



湖北经济学院学术文库



移动Ad Hoc网络路由 技术研究

YiDong Ad Hoc WangLuo LuYou
JiShu YanJiu

孙宝林 桂 超 著
李 媛 张棋飞

湖北长江出版集团
湖北人民出版社



湖北经济学院学术文库



移动Ad-Hoc网络路由 技术研究

YiDong Ad Hoc WangLuo LuYou
JiShu YanJiu

孙宝林 桂 超 著
李 媛 张棋飞

湖北长江出版集团
湖北人民出版社

鄂新登字 01 号
图书在版编目(CIP)数据

移动 Ad Hoc 网络路由技术研究/孙宝林,桂超,李媛,张棋飞著.
武汉:湖北人民出版社,2008.11

ISBN 978 - 7 - 216 - 05630 - 4

- I. 移…
- II. ①孙…②桂…③李…③张…
- III. 移动通信—通信网—路由选择—研究
- IV. IN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 084395 号

移动 Ad Hoc 网络路由技术研究 孙宝林 桂超 李媛 张棋飞 著

出版发行: 湖北长江出版集团 湖北人民出版社	地址:武汉市雄楚大街 268 号 邮编:430070
印刷:湖北立龙印务有限公司	经销:湖北省新华书店
开本:787 毫米×1092 毫米 1/16	印张:11.375
字数:221 千字	插页:1
版次:2008 年 11 月第 1 版	印次:2008 年 11 月第 1 次印刷
书号:ISBN 978 - 7 - 216 - 05630 - 4	定价:25.00 元

本社网址:<http://www.hbpp.com.cn>

摘 要

无线移动 Ad Hoc 网络 (Mobile Ad Hoc Network, MANET) 是指一组带有无线收发装置的移动节点组成的一种多跳的、临时性的自治系统。整个网络没有固定的基础设施,也没有固定的路由器,所有节点都是移动的、动态变化的,并且都可以以任何方式动态地保持与其他节点的联系。无线移动 Ad Hoc 网络可以广泛应用于军事领域、自然灾害应急处理、科学考察、探险、交互式演讲、共享信息的商业会议、紧急通信等领域。在这种环境中,每一个节点都具有终端和路由的功能,它们要完成发现和维护到其他节点路由的功能,因此,路由就成为 Ad Hoc 网络中从一个节点传输数据到另一个节点的核心问题。

多播 (Multicast) 指的是同时把数据分组发送给网络中的一组主机。多播通信对于网络有许多优点,多播减少从一个源节点或多个源节点发送相同的信息到多个目的节点的通信代价。多播能节省网络的传输带宽、路由的处理时间和传输时延。

在动态的、移动的 Ad Hoc 网络中支持 QoS (Quality of Service) 路由是非常困难的。提供 QoS 保证的实时应用是一个重要的研究领域。QoS 支持的实时应用依赖于资源的分配,网络提供特定 QoS 的需求能力决定于如何分配资源。此外,在动态的、分布式管理的和多跳的网络中提供可靠的、高速的端到端通信也是一个重要的研究领域。

近年来,国内外学者在 QoS 路由方面做了大量的研究,但仍然存在许多尚未解决的问题,特别在 Ad Hoc 网络上支持 QoS 路由技术的研究尚处于初期阶段。本书是作者在总结前人研究工作的基础上,对 Ad Hoc 网络的体系结构、Ad Hoc 网络 QoS 路由技术及多播路由技术、Ad Hoc 网络的 QoS 保障问题等进行了总结、分类和归纳,提出了 Ad Hoc 网络可靠多播路由协议、Ad Hoc 网络路由的优化算法、Ad Hoc 网络的 QoS 多播路由协议、基于 TDMA 的 Ad Hoc 网络 QoS 路由协议以及 MAC 层冲突顺序解析算法。最后分析和讨论了 Ad Hoc 网络路由技术中的若干关键问题、应用及研究展望。本书的组织结构如下:

第一章论述了 Ad Hoc 网络的基本概念、体系结构和关键技术。

第二章叙述了 Ad Hoc 网络的路由技术、单播路由技术、多播路由技术以及 Ad Hoc 网络路由技术的研究方向。

第三章描述了 Ad Hoc 网络的 QoS 路由技术、QoS 路由体系结构以及 QoS 多

播路由模型。

第四章提出了 Ad Hoc 网络的可靠多播路由协议。

第五章设计了基于信息熵的 Ad Hoc 网络多播路由优化算法。

第六章提出了一种适应于 Ad Hoc 网络的 QoS 多播路由协议。

第七章研究了基于 TDMA 的 Ad Hoc 网络 QoS 路由协议。

第八章提出了 Ad Hoc 网络中媒体接入控制（MAC）层的冲突顺序解析算法。

本书是作者近几年研究的成果总结，难免存在缺陷甚至错误，欢迎读者给予指正。

目 录

第一章 绪论	1
1.1 移动 Ad Hoc 网络基本概念	1
1.1.1 Ad Hoc 网络的产生背景	1
1.1.2 Ad Hoc 网络的发展历史	1
1.1.3 Ad Hoc 网络的定义	2
1.1.4 Ad Hoc 网络的特点	2
1.1.5 Ad Hoc 网络的应用	5
1.2 Ad Hoc 网络的体系结构	6
1.2.1 Ad Hoc 网络的节点结构	6
1.2.2 Ad Hoc 网络的拓扑结构	7
1.2.3 Ad Hoc 网络的协议栈	9
1.2.4 Ad Hoc 网络的跨层设计	11
1.3 Ad Hoc 网络的关键技术	13
1.3.1 Ad Hoc 网络面临的技术问题	13
1.3.2 Ad Hoc 网络的关键技术	16
1.3.3 Ad Hoc 网络技术发展趋势	18
第二章 Ad Hoc 网络的路由协议	20
2.1 Ad Hoc 网络的路由协议概述	20
2.1.1 Ad Hoc 网络路由的度量参数	20
2.1.2 Ad Hoc 网络路由协议面临的问题	22
2.1.3 Ad Hoc 网络路由协议的评价	25
2.2 Ad Hoc 网络单播路由协议的分类	27
2.3 Ad Hoc 网络多播路由协议的研究	35
2.3.1 多播的概念	35
2.3.2 Ad Hoc 网络多播路由协议的参考模型	35
2.3.3 Ad Hoc 网络多播路由协议的分类	36

2.3.4 Ad Hoc 网络多播路由协议的比较	40
2.4 Ad Hoc 网络路由协议的研究方向	42
第三章 Ad Hoc 网络的 QoS 路由协议	45
3.1 QoS 的概念	45
3.1.1 QoS 路由的概念和目标	45
3.1.2 Ad Hoc 网络中 QoS 保证面临的挑战	47
3.1.3 Ad Hoc 网络中实施 QoS 路由的策略	48
3.1.4 FQMM 体系结构	50
3.2 Ad Hoc 网络的 QoS 路由协议	53
3.2.1 QoS 路由协议分类	53
3.2.2 核心提取分布式 QoS 路由协议 CEDAR	54
3.2.3 带宽计算的按需 QoS 路由协议	58
3.2.4 基于 AODV 的 QoS 路由协议	59
3.2.5 三种 Ad Hoc 网络的 QoS 路由协议的性能比较	61
3.3 Ad Hoc 网络 QoS 的信令	61
3.3.1 带内信令和带外信令	62
3.3.2 RSVP	62
3.3.3 INSIGNIA	63
3.4 Ad Hoc 网络 QoS 的 MAC 协议	64
3.5 QoS 多播模型	68
3.6 小结	69
第四章 Ad Hoc 网络的可靠多播路由协议	71
4.1 Ad Hoc 网络可靠多播路由的概述	71
4.2 Ad Hoc 网络的可靠多播路由协议	76
4.3 RMRP 协议的性能分析和仿真实验	79
4.4 小结	85
第五章 基于信息熵的 Ad Hoc 网络多播路由优化算法	86
5.1 Ad Hoc 网络多播路由的优化算法	86
5.2 Ad Hoc 网络多播路由的网络模型	90
5.3 基于信息熵的 Ad Hoc 网络多播路由优化算法	90
5.4 小结	101

