

凌阳科技大学计划

无线传感器 网络实践教学教程

吴迪 朱金秀 范新南 编著



化学工业出版社



无线传感器 网络实践教学

吴迪 朱金秀 范新南 编著



化学工业出版社

本书主要内容包括无线传感器网络基础、无线传感器网络关键技术、仿真平台以及综合实验平台，此外还包括基础性实验、提高性实验以及研创性实验三个层次的实践环节。

全书共分 6 章，前 3 章主要介绍了无线传感器网络基础理论，后 3 章分别介绍了基础性、提高性和研创性实验。

本书既涵盖了无线传感器网络的主要知识点，在实践环节又突出了层次性的特点，既有通用性又具有特色，不仅可以作为物联网工程专业的教材，也可以作为电子信息类、电气类、自动化类等相关研究领域的人员和工程技术人员的参考书。

图书在版编目（CIP）数据

无线传感器网络实践教程 / 吴迪，朱金秀，范新南编著.
北京：化学工业出版社，2014.5
ISBN 978-7-122-20251-2

I. ①无… II. ①吴… ②朱… ③范… III. ①无线
电通信-传感器-教材 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 066485 号



责任编辑：刘 哲 杨 宇

装帧设计：张 辉

责任校对：程晓彤

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 装：大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 12½ 字数 305 千字 2014 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：29.00 元

版权所有 违者必究



无线传感器网络集传感器、嵌入式计算、无线通信以及分布式信息处理等技术于一体,是由一组传感器节点以自组织方式构成的无线网络,被认为是 21 世纪最重要的技术之一。无线传感器网络可被应用到军事、工业、农业、环境监测、交通、医疗、安全防范以及抢险救灾等领域,具有广阔的发展前景。

我国非常重视无线传感器网络的研究。从 2002 年开始,国家自然科学基金委员会审批了和无线传感器网络相关的多个课题,在国家发展改革委员会的下一代互联网示范工程中,也部署了无线传感器网络相关的课题。而且传感器网络被明确列入我国的《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006~2020 年)》。2009 年,我国提出“感知中国”的概念。2010 年,“物联网”被写入我国“政府工作报告”。同年,“物联网”被正式列为国家五大新兴战略性产业之一。2010 年我国教育部首次批准开设物联网工程专业,2011 年正式招生。而无线传感器网络作为物联网领域的关键技术之一,被国内相关高校纷纷列入物联网工程专业必修课程之一。

为普通高校本科生开设无线传感器网络课程,不仅需要重视理论教学,更需要重视该课程的实践教学。因此,本书本着理论与实践相结合的原则设计全书内容。

(1) 理论与实践相结合:本书不仅阐述无线传感器网络的相关理论知识,涵盖无线传感器网络的主要知识点,还讲解了相关软件仿真平台及综合实验平台。

(2) 实践环节分层次:将实践环节分为基础性、提高性、研创性三个层次,按照由易到难、由简单到复杂的原则设计实践内容。

本书分为 6 章,第 1 章介绍了无线传感器网络基础知识;第 2 章介绍了无线传感器网络的相关协议、定位技术、操作系统、通信标准等关键技术;第 3 章介绍了 OPNET、NS2、MATLAB、JavaSim、TOSSIM、GloMoSim、OMNeT++等软件仿真平台;第 4 章到第 6 章分别介绍了基础性实验、提高性实验和研创性实验。

本书由吴迪、朱金秀、范新南编著,殷明、翟文权、李书旗、张秀平、金永霞、胡钢、陈慧萍、韩光洁、朱川、张学武、朱昌平、李建、徐宁、张金波、钟汉、皇润风、柯燕燕、龙霄汉、张选松、徐晓龙、徐涛、刘艳、路正莲、宋凤琴、杨红雨、段蓉、张亚新为本书的出版做了大量工作。

此外,本书编写过程中得到“凌阳科技大学计划”的大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于编著者水平有限,书中内容难免会有不妥之处,恳请各位读者和同仁批评指正,提出宝贵的建议和意见。



第 1 章 无线传感器网络概述 1

1.1 无线传感器网络的概念及发展	1
1.2 无线传感器网络的特点	3
1.3 无线传感器网络节点	3
1.4 无线传感器网络的体系结构	5
1.5 无线传感器网络的应用	6

第 2 章 无线传感器网络的关键技术 10

2.1 无线传感器网络 MAC 协议	10
2.1.1 概述	10
2.1.2 典型的无线传感器网络 MAC 协议	11
2.2 无线传感器网络路由协议	15
2.2.1 概述	15
2.2.2 典型的无线传感器网络路由协议	17
2.3 无线传感器网络定位技术	22
2.4 无线传感器网络操作系统	24
2.4.1 概述	24
2.4.2 TinyOS 操作系统	25
2.4.3 TinyOS 开发环境的安装与配置	26
2.5 通信标准	39
2.5.1 IEEE802.15.4 标准	39
2.5.2 ZigBee 标准	41
2.6 无线传感器网络时间同步技术	44
2.6.1 概述	44
2.6.2 典型的无线传感器网络同步算法	45

