

高等院校计算机
与信息技术

应用新技术教材

无线自组网技术 实用教程

郑相全 等 编著



清华大学出版社

无线自组网技术实用教程

郑相全 等 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书从无线 ad hoc 网络的基本概念、应用推广过程中面临的主要困难出发,紧紧围绕组网实现过程中各层协议栈需要解决的具体问题,向读者展示了如何利用现有研究成果,设计、完善无线 ad hoc 网络的各项实用技术,并对常用的仿真软件特性进行了介绍。内容包括无线自组网的基本概念、基本结构、发展概况和一些典型应用,以及无线自组网设计面临的主要问题;软件无线电和超宽带无线电这两种比较有前景的无线自组网物理层技术;无线 ad hoc 网络 MAC 接入技术及协议、隐藏终端和暴露终端问题;无线自组网中的分群算法;无线自组网路由技术及协议、路由协议的研究发展情况;网络管理的基本概念和广泛应用的 SNMP 协议,无线自组网中的网络管理面临的新问题和新内容;无线自组网中的移动性管理、拓扑发现与通信感知、功率控制和负载均衡;无线自组网研究展望,需要进一步研究的关键技术问题;无线自组网研究中的典型仿真工具。相信通过阅读本书,读者会加深对无线 ad hoc 网络的理解,为进一步研究提供很好的参考。

本书内容丰富,图文并茂,语言流畅,通俗易懂,针对性强,分析透彻。既可作为计算机网络和通信专业本科生、研究生的教材,也可作为从事通信、电子以及相关专业的教师和工程技术人员的参考用书。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

无线自组网技术实用教程/郑相等编著. —北京:清华大学出版社,2004.6

ISBN 7-302-08646-X

I. 无… II. 郑… III. 无线电通信—通信网—教材 IV. TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 045563 号

出版者:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社总机:010-62770175

地 址:北京清华大学学研大厦

邮 编:100084

客户服务:010-62776969

责任编辑:冯志强

封面设计:付剑飞

印刷者:世界知识印刷厂

装订者:三河市李旗庄少明装订厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:25 字数:620千字

版 次:2004年6月第1版 2004年6月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-08646-X/TP·6200

印 数:1~4000

定 价:34.00元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103 或(010)62795704

前 言

无线自组网是一种多跳的临时性自治系统,其网络概念的提出最早可以追溯到 1968 年,当时为了能够和夏威夷的教育机构交换数据,美国建立了 ALOHA 网,尽管 ALOHA 网络仍需要固定的基站,网络的每一个节点都必须和其他所有节点直接连接才能够互相通信,即 ALOHA 网络协议本身是一种单跳网络协议,这意味着它并不支持路由,但是 ALOHA 网络协议能够进行路由选择和管理,这为将来无线自组网的路由选择的发展打下了基础。

受 ALOHA 网络的启发,1973 年出现了 PR(Packet Radio,分包通信)网络,这是一种多跳网络,网络中的各个节点不需要直接相连,节点之间能够利用接力的方式,在两个相距很远而无法直接通信的节点之间传递信息,这样就突破了网络节点之间的距离瓶颈。在随后的几年中,又发展了多种 PR 网络,这些无线系统主要应用于大型多跳军用或援救网络中。在开发 IEEE 802.11 标准时,IEEE 提出将 PR 网络改名为 ad hoc 网络(我国一般称之为自组网或多跳网络),并且希望能够由此引出一个全新的发展领域。

无线移动通信和移动终端技术的高速发展,使得无线 ad hoc 网络不但在军事领域中得到了充分的发展,而且也为民用移动通信服务奠定了技术基础。无线 ad hoc 网络技术被提出的一个最大目的,是就实现网络终端在移动过程中随着网络拓扑结构的变化而不至于中断通信。这样,在一些由于没有可利用的设备或者受某些因素限制(费用、安全及政策等)的特殊环境中,就可以通过终端的自主组网来完成用户之间的信息交流,使他们能更好地协同工作,从而弥补没有已建好的网络通信基础设施可使用的缺陷。自组网技术的诞生为计算机支持的协同工作(CSCW, Computer Supported Cooperative Work)系统提供了一种解决途径。无线 ad hoc 网络的主要特点有:不需要固定的基础设施支撑,不需要预先配置主机,能够在任何时间、任何地点快速组建起一个移动通信网络;节点可以任意移动,网络拓扑结构动态变化;没有专用的固定基站或路由操作作为网络的管理中心,网络中每个节点都兼有主机和路由器的功能;节点间以对等的方式进行通信,具有高度的协作性;网络路由协议通常采用分布式控制方式,比中心结构的网络具有更强的鲁棒性和抗毁性等。由于无线 ad hoc 网络具有以上特点,因此无线 ad hoc 网络灵活多变,具有十分广泛的应用前景,主要应用于媒体会议、抢险、救灾、探险、军事行动及传感器网络等。

