

现代通信网络技术丛书

# 下一代无线因特网技术： 无线 Mesh 网络

◎ 方旭明 等 编著

 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

TP393.4  
157

现代通信网络技术丛书

# 下一代无线因特网技术： 无线 Mesh 网络

方旭明 等编著

人民邮电出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

下一代无线因特网技术: 无线 Mesh 网络/方旭明等编著. —北京: 人民邮电出版社, 2006.5  
(现代通信网络技术丛书)

ISBN 7-115-13800-1

I. 下... II. 方... III. 无线电通信—通信网 IV. TN92  
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 013512 号

### 内 容 提 要

无线 Mesh 网络 (也称无线网状网、无线网格网等) 是一种新型的宽带无线网络结构, 即一种高容量、高速率的分布式网络, 它不同于传统的无线网络, 可以看成是无线局域网和移动 Ad hoc 网络 (又称移动自组织网络) 的融合, 且发挥了两者的优势, 是因特网的无线版本。目前无线 Mesh 网络逐渐进入民用商业化研发和应用阶段。本书基于无线 Mesh 网络这一热点技术日益成熟的背景, 系统全面地向读者介绍了无线 Mesh 网络发展的来龙去脉、主要技术和应用, 是一本关于无线与移动网络最新理论与技术的专业书籍。内容首先涉及无线 Mesh 网络的相关技术与发展背景、相关网络结构、MAC 协议与资源管理、路由协议、QoS 保证机制、安全架构及方案, 此外, 还介绍了目前在无线网络, 特别是在无线 Mesh 网络中一个新的研究领域——网络跨层设计与优化。最后, 全面介绍了无线 Mesh 网络的当前应用实例和潜在应用领域。

本书力求以全新的视野, 洞悉无线通信前沿领域的一些新的理论、新的技术和新的产品, 让读者在最短的时间内跟踪并掌握目前无线 Mesh 网络这一新的技术。本书适于作为通信与信息系统、电子与信息工程、计算机应用、计算机网络等相关专业的大学本科和研究生的教材或自学用书, 也可作为以上相关专业的工程技术人员和管理人员自学提高或工具用书。

现代通信网络技术丛书

### 下一代无线因特网技术: 无线 Mesh 网络

- ◆ 编 著 方旭明 等  
责任编辑 杨 凌
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号  
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
人民邮电出版社河北印刷厂印刷  
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 19  
字数: 457 千字 2006 年 5 月第 1 版  
印数: 1—4 000 册 2006 年 5 月河北第 1 次印刷

ISBN 7-115-13800-1/TN · 2557

定价: 38.00 元

读者服务热线: (010)67129258 印装质量热线: (010)67129223

# 前 言

美国经济学家声言：智能天线、Mesh 网络、Ad hoc 网络和超宽带技术正在成为无线通信领域中压倒一切的技术；这些技术很可能使所谓的 3G 网络技术落伍，甚至可能会影响其后继者 4G。尽管业界的学者与技术专家不一定完全认同此观点，但这的确触动了我们对近期无线与移动通信网络发展的一些问题的深刻思考。随着移动手机用户超过固定电话用户，移动数据份额日益逼近话音业务，我们的工作、学习与生活也日益离不开因特网，我们开始思考——下一代无线网络究竟如何发展？除了点到多点方式的蜂窝移动通信网络之外，是否还有其他更具特色的方案？最近，无线 Mesh 网络（又称无线网状网、无线网格网，简称 WMN）渐渐进入了人们的视线，它以众多无可比拟的优势开始挑战现有的一些无线网络技术，在世界范围内迅速引起了学术界与工程界的注意，成为目前一项热点技术。我们可以肯定，WMN 正在成为下一代因特网技术的重要组成部分。

有感于 WMN 的迅速发展以及研发人员的热情，作者在自身研究工作积累的基础上精心编写了本书，让读者分享我们学习与研究工作的经验和成果。本书不仅可以使感兴趣的初学者迅速入门，也可以为有一定研究基础的同行提供较为系统的相关技术或方案，弥补这一领域国内研究资料相对匮乏的境况，缩短国内学者的研究水平与国际一流水平的差距，贡献出更多的具有我国自主知识产权的研究成果。

本书共分 8 章。第 1 章介绍了 WMN 的起源与演进，内容涉及移动 Ad hoc 网络、无线局域网和蜂窝移动通信网络。为了使读者了解 WMN 的特点，本章特别分别比较了 WMN 与上述 3 种网络的区别，随后客观地介绍了 WMN 的优缺点。

第 2 章介绍了 WMN 的典型结构以及与连通性有关的基本理论。首先从概念上分别介绍了 WMN 的几种网络结构，以及各自的特点与适用的场合。为配合理解，本章介绍了 WMN 的一个实用结构案例。作为支持无线网状结构的技术标准，IEEE 802 系列家族已先行一步，802.16、802.11 和 802.15 等已经或正在领导这一技术潮流。本章逐一介绍了这几个标准对网状结构支持的技术细节。本章最后探讨了 WMN 网络规划与设计中的一个关键性理论问题——网络的连通性，对此进行了分析，并对相关分析方法进行了探讨。

第 3 章讨论了 WMN MAC 协议与资源管理问题。在 MAC 协议上，WMN 承袭了 802.11 标准中的很多技术，特别是目前正在制定的 802.11s 标准更是专门针对传统的 802.11 MAC 协议扩展成为支持网状环境的新的协议，所以本章在先简单总结 802.11 MAC 协议的基础上，对已支持网状结构的 802.16 MAC 协议标准进行分析和讨论，然后分别介绍专门针对 WMN 设计的几种 MAC 协议，其中包括速率自适应多跳网 MAC 协议、多信道 WMN MAC 协议等。为了能了解多媒体业务在 WMN 中所遇到的挑战及相关对策，本章还专门探讨了多媒体业务与网络资源的自适应控制问题。本章最后探讨了 WMN 的前沿问题之一——WMN 的多址接入问题，涉及多入多出（MIMO）、正交频分复用（OFDM）和 MeshNetworks 公司自主知识产权的正交分割多址（QDMA）技术。同时，对 802.20 标准对多带技术支持也做了简要介绍。

