

MOORE
COMMUNICATIONS

现代通信理论与技术丛书

Wireless Local Area Networks(WLAN)
— Principles, Technique and Applications

无线局域网 (WLAN)

—— 原理、技术与应用

● 刘乃金 主编

西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

现代通信理论与技术丛书

无线局域网(WLAN) ——原理、技术与应用

刘乃安 主编

刘乃安 李晓辉
张联峰 王多华 何广法 编著

西安电子科技大学出版社

2004

内 容 简 介

本书主要阐述无线局域网(WLAN)的理论、技术与应用,并以 IEEE 802.11x WLAN 为重点。全书分为十二章。它们分别讲述:无线局域网的基本概念;无线局域网的信道及其特性;WLAN 物理层的原理与技术(射频技术、调制解调技术、信道差错控制技术、分集技术和天线技术);WLAN 物理层协议与性能;无线网络 MAC 协议原理;WLAN 的 MAC 层协议性能,逻辑链路控制机制与链路性能;无线 TCP 技术;WLAN 的服务质量 QoS 技术;WLAN 的安全技术;WLAN 的网络管理;WLAN 的设备(无线中继器、MODEM、网卡、AP、网桥、路由器、网关和 POE 设备);无线局域网的应用技术(无线园区网、在家庭网络中的应用、WISP、WLAN 与移动通信网的集成和 WLAN 的定位服务。)

本书可作为通信与计算机网络领域的研究开发人员、工程技术人员及大专院校有关专业的本科生和研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

无线局域网(WLAN)——原理、技术与应用/刘乃安主编.

—西安:西安电子科技大学出版社,2004.4

(现代通信理论与技术丛书)

ISBN 7-5606-1362-4

I. 无… II. 刘… III. 无线电通信—局部网络 IV. TN925

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 009265 号

策 划 臧延新 陈宇光

责任编辑 李纪澄 臧延新

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

<http://www.xduph.com>

E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.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 2004 年 4 月第 1 版 2004 年 4 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 37.25

字 数 882 千字

印 数 1~4 000 册

定 价 55.00 元

ISBN 7-5606-1362-4/TN·0260

XDUP 1633001-1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

20 世纪末,个人计算机(PC)因为 Internet 的兴起变成热门商品。由于信息技术的不断推陈出新,加上服务内容的日新月异,使得上网变成一种全球同步流行的活动。而能够摆脱网络线路的束缚,让信息能够实时地传递到使用者的手中成了当务之急。这意味着我们已经开始步入了所谓的“后 PC 时代”。

“后 PC 时代”的三大核心概念是:无所不在的计算(Ubiquitous Computing)、注意力经济(Attention Economy)和自由软件(Free Software)或叫开放源代码(Open Sources)。随着后 PC 时代的到来,移动计算(Mobile Computing)或游牧计算(Nomadic Computing)展现出了日益广阔的应用前景。为了实现无所不在的计算,移动计算成为现代计算机通信领域中一个引人注目的新课题。它将给信息产业带来一场深刻的变革,并在越来越多的领域中发挥不可替代的作用。移动计算就是利用计算机技术和电信技术为用户提供移动的计算环境和新的计算模式。其作用在于将有用、准确、及时的信息传递到传统的企业边界之外,使企业保证其数据可提供给在任何时间、任何地点需要它的雇员和用户。移动计算技术的应用非常广泛,可应用于军事、工业和民用等许多方面。

在后 PC 时代,通信领域最流行最关键的三个方面就是无处不在、随心所欲(Ubiquitous)、宽带(Broadband)和无线(Wireless)。另一方面,随着无线通信特别是移动通信的发展,办公室和家庭信息化的推广,以及互联网的普及,计算机和外设的不断增加,迫切需要构筑一种能够随时随地、随心所欲的宽带无线网络。无线局域网(WLAN)顺时应势,风生水起。它结合无线通信和互联网的优点,成为当今通信世界的一道亮丽的风景线。据 Dataquest 公司报道,2002 年大约 20%的笔记本电脑具有 WLAN 的功能,2004 年这一比例将提高到 31%,2007 年将进一步提高到 68%。WLAN 的普及,产品增多,价格下降,市场需求急速增长。据 In-Stat 市场调研公司报道,世界 WLAN 系统产品的销售额 2001 年为 17.7 亿美元;2002 年为 24 亿美元;预计 2003 年可达 35 亿美元;未来也将保持高速增长态势,年均增长率为 32%;到 2005 年,世界销售额将达 52 亿美元。Intel 公司的“迅驰”笔记本电脑等集成了 WLAN 网卡,微软的操作系统较早就已支持 WLAN 系统。此外,各大电信运营商也都争相推出无线 ISP 业务,使得 WLAN 的市场迅速膨胀。最近批准的 IEEE 802.11g 和 IEEE 802.15.3 标准及有关规范 IEEE 802.11n、IEEE 802.16 和 IEEE 802.20 将使 WLAN 市场如虎添翼。因此,我们有理由相信,WLAN 的明天会更好。

