

物联网工程技术丛书

无线传感器网络 技术及应用开发

熊茂华 熊昕 刘萍 编著
徐建闽 主审



清华大学出版社

无线传感器网络 技术及应用开发

熊茂华 熊昕 刘萍 编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书介绍了无线传感器网络研究领域中的相关技术和应用。全书共分12章,内容涵盖无线传感器网络的体系结构,传感器与智能检测技术,无线传感器网络的协议规范,无线传感器网络通信技术,短距离无线通信协议标准,覆盖与拓扑控制技术,定位、跟踪与时间同步技术,网络安全技术,无线传感器网络数据融合与管理技术以及无线传感器网络中间件技术等方面;重点介绍了无线传感器网络开发环境的构建以及无线传感器网络操作系统;最后详细介绍了2个典型的无线传感器网络应用系统实例。

本书在编写上既重视基础知识,又跟踪前沿技术;既具有学术深度,又具有教材的系统性和可读性。本书课后习题的答案可从清华大学出版社网站下载。

本书可以作为高职高专院校物联网、传感器网络通信工程、电子信息、计算机等专业的高职高专生和本科生的教材,也可作为无线传感器网络领域的研究人员及广大对无线传感器网络感兴趣的工程技术人员的参考书。

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及应用开发/熊茂华,熊昕,刘萍编著.--北京:清华大学出版社,2015

(物联网工程技术丛书)

ISBN 978-7-302-36441-2

I. ①无… II. ①熊… ②熊… ③刘… III. ①无线电通信—传感器 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 095825 号

责任编辑:孟毅新

封面设计:傅瑞学

责任校对:刘 静

责任印制:沈 露

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>, 010-62795764

印 刷 者:北京季蜂印刷有限公司

装 订 者:三河市溧源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:19.5

字 数:444 千字

版 次:2015 年 4 月第 1 版

印 次:2015 年 4 月第 1 次印刷

印 数:1~2500

定 价:45.00 元

产品编号:053681-01

无线传感器网络(Wireless Sensor Network)是新一代的传感器网络,具有非常广泛的应用前景,其发展和应用将会给人类的生活和生产的各个领域带来深远影响。可以预计,无线传感器网络的研究与应用将给人类社会带来极大的变革。为满足各地无线传感器网络技术与应用人才培养的需要,我们编写了本书。本书可作为高等职业院校和应用型本科院校物联网、传感器网络通信工程、电子信息、计算机专业的教材,也可作为无线传感器网络领域的研究人员及广大对无线传感器网络感兴趣的工程技术人员的参考读物。

本书详细介绍了无线传感器网络的概念、关键技术和典型应用。首先讨论无线传感器网络的概念与特点,无线传感器网络体系结构、节点结构、应用系统结构和通信体系结构,无线传感器网络的协议规范(包括 IEEE 802.15.4 标准、ZigBee 协议栈体系结构及规范),无线传感器网络路由协议、传感器及检测技术、智能传感器技术、智能检测系统的设计、RFID 的工作原理及系统组成,RFID 中间件技术及 RFID 典型模块应用等;其次介绍了物联网通信与网络技术知识,主要包括无线通信技术、蓝牙技术、Wi-Fi 技术、ZigBee 技术、GPS 技术、无线局域网、无线城域网、无线自组织网络技术、Ad Hoc 网络的体系结构与应用等;然后介绍无线传感器网络开发环境的构建、TinyOS 操作系统与编程、无线传感器网络的节点定位与跟踪技术、时间同步技术、测距技术、无线传感器网络拓扑控制与覆盖技术、无线传感器网络安全技术、无线传感器网络密钥管理、无线传感器网络中间件技术、无线传感器网络中的数据融合与管理技术、无线传感器网络应用系统设计与开发等,使课程理论与实践紧密地结合起来。

本书由熊茂华、熊昕、刘萍编著,徐建闽教授主审。由熊茂华负责全书内容的规划与编排。

在本书编写过程中,得到了许多老师和无锡清华信息科学与技术国家实验室物联网技术中心的帮助,部分内容参考了本书所列参考文献。在此谨向所有给予帮助的同志和所列参考文献的作者深表谢意。

