



无线传感器网络核心技术



完整的教学与实践体系

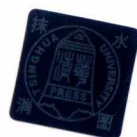


丰富的教学配套资源

无线传感器 网络技术原理及应用（第2版）

◎ 许毅 陈立家 甘浪雄 章阳 编著
袁景凌 审

清华大学出版社



21世纪高等学校物联网专业规划教材



无线传感器 网络技术原理及应用（第2版）

◎ 许毅 陈立家 甘浪雄 章阳 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书根据物联网工程本科专业的发展方向和教学需要,结合无线网络传感器网络技术的最新发展技术及其应用现状编写而成,主要介绍无线传感器网络的基本概念、无线传感器网络开发环境、无线传感器网络拓扑控制与覆盖技术、无线传感器网络通信与组网技术、无线传感器网络支撑技术、无线传感器网络协议的技术标准、无线传感器网络安全技术、无线传感器网络接入技术、无线传感器网络的应用、无线传感器网络与物联网等。

本书内容丰富、覆盖面广、浅显易懂,不仅注重基本概念和基础技术,还强调了技术应用和实践教学内容,力求概念准确、图文并茂。

本书可作为普通高等院校物联网工程专业的本科教材,主要针对以下阅读群体:

- (1) 开设无线传感器网络课程的本科生,涉及的专业包括物联网工程、计算机和自动化等信息技术类专业;
- (2) 普通高校的硕士生、博士生(作为无线传感器网络的入门辅导书);
- (3) 工程技术开发人员。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

无线传感器网络技术原理及应用/许毅等编著.—2版.—北京:清华大学出版社,2019
(21世纪高等学校物联网专业规划教材)
ISBN 978-7-302-45991-0

I. ①无… II. ①许… III. ①无线电通信—传感器 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 312798 号

责任编辑:魏江江 薛 阳

封面设计:刘 键

责任校对:时翠兰

责任印制:董 瑾

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:25 字 数:613千字

版 次:2015年9月第1版 2019年1月第2版 印 次:2019年1月第1次印刷

印 数:9501~11000

定 价:59.50元

产品编号:071024-01

前言

作为物联网最重要的基础支撑技术之一,无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)是当前在国际上备受关注的、涉及多学科高度交叉、知识高度集成的前沿热点研究领域。传感器技术、微机电系统、现代网络和无线通信等技术的进步,推动了现代无线传感器网络的产生和发展。

无线传感器网络作为全新的技术领域,扩展了人们的信息获取能力,将客观世界的物理信息同传输网络连接在一起,在下一代网络中将为人们提供最直接、最有效、最真实的信息。无线传感器网络能够获取客观物理信息,具有十分广阔的应用前景,能应用于军事国防、工农业控制、城市管理、生物医疗、环境检测、抢险救灾、危险区域远程控制等领域。已经引起了许多国家学术界和工业界的高度重视,被认为是对 21 世纪产生巨大影响的技术之一。我国也把这项技术发展列入长期科技发展规划,2009 年 8 月,温家宝同志在中科院无锡高新微纳传感网络工程研发中心考察时,强调在国家重大科技专项中,要加快推进无线传感器网络的发展。

物联网工程专业是一个完全崭新的专业,是教育部 2010 年根据国家新兴战略性新兴产业发展需要新设立的相关本科专业,无线传感器网络是物联网工程专业的核心课程之一。本科教育是高等教育的主体和基础,抓好本科教学是提高整个高等教育质量的重点和关键。因此,本专业学生或者其他相关信息专业的本科生学习无线传感器网络的基本内容和基础技术具有非常重要的意义。

随着无线传感器网络技术的不断发展,本科教学内容也要随之发生改变。因此,编者在从事无线传感器网络技术多年工程实践、教学活动的基础上,对 2011 年出版的《无线传感器网络原理及方法》一书的内容进行了大量的修改,增加了许多新的技术内容和实践教学内容,让学生更好地学习掌握无线传感器网络的最新技术,以适应当今社会发展。