第六章 一种适应于 Ad Hoc 网络的 QoS 多播路由协议设计与实现	102
6.1 QoS 多播路由的网络模型和路由问题的描述	102
6.2 QoS 多播路由协议描述	103
6.3 协议的正确性证明及复杂性分析	108
6.4 协议的仿真实验	110
6.5 小结	117
第七章 基于 TDMA 的 Ad Hoc 网络 QoS 路由协议	118
7.1 QoS 路由协议的概述	118
7.1.1 在基于 TDMA 的 Ad Hoc 网络中的图论基础	120
7.1.2 Ad Hoc 网络中 QoS 路由协议的分类	121
7.1.3 TDMA 环境中数据传输的约束	123
7.2 基于 TDMA 的 Ad Hoc 网络避免冲突的 QoS 路由协议	124
7.2.1 研究背景和相关工作	124
7.2.2 现有协议局限性	125
7.2.3 避免冲突的 QoS 路由协议	127
7.3 小结	137
第八章 MAC 层冲突顺序解析算法	138
8.1 传统退避算法简介	138
8.1.1 常用退避算法分类	139
8.1.2 常用退避算法归纳	141
8.2 冲突顺序解析算法	141
8.2.1 冲突概率评估	141
8.2.2 冲突解析策略	144
8.2.3 算法实现	144
8.3 性能评估	145
8.4 小结	149
第九章 总结与展望	150
9.1 主要工作总结	150
9.2 Ad Hoc 网络的展望	151
参考文献	153

第一章 绪论

1.1 移动 Ad Hoc 网络基本概念

1.1.1 Ad Hoc 网络的产生背景

随着移动通信技术、计算机网络技术的不断进步，以及 Internet 的迅猛发展和普及，为移动用户提供包括访问 Internet 在内的各种信息服务已成为网络技术研究的一大热点。蜂窝移动通信系统、无线局域网（IEEE 802.11）、蓝牙技术（Bluetooth）、家庭网络以及 Ad Hoc 网络等移动通信新技术也纷纷涌现。这些技术的出现，极大地方便了人们的生活，同时也推动了无线通信技术的发展。

“Ad Hoc”一词来源于拉丁语，意思是“专用的、自主的、特定的”。Ad Hoc 网络通常也可称为“无固定基础设施网络”或“自组织网络”。由于组网快速、灵活、使用方便，目前 Ad Hoc 网络已经得到了国际学术界和工业界的广泛关注，并正在得到越来越广泛的应用，已经成为移动通信技术向前发展的一个重要方向，并将在未来的通信技术中占据重要地位。

1.1.2 Ad Hoc 网络的发展历史

Ad Hoc 网络技术的起源可以追溯到 1968 年的 ALOHA 网络和 1972 年美国国防部高级研究计划局（DARPA）资助研究的“战场环境中的无线分组数据网（PRNET）”项目中产生的一种新型的网络构架技术，DARPA 当时所提出的网络是一种服务于军方的无线分组网络，实现基于该种网络的数据通信。后来，DARPA 又于 1983 资助进行了具有抗毁性和自适应能力的网络 SURAN（SURvivable Adaptive Network）项目的研究，以便能够建立某些特殊环境、紧急情况以及支持更大规模的无线通信网络。1994 年，DARPA 又启动了全球移动信息系统 GloMo（Global Mobile information systems）项目，GloMo 的目标是用手持设备为军事、办公环境提供任何时间、任何地点的应用需求、具有高抗毁性的移动通信技术。

