

现代 *移动* 通信技术丛书

Ad Hoc

网络技术

郑少仁 王海涛 赵志峰 米志超 黎 宁 著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

现代移动通信技术丛书

Ad Hoc 网络技术

郑少仁 王海涛 赵志峰
米志超 黎 宁 著

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

Ad Hoc 网络技术 / 郑少仁等 著. —北京: 人民邮电出版社, 2005.1
(现代移动通信技术丛书)

ISBN 7-115-12863-4

I. A... II. 郑... III. 移动通信—通信网 IV. TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 134317 号

内 容 简 介

本书全面介绍移动通信领域的最新技术——Ad Hoc 网络技术, 并紧密围绕 Ad Hoc 网络的无中心、自组织和自由移动等特点, 阐述和分析这种无基础通信设施支持的无线通信网络技术优势、存在问题、解决思路 and 今后面临的挑战, 重点介绍 Ad Hoc 网络的体系结构、信道接入、路由、分簇、功率控制、QoS 保障以及网络应用和具体实现等问题。

本书作者在通信网络领域具有丰富的教学、科研实践经验, 对 Ad Hoc 网络技术的各个相关领域进行过长期深入的研究, 本书的大部分内容是这些研究的成果, 其中许多来自相应的原创论文。作者及所在的研究中心在 Ad Hoc 网络领域承担过许多科研项目, 相关的研究成果也在本书中得到引用。

本书将迅速发展的 Ad Hoc 网络技术同基本原理结合起来, 既深入浅出地介绍 Ad Hoc 网络各个技术方面的基本概念, 又比较深入地介绍了相关的技术内涵。

本书可作为高等院校通信工程类、电子信息及计算机应用工程类本科高年级学生和研究生教材或参考书, 也可供高校教师和相关领域的工程技术人员阅读。

现代移动通信技术丛书

Ad Hoc 网络技术

- ◆ 著 郑少仁 王海涛 赵志峰 米志超 黎宁
责任编辑 梁凝
- ◆ 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>
读者热线 010-67129258
北京鸿佳印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 18.25
字数: 446 千字 2005 年 1 月第 1 版
印数: 1—4 000 册 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-12863-4/TN · 2372

定价: 32.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

序 言

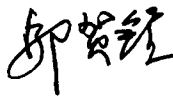
无线自组织网络 (Ad Hoc) 是当前无线通信领域一种新的、正在发展的网络技术, 它正在迅速地从军事通信渗透到相关的民用通信领域。

Ad Hoc 网络的特点是可以没有常规的基础设施支持的情况下提供灵活方便的通信, 这种技术拓宽了移动通信的应用领域, 具有广阔的发展前景。在因发生了重大自然灾害而使固定的通信网络设施被损毁或无法正常工作时, 或当处于偏远或野外地区工作而无法依赖固定或预设的网络设施进行通信时, Ad Hoc 网络的单独组网能力和自组织特点, 是这些场合下通信的唯一或最佳的选择, 特别是对军事应用领域具有非凡的意义。

本书作者是解放军理工大学通信工程学院 (原南京通信工程学院) 的几位教授和博士。解放军理工大学通信工程学院是国内率先研究 Ad Hoc 网络技术的单位之一。作者自 1998 年以来, 对 Ad Hoc 网络的体系结构、信道接入、路由选择、分簇算法、功率控制等课题进行了广泛深入的研究, 取得了丰硕的研究成果; 同时与国内信息产业的有关厂所合作, 共同承担 Ad Hoc 网络应用领域相关项目的研究和设备的开发, 对 Ad Hoc 网络及其应用中涉及的许多关键技术和实际应用问题有深入的了解, 拥有丰富的实践经验。本书是作者多年来对 Ad Hoc 网络技术研究成果的结晶。

本书以 Ad Hoc 网络的无中心、自组织和自由移动等特点为中心, 阐述和分析这种网络技术的优势、存在的问题、解决思路和面临的挑战。重点介绍和分析 Ad Hoc 网络的体系结构、分簇算法、路由协议、信道接入协议、功率控制以及 QoS 保障等问题。由于 Ad Hoc 网络涉及到的技术和领域很多, 本书也对其他相关的问题进行了探讨和介绍。

国内对 Ad Hoc 网络技术的研究起步较晚, 专门而系统性介绍该技术的书籍还很少。本书是一本系统介绍 Ad Hoc 网络技术的专业书籍, 更可喜的是本书深入浅出, 对于想了解或学习 Ad Hoc 网络技术的各个层次的科技人员和工程技术人员, 都是一本难得的参考书籍。相信本书的出版会吸引更多的有志之士投身 Ad Hoc 网络技术的研究, 促进这一技术在我国的应用和发展。



中国工程院院士
2004 年 11 月

前 言

20 世纪 90 年代末期以来,在无线通信领域一种新的网络技术正在迅速发展,并很快从军事通信渗透到相关的各个民用通信领域,这就是无线自组织多跳移动通信网络——Ad Hoc 网络技术。

