

引文格式:杨磊.GNSS-R 农田土壤湿度反演方法研究[J].测绘学报,2017,47(1):134. DOI:10.11947/j.AGCS.2017.20170356.  
YANG Lei.Study of GNSS-R Cropland Soil Moisture Retrieval Method [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica,2017,47  
(1):134. DOI:10.11947/j.AGCS.2017.20170356.

## GNSS-R 农田土壤湿度反演方法研究

杨磊

山东农业大学信息科学与工程学院,山东 泰安 271018

## Study of GNSS-R Cropland Soil Moisture Retrieval Method

YANG Lei

Shandong Agricultural University, Taian, 271018, China

土壤水分是量化陆地及大气能量交换的关键参数。准确监测土壤湿度是实现农业稳产、高产的重要基础。研究监测大范围的土壤水分的方法在农业、水文以及气象等领域的应用意义重大。本文从利用 GNSS-R 技术探测土壤湿度的基础理论出发,开展了利用导航卫星的反射信号反演土壤湿度方法的研究。论文具体完成的研究工作和相关结论如下:

(1) 分析了双天线模式 GNSS-R 土壤湿度反演的原理,建立了土壤湿度—土壤介电常数—电磁波反射率的映射关系,并构建了双天线模式 GNSS-R 土壤湿度反演的解析模型和基于支持向量机的模型。设计了地基试验对这两个模型进行验证,试验中采集了北斗卫星导航系统的直射、反射信号,并使用烘干称重法测量了土壤湿度作为对比真值。北斗 GEO 卫星信号的数据处理结果显示:解析模型估算土壤湿度值与真值回归决定系数  $R^2=0.748\ 9$ ,均方根误差  $RMSE=0.03680\ m^3/m^3$ ;基于支持向量机的模型结果与真值  $R^2$  为  $0.897\ 9$ , $RMSE$  为  $0.014\ 93\ m^3/m^3$ ;由此可见基于支持向量机的模型相比解析模型  $R^2$  提高了  $23.03\%$ , $RMSE$  减小了  $59.44\%$ 。

(2) 研究了地表粗糙度对反射信号的影响,构建了修正地表粗糙度影响的双天线模式 GNSS-R 土壤湿度反演的解析模型和基于人工神经网络的模型。建立仿真平台对不同粗糙度下的两个模型的反演精度进行分析,结果显示:在进行地表粗糙度影响修正之前,当地表均方根高度增加到  $0.010\ m$  以上时,解析模型的均方根误差超过  $0.07\ m^3/m^3$ ,说明此时进行粗糙度补偿是必须的;小粗糙度情况下修正粗糙度影响的解析模型取得了良好的结果,但对于大粗糙度有一定局限性。在均方根高度大于  $0.025\ m$  时,进行土壤粗糙度修正前,人工神经网络模型精度比解析模型提高了  $36.83\%\sim72.36\%$ 。进行修正后,人工神经网络模型的精度比解析模型提高了  $42.86\%\sim54.40\%$ 。人工神经网络模型在修正前后取得了相近的精度,无修正的人工神经网络模型精度比有修正的解析模

型精度仍提高了  $35.83\%\sim53.48\%$ 。

(3) 针对裸露地表情况下的单天线模式 GNSS-R 土壤湿度反演模型进行相关研究,并进行了地基试验验证,使用测绘级接收机采集了 GPS 数据,并使用 Theta Probe 传感器采集同比土壤湿度数据。数据处理结果显示:GPS PRN 1、PRN 20、PRN 24、PRN25 等 4 颗卫星的 SNR 相位与土壤湿度的  $R^2$  分别达到了  $0.720\ 7$ 、 $0.509\ 4$ 、 $0.733\ 4$ 、 $0.520\ 8$ ;GPS PRN 4、PRN 12、PRN 15、PRN 31 等 4 颗卫星的 SNR 幅度与土壤湿度  $R^2$  达到了  $0.796\ 3$ 、 $0.726\ 0$ 、 $0.784\ 5$ 、 $0.774\ 5$ 。

(4) 分析总结了目前雷达遥感领域中已有的植被模型,对基于支持向量机的 GNSS-R 土壤湿度反演模型进行了修改,利用叶面积指数和植被含水量进行植被影响修正,并与未包含植被信息的模型结果进行了对比。结果显示:加入植被信息之后的模型结果与土壤湿度真值  $R^2$  为  $0.921\ 4$ , $RMSE$  为  $0.013\ 31\ m^3/m^3$ 。与未加入植被信息的反演模型相比, $R^2$  提高了  $2.62\%$ , $RMSE$  降低了  $11.94\%$ ,说明模型对植被的影响有显著的消除效果。

中图分类号:P237 文献标识码:D

文章编号:1001-1595(2018)01-0134-01

基金项目:国家 863 计划(2013AA102301);国家农业信息化工程技术研究中心开放课题(KF2015W003)

收稿日期:2017-07-05

作者简介:杨磊(1983—),男,2017 年 6 月获得山东农业大学农业电气化与自动化专业博士学位(指导教师:梁勇教授),研究方向为 GNSS-R 土壤湿度遥感。

Author: YANG Lei (1983—), Male, received his doctoral degree from Shandong Agricultural University on June 2017, majors in Agricultural Electrification and Automation. His main research interest is soil moisture retrieval based on GNSS-R.

E-mail: yanglei\_sdau@163.com