



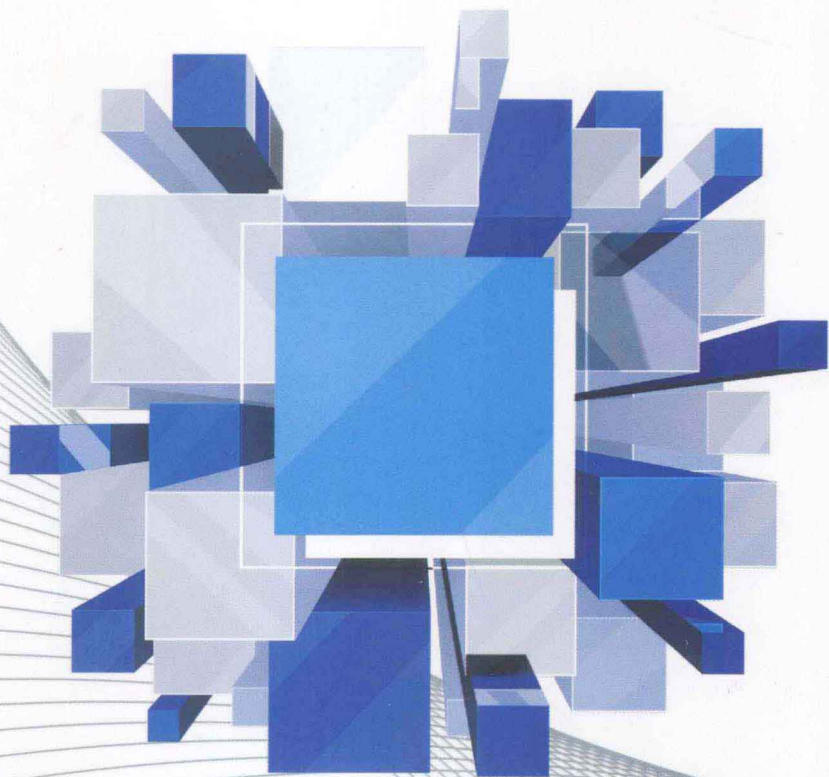
中国电子学会物联网专家委员会推荐

普通高等教育物联网工程专业“十二五”规划教材

# 无线传感器网络 技术原理及应用

*Technology Principle and Application of WSN*

青岛东合信息技术有限公司 编著



西安电子科技大学出版社  
<http://www.xduph.com>

中国电子学会物联网专家委员会推荐

普通高等教育物联网工程专业“十二五”规划教材

# 无线传感器网络技术原理及应用

青岛东合信息技术有限公司 编著



西安电子科技大学出版社

## 内 容 简 介

本书以无线传感器网络基础知识为出发点,详细介绍了无线传感器网络体系结构以及实现无线传感器网络所需要的相关技术,旨在让读者更清楚地了解无线传感器网络原理和目前所流行的各种与其相关技术的关系。本书深入讲解了无线传感器网络的基本原理及各层协议,介绍了与无线传感器网络相关的主要技术原理,并使用相关技术搭建起无线传感器网络应用平台,完整地体现了无线传感器网络体系的整体结构。

本书分为两篇:理论篇和实践篇。理论篇共有10章,分别讲解了WSN概述、物理层、MAC层协议、路由层协议、服务支撑技术、Zigbee网络技术、RFID技术、蜂窝移动通信、WIFI技术和网关技术。实践篇共包括6个实践,对应于理论篇中的内容,利用Zigbee开发套件、RFID开发套件、GPRS开发套件、Cortex开发套件完成本书实验。

本书偏重理论,采用理论与实践相结合的方法,使无线传感器网络技术运用于实践中,为物联网的学习奠定了基础。本书适用面广,可作为本科物联网工程、通信工程、电子信息工程、自动化、计算机科学与技术、计算机网络等专业的教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

无线传感器网络技术原理及应用/青岛东合信息技术有限公司编著.