Ad Hoc 网络可以在没有基础设施支持的情况下提供灵活方便的通信,这种技术拓宽了移动通信的应用领域,具有光明的前景。特别是在军事应用领域,或在发生了地震、水灾、火灾等重大灾难后固定的通信网络设施可能全部损毁或无法正常工作的地区,或当处于偏远或野外地区(包括野外科考、边远矿山作业、边远地区执行任务分队的通信等)无法依赖固定或预设的网络设施进行通信时,就需要 Ad Hoc 网络这种不依赖任何固定网络设施又能快速布设的自组织网络技术。它能够在这些恶劣和特殊的环境下提供通信支持,对抢险和救灾工作具有非凡的意义。Ad Hoc 网络技术具有单独组网能力和自组织的特点,是上述这些场合通信的唯一或最佳的选择。

Ad Hoc 网络技术已成为当前通信领域研究的热点,但是国内系统介绍该技术的书籍还很少,国外这方面的书籍也不多。为此有必要编写一本旨在对 Ad Hoc 网络技术进行全面而系统介绍的专业书籍,以满足相应读者的需求,同时也为促进 Ad Hoc 网络技术在国内的研究和应用尽一点微薄之力。

由于所处环境和研究任务的需要,解放军理工大学通信工程学院全军交换技术与 ATM 中心自 1998 年以来,在国内率先对 Ad Hoc 网络技术进行了大量研究。该中心一方面指导多名博士和硕士研究生对 Ad Hoc 网络的体系结构、信道接入、路由选择、分簇算法、功率控制等课题进行了广泛深入的研究,取得了丰硕的研究成果,在电子学报、通信学报等核心刊物及国际学术会议上发表了数十篇学术论文,在业界引起了广泛的反响;同时与信产部 28 所、7 所、750 厂等单位合作,共同展开了 Ad Hoc 网络应用领域相关项目的研究,对 Ad Hoc 网络及其应用中所涉及的许多关键技术和实际应用问题有了更加深入的了解,这些工作实践为本书的编写奠定了良好的基础。

本书将深入介绍无线移动通信领域的新技术——Ad Hoc 网络技术。

本书将紧密围绕 Ad Hoc 网络的无中心、自组织和自由移动等显著特点来阐述和分析这种技术的优势、存在的问题、解决思路和今后面临的挑战。由于 Ad Hoc 网络涉及到的技术和领域很多,本书将重点介绍和分析 Ad Hoc 网络的体系结构、分簇算法、路由协议、信道接入协议、功率控制以及 QoS 保障等问题,同时也对其他相关的问题进行探讨和介绍。

本书第 1 章将对 Ad Hoc 网络的产生、定义、特点及其应用场合进行简单的介绍,并介绍 Ad Hoc 网络研究的主要问题,以及目前的研究重点和方向。第 2 章将介绍 Ad Hoc 网络的体系结构,给出 Ad Hoc 网络的协议栈,Ad Hoc 网络体系结构的设计方法和设计策略。第 3 章将介绍 Ad Hoc 网络的信道接入协议。分析 Ad Hoc 网络信道接入协议面临的特殊问题——隐终端问题和暴露终端问题,并分别对典型的单信道、双信道和多信道接入协议进行较为深

入的介绍。第4章将介绍 Ad Hoc 网络的路由协议。重点介绍几种比较典型的表驱动路由协议和按需路由协议的工作原理和特点,并对组播和组播路由进行介绍。第5章将阐述和分析 Ad Hoc 网络的分簇结构和分簇算法。第6章将讨论 Ad Hoc 网络的另一个重要问题——节能问题。第7章将对 Ad Hoc 网络中的 QoS 保障问题进行较全面的阐述,讨论和分析现有机制的应用可行性、面临的问题及改进。第8章主要分析和讨论 Ad Hoc 网络的应用及其相关问题。第9章介绍 Ad Hoc 网络的实现和应用中的一些关键技术和问题。第10章总结了 Ad Hoc 网络的发展脉络和应用前景。

本书的读者对象为在校的大学本科和研究生、高校教师和相关领域的工程技术人员和技术管理人员。

本书由南京邮电学院郑少仁教授主持编写,参加编写的有解放军理工大学通信工程学院的赵志峰、王海涛、米志超博士和二炮研究院的黎宁博士。第1、2、3、10章由赵志峰编写,第5、7、8、9章由王海涛编写,第4章由米志超编写,第6章由黎宁编写,郑少仁负责全书统稿。本书的作者在通信网络领域具有丰富的教学、科研实践经验,对 Ad Hoc 网络技术的各个相关领域进行过长期深入的研究,本书的大部分内容是这些研究所得的成果,其中许多来自相应的博士论文。作者及所在的研究中心在 Ad Hoc 网络和战术互联网领域承担过许多科研项目,相关的研究成果也在本书中得到引用。