第 4 章是本书的核心内容之一——WMN 的网络路由协议。作为理解和设计 WMN 路由协议的基础，本章首先简要总结了基于移动 Ad hoc 网络而设计的几种典型的路由协议，包

活动态源路由 (DSR) 协议、基于目的序号距离矢量 (DSDV) 协议、按需距离矢量 (AODV) 协议、基于关联性的路由 (ABR) 协议和基于信号稳定性路由 (SSR) 协议, 随后分别详细介绍一些最新的适用于 WMN 的路由协议, 包括多径源路由 (MSR) 协议、支持多射频链路质量源路由 (MR-LQSR) 协议、可预测的无线路由协议 (PWRP)、单收发器多信道路由协议 (MCRP) 和其他无线 Mesh 网络路由协议。当然, 一些新的成果还不是太成熟, 有待于进一步改进和完善。

第 5 章讨论 WMN 的 QoS 保证相关技术。与移动 Ad hoc 网络有所不同, WMN 对 QoS 要求可能更高。无线多跳网络中的 QoS 保证机制是一项非常复杂和关键的技术。本章集中了目前 IP 核心网、3G 网络和 WLAN 等无线与移动网络中有关 QoS 的一些共同问题和解决方案, 介绍了 WMN 中 QoS 保证的基本方法, 特别讨论了 802.11e 与 802.16 QoS 保证与管理技术。为了便于准确地分析、设计与仿真基于 QoS 的相关协议与算法, 本章最后还系统地给出了分组网络中多媒体业务建模的有效方法, 其中包括话音业务、视频电话业务、数据业务和 MPEG-4 业务的建模等。

第 6 章介绍了人们特别专注的一个问题——WMN 的安全问题。客观地说, 至目前为止, WMN 中还没有十分有效的安全手段, 但本章借此引出一些更深层次的思考。首先介绍 WMN 的安全缺陷及可能遇到的攻击手段, 随后介绍 WMN 的一些可能使用的安全技术, 以及与 WMN 相关的安全协议与标准, 包括远程身份验证拨入用户服务协议 RADIUS、中国无线网络安全国家标准 WAPI、802.11i 无线局域网安全协议、Wi-Fi 联盟的 WPA 协议和渐被淘汰的 WEP 等。

第 7 章涉及目前无线通信网络中的一项热门技术——无线网络的跨层设计。本章专门介绍 WMN 的跨层设计关键技术问题。为使读者掌握跨层设计的来龙去脉, 本章首先介绍跨层设计的背景, 接着介绍跨层设计的必要性、跨层设计的原则与方法、跨层设计的有效性与局限性等问题, 客观而又理性地对待 WMN 跨层设计方法的应用。最后, 分别着重介绍了跨层 MAC 协议设计和跨层路由设计的几个方案。

第 8 章介绍了 WMN 目前及潜在的一些应用方案, 包括在教育、应急通信、城市智能交通系统 (ITS)、城市无线宽带接入等领域的应用。

为便于读者检索, 本书最后在附录中给出了 WMN 相关的标准化组织, 以及有关缩略语中英文对照表。

本书由西南交通大学“移动通信省重点实验室”副主任方旭明教授组织编写并审校, 参加编写和资料收集与整理工作的还有艾助雄、傲丹、范涛、马忠建、戚彩霞、单瑛、沈强、邵振菲、王宁、张国正、张慧、张燕、张丹丹、钟爽、朱龙杰、朱晓东、朱西平等博士和硕士研究生。需要指出的是, 由于无线 Mesh 网络发展的时间不长, 所以本书的取材多为一些学术界和工程技术界的研究成果, 也包括本书作者的一些成果和观点, 同时吸收了一些技术标准 and 草案; 相关研究成果的知识产权属于设计原作者, 我们在书中均作了引用标识。我们尽量以客观、公平与公正的态度对待任何一项研究方法 with 成果, 对于其中的争议甚至错误, 希望留待读者去进一步甄别与探究。尽管我们力求完美, 但书中还必然会存在由于本书作者学术水平和工作疏忽所导致的错误, 我们真诚地企盼读者批评指正。

方旭明  
于西南交通大学

# 目 录

<b>第 1 章 无线 Mesh 网络的起源与演进</b> .....	1
1.1 无线 Mesh 网络的起源 .....	1
1.2 移动 Ad hoc 网络向无线 Mesh 网络的演进 .....	3
1.3 无线 Mesh 网络的定义 .....	7
1.4 无线 Mesh 网络与蜂窝网络的主要区别 .....	8
1.5 无线 Mesh 网络与 WLAN (Wi-Fi) 的主要区别 .....	8
1.6 无线 Mesh 网络与移动 Ad hoc 网的主要区别 .....	8
1.7 无线 Mesh 网络的主要优缺点 .....	9
<b>第 2 章 无线 Mesh 网络结构与连通性</b> .....	11
2.1 无线 Mesh 网络结构与特点 .....	11
2.1.1 平面网络结构 .....	11
2.1.2 多级网络结构 .....	12
2.1.3 混合网络结构 .....	12
2.1.4 无线 Mesh 网络结构的特点 .....	13
2.1.5 实用结构案例 .....	14
2.2 802.16 (WiMAX) 的 Mesh 结构 .....	15
2.2.1 IEEE 802.16 标准介绍 .....	15
2.2.2 WiMAX Mesh 网络结构 .....	16
2.2.3 WiMAX Mesh 网络帧结构 .....	18
2.3 其他 802 标准族对 Mesh 结构的支持 .....	22
2.3.1 802.11s 对 Mesh 结构的支持 .....	23
2.3.2 802.15 系列对 Mesh 结构的支持 .....	23
2.3.3 802.20 对 Mesh 结构的支持 .....	26
2.4 无线 Mesh 网络连通性 .....	27
2.4.1 网络连通性中的图形学理论 .....	27
2.4.2 基于图的无线 Mesh 网络连通性 .....	29
2.4.3 基于渗透理论的无线 Mesh 网络连通性 .....	29
<b>第 3 章 无线 Mesh 网络 MAC 协议与资源管理</b> .....	32
3.1 802.11b/a/g MAC 协议 .....	32
3.1.1 基于 802.11 的 WLAN MAC 协议 .....	32
3.1.2 分布式协调功能 (DCF) .....	35
3.1.3 集中式协调功能 (PCF) .....	38
3.2 802.11e MAC 补充协议 .....	41
3.2.1 802.11e MAC 协议工作机制 .....	41
3.2.2 802.11e EDCF 协议的分析模型与性能评价 .....	52

