



现代通信网实用丛书

无线网状网 原理与技术

张勇 郭达 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

现代通信网实用丛书

无线网状网原理与技术

张 勇 郭 达 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

无线网状网是近年来通信领域中令人瞩目的技术,无线网状网技术在产业化方面取得了显著的成果,在标准化方面也获得了长足的进展。本书针对无线网状网技术进行了全面阐述,重点介绍了以 IEEE 802.11 技术构建的无线网状网系统,对媒质接入层和网络层关键技术进行了系统阐述,并在此基础上对无线网状网的特性进行了分析,对无线网状网重要设计思想——跨层设计进行了详尽描述。书中对自组网与蜂窝网整合系统的介绍,为进行无线网状网功能设计的科研人员提供了很好的参考,本书最后一章讲述了无线网状网技术的仿真平台并给出了仿真实例,这是本书的一大亮点,为读者进一步研究无线网状网技术提供了有力工具。

本书内容全面,适合作为计算机、通信及电子工程专业的大学生、研究生及相关研究人员和工程技术人员的参考书。

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

无线网状网原理与技术 / 张勇, 郭达编著. —北京: 电子工业出版社, 2007.7

(现代通信网实用丛书)

ISBN 978-7-121-04650-6

I. 无… II. ①张… ②郭… III. 无线电通信—通信网 IV. TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 096940 号

责任编辑: 宋 梅

印 刷: 北京市天竺颖华印刷厂

装 订: 三河市金马印装有限公司

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: 787×980 1/16 印张: 19.25 字数: 431 千字

印 次: 2007 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 5 000 册 定价: 36.00 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 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

出版前言

通信行业正处在一个新的转折时期,无论是技术、网络、业务,还是运营模式都在经历着一场前所未有的深刻变革。从技术的角度来看,电路交换技术与分组交换技术趋于融合,主要体现为话音技术与数据技术的融合、电路交换与分组交换的融合、传输与交换的融合、电与光的融合。这将不仅使话音、数据和图像这三大基本业务的界限逐渐消失,也将使网络层和业务层的界限在网络边缘处变得模糊,网络边缘的各种业务层和网络层正走向功能上乃至物理上的融合,整个网络将向下一代融合网络演进,终将导致传统电信网、计算机网和有线电视网在技术、业务、市场、终端、网络乃至行业运营管理和政策方面的融合。从市场的角度来看,通信业务的竞争已达到了白热化的程度,各个通信运营商都在互相窥视着对方的传统市场。从用户的角度来看,各种新业务应运而生,从而使用户有了更多、更大的选择空间。但无论从哪个角度,在下一代的网络中,我们将看到三个世界:从服务层面上,看到一个 IP 的世界;从传送层面上,看到一个光的世界;从接入层面上,看到一个无线的世界。

在 IT 技术一日千里的信息时代,为了推进中国通信业的快速、健康发展,传播最新通信网络技术,推广通信网络技术与应用实践之经典案例,我们组织了一些当今正站在 IT 业前沿的通信专家和相关技术人员,以实用技术为主线,注重实际经验的总结与提炼,理论联系实际,策划出版了这套面向 21 世纪的《现代通信网实用丛书》。该丛书凝聚了他们在理论研究和实践工作中的大量经验和体会,以及电子工业出版社编书人的心血和汗水。丛书立足于现代通信中所涉及的最新技术和成熟技术,以实用性、可读性强为其自身独有特色,注重读者最关心的内容,结合一些源于通信网络技术实践的经典案例,就现行通信网络的结构、技术应用、网络优化及通信网络运营管理方面的问题进行了深入浅出的翔实论述。其宗旨是将通信业最实用的知识、最经典的技术应用案例奉献给业界的广大读者,使读者通过阅读本套丛书得到某种启示,在日常工作中有所借鉴。

本套丛书的读者群定位于 IT 业的工程技术人员、技术管理人员、高等院校相关专业的高年级学生、研究生,以及所有对通信网络运营感兴趣的人士。

在本套丛书的编辑出版过程中,我们受到了业界许多专家、学者的鼎力相助,丛书的作者们为之付出了大量的心血,对此,我们表示衷心的感谢!同时,也热切欢迎广大读者对本套丛书提出宝贵意见和建议,或推荐其他好的选题(E-mail: mariams@phei.com.cn),以帮助我们在未来的日子里,为广大读者及时推出更多、更好的通信网络技术类图书。