本书论述无线局部网络系统,主要阐述 WLAN 的理论、技术与应用,并以 IEEE 802.11x WLAN 为重点。全书分为十二章。第 1 章总述无线局域网;第 2 章分析 WLAN 的信道及其特性;第 3、4 章分别讨论 WLAN 的物理层的原理、技术、协议与性能;第 5、6 章分别论述 WLAN 的 MAC 层的原理、技术、协议与性能;第 7 章叙述无线 TCP 技术;第 8、9、10 章分别研究 WLAN 的服务质量(QoS)、安全、管理技术;第 11 章介绍了 WLAN 的设备原理与实现方法,第 12 章讨论 WLAN 的应用技术。

本书作者长期从事 WLAN 的研究与开发工作,曾分别于 1994 年和 2000 年成功研制

出了我国第一套 WLAN 样机和第一套 IEEE 802.11b WLAN 系列产品，组织制定了中国的无线局域网标准的征求意见稿。本书是作者及课题组长期研究工作的体会与结晶。本书得到了国家 863 计划的资助。

本书由刘乃安主编，并编写了第 1~7 章和第 11 章，李晓辉编写了第 8 章，张联峰编写了第 9 章，王多华编写了第 10 章，何广法编写了第 12 章。在本书的编写过程中，得到了西安电子科技大学通信工程学院和综合业务网国家重点实验室有关专家教授的关心与支持，也得到了西安电子科技大学出版社领导和编辑的支持与帮助。本课题组的范延伟、冯芸、赵柯、王秀梅等和其他研究生们也为本书的编写提供了许多帮助，在此一并向他们表示衷心的感谢。最后，还要感谢我们的家人在本书编写过程中给予的理解与支持。

由于水平有限，书中难免有错误和不妥之处，敬请读者来信(naliu@mail.xidian.edu.cn)批评指正。

编者

2004 年 3 月

于西安电子科技大学

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 无线局域网的基本概念	1
1.1.1 无线局域网的含义	1
1.1.2 无线局域网的特点	6
1.2 无线局域网的历史与发展	9
1.2.1 无线局域网的历史与标准化活动	9
1.2.2 无线局域网的发展趋势	12
1.3 无线局域网的组成原理	13
1.3.1 无线局域网的组成结构	13
1.3.2 无线局域网的拓扑结构	15
1.3.3 无线局域网的服务(Service)	18
1.4 无线局域网的协议体系	20
1.4.1 常用网络协议体系	20
1.4.2 无线局域网的协议体系	23
1.5 无线局域网的分类与应用	26
1.5.1 无线局域网的分类	26
1.5.2 无线局域网的应用	27
参考文献	28
第 2 章 无线局域网信道特性	29
2.1 概述	29
2.1.1 信道及其特性	29
2.1.2 无线信道及其特性	30
2.1.3 WLAN 信道及其特性	31
2.2 无线信道的特性与传播模型	32
2.2.1 电波传输机制	32
2.2.2 路径损耗	33
2.2.3 阴影衰落特性	36
2.2.4 多径信道特性	39
2.2.5 无线信道的路径损耗模型	49
2.2.6 无线信道特性与改善性能的技术	53
2.3 WLAN 信道特性	53
2.3.1 概述	53
2.3.2 WLAN 室内信道特性	54
2.3.3 WLAN 室外信道特性	66
2.3.4 红外无线局域网信道特性	71
2.4 WLAN 信道分组级模型	73
2.4.1 无线信道的符号级模型	74

2.4.2	瑞利衰落信道的 FSMC 模型	76
2.4.3	IEEE 802.11 WLAN 分组级信道模型	77
	参考文献	79
第 3 章	WLAN 物理层原理与技术	81
3.1	概述	81
3.2	WLAN 物理层体系结构	82
3.2.1	WLAN 物理层传输原理	82
3.2.2	WLAN 物理层层次结构	82
3.2.3	WLAN 物理层分类	83
3.3	WLAN 射频技术	84
3.3.1	物理信道及其划分	84
3.3.2	双工方式	88
3.3.3	收发信机结构	90
3.3.4	频率变换与自动控制	95
3.3.5	射频元器件技术	97
3.4	调制解调技术	98
3.4.1	WLAN 中的传输技术	98
3.4.2	基本数字调制解调方式	101
3.4.3	WLAN 中的其他调制解调方式	106
3.4.4	WLAN 中的调制解调技术	115
3.5	信道差错控制技术	117
3.5.1	差错编码技术	118
3.5.2	交织技术	121
3.5.3	均衡技术	122
3.6	分集技术	125
3.6.1	概念与分类	125
3.6.2	分集方法	126
3.6.3	分集合并方式	129
3.6.4	WLAN 中的分集技术	133
3.7	天线技术	136
3.7.1	基本天线	137
3.7.2	WLAN 用的特殊天线	138
3.7.3	分集天线	142
3.7.4	自适应天线或智能天线	146
	参考文献	152
第 4 章	WLAN 物理层协议与性能	153
4.1	基本型 IEEE 802.11 WLAN 物理层协议	153
4.1.1	物理层管理	153
4.1.2	物理层服务	156
4.1.3	2.4 GHz ISM 频段 FHSS 物理层协议	158
4.1.4	2.4 GHz ISM 频段 DSSS 物理层协议	169
4.1.5	红外线(IR)物理层规范	177
4.2	2.4 GHz 频段高速物理层扩展(IEEE 802.11b)协议	184