3.3	基于 802.16 MAC 协议	56
3.3.1	802.16d/e 物理层与 MAC 层协议参考模型	57
3.3.2	影响 MAC 协议的物理层考虑的因素	58
3.3.3	MAC 层需求	58
3.3.4	MAC 层实现	59
3.4	速率自适应多跳网 MAC 协议	69
3.4.1	速率自适应原理	69
3.4.2	基于接收器的自适应速率 (RBAR) 算法实现	70
3.4.3	与 802.11 MAC 协议的融合	71
3.5	多信道 Mesh 网 MAC 协议	73
3.5.1	多信道 MAC 的需求	73
3.5.2	多信道 MAC 面临的问题	74
3.5.3	几种多信道 MAC 协议	75
3.6	无线 Mesh 网络视频流媒体业务的自适应编解码与传输	80
3.6.1	流媒体定义与特点	81
3.6.2	无线 Mesh 网络中流媒体业务传输特点	81
3.6.3	可分级编码与自适应传输的必要性	82
3.6.4	可分级编码的实现	83
3.6.5	无线 Mesh 网络中流媒体自适应传输的实现	88
3.7	无线 Mesh 网络的多址接入技术	90
3.7.1	多入多出 (MIMO) 空间信道模型	90
3.7.2	正交频分复用 (OFDM) 技术	93
3.7.3	正交分割多址 (QDMA) 技术	97
3.7.4	802.20 标准对多带技术支持	97
<b>第 4 章</b>	<b>无线 Mesh 网络路由协议</b>	<b>103</b>
4.1	无线 Mesh 网络主要相关路由协议简介	103
4.1.1	动态源路由 (DSR) 协议	103
4.1.2	基于目的序号距离矢量 (DSDV) 协议	104
4.1.3	按需距离矢量 (AODV) 协议	104
4.1.4	基于关联性的路由 (ABR) 协议	105
4.1.5	基于信号稳定性路由 (SSR) 协议	106
4.1.6	多径源路由 (MSR) 协议	107
4.2	无线 Mesh 网络路由协议设计基础	108
4.2.1	无线 Mesh 网络路由的特点	108
4.2.2	无线 Mesh 网络路由协议分类	108
4.3	多射频链路质量源路由 (MR-LQSR) 协议	110
4.3.1	LQSR 协议简介	111
4.3.2	WCETT 路由判据	113
4.3.3	相关链路状态路由判据	117

4.4	可预测的无线路由协议 (PWRP)	119
4.4.1	MetroMesh™ 网络	119
4.4.2	PWRP 协议机制和技术特点	120
4.4.3	PWRP 相关技术现状及发展趋势	124
4.5	单收发器多信道路由协议 (MCRP)	124
4.5.1	MCRP 背景及其关键技术分析	124
4.5.2	MCRP 简介	127
4.6	无线 Mesh 网络其他路由协议	133
4.6.1	高吞吐率路由 (SrcRR) 协议	133
4.6.2	射频感知路由协议 (RARP)	135
<b>第 5 章</b>	<b>无线 Mesh 网络 QoS 相关技术</b>	<b>138</b>
5.1	无线 Mesh 网络 QoS 保证基本方法	138
5.1.1	QoS 保证的基本要求	138
5.1.2	QoS 保证的基本策略	139
5.1.3	QoS 保证的基本方法	140
5.2	802.11e 与 802.16 QoS 保证和管理	142
5.2.1	802.11e QoS 保证	142
5.2.2	802.16 MAC 层的 QoS 相关机制	143
5.2.3	MAC 层 QoS 结构和业务调度策略	149
5.2.4	802.16 中的 QoS 保证机制	150
5.3	3GPP QoS 保证与管理	153
5.3.1	3GPP 的 QoS 的定义	154
5.3.2	3GPP 业务类型定义	156
5.3.3	UMTS 网络 QoS 管理功能	158
5.4	多媒体业务的建模	160
5.4.1	话音业务的建模	160
5.4.2	视频电话业务的建模	161
5.4.3	数据业务的建模	162
5.4.4	MPEG-4 业务的建模	165
<b>第 6 章</b>	<b>无线 Mesh 网络的安全方案</b>	<b>171</b>
6.1	无线 Mesh 网络的安全缺陷以及攻击手段	171
6.1.1	无线 Mesh 网络的安全缺陷	171
6.1.2	无线 Mesh 网络的攻击手段	173
6.2	无线 Mesh 网络安全技术	177
6.2.1	无线 Mesh 网络基本安全要素	177
6.2.2	交换中心中的认证 (网关级安全)	183
6.2.3	监控和入侵检测	187
6.2.4	空中接口的安全	189
6.2.5	Tropos Networks 的多层安全模型	190



