

802.16

宽带无线城域网技术

张金文 等编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

802.16 宽带无线城域网技术

张金文 等编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书系统地介绍了 802.16 宽带无线城域网的协议体系、系统结构及各层的设计特点。着重阐述了 802.16 系统的 MAC 层设计,包括 MAC 层采用的链路自适应技术和 QoS 机制,并简要介绍了 802.16 新协议对移动性的支持。本书分为 9 章:第 1 章介绍了宽带无线接入系统的发展历史和现状;第 2 章概述了 802.16 协议体系以及 802.16 系统的结构与特点;第 3~4 章对 802.16 所采用的核心物理层技术——OFDM 技术和 802.16 系统的物理层设计进行了详细介绍;第 5~8 章详细介绍了 802.16 系统的 MAC 层设计,以及 MAC 层采用的链路自适应技术、QoS 分组调度算法和 QoS 机制;第 9 章对支持移动性的 802.16e 协议作了简要的介绍。

本书适用于从事宽带无线接入系统研究和开发的技术人员,也可以作为高等院校通信与信息专业师生的参考书。

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

802.16 宽带无线城域网技术/张金文等编著. —北京:电子工业出版社, 2006.4

ISBN 7-121-02104-8

I. 8… II. 张… III. 无线电通信—宽带通信系统—综合业务通信网 IV. TN915.142

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 144764 号

责任编辑:雷洪勤

印 刷:北京市顺义兴华印刷厂

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

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:16 字数:406 千字

印 次:2006 年 4 月第 1 次印刷

印 数:5 000 册 定价:26.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010) 68279077。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。

前 言

从 20 世纪 80 年代开始, 宽带无线接入 (BWA) 技术迅速发展, 包括 802.11 无线局域网, 本地多点分配业务 (LMDS)、多路微波分配系统 (MMDS) 在内的多种宽带无线接入技术获得了较为广泛的应用。但是, 无线局域网 802.11 技术在总体设计上并不能很好地用于室外的宽带接入应用。当其用于室外时, 在带宽和用户数方面受到很大的限制, 同时还存在着通信距离等一些其他问题。而其他的宽带无线接入系统由于没有全球性的统一标准, 相关市场一直没有繁荣扩大。基于这种情况, 国际电气和电子工程师协会 (IEEE) 成立了 802.16 工作组, 开始研究制定一个解决“最后一公里”宽带无线城域网 (WMAN) 接入问题的全球统一标准, 即 IEEE 802.16 标准, 又称为 IEEE WirelessMAN 空中接口标准。与此同时, 为了促进标准的发展完善和市场推广, 由世界知名通信企业联合发起了 WiMAX (World interoperability for microwave access) 论坛, 在全球范围内推广 802.16 协议。

IEEE 802.16 标准适用于 2~66 GHz 频段的宽带无线接入, 它所规定的无线接入系统覆盖范围可达 50km, 主要应用于城域网。符合 802.16 标准的设备可以在“最后一公里”宽带接入领域替代 Cable Modem、DSL 和 T1/E1, 也可以为 802.11 热点提供回传。在用户终端和基站之间允许非视距 (NLOS) 的宽带连接。一个基站可支持数百甚至上千个用户。802.16 的物理层核心技术采用 OFDM 技术, 并支持灵活的带宽和双工技术。802.16 的 MAC 层基于连接, 能够接收来自不同上层协议 (如 ATM, IP) 的数据, 并能够根据不同连接上传输的业务类型提供不同的 QoS 支持。其 MAC 层的设计由于引入了链路自适应技术, 还能适应恶劣的物理层环境, 即抵抗在室外工作时受到的干扰、快衰、雨衰以及其他影响。

802.16 标准起初只用于固定宽带无线接入系统。但是, 随着市场对移动性需求的增长, 802.16 工作组又推出了支持移动性宽带无线接入的新标准——IEEE 802.16e。而移动性的加入将使得 802.16 系列标准拥有更大的技术优势。

作者根据目前宽带无线接入技术的发展, 参考最新的协议和国内外的相关文献资料, 编写了这本专门介绍 802.16 无线城域网技术的书籍, 希望本书的出版能够对于国内读者理解 802.16 协议有所帮助。

本书的章节内容编排如下:

第 1 章介绍了宽带无线接入系统的发展历史和现状。

第 2 章概述了 802.16 协议体系以及 802.16 系统的结构与特点。

第 3 章对 802.16 所采用的核心物理层技术——OFDM 技术进行了详细介绍。

第 4 章详细介绍了 802.16 系统的物理层的设计。

第 5~8 章阐述了 802.16 系统的 MAC 层设计, 以及 MAC 层的链路自适应技术, QoS 分组调度算法以及 802.6 的 QoS 机制, 并介绍了目前在这一领域内相关的研究成果。

