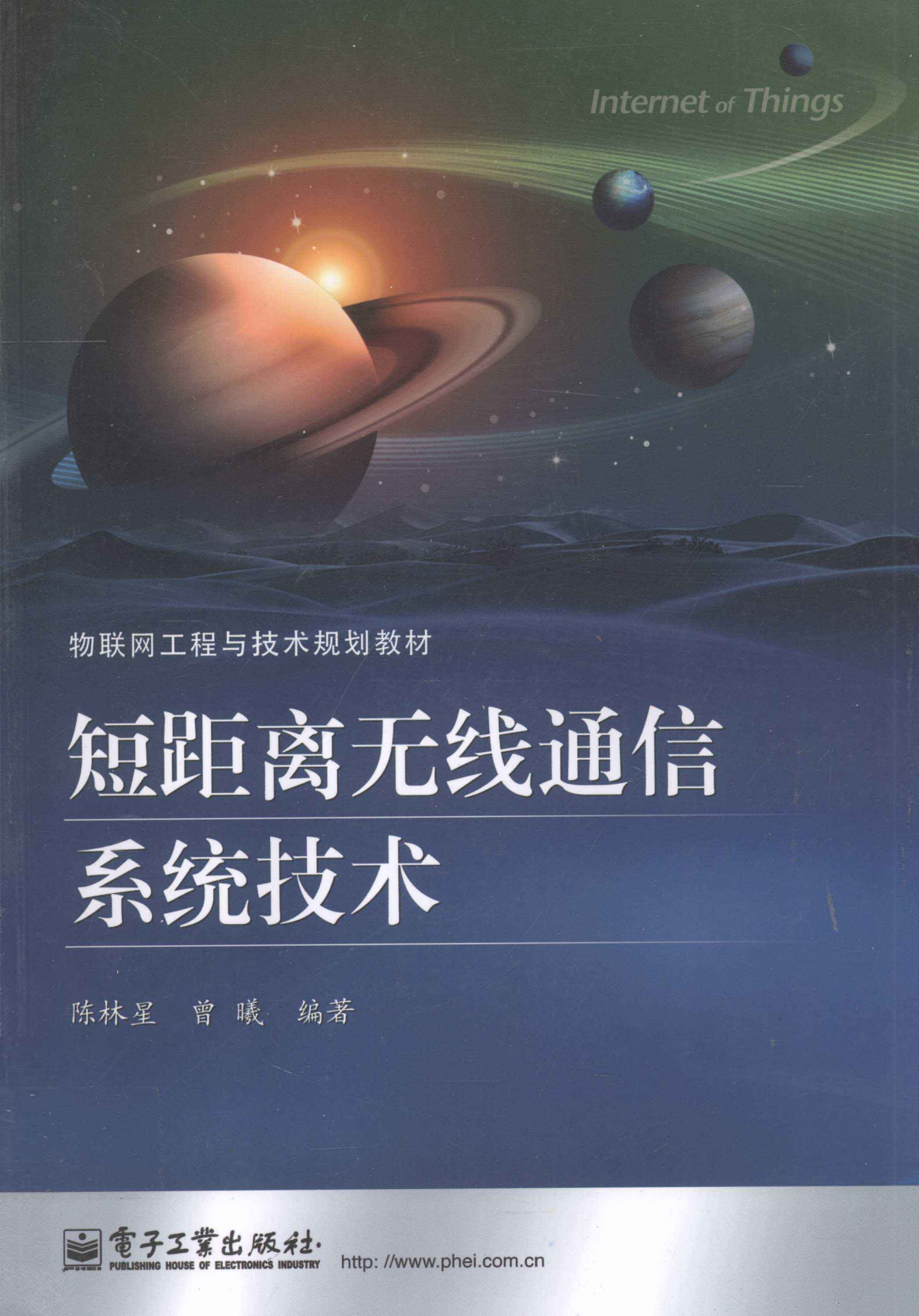


The background of the cover is a deep blue and black space scene. In the upper left, a large, glowing orange sun or star is partially obscured by the rings of a large, reddish-brown planet. To the right, there are several other celestial bodies: a small blue planet, a larger blue and white planet (resembling Earth), and a large, striped gas giant planet (resembling Jupiter). Green, ethereal light trails or nebulae swirl across the upper right portion of the image. The overall atmosphere is futuristic and technological.

Internet of Things

物联网工程与技术规划教材

短距离无线通信 系统技术

陈林星 曾曦 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

物联网工程与技术规划教材

短距离无线通信系统技术

陈林星 曾 曦 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING



内 容 简 介

本书主要包括四个部分的内容：①短距离无线通信系统概述，包括无线通信系统的分类，各类无线通信系统简介，IEEE 802.11 WLAN 综述，无线网状网的基本概念、特点、网络结构，短距离无线通信的特点和应用；②典型短距离无线通信系统（LR-WPAN、HR-WPAN、蓝牙）的详细描述；③LR-WPAN、HR-WPAN 的网状网能力；④WPAN 与 WLAN 的共存。

全书内容丰富、新颖，概念清楚，层次结构合理、明晰，涵盖了当前国际上主流的短距离无线通信系统，可帮助读者尽快全面了解和掌握短距离无线通信系统技术。本书既可作为高等院校物联网专业、通信专业的教材，也可供从事无线通信、物联网、无线传感器网络的科研人员、工程技术人员，以及所有对此感兴趣的人士阅读和参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

短距离无线通信系统技术 / 陈林星，曾曦编著. —北京：电子工业出版社，2013.11

物联网工程与技术规划教材

ISBN 978-7-121-21752-4

I. ①短… II. ①陈… ②曾… III. ①无线电通信—高等学校—教材 IV. ①TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 255299 号

责任编辑：竺南直

印 刷：涿州市京南印刷厂

装 订：涿州市京南印刷厂

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：787×1 092 1/16 印张：23 字数：618 千字