电子工业出版社

2005 年 1 月

序

近年来, 宽带无线移动通信网络得到了迅猛的发展。这种技术融合了计算机网络、Internet 和无线移动通信网络的各种最新成就, 能够为不同的人群提供灵活全面的服务。宽带网络的无线化和无线网络的宽带化沿各自技术体系演进, 推动了宽带无线移动通信事业的发展。

自组网源于计算机网络。经过近 30 年的发展, 该领域的研究成果逐渐从军用转到民用, 成为现代通信领域的重要技术之一。越来越多的普通人可以享受到这种技术带来的益处。近年来, 作为自组网的一种体现形式, 无线网状网技术在无线宽带通信领域备受瞩目, 这种关注首先来源于产业界。基于 IEEE 802.11 的无线网状网在世界各地广泛建网, 满足人们随时随地接入 Internet 的需求。众多国际知名的通信厂商和信息技术厂商开始提供无线网状网产品, 而无线网状网市场的兴起也促使一批中小企业快速成长起来。

这种繁荣也遇到了一些问题, 首先是设备厂商产品间的兼容性问题。市场快速发展刺激厂商快速推出自己的解决方案, 这些解决方案之间缺乏互操作性, 系统的互连互通成为一个严重的问题。因此, 标准化工作成为当前无线网状网领域的共同任务。除了无线局域网 Mesh 组网的标准化工作外, 在无线个域网和城域网方面的标准化工作也受到了重视。

无线网状网的组网形式有别于传统的蜂窝网结构。这种变化要求网络设计者和研究者改变传统的通信系统设计思想, 以创新的精神迎接新的挑战。无线网状网技术可以带来较高的频谱效率, 更广的通信覆盖范围, 降低了建网成本。这些优点吸引了国内外众多学者的参与热情, 成为学术界研究的热点。当前, 无线网状网技术正处于快速发展的阶段, 随着应用的更加深入和广泛, 必然会引起产业界和学术界的积极响应, 并会推出更多、更好的系统为广大用户服务。

本书在介绍自组网技术方案的同时, 对无线网状网标准化最新进展和成果给予了高度关注, 从理论与实践两方面进行了深入论述。本书的作者在无线移动通信领域中已做了不少研究、开发和应用工作。整个研究团队在无线网状网方面从不同角度做了大量理论和技术方面的工作。本书融进了作者对无线网状网研究的心得体会, 相信各位读者在全面了解无线网状网的相关理论和技术基础上, 结合自己的研究、开发和应用工作, 能够在本领域做出创新型的成果, 为我国在无线网状网领域赶上或超过国际先进水平做出贡献。

宋俊德

2007 年 5 月于北京邮电大学

前 言

毫无疑问, Internet 是 20 世纪人类最伟大的发明之一, 它彻底地改变了人们获取信息的方式。经过多年发展, Internet 已经成为人们生活必不可少的通信工具, 同时, 人们也产生了随时随地不受限制地使用 Internet 的需求。这种移动数据业务需求为 3G 系统和 IEEE 802.xx 系统提供了施展拳脚的舞台, 使无线宽带接入拥有了广阔的市场需求。

回顾历史, 20 世纪 70 年代, 美国出现分组无线网络 (Packet Radio Network), 这是无线自组网的雏形。与传统蜂窝网络不同的是, 无线自组网在组网建设时不需要实现搭设基站等通信基础设施, 它的通信方式是靠通信节点间的相互协作共同完成的。这种通信节点以无线、多跳方式迅速组建网络, 非常适用于军事及特殊的民用场合 (如灾难应急通信等), 吸引了很多研究机构的关注。30 多年来, 自组网技术逐渐成熟, 取得了丰硕的成果。