6.2.6	安全网络设计与部署 .....	194
6.3	无线 Mesh 网络相关安全协议与标准 .....	200
6.3.1	远程身份验证拨入用户服务协议 (RADIUS) .....	200
6.3.2	中国无线网络安全国家标准 WAPI .....	202
6.3.3	IEEE 802.11i 无线局域网安全协议 .....	205
6.3.4	Wi-Fi 联盟的 WPA 协议 .....	209
6.3.5	脆弱的 WEP .....	210
<b>第 7 章</b>	<b>无线 Mesh 网络的跨层设计</b> .....	<b>212</b>
7.1	跨层设计的背景 .....	212
7.1.1	因特网协议栈的演进 .....	212
7.1.2	跨层设计的必要性 .....	216
7.1.3	跨层设计的基本要求 .....	216
7.2	跨层设计主要技术 .....	219
7.2.1	跨层设计原则与方法 .....	219
7.2.2	跨层信息交互 .....	221
7.2.3	跨层信令交互方式 .....	223
7.2.4	跨层设计的有效性与局限性 .....	226
7.3	跨层设计方案分析 .....	227
7.3.1	MAC 协议跨层设计 .....	227
7.3.2	路由协议跨层设计 .....	231
<b>第 8 章</b>	<b>无线 Mesh 网络的应用</b> .....	<b>243</b>
8.1	无线 Mesh 网络的商业模式 .....	243
8.1.1	WISP 模式 .....	243
8.1.2	因特网延伸模式 .....	245
8.1.3	行业应用模式 .....	247
8.2	教育行业应用方案 .....	248
8.2.1	北电网络中国某大学应用方案 .....	248
8.2.2	北电网络某校园专用网应用方案 .....	250
8.3	应急通信应用方案 .....	251
8.3.1	MeshNetworks 公司俄勒冈警察局应用方案 .....	251
8.3.2	Firetide 公司警察局应用方案 .....	253
8.4	城市智能交通系统 (ITS) 应用方案 .....	254
8.4.1	MeshNetworks 公司英格兰 Portal 智能交通系统应用方案 .....	254
8.4.2	PacketHop 公司金门大桥安全网络应用方案 .....	255
8.4.3	北电网络移动城市应用方案 .....	257
8.4.4	Firetide 公司加州 Culver 城即时无线 Mesh 网络应用方案 .....	258
8.5	其他应用方案 .....	259
8.5.1	无线社区网应用方案 .....	259
8.5.2	数字家庭应用方案 .....	261

8.5.3 无线传感器网络应用方案 .....	261
8.5.4 无线 Mesh 网络未来应用展望 .....	263
<b>附录 A 无线 Mesh 网络主要标准化组织 .....</b>	<b>265</b>
<b>附录 B 缩略语中英文对照表 .....</b>	<b>269</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>277</b>

# 第1章 无线 Mesh 网络的起源与演进

无线 Mesh 网络究竟是什么样的网络？它与人们熟知的移动 Ad hoc 网络有何区别？本章在全面介绍后续章节的技术内容之前，较为详细地介绍无线 Mesh 网络发展的起源与演进过程，无线 Mesh 网络与现在一些主流的无线通信网络的主要区别，以及无线 Mesh 网络一些与众不同的特点，使读者对无线 Mesh 网络有一个概貌性的了解，为进一步开展无线 Mesh 网络的研究工作做好必要的准备。

## 1.1 无线 Mesh 网络的起源

无线 Mesh 网络（WMN，Wireless Mesh Network，又称无线网状网、无线网格网等）这个名词出现的时间并不长，大约在 20 世纪 90 年代中期以后，而真正引起人们特别关注只是在近两年。WMN 的出现并不是偶然的，与很多新技术出现的背景一样，WMN 的出现是应用需求直接推动的结果。观察图 1.1.1 所示的传统的基于基站方案的无线通信系统，它是通过“最后一公里”的无线接入，为用户提供无线接入服务，这也是蜂窝无线通信系统的雏形。但随着无线用户数目的增加，系统有限的频谱资源制约着系统的容量，使其开始无法适应业务需求的增长，于是出现了空间资源复用概念的蜂窝移动通信系统。真正意义上的蜂窝移动通信系统的出现，大大缓解了用户业务与系统资源之间的矛盾。



图 1.1.1 传统基站方案的无线通信系统

蜂窝移动通信系统在实际应用上有着其局限性。从投资收益角度看，它只适用于人口稠密、有永久用户业务需求的地区。对于用户移动性较大、不适于建立大功率基站的应用场合，如对于军事通信中的战场临时通信需求，移动 Ad hoc 网络技术一直在悄悄地与蜂窝移动通信技术平行发展；但由于军事通信技术的特殊性，就如同 CDMA 等扩频通信技术一样，这一先进技术在相当长的一段时期内并没有在民用通信领域得到很好的应用。不过，随着技术的发展，一些保密技术相继被解密并转化为民用，因而，近几年移动 Ad hoc 网络技术逐渐成为移动通信领域的热点问题，并取得了许多令人瞩目的成果<sup>[1-3]</sup>。然而，在经过一段时间的“高烧”之后，人们开始理智地思考移动 Ad hoc 网络一些深层次的问题，例如，除了军事通信应用之外，在民用领域，它的真正价值在哪里？如何将这一投入无数人力与物力的技术应用到我们的日常生活领域？军事通信与民用通信的应用区别在哪里？移动 Ad hoc 网络技术能否直接应用于民用？与此同时，无线局域网（WLAN，Wireless Local Area Network，Wi-Fi）的发展已进入技术成熟期，它有效延伸了因特网的覆盖范围，赋予了用户一定的移动性。一些没有取得

移动通信网络运营牌照的运营商也期望通过布置热点地区接入点 (AP, Access Point), 将原本并没有用于商业网络的 WLAN 技术推向了市场。但是, 客观地说, WLAN 的商业化进程在很多地区并不成功。除商业运作和业务等原因之外, WLAN 在技术上的缺陷也是显而易见的。WLAN 无法做到像蜂窝网络一样无处不在的信号覆盖! 再回过头看蜂窝移动通信系统, 3G 系统由于政治、经济和技术等原因也迟迟得不到人们期望的发展速度与规模。那么, 目前的无线通信究竟该向何处去?