然而无线 ad hoc 网络给人们的研究提出了许多新的问题和挑战:网络拓扑结构动态变化时,如何进行更有效的路由、拓扑发现和管理;无线信道带宽受限,如何在提高信道利用率的同时,保证用户接入的公平性;电源和内存有限,如何对节点进行功率控制,以便在提高网络吞吐率的同时,延长网络的使用时间;在军事领域和商业领域中,网络容易受到攻击,如何解决安全性问题等。然而,国内很少有相关的资料可供借鉴,为了满足广大研究人员的迫切需求,笔者经过认真收集整理各类资料,结合长期的研究,编写了《无线自组网技术实用教程》一书。

主要内容

本书共分为9章,4个附录,主要内容如下:

第1章简单概述了无线自组网的基本概念、基本结构、发展概况以及一些典型应用和无线自组网设计面临的主要问题。如果读者已经具备无线自组网的基本知识,可以略过此章不读。

第2章主要介绍软件无线电和超宽带无线电这两种技术。如果读者的研究不涉及协议的具体实现,可以略过对此章的学习。否则,还需要进一步阅读关于软件通信结构(SCA)的知识。

第3章主要介绍无线自组网络MAC的接入技术及协议,包括ALOHA、CSMA家族、CSMA/CD、MACA、MACAW、FAMA、MACA/PR、DBTMA协议及隐藏终端和暴露终端问题等。

第4章主要介绍无线自组网中的分群算法,讨论现有的几种分群算法。

第5章主要介绍无线自组网路由技术及协议,讨论路由协议的设计以及几种典型的主动路由、按需路由、分级路由、地理定位辅助路由、组播路由以及路由的研究发展情况。

第6章主要介绍网络管理的基本概念和SNMP协议,讨论无线自组网中网络管理面临的新问题和新内容,重点对ANMP等3种比较完善的协议进行介绍。

第7章主要介绍无线自组网中控制和管理的几个重要方面,包括移动性管理、拓扑发现与通信感知、功率控制和负载均衡,并对相关原理、算法和实现进行概括性描述。

第8章主要对无线自组网的研究进行展望,讨论需要进一步研究的关键技术问题。

第9章主要介绍无线自组网研究中常用的两种典型仿真工具,OPENT和NS2。

附录A部分介绍OPNET仿真实例,附录B介绍MMWN的管理策略,附录C部分是缩略词索引,附录D部分则是每章思考题的参考答案。

特点

在本书的参考文献部分列出了笔者在编写本书过程中所参考的国内外资料。

本书详细阐述了无线ad hoc网络实用化过程中需要解决的若干关键技术问题,围绕协议性能的评估方法、指标和仿真评估手段,重点介绍了信道接入、路由、网络管理的设计原则、实现方法和协议,为各种协议的进一步完善提供了研究思路和研究手段。另外,本书的概念清晰、图文并茂,且所列举的实例针对性强,分析透彻,突出了本书以基本概念、研究设计为中心的特点。相信通过阅读本书,读者会加深对无线ad hoc网络的理解,为进一步研究提供很好的参考。

适应对象

本书语言通俗易懂,内容丰富翔实,突出了以基本概念原理、研究设计为中心的特点,适合有一定计算机网络和通信专业基础知识的高年级本科生、研究生,也可作为从事于通信、个人移动通信、电子站以及相关专业的教师和工程技术人员的参考书。