印 次：2013 年 11 月第 1 次印刷

定 价：49.00 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 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

前 言

IEEE 802 工作组根据发射机与接收机之间的直接通信距离,将无线通信系统分成无线区域网(WRAN)、广域网(WAN)、无线城域网(WMAN)、无线局域网(WLAN)、无线个人区域网(WPAN)。最大覆盖半径为 100 千米的 WRAN 主要用于人口低密度区,提供对数据网络的访问;最大覆盖半径为 15 千米的 WAN 用于实现不同地区的局域网或城域网的互连,提供不同地区、城市和国家之间的计算机通信的远程计算机网;最大覆盖半径为 5 千米的 WMAN 提供面向互联网的高速连接,提供“最后一千米”的宽带无线接入(BWA);最大覆盖半径为 150 米的 WLAN 的基本用途是用于替代计算机与计算机之间的有线连接。

根据 IEEE 802 的描述, WLAN、WPAN 均属于短距离无线通信系统。WPAN 的最大覆盖半径为 10 米。目前, WPAN 包括蓝牙、高速 WPAN (HR-WPAN)、低速 WPAN (LR-WPAN)、无线人体区域网(WBAN)。蓝牙用于无线鼠标、无线键盘、非手持式耳机和听筒。HR-WPAN 用于高宽带多媒体传输。LR-WPAN 主要用于物联网,实现可靠的无线网络化监视和控制。其中,星形拓扑 LR-WPAN 的应用包括家庭自动化、个人计算机外设、玩具与游戏、个人卫生保健等。对等拓扑 LR-WPAN 的应用包括工业监控、无线传感器网络、资产与详细清单跟踪、智能化农业、安全等。

短距离无线通信系统 RF 输出功率低(几毫瓦~100 毫瓦),通信距离短(几厘米~150 米),结构简单,价格相对低廉,无许可证操作,通常电池供电。正是由于这些特点以及许多其他优点,因此无线局域网(WLAN)、蓝牙、ZigBee 发展十分迅速,应用越来越普遍,在市场上获得了巨大成功。例如,无线局域网(WLAN)已经在企业、医院、商店、工厂、学校、交通、飞机、商船和舰船等场合得到了广泛的应用。IEEE 802.15.4 (LR-WPAN)是物联网的一种重要短距离传输系统。ZigBee 在工业监控与工业自动化控制,无线传感器网络,资产与详细清单跟踪,智能化农业,安全监视,保健监视,环境监视,军事行动、消防队员操作指挥,货单自动更新,库存实时跟踪,家庭自动化,个人计算机外设,玩具与游戏,个人卫生保健等领域获得了应用。而市场的成功又反过来强力推动 WLAN、ZigBee、蓝牙的进一步发展,形成了技术与市场的良性循环,持续发展。

软件无线电技术、低功率电子学、CMOS 技术、低功率 RF 设计技术、网络体系结构、以及无线网络协议的发展和进步,使人们已经能够开发出功能全、功耗低的芯片,实现单片解决方案,从而保证和实现了短距离无线通信的低成本要求。

市场上有许多 IEEE 802.15.4 (LR-WPAN) 芯片可供选择。例如, TI 公司推出的芯片 CC2430 提供单片系统解决方法。CC2430 采用低功率全静态 CMOS 设计,集成了遵循 IEEE 802.15.4 标准的 RF 收发信机(相当于 TI 公司推出的 IEEE 802.15.4 收发信机 RF 芯片 CC2420)、优化 8051 内核(其性能是标准 8051 的 8 倍)、双数据指针、系统内可编程闪存(32/64/128 KB)、8 KB RAM、DMA、定时器(1 个 IEEE 802.15.4 MAC 定时器,1 个通用 16 比特定时器,2 个 8 比特定时器)、自动前导发生器、同步字插入/检测、MAC 有效载荷的 CRC-16 计算和校验、空闲信道评估(CCA)、能量检测/数字 RSSI、链路质量指示(LQI)、CSMA/CA 协处理器、电池监视与温度传感器、12 比特 ADC(8 输入,精度可配置)、AES 安全协处理器、AES 加密/解密硬件、两个可编程通用同

步/异步接收机/发射机 (USART)、随机数发生器、21 个通用 I/O 引脚 (其中 2 个具有 20mA 信宿/信源能力)、硬件调试接口等, 采用兼容有害物质约束 (RoHS) 的 7×7mm QLP48 封装, 支持低功率操作 (微处理器按 32 MHz 速率运行时, 接收和发送的电流均为 27 mA; 电源休眠方式下 0.5μA 电流; 待命方式下 0.3μA 电流), 数据速率 250 kb/s, 码片速率 2 Mchip/s, 接收机抗干扰能力强, 外接元件少, 对于网状网系统只需要一个晶振, 给系统设计和开发人员提供了极大方便。建议学校构建 CC2430 或者类似的实验环境, 做到教学、实践、科研的统一, 使学生不仅学习了相关网络系统知识, 而且还能够到实际环境中去实践, 切身参与调试、软件编写、网络实验。

本书取材于当前主流的短距离无线通信系统, 包括四个部分的内容: 短距离无线通信系统概述、典型短距离无线通信系统 (LR-WPAN、HR-WPAN、蓝牙)、无线个人区域网络的网状网能力、异种网络系统的共存。具体安排如下:

第一部分“短距离无线通信系统概述”: 包含 1 章 (第 1 章)。内容包括无线通信系统的分类, 以及各类无线通信系统的简单介绍。着重综述了 IEEE 802.11 WLAN 的物理层、MAC 机制及其体系结构、应用。然后介绍无线网状网网络 (WMN), 包括 WMN 的特点、网络结构、性能影响因素、应用等。最后是短距离无线通信系统概述, 包括短距离无线通信的特点、应用、短距离无线通信技术的选择考虑。

