

基于作物水分胁迫声发射技术的无线传感器 网络精量灌溉系统的初步研究

高峰^{1,2}, 俞立^{1*}, 张文安¹, 徐青香², 姜庆臣²

(1. 浙江工业大学信息工程学院, 杭州 310032; 2. 浙江林学院现代教育技术中心, 临安 311300)

摘要: 为实现准确判断作物水分亏缺程度, 为精量灌溉提供科学依据, 该文基于作物水分胁迫声发射技术, 研发了无线传感器网络节点, 并设计了无线传感器网络精量灌溉系统。该系统可以使人们随时随地精确获取作物需水信息, 并实现精量灌溉。该系统具有功耗低、成本低廉、鲁棒性好、扩展灵活等优点。初步试验表明了该系统的合理性与实用性。可以应用于温室、农田、苗圃等区域。该研究为无线传感器网络在节水农业中的应用做出了探索。

关键词: 水分胁迫; 声发射技术; 无线传感器网络; 精量灌溉; 节水农业

中图分类号: TP273+.5; S126

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2008)-1-0060-04

高峰, 俞立, 张文安, 等. 基于作物水分胁迫声发射技术的无线传感器网络精量灌溉系统的初步研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(1): 60-63.

Gao Feng, Yu Li, Zhang Wen'an, et al. Preliminary study on precision irrigation system based on wireless sensor networks of acoustic emission technique for crop water stress[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(1): 60-63. (in Chinese with English abstract)

0 引言

作物的生长发育, 需要众多的环境因子, 当这些环境因子变化对作物产生伤害效应时, 称之为胁迫。作物在生长过程中, 常遭受多种环境胁迫。研究证实, 水分亏缺 (water deficit) 对作物生长发育和产量的影响超过所有其他胁迫的总和^[1]。因此, 水是农业生产的重要基础资源, 作物水分的管理是作物生产中最为重要的措施之一^[2]。

随着水资源的日益紧缺, 世界各国水资源供求之间的矛盾越来越突出。解决这个矛盾的根本出路是大力发展和推广精量灌溉^[3], 它根据作物需水信息适时、适量地进行科学灌溉, 达到节水增产的目的。为了有效地进行精量灌溉, 人们从不同方面研究作物缺水状况的评价方法, 制定了相应的灌溉指标^[4]。这些指标可以分为两类: 间接指标 (包括土壤指标和气象指标) 和直接指标 (作

物生理指标)^[5]。许多研究认为: 间接指标不能确切反映作物水分亏缺状况, 利用作物生理指标作为作物缺水诊断及灌溉控制指标, 更为合理^[6]。因此, 对各种作物生理指标的研究, 受到越来越多的关注。其中, 作物水分胁迫声发射技术, 因其具有快速测定且不具破坏性等特点, 日益受到众多学者的推崇。

对于作物水分胁迫声发射技术的研究开始于 1966 年^[7], Milburn 和 Johnson 把蓖麻作为研究对象, 利用一个改进的听筒听取了水柱断裂时产生的“咔嚓”声, 但是因为在音频范围内采集信号, 其精度受到环境噪声的很大影响。Tyree 等^[8]对此进行了改进, 在超音频范围内采集声发射信号以避免环境噪声的干扰, 使声发射法简便可行, 并研制出了以单片机为核心的作物水分胁迫声发射监测仪器, 能够完成现场声发射数据自动采集与记录。该仪器被国外许多植物生理研究人员所采用。但是, 该仪器的软件系统是基于 DOS 环境利用 PASCAL 语言开发, 整个仪器在控制性能、扩展性能、操作界面等功能上有很大的局限, 不能完全适应现代农业测试集成化、智能化的要求。在国内, 对作物水分胁迫声发射技术关注较多的学者主要有杨世风、霍晓静等, 他们在引进、消化、吸收国外技术的基础上, 研究和开发了基于作物水分胁迫声发射技术的温室作物灌溉自动控制系统^[9]。

然而, 从所发表的成果来看, 系统还存在明显不足: (1) 通信技术主要采用串行总线技术和现场总线技术等有线通信技术。虽然具有设备互操作性好、抗干扰能力强

收稿日期: 2007-02-03 修订日期: 2007-11-17

基金项目: 国家杰出青年科学基金“控制系统的分析和综合”(60525304)

作者简介: 高峰 (1969-), 男, 江西万载人, 副教授, 博士研究生。研究方向: 无线传感器网络、计算机网络控制、计算机网络技术、控制理论与应用等。浙江临安环城北路 88 号 浙江林学院现代教育技术中心, 311300。Email: gaofeng@zjfc.edu.cn