—西安:西安电子科技大学出版社,2013.7

普通高等教育物联网工程专业“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5606-3122-6

I. ① 无… II. ① 青… III. ① 无线电通信—传感器—高等学校—教材 IV. ① TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 153237 号

策 划 毛红兵

责任编辑 张 玮 毛红兵

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2013年7月第1版 2013年7月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 17.5

字 数 403千字

印 数 1~3000册

定 价 39.00元

ISBN 978-7-5606-3122-6/TP

**XDUP 3414001-1**

\*\*\*如有印装问题可调换\*\*\*

# 普通高等教育物联网工程专业 “十二五”规划教材编委会

主任：韩敬海

副主任：于仁师

编委：崔文善      王成端      孔祥木

薛庆文      孔繁之      吴明君

李洪杰      刘继才      吴海峰

张磊      孔祥和      王蕊

王海峰      张金政      窦相华

# 前 言

随着物联网产业的迅猛发展，企业对物联网工程应用型人才的需求越来越大。“全面贴近企业需求，无缝打造专业实用人才”是目前高校物联网专业教育的革新方向。

本系列教材是面向高等院校物联网专业方向的标准化教材，教材内容重理论且突出实践，强调理论讲解和实践应用的结合，覆盖了物联网的感知技术、通信技术、网络技术以及应用技术等物联网架构所包含的关键技术。教材研发充分结合物联网企业的用人需求，经过了广泛的调研和论证，并参照多所高校一线专家的意见，具有系统性、实用性等特点，旨在使读者在系统掌握物联网开发知识的同时，着重培养其综合应用能力和解决问题的能力。

该系列教材具有如下几方面的特色。

## 1. 以培养应用型人才为目标

本系列教材以应用型物联网人才为培养目标，在原有体制教育的基础上对课程进行深层次改革，强化“应用型技术”动手能力，使读者在经过系统、完整的学习后能够达到如下要求：

- 掌握物联网相关开发所需的理论和技术体系以及开发过程规范体系；
- 能够熟练地进行设计和开发工作，并具备良好的自学能力；
- 具备一定的项目经验，能够完成嵌入式系统设计、程序编写、文档编写、软硬件测试等工作；
- 达到物联网企业的用人标准，实现学校学习与企业工作的无缝对接。

## 2. 以新颖的教材架构来引导学习

本系列教材从整个教材体系到具体的教材内容都体现出知识普及、基础理论、应用开发、综合拓展等四个层面，应由浅入深、由易到难地开展教学。具体内容在组织上划分为理论篇和实践篇：理论篇涵盖知识普及、基础理论和应用开发；实践篇包括企业应用案例和综合知识拓展等。

■ **理论篇：**学习内容的选取遵循“二八原则”，即重点内容由企业中常用技术的20%组成，以“任务驱动”的方式引导知识点的学习，以章节为单位进行组织。章节的结构如下：

- ✓ 本章目标：明确本章的学习重点和难点；
- ✓ 学习导航：以流程图的形式指明本章在整本教材中的位置和学习顺序；

- ✓ 任务描述：给出驱动本章教学的任务，所选任务典型、实用；
- ✓ 章节内容：通过小节迭代组成本章的学习内容，以任务描述贯穿始终。

■ **实践篇**：以接近工程实践的应用案例贯穿始终，力求使学生在动手实践的过程中，加深对课程内容的理解，培养学生独立分析和解决问题的能力，并配备相关知识的拓展讲解和拓展练习，拓宽学生的知识面。

本系列教材借鉴了软件开发中“低耦合、高内聚”的设计理念，组织架构上遵循软件开发中的 MVC 理念，即在保证最小教学集的前提下可根据自身的实际情况对整个课程体系进行横向或纵向裁剪。

### 3. 以完备的教辅体系和教学服务来保证教学

为充分体现“实境耦合”的教学模式，方便教学实施，保障教学质量和学习效果，本系列教材均配备可配套使用的实验设备和全套教辅产品，可供各院校选购。

■ **实验设备**：与教材体系相配套，并提供全套的电路原理图、实验例程源程序等。

■ **立体配套**：为适应教学模式和教学方法的改革，本系列教材提供完备的教辅产品，包括教学指导、实验指导、视频资料、电子课件、习题集、题库资源、项目案例等内容，并配以相应的网络教学资源。

