

农业无线传感器网络 关键技术及应用研究

NONGYE WUXIAN CHUANGANQI
WANGLUO GUANJIAN JISHU JI
YINGYONG YANJIU

王俊◎著



农业
外借



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

农业无线传感器网络关键技术及应用研究

王 俊 著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书是农业无线传感器网络理论方面的著作，主要包括作者近十年来针对农业无线传感器网络理论及其技术方法的论文、研究报告等。作者通过理论研究、仿真模拟、计算分析及实验验证等手段，针对无线传感器网络在农业中的应用进行了深入系统的研究。

本书适合农业无线传感器领域的研究者及工程技术人员和高校学生阅读，也可供从事农业信息技术研究的读者参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

农业无线传感器网络关键技术及应用研究 / 王俊著.

-- 北京: 中国水利水电出版社, 2018. 11

ISBN 978-7-5170-7155-6

I. ①农… II. ①王… III. ①无线电通信-传感器-应用-农业研究 IV. ①S126

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 262440 号

策划编辑: 杨庆川 责任编辑: 陈 洁 加工编辑: 王开云 封面设计: 周香菊

书 名	农业无线传感器网络关键技术及应用研究 NONGYE WUXIAN CHUANGANQI WANGLUO GUANJIAN JISHU JI YINGYONG YANJIU
作 者	王俊 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (营销中心)、82562819 (万水) 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	三河市元兴印务有限公司
规 格	170mm×240mm 16 开本 12 印张 218 千字
版 次	2019 年 1 月第 1 版 2019 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	54.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

微电子技术、计算技术、无线通信技术和低功耗嵌入式技术的发展，孕育出了无线传感器网络（wireless sensor network, WSN）。无线传感器网络被认为是 21 世纪最重要的技术之一，它将会对人类未来的生活方式产生巨大影响。无线传感器网络被美国《商业周刊》和 MIT 技术评论列为 21 世纪最有影响的 21 项技术和改变世界的 10 大技术之一。

无线传感器网络是一种由大量低复杂度的传感器节点通过自组织方式形成的无线网络。每个网络节点由传感模块、处理模块、通信模块和电源模块组成，完成数据采集、数据收发、数据转发三项基本功能。它是因特网从虚拟世界到物理世界的延伸。因特网的普及改变了人与人之间交流、沟通的方式，而无线传感器网络将逻辑上的信息世界与真实物理世界融合在一起，将改变人与自然交互的方式。无线传感器网络不需要任何固定网络支持、能够快速展开、抗毁性强、能够长时间执行监测任务等特点，使其在农业环境监控领域具有广泛的应用前景。

本书从农业无线传感器网络控制决策、节点定位、系统设计、故障诊断、抗毁拓扑结构、兴趣消息更新等方面，对农业无线传感器网络关键技术及应用进行详细的研究和探讨。本书在阐述前人的理论和方法方面不求多、不求全，而力求内容能够新颖和切合实用。本书的内容多为作者近年来发表的一些论文及研究心得以及指导研究生的成果，并吸收了国内外同行的研究成果。在本书的研究和形成过程中，特别感谢河南科技大学贺智涛博士、高颂博士、党玉功博士给予的无私帮助。特别致谢我的研究生张海洋、谭骥、杜壮壮等为本书付出的辛勤劳动。

编著一本关于农业无线传感器网络的内容新颖并具有理论意义和工程前景的专著，是作者多年的梦想，但因水平及能力所限，疏漏之处在所难免，殷切希望广大读者批评指正。

作者

2018 年 6 月

目 录

前言

第 1 章 无线传感器网络在农业中的应用	1
1.1 无线传感器网络概述	1
1.2 应用背景	5
1.3 国内外现状	8
1.4 传感器网络在现代农业领域的应用	14
参考文献	27
第 2 章 基于粒子群优化聚类的温室 WSN 节能方法	29
2.1 引言	29
2.2 相关工作	30
2.3 预备知识	32
2.4 基于粒子群优化聚类的温室 WSN 节能方法	35
2.5 试验与分析	46
2.6 本章小结	51
参考文献	52
第 3 章 融合粗糙集和证据理论的温室 WSN 环境控制决策	53
3.1 引言	53
3.2 相关工作	55
3.3 预备知识	57
3.4 融合粗糙集和证据理论的温室 WSN 环境控制决策	65
3.5 实证与分析	69