第二部分“典型短距离无线通信系统”: 包含 3 章 (第 2、3、4 章)。第 2、3 章分别详细描述低速无线个人局域网 (LR-WPAN)、高速无线个人局域网 (HR-WPAN), 包括网络的体系结构 (包括网络拓扑、协议参考模型)、帧结构、物理层、MAC 层、节能技术。第 4 章是蓝牙通信系统的概述, 包括蓝牙通信拓扑、核心系统体系结构、分组格式、数据传输体系结构等。

第三部分“无线个人区域网络的网状网能力”: 包含 1 章 (第 5 章)。本章详细描述 LR-WPAN、HR-WPAN 的网状网能力, 包括网状网参考模型、网状网服务、网状网服务帧格式、网状网功能。

第四部分“异种网络系统的共存”: 包含 1 章 (第 6 章)。本章讨论无线个人局域网 (WPAN)、无线局域网 (WLAN) 的共存问题, 介绍多种协作共存机制 (无线媒介交替访问, 分组流量仲裁, 确定性干扰抑制) 和非协作共存机制 (自适应干扰抑制, 自适应分组选择, ACL/SCO 链的分组传输时间安排, 自适应跳频), 以及这些共存机制的使用方法和使用效果。

本书由两位通信领域的研究员编写。中国电子科技集团公司第三十研究所研究员曾曦完成本书第 4 章“蓝牙通信系统”、第 5 章“无线个人区域网络 (WPAN) 的网状网能力”的编写。陈林星研究员完成其余 4 章的编写, 并负责全书的统稿和校对。

另外就几个问题说明如下:

(1) 在描述帧结构时, 按照从右到左的顺序开始发送和接收。对于包含多个字节的域, 按照从最低字节到最高字节、每个字节按照最低比特到最高比特的顺序开始发送和接收。对于在 PHY 与 MAC 子层之间的传递的数据域也按照这种顺序发送和接收。

(2) 在使用本教材之前, 学生最好应学过通信原理课程, 具有分组通信、调制解调、纠错检错等基本通信知识; 此外, 还应该具备一定的数学知识, 比如图论等。如果学生缺乏这些知识, 建议老师讲课时适时补充一些这方面的知识。

在本书的构思和写作过程中, 以及本书的成功出版, 作者一直得到了电子工业出版社的大力支持和帮助。在写作过程中, 在理解和讨论一些技术问题, 多位友人给予了有益的帮助。作者在此一并表示由衷感谢!

由于作者知识有限, 本书难免有缺陷、甚至错误。非常欢迎来文指出本书的缺点和错误。联系 E-Mail: clx-clx-clx@163.com。

目 录

第 1 章 短距离无线通信系统概述	1
1.1 无线通信系统概述	1
1.1.1 无线局域网 (WRAN)	2
1.1.2 广域网 (WAN)	5
1.1.3 无线城域网 (WMAN)	6
1.1.4 无线局域网 (WLAN)	8
1.1.5 无线个人局域网 (WPAN)	9
1.2 IEEE 802.11 无线局域网	11
1.2.1 IEEE 802.11 WLAN 物理层	11
1.2.2 WLAN 的 MAC 机制及其体系结构	14
1.2.3 WLAN 的应用	20
1.3 无线网状网网络 (WMN)	21
1.3.1 WMN 的特点	21
1.3.2 WMN 的网络结构	22
1.3.3 影响 WMN 网络性能的因素	24
1.3.4 WMN 应用案例	26
1.4 短距离无线通信系统概述	27
1.4.1 短距离无线通信的特点	27
1.4.2 短距离无线通信的应用	28
1.4.3 对短距离无线技术选择的若干考虑	28
1.5 原语的概念	29
习题 1	30
第 2 章 低速无线个人局域网	31
2.1 LR-WPAN 的体系结构	31
2.1.1 LR-WPAN 节点类型	31
2.1.2 LR-WPAN 的组成	31
2.1.3 LR-WPAN 网络拓扑	31
2.1.4 LR-WPAN 数据传输模型	32
2.1.5 LR-WPAN 的体系结构	34
2.2 LR-WPAN 的帧结构	35
2.2.1 超帧结构	35

2.2.2	通用 MAC 帧格式	36
2.2.3	各类帧的格式	40
2.2.4	MAC 命令帧	45
2.2.5	MAC 常量及 PIB 属性	51
2.2.6	PHY 常量及 PIB 属性	55
2.3	LR-WPAN 物理层 (PHY)	56
2.3.1	PHY 的基本技术参数	57
2.3.2	信道分配	57
2.3.3	PPDU 格式	59
2.3.4	PHY 参考模型	60
2.3.5	通用电台技术规范	61
2.4	LR-WPAN MAC 子层	64
2.4.1	MAC 子层服务	64
2.4.2	信道访问	68
2.4.3	LR-WPAN 的启动与维护	72
2.4.4	相关与去相关	78
2.4.5	同步	81
2.4.6	寄存帧处理	82
2.4.7	发送、接收和确认	83
2.4.8	GTS 的分配与管理	89
	习题 2	94
第 3 章 高速无线个人局域网		95
3.1	HR-WPAN 的体系结构	95
3.1.1	HR-WPAN 中的 Piconet 及其组成	95
3.1.2	HR-WPAN 的协议参考模型	96
3.2	HR-WPAN 的物理层	99
3.2.1	2.4 GHz 物理层概述	99
3.2.2	PHY 帧格式	103
3.2.3	HR-WPAN 发射机技术规范	109
3.2.4	HR-WPAN 接收机技术规范	111
3.3	HR-WPAN 的 MAC 帧格式	113
3.3.1	MAC 子层参数	113
3.3.2	通用 MAC 帧格式	114
3.3.3	信标帧	117
3.3.4	ACK 帧	122
3.3.5	MAC 命令帧	123
3.3.6	数据帧	128
3.4	HR-WPAN 的 MAC 功能及其操作	129
3.4.1	Piconet 的启动、维护、终止	129