第 9 章对支持移动性的 802.16e 协议作了简要的介绍。

全书的规划和统稿由张金文负责, 主要内容由刘琛、王鑫娜参与编写。其中第 1 章和第 7 章由王鑫娜编写, 第 3, 4, 5, 6, 8, 9 章由刘琛编写, 第 2 章由两人共同编写。在本书的编写过程中, 得到了陆燕、余涛、张姣、曾超君等人多方面的支持和建议, 他们在材

料搜集整理、全书内容构架方面给予了很多帮助，并且提出大量有建设性的建议。此外还要感谢上海无线通信研究中心的张小东博士以及他所领导的开发小组，和他们的每一次讨论都能够让我们对 802.16 中的诸多问题有更进一步的思考，也使得本书在内容上更加充实。最后还要感谢我的导师王文博教授，没有他的言传身教，也就没有这本书的最终出版。

802.16 标准目前尚在制定和完善之中，许多问题还有待进一步研究和解决，本书的出版主要起一个抛砖引玉的作用。由于作者的水平有限，书中难免会有错误之处，敬请读者批评指正。

张金文

2006 年 3 月于北京邮电大学

目 录

第 1 章 宽带无线接入系统概述	(1)
1.1 无线通信系统的演进	(1)
1.2 固定无线网络类型	(2)
1.2.1 点到点网络	(2)
1.2.2 连续点和网格网络	(3)
1.2.3 点到多点的网络	(4)
1.3 宽带无线接入系统简介	(5)
1.3.1 无线局域网	(5)
1.3.2 本地多点分配业务 (LMDS)	(10)
1.3.3 多路微波分配系统 (MMDS)	(17)
参考文献	(20)
第 2 章 802.16 协议体系及 WiMAX 技术概述	(21)
2.1 宽带无线接入行业的标准化历程	(21)
2.2 IEEE 802.16 协议体系	(22)
2.2.1 概述	(22)
2.2.2 标准化进程	(24)
2.3 IEEE 802.16d 协议及系统概述	(27)
2.3.1 系统结构及协议栈模型	(27)
2.3.2 802.16d 物理层特点	(28)
2.3.3 802.16d MAC 层特点	(29)
2.4 IEEE 802.16e 的特点	(30)
2.5 WiMAX 技术与 Wi-Fi 技术的比较	(31)
2.6 WiMAX 技术与 3G 技术的比较	(32)
2.7 WiMAX 技术特点小结	(34)
2.8 WiMAX 论坛	(35)
2.8.1 成立目的	(35)
2.8.2 主要职能	(35)
2.8.3 WiMAX 论坛的好处	(36)
2.9 结束语和前景展望	(36)
参考文献	(37)
第 3 章 OFDM 技术简介	(39)
3.1 OFDM 技术的历史与现状	(39)
3.2 无线衰落信道	(39)
3.2.1 多径衰落	(40)
3.2.2 无线信道的时变性与多普勒频移	(42)

3.3	OFDM 系统基本描述	(43)
3.4	OFDM 系统的基本模型	(43)
3.5	快速傅里叶变换 (FFT) 在 OFDM 系统中的应用	(45)
3.6	保护间隔与循环前缀	(46)
3.7	OFDM 关键参数的选择	(48)
3.8	OFDM 系统的主要优缺点	(49)
3.9	OFDM 系统中的关键技术问题	(50)
3.9.1	峰值平均功率比的抑制	(50)
3.9.2	同步	(50)
3.9.3	信道估计	(51)
3.10	OFDM 系统中的多址方式	(51)
3.10.1	多载波 CDMA	(51)
3.10.2	OFDMA	(57)
	参考文献	(59)
第 4 章	802.16 的物理层	(60)
4.1	WirelessMAN-SC	(60)
4.1.1	帧结构	(60)
4.1.2	物理媒体子层	(64)
4.2	WirelessMAN-SCa	(68)
4.2.1	帧结构	(68)
4.2.2	发送处理过程	(71)
4.3	WirelessMAN-OFDM	(74)
4.3.1	OFDM 符号描述	(74)
4.3.2	信道编码	(76)
4.3.3	帧结构	(79)
4.4	WirelessMAN-OFDMA	(82)
4.4.1	OFDMA 符号描述	(82)
4.4.2	OFDMA 基本术语定义	(83)
4.4.3	帧结构	(85)
4.4.4	OFDMA 的子载波分配	(86)
4.4.5	信道编码	(89)
4.5	信道模型	(90)
4.5.1	视距信道模型	(91)
4.5.2	非视距传播模型	(91)
	参考文献	(99)
第 5 章	802.16 的 MAC 层	(101)
5.1	概述	(101)
5.2	特定服务汇聚子层 (CS)	(102)
5.2.1	ATM 汇聚子层 (ATM CS)	(102)