3.6 本章小结	77
参考文献	78
第4章 基于遗传BP算法的温室WSN定位方法	80
4.1 引言	80
4.2 相关工作	83
4.3 预备知识	86
4.4 基于遗传BP算法的温室WSN定位方法	92
4.5 试验与分析	101
4.6 本章小结	105
参考文献	105
第5章 基于交叉粒子群的农业无线传感器网络三维定位算法	107
5.1 引言	107
5.2 相关工作	108
5.3 预备知识	110
5.4 交叉粒子群定位算法	112
5.5 仿真与试验	114
5.6 本章小结	118
参考文献	118
第6章 基于相似度的温室无线传感器网络定位算法	120
6.1 引言	120
6.2 相关工作	121
6.3 预备知识	124
6.4 定位算法	126
6.5 仿真与分析	129
6.6 本章小结	132
参考文献	132
第7章 融合粗糙集和人工鱼群算法的农业无线传感器网络定位方法	134
7.1 引言	134
7.2 相关工作	135
7.3 预备知识	137
7.4 定位方法	138
7.5 仿真与试验	142
7.6 本章小结	145

参考文献	146
第 8 章 基于信标节点漂移检测的无线传感器网络定位方法	147
8.1 引言	147
8.2 相关工作	148
8.3 预备知识	149
8.4 未知节点定位方法	153
8.5 实验与仿真	156
8.6 本章小结	160
参考文献	160
第 9 章 基于 WSN 的温室环境监测系统设计及故障诊断研究	162
9.1 引言	162
9.2 相关知识	163
9.3 基于无线传感器网络的温室环境监测系统设计	165
9.4 基于时间序列和神经网络的温室传感器节点故障诊断	175
9.5 本章小结	185
参考文献	185

第 1 章 无线传感器网络在农业中的应用

1.1 无线传感器网络概述

1.1.1 无线传感器网络系统结构

无线传感器网络由部署在监测区域内的大量节点组成。这些节点通过无线通信的方式形成多跳自组织监控网络系统,能够协作地实时监测、感知和采集各种环境或监测对象的信息,并通过嵌入式系统对信息进行处理,最后通过随机自组织无线通信网络,以多跳中继方式将所感知信息传送到用户终端。因此,可以说无线传感器网络的出现使得逻辑上的信息世界与客观上的物理世界融合在一起,改变了人类与自然界的交互方式。人们可以通过传感器网络直接感知客观世界,从而提高人类认识世界的能力。

在无线传感器网络系统中,传感器、感知对象和观察者构成传感器网络的三个要素,其中传感器之间、传感器与观察者之间通过有线或无线网络通信,节点间以 Ad-Hoc 方式进行通信。

无线传感器网络系统结构图如图 1-1 所示。无线传感器网络系统通常包括传感器节点(sensor node)、汇聚节点(sink node)和管理节点。大量传感器节点随机部署在监测区域(sensor field)内部或附近,能通过自组织方式构成网络。传感器节点监测的数据沿着其他传感器节点逐步地进行传输,在传输过程中监测数据可能被多个节点处理,经过多跳后路由到汇聚节点,最后通过互联网或卫星达到管理节点。用户通过管理节点对传感器网络进行配置和管理,发布监测任务以及收集监测数据。