第 3 章 仿真平台 47

3.1 OPNET	47
3.1.1 概述	47
3.1.2 OPNET 实验	48

3.2	NS2	60
3.2.1	概述	60
3.2.2	NS2 实验	61
3.3	MATLAB	90
3.3.1	概述	90
3.3.2	MATLAB 实验	91
3.4	JavaSim	93
3.4.1	JavaSim 概述	93
3.4.2	JavaSim 实验	93
3.5	TOSSIM	96
3.5.1	概述	96
3.5.2	TOSSIM 实验	96
3.6	GloMoSim	97
3.6.1	GloMoSim 概述	97
3.6.2	GloMoSim 实验	98
3.7	OMNeT++	100
3.7.1	概述	100
3.7.2	OMNeT++实验	102

第 4 章 ZigBee 无线传感器网络综合实验平台及基础性实验 123

4.1	简介	123
4.1.1	主要参数	124
4.1.2	一键还原	124
4.2	软件平台搭建实验	125
4.2.1	实验目的	125
4.2.2	实验器材	125
4.2.3	预习要求	125
4.2.4	实验要求	125
4.2.5	实验原理	125
4.2.6	实验内容与方法	126
4.2.7	思考题	138
4.3	I/O 端口输入实验	138
4.3.1	实验目的	138
4.3.2	实验器材	138
4.3.3	预习要求	138
4.3.4	实验要求	138
4.3.5	实验原理	138
4.3.6	实验内容与方法	140
4.3.7	思考题	141
4.4	I/O 端口输出实验	141
4.4.1	实验目的	141
4.4.2	实验器材	141

4.4.3	预习要求	141
4.4.4	实验要求	142
4.4.5	实验原理	142
4.4.6	实验内容与方法	144
4.4.7	思考题	144
4.5	传感器节点之间的串口通信实验	144
4.5.1	实验目的	144
4.5.2	实验器材	144
4.5.3	预习要求	145
4.5.4	实验要求	145
4.5.5	实验原理	145
4.5.6	实验内容与方法	147
4.5.7	思考题	149
4.6	DMA 控制器实验	149
4.6.1	实验目的	149
4.6.2	实验器材	149
4.6.3	预习要求	150
4.6.4	实验要求	150
4.6.5	实验原理	150
4.6.6	实验内容与方法	151
4.6.7	思考题	152
4.7	无线通信实验	152
4.7.1	实验目的	152
4.7.2	实验器材	152
4.7.3	预习要求	152
4.7.4	实验要求	152
4.7.5	实验原理	152
4.7.6	实验内容与方法	153
4.7.7	思考题	154

第5章 提高性实验 155

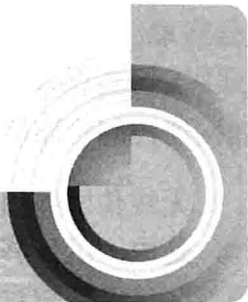
5.1	温湿度传感器实验	155
5.2	光照度传感器实验	162
5.3	温湿度传感器驱动添加实验	165

第6章 研创性实验 170

6.1	执行节点控制实验	170
6.2	广播通信实验	175
6.3	星状网络实验	178
6.4	两个实验平台之间构建树状网络	182

参考文献 189

第 1 章 无线传感器网络概述



1.1 无线传感器网络的概念及发展

无线传感器网络（Wireless Sensor Network，简称 WSN）是新兴的下一代网络，被认为是 21 世纪最重要的技术之一。传感器网络的发展主要经历了四代，其发展历程如图 1.1 所示。

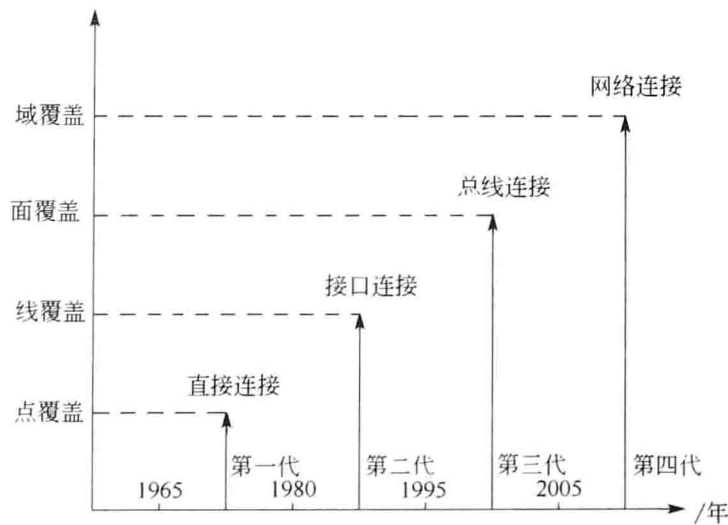


图 1.1 传感器网络的分代示意图

（1）第一代

20 世纪 70 年代，出现了具有简单模拟信号传输功能的由传统传感器所组成的点对点输出的测控系统网络。该网络具有简单信息获取能力，初步实现了信息的单向传递，但是布线复杂，抗干扰性差。

