

ENVISAT ASAR 数据用于水稻监测和参数反演

董彦芳¹ 庞 勇^{1,2} 孙国清^{1,3} 李增元²

(1 中国科学院遥感应用研究所,北京市大屯路 9718 信箱,100101)

(2 中国林业科学研究院,北京市东小府路 1 号,100091)

(3 马里兰大学地理系,美国,马里兰,20742)

摘要:用雷达后向散射模型模拟了水稻生长周期内入射角对雷达后向散射的影响关系。用模拟结果归一化雷达数据的后向散射系数,得到同一入射角下水稻周期内后向散射系数时间序列值。分析了归一化 ASAR 数据与水稻生物参数的关系,实验结果表明,ASAR 数据可以用来估测水稻参数。

关键词:水稻; ASAR; 雷达后向散射模型; 水稻参数反演

中图法分类号: P237.3

水稻在不同的生长阶段有不同的参数状况,如高度、结构、含水量等,所有这些因素都影响着雷达的返回信号。另外,雷达参数如波长、入射角和极化信息也影响着从目标返回的雷达信号。

1989 年,Toan 等^[1]用一个理论模型解释了 X 波段下的水稻外业观测值。邵芸等^[2]用一个定标方程从 RADARSAT 图像上的 DN 值计算出后向散射系数,然后分析水稻年龄与后向散射系数的关系。Toan 等^[3]用理论模型解释 ERS-1 和 ERS-2 数据的观测值,证实了可以用 ERS-1 SAR 数据进行水稻面积测绘和参数估计。Inoue 等^[4]采用多频和全极化数据研究微波后向散射信号与水稻冠层生长参数的关系,并用一个经验方程来模拟水稻的后向散射。曾琪明等^[5]从矢量辐射传输理论出发,建立了一套完整的水稻一次雷达后向散射的物理模型,用来模拟水稻层的后向散射系数。本文采用的模型从根本上来讲是基于辐射传输理论的模型,比经验模型更准确,但模型描述比较复杂。该模型是针对水稻冠层的散射特征提出的微波后向散射模型,是对已经相对成熟的森林模型的改进,因此是可靠的。

在发展水稻参数反演算法之前需要知道入射角对雷达后向散射系数的影响。本文采用基于连续冠层模型^[6]的改进模型进行模拟,外业实地测量数据作为输入参数,与其同时得到的 ASAR

数据的入射角作为模型入射角输入值。根据模型模拟结果和 ASAR 测量值的关系,将一系列的雷达数据归一化到相同入射角情况下。

1 研究区域和数据

1.1 研究区域和外业测量

在水稻生长周期内,进行了 14 次水稻参数测量。获取雷达数据的同时野外收集水稻的地面数据,测量参数包括温度、植株高度、植株数目、稻秆半径、鲜重、相对含水量、叶宽、叶长、叶厚和水深,叶子和秆的天顶角也得到了实地测量,然后将野外采集的样品烘干称重得到干生物量,根据干重和鲜重可以计算相对含水量。

分析发现,水稻的高度和生物量(本文中取干生物量)是植株年龄的函数(图 1)。图 1 中的日期是自 2003 年 5 月 19 日~2003 年 10 月 16 日。水稻的高度随时间的推移呈增长趋势,直到最后成熟阶段由于稻穗的出现有一点轻微下降趋势(图 1(a))。图 1(b)中生物量随时间的变化趋势为一个指数函数曲线。

1.2 ASAR 数据及处理

为监测一个完整的水稻周期,笔者获取了一个时间序列的 ENVISAT ASAR 数据。9 景 ASAR 数据的时间范围里从 2003 年的 6 月 10 日

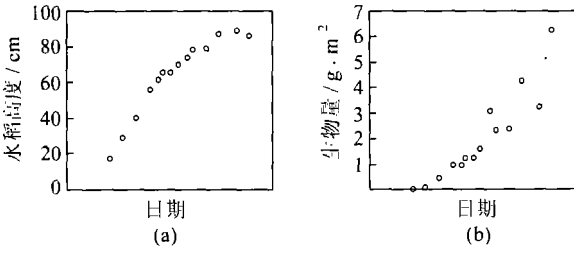


图 1 水稻高度和生物量是时间的函数

Fig. 1 Rice Height and Biomass are Functions of Date

到 10 月 11 日, 其中包括了升轨和降轨、不同入射角、HH 和 HV 交互极化。

ENVISAT ASAR 传感器产生的数据像素尺寸是 12.5 m, 空间分辨率是 30 m。对应 5 块样地的雷达后向散射系数 σ^0 可从 ASAR 图像上提取。图像上的强度值与 σ^0 的关系为:

$$\sigma^0 = \frac{\langle A^2 \rangle}{K} \sin(\alpha_d) \quad (1)$$

式中, A 是图像上的 DN 值; α_d 是目标所在位置的雷达入射角; K 是这一产品的绝对定标因子。 K 和 α_d 的值可以在对应图像的头文件中找到。

本文中的后向散射系数影像用欧空局提供的 BEST 软件处理可以直接获取。所有 ASAR 影像之间经过相互配准, 投影到自定义的 NE China LCC 投影系中。根据 GPS 测量数据将实验样地在 ASAR 影像上标记出来, 计算出每块样地的平均后向散射系数。

