

大学计算机学科学术研究进展系列丛书

基于定向天线

无线自组网的资源调度研究

李 媛 著



科学出版社

大学计算机学科学术研究进展系列丛书

基于定向天线无线自组网的 资源调度研究

李 媛 著

科学出版社

北 京

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229;010-64034315;13501151303

内 容 简 介

本书对无线自组网 QoS 路由面临的资源调度问题和挑战进行了深入的探讨,针对结点使用定线天线的单播情况,提出新的、更符合实际应用的、能提供 QoS 支持的资源调度方法,并对其进行仿真模拟研究。

本书适合无线网络技术的相关研究、开发人员阅读,还可以作为高校和研究所相关研究人员,以及计算机及其相关专业研究生和高年级本科生的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

基于定向天线无线自组网的资源调度研究/李媛著. —北京:科学出版社, 2015. 11

(大学计算机学科学术研究进展系列丛书)

ISBN 978-7-03-46213-8

I. ①基… II. ①李… III. ①无线电通信—自组织系统—无线网—资源配置—调度—研究 IV. ①TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 262646 号

责任编辑:张颖兵 社 权 / 责任校对:董 丽

责任印制:高 嵘 / 封面设计:苏 波

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

武汉市首壹印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

开本: B5(720×1 000)

2015 年 11 月第 一 版 印张: 8 1/2

2015 年 11 月第一次印刷 字数: 200 000

定价: 48.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

随着便携计算与无线通信技术的高速发展,无线自组网已成为国内外的研究热点,并获得越来越广泛的应用。无线自组网(mobile ad hoc network, MANET)是一种不需要固定基础设施支持的、由若干移动结点组成的无线网络。无线自组网对支持实时传输和多媒体应用的需求越来越广泛,实时传输和多媒体应用对带宽、延迟等服务质量(quality of service, QoS)也有着严格的要求。

在动态的、移动的无线自组网中,进行服务质量路由(QoS routing)是非常困难的。因此,提供 QoS 保证的实时传输是无线自组网一个重要的研究领域。QoS 支持的实时传输依赖于网络资源如何进行调度,网络提供特定 QoS 的需求能力决定了如何分配网络资源。此外,在动态的、分布式管理的和多跳的无线网络中提供可靠的、高速的、端到端通信也是一个重要的研究领域。

近年来,国内外学者针对无线自组网中的 QoS 路由问题做了大量的研究工作,但仍然存在许多尚未解决的问题,特别在基于定向天线的无线自组网 QoS 路由技术方面的研究尚处于初期阶段。本书对无线自组网中 QoS 路由面临的问题和挑战进行探讨,针对结点使用定向天线的单播情况,提出新的、更符合实际应用的、能提供 QoS 支持的路由协议,并对其进行仿真模拟研究。

本书共分 10 个章节,每个章节的内容如下。

第 1 章论述了无线自组网的基本概念、无线自组网的发展历史、无线自组网国内外的研究现状以及无线自组网的应用领域和关键技术。

第 2 章叙述了无线自组网路由协议的基本概念、服务质量支持的相关研究以及服务质量路由协议的相关概念及其分类。

第 3 章描述了无线自组网中基于时分多址(TDMA)信道模型的资源分配技术。介绍了影响无线自组网网络性能的隐藏终端问题和暴露终端问题,提出基于时分多址信道模型的带宽分配方法。

第 4 章提出了无线自组网分散链路状态的服务质量路由协议,能够动态地收集从源结点到目的结点的分散链路状态信息,找出中间结点不相交的多条路径,这些路径能提供整合的带宽来满足应用的 QoS 要求,减少所需的路径数目。

第 5 章描述了无线自组网稳定的服务质量路由协议,通过把 QoS 路由问题和搜索稳定的路径问题联系起来,使找到的路径能够满足应用所需的 QoS 要求,同时满足该路径比较稳定的性能。