由于作者的水平有限,书中难免存在缺点与疏漏,敬请各位专家以及广大读者批评指正。本书的配套开发工具软件、练习题参考答案和课件可在清华大学出版社网站下载。

编 者

2015 年 3 月

第1章 无线传感器网络基础知识	1
1.1 无线传感器网络的概念与特点	1
1.1.1 无线传感器网络的概述	1
1.1.2 无线传感器网络的特点	1
1.2 无线传感器网络的发展	2
1.2.1 无线传感器网络的发展阶段	2
1.2.2 无线传感器网络技术发展背景	3
1.3 无线传感器网络体系结构	4
1.3.1 无线传感器网络的体系结构	4
1.3.2 无线传感器网络的节点结构	5
1.3.3 无线传感器网络应用系统结构	5
1.3.4 无线传感器网络通信体系结构	6
1.4 无线传感器网络的应用及关键技术	7
1.4.1 无线传感器网络的应用	7
1.4.2 无线传感器网络的关键技术	9
1.4.3 无线传感器网络的未来发展	11
练习题	11
第2章 无线传感器网络的协议规范	13
2.1 IEEE 802.15.4 标准	13
2.1.1 IEEE 802.15.4 标准的概述	13
2.1.2 IEEE 802.15.4 网络简介	14
2.1.3 IEEE 802.15.4 网络协议栈	15
2.1.4 IEEE 802.15.4 的安全服务	21
2.2 ZigBee 协议规范	22
2.2.1 ZigBee 协议概述	22
2.2.2 ZigBee 协议栈体系结构及规范	23
2.2.3 基于 ZigBee 的 WPAN 网络配置应用	26

2.3	无线传感器网络路由协议	28
2.3.1	无线传感器网络路由协议的性能指标	28
2.3.2	无线传感器网络路由协议的分类	29
2.3.3	广播式路由协议	30
2.3.4	坐标式路由协议	31
2.3.5	分簇式路由协议	31
2.3.6	无线传感器网络路由协议比较	31
	练习题	32
第3章	传感器及检测技术	34
3.1	传感器	34
3.1.1	传感器的概述	34
3.1.2	传感器的分类	34
3.1.3	传感器的性能指标	36
3.1.4	传感器的组成和结构	37
3.2	检测技术基础	38
3.2.1	检测系统概述	38
3.2.2	检测技术分类	39
3.2.3	检测系统组成	40
3.3	典型传感器简介	42
3.3.1	磁检测传感器	42
3.3.2	光照传感器	43
3.3.3	红外对射传感器	43
3.3.4	红外反射传感器	44
3.3.5	结露传感器	44
3.3.6	酒精传感器	45
3.3.7	人体检测传感器	46
3.3.8	振动检测传感器	46
3.3.9	声响检测传感器	47
3.3.10	温湿度传感器	48
3.4	智能检测系统	53
3.4.1	智能检测系统的组成及类型	53
3.4.2	智能检测系统的设计	54
3.4.3	智能传感器技术	54
	练习题	56
第4章	射频识别技术	58
4.1	射频识别技术概述	58

4.1.1 射频识别	58
4.1.2 RFID 技术分类	60
4.1.3 RFID 技术标准	63
4.2 RFID 系统的组成	64
4.2.1 RFID 的工作原理及系统组成	64
4.2.2 RFID 系统中的软件组件	66
4.3 几种常见的 RFID 系统	67
4.3.1 电感耦合 RFID 系统	68
4.3.2 反向散射耦合 RFID 系统	69
4.4 RFID 中间件技术	71
4.4.1 RFID 中间件的组成及功能特点	71
4.4.2 RFID 中间件体系结构	73
4.5 RFID 典型模块应用及实训	75
4.5.1 RFID 的 TX125 系列射频读卡模块	75
4.5.2 RFID 读卡的应用	79
练习题	81
第 5 章 无线传感器网络通信技术	84
5.1 蓝牙技术	84
5.1.1 蓝牙技术的概述	84
5.1.2 蓝牙协议栈体系结构	85
5.1.3 蓝牙网关	88
5.1.4 蓝牙系统的结构及组成	89
5.2 GPRS 技术	90
5.3 ZigBee 技术	93
5.4 Wi-Fi 技术	95
5.4.1 Wi-Fi 技术的概念	95
5.4.2 Wi-Fi 网络结构和原理	95
5.5 无线局域网	97
5.5.1 IEEE 802.11 协议简述	97
5.5.2 几种无线通信标准比较	98
5.5.3 无线局域网的组成及工作原理	98
5.6 无线自组织网络技术	101
5.6.1 Ad Hoc 网络的基本概念	101
5.6.2 Ad Hoc 网络的体系结构	102
5.6.3 Ad Hoc 网络的应用	105
练习题	105