本书在编写过程中,得到南京邮电学院和解放军理工大学通信工程学院领导的大力支持,田畅教授对相关章节的内容进行了认真的修改,并提供了大量宝贵的参考资料。

由于通信网络技术发展迅速,Ad Hoc 网络本身又是比较新的技术领域,许多问题尚无定论,加之作者水平有限,书中难免存在错误,敬请同行及读者批评指正。

作者

2004年10月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 Ad Hoc 网络概述	1
1.1.1 Ad Hoc 网络的产生	1
1.1.2 Ad Hoc 网络的定义	2
1.1.3 Ad Hoc 网络的特点	2
1.1.4 Ad Hoc 网络的应用场合	4
1.2 Ad Hoc 网络研究的主要问题	6
1.2.1 进行相关研究的主要大学和组织	6
1.2.2 研究重点和研究方向	7
1.3 Ad Hoc 网络面临的技术挑战	8
1.3.1 多跳共享无线广播信道	8
1.3.2 无线多跳路由	9
1.3.3 功率控制和节能	10
1.3.4 安全问题	11
1.3.5 网络管理	12
1.3.6 服务质量保证	13
1.4 本书主要内容介绍	13
第 2 章 Ad Hoc 网络的体系结构	16
2.1 节点结构	16
2.2 网络结构	16
2.3 Ad Hoc 网络的协议栈	19
2.4 Ad Hoc 网络体系结构的跨层设计方法	20
2.5 Ad Hoc 网络体系结构的设计策略	23
2.6 Ad Hoc 网络的 QoS 体系结构	24
2.6.1 概述	24
2.6.2 现有的一些用于移动无线网络的 QoS 体系结构	24
2.6.3 一种适用于 Ad Hoc 网络的 QoS 体系结构——FQAM	25
第 3 章 Ad Hoc 网络的信道接入协议	32
3.1 信道接入协议简介	32
3.2 面临的问题	32
3.2.1 Ad Hoc 网络的信道共享方式	32
3.2.2 隐终端和暴露终端问题	33

3.2.3	节点移动的影响	35
3.3	信道接入协议应具备的特性	35
3.4	信道接入协议的分类	36
3.4.1	基于单信道的接入协议	36
3.4.2	基于双信道的接入协议	37
3.4.3	基于多信道的接入协议	37
3.5	单信道接入协议	37
3.5.1	ALOHA	37
3.5.2	CSMA	37
3.5.3	MACA	38
3.5.4	MACAW	38
3.5.5	IEEE 802.11 DCF	39
3.5.6	FAMA	39
3.6	双信道接入协议	39
3.6.1	双信道的优势	40
3.6.2	基本的双信道接入协议	40
3.6.3	报文监听的 DCMA 协议	41
3.6.4	基于载波监听的 DCMA 协议	51
3.7	多信道接入协议	58
3.7.1	多信道 CSMA	58
3.7.2	DCA-PC	59
3.8	信道接入协议的退避算法	60
3.8.1	二进制指数退避算法	60
3.8.2	倍数增线性减算法	61
3.8.3	退避计数器广播	61
3.8.4	计数器值扩散的对策	61
3.9	信道接入协议的发展	62
第 4 章	Ad Hoc 网络的路由协议	64
4.1	概述	64
4.1.1	Ad Hoc 网络与传统移动通信系统在路由问题上的区别	64
4.1.2	传统 Internet 网络路由协议	65
4.2	Ad Hoc 网络路由协议的分类	66
4.2.1	表驱动路由协议和按需路由协议	67
4.2.2	平面式路由协议和分簇式路由协议	68
4.2.3	评价 Ad Hoc 网络路由协议的标准	68
4.2.4	各类路由协议之间的性能比较	69
4.3	几种典型的 Ad Hoc 网络路由协议	70
4.3.1	DSDV (Destination-Sequenced Distance-Vector Routing) 路由协议	71

