

文章编号:1008-1534(2018)01-0061-05

基于天气雷达估测降雨数据的 节水灌溉系统设计与实现

王震洲¹, 刘娟¹, 梁军辉²

(1.河北科技大学信息科学与工程学院,河北石家庄 050018;2.河北科技大学后勤集团,河北石家庄 050018)

摘要:农业用水在水资源的应用中占有很大比例,为节约农田灌溉用水,以满足农作物生长需求为前提,提出了一种基于天气雷达估测降雨技术的农田灌溉方法。结合概念模型预报技术和交叉相关法,对降雨进行临近预报,利用未来时间的降雨量对农田作物的需水量进行合理补充,并通过检测装置获取土壤含水量,计算出农田需水量,实现对检测区域作物的定量灌溉。系统试运行结果显示,在短时间内,采用天气雷达估测技术预测的结果与地面雨量计观测的降水结果在误差允许的范围内保持一致,验证了方法的准确性。该技术方案将天气雷达估测降雨技术与数据采集技术相结合,利用现代农业科学技术及设备,充分应用了自然降雨资源,在现有的农业技术水平基础上,既满足了农作物自身的生长需求,又避免了过量灌溉等问题,对中国水资源在农田灌溉中的合理应用有着一定的指导意义。

关键词:农田水利;天气雷达;降雨;节水灌溉;土壤水分;传感器

中图分类号:TP274 文献标志码:A doi: 10.7535/hbgykj.2018yx01011

Design and implementation of water saving irrigation system based on weather radar to estimate rainfall data

WANG Zhenzhou¹, LIU Juan¹, LIANG Junhui²

(1.School of Information Science and Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang, Hebei 050018, China;2. Logistics Group, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang, Hebei 050018, China)

Abstract: The agricultural water occupies a great proportion in the application of water resources. To save the irrigation water, crop growth needs as the premise, a kind of irrigation method for rainfall estimation based on weather radar technology is put forward. This method combines conceptual model forecasting technology and cross method for rainfall nowcasting using future time rainfall as reasonable supplement for water requirement of the crop, and the detection device for acquiring soil moisture, the farmland water demand is calculated, and the quantitative detection of crop irrigation area is realized. The trial operation results of this system show that in a short period of time, the weather radar technique for estimating the prediction results and surface rain gauge observations precipitation is consistent within the allowable error, verifying the accuracy of the

收稿日期:2017-06-28;修回日期:2017-10-15;责任编辑:陈书欣

基金项目:河北省科技支撑计划项目(16273705D)

第一作者简介:王震洲(1978—),男,河北张家口人,副教授,博士,主要从事信息技术方面的研究。

通信作者:刘娟。E-mail: 1660779101@qq.com

王震洲,刘娟,梁军辉.基于天气雷达估测降雨数据的节水灌溉系统设计与实现[J].河北工业科技,2018,35(1):61-65.

WANG Zhenzhou, LIU Juan, LIANG Junhui. Design and implementation of water saving irrigation system based on weather radar to estimate rainfall data[J]. Hebei Journal of Industrial Science and Technology, 2018, 35(1): 61-65.

method. The weather radar rainfall estimation technology and data acquisition technology combined with modern agricultural science and technology and equipment, making full use of the natural resources in the rain, on the basis of the existing agricultural technology level, can meet the growing demand of the crop itself and avoid excessive irrigation and other issues, providing an important guiding significance for rational use of water resources in irrigation in china.

Keywords: irrigation and water conservancy; weather radar; rainfall; water-saving irrigation; soil moisture; sensor

中国水资源严重不足,农业用水却占了很大的比例,据相关数据显示,水资源中的 92% 用于农田灌溉^[1]。中国的农田灌溉虽然在智能化、低成本的灌溉装备上有了很大程度的突破,但结合天气雷达估测降水进行适量灌溉的技术却处于研究的初级阶段。将天气雷达与农田水分采集装置结合,预报地区降水,客观分析土壤墒情,按需给水,有效地避免了由于重复灌溉造成水资源的浪费问题。

1 方案设计

基于天气雷达估测降雨数据的节水灌溉系统的设计从土壤水分的采集以及降雨的预报两方面进行研究,最终通过灌溉决策分析得出灌溉的时间以及水量。数据采集结构主要是根据土壤水分传感器来获取土壤水分,判断土壤目前阶段所处的干旱状态;降雨临近预报可以对降雨信息进行有效的把控,包括降雨的产生、发展和结束。本文主要采取交叉相关法和概念模型预报技术对降雨进行临近预报,预测未来一段时间内的降水情况。根据土壤水分以及未来时间段内降水情况,分析出需灌溉的水量。节水灌溉架构设计如图 1 所示。

