

基于 Sun SPOT 无线传感器网络实验教程

北京西普阳光教育科技有限公司 胡耀东 申兴发 戴国骏 蒋清野 编著

SUN SPOT
SPOT SUN
SUN SPOT SUN



基于 Sun SPOT 无线传感器网络实验教程

北京西普阳光教育科技有限公司 胡耀东 申兴发 戴国骏 蒋清野 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京•BEIJING

内 容 简 介

本书针对国内无线传感器网络实验型教材缺乏的现状,以 Sun SPOT 产品为硬件平台,从无线传感器网络的节点处理器基本操作、传感器数据获取、基础通信、自组织网络、创新型实验等几个方面,设计并详细分析了 Sun SPOT 平台的 25 个实验,给出了每个实验的实验目的、实验设备、实验内容、实验预习要求、实验步骤,并附有详细的实验参考程序,以便初学者循序渐进地提高无线传感器网络编程能力与应用开发水平。

本书适合各大院校作为相关专业的实验教程。

图书在版编目(CIP)数据

基于 Sun SPOT 无线传感器网络实验教程 / 胡耀东, 申兴发, 戴国骏编著.

—北京: 电子工业出版社, 2008.11

ISBN 978-7-121-07505-6

I. 基… II. ①胡…②申…③戴… III. 无线电通信—传感器—实验—高等学校—教材
IV. TP212-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 153935 号

责任编辑: 孙学瑛

印 刷: 北京智力达印刷有限公司

装 订: 北京中新伟业印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 12.75 字数: 200 千字

印 次: 2008 年 11 月第 1 次印刷

印 数: 3000 册 定价: 35.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

序

随着通信技术、嵌入式计算技术和传感器技术的飞速发展和日益成熟，人们研制出了各种具有感知能力、计算能力和通信能力的微型传感器。由这些微型传感器构成的无线传感器网络引起人们的极大关注。无线传感器网络作为一种新的计算模式正在推动科技发展与社会进步，关系到国家政治、经济与社会安全，已成为国际竞争的焦点和制高点，引起了世界许多国家的军事部门、工业界和学术界的极大关注。我国最近几年也开始重视传感器网络技术的研究与发展，从各个层面支持这项技术的研究与发展。

无线传感器网络作为一个全新的研究领域，在基础理论与工程技术两个层面向科技工作者提出了大量的挑战性研究课题。无线传感器网络研究的实践性很强，要想对其进行深入的研究，必须熟练掌握开发环境、软件编程、程序调试等基本技能，提高实际操作与实践水平。而基础实验平台作为传感器网络研究与教学的基础条件，发展相对滞后，主流的实验平台普遍存在编程入门难、开发环境不友好、程序调试难、开发文档不详、实验指导材料偏少等问题，这都极大地制约了无线传感器网络研究的发展与进一步的应用推广。

Sun SPOT 是 Sun Microsystems 公司研发的新一代无线传感器网络平台，基于 ARM 处理器，与高级语言环境（Java）无缝集成。与目前主流传感器网络实验平台相比，Sun SPOT 具有编程入门容易、调试方便、处理器功能强大等显著的优点。本书主要提供 Sun SPOT 的实验指导，从无线传感器网络的节点处理器基本操作、传感器数据获取、基础通信、自组织网络等几个方面，设计并详细分析了 Sun SPOT 平台的 21 个基础性实验，以便读者循序渐进地提高实际操作水平，为无线传感器网络理论研究和应用实践打下坚实的基础。特别地，为了激发读者的兴趣，本书从实际问题出发设计了 4 个创新型实验，以提高读者的创新能力与解决实际问题的能力。

总之,本书由浅入深地介绍了无线传感器网络 Sun SPOT 应用开发过程,分析了可能碰到的各种常见问题,非常适合于该领域的新手入门,是传感器网络技术相关的研究者、应用开发人员及学生提高实际操作水平不可多得的书籍。北京西普阳光教育科技有限公司作为国内计算机学科实验教学解决方案的提供商,近年来在无线传感领域也推出了自己的解决方案,这次组织出版本书,也为我国无线传感器网络事业添砖加瓦,并促进该领域研究、教学与应用水平的进一步提高。