编写分工及致谢

本书由博嘉科技资讯有限公司组织编写,受到重庆市科委科技计划项目“超宽带移动 ad hoc 网络的关键技术研究”的部分资助,在此表示感谢。许以金、张志明、彭艺、黄姵英对本书的编写提供了大量资料,并参与了本书部分章节的编写工作,在此一并表示感谢。正是在他们的关心和共同努力下,该书才得以出版。

本书由郑相全担任主要的编写工作,参与本书编写的人员还有葛利嘉、张海呈、田永春、董平、任智等,在此对他们表示感谢。同时,参加本书编排的有:王安贵、陈郭宜、程小英、谭小丽、卢丽娟、刘育志、吴淬砺、赵明星、贺洪俊、李小平、史利、张燕秋、周林英、黄茂英、李立、李小琼、李修华、田茂敏、苏萍、巫文斌、邹勤、粟德容、童芳、李中全和刘青松等,正是在他们的关心和共同努力下,该书才得以出版。另外,对本书所参考的所有文献的作者表示诚挚的感谢。

由于时间仓促,再加上 ad hoc 网络的研究和应用是一个飞速发展着的全新领域,本书中的不足在所难免。虽然我们尽力做到精益求精,但难免有所疏忽,敬请读者批评指正。您中肯的意见将是对我们最大的信任和帮助。

延伸服务:如果读者愿意参加“无线自组网技术”的学习培训,或是在学习过程中发现问题,或有更好的建议,欢迎致函。同时,我们也非常愿意随时同无线自组网技术高手保持经常的联系,E-mail:bojiakeji@163.net。我们将认真、负责地对待每位读者的来信。

编 者

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 无线自组网的基本概念	2
1.2.1 自组网的基本概念及分类	2
1.2.2 网络协议分层参考模型	8
1.2.3 与其他网络的比较	10
1.3 无线自组网的发展与现状	11
1.3.1 发展简史	11
1.3.2 应用现状	13
1.3.3 应用趋势	16
1.4 无线自组网的关键技术	17
1.4.1 无线自组网面临的技术问题	17
1.4.2 各个功能层的研究情况	22
1.4.3 无线自组网技术发展趋势	24
1.5 本章小结	25
1.6 思考题	25
第 2 章 无线自组网的物理层技术	26
2.1 物理层技术概述	26
2.1.1 物理层基础	26
2.1.2 ad hoc 网络物理层的典型技术	30
2.2 软件无线电技术	32
2.2.1 软件无线电的基本概念	33
2.2.2 软件无线电的基本结构	39
2.2.3 软件无线电的关键技术	47
2.2.4 智能天线技术	49
2.2.5 软件无线电在自组网动态物理层中的应用	57
2.3 超宽带无线电技术	58
2.3.1 超宽带无线电的基本概念	59
2.3.2 超宽带无线电技术的特点	62
2.3.3 超宽带无线电技术的研究现状	66
2.3.4 超宽带无线电技术的组网应用	69
2.4 本章小结	70
2.5 思考题	71

第 3 章 无线自组网的 MAC 接入	72
3.1 无线自组网信道接入概述	72
3.1.1 有基础设施的网络中的信道接入	72
3.1.2 无线自组网 MAC 接入面临的问题	78
3.1.3 无线自组网信道接入协议的分类	81
3.1.4 ad hoc 网络信道接入协议的发展	86
3.2 隐藏终端和暴露终端	87
3.2.1 隐藏终端和暴露终端的概念及分类	88
3.2.2 隐藏终端和暴露终端问题的解决方法	89
3.3 退避算法	99
3.3.1 BEB 和 MILD	99
3.3.2 退避计数器广播	101
3.4 无线令牌环接入技术	101
3.5 扩频多址接入方式	105
3.5.1 无线自组网中扩频技术的应用	105
3.5.2 扩频多址方式	106
3.6 利用超宽带技术的接入方式	108
3.6.1 超宽带无线电技术与自组网 MAC 接入	109
3.6.2 超宽带移动 ad hoc 网络结构模型	109
3.6.3 战术超宽带 ad hoc 网络接入方案	111
3.7 本章小结	115
3.8 思考题	115
第 4 章 无线自组网的分群	116
4.1 网络分群概述	116
4.1.1 网络结构	116
4.1.2 网络分群	118
4.1.3 分群管理与分群路由	122
4.2 典型的分群算法	123
4.2.1 链路分群算法	124
4.2.2 最小 ID 分群算法	126
4.2.3 节点加权分群算法	132
4.2.4 被动分群策略	134
4.2.5 其他分群算法	136
4.3 分群实现举例	138
4.3.1 战术 ad hoc 网络的分群	138
4.3.2 战术 ad hoc 网络的群管理	139
4.4 本章小结	141