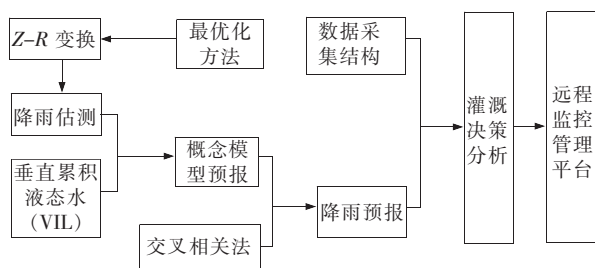


图 1 节水灌溉架构设计

Fig.1 Design of water saving irrigation system

2 天气雷达降雨预报技术

天气雷达^[2]多为脉冲雷达,以一定的仰角重复频率发射出持续时间很短的脉冲波,脉冲波经过目标物散射后返回雷达,得到反射率因子,将天气雷达的反射率因子转换成等价的垂直液态水总量^[3],判断出降水潜力。在天气雷达预报中,采用由 JSOE

等建立的概念模型技术,模型中需输入降雨量以及垂直累积液态水(VIL)2 个变量,即可完成降雨的临近预报,并与交叉相关法相结合,确定降雨移动方向。本文主要对天气雷达法估测降雨技术、垂直累积液态水(VIL)含量获取技术以及交叉相关法、概念模型预报技术^[4]等进行简单介绍。

2.1 天气雷达估测降雨技术

估测地区降雨是天气雷达最重要的功能之一,天气雷达利用返回电磁波的功率强度来判断目标物的回波强度,估计降雨量。利用雷达回波估测降水的方法有很多,其中主要包括:Z-R 关系法^[5]、标准目标法、衰减法、正交偏移法、双波长法、极化法和雷达雨量计联合估测法等。雷达定量测量降水最常用的是 Z-R 关系法,即应用雷达气象方程由测得的回波功率算出雷达反射率因子 Z 值,利用 Z-R 关系获取降雨量。

2.1.1 反射率因子

雷达以一定的仰角进行扫描,遇到障碍物进行反射,将单位体积内的所有粒子雷达截面之和定义为雷达反射率因子:

$$Z = \sum_{\text{单位体积}} D_i^6, \quad (1)$$

其中 D_i 为粒子直径。

2.1.2 最优 Z-R 变换

天气雷达测量的是有效照射体内降水粒子反射率因子,该值大小与降水量存在一定的关系:

$$Z = AR^b, \quad (2)$$

式中:

$$A = c_1^{\frac{\beta-3}{4+\mu+\beta}} \left[\frac{1}{6} \pi \rho c_2 \Gamma(4+\mu+\beta) \right]^{\frac{(\mu+7)}{4+\mu+\beta}} \Gamma(\mu+7),$$

$$b = (\mu+7)/(4+\mu+\beta). \quad (3)$$

为提高天气雷达估测降雨的精度,首先需要对雨量计数据进行分析,找到适合当前地区统一类型降雨的雷达反射率因子 Z 与降雨强度 R 的关系,利用两者之间的关系,将天气雷达获得的反射率转化为降雨量,从而得到降雨量以及降雨时间。

最优方法的实质就是假设 Z-R 之间的关系,通过把各个点的雷达估算值 R_i 和雨量计实测值 G_i 代入到判别函数 CTF^[6]中,使得判别函数出现最小值,以提高雷达估测降雨的精度。

$$CTF = \min \left[\sum_{i=1}^n (R_i - G_i)^2 + |R_i - G_i| \right]. \quad (4)$$

2.2 垂直累积液态水

垂直累积液态水简称为 VIL , 当底面积明确后, 顺延底面积的柱体所包含的水含量即垂直累积液态水。其在判断降水等方面的作用极为突出, 所以视为预测灾害天气的有效工具。在这里假设降雨分布均匀, 雨滴谱的分布为 $M-P$ 分布, 则单位体积内所有雨滴的质量 M 可以写为

$$M = \frac{1}{6} \pi \rho \int_0^{\infty} N_0 \exp(-\Delta D) D^3 dD, \quad (5)$$