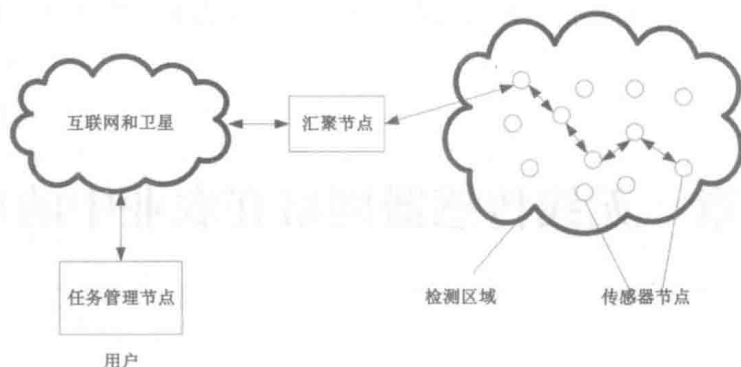


图 1-1 无线传感器网络系统结构

传感器节点通常是一个微型的嵌入式系统,它的处理能力、存储能力和通信能力相对较弱,通过携带能量有限的电池供电。从网络功能上看,每个传感器节点兼顾传统网络节点的终端和路由器双重功能,除了进行本地信息收集和数据处理外,还要对其他节点转发来的数据进行存储、管理和融合等处理,同时与其他节点协作完成一些特定任务。目前传感器节点的软硬件技术是无线传感器网络研究的重点。

汇聚节点的处理能力、存储能力和通信能力相对较强,它连接传感器网络与 Internet 等外部网络,实现两种协议栈之间的通信协议转换,同时发布管理节点的监测任务,并把收集的数据转发到外部网络上。汇聚节点既可以是一个具有增强功能的传感器节点,有足够的能量供给和更多的内存与计算资源,也可以是没有监测功能仅带有无线通信接口的特殊网关设备。

管理节点通过实时获取的相关信息,结合专家知识经验进行分析和科学决策,为农业生产管理提供预警及决策支持。同时,用户也可以通过终端管理和分析软件来观测网络的运行状况,并能对网络中的各个节点进行管理和监控。

1.1.2 无线传感器网络基本特点

无线传感器网络作为一种新型的信息感知系统,除了具有 Ad-Hoc 网络的移动性、独立性、电源能力局限性等共同特征以外,还具有以下鲜明的技术特点。

(1)应用相关性。无线传感器网络是无线网络和数据网络的结合,一般是为了某个特定的需求而设计的。与传统网络能适应广泛的应用不同,无线传感器网络通常是针对某一特定的应用,是一种基于应用的无线网络。在应用中,各个节点能够协作地实时监测、感知和采集网络分布区域内各种环境或监测对象的信息,并对这些数据进行处理,从而获得详尽而准确的信息,将其传送到需要

这些信息的用户。

(2)网络的大规模性。为了获取精确信息,在监测区域通常部署大量传感器节点,其数量可能达到成千上万,甚至更多。在大规模网络中,通过不同空间视角获得的信息具有更大的信噪比;通过分布式处理大量采集的信息能够提高监测的精确度。降低对单个节点传感器的精度要求。大量冗余节点的存在,使得系统具有很强的容错性能,还能够增大覆盖的监测区域,减少网络空洞或盲区。

(3)自组网与自维护性。对于由随机撒播大量节点而构成的传感网络而言,每个节点的地位平等,网内没有绝对的控制中心,可以在任何时刻和地点自动组网,传感器节点的位置不能预先精确设定,节点之间的关系也不确定,不像通常使用的网络固定地址和关系。这就需要无线传感器网络能够通过拓扑和网络通信协议自动地进行配置和管理,形成监测多跳无线网络。同时,单个节点或者局部几个节点由于环境改变等原因而失效时,网络拓扑应能随时间动态变化。这就要求无线传感器网络具备维护动态路由的功能,才能保证网络不会因为部分节点出现故障而瘫痪。

(4)以数据为中心。在无线传感器网络中,各节点内置有不同形式的传感器,用以测量热、红外、声呐、雷达和地震波等信号,从而探测包括温度、湿度、噪声、光强度、压力、土壤成分、移动物体的大小、速度和方向等众多的数据。用户关心的是从网络中获取的信息而不是网络本身,所以以数据为中心是无线传感器网络区别于传统通信网络的主要特点。