4.5 思考题	142
第5章 无线自组网路由技术	143
5.1 路由概述	143
5.1.1 基本概念	144
5.1.2 路由算法及协议	145
5.2 自组网路由	150
5.2.1 自组网路由协议面临的问题和设计	150
5.2.2 自组网路由协议分类	153
5.2.3 路由协议的评价	155
5.3 主动路由协议	157
5.3.1 FSR 协议	157
5.3.2 WRP 协议	160
5.3.3 其他主动路由协议	161
5.4 按需路由协议	163
5.4.1 AODV 协议	164
5.4.2 DSR 协议	172
5.4.3 其他按需路由协议	175
5.4.4 按需路由协议的分析与优化	179
5.5 分级路由协议	181
5.5.1 CBRP	182
5.5.2 HSR	183
5.5.3 CGSR	184
5.5.4 ZRP	185
5.5.5 ZHLS	186
5.5.6 LANMAR	186
5.5.7 CEDAR	187
5.6 地理定位辅助路由协议	187
5.7 路由协议的比较	191
5.8 组播路由协议	193
5.8.1 现有的典型组播路由协议	194
5.8.2 典型组播路由协议的比较	198
5.8.3 节省能量的移动 ad hoc 网络组播选路协议	200
5.9 路由协议的优化及发展	202
5.9.1 现有路由协议的优化	202
5.9.2 路由协议研究的发展	204
5.10 本章小结	208
5.11 思考题	209

第 6 章 自组网网络管理技术及协议	210
6.1 网络管理概述	210
6.1.1 网络管理概念及内容	210
6.1.2 简单网络管理协议	211
6.1.3 公共管理信息协议	215
6.1.4 网络管理的发展	217
6.2 无线自组网中的网络管理	221
6.2.1 面临的问题	222
6.2.2 网络控制管理结构	223
6.2.3 网络管理分群	224
6.3 无线自组网中的网络管理协议	224
6.3.1 ad hoc 网络管理协议	225
6.3.2 Terminodes 计划	228
6.3.3 MIL - STD - 188 - 220B	229
6.3.4 管理协议的比较与分析	230
6.4 ad hoc 网络管理的分群算法	231
6.4.1 移动 ad hoc 网络的网络管理分群	231
6.4.2 基于图论的网络管理分群算法	232
6.4.3 对 MIB 组的改进	235
6.5 本章小结	236
6.6 思考题	237
第 7 章 无线自组网中的控制和管理	238
7.1 移动管理机制	238
7.1.1 网络中的不同移动管理机制	238
7.1.2 自组网中的移动管理	247
7.2 拓扑发现与通信感知	258
7.2.1 拓扑发现	258
7.2.2 通信感知	261
7.3 能量保护	263
7.3.1 能量保护概述	263
7.3.2 ad hoc 网络中的功率管理策略	265
7.3.3 ad hot 网络中的功率控制技术	267
7.4 负载感知与负载均衡	272
7.4.1 概述	272
7.4.2 面临的困难及协议分类	273
7.4.3 单径负载均衡路由协议及方法描述	274
7.4.4 多径负载均衡路由协议	283