第 6 章提出了基于 TDMA 信道模型的避免冲突的服务质量路由协议,通过在 QoS 路由过程中维持沿路各结点的时隙状态信息,及时广播时隙状态的变化信息

给邻居结点,分配完全空闲的时隙等方法,避免不同 QoS 路径上时隙冲突。

第 7 章提出了基于 TDMA 信道模型的功率控制的服务质量路由协议。该协议不仅能够为会话提供满足 QoS 要求的带宽保证,而且通过功率控制来满足信号干扰率要求。

第 8 章提出了基于 TDMA 信道模型的最大带宽预留优先的服务质量路由协议。协议由目的结点基于最大带宽预留优先的时隙分配算法来预留路径带宽,而不是路由过程中各结点根据时隙状态信息来预留带宽。

第 9 章提出了基于 TDMA 信道模型的定向天线多播服务质量路由协议。这种服务质量多播路由协议引入了定向天线技术。使用定向天线能够提高空间的重用性,降低路径之间的干扰。

第 10 章提出了去掉控制阶段的 TDMA 帧结构模型,作为无线网络的新的信道通信模型,控制分组在数据阶段的时隙中传输,从而减少控制分组的带宽消耗。

本书的出版得到了湖北省自然科学基金重点项目(2013CFB035)的经费资助,在此表示感谢。在本书的撰写和出版过程中还得到科学出版社编辑们的支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

本书是作者近几年研究的成果总结,难免存在缺陷,欢迎专家和读者给予指正。

李 媛

2015 年 2 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 无线自组网的概述	1
1.2 无线自组网的发展历史	2
1.3 无线自组网的研究现状	3
1.4 无线自组网的应用领域	5
1.5 无线自组网存在的主要问题与关键技术	6
1.5.1 无线自组网存在的主要问题	6
1.5.2 无线自组网关键技术	8
第 2 章 无线自组网的服务质量路由协议	10
2.1 无线自组网的路由协议	10
2.1.1 无线自组网中路由协议的研究意义	11
2.1.2 路由协议的度量参数	12
2.1.3 无线自组网对路由协议的要求	13
2.1.4 无线自组网中路由协议的分类	13
2.1.5 无线自组网中路由协议的优化及发展	14
2.2 无线自组网的服务质量支持	16
2.2.1 无线自组网需要服务质量支持	16
2.2.2 无线信道的服务质量支持	16
2.2.3 MAC 层的服务质量支持	17
2.3 无线自组网服务质量的相关研究	17
2.3.1 服务质量的基本概念	17
2.3.2 无线自组网中的服务质量模型	18
2.3.3 无线自组网中的服务质量信令	18
2.3.4 服务质量支持的 MAC 协议	18
2.4 无线自组网的服务质量路由协议	19
2.4.1 服务质量路由的概述	19
2.4.2 无线自组网服务质量路由协议的分类	20
2.5 基于时分多址无线自组网的服务质量路由协议	23
2.5.1 基于时分多址无线自组网的图论基础	23
2.5.2 时分多址无线自组网中数据传输的约束	24
2.5.3 分时无线自组网服务质量路由协议	25
第 3 章 基于时分多址无线自组网的资源分配	27
3.1 隐藏终端问题和暴露终端问题	28

3.1.1	隐藏终端问题	28
3.1.2	暴露终端问题	29
3.1.3	解决隐藏终端和暴露终端问题的方法	29
3.1.4	仿真实验	30
3.2	基于时分多址信道模型的带宽分配	35
3.2.1	采用时分多址 MAC 协议研究服务质量支持的原因	35
3.2.2	时分多址信道模型	37
3.2.3	时分多址信道模型的带宽分配	38
第 4 章	无线自组网分散链路状态服务质量路由协议	42
4.1	多路服务质量路由中的带宽计算	43
4.2	分散链路状态的多路服务质量路由协议	44
4.2.1	服务质量路由发现	44
4.2.2	服务质量路径选择	45
4.2.3	服务质量路由应答	45
4.3.4	模拟实验与分析	47
第 5 章	无线自组网稳定的服务质量路由协议	49
5.1	稳定的服务质量路由协议及相关研究	50
5.2	路径带宽计算	51
5.3	路径到期时间	52
5.4	稳定的按需式服务质量路由协议	53
5.4.1	路径发现	53
5.4.2	路径选择	56
5.4.3	带宽预留	57
5.5	模拟实验	60
5.6.1	模拟实验环境的建立	60
5.5.2	实验结果与分析	61
第 6 章	无线自组网中避免冲突的服务质量路由协议	66
6.1	避免冲突的服务质量路由协议及相关研究	67
6.2	现有服务质量路由协议的局限性	68
6.3	避免冲突的服务质量路由协议	72
6.3.1	定义和假设	72
6.3.2	状态信息的转变	73
6.3.3	避免冲突的服务质量路由协议描述	75
6.4	模拟实验与分析比较	82
6.4.1	模拟实验环境的建立	82
6.4.2	模拟实验结果和分析	84
第 7 章	无线自组网中功率控制的服务质量路由协议	87
7.1	比率控制的服务质量路由协议及相关研究	88
7.2	时分多址模型中功率控制的基本思想	89