(5)路由多跳性。网络中节点通信距离有限,一般在几十米到几百米范围内,节点只能与它的邻近节点直接通信。如果希望与其射频频覆盖范围之外的节点进行通信,则需要通过中间节点进行路由。网络的多跳路由通常使用网关和路由器来实现,而无线传感器网络中的多跳路由是由普通网络节点完成的,没有专门的路由设备。因此,每个节点既可以是信息的发起者,也可以是信息的转发者。

(6)网络动态性。无线传感器网络是一个动态的网络,网络中的传感器、感知对象和观察者三要素都可能具有移动性。另外,新节点的加入、已有节点故障或失效及环境条件变化所造成无线通信链路的带宽变化,都会引起无线传感器网络结构的变化。这就要求传感器网络能够适应结构的随时变化,具有动态系统的可重构性。

(7)节点的可靠性。传感器节点往往要工作在恶劣的环境下,甚至遭到破坏,如有时要利用飞机空投或发射炮弹来进行网络节点的部署,所以要求节点非常坚固、不易损坏以及能适应各种恶劣环境。由于传感器节点数量很大,监测的

环境面积很大,具体的节点位置会时常发生变化,所以不可能人为地进行网络维护。为了防止监测数据被盗取,要求无线传感器网络具有保密性和安全性,要求整个网络的软、硬件具有很好的鲁棒性和容错性。

(8)节点能量、存储空间和处理能力的有限性。在无线传感器网络中,传感节点数量众多。为降低网络成本,传感节点的体积、存储空间、处理能力都受到很大的限制。在通常情况下,传感节点都布置在偏远、恶劣的环境中,能源由电池提供且难以做到能源的替换,节点能量十分有限。因此,如何克服节点的局限性、降低能耗或者使节点具备成熟的自动获取能源的能力,是目前无线传感器网络设计领域的一个重要技术问题。

1.1.3 无线传感器网络关键技术

无线传感器网络作为当今信息领域新的研究热点,尚有许多关键理论与技术问题有待研究,主要研究内容有以下几个方面:

(1)网络拓扑控制。无线传感器网络是自组织网络。在保证网络连通和覆盖的前提下剔除不必要的通信链路。形成数据转发的优化网络结构具有重要意义。通过拓扑控制自动生成良好的网络拓扑结构,能够提高路由协议和 MAC 协议的效率,从而节省节点能量以延长网络生存期,并为数据融合、时间同步和目标定位等奠定基础。

(2)网络协议。传感器网络协议负责使各个独立的节点形成一个多跳的数据传输网络。由于传感器网络节点的计算能力、存储能力、通信能力以及携带的能量都十分有限,每个节点只能获取局部网络的拓扑信息,其运行的网络协议也不能过于复杂,无线传感器网络除结构动态变化外,网络资源也在不断变化,这些都对网络协议提出更高的要求。目前,研究的重点是网络层路由协议和数据链路层协议。网络层的路由协议决定监测信息的传输路径;数据链路层的介质访问控制用来构建底层的基础结构,控制传感器节点的通信过程和工作模式。

(3)时间同步。实现时间同步是传感器网络系统协同工作的关键机制之一。无线传感器网络的一些固有特征,如能量、存储、计算和宽带的限制,以及节点的高密度分布,使传统的时间同步算法无法适用。因此,越来越多的研究集中在设计适合无线传感器网络的时间同步算法。目前,已提出多个时间同步机制,其中 RBS(reference broadcast synchronization)、Tiny/Mini-Sync 和 TPSN(timing-sync protocol for sensor network)被认为是三个基本的同步机制。

(4)定位技术。位置信息是传感器网络节点采集数据过程中不可缺少的部分。在某些应用中,没有位置信息的监测消息通常毫无意义。确定事件发生的位置或数据采集的节点位置是传感器网络最基本的功能之一。根据无线传感器