7.4.5 需要进一步研究的问题	285
7.5 本章小结	286
7.6 思考题	287
第 8 章 无线自组网展望	288
8.1 无线自组网的发展与应用	288
8.1.1 孤立的 ad hoc 网络	289
8.1.2 ad hoc 网络与蜂窝网络的结合	292
8.1.3 广域移动自组织节点网	294
8.1.4 基于 ad hoc 网络的移动对等信息系统	299
8.2 无线自组网研究展望	302
8.2.1 可扩展性问题	303
8.2.2 QoS 保证	304
8.2.3 客户/服务器模型的改变和服务定位	305
8.2.4 安全性与可靠性问题	305
8.2.5 互联问题	309
8.2.6 节能问题	311
8.2.7 节点的协同操作问题	312
8.2.8 对不同路由协议的支持	313
8.2.9 其他问题	313
8.3 本章小结	314
8.4 思考题	314
第 9 章 无线自组网的仿真	315
9.1 网络仿真概述	315
9.1.1 网络仿真技术的产生及发展	315
9.1.2 网络仿真技术及其特点	317
9.1.3 网络仿真技术的主要应用	318
9.1.4 主流的网络仿真软件平台	318
9.1.5 ad hoc 网络仿真模拟研究	324
9.2 OPNET 网络仿真软件	325
9.2.1 OPNET 概述	326
9.2.2 OPNET 的特点	327
9.2.3 OPNET 的典型应用	328
9.2.4 OPNET 的体系结构	328
9.2.5 OPNET 建模方法的实现	334
9.2.6 应用于网络规划设计的主要步骤	335
9.3 NS 网络仿真软件	338
9.3.1 NS 系统	339

9.3.2 NS2	344
9.3.3 NS 网络仿真的实现	346
9.4 本章小结	350
9.5 思考题	350
附录 A OPNET 仿真实例	351
附录 B MMWN 的管理策略	355
附录 C 缩略词	356
附录 D 参考答案	364
参考文献	374

第 1 章 绪 论

主要内容

- 无线自组网的基本概念、特点
- 无线自组网的协议分层参考模型
- 无线自组网的发展与现状
- 无线自组网的关键技术

本章导读

本章着重介绍自组网的概念、特点、参考模型以及它的发展历史和现状,并将自组网和其他网络进行比较,分析自组网技术的优缺点和自组网的关键技术,对自组网的应用和发展趋势进行展望。

1.1 引言

由于有线通信方式对应用范围的限制,人们发明了无线移动通信。近几年,无线网络在支持移动性方面的发展非常迅速,但一般来说,移动无线通信网络通常以蜂窝移动通信网络或无线局域网方式出现,使移动网络仍然需要以通信基站或接入点为基础。在蜂窝移动通信网络中,移动终端和固定基站互相通信,移动终端不具备路由功能,移动交换机负责路由和交换功能,同时充当网关,通过有线方式接入固定网。在无线局域网中,配备有无线局域网网卡的移动节点通过无线接入访问点连接到现有的固定网络。无线网桥可以连接两个距离较远并且不方便进行网络布线的局域网,无线局域网设备通常是工作在数据链路层和物理层,完成桥接和信号中继的功能,对网络层是透明的,在网络层协议看来,无线局域网是一个单跳网络。

另一方面,随着互联网的快速发展与普及,人们对它的依赖性越来越强。在 Internet 环境下,支持主机移动性的协议是移动 IP(Mobile IP)。移动节点可以通过连接到存在外地代理(Foreign Agent)的固定有线网络、无线链路或拨号线路等各种方式接入 Internet。在 Mobile IP 协议中,为支持节点移动性引入了地址管理机制,但是在 Internet 骨干网中,仍然采用原有路由协议(如 RIP、OSPF 等)进行 IP 数据分组的逐跳转发(Hop-by-Hop Forwarding)。

蜂窝移动通信网络和无线局域网、Mobile IP 协议都属于现有网络基础设施范畴,它们需要类似基站、访问服务点或外地代理这样的中心控制设备。但是,在某些特殊环境或紧急情况下,如当发生自然灾害时,如何应用网络?当进行科学考察、探险时,没有可用的网络,又如何进行通信联络?在战场上,如何实现动态过程中的协同通信?这些环境对通信有一个共同的要求,即动态的、可以快速部署的、不依赖或很少依赖现有的有线网络。满足这种环境的网络就是移动互联网。

从概念上讲,移动互联网可以分成两种方式:移动终端方式和移动路由器方式。

Mobile IP 和动态主机配置协议(DHCP, Dynamic Host Configuration Protocol)就属于移动终

端方式。在逻辑上移动终端到达固定互联网上的路由器只有一跳距离,可以通过无线连接,也可以通过有线的连接,固定互联网要解决移动终端接入所需要的定位和地址管理问题。Mobile IP 在固定互联网网络中增加了移动节点、本地代理和外地代理 3 个功能实体,主要完成代理发现、注册和隧道技术 3 个功能。