5.2.2 分组汇聚子层 (Packet CS)	(103)
5.3 公共部分子层 (CPS)	(104)
5.3.1 MAC PDU 的格式与传送	(105)
5.3.2 MAC 层对物理层的支持	(108)
5.3.3 网络接入过程	(117)
5.3.4 带宽请求与分配	(119)
5.3.5 动态服务流管理	(122)
5.4 安全子层	(127)
5.4.1 安全联系 (SA)	(127)
5.4.2 加密方法	(127)
参考文献	(128)
第 6 章 MAC 层的链路自适应机制	(129)
6.1 概述	(129)
6.2 802.16 系统的无线链路控制 (RLC)	(131)
6.2.1 802.16 中的无线链路控制机制	(131)
6.2.2 链路自适应算法的设计	(134)
6.3 802.16 系统的 ARQ 机制	(146)
6.3.1 ARQ 块的使用	(146)
6.3.2 ARQ 参数	(147)
6.3.3 ARQ 操作流程	(148)
6.4 802.16 系统的 H-ARQ 机制	(150)
参考文献	(151)
第 7 章 无线 QoS 架构及分组调度算法简介	(152)
7.1 QoS 的概念及应用	(152)
7.2 QoS 架构	(153)
7.2.1 综合服务	(153)
7.2.2 区分服务	(154)
7.2.3 多协议标签交换	(154)
7.3 QoS 调度算法	(155)
7.3.1 分组调度算法概述	(155)
7.3.2 有线环境下的 QoS 分组调度算法	(157)
7.3.3 无线环境下的 QoS 分组调度算法	(160)
7.4 无线通信系统的 QoS 架构	(176)
7.4.1 UMTS 网络的 QoS 架构	(177)
7.4.2 WLAN 系统的 QoS 架构	(181)
参考文献	(185)
第 8 章 802.16 系统的 QoS 机制	(188)
8.1 802.16 系统的 QoS 架构	(188)
8.1.1 服务类别的定义	(188)
8.1.2 QoS 框架和交互机制	(189)

8.1.3 服务提供及自动配置	(190)
8.2 802.16 系统的 QoS 调度算法研究实例	(192)
8.2.1 改进的 QoS 架构	(192)
8.2.2 上行分组调度	(194)
8.2.3 接纳控制	(199)
8.2.4 仿真结果	(201)
8.2.5 总结	(202)
参考文献	(202)
第 9 章 802.16 系统的移动性	(204)
9.1 支持移动通信的网络模型	(204)
9.2 MS 的睡眠模式	(206)
9.2.1 睡眠模式介绍	(206)
9.2.2 功率节省类	(207)
9.3 网络拓扑结构的获取	(209)
9.3.1 网络拓扑结构的广播	(209)
9.3.2 MS 的扫描过程	(209)
9.3.3 MS 的联合过程	(211)
9.4 切换过程	(212)
9.4.1 小区重选择	(212)
9.4.2 切换判决和开始	(213)
9.4.3 目标 BS 扫描	(214)
9.4.4 网络重新进入	(214)
9.4.5 终止服务	(215)
9.4.6 切换过程小结	(215)
9.5 软切换 (SHO) 和快速基站转换 (FBSS)	(216)
9.6 MS 的闲置模式	(218)
9.6.1 MS 闲置模式开始	(219)
9.6.2 小区选择	(219)
9.6.3 MS 广播寻呼消息时间同步	(219)
9.6.4 MS 寻呼无效间隔	(220)
9.6.5 MS 寻呼聆听间隔	(220)
9.6.6 BS 寻呼间隔	(220)
9.6.7 BS 广播寻呼消息	(220)
9.6.8 寻呼有效模式终止	(221)
参考文献	(221)
附录 A 缩略语表	(222)
附录 B COST 231 WALFISCH-IKEGAMI 模型	(227)
附录 C 802.16d 中的主要管理消息格式	(229)
附录 D 802.16e 中的主要管理消息格式	(232)

第 1 章 宽带无线接入系统概述

1.1 无线通信系统的演进

随着各种新型通信服务的涌现以及人们对无线通信需求的与日俱增,无线频谱空间的扩展逐渐向高频段发展。一些工作在甚高频(VHF: 30~300MHz)、超高频(UHF: 300~3000MHz),极高频(SHF: 3~30GHz)频带的新型服务也不断出现。电波在高频带和低频带下的传播机制不同。在低频段和中波频段,电磁波沿着地球和大气的边界传播,也就是通常所说的地波传播。在甚高频以及更高的频率,发射机发出的电磁波中存在地波,但由于衰减的速度很快,有用距离上的通信基本是不可能的。在这些频段上的通信主要是靠空间波,或者说是大气波。设计一个成功可靠的通信系统的难点就是,如何精确的模拟这种空间波的传播和它对系统性能的影响。从 20 世纪以来,通信系统就被设计成能满足各种商业和军事用途。第一次世界大战中,无线通信的应用领域广泛增长。19 世纪 20 年代,第一个工作在授权中波段,使用幅度调制(AM)的广播基站 KDKA 在美国宾夕法尼亚的匹兹堡市东部建立,从此无线通信开始应用于公众通信系统。同时,基于陆地的移动通信系统也开始在警察和消防紧急派遣人员中使用。

