种新的微波植被指数。和以前的微波植被指数不同的是,利用我们的方法推导出来的微波植被指数所含的植被信息和土壤辐射信号是

独立的。它仅仅取决于植被特性,比如植被覆盖度、生物量、植被含水量、散射体大小特性及植被层的几何结构。我们利用模拟数据库和 BARC1980 年实验数据对算法进行了验证,可以看出新发展的微波植被指数与植被信息有很好的相关性。这种方法将为 SMOS 监测全球植被信息提供新的机会。

参考文献

- 1 B. J. Choudhury, C. J. Tucker, R. E. Golus, W. W. Newcomb. Monitoring vegetation using Nimbus-7 scanning multichannel microwave radiometer's data[J]. Int. J. Remote Sensing, 1987, 8(3): 533~538.
- 2 B. J. Choudhury, C. J. Tucker. Monitoring global vegetation using Nimbus-7 37 GHz data; Some empirical relations[J]. Int. J. Remote Sensing, 1987, 8(7): 1085~1090.
- 3 C. O. Justice, J. R. G. Townshend, B. J. Choudhury. Comparison of AVHRR and SMMR data for monitoring vegetation phenology on a continental scale[J]. Int. J. Remote Sensing, 1989, 10(10): 1607~1632.
- 4 F. Becker, B. J. Choudhury. Relative sensitivity of normalized difference vegetation index (NDVI) and microwave polarization difference index (MPDI) for vegetation and desertification monitoring[J]. Remote Sensing Environment, 1988(24): 297~311.
- 5 J. Shi, K. S. Chen, Q. Li, T. J. Jackson, P. E. O'Neill, L. Tsang. A parameterized surface reflectivity model and estimation of bare surface soil moisture with L-band radiometer[J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 2002, 40(12): 2674~2686.
- 6 J. C. Shi, T. J. Jackson, J. Tao, J. Du, R. Bindlish. Microwave vegetation indexes derived from satellite microwave radiometers [J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. Symposium(IGARSS), 2007(7): 1412~1415.
- 7 J. -P. Wigneron, Y. Kerr, P. Waldteufel, K. Saleh, M. -J. Escorihuela, P. Richaume, P. Ferrazzoli, P. de Rosnay, R. Gurney, J. -C. Calvet, J. P. Grant, M. Guglielmetti, B. Hornbuckle, C. Mätzler, T. Pellarin, M. Schwank. L-band Microwave Emission of the Biosphere (L-MEB) model: Description and calibration against experimental data sets over crop fields[J]. Rem. Sens. Environ., 2007(107): 639~655.
- 8 K. S. Chen, T. D. Wu, L. Tsang, Q. Li, J. Shi, A. K. Fung. The emission of rough surfaces calculated by the integral equation method with a comparison to a three-dimensional moment method simulations[J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 2003, 41(1): 90~101.
- 9 P. Pampaloni, S. Paloscia. Microwave emission and plant water content: A comparison between field measurements and theory[J]. IEEE trans. on Geosc. and Remote Sens., 1986, GE-24(6): 900~905.
- 10 Q. Min, B. Lin. Remote sensing of evapotranspiration and carbon uptake at Harvard forest[J]. Remote Sensing Environment, 2006(100): 379~387.
- 11 S. Paloscia, P. Pampaloni. Microwave vegetation indexes for detecting biomass and water conditions of agricultural crops [J]. Remote Sensing Environment, 1992(40): 15~26.

DTM Extraction from ALS Data in Densely Vegetated Slopes Using Wavelet Algorithm

CHEN Liang, DU Jin-yang

(State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing Application,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

Abstract: Vegetation index is a simple and effective parameter which can be used for characterization of surface vegetation cover and growth in the field of satellite remote sensing. Usually vegetation index has the regional character and time limit because of been affected by environmental, atmospheric conditions and other factors. Microwave remote sensing has capability to work of all-weather; the use of passive microwave remote sensing vegetation index, will be able to compensate for the limitations of existing vegetation index. Soil moisture and ocean salinity (SMOS) Satellite scheduled for launch in 2009, will be the first multi-angle L-band microwave observations. Through many dual-polarized microwave radiation signal combinations, we can minimize the effects of surface radiation and thus develop the microwave vegetation index, which only related with the vegetation parameters. This method will provide new opportunities for SMOS to monitor the global vegetation information.

Key words: microwave vegetation index; L-band; multi-angular