

# 无线传感器网络技术环境应用进展

官 鹏

中国科学院 遥感应用研究所、北京师范大学 遥感科学国家重点实验室, 北京 100101

**摘 要:** 过去 10 年来, 无线传感器网络迅速发展成一门应用技术。它是遥感技术的扩展。文章介绍近年无线传感器网络技术在环境应用中的进展。主要包括无线传感器网络技术在全球变化和生态研究、土壤环境、空气质量、水环境及水文、精准农业等领域的监测以及在目标跟踪方面的进展。总结无线传感器网络技术发展过程中的主要挑战, 并对其未来环境应用中的重点发展方向进行了展望。

**关键词:** 生态传感器, 环境监测, 无线通讯, 全球变化

**中图分类号:** TP79      **文献标识码:** A

**引用格式:** 官 鹏. 2010. 无线传感器网络技术环境应用进展. 遥感学报, 14(2): 387—395

Gong P. 2010. Progress in recent environmental applications of wireless sensor networks. *Journal of Remote Sensing*, 14(2): 387—395

## 1 无线传感器网络技术概述

无线传感器网络(WSN)技术是指将传感器技术、自动控制技术、数据网络传输、储存、处理与分析技术集成的现代信息技术(官鹏, 2007)。WSN 由具备记忆能力的存储器、处理器、传感器、无线通讯和电池等硬件组成。在环境监测中应用 WSN 是遥感技术的新的生长点。Whelan 等(2008)把无线传感器网络在环境监测中的应用称为大尺度遥感。在环境应用中, 无线传感器网络和有线网络结合被称为环境传感器网络或生态传感器网络(ESNs)(Rundel 等, 2009)。对科学索引网(ISI Web of Science)搜索发现, 过去 10 多年来, 有关无线传感器网络的论文急剧增多。1998 - 2001 年发表 13 篇, 但是 2002 - 2005 年成倍增长, 到 2006 - 2007 年每年发表 400 多篇, 2008 年发表 587 篇。到 2009 年 6 月初, 已经发表 290 余篇。《商业周刊》把 WSN 技术做为 21 世纪 21 项最重要的技术之一(Evans 等, 2008)。

WSN 的传感器一般与小型计算机和无线发送装置集于一体, 称作网络传感器节点。每个节点可以挂接机械的、热、生物、化学、光学和磁力传感器。一般置于观测对象的附近, 或与观测对象直接

接触, 甚至埋于感兴趣观测对象中。获得关于观测对象的图像、声音、气味、震动等物理、化学、生物学特性。人们通过手机、因特网等无线通讯技术控制传感器开启或关闭, 获得各种数据, 对所获数据进行显示、储存或分析, 并通过网络传输到数据收集中心。它的发展及其广泛应用主要归因于传感器技术的微型化、智能化、廉价性和数据无线传输的可能性。网络传感器节点置于野外, 自己就能寻找附近的同类传感器网络节点, 实现相互间的网络通讯, 指令和数据传输, 并自动构建网络拓扑。其中之一不工作后, 节点间可以自动跳接到其他工作的节点。最后通过网络路由器传到一个总站服务器上(图 1)。每个节点既可以获得位置, 又可以获取相关的环境特征数据。

WSN 比一般的网络在设计和资源利用上有诸多的限制。设计限制来自所观测的环境。环境应用决定对网络复杂度、节点数、拓扑结构和网络搭建方案的设计要求。当观测环境人力不可及或对人到达太危险时, 或需要的节点数无法逐个安装完成时, 即兴网络搭建方案比提前规划好的网络搭建方案更有效。环境屏障可能会影响节点间的连接性, 从而影响网络拓扑结构的设计。在资源限制方面, WSN

收稿日期: 2009-06-08; 修订日期: 2009-07-08

基金项目: 国家 863 高技术计划项目(编号: 2006AA12Z112)和国家科技支撑计划项目(编号: 2006BAJ01B02)。

第一作者简介: 官鹏(1965—), 研究员, 主要研究方向是利用各类遥感技术监测从局部到全球尺度的环境变化, 对环境变化进行建模, 并在环境与健康领域开展应用。E-mail: gong@irsa.ac.cn.

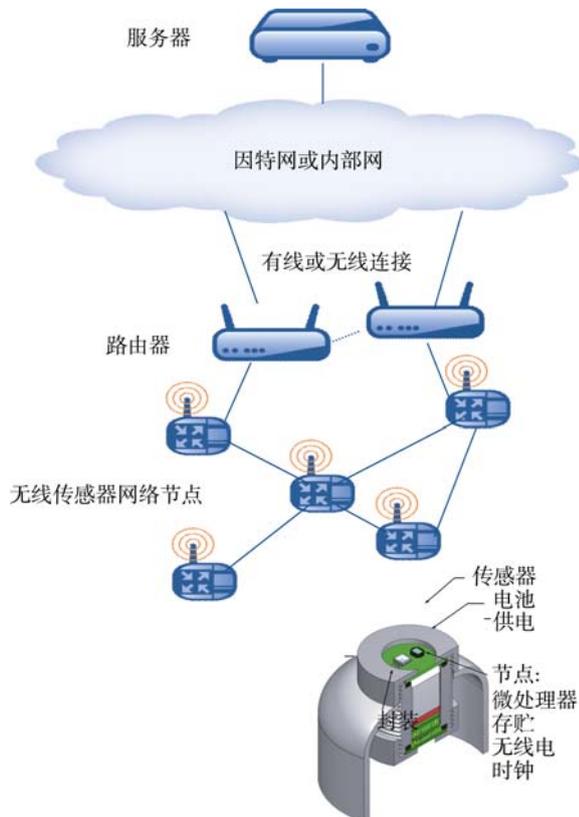


图1 无线传感器网络示意图

Fig. 1 An illustrative diagram for wireless sensor network  
一般能源有限, 传输距离较短, 带宽较低, 处理器的速度和存储容量也较低。