本书依据物联网工程专业培养计划及无线传感器网络教学大纲而编写。为了适合教学需要,每章提供完整的教学电子文档,各章后面均附有习题,书后附有主要的参考文献。通过本课程的学习,主要让学生掌握无线传感器网络设计与开发的基本技术,为今后从事无线传感器网络系统和网络化探测设备的设计开发打下良好的基础。

本书对无线传感器网络的核心技术进行了较为深入且全面的剖析,在编写上力求内容完整,深入浅出;在内容描述上做到理论与实践、技术与应用相结合。本书建立了一套完整的教学与实践体系,全书共分 9 章。

第 1 章是绪论,内容包括 WSN 的基本概念、WSN 的特点、WSN 的关键性能指标、传感器的类型、WSN 的应用。

第 2 章是 WSN 开发环境,内容包括 WSN 平台硬件设计、WSN 的操作系统、现代 WSN 实验平台和 ZigBee 硬件平台等。

第 3 章是 WSN 拓扑控制与覆盖技术,内容包括 WSN 拓扑结构、拓扑控制概述、拓扑控

制技术、层次性拓扑结构控制方法、启发机制、覆盖和传感器网络的覆盖控制等。

第4章是WSN通信与组网技术,内容包括WSN协议结构、物理层、数据链路层协议、网络层协议、传输层协议、应用层协议、MAC协议和路由协议等。

第5章是WSN支撑技术,内容包括时间同步、定位技术、数据融合、能量管理、容错技术、QoS保证和安全技术等。

第6章是WSN协议技术标准,内容包括技术标准的意义、IEEE 1451系列标准、ZigBee协议栈原理、蓝牙(Bluetooth)、WiFi技术、UWB、红外线数据传输技术(IrDA)和各种短距离无线通信技术特点比较等。

第7章是WSN接入技术,内容包括多网融合体系结构、接入技术、WSN接入Internet、传感器网络服务提供方法、多网融合网关的硬件设计和网关接入外部基础设施网络的实现等。

第8章是WSN的应用,内容包括基于WSN路况信息监测技术的实现、基于WSN的智能家居系统设计与实现和基于TinyOS的WSN定位系统的设计等。

第9章是WSN与物联网,内容包括物联网的基本概念,RFID与WSN的整合,物联网环境下的WSN和基于RFID的WSN车载信息服务系统设计等。

本书作者的工作得到了国家自然科学基金项目、湖北省基金项目、湖北省教研项目、武汉理工大学教研项目等的支持和资助,在此表示谢意!感谢武汉创维特公司提供实验开发板和实验原理图,感谢刘铁刚经理及公司工程师在实验过程中提供技术指导,为本书的撰写提供实验数据。研究生李振华、刘书进、毛楚阳、刘姣姣、李兆祥、崔梅、杨威、曾伟伟、刘荣兰、张佳珂、许永强、高玉、李欢、秦雪涵和赵晓静等人为本书的完成也做出了贡献。另外,在本书的编写过程中参考了大量文献和资料,恕不一一列举,在此对原作者深表谢意。

许毅完成第1章、第4章和第7章的编写;陈立家完成第3章、第5章和第6章的编写;甘浪雄完成第2章和第8章的编写;章阳完成第9章和所有章节习题的修订。

无线传感器网络技术发展非常快,目前正处在迅速发展时期,新思想、新技术、新观点不断涌现,本书力求比较全面地介绍无线传感器网络的主要技术原理及应用,由于作者水平所限,书中内容难免存在不足之处,希望广大读者批评指正。

感谢读者选择使用本书,欢迎您对本书内容提出批评和修改建议,本书的作者将竭诚为您服务。

作 者

2018年1月于武汉

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 WSN 的基本概念	1
1.1.1 无线网络的描述	1
1.1.2 WSN 的定义	2
1.1.3 WSN 系统的组成	3
1.2 WSN 的特点	3
1.2.1 与无线自组网的区别	3
1.2.2 与现场总线的区别	4
1.2.3 传感器节点的限制	4
1.2.4 WSN 的特点	5
1.3 WSN 的关键性能指标	7
1.4 传感器的类型	9
1.4.1 传感器的基础知识	9
1.4.2 传感器的分类	10
1.4.3 常见传感器的类型介绍	10
1.4.4 传感器的基本特性	12
1.5 WSN 的应用	15
习题 1	16
第 2 章 WSN 开发环境	17
2.1 概述	18
2.2 WSN 平台硬件设计	19
2.2.1 系统结构图	19
2.2.2 节点设计内容与要求	19
2.2.3 节点的模块化设计	21
2.2.4 传感器节点开发实例	27
2.2.5 常见传感器节点	30
2.3 WSN 的操作系统	32
2.3.1 概述	32
2.3.2 nesC 语言	33
2.3.3 TinyOS 组件模型	34
2.3.4 TinyOS 通信模型	37