■ **教学服务**：教学实施方面，提供全方位的解决方案(在线课堂解决方案、专业建设解决方案、实训体系解决方案、教师培训解决方案和就业指导解决方案等)，以适应物联网专业教学的特殊性。

本系列教材由青岛东合信息技术有限公司编写，参与本书编写工作的有韩敬海、孙锡亮、李瑞改、袁文明、李红霞、刘晓红、赵克玲、张幼鹏、张旭平、高峰等。参与本书编写工作的还有青岛农业大学、潍坊学院、曲阜师范大学、济宁学院、济宁医学院等高校的教师。本系列教材在编写期间得到了各合作院校专家及一线教师的大力支持和协作。在本系列教材出版之际要特别感谢给予我们开发团队大力支持和帮助的领导及同事，感谢合作院校的师生给予我们的支持和鼓励，更要感谢开发团队每一位成员所付出的艰辛劳动。

由于水平有限，书中难免有不当之处，读者在阅读过程中如有发现，可以通过访问公司网站(<http://www.dong-he.cn>)或以邮件方式发至我公司教材服务邮箱(dh\_iTeacher@126.com)。

高校物联网专业 项目组  
2013年5月

# 目 录

## 理 论 篇

第 1 章 WSN 概述 .....	2
本章目标 .....	2
学习导航 .....	2
1.1 概述 .....	2
1.1.1 无线通信技术 .....	3
1.1.2 WSN 的产生和定义 .....	5
1.1.3 WSN 的发展 .....	6
1.2 传感器与 WSN .....	7
1.2.1 传感器 .....	7
1.2.2 传感器与传感器网络的关系 .....	7
1.3 物联网与 WSN .....	8
1.3.1 物联网定义 .....	8
1.3.2 物联网体系结构 .....	8
1.3.3 物联网与传感器网络的关系 .....	9
1.4 WSN 体系结构 .....	10
1.4.1 网络结构 .....	10
1.4.2 节点结构 .....	11
1.4.3 节点限制 .....	11
1.4.4 WSN 协议栈 .....	13
1.4.5 体系结构设计 .....	14
1.5 WSN 特点 .....	16
1.5.1 与现有无线网络的区别 .....	16
1.5.2 特点 .....	17
1.6 WSN 操作系统 .....	18
1.6.1 现有的操作系统 .....	18
1.6.2 TinyOS 技术特点 .....	20
1.6.3 TinyOS 体系结构 .....	21
1.7 WSN 相关技术 .....	22
1.7.1 Zigbee 技术 .....	22
1.7.2 RFID 技术 .....	22
1.7.3 其他技术 .....	23

1.8 应用领域 .....	23
小结 .....	26
习题 .....	26
<b>第2章 物理层</b> .....	<b>27</b>
本章目标 .....	27
学习导航 .....	27
2.1 概述 .....	27
2.2 频率分配 .....	28
2.3 通信信道 .....	29
2.3.1 自由空间信道 .....	29
2.3.2 多径信道 .....	30
2.3.3 加性噪声信道 .....	31
2.3.4 实际环境信道 .....	31
2.4 调制与解调 .....	32
2.4.1 模拟调制 .....	32
2.4.2 数字调制 .....	32
2.4.3 UWB 通信技术 .....	35
2.4.4 扩频通信 .....	36
2.5 物理层设计 .....	37
2.5.1 相关概念 .....	37
2.5.2 帧结构 .....	37
2.5.3 物理层功能 .....	38
2.5.4 成本及功耗 .....	41
2.6 非理想特性 .....	41
2.6.1 来源 .....	41
2.6.2 影响 .....	43
2.7 射频前端分析 .....	45
2.7.1 射频前端功耗 .....	45
2.7.2 低功耗设计 .....	46
小结 .....	46
习题 .....	47
<b>第3章 MAC 层协议</b> .....	<b>48</b>
本章目标 .....	48
学习导航 .....	48
3.1 概述 .....	48
3.1.1 功能概述 .....	49
3.1.2 帧结构 .....	50
3.1.3 分类 .....	53