商业无线系统的增长是迅速的。VHF 频段(88~108MHz)的调频广播逐渐成为中波调幅广播的补充。二战后,电视首次以演示的形式出现在 1936 年纽约世界展览会上,并从此开始了广泛的商业应用。20 世纪 50 年代末,卫星通信也随着俄罗斯和美国第一颗卫星的发射而发展起来。后来又配置了很多地球同步轨道卫星来为世界范围的语音、视频、数据无线通信服务担当中继。

现在最普及的无线通信系统就是蜂窝电话系统,2002 年估计用户数是十亿人。蜂窝电话的概念是 20 世纪 60 年代末由美国贝尔实验室提出的,20 世纪 70 年代末 80 年代初第一个蜂窝系统开始使用。而能够同时支持语音和数据业务的第三代移动通信系统已经在多个国家投入了商业运营。

随着技术的不断发展和用户需求的增加,“最后一公里”的接入网技术从有线向无线发展,并逐渐由窄带接入向宽带接入发展。宽带无线接入技术可以分为移动无线接入和固定无线接入。移动无线接入就如上面所说的移动电话接入等,用户是可移动的;而固定无线接入正好相反,用户基本是固定不动的。

固定无线接入系统最初是为了给两个固定点的终端提供通信而设计的,通常是用于那种高可靠性和高保密性的通信。这样的系统一般被归为“点到点”的系统。随着近些年来技术的提高,更高的频段被成功的用于固定无线通信。而简单的遥感探测系统,比如像监控电能和水的分式布系统,仍旧工作在 150MHz 和 450MHz 的频带。早期的无线广播系统也属于固定无线系统,一端使用一个或多个大的发射塔作为发射站,另一端就是位于收听者家中的接收机。这样的系统可以认为是点到多点(PMP)的系统。同样,我们今天的电

视也是一个点到多点的系统，按照通常的要求是有一个固定的发射站和固定的接收端。电视也可以看做是宽带系统。在美国，电视使用 6MHz 的带宽（世界其他国家是 8MHz），可以支持 20Mbps 或更高的数据传输速率。

20 世纪 30、40 年代，随着磁电管、速调管以及 TWT 管的发明和使用，人们开始对 UHF 和 SHF 频段中的更高频率开始了实际的使用，也就是微波频段。电话工程师们利用了远距离通信中的一个事实，那就是点到点的微波链路能够提供比同轴电缆更低的信号损耗和更高的通信质量。尽管地埋管的同轴电缆在长距离传输中广泛应用，但是实践证明固定微波链路有着更低廉和易铺设的优势。

1951 年，AT&T 完成了第一个横跨纽约和旧金山的微波系统的搭建，共由 107 段组成，每段平均长度约 48km。这个系统中所使用的 TD-2 设备是由 Western Electric 公司制造的多信道无线设备，载波频率在 4GHz 左右。多跳的微波系统很快就把整个国家的长距离电话网连接建立起来了，并且在许多年中都作为长距离电话语音和视频通信的主要技术。更高的频率意味着更大的信号带宽成为可能，微波链路可以轻松提供多达 1800 个 3kHz 的语音信道和 6MHz 的视频信道。

从整体协调的角度考虑，联邦通信委员会（FCC）建立了一系列频带和许可程序，主要针对普通的运营商在 2GHz、4GHz 和 11GHz 频率上建立固定宽带无线系统的操作。对于诸如私人工业无线系统、广播台的传输链路、公用设施以及运输公司等一些服务，也为它们分配了其他的微波频带。

今天，由于光纤能以更低的代价提供更高的通信流量，它已经大量取代了这种长距离多跳的微波线路。虽然卫星通信也占有一席之地，但是在双向的语音与视频通信中，光纤仍然是首选的路由，这是因为它不会受到大约 1/4 的回程时间延迟的影响。而当使用位于地球赤道上空 35700km 的地球同步轨道卫星作为中继时，则会产生这种延迟。

目前，随着对更高频率应用的成功研究，运用一般的电子技术就可以使频率达到固定宽带无线系统所工作的 42GHz 的频率范围内。但是，从我们前面对无线通信系统演进的讨论可以看出，伴随新的半导体和其他微波技术的发展，能够从商业的角度制造和配备的无线系统硬件的频率范围在继续扩大。目前对频率研究的主题是一直扩展到 350GHz，而且在一定程度上，正在为数不多的一些军事和商业领域中使用。