香港科技大学计算机科学及工程系客座教授

倪明选

2008 年 9 月

前言

无线传感器网络是由大量微型化、低成本、低功耗的传感节点组成的分布式自组织网络，是一项涉及微机电系统（MEMS）、微电子、无线通信、计算机等多学科交叉的新兴技术，在环境监测、军事国防、精准农业、卫生医疗、反恐等领域有广阔的应用前景。美国《商业周刊》与《MIT 技术评论》分别将无线传感器网络列为 21 世纪最有影响的 21 项技术与改变未来世界的 10 项新兴技术之一。

为什么写作本书

近几年来，我国国家自然科学基金委员会、科技部、工业和信息化部等均高度重视无线传感器网络技术，分别启动相关的科研项目。《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006-2020 年）》将“传感器网络及智能信息处理”列为未来信息产业及现代服务业的重点方向之一。国内很多高校及科研院所都已在无线传感器网络领域开展研究，从事学术科研与应用推广工作。

目前，国内无线传感器网络研究蓬勃开展，但是总的来说，国内的研究还处在起步阶段。很多技术还不成熟，硬件平台也不完善，特别是配套教材与实验指导书缺乏，范例少、入门难，阻碍了初学者与应用开发者开发水平的提高，极大地制约了无线传感器网络技术的进一步推广与应用。

无线传感器网络是一门实践性很强的技术，硬件平台的熟练掌握与使用是开展科研与应用开发的基础。与目前主流传感器网络实验平台相比，Sun Microsystems 公司研发的 Sun SPOT 具有编程入门容易、调试方便、处理器功能强大等显著的优点。本书针对国内无线传感器网络实验型教材缺乏的现状，以 Sun SPOT 产品为硬件平台，从无线传感器网络的节点处理器基本操作、传感器数据获取、基础通信、自组织网络、创新型实验等几个方面，设计并详细分析了 Sun SPOT 平台的 25 个实验，给出了每个实验的实验目的、实验设备、实验内容、实验预习要求、实验步骤，并附有详细的实验参考程序，以便初学者循序渐进地提高无线传感器网络编程能力与应用开发水平。

关于本书作者

北京西普阳光教育科技有限公司（<http://www.simpleware.com.cn>）是一家高新技术企

业和双软认定企业，自创立之初就将目标定位于“立足科研管理、专注实验教学、服务学术人群”，并一直为此目标不懈努力。多年来一直专注于教育科研领域信息化建设，深入国家层面科研计划的信息化支持服务，并面向高等院校与科研机构提供教学科研实验室整体解决方案，同时为学问人群提供在线交流的社区网站服务——学问社区网 (<http://www.51xuewen.com>)。公司发展至今，连续多年承担了科技部、教育部以及国家自然科学基金委的多个重大项目的信息化建设工作，获得国家科技部中小企业创新基金以及国家 863 计划支持，并成为多个国外专业科学软件的中国区独家合作伙伴，是 Sun 公司高校联合实验室计划的独家合作伙伴。

本书主要内容

本书共包括 7 章和 1 个附录，每章的主要内容如下：

第 1 章“基础知识”介绍了无线传感器网络的基本概念、发展历程和现在流行的标准如 Zigbee、6LowPan 等。

第 2 章“实验环境”介绍了 Sun SPOT 的详细结构和其采用的 CPU、无线发射模块。

第 3 章“基础实验”介绍了利用 Sun SPOT 进行简单的程序开发的方法和例子。

第 4 章“基础通讯实验”介绍了利用 Sun SPOT 分别以 Radiostream 和 Radiogram 两种通讯协议进行数据传输的开发方法和例子。

第 5 章“自组织网络实验”介绍了通过 Sun SPOT 建立出自组织网络以及进行自定义路由实验的例子。

第 6 章“创新实验”介绍了利用 Sun SPOT 进行创新实验的举例。

第 7 章“实验室解决方案”介绍了一种无线传感器网络的实验室解决方案。

附录摘录了 Sun SPOT 部分的 API。

致谢

此次，北京西普阳光教育科技有限公司能够出版这本书，要特别感谢杭州电子科技大学的申兴发老师和戴国骏老师、Sun 中国工程研究院蒋清野经理，没有申兴发老师、戴国骏老师、蒋清野经理的协助执笔，也就没有今天这本书的出版，同时我们还要感谢北京西普阳光教育科技有限公司总经理王建，如果没有王总的执着推动和协调各方面的资源，仅靠胡耀东一人之力此书很难和大家见面。