7.2.1 系统模型和帧结构	89
7.2.2 服务质量要求	89
7.2.3 功率控制	90
7.2.4 功率控制的 QoS 路由模式的基本思想	90
7.3 功率控制的服务质量路由协议	91
7.3.1 定义和假设	91
7.3.2 服务质量路由发现阶段	92
7.3.3 服务质量路由应答阶段	95
7.4 模拟实验与分析比较	96
7.4.1 模拟实验环境的建立	96
7.4.2 实验结果与分析	97
第 8 章 无线自组网中最大带宽预留优先的多路服务质量路由协议	102
8.1 最大带宽预留优先的多路服务质量路由协议及相关研究	102
8.1.1 基于时分多址的带宽预留	102
8.1.2 多路径服务质量路由	103
8.2 最大带宽预留优先的服务质量路由协议	104
8.2.1 定义和假设	104
8.2.2 服务质量的路径发现	105
8.2.3 最大路径带宽的多路选择	105
8.2.4 最大带宽预留优先的时隙分配算法	105
8.3 模拟实验与分析比较	106
8.3.1 模拟实验环境的建立	106
8.3.2 实验结果与分析	107
第 9 章 无线自组网定向天线多播服务质量路由协议	108
9.1 定向天线多播服务质量路由协议及相关研究	108
9.2 定向天线的多播服务质量路由协议	110
9.2.1 定义和假设	110
9.2.2 定向天线的多播路由协议	111
9.3 模拟实验与分析比较	113
第 10 章 去掉控制阶段的时分多址模型的设计	115
10.1 传统的时分多址模型	115
10.2 去掉控制阶段的时分多址模型	116
10.3 实验方法	117
参考文献	118
后记	125

第 1 章 绪 论

1.1 无线自组网的概述

21 世纪通信技术的发展日新月异,通信和网络技术的迅猛发展加速了信息交流,极大地促进了人类社会的全球化发展,深刻改变了社会经济、政治与生活面貌。反过来,全球化的发展又进一步刺激了通信与网络技术的发展,人们追求在任何时间、任何地点与任何人进行任何种类的信息交换。在 20 世纪的大部分时间里,以固定电话网为代表的有线网络一直是信息的主要载体。然而在近 20 年,无线通信网络获得了跨越式的发展,已成为全球通信网络的主要组成部分。随着人们对无线通信的需求日趋强烈,移动网络与无线通信技术已成为有线网络的有益补充。

近年来,无线通信网络的发展非常迅速,而连接世界各地、可共享可用信息资源的 Internet 的崛起更是极大地刺激了无线通信的发展。无线通信网络由于能快速、灵活、方便地支持用户的移动性而使它成为个人通信和 Internet 的发展方向。目前几乎所有的通信系统都与无线通信网络有关,比如蜂窝系统、无绳系统、卫星通信系统、无线局域网/广域网、移动 IP 等,而对无线和移动网络的相关研究成为这些系统中最主要的部分。

传统意义上对无线通信网络的研究仅限于一跳无线网络,比如蜂窝网络(cellar networks),属于有基础设施的移动无线网络。移动用户(或结点)在有限的区域里移动,借助于固定的基站和有线骨干网络系统与其他用户通信。