一般认为, 移动 Ad hoc 网络由于其应用环境和技术成本等原因, 不适合直接应用到民用通信领域, 在通信网络中, 最大的民用通信业务应该是包括 VoIP 业务在内的因特网业务。而民用通信用户的流动性行为远低于军事通信用户, 所以为了能够实现无线通信中无处不在的 (Ubiquitous) 通信目标, 我们需要基于移动 Ad hoc 网络的技术基础, 开发出一种完全适用于民用通信的无线多跳网络技术, 于是 WMN 技术就随着这一需求而出现。

2000 年初, 业界的几个重要事件引起了人们的特别关注, 其中之一是美国 ITT 公司将其为美国军方研发的战术移动通信系统的一些专利技术转让给了 MeshNetworks 公司, 该公司借此开发了一系列具有自主知识产权的无线多跳网络民用产品——WMN 全套技术产品, 并在市场上获得了极大的成功。与此同时, 诺基亚、北电网络、Tropos、SkyPilot、Radiant Networks 和 Firetide 等多家公司开发的 WMN 产品相继问世。从此, WMN 进入了飞速发展的时期, 同时也给移动 Ad hoc 网络本身的发展注入了新的活力。其间, 摩托罗拉公司极为看好 MeshNetworks 公司的发展, 于 2005 年成功地将其收于麾下。

WMN 本质上属于移动 Ad hoc 网络 (见图 1.1.2), 它与后者的最大区别在于前者的用户终端相对来说移动性较低, WMN 一般不是作为一个独立的网络形态存在, 而是因特网核心网的无线延伸。通常, 会有一个或多个网关节点 (Gateway, 也称为 Neighborhood Access Point, 邻居接入点) 与因特网高速相连, 家庭或办公室等用户通过自身的无线接入点与网关节点相连。对于网关节点信号覆盖之外的区域, 用户节点负责来往业务的中继或转发, 从而实现大范围的廉价和快速信号覆盖。显然, 这种方式的组网省去了网络建设初期昂贵的基础设施建设投资, 比传统的点到多点方式的无线接入有很多无可比拟的优点。

有关 WMN 与其他网络的详细区别见本章后面详述。

与 WMN 最密切相关的网络技术有 WLAN 和无线宽带接入网 (WBAN, Wireless Broadband Access Network) 技术。图 1.1.3 为 WMN 与这两种网络技术的关系示意图。

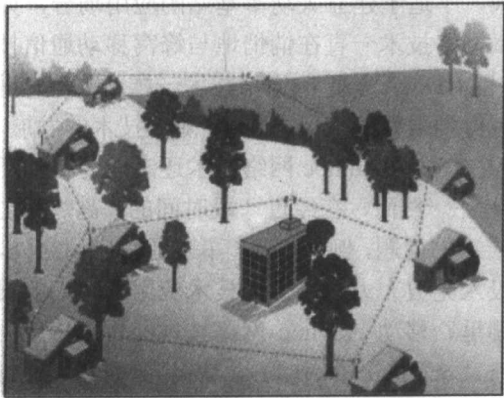


图 1.1.2 WMN 结构示意图

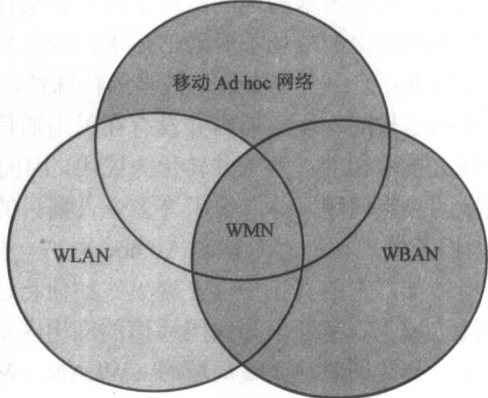


图 1.1.3 WMN 与移动 Ad hoc 网络、WLAN 和 WBAN 的关系示意图

由此可见，WMN 的出现并不是偶然的，也不是孤立的，现在 WMN 的热点问题中的 MAC 协议、路由协议、移动 TCP 等很多都是在 802.11 MAC 协议、移动 Ad hoc 网络的路由协议和传输控制协议等基础上发展起来的，并且仍然在不断地改进和完善之中。

## 1.2 移动 Ad hoc 网络向无线 Mesh 网络的演进

如前所述，移动 Ad hoc 网络和 WMN 技术的发展始终与一些成熟的技术与标准（如 WLAN）紧密结合在一起，最近，又与新出现的 WiMAX 结合在一起，从而构成大规模的可伸缩性无线网络。我们一般认为，下一代无线网络（或 4G 无线网络）不再是一种全新的单一结构的网络技术，而是多种无线网络技术的融合，是一种多级网络形态。图 1.2.1 所示为无线网络向下一代网络演进的示意图<sup>[4]</sup>。图中左边为现有的网络技术形态。移动终端用户通过蜂窝通信网（如 GSM、GPRS、3G 等）的 BTS（基站收发器）接入到 PSTN（公共电话交换网），再接入到基于 IP 的分组核心网，或通过 WLAN 的无线 AP 直接接入到基于 IP 的分组核心网。而图 1.2.1 右边为下一代无线网络形态，其中各种网络结构并存。在分层结构的底层可以有移动 Ad hoc 网络形式的无线传感器网络、简单的无线簇结构或星型结构网络、WLAN、移动终端等，再通过蜂窝接入网、其他宽带无线接入网、Ad hoc（或 Mesh）中继节点构成第二级无线网络，最终接入到第三级 IP 网络之中。