为将自组网技术引入到民用环境, 更好地服务公众, 众多学者付出了辛勤的劳动。在技术发展的进程中, 无线网状网 (Wireless Mesh Networks) 出现在人们视野中, 并成为研究的热点。近几年, 无线网状网的技术发展迅速, 在产业化方面更是取得了长足的进展, 一些国家和地区已经部署了大规模的实验网甚至商用网状网, 一些著名实验室纷纷设立无线网状网的研究项目, 一些大的通信公司也纷纷对无线网状网投入更多的研发力量, 并推出产品。

无线网状网可以建立在 IEEE 802.11, IEEE 802.15 和 IEEE 802.16 基础上。在产业化方面, 无线局域网技术走在了前列。目前已经建立了很多基于 IEEE 802.11 标准的无线网状网并投入商业运营。IEEE 802.11 网络室外最大覆盖范围大约 300 m 左右, 但是, IEEE 802.11 技术和无线网状网技术结合起来, 就可以把覆盖范围扩展到几英里 (1 mi=1.609 km), 使之可以具有城域网的覆盖能力。目前, IEEE 802.15.5, IEEE 802.11s 和 IEEE 802.16j 都在致力于相关规范的标准化工作, 其中, 作为固定无线宽带接入网规范的 IEEE 802.16-2004 标准更是第一次把网状网技术列入其中。

本书对无线网状网的原理和关键技术进行了深入细致的阐述, 便于读者对无线网状网形成系统全面的知识体系, 作者还结合国内外在无线网状网方面的最新研究方向和研究成果, 阐述了无线网状网待解决的问题及研究现状。

全书分为 9 章。第 1 章概述了无线网状网技术, 对自组网发展历史及无线网状网技术标准化和产业化现状进行了介绍。第 2 章从标准化的角度系统地阐述了无线个域网、局域网和城域网中无线网状网 MAC 层技术, 并对无线网状网自适应速率控制机制进行了介绍。第 3 章分析了无线网状网中的典型路由协议, 并对近年来学术界提出的一些改进路由协议进行了介绍。第 4 章主要对自组网容量和公平性进行了分析, 以帮助读者更好地理解无线网状网特性。第 5 章介绍了跨层设计的原理及其在无线网状网中的使用。第 6 章概述了无

线网状网的 QoS 保证需要面临的问题、基本原则及框架, 分析了 QoS 保障模型中的 MAC、路由和信令模块的功能及其实现。与 IEEE 802.11e 和 IEEE 802.16 中有关的 QoS 保障机制也将这一章予以阐述。第 7 章主要讲述了几种自组网与蜂窝网整合系统, 这几种典型的整合系统, 有助于读者对无线网状网原理及设计的理解。第 8 章介绍了无线网状网中的多信道技术, 包括多信道 MAC、路由技术和多信道无线网状网体系结构。第 9 章以实例讲解的方式, 讲述了如何在 NS2 仿真平台上进行无线网状网 MAC 层 / 网络层协议的仿真。

在本书的编写当中, 考虑到了不同层次读者的需要, 书中的每一个部分都从基本原理入手, 由浅到深, 循序渐进, 直至分析关键问题, 剖析具体算法, 读者可以根据自身需要, 有选择性地阅读。本书可作为初学者的指导书, 也适合作为通信及电子专业、计算机应用和计算机网络等相关专业的本科生和研究生的教材或阅读材料, 还可作为以上相关专业的工程技术人员和研究人员的工具书。

本书由北京邮电大学 PCN&CAD 中心组织编写。参加编写审校的有张勇博士、郭达博士、由磊博士, 以及王一凡、李茜、蔡杰、毛安峰、罗伟和彭海兰等同志。其中, 第 1、2、4、7 章由张勇负责编写, 第 3、5、8 章由郭达负责编写, 第 6 章由由磊和李茜负责编写, 第 9 章由王一凡等人负责编写。此外, 王一凡、李茜、蔡杰、毛安峰、罗伟和彭海兰做了大量的资料收集和整理工作。

