

郑磊,王耀强,郭晓静,等. 四极化 Radarsat-2 数据对裸露地表土壤水分的反演[J]. 江苏农业科学,2014,42(5):250-252.

四极化 Radarsat-2 数据对裸露地表土壤水分的反演

郑磊,王耀强,郭晓静,申晓华,杨茜雅

(内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院,内蒙古呼和浩特 010018)

摘要:利用四极化 Radarsat-2 雷达影像数据对裸露地表进行土壤水分的监测,首先选取裸露地表的经验散射模型,然后与四极化后向散射影像反演获得土壤含水量的模拟值,最后分析模拟值与实测值的相关性。结果表明,模拟值与实测值有着很好的相关性($r^2 = 0.8701$),即研究者可以在任何气候条件下利用四极化 Radarsat-2 雷达数据进行大面积地表土壤含水量的监测。

关键词:Radarsat-2;后向散射系数;土壤水分;反演;裸露地表

中图分类号:S271;S152.7;S127 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2014)05-0250-03

地表土壤水分含量在水文学、气候学、农学、生态学等多个学科研究领域起着非常重要的作用,大面积土壤水分的监测是农业水管理以及农作物旱情预报的一个重要内容,同时区域尺度乃至全球尺度的土壤水分信息也是陆面过程模式研究中必不可少的一个参量,对改善区域及全球气候模式的预报结果起着重要的作用^[1]。

目前国内外主要用光学遥感和微波遥感 2 种手段对土壤含水量进行监测。就目前的技术而言,光学遥感往往很难准确地获取土壤的含水量信息,并且易受到天气条件的限制,因此拥有精度高、全天候、穿透能力强等独特优势的微波遥感技术将成为未来监测土壤含水量的主要手段。

微波遥感是一种能穿透云雨、受大气衰减影响小、能全天候观测、不受时间限制的传感器,它有 2 种观测方式:一种是利用遥感器向地面发射微波然后接受其散射波的方式,称为主动方式;另一种是观测地表目标的辐射方式,称为被动方式。Radarsat-2 雷达影像属于前者。微波遥感反演裸露地表土壤水分的方法可以分为 2 类:理论模型和经验、半经验模型,其中理论模型在早期研究中主要有几何光学模型、物理光学模型、小波扰动模型等^[2-4],这些模型分别有不同的适用范围。Chen 等对 IEM 模型进行改进,去除了原有模型的一些假设,发展出了 AIEM 模型,从而进一步提高了模型模拟的精度和适用范围^[5-7]。由于人们对于理论模型往往非常理想化,在实际应用中无法直接将其应用于土壤水分的反演,因此人们在理论模型的基础上研究出了经验、半经验模型反演土壤水分,主要有国外的 Oh 模型^[8]、Dubois 模型^[9]、Shi 模型^[10]和近几年国内的余凡等利用 AIEM 模型建立的一种实用经验模型^[11-12]。这些经验模型的精度得到了验证,在一定范围内获得了很高的反演精度,可以被推广应用。

1 数据来源与处理

1.1 研究区概况

本研究所选的试验区位于内蒙古巴彦淖尔市杭锦后旗境内,杭锦后旗的地貌主要由冲击平原、洪积平原和河漫滩 3 种地形构成,地势西南高、东北低,海拔 1 032 ~ 1 050 m,属于河套平原。气候属温带大陆性气候,干燥,日照时间长,昼夜温差大,年平均气温 8.5 °C,年均降水量约 138.2 mL,无霜期约 130 d,年均日照 3 181 h。试验区地理坐标 40°44' ~ 41°01'N、106°52' ~ 107°13'E,面积约为 625 km²。试验区种植的主要农作物类型有玉米、向日葵、小麦。

1.2 野外数据及处理

由于微波信号独有的特性,本次试验测定的裸露地表土壤样品的深度限定在 2 ~ 10 cm。采集土壤样品的时间与卫星飞过试验区的时间同步,使用 GPS 对样点进行坐标点的测量,在试验区内采集 60 个土壤样品。由于雷达影像的地面分辨率问题,在地势变化不大且开阔的裸露地表中心取样,目的是为了能够获取比较准确的样点后向散射系数。将采集的土壤样品放在铝盒内,利用烘干法获得土壤含水量;采用剖面板在样点东西、南北 2 个方向测量地表土壤的剖面,以获取地表粗糙度 R_s 所需的 2 个参数即均方根高度 L (cm)、相关长度 S (cm),相关公式为: $R_s = L^2/S^2$ 。部分样点的信息见图 1、表 1。