3.2 竞争型 MAC 协议 .....	54
3.2.1 SMAC 协议 .....	54
3.2.2 TMAC 协议 .....	56
3.2.3 PMAC 协议 .....	59
3.3 分配型 MAC 协议 .....	60
3.3.1 SMACS 协议 .....	60
3.3.2 TRAMA 协议 .....	61
3.3.3 DMAC 协议 .....	63
3.4 混合型 MAC 协议 .....	65
3.4.1 ZMAC 协议概述 .....	65
3.4.2 基本思想 .....	65
3.4.3 算法描述 .....	66
3.4.4 关键技术 .....	66
3.4.5 特点 .....	67
3.5 MAC 层与跨层设计 .....	68
3.5.1 跨层设计提出 .....	68
3.5.2 AIMRP 协议 .....	71
小结 .....	72
习题 .....	73
<b>第 4 章 路由层协议 .....</b>	<b>74</b>
本章目标 .....	74
学习导航 .....	74
4.1 概述 .....	74
4.1.1 功能和特点 .....	75
4.1.2 关键技术 .....	75
4.1.3 分类 .....	76
4.1.4 发展 .....	78
4.2 以数据为中心的路由协议 .....	78
4.2.1 SPIN 协议 .....	79
4.2.2 DD 协议 .....	81
4.3 分层结构的路由协议 .....	84
4.3.1 LEACH 协议 .....	84
4.3.2 PEGASIS 协议 .....	85
4.3.3 TTDD 协议 .....	86
4.3.4 TEEN 与 APTEEN 协议 .....	89
4.4 地理位置信息路由协议 .....	90
4.4.1 GPSR 协议 .....	90
4.4.2 GAF 协议 .....	92

4.4.3	LAR 协议	94
4.4.4	GEAR 协议	96
4.5	可靠路由协议	97
4.6	按需路由协议	99
4.6.1	DSDV 协议	99
4.6.2	DSR 协议	100
4.6.3	AODV 协议	102
	小结	103
	习题	104
<b>第 5 章</b>	<b>服务支撑技术</b>	<b>105</b>
	本章目标	105
	学习导航	105
5.1	时间同步技术	105
5.1.1	概述	106
5.1.2	方法	106
5.1.3	协议	107
5.1.4	应用	109
5.2	数据融合技术	110
5.2.1	概念	110
5.2.2	策略	110
5.2.3	作用	113
5.3	定位技术	114
5.3.1	概述	114
5.3.2	基于测距的定位	114
5.3.3	无需测距的定位	117
5.3.4	定位系统	118
5.3.5	应用领域	119
5.4	网络安全技术	119
5.4.1	概述	119
5.4.2	安全协议	120
5.4.3	密钥分配管理	121
5.4.4	安全支撑	122
5.5	容错设计技术	123
5.5.1	概述	123
5.5.2	故障模型	123
5.5.3	检测和诊断	124
5.5.4	故障修复	127
5.5.5	可靠性分析	128

5.6 服务质量保证.....	129
5.6.1 概述.....	130
5.6.2 节点的 QoS.....	131
5.6.3 网络层的 QoS.....	131
5.6.4 用户感知的 QoS.....	132
小结.....	133
习题.....	133
<b>第 6 章 Zigbee 网络技术.....</b>	<b>134</b>
本章目标.....	134
学习导航.....	134
6.1 Zigbee 技术概述.....	134
6.1.1 定义.....	134
6.1.2 特点.....	135
6.1.3 协议架构.....	135
6.2 应用系统组成.....	136
6.2.1 常见的 Zigbee 芯片.....	136
6.2.2 常见的 Zigbee 协议栈.....	138
6.2.3 应用系统组成.....	139
6.3 网络拓扑和协议栈结构.....	141
6.3.1 拓扑结构.....	141
6.3.2 协议栈体系结构.....	142
6.4 应用简介.....	145
小结.....	145
习题.....	146
<b>第 7 章 RFID 技术.....</b>	<b>147</b>
本章目标.....	147
学习导航.....	147
7.1 RFID 技术原理.....	147
7.1.1 组成.....	147
7.1.2 分类.....	148
7.1.3 工作原理.....	149
7.2 RFID 标准.....	152
7.2.1 ISO 标准.....	152
7.2.2 EPC Global 标准.....	154
7.2.3 Ubiquitous ID 标准.....	155
7.3 RFID 系统原理.....	157
7.3.1 低频 RFID 系统原理.....	157