无线自组网是由若干移动主机通过无线连接形成的自主系统。该系统不同于以往的蜂窝网等无线网络,它没有基站等中心转发装置,也不需要任何骨干网络的支持。各移动主机本身充当路由器,具有路由和转发信息等功能。移动主机也是一个通信的端结点,源结点和目标结点之间有时需要多个主机从中转发。

早在 20 世纪 70 年代,美国军方就曾计划开展无基站的无线通信网络的研究,但因技术条件等原因所限,直到 90 年代后期,没有固定基础设施支撑的无线自组网(wireless ad hoc networks)逐渐成为研究热点,各界对其研究的热情有增无减。

无线自组网中的“Ad Hoc”一词来源于拉丁语,意思是“专用的、自主的、特定

的”。由于组网快速、灵活,使用方便,目前无线自组网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。

无线自组网中主机的移动性、能量的有限性常使得网络拓扑结构发生改变,其路由协议与算法的研究显得尤为重要。此外,随着多媒体应用的普及,人们自然会发生在无线自组网中传输综合业务的需求,并且希望像固定有线网络一样为不同业务提供服务质量保障。对于拓扑经常变化、带宽和能源受限的无线自组网而言,提供服务质量支持是一个重要的课题。

近年来,已有越来越多的学者致力于研究无线自组网服务质量支持的问题,并提出了一些服务质量路由协议。本书正是围绕无线自组网中服务质量支持面临的问题和挑战,结合最新的研究情况,对服务质量路由进行深入的研究和探讨。

1.2 无线自组网的发展历史

无线自组网技术的起源可以追溯到军事通信上。最早的分布式无线网络是美国夏威夷大学于1971年研究成功的ALOHA系统^[1]。1973年,美国国防部高级研究计划局(DARPA)开始把ALOHA技术移植到军事战术环境的研究工作,开发了“战场环境中的无线分组数据网”(PRNET)^[2]。DARPA当时所提出的这种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。

美国陆军战场信息分发(BID)系统^[3]采用分层分布式控制,采用自适应最小时延算法、自适应时隙分配和竞争相结合的方式,通过网络的初始化和周期性重组来适应网络的变化。

美国海军研究实验室(NRL)于20世纪70年代末研究并完成的短波自组织网络HF-ITF系统^[4],是一种采用跳频方式组网的低速分组无线网。它采用分层分布式控制结构,使用自适应TDMA/CDMA(时分多址/码分多址)和随机接入信道方式。

1993年,NRL主持了一项名为综合数据/话音(ATD)^[5,6]的研究计划,研究了在多跳、低速战术通信网络中进行数据/话音综合业务传输的问题。该协议在网络层支持数据报文和虚电路业务,并应用了TCP/IP协议和资源预约(RSVP)协议传输综合的Internet业务,解决了在低速分组无线网中实现数据/话音综合业务的传输问题。

1994年,美国DARPA启动了全球移动信息系统(Glomo)工程^[7],它综合了DARPA以前的几项相关计划,研究范围几乎覆盖了无线通信的所有相关领域。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。

1998年,美国国防部提出MIL-STD-188-220B标准^[8],它是基于战斗网无线

电的 CI 系统的互操作性标准,主要目标是实现数字消息转移设备子系统之间与应用的 CI 系统之间的互联和互操作性。美军研究的 SINGARS SIP IP 网络^[9]就是按照 MIL-STD-188-220B 的标准设计的分组无线网。

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无线自组网的研究和试验,目前已经提出了很多的路由方案建议,并且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。

此外,英国、澳大利亚、挪威和法国也都积极研究适合军事应用的分组无线网^[10]。英国研制了战斗网络无线电(CNR);澳大利亚国防部于 1993 年研制的短波战术无线网(TPRN),可以支持话音、图像、传真、联机数据和文件传输等综合业务传输;挪威陆军于 1990 年研制的 TADKCOM 战术通信系统;法国的第四代战术电台(PR4G)也综合了分组无线电功能。分布式无线网络也广泛应用于民用领域,典型的系统有加拿大最早研究的业余分组无线网(TAPR)^[11]、图书馆自动化分组无线网络^[12]。