第 6 章 无线传感器网络开发环境的构建及应用实践	109
6.1 无线传感器网络操作系统概述	109
6.2 TinyOS 操作系统	110
6.2.1 TinyOS 2.x 在 Windows_Cygwin 平台下的安装	110
6.2.2 TinyOS 集成开发环境 IDE	115
6.2.3 Ubuntu 下 TinyOS 2.x 环境的搭建	119
6.2.4 nesC 语言和 TinyOS 的组件	121
6.3 无线传感器网络实验平台	128
6.3.1 无线传感器网络实验平台简介	128
6.3.2 TinyOS 操作系统在无线传感器网络的应用实践	130
练习题	160
第 7 章 无线传感器网络的节点定位技术	161
7.1 节点定位技术简介	161
7.1.1 节点定位的几个基本概念	161
7.1.2 节点定位技术基本原理	162
7.2 无线传感器网络自身定位技术	164
7.2.1 无线传感器网络节点定位算法的分类	164
7.2.2 无线传感器网络自身定位系统和算法	166
7.3 无线传感器网络跟踪技术	171
7.4 无线传感器网络时间同步技术	173
7.4.1 时间同步模型	173
7.4.2 时间同步算法与性能对比分析	174
7.5 无线传感器网络测距技术	177
7.5.1 基于距离的定位技术	177
7.5.2 与距离无关定位算法	179
练习题	183
第 8 章 无线传感器网络拓扑控制与覆盖技术	185
8.1 无线传感器网络拓扑控制技术	185
8.1.1 拓扑控制技术概述	185
8.1.2 拓扑控制的设计目标	185
8.1.3 拓扑控制的研究方法	186
8.1.4 功率控制技术	188
8.1.5 典型的功率控制协议与算法	189
8.1.6 拓扑控制中的休眠调度技术	190
8.2 无线传感器网络覆盖技术	192

8.2.1 无线传感器网络覆盖算法分类	192
8.2.2 典型的无线传感器网络覆盖算法与协议	194
练习题	198
第 9 章 无线传感器网络的安全技术	199
9.1 无线传感器网络安全问题概述	199
9.1.1 传感网安全分析	199
9.1.2 传感网的安全性目标	200
9.1.3 传感网安全策略	202
9.1.4 跨层的安全框架	203
9.2 无线传感器网络协议栈的安全	204
9.2.1 物理层的攻击与安全策略	205
9.2.2 链路层的攻击与安全策略	206
9.2.3 网络层的攻击与安全策略	206
9.2.4 传输层和应用层的安全策略	207
9.3 无线传感器网络密钥管理	208
9.3.1 密钥管理的安全需求	208
9.3.2 密钥管理方案的分类	208
9.3.3 密钥管理的评估指标	209
9.4 DoS 攻击原理及防御技术	210
9.4.1 DoS 攻击原理	210
9.4.2 DoS 攻击属性	213
9.4.3 预防 DoS 攻击的策略	216
9.5 无线传感器网络的安全路由	218
9.5.1 无线传感器网络几种典型路由协议的安全性分析	218
9.5.2 无线传感器网络安全路由协议	219
练习题	220
第 10 章 无线传感器网络中间件技术	221
10.1 无线传感器中间件体系结构及功能	221
10.1.1 通用的中间件的定义	221
10.1.2 无线传感器网络中间件体系	222
10.1.3 无线传感器网络中间件设计方法	224
10.2 基于 Agent 的无线传感器网络中间件 DisWare	226
10.2.1 DisWare 体系结构	226
10.2.2 DisWare 中间件	228
10.3 DisWare 中间件平台软件 MeshIDE	229
10.3.1 无线传感器网络集成开发平台 MeshIDE 概述	229