7.3.2	高频 RFID 系统原理.....	158
7.3.3	超高频 RFID 系统原理.....	160
7.4	RFID 组网技术.....	161
7.4.1	读写器网络部署特点.....	161
7.4.2	Zigbee 与 RFID 组网.....	162
7.5	RFID 技术应用.....	163
小结	.....	164
习题	.....	164
<b>第 8 章</b>	<b>蜂窝移动通信</b> .....	<b>165</b>
本章目标	.....	165
学习导航	.....	165
8.1	概述.....	165
8.1.1	概念.....	165
8.1.2	发展.....	166
8.2	GSM 移动通信.....	167
8.2.1	概述.....	167
8.2.2	网络结构.....	168
8.2.3	无线接口.....	169
8.3	GPRS 技术.....	170
8.3.1	概述.....	170
8.3.2	逻辑网络架构.....	171
8.3.3	传输平面和信令平面.....	173
8.3.4	TCP/IP 协议.....	175
8.4	第三代移动通信.....	177
8.4.1	概述.....	177
8.4.2	WCDMA 系统.....	178
8.4.3	CDMA2000 系统.....	179
8.4.4	TD-SCDMA 系统.....	180
8.5	蜂窝移动通信技术应用.....	180
小结	.....	181
习题	.....	181
<b>第 9 章</b>	<b>WIFI 技术</b> .....	<b>182</b>
本章目标	.....	182
学习导航	.....	182
9.1	WIFI 技术概述.....	182
9.1.1	概述.....	182
9.1.2	IEEE802.11 WLAN 标准.....	183

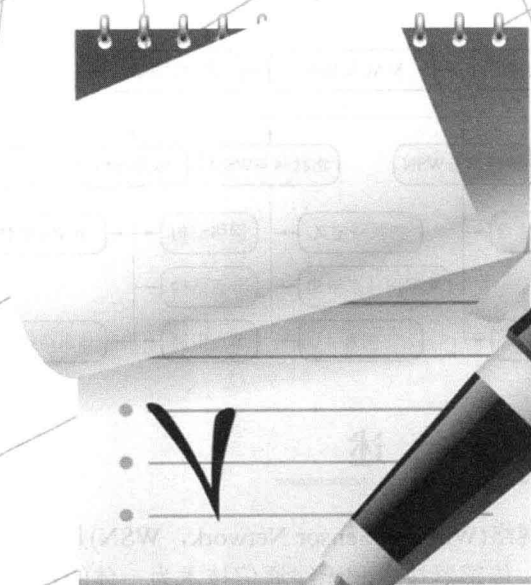
9.1.3 组网方式.....	184
9.2 WIFI 协议架构.....	186
9.2.1 802.11 规范.....	186
9.2.2 无线媒体接入.....	186
9.2.3 物理层.....	187
9.3 WIFI 技术应用.....	188
小结.....	189
习题.....	189
<b>第 10 章 网关技术</b> .....	<b>190</b>
本章目标.....	190
学习导航.....	190
10.1 概述.....	190
10.2 网关的分类.....	191
10.2.1 协议网关.....	191
10.2.2 应用网关.....	192
10.2.3 安全网关.....	192
10.3 网关的特点与功能.....	193
10.3.1 网关的特点.....	193
10.3.2 网关的功能.....	193
10.4 WSN 网关.....	194
10.4.1 网关开发板.....	194
10.4.2 CC2530 模块.....	195
10.4.3 网关协议的转换.....	195
小结.....	195
习题.....	196