需要指出的是，目前无线传感器网络的研究涉及内容十分宽泛，很多技术尚未成熟，要编写一个全面、完善、易于教学的实验教程非常困难。由于水平有限，书中一定存在疏漏，希望广大读者不吝赐教，提出宝贵意见，我们的无线传感交流平台网址是 <http://wsn.51xuewen.com>，意见反馈请发邮件到 feedback@simpleware.com。

北京西普阳光教育科技有限公司

2008 年 9 月

目录

第 1 章 基础知识 1

1.1 无线传感器网络简介	1
1.2 无线传感器网络应用	2
1.2.1 在农业、环境领域上的应用	2
1.2.2 在建筑结构监控领域的应用	3
1.2.3 在机器人领域的应用	3
1.2.4 在体育、健康领域的应用	3
1.2.5 在物流领域的应用	3
1.2.6 在智能家居领域的应用	4
1.3 无线传感器网络体系结构	4
1.3.1 典型网络结构	4
1.3.2 无线传感器节点结构	4
1.3.3 无线传感器网络体系结构分类	5
1.4 无线传感器网络的技术挑战	5
1.5 无线传感器网络协议与标准	6
1.5.1 IEEE 802.15.4 标准	6
1.5.2 ZigBee 标准	8
1.5.3 6LoWPan 草案	9
1.5.4 工业无线协议	10
1.6 无线传感器网络节点实验平台	11

第 2 章 实验环境 14

2.1 Sun SPOT 入门	14
2.2 Sun SPOT 的组成	16
2.3 ARM 920T 芯片	17
2.4 CC2420 无线射频模块	19
2.4.1 CC2420 芯片内部结构	19
2.4.2 CC2420 特性参数	20

2.4.3	CC2420 内部寄存器结构	21
2.4.4	CC2420 针脚分布	21
2.4.5	CC2420 接口	22
2.4.6	CC2420 工作模式	23
2.5	集成开发环境和可视化虚拟平台	24
2.5.1	NetBeans IDE	24
2.5.2	SPOT World 虚拟环境	25
2.6	编译环境	26
2.6.1	Java 语言	26
2.6.2	Sun SPOT SDK	28
2.6.3	ANT	28
2.7	准备实验	28
第 3 章	基础实验	40
3.1	Sun SPOT 的使用	40
3.2	集成开发环境实验	42
3.3	第一个 Sun SPOT 程序	45
3.4	Sun SPOT 虚拟环境	49
3.5	走马灯实验	52
3.6	模拟采样实验	54
3.7	数字采样实验	57
3.8	按钮控制实验	59
3.9	温度监控实验	63
3.10	光强监控实验	66
3.11	加速度监控实验	69
第 4 章	基础通信实验	73
4.1	使用 Radiostream 进行点对点无线通信	74
4.2	使用 Radiogram 进行客户端/服务端无线通信	78
4.3	使用 Radiogram 进行广播无线通信	83
4.4	使用 Radiogram 进行无线交互通信	87
4.5	自存储、处理实验	92
4.6	通信综合实验	97
第 5 章	自组织网络实验	102
5.1	指定路由多跳网络实验	102
5.2	基于简单的泛洪协议的多跳路由网络实验	108

5.3	传感数据采集的点到基站的综合通信	114
5.4	网络 Sniffer 节点	121
第 6 章	创新实验	137
6.1	门开关监控实验	137
6.2	鼠标控制实验	141
6.3	基于基站通讯的用户查询节点通信实验	146
6.4	外接湿温度传感器实验	152
第 7 章	无线传感器网络实验室方案	156
7.1	西普科技介绍	156
7.1.1	公司部分典型用户	157
7.1.2	建设背景	157
7.1.3	建设目标	158
7.2	实验室方案	159
7.2.1	设计思路	159
7.2.2	方案组成	160
7.2.3	方案优势及特点	163
7.3	无线传感器网络实验教学平台	163
7.3.1	课程介绍	164
7.3.2	基于 SunSPOT 的无线传感器网络实验安排（参考）	165
7.3.3	推荐配置清单	166
7.4	实验室建成的意义	167
7.5	技术服务	168
7.5.1	技术服务概述	168
附录 A	常用的接口与类	170
A.1	常用接口	170
A.1.1	DatagramConnection	170
A.1.2	I802_15_4_MAC	171
A.1.3	I802_15_4_PHY	171
A.1.4	IAccelerometer3D	171
A.1.5	ITriColorLED	173
A.1.6	IScalarInput	173
A.1.7	ILightSensor	174
A.1.8	ITemperatureInput	174
A.2	常用类	175
A.2.1	Address	175