网络的自身特点,定位机制必须满足自组织性、健壮性、能量高效性和分布式计算等要求。目前,主要的定位机制有 TOA(time of arrival)、TDOA(time difference of arrival)、AOA(angle of arrival)和 RSSI(received signal strength indication)。

(5)网络安全。无线传感器网络做为任务型网络,不仅要进行数据传输,还要进行数据采集、融合及任务协同控制等。如何保证任务执行的机密性、数据产生的可靠性、数据融合的高效性以及数据传输的安全性,就成为无线传感器网络需要全面考虑的安全问题。为了保证任务的机密布置和任务执行结果的安全传递和融合,无线传感器网络需要提供基本的安全机制,如机密性认证、点到点的消息认证、完整性鉴别、新鲜性鉴别、认证广播和安全管理等。

(6)数据融合。数据融合是将多份数据或信息进行处理,组合出更有效、更符合需求的数据过程。由于无线传感器网络存在能量约束,因此需要数据融合以减少传输的数据量,有效节省能量。又由于传感器节点的易失效性,因此传感器网络也需要数据融合技术对多份数据进行综合,以提高信息的精确度。数据融合技术可以与传感器网络的多个协议层次进行结合。在传感器网络的设计中,只有面向应用需求设计针对性强的数据融合方法才能最大限度地获益。但数据融合技术也存在缺点,它节省能量、提高信息准确度是以牺牲延迟性和鲁棒性等性能为代价的。

(7)数据管理。从数据存储的角度看,传感器网络可被视为一种分布式数据库。以数据库的方法在传感器网络中进行数据管理,可以将存储在网络中的数据逻辑视图与网络中的实现进行分离,使传感器网络的用户只需要关心数据查询的逻辑结构,而不用关心细节实现。无线传感器网络数据管理系统的结构主要有集中式、半分布式、分布式以及层次式结构。无线传感器网络中数据的存储采用网络外部存储、本地存储和以数据为中心存储等方式。

(8)嵌入式操作系统。在无线传感器网络中,每个传感器节点都是一个微型的嵌入式系统,内部的硬件资源有限,需要操作系统对其有限的内存、处理器和通信模块进行节能高效的使用,并提供最大的支持。在无线传感器网络的操作系统支持下,多个应用可以并发地使用系统的有限资源,因此,嵌入式系统也是传感器网络领域的重要研究内容。

1.2 应用背景

目前,我国农业正处于由传统向现代转变的关键时期,这个阶段必然要求以

科学发展观统领农业、农村工作,加快农业增长方式、节约使用自然资源和生產要素,优化农业、农村经济结构提高土地产出率、资源利用率、劳动生产率,减少污染,实现农业可持续发展。我国农业已进入了“工业反哺农业,城市支持农村”的历史发展新阶段。

2004~2007年,中央连续发布的4个“中央一号文件”都有不同鲜明的主题,在以前政策的基础之上明确提出,社会主义新农村建设要把建设现代农业放在首位。在目前农业自然资源不断减少、生态环境没有扭转恶化趋势的情况下,农业要想进一步发展,就必须要求农业转变增长方式,必须加快推进农业生产手段、生产方式和生产理念的现代化,实现农业又好又快发展。

现代农业的核心是科学化,特征是商品化,方向是集约化,目标是产业化。信息技术的发展和应用,加快了现代农业发展的节奏,信息技术尤其对科学技术的传播、市场供求的对接等起到了革命性的推动作用。数字农业作为农业信息化科学技术研究的重要内容,其科技创新成果的农业示范应用,将是21世纪农业科技进步的重要标志之一。信息的获取(测试、传感、计量技术)、传输(通信技术)、处理(计算技术)和应用(系统集成与建设现代农业)是数字农业研究的四大要素。

先进传感技术和智能信息处理是保证正确定量获取农业信息的重要手段。随着现代微电子技术、微机电系统、嵌入式系统、无线通信技术、信号处理技术、计算机网络技术等的发展,传统的传感器信息获取从独立的单一化模式向集成化、微型化方向发展,进而向智能化、网络化方向发展,成为农业应用过程中信息获取的最重要和最基本技术之一。