移动路由器方式中,移动路由器和移动终端组成一个独立的无线互联网。移动终端永久性或临时性地与移动路由器相连,但它不能直接与固定互联网上的路由器相连。移动路由器方式构成一个独立的 IP 网络,与固定互联网并行。从分层的概念上,可以认为移动路由器层和固定互联网的网络层同层,移动网络可以为固定互联网提供迂回路由。这种方式主要是通过无线网络构成移动的、多跳的专用网络,通过网关与固定的互联网相连。本书主要讨论这种方式,即移动自组网。

目前研究移动互联网主要有两个分支,一是美国国防部在 1996 年提出构建联合战术无线网系统(JTRS, Joint Tactical Radio System),主要用于构建战术移动互联网;二是互联网工程任务组(IETF)在 1997 年建立了一个专门的移动专网工作组 MANET(Mobile ad hoc Networks),利用多跳无线网构造一个基于 IP 的移动互联网,并通过 IP 实现与固定互联网的无缝连接,这就是“自组网”。

“自组网”最初是应用于军事领域的,它的研究起源与 TCP/IP 协议族类似,是 20 世纪 70 年代美国国防部高级研究计划局(DARPA, Defense Advanced Research Project Agency)资助研究的、在战场环境下采用分组无线网(PRNET, Packet Radio Net)进行数据通信的项目中产生的一种新型的网络构架技术。其后,又由 DARPA 资助,于 1983 年和 1994 年进行了具有抗毁性的自适应网络(SURAN, Survivable Adaptive Network)和全球移动信息系统(GloMo, Global Mobile Information Systems)项目的研究。ad hoc 技术就是吸取了 PRNET、SURAN 以及 GloMo 等项目的组网思想,从而产生的一种新型的网络构架技术。目前 ad hoc 网络继承和发扬了 DARPA 资助无线分组数据网的思想,特别是(PRNET, Packet Radio Net)。PRNET 强调的是在一个广阔的区域实现多跳的无线通信,基于这种多跳的无线信道特点,PRNET 面临着诸如介质接入、寻址、路由、网络初始化和控制等难题。但 PRNET 所倡导的系统自组织(self-organizing)特性使得 PRNET 网络系统组建灵活,网络的抗破坏性强。

由于无线移动通信和移动终端技术的高速发展,自组网不但在军事领域中得到了充分发展,而且也为民用移动通信服务奠定了技术基础。此外,在某些特殊工作环境下,比如所在的工作场地没有可利用的设备,或者由于某种因素的限制(如费用、安全及政策等)不能使用已建好的网络通信基础设施,但用户之间的信息交流和协同工作又是必需的,这时利用自组网就能提供可立即部署使用的途径,满足用户对移动数据通信的需求。因此自组网在民用环境下也开始得到重视。

1.2 无线自组网的基本概念

1.2.1 自组网的基本概念及分类

1. 基本概念

按照移动通信系统是否具有基础设施,可以把移动无线网络分成两类。

第一种类型是具有基础设施的网络。移动节点借助于通信范围内最近的基站实现通信。在这样的网络里,移动节点相当于移动终端,它不具备路由功能,而只有移动交换机负责路由和交换功能。这种类型的网络的典型例子有蜂窝无线系统、办公室无线局域网等。

移动无线通信网络通常是以蜂窝移动方式和 Mobile IP 方式出现的。在蜂窝移动通信网和 Mobile IP 中,移动终端和固定基站互相通信,网络中的交换机/路由器负责路由和交换功能,通过有线方式接入固定网。特点是在网络中有中心控制设备,终端和交换机/路由器分工明确。终端是移动的,它们需要固定网络的支持,也需要类似基站或访问服务点这样的中心控制设备。这些特点使现有移动通信系统在特殊场合中并不适用,如在野外环境临时通信和应急状态下的快速通信。