2.3.5	TinyOS 事件驱动机制	39
2.3.6	调度策略	40
2.3.7	能量管理机制	41
2.3.8	LED 灯闪烁实验分析	42
2.4	现代 WSN 典型实验平台	44
2.4.1	硬件系统的组成	44
2.4.2	硬件组件介绍	45
2.4.3	传感器节点	46
2.4.4	路由器节点	47
2.5	ZigBee 硬件平台	48
2.5.1	CC2530 芯片的特点	48
2.5.2	CC2530 片上 8051 内核	49
2.5.3	CC2530 主要特征外设	50
2.5.4	CC2530 无线收发器	52
2.5.5	CC2530 开发环境	52
习题 2	55
第 3 章	WSN 拓扑控制与覆盖技术	56
3.1	WSN 拓扑结构	57
3.1.1	平面网络结构	57
3.1.2	分级网络结构	57
3.1.3	混合网络结构	58
3.1.4	Mesh 网络结构	58
3.2	拓扑控制	60
3.2.1	概述	60
3.2.2	拓扑控制的意义	60
3.2.3	拓扑控制设计目标	61
3.3	功率控制	62
3.4	层次性拓扑结构控制方法	64
3.5	启发机制	66
3.6	覆盖	67
3.6.1	覆盖理论基础	67
3.6.2	覆盖感知模型	69
3.6.3	覆盖算法分类	70
3.6.4	典型覆盖算法	71
3.6.5	覆盖能效评价指标	74
3.7	传感器网络的覆盖控制	76
习题 3	80

第 4 章 WSN 通信与组网技术	82
4.1 WSN 协议结构	83
4.1.1 传统网络协议 OSI 参考模型	83
4.1.2 WSN 协议的分层结构	83
4.2 物理层	85
4.2.1 物理层概述	85
4.2.2 通信信道分配	86
4.2.3 WSN 物理层的设计	89
4.3 数据链路层协议	90
4.4 网络层协议	92
4.5 传输层协议	94
4.5.1 Event-to-Sink 传输	94
4.5.2 Sink-to-Sensors 传输	95
4.6 应用层协议	96
4.6.1 传感器管理协议	96
4.6.2 任务分派与数据广播协议	96
4.6.3 传感器查询与数据分发协议	97
4.7 MAC 协议	97
4.7.1 MAC 协议的分类	97
4.7.2 IEEE 802.11 协议	98
4.7.3 基于竞争的 MAC 协议	107
4.7.4 基于时分复用的 MAC 协议	112
4.8 路由协议	115
4.8.1 路由协议概述	115
4.8.2 平面路由协议	118
4.8.3 层次路由协议	121
4.8.4 能量感知路由	122
习题 4	125
第 5 章 WSN 支撑技术	127
5.1 时间同步	128
5.1.1 时钟同步问题	128
5.1.2 时间同步问题	129
5.1.3 时间同步基础	131
5.1.4 时间同步协议	133
5.2 定位技术	139
5.2.1 基本描述	139
5.2.2 节点位置的计算方法	142