早在20世纪70年代,就出现了将传统传感器采用点对点传输、连接传感控制器而构成传感器网络的雏形。随着相关学科的不断发展和进步,传感器网络同时还具有了获取多种信息信号的综合处理能力,并通过与传感控制器的相连,组成了有信息综合和处理能力的传感器网络。从20世纪末开始,现场总线技术开始应用于传感器网络,人们用其组建智能化传感器网络,大量多功能传感器被运用,并使用无线技术连接,无线传感器网络逐渐形成。

无线传感器网络是顺应以上趋势而产生的新技术,综合微电子、嵌入式计算、现代网络及无线通信、分布式信息处理等先进技术,能够协同地实时监测、感知和采集网络覆盖区域中各种环境或监测对象的信息,并对其进行处理,处理后的信息通过无线方式发送,同时以自组织多跳的网络方式传送给观察者,是具有大规模、无线、自组织、多跳、无分区、无基础设施支持特征的网络。

传感器网络为农业各领域的信息采集与处理提供了新的思路和有力手段,弥补以往传统数据监控的缺点,已经成为农业科技工作者的研究热点。借助这

种技术手段,能够实时提供用户/农民地面信息(空气温湿度、风速风向、光照参数、CO₂浓度)、土壤信息(土壤温度、湿度、张力、墒情)、营养信息(pH值、EC值、离子浓度)、有害物监测与报警(动物疾病和植物病虫害)、生长信息(植物生理生态信息、动物健康监测)等。这些信息为用户调整相关策略,帮助农民及时发现问题,并准确地确定发生问题的位置,这样农业有可能渐渐地从以人为中心、依赖于孤立机械的生产模式,转向以信息和软件为中心的生产模式,从而大量使用各种自动化、智能化和网络化的生产设备,真正实现无处不在的数字农业。

由于农业生产覆盖区域很大,需要由大量传感器节点构成监控网络,采集土壤湿度、N元素浓度、pH值、降雨量、空气温湿度和气压等信息,以帮助及时发现农业生产中的问题。由于科学技术发展的阶段和水平不同,所采取手段的先进程度也不同。在传统的农业生产中,农业信息的获取一般通过人工记录和分析,然后手工输入计算机,由上层的信息管理软件进行处理,将数据保存到数据库或生成相应的报表。目前,常用的采集系统,以信息采集为主,能将现场数据直接通过采集器或控制单元送入计算机,同时完成相关的处理分析。从现场传感信息获取到操作间的数据分析决策,基本上都是采用有线方式(图1-2、图1-3),给现场安装维护带来不便。采用无线传感器网络构建监控网络,具有部署方便、成本低廉等优势,可以有效地实现环境信息的采集和传输,是农业环境信息测控的重要发展趋势。

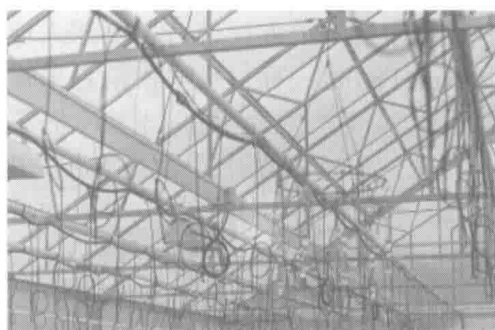


图 1-2 传统温室内传感器布线 1

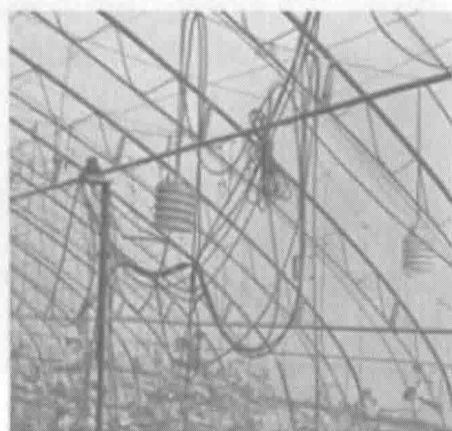


图 1-3 传统温室内传感器布线 2

作为十大改变未来世界新兴技术之首的无线传感器网络,正在被迅速普及应用。无线传感器可与信号处理电路、无线通信单元集成在一起,价格很低,尺寸很小,实现低功耗的信息采集与处理装备,实际上任何元件都可以嵌入到一个微型无线传感系统,并与许许多多的其他器件网络相连接,从而影响到人类行为