4.2.1	IEEE 802.11b PLCP 子层	185
4.2.2	IEEE 802.11b PLME	189
4.2.3	IEEE 802.11b PMD 子层	191
4.3	5 GHz 频段高速物理层扩展(IEEE 802.11a)协议	191
4.3.1	OFDM PHY 特定服务参数	191
4.3.2	OFDM PLCP 子层	192
4.3.3	PMD 子层	205
4.3.4	OFDM PLME	206
4.4	WLAN 物理层性能	208
4.4.1	通信距离与覆盖范围	208
4.4.2	频谱效率	213
4.4.3	误码率	214
4.4.4	延迟扩展的鲁棒性	219
4.4.5	干扰问题考虑	219
	参考文献	224
第 5 章 无线网络 MAC 协议原理		226
5.1	概述	226
5.1.1	多址通信与 MAC 协议	226
5.1.2	MAC 协议的分类	227
5.1.3	MAC 协议的指标与要求	228
5.2	无线媒体 MAC 协议	229
5.2.1	无线 MAC 协议概述	229
5.2.2	面向语音的固定分配类 MAC 协议	232
5.2.3	面向数据的随机竞争 MAC 协议	234
5.2.4	面向语音和数据的混合 MAC 协议	246
5.3	用于 WLAN 中的 MAC 协议	251
5.3.1	IEEE 802.11x 的 MAC 协议	252
5.3.2	HiperLAN2 的 MAC 协议	272
5.3.3	其他 WLAN MAC 协议	276
5.4	接入协议的发展趋势	282
	参考文献	282
第 6 章 WLAN 的逻辑链路控制与链路性能		284
6.1	WLAN MAC 协议性能	284
6.1.1	DCF 协议性能分析	284
6.1.2	PCF 协议性能分析	301
6.1.3	IEEE 802.11 MAC 协议的(不)公平性	305
6.1.4	HiperLAN 协议性能	308
6.2	LLC 及差错控制	309
6.2.1	IEEE 802.2 LLC 层协议	309
6.2.2	差错控制	311
6.3	WLAN 的链路性能	314
6.3.1	IEEE 802.11x WLAN 的链路性能	314
6.3.2	HiperLAN2 的链路性能	315

6.4 改善链路性能的措施	316
6.4.1 自适应帧长技术	316
6.4.2 自适应纠错编码	317
6.4.3 混合 FEC/ARQ	318
参考文献	320
第7章 无线 TCP 技术	322
7.1 TCP 传输机制	322
7.1.1 产生拥塞的原因	322
7.1.2 拥塞控制机制	323
7.2 TCP 在无线网络中的问题	326
7.2.1 影响 TCP 的无线环境因素	327
7.2.2 TCP 在无线网络中的问题	327
7.3 无线链路中的 TCP 技术	329
7.3.1 无线 TCP 技术概述	329
7.3.2 TCP 分段连接	331
7.3.3 Snoop TCP 协议	333
7.3.4 协议性能比较	334
7.3.5 可应用于 WLAN 的综合无线 TCP 方案	334
7.3.6 无线 TCP 中的交叉层问题	336
7.4 Ad Hoc 网络中的 TCP 技术	337
7.4.1 Ad Hoc 网络中 TCP 存在的问题	337
7.4.2 Ad Hoc 网络中的 TCP 技术	338
参考文献	341
第8章 WLAN 的服务质量	343
8.1 IP QoS 技术概述	343
8.1.1 IP QoS 体系结构	344
8.1.2 数据平面的 QoS 控制技术	345
8.1.3 管理平面的 QoS 技术	349
8.1.4 QoS 测量	352
8.2 IEEE 802.11x WLAN MAC 层 QoS 技术	354
8.2.1 IEEE 802.11e 的有关概念	356
8.2.2 IEEE 802.11e 基本描述	359
8.2.3 IEEE 802.11e 帧格式	360
8.2.4 IEEE 802.11e MAC 层的功能描述	366
8.2.5 IEEE 802.11e 的性能	375
8.3 其他无线局域网的 QoS 技术	377
8.3.1 Hiper LAN2 中的 QoS 技术	377
8.3.2 蓝牙(BT)系统中的 QoS 技术	377
8.4 端到端的 QoS	379
8.4.1 WLAN 网、RSVP 网和 DiffServ 网的结构模型	379
8.4.2 业务等级划分	380
8.4.3 BB 的资源调度方案	382
8.4.4 基于接入控制的 WLAN QoS	383