4.3.2	DSR (Dynamic Source Routing) 路由协议	71
4.3.3	LAR (Location aided routing) 路由协议	74
4.3.4	AODV (Ad-hoc On-Demand Distance Vector Algorithm) 协议	77
4.3.5	ZRP 路由协议 (Zone Routing Protocol)	79
4.4	Ad Hoc 网络中路由选择的 QoS 问题	80
4.4.1	Ad Hoc 网络的 QoS 问题	81
4.4.2	Ad Hoc 网络 QoS 路由问题的难点	82
4.4.3	现有的 Ad Hoc 网络 QoS 路由协议	82
4.5	Ad Hoc 网络组播及组播路由问题	85
4.5.1	固定网络中的组播技术	86
4.5.2	几种典型的 Ad Hoc 网络组播路由协议	87
4.5.3	Ad Hoc 网络组播路由协议的比较	90
第 5 章	Ad Hoc 网络的分簇结构和分簇算法	93
5.1	概述	93
5.2	分簇算法的概念和目标	93
5.2.1	相关定义和说明	93
5.2.2	基本概念和目标	96
5.3	Ad Hoc 网络中分簇算法的分类和比较	97
5.3.1	基于节点 ID 的分簇算法	97
5.3.2	最高节点度分簇算法	98
5.3.3	最低节点移动性分簇算法	98
5.3.4	考虑簇头负载和簇稳定度的分簇算法	99
5.3.5	考虑节点能量耗费、适用于传感网络的分簇算法	99
5.3.6	无簇头分簇算法	100
5.3.7	调节簇尺寸的分簇算法	100
5.3.8	基于地理位置的分簇算法	101
5.3.9	基于信道接入的被动分簇算法	102
5.4	簇维护策略和相关机制	102
5.5	自适应按需加权分簇算法 (AOW)	104
5.5.1	一般介绍	104
5.5.2	AOW 算法的特点和目标	105
5.5.3	算法描述	105
5.5.4	网络初始化和簇维护策略	106
5.5.5	算法示例	107
5.6	分簇算法的性能比较和分析	109
5.6.1	性能指标	110
5.6.2	模拟环境	111
5.6.3	四种分簇算法的性能比较和分析	112

5.6.4	重叠分簇网络结构的性能	117
5.7	Ad Hoc 网络中骨干网的建立和维护	121
5.7.1	相关概念和要求	121
5.7.2	骨干网的建立和维护	122
5.8	分簇网络结构的应用	123
5.8.1	基于分簇结构的路由协议	123
5.8.2	基于分簇结构的网络管理	125
5.8.3	基于簇的资源分配和信道接入机制	126
5.8.4	基于分簇结构的功率控制	127
5.8.5	基于分簇结构进行洪泛广播	128
5.8.6	分簇结构在蓝牙散布网络中的应用	128
第 6 章	Ad Hoc 网络的节能问题	132
6.1	概述	132
6.2	协议栈各层涉及的节能问题	133
6.2.1	物理层	133
6.2.2	数据链路层	133
6.2.3	网络层	134
6.2.4	传输层	134
6.2.5	应用层	135
6.3	两种主要的节能机制	135
6.3.1	无线网卡动态关闭机制	135
6.3.2	功率控制机制	137
6.4	无线网卡动态关闭机制	138
6.4.1	MAC 层无线网卡动态关闭机制	139
6.4.2	2.5 层无线网卡动态关闭机制	145
6.4.3	性能分析和比较	148
6.5	功率控制机制	151
6.5.1	几种典型的功率控制机制	152
6.5.2	性能分析和比较	156
6.6	其他节能机制	158
第 7 章	Ad Hoc 网络的 QoS 保障	164
7.1	概述	164
7.1.1	服务质量 (QoS) 的概念	164
7.1.2	当前 Internet 支持 QoS 保障概况	164
7.1.3	移动网络上提供 QoS 保障的现状	165
7.1.4	Ad Hoc 网络中 QoS 保障的提出和面临的挑战	165
7.2	Ad Hoc 网络协议栈各层的 QoS 保障机制	166

7.2.1	Ad Hoc 网络的物理层和无线信道	166
7.2.2	Ad Hoc 网络的 QoS MAC 协议	169
7.2.3	Ad Hoc 网络的 QoS 路由	172
7.2.4	Ad Hoc 网络中传输层协议的设计考虑	176
7.2.5	Ad Hoc 网络中的自适应应用和动态自适应机制	178
7.3	Ad Hoc 网络中的 QoS 信令机制	181
7.3.1	背景	181
7.3.2	RSVP 在 Ad Hoc 网络中的应用分析	182
7.3.3	RSVP 的改进	182
7.3.4	适用于 Ad Hoc 网络的带内信令机制 (INSIGNIA)	183
7.3.5	相关问题	188
7.4	Ad Hoc 网络中的 QoS 服务模型	190
7.4.1	概述	190
7.4.2	现有服务模型在 Ad Hoc 网络中的应用可行性	191
7.4.3	新的适用于 Ad Hoc 网络的服务模型	193
7.5	Ad Hoc 网络中的其他 QoS 保障机制	197
7.5.1	备份路由	197
7.5.2	多路径传输机制	197
7.5.3	自适应转发机制	198
7.5.4	分组冗余消除机制	198
7.5.5	一种与应用和信道相关的综合 QoS 保障机制	199

第 8 章	Ad Hoc 网络的应用	203
8.1	一些典型应用和潜在的应用	203
8.1.1	一些典型的应用	203
8.1.2	一些可能开展的应用	206
8.2	基于 Ad Hoc 网络的移动对等系统 (MP2P)	207
8.2.1	概述	207
8.2.2	基于 Ad Hoc 网络的移动对等应用	208
8.2.3	移动对等系统面临的技术挑战	209
8.2.4	移动对等系统的开发	211
8.3	战术互联网 (TI)	212
8.3.1	战术互联网的概念和组成	212
8.3.2	战术互联网的主要装备	213
8.3.3	战术互联网的业务需求	216
8.3.4	信道接入控制	217
8.3.5	路由协议和组网方式	218
8.3.6	战术互联网的信息处理	219
8.3.7	战术互联网的发展	220