Yick 等(2008)把 WSN 每个节点需要具备的核心技术内容归纳为 3 部分: 系统, 通讯, 服务。每个网络节点是一个系统。系统主要由硬件平台(类似一个计算机)、操作系统和存储方案组成。通讯部分主要是指为完成一项应用任务所需要的与传感器和用户的通讯协议, 包括节点间的通讯协议。服务部分主要为加强 WSN 的应用能力、提高系统性能以及改善网络效率所需要的各种技术。服务部分的主要内容包括: 定位、节点覆盖范围、安全、同步、数据汇总和多层网络的优化等。对于由网络节点组成的 WSN, 其关键技术是网络的自组织能力、数据传输精度和效率, 以及降低能耗, 捕获能量的能力等。表 1 列出目前市场上可以购买的部分 WSN 技术产品。表 2 列出了 IEEE 通讯标准以及部分 WSN 采纳的标准。表 3 列出部分适合生态系统监测的传感器。

## 2 无线传感器网络应用

自从 WSN 概念提出以来, 人们就把眼光放置于其潜在的巨大应用市场上。表 4 列出了 WSN 的应用领域。WSN 的应用主要分为两大类, 一类是动态监测, 另一类是目标跟踪。每大类再按行业细分成一系列的应用。下面简述环境应用进展。

表 1 市场上可以购买到的无线传感器节点及网络产品举例

Table 1 Some examples on wireless sensor node and network products available on market

厂商	产品型号	说明
Arch Rock	PhyNet 服务器、路由器、多种节点	在电力、生态、精准农业、邮件跟踪、矿山管理、灾害监测等多种室内和室外应用。采用低能耗无线 802.15.4 TCP/IP 协议。特色: 每个节点拥有一个 IP 地址
Crossbow	节点: Mica2, Mica2Dot, MicaZ, Stargate, MIB600 传输界面: MIB600 Ethernet, MIB510 Serial, MIB520 USB	Mica2, Mica2Dot 使用 Atmel ATmega128L 主控板, MicaZ 把 Mica 数据传输速度提高到 250 kb/ps。MICAz 支持 IEEE802.15.4 and ZigBee。支持与光、压力、温度、声、加速仪、磁力等传感器。Stargate 使用 Intel PXA255 处理器, 存储加大, 与 Mica 兼容。应用于地震、环境、安全、仓库、健康等部门。
Dust network	SmartMesh-XT motes: M1030, M2030, M2135 SmartMesh-XT 管理器: PM1230, 2030, 2130	SmartMesh-XT motes 可靠低能耗节点。电池寿命长达 5 - 10a。9 个 I/O 接口, 1 个串口, 7 个模拟信号输出。SmartMesh-XT 管理器可以鼓励 250 个节点。室内(10-30 m) > 室外(100 m)传输距离
Millennial net	MeshScape 916 MHz 和 2.4 MHz: node, gate, end nodes Mesh485: sub-based router, router, 和 bridges	MeshScape Node 低能耗具有睡眠和唤醒功能。多种数据传输路径, 避免掉包。能通过格网网关设置。MeshScape gate 对节点实行监督和设置。EndNode 与传感器和作动器集成。Sub-base routers 可以链接传感器也为节点和网络桥梁提供界面。Routers 扩展节点与网桥的传输距离。
Moteiv	T-Mote T-Mote Connect	低能耗 MSP430 F1611 主控板。T-mote 支持多种链接, 可以通过 USB 链接主机, 温、湿、光探测器直接集成到主板上。无线传输距离 50 - 125m。网关支持入网, 因特网接入, 每个网关仅支持 2 个 T-Mode
Sensicast	Sensicast EMS 和 RTD 节点 Sensicast 网桥, 网格路由器	Sensicast EMS 节点提供实时温度和湿度测量。电池寿命 3a。Sensicast RTD 节点是无线温度装置。电池寿命 1.5-2a。Sensicast 网桥节点管理和监视网络。Sensicast 网桥通过 RS232, USB 或因特网通讯。Sensicast 网格路由器是网络重复器保证网络可靠性。

表 2 IEEE 主要的通讯协议标准

Table 2 Major communication protocols by IEEE standards

标准代码	802.15.4	802.15.1 (Bluetooth)	802.16 (WiMax)	802.11	802.3
协议类型	WPAN	WPAN	Metro Area	WLAN	LAN
能源寿命/d	100—1000+	1-7	电力系统供电	0.1-5	电力系统供电
网的节点数	65535	7	P2P, P-MP	30	1024
带宽	20—250 Kb/s	720 Kb/s	75Mb/s	11(b)—108(n)Mb/s	10Mb/s-10Gb/s
距离/m	1—100+	1—10+	50000	1—100+	185 (有线)
目的	低能耗, 大范围, 低价格, 无线	替代网线	替代网线	家庭无线应用	常规有线应用