参考文献	385
第 9 章 无线局域网的安全	386
9.1 概述	386
9.1.1 无线局域网的安全	386
9.1.2 WLAN 面临的安全威胁与安全要求	387
9.2 WLAN 的安全技术	388
9.2.1 WLAN 的加密技术	388
9.2.2 WLAN 的认证技术	391
9.3 基于 IEEE 802.11 的 WLAN 安全机制	395
9.3.1 WLAN 的安全结构	395
9.3.2 WLAN 的几种安全机制	395
9.3.3 WLAN 安全协议原理	396
9.3.4 WLAN 安全协议存在的安全隐患	399
9.4 增强的 WLAN 安全协议	405
9.4.1 基于 TKIP 的加密技术	406
9.4.2 基于 AES 的加密技术	412
9.4.3 基于 IEEE 802.1x 的身份认证技术	420
9.5 WLAN 其他安全解决方案	439
9.5.1 动态密钥	439
9.5.2 双因素身份认证(Two-factor Authentication)	441
9.5.3 个人防火墙(Personal Firewall)	441
9.5.4 入侵检测系统(Intrusion Detection System)	441
9.5.5 智能卡(Smart Card)	442
9.5.6 虚拟专用网(Virtual Private Networks)	442
9.5.7 公钥基础设施(PKI)	444
9.5.8 基于生物特征识别(Biometrics)	445
9.5.9 WAPI 认证	445
9.6 WLAN 的用户与设备安全	446
9.6.1 微波效应	446
9.6.2 天线辐射与传播	446
9.6.3 功率密度与局部吸收率 SAR(Specific Absorption Rate)	447
9.6.4 WLAN 辐射对人体的影响	447
参考文献	448
第 10 章 WLAN 网络管理	451
10.1 WLAN 网络管理系统概述	451
10.1.1 WLAN 网管系统的主要内容	451
10.1.2 网络管理技术的发展趋势	454
10.1.3 WLAN 与 MIB 应用	455
10.2 WLAN 移动终端管理	464
10.2.1 联结、重新联结和解除联结	464
10.2.2 Cell 中的主机同步	465
10.3 WLAN 的移动性管理	465
10.3.1 WLAN 的越区切换(散步)管理	465

10.3.2	WLAN 中的 IAPP 协议	470
10.3.3	移动 IP(Mobile IP)协议	477
10.4	WLAN 中的位置管理	480
10.4.1	WLAN 中的位置管理	481
10.4.2	移动 IP 中的位置管理	487
10.4.3	移动主机的网络定位	488
10.5	基于 Web 方式的网络管理	488
10.5.1	基于 Web 技术的网络管理技术	489
10.5.2	基于 Web 方式的 WLAN 设备管理	492
	参考文献	496
第 11 章	WLAN 设备原理与实现	498
11.1	无线中继器	498
11.1.1	中继器概述	498
11.1.2	无线中继器	499
11.2	无线 Modem	501
11.2.1	Modem 简介	501
11.2.2	无线 Modem	502
11.3	无线网卡(Wireless LAN Adapter)	504
11.3.1	无线网卡的组成原理	505
11.3.2	几种无线网卡的实现方案	506
11.3.3	多模无线网卡	514
11.4	无线接入点(AP)	518
11.4.1	AP 的组成原理	518
11.4.2	AP 的设计与实现	520
11.5	无线网桥(Bridge)	530
11.5.1	无线网桥的功能与要求	530
11.5.2	无线网桥的组成原理	530
11.5.3	无线网桥的有关算法	532
11.5.4	无线网桥的工作模式	534
11.5.5	无线网桥的设计原则	536
11.6	无线路由器(Router)与无线网关(Gateway)	537
11.6.1	无线路由器	537
11.6.2	无线网关	540
11.7	POE 设备	543
11.7.1	POE 概述	543
11.7.2	POE 技术的实现	544
	参考文献	545
第 12 章	无线局域网的应用	547
12.1	无线园区网	547
12.1.1	无线园区网概述	547
12.1.2	典型校园无线园区网的组成	548
12.1.3	WLAN 在校园无线园区网的应用	548
12.2	WLAN 在家庭网络中的应用	549