2 方法与结果

2.1 模型描述

本研究中用到的模型是 Sun 和 Sinmonti^[6-7] 的连续冠层模型的改进版本。文献[6-7]中描述的是 L 波段 HH 极化针叶林的后向散射模型。本文采用的改进模型应用于 C 波段, C 波段对植被的冠层比较敏感, 模型考虑到了植株的形状和尺寸, 将其作为输入参数来模拟水稻的后向散射系数。模型将水稻冠层看作是介电圆柱和矩形薄片的集合, 冠层定义为水面以上到植株顶端之间的一层, 包括中间的稻秆和稻叶。水面被当作镜面处理, 因此直接水面后向散射可以忽略不计, 水稻的散射作用主要是由稻叶和稻秆引起的。模型中水稻的后向散射机制如图 2。式(2)中, 第一项代表冠层的体散射(图 2(a)); 第二项代表冠层-水面相互作用的多次散射效果(图 2(b)、2(c)、2(d))。

$$\sigma^0 = \sigma^0_c + \sigma^0_{mv} \quad (2)$$

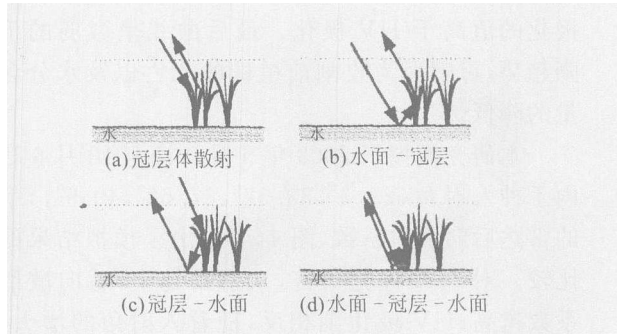


图 2 水稻冠层模型中的后向散射机制

Fig. 2 Backscattering Mechanisms in Rice Canopy Model

模型假设在同一块地内水稻以墩为单位均匀分布, 即有固定的行间距和墩间距, 取大小为 1 m² 的样方进行各种水稻参数测量。假设每一样方内有 N_b 墩, 每墩有 N_c 株近似垂直的稻秆被看作高度为 h 、半径为 a 、介电常数为 ϵ 的介电圆柱。每株稻秆有 N_l 片矩形叶子, 叶宽为 w , 长为 l , 厚为 d , 介电常数 ϵ 。假设叶子的取向角在 0 到最大角 β 之间均匀分布, 叶和秆的方位角在 0~2 π 之间均匀分布。叶和秆的介电常数用德拜-柯尔双重色散关系模型计算^[8]。

首先计算单片稻叶和单株稻秆的散射矩阵和 Stokes 矩阵。单片稻叶的散射矩阵采用物理光学模拟, Stokes 矩阵可以从散射矩阵计算。稻秆的散射矩阵和 Stokes 矩阵采用高斯积分方法计算, 然后再乘以单位体积(每 m³) 内的叶片数目和稻秆数目, 将稻叶和稻秆两项相加就是水稻整个冠层的散射矩阵和 Stokes 矩阵。前向散射矩阵用来计算水稻冠层的衰减。最后使用辐射传输方程计算后向散射系数 σ^0_c 和 σ^0_{mv} , 两者之和就是总的后向散射 σ^0 。

2.2 模型模拟结果

图 3 给出了 28.5° 入射角下水稻高度和生物量与模拟后向散射系数之间的关系。对 HH 和 HV 极化, 后向散射系数都呈现增长趋势, 但 HH

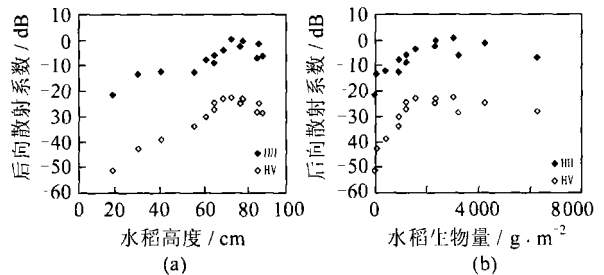


图 3 模拟后向散射系数与水稻参数的关系

Fig. 3 Simulated Backscattering Coefficient Versus Rice Parameters

极化的值高于 HV 极化。最后曲线呈微弱的下降趋势,可解释为收割前植株的死亡以及水分含量的降低。

本研究模拟了 2003 年 5 月 9 日至 10 月 6 日内 4 种入射角(28. 5°, 33. 57°, 37. 52°, 40. 9°,) 下的雷达后向散射系数,图 4(a) 给出了模拟结果的比较。对 HH 极化而言,入射角越小,后向散射系数越高;HV 极化则相反,随着入射角的增大,后向散射系数降低。在所有入射角下,HH 极化值总是高于 HV 极化值。

