

# 基于时分多址无线自组网的带宽保证

## 服务质量路由研究

● 李媛 著



武汉出版社



(鄂)新登字 08 号

图书在版编目(CIP)数据

基于时分多址无线自组网的带宽保证服务质量路由研究/

李媛著. —武汉:武汉出版社,2012.6

ISBN 978-7-5430-7073-8

I. ①基… II. ①李… III. ①时分多址—自组织系统—无线网—路由选择—研究 IV. ①TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 128047 号

---

著 者:李 媛

责任编辑:孙 敏

封面设计:映日图文

出 版:武汉出版社

社 址:武汉市江汉区新华下路 103 号 邮 编:430015

电 话:(027)85606403 85600625

<http://www.whcbs.com> E-mail:zbs@whcbs.com

印 刷:武汉鑫泰和印务有限公司 经 销:新华书店

开 本:880mm×1230mm 1/32

印 张:6.5 字数:165 千字 插 页:1

版 次:2012 年 6 月第 1 版 2012 年 6 月第 1 次印刷

定 价:26.00 元

---

版权所有·翻印必究

如有质量问题,由承印厂负责调换。

# 摘 要

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、由若干移动节点组成的无线网络。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)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分配,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。本书是作者在总结前人研究工作和本人前期工作的基础上,对无线自组网中QoS路由面临的问题和挑战进行探讨,针对节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。

本书的组织结构如下:

第1章 论述了无线自组网的基本概念、发展历史、研究现状、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 概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。

第4章 概述了无线自组网分散链路状态的服务质量路由协议。

第5章 描述了无线自组网稳定的服务质量路由协议。

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。

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。

第8章 研究了基于TDMA信道模型的最大带宽预留优先的服务质量路由协议。

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。

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。

第11章 对全文进行了总结,并对未来工作进行了展望。

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。联系邮箱:liyuanlx@126.com。

# 目 录

## 第 1 章 绪 论

- 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 ..... (4)
- 1.4 无线自组网的应用领域 ..... (7)
  - 1.4.1 军事通信 ..... (7)
  - 1.4.2 自然灾害应急处理和突发场合 ..... (7)
  - 1.4.3 临时场合 ..... (8)
  - 1.4.4 个人通信 ..... (8)
  - 1.4.5 无线传感器网络 ..... (8)
  - 1.4.6 商业应用 ..... (8)
  - 1.4.7 其他应用 ..... (9)
- 1.5 无线自组网存在的主要问题与关键技术 ..... (9)
  - 1.5.1 无线自组网存在的主要问题 ..... (9)
  - 1.5.2 无线自组网存在的关键技术 ..... (12)

## 第 2 章 无线自组网的服务质量路由协议

- 2.1 无线自组网的路由协议 ..... (15)
  - 2.1.1 无线自组网中路由协议的研究意义 ..... (17)

2.1.2	路由协议的度量参数 .....	(17)
2.1.3	无线自组网对路由协议的要求 .....	(19)
2.1.4	无线自组网中路由协议的分类 .....	(20)
2.1.5	无线自组网中路由协议的优化及发展 .....	(22)
2.2	无线自组网的服务质量支持 .....	(24)
2.2.1	无线自组网需要服务质量支持 .....	(24)
2.2.2	无线信道的服务质量支持 .....	(25)
2.2.3	MAC 层的服务质量支持 .....	(25)
2.3	无线自组网服务质量的相关研究 .....	(26)
2.3.1	服务质量的基本概念 .....	(26)
2.3.2	无线自组网中的服务质量模型 .....	(27)
2.3.3	无线自组网中的服务质量信令 .....	(27)
2.3.4	服务质量支持的 MAC 协议 .....	(28)
2.4	无线自组网的服务质量路由协议 .....	(29)
2.4.1	服务质量路由的概述 .....	(29)
2.4.2	无线自组网服务质量路由协议的分类 .....	(31)
2.5	基于时分多址无线自组网的服务质量路由协议 .....	(35)
2.5.1	基于时分多址无线自组网的图论基础 .....	(35)
2.5.2	时分多址无线自组网中数据传输的约束 .....	(36)
2.5.3	分时无线自组网服务质量路由协议 .....	(37)
2.6	小 结 .....	(39)

### 第 3 章 基于时分多址无线自组网的资源分配

3.1	概 述 .....	(41)
3.2	隐藏终端问题和暴露终端问题 .....	(42)
3.2.1	隐藏终端问题 .....	(43)
3.2.2	暴露终端问题 .....	(44)

3.2.3	解决隐藏终端和暴露终端问题的方法 .....	(45)
3.2.4	仿真实验 .....	(46)
3.3	基于时分多址信道模型的带宽分配 .....	(51)
3.3.1	采用时分多址 MAC 协议研究服务质量支持的原因 .....	(51)
3.3.2	时分多址信道模型 .....	(54)
3.3.3	时分多址信道模型的带宽分配 .....	(56)
3.4	小结 .....	(60)

## 第 4 章 无线自组网分散链路状态 服务质量路由协议

4.1	概述 .....	(61)
4.2	多路服务质量路由中的带宽计算 .....	(62)
4.3	分散链路状态的多路服务质量路由协议 .....	(64)
4.3.1	服务质量路由发现 .....	(64)
4.3.2	服务质量路径选择 .....	(65)
4.3.3	服务质量路由应答 .....	(66)
4.3.4	模拟实验与分析 .....	(68)
4.4	小结 .....	(70)

## 第 5 章 无线自组网稳定的服务质量路由协议

5.1	概述 .....	(71)
5.2	相关的研究以及存在的问题 .....	(72)
5.3	路径带宽计算 .....	(74)
5.4	路径到期时间 .....	(76)
5.5	稳定的按需式服务质量路由协议 .....	(77)



5.5.1	路径发现	(78)
5.5.2	路径选择	(83)
5.5.3	带宽预留	(83)
5.6	模拟实验	(88