表 3 生态传感器举例

Table 3 Example ecological sensors

类型	举例	备注
物理类	温度	价格低到中等, 性能可靠, 耗电量低
	相对湿度	价格中等, 性能可靠, 耗电量低
	叶子湿度	价格便宜, 性能可靠, 耗电量低
	土壤湿度	价格低到中等, 需要测量校正, 耗电量低, 选择很多
	总辐射	价格中等, 测量校正后可靠, 耗电量低
	风速风向	
	风杯仪	价格低到中等, 低能耗, 微风敏感度差
	热线风速仪	中等价格, 可靠度低, 能耗高
	声波风速表	价格中等到昂贵, 高可靠性, 中等电耗
化学类	大气 CO <sub>2</sub>	贵, 可靠, 中等耗电, 需要仔细校准
	土壤 CO <sub>2</sub>	价格中等、可靠、低耗电、需要校准
	土壤 CO <sub>2</sub> 通量	贵, 可靠, 中等耗电, 需要仔细校准
	氮传感器	贵, 正在开发用于陆地生态系统的仪器
	磷传感器	还没有用于陆地生态系统的仪器
生物类	数字成像仪	中等价格、可靠、中等耗电, 高带宽, 需要相关软件
	根系成像仪	贵, 耗电差异较大
	汁流传感器	价格中等, 需要控制系统, 需要校准
	声音传感器	中等价格、可靠、中等耗电, 高带宽, 需要相关软件

2.1 全球变化和生态研究应用进展

由于环境科学、工程和信息技术的交叉, 生态研究正经历一场前所未有的技术革命。环境感知的硬件和软件的价格不断下降、硬件尺寸和重量等均随电子器件的微型化大幅降低, 性能不断提高。这些进步与网络技术发展相结合为回答生态系统复杂过程中的关键科学问题提供了重要的技术保证。这些技术的集成就是环境传感器网络(ESN)。人们开始在不同尺度的栖息环境监测中应用 ESN。空间尺度大到大陆尺度传感器网络监测, 小到数米尺度的植物环境。时间尺度从秒级林下太阳光斑动态, 到逐日尺度的 CO<sub>2</sub> 通量, 直到年代尺度的温度趋势。人们使用地面以上的传感器系统和地下土壤传感器测

量生态系统的物理和生物过程。使用水下和河岸带传感器监测地下水和养分动态。最新的动态是把一系列复杂的成像和录音传感器组装到一起进行声像一体化的生态系统观测。

美国即将实施的国家生态观测网(NEON)计划构建 20 个区域生态观测台, 用于长期观测生物圈对土地利用和气候变化的响应以及土壤圈、水圈和大气圈的相互反馈机制(Keller 等, 2008)。为了监测湖泊功能以达到加深对气候和土地利用变化引起的关键湖泊生态过程变化的理解, 湖泊生态学家、信息技术和工程技术人员正在建立全球湖泊生态观测网(GLEON)。这些网络的共同特点是大量使用定点和移动的地面传感器网络技术和全面共享所得数据。

表 4 无线传感器网络技术的应用  
Table 4 Major applications of wireless sensor network technology

监测	公共卫生	病人监护
	商业	货物监测
	自然保护	动物监测
	公共设施/工业	建筑设施监测
		工厂监测
		清单监护
		机械监测
	环境	天气/气候
		水体/水质/水文
		土壤
		空气质量
		生态
	农业	全球变化
		大棚监测
		灌溉监测
	灾害	温度/霜冻监测
		地震监测
洪水		
干旱		
跟踪	火灾	
	自然保护	跟踪动物
	商业	跟踪人
	公共/工业	跟踪交通
跟踪车辆		

## 2.2 土壤环境应用

全球对 CO<sub>2</sub> 和养分通量的管理需要改进人们对土壤和大气的碳、氮交换机制的理解。在陆地生态系统中, 植被通过光合作用捕获大气中的 CO<sub>2</sub>, 并把它们存储到根系及根区微生物中。但是, 人们对于这个土壤根系过程至今没有很好的理解。使用传感器网络技术测量土壤中的各种交互作用和动态过程来提高对土壤根系呼吸作用的理解。传感器网络技术可以帮助实时了解土壤自氧和异氧呼吸的时间动态。现在, 定点测量根系生长时的 CO<sub>2</sub> 通量已经成为可能(Baldocchi 等, 2006)。Allen 等(2007)使用土壤内部成像技术获取土壤中植物微根逐日生长动态。还搭建了由一系列土壤传感器组成的传感器网络用于监测 CO<sub>2</sub> 通量、土壤纹理、土壤温度、湿度、硝酸根、氮氢化合物等的浓度。由于不能直接看到土壤下部的结构, 布设土壤传感器又要求对土壤环

境的扰动最小化, 所以需要使用探地雷达等设备预先对土壤下部岩石、水位、植物粗根等进行探测。今后的趋势是把这些传感器链接起来构建密集的土壤观测网络, 利用无线传输技术收集土壤成像和通量数据。