1.3 雷达数据及处理

1.3.1 雷达数据 本研究采用的雷达数据为 Radarsat-2 标准极化模式数据,工作波段为 C 波段,中心波长 5.7 cm,频率 5.3 GHz,有 HH、HV、VH 和 VV 4 种极化方式,数据类型为 SLC(single look complex),即单视复型数据产品,它采用单视处理,以 32 bit 复数形式记录图像数据。雷达经过试验区的成像时间为 2013 年 3 月 13 日,此时杭锦后旗河套平原的地表状态为春耕前期时的裸露地表。

1.3.2 雷达数据处理 Radarsat-2 雷达影像数据不同于可见光、红外的遥感影像,数据处理比较复杂,首先对直接获取的 Radarsat-2 数据进行斜距到地距的转换后才能获得真正的地距影像,然后要进行辐射定标、几何校正、噪声去除等处理才能最终得到准确的后向散射系数影像,从而提取出裸露地表的 后向散射系数。本研究利用 ENVI4.8 软件对 Radarsat-2

收稿日期:2013-09-25

基金项目:国家自然科学基金(编号:51169016)。

作者简介:郑磊(1988—),男,安徽宿州人,硕士研究生,研究方向为 3S 技术在农业水土工程方面的应用。E-mail:344417499@qq.com。

通信作者:王耀强,教授,硕士生导师,研究方向为 3S 技术在农业水土工程方面的应用。E-mail:wqyshun@yahoo.com。

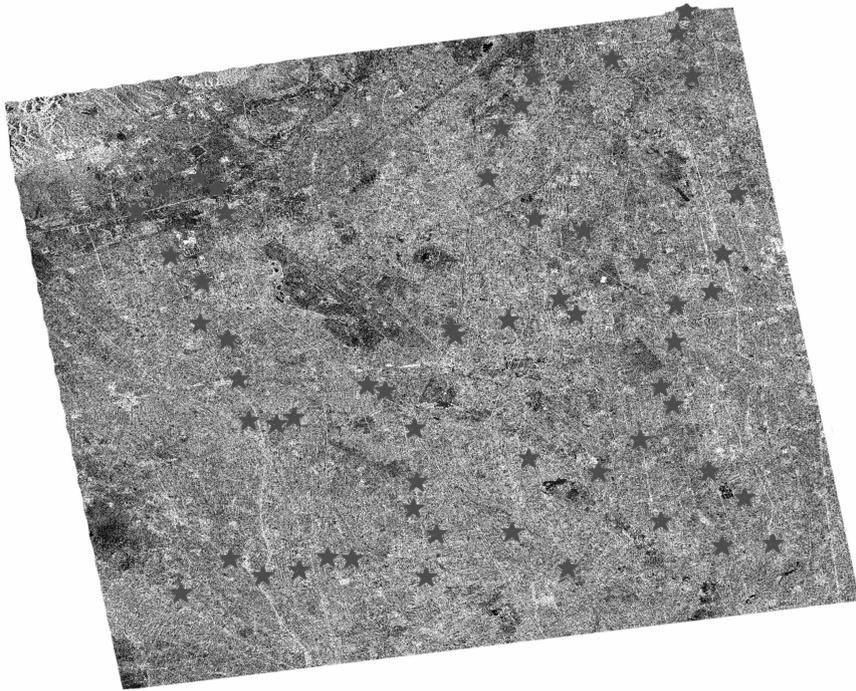


图1 研究区Radarsat-2影像样点范围分布(标五角星的即为样点)

表1 部分样点的测量信息

样点编号	经度	纬度	含水量 (%)	均方根高度 (cm)	相关长度 (cm)
CD1	107°6'8.51"E	40°55'41.70"N	6.71	0.782	8.657
CD2	107°5'5.89"E	40°57'32.41"N	47.31	1.547	12.334
CD3	107°5'2.31"E	40°58'14.57"N	27.62	1.303	11.751
CD4	107°5'8.99"E	40°58'30.87"N	22.31	0.639	8.779
CD5	107°5'14.51"E	40°58'50.20"N	20.99	0.983	10.894
CD6	107°5'17.75"E	40°58'51.12"N	17.19	0.977	11.085
CD7	107°5'23.46"E	40°59'21.92"N	26.56	1.258	9.364
CD8	107°5'15.72"E	40°59'27.00"N	29.92	0.848	10.670
CD9	107°5'41.67"E	40°59'35.53"N	26.80	1.881	16.238
CD10	107°6'2.55"E	40°59'30.14"N	26.75	0.436	5.317

地距影像进行辐射定标处理,由于要获取 Radarsat-2 影像上确切位置的后向散射系数,因此必须对影像进行精确的几何校正,这一步非常关键,校正精度的高低会直接影响后面后向散射系数的提取;又由于 Radarsat-2 影像数据的斑点噪声很严重,会对影像信息的提取造成很大影响,因此必须对其进行滤波处理,从而可以更好地提取影像信息。

