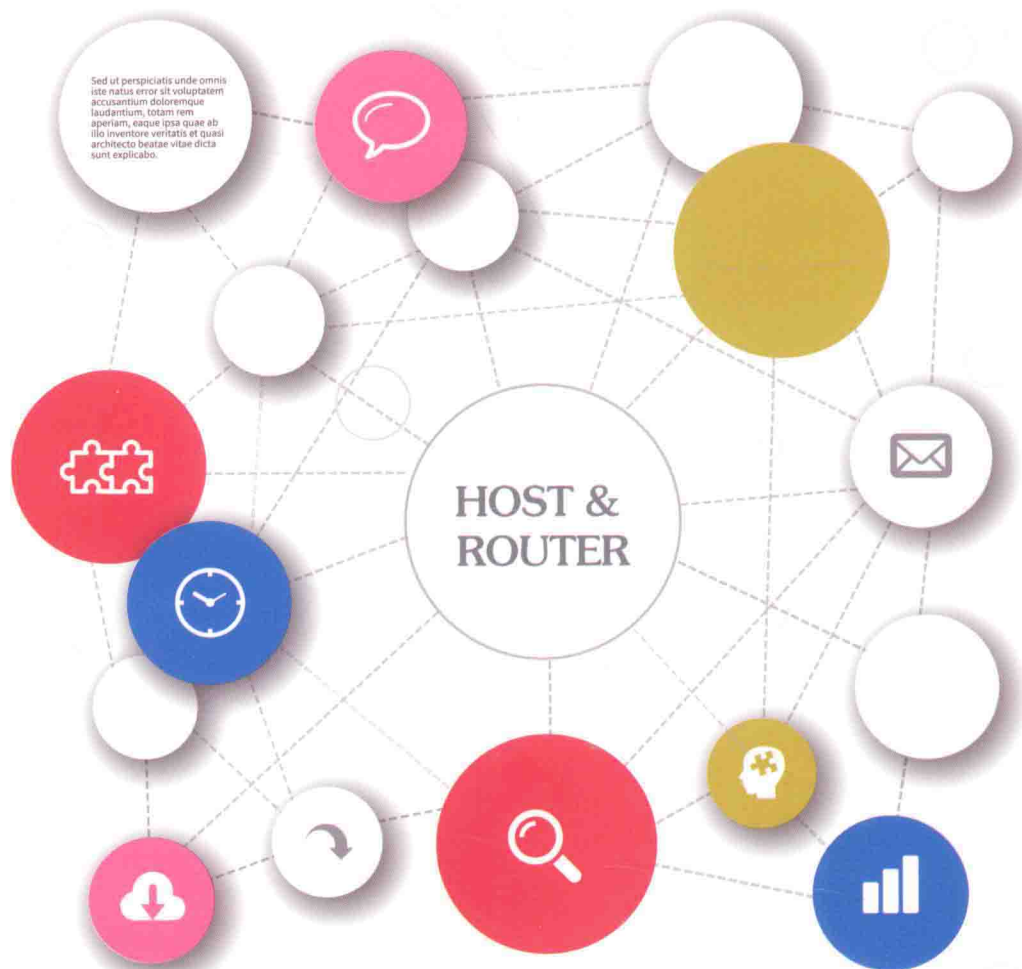


无线自组织网络 路由协议及应用

任 智 姚玉坤 曹建玲 等◎著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

无线自组织网络路由协议及应用

任智 姚玉坤 曹建玲 雷宏江 陈前斌 著



電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书全面系统地介绍了多种无线自组织网络中现有和作者提出的路由协议及其应用。全书共分为七章。第1章介绍无线自组织网络及其路由协议的基础知识,第2~6章分别介绍移动 Ad Hoc 网络、无线传感器网络、无线 Mesh 网络、机会网络、车载 Ad Hoc 网络、无线认知自组织网络、多跳卫星网络、水声传感器网络和无线体域网的路由协议及其应用,第7章介绍了无线自组织网络路由协议设计的新技术。

本书结构完整,层次清晰,图文并茂。在整体内容上注重点面结合,力求兼顾系统性、创新性和通俗性,可供从事相关研究和开发的专业技术人员参考,也可作为高等院校相关专业研究生或本科生的教材。

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

无线自组织网络路由协议及应用 / 任智等著. —北京:电子工业出版社, 2015.3
ISBN 978-7-121-25125-2

I. ①无… II. ①任… III. ①无线电通信—自组织系统—通信网—路由协议 IV. ①TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 294348 号

责任编辑:董亚峰

印 刷:北京京师印务有限公司

装 订:北京京师印务有限公司

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:787×1092 1/16 印张:20.25 字数:518 千字

版 次:2015 年 3 月第 1 版

印 次:2015 年 3 月第 1 次印刷

定 价:49.00 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 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言



无线自组织网络是一种由带有无线通信装置的计算机设备通过自我组织、自我管理的方式形成的分布式数据传输自治系统。它融合了无线通信和计算机网络两类技术，在军事和民用领域具有广阔的应用前景。工作在网络层的路由协议是实现网络路由功能的规则和约定，在无线自组织网络体系架构中占有重要地位，对网络性能有显著影响，因此近年来受到人们越来越多的关注。