成立于 1991 年的 IEEE 802.11 标准委员会在开发 IEEE 802.11 标准时，将分组无线网络改称为 Ad Hoc 网络，提出了很多非军用的建议，开始非军用研究。

1997 年 IETF 成立了一个专门的移动 Ad Hoc 网络工作组（简称 MANET，在本文中“MANET”和“移动 Ad Hoc 网络”有时是混用的），专门负责研究和开发具有数百个节点的移动 Ad Hoc 网络的路由算法，并制定相应的标准，目前已经制定了十几个 Internet 草案标准。蓝牙技术也为 Ad Hoc 网络组网提供了一些技术准备。

美国 DARPA 研究协会、美国朗讯通信公司、贝尔实验室，以及许多大学和研究所都开展对 Ad Hoc 网络的研究和试验，目前已经提出了很多的路由方案建议并取得了一定的研究成果，依据这些路由方案构建的试验网络已经开始运行。

1.1.3 Ad Hoc 网络的定义

Ad Hoc 网络是由一组带有无线收发装置的移动节点组成的一个多跳的临时性自治系统，并且采用分布式管理的网络，是一种自主构建、自主组织和自主管理的网络。与传统的蜂窝网络相比，无线 Ad Hoc 网络没有基站，所有节点均可以移动和分布式运行，具有主机和路由器的功能、转发消息的能力、负责发现和维护到其他节点的路由，向邻居节点发射或转发分组。两个设备之间可以直接进行无线通信。若一个通信方发出的信息可被所有其他通信方接收到，此时系统称为单跳（single-hop）移动网络。当两个通信方不在彼此的无线传输范围内时，允许通过中间节点或中间设备实现通信的中继，这种网络称为多跳（multi-hop）移动网络，如图 1-1 所示。

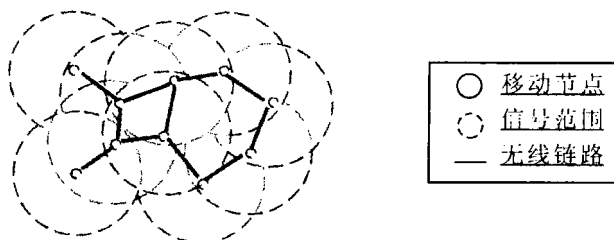


图 1-1 无线移动 Ad Hoc 网络

1.1.4 Ad Hoc 网络的特点

Ad Hoc 网络是一种移动通信和计算机网络相结合的网络，一方面，网络的信息交换采用了计算机网络中的分组交换机制；另一方面，节点是可以移动的。在 Ad Hoc 网络中每个节点都兼有路由器和主机两种功能。与其他传统通信网络相比，Ad Hoc 网络具有以下显著特点。

1. 动态变化的网络拓扑结构

网络的拓扑结构是指从网络层角度来物理网络的逻辑视图。在 Ad Hoc 网络中, 由于节点的随机移动、节点的随时开机和关机、无线发信装置发送功率的变化、无线信道间的相互干扰以及地形等综合因素的影响, 节点间通过无线信道形成的网络拓扑结构随时可能发生变化, 而且这种变化的方式和速度难以预测。

2. 无中心和自组织性

Ad Hoc 网络采用无中心结构, 网络中没有严格的控制中心, 所有节点的地位平等, 是一个对等式网络, 各节点通过分层的网络协议和分布式算法协调彼此的行为。任意节点可以随时加入和离开网络, 节点开机后就可以快速实现一个移动通信网络的自主构建、自主组织和自主管理, 与有中心网络相比, 具有很强的抗毁性。

3. 多跳组网方式

由于 Ad Hoc 网络节点发射功率、无线通信距离等的限制, 节点的覆盖范围是有限的。节点要与其覆盖范围之外的节点进行通信时, 需要通过中间节点的多跳转发, 所以, Ad Hoc 网络是一个多跳的移动计算机网络, 多跳是研究 Ad Hoc 网络路由协议的前提基础。与固定网络的多跳路由不同, Ad Hoc 网络中的多跳路由由普通的网络节点完成, 而不是由专用的路由设备完成。