（2）第二代

传感器网络具有了获取多种信息的综合处理能力，并通过采用串/并接口与传感控制器相连，构成了具有综合多种信息的传感器网络。

(3) 第三代

20 世纪 90 年代后期和 21 世纪初,出现了基于现场总线技术的智能传感器网络。该网络采用现场总线连接传感控制器,构成局域网络,其局部测控网络通过网关和路由器可以实现与 Internet 连接。

(4) 第四代

大量具有多功能、多信息获取能力的传感器被运用,采用无线自组织接入网络,与传感器网络控制器连接,构成无线传感器网络,正处于研究和开发阶段。

无线传感器网络集传感器技术、嵌入式技术、无线通信以及分布式信息处理等技术于一体,是由一组传感器以自组织方式构成的无线网络,其目的是协作地感知、采集和处理网络覆盖区域中感知对象的信息,并发送给观察者。目前,尽管已经有很多文献给出了无线传感器网络的定义,虽然表述方式各有不同,但各种定义的本质是相同的。本书对已有的无线传感器网络定义进行梳理,总结归纳如下:

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)能够协作感知、采集和处理自身网络覆盖范围内的监测对象的信息,是大规模部署、具有无线通信及计算能力、能够以自组织及多跳的网络方式将监测信息发送到用户终端的微型传感器节点所构成的一种网络系统。

无线传感器网络最早的代表性论述出现在 1999 年,题为“传感器走向无线时代”。随后在美国的移动计算和网络国际会议上,提出了无线传感器网络是下一个世纪面临的发展机遇。自 2001 年起,美国军方的远景研究计划局(DARPA)每年都投入千万美元量级的经费进行 WSN 的研究,并在 C4ISR 基础上提出了 C4KISR 计划,强调战场情报的感知能力、信息的综合能力和信息的利用能力,把传感器网络作为一个重要研究领域,设立了一系列的军事传感器网络研究项目。2003 年 2 月,美国《技术评论》杂志把传感器网络列为对人类未来生活产生深远影响的十大新兴技术之榜首。2003 年 8 月,美国《商业周刊》杂志在其“未来技术专版”中发表文章,指出传感器网络是未来的四大高技术产业之一。美国《今日防务》杂志认为无线传感器网络的应用和发展将会引起军事技术革命和未来战争的变革。同年,美国自然科学基金委员会对一项关于传感器及传感器网络的项目投入资金达到 3400 万美元。2004 年,《IEEE Spectrum》杂志发表一期专集《传感器的国度》,论述了 WSN 的发展和可能的广泛应用,预计无线传感器网络的发展和广泛应用将对人们的社会生活和产业变革带来极大的影响和产生巨大的推动。随后,美国一些大型的 IT 公司(英特尔、微软、HP、Rockwell、Texas Instruments 等)也纷纷介入 WSN 的研究开发工作。同时很多著名大学也纷纷开展无线传感器网络方面的研究工作,如加州大学伯克利分校、加州大学洛杉矶分校、南加州大学、斯坦福大学、麻省理工学院、伊利诺斯大学和康奈尔大学等院校。英国、日本、意大利、巴西等国家也对 WSN 表现出浓厚的兴趣,积极开展无线传感器网络领域的研究工作。而美国的 Dust Networks、Crossbow Technologies 和 MoteIV 等公司率先将无线传感器网络节点的研究成果产业化。

我国也非常重视无线传感器网络的研究,国内的很多科研单位和高校都积极开展了无线传感器网络方面的研究工作。从 2002 年开始,我国国家自然科学基金委员会已经审批了和无线传感器网络相关的多个课题,在国家发展改革委员会的下一代互联网示范工程中,也部署了无线传感器网络相关的课题。而且传感器网络还被明确列入我国的《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006~2020 年)》,隶属于“传感器网络及智能信息处理”。2009 年,我国提出“感知中国”的概念。2010 年,“物联网”被写入我国“政府工作报告”。同年,“物联

网”被正式列为国家五大新兴战略性新兴产业之一。

2010 年我国教育部首次批准开设物联网工程专业, 2011 年正式招生。而无线传感器网络作为物联网领域的关键技术之一, 被国内相关高校纷纷列入物联网工程专业必修课程。

该课程教学需要涵盖的内容主要有硬件平台基础、nesC 语言、TinyOS 操作系统、路由协议、MAC 协议、物理层设计、定位技术、时间同步技术、安全技术、数据管理与数据融合、IEEE 802.15.4 标准、ZigBee 标准、仿真平台以及开发环境等, 同时需要开设无线传感器网络课外实践活动。

1.2 无线传感器网络的特点

无线传感器网络集成了传感器技术、嵌入式计算技术、无线通信技术以及分布式信息处理技术, 是由一组传感器节点以自组织方式构成的无线网络, 其目的是协作地感知、采集和处理网络覆盖区域中感知对象的信息, 并发送给观察者, 预设监测区域内大量传感器节点通过自组织的形式构成无线传感器网络, 感知被测对象, 采集监测数据, 进行处理后以无线的方式逐步发送到汇聚节点, 然后通过汇聚节点发送到用户终端。