图 4(b) 是入射角 28. 5° 时,水稻生长周期内模拟后向散射系数与 ASAR 影像上后向散射系数的比较。可以看出,在某些日期表现出明显的差异,这在一定程度上是因为 ASAR 影像具有不同的入射角。从图 4(b) 可以得出: 对于 HH 极化模型得到的后向散射系数基本比影像上高,对于 HV 极化模型得到的结果比影像上低;

HV 影像上的最低值出现在水稻生长早期的插秧阶段。

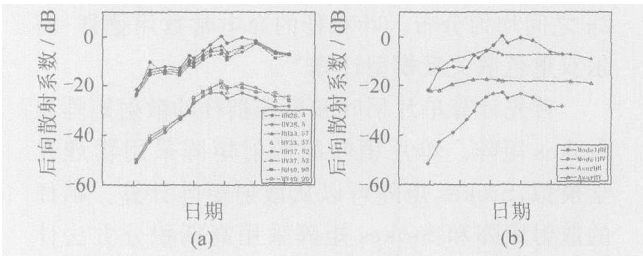


图 4 水稻样地的模拟结果

Fig. 4 Simulated Results of Rice Samples

2.3 角度归一化

微波与表面的相互作用很复杂,在不同的入射角度区域内可能会产生不同的散射机制。因此,雷达后向散射与角度相关。

对其他地物的研究表明,入射角度的影响直接与地表粗糙度有关,比较几种地物在不同入射角(即 20°~ 52°) 下的返回信号发现,入射角对建筑物(粗糙度很大)的影响很小^[9]。

实验中获取的 ASAR 数据系列包含几种不同的入射角,为了从雷达影像上估计水稻参数,首

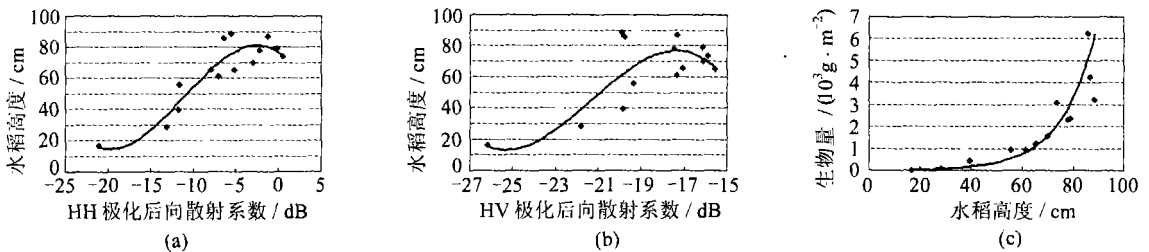


图 6 水稻参数反演方程

Fig. 6 Rice Parameters Retrieval Equations

先应该归一化到同一入射角条件下。本文实验采用的数据属于窄刈幅模式,一景影像的入射角变化范围较小,在 5. 3° 左右,研究区域差不多位于影像的中心,所以采用影像中心的入射角作为对应时相的雷达入射角。影像中心的入射角可以根据头文件信息获取,影像的每条扫描线上有 11 个点的入射角信息,取第一条和最后一条线的中点处的入射角 α_r 、 α_t 的平均值为影像的入射角 α_c :

$$\alpha_c = \frac{\alpha_r + \alpha_t}{2} \quad (3)$$

根据同一时间里、同一入射角情况下的模拟后向散射系数与 ASAR 影像上后向散射系数的关系,可以将水稻生长周期内其他模拟值进行归一化,得到对应的 ASAR 影像上的值。归一化后的后向散射系数如图 5 所示(入射角为 28. 54°,日期为 2003 年 5 月 9 日至 10 月 6 日)。可见曲线的趋势更明显, HV 极化的归一化后的值比模拟值高,更符合实际情况。

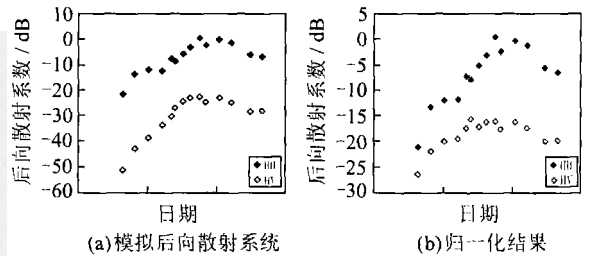


图 5 模拟后向散射系数与归一化结果

Fig. 5 Simulated Backscattering Coefficients and Normalized ASAR Results

2.4 水稻参数反演

确定归一化雷达后向散射系数与水稻参数的关系可以用来反演水稻参数。

水稻高度与 HH 极化后向散身系数的关系、水稻高度与 HV 极化后向散射系数的关系可用三次回归方程来表示,其相关系数分别为 0. 870 6、0. 695 9;水稻的干生物量和水稻高度的关系可用指数方程来描述,相关系数是 0. 922 1。相应的曲线描述见图 6。