5.2.3	基于测距的定位算法	144
5.2.4	距离无关的定位算法	147
5.2.5	典型的定位系统	149
5.3	数据融合	152
5.3.1	数据融合的基本概念	152
5.3.2	数据融合分类	153
5.3.3	基于组播树数据融合算法实现	155
5.4	能量管理	162
5.4.1	能量管理的意义	162
5.4.2	电源节能方法	163
5.4.3	动态能量管理	165
5.5	容错技术	173
5.5.1	容错技术的基本描述	173
5.5.2	故障模型	175
5.5.3	故障检测与诊断	176
5.5.4	故障修复	181
5.6	QoS 保证	183
5.6.1	QoS 概述	183
5.6.2	QoS 研究	186
5.7	安全技术	189
5.7.1	安全攻击	189
5.7.2	安全协议	194
5.7.3	安全管理	196
	习题 5	202
第 6 章	WSN 协议技术标准	205
6.1	IEEE 1451 系列标准	206
6.2	IEEE 802.15.4 标准	209
6.2.1	IEEE 802.15.4 标准概述	209
6.2.2	物理层	210
6.2.3	MAC 子层	212
6.2.4	符合 IEEE 802.15.4 标准的传感器网络实例	215
6.3	ZigBee 协议栈原理	217
6.3.1	概述	217
6.3.2	寻址	218
6.3.3	绑定	221
6.3.4	路由	223
6.3.5	ZDO 消息请求	225
6.3.6	便携式设备	226

6.3.7	端到端确认	226
6.3.8	其他	227
6.3.9	安全	228
6.3.10	ZigBee 系统软件的设计	229
6.3.11	符合 ZigBee 规范的传感器网络实例	231
6.4	蓝牙	233
6.4.1	蓝牙协议栈简介	233
6.4.2	蓝牙协议栈分析	234
6.4.3	蓝牙技术的发展趋势	242
6.5	UWB 技术	243
6.5.1	概述	243
6.5.2	UWB 主流技术	243
6.5.3	UWB 的发展趋势	245
6.6	红外线数据传输技术	245
6.7	短距离无线通信技术特点比较	246
	习题 6	246
第 7 章	WSN 接入技术	247
7.1	多网融合体系结构	248
7.2	面向 WSN 接入	249
7.2.1	概述	249
7.2.2	面向以太网的 WSN 接入	250
7.2.3	面向无线局域网的 WSN 接入	251
7.2.4	面向移动通信网的 WSN 接入	252
7.3	WSN 接入 Internet	254
7.3.1	概述	254
7.3.2	WSN 接入 Internet 结构	255
7.3.3	WSN 接入 Internet 方法	257
7.3.4	WSN 接入 Internet 体系结构设计	259
7.4	WSN 服务提供方法	263
7.4.1	服务提供体系	263
7.4.2	服务提供网络中间件	263
7.4.3	服务提供步骤	265
7.5	多网融合网关的硬件设计	266
7.5.1	网关总体结构设计	266
7.5.2	现代 WSN 网关实验平台	270
7.6	网关接入外部基础设施网络的实现	274
	习题 7	275