## 2.3 空气环境应用

现在多数城市安装了空气质量监测装置, 但一般架设在背景测量或已知的污染热点地段。在广大的农村地区却没有监测设施。城市中监测设施的布点数量也不多。实际上高污染地段也随时间变化。一般只能提供逐日平均空气质量状况。由于城市空气质量状况是瞬息万变, 而且城市的车辆交通是一个大污染源。它不仅影响当地的空气质量, 还是噪声源, 并对附近水源造成污染, 最终影响气候变化。车辆交通的污染排放包括: 苯(C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), 1,3-丁二烯, 一氧化碳(CO), 铅(Pb), 二氧化氮(NO<sub>2</sub>), 人们臭氧(O<sub>3</sub>), 颗粒物(PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>) 和二氧化硫(SO<sub>2</sub>) 等。通过大量研究人们基本了解了这些污染对环境和健康的影响。但是对其时空变异格局了解较少。由于空气污染时空分布的监测受到监测站点少而且固定、布点不合理、不能线上处理等的限制, 近些年, 人们不断尝试设计廉价的、无处不在的传感器网络。将它们用于大范围、实时、全面的城市环境监测。此外, 人们特别关注发展可移动的便携式空气质量监测与定位装置(Wallace 等, 2009)。Ma 等(2008)设计了一种空气污染监测系统可以固定于城市街道或架设到公交车上进行移动和定点空气质量集成测量。该系统包括一种称为 MoDisNet 的分层分布式监测网络。在这个网络中, 移动式的监测仪器可以对原始采集数据做初步处理, 然后无线发送到最近的路边定点监测节点, 最后传回到数据采集中心。他们还自己制作了传感器, GUSTO(通用此外传感技术及观测)。GUSTO 能同时探测多种污染气体(SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, 苯等)浓度, 实时获取数据并将数据无线传输到附近节点。GUSTO 价廉、稳定而且精确。数据传输速度可以达到 1 次/s 的频率。

## 2.4 水环境应用

传统水质监测通过采集水样, 然后经实验室测定。水质监测的内容包括能够反映水的物理、化学、生物学特性的沉积物、悬浮物、叶绿素 a、溶解有机物、溶解氧、盐分、氮、磷等养分含量等。能够通过遥感实时测量的内容包括有色溶解有机质浓度、叶绿素 a、沉积物以及水体的一系列内在的光

学特性。此外,水体的物理特性如温度、水深、流速、流向等也能实时定点获得。近些年逐步发展出基于无线传感器网络的水体物理性质和水质状况的监测装置。Yang 等(2002)提出建立水中无线传感器网络开展实时测量的设计(图 2)。中国太湖已经架设了类似的测量仪器。Hemond 等(2008)设计了一种半自动实地水化学测量系统用于实时测量湖水的化学性质并实时传输到岸上的数据接收站。这种系统由安装在固定浮标上的传感器和搭载在自动水下潜水器(AUV)中的传感器联网组成。传感器包括水质探头和温度计以及能够测量甲烷等溶解代谢气体和常规气体的 NEREUS 水下质谱仪。水下数据传输通过

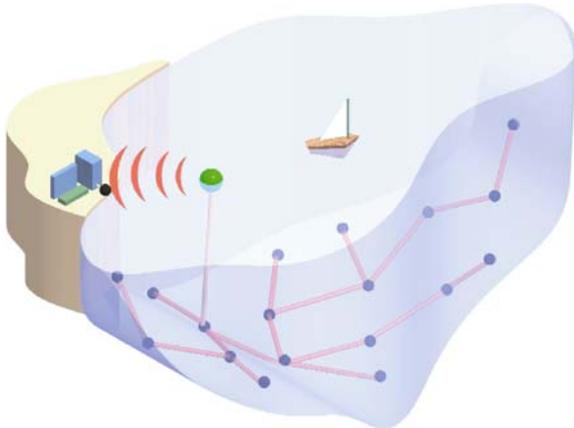


图 2 水体定点监测无线传感器网络应用示意图 (Yang 等, 2002)

Fig. 2 Aquatic sensor network illustration

声学调制解调器实现,水上数据通过使用 IEEE 802.11b 协议的无线网络实时传送到岸上数据接收站。

美国纽约港及上游河道和河口海域架设了多个定点无线传感器网络节点并构建了一个纽约港观测与预测系统(NYHOPS)(图 3, 图 4)。该系统把定点测量、模拟和常规预测模型结合起来在线实时显示纽约港周围的水情。水情信息包括:海面风速风向、水位、水温、盐度、浪高和波浪周期等。

海岸代和珊瑚礁生态系统管理需要及时获得相关的环境数据及环境变化趋势。De Freitas 等(2009)提出澳大利亚大堡礁海域管理和决策需要使用环境传感器网络技术。为此,需要发展大堡礁生物监测点的海水水质测量、水循环格局和洪水与海水混合水质、混浊度、光合作用有效辐射、叶绿素 a 等环境参数,并建立统一的监测标准。

一般液体深度测量仪需要把探头置于液体当中实现。Kuang 等(2008)制作了塑料光纤探头,与传感器节点(MICA2DOT)链接实现非接触液体水平测量,并用于水位测量。这种仪器可以用于洪水水位涨落测量。

2.5 精准农业应用

美国华盛顿州 20 世纪 80 年代在全州铺设了公共农业气象系统网。其最初目的是为节水灌溉和霜冻监测提供区域蒸腾估计。近年来,该农业气象网在综合虫害治理方面也发挥了作用。这套系统收集