分析发现,HH 极化比 HV 极化具有与水稻

参数更强的相关性。邵芸等^[10]已经提到 HH 与 HV 极化的比值与水稻生物量和水稻高度之间也有相关关系。实验中从 HH 极化估测的水稻高度标准误差是 8.5 cm, HV 极化是 14.0 cm。

用 HH 极化反演精度在水稻生长早、中期精度较好, 水稻生长后期最大误差达到 15 cm。

3 结 论

本研究的目的在于论证用 ENVISAT ASAR 数据识别和监测水稻的可行性。结果证实了 C 波段雷达信号是作物物候特征如植株高度、密度等的函数^[9]。在以后的工作中, 作者将分析所有样地的野外测量数据, 考虑 HH 和 HV 极化两种情况, 找到一种更好的水稻参数反演模型。进一步改进雷达后向散射模型和模型的参数化方法, 模拟水稻不同年龄、不同生长状况、不同雷达入射角下的后向散射系数, 设计出从模拟结果建成的查找表中估计水稻参数的算法。

致谢: 本研究中使用的 ASAR 数据由欧洲空间局提供, 中国林业科学研究院提供实测数据及数据处理方面的条件, 在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Thuy L T, Henri L, Eric M, et al. Multitemporal and Dual-Polarization Observations of Agricultural Vegetation Covers by X-Band SAR Images[J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 1989, 27(6): 709-718
- [2] Shao Yun, Fan Xiangtao, Liu Hao, et al. Rice Monitoring and Production Estimation Using Multitemporal RADARSAT[J]. Remote Sensing of Environment, 2001, 76: 310-325
- [3] Thuy L T, Florence R, Wang Lifang, et al. Rice Crop

- Mapping and Monitoring Using ERS-1 Data Based on Experiment and Modeling Results[J]. IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, 1997, 35(1): 4-56
- [4] Inoue Y, Kurosu T, Maeno H, et al. Season-long Daily Measurements of Multifrequency (Ka, Ku, X, C, and L) and Full-polarization Backscatter Signatures over Paddy Rice Field and Their Relationship with Biological Variables[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 81: 194-204
- [5] 曾琪明, 马洪兵, 张涛. 水稻微波后向散射模型研究与计算[J]. 北京大学学报, 2000, 36(1): 131-141
- [6] Sun Guoqing, Simonett D S. A Composite L-band Radar Backscattering Model for Coniferous Forest Stands[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1988, 54(8): 1195-1201
- [7] Sun Guoqing, David S S. Simulation of L-band HH Microwave Backscattering from Coniferous Forest Stands: a Comparison with SIR-B Data[J]. Int. J. Remote Sensing, 1988, 9(5): 907-925
- [8] Fawwaz T U, Mohamed A. E-Rays, Microwave Dielectric Spectrum of Vegetation Part 1: Dual-Dispersion Model[J]. IEEE Trans. on Geosci. Remote Sensing, 1987, GE-25(5): 544-549
- [9] Ross S, Brisco B, Brown B J, et al. Paddy Rice Monitoring with RADARSAT-1[C]. Asian Conference on Remote Sensing, Manila, 1998
- [10] Shao Yun, Liao Jingjuan, Wang Cuizhen. Analysis of Temporal Radar Backscatter of Rice: A Comparison of SAR Observations with Modelling Results[J]. Can. J. Remote Sensing, 2002, 28(2): 128-138

第一作者简介: 董彦芳, 博士生。从事微波遥感植被和农作物监测研究。

E-mail: yfdong314@yahoo.com.cn

Rice Growth Monitoring Using ENVISAT ASAR Data

DONG Yanfang¹ PANG Yong^{1, 2} SUN Guoqing^{1, 3} LI Zengyuan²

(1 Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, 9718 Box, Datun Road, Beijing 100101, China)

(2 Chinese Academy of Forestry, 1 East Xiaofu Road, Beijing 100091, China)

(3 Department of Geography, University of Maryland, College Park, MD 20742, USA)

Abstract: The simulated results are used to correct (normalize) the radar backscattering from each data takes. The correlations between normalized radar backscattering and rice biophysical parameters are determined. The results show that ASAR data could be used to estimate rice parameters.

Key words: rice; ASAR; radar backscattering model; rice parameters retrieval