由于时间仓促, 作者水平有限, 加上技术的飞速发展, 书中难免有疏漏甚至错误之处, 恳请读者批评指正。

编著者

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 概述	(2)
1.1.1 引言	(2)
1.1.2 自组网与蜂窝网技术	(4)
1.1.3 无线网状网的特点	(7)
1.1.4 无线网状网应用分析	(8)
1.2 无线网状网结构	(9)
1.2.1 基础设施的网状网结构	(10)
1.2.2 客户机结构	(10)
1.2.3 混合式结构	(11)
1.3 无线网状网的标准化	(12)
1.3.1 个域网中的无线网状网 IEEE 802.15.5	(12)
1.3.2 扩展无线局域网的 IEEE 802.11s	(13)
1.3.3 WiMAX 中的网状网	(14)
1.4 无线网状网典型解决方案	(15)
1.4.1 摩托罗拉公司解决方案	(15)
1.4.2 微软公司解决方案	(15)
1.4.3 北电无线 Mesh 解决方案	(16)
1.4.4 美国阿德里亚公司技术方案	(16)
参考文献	(17)
第 2 章 MAC 层协议	(19)
2.1 IEEE 802.11 MAC 层协议	(20)
2.1.1 IEEE 802.11 DCF	(20)
2.1.2 IEEE 802.11 PCF	(22)
2.1.3 隐藏终端与暴露终端问题	(24)
2.1.4 退避算法	(25)
2.2 IEEE 802.11s MAC 层协议	(27)
2.2.1 WLAN Mesh 概述	(27)
2.2.2 拓扑形成和邻居发现	(29)
2.2.3 网络互连	(30)

2.2.4	安全性	(30)
2.2.5	扩展的二层路由	(30)
2.2.6	增强 MAC 协议	(32)
2.2.7	省电模式	(33)
2.3	IEEE 802.16 Mesh 网络	(34)
2.3.1	IEEE 802.16 Mesh 概述	(34)
2.3.2	IEEE 802.16 Mesh 帧结构	(35)
2.3.3	调度策略	(38)
2.3.4	网络接入与初始化	(42)
2.3.5	IEEE 802.16j 简介	(43)
2.4	IEEE 802.15.5 MAC 层协议	(46)
2.4.1	IEEE 802.15.5 功能需求	(46)
2.4.2	IEEE 802.15.5 的关键技术	(47)
2.4.3	IEEE 802.15 Mesh 中的特殊问题	(50)
2.4.4	应用	(50)
2.5	无线网状网中的自适应速率控制	(51)
2.5.1	自动降速 (ARF)	(53)
2.5.2	基于接收端的自适应速率 (RBAR)	(54)
2.5.3	机遇式自适应速率 (OAR)	(58)
	参考文献	(62)

第 3 章 路由协议

3.1	概述	(66)
3.2	路由技术关键问题	(66)
3.3	无线网状网路由协议的衡量	(67)
3.4	先应式路由协议	(68)
3.4.1	DSDV	(68)
3.4.2	WRP 路由协议	(73)
3.5	按需路由协议	(79)
3.5.1	AODV 协议	(80)
3.5.2	DSR 协议及其演进	(88)
3.6	其他路由协议	(100)
3.6.1	多速率路由协议	(100)
3.6.2	功率感知路由判据	(102)
	参考文献	(105)

第 4 章 无线网状网性能分析	(107)
4.1 自组网容量分析	(108)
4.1.1 概述	(108)
4.1.2 Ad Hoc 网络容量	(109)
4.1.3 有固定接入点的自组网容量	(115)
4.2 无线网状网容量分析	(118)
4.2.1 IEEE 802.11 理论最大吞吐量	(118)
4.2.2 网状网节点吞吐量分析	(121)
4.2.3 小结	(127)
4.3 网络公平性	(127)
4.3.1 公平性问题的提出	(127)
4.3.2 影响网络公平性的因素	(130)
4.3.3 解决方案	(132)
参考文献	(138)
第 5 章 无线网状网跨层设计	(141)
5.1 跨层设计的背景	(142)
5.1.1 OSI 的分层模型	(142)
5.1.2 无线网络中跨层设计的必要性	(145)
5.1.3 无线网状网中跨层设计的要求	(145)
5.1.4 跨层设计的局限性	(147)
5.1.5 跨层设计带来的问题	(148)
5.2 跨层设计的方法分类	(149)
5.3 跨层设计实例	(152)
5.3.1 跨层路由设计	(152)
5.3.2 跨层能量保护机制实例	(155)
参考文献	(157)
第 6 章 无线网状网中的 QoS 保证	(158)
6.1 无线网状网 QoS 保证概述	(159)
6.1.1 QoS 的概念	(159)
6.1.2 Internet 的 QoS 概述	(159)
6.1.3 无线网状网 QoS 保证的必要性及面临的挑战	(160)
6.2 无线网状网 MAC 层的 QoS 保证机制	(162)
6.2.1 IEEE 802.11 中 MAC 层 QoS 保证的问题	(162)