A.2.2	CC2420Driver.....	176
A.2.3	Connector.....	177
A.2.4	EDemoBoard.....	177
A.2.5	IEEEAddress.....	179
A.2.6	InputPin.....	179
A.2.7	IOPin.....	180
A.2.8	LowPan.....	181
A.2.9	OutputPin.....	182
A.2.10	PIOPin.....	183
A.2.11	Radiogram.....	184
A.2.12	RecordStore.....	186
A.2.13	Spot.....	187

第 1 章 基础知识

1.1 无线传感器网络简介

近年来随着无线通信技术、分布式计算技术、传感器技术及微机电系统 (MEMS) 技术的快速发展与融合,使得低成本、低功耗、大规模的无线传感器网络的产生与发展成为可能。无线传感器网络是由大量无处不在的、具有通信与计算能力的微小传感器节点,以多跳无线通信方式构成的自组织网络系统,它能智能地感知与采集周围环境的信息,并能根据环境需求自主完成指定任务。无线传感器网络所带来的一种全新的信息获取与信息处理模式,将深刻影响着信息技术的未来发展。

无线传感器网络被认为是继因特网之后,将对 21 世纪人类生活方式产生重大影响的 IT 热点技术,它以其先进的理念和广泛的应用前景日益受到全世界学术界与工业界的高度关注。因特网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。1999 年和 2003 年著名的美国商业周刊和 MIT 技术评论在预测未来技术发展的报告中,分别将其列为 21 世纪最具影响的 21 项技术和改变世界的 10 大新技术之一。

无线传感器网络研究早在上个世纪 70 年代就已经开始,它是由美国国防部高级研究计划署 (DARPA) 推动的,其研究重点是传感器节点,传感器节点之间通过点对点进行简单的通信。1998 年, Gregory. J. Pottie 从网络研究的角度重新阐释了无线传感器网络的科学意义。近年来,鉴于其巨大的应用价值,无线传感器网络的学术研究快速发展起来,重点在传感器节点体系结构、通信协议设计、信息处理和大规模网络应用等方面。

其中著名的项目有: UC Berkeley 的 Smart Dust; UC Berkeley 等 25 个研究机构共同承担的 SensIT 项目; UCLA 和 Rockwell Automation Center 的合作项目 WINS; MIT 的 μ AMPS 项目等。接着, DARPA 的 NEST、美国 NSF 的 FIREBUG 和 CENS 项目相继启动。欧洲 FP6 (欧盟第六框架) 也于 2002 年发起了 EYES, GoodFood 等项目。日本、韩国、英国、意大利、巴西等国家都对传感器网络表现出了极大的兴趣,纷纷展开该领域的研究工作。

在一份有关我国未来 20 年预见技术的调查报告中,信息领域 157 项技术课题中有 7 项与传感器网络直接相关。2006 年初发布的《国家中长期科学与技术发展规划纲要》为

信息技术确定了三个前沿方向,其中两个与无线传感器网络的研究直接相关,即智能感知技术和自组织网络技术。目前,国家 973 计划、国家自然科学基金和国家 863 高技术计划等国家和省部级科技发展“十一五”规划亦设专项资助该领域的理论、方法和关键技术研究。清华、哈工大、上海交大、浙大、中科院计算所、软件所、沈阳自动化所等单位相继开展了无线传感器网络基础理论研究,在节点体系结构、通信协议、覆盖与部署、协同设计和数据管理与信息处理等方面取得了若干重要成果。

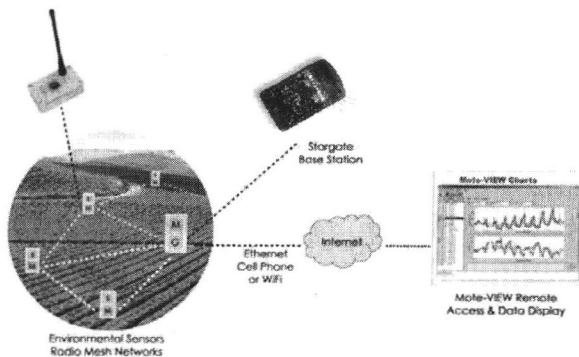
目前,无线传感器网络研究已逐渐走出节点软硬件体系设计和分层通信协议开发的初级阶段,进入面向应用的整体解决方案研究的高级阶段,侧重于对无线传感器网络的节点群体行为的研究,如无线传感器网络中的网内信息处理、数据聚合、部署覆盖、跨层协同设计、能量管理与优化调度等。研究的范围也不断扩大,向无线传感器/执行器网络、多媒体传感器网络、躯域传感器网络(Body Sensor Networks)等相关领域扩展。