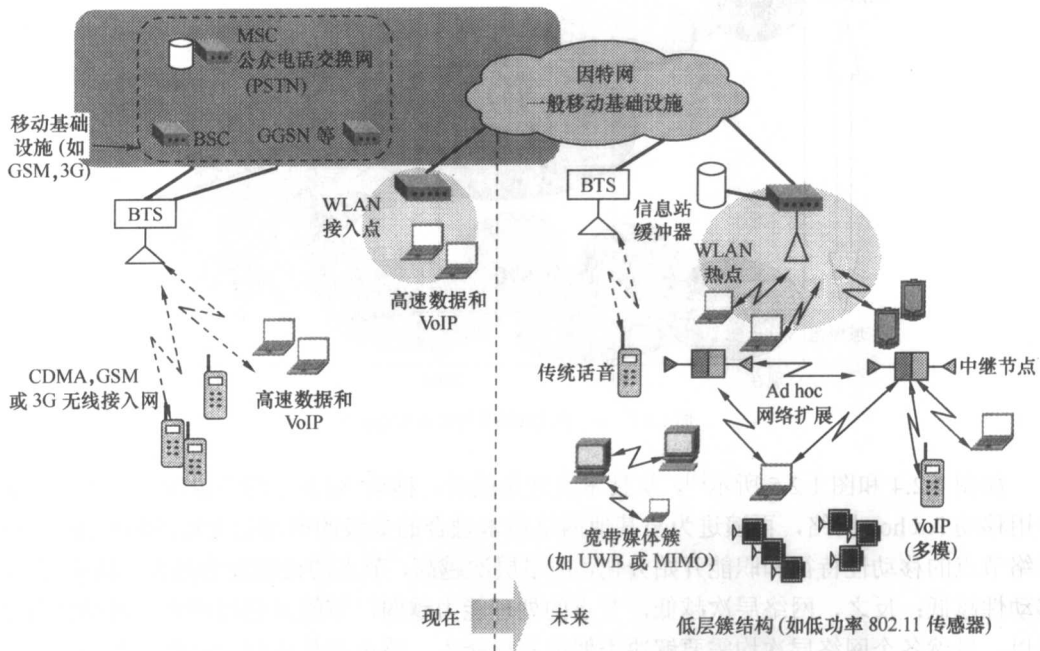


图 1.2.1 无线网络向下一代网络的演进

在具体实现上，下一代无线网络将会包含图 1.2.2 所示的各种技术或标准<sup>[5]</sup>。如许可证频段的 3GPP 家族（WCDMA、cdma2000 和 TD-SCDMA 系统）以及非许可证频段的 IEEE 802.11 和 IEEE 802.16 家族的技术与标准。这其中 IEEE 802.20 跨越了许可证频段和 IEEE 802 标准两大家族。

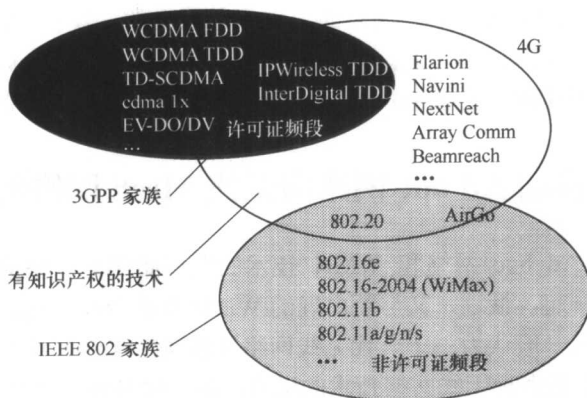


图 1.2.2 下一代无线网络技术

除了以上主流技术以外，下一代无线网络还包括一些非主流的具有自主知识产权的先进网络技术。虽然未来大一统的技术不可能出现，但从技术的发展趋势来看，各种无线通信与网络技术将互相渗透，逐渐走向融合，如图 1.2.3 所示<sup>[5]</sup>。

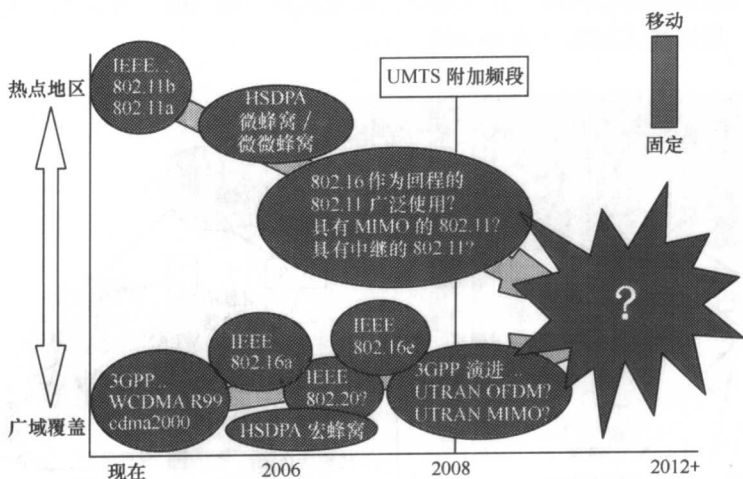


图 1.2.3 下一代无线通信网络技术的融合

如图 1.2.4 和图 1.2.5 所示<sup>[4]</sup>，从技术发展角度看，移动 Ad hoc 网络也经历了单级平面的专用移动 Ad hoc 网络，再演进为与其他网络技术融合的多级的商用化无线网络形态。不过，网络节点的移动性特征和职能开始分化，网络层次越高，节点的处理能力越强，功率越充足，移动性越低；反之，网络层次越低，节点的处理能力越弱，节能问题越严重，移动性越强。所以，虽然各个网络层次均需要解决类似的多址接入、路由和传输控制问题，但为了提高网络的性能，解决同类问题的思路和方法有很大的差异。这也是理论和工程界将移动性较弱的无线 Mesh 网络从移动性较强的移动 Ad hoc 网络中分离出来的主要原因。从此，传统意义上的移动 Ad hoc 网络就朝着两个方向发展，一个是以军事等专业或行业应用为背景，仍沿着传统的技术路线发展；另一个是以普通商业应用为目的，以因特网业务为主要传输内容，沿着无线 Mesh 网络 (WMN) 的方向发展。