的一些重要变化。信息与通信技术的快速发展,已给全球农业发展带来明显影响,成为加快传统农业现代化的驱动力。新技术的装备与应用提升了产业竞争力,无线传感器网络的广泛应用必将给农业带来重大变革。

1.3 国内外现状

1. 国外研究与应用情况

发达国家在利用网络通信技术进行农业科学技术传播与推广,以及进行远程咨询服务等方面开展了大量研究。Serodio 等开发了一个近似分布式的无线数据采集和控制系统,用于管理一组温室。在每个温室中,基于 433.92MHz 的无线网络用来连接传感器网络和本地控制器,控制器区域网络用来连接执行器网络和本地控制器,几个本地控制器通过另外的 458MHz 射频连接到一台中心 PC,高层次的数据通信通过以太网连接中心 PC 和远端网络。

McKinion 等建立的基于无线网络的通信系统,将农场内的机器如棉花采摘机、喷灌机、变量施肥机和个人通信设备与基站相连,通过无线通信网络为这些机械提供农田信息和操作指导。

Mizunuma 等配置了一个农田和温室的无线局域网用于监控作物的生长,并实现生产系统的远程控制,研究结果认为这种远程控制策略模型能够有效改善生产力,并大大减少人力需求。

Hirafuji 等在利用无线传感和通信技术监测作物长势方面进行了更深入地研究。他们研究开发的农田服务器(field server, FS)是一种自动农田信息采集设备,可以在农田自动测量环境温度、湿度、风向和风力、土壤温度、土壤水分等参数,24h 连续监测农田作物的长势状态,有特殊的传感器和计测装置观察农田虫害情况并记录害虫的密度。系统采用无线通信技术与互联网相连,可以在世界上任何地方通过互联网或手机获得观测数据或实施观测农田作物长势。该系统的另一个特点是采用先进的网格技术进行信息的发布与获取。

图 1-4 所示为以色列耐特菲姆灌溉公司提出的无线作物监控系统,采用星形无线数据传输通信方式测量气象信息、土壤信息等构建无线作物监控系统,这也是目前主流的无线测量模式。

随着无线传感器网络的提出和深入研究,国外在该领域已初步推出相关产品并得到示范应用。美国加州 Grape Networks 公司为加州中央谷地区的农业配置了“全球最大的无线传感器网络”。该网络覆盖 50 多英亩(1 英亩 =

4046.86m²)地,配置200多个传感器,通过网络传送葡萄园的关键数据,包括精确的传感器位置、温度、湿度和光照度。传感器模块是可移动的,被埋置于葡萄树旁边。葡萄园操作经理可以在任意网络蜂窝电话或电脑上观看数据,还可以通过网络或电子邮件设置临界值。

该公司的负责人认为:“该应用将有限的网络世界连接到真实的世界。互联网在20年内需要改变,但是仍局限于虚拟世界,我们将虚拟世界和真实世界连接,将一个全新的领域带入了因特网。”该公司开发的Climate Genie系统,综合运用互联网、数据库管理软件、智能机器、低功耗无线电接收装置和小型传感器。