6.2.2	IEEE 802.11e 标准的 QoS 机制	(163)
6.2.3	IEEE 802.16 的 QoS 机制	(166)
6.3	无线网状网的网络层的 QoS 保证机制	(177)
6.3.1	无线网状网 QoS 路由机制面临的问题	(177)
6.3.2	无线网状网的 QoS 路由保证策略	(178)
6.3.3	无线网状网 QoS 路由协议举例	(178)
6.4	无线网状网的 QoS 保证模型	(188)
6.4.1	INSIGNIA	(189)
6.4.2	FQMM	(192)
6.4.3	SWAN	(194)
	参考文献	(197)
第 7 章	自组网与蜂窝网的整合	(199)
7.1	概述	(200)
7.2	多跳无线接入蜂窝网	(203)
7.3	机会驱动多址接入 (ODMA)	(204)
7.3.1	ODMA 的概念	(204)
7.3.2	ODMA 基础结构配置	(205)
7.4	iCAR 系统	(207)
7.5	MADF 系统	(210)
7.5.1	基本思想	(210)
7.5.2	系统操作	(211)
7.6	多跳中继协作 MIMO	(211)
7.6.1	协作 MIMO 的基本概念	(211)
7.6.2	协作 MIMO 的传输方式	(212)
	参考文献	(214)
第 8 章	无线网状网中的多信道技术	(215)
8.1	信道分配策略	(216)
8.2	多信道带来的问题	(218)
8.3	多信道 MAC 协议	(219)
8.4	IEEE 801.11s 中 WLAN 网状网的多信道	(222)
8.4.1	射频信道接口和单一信道图	(222)
8.4.2	公共信道框架	(223)
8.4.3	公共信道选择	(224)

8.5 基于 IEEE 802.11 的多信道无线网状网体系结构与算法 Hyacinth	(225)
8.5.1 Hyacinth 体系结构介绍	(225)
8.5.2 Hyacinth 模型中的路由算法和信道分配	(226)
参考文献	(230)
第 9 章 无线网状网仿真设计	(232)
9.1 NS-2 网络仿真器	(233)
9.1.1 NS-2 介绍	(233)
9.1.2 NS-2 仿真原理	(237)
9.1.3 NS-2 的扩展: 添加新协议	(240)
9.2 增强型网络仿真器 TeNS	(242)
9.2.1 TeNS 对 NS-2 的改进	(242)
9.2.2 TeNS 分析	(243)
9.2.3 TeNS 实例 (信道间干扰)	(246)
9.3 仿真分析需要的相关工具	(248)
9.3.1 数据处理工具 gawk	(248)
9.3.2 数据处理工具 perl	(252)
9.3.3 图形绘制工具 gnuplot	(256)
9.3.4 图形绘制工具 xgraph	(262)
9.3.5 程序调试工具 gdb	(265)
9.4 MESH 仿真实例	(267)
9.4.1 MESH 仿真实例: 吞吐量分析	(267)
9.4.2 MESH 仿真实例: AODV 路由协议	(273)
9.4.3 MESH 仿真实例: BEB 及 MILD 退避算法	(276)
9.4.4 MESH 仿真实例: 自适应调制	(280)
参考文献	(285)
附录 A 缩略语	(287)



第1章 绪论

本章要点

- 无线通信网络概况
- 自组网的演进
- 无线网状网结构
- 无线网状网标准化
- 技术应用



本章导读

本章介绍了自组网的演进和无线网状网的历史溯源,描述了无线网状网的网络结构和特点,并对多个国际标准化组织在无线网状网技术方面的工作进行了简要概括,最后介绍了一些无线网状网解决方案。