4. 有限的无线传输带宽

由于 Ad Hoc 网络采用无线传输技术作为底层通信手段, 而无线信道本身的物理特性决定了它所能提供的网络带宽比有线信道要低得多, 再加上竞争共享无线信道产生的碰撞、信号衰减、噪音干扰及信道间干扰等多种因素, 因此节点可得到的实际带宽远远小于理论上的最大带宽值。

5. 移动节点的自主性和局限性

Ad Hoc 网络中的节点具有自主性, 不同于通常的移动计算机网络中的移动节点。在 Ad Hoc 网络中的节点 (如笔记本和手持终端, 车载计算机等) 虽然具有灵巧、便携的特点, 尤其是每个主机都兼作路由器的功能, 所以对路由选择协议的要求就很高。

6. 分布式控制网络

Ad Hoc 网络中的节点都兼备独立路由和主机功能, 不需要网络中心控制点, 节点之间的地位是平等的, 网络路由协议通常采用分布式控制方式。分布式控制与集中式控制是一对相对的概念, 分布式控制比采用集中式控制的网络具有更强的健壮性和抗毁性。

7. 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。

8. 网络的可扩展性不强

Ad Hoc 网络中各种信息的交换, 如路由的获取、业务定位、加密密钥的交换等等, 造成的附加开销对网络资源的消耗随节点数增加而急剧增加, 使得有限的资源被大量的控制业务浪费, 从而限制了网络的扩展。

9. 存在单向的无线信道

在采用无线信道的 Ad Hoc 网络环境中, 由于各个无线节点发射功率的不同以及地形环境的影响可能产生单向信道。因此, 常规路由协议计算出的路由信息不能准确反映 Ad Hoc 网络的拓扑结构, 也无法有效利用单向信道。对于需要逐跳确认的数据分组也由于单向信道的存在而无法实施。

10. 生存时间短

Ad Hoc 网络通常是由于某个特定原因而临时创建的, 多用于战场、救灾、科学考察、探险、交互式演讲、共享信息的商业会议、紧急通信等特殊场合。使用结束后, 网络环境将会自动消失。所以 Ad Hoc 网络的生存时间相对于固定网络而言是短暂的。

11. 能量受限

Ad Hoc 网络的移动节点一般需要依靠电池提供能量, 在电池容量没有大幅

度提高前, 节省功率将是 Ad Hoc 网络技术中一个需要高度重视的问题。

1.1.5 Ad Hoc 网络的应用

Ad Hoc 网络通常应用在没有或不便利用现有的网络基础设施的情况下。具体来说, 目前主要有下列领域。

1. 军事通信

军事通信是 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, 它是数字化战场通信的首选技术, 并已经成为战术互联网的核心技术。在军事通信领域, 移动 Ad Hoc 网络技术可用于构建战术互联网, 或用于已有军用网络以提高网络的可靠性和生存性。

2. 自然灾害应急处理和突发场合

在发生了地震、洪水或遭受其他灾害后, 固定的通信网络设施很可能无法正常工作。而 Ad Hoc 网络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重要意义。此外, 当警察或消防队员紧急执行任务, 而常规通信网络又无法保障时, 可以通过 Ad Hoc 网络来保障通信指挥的顺利进行。

3. 临时场合

Ad Hoc 网络快速、简单的组网能力使得它适用于临时场合的通信。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。

4. 个人通信

Ad Hoc 网络技术可以用于个人区域网络 (Personal Area Network, PAN) 来实现 PDA (Personal Digital Assistant)、手机、掌上电脑等个人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 (Mobile Point-to-Point, MPP)。在这种情况下, Ad Hoc 网络的多跳通信特点将再次展现它的独特优势。