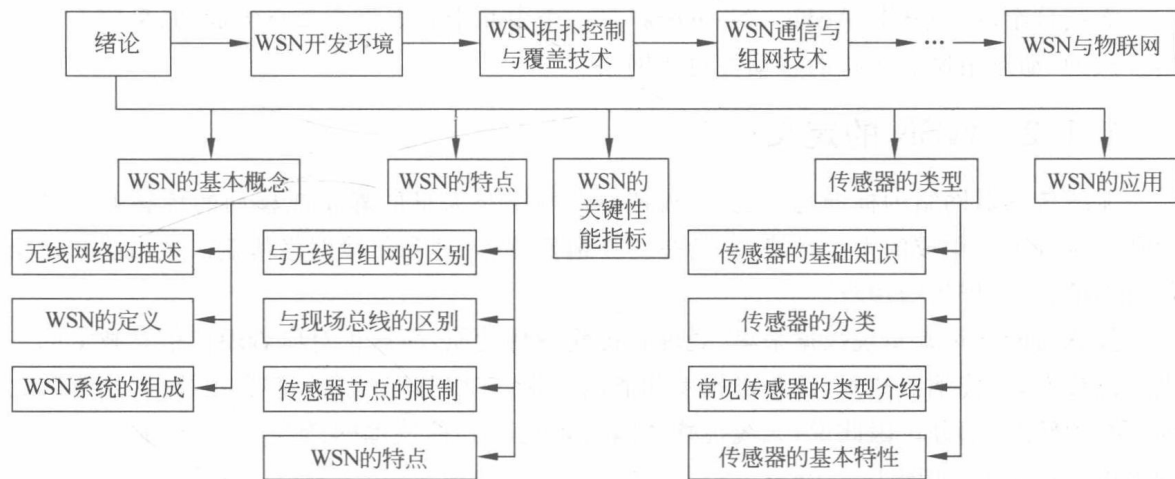
第 8 章 WSN 的应用	276
8.1 基于 WSN 路况信息监测技术的实现	277
8.1.1 路面参数监测传感器选择	277
8.1.2 道路车流量监测的传感器	285
8.1.3 交通参数监测技术	292
8.1.4 交通参数监测的实施方案	299
8.2 基于 WSN 的智能家居系统设计与实现	301
8.2.1 智能家居的基本描述	301
8.2.2 智能家居系统的整体架构	302
8.2.3 节点硬件设计	306
8.2.4 终端节点硬件设计	310
8.2.5 节点软件部分设计	318
8.2.6 节点功能的实现	322
8.2.7 节点能量控制	329
8.2.8 智能家居网关分析	331
8.2.9 智能家居网关通信技术	332
8.2.10 智能家居网关总体设计	334
8.2.11 智能家居网关硬件设计	336
8.2.12 智能家居网关操作系统及驱动移植	338
8.2.13 智能家居网关应用软件设计	340
8.2.14 智能家居系统演示平台搭建	346
8.3 基于 TinyOS 的 WSN 定位系统的设计	348
8.3.1 定位系统设计的原则	348
8.3.2 定位系统算法选择	349
8.3.3 WSN 节点硬件设计	350
8.3.4 TinyOS 程序编译与移植	351
8.3.5 RSSI 定位的 TinyOS 实现	352
8.3.6 未知节点程序设计	353
8.3.7 信标节点程序设计	354
8.3.8 网关节点程序设计	356
8.3.9 实验测试结果	357
8.3.10 无线传输损耗模型分析与验证	358
习题 8	361
第 9 章 WSN 与物联网	362
9.1 物联网的基本概念	363
9.1.1 物联网的兴起	363

9.1.2	物联网的定义	363
9.1.3	物联网的特点	364
9.1.4	物联网的技术架构	364
9.1.5	物联网关键技术	365
9.2	RFID 与 WSN 的整合	365
9.2.1	RFID 的基础理论	365
9.2.2	RFID 和 WSN 整合的原因	367
9.2.3	RFID 标签与传感器的整合	369
9.2.4	RFID 标签与传感器节点的整合	372
9.2.5	读写器与传感器节点的整合	374
9.2.6	RFID 和传感器的整合	377
9.3	物联网环境下的 WSN	378
9.4	基于 RFID 的 WSN 车载信息服务系统设计	380
9.4.1	系统整体设计	380
9.4.2	系统硬件设计	381
9.4.3	系统网络模块	382
9.4.4	系统软件设计	382
9.4.5	应用软件设计	383
9.4.6	系统软件测试	385
	习题 9	386
	参考文献	387

学习目标

- 掌握无线传感器网络的定义。
- 掌握无线传感器网络系统的组成。
- 理解无线传感器网络与无线网络的关系。
- 掌握无线传感器网络的特点。
- 掌握无线传感器网络的关键性能指标。
- 了解传感器的分类。
- 了解传感器的基本特性。
- 了解无线传感器网络的应用。

学习导航



1.1 WSN 的基本概念

1.1.1 无线网络的描述

无线网络的定义不仅包括允许用户建立远距离无线连接的全球语音和数据网络,而且还包括为近距离无线连接进行优化的红外线技术及射频技术,与有线网络的用途十分类似,最大的不同在于传输媒介的不同,利用无线电技术取代网线,可以和有线网络互为备份。

无线网络的分类如图 1-1 所示,分为有基础设施网和无基础设施网两类。

有基础设施网,需要固定基站。例如人们使用的手机,属于无线蜂窝网,它就需要高大的天线和大功率基站来支持,基站就是最重要的基础设施;另外,使用无线网卡上网的无线局域网,由于采用了接入点这种固定设备,也属于有基础设施网。