近年来,出现了采用蜂窝式网络结构的一跳无线网络,比如传输话音业务的蜂窝系统、无线 ATP 以及支持 Internet 业务的移动 IP,它们直接依附于大型而又复杂的基站设备和大容量有线骨干网,所以只能支持它们覆盖区域内移动结点的通信。而 CDPD^[13]和 GPRS^[14]等系统利用现有的蜂窝系统,可为用户提供分组话音、数据、Internet 接入等业务。为了支持移动用户之间直接进行通信或经过移动用户的中转而实现相互间的通信,无线局域网应运而生了。

IEEE 802.11 标准的提出进一步推动了无线局域网的发展。蓝牙技术也为无线自组网提供了一些技术准备。随着 Internet 高速蓬勃的发展,为了支持广泛的 Internet 业务,而又要在苛刻的高速动态的条件下建立和维持有效的通信,快速安全地传送大量多媒体信息(话音、数据、图像和视频),无线自组网是一种很有前途的选择。

1.3 无线自组网的研究现状

无线自组网目前是国际上的研究热点,国外越来越多的学者、研究机构甚至工业界转向无线自组网及其相关领域研究与产品开发,国内此类研究也日益得到重视。众多国际会议、杂志、期刊甚至组建新的会议和期刊对无线自组网展开专题研究。如 Wireless Communications and Mobile Computing by Wiley & Son, Ad Hoc Networks by Elsevier, ACM Transactions on Sensor Networks, IEEE Transactions on Mobile Computing 等都是新兴的国际期刊。

与无线自组网相关的模拟环境、仿真器、产品等也应运而生,如美国 DARPA 支持的 VINT (visual internet testbed) 开发的 NS 2 (Network Simulator), 美国 MIL3 公司的产品 OPNET, 加州伯克利分校开发的 TinyOS 和 TinyDB, 俄亥俄州

立大学等研发的 J-Sim(javasim)等。

目前,国际上在移动 Ad Hoc 网络方面较为活跃的几个研究机构有以下一些。

互联网工程任务组(IETF)在 1997 年成立了专门的 MANET(mobile ad hoc network,移动的无线自组网)^[15]工作小组,负责移动 Ad Hoc 网络的相关协议的标准工作。该工作组专门负责研究和开发具有数百个结点的移动 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。

加州大学洛杉矶分校无线自适应移动实验室主要研究 Ad Hoc 网络路由协议、多播协议、多跳网络 QoS,MAC(media access control,媒体接入控制)协议、功率控制等^[16]。

康纳尔大学的无线网络实验室的研究方向包括 Ad Hoc 网络重构、MAC 协议、路由协议和网络安全等^[17]。

伊利诺大学 Urbana-Champaign 分校的 Ad Hoc 网络研究小组主要研究 Ad Hoc 网络的定向 MAC、定向路由协议、网络调度等^[18]。

马里兰大学的移动计算与多媒体实验室的研究方向包括 Ad Hoc 网络路由协议和 QoS 等^[19]。

加州大学圣巴巴拉分校的移动管理和联网实验室主要研究 Ad Hoc 网络路由协议、多播协议、地址重构、安全性、QoS、可伸缩性和适应性等^[20]。

加州大学圣克鲁兹分校的计算机通信研究小组的研究方向包括无线网络的信道接入等^[21]。

瑞士联邦工学院和瑞士电信合作的项目 Terminnodes,研究和实现大规模自组织移动 Ad Hoc 网络。

澳大利亚国家信息通信技术研究中心由联邦政府的通信信息技术与文理司和澳大利亚研究委员会组建,主要研究可信无线网络和从数据到知识两方面的内容^[22]。其他比较活跃的机构还包括美国陆军、海军和一些企业的研究机构。

近年来,随着国内各高校与研究机构和国际上的交流日益频繁,国内对无线自组网的关注程度也日益提高。如龙星计划课程《Ad Hoc 与传感器网络》于 2005 年 5 月在华中科技大学开课,国际会议 MSN'05 于 2005 年 12 月在武汉召开,以及国际会议 APWeb'06 联合召开的国际研讨会 IWSN'06 于 2006 年 1 月在哈尔滨召开,国际会议 WiCOM 也已经从 2005 年开始连续举办了 8 届。