第二种类型是一种无基础设施的移动网络,也就是无线自组网(ad hoc Network),也被称为多跳无线网(Multi-hop Wireless Network)。无线自组网由一组带有无线通信收发装置的移动终端节点组成是一个多跳的临时性无中心网络,可以在任何时刻、任何地点快速构建起一个移动通信网络,并且不需要现有信息基础网络设施的支持,网中的每个终端可以自由移动,地位相等。

ad hoc 网络是一种移动通信和计算机网络相结合的网络,是移动计算机通信网络的一种类型,后者是指用户终端可以在网内随意移动的计算机网络,所以 ad hoc 网络是移动通信和计算机网络的交叉。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,而不是电话交换网中的电路交换机制;另一方面,用户终端是可以移动的便携式终端,如笔记本电脑、PDA、掌上型计算机、车载机等,并配置有相应的无线收发设备,并且用户可以随意移动或处于静止状态。在自组网中每个用户终端不仅能移动,而且都兼有路由器和主机两种功能。一方面,作为主机,终端需要运行各种面向用户的应用程序,比如编辑器、浏览器等;另一方面,作为路由器,终端需要运行相应的路由协议,根据路由策略和路由表完成数据的分组转发和路由维护工作。在部分通信网络遭破坏后,这种分布式控制和无中心的网络结构能维持剩余的通信能力,确保重要的通信指挥畅通,因而具有很强的鲁棒性和抗毁性。

作为一种无中心分布控制网络(Infrastructureless Networks),自组网是一种自治的无线多跳网,整个网络没有固定的基础设施,可以在不能利用或不便利用现有网络基础设施的情况下,提供一种通信支撑环境,拓宽了移动网络的应用场合。自组网中也没有固定的路由器,所有节点都是移动的,并且都能以任意方式动态地保持与其他节点的联系。在这种环境中,由于终端的无线覆盖范围的有限性,两个无法直接进行通信的用户终端可以借助于其他节点进行分组转发。每个节点都可以说是一个路由器,它们要能完成发现和维持到其他节点路由的功能。典型例子有交互式的讲演、可以共享信息的商业会议、战场上的信息中继以及紧急通信需要等。

ad hoc 网络中的信息流采用分组数据格式,传输采用包交换机制,基于 TCP/IP 协议族。若干个移动终端组成一个独立的 IP 网络,与固定的互联网并行,需要时也可与固定的互联网互联。根据底层采用的无线通信技术而有所不同,快的可在数秒钟内完成,慢的也可在几个小时内完成,有效通信距离通常在 30 公里~50 公里范围之内。

2. 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。在自组网中,由于用户终端的随机移动、节点的随时开机和关机、无线发信装置发送功率的变化、无线信道间的互相干扰以及地形等综合因素的影响,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,具体的体现就是拓扑结构中代表移动终端的顶点的增加或消失、代表无线信道的有向边的增加和消失、网络拓扑结构的分割和合并等。

在高动态的网络中,管理路由的任何方案都需要灵活地适应网络的 3 个不断变化而且难以预测的基本特征:网络中移动节点的总体密度、节点到节点的拓扑以及网络的使用模式。系统的目标必须是即使规则变化了也能够提供最优化的服务。为了处理网络的动态性问题,可以采用 3 种方式:非集中式管理、多跳路由和移动软件代理。

对于常规网络而言,网络拓扑结构的通常表现较为稳定,不会出现大的网络拓扑结构变化。而 ad hoc 网络在工作过程中,可能会形成若干分群,潜在的频繁网络分群会对网络的连接性造成影响。常规路由协议是为有线固定网络设计的,通常没有考虑动态变化的网络拓扑结构,产生的后果就是在自组网环境中,当网络拓扑结构变化后,常规路由协议需要花费很长的时间才能到达收敛状态,而此时拓扑结构可能在达到收敛状态之前又发生了变化。因此,如果在自组网中直接运行常规的有线路由协议,当拓扑结构变化后,协议需要花费很长的时间和很大的代价才能到达收敛状态,有些情况下甚至无法收敛。可能造成这样的一种情况:自组网主机在花费了很高的代价(如网络带宽、能源和 CPU 资源等)之后,得到了网络的临时拓扑结构,而由于动态变化的拓扑结构导致这个结果中的大部分内容变得陈旧,协议状态始终处于不收敛状态。

(2) 无中心网络的自组性

自组网没有严格的控制中心,所有的节点地位平等,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。

自组网相对常规通信网络而言,最大的区别就是可以在任何时间、任何地点不依赖现有信息基础网络设施(包括有线和无线网络)的支持,节点通过分层协议和分布式算法协调各自的行为,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。这也是个人通信的一种体现形式。