无线传感器网络主要具有以下特点。

- 节点多, 规模大。无线传感器网络中传感器节点分布密集, 数量巨大, 可达几百、几千万, 要求无线传感器网络相关的通信协议具有良好的可扩展性。
- 资源受限。无线传感器网络节点体积微小, 节点的计算、存储、通信能力以及携带的电池能量都非常有限, 要求开发设计无线传感器网络节点时考虑到其资源和能量的有限性。
- 自组织。无线传感器网络系统更适合于人工不能或不宜到达的区域, 节点的部署采用非人工、随机方式实施。无线传感器网络系统通过一套合适的通信协议, 保证网络在无人干预的情况下自动组网, 自动运行, 没有固定的基础设施作为网络骨干。在节点失效等问题出现时, 系统能自动调整, 实现无人值守, 具有一定的容错性和抗毁能力。
- 以数据为中心。传统网络是以 IP 为中心的网络, 每个节点拥有全网唯一的 IP 地址, 数据转发以目的节点的 IP 为依赖。在无线传感器网络中, 节点没有 IP 地址, 是以数据为中心的网络, 关心的是数据本身, 而非关注数据是由哪个节点采集的。
- 网络拓扑动态变化。无线传感器网络可以分为动态和准静态两种网络。即使在准静态网络中, 网络拓扑也会由于节点的失效或者新节点的加入而造成变化。
- 无线传感器网络系统与应用密切相关。不同的应用背景, 无线传感器网络的开发设计各不相同, 会出现不同的节点硬件平台、网络协议以及软件系统。
- 安全性较弱。无线传感器网络常常工作于自然环境恶劣的条件下或部署于敌方区域, 因此极易受到恶意攻击而失效, 导致整个网络瘫痪。随着 WSN 应用研究的深入, 网络的安全性将引起越来越多的重视。

1.3 无线传感器网络节点

无线传感器网络节点作为一种微型化的嵌入式系统, 构成了无线传感器网络的基础层支撑平台, 具有小型化、低成本、低功耗和灵活性的特点。从逻辑功能上划分, 传统的无线传感器网络节点一般由传感器模块、处理器模块、无线通信模块、能量供应模块四部分组成,

如图 1.2 所示。

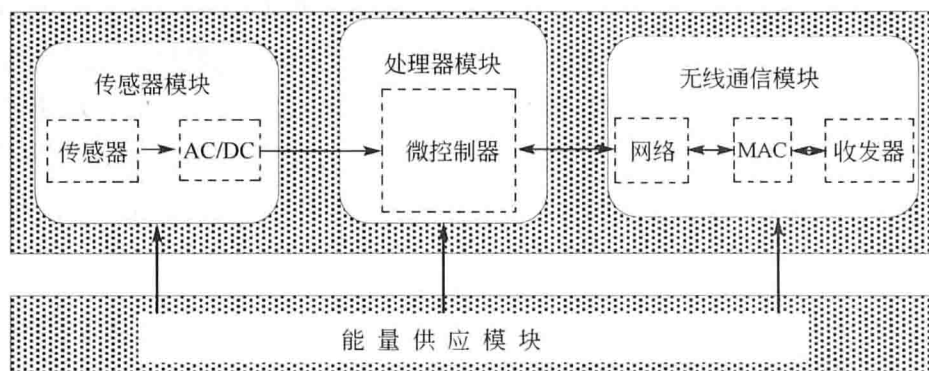


图 1.2 无线传感器网络节点的组成

① 传感器模块主要包括传感器和 AD/DC 单元，负责监测区域内信息的采集和数据的模数转换。传感器种类众多，包括温湿度传感器、感光传感器、加速度传感器、数字电子鼻传感器等，可根据不同的应用需求进行选择。

② 处理器模块是节点的核心，负责控制整个 WSN 节点的操作，包括微处理器和存储器，能够实现通信协议、设备控制、能量计算、任务调度等功能，能够存储自身采集的数据及其他节点发来的数据。在无线传感器网络节点设计中，常用的处理器芯片有 ATMEL 公司的 AVR 系列、TI 公司的 MSP430 系列以及嵌入式 ARM 处理器等。

③ 无线通信模块主要由天线连接器及无线射频电路组成，负责与其他传感器节点进行无线通信、交换控制信息、收发采集数据等。该模块是能量消耗最多的模块，为了节省能耗，可以在睡眠、侦听、发送和接收状态之间转换。