12.2.1	家庭网络应用选择 WLAN	549
12.2.2	WLAN 家庭网络应用典型结构	550
12.3	无线 ISP(WISP)	553
12.3.1	WISP 概述	553
12.3.2	WISP 的发展趋势	557
12.3.3	移动运营商 WISP 接入网 WLAN 与 GPRS 技术的集成	562
12.3.4	移动运营商 WISP 接入网 WLAN 与 CDMA2000 1X 的集成	569
12.4	无线局域网的定位服务	575
12.4.1	基于 SNMP 的 WLAN 定位技术	575
12.4.2	基于 RF 系统的 WLAN 定位技术	578
12.4.3	联合群集的 WLAN 定位技术	578
12.4.4	应用与发展趋势	579
	参考文献	579

第 1 章 概 论

信息技术的飞速发展,使得人们对网络通信的需求也随之不断提高,希望打破不同的地域或客观条件的制约,能够“实现任何人(Whoever)在任何时候(Whenever)的任何地方(Wherever)与任何人(Whomever)进行任何方式(Whatever)的通信”的目标。作为个人通信的一个重要的组成部分,无线局域网已经掀起了移动计算的新浪潮,在现实及未来的社会生活中将得到广泛的应用。WLAN 的主要应用范围有:

- 在移动工作环境下,向移动计算机用户提供访问信息网络资源的服务;
- 应用于临时组网和难以布线的场合,如灾难恢复、短时间的商用系统和大型会议;
- 可作为有线局域网的无线延伸(补充),也可作为 LAN 的无线互连(替代)。

1.1 无线局域网的基本概念

1.1.1 无线局域网的含义

顾名思义,无线局域网(Wireless Local Area Networks, WLAN)就是在局部区域内以无线(No Wire or Wireless)媒体或介质(Medium)进行通信的无线网络。这是广义的概念,实际上,无线局域网有着丰富的内涵。

1. 无线局域网的传输媒质

无线局域网采用的传输媒体或介质分为射频(Radio Frequency, RF)无线电波(Radio Wave)和光波两类。射频无线电波主要使用无线电波和微波(Microwave),光波主要使用红外线(Infrared)。因此,无线局域网可分为基于无线电的无线局域网(RLAN)和基于红外线的无线局域网两大类。

电磁波的波谱如图 1-1 所示。其中,将微波波段又进一步分为 L、S、C、X、Ku、K、Ka 和 V 等波段,分别对应于频率 1~2 GHz、2~4 GHz、4~8 GHz、8~12 GHz、12~18 GHz、18~27 GHz、27~40 GHz 和 40~75 GHz。无线局域网使用的无线电波和微波频率由各个国家的无线电管理部门规定。不同的国家有不同的电波法规,但一般分为两种,即专用频段和自由使用频段。专用频段是需要经过批准(发执照或许可证)并需要交纳相关费用(有偿使用)的独自使用频段,也称为需要执照频段(Licensed Band)。而自由使用频段主要是指工业、科研和医疗所用的 ISM(Industrial, Scientific, Medical)频段或其他不需执照(或许可证)频段(Unlicensed Band)。ISM 频段虽然不需要执照,也不需要交纳使用费,但需要严格执行有关的电波法规,特别是在发射功率和频谱框架(如带外辐射等)方面。

各个国家规定用于无线局域网的专用频段和自由频段是不同的。美国联邦通信委员会 FCC 批准的专用频段主要有 17 GHz 和 61 GHz,而不需执照频段主要有 902~928 MHz 和 2.400~2.4835 GHz 的 ISM 频段,1.890~1.930 GHz 的个人通信系统(Personal Com-

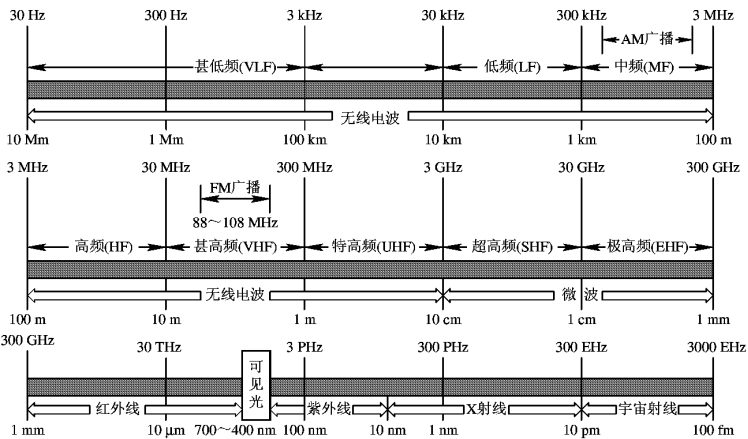


图 1-1 电磁波的波谱图

munication System, PCS)频段, 以及 5.15~5.25 GHz 的 U-NII(Unlicensed National Information Infrastructure)低频段、5.25~5.35 GHz 的 U-NII 中频段和 5.725~5.825 GHz 的 U-NII 高频段。