*通讯作者: 俞立 (1961-), 男, 浙江富阳人, 博士, 教授, 博士生导师。主要研究方向: 网络环境下的控制系统分析与设计、网络拥塞控制、无线网络的调度与优化控制、鲁棒控制等。浙江临安环城北路 88 号 浙江林学院现代教育技术中心, 311300

等优点,但是实际的应用环境具有长期高温、潮湿,土壤及空气具有较高的酸碱性等特点,极易导致通信电缆的老化,从而降低系统的可靠性。(2)传感器工作在有线方式。在实际的农业生产应用时,需要密布传感器节点,才能实现对监测区域的有效覆盖,这将导致农业设施内部线缆纵横交错,系统安装及维护成本急剧增加。这两个因素,极大地限制了成果在生产实际中的推广应用。

WSNs 是一种新兴的计算模式,是由大量具有特定功能的传感器节点通过自组织的无线通信方式、相互传递信息、协同地完成特定功能的智能专用网络^[10]。它综合了传感器技术、嵌入式计算技术、现代网络及无线通信技术、分布式信息处理技术等,可以实时监测、感知和采集网络所监控区域内的各种环境或检测对象的信息,并对收集到的信息进行处理后传送给终端用户。将 WSNs 技术用于环境监测、设施农业、精量灌溉等,能够有效克服现有智能控制系统中各种固有的缺点。

因此,针对上述现有作物灌溉自动控制系统存在的问题,作者在已有工作的基础上,开展 WSN-PI 系统的研究与设计,已经取得初步成果:基于作物水分胁迫声发射技术,研发了用于检测作物受水分胁迫时声发射信号的 WSNs 节点,并设计了 WSN-PI 系统。

1 WSN-PI 系统的体系结构及工作原理

1.1 利用声发射技术检测作物受水分胁迫的原理

水分运输(water transportation)的内聚力理论阐述了水在 SPAC(土壤-植物-大气连续体)系统中运输时是处于一定的负压力或张力下的^[11]。当土壤变得干燥时,该张力就会增加;当张力超过一个极限值时,由于水分子间的内聚力失效或对导管壁的附着力失效,水柱的连续体就不能再保持下去,从而发生断裂或抽空,这就是植物木质部的空穴现象(xylem cavitations)^[11]。植物木质部出现空穴现象的同时,张力会突然释放而产生冲击波,并伴有声发射信号的产生。声发射信号在超音频(100~300 kHz)范围内,该声发射信号被声发射传感器检测到并记录下来,可以作为植物水分胁迫的指示指标^[2]。

1.2 WSN-PI 系统的主要功能

WSN-PI 系统实现温室、农田等区域的精量灌溉,根据环境监测的要求,它的主要功能为:

1) 感知、采样和存档数据。采集到的数据需要存储及有效的管理以便及时传送到研究人员手中进行在线或离线的数据挖掘和分析。

2) 数据的访问与控制。对监控区域的数据访问可分为现场和远程两种方式。在执行初始化配置和现场维护任务时,需要对系统进行现场调试,研究人员可以在现场通过 PDA 直接查询 WSN-PI 系统中的一个传感器、调整运行参数以及其他调试工作。在系统运行期间,除了

安装和移动节点外不需要到现场进行维护和管理,因此远程控制站点必须能够通过 Internet/Intranet 对传感器进行访问和控制。

3) 控制操作。具有简单控制功能的无线传感器网络节点,采用电池供电,通过相关的电源处理可以控制不同中小功率的直流电磁阀(电动水电磁阀、减压阀、调压阀、安全阀及流量控制阀等)。

4) 节能操作。根据作物的生长周期,WSN-PI 系统需要连续运行至少 1 个月以上。在此期间,监测系统要在无人干预的条件下,依靠自身的电池工作,因此系统能够在完成上面功能的基础上,必须尽量保证每个操作的低能耗,以延长系统的生存时间。