1.2 固定无线网络的类型

1.2.1 点到点网络

点到点（PTP）网络包含一条或多条固定的点到点链路，通常都配置有高方向性的发射天线和接收天线，如图 1-1 所示。由这种端到端连接的链路所组成的网络可以跨越很长的距离，如 1951 年 AT&T 的 4GHz 链路网络就穿越了美国。这种端到端连接的链路通常都被看成是一前一后的系统，对整个网络中这种端到端链路的可靠性和可用性分析，一定要和对单个链路可用性的计算分开。

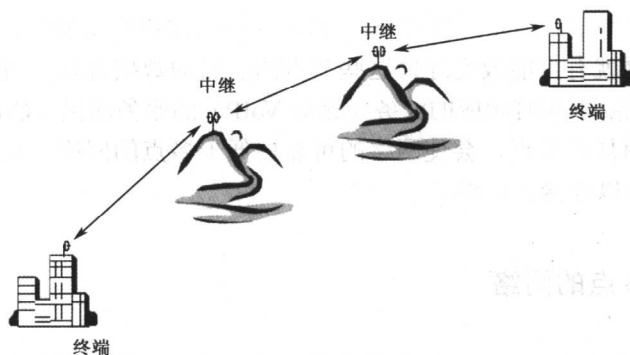


图 1-1 点到点的网络结构

1.2.2 连续点和网格网络

连续点网络（CPN）和点到点网络（PTP）在一点上是相同的，那就是都包含一系列端到端连接在一起的链路。但是，如图 1-2 所示，CPN 通常是配置成环状的，通过环上的一点连接到更大范围的光纤网络上。数据可以在环上双向传输。这种环形系统最大的好处就在于，如果环上的某一个点发生了故障而导致通信被中断的话，系统会自动切换路由到环的另外一个方向上。其缺点就是不管用户是发送的还是接收的数据都必须分享相同的无线链路及信道。在计算链路的数量时必须要考虑 CPN 的容量和环上的用户数量（以及它们的数据速率要求），因为这是一个重要的限制条件。

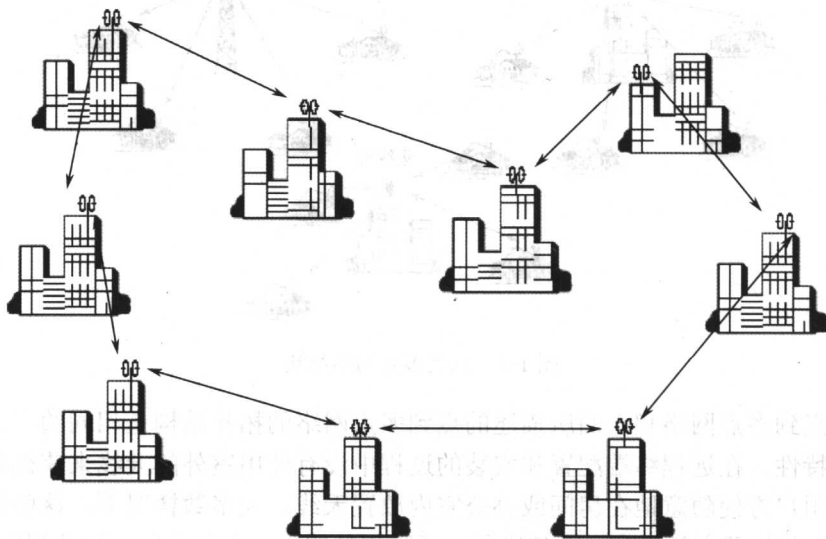


图 1-2 连续点网络结构

格状网络是 CPN 的一个变形，通常由很多连成环和分支结构的链路组成。格状网络主要的好处就是为那些已经连接的但是可能无法直接接入到网络的用户提供替换的路径，从

而提高了潜在用户的数量。但是，与 CPN 一样，对于特定用户的通信，有时候必须通过一些其他节点选路，这就有可能改变连接这些节点的链路的数据容量，可能会引入数据传送时延，从而影响那些要求实时响应的业务（比如 VoIP）的服务质量（QoS）。在这种端到端的连接中引入一些附加的节点，会使网络的可靠性低于多点的网络。在多点的网络中只需要一条无线链路就可以连接到网络了。

1.2.3 点到多点的网络

如图1-3所示，点到多点（PMP）网络使用一个“集线器和辐射状信道”的结构来传送数据。集线器的作用等同于蜂窝网络中的基站控制器。它设计使用一个或者多个宽波束的天线来向多个终端用户发射信号。根据所使用的频带以及用户要求提供的数据速率，要想向一个城市提供普遍范围的服务，通常需要几个集线器来完成。远处的终端用户应该在集线器上方向性天线的视距（LOS）点上。在有些情况下，会为了确定每个终端的位置而耗费大量的工作。

总而言之，点到多点的网络结构是固定宽带无线网络中使用最广泛的结构。几十年来，它成功地模拟了各种网络的拓扑机构，比如有线电话网、电缆电视网，甚至电、气和水的各种设施。对于无线通信系统来说，最大的障碍是配置能够为大部分服务提供广泛视距能力的集线器的费用。