1.3.3 后向散射数据的获取 本研究选取的 Radarsat-2 雷达影像数据先利用 ENVI 4.8 软件处理,获取后向散射影像后利用 ARCGIS 9.3 软件把 GPS 获取采样点的坐标位置制作成矢量文件,再通过 ENVI 4.8 软件打开,最后通过采样点的坐标在四极化雷达影像上提取样点的后向散射系数。由于雷达影像数据存在着严重的斑点和噪声,尤其是分辨率越大时,噪声也越多,不像可见光、红外和近红外等光学遥感影像的色调比较平滑。因此,对于样点的后向散射系数,不仅仅是取样点所在象元的后向散射系数,而是应该取样点周围一定距离范围内象元后向散射系数的平均值作为该中心样点的后向散射系数。

1.4 研究方法

前人研究表明,裸露地表的后向散射系数主要受地表粗糙度和地表含水量的影响。余凡等研究了是否能在不测量地表粗糙度的情况下直接利用双极化雷达影像进行裸露地表土壤水分的反演,在具体的研究过程中,在不同入射角下,利用 AIEM 模拟数据库中的后向散射系数与粗糙度、土壤水分进行相关性分析,得到很高的相关性,从而建立了后向散射经验模型^[11-12]。因此本研究选取该经验模型,利用四极化 Radarsat-2 数据对裸露地表土壤的含水量进行反演,其经验公式为:

$$\delta_{pq} = a \ln Rs + b \ln mv + c \ln Rslmv + d \quad (1)$$

式中: δ_{pq} 表示四极化后向散射系数, dB; pq 表示极化方式; Rs 表示粗糙度, cm; mv 地表含水量, %; a 、 b 、 c 、 d 分别是经验系数。

再次通过拟合,得到经验系数 a 、 b 、 c 、 d 与入射角 θ_i 之间的关系分别如下:

$$a(\theta_i) = -2.749 \sin^2(\theta_i) + 4.595 \sin(\theta_i) + 0.948 \quad (2)$$

$$b(\theta_i) = -0.292 \sin(\theta_i) + 4.522 \quad (3)$$

$$c(\theta_i) = 0.0178 \sin(\theta_i) - 0.0864 \quad (4)$$

$$d(\theta_i) = 24.456 \sin(\theta_i) - 27.741 \quad (5)$$

$$\delta_{pq} = a(\theta_i) \ln Rs + b(\theta_i) \ln mv + c(\theta_i) \ln Rslmv + d(\theta_i) \quad (6)$$

将四极化后向散射系数带入上式,建立方程组即可消去粗糙度参数 Rs ,得到土壤水分含量 mv 。

2 结果与分析

2.1 模型结果的验证

由于本研究试验数据样点比较集中,反映在 Radarsat-2 影像上的入射角都在一个很小的范围内,可以不考虑其角度变化。因此根据本研究的经验模型式,将得到的 20 个样点的

R_s 、 m_v 和 Radarsat - 2 影像的 HH、VV、VH、HV 后向散射系数分别代入式(1),求得其中的经验系数 a 、 b 、 c 、 d ,从而可得式(7)(8)(9)(10)的经验反演模型:

$$R_{HH} = 2.6125 \ln R_s - 6.1265 \ln m_v - 1.4143 \ln R_s \ln m_v + 5.4133 \quad (7)$$

$$R_{VV} = 2.8691 \ln R_s - 8.6823 \ln m_v - 2.3478 \ln R_s \ln m_v + 7.2846 \quad (8)$$

$$R_{VH} = 4.7842 \ln R_s + 4.0381 \ln m_v + 1.8758 \ln R_s \ln m_v - 10.1454 \quad (9)$$

$$R_{HV} = 5.3315 \ln R_s + 3.1362 \ln m_v + 0.9072 \ln R_s \ln m_v - 12.0549 \quad (10)$$

然后将其余 40 个样点的四极化后向散射数据代入以上模型公式,联立方程组即可计算出土壤含水量,再与实测地表土壤含水量进行相关性分析,建立如图 2 的模拟值与实测值的关系。

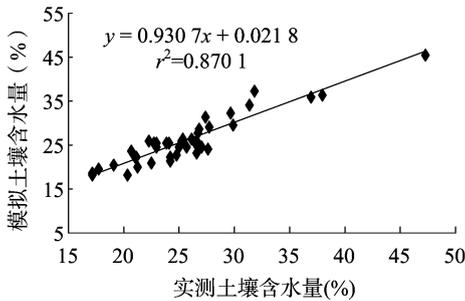


图2 模拟数据与实测数据的相关关系

由研究结果可知,在 40 个样点中,相对误差大于 0.10 的点有 9 个,其中最小绝对误差为 0.007,最大绝对误差为 0.173, $r^2 = 0.8701$,说明经验模型值与实测值有着较好的相关性,即四极化雷达数据对裸露地表土壤水分反演可以获得更高的精度。图 3 为土壤水分反演的结果。