本书以无线自组织网络的类别为线索，以路由协议为核心，以作者多年的研究成果为支撑，采用自顶向下的视角，对当前无线自组织网络路由协议的研究和应用提供一个全面、综合、新颖的介绍。以移动 Ad Hoc 网络、无线传感器网络、无线 Mesh 网络、机会网络等无线自组织网络为背景，本书介绍了多种经典和作者提出的路由协议，并对它们进行了较为深入的分析，使得这些路由协议的原理和应用易被各个层次的读者所理解，力求在不损失分析深度和逻辑严谨性的前提下，为每种路由协议给出深入浅出的说明。同时，还介绍了无线自组织网络路由协议研究和设计的新领域，如网络编码、基于博弈论的节点自私性抑制、节点自供能、移动社会网络路由等，尽量让读者了解到无线自组织网络路由协议发展的前沿和方向。

本书着重对四种典型的无线自组织网络中多个路由协议及其改进方案进行了翔实的论述和深入的研究，具有论述全面、系统性和专业性强的特点，力求突出创新性和研究深度，同时仍不失通俗性。

本书中的每一章都给出了一种无线自组织网络中的路由协议或一个相关的主题。路由协议是用文字加插图的方式来描述的，从原理、步骤、特点等方面依次进行介绍，尽量给读者呈现一个脉络清晰的印象，使对网络和协议接触不多的人也能看懂。

本书是无线自组织网络路由方面的新作，积淀了作者及其研究团队多年来的研究成果。全书的架构设计和内容取舍由任智负责，本书第 1 章、第 2 章、第 4 章、第 5 章由姚玉坤负责编写，第 3 章、第 6 章由曹建玲、姚玉坤负责编写，第 7 章由任智负责编写，全书的统稿和审校由姚玉坤负责。雷宏江参与了第 2 章、第 4 章的编写，陈前斌教授对全书的完成提出了宝贵意见。

在本书的编写过程中，陈曦、余志龙、徐亚伟、刘文辉、杨及开、余俊、王冠、

孙希胜、易建琼、彭双、索建伟、任海、王路路、王敏、彭晨、黄希凯、武杨、刘艳伟等研究生收集、整理了大量资料，并绘制和修改了相关插图，在此对他们付出的辛勤劳动和做出的重要贡献表示衷心感谢。同时，本书的撰写和出版工作得到重庆邮电大学学术专著出版基金的大力资助，在此表示诚挚感谢！此外，非常感谢显中教授和曾孝平教授对本书出版给予的宝贵支持！

本书可供从事相关研究和开发的专业技术人员使用，也可供高等学校相关专业研究生或本科生的无线网络及路由协议相关课程使用。

由于作者的水平和时间有限，书中难免存在疏漏和不足之处，敬请读者谅解并提出宝贵的意见或建议。

作 者

于重庆邮电大学移动通信技术重庆市重点实验室

2014 年 12 月 18 日

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 无线自组织网络概述	1
1.1.1 无线自组织网络的定义和分类	1
1.1.2 无线自组织网络的主要特点	2
1.1.3 无线自组织网络的应用与发展	2
1.2 典型的无线自组织网络	4
1.2.1 移动 Ad Hoc 网络	4
1.2.2 无线传感器网络	6
1.2.3 无线 Mesh 网络	8
1.2.4 机会网络	10
1.2.5 其他无线自组织网络	11
1.3 无线自组织网络路由协议基础	23
1.3.1 传统无线自组织网络路由协议研究现状	24
1.3.2 无线自组织网络路由协议设计条件与要求	24
1.3.3 无线自组织网络路由协议的类型	27
1.3.4 无线自组织网络路由协议的应用与发展	30
参考文献	32
第 2 章 移动 Ad Hoc 网络路由协议及其应用	36
2.1 概述	36
2.1.1 移动 Ad Hoc 网络路由协议的特点与要求	36
2.1.2 移动 Ad Hoc 网络路由协议的分类	37
2.1.3 移动 Ad Hoc 网络典型路由协议	38
2.2 AODV 路由协议优化研究	50
2.2.1 基于跨层设计的高效按需路由协议	50
2.2.2 基于跨层设计的 Ad Hoc 按需定向路由协议	55
2.2.3 基于 MPR 泛洪的按需路由协议	60
2.3 OLSR 路由协议优化研究	66