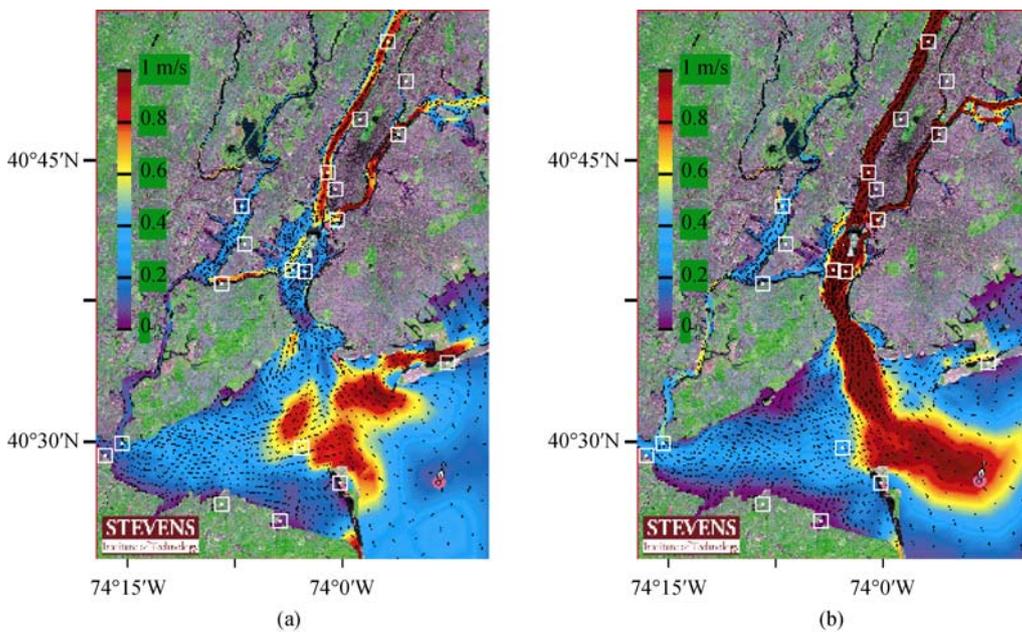


图 3 纽约港河口实时水面风场观测与预测图

(a) 2009-06-04 15:00-16:00; (b) 2009-06-05 0:00-1:00

(NYHOPS, <http://www.stevens.edu/maritimeforecast> ). 图中中间带点的白框为定点节点布设位置

Fig. 3 Real-time wind field mapping with the New York Harbor Observation and Prediction System(NYHOPS)

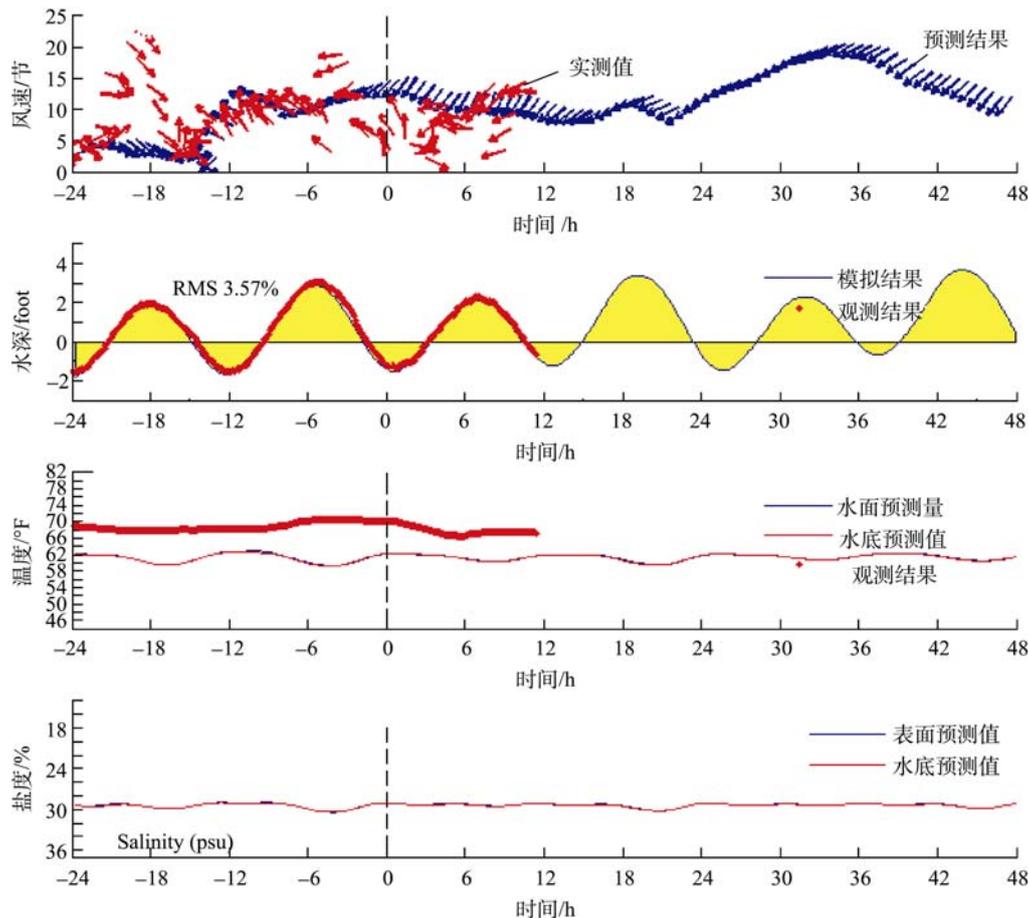


图4 纽约港河口外部定点测量时序数据及预测图

Fig. 4 Some of the onsite real-time observation and prediction examples taken from a specific node from the NYHOPS