无基础设施网,又称为无线 AdHoc 网络,节点是分布式的,没有专门的固定基站。

无线 AdHoc 网络可分为移动 AdHoc 网络和无线传感器网络两类。

移动 AdHoc 网络的终端是快速移动的。一个典型的例子是美军 101 空降师装备的 AdHoc 网络通信设备,保证在远程空投到一个陌生地点之后,在高度机动的装备车辆上仍然能够实现各种通信业务,而无须借助外部设施的支援。

无线传感器网络(WSN)的节点是静止的或者移动很慢。

AdHoc 网络是一种多跳的、无中心的、自组织无线网络,又称为多跳网、无基础设施网或自组织网。整个网络没有固定的基础设施,每个节点都是移动的,并且都能以任意方式动态地保持与其他节点的联系。在这种网络中,由于终端无线覆盖取值范围的有限性,两个无法直接进行通信的用户终端可以借助其他节点进行分组转发。每一个节点同时是一个路由器,它们能完成发现以及维持到其他节点路由的功能。

无线自组网(Mobile AdHoc Network)是一个由几十到上百个节点组成的、采用无线通信方式的、动态组网的多跳的移动性对等网络。

1.1.2 WSN 的定义

无线传感器网络的标准定义是,无线传感器网络是大量的静止或移动的传感器以自组织和多跳的方式构成的无线网络,目的是协作地探测、处理和传输网络覆盖区域内感知对象的监测信息,并报告给用户。

传感器网络负责实现数据采集、处理和传输三种功能,而这正对应着现代信息技术的三大基础技术,即传感器技术、计算机技术和通信技术,它们分别构成了信息系统的“感官”“大脑”和“神经”三部分。因此说,无线传感器网络正是这三种技术的结合,可以构成一个独立的现代信息系统(如图 1-2 所示)。

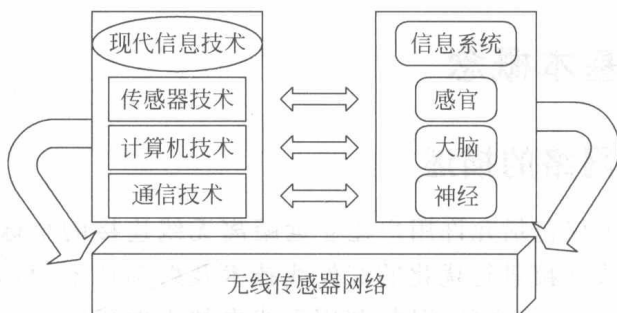


图 1-2 现代信息技术与无线传感器网络之间的关系

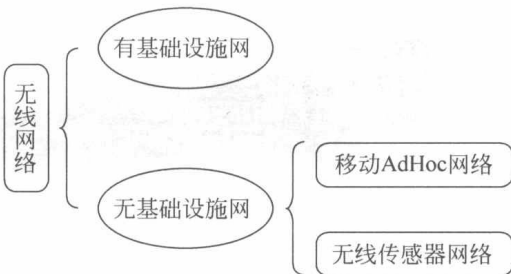


图 1-1 无线网络的分类

传感器、感知对象和用户是传感器网络的三个基本要素。无线网络是传感器之间、传感器与用户之间最常用的通信方式,用于在传感器与用户之间建立通信路径。协作式地感知、采集、处理和发布感知信息是传感器网络的基本功能。

一组功能有限的传感器节点协作地完成大的感知任务,是传感器网络的重要特点。传感器网络中的部分或全部节点可以慢速移动,拓扑结构也会随着节点的移动而不断地动态变化。节点间以 AdHoc 方式进行通信,每个节点都可以充当路由器的角色,并且都具备动态搜索、定位和恢复连接的能力。

1.1.3 WSN 系统的组成

每个传感器节点由数据采集模块(传感器、A/D 转换器)、数据处理和控制模块(微处理器、存储器)、通信模块(无线收发器)和供电模块(电池、DC/DC 能量转换器)等组成。