欧洲无线电委员会(ERC)和欧洲电信标准协会(ETSI)规定可用于无线局域网的不需执照频段有: 用于 DECT 的 1.880~1.900 GHz 频段, 用于无线局域网的 2.445~2.475 GHz 频段(ISM 频段)以及用于高速无线局域网(简称 HiperLAN)的 5.15~5.35 GHz 和 5.470~5.725 GHz 频段。需要执照的频段有 17.1~17.3 GHz、19 GHz、24 GHz 和 60.1 GHz。

日本邮政省颁布的 ISM 频段为 2.471~2.497 GHz, 专用频段有用于高速无线接入(HSWA)的 5.15~5.25 GHz 和 19.495~19.555 GHz 频段。

在中国, 可用于无线局域网的频段主要是 2.400~2.4835 GHz 和 5.725~5.850 GHz, 也可以用 336~344 MHz 等频段。

2. 无线局域网的覆盖范围

所谓局部区域就是距离受限的区域, 它是一个相对的概念, 是相对于广域(Wide Area)而言的。两者的区别主要在于数据传输的范围不同(但覆盖范围界限的区别并不十分明显), 由此而引起网络设计和实现方面的一些区别。介于广域网 WAN 和局域网 LAN 之间还有一种局部网络, 称为城域网(Metropolitan Area Network, MAN), 比局域网覆盖范围更小的局部网络称为个(人区)域网(Personal Area Network, PAN)。因此, 广义的无线局域网还包含无线城域网(WMAN)和无线个域网(WPAN)。换句话说, 无线网络可以粗略地分为无线广域网和无线局域网两种。

广域网是指全国范围内或全球范围内的网络, 通常信息速率不高。典型的无线广域网的例子就是 GSM 移动通信系统和卫星通信系统。城域网就是局限在一个城市范围内的网络, 覆盖半径在几千米到几十千米, 如本地多点分配系统(Local Multipoint Distribution Services, LMDS)、多信道多点分配系统(Multi-channel Multipoint Distribution System, MMDS)和 IEEE 802.16 无线城域网系统。WMAN 可以提供较高速的传输速率。无线广域网和无线城域网通常采用大蜂窝(Megacell)或宏蜂窝(Macrocell)结构。无线广域网大都可

以分成许多无线城域网子网。

WLAN 是一种能在几十米到几公里范围内支持较高数据速率(如 2 Mb/s 以上)的无线网络,可以采用微蜂窝(Microcell)、微微蜂窝(Picocell)结构,也可以采用非蜂窝(如 Ad Hoc)结构。目前无线局域网领域的两个典型标准是 IEEE 802.11 系列标准和 HiperLAN 系列标准。

IEEE 802.11 系列标准指由 IEEE 802.11 标准任务组提出的协议族,它们是 IEEE 802.11、IEEE 802.11a、IEEE 802.11b 和 IEEE 802.11g 等。IEEE 802.11 和 IEEE 802.11b 用于无线以太网(Wireless Ethernet),其工作频率大多在 2.4 GHz 上,传输速度为:IEEE 802.11 是 1 到 2 Mb/s;IEEE 802.11b 的速率为 5.5 到 11 Mb/s,并兼容 IEEE 802.11 速率。IEEE 802.11a 的工作频率在 5 到 6 GHz,它使用正交频分复用(Orthogonal Frequency Division Multiplex, OFDM)技术使传输速率可以达到 54 Mb/s。IEEE 802.11g 工作在 2.4 GHz 频率上,采用 CCK、OFDM、PBCC(分组二进制卷积码, Packet Binary Convolutional Code)调制,可提供 54 Mb/s 的速率并兼容 IEEE 802.11b 标准。

HiperLAN 是 ETSI 开发的标准,包括 HiperLAN1, HiperLAN2, 设计为用于户内无线骨干网的 HiperLink, 以及设计为用于固定户外应用访问有线基础设施的 HiperAccess 等四种标准。HiperLAN1 提供了一条实现高速无线局域网连接,减少无线技术复杂性的快捷途径,并采用了在 GSM 蜂窝网络和蜂窝数字分组数据网(CDPD)中广为人知并广泛使用的高斯最小移频键控(GMSK)调制技术。最引人注目的 HiperLAN2 具有与 IEEE 802.11a 几乎完全相同的物理层和无线 ATM 的媒体访问控制(MAC)层。