(3) 多跳组网方式

如图 1-1 所示,当自组网中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,所以自组网是一个多跳的移动计算机网络,多跳是研究自组网路由协议

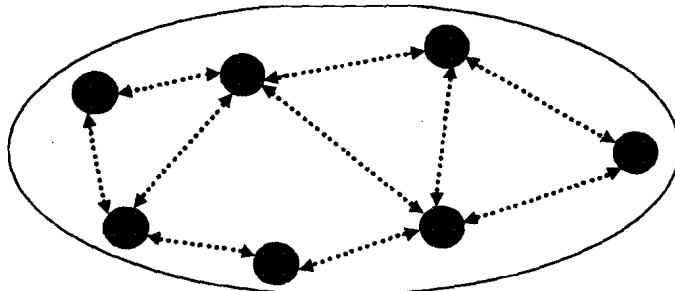


图 1-1 ad hoc 的多跳组网方式

的前提基础。与固定网络的多跳路由不同,自组网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(如路由器)完成。

不通过某些技术手段来扩大每个节点的通信范围,从而将多跳网络简化为一跳网络的主要原因有以下几个。其一,扩大通信覆盖范围,主要是通过加大发射功率、加高天线的高度等手段。这种方式对于许多移动终端而言,在功耗、电磁屏蔽、便携性、灵活性和设计成本等方面都是巨大的挑战。在多跳的情况下,由于收端和发端的节点都可以使用比两者直接通信小得多的功率进行通信,因此大大节约了电池能量的消耗。即使从全局的角度看,多跳传输情况下收发两端节点的能量消耗加上从中间转发节点“借”来的能量,其对电池能量的利用还是比直接通信情况下的效率高。其次,当所有的终端都同处于一个通信覆盖域中,共享的无线信道将变得更加拥挤,信号碰撞的概率将加大,信道的有效利用率将急剧下降。在自组网环境中,可以通过中间节点参与分组转发,从而有效地降低对无线传输设备的设计难度和成本,同时也扩大了自组网的覆盖范围。当然,自组网中并不是没有大功率的无线传输设备。多跳路由使通信对带宽的占用在地理区域上本地化了,可带来对整个系统的重要资源——通信带宽在空间上使用效率的提高,但是,它是以延长占用带宽的时间为代价的,因为多跳路由在距离上是直接通信情况下的若干倍。

在 ad hoc 网络中,节点的覆盖范围有限,一方面,较短的传输距离使路由的更新跟不上移动所带来的拓扑结构的变化,但是另一方面,过多的中继又可能使路由变得很脆弱。因此,需要对网络的拓扑进行控制,选取适合应用环境的节点发射功率。

(4) 有限的无线传输带宽

由于自组网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、噪声干扰及信道间干扰等多种因素,因此移动终端可得到的实际带宽远远小于理论上的最大带宽值。

(5) 移动终端的自主性和局限性

自组网中的移动终端具有自主性,不同于通常的移动计算机网络中的移动终端。在计算机网络中,主机和路由器是两个完全不同的物理设备,承担了不同的功能角色。主机主要是运行面向用户的应用程序,提供用户使用网络的人机接口。路由器作为网络互联设备,运行相应的路由协议,进行分组转发和路由维护工作。在自组网中,移动终端需要同时承担这两个角色,这将意味着参与自组网的移动终端之间存在某种协同工作的关系,这种关系使得每个终端都将承担为其他终端进行分组转发的义务。

通常的移动计算机网络中的移动终端主要承担主机的角色,有关信息交换的智能性主要体现在移动路由器。与台式机相比,自组网中的移动终端(如笔记本电脑、手持终端等)具有灵巧、轻便、移动性好等优点,但同时其固有的特性,例如依靠电池这样的可耗尽能源提供电源(车载终端的电源较有保障)、内存较小、CPU性能较低等,给自组网环境下的应用程序设计开发带来一定的难度,因此在设计软件算法上要求简单实用,如程序代码要求短小精悍,需要考虑如何节省电源等,而不能像通常路由器软件那样复杂精巧。

(6) 分布式控制网络

自组网中的用户终端都兼备独立路由和主机功能,不需要网络中心控制点,用户终端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,因而比采用集中式控制的网络