无线传感器网络系统一般包括传感器节点和汇聚节点(Sink Node)。节点可以通过飞机布撒或人工布置等方式,大量部署在被感知对象内部或附件中。这些节点通过自组织的方式构成无线网络,以协作的方式实时感知、采集和处理网络覆盖区的信息,并通过多跳的方式经由汇聚节点链路将整个区域的信息传送到远程控制管理中心。反之,远程控制管理中心也可以对网络节点进行实时监控和操作。图 1-3 是一个典型的无线传感器网络系统结构,包括分布式传感器节点、接收/发送器、互联网和用户界面等。

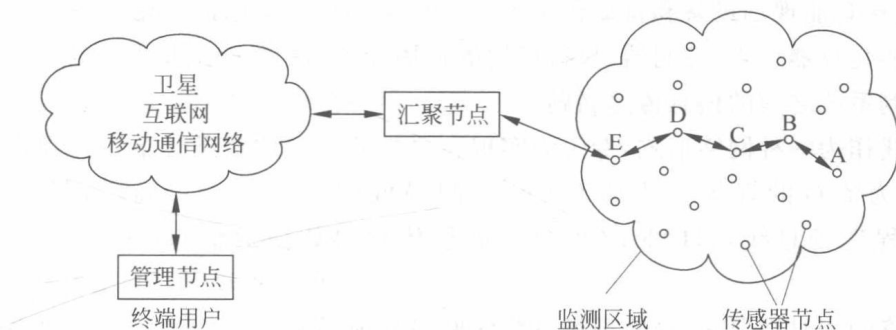


图 1-3 无线传感器网络系统组成

传感器节点在网络中可以充当数据采集者、数据中转站或簇头节点(Cluster-head Node)的角色。作为数据采集者,节点收集周围环境的数据(如温度、湿度),通过通信路由协议直接或间接将数据传输给基站(Base Station)或汇聚节点(Sink Node);作为数据中转站,节点除了完成采集任务外,还要接收邻居节点的数据,将其转发给距离基站更近的邻居节点或者直接转发到基站或汇聚节点;作为簇头节点,节点负责收集该类内所有节点采集的数据,经数据融合后,发送到基站或汇聚节点。

1.2 WSN 的特点

1.2.1 与无线自组网的区别

传感器网络虽然与无线自组网有相似之处,但同时也存在很大的差别,主要表现在以下三方面:

(1) 传感器网络是集成了监测、控制以及无线通信的网络系统,节点数目更为庞大(上千甚至上万),节点分布更为密集。

(2) 由于环境影响和能量耗尽,节点更容易出现故障,环境干扰和节点故障易造成网络拓扑结构的变化,通常情况下,大多数传感器节点是固定不动的。

(3) 传感器节点具有的能量、处理能力、存储能力和通信能力等都十分有限。传统无线网络的首要设计目标是提供高服务质量和高效带宽利用,其次才考虑节约能源;而传感器网络的首要设计目标是能源的高效使用,这也是传感器网络 and 传统网络最重要的区别之一。

1.2.2 与现场总线的区别

现场总线是指以工厂内的测量和控制机器间的数字通信为主的网络,也称现场网络。也就是将传感器、各种操作终端和控制器间的通信及控制器之间的通信进行数字化的网络。这些机器间的主体配线是 ON/OFF、接点信号和模拟信号,通过通信的数字化,使时间分隔、多重化、多点化成为可能,从而实现高性能化、高可靠化、保养简便化、节省配线(配线的共享)。

现场总线是指安装在制造或过程区域的现场装置与控制室内的自动装置之间的数字式、串行、多点通信的数据总线。它是一种工业数据总线,是自动化领域中底层数据通信网络。简单说,现场总线就是以数字通信替代了传统 4~20mA 模拟信号及普通开关量信号的传输,是连接智能现场设备和自动化系统的全数字、双向、多站的通信系统。主要解决工业现场的智能化仪器仪表、控制器、执行机构等现场设备间的数字通信以及这些现场控制设备和高级控制系统之间的信息传递问题。

现场总线作为一种网络形式,专门为实现在严格的实时约束条件下工作而设计的。目前市场上较为流行的现场总线如 CAN(控制局域网)、Lonworks(局部操作网络)、Profibus(过程现场总线)、HART(可寻址远程传感器数据通信)和 FF(基金会现场总线)等。