10.3.2	无线传感器网络集成开发平台 MeshIDE for TinyOS	229
10.4	无线多媒体传感器网络中间件技术	232
10.4.1	无线多媒体传感器网络的概述	232
10.4.2	无线多媒体传感器网络中间件的特点	233
10.4.3	基于 Agent 的无线多媒体传感器网络中间件体系结构	233
10.5	支持多应用任务的 WSN 中间件的设计	235
10.5.1	多应用任务的 WSN 中间件系统架构设计	235
10.5.2	多应用任务的 WSN 中间件系统实现	237
	练习题	239
第 11 章	无线传感器网络数据融合与管理技术	241
11.1	无线传感器网络的数据融合概述	241
11.1.1	无线传感器网络中的数据融合	241
11.1.2	无线传感器网络中数据融合的层次结构	242
11.1.3	基于信息抽象层次的数据融合模型	242
11.2	无线传感器网络的数据融合技术与算法	244
11.2.1	传感器网络数据传输及融合技术	244
11.2.2	多传感器数据融合算法	247
11.2.3	传感器网络数据融合路由算法	249
11.3	无线传感器网络数据管理技术	251
11.3.1	传感器网络中的数据管理概述	251
11.3.2	无线传感器网络数据管理的关键技术	252
11.4	基于策略和代理的无线传感器网络数据管理架构	257
11.5	现有传感器网络数据管理系统简介	260
	练习题	262
第 12 章	无线传感器网络应用系统典型案例详解	263
12.1	基于无线传感器网络的远程医疗监护系统设计	263
12.1.1	无线传感器网络的远程医疗监护系统概述	263
12.1.2	无线传感器网络的远程医疗监护系统硬件设计	265
12.1.3	无线监护传感器节点的底层代码设计	274
12.2	基于无线传感器网络的光强环境监测系统设计	283
12.2.1	环境监测系统需求分析	283
12.2.2	系统结构体系设计	284
12.2.3	系统功能模块设计	285
12.2.4	系统实现	288
	参考文献	299

本章要点

- 无线传感器网络的概念与特点
- 无线传感器网络的发展和现状
- 无线传感器网络体系结构
- 无线传感器网络的应用及关键技术

1.1 无线传感器网络的概念与特点

1.1.1 无线传感器网络的概述

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)是新一代的传感器网络,具有非常广泛的应用前景,其发展和应用将会给人类的生产和生活的各个领域带来深远影响。2001年1月,《MIT技术评论》将无线传感器列于十种改变未来世界的新兴技术之首。2003年8月,《商业周刊》预测,无线传感器网络将会在不远的将来掀起新的产业浪潮。2004年IEEE Spectrum杂志发表一期专辑:“传感器的国度——论述无线传感器网络的发展和可能的广泛应用”。在我国未来20年预见技术的调查报告中,信息领域的157项技术课题中有7项与传感器网络直接相关。2006年年初发布的《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的研究直接相关,即智能感知技术和自组织网络技术。可以预计,无线传感器网络的研究与应用是一种必然趋势,将会给人类社会带来极大的变革。

无线传感器网络是由部署在监测区域内大量的廉价微型传感器节点组成,通过无线通信方式形成的一个多跳自组织网络的网络系统。其目的是协作感知、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。

可以看出,传感器、感知对象和观察者是传感器网络的三个基本要素。这三个要素之间通过无线网络建立通信路径,协作地感知、采集、处理、发布感知信息。

1.1.2 无线传感器网络的特点

目前常见的无线网络包括移动通信网、无线局域网、蓝牙网络、Ad Hoc网络等,无线

传感器网络在通信方式、动态组网以及多跳通信等方面与之有许多相似之处,但也有很大的差别。无线传感器网络具有如下特点。

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。由于传感器节点数目庞大,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。