1.2 无线传感器网络应用

无线传感器网络有着广泛的应用前景。与 Internet 技术相似,无线传感器网络最初也是由美国军方提出的,在战场监控等军事领域有着重要的应用价值。在民用领域中,无线传感器网络同样有着广泛的应用前景,特别是生态环境监测、先进制造、医疗健康、紧急事件响应、建筑物安全监控、精细农业等领域。其所具有的电池供电、机动部署、自组织组网、不依赖固定设施等特点决定了无线传感器网络在很多场合中有着不可替代的作用。总的来说,无线传感器网络还是一项新型技术,还没有取得广泛的商业应用,但在科学研究和试验方面已经有了很多成功的应用范例。

1.2.1 在农业、环境领域上的应用

在农业学科研究方面,无线传感器网络有着卓越的技术优势。它可用于监视农作物灌溉情况、土壤空气变更、牲畜和家禽的环境状况以及大面积的地表检测。如图所示,一个典型的系统通常由环境监测节点、基站、通信系统、互联网以及监控软硬件系统构成。根据需要,人们可以在待测区域安放搭载不同模块的传感器节点并组成网络,长期大面积地监测微小的气候变化,包括温度、湿度、风力、大气、降雨量,收集土地的湿

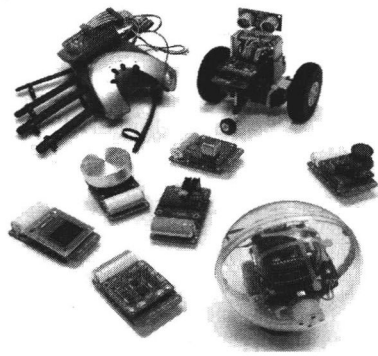


度、氮浓缩量和土壤 PH 值等,从而进行科学预测,为农学的理论研究和实践方法,提供了更可靠的数据来源。无线传感器网络的通信便利、部署方便的优点,使其在节水灌溉的控制中也可以得以应用。同时,无线传感器网络节点通过附加模块还可具有土壤参数、气象参数的测量能力,再与互联网、GPS 技术结

合,可以比较方便地实现灌区动态管理、作物需水信息采集与精量控制专家系统的构建,并可进而实现高效、低能耗、低投入、多功能的农业节水灌溉平台。著名的环境监测应用有美国的大鸭岛海燕生活习性监测保护。

1.2.2 在建筑结构监控领域的应用

利用无线传感器网络节点上搭配适当的模块,例如压电传感器、加速度传感器、超声传感器、湿度传感器等,可以有效地构建一个三维立体的防护检测网络。该系统可用于监测桥梁、高架桥、高速公路等道路环境。对许多老旧的桥梁,桥墩长期受到水流的冲刷,传感器节点能够放置在桥墩底部,用以监测桥墩结构;也可放置在桥梁两侧或底部,搜集桥梁的温度、湿度、振动幅度、桥墩被侵蚀程度等,能减少断桥所造成生命财产的损失。典型的应用为美国加州大学伯克利分校对旧金山金门大桥部署的建筑健康监测系统。



1.2.3 在机器人领域的应用

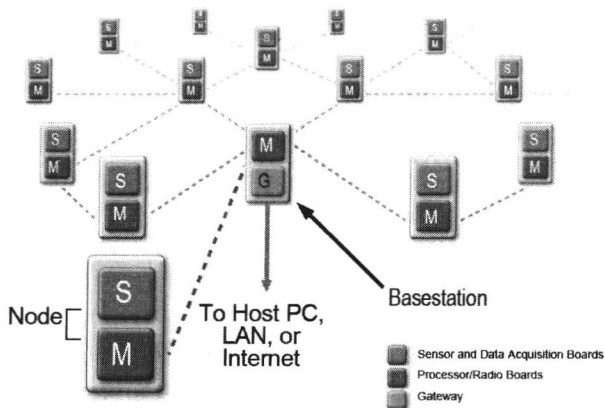
机器人具备强大的计算能力、灵活性和执行能力,但其对全局环境的感知能力有限。通过使用无线传感器网络节点及其相关模块来组建无线传感器网络能对环境进行大范围的、连续的监测,可以弥补机器人感知能力的不足。基于无线传感器网络的机器人导航,利用了无线传感器网络和移动机器人两者各自的优势,具有良好的应用前景。