2.3.1	基于拓扑维护的自适应多信道表驱动路由协议	66
2.3.2	基于源路由的并发多径表驱动路由协议	72
2.4	移动 Ad Hoc 网络路由协议的应用	77
	参考文献	77
第 3 章	无线传感器网络路由协议及其应用	80
3.1	概述	80
3.1.1	路由协议在无线传感器网络架构中的地位和作用	81
3.1.2	典型的无线传感器网络路由协议简介	81
3.2	LEACH 路由协议优化研究	88
3.2.1	一种多轮分簇的分环多跳路由协议	88
3.2.2	基于定向天线阵列的无线传感器网络节能路由协议	93
3.2.3	能量高效的无线传感器网络分簇路由协议	97
3.3	无线传感器网络最小跳路由协议的优化研究	101
3.3.1	一种跨层设计的节能双向最小跳数路由协议	101
3.3.2	一种能耗均衡的最小跳路由协议	106
3.4	ZigBee 路由协议优化研究	110
3.4.1	一种能耗均衡的混合路由协议	110
3.4.2	一种高效低时延的 ZigBee 网络多径路由协议	114
3.4.3	一种能耗均衡的高效跨层路由协议	119
3.4.4	基于邻居信息的 Zigbee 网络高效路由协议	122
3.5	移动 Sink 传感器网络路由协议优化研究	126
3.5.1	一种低时延的移动 Sink 传感器网络路由协议	126
3.5.2	一种低开销的移动 Sink 传感器网络路由协议	131
3.6	无线传感器网络路由协议的应用	133
	参考文献	134
第 4 章	无线 Mesh 网络路由协议及其应用	138
4.1	概述	138
4.1.1	无线 Mesh 网络路由协议的特点和设计要求	138
4.1.2	无线 Mesh 网络路由协议分类	140
4.1.3	典型的无线 Mesh 网络路由协议简介	140
4.2	WPAN Mesh 网络中基于拓扑服务器的路由协议优化研究	150
4.2.1	基于自适应选路的高效能耗均衡路由协议	151
4.2.2	一种带自适应快速路由修复策略的路由协议	156
4.3	认知无线 Mesh 网络路由协议优化研究	160
4.3.1	基于主用户行为的稳定路由协议	160
4.3.2	基于主用户活跃度的高稳定低时延路由协议	165

4.4 一种快速的最小化期望端到端时延路由协议	170
4.4.1 最小化期望端到端时延路由判据	170
4.4.2 最小化期望端到端时延路由判据的改进	171
4.4.3 新的最小化期望端到端时延路由协议的性能	172
4.5 无线 Mesh 网络路由协议的应用	173
参考文献	174
第 5 章 机会网络路由协议及其应用	177
5.1 概述	177
5.1.1 机会网络路由协议设计的关键问题	178
5.1.2 机会网络路由协议的分类	178
5.1.3 典型的机会网络路由协议简介	179
5.2 Epidemic 路由协议优化研究	183
5.2.1 基于分组索引增量交互的高效低时延路由协议	184
5.2.2 基于邻居信息交换的机会网络高效低时延路由协议	187
5.2.3 基于网络编码的高效路由协议	189
5.2.4 带免疫机制的低开销机会网络路由协议	193
5.2.5 基于自适应矢量压缩的路由协议	196
5.3 Ferry 路由协议优化研究	199
5.3.1 基于 FIMF 的低能耗路由协议	200
5.3.2 基于 FIMF 的低时延路由协议	205
5.4 基于地理位置的路由协议优化研究	210
5.4.1 基于 DIG 的低时延路由协议	211
5.4.2 基于 DREAM 的低能耗路由协议	216
5.5 机会网络路由协议的应用	223
参考文献	224
第 6 章 其他无线自组织网络路由协议及其应用	227
6.1 车载 Ad Hoc 网络路由协议	227
6.1.1 典型的车载 Ad Hoc 网络路由协议	227
6.1.2 车载 Ad Hoc 网络路由协议的应用	231
6.2 认知无线 Ad Hoc 网络路由协议及其应用	232
6.2.1 典型的认知无线 Ad Hoc 网络路由协议	232
6.2.2 认知无线 Ad Hoc 网络路由协议的应用	236
6.3 多跳卫星网络的路由协议及其应用	237
6.3.1 多跳卫星网络中的典型路由协议	237
6.3.2 一种改进的高效 LEO 卫星网络路由协议	241
6.3.3 多跳卫星网络路由协议的应用	246
6.4 水声传感器网络路由协议	246

6.4.1 典型的水声传感器网络路由协议	246
6.4.2 水声传感器网络路由协议的应用	251
6.5 无线体域网路由协议及其应用	252
6.5.1 无线体域网中的典型路由协议	252
6.5.2 无线体域网路由协议的应用	256
参考文献	257
第7章 无线自组织网络路由协议设计新技术	261
7.1 跨层优化	261
7.1.1 跨层优化简介	261
7.1.2 典型的跨层优化路由协议	265
7.1.3 基于相遇节点跨层感知的机会网络高效低时延路由协议	267
7.1.4 基于跨层设计的无线传感器网络节能双向梯度路由协议	270
7.2 网络编码	273
7.2.1 网络编码的基本原理	274
7.2.2 网络编码的优点	275
7.2.3 基于 MAODV 协议的网络编码方案	276
7.2.4 基于网络编码的机会网络高效路由协议	278
7.3 绿色节能路由协议	281
7.3.1 绿色节能路由协议的含义和特点	282
7.3.2 典型的无线自组织网络节能路由协议	282
7.3.3 基于跨层设计的能量高效路由协议	284
7.3.4 基于跨层功率控制的机会网络节能路由协议	287
7.3.5 基于异步休眠调度的机会网络节能路由协议	289
7.4 无线 Ad Hoc 网络机会路由协议	292
7.4.1 机会路由的基本思想及优势	292
7.4.2 典型的机会路由协议	294
7.5 基于博弈论的无线自组织网络路由协议	296
7.5.1 博弈论概述	297
7.5.2 典型的基于博弈论的无线自组织网络路由协议	298
7.5.3 一种基于 Barter 的高效改进路由协议	301
7.6 其他新发展方向	303
7.6.1 节点自供能	303
7.6.2 网络层次扁平化	308
7.6.3 移动社会网络路由	309
7.6.4 粒子群优化	310
参考文献	311