由于严格的实时性要求,这些现场总线的网络构成通常是有线的。在开放系统互连参考模型中,它利用的只有第一层(物理层)、第二层(链路层)和第七层(应用层),避开了多跳通信和中间节点的关联队列延迟。然而,尽管固有有限差错率不利于实施,人们仍然致力于在无线通信上实现现场总线的构想。

由于现场总线通过报告传感数据从而控制物理环境,所以从某种程度上说,它与传感器网络非常相似,所以可以将无线传感器网络看作无线现场总线的实例。但是两者的区别是明显的,无线传感器网络关注的焦点不是数十毫秒范围内的实时性,而是具体的业务应用,这些应用能够容许较长时间的延迟和抖动。另外,基于传感器网络的一些自适应协议在现场总线中并不需要,如多跳、自组织的特点,而且现场总线及其协议也不考虑节约能源问题。

1.2.3 传感器节点的限制

无线传感器节点在实现各种网络协议和应用系统时,存在以下三方面的限制。

1. 电源能量有限

传感器节点体积微小,通常携带能量十分有限的电池。由于传感器和节点个数多、成本要求低廉、分布区域广,而且部署区域环境复杂,有些区域甚至人员不能到达,所以传感器节

点通过更换电池的方式来补充能源是不现实的。

传感器节点消耗能量的模块包括传感器模块、处理器模块和无线通信模块。随着集成电路工艺的进步,处理器和传感器模块的功耗变得很低,绝大部分能量消耗在无线通信模块上,如图 1-4 所示。

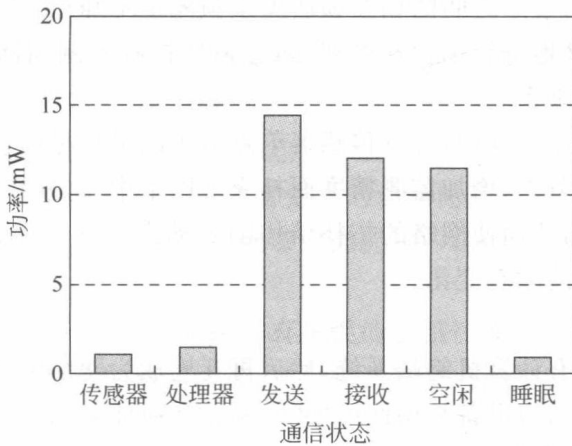


图 1-4 传感器节点能量消耗情况

无线通信模块存在发送、接收、空闲和睡眠 4 种状态。无线通信模块在空闲状态一直监听无线信道的使用情况,检查是否有数据发送给自己,而在睡眠状态则关闭通信模块。从图 1-4 中可以看到,无线通信模块在发送状态的能耗最大,在空闲状态和接收状态的能耗消耗接近,略少于发送状态的能耗消耗,在睡眠状态的能耗消耗最少。如何让网络通信更有效率,减少不必要的转发和接收,不需要通信时尽快进入睡眠状态,是传感器网络协议设计需要重点考虑的问题。

2. 通信能力有限

无线通信的能量消耗与通信距离的关系为

$$E = k \times d^n \quad (1-1)$$

其中 k 是系数,参数 n 满足关系 $2 < n < 4$, n 的取值与很多因素有关,例如传感器节点部署环境、天线的质量等。

由式(1-1)可知,在参数 n 一定的情况下,随着距离的增加,无线通信的能量消耗急剧增加。因此,在满足通信连通度的前提下,应尽量减少单跳通信距离。同时考虑传感器节点的能量限制和网络覆盖区域大小,无线传感器网络采用多跳的传输机制。

3. 计算和存储能力有限

传感器节点是一种微型嵌入式系统,它的处理能力、存储能力和通信能力相对较弱。每个节点兼顾传统网络终端和路由双重功能。为了完成各种任务,传感器节点需要完成监测数据的采集和转换、数据的管理和处理、应答汇聚节点的任务请求和节点控制等多种工作。如何利用有限的计算和存储资源完成诸多协同任务成为传感器网络设计所必须考虑的问题。

1.2.4 WSN 的特点

无线传感器网络除了具有 AdHoc 网络的移动性、断接性、电源能力局限性等共同特征