3.4.2	相关与去相关	139
3.4.3	信道访问	142
3.4.4	信道时间管理	150
3.4.5	同步	155
3.4.6	分片与重组	157
3.4.7	ACK 与重传	157
3.4.8	对等寻找	159
3.4.9	Piconet 参数的修改	162
3.4.10	干扰的减轻措施	164
3.4.11	多速率支持	166
3.5	HR-WPAN 的节能	166
3.5.1	Piconet 同步节能 (PSPS)	168
3.5.2	节点同步节能 (DSPS)	169
3.5.3	异步节能 (APS)	172
	习题 3	173
第 4 章	蓝牙通信系统	175
4.1	概述	175
4.2	蓝牙通信拓扑	176
4.2.1	Piconet 拓扑	176
4.2.2	散射网拓扑	177
4.3	核心系统体系结构	177
4.3.1	信道管理器	179
4.3.2	L2CAP 资源管理器	179
4.3.3	节点管理器	179
4.3.4	链路管理器	179
4.3.5	BB 资源管理器	180
4.3.6	链路控制器	180
4.3.7	射频 (RF)	185
4.4	蓝牙分组及其格式	185
4.4.1	通用格式	185
4.4.2	信道访问码 (CAC)	186
4.4.3	分组头	186
4.4.4	分组类型	187
4.4.5	有效载荷头	190
4.4.6	分组小结	191
4.5	数据传输体系结构	192
4.5.1	核心流载体	192
4.5.2	传输体系结构实体	195
4.5.3	物理信道	195

4.5.4	物理链路	198
4.5.5	逻辑链路与逻辑传输通道	199
4.6	L2CAP 信道	204
4.6.1	L2CAP 数据流	205
4.6.2	L2CAP 功能结构	205
4.7	操作规程与操作方式	207
习题 4		209
第 5 章	无线个人区域网络的网状网能力	211
5.1	低速 WPAN 网状网	211
5.1.1	LR-WPAN 网状网的应用	212
5.1.2	LR-WPAN 网状网的参考模型	212
5.1.3	LR-WPAN 网状网服务	213
5.1.4	帧格式	214
5.1.5	网状网子层的常量、信息库、状态值	220
5.2	低速 WPAN 的网状网功能	224
5.2.1	网状网的启动	224
5.2.2	入网	225
5.2.3	地址分配	226
5.2.4	网状网拓扑寻找与建立	228
5.2.5	网状网路径选择与数据转发	230
5.2.6	网状网路径维护	231
5.2.7	退网	232
5.2.8	网状网多目标路径选择与数据转发	233
5.2.9	可靠广播	242
5.2.10	电池节能	244
5.2.11	节点便携性支持	256
5.2.12	路由跟踪	258
5.3	高速 WPAN 网状网	260
5.3.1	HR-WPAN 网状网的参考模型	260
5.3.2	HR-WPAN 网状网服务	260
5.3.3	网状网 PAN 信息库 (PIB)	261
5.3.4	帧格式	262
5.4	高速 WPAN 的网状网功能	265
5.4.1	网状网络的启动	265
5.4.2	拓扑树的建立	266
5.4.3	TREEID 的分配	267
5.4.4	退网	270
5.4.5	路由规程	272
5.4.6	路由选择	274
习题 5		276

第 6 章 异种系统共存	277
6.1 WPAN 与 WLAN 共存的干扰问题	277
6.1.1 存在 IEEE 802.15.1 干扰时的 IEEE 802.11 FH WLAN	277
6.1.2 存在 IEEE 802.15.1 干扰时的 IEEE 802.11b WLAN	278
6.1.3 存在 IEEE 802.11 FH 干扰时的 IEEE 802.15.1	278
6.1.4 存在 IEEE 802.11b 干扰时的 IEEE 802.15.1	279
6.2 WPAN 与 WLAN 共存机制概述	279
6.2.1 协作共存机制	279
6.2.2 非协作共存机制	281
6.3 无线媒介的交替访问 (AWMA)	282
6.3.1 WLAN/WPAN 同步	283
6.3.2 AWMA 的管理	284
6.3.3 对 WLAN 和 WPAN 发送的约束	286
6.3.4 运用 AWMA 时 WPAN 和 WLAN 的性能	287
6.4 分组流量仲裁 (PTA)	288
6.4.1 已知物理层特征	288
6.4.2 PTA 结构	289
6.4.3 已知网络状态	289
6.4.4 网络控制	290
6.4.5 优先级比较	292
6.4.6 服务质量的维护	293
6.4.7 PTA 802.11b 性能结果	293
6.5 确定性干扰抑制	294
6.6 自适应干扰抑制	296
6.7 自适应分组选择	300
6.7.1 IEEE 802.15.1 的 SCO 和 ACL 分组类型	300
6.7.2 自适应分组选择方法	300
6.8 ACL 链的分组传输时间安排	301
6.9 信道分类	304
6.9.1 分类方法	304
6.9.2 分类规程	306
6.10 SCO 链的分组传输时间安排	307
6.11 自适应跳频 (AFH)	309
6.11.1 分段序列号产生器	311
6.11.2 频率重映射函数	316
6.12 干扰模型	317
6.12.1 物理层模型	317
6.12.2 媒介访问控制 (MAC) 子层模型	332