1.2.4 在体育、健康领域的应用

将无线传感器节点与其相关模块绑于测试者的身体上,无线传感器网络可以在运动时实时检测各项人体生理数据,传感器在接收到数据以后归纳计算出运动的相关参数。例如在运动员身上安置负责体温采集、呼吸、血压等传感器节点,教练员可以远程了解运动员的情况,便于教练员能够纠正错误的姿势和给出更加合理的训练建议。

1.2.5 在物流领域的应用

利用无线传感器网络节点,以其部署方便、组网灵活的特点,可用来进行粮食、蔬菜、水果、蛋肉存储仓库的温度、湿度控制,中央空调系统的监测与控制,以及厂房环境控制,特殊实验室环境的控制等,为保障存货



质量安全、降低能耗提供解决方案。

著名的沃尔玛连锁店已经投入资金，在其货物上加装无线传感器节点和射频识别条形码芯片（RFID），以保证其各类货物处在最佳的储藏环境，同时，使该公司和供应商能够跟踪从生产到收款台的商品流向。

1.2.6 在智能家居领域的应用

智能家居系统的设计目标是将住宅内的各种家居设备联系起来，使它们能够自动运行，相互协作，为居住者提供尽可能多的便利和舒适。无线传感器网络很好地满足了这个需求，部署方便、编程简单、操控性强的特点使其可以将整个智能家居中的各种设备控制协调起来。

1.3 无线传感器网络体系结构

1.3.1 典型网络结构

如图 1.1 所示，典型的无线传感器网络系统通常包括传感器节点、基站节点和管理节点。大量传感器节点随机部署在检测区域的内部或者附近，能够通过自组织方式构成网络。无线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融合、处理，经过多跳路由的传输最后汇聚到基站节点。同时，用户可以用管理节点来对网络进行配置、监控和管理。

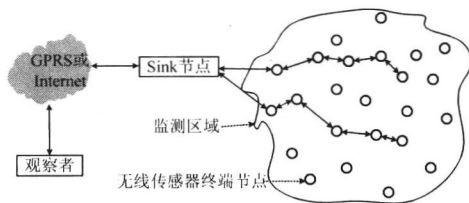


图 1.1 无线传感器网络结构

1.3.2 无线传感器节点结构

在为一个无线传感器网络选择部件时，应用的需求起着决定的作用，这种需求可能是节点的尺寸、成本、能量的消耗等。在一些极端的情况下，要求整个传感器节点的尺寸小于 1cm^3 ，重量小于 100g 。但在日常生活的应用中，节点的尺寸并不是考虑的重点，电源和成本反而是重中之重。

一般的传感器节点由传感器模块、处理器模块、无线通信模块和能量供应 4 个模块组成。传感器模块是与外界环境的真正接口，负责观测或者控制区域内的物理信息；无线通信模块负责数据的无线发送和接收，并且将节点连接成网；处理器模块包含控制器和存储器，控制器负责将采集来的信息和接收到的信息进行处理，存储器负责数据的暂

时存储。能量供应模块，顾名思义，则为所有元器件提供能量支持，基本上采用电池供电的方式，也可以通过提取环境能源实现供电。

这些部件必须在保持尽可能小的功耗和可接受的功能之间进行折中。例如，在不需要使用的时候将通信模块和处理器模块睡眠，需要时通过远程或者定时系统唤醒节点。一旦发生事故，传感器产生中断信号，通知其余的节点。