2. 通信能量有限

传感器网络的通信带宽窄而且经常变化,通信覆盖范围只有几十米到几百米。由于传感器网络更多地受到高山、建筑物、障碍物等地势地貌以及风雨雷电等自然环境的影响,传感器可能会长时间脱离网络,离线工作。

3. 传感器节点的能量、计算能力和存储能力有限

传感器节点是一种微型嵌入式设备,其价格低、功耗小,处理器能力也比较弱,存储器容量比较小。

4. 网络规模大,分布广

传感器网络中的节点分布密集,数量巨大。传感器网络可以分布在很广泛的地理区域。这一特点使得网络维护十分困难,甚至不可维护,因此传感器网络的软、硬件必须具有高强壮性和容错性,以满足其功能要求。

5. 自组织、动态性网络

在传感器网络应用中,有可能传感器节点的位置不能预先精确设定,节点之间相互的邻居关系预先也不知道,而是随机布撒。这就要求传感器节点具有自组织能力,能够自动进行配置和管理,通过拓扑控制机制和网络协议自动形成转发监控数据的多跳无线网络系统。

6. 传感器节点具有数据融合能力

传感器网络与 Mesh 网络的区别是数据小,能移动,重能源。它与无线 Ad Hoc 网络相比,数量多,密度大,易受损,拓扑结构频繁,采用广播式点对多点通信,其节点能量和计算能力受限。

1.2 无线传感器网络的发展

1.2.1 无线传感器网络的发展阶段

无线传感器网络的发展分为以下几个阶段。

第一阶段:最早可以追溯 20 世纪 70 年代越战时期使用的传统传感器系统。当年,美越双方在密林覆盖的“胡志明小道”进行了一场血腥较量,这条道路是胡志明部队向南方游击队源源不断输送物资的秘密通道,美军曾经绞尽脑汁动用航空兵狂轰滥炸,但效果不大。后来,美军投放了 2 万多个“热带树”传感器。

第二阶段:20 世纪 80 年代至 90 年代之间。主要是美军研制的分布式传感器网络系

统、海军协同交战能力系统、远程战场传感器系统等。这种现代微型化的传感器具备感知能力、计算能力和通信能力。因此在1999年,《商业周刊》将传感器网络列为21世纪最具影响的21项技术之一。

第三阶段:21世纪开始至今。这个阶段的传感器网络技术特点在于网络传输自组织,节点设计低功耗。它除了应用于情报部门反恐活动以外,在其他领域更是获得了很好的应用,所以,2002年美国国家重点实验室——橡树岭实验室提出了“网络就是传感器”的论断。

无线传感器网络经历了智能传感器、无线智能传感器、无线传感器网络3个阶段。智能传感器将计算能力嵌入传感器中,使得传感器节点不仅具有数据采集能力,而且具有滤波和信息处理能力;无线智能传感器在智能传感器的基础上增加了无线通信能力,大大延长了传感器的感知触角,降低了传感器的工程实施成本;无线传感器网络则将网络技术引入无线智能传感器中,使得传感器不再是单个的感知单元,而是能够交换信息、协调控制的有机结合体,实现物与物的互联,把感知触角深入世界各个角落,必将成为下一代互联网的重要组成部分。

1.2.2 无线传感器网络技术发展背景

1996年,美国UCLA大学的William J. Kaiser教授向DARPA提交的“低能耗无线集成微型传感器”揭开了现代WSN网络的序幕。1998年,同是UCLA大学的Gregory J. Pottie教授从网络研究的角度重新阐述了WSN的科学意义。在其后的十余年里,WSN网络技术得到学术界、工业界乃至政府的广泛关注,成为在国防军事、环境监测和预报、健康护理、智能家居、建筑物结构监控、复杂机械监控、城市交通、空间探索、大型车间和仓库管理以及机场、大型工业园区的安全监测等众多领域中最有竞争力的应用技术之一。美国《商业周刊》将WSN网络列为21世纪最有影响的技术之一,麻省理工学院(MIT)技术评论将其列为改变世界的十大技术之一。