第 1 章

绪论



本章简要介绍无线自组织网络的一系列基本概念和基础知识，主要包括无线自组织网络的定义、分类、特点、应用、发展和一些典型的无线自组织网络，以及无线自组织网络路由协议的基础性内容，以便让读者在宏观上对无线自组织网络及其路由协议有一个全面、概要的了解。

1.1 无线自组织网络概述

人们接触到的常规网络基本上是有基础设施的网络，这里的基础设施包括交换机、路由器、基站等。但在某些不具备这些基础设施的特殊场合，如战场、较为偏远的山地地区、火灾水灾等灾难的营救现场、临时会场等，人们迫切需要一种新型的网络形式，它不依赖于任何通信基础设施就能够实现快速组网，并依靠无线终端之间的相互协作来完成网络的建立、维护和信息传输。为了满足这一需求，无线自组织网络应运而生。

1.1.1 无线自组织网络的定义和分类

无线自组织网络^{[1][2]}是由一组兼具终端及路由功能的设备通过无线链路形成的无中心、多跳、临时性自治系统，其目的是通过动态路由和移动管理技术传输满足一定服务质量要求的信息流。

无线自组织网络是一种新型的网络形式，它不需要任何基础设施支持，节点通过自组织的方式形成多跳的无线网络。通信时，当源节点和目的节点不在直接通信范围之内时，它们可以借助中间节点中继来实现通信。中间节点帮助其他节点中继时，先接收前一个节点发送的分组，然后再向下一个节点转发以实现中继。

无线自组织网络突破了传统无线蜂窝网络的地理局限性，能够更加快速、便捷、高效地部署，适合于一些紧急场合的通信需要，如用于战场的单兵通信系统，它是一种集个人通信和战场态势感知能力于一体的轻便、可移动、具有保密抗干扰和宽带通信的数字化系统，使得参战

士兵及与友邻部队之间,士兵与火力支援及后勤支持、救护、空中力量及指挥机构之间,甚至士兵与运行于外层空间的卫星之间,实现实时便捷和有效的信息沟通。但无线自组织网络也存在网络带宽受限、对实时性业务支持较差、安全性不高等弊端。

无线自组织网络的具体类型较多,可以分为移动 Ad Hoc 网络、无线传感器网络、无线 Mesh 网络、机会网络、车载自组织网络和认知无线自组织网络等。本书将在后续章节具体介绍这些无线自组织网络的路由协议及其应用。

1.1.2 无线自组织网络的主要特点

与传统的通信网络相比,无线自组织网络具有一些突出的特点^[3],包括无中心、自组织、多跳路由、动态的网络拓扑结构、临时性、有限的无线传输带宽等。

① 无中心。无线自组织网络没有严格的控制中心,所有节点的地位平等,即是一个对等式网络,节点可以随时加入和离开网络,任何节点的故障不会影响整个网络的运行,具有很强的抗毁性。

② 自组织。无线自组织网络可以在任何时刻、任何地点不需要现有信息基础网络设施的支持,就能够快速构建起一个移动通信网络。这是与常规通信网络的最大区别。

③ 多跳路由。无线自组织网络中的每一个网络节点扮演着多个角色,它们既可以是终端或者服务器,又可以充当路由器。

④ 动态的网络拓扑结构。在无线自组织网络中,网络节点以任意速度和任意方向在网络中移动,同时受无线发送装置发送功率变化、无线信道间互相干扰、地形等综合因素的影响,网络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,而且变化的方式和速度都是不可预测的,这将对路由协议提出更高的要求。

⑤ 临时性。无线自组织网络专为某个特殊目的而建立,如战场通信、野外救援,应用完成即拆除,一般只是临时性的。

⑥ 无线传输带宽有限。无线信道本身的物理特性决定了其能提供的网络带宽比有线信道要低很多,而竞争共享无线信道产生的碰撞、信号衰落、噪声干扰及信道之间干扰等因素使得终端的实际带宽远远小于理论值。

1.1.3 无线自组织网络的应用与发展

从诞生到现在,无线自组织网络已走过了数十年的历程,也越来越广泛地应用到军事和民用的多个领域,并且仍在迅速发展中。

1. 无线自组织网络的应用

无线自组织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形中,常用的应用^{[4][5]}有以下几个方面。