1.3.3 无线传感器网络体系结构分类

典型的无线传感器网络体系结构有支持动态协议栈的、有层次性的、有自适应的、有可编程的、有自管理的、有自恢复的、有多任务的和基于代理的等：

动态协议栈是指体系结构允许应用程序根据实际需要动态加载协议栈，主要解决无线传感器网络节点资源有限的问题；层次性结构则主要是出于代码可重用性的考虑；自适应体系结构提出了信息交换服务（IES, Information Exchange Service）的概念，它类似一种总线，将通常垂直分布的协议组件有效地联结在一起，容易通过跨层（Cross Layer）设计的思想优化资源利用，延展网络的生命周期；可编程的传感器网络强调“网内数据处理”的重要性，通过提供区域性的操作原语来执行数据发现和查询、数据共享与融合等操作，这样可以简化部分协议、机制和算法的实现，同时能提高它们的性能；自管理的和自恢复的体系结构将传统网络中原本加以区分的管理和服务功能融合为一体；支持多任务是无线传感器网络应该具备的特性之一，但已有的针对特定任务设计的应用系统大都忽略了这一点，多任务的体系结构，在网络层和应用层引入状态层（State Layer）来根据应用需求对网络节点进行功能性划分；基于代理的无线传感器的网络体系结构从方便应用程序设计的角度来支持多功能和多任务，智能代理的引入更为无线传感器网络提供了可扩展性：可以依据应用需求增删不同功能的代理，也可依据网络节点数目的变化自动扩展和收缩代理覆盖的范围，从而达到网络可扩展的目的。

值得注意的是，上述的无线传感器网络体系结构并不成熟，各自有优缺点，无线传感器网络体系结构设计中需要考虑的要素归纳如下：

- 节点资源的有效利用
- 支持网内数据处理
- 支持协议跨层设计
- 增强安全性
- 支持多协议
- 支持有效的资源发现机制
- 支持可靠的低延时通信
- 支持容忍延时的非面向连接通信
- 开放性

1.4 无线传感器网络的技术挑战

无线传感器网络发展的初期，很多人认为它和 Ad Hoc 网络没有太大的区别，可以使

用 Ad Hoc 网络的一些研究成果解决无线传感器网络的问题,但事实却证明无线传感器网络和现在的 Ad Hoc 网络有很多不同:传感器节点的处理能力、通信能力、存储能力和所携带的能源都要比 Ad Hoc 网络节点的低很多。

- 无线传感器网络的节点的移动性没有 Ad Hoc 网络节点强。
- 无线传感器网络拓扑的改变主要是由于节点的失效或者是能量消耗殆尽,而 Ad Hoc 网络拓扑结构的改变主要是由于节点的移动。
- 无线传感器网络的协议要比 Ad Hoc 网络的简单,在无线传感器网络中没有 IP 地址的概念。无线传感器网络相关的一些协议只能使用有限的存储空间,对节点的处理能力也不能要求过高。
- 无线传感器网络的功能主要是收集数据,收集到的数据可以传给一个汇聚节点(单 Sink 模式),也可以传给多个汇聚节点(多 Sink 模式),而 Ad Hoc 网络更多的是考虑点到点到点通信。

无线传感器网络的功能强大,因而它可以为许多应用提供支持。同时,由于应用的多样性,构建无线传感器网络本身也是一项富有挑战性的工作,因为目前尚没有任何一款产品能够迎合所有环境的需要,例如在许多野外环境监测中,无线传感器节点很难和有线电源相连接,因此,如何降低功耗,增加电池容量成为了考虑的重点;而在生物制药的环境监测中,对环境感知的灵敏度、精确度也成为了主要考虑的因素。

无线传感器网络的主要特点是资源受限,每个传感器节点的能量、处理能力、存储能力都是非常有限的,且由于对传感器节点的成本要求,导致节点的可靠性也不是很高。这些都给无线传感器网络的设计带来了很大的挑战。

除了要组建低成本且容易实现的网络外,还需要注意到传感器节点的健壮性和有效的执行能力。利用合适的传感器技术,选用合适的传感器,用户就可以很容易地使无线传感器网络具有融合各种物理参数的功能。一些常见的物理参数包括温度、湿度、光强、加速度、声音、振动、磁场、压力等。

构造无线传感器网络离不开先进工艺的支持。其中首要的技术是硬件工艺制程的小型化。较小工艺的芯片极大地降低了功耗,提高了单位面积晶体管的数目,使得高效无线传感器网络成为可能。譬如,随着处理器和无线通信模块工艺制程的发展,无线传感器网络节点缩减了功耗,提高了效率并且降低了成本,同时实现了节点的冗余部署。

综上所述,由于无线传感器网络的自身特点以及应用需求,网络的设计与实现是一件很有挑战性的工作,而且是一个跨学科的研究领域,相关的一些技术难题还有待于我们的进一步研究和认识。

1.5 无线传感器网络协议与标准

1.5.1 IEEE 802.15.4 标准

随着通信技术的迅速发展,人们提出了在人自身附近几米范围之内通信的需求,于是就出现了个人区域网络和无线个人区域网络的概念。无线区域网络为近距离范围内的