1. WSN相关的会议和组织

WSN网络技术一经提出,就迅速在研究界和工业界得到广泛的认可。1998年到2003年,各种与无线通信、Ad Hoc网络、分布式系统的会议开始大量收录与WSN网络技术相关的文章。2001年,美国计算机学会(ACM)和IEEE成立了第一个专门针对传感网技术的会议International Conference on Information Processing in Sensor Network (IPSN),为WSN网络的技术发展开拓了一片新的技术园地。2003年到2004年,一批针对传感网技术的会议相继组建。ACM在2005年还专门创刊ACM Transaction on Sensor Network,用来出版最优秀的传感器网络技术成果。2004年,Boston大学与BP、Honeywell、Inetco Systems、Invensys、Millennial Net、Radianse、Sensicast Systems等公司联合创办了传感器网络协会,旨在促进WSN技术的开发。2006年10月,在中国北京,中国计算机学会传感器网络专委会正式成立,标志着中国WSN技术研究开始进入一个新的历史阶段。

2. 相关科研和工程项目

美国从20世纪90年代开始,就陆续开展分布式传感器网络(DSN)、集成无线网络传

感器(WINS)、智能尘埃(Smart Dust)、无线嵌入式系统(WEBS)、分布式系统可升级协调体系结构研究(SCADDS)、嵌入式网络传感(CENS)等一系列重要的 WSN 网络研究项目。

自 2001 年起,美国国防部远景研究计划局(DARPA)每年都投入千万美元进行 WSN 网络技术研究,设立了 Smart Sensor Web、灵巧传感器网络通信、无人值守地面传感器群、传感器组网系统、网状传感器系统等一系列军事传感器网络研究项目。在美国自然科学基金委员会的推动下,美国如麻省理工学院、加州大学伯克利分校、加州大学洛杉矶分校、南加州大学、康奈尔大学、伊利诺伊大学等许多著名高校也进行了大量 WSN 网络的基础理论和关键技术的研究。除美国以外,日本、英国、意大利、巴西等国家也对传感器网络表现出极大的兴趣,并各自展开了该领域的研究工作。

中国现代意义的 WSN 网络及其应用研究几乎与发达国家同步启动,首先被记录在 1999 年发表的中国科学院《知识创新工程试点领域方向研究》的信息与自动化领域研究报告中。

2001 年,中国科学院成立了微系统研究与发展中心,挂靠中科院上海微系统所。从 2002 年开始,中国国家自然科学基金委员会开始部署传感器网络相关的课题。截至 2008 年年底,中国国家自然基金共支持面上项目 111 项、重点项目 3 项;国家“863”重点项目发展计划共支持面上项目 30 余项;国家重点基础研究发展计划“973”也设立 2 项与传感器网络直接相关的项目;国家发改委中国下一代互联网工程项目(CNGI)也对传感器网络项目进行了连续资助。“中国未来 20 年技术预见研究”提出的 157 个技术课题中,有 7 项直接涉及无线传感器网络。这些专项的设立将大大推进 WSN 网络技术在应用领域的快速发展。

1.3 无线传感器网络体系结构

1.3.1 无线传感器网络的体系结构

无线传感器网络的体系结构如图 1.1 所示。监测区域中随机分布着大量的传感器节点,这些节点以自组织的方式构成网络结构。每个节点既有数据采集功能,又有路由功能。采集数据经过多跳传递给汇聚节点,然后连接到互联网。在网络的任管理节点,对信息进行管理、分类、处理,最后供用户集中处理。