M 也可以写作反射率因子 Z 的函数:

$$M = 3.44 \times 10^{-3} Z^{4/7}. \quad (6)$$

单位底面积下的柱体总含水量为

$$VIL = \int M dh. \quad (7)$$

天气雷达数据中包括不同仰角下的单位体积内雨滴的质量, 需要首先提取出数据, 将不同仰角下的 VIL 数据进行累加, 最终得到区域总体的 VIL 雨量数据。

2.3 交叉相关法

交叉相关法^[7-10]在天气雷达中主要用于预测降雨的移动方向, 主要将回波图划分为多个图像子集, 计算 2 幅图片的最佳匹配区域, 根据 2 幅图片的位置以及 2 幅图片的时间间隔, 确定图像子集的移动方向和移动速度, 并进行分析, 做出方向预报推测。

2.4 概念模型预报技术

该模型与降雨量和垂直液态水 2 个要素相关联, 需要在模型中输入这 2 个要素, 即可预报未来时间段内的降雨量^[11-12]。降雨量的获取采用天气雷达估测降雨技术。

降雨中主要水分来源于大气, 可以将大气分割成若干个垂直于地面的柱体, 每个柱体中包含许多水分, 在天气雷达观测过程中, 雷达数据按照地区可以划分为多个格点数据, 这里将视为若干个的柱体, 则空气柱中的水分 VIL 可以表示为

$$\frac{dVIL(t)}{dt} = S(t) - P(t), \quad (8)$$

式中: $S(t)$ 为单位时间内柱体中的含有水分; $P(t)$ 为单位时间内降雨强度。

确定时间段内的水分源 $S(t)$:

$$S(t) = \frac{VIL(t) - VIL(t - \Delta t)}{\Delta t} + P(t). \quad (9)$$

空气柱可以将 VIL 转化为降雨, 转换的时间称为响应时间, 响应时间在一个预测周期内保持不变。可得下列关系式:

$$VIL(t + dt) = VIL(t) e^{(dt/\tau(t))} - S(t) \tau(t) [1 - e^{(dt/\tau(t))}]. \quad (10)$$

垂直累积液态水 VIL 和降雨强度 P 之间存在一定的关系:

$$P(t) = \frac{VIL(t)}{\tau(t)}. \quad (11)$$

将式(10)与式(11)联立, 可得到 $(t + dt)$ 时刻的降水强度。根据未来一段时间内的降水情况来判断是否需要适时地为地区进行灌溉, 保证农作物处于最优的生长环境。

3 数据采集结构

数据采集结构是节水灌溉技术的重要组成部分, 具有传感器模块、采集模块等, 由电源供应模块统一供电, 数据采集结构如图 2 所示。

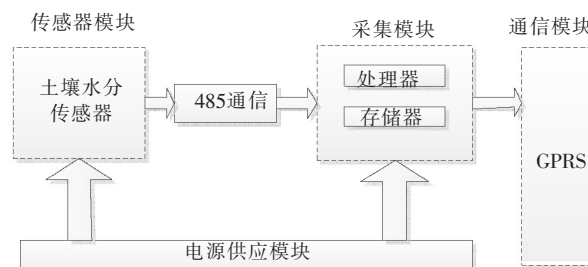


图 2 数据采集结构图

Fig.2 Data acquisition structure diagram

3.1 传感器模块

数据采集单元中的传感器模块主要采用土壤传感器测量土壤含水量。目前测量土壤水分的方法有很多, 常见的测量方法有时域反射法(TDR)、石膏法、红外遥感法等^[13-15]。土壤水分传感器发射一定频率的电磁波, 电磁波沿探针传输, 到达底部后返回, 检测探头输出的电压, 由于土壤介电常数的变化通常取决于土壤的含水量, 由输出电压和水分的关系计算出土壤的含水量。

3.2 采集模块

采集模块主要是通过内部的处理器读取传感器的数据, 通过传感器传送来的数据信息进行采样, 并送入 A/D 转换器中转变为数字信号, 并将该信号送到存储器中, 当存储器中的数据到达一定数目时, 由处理器将数据从存储器中读取, 通过 GPRS 将数据传送到灌溉决策分析中心, 其中处理器采用的是 STM32F103C8T6 型号单片机^[16-20]。