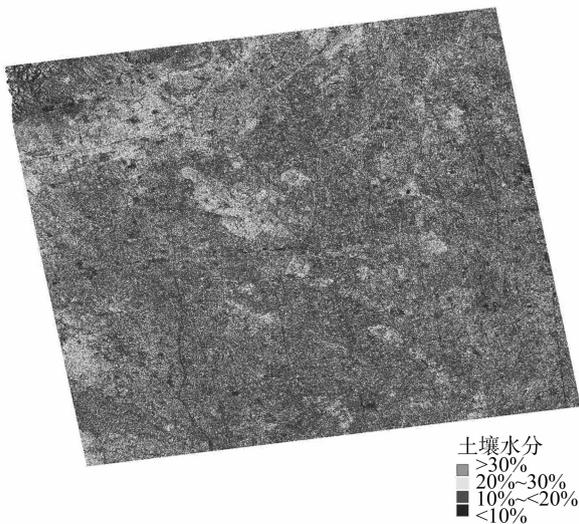


图3 Radarsat-2 影像四极化数据反演的土壤含水量

2.2 分析

模型中未考虑土壤质地结构、土壤容重、地表土壤温度等因子,可能对经验模型的反演精度带来误差。

雷达影像几何校正和后向散射系数的获取带来的水分反演精度误差与实测样点的选取可能不在同一地质单元上,再加上周边象元的影响,也可能会带来误差。

当地表粗糙度较大、雷达信号值饱和时,反演的土壤水分会有较大的误差。本研究模型在 $S < 1.5 \text{ cm}$ 、 $L \in (4, 18) \text{ cm}$ 范围内的效果较好;当 $S > 2 \text{ cm}$ 、 $L \in (4, 18) \text{ cm}$ 时,模型的误差较大^[12]。由于实测数据有限,本研究没有继续讨论本后向散射经验模型对粗糙度的使用范围。

3 结论

本研究利用后向散射经验模型对裸露地表土壤的含水量进行反演,反演的土壤水分与实测值有着较好的相关性($r^2 = 0.8701$),表明本经验散射模型在不需要测量地面粗糙度的情况下,利用四极化 Radarsat - 2 雷达数据可以对大面积的裸露土壤水分进行监测,并且可以获得很好的结果。因此,在任何气候条件下,四极化 Radarsat - 2 雷达数据在大面积土壤含水量监测中有较好的应用潜力。

参考文献:

[1]高峰,王介民,孙成权,等.微波遥感土壤湿度研究进展[J].遥感技术与应用,2001,16(2):97-102.

[2]Fung A K. Microwave scattering and emission models and their applications[M]. Boston:Artech House,1994:55-57.

[3]Ulaby F T,Elachi C. Radar polarimetry for geoscience applications[M]. Boston:Artech House,1990:64-66.

[4]Ulaby F T,Mooreand R K,Fung A K. Microwave remote sensing[M]. Boston:Addison-Wesley,1992:78-79.

[5]Chen K S,Tzong-Dar W,Mu-King T,et al. Note on the multiple scattering in an IEM model[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,2000,38(1):249-256.

[6]Tzong-Dar W,Chen K S,Shi J C,et al. A transition model for the reflection coefficient in surface scattering[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,2001,39(9):2040-2050.

[7]Tzong-Dar W,Chen K S. A reappraisal of the validity of the IEM model for backscattering from rough surfaces[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,2004,42(4):743-753.

[8]Yisok O,Sarabandi K,Ulaby F T. An empirical model and an inversion technique for radar scattering from bare soil surfaces[J]. Geoscience and Remote Sensing,IEEE Transactions on,1992,30(2):370-381.

[9]Dubois P C,van Zyl J,Engman T. Measuring soil moisture with imaging radars[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,1995,33(4):915-926.

[10]Shi J C,Wang J,Hsu A Y,et al. Estimation of bare surface soil moisture and surface roughness parameter using L-band SAR image data[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,1997,35(5):1254-1266.

[11]余凡,赵英时.合成孔径雷达反演裸露地表土壤水分的新方法[J].武汉大学学报:信息科学版,2010,35(3):317-321.

[12]陈晶,贾毅,余凡.双极化雷达反演裸露地表土壤水分[J].农业工程学报,2013,29(10):109-115.