5. 无线传感器网络

无线传感器网络 (wireless sensor networks) 是 Ad Hoc 网络技术的另一领域。传感器的发射功率很小, 大量地理分散的传感器通过 Ad Hoc 网络技术组成网络, 可以实现传感器之间以及控制中心之间的通信。在无线传感器网络中, 节点不仅能够协作转发来实现通信, 还可以监测本地环境的变化, 收集和处理相

关的传感信息，这种网络具有非常广阔的应用前景。

6. 商业应用

使用 Ad Hoc 网络技术来组建家庭无线网络、无线数据网络、移动医疗监护系统和无线设备网络，开展移动和可携带计算等。如商场内商品 RF 标签，廉价的 RF 标签可以通过无线接口由 Ad Hoc 设备动态刷新。顾客若携带手持无线设备可以很容易地找到某种商品和价格。

7. 其他应用

Ad Hoc 网络具有很多优良特性，它的应用领域还有很多，这需要我们进一步去挖掘。比如它可以用来扩展现有蜂窝移动通信的通信模式和覆盖范围，实现地铁和隧道场合的无线覆盖，实现汽车和飞机等交通工具之间的通信，用于辅助教学和构建未来的移动无线城域网和自组织广域网等。

综上所述，军事应用目前仍是 Ad Hoc 网络的主要应用领域。由于 Ad Hoc 网络不是一种广域的解决方案，这注定了它不可能成为占主导地位的通信方式。但 Ad Hoc 网络的特点和独特的优势是其他无线通信系统所不具备的，因此在那些临时、紧急、无基础设施的、要求低发射功率但高覆盖等场合，Ad Hoc 网络还是有它的广阔天地的。无论如何，在设计或寻找 Ad Hoc 网络的应用领域时，我们都要从它特有的特点出发，根据具体的需求制定相应的解决方案。相信 Ad Hoc 网络技术一定会拥有它应有的广阔应用前景。互联网工程任务组（Internet Engineering Task Force, IETF）也已经成立了专门的研究小组——MANET 工作组负责移动 Ad Hoc 网络在互联网上的应用、相关协议的标准化工作。

1.2 Ad Hoc 网络的体系结构

网络各层及其协议的集合，称为网络的体系结构，即网络的体系结构就是网络及其部件所应完成功能的精确定义。由于 Ad Hoc 网络的独特性，传统的体系结构和现存的大量协议在 Ad Hoc 网络中不再适用。Ad Hoc 网络的体系结构和设计方法应充分考虑网络的动态自组织特性和特殊的应用环境。

1.2.1 Ad Hoc 网络的节点结构

Ad Hoc 网络的节点同时具有移动终端和路由器的功能，因此节点通常包括主机、路由器和电台三部分。其中主机部分完成移动终端的功能，包括人机接口、数据处理等；路由器部分主要负责维护网络的拓扑结构和路由信息，完成报文的转发功能；电台部分提供无线传输功能。从物理结构上，节点可以分为以下

几类：单主机单电台、单主机多电台、多主机单电台、多主机多电台，如图 1-2 所示。手持机一般采用单主机单电台，复杂的车载台可能包括通信车内的多个主机，它可以采用多主机单/多电台结构，以实现多个主机共享一个或多个电台。多电台使节点具有更大的灵活性和自适应能力，不仅可以以使用多个电台来构建覆盖 (overlay) 网络，可以通过网关节点来互联多个 Ad Hoc 网络以及接入其他网络。