图 1-3 点到多点网络结构

非视距点到多点网络和上面所描述的点到多点网络的拓扑结构是相同的。其差别在于远程终端的特性。在远程终端配置和安装的过程中没有使用室外的天线来获得良好性能，而是考虑让用户方便随意地在房间或办公室内放置天线。大多数情况下，这些终端所放置的位置和网络集线器之间没有一个清晰的、无障碍的路径，也就是所说的非视距（NLOS）。信号在从集线器到非视距位置的无线路径中经历了衰减和幅度的变化，这对于那些致力于为每个终端提供可靠的高速数据服务的系统设计者而言是一个新的挑战。这个工程问题与为移动电话提供服务时所遇到的问题是相同的。但是，固定无线工程师可以使用一些在蜂窝系统中还不是很实际的终端和网络方面的先进技术来解决这个问题。

1.3 宽带无线接入系统简介

目前应用较广泛的宽带无线接入系统包括无线局域网（WLAN）、本地多点分配业务（LMDS），和多路微波分配系统（MMDS）。这些系统都是典型的宽带无线接入系统，通过了解这些系统的特点，能够对宽带无线接入系统有更具体的认识。

1.3.1 无线局域网

1.3.1.1 概述

无线局域网（WLAN）技术起源于 20 世纪 80 年代中期，是由于美国联邦通信委员会（FCC）授权对工业、科研和医学（ISM）频段的公共应用而产生的。WLAN 是利用无线通信技术在一定范围内建立的网路，它利用电磁波在空气中发送和接收数据，是计算机网络与无线通信技术相结合的产物。WLAN 的数据传输速率现在已经能够达到 11Mbps，如果使用正交频分复用（OFDM）技术，最高速率可以达到 54Mbps。它以无线多址信道作为传输媒介，提供传统有线局域网（Local Area Network, LAN）的功能。

与有线网络相比，无线局域网技术能很好地解决用户在有线网络接入过程中需要复杂连线 and 无法随意移动的问题，不仅可以帮助用户以较低的费用将其电脑和外设连成网络，而且为运营商节省了时间和金钱。除此之外，无线局域网系统还具有安装便捷、经济节约、易于扩展等优点。作为对有线联网方式的一种重要补充和扩展，无线局域网正在宽带无线接入领域发挥越来越大的作用。

1.3.1.2 WLAN 的拓扑结构

WLAN 有两种主要的拓扑结构，即自组织网络（也就是对等网络，即人们常说的 Ad-Hoc 网络）和基础结构网络（Infrastructure Network）。

1. 自组织型网络

自组织 WLAN 是一种对等模型的网络，也称为分布式的拓扑结构。自组织网络是由一组具备无线接口卡的无线终端，特别是移动电脑组成的。这些无线终端以相同的工作组名、扩展服务集标识号（ESSID）和密码等对等的方式相互直连，在 WLAN 的覆盖范围之内，进行点对点，或点对多点之间的通信。

组建自组织网络不需要增添任何网络基础设施，仅需要一些配置有普通协议的移动节点。在这种拓扑结构中，没有作为中央控制器的中心节点来进行网络访问控制和功能协调，各个节点地位平等，采用分布式的控制方式。自组织网络使用非集中式的介质访问控制协议，载波侦听多路访问/冲突避免协议（CSMA/CA）。但由于该协议所有节点具有相同的功能力，因此实施复杂并且造价昂贵。

这种自组织的网络，不能组成全连接的网络。存在隐藏终端和暴露终端的问题，并且

网络的可扩展性不强，安全性差。

2. 基础结构网络

基础结构型 WLAN 利用了高速的有线或无线骨干传输网络。在这种拓扑结构中，移动节点在基站（BS）的协调下接入到无线信道，基站充当接入点（AP）。具有无线接口卡的无线终端以 AP 为中心，通过无线网桥、无线接入网关、无线接入控制器和无线接入服务器等将无线局域网与有线网络连接起来，组建多种复杂的无线局域网接入网络。基础结构网络虽然也会使用非集中式 MAC 协议，例如基于竞争的 802.11 协议可以用于基础结构的网络中，但大多数基础结构网络都使用集中式 MAC 协议，如轮询机制。大多数的协议过程都由 AP 执行，从而使移动节点的复杂性大大降低。

在目前的实际应用中，大部分 WLAN 系统都是基于基础结构网络而设计的。在基础结构网络中，主要是由基站及基站覆盖范围下的移动节点组成的蜂窝小区。用户在移动过程中，从一个小区进入另外一个小区，也就是从一个接入点的管辖区进入另一个接入点的管辖区，这就是“漫游”。漫游功能要求小区之间必须有合理的重叠，接入点之间相互协调，以便保证用户在从一个小区漫游到另一个小区的过程中，通信连接不发生中断。发生漫游时，必须执行切换操作。切换既可以通过交换局，以集中的方式来控制，又可以通过移动节点监测接收信号的强度来实现控制，也就是非集中式切换。