## 实 践 篇

<b>实践 1 MAC 层协议</b> .....	<b>198</b>
实践 1.G.1.....	198
<b>实践 2 路由层协议</b> .....	<b>214</b>
实践 2.G.1.....	214
实践 2.G.2.....	217
<b>实践 3 Zigbee 网络技术</b> .....	<b>221</b>
实践 3.G.1.....	221
实践 3.G.2.....	226
练习 3.E.1.....	229

实践 4 RFID 技术.....	230
实践 4.G.1.....	230
实践 5 蜂窝移动通信.....	243
实践 5.G.1.....	243
实践 5.G.2.....	246
实践 6 网关技术.....	256
实践 6.G.1.....	256
实践 6.G.2.....	263

# 理论篇



# 第1章 WSN 概述



## 本章目标

- ◆ 理解无线传感器网络的定义。
- ◆ 理解物联网的概念。
- ◆ 理解无线传感器网络与物联网的关系。
- ◆ 了解传感器的分类。
- ◆ 了解传感器与传感器网络之间的关系。
- ◆ 掌握无线传感器网络的体系结构。
- ◆ 了解无线传感器网络的特点及应用。
- ◆ 了解无线传感器网络操作系统。
- ◆ 了解与无线传感器网络相关的技术。



## 学习导航



## 1.1 概述

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)是一种全新的信息获取和处理技术,是集微机电技术、传感器技术和无线通信技术为一体的技术,而无线通信技术是无线传感器网络的支撑技术之一。



### 1.1.1 无线通信技术

本小节将介绍无线通信技术几个重要的概念：电磁波与信道、调制解调以及几种短距离无线通信技术。

#### 1. 电磁波

电磁波由同相振荡且互相垂直的电场和磁场在空间以波的形式传递能量和动量，其传播方向垂直于电场与磁场构成的平面。18世纪物理学家麦克斯韦预言了电磁波的存在，后由赫兹用实验证明了电磁波的存在。俄国的波波夫和意大利业余无线电研究者马可尼同时独立地发明了天地线制(当把发射电磁波的天线与接收机的天线及地线相互连接时，电磁波将转化为脉冲电流)，至此无线电通信开始进入实用阶段。电磁波的频率范围为 3 Hz~300 GHz，对应的波长为 100 km~1 mm。电磁波波段的划分如表 1-1 所示。

表 1-1 电磁波波段划分

波段	波长	频率	传播方式	主要用途	
超长波	100~10 km	3~30 kHz	空间波	对潜通信	
长波	10~1 km	30~300 kHz	地波		
中波	1000~100 m	0.3~3 MHz	地波或天波	调幅无线电广播	
短波	100~10 m	3~30 MHz	天波		
微波	米波	10~1 m	空间波	调频无线电广播	
	分米波	1~0.1 m	空间波	电视、雷达、导航	
	厘米波	10~1 cm			3~30 GHz
	毫米波	10~1 mm			30~300 GHz

无线电波的传播方式因波长的不同产生不同的传播特性，可以分为如下三种形式：

- ◇ 地波：沿地球表面空间向外传播的无线电波，中、长波均利用地波方式传播。
- ◇ 天波：依靠电离层的反射作用传播的无线电波，短波多利用这种方式传播。
- ◇ 空间波：沿直线传播的无线电波，它包括由发射点直接到达接收点的直射波和经地面反射到达接收点的反射波。电视和雷达利用的微波多采用空间波方式传播。

#### 2. 信道

信道可以从狭义和广义两方面理解。狭义信道即信号传输的媒质，分为有线信道和无线信道；广义信道除包括传输媒质外还包括有关的转换器，如发送设备、接收设备、馈线与天线、调制器、解调器等。本小节将详细讲解广义信道。

广义信道按功能可以分为模拟信道(即调制信道)和数字信道(即编码信道)。广义信道模型如图 1-1 所示。