1.3 WSN-PI 系统的体系结构及工作原理

所设计的 WSN-PI 系统的体系结构如图 1 所示。其工作原理如图 2 所示。

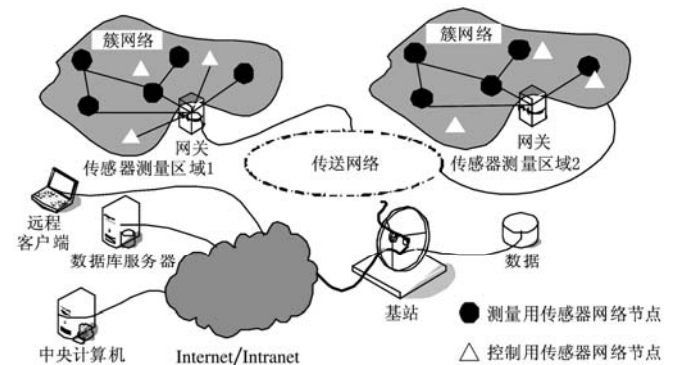


图 1 WSN-PI 系统的体系结构

Fig.1 Architecture of WSN-PI system

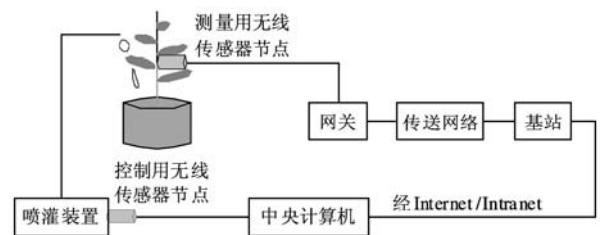


图 2 WSN-PI 系统工作原理

Fig.2 Working principle of WSN-PI system

研究人员需要通过 Internet/Intranet 来访问 WSN-PI 系统采集的各种数据,因此,WSN-PI 系统必须提供与远程网络交互的能力。考虑到终端用户距离监测环境可能是几千米以外,采用广域网和监测区域的每个传感器保持连通的方式收集数据成本太高,因此 WSN-PI 系统采用分层(簇)的网络结构,将每个传感器收集的原始数据或处理过的数据通过簇首(网关)、传送网络和基站传送给远程数据库服务器。

WSNs 节点(Node)有两种类型:测量用传感器节点和控制用传感器节点。测量用传感器节点主要完成感知、

采样数据的功能；控制用传感器节点主要完成一些相关的控制功能，如控制灌溉设备的各类直流电磁阀等。设计测量用传感器节点时，其传感器模块采用声发射传感器（如图 3 所示），其主要功能是^[12]：(1)感知、采样作物的声发射信号；(2)将声发射信号转换成微弱的电信号，并进行 A/D 转换；(3)执行组网、路由和初步的数据处理任务。所有节点由电池供电。为了达到较高的分辨率，传感器必须密集布设到分散的监测区域，每个区域（簇）之间一般来说都是不相关的^[13]。簇内传感器节点可以相互通信并具有很强的协同能力，节点之间、节点与网关之间采用无线方式，通过自组织方式组网，信息以多跳的方式传播。

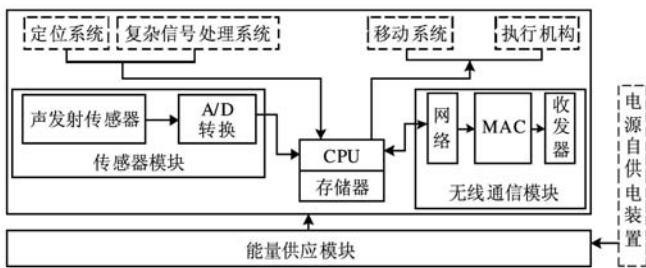


图 3 无线传感器网络节点组成

Fig.3 Configuration of wireless sensor network node

每个簇都有一个网关设备即簇首节点，它可以和簇内的所有节点通信，负责将来自簇内的数据通过传送网络传递给远程基站。传送网络是基站和所有网关之间的通信桥梁，可以包括一个单跳或多跳通信连接。传送网络的设计需要考虑系统的鲁棒性、带宽、能量效率、成本和可操作性等多种因素。

基站是监测系统和外界联系的桥梁，将系统获取的数据通过 Internet/Intranet 连接到数据库服务器，研究人员通过客户端可以获取所需要的数据。中央计算机根据获取的数据做出灌溉决策(irrigation decision)。该决策传递给控制用传感器节点，该节点控制喷灌装置的直流电磁阀，实现精量灌溉。此外，系统中还包括一些移动设备 PDA，它们可以和网络中的任何一个部分进行交互，提供直接的现场操作能力。

为了实现长期有效的监测，传感器节点、簇首和基站等各层不仅需要对数据进行长久的存储，还要提供数据管理服务。在传感器层面上，大量的原始数据是以日志形式存储的，这些数据被传送给簇首、基站以后可能就不需要了。而基站需要提供一个比较完善的数据库服务。这种数据管理系统能让用户有两种办法来操作系统中传感器节点：

1) 远程用户可以对基站数据库进行复制，然后对其进行操作，甚至可以对数据库进行直接操作，这种方法可以让用户在基站断开连接时很容易利用现有的数据分

析和数据挖掘工具，通过数据库接口也可以远程控制网络。

2) 现场用户可以利用 PDA 设备直接对网络进行操作。PDA 能够直接访问每个传感器簇，提供给用户关于所监测环境和网络的最新数据。它也可以让用户通过调整采样频率、电源管理参数和其他网络参数来控制无线传感器网络。传感器节点和 PDA 之间的连接是单跳路由，用户可以直接和邻近的节点通信。