1.1 概 述

1.1.1 引言

在过去的 30 年里,移动通信和 Internet 技术无疑是信息通信领域的两大发展热点。近年来,无线移动通信技术取得了长足的发展,移动通信给人们的生活方式带来了深刻的变革,人们正在向着 5W(任何地方,任何时间,任何人为任何原因进行任何形式的通信,Where, When, Who, Why, What)的目标不断迈进。同时,作为 20 世纪人类最伟大的发明之一的 Internet 也彻底地改变了人们获取信息的方式,经过多年发展,Internet 已经成为人们生活必不可少的通信工具,人们也产生了随时随地不受限制地使用 Internet 的需求。

以中国市场为例,《第十七次中国互联网发展状况统计报告》显示,截至 2005 年 12 月 31 日,我国上网用户总数突破 1 亿人,为 1.11 亿人,其中宽带上网人数达到 6 430 万人。目前,我国网民数和宽带上网人数均位居世界第二。信息产业部统计资料称,2006 年 1—2 月份,我国移动电话用户 40 407.2 万户,移动分组数据用户达到 8 027.1 万户。移动分组数据用户在移动电话用户中所占比重从 2005 年年底的 18.0% 上升到 19.9%。由此我们可以看出,人们对移动通信和宽带接入的需求持续高速增长,市场迫切希望移动通信宽带化和宽带通信移动化的产品问世,从而解决人们对这两类信息技术的需求。

在技术与市场推动力的作用下,新技术、新方法层出不穷。在无线通信技术世界里,国际电子与电气工程师协会(Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE)发布的 IEEE 802 系列标准为无线宽带通信技术的发展做出了卓越的贡献。IEEE 802.11, IEEE 802.15, IEEE 802.16 和 IEEE 802.20 等工作组陆续发布新的个域网、局域网、城域网和广域网上的无线通信标准,提供更高的传输速率,更广的覆盖范围,更廉价的网络服务。

在移动宽带 Internet 技术方面,第三代移动通信系统无疑是深负众望的一项技术。对更高速率数据业务和更好的频谱利用率的迫切需求,是第三代移动通信发展的主要动力。它最初的设计目标是移动或步行时数据传输速率为 384 kbps,在静止时为 2 Mbps。这是 10 年前人们对宽带通信网的期望,在现在看来传输速率却严重不足。习惯了高速宽带数据服务的人们很难再忍受拨号上网的速率和昂贵的价格。因此,2005 年,3GPP 开始了 3G

的长期演进计划 (Long Term Evolution, LTE) 的研究。3GPP LTE 项目致力于开发高速宽带无线通信系统。该系统可以在 20 MHz 带宽下提供下行 100 Mbps、上行 50 Mbps 的峰值速率, 支持 100 km 半径的小区覆盖, 为 350 km/h 高速移动用户提供不低于 100 kbps 的接入服务。相应地, 3GPP2 也启动了空中接口演进技术 (Air Interface Evolution, AIE) 的研究。但 LTE/AIE 系统标准制定和系统研发还需要经历漫长的等待。与此同时, IEEE 802 工作组的表现越来越吸引人们的关注。1999 年, IEEE 802.11 工作组发布了无线局域网的标准, 经过多年发展已经形成了 IEEE 802.11a/b/g 等十多项系列标准如表 1.1 所示, 传输速率从 1 Mbps 逐渐提高到 54 Mbps。正在制定中的 IEEE 802.11n 标准将目标传输速率制定到 100 Mbps 以上。在市场上, 使用 IEEE 802.11x 系列标准的 WiFi (无线高保真) 系统占据了宽带无线接入系统的主流市场。