6.12.3	数据流模型.....	334
6.12.4	IEEE 802.15.1 的性能参数.....	334
6.12.5	共存建模结果.....	334
6.13	LR-WPAN 与其他无线网络的共存.....	341
6.13.1	通用共存问题.....	342
6.13.2	2400MHz 频段共存性能.....	345
6.13.3	800/900MHz 频段共存性能.....	349
习题 6		355
参考文献		356

第 1 章 短距离无线通信系统概述

今天，无线通信技术的发展已经突破了无线频谱这个有限资源的约束，在同一个物理空间能够同时正常运行多个同类/异类无线网络。不断涌现出来的先进的无线技术，比如，定向天线，智能天线，MIMO 系统，多电台/多信道系统，认知无线电/软件无线电，先进而灵活的网络体系结构，性能越来越优良的无线网络协议，微电子技术，软件技术，在一直不停地推动着无线通信技术的发展、进步、革新。

1.1 无线通信系统概述

根据无线通信系统的覆盖半径，将无线通信系统分成以下几类（如图 1-1 所示）：

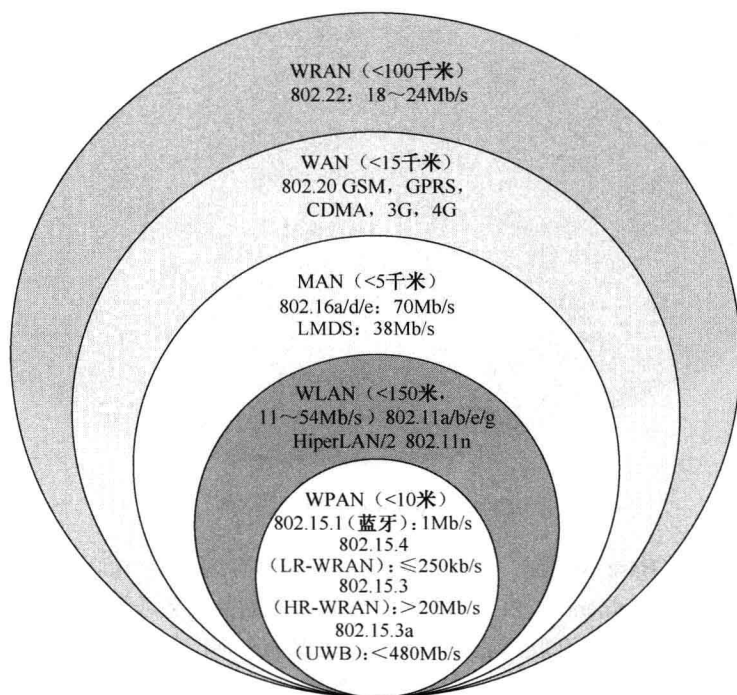


图 1-1 常见无线通信系统及其覆盖范围

- 无线区域网（Wireless Regional Area Network, WRAN）;
- 广域网（Wide Area Network, WAN）;
- 无线城域网（Wireless Metropolitan Area Network, WMAN）;
- 无线局域网（Wireless Local Area Network, WLAN）;

- 无线个人局域网（Wireless Personal Area Network, WPAN）。

尽管对无线通信的“短距离”没有一个严格的定量描述，但是，IEEE Std 802 工作组已经将 WLAN、WPAN 纳入短距离无线通信范畴。

1.1.1 无线局域网（WRAN）

IEEE Std 802.22 是一个关于无线局域网（Wireless Regional Area Network, WRAN）的标准，基于认知无线电技术，定义了适用于 WRAN 系统的空中接口。IEEE Std 802.22 标准包括用于减轻干扰电视广播运营商的认知无线电技术，地理定位能力，电视广播运营商的数据库访问，用于检测电视广播运营商服务、其他 WRAN 系统、IEEE 802.22.1 无线信标的频谱感知技术。

无线局域网（WRAN）主要用于人口低密度区，提供对数据网络的访问。WRAN 系统的工作频段与电视广播服务相同，即 54MHz~862MHz VHF/UHF 频段，只是使用其中未被广播服务占用的空闲信道，避免干扰电视广播运营商。WRAN 的典型应用是覆盖一个村庄及其周边的农村区域，如图 1-2 所示。WRAN 基站的覆盖半径为 10~30km，具体取决于基站的有效全向辐射功率（Effective Isotropic Radiated Power, EIRP）和天线高度。