的数据在 1997 年实现了网上共享。但是, 这套技术的数据存储、租凭特定传输频率对数据每小时传输一次的数据传输技术已经过时。为此, 华盛顿州立大学精准农业系统中心开发了 2 套无线传感器网络 (Pierce & Elliott, 2008)。一套是基于 AWN200 硬件技术的区域无线传感器网络技术, 已经配备到华盛顿州的所有农业区。另一套是农田霜冻监测的无线传感器网络技术(SS100)。在原来农业气象系统网点技术上设计的 AWN200 是一套具有 3 层系统拓扑结构的无线传感器网络, 通过节点(slave)—复制器(repeater)—主数据站(master)的结构把原来的系统数据存储和传输功能全面更新。每个 AWN200 节点有 TCP/IP 协议, 可以直接入因特网。每个农业气象节点能够获得太阳辐射、气温、相对湿度、叶子湿度、降雨、风速、风向、土壤温度和湿度。每个节点的能量供应根据电力条件, 有交流电的用交流电, 否则用太阳能和电池相结合。AWN200 硬件包括数据存储器和, 900 MHz 变频扩谱(frequency hopping, spread spectrum (FHSS))大范围无线电传输设备。一个主数据站与多个复制器构成一个区域的无线传输

主干网。节点由复制器链接。再由主数据站组网形成整个网络并接到中心数据库, 为后续处理和发布提供支撑。AWN200 的软件由硬件上的固化软件和农业气象系统网应用软件(AgWeather-Net (<http://www.eather.wsu.edu>))两部分组成。SS100 是一套更加价廉的数据存储—无线传输及相应软件。能够提供可移动、实时数据获取和管理。这 2 套技术已经商品化。

传统节点有效传输距离有限(0.1—1km 级), 对大区域布设无线传感器网络带来困难。Jurdak 等(2008)提出一种多层的可扩展的传感器统一管理与控制结构(SUMAC)用于农田无线传感器网络建设。通过在传统节点上增加一层中程无线网状网络为分散的小范围节点簇搭建一个大范围数据获取的桥梁。SUMAC使用统一的协议, 减少因特网使用需求, 使网络用户拥有完整的数据所有权。这种网络结构容易管理, 安全、快捷、节电, 而且便宜。

农业灌溉系统当中, 对农田灌溉决策最重要的 2 个因素是作物物候和土壤湿度。除了取土烘干——称重法外, 人们设计了张力计, 电阻传感器和介电传

传感器间接测量土壤湿度。Pardossi 等(2008)利用无线传感器网络技术搭建土壤层传感器平台监测土壤湿度。他们考虑了缺水性灌溉、零径流灌溉、灌溉施肥(Fertigation)情况下的土壤层传感器土壤湿度测量应用。

Kotamäki 等(2009)在芬兰南部一个流域搭建了 SoilWeather WSN 用于采集农业气象、土壤湿度、水体混浊度等信息为农业和水利管理决策服务。着重研究如何有效维护网络系统,减少数据误差。经过验证,网络能够提供近实时、连续的高精度农情参数数据。他们认为面对大量连续数据需要进一步研究原始数据处理和网络维护能力,同时不同用户的数据共享也对未来大范围数据获取与应用构成挑战。

## 2.6 运动目标探测、识别、计数与跟踪

目标跟踪是无线传感器网络的一项重要应用。目标跟踪的内容包括探测、识别、计数与定位等环节。由于视频数据工作量大,受光照条件等的限制,一般采用音频传感器。发声目标的探测依靠设置一定声音能量阈值,通过传感器探测到超过阈值的声音做为目标探测成功的标志。然后需要对探测到的声音信号做出识别,一般采用的方法是对获得的能量谱做小波变换或傅立叶变换,在变换空间提取一定特征,再将提取的特征与目标库已经存储的各种目标特征进行比较。目标识别一般采用探测到目标的特征与目标库样本逐一计算距离然后对距离进行比较的 k-NN 方法。识别后的目标,可以按时间区间进行计数,统计目标数量。目标定位一般通过传感器网络节点位置及目标被传感器的信号强弱进行距离估计。运动目标跟踪可以通过多种方式完成。一种是中央处理,即将所有音频信号通过无线传感器网络传回到信息汇集终端的中央处理设备,探测—识别—计数—定位等统统由中央处理器的计算机完成。其他方案是把部分跟踪任务或整个跟踪过程在网络节点上完成,这样要求节点具有较强的运算能力,从而降低数据通讯量。目前的技术已经能够在网络节点实现探测、识别等功能。例如, Malhatra 等(2008)提出基于音频传感器网络对车辆目标识别的分布式分类算法。这一技术具有一定的普适性,对探测发声的人、动物、特别是在保护区的野生动物等目标跟踪有应用价值。Nadimi 等(2008)在 MTS310 传感器板上安装一个两轴加速测量仪并将数据通过单跳无线传输设备传到数据采集中心。集成的系统能够将牲畜运动时的角度及速度估计通过