④ 能量供应模块为传感器节点其他各单元提供运行所需的能量，通常采用微型电池供电。电池的种类一般有碱性电池、镍电池、锂电池，也可选用太阳能充电电池。

除以上 4 个模块外，还可以选择定位子系统、移动子系统以及电源自供电子系统等模块。无线传感器网络是高度面向应用的，需要根据不同的应用环境进行设计。

近年来，随着无线传感器网络技术的发展和研究的深入，已经陆续出现很多种无线传感器网络节点，举例如下。

① Mica Mote 系列传感器节点由美国加州大学伯克利分校主持研发，具有低功耗、自组织、可重构的特点，主要采用 Atmel 系列微控制器。美国的 Crossbow Technologies 公司已经率先将无线传感器网络节点的研究成果产业化，生产并销售“智能尘埃 Smart Dust、Mica 系列和 Tmote 系列”等无线传感器节点。该系列种类比较齐全，还有 Mica2、MicaDot、MicaZ 等产品。

② Telosb 节点是一种开源设计节点，工作频率为 2.4GHz，可基于 802.15.4/Zigbee 协议，包括内置的射频天线、串口转 USB 编程和数据接口等，可以通过电池供电，也可以通过 USB 端口供电。

③ 欧盟资助 Infineon 公司开展 EYES 项目的研究，是欧洲 EYES project 中的重要内容，并开发了 EYES 节点。该节点采用 Texas Instrument MSP 430 微控制器，具备 USB 接口，可根据需要添加传感器/执行器。

④ GAINS、GAINZ 系列节点由中国宁波中科集成电路设计中心开发。GAINS 节点的工作频率为 433MHz，采用 ATMEL 公司的 ATmega128L 作为微控制器，采用 Chipcon 公司的

CC1000 作为无线收发器；GAINZ 节点的工作频率为 2.4GHz，同样采用 ATMEL 公司的 ATmega128L 作为微控制器，射频部分采用 Chipcon 公司的 CC2420 作为无线收发器，提供多种传感器。

⑤ Zigbee 节点由韩国韩伯电子公司提供。该节点采用 ATmega128L 作为微控制器，CC2420 作为无线通信芯片，此外还包括传感器、天线等单元。

⑥ ATOS 系列节点由上海左岸芯慧电子科技有限公司提供。该系列节点采用 TI 公司的 CC2430 作为微处理器，CC2430 芯片集 8051 微控制器、射频收发功能、高速 Flash 为一体。

⑦ SP-WSNCE15A 平台的系列节点是由凌阳科技大学计划开发提供，其实物如图 1.3 所示。该系列节点的主控芯片采用 TI 公司的 CC2530 芯片。CC2530 芯片能够提供一个用于 2.4GHz IEEE 802.15.4、ZigBee 和 RF4CE 应用的片上系统解决方案，且外设资源丰富。

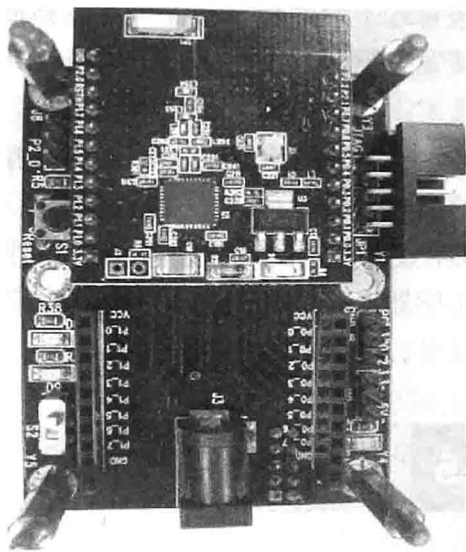


图 1.3 SP-WSNCE15A 平台的单个节点实物图

1.4 无线传感器网络的体系结构

由于无线传感器网络是一种无中心节点的、由大量传感器节点密集部署的全分布系统，所以更适用多跳、对等的通信方式。下面分别介绍无线传感器网络的体系结构以及网络协议栈。

无线传感器网络的体系结构如图 1.4 所示。监测区域内随机部署了大量的传感器节点，这些节点以自组织的形式构成无线传感器网络。传感器节点监测的数据沿着其他传感器节点逐跳地进行传输，在传输过程中监测数据可能被多个节点处理，经过多跳路由到汇聚节点，然后通过互联网或卫星到达监控中心。用户通过监控中心对无线传感器网络进行远程配置和管理，发布监测任务，收集监测数据。