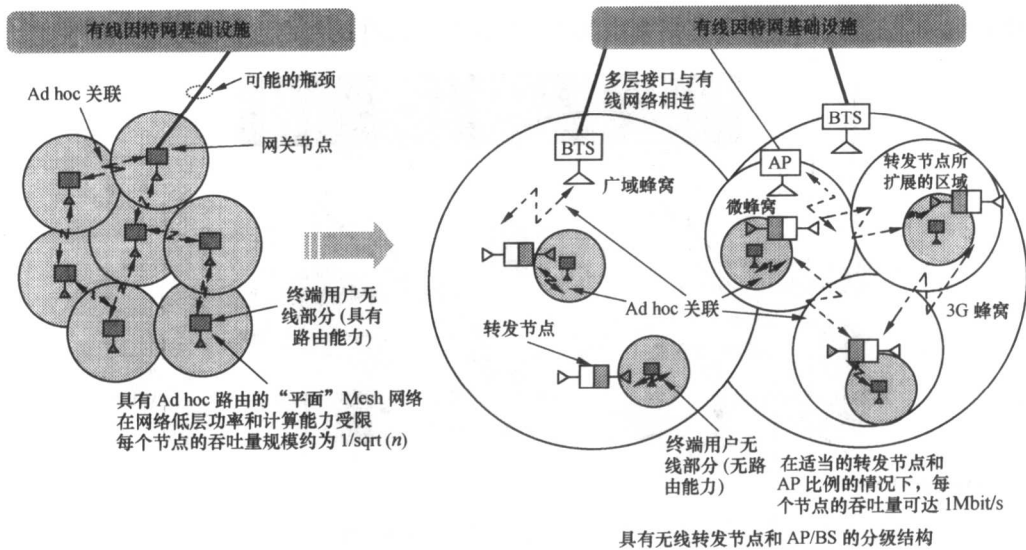


图 1.2.4 移动 Ad hoc 网络的演进

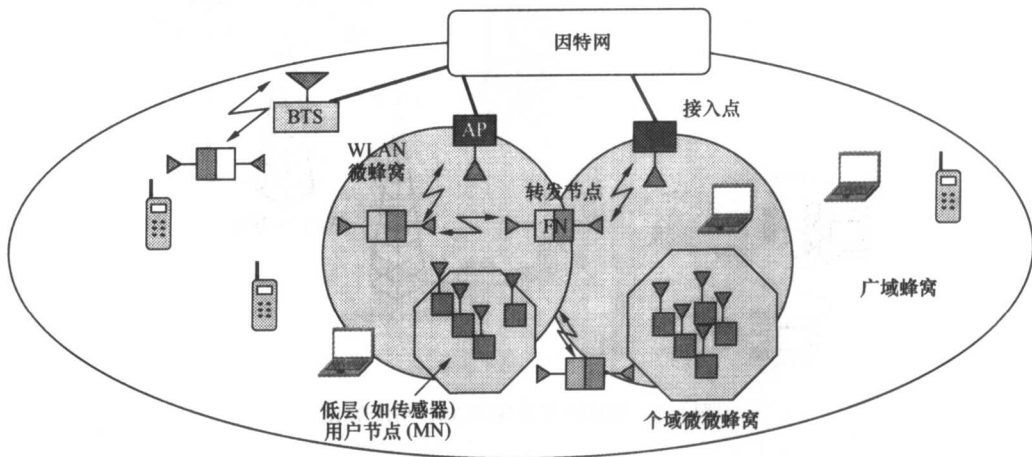


图 1.2.5 分级移动 Ad hoc 网络

实际上,目前实用化的移动 Ad hoc 网络技术承袭了很多 WLAN 标准中的技术,但 WLAN 本质上不是支持多跳网络的技术,所以现有的(图 1.2.6<sup>[4]</sup>)基于 WLAN 的移动 Ad hoc 网络需要对 802.11 协议和传统的 TCP/IP 协议簇之类的技术标准作一系列改进,包括 MAC 层、网络层和传输控制层协议等。为此,IEEE IETF 最近专门成立了 802.11s 工作组,试图解决 802.11a/b/g 等协议中不支持多跳网络环境等问题,预计第一个版本的 802.11s 标准将于 2007 年颁布。

目前,无线多跳技术已得到广泛延伸,WMN 中的网关或网桥等设备使 WMN 与现有的蜂窝网、无线传感器网络、WLAN、WiMAX 和 WiMedia 等结合,使用户获得无处不在的网络连接。图 1.2.7 为期待中的 WiMAX 作为 Wi-Fi Mesh 拓扑回程的示意图<sup>[6]</sup>。图中 Wi-Fi 为底层的 Mesh 网络,WiMAX 则负责更大范围的网络延伸与互联。图 1.2.8 为期待中的 WiMAX 作为 Mesh 拓扑内回程的示意图<sup>[6]</sup>。在图中,对于 Mesh 拓扑连接,Wi-Fi 具有一系列优点,