2 结 语

针对发展节水高效农业所面临的技术难题，基于作物水分胁迫声发射技术，作者研发了用于检测作物受水分胁迫时声发射信号的 WSNs 节点，在此基础上，设计了 WSN-PI 系统。该系统可以使人们随时随地、远程、精确获取作物需水信息，并实施精量灌溉。初步试验表明了该系统的合理性与实用性。与传统定点布设的具有专门信号处理的高品质传感器方法相比，该系统具有低功耗、成本低廉、鲁棒性好、扩展灵活及安装方便等优点，并能实现对监测区域的全覆盖监测。它可以在温室、农田、苗圃等区域，实现农业与生态节水技术的量化、规范化、模式化、集成化，促进节水农业的快速和健康发展。

本文为无线传感器网络在节水农业中的应用做出了探索性研究。课题组将创造条件继续完成相关试验、并逐步解决在试验中出现的新问题，以便从软件、硬件两个方面继续完善该系统。

[参 考 文 献]

- [1] 陈玉民, 郭国双, 王广兴, 等. 中国主要作物需水量与灌溉[M]. 北京: 水利水电出版社, 1995: 6—15.
- [2] 张寄阳, 段爱旺, 孙景生, 等. 作物水分状况自动监测与诊断的研究进展[J]. 农业工程学报, 2006, 22(1): 174—178.
- [3] 康绍忠, 蔡焕杰, 冯绍元. 现代农业与生态节水的技术创新与未来研究重点[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 1—6.
- [4] 蔡大鑫, 沈能展, 崔振才. 调亏灌溉对作物生理生态特征影响的研究进展[J]. 东北农业大学学报, 2004, 35(2): 239—243.
- [5] 徐祝龄, 王 汶, 衣纯真. 作物水分胁迫监测的国内外研究进展[J]. 中国农业气象, 1995, 16(4): 41—47.
- [6] 杨世风, 钱东平, 霍晓静, 等. 作物水分胁迫声发射检测及视情灌溉系统的研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(5): 150—152.
- [7] 霍晓静. 作物水分胁迫声发射监测系统的研究及应用[D]. 保定: 河北农业大学, 2002: 11—48.
- [8] Tyree M T, Sperry J S. Characterization and propagation of acoustic emission signals in woody plants: towards an improved acoustic emission counter [J]. Plant, Cell and Environment, 1989, 12(4): 371—382.

- [9] 尹飞星, 孙耀杰, 高丽哲, 等. 作物水胁迫声发射监测系统的研究[J]. 农机化研究, 2007, (3): 84—86.
- [10] 宋文, 王兵, 周应宾, 等. 无线传感器网络技术与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007: 21—26.
- [11] Tyree M T, Fiscus E L, Wullschlegel S D, et al. Detection of xylem cavitation in corn under field conditions [J]. *Plant Physiology*, 1986, 82(2): 597—599.
- [12] 罗慧谦, 张馨, 乔晓军, 等. 农用无线传感器网络硬件平台的研究与设计[J]. 微计算机应用, 2006, 27(5): 534—537.
- [13] 任彦, 张思东, 张宏科. 无线传感器网络中覆盖控制理论与算法[J]. 软件学报, 2006, 17(3): 422—433.

Preliminary study on precision irrigation system based on wireless sensor networks of acoustic emission technique for crop water stress

Gao Feng^{1, 2}, Yu Li¹, Zhang Wen'an¹, Xu Qingxiang², Jiang Qingchen²

(1. College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310032, China;

2. Modern Education Technology Center, Zhejiang Forestry University, Lin'an 311300, China)

Abstract: In order to precisely determine the extent of the water deficit and thus to provide a scientific reference for the precision irrigation, a wireless sensor networks (WSNs) node was designed and a particular design of WSNs precision irrigation system (WSN-PI) is proposed based on the acoustic emission technique for crop water stress. The designed WSN-PI system enables users to precisely acquire the crop water requirement information and thus to implement the precision irrigation at any time and everywhere. It possesses many advantages, such as low energy consumption, inexpensiveness, good robustness, flexible extensibility, etc. Preliminary experimentations indicate the rationality and practicability of the system. It can be effectively applied to the greenhouse, the cropland, and the nursery garden, etc. This research contributes to the exploration on the applications of WSNs in water-saving agriculture.

Key words: water stress; acoustic emission technique; wireless sensor networks; precision irrigation; water-saving agriculture