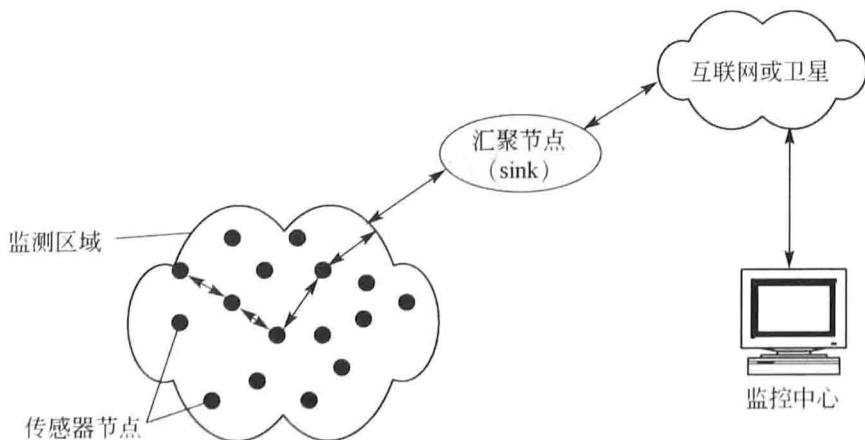


图 1.4 无线传感器网络系统架构

无线传感器网络的协议栈主要分为 5 层：物理层、数据链路层、网络层、传输层和应用

层。另外,该协议栈还至少包括3个平台:能量管理平台、移动管理平台和任务管理平台,这些管理平台使得传感器节点能够按照能源高效的方式协同工作,在节点移动的传感器网络中转发数据,并支持多任务和资源共享。其中,物理层提供简单但健壮的信号调制和无线收发技术;数据链路层负责数据成帧、帧监测、媒体访问和差错控制;网络层负责路由生成与路由选择,通过合适的路由协议寻找源节点到目标节点的优化路径,并且将监测数据按照多跳的方式沿着此优化路径进行转发;传输层负责数据流的传输控制;应用层包括一系列基于监测任务的应用层软件;能量管理平台管理传感器节点的能量使用;移动管理平台监测并管理传感器节点的移动,维护到汇聚节点的路由;任务管理平台在给定的区域内平衡和调度监测任务。

1.5 无线传感器网络的应用

无线传感器网络可被应用到军事、工业、农业、环境监测、交通、医疗、安全防范、智能家居以及抢险救灾等领域,具有广阔的发展前景,将会给人类的生产和生活带来巨大的影响。随着研究的深入、计算成本的下降、传感器节点的快速发展,一些无线传感器网络应用方案已经投入使用。

(1) 军事

传感器网络最早就是为了适应军事应用而提出的。无线传感器网络的自组织、高容错性、隐蔽性和可快速部署等特点,使其非常适合军事领域的应用。利用该网络,可以实现对敌军兵力、装备和弹药的监控,对战场的实时监视,协助弹药对目标进行准确攻击,对战场进行损失评估以及对核攻击和生物化学攻击的侦察等功能。

传感器网络已经成为军事 C4ISRT (command, control, communication, computing, intelligence, surveillance, reconnaissance and targeting) 系统必不可少的一部分,受到军事发达国家的普遍重视,各国均投入了大量的人力、物力进行研究。早在 2000 年,美国国防部就把 Smart Sensor Web 作为 5 个尖端研究领域之一,目的是在整个作战空间部署大量的传感器节点,采集、传输战场信息,然后将信息汇聚到融合点,并根据该信息生成图片,供作战者使用,提高了军队作战的敏感度。

(2) 医疗健康

无线传感器网络在医疗研究、护理领域的研究主要有无线监测人体生理数据、医院药品管理、老年人健康状况和远程医疗等。在病人身上安装能够监测病人心率和血压的传感器节点并组成无线传感器网络,医生就可以随时了解被监护病人的病情,及时进行处理。为帮助老年人、阿尔茨海默氏患者以及残疾人士的家庭生活,英特尔公司研究了一个无线传感器网络应用在家庭护理方面的方案,该方案拟在鞋子、家具、电器等家中道具和设备中嵌入半导体传感器。

(3) 交通管理

美国国防部早在 1995 年就提出了“国家智能交通系统项目规划”。该计划的目的是:有效集成先进的信息技术、数据通信技术、传感器技术、控制技术及计算机处理技术并运用于整个地面交通管理,建立一个大范围、全方位的实时高效的综合交通运输管理系统。该系统可以利用传感器网络进行交通管理,可以监视每一辆汽车的运行状况,有效减少交通事故。

(4) 智能家居

随着生活水平的不断提高、生活节奏的加快,人们希望拥有一个更舒适、更温馨的信息化家居,对其安全性、智能性、经济性提出了更高的要求。在家电和家具中嵌入传感器节点,通过无线网络与 Internet 连接在一起,能够为人们提供更加舒适、方便和更具人性化的智能家居环境。利用远程监控系统能够实现对家电的远程遥控。例如,可以在回家之前半小时打开空调,也可以遥控电饭锅、微波炉、电冰箱、电话机、录像机、电脑等家用电器,按照主人的意愿完成相应的煮饭、烧菜、查收电话留言、选择录制电视和电台节目以及下载网上资料到电脑中等工作,还可以通过图像传感设备随时监控家庭安全情况。

(5) 工业监控

工业生产过程首先强调的是安全问题。在一些危险的工业环境,比如矿井、钢材加工厂、核电厂等,可以利用无线传感器网络进行过程监控,实施安全监测,而且在工业自动化生产线上利用无线传感器网络构建的监控系统,能够大大改善工厂的运作条件,大幅度降低检查设备的成本,提高效率,并延长设备的使用时间。