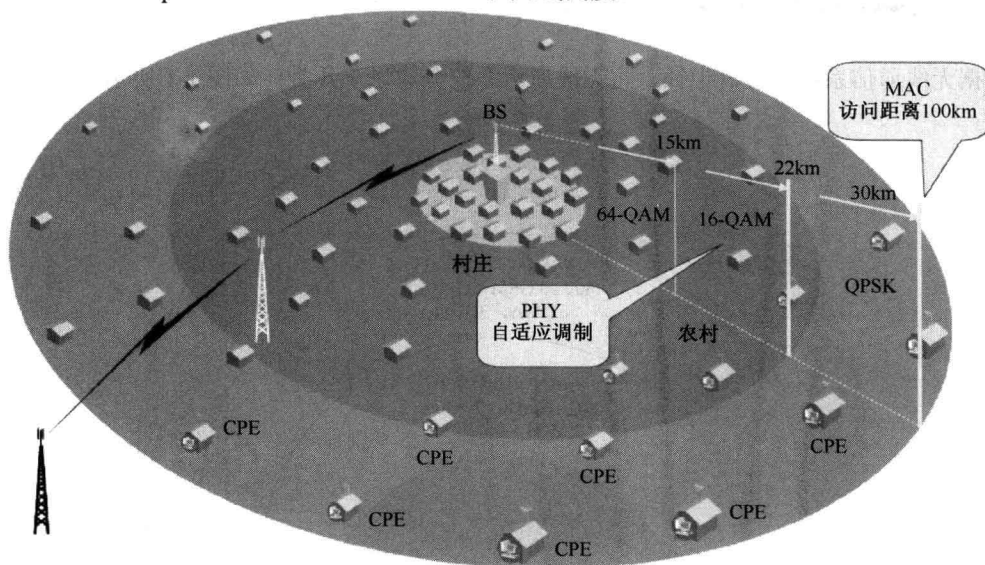


图 1-2 WRAN 的典型应用

一个 WRAN 基站（Base Station, BS）的覆盖区域能够容纳 512 个固定或者便携式用户终端设备（Customer Premises Equipment, CPE），每个 CPE 具有不同的服务质量（Quality of Service, QoS）要求，BS 为这些 CPE 提供高速互联网服务，同时满足保护电视广播运营商的当地管理要求。

根据 IEEE Std 802.22—2011 标准，WRAN 的参考体系结构由 BS 协议参考模型（见图 1-3）和 CPE 协议参考模型（见图 1-4）组成。其中认知无线电部分体现了这个参考体系结构的独特特点。BS、CPE 的协议参考模型均由数据平面、管理/控制平面、认知平面组成。

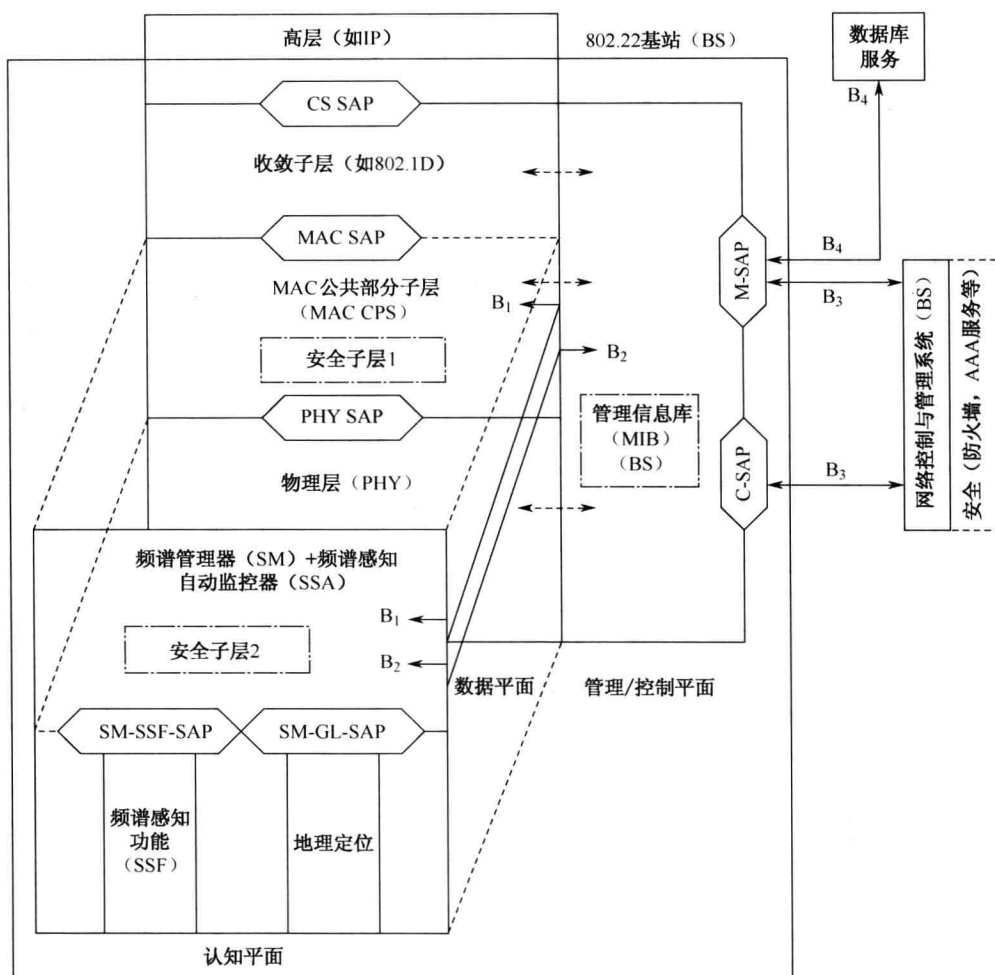


图 1-3 WRAN BS 协议参考模型

1. 数据平面

数据平面由物理层（PHY）、媒介访问控制层（MAC）、收敛子层（Convergence Sublayer, CS）组成，通过各协议层之间的服务访问点（Service Access Point, SAP）实现系统模块化。

MAC 的数据及控制/管理平面由以下三个子层组成：

① 特定服务 CS 子层。本子层将通过 CS SAP 接收到的外部网络数据转换成 MAC 服务数据单元（Service Data Unit, SDU），以及 MAC CPS 通过 MAC SAP 接收的数据。

② MAC 公共部分子层（Common Part Sublayer, CPS）。本子层提供系统访问、连接建立、连接维护的核心 MAC 功能。将通过 MAC SAP 接收到的各个 CS 下传的数据归类到特定 MAC 连接上。通过 PHY SAP 在 MAC CPS 与 PHY 之间传递数据、PHY 控制信息、监视统计数据。