表 1.1 IEEE 802.11 系列标准

标 准	负责的技术领域
IEEE 802.11a	5 GHz 频段 OFDM 技术
IEEE 802.11b	2.4 GHz 频段直接序列扩频
IEEE 802.11d	IEEE 802.11b 用于其他频段
IEEE 802.11e	增强 IEEE 802.11 MAC 机制, 提供有服务质量保证的通信、增强安全和认证机制
IEEE 802.11f	访问点间协议 (Inter-Access Point Protocol, IAPP), 规定访问点间必要的交换信息, 以支持 IEEE 802.11f 分布式系统功能, 并使不同厂商的访问点兼容
IEEE 802.11g	2.4 GHz 频段 OFDM, PBCC (可选)
IEEE 802.11h	比 IEEE 802.11a 更好地控制发送功率和选择无线信道
IEEE 802.11i	增强的安全和认证机制
IEEE 802.11j	使 IEEE 802.11a 和 HiperLAN2 网络能够互通
IEEE 802.11k	定义无线资源管理, 向高层提供无线和网络测量接口
IEEE 802.11n	可以提供更高速率的空中接口标准 (不低于 100 Mbps)
IEEE 802.11r	研究 AP 之间快速切换的机制 (Fast Roaming)
IEEE 802.11s	研究 IEEE 802.11 分布式系统的自组网协议
IEEE 802.11u	研究和其他外部网络互连的机制

IEEE 802.11 系列标准为无线局域网系统制定, 典型传输范围在 300 m 范围内。在处于楼宇和墙壁遮挡等非视距传输的地方覆盖范围更短。人们迫切需要能够在城域或广域范围内使用的无线宽带接入手段, 因此, IEEE 802.16 和 IEEE 802.20 标准的制定备受人们的追捧。

IEEE 802.16 系列标准为无线宽带城域网设计了空中接口技术, 并因此受到 WiMAX 组织 (World Interoperability for Microwave Access, 全球微波互操作性) 的支持, 而常常被

称为 WiMAX 标准。IEEE 802.16—2004 系统覆盖的范围最大可达 50 km, 可提供最高达 70 Mbps 的数据传输率。IEEE 802.16—2005 还支持车速移动下的数据通信。截至 2007 年 6 月, IEEE 802.16 标准系列目前包括 6 个已发布的标准和 6 个正在制订中的标准, 如表 1.2 所示。

表 1.2 IEEE 802.16 系列标准

标 准 号	负责的技术领域	发 布 日 期
IEEE 802.16	10~66 GHz 固定宽带无线接入系统空中接口标准	2001 年
IEEE 802.16a	2~11 GHz 固定宽带无线接入系统空中接口标准	2003 年
IEEE 802.16c	10~66 GHz 固定宽带无线接入系统关于兼容性的增补文件	2002 年
IEEE 802.16—2004	固定宽带无线接入系统空中接口标准 (10~66 GHz 及 <11 GHz)	2004 年
IEEE 802.16—2005	固定和移动宽带无线接入系统空中接口标准 (<6 GHz)	2005 年
IEEE 802.16f	固定宽带无线接入系统空中接口 MIB 要求	2006 年
IEEE P802.16g	固定和移动宽带无线接入系统空中接口管理平面流程和服务要求	未完成
IEEE P802.16h	免执照频段的相关增补	未完成
IEEE P802.16i	移动宽带无线接入系统空中接口 MIB 要求	未完成
IEEE P802.16j	移动多跳中继的相关增补	未完成
IEEE P802.16k	修正 IEEE 802.1D 以支持 IEEE 802.16 桥接	未完成
IEEE P802.16m	IEEE 802.16 增强空中接口	未完成

IEEE 802.20 工作组成立于 2002 年 12 月, 其目标在于为 IP 业务制定出一套基于包的空中接口规范, 设计初衷就在于与传统移动通信技术的竞争。IEEE 802.20 规范全称为移动宽带无线接入系统 (Mobile Broadband Wireless Access, MBWA), 标准的基本目标是提供全球统一平台, 是对基于真正开放标准而不是专有的宽带无线接入系统的互操作性规范。该标准被认为是提供移动业务平台的另一个解决方案, 是一种可以和 3G 及 2.5G 平台媲美的广带移动接入技术。IEEE 802.20 系统运行在 3.5 GHz 以下授权频段, 在时速 250 km/h 的情况下, 可实现下行 1 Mbps 以上的移动通信能力, 可以应用在铁路、地铁, 以及高速公路和卫星通信等高速移动的环境中。