(6) 建筑及土木工程

目前,建筑结构往往呈现复杂化和大型化的特点,因此大型建筑结构的安全问题引起人们的高度重视,科研人员考虑利用无线传感器网络进行大型建筑物的结构安全监测。目前,Seneca 公司已经开发了一个基于无线传感器网络的桥梁安全监控系统,能够监测桥梁的温度、湿度、震动幅度、桥墩被侵蚀程度等数据,减少断桥事故导致的生命财产损失。

(7) 环境监测

无线传感器网络应用在环境监测方面相比传统的监测方法有明显的优势,可以避免传统数据收集方式给环境带来的侵入式破坏。同时,无线传感器网络比传统环境监测所采集的数据量较大、精度较高,而且各个传感节点之间可以协同工作并具有无线传输的能力。因此,无线传感器网络在环境监测方面具有广阔的前途。

无线传感器网络在环境监测领域可用于监控农作物灌溉情况、土壤空气情况、牲畜及家禽的环境状况、大面积的地表监测、行星探测、气象和地理研究、洪水监测、大气质量监测等方面。无线传感器网络在农业方面的应用有助于农业逐渐从以人力为中心、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。无线传感器网络在农业方面的典型应用有温室环境监测、节水灌溉应用以及精准农业等。比如,英特尔公司设计了一个无线传感器网络应用方案,用于监测盛产葡萄酒的美国俄勒冈州的一个葡萄园中环境的细微变化,研究葡萄酒的质量与葡萄生长过程中的日照、湿度及温度等环境因素的确切关系。无线传感器网络在环境保护中的应用主要有森林防火、污染监控、生物种群研究等。比如,2002 年美国加州大学伯克利分校的研究人员利用无线传感器网络对位于美国缅因州以北 15km 处的大鸭岛上海燕的栖息情况进行监测,以便对海燕的活动以及大鸭岛的微环境进行研究。

下面给出无线传感器网络在空气污染监测方面的一种解决方案。目前,我国对城市空气污染监测的方法主要有两种:① 传统人工取样实验室分析的方法;② 利用国外进口的自动化空气环境监测设备进行在线监测的方法。第一种方法采样时间长,易受人为因素的影响,有害气体浓度很高的监测现场会伤害监测人员的身体健康。第二种方法可扩展性较差,灵活性不足。利用无线传感器网络进行空气污染监测,能够解决上述方法存在的问题。无线传感器网络应用于空气污染监测领域具有以下优势:① 部署简单、灵活,监测节点具有可移动性;② 鲁棒性高,健壮性好;③ 运行和维护简单方便,新增的传感器节点能够自动加入到监测

网络中去。该解决方案提出的基于无线传感器网络的空气污染实时监测系统的体系结构如图 1.5 所示。

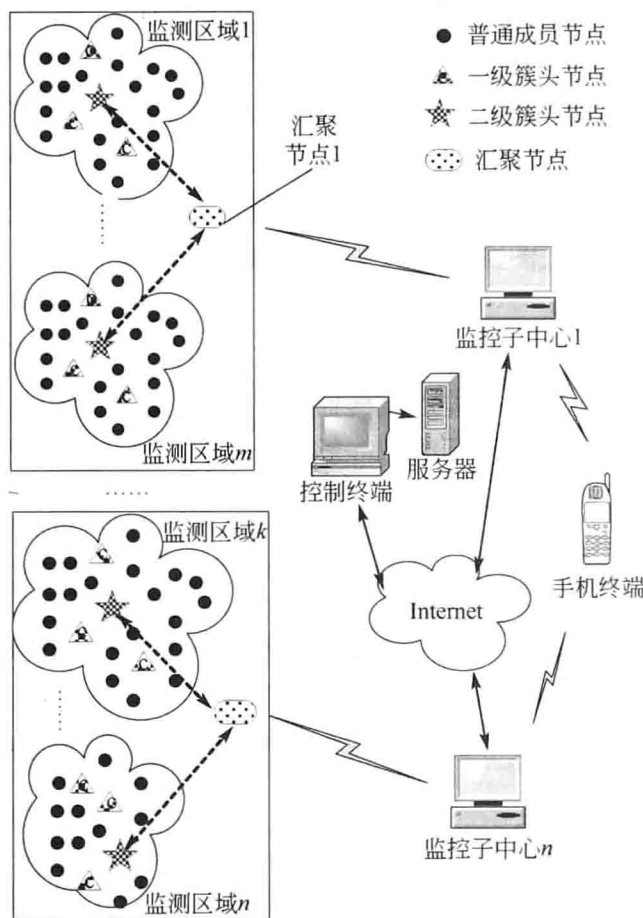


图 1.5 系统体系结构

由图 1.5 可以看出，该监测系统包括各无线传感器网络监测节点、汇聚节点、各监控子中心、控制终端、服务器、手机终端。其中，无线传感器网络监测节点在网络自组织阶段自动分为三类，分别为普通成员节点、一级簇头节点和二级簇头节点。各无线传感器网络监测节点负责采集空气污染监测数据。汇聚节点负责接收监测区域中各个子区域采集到的数据，进行数据处理并转发给各监控子中心，若干距离较近的监测区域共用一台监控子中心。比如，图 1.5 中汇聚节点 1 可同时接收监测区域 1 和监测区域 m 上传的数据，然后转发给监控子中心 1。各监控子中心运行空气污染监测系统管理软件，负责将无线传感器网络上传的数据汇总、分析及处理，并根据预定的门限值，决定是否需要向控制终端及相关人员报警，并将数据发送到控制终端。控制终端能够监控各监控子中心，接收各监控子中心发来的报警信号。手机终端可接收各监控子中心发来的报警信息。