8.4	Ad Hoc 传感网络	222
8.4.1	传感网络的目标和特点	223
8.4.2	Ad Hoc 传感网络的体系结构	223
8.4.3	Ad Hoc 传感网络的设计	226
8.4.4	当前研究现状	229
第 9 章	Ad Hoc 网络的实现及其他相关问题	232
9.1	Ad Hoc 网络实现的相关技术	232
9.1.1	IEEE 802.11 技术	232
9.1.2	CDMA 技术	234
9.1.3	蓝牙技术 (Bluetooth)	236
9.1.4	HiperLAN2	237
9.1.5	HomeRF	238
9.2	分级 Ad Hoc 网络的移动管理	239
9.2.1	概述	239
9.2.2	MMWN 中的移动管理机制	239
9.2.3	虚拟子网结构中的移动管理	240
9.2.4	基于虚拟家乡区域的移动管理机制	240
9.3	安全问题	241
9.3.1	Ad Hoc 网络存在的安全问题	241
9.3.2	Ad Hoc 网络的安全目标	242
9.3.3	Ad Hoc 网络的安全策略和机制	243
9.3.4	设计安全 Ad Hoc 网络面临的挑战	246
9.4	Ad Hoc 网络与其他网络的互联	247
9.4.1	网络互联的几种形式	247
9.4.2	网络互联的解决方案	248
9.5	其他相关问题	252
9.5.1	Ad Hoc 网络中的连接和信息共享问题	252
9.5.2	节点的激励协作机制	256
9.5.3	地址自动配置机制	257
9.5.4	服务发现	260
9.6	小结	263
第 10 章	Ad Hoc 网络的发展和应用前景	265
10.1	发展脉络	265
10.2	应用前景	266
10.3	待解决的问题	267
	附录: 缩略语表	269

第1章 绪 论

随着信息技术的不断发展,人们对移动通信的需求越来越强。近年来,移动通信技术得到了飞速发展和普及,新技术不断涌现。蜂窝移动通信系统的发展历程就是最有力的证明。短短十几年时间,它就完成了从第一代到第二代和二代半的跨越,并正在向第三代系统演进。此外,无线局域网(IEEE 802.11 和 HiperLAN)、蓝牙(Bluetooth)、家庭无线网(HomeRF)等移动通信新技术也纷纷涌现。这些技术使得人与人之间的通信更加方便快捷,也使人们的生活变得更加丰富多彩。

我们经常提及的移动通信技术一般都是集中式控制的,即是有中心的。它们通常要基于预先架设的网络基础设施才能运行。例如,蜂窝移动通信系统要有基站和移动交换中心等功能设施的支持;无线局域网一般也工作在有接入点(Access Point)和有线骨干网的模式下。但对于有些特殊的应用场合,有中心的移动通信技术并不能胜任。比如,战场上部队的快速展开和推进,发生地震或水灾等大型灾害后的营救,野外科考,偏远矿山作业以及临时性组织的大型会议等。这些场合的通信不能依赖于任何预先架设的网络设施,或者预先架设的网络基础设施已经因灾害损毁而失去效用,而是需要一种能够临时快速自动组网的移动通信技术。作为移动通信的一个重要分支,Ad Hoc 网络技术可以满足这些特殊场合的需要。

1.1 Ad Hoc 网络概述

Ad Hoc 网络是一种特殊的无线移动通信网络。Ad Hoc 网络中所有节点的地位平等,无需设置任何中心控制节点,具有很强的抗毁性。网络中的节点不仅具有普通移动终端所需的功能,而且具有报文转发能力。当通信的源节点和目的节点不在直接通信范围之内时,它们可以通过中间节点转发报文进行通信。有时节点间的通信可能要经过多个中间节点的转发,即报文要经过多跳(Hop)才能到达目的地,这是 Ad Hoc 网络与其他移动通信网络的最根本区别。Ad Hoc 网络的节点通过分层的网络协议和分布式算法相互协调,实现网络的自动组织和运行。因此它又被称为多跳无线网(Multi-Hop Wireless Network)、自组织网络(Self-Organized Network)或无固定设施的网络(Infrastructureless Network)。

1.1.1 Ad Hoc 网络的产生

Ad Hoc 网络的前身是分组无线网(Packet Radio Network)。对分组无线网的研究源于军事通信的需要,并已经持续了近 20 年。早在 1972 年,美国 DARPA(Defense Advanced Research Project Agency)就启动了分组无线网(PRNET, Packet Radio NETWORK)项目,研究分组无线网在战场环境下数据通信中的应用。PRNET 项目完成之后,DARPA 又在 1983 年启动了高残存性自适应网络(SURAN, SURvivable Adaptive Network)项目,研究如何将 PRNET 的成果加以扩展,以支持更大规模的网络。此外,还要开发能够适应战场快速变化环境需要的自适应网络协议。为了进行持续的研究,1994 年,DARPA 又启动了全球移动信息系统(GloMo,