WPAN 是一种个人区域无线网,可以认为是 WLAN 的一个特例,其覆盖半径只有几米。其主要应用范围包括:语音通信网关、数据通信网关、信息电器互联与信息自动交换等。WPAN 通常采用微微蜂窝(Picocell)或毫微微蜂窝(Femtocell)结构。目前,实现 WPAN 的技术主要有蓝牙(BlueTooth, BT)、红外数据(IrDA)、家庭射频(Home RF)和超宽带(Ultra-WideBand, UWB)以及 Zigbee 等多种。

蓝牙(BlueTooth)技术是一种支持点到点、点到多点语音和数据业务的短距离无线通信技术。它由爱立信、诺基亚、英特尔、IBM 和东芝等公司提出与推广。从 1998 年以来,推出了 1.0A、1.0B 标准并将推出 2.0 标准。它极大地推动了 PAN(个域网)技术的发展,IEEE 专门成立了 IEEE 802.15 小组负责研究基于蓝牙的 PAN 技术。

蓝牙系统工作在 2.4 GHz 频段,采用以多级蝶形运算为核心的映射方案,跳频频率为 1600 跳/秒或 3200 跳/秒(网同步时用);典型的通信距离为 10 m,通过增加功率可以扩大到 100 m;支持数据(异步)和语音(同步)通信,传输速率最高为 1 Mb/s。

蓝牙是一种分层协议,由物理层、核心协议、射频通信协议、电话传送控制协议和应用协议等组成。其中,核心协议的基带可以提供面向连接(SCO, Synchronous Connection-Oriented)业务和无连接(ACL, Asynchronous Connection-Less)业务。SCO 用于分组数据业务,ACL 用于语音传送。蓝牙的安全性通过链路层和应用层来保证:在链路层,使用认证、加密和密钥管理等功能;在应用层,使用个人标识码(PIN, Personal Identity Node)认证用户。

蓝牙最基本的网络结构是微微网(Piconet),由主设备单元和从设备单元组成。主设备单元负责提供时钟同步信号和跳频序列,在一个微微网中,所有设备单元均采用同一

跳频序列。一个微微网中的从设备单元最多可以有 7 个。多个微微网之间互联成分散网(Scatternet),从而可方便、快速地实现各类设备之间的通信。

IrDA 技术是目前几种技术中市场份额最大的,已经安装了至少 5000 万个单元。它采用红外线作为通信媒介,支持各种速率的点到点的语音和数据业务,主要应用在嵌入式的系统和设备中。

HomeRF 由 HomeRF 任务组(由微软、英特尔、惠普、摩托罗拉和康柏等公司组成)开发,是在家庭区域内,在 PC 和用户电子设备之间实现无线数字通信的开放式工业标准。它工作在 2.4 GHz 频段,支持数据和语音,语音通信采用 DECT 标准,数据通信采用 TCP/IP 协议;采用跳频方式,每秒跳频 50 次,最大功率 100 mW,有效范围约 50 m,传输速率为 1 Mb/s 或 2 Mb/s,分别采用 2FSK(Frequency Shift Keying)或 4FSK 调制;数据安全性由 Blowfish 加密算法来保证。

HomeRF 任务组于 1998 年制定了共享无线访问协议 SWAP(Shared Wireless Access Protocol)。SWAP 协议在 20 ms 内可以支持以上两种类型的传输。当一个设备稳定在一个频率上后,便开始侦听从控制节点发出的信令信号。同步之后,无线接入设备将语音传输和数据传输在时间上分开。在每一帧的中间部分进行数据传输时,数据的收发采用 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)协议;在帧的后半部分,利用 TDMA(Time Division Multiple Access)协议来处理语音传输。

UWB 是一种新技术。其概念类似于雷达,在很宽的频段内传送短脉冲,将信息调制到脉冲的时间和频率上。UWB 的高性能和低功耗的优点使得它将成为未来市场上强有力的竞争者之一。

3. 无线接入网(Access Network)

无线接入技术是指接入网的某一部分或全部使用无线传输媒介,向用户提供与有线接入网相同的业务种类和更广泛的服务范围。它可以分为固定无线接入和移动无线接入两大类。移动无线接入又分为基于蜂窝的接入、基于卫星的接入和基于局域网的接入等种类。

(1) 固定式无线接入(Fixed Wireless Access, FWA)。固定式无线接入的代表是无线本地环路(Wireless Local Loop, WLL)、本地多点分配系统和多信道多点分配系统。

无线本地环路利用无线技术为固定用户或区域移动用户(无需越区切换)提供电信业务。WLL 系统到本地交换机接口可采用 V5.2 接口,空中接口可采用数字蜂窝的标准如 CDMA(Code Division Multiple Access)、GSM(Global System For Mobile Telecommunication)、DCS1800(Digital Communication System at 1800 MHz)、NAMPS(Narrowband Advanced Mobile Phone Service)、AMPS 等,也可以采用低功率系统的标准如 DECT (Digital European Cordless Telephone)、PHS (Personal Hand phone System)、CT-2(Cordless Telephone Second Generation)、PACS(Personal Access Communications Services)等。现有的系统有 Motorola 的 CDMA WILL™和 TeleDensity™、DIVA 公司的 DIVA-2000、Qualcomm 公司的 QCTel™等。