ZigBee 通讯协议传到数据采集中心,进行后续分析。他们使用决策树的分类方法将牲畜的运动进行分类,获得牲畜活动习性信息。

## 3 无线传感器网络技术未来挑战与展望

### 3.1 数据采集与管理的挑战

随着无线传感器网络技术的发展,将会获得越来越多的时间序列数据。目前人们习惯的实验室数据管理和空间数据为主的管理模式不适合管理大量的时空数据。为了适应无线传感器网络技术的需要必须加快时空数据处理和管理的研究。同时还需要加强原始数据中误差和不确定性的研究,加强数据存储、处理和传输过程中的质量检验和控制。

### 3.2 能源供给有效性的挑战

无线传感器网络技术发展初期主要使用低功耗的温度、湿度等传感器,节点上的能源需求主要来自无线传输和处理器。虽然处理器和无线传输装置可以继续向微型化发展,但是无线传感器网络需要链接更多样的传感器,许多传感器耗电量很大。在遥远环境下有效供给节点及相应传感器的能源仍将是一个挑战。

### 3.3 无线通讯的标准问题

传感器网络的标准不统一,体现在多个层面,硬件平台不统一,操作系统不统一。目前有各种各样的无线通讯协议,不同生产厂家没有统一的标准。IEEE 802.11 无线通讯标准能够传送很大数据量,但是耗电量很多。IEEE 802.15.4 无线个人区域网(WPAN)是为省电而设计标准,但是要求短时间的数据传输操作,因此也不能传输大量数据。因此,还需要开发新的无线通讯标准。

### 3.4 展望

前面提到,目前无线传感器网络采集的数据主要是温度、湿度等标量数据,对摄像等视觉数据的采集和传输能力均有限。人们已经开始发展视觉传感器网络(VSN)技术。并将其视作无线传感器网络技术的专门领域(Akyildiz 等, 2007; Aghdasi 等, 2008; Czarlinska 和 Kundur, 2009)。不难想象,视觉传感器网络技术有广泛应用。VSN 能够用于远程分布式侦察或监测。已经有智能型分布式相机节点及多节

点协作数据处理技术, 并能把处理好的数据传输到控制中心。这种网络技术可以与移动电话网、局域网或因特网链接, 用于环境监测、医护及老年或残疾人生活辅助、虚拟现实等领域。如何利用低能耗的无线传感器网络技术传输大量的视频数据需要在相机摄像场景优化, 网络结构和低能耗数据处理与传输方面加强研究(Charfi 等, 2009)。此外, 尽管宫鹏(2007)和 Rundel 等(2009)提出把视觉传感器和音频传感器数据有效结合进行环境信息提取的设想, 目前还很少有相关的研究报导。这方面的研究需要解决好对多节点获得的视频和音频数据同步问题, 然后利用音频 - 视频 2 种信息达到提高环境监测和目标跟踪精度的目的。

未来 5 - 10a 将是无线传感器网络技术大发展的时期, 传感器多样化及系统节点微型化方面将会取得长足发展。在传感器技术方面, 生物传感器有望成为一个主要的生长点。生物传感器是依靠生物机制对目标污染物或微有机物产生响应的传感器转换装置。在水质检测方面发展出来的监测污水中有毒污染物的生物传感器已经实现商业化。表面等离子共振反射测量技术的商品化会成为生物传感器发展的重要手段(Homola, 2008)。

未来(无线)传感器网络技术一个重要的发展方向是能够从所观测的现象时空特征中学习分布在不同节点的传感器观测到的数据间的时空关系。这样可以使用这种时空关系优化传感器的唤醒及采样测量过程, 从而通过回答传感器网络上是否启动测量, 何时测量, 哪个节点启动测量, 用什么精度测量等问题, 达到某一特定应用中节约能源的目的。有多种途径实现传感器网络对观测对象时空分布关系的学习。例如, 使用参数或非参数统计方法计算不同节点传感器测量值之间的协变过程(Schoellhammer, 2008)。还可以根据已测数据构建时空模型预测特定节点的观测值及置信范围来辅助传感器网络节点的开启与测量。

无线传感器网络技术在环境应用中的另一个重点是如何与大量的航空和航天遥感技术实现集成应用。无线传感器网络技术的应用至今主要处于技术研发阶段, 其应用还局限在较小空间范围。还需要在校准、大范围应用方面加强试验。未来几年, 需要着力研究如何利用高时间频率的无线传感器网络数据与遥感数据的集成和多尺度融合, 辅助遥感数据反演的精度验证, 最终与遥感反演数据产品一起应用到环境变化预测模型的开发、校验及同化过程中。