Globe Mobile Information Systems) 项目。对能够满足军事应用需要的、可快速展开、高抗毁性的移动信息系统进行全面深入的研究。成立于 1991 年 5 月的 IEEE802.11 标准委员会采用了“Ad Hoc 网络”一词来描述这种特殊的自组织、对等式、多跳无线移动通信网络, Ad Hoc 网络就此诞生。IETF 则将 Ad Hoc 网络称为移动 Ad Hoc 网络 (MANET, Mobile Ad Hoc NETwork)。

1.1.2 Ad Hoc 网络的定义

“Ad Hoc”一词源自拉丁语, 其含义为“*For the specific purpose only*”, 翻译为中文的意思是“特别的, 临时的”。由于翻译后的名字很难描述该网络的特点, 为了避免引起歧义, 我们仍使用“Ad Hoc”一词来称呼这种特殊的无线网络。

Ad Hoc 网络是由一组带有无线收发装置的移动终端组成的一个多跳的临时性自治系统。网络中的移动终端具有路由和报文转发功能, 可以通过无线连接构成任意的网络拓扑。这种网络可以独立工作, 也可以接入 Internet 或蜂窝无线网络。在后一种情况中, Ad Hoc 网络通常是以末端子网的形式接入现有网络。考虑到带宽和功率的限制, Ad Hoc 网络一般不适于作为中间承载网络。它只允许产生于或目的地是网络内部节点的信息进出, 而不让其他信息穿越本网络, 从而大大减少了与现有 Internet 互操作的路由开销。

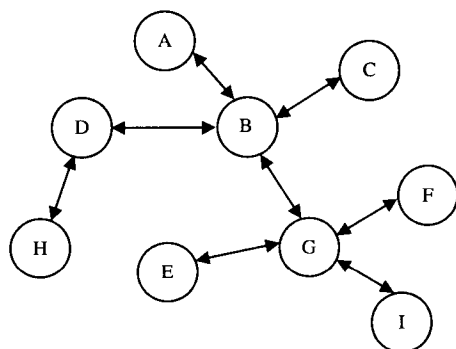


图 1.1 典型的 Ad Hoc 网络结构

如图 1.1 所示为一个典型的 Ad Hoc 网络。图中, 终端 A 和终端 I 无法直接通信, 但可以通过路径 $A \leftrightarrow B \leftrightarrow G \leftrightarrow I$ 进行通信。

1.1.3 Ad Hoc 网络的特点

Ad Hoc 网络具有以下特点。

(1) **独立组网**: Ad Hoc 网络具有独立组网能力, 即网络的布设无需依赖于任何预先架设的网络设施。节点开机后就可以快速、自动地组成一个独立的网络。

(2) **无中心**: Ad Hoc 网络采用无中心结构, 所有节点的地位平等, 组成一个对等式网络, 其中的节点可以随时加入和离开网络, 任意节点的故障不会影响整个网络的运行。与有中心网络相比, Ad Hoc 网络具有很强的抗毁性。

(3) **自组织**: Ad Hoc 网络没有严格的控制中心, 所有节点通过分层的网络协议和分布式算法协调各自的行为。无中心和自组织特点使得 Ad Hoc 网络可以实现快速自动组网。

(4) **多跳路由**: 由于节点发射功率的限制, 节点的覆盖范围是有限的。当要与其覆盖范围之外的节点进行通信时, 需要中间节点的转发, 即要经过多跳。与普通网络中的多跳不同, Ad Hoc 网络中的多跳路由是由普通节点共同协作完成的, 而不是由专用的路由设备 (如路由器) 完成的。反过来, 如果可以使用多跳路由, 节点的发射功率可以很低, 从而达到节省电能、延长电池工作时间的目的。

(5) **动态拓扑**: Ad Hoc 网络中, 移动终端能够以任意可能的速度和移动模式移动, 并且可以随时关闭电台, 加上无线发送装置的天线类型多种多样、发送功率的变化、无线信道间的互相干扰、地形和天气等综合因素的影响, 移动终端间通过无线信道形成的网络拓扑随时可能发生变化, 而且变化的方式和速度都难以预测。在网络拓扑图中, 这些变化主要体现为节点和链路的数量及分布的变化。因此需要开发专门的路由协议, 以适应这种动态拓扑网络的需要。