4 数据决策分析

数据决策分析主要采用土壤湿度法, 即根据作

物的需求量以及土壤供水之间的关系,在作物各生育阶段制定出几个不同水平的土壤湿度下限,当土壤湿度接近下限时,结合天气雷达预报降雨数据,根据土壤水分墒情,合理灌溉,保证作物产量。在实验中,土壤水分含量达到作物需水下限时,根据估测降水的时间、降水量等要素,需对作物在这段时间内蒸腾量损失进行灌溉补充,在保证适度干旱未影响作物生长的情况下,采用预报降水量对土壤水分的缺失部分进行合理补充。以小麦作为研究对象,土壤水分下限如表 1 所示。

5 灌溉系统监控中心

远程监控平台主要是向用户展示检测区域、土

表 1 土壤水分下限约束表

Tab.1 Restriction table of soil moisture

小麦生长阶段	土壤水分下限/%
出苗—抽穗	70
抽穗—灌浆初期	60
灌浆初期—成熟	50

壤水分、雷达回波估测降水、农田需灌溉水量、是否开启灌溉等多项信息。是否开启灌溉一列中,当用户选择开启灌溉时,则可以实现对相应地区定量的进行灌溉。该系统目前在石家庄行唐地区试运行,运行效果较为良好,大体上满足系统的建设需求。节水灌溉监控中心如图 3 所示。



图 3 节水灌溉监控中心

Fig.3 Water-saving irrigation monitoring center

6 结 语

采用天气雷达估测降雨技术,根据土壤水分墒情,适量地进行补充灌溉,能够在一定程度上节约降水资源。但是,由于估测降雨本身对准确性有较高要求,据实验结果表明,本方法还存在以下不足: 1)应用交叉相关法和概念模型预报技术短时间内可以得到很好的预测结果,但随着预报时间的增长,预报准确性逐渐下降,目前最长的预报时间为 30 min; 2)应用最优化方法对天气雷达估测降雨的 Z-R 关系进行优化,可以得到适合石家庄行唐地区的 Z-R 关系参数取值范围,从对流云降水分析得出, A

的取值为 150~200, b 的取值保持在 1.5 左右,采用最优化方法可以有效地从总体上降低估测误差,但是对于单个的极值点效果不够明显。后续工作可以在更多地域样本情况下对系统进行调优,以提高准确率。

参考文献/References:

- [1] 何英. 干旱区典型流域水资源优化配置研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学, 2010.
HE Ying. Study on Water Resources Optimum Allocation in Typical Arid Basin[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2010.