③ 安全子层 1。提供认证、安全密钥交换、加密等安全机制。

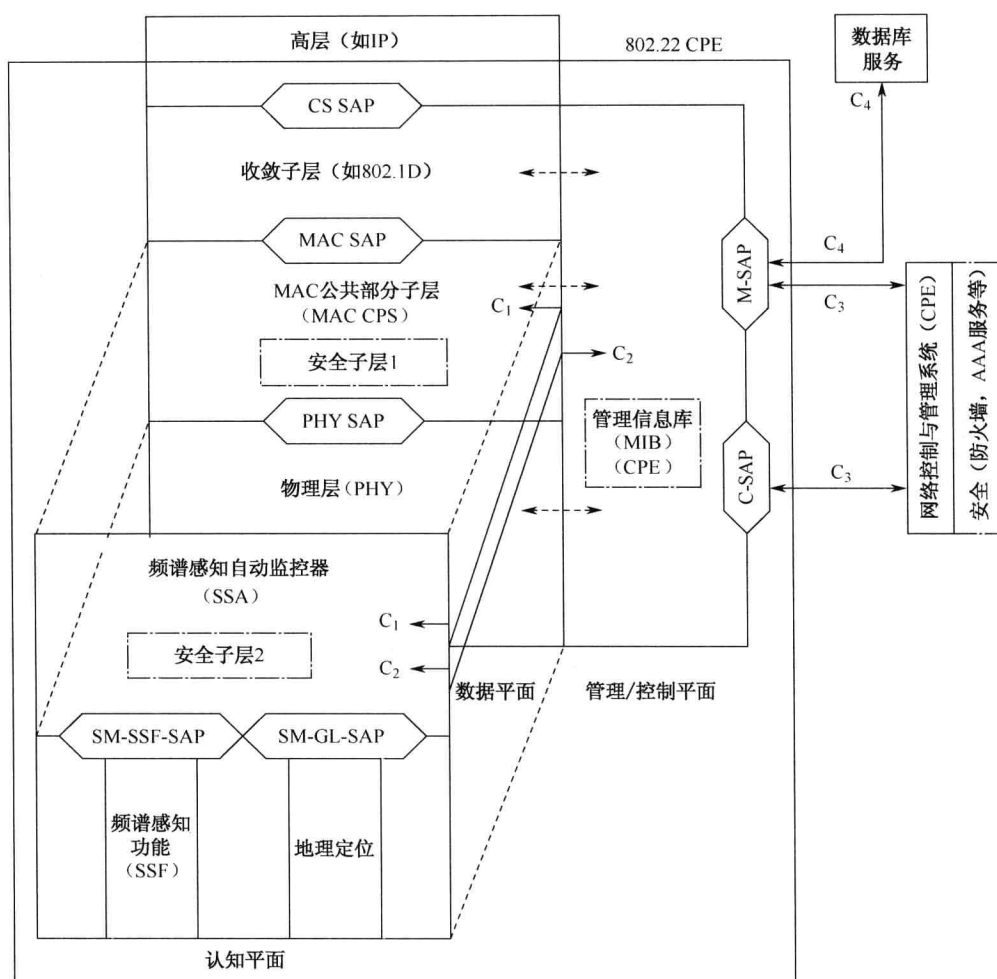


图 1-4 WRAN CPE 协议参考模型

2. 管理/控制平面

管理/控制平面由管理信息库（Management Information Base, MIB）组成。MIB 的访问采用 SNMP 协议。采用 MIB 原语管理 WRAN 网络实体（BS, CPE, 交换机, 路由器等）。MIB 原语还用于系统配置, 监视统计数据, 触发器, CPE 和会晤管理, 无线资源管理（Radio Resources Management, RRM）, 与 MIB 数据库服务的通信, 频谱感知与地理位置报告等。可以从系统内部预先定义的网络中获取 MIB 数据, 也可以在传输媒介上完成 SNMP 信息交换之后从 WRAN 装置（如 BS）获取 MIB 数据。

3. 认知平面

认知平面由频谱感知功能（Spectrum Sensing Function, SSF）、地理定位（Geolocation, GL）功能、频谱管理器/频谱感知自动监控器（Spectrum Manager/Spectrum Sensing Automaton, SM/SSA）、专用安全子层 2 组成。SSF 实现频谱感知算法, GL 模块提供确定 IEEE 802.22 装置（BS, CPE）的位置所需要的信息。

(1) 频谱管理器 (SM)

SM 驻留在 BS 的认知平面, 与数据平面的 MAC CPS 处在相同层次, 如图 1-3 所示。SM 维护频谱有效性信息, 管理信道表, 管理空闲周期的传输时间安排, 实现共存机制。如果在信道正常操作期间检测到一种干扰情况, 那么 MAC 必须通知 SM。SM 获得干扰通知后, 必须采取适当措施 (比如切换到另一个信道上), 解决干扰问题。

BS 从数据库服务和频谱感知功能中收集所有有关频谱有效性的信息, 因而 SM 在整个体系结构中起着核心作用, 是 BS 的核心。基于这种组合信息, 当地管理规章制度, 以及预先确定的 SM 策略, SM 给 MAC 提供必要的配置信息, MAC 远程配置所有已注册的 CPE, 如图 1-3 中的连接 B_1 和 B_2 。这表明需要在 SM 和 MAC 之间, 以及 SM 和 MIB 之间, 交换不同类型的信息。连接 B_2 用于配置 BS 的 SM, 给 SM 发送有效信道表, 以及通过 MIB 向 SM 报告 RF 环境信息。SM 运用连接 B_1 初始化信道切换, 配置 CPE 的 SSA, 收集 CPE 的信息。

(2) 频谱感知自动监控器 (SSA)

所有 IEEE 802.22 装置 (BS 和 CPE) 都包含 SSA, 各自独立实现特定的 SSA 规程, 在初始化 BS 之时以及在 CPE 向 BS 注册之前检测 RF 环境。SSA 与频谱感知功能 (SSF) 接口, 执行 SM 的命令, 激活频谱检测。BS 控制 SSA 的感知行为。在以下 6 种条件下 SSA 控制其本地感知行为:

- 在 BS 开机开始发送信号之前;
- 在 CPE 起始开机与 BS 建立相关之前;
- 在 SM 定义的空闲周期, 以及在 BS 通过超帧控制头 (Superframe Control Header, SCH) 发送信号期间以进行带内感知期间;
- BS 不在发送之时, 在 BS 进行带外感知期间;
- 在 CPE 空闲, 且 BS 没有给 CPE 感知信号路径指派任何特定任务的时候; 或者 WRAN 操作和 RF 感知采用相同调谐器, CPE 既不在发送也没在接收的时候;
- CPE 丢失与其 BS 的连接的时候。

在图 1-4 中, 连接 C_2 用于将环境监视信息 (如检测到的服务提供商列表) 传递给 CPE 本地接口, 以便专职安装人员通过 CPE 高层选择 WRAN 服务; 连接 C_1 用于将本地环境信息 (如感知和地理位置) 传递给 BS。

(3) 专用安全子层 2

用于强化基于认知无线电的访问的安全性。安全子层 1 和安全子层 2 的功能是确保频谱和服务的有效性, 提供数据和信号认证, 确保数据、控制和管理消息的完整性、机密性、不可否认性。安全子层 2 的作用是对电视广播运营商提供增强型安全保护, 以及对 IEEE 802.22 系统提供必要的安全保护。如果要求检测 IEEE 802.22.1 信标和认证信标发送, 那么联合运用安全子层 2 和所提供的安全机制 [基于椭圆曲线加密技术 (Elliptic Curve Cryptography, ECC) 的签名] 对信标进行认证。

1.1.2 广域网 (WAN)

广域网 (WAN) 是一种用来实现不同地区的局域网或城域网的互连, 可提供不同地区、城市和国家之间的计算机通信的远程计算机网。WAN 也称远程网, 通常跨接很大的物理范围, 所覆盖的范围从几十千米到几千千米, WAN 能连接多个城市或国家, 或横跨几个洲并能提供远距离通信, 形成国际性的远程网络。

WAN 采用虚电路方式支持面向连接的网络业务,采用数据报方式支持无连接的网络业务,具有多路复用、电路交换、分组交换功能。

广域网分为公共传输网络、专用传输网络和无线传输网络。公共传输网络一般由政府电信部门组建、管理和控制,网络内的传输和交换装置可以提供(或租用)给任何部门和单位使用。公共传输网络包括电路交换网络[主要包括公共交换电话网(PSTN)和综合业务数字网(ISDN)]和分组交换网络[主要包括 X.25 分组交换网、帧中继和交换式多兆位数据服务(SMDS)]。专用传输网络是由一个组织或团体自己建立、使用、控制和维护的私有通信网络,主要是数字数据网(DDN)。无线传输网络主要是移动无线网,典型的有 IEEE Std 802.20—2008, GSM, GPRS, CDMA, 3G, 4G 等,如图 1-1 所示。

1.1.3 无线城域网(WMAN)

无线城域网(WMAN)是以无线方式构成的城域网,提供面向互联网的高速连接。为了满足日益增长的宽带无线接入(Broadband Wireless Access, BWA)市场需求,IEEE 为 WMAN 推出了 802.16 标准,欧洲的 ETSI 也制订了类似的无线城域网标准 HiperMAN。802.16 标准通常被称为 WMAN,支持数据,以及诸如话音和视频等低时延要求应用。

1. WMAN 的功能

WMAN 提供“最后一千米”的 BWA, BWA 可以是固定的、移动的、便携式的。在许多情况下,无线城域网可用来代替现有的有线宽带接入,因此它有时又称为无线本地环路。

在城市的一定地理范围内分成多个一系列相互邻接的覆盖区域称为单元。用户处于其中一个单元的覆盖范围中,用户可以是固定位置、便携式或移动的,当用户移动时,从一个单元到另一个单元,则从一个单元中去除关联,再无线关联到另一个单元。

IEEE 802.16 基站安装在高楼上广播无线信号,用户使用移动互联网装置(Mobile Internet Device, MID),具有 IEEE 802.16 功能的笔记本电脑或者 IEEE 802.16 调制解调器等用户端设备接收信号。

美国联邦通信委员会(FCC)规定无线局域网 IEEE 802.11 的发射功率在 1~100mW, IEEE 802.16 发射功率大约为 100kW, IEEE 802.11 发射功率只是 IEEE 802.16 的一百万分之一,因此使用比 IEEE 802.11 基站高一百万倍发射功率的 IEEE 802.16 基站,会比无线局域网 IEEE 802.11 终端传输距离大得多,可达几千米到十几千米,相互连成网络的多个基站则可覆盖几十千米。IEEE 802.16 传输速率高达 70Mb/s。作为一种无线城域网技术, IEEE 802.16 可以将 IEEE 802.11 热点连接到互联网,也可作为 DSL 有线接入方式的无线扩展或替代,实现最后一千米的宽带接入,还可实现在服务区内的漫游。IEEE 802.16 可为 50 千米区域内提供服务,用户无须线缆即可与基站建立宽带连接。

2. WMAN 的工作环境

WMAN 的工作环境包括 10~66GHz 频段视距(Line-of-Sight, LoS)环境, 2~11GHz 频段的非视距(NLOS)宽带固定接入系统。在 10~66GHz 频段,波长短,因而要求 LOS,忽略多径现象,典型信道带宽 25MHz 和 28MHz。当原始数据速率大于 120Mb/s 时, 10~66GHz 频段 LOS 环境非常适用于小型办公室/家庭式办公室、中型办公室、大型办公室的点对多点访问服务应用。