(6) **特殊的无线信道特征**: Ad Hoc 网络采用无线传输技术, 由于无线信道本身的特性, 它所能提供的网络带宽相对于有线信道要低得多, 并且无线信道的质量较差。考虑到竞争共享无线信道产生的冲突、信号衰减、噪音和信道之间干扰等因素, 移动终端获得的实际带宽远远小于理论上的最大带宽, 并且会随时间动态地发生变化。在 Ad Hoc 网络中, 节点的发送功率受限, 一个节点的发送, 只有其一跳相邻节点可以听到, 而此范围之外的其他节点察觉不到。这一特征一方面提高了信道的空间复用度, 另一方面使得报文的冲突与节点所处的地理位置相关。此外, 地形或发射功率等因素使得 Ad Hoc 网络中可能存在单向无线信道。例如, 车载终端的发送功率大于手持终端, 手持终端可以收到来自车载终端的信号, 而车载终端无法收到来自手持终端的信号, 即存在从车载终端到手持终端的单向信道。

(7) **移动终端的局限性**: 移动终端具有携带方便、轻便灵巧等优点, 但也存在其固有的缺陷, 如能源受限、内存较小、CPU 处理能力较低和成本较高等, 从而给设计开发和应用推广带来一定难度, 同时显示屏等外设的功能和尺寸受限, 不利于开展功能较复杂的业务。考虑到成本和易于携带, 移动节点不能配备太多数量的发送接收器, 并且节点一般依靠电池供电。因此如何高效地使用节点的电能和延长节点的工作时间是一个十分突出的问题。

(8) **安全性差**: Ad Hoc 网络是一种特殊的无线移动网络, 由于采用无线信道、有限电源、分布式控制等技术, 它更加容易受到被动窃听、主动入侵、拒绝服务、剥夺“睡眠”等网络攻击。另外, Ad Hoc 网络由节点自身充当路由器, 不存在命名服务器和目录服务器等网络设施, 也不存在网络边界的概念。这就使得 Ad Hoc 网络中的安全问题非常复杂, 传统网络中的许多安全策略和机制将不再适用。因此, 信道加密、抗干扰、用户认证、密钥管理、访问控制和其他安全措施都需要特别考虑。

这些特点使得 Ad Hoc 网络在体系结构、网络组织、协议设计等方面都与现有的无线通信系统 (如蜂窝移动通信系统和无线局域网) 有着显著的区别。

蜂窝移动通信系统的网络基础设施包括基站、基站控制器、移动交换机以及相关的中继链路等。这类网络的架设周期较长, 网络维护和管理需要耗费相当多的人力、物力。而 Ad Hoc 网络不需要固定网络设施的支持就可以独立组网, 部署速度要快得多。在蜂窝移动通信系统中, 尽管也会由于设备或链路出现故障等原因导致网络结构出现变化, 但总体来讲, 网络结构比较稳定。而在 Ad Hoc 网络环境下, 网络的拓扑结构是动态变化的。

在无线局域网中, 配备有无线局域网网卡的移动节点一般通过接入点 (AP) 连接到固定

网络，因此从网络层的角度来看，无线局域网是一个单跳的网络，而 Ad Hoc 网络是一个多跳的无线网络。无线局域网的研究内容集中在物理层和数据链路层，而 Ad Hoc 网络的研究内容覆盖了协议的所有层。表 1.1 列出了 Ad Hoc 网络与现有无线网络的区别。

表 1.1 Ad Hoc 网络与现有无线网络的主要区别

网络类型 比较的内容	现有无线网络	Ad Hoc 网络
无线网络结构	有中心，单跳	无中心，多跳
拓扑结构	固定	动态建立、灵活变化
有无基础设施支持	有	无
安全性和服务质量	较好	较差
配置速度	慢	快
生存时间	长	短
路由选择和维护	容易	困难
网络健壮性	低	高
研究重点	物理层和链路层	协议的所有层
中继设备	基站和有线骨干网	无线节点和无线骨干网
中继节点的特点	基站有多部收发信机，全双工方式通信，有专用硬件，易于实现全网同步	无线节点通常只有一部收发信机，半双工方式工作，不易实现全网同步
无线节点的控制管理	由基站集中负责，无线节点必须先与基站通信，再通过基站与目的节点通信	由无线节点本身负责，通常采用分布式方式

1.1.4 Ad Hoc 网络的应用场合

Ad Hoc 网络的许多优良特性为它在民用和军事通信领域占据一席之地提供了有利的保证。首先，网络的自组织特性提供了廉价并且快速部署网络的可能。其次，多跳和中间节点的转发特性可以在不降低网络覆盖范围的条件下减少每个终端的发射功率，从而降低了天线和相关发射/接收部件的设计难度和成本，为移动终端的小型化、低功耗提供了可能。从共享无线信道的角度来看，Ad Hoc 网络降低了信号冲突的概率，提高了信道利用率。从用户的角度看，低功率的无线电波产生的电磁辐射较少，对人身体的影响较小。低功率的无线电波也减少了被截获和监听的概率。另外，网络的健壮性、抗毁性满足了某些特定应用的需求。