而对于 Mesh 拓扑之间的回程连接则由 WiMAX 提供。这样的网络连接具有较高的性价比。

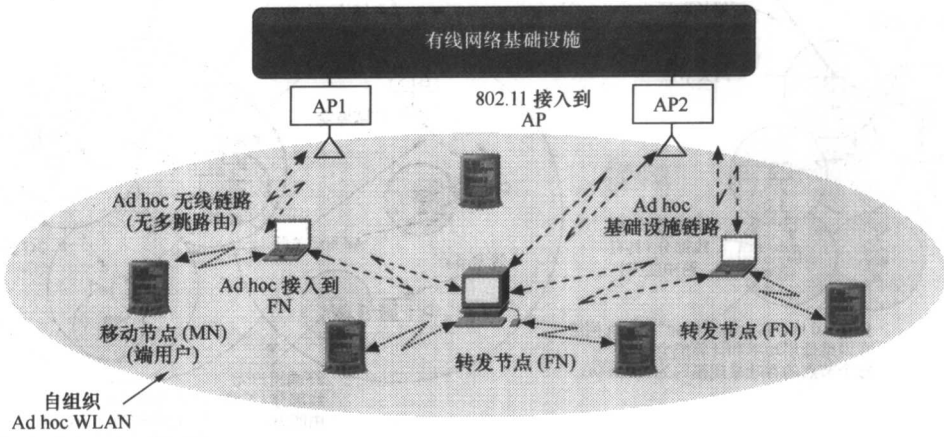


图 1.2.6 基于 WLAN 的移动 Ad hoc 网络

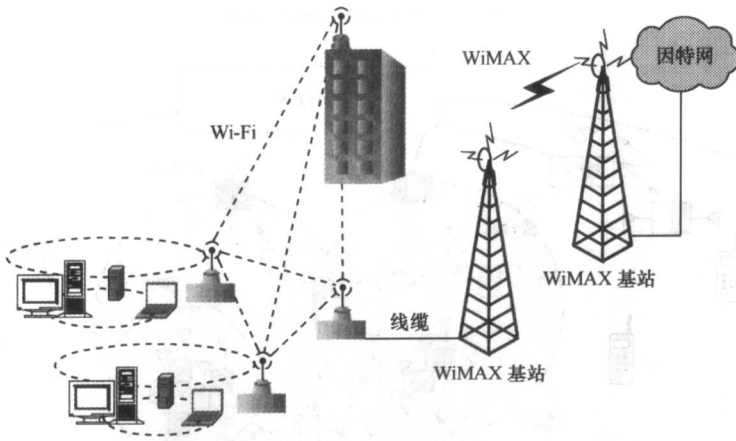


图 1.2.7 WiMAX 作为 Wi-Fi Mesh 拓扑的回程

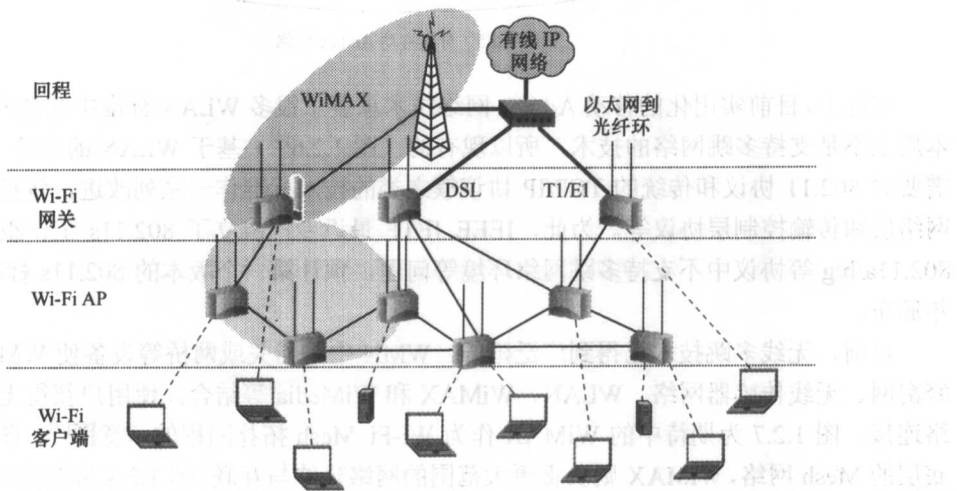


图 1.2.8 WiMAX 作为 Mesh 拓扑内的回程



图 1.2.9 为 WMN 的一种复杂形态<sup>[6]</sup>，也可以说是未来 4G 网络的一种形态。图中的移动用户终端既可以先通过 Wi-Fi 再通过 WiMAX 接入到核心网络，也可以直接通过 WiMAX 接入到核心网络。当然，如果这里的移动终端是 Wi-Fi 和 WiMAX 双模终端，则网络接入就具有更大的灵活性。

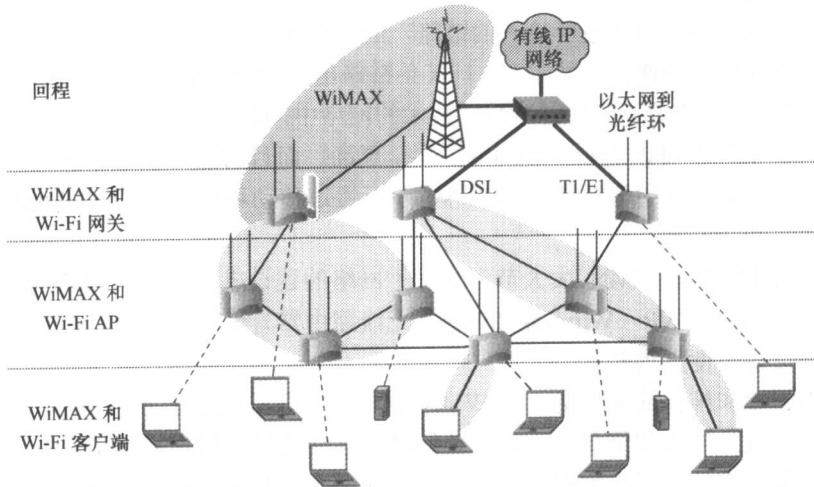


图 1.2.9 WiMAX 作为客户端的接入网

从移动 Ad hoc 网络的发展历史及未来趋势可见，无线网络的多跳连接将成为下一代无线通信网络发展的必然趋势，可以为用户提供真正的无处不在的连接 (Ubiquitous Connection)。

以上简要说明了下一代无线网络在结构和技术上向 Mesh 结构演进的必然趋势。众多迹象表明，无线 Mesh 网络将会与软件无线电、MIMO、OFDM/OFDMA 等技术一样，成为下一代无线网络的技术热点。

### 1.3 无线 Mesh 网络的定义

正如前面所述，WMN 是从移动 Ad hoc 网络分离出来，并承袭了部分 WLAN 技术的新的网络技术。严格地说，WMN 是一种新型的宽带无线网络结构，一种大容量、高速率的分布式网络，它与传统的无线网络有较大的差别。在网络拓扑上，WMN 与移动 Ad hoc 网络相似，但网络大多数节点基本静态不移动，不用电池作为动力，拓扑变化较小；在单跳接入上，WMN 可以看成是一种特殊的 WLAN。有学者认为 WMN 与移动 Ad hoc 网络的最大区别在于业务模式的差异。对于前者，节点的主要业务是来往于因特网网关的业务；而对于后者，节点的主要业务是任意一对节点之间的业务流。由于有较高的可靠性、较大的伸缩性和较低的投资成本，WMN 作为一种可以解决无线接入“最后一公里”瓶颈问题的新的方案，被写入到 IEEE 802.16 (俗称 WiMAX) 无线城域网 (WMAN, Wireless Municipal Area Network) 标准和 IEEE 802.15 系列标准之中，目前也开始纳入到 IEEE 802.11s 标准的制定中。此外，就我们的前期研究，我们发现 WMN 是作为未来 WMAN 核心网最理想的方式之一，极有可能挑战 3G 技术，是构建 B3G/4G 的潜在技术之一，也是迄今为止一种建立大规模移动 Ad hoc 网络的可行性技术<sup>[7-21]</sup>。