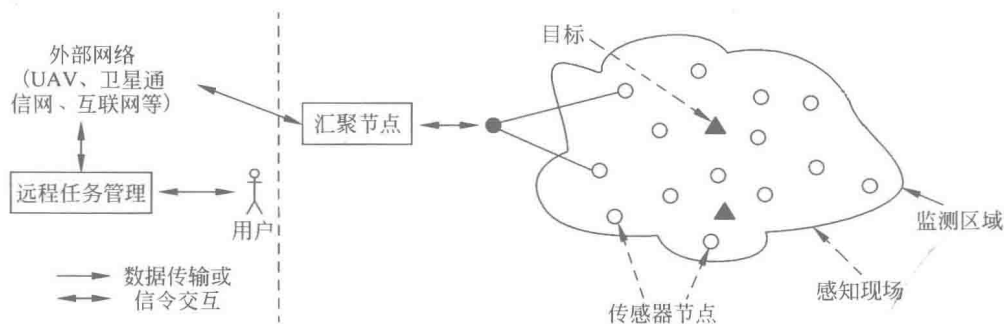


图 1.1 无线传感器网络的体系结构

1.3.2 无线传感器网络的节点结构

节点同时具有传感、信息处理和进行无线通信及路由的功能。对于不同的应用环境,节点的结构也可能不一样,但它们的基本组成部分是一致的。一个节点通常由传感器、微处理器、存储器、A/D转换接口、无线发射以及接收装置和电源组成。概括地说,可分为传感器模块、处理器模块、无线通信模块和能量供应模块四个部分。无线传感器节点的体系结构如图1.2所示。传感器模块负责信息采集和数据转换;处理器模块控制整个传感器节点的操作,处理本身采集的数据和其他节点发来的数据,运行高层网络协议;无线通信模块负责与其他传感器节点进行通信;能量供应模块为传感器节点提供运行所需的能量,通常采用微型蓄电池。

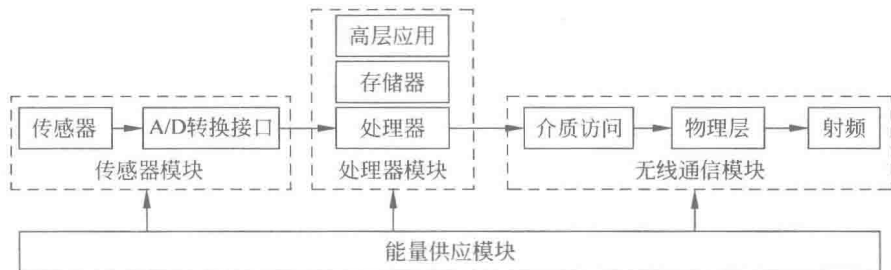


图 1.2 传感器节点的体系结构

1.3.3 无线传感器网络应用系统结构

无线传感器网络应用系统结构如图1.3所示。无线传感器网络应用支撑层、无线传感器网络基础设施和基于无线传感器网络应用业务层的一部分共性功能以及管理、信息安全等部分组成了无线传感器网络中间件和平台软件。其基本含义是,应用支撑层支持应用业务层为各个应用领域服务,提供所需的各种通用服务。在这一层中,核心是中间件软件。管理和信息安全是贯穿各个层次的保障。无线传感器网络中间件和平台软件体系结构主要分为四个层次:网络适配层、基础软件层、应用开发层和应用业务适配层。其中,网络适配层和基础软件层组成无线传感器网络节点嵌入式软件(部署在无线传感器网络节点中)的体系结构,应用开发层和基础软件层组成无线传感器网络应用支撑结构(支持应用业务的开发与实现)。在网络适配层中,网络适配器是对无线传感器网络底层(无线传感器网络基础设施、无线传感器操作系统)的封装。基础软件层包含无线传感器网络的各种中间件。这些中间件构成无线传感器网络平台软件的公共基础,并提供了高度的灵活性、模块性和可移植性。