① 战场通信。因无线自组织网络具备的无须网络设施、快速部署、鲁棒性强等特点,它是数字化战场通信的首选技术。在战场上可以利用它完成友军兵力和装备监视、敌军兵力和地

形侦查、战争损毁评估、定位与跟踪、生化攻击检测等任务；需要通信的舰队战斗群之间也可以通过移动自组织网络建立通信，而不必依赖陆地或卫星通信系统。除了在战争时期，和平年代也能利用无线传感器网络通过对声音和震动信号的分类分析来探测敌方的入侵，从而进行国土安全保护。

② 应急通信。在发生了地震、水灾、强热带风暴等灾难后，固定的通信网络设施可能被摧毁或无法正常工作，对于抢险救灾来说，这时就需要无线自组织网络这种不依赖任何固定网络设施又能快速部署的网络技术。

③ 环境监控。在野生动物保护、土壤监测、大气监测等网络场景中，存在节点数目众多、数据种类繁多、数据量巨大、监测区域广大等问题。多个监测节点组成无线自组织网络，实现低成本构建大区域的自治网络的目的，然后通过网关与公网相连，在不需铺设和维护大量基础设施的前提下，对环境进行监测。

④ 宇宙开发。在宇宙空间进行基础设施的全面覆盖，是一件无法完成的任务。现有的卫星通信方式，可扩展性差，无法大规模满足民用服务的带宽需求。通过节点间的无线自组织网络，并结合存储-携带-转发的机会路由模式，实现宇宙开发过程中的移动通信功能。

⑤ 工业领域。在煤矿、石化这种存在易燃、易爆问题的领域中，可以利用无线传感器网络对危险环境中的数据进行采集，随时发现异常报警，从而提高险情的反应精度和速度，减少伤亡。另外，在现代制造业领域，工作人员从生产流水线到复杂机器设备，都尝试安装相应的传感器节点，以便时刻掌握设备的工作健康状况，及早发现问题并及时处理，从而有效地减少损失，降低事故发生率。

⑥ 医疗领域。无线自组织网络中的传感器网络在医疗健康方面也有一定的应用，如医生可以利用传感器网络随时对病人的各项健康指标及活动情况进行检测，为远程医疗技术的发展提供了很大的便利。

无线自组织网络不仅对各种恶劣的环境具有非常强的适应性，而且由于其对应用环境的高适应性使得它的应用范围已经扩散到救灾、环境、军事、工业、医疗、科学探索等各种场合。因此，无线自组织网络及其相关技术的研究不仅能够给我们的生活带来便利，具有重要的社会和经济意义，同时对于我国的民生、军事能力也具有莫大的帮助。所以对于无线自组织网络及其相关技术的研究是十分重要和有意义的。

2. 无线自组织网络的起源和发展

自组织网络是自组织理论在通信网络中的具体运用。自组织网络的起源可追溯到 1968 年的 ALOHA 网络和 1973 年美国国防部高级研究计划署资助研究的“无线分组数据网”。这些初期的自组织网络对自组织技术的发展起了奠基性的作用。20 世纪 80 年代，美国国防部启动了可生存自适应网络项目，研究如何将无线分组数据网的研究成果加以扩展，以支持更大规模的网络。1994 年，美国国防部又启动了全球信息系统计划，研究范围几乎覆盖无线通信所有相关领域。在该计划中，对于满足军事需要的、高抗毁灭性的自组织网络技术进行了深入的研究。20 世纪 90 年代以来，民用系统也逐渐出现了无线自组织网络的标准和应用。1991 年 5 月成立的 IEEE 802.11 标准^[6]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，进一步推动了自组织网络的发展。1994 年瑞典 Ericsson 公司推出蓝牙技术开发计划，1999 年公布了第一版本蓝牙技术规范。蓝牙技术也是自组织网络技术的一种应用，它具有自组织能

力,可以实现便携式计算机、打印机等其他便携式设备的互连互通,方便地构成个人网络。1996年 Internet 工程部 (Internet Engineering Task Force, IETF) 成立了一个移动自组织网络工作组,其主要目标就是针对无线自组织多跳网开发一种基于 IP 协议的路由机制,使得 IP 协议扩展到这种自组织的、快速移动的无线网。这个工作组对自组织网络进行了广泛的研究并推出了一些草案。

从事自组织网络研究的机构主要有 Internet 工程部、IEEE 组织及美国的国防高级研究计划局。IETF 于 1997 年成立了专门的研究组——MANET 组 (Mobile Ad-hoc Networks Working Group)^[7], 针对 MANET 开发基于 IP 协议的路由机制并解决与网络层相关的技术问题;并在 2000 年下半年公布了一系列 MANET 路由协议草案,如目的节点序列距离矢量 (DSDV)、按需驱动距离矢量 (AODV)、临时路由需求协议 (TORA)、动态源路由 (DSR)、最优链路状态路由 (OLSR) 等。IEEE 通信分会在 2000 年成立了专门的 MANET 技术分委员会。欧洲下一代移动通信系统组织设立了 Ad Hoc 组网研究小组,并于 2003 年发布白皮书对自组织网络进行了总结和展望。欧盟 IST 下设了若干采用自组织研究解决车辆之间通信问题的项目,比较重要的有 CarTALK2000、FleetNet 等。上述自组织网络研究机构为无线自组织网络的发展和应用都做出了重要贡献。国内对移动自组织网络的研究和开发起步较晚,目前尚处于理论探讨阶段。