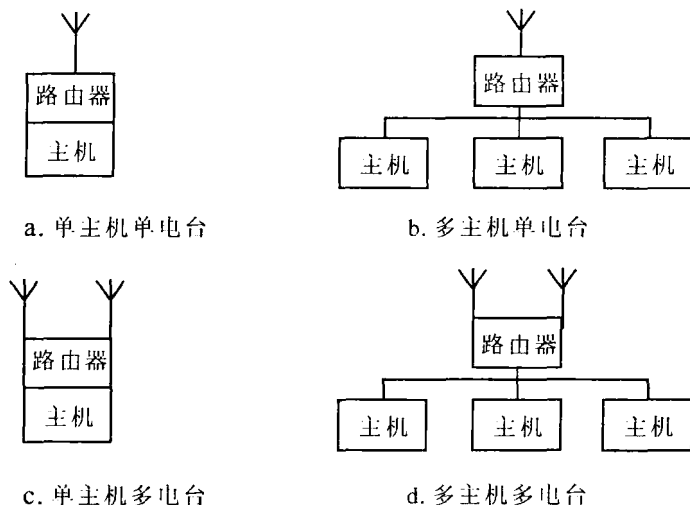


图 1-2 Ad Hoc 网络节点的几种物理结构

1.2.2 Ad Hoc 网络的拓扑结构

由于节点的通信能力通常相同并可以移动，特别是在战场环境中中心控制节点易被发现和易遭摧毁，使得 Ad Hoc 网络不适合采用集中控制结构，因此，Ad Hoc 网络一般有两种结构：平面结构（如图 1-3 所示）和分层结构（如图 1-4 所示）。

平面结构的 Ad Hoc 网络最大的优点在于源节点和目的节点之间可以存在多条路径。这样可以在多条路径上实现流量平衡，减少了网络拥塞，也降低了流量“瓶颈”产生的概率。这种网络可以支持 QoS (Quality of Service) 路由。相对于分层结构中的簇头，平面结构中的节点发送数据分组时使用能量是非常低的。平面结构的网络具有如下优点：（1）平面结构更加有利于节省能源；（2）平面结构可以更好地使用无线频谱，从而提高了网络的传输能力；（3）平面结构最重要的特点就在于能够实现更少的侦听和检测，从而提高网络操作的安全性；（4）由于所有的节点功能都相同，因此在平面结构中需要一种类型设备，并且网络中不存在簇头。平面结构的 Ad Hoc 网络中，任意两个节点之间的连接只受到网络

连通性的影响。

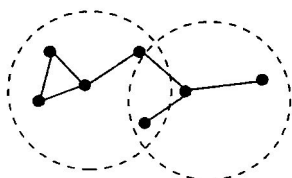


图 1-3 平面结构

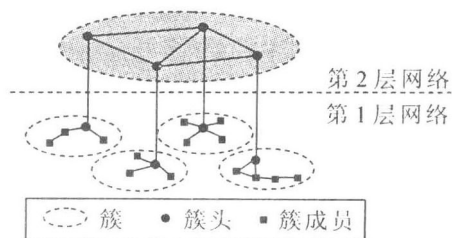


图 1-4 分层结构

平面结构的 Ad Hoc 网络最大缺点是网络规模受限, 可扩充性差, 因为每个节点需要知道到达其他所有节点的路由信息。当网络规模增大时, 维护这些动态变化的路由信息就需要大量的控制消息, 路由维护的开销指数增长而消耗有限的带宽。在用户较多, 特别是在移动的情况下, 平面结构的 Ad Hoc 网络存在处理能力弱, 控制开销大, 路由经常出现中断等缺点, 并且随着共享相同网络资源的用户数量的不断增加, 每个用户获得的吞吐量将急剧下降。因此, 它主要适用于移动性较弱的中小型网络。

在分层结构的网络中, 节点被划分为簇 (cluster)。每个簇由一个簇头 (cluster header) 和多个簇成员组成。这些簇头形成高一级的网络, 在高级网络中, 又可以再次进行分簇, 形成更高一级的网络, 直至最高级。在分层结构中, 簇头节点主要负责簇间数据的转发, 它可以预先指定, 也可以由节点使用算法选举产生。当两个不同簇中的节点需要交互数据时, 通常都需要源簇和目的簇中的簇头进行转发。根据分层的数量, Ad Hoc 网络的深度可以分为单层和多层。图 1-4 显示的就是一个 2 层结构。而在平面结构中, 所有节点的地位都是平等的。当两个节点之间的距离足够近时, 使得无线电波能够相互传播时, 这两个节点就建立起连接。