## REFERENCES

- Aghdasi H S, M. Abbaspour, M E Moghadam and Y Samei. 2008. An energy-efficient and high-quality video transmission architecture in wireless video-based sensor networks, *Sensors*, **8**: 4529—4559
- Akyildiz F., Melodia T. and Chowdhury K R. 2007. A survey on wireless multimedia sensor networks, *Elsevier Comp. Net.*, **51**: 921—960
- Allen M F, Vargas R, Graham E A, Swenson W, Hamilton M, Taggart M, Harmon T C, Rat'ko A, Rundel P, Fulkerson B and Estrin D. 2007. Soil sensor technology: life within a pixel. *Bioscience*, **57**: 859—867
- Bachrach J, Nagpal R, Salib M and Shrobe H. 2004. Experimental results for and theoretical analysis of a self-organizing global coordinate system for ad hoc sensor networks. *Telecommunication Systems*, **26**: 2—4, 213—233
- Baldocchi D B, Tang J and Xu L. 2006. How switches and lags in biophysical regulators affect spatial-temporal variation of soil respiration in an oak-grass savanna. *Journal of Geophysical Research*, **111**: G02008, doi:10.1029/2005JG000063
- Charfi Y, Wakamiya N and Murata M. 2009. Challenging issues in visual sensor networks. *IEEE Wireless Communications*. **16**(2): 44—49
- Czarlińska, A and Kundur D. 2009. Wireless image sensor networks: event acquisition in attack-prone and uncertain environments. *Multidim Syst Sign Process*, **20**: 135—164
- de Freitas D M, Kininmonth S and Woodley S. 2009. Linking science and management in the adoption of sensor network technology in the Great Barrier Reef coast, Australia, *Computers, Environment and Urban Systems* **33**: 111—121
- Evans J, Janek J F, Gum A. and Hunter B L. 2008. Wireless sensor network design for flexible environmental monitoring. *Journal of Engineering Technology*, **25**(1): 46—52
- Gong P. 2007. Wireless sensor network as a new ground remote sensing technology for environmental monitoring. *Journal of Remote Sensing*, **11**(4): 545—551
- Hemond H, Cheung J, Mueller A, Wong J, Hemond M, Mueller D, Eskesen J. 2008. The NEREUS in-lake wireless/acoustic chemical data network. *Limnology and Oceanography: Methods*. **6**: 288—298
- Homola J. 2008. Surface plasmon resonance sensors for detection of chemical and biological species. *Chemical Reviews*, **108**: 462—493
- Jurdak R, Nafaa A. and Barbirato A. 2008. Large scale environmental monitoring through integration of sensor and mesh networks. *Sensors*, **8**: 7493—7517
- Keller M, Schimel D S, Hargrove W W and Hoffman F M. 2008. A continental strategy for the National Ecological Observatory Network. *Frontiers in Ecology and the Environment*. **6**: 282—284
- Kotamäki N, Thessler S, Koskiahio J, Hannukkala A O, Huitu H, Huttula T, Havento J and Järvenpää M. 2009. Wireless in-situ sensor network for agriculture and water monitoring on a river basin scale in Southern Finland, *Sensors*, **9**: 2862—2883
- Kuang K, Quek S T and Maalej M. 2008. Remote flood monitoring

- system based on plastic optical fibres and wireless motes, *Sensors and Actuators A* **147**: 449—455
- Ma Y J, Richards M, Ghanem M, Guo Y K and Hassard J. 2008. Air pollution monitoring and mining based on sensor grid in London. *Sensors*, **8**: 3601—3623
- Malhotra B, Nikolaidis I and Harms J. 2008. Distributed classification of acoustic targets in wireless audio-sensor networks. *Computer Networks*, **52**: 2582—2593
- Nadimi E S, Sogaard H T, Bak T. 2008. ZigBee-based wireless sensor networks for classifying the behaviour of a herd of animals using classification trees. *Biosystems Engineering*, **100**: 167—176
- Pardossi A, Incrocci L, Incrocci G, Malorgio F, Battista P, Bacci L, Rapi B, Marzialetti P, Hemming J and Balendonck J. 2009. Root zone sensors for irrigation management in intensive agriculture. *Sensors*, **9**: 2809—2835
- Pierce F J and Elliott T V. 2008. Regional and on-farm wireless sensor networks for agricultural systems in Eastern Washington. *Computers and Electronics in Agriculture* **61**: 32—43
- Rundel P W, Graham E A, Allen M F, Fisher J C and Harmon TC. 2009. Environmental sensor networks in ecological research, *New Phytologist*. **182**: 589—607
- Wallace J, Corr D, Deluca P, Kanaroglou P and McCarry B. 2009. Mobile monitoring of air pollution in cities: the case of Hamilton, Ontario, Canada. *Journal of Environmental Monitoring*, **11**(5): 998—1003
- Whelan M J, Fuchsa M P and Janoyan K D. 2008. Large scale remote sensing for environmental monitoring of infrastructure. *Journal of Environmental Monitoring*, **10**: 812—816
- Yang X P, Ong K G, Dreschel W R, Zeng K F, Mungle C S and Grimes C A. 2002. Design of a wireless sensor network for long-term, in-situ monitoring of an aqueous environment. *Sensors*, **2**(11): 455—472
- Yick J, B. Mukherjee and D. Ghosal, 2008, Wireless sensor network survey, *Computer Networks* **52**: 2292—2330

#### 附中文参考文献

- 宫鹏. 2007. 环境监测中无线传感器网络地面遥感新技术. 遥感学报, **11**(4): 545—551

## Progress in recent environmental applications of wireless sensor networks

GONG Peng

*State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Jointly Sponsored by the Institute of Remote Sensing Applications of Chinese Academy of Sciences and Beijing Normal University, Beijing 100101, China*

**Abstract:** Over the past decade wireless sensor network has become a rapidly expanding technology that has strong applications. It is regarded as an extension of traditional remote sensing technology. In this paper, a review is presented on some recent development in wireless sensor networks during the past 2—3 years and the progress on their applications to various environmental fields including global change and ecological studies, soil conditions, air quality, water quality and hydrological and marine studies, precision agriculture and target tracking. The primary challenges encountered in the development and applications of wireless sensor networks have been summarized. Some future research priorities on the application of this technology have been suggested.

**Key words:** ecological sensors, environmental monitoring, wireless communication, global change