近年来,无线自组织网络领域的关键技术的研究重点主要包括动态路由、无线电媒介的共享、服务质量的保障和低能量、低能耗限制等方面。

1.2 典型的无线自组织网络

无线自组织网络根据应用侧重的不同可以分为移动 Ad Hoc 网络、无线传感器网络、无线 Mesh 网络、机会网络 4 种典型的无线自组织网络和其他无线自组织网络。下面分别介绍这些典型无线自组织网络的基本概况。

1.2.1 移动 Ad Hoc 网络

随着科学技术的不断发展,手机、便携式电脑和掌上电脑等越来越普及,它们虽然在体积上不断减小,却在功能上更加强大,这使得它们成为无线通信领域重要的终端设备,而用户也相应地对无线通信技术有了更加灵活和多样性的需求。人们希望脱离固定的通信模式,自由地通信。而当前的蜂窝式移动通信系统或者无线局域网,都要借助于基站或者中心式接入点,一旦出现基站或者中心式接入点丢失,通信就会发生中断。同时在一些紧急情况下,也无法迅速建立有效的基础网络,这样就需要新的组网方式。这种新的组网方式就是移动 Ad Hoc 网络。

1. 移动 Ad Hoc 网络的定义

移动 Ad Hoc 网络 (Mobile Ad Hoc Network, MANET)^[8]是一种自组织的、无须基础设施、由一组移动通信设备经过无线通信链路连接构成的无线网络。

典型的移动 Ad Hoc 网络模型如图 1-1 所示。

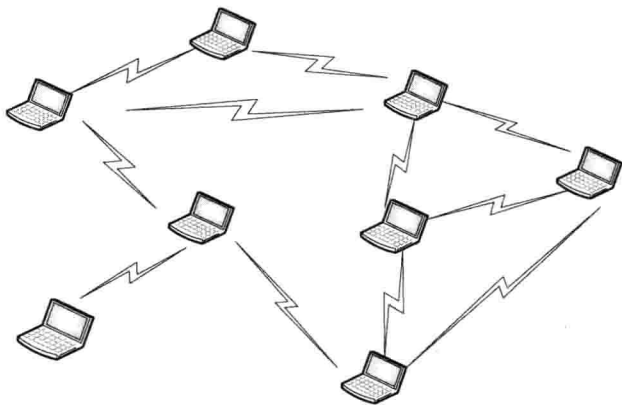


图 1-1 移动 Ad Hoc 网络模型

在该网络模型中没有固定的基础设施，每个节点都是移动的。所有节点在网络控制、路由选择和流量管理上是平等的，它们不仅可作为普通节点，同时又可作为路由器，能够以任意方式动态地保持与其他节点的联系，实现发现及维持到其他节点路由的功能；源节点和目的节点之间一般存在多条路径，可以较好地实现负载均衡和选择最优的路由。

因此，虽然节点的无线覆盖取值范围具有局限性，但两个无法直接进行通信的节点可以借助其他节点进行分组转发。

2. 移动 Ad Hoc 网络的特点

移动 Ad Hoc 网络中的每一个节点都兼有路由器和主机的功能，它的特点主要体现在以下几个方面^[9]。

① 移动性与网络拓扑动态性：移动 Ad Hoc 网络节点可以自由地任意移动，再加上无线发射装置发送功率的变化，环境的影响及无线信道间的互相干扰等因素致使网络拓扑可以随机、迅速、不可预测地变化。

② 有限的带宽：无线信道产生的碰撞、信号衰减、噪声干扰及信道间干扰等因素，使移动主机可得到的实际带宽远远小于理论上的最大带宽。

③ 分布式控制网络：移动 Ad Hoc 网络中各节点均兼有独立路由和主机功能，不需要网络中心控制点，各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。因此比采用集中式的网络具有更强的鲁棒性和抗毁性。

④ 安全性差：移动 Ad Hoc 网络的节点间通信由于采用无线信道、有限电源、分布式控制技术和方式，使传输的信息非常容易受到监听、重发、篡改、伪造等各种攻击，若路由协议遭受到上述恶意攻击，那么整个 Ad Hoc 网络将无法正常工作。

移动 Ad Hoc 网络的特性为移动 Ad Hoc 网络路由协议设计提出了新的问题和挑战，一个合理的路由协议必须考虑有限的传输带宽、动态变化的网络拓扑结构和有限的网络安全等各方面因素。