- [2] 白先达,王艳兰,孙莹. 雷达定量测量降水[J]. 气象科技, 2011, 39(1):61-65.
BAI Xianda, WANG Yanlan, SUN Ying. Radar rainfall estimates in Guilin[J]. Meteorological Science and Technology, 2011, 39(1):61-65.
- [3] 李薇,金德镇,郑娇恒,等. 垂直累积液态水含量应用拓展浅析[J]. 南京气象学院学报, 2005, 28(2):275-280.
LI Wei, JIN Dezhen, ZHENG Jiaoheng, et al. Study of expanding the application of VIL [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2005, 28(2):275-280.
- [4] 卢江涛. 利用天气雷达估测和预报降雨分布的研究[D]. 北京:清华大学, 2011.
LU Jiangtao. Study on Precipitation Estimation and Nowcasting Based on Weather Radar [D]. Beijing: Tsinghua University, 2011.
- [5] WAN Yufa, WU Cuihong, JIN Hongxiang. Real-time synchronous integration of radar and raingauge measurements based on the quasi same-rain-volume sampling [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2010, 24(3):340-353.
- [6] 勾亚彬. 基于雷达组网拼图的定量降水估测算法优化及效果评估[D]. 北京:中国气象科学研究院, 2014.
GOU Yabin. The Optimization and Evaluation of Quantitative Precipitation Estimation Based on Multi-Radar Mosaic [D]. Beijing: Chinese Academy of Meteorological Sciences, 2014.
- [7] 陈雷,戴建华,陶岚. 一种改进后的交叉相关法(COTREC)在降水临近预报中的应用[J]. 热带气象学报, 2009, 25(1):117-122.
CHEN Lei, DAI Jianhua, TAO Lan. Application of an improved trec algorithm (COTREC) for precipitation nowcast [J]. Journal of Tropical Meteorology, 2009, 25(1):117-122.
- [8] 陈明轩,俞小鼎,谭晓光,等. 对流天气临近预报技术的发展与研究进展[J]. 应用气象学报, 2004, 15(6):754-766.
CHEN Mingxuan, YU Xiaoding, TAN Xiaoguang, et al. A brief review on the development of nowcasting for convective storms[J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 2004, 15(6):754-766.
- [9] 王骥,周文静,沈玉利. 基于无线传感器网络的节水灌溉系统设计[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2008, 47(sup):29-31.
WANG Ji, ZHOU Wenjing, SHEN Yuli. The design of water-saving irrigation system based on wireless sensor network[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2008, 47(sup):29-31.
- [10] 张增林,党革荣,郁晓庆,等. 基于无线传感器网络的节水灌溉远程监控系统[J]. 节水灌溉, 2012(3):75-78.
ZHANG Zenglin, DANG Gerong, YU Xiaoqing, et al. Remote monitoring system for water saving irrigation based on wireless sensor network[J]. Water Saving Irrigation, 2012(3):75-78.
- [11] 易鑫,刘洁,魏青松,等. 数值模拟在节水灌溉技术中应用的研究概述[J]. 节水灌溉, 2017(1):87-89.
YI Xin, LIU Jie, WEI Qingsong, et al. The research overview of the application of numerical simulation in water-saving irrigation technology [J]. Water Saving Irrigation, 2017(1):87-89.
- [12] 孙彦景,丁晓慧,于满,等. 基于物联网的农业信息化系统研究与设计[J]. 计算机研究与发展, 2011, 48(sup):326-331.
SUN Yanjing, DING Xiaohui, YU Man, et al. Research and design of agriculture informatization system based on IOT[J]. Journal of Computer Research and Development, 2011, 48(sup):326-331.
- [13] 王永喜,胡玫,刘映杰. 基于射频 IC 卡的节水灌溉控制系统[J]. 兰州工业高等专科学校学报, 2011, 18(3):18-20.
WANG Yongxi, HU Mei, LIU Yingjie. Control system for water-saving irrigation based on the radio frequency IC card [J]. Journal of Lanzhou Polytechnic College, 2011, 18(3):18-20.
- [14] 洪刚,潘小琴. 基于无线传感器网络的温湿度监测系统设计与实现[J]. 农机化研究, 2012, 34(9):83-86.
HONG Gang, PAN Xiaoqin. Design and implementation of temperature and humidity monitoring system based on wireless sensor networks [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2012, 34(9):83-86.
- [15] 王飞,王黎明,韩焱. 基于 Zig Bee 无线传感器网络技术的管道监测系统[J]. 传感器与微系统, 2011, 30(12):85-86.
WANG Fei, WANG Liming, HAN Yan. Pipeline monitoring system based on ZigBee wireless sensor networks technology [J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2011, 30(12):85-86.
- [16] 赵震奇. 智能灌溉系统上位机软件的设计与实现[J]. 计算机时代, 2012(12):61-64.
ZHAO Zhenqi. Design and implementation of PC software for intelligent irrigation system [J]. Computer Era, 2012(12):61-64.
- [17] 刘俊岩,张海辉,胡瑾,等. 基于 ZigBee 的温室自动灌溉系统设计及实现[J]. 农机化研究, 2012, 34(1):111-114.
LIU Junyan, ZHANG Haihui, HU Jin, et al. Design and implementation of greenhouse automatic irrigation system based on ZigBee [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2012, 34(1):111-114.
- [18] 安进强,魏凯,王立乾,等. 基于物联网的精确灌溉控制技术研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(12):220-226.
AN Jinqiang, WEI Kai, WANG Liqian, et al. Internet of things based accurate automation irrigation [J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2013, 41(12):220-226.
- [19] 李娟,王宇平. 基于样本密度和分类误差率的增量学习矢量量化算法研究[J]. 自动化学报, 2015, 41(6):1187-1200.
LI Juan, WANG Yuping. An incremental learning vector quantization algorithm based on pattern density and classification error ratio [J]. Acta Automatica Sinica, 2015, 41(6):1187-1200.
- [20] 王晨辉,郭立炜,刘玉坤,等. 基于 ARM 和 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的嵌入式电机测试系统的设计[J]. 河北工业科技, 2010, 27(6):468-470.
WANG Chenhui, GUO Liwei, LIU Yukun, et al. Design of embedded motor testing system based on ARM and $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ [J]. Hebei Journal of Industrial Science and Technology, 2010, 27(6):468-470.