LMDS 以无线方式解决从骨干网、本地交换机到用户的接入问题。它工作在 24~39 GHz 频段,带宽可达 1 GHz 以上,采用类似蜂窝的结构,划分若干个服务区域,每个服务区内设立基站,覆盖范围为几公里到十几公里。LMDS 利用高容量点对多点微波传输,能实现从 $N \times 64$ kb/s 到 2 Mb/s、甚至高达 155 Mb/s 的接入速率;可在较近的距

离实现双向传输语音、数据图像、视频、会议电视等宽带业务，并支持 ATM、TCP/IP 和 MPEG 2 等标准。

LMDS 由基站、客户端和网络管理系统组成。基站系统采用扇区覆盖，根据天线的不同，可划分为 15° 、 22.5° 、 30° 、 45° 、 60° 、 90° 等扇区，下行链路采用 TDMA 模式，调制方式可选 QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)、16QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 和 64QAM。客户端收发信机定向性极高，调制解调和室内有线界面功能由网络接口单元担当。网络管理系统负责管理有线、无线网络组件及网络所提供的业务。理想的网络管理系统能够提供端对端管理。

MMDS 是一种点对多点分布、提供宽带业务的无线技术，可透明传输业务，基站与网络的接口为 T1/E1、100Base-T 和 OC-3 等，用户端的接口为 E1 和 10Base-T 等，可以提供 Internet 接入、本地用户的数据交换、语音业务和 VoD (Video on Demand) 视频点播业务。与 LMDS 相比，MMDS 适用于用户相对分散、容量较小的地区。

(2) 移动无线接入。基于蜂窝的无线接入技术的典型代表有 CDPD、GPRS 和 EDGE 等。

CDPD 由英国 BT Cellnet 公司提出，1992 年开始研究，1995 年在美国推出第一个商用系统。它以数字分组技术为基础，支持高速移动 (移动速度可达 100 km/h) 中的通信，数据传输速率可达 19.2 kb/s 。在安全性方面，CDPD 在授权用户登录上配置了多种功能，如设定允许用户登录范围，统计使用者登录次数；对某个安全区域、某个安全用户特别定义，进一步提高特别用户的安全性；采用 40 位密钥的加密算法，正反信道各不相同，自动核对旧密钥更换新密钥。基于 TCP/IP，移动终端直接使用 IP 地址，可以很方便地接入 Internet；应用软件开发简便。CDPD 还支持用户越区切换和全网漫游、广播和群呼，可与公用有线数据网络互联互通。

GPRS (General Packet Radio Services) 是通向 3G 的一个重要的过渡技术。与 GSM 不同，GPRS 采用分组交换，提供 Internet 接入；数据速率可变，从几 b/s 到 171 kb/s ，支持多媒体业务；采用分组交换技术优化无线资源共享，优化网络资源共享；根据用户需要动态地分配无线资源，实现多用户共享，提高频谱利用率；用户一直在线，按照流量计费。GPRS 在调制标准、频带、突发结构、跳频规则和 TDMA 帧结构方面与 GSM 相同，因此利用现有的基站子系统 (BSS, Base Station Subsystem) 就能提供全面的 GPRS 覆盖。在 GSM 基础上，GPRS 引入了以下新功能：服务 GPRS 支持节点 SGSN (Serving GPRS Support Node)，关口 GPRS 支持节点 GGSN (Gateway GPRS Supporting Node) 和点到多点服务中心 PTM-SC (Point To Multipoint Service Center)。

EDGE (Enhanced Data Rate for GSM Evolution)，即增强数据速率 GSM 演进技术，有效地提高了 GPRS 信道编码效率，由 Ericsson 公司于 1997 年提交给 ETSI (European Telecommunication Standards Institute)。空中接口采用新的调制方式，为每个无线信道提供高达 48 kb/s 的传输速率，应用 8 个信道，一个收发信机就能支持 384 kb/s 的传输速率。它也可以应用于电路交换，在“增强型电路交换数据模式”中，每个无线信道的传输速率为 28.8 kb/s 。EDGE 能提供三组业务：EGPRS 业务：最大速率 $\geq 48 \text{ kb/s/BP}$ ；T-ECSD 业务 (透明增强型电路交换业务)：最高速率 $\geq 32 \text{ kb/s/BP}$ ；NT-ECSD (非透明增强型电路交换业务)：最高速率 $\geq 28.8 \text{ kb/s}$ 。现有的 BSS 能提供 EDGE 服务。