此外,国内如北京大学网络实验室、清华大学现代通信实验室、北京邮电大学通信网络综合实验室、中科院计算技术研究所、中国科技大学计算机科学技术系、西南交通大学移动通信重点实验室、西安电子科技大学无线通信实验室、武汉大学计算机学院网络与通信实验室、山东省计算机网络重点实验室等教学与科研机构都在积极开展无线自组网方面及其相关研究。

从 Ad Hoc 技术开始民用以来,也有一些 Ad Hoc 网络的产品面市。基于无线自组网技术的移动终端以及网络设备已经成为一些大通信公司研发的重点。到目前为止,国外的 Nokia 公司已经发布了无线移动路由器,并提供了高速无线接入系

统的解决方案;NEC 公司也提供了基于 PHS 系统的移动计算网络系统;美国一家专门致力于 Ad Hoc 技术产品研发的公司 Mesh Networks 已经推出了整个通信系统的解决方案以及各种网络设备和移动终端,其宗旨就是研发应用于下一代移动通信末端的系统解决方案。在国内,成立于 2001 年的珠海汉风公司也是以 Ad Hoc 无线移动多跳网络作为产品研发的重点,目前已完成前期实验系统的研制,实现了 Ad Hoc 无线移动终端多跳、自组织等功能。

1.4 无线自组网的应用领域

无线自组网主要应用在抢险、抗灾、救援、探险、军事行动、应急任务和临时重大活动等需要快速建立、移动灵活的通信系统的场合中,无论是在军事还是在民用上都有显著的意义。为了完成无缝连接的通信要求,无线自组网将会起到至关重要的作用,因为仅仅基于现有的任何系统并不能支持更为广泛的、完全意义上的连接和无缝通信。从这种意义上讲,无线自组网将是未来通信中关键而又现实的延伸,它可以灵活地扩展到任意的地域。具体来说,目前无线自组网主要应用在下列领域。

1) 军事通信

军事通信是无线自组网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 网络技术可用来构建战术互联网,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的地区,固定的通信网络设施很可能无法正常工作;而无线自组网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,当警察或消防队员执行紧急任务,而常规通信网络又无法保障时,可以通过无线自组网来保障通信指挥的顺利进行。

3) 临时场合

无线自组网快速、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

无线自组网技术可以用于个人区域网络 PAN(personal area network)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 MPP(mobile point-to-point)。在这种情况下,无线自组网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)是无线自组网技术应用的另一领

域。传感器的发射功率很小,大量地理分散的传感器通过无线自组网技术组成网络,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,结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

使用无线自组网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

无线自组网具有很多优良特性,它的应用领域还有很多。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,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等。

综上所述,军事应用目前仍是无线自组网的主要应用领域。由于无线自组网不是一种广域的解决方案,它注定不可能成为占主导地位的通信方式;但无线自组网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,在那些临时的、紧急的、无基础设施的、要求低发射功率但高覆盖的场合,无线自组网有它的广阔天地。

1.5 无线自组网存在的主要问题与关键技术

1.5.1 无线自组网存在的主要问题

与传统有线网络以及其他常规移动通信网络相比,无线自组网的工作环境有很多不同之处,因此所选用的技术也有很大的差异,主要体现在网络的物理层、链路层和网络层,其中网络层的差异最大。

在图 1.1 所示的无线自组网的 5 层参考模型中,物理层的首要问题是无线频段的选择、购买以及分配,其次是必须就各种无线通信机制做出选择,从而完成性能优良的收发信功能。链路层又分为 MAC 层和 LLC 层,主要解决媒体接入控制,数据的传送、同步、纠错以及流量控制等问题。以路由协议为核心的网络层设计事实上是无线自组网的主要研究内容之一。传输层还是借鉴有线网的方法,把 TCP/UDP 基于无线环境进行修改,以适应无线环境。应用层指定的是各种类型的业务。