无线传感器网络普通节点主要包括数据采集模块、数据处理模块、无线通信模块及电源模块四部分。其中，数据采集模块主要包括传感器组以及信号调理电路等辅助电路，实现数据的感知、采集和预处理。传感器组可以包括温、湿度传感器以及多种气体传感器，将温、湿度及气体浓度的物理量转换为电信号后上传给数据处理模块。数据处理模块包括 Atmega128L 微处理器、A/D 转换电路、存储模块、无线通信接口、时钟及监控电路等，是 WSN 监测节点的中枢单元。数据处理模块具有实现数据的处理和存储、执行系统调度及通信

任务等功能。A/D 转换模块将前端生成的模拟量进行量化、编码，产生相应的数字信号，然后将该数字信号传送给 Atmega128L 微处理器进行处理。无线通信模块主要负责收发监测数据及交换控制信息，采用 Chipcon CC2420 射频芯片，配置倒 F 型 PCB 天线，具有低功耗、低成本的特点，与 IEEE 802.15.4 兼容，工作在 2.4GHz 频段，通信范围可达 10~75m。

无线传感器网络汇聚节点能够接收、处理并转发本地监测数据，主要包括 CC2430 模块、SIM100 模块以及电源模块。其中 CC2430 片上系统及 SIM100 通信模块构成了数据处理及无线通信模块。CC2430 芯片沿用了 CC2420 芯片的架构，整合 ZigBee 射频前段、内存和微控制器，采用一个 8 位 MCU (8051) 具有 128KB 的可编程闪存和 8KB 的 RAM，8~14 位的 A/D 转换器、4 个定时/计数器、AES128 协同处理器，内置“看门狗”定时器、32kHz 晶振的休眠模式定时器、上电复位电路、掉电检测电路。该芯片在接收和发射模式下电流损耗分别低于 27mA 或 25mA，在休眠模式时仅 0.9 μ A 的流耗，待机模式时的流耗低于 0.6 μ A，特别适合于要求低功耗的应用场合。SIM100 是 GSM/GPRS 双频模块，可通过 GPRS 网络与监控子中心进行无线通信。当有数据需要发送给监控中心时，汇聚监测节点启动 SIM100 模块，通过 GPRS 网络将数据上传至相应的监控子中心，监控子中心也可以将控制命令通过 GPRS 网络下达至汇聚监测节点，实现远程监控。

第2章 无线传感器网络的关键技术



2.1 无线传感器网络 MAC 协议

2.1.1 概述

无线传感器网络协议的主要功能是使网络中各个独立的节点形成一个多跳的数据采集、传输网络，主要包括路由协议和 MAC 协议。其中，路由协议属于网络层，决定数据的传输路径；MAC 协议属于数据链路层，用来构建底层的基础结构，协调传感器节点的通信过程和工作模式。

无线频谱被称为无线通信的介质或媒介。研究 MAC 协议就是研究如何制定一组规则和过程来更有效、更有序、更公平地使用这些共享介质。MAC 协议其实就是介质访问控制 (Medium Access Control, MAC) 协议。在无线传感器网络中，介质访问控制协议决定了无线信道的使用方法，为无线传感器节点分配有限的无线通信资源，构建底层基础结构，能够直接影响网络的整体性能，是无线传感器网络的关键技术之一。

然而，由于无线传感器网络本身所具有的特点，比如节点硬件资源有限、电池不易更换、生存时间有限、监测环境易遭破坏、网络拓扑结构常动态变化等，使得传统的无线网络的 MAC 协议不能直接应用于无线传感器网络。而且，无线传感器网络的应用场合多种多样，因此需要根据无线传感器网络的实际应用环境开发不同的 MAC 协议。

总的来说，在设计无线传感器网络 MAC 协议时，需要根据不同的应用环境、不同的需求来考虑其性能指标，主要注意以下几个方面。

(1) 节省能量，提高能量效率

无线传感器网络本身就具有能量约束的特点，普通监测节点多采用两节电池供电且不易更换。网络中，监测节点一般分为工作状态和休眠状态。工作状态时的能耗远大于休眠时的能耗，其中无线收发行为的能耗又占据较大比重。而 MAC 协议直接控制无线收发器的行为，所以，MAC 协议的能量效率至关重要。为了延长无线传感器网络的寿命，保证无线传感器网络尽可能长时间地有效工作，必须把节省能量、提高 MAC 协议的能量效率放在极其重要