Ad Hoc 网络的应用可以归纳为以下几类。

(1) **军事应用：**军事应用是 Ad Hoc 网络技术的主要应用领域。因其特有的无需架设网络设施、可快速展开、抗毁性强等特点，Ad Hoc 网络已成为数字化战场通信的首选技术。在近年来得到迅速发展的美军战术互联网中，Ad Hoc 网络技术是它的核心技术。为了满足信息战和数字化战场的需要，美军研制了大量的无线自组织网络设备，用于单兵、车载、指挥所等不同的场合，并大量装备部队。美军的近期数字电台（NTDR）和无线互联网控制器等主要通信装备都使用了 Ad Hoc 网络技术。据报道，在最近的伊拉克战争中，移动 Ad Hoc 网络得到了有效的应用。

(2) **传感器网络：**传感器网络是 Ad Hoc 网络技术应用的另一大领域。对于很多应用场合来说，传感器网络只能使用无线通信技术。而考虑到体积和节能等因素，传感器的发射功

率不可能很大,使用 Ad Hoc 网络实现多跳通信是非常实用的解决方法。分散的传感器通过 Ad Hoc 网络技术组成一个网络,可以实现传感器之间和与控制中心之间的通信。这种网络在军事应用、道路交通、工业制造、生物医药以及各种安全场合都具有非常广阔的应用前景。

(3) **紧急情况:** 在发生了地震、水灾、火灾或遭受其他灾难打击后,固定的通信网络设施可能全部损毁或无法正常工作。这时就需要 Ad Hoc 网络这种不依赖任何固定网络设施又能快速布设的自组织网络技术,在这些恶劣和特殊的环境下提供通信支持,这对抢险和救灾工作具有非凡的意义。

(4) **偏远野外:** 当处于偏远或野外地区时,无法依赖固定或预设的网络设施进行通信。Ad Hoc 网络技术具有单独组网能力和自组织特点,是这些场合通信的最佳选择。其应用包括野外科考队、边远矿山作业、边远地区执行任务分队的通信等。

(5) **临时场合:** Ad Hoc 网络的快速、简单组网能力使得它可以用于临时场合的通信。比如会议、庆典、展览等场合,可以免去布线和部署网络设备的工作。在室外临时环境中,工作团体的所有成员可以通过 Ad Hoc 方式组成一个临时网络来协同完成一项大的任务,或协同完成某个计算任务。在室内办公环境中,办公人员携带的包含 Ad Hoc 收发器的 PDA,可以通过无线方式自动从台式机上下载电子邮件,更新工作日程表等。

(6) **动态场合:** 对于像执行运输任务的汽车队这样的动态场合,Ad Hoc 网络技术也可以提供很好的通信支持。美国加州大学伯克利分校和哈佛大学正在研究如何将 Ad Hoc 网络技术应用于高速公路上自动驾驶汽车间的通信,并取得了初步的研究成果。

(7) **个人通信:** 个人局域网是 Ad Hoc 网络技术的又一大应用领域,用于实现 PDA、手机、掌上电脑等个人电子通信设备之间的通信,并可以构建虚拟教室和讨论组等崭新的移动对等应用。考虑到辐射问题,个人局域网通信设备的无线发射功率应当尽量小,这样,Ad Hoc 网络的多跳通信能力将再次展现它的过人之处。蓝牙的超网(Scatternet)技术就是一个典型的例子。

(8) **商业应用:** 使用 Ad Hoc 网络技术可以组建家庭无线网络、移动医疗监护系统,开展移动和可携带计算等。比如未来装备 Ad Hoc 收发设备的机场预约和登机系统可以自动地与乘客携带的个人无线 Ad Hoc 设备通信,完成目前的换登机牌等手续,节省排队等候的时间。

(9) **其他场合:** 由于 Ad Hoc 网络的特殊特点,它的应用领域还有很多,这需要我们进一步去发掘。比如它可以用于扩展现有蜂窝移动通信系统的覆盖范围,实现地铁和隧道等场合的无线覆盖;构建未来的无线城域网和自组织广域网等。

以下是一个 Ad Hoc 网络在军事上的研究与应用实例。美国 DAPRA 近期资助了一项研究——“自愈式雷场系统”。该项目时间跨度为 2000 年至 2003 年。系统采用智能化的移动反坦克地雷阵来挫败敌人对地雷防线的突破。这些地雷均配备有无线通信与自组织联网单元,通过某种方式布撒之后(如通过飞机、地对地导弹或火箭弹进行远程布撒),这些地雷迅速构成移动 Ad Hoc 网络。在遭到敌方坦克突破之后,这种地雷通过对拓扑结构的自适应判断和自身具备的自动弹跳功能迅速“自愈”,即通过网络重构恢复连通,再次对敌方坦克实施拦阻。如此多次反复,直至在一定时间内网络无法重构,系统最后自行引爆。“自愈式雷场系统”可以大大限制敌军的机动能力,延缓敌军进攻或撤退的速度,在一段时间内封锁特定区域。