由于无线自组网具有动态、多跳、无中心、自组织等特点,基于这种环境下的各种路由协议和路由算法也都比传统的网络要复杂。直到目前,很多问题仍没有圆

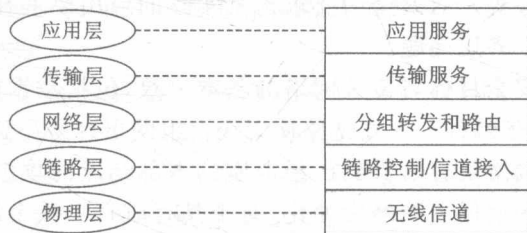


图 1.1 无线自组网的 5 层参考模型

满的答案,主要表现在以下几个方面。

1) 有限的无线传输范围

因为每个主机的发射功率有限,甚至发射方向也有限制,所以传输覆盖范围也有限,加上网络中某些结点的能量耗尽,从源到目的结点往往要通过多个中间结点的中转,因为只有结点传输覆盖范围内的结点(称为邻居)才能收到信息。无线自组网的信道共享方式为多跳共享广播信道,由于发送结点和接收结点感知到的信道状况不一定相同,这种方式可能带来隐藏终端和暴露终端等一系列特殊问题。

2) 有限的无线传输带宽

无线自组网使用无线传输技术作为底层通信手段,与有线信道相比,无线网络中的带宽资源远不及有线网络中的丰富,信道质量差。如何利用有限的网络资源进行多媒体的通信,这对路由协议的设计提出了新的要求,也是对已有路由协议的挑战。这也正是本书要重点解决的问题。

3) 动态变化的网络拓扑结构

由于无线自组网中的主机都是可移动的,当主机移动速度比较快时,网络拓扑结构将发生经常性的变化,甚至网络被阻断,使原来建立起来的路径无法再使用,或是传输无法继续进行而造成丢包。这就要求在无线自组网中设计的路由协议能够应变这种网络拓扑的动态变化,路由协议能够跟踪和感知到结点移动造成的链路状态变化,以进行动态路由维护。

4) 能量限制

目前无线自组网主要是以电池作为无线主机的能量来源。电池的寿命非常有限,如何最大限度地延长其使用寿命,保证网络最长时间的连通是不不容易解决的问题。

结点(主机)的能源耗费来自通信相关的功耗和非通信功耗两方面,前者包括处理功耗和发送/接收功耗,处理功耗用于网络计算和运行相关的应用程序;发送/接收功耗主要是结点间通信的功耗。

5) 安全危机

无线自组网最初主要用于军事领域,但是因对这种网络的配置快捷方便,构造成本低,故而正逐渐被运用于商业和民用环境。但目前在商用环境中运用无线自组网面临的一个重要问题,就是它更易受到各种安全威胁和攻击,包括被动窃听、

伪造身份和拒绝服务等。对安全的要求与其实际的应用要求有关,无线自组网中的安全问题也是一个多层问题。

无线自组网的安全目标与传统网络的基本一致,包括数据可用性、机密性、完整性、安全认证和抗依赖性。无线链路使无线自组网更容易受到链路层的攻击,缺乏物理保护又使得网络更容易受到已经泄密的内部结点的攻击,拓扑和成员的经常改变使得结点间的信任关系经常变化,对于具有成百上千个结点的无线自组网则需要采用具有扩展性的安全机制。在无线自组网中,安全需要依赖于应用场合、运行环境等因素,传统网络关于安全的解决方案不能直接应用于无线自组网。

6) 新的网络管理内容

无线自组网的自组织性给网络管理提出了新的要求,不仅要要对网络设备和用户进行管理,还要有相应的机制解决移动性管理、服务管理、结点定位及地址配置等特殊问题。

1.5.2 无线自组网关键技术

1) 路由协议和算法问题

在无线自组网中,由于主机的移动性带来网络拓扑结构的动态变化,传统有线网中的路由协议并不适用。开发针对无线自组网特性的路由协议是建立无线自组网的首要问题,同时也是主要的研究热点和难点。无线自组网的路由协议要能够监测到网络拓扑的动态变化,并能动态更新链路状态以维护网络拓扑的连接。