1.1.2 自组网与蜂窝网技术

IEEE 802.16 和 IEEE 802.20 技术带给人们美好的应用想象。然而, IEEE 802.16 技术的发展并不顺利, 其市场化进程触动了传统电信设备制造商和运营商的利益, 面临巨大的竞争压力。第三代移动通信系统耗费了通信行业数以万亿计美元的资金投入, 尚没有进入回报期, 如何投入研发和运营另一套无线宽带通信系统是业界反复讨论的话题。而 IEEE 802.20 系统的标准化进程更是受到竞争的压力, 其工作组一度停止标准制定, 而且, IEEE

802.20 的支持厂家较少, 完成标准制定并进入市场接受考验还需要较长的路要走。

在无线宽带市场竞争纷乱的格局中, 一种新型的网络技术悄然浮上水面, 开始发挥它巨大的作用并逐渐占领市场, 这就是无线网状网 (Wireless Mesh Networks, WMNs) 技术。确切地说, 无线网状网技术并不是和第三代移动通信系统、WiFi、WiMAX 和 MBWA 对等的技术系统, 它是传统组网方式的变革, 并由此变革给传统网络技术带来新的特性和新的需要解决的问题。

所谓无线网状网, 是指通信节点与电信基础设施之间通信不是传统的一跳关系, 而是通过邻近节点的多跳中继后接入网络。说到无线网状网, 就不能不提到 Ad Hoc。“Ad Hoc”一词源于拉丁语, 意思为“特别网”, 国内一般翻译为“自组网”或“多跳网络”。移动 (多跳) Ad Hoc 网络 (Mobile Ad Hoc Network, MANET) 是由众多移动节点通过无线方式连接的集合。大部分关于 MANET 的在研项目都是由军事或特殊的民用需求 (如应急通信和灾难恢复等) 驱动。Ad Hoc 网络是一种没有有线基础设施支持的移动网络, 网络中的节点均由移动主机构成。Ad Hoc 网络最初应用于军事领域, 它的研究起源于战场环境下分组无线网数据通信项目。由于无线通信和终端技术的不断发展, Ad Hoc 网络在民用环境下也得到了发展, 如需要在没有有线基础设施的地区进行临时通信时, 可以很方便地通过搭建 Ad Hoc 网络实现。

Ad Hoc 网络的应用范围很广, 总体上来说, 它可以用于以下场合:

- ① 没有有线通信设施的地方, 如没有建立硬件通信设施或有线通信设施遭受破坏;
- ② 需要分布式特性的网络通信环境;
- ③ 现有有线通信设施不足, 需要临时快速建立一个通信网络的环境;
- ④ 作为生存性较强的后备网络。

Ad Hoc 网络技术的研究最初是为了满足军事应用的需要, 军队通信系统需要具有抗毁性、自组性和机动性。在战争中, 通信系统很容易受到敌方的攻击, 因此, 需要通信系统能够抵御一定程度的攻击。若采用集中式的通信系统, 一旦通信中心受到破坏, 将导致整个系统的瘫痪。分布式的系统可以保证部分通信节点或链路断开时, 其余部分还能继续工作。在战争中, 战场很难保证有可靠的有线通信设施, 因此, 通过通信节点自己组合, 组成一个通信系统是非常有必要的。此外, 机动性是部队战斗力的重要部分, 这要求通信系统能够根据战事需求快速组建和拆除。Ad Hoc 网络满足了军事通信系统的这些需求。

Ad Hoc 网络采用分布式技术, 没有中心控制节点的管理, 当网络中某些节点或链路发生故障, 其他节点还可以通过相关技术继续通信。Ad Hoc 网络由移动节点自己自由组合, 不依赖于有线设备, 因此, 具有较强的自组性, 非常适合战场的恶劣通信环境。Ad Hoc 网络建立简单、具有很高的机动性。目前, 一些发达国家为作战人员配备了尖端的个人通信系统, 在恶劣的战场环境中, 很难通过有线通信机制或移动 IP 机制来完成通信任务, 但可以通过 Ad Hoc 网络来实现。因此, 研究 Ad Hoc 网络对军队通信系统的发展具有重要的应用价值和长远意义。