3. 移动 Ad Hoc 网络的应用

由于移动 Ad Hoc 网络组网灵活、快捷，并且不受有线网络的影响，所以它的应用非常广

泛，能够满足人们对通信的很多需求，具有广阔的发展前景和应用价值。

① 移动 Ad Hoc 网络在军事上的应用：Ad Hoc 网络的最初研究起源于军事通信，直到最近十多年才开始了商用的研究。然而，军方对 Ad Hoc 网络的研究从来没有中断过。在美军的 Glomo 计划、SUO SAS 计划（小部队作战态势感知系统）、WIN-T 计划（指战员信息网-战术部分）、MOSAIC（多功能“动中通”、抗毁、自适应综合通信）、JTRS 计划（联合战术无线电系统）中，都能看到 Ad Hoc 网络的基础地位越来越重要。因此，基于 Ad Hoc 网络技术的研究进展，同时结合战术通信的主要信息业务需求，包括态势感知（Situational Awareness, SA）数据、指挥与控制（Command and Control, C2）数据、密钥与图像分发、联合作战任务规划等，移动 Ad Hoc 网络在军事通信中将发挥越来越重要的作用。

② 移动 Ad Hoc 网络在海上移动通信系统上的应用：船舶节点移动迅速、通信密集性高、网络拓扑结构变化快是海上安全救助网络的显著特点。在这种复杂环境中，Ad Hoc 网络可以弥补现有系统的许多不足，更好地实现语音通信、遇险报警、船舶定位，以及利用其自组织特性扩大通信范围。

③ 移动会议：目前，越来越多的人携带手提电脑、PAD 等便携式设备参加各种会议。移动 Ad Hoc 网络可以使与会者不用借助路由器、集线器或基站就能将各种移动终端快速地组织成无线网络从而完成提问、交流及资料的分发，这无疑具有重要的意义。

④ 移动 Ad Hoc 网络与移动通信系统的结合：移动 Ad Hoc 网络可以与蜂窝移动通信系统相结合，利用移动台的多跳转发能力来扩大蜂窝移动通信系统的覆盖范围，均衡相邻小区的业务，提高边缘的数据速率等。

1.2.2 无线传感器网络

无线传感器网络是一种贴近应用、以信息采集和传输为主要功能的无线自组织网络，近年来受到了人们的广泛关注。

1. 无线传感器网络的定义

传感器网络实现了数据采集、处理和传输的三种功能，它与通信技术和计算机技术共同构成信息技术的三大支柱。那么何为无线传感器网络？无线传感器网络^[10]（Wireless Sensor Network, WSN）是由大量静止或移动的传感器以自组织和多跳的方式构成的无线网络，其目的是协作地感知、采集和处理网络覆盖区域内被感知对象的信息，最终把这些信息发送给网络所有者。

2. 无线传感器网络的特点

无线传感器网络是一种全新的信息获取方式，它不需要固定网络支持，以其随机布置、自组织、抗毁性强、适应苛刻环境等优势，具有在多种场合满足信息获取的实时性、准确性、全面性等需求的能力。它具有以下特点。

① 大规模。由于监测区一般较为广阔，且为了避免存在监测盲区，用户需要在监测区域内部署大量传感器节点，且传感器节点分布更为密集。

② 自组织。在传感器网络应用中，通常情况下传感器节点被放置在没有基础结构的地方。

传感器节点的位置不能预先精确设定,节点之间的相互邻居关系预先也不知道,如通过飞机播撒大量传感器节点到面积广阔的原始森林中,或随意放置到人不可到达或危险的区域。这就要求传感器节点具有自组织的能力,能够自动进行配置和管理,通过拓扑控制机制和网络协议自动形成转发监测数据的多跳无线网络系统。

③ 动态性强。传感器网络的拓扑结构可能因为下列四个因素而改变:环境因素或电能耗尽造成的传感器节点故障或失效;环境条件变化可能造成无线通信链路带宽变化,甚至时断时通;传感器网络的传感器、感知对象和观察者这三要素都可能具有移动性;为了提高精度或延长网络寿命可以向网络中加入新的节点。这就要求传感器网络系统要能够适应这种变化,具有动态的系统可重构性。

④ 可靠性。WSN 特别适合部署在恶劣环境或人类不宜到达的区域,节点可能工作在露天环境中,遭受日晒、风吹、雨淋,甚至遭到人或动物的破坏。这都要求传感器节点非常坚固,不易损坏,适应各种恶劣环境条件。

⑤ 以数据为中心。传感器网络是任务型的网络,用户通常不需要知道数据来自哪一个节点,而更关注数据及其所属的空间位置。用户使用传感器网络查询事件时,直接将所关心的事件通告给网络,而不是通告给某个确定的节点。网络在获得指定事件的信息后汇报给用户。这种以数据本身作为查询或传输线索的思想更接近于自然语言交流的习惯。所以通常说传感器网络是一个以数据为中心的网络。

⑥ 能量有限。目前大部分传感器节点采用电池供电的方式,由于传感器体积小,携带的电池就非常有限。而部署区域往往环境恶劣,无法二次供电,能量有限成为其最显著的特征。

3. 无线传感器网络的应用

由于技术等方面的制约,WSN 的大规模商用还有待时日。但随着微处理器体积的缩小和性能的提升,已经有中小规模的 WSN 在工业市场上开始投入商用。其应用主要集中在以下领域。