对于路由协议而言,虽然有大量的研究成果,但这些成果或是基于某种网络拓扑和应用环境而设计的,或是基于某个约束条件而设计的。随着 Ad Hoc 网络应用的普及,在网络规模、网络拓扑、组网形式等方面都呈现出一定的多样性,能满足这种多样性的路由协议还非常少见。此外,对于实时业务的支持,路由协议要能够提供带 QoS 保证的路由选择功能,这牵涉到多约束条件的路由协议,目前仍是一个难点。

2) 服务质量

服务质量(quality of service, QoS)是指当源结点向目的结点发送分组流时,网络向用户保证提供一组满足预先定义的服务性能约束,如端到端的时延、带宽和分组丢失率等。为了提供 QoS 保证,首先要在源结点和目的结点之间寻找具有必要资源来满足 QoS 要求的路由,然后再将必要的资源进行预留,这样 QoS 保证的问题转换为 QoS 路由的问题。在无线 Ad Hoc 网络中,无线信道的特性较差,存在大量背景噪声和冲击噪声,所能提供的网络带宽比有线信道窄,并且网络容易遭受敌意破坏和干扰,这就要求为 Ad Hoc 网络设计新的 QoS 保障机制。Ad Hoc 网络中的服务质量保证是个系统问题,不同层都要提供相应的机制。比如应用层要提供自适应信源编码和压缩技术,网络层要提供 QoS 路由,链路层要提供预留策略。

3) 媒体接入控制(MAC)

在无线自组网中,由于无线信道的广播特性,容易产生隐藏终端结点和暴露终

端结点等问题,如何获得较高的信道利用率、较低的延迟和终端公平的接入是新的 MAC 协议需要考虑的。

MAC 协议主要是解决隐藏终端问题和暴露终端问题,影响比较大的有 MACA (multiple access with collision avoidance) 协议,即 RTS/CTS/ACK (request-to-send/clear-to-send/AC knowledge) 方案,控制信道和数据信道分裂的双信道方案和基于定向天线的 MAC 协议,以及一些改进类的 MAC 协议和提高能量效率的 MAC 层协议。有一些研究则是侧重于将 IEEE 802.11 的 MAC 协议移植到 Ad Hoc 网络中。基于定向天线的 MAC 协议在理论上性能较为优越,但在技术上实现的难度较大。

4) 功率控制

功率控制问题涉及无线网络中的各层。无线自组网中存在多跳,其功率控制要比传统蜂窝系统复杂许多。在物理层可以通过调节结点的发射功率,来减少网络的能量消耗。MAC 层可以尽量减少数据发送的冲突,避免重传,使其进入睡眠状态。网络层可以采用功率控制路由算法。

在一个多跳、承载数据业务的网络中进行闭环功率控制可能会很困难,因此大部分系统采用开环功率控制。在目的结点能正确接收分组的前提下,减少结点的能量消耗可以减少对邻居结点的干扰和数据被窃听的可能性,提高网络的吞吐量和通信安全性,延长结点和网络的寿命。

5) 安全问题

无线自组网中许多问题与传统有线网以及无线蜂窝网相同,但由于其新的特性如电池威胁、易被动窃听、难以保证接入特定结点、比有线网络更易被入侵等,其安全更难以保证。目前提出的安全策略有基于密码的认证协议,即密钥和密码的产生是由多台机器决定,而不是传统的由一台机器产生;异步的分布式密钥管理;针对传感器网络的“复活鸭子”安全模式。

6) 与其他网络的互联

通过使用网关路由器,可以将几个无线自组网互联,还可以将无线自组网与 Internet 和蜂窝网互联,这时无线自组网通常是以末端子网的方式接入。这种形式可以向位于多个分散地理位置上的工作小组提供协同通信能力。

7) 无线自组网的资源管理

与蜂窝通信相比,无线自组网的资源管理更为复杂。无线自组网的资源管理主要针对各种数据业务,使其服务质量要得到保证。而网络拓扑结构的快速变化增加了资源管理的复杂度。无线自组网中的资源管理不仅涉及了通信中的 MAC 层,还扩展到了网络层甚至传输层。此外,由于只能依赖电池等便携式能源,对能量有效性的考虑也是无线自组网资源管理的基本内容。