平面结构的 Ad Hoc 网络比较简单, 网络中所有节点是完全对等的, 原则上不存在瓶颈, 所以比较健壮。它的缺点是可扩充性差: 每个节点都需要知道到达其他所有节点的路由, 维护这些动态变化的路由信息需要大量的控制消息。

在分层结构的网络中, 主要有如下的优点:

(1) 具有很好的可扩充性, 网络规模不受限制。可以简单地通过簇的个数和网络的层数来增加网络的规模。簇成员的功能比较简单, 不需要维护复杂的路由信息, 这大大减少了网络中路由控制信息的数量。

(2) 分层结构通过路由信息的局部化提高了系统的吞吐量。

(3) 分层结构中节点的定位要比平面结构简单得多, 因为分层结构中簇首节点知道簇成员的位置, 只要查询簇首节点就可以得到节点的位置信息, 而不必

像平面结构那样要全网查询。

(4) 分层结构容易实现移动性管理和网络的局部同步, 可通过移动性管理来实现序列寻址。

(5) 簇头节点可以随时选举产生, 分层结构 also 具有很强的抗毁性。

分层结构网络主要有如下的缺点:

(1) 需要簇头选择算法和簇维护机制。

(2) 簇头节点的任务相对较重, 可能成为网络的瓶颈。

(3) 簇间的路由不一定是最佳路由。

总之, 当网络的规模较小时, 可以采用简单的平面式结构; 而当网络的规模增大时, 应采用分层结构。Ad Hoc 网络将逐渐呈现分层化的趋势。

1.2.3 Ad Hoc 网络的协议栈

根据 Ad Hoc 网络的特征, 仿照 OSI 的经典 7 层协议栈模型和 TCP/IP 的体系结构, 可以将 Ad Hoc 网络的协议栈划分为 5 层, 如图 1-5 所示。其中虚线方框表示可选的功能部件。考虑到 TCP/IP 已经成为事实的网络互联标准, Ad Hoc 网络的体系结构应基于 TCP/IP 体系结构 (美军的数字电台明确采用 TCP/IP 体系结构), 并需要根据自身特点进行必要的简化、修改和扩充。

在协议栈中, 各层的功能描述如下:

(1) 物理层: 物理层的功能包括信道的区分和选择、无线信号的监测、调制/解调、发送接收等。由于多径传播带来的多径衰落、码间串扰, 以及无线传输的空间广播特性带来的节点间的相互干扰, 使 Ad Hoc 网络传输链路的每带容量低。因此, 物理层的设计目标是以相对低的能量消耗, 克服无线媒体的传输损伤, 获得较大的链路容量。

为达到上述的物理层的设计目标, 必须采用的关键技术包括: 设计调制解调、信道编码、多天线、自适应功率控制、自适应干扰抵消、自适应速率控制等技术。

(2) 数据链路层: 数据链路层中的 MAC 子层规定了不同的用户如何共享可用的媒体资源, 即控制移动节点对共享无线信道的访问。在 Ad Hoc 网络中, 必须克服无线网络中的隐藏终端和暴露终端问题, 其方法包括随机竞争机制 (CS-MA、IEEE 802.11 或 MACA)、基于信道划分的访问机制 (TDMA、FDMA、CD-MA 或 SDMA)、轮转机制 (轮询或令牌环)、动态调度机制以及以上机制的组合, 且必须克服无线网络中的隐藏终端和暴露终端问题。

逻辑链路控制子层负责向网络提供统一的服务, 屏蔽底层不同的媒体访问控制 (Media Access Control, MAC) 方法。具体包括数据流的复用、数据帧的检测、分组的转发/确认、优先级排队、差错控制和流量控制等。链路层的设计目