无线传感器网络中间件有如下几种。

(1) 网络中间件:完成无线传感器网络接入服务、网络生成服务、网络自愈合服务、网络连通等。

(2) 配置中间件:完成无线传感器网络的各种配置工作,如路由配置、拓扑结构的调整等。

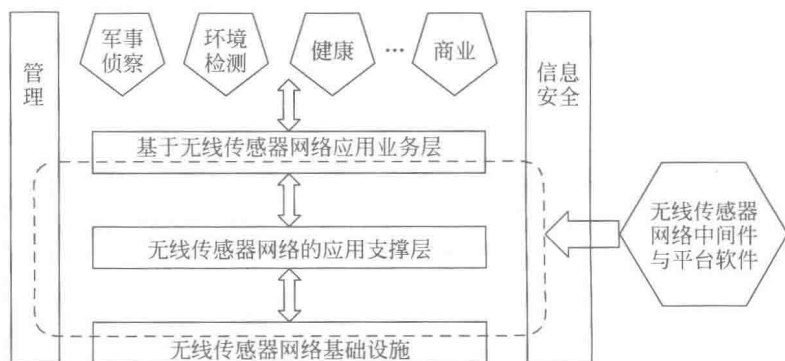


图 1.3 无线传感器网络应用系统结构

(3) 功能中间件：完成无线传感器网络各种应用业务的共性功能，提供各种功能框架接口。

(4) 管理中间件：为无线传感器网络应用业务实现各种管理功能，如目录服务、资源管理、能量管理、生命周期管理。

(5) 安全中间件：为无线传感器网络应用业务实现各种安全功能，如安全管理、安全监控、安全审计。

1.3.4 无线传感器网络通信体系结构

无线传感器网络的实现需要自组织网络技术。相对于一般意义上的自组织网络，传感器网络有以下特色，需要在体系结构的设计中特殊考虑。

(1) 无线传感器网络中的节点数目众多，这就对传感器网络的可扩展性提出了要求。由于传感器节点的数目多，开销大，传感器网络通常不具备全球唯一的地址标识，使得传感器网络的网络层和传输层相对于一般网络而言有很大的简化。

(2) 自组织传感器网络最大的特点就是能量受限。传感器节点受环境的限制，通常由电量有限且不可更换的电池供电，所以在考虑传感器网络体系结构以及各层协议设计时，节能是主要考虑的目标之一。

(3) 由于传感器网络应用环境的特殊性，无线信道不稳定以及能源受限的特点，传感器网络节点受损的概率远大于传统网络节点，因此自组织网络的健壮性保障是必须的，以保证部分传感器网络的损坏不会影响全局任务的进行。

(4) 传感器节点高密度部署，网络拓扑结构变化快，这对拓扑结构的维护提出了挑战。

无线传感器网络通信体系结构如图 1.4 所示，即横向的通信协议层和纵向的传感器网络管理面。通信协议层可以划分为物理层、数据链路层、网络层、传输层和应用层。网络管理面划分为能耗管理面、移动性管理面以及任务管理面。网络管理面的存在主要是为了协调不同层次的功能，以求在能耗管理、移动性管理和任务管理方面获得综合考虑的最优设计。



图 1.4 无线传感器网络通信体系结构

1.4 无线传感器网络的应用及关键技术

1.4.1 无线传感器网络的应用

无线传感器网络(WSN)的应用分类如图 1.5 所示,分为追踪和监测两类。监测应用包括室外、室内环境监测,健康状况监测,库存监测,工厂生产过程自动化,自然环境监测等方面。追踪的应用有目标追踪、动物追踪、汽车追踪、人的追踪等。

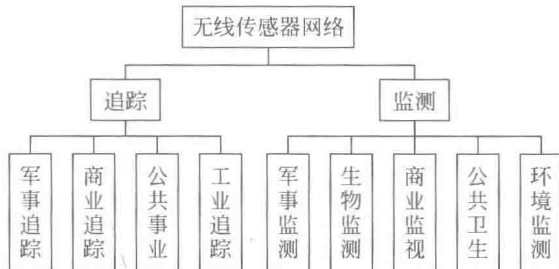


图 1.5 无线传感器网络的应用分类

无线传感器网络主要应用在以下领域。

1. 军事领域

2005 年,美国军方成功测试了由美国 Crossbow 产品组建的枪声定位系统,为救护、反恐提供有力手段。美国科学应用国际公司采用无线传感器网络,构筑了一个电子周边防御系统,为美国军方提供军事防御和情报信息。

在中国,中科院微系统所主导的团队积极开展基于 WSN 的电子围栏技术的边境防御系统的研发和试点,已取得了阶段性的成果。

2. 公共卫生

WSN 可用于残疾人监测、病人监测、诊断、医院药品管理系统。C. R. Badker 等人指出,在公共卫生医疗监测中应用 WSN,能提高现有卫生和病人监测状况。他们提出了