① 环境的监测和保护:无线传感器网络在环境监测和保护方面可用于跟踪候鸟和昆虫的迁移、监测海洋等。例如,著名的 ALERT 系统^[11]就是通过传感器网络来收集降雨量和土壤水分等方面的数据来预测山洪爆发的概率;加州大学利用传感器网络来监测海燕的生活习性^[12]等。

② 农业领域:无线传感器网络的应用使得传统农业生产模式转变为以信息网络为中心的自动化、网络化、智能化精准农业模式。在精细农业中,传感器节点可以收集多种精确的信息,如农作物生长态势、大气及土壤的温湿度、土壤中微量元素含量、酸碱度,还可以监测农作物中的害虫、土壤的酸碱度和施肥状况等。

③ 医疗护理:通过在病人身体上安装传感器来监测相应的生理数据,如血压、心跳、尿酸、血糖等,可以帮助医生对病人的身体状况进行远程监控,以便及时给出治疗方案,甚至能够对脑血栓、心脏病等突发性疾病及时预测、及时抢救^[13]。另外,通过在病人和医生身上安装带定位功能的传感器,帮助医院、医生及病人确定监测对象的位置,辅助治疗。

④ 军事领域:由于无线传感器网络具有密集型、随机分布的特点,使其非常适合应用于恶劣的战场环境中,包括侦察敌情、监控兵力、装备和物资,判断生物化学攻击等多方面用途。

⑤ 其他用途:WSN 还被应用于一些危险的工业环境,如井矿、核电厂等,工作人员可以通过它来实施安全监测,也可以用在交通领域作为车辆监控的有力工具。此外,还可以应用在

工业自动化生产线等诸多领域。

尽管无线传感器技术仍处于初步应用阶段，但已经展示出了非凡的应用价值，相信随着无线传感器网络的深入研究和广泛应用，它一定会逐渐深入到人类生活的各个领域。

1.2.3 无线 Mesh 网络

无线 Mesh 网络能够在源、目的节点之间建立多条路径，因此在数据传输的可靠性方面表现出一定优势，目前已应用于因特网的无线接入等领域。

1. 无线 Mesh 网络的基本概念

无线 Mesh 网络 WMN (Wireless Mesh Networks) 是一种具有自组织、自修复、多跳级联、节点自我管理的新型宽带无线网络^[14]。无线 Mesh 网络由 mesh routers (路由器) 和 mesh clients (客户端) 组成，其中 mesh routers 一般只具有很小的移动性或不具有移动性，基本可以看作是静止的。这些无线路由器构成 Mesh 网的骨干网络，并和有线的 Internet 网络相连接，负责为 mesh clients 提供多跳的无线 Internet 连接。mesh clients 构成网络的最底层，用户设备之间提供相互中继功能，通过无线 mesh 路由器连接到互联网。mesh clients 可以是 PDA、笔记本电脑、手机等无线设备。

在传统的无线局域网 WLAN (Wireless Local Networks) 中，每个客户端均通过一条与接入点 AP (Access Point) 相连的无线链路来访问网络，形成一个局部的基本服务集 BSS (Basic Service Set)。用户如果要进行相互通信，必须首先访问一个固定的接入点，这种网络结构被称为单跳网络。而在无线 Mesh 网络中，任何无线设备节点都可以同时作为 AP 和路由器，每个节点可以发送和接收数据包，又都具有路由器和中继器的功能，为网络中的其他节点存储转发数据包，而且每个节点都可以与一个或者多个对等节点进行直接通信。这种结构的最大好处在于：如果距离最近的 AP 由于流量过大而导致堵塞的话，那么数据可以自动重新路由到一个通信流量较小的邻近节点进行传输。依次类推，数据包还可以根据网络的情况，继续路由到与之距离最近的下一个节点进行传输，直到到达最终目的地为止。这样的访问方式就是多跳访问。在无线 Mesh 网络里，如果要添加新的设备，只需要简单地接上电源就可以了，它可以自动进行自我配置，并确定最佳的多跳传输路径。添加或移动设备时，网络能够自动发现拓扑变化，并自动调整通信路由，以获取最有效的传输路径。所以，WMN 是一个动态的自组织、自配置网络，可以很方便地提供健壮的、可靠的网络覆盖，提供因特网的无线宽带接入，为静止的或移动的终端提供低成本的网络连接。

2. 无线 Mesh 网络的特点

与传统的无线网络技术相比，无线 Mesh 网络具有以下特点^[15]。

- ① 组网方式灵活。无线 Mesh 网络具有平面结构、分层结构和混合结构三种组网模式，自组织和易于配置管理等特性使其便于灵活地组成各种拓扑结构，便于将来需要时随时扩容。
- ② 兼容性。Mesh 网络可以通过相应的网关与 Internet、WiFi 局域网、公共电话网等网络相连。Mesh 网络中的无线终端用户也可以连接到其他网络。
- ③ 支持非视距传输。构建无线 Mesh 网络的一个重要目标就是为那些没有直接视距链路的