在基础结构型网络中，小区半径的大小与移动节点的功率损耗直接相关。在一个蜂窝小区中可以采用频率复用技术，从而提高系统频谱利用率。目前，提高频谱利用率的常用策略有：固定信道分配（FCA）、动态信道分配（DCA）和功率控制（PC）等。在使用 FCA 策略时，每个小区分配有固定的资源，但与移动节点数量无关。这种策略没有充分考虑移动用户的分布情况，只是分配相同数量的带宽资源给用户稀少的小区 and 用户密集的小区。那些用户稀少的小区可能只包含几个或者是根本不包含任何移动节点，这样有限的资源就被浪费了，频谱的利用率不高。而在移动节点采用 DCA 和 PC 技术，或者是集成 DCA 和 PC 技术，可以有效地提高整个蜂窝系统的容量，降低发射功率，从而减少信道干扰。DCA 技术将所有可用的信道资源放置在一个公共信道池中，根据各个小区当前的负载，动态分配信道。PC 方案通过减小发送功率的方法，在减少小区间干扰的同时，减少了移动节点的能量消耗。当某一个小区内受到的干扰增加时，PC 方案通过增加发送节点的功率，来提高接收信号的信噪比（SIR）。当节点受到的干扰减小时，发送节点通过降低发送功率来节约能量。

1.3.1.3 WLAN 的主要协议标准

WLAN 的协议标准也是分层描述的，主要是针对物理层和媒体访问控制层（MAC），涉及到所使用的无线频率的范围、空中接口等技术规范与技术标准。

目前，WLAN 中主要的协议标准有 802.11 系列、HiperLAN、HomeRF 以及蓝牙等，下面分别对这几种标准进行简要介绍。

1. 802.11 系列

（1）IEEE 802.11

IEEE 802.11 是 IEEE 在 1997 年提出的第一个无线局域网标准, 由于传输速率最高只能达到 2Mbps, 所以主要用于数据存取。IEEE 802.11 工作在 2.4~2.4835GHz 频段, 物理层定义了数据传输的信号特征和调制方式, 定义了两个射频传输方法和一个红外线传输方法, 射频传输标准是跳频扩频和直接序列扩频。鉴于 IEEE 802.11 在速率和传输距离上都不能满足用户的需要, IEEE 又相继推出了 IEEE 802.11b、IEEE 802.11a 和 IEEE 802.11g 等标准。

(2) IEEE 802.11b

1999 年 9 月 IEEE 802.11b 被正式批准, 它工作于 2.4-2.4835 GHz 频带, 采用补偿编码键控 (CCK) 调制方式, 物理层支持 5.5 Mbps 和 11 Mbps 两个新速率, 传输距离控制在 50~150 英尺(1 英尺=0.305m)。传输速率可因环境干扰或传输距离的变化在 11 Mbps、5.5 Mbps、2 Mbps、1 Mbps 之间切换, 在 2 Mbps、1 Mbps 速率时与 IEEE 802.11 兼容。该标准是对 IEEE 802.11 的一个补充, 它改变了 WLAN 设计状况, 扩大了 WLAN 的应用领域。

(3) IEEE 802.11a

1999 年, IEEE 802.11a 标准制定完成, 它扩充了 IEEE 802.11 标准的物理层, 工作频段在 5.15~8.825GHz, 采用正交频分复用 (OFDM) 技术, 数据传输速率能够达到 54Mbps/72Mbps (Turbo), 传输距离控制在 10~100m, 可以为用户提供 25Mbps 的无线 ATM 接口和 10Mbps 的以太网接口, 支持语音、数据和图像等多种业务。但是目前, IEEE 802.11a 标准的推广受到芯片价格昂贵、远距离点对点传输质量较差、与 IEEE 802.11b 标准不兼容, 以及所使用的 5GHz 频段需要执照等因素的影响, 一些公司仍没有表示对 802.11a 标准的支持, 而是更看好最新混合标准 802.11g。

(4) IEEE 802.11g

2003 年 6 月 12 日, IEEE 正式通过了新标准 IEEE 802.11g。针对 IEEE 802.11b 标准速率比较低、IEEE 802.11a 产品由于频段的因素而价格较高等问题, IEEE 802.11g 致力于满足用户对较低价格和较高速率的要求。它的工作频带和 IEEE 802.11b 相同, 为 2.4GHz, 但却拥有 IEEE 802.11a 的传输速率, 网络传输速率可达 54Mbps, 比 IEEE 802.11b 要快出 5 倍。这个标准采用 2 种调制方式, 不但采用了 IEEE 802.11a 中的 OFDM 方式来提高速率, 还保留了 IEEE 802.11b 中所采用的 CCK 调制方式, 做到与 802.11a 和 802.11b 充分兼容, 同时在安全性等方面要优于 IEEE 802.11b。