研究人员把无线传感器节点布放在葡萄园内,测量葡萄园气候的细微变化(图1-5)。他们发现葡萄园气候的细微变化可极大影响葡萄酒的质量。通过长期的数据记录以及相关分析,便能精确地掌握葡萄酒的质地与葡萄生长过程中的日照、温度和湿度的确切关系。葡萄园在配置了这种传感器网络系统之后,可以得到甚至比现今的精准农业技术更高级别的监控。葡萄园管理人员将传感器模块采集的数据在网络内部汇总,通过WiFi、蜂窝数据或者卫星发送到互联网,可在全球范围内通过网页浏览器观看。

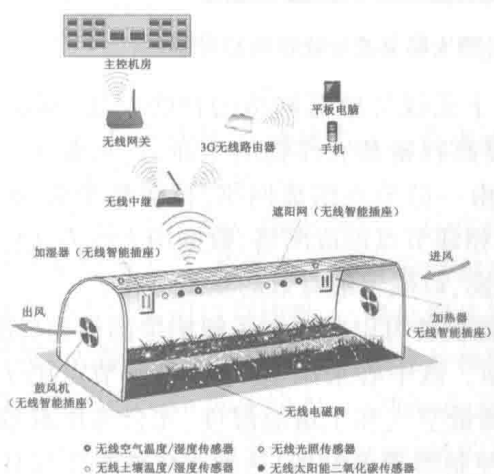


图 1-4 以色列耐特菲姆的无线作物监控系统

图 1-5 无线传感器网络在葡萄园的应用

2002年,Intel研究中心伯克利实验室研究人员采用通常的跟踪方法来了解缅因州海岸的大鸭岛生态环境,生物学家借助传感器网络对海燕的生活习性进行了细微观测。因为人的存在会惊扰这些比较敏感的小生命,无人值守的传感器网络实施监测便有了用武之地。

海燕监测项目中带有摄像头的传感器节点安装在海燕巢穴中,红外传感器用于探测海燕是否在巢内,温度、压力、湿度和海拔高度等各种有用的数据被周期性采集,通过层次性的网络最终被汇聚到数据处理中心,并将数据传输到 300 英尺外的基站计算机,再由此经卫星传输至美国加利福尼亚州的服务器(图 1-6)。类似的借助传感器网络进行生态观测与研究的项目还有很多,如红杉树观测、生态系统监测等,均在各自的应用领域取得了不小的反响。

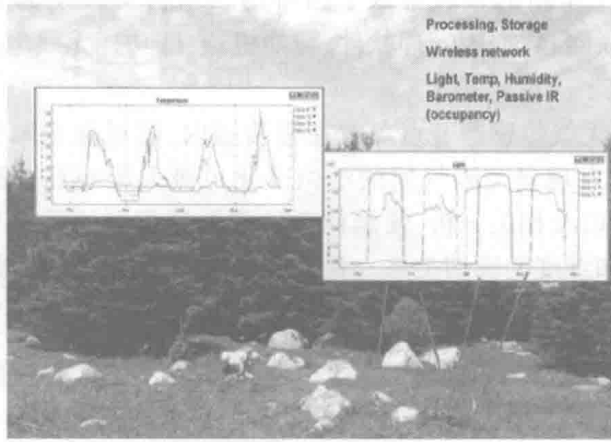


图 1-6 无线传感器网络用于检测大鸭岛的生物环境实景图

澳大利亚 CSIRO 研究中心开发了基于无线传感器网络的智能农场(Smart Farm),可以增强农业发展的可持续性,提高牲畜和农作物的生命力,克服水和劳动力等资源日渐紧张的问题。传感器由一群节点组成网络,覆盖整个农场。每个节点测量土壤湿度等各种信息,通过相邻节点形成网络,数据用无线方式传送到中央数据库,经分析可获得土壤湿度图,以确定最有效的灌溉方式。

CSIRO 研究中心利用网络和 GPS 定位设备可以监视和了解奶牛的行为(图 1-7),建立在不同环境下牲畜行为的模型。该中心采用 10 个微气候节点用于昆士兰大学的温室育苗(图 1-8),节点测量空气和土壤温湿度、光合作用有效辐射情况,最终采用 Fleck 的控制功能来控制喷雾等设备,达到优化作物生长环境的目的。