虽然 IEEE 802.11g 标准很被看好, 但仍存在一些速率上的不足。虽然理论上 IEEE 802.11g 的速率能达到 54 Mbps, 但因为有一部分带宽要用做传送保护通信质量的协议信令, 实际数据速率只能达到 25 Mbps。当采用与 IEEE 802.11b 兼容的模式时, 最高速率则由网络中使用 IEEE 802.11b 标准的系统决定, 最高只有 11 Mbps。

(5) IEEE 802.11b+

IEEE 802.11b+是一个非正式的标准, 称为增强型 IEEE 802.11b。它与 IEEE 802.11b 完全兼容, 只是采用了特殊的数据调制技术, 所以能够实现高达 22Mbps 的数据速率, 比 IEEE 802.11b 原来的速率快 1 倍。

(6) IEEE 802.1x

IEEE 802.1x 称为基于端口的网络接入控制协议。为了更适合在宽带以太网中使用, IEEE 802.1x 对认证方式和认证体系结构进行了优化, 解决了传统 PPPoE 和 Web/Portal 认证方式带来的问题。IEEE 802.1x 协议的体系结构包括 3 个主要部分: 客户系统(Supplicant

System)、认证系统 (Authenticator System) 和认证服务器 (Authentication Server System)。

IEEE 802.1x 认证协议目前得到了很多软件厂商的认可和重视, Microsoft 公司在其 Windows 操作系统 Windows XP 中整合了 IEEE 802.1x 客户端软件。

(7) IEEE 802.11i

IEEE 802.11i 标准在 WLAN 网络建设中的地位非常重要, 是为了改善 WLAN 的安全性而制定的新一代安全标准。它规定了使用 IEEE 802.1x 中的用户端口身份和设备认证, 以及密钥管理方式。在数据加密方面, 定义了 TKIP (Temporal Key Integrity Protocol)、CCMP (Counter - Mode / CBC - MAC Protocol) 和 WRAP (Wireless Robust Authenticated Protocol) 三种加密机制。为了增强 WLAN 的数据加密和认证性能, IEEE 802.11i 对 WLAN 的 MAC 层进行了修改, 定义了强健安全网络 (Robust Security Network, RSN) 的概念和 Wi-Fi 保护接入 (Wi-Fi Protected Access, WPA) 技术。

(8) IEEE 802.11e/ IEEE 802.11f/ IEEE 802.11h

IEEE 802.11e 标准改进了 WLAN 的 MAC 层协议, 使之能够支持多媒体传输, 为所有 WLAN 无线广播接口提供服务质量保证。

IEEE 802.11f 定义访问节点之间的通信, 支持 IEEE 802.11 的接入点互操作协议 (IAPP)。

IEEE 802.11h 用于 802.11a 的频谱管理技术。

2. HiperLAN

HiperLAN 是由 CEPT 制定的一种 WLAN 的标准体系, 可提供 10Mbps 的高质量无线接入。其特点包括: 高速传输、面向连接、支持 QoS、自动频率配置、支持小区切换、安全保密、网络与应用无关。在系统结构上, 主要是由移动终端 (MT) 通过接入点 (AP) 接入固定通信网络。

欧洲电信标准化协会 (ETSI) 的宽带无线电接入网络 (BRAN) 小组负责制定 Hiper (High Performance Radio) 接入泛欧标准, 已推出 HiperLAN1 和 HiperLAN2。其中, HiperLAN1 与 IEEE 802.11b、HiperLAN2 与 IEEE 802.11a 具有相同的物理层, 它们可以采用相同的部件。HiperLAN1 推出时, 由于数据速率较低, 没有被人们重视。2000 年, HiperLAN2 标准制定完成。HiperLAN2 标准的最高数据速率能达到 54Mbps。标准详细定义了 WLAN 的检测功能和转换信令, 用以支持多种无线网络, 支持动态频率选择、无线信元转换、链路自适应、多波束天线和功率控制等。该标准在 WLAN 的性能、安全性、服务质量等方面也给出了一些定义。HiperLAN2 强调与 3G 整合, 是目前较完善的 WLAN 标准之一。

3. HomeRF

HomeRF 工作组是在美国家用射频委员会的领导下, 在 1997 年成立的, 其主要工作任务是为家庭用户建立具有互操作性的语音和数据通信网。后来在 ITU 的赞助下, Compaq、Intel、Philips、HP、IBM 和 Microsoft 等大公司纷纷参与, HomeRF 工作小组于 1998 年制定了共享无线接入协议 (Share Wireless Access Protocol, SWAP), 它结合了 DECT 和 IEEE 802.11 的特点, 针对现有无线通信标准进行了综合和改进。

SWAP 协议结合了数字增强型无绳通信 (DECT) 和 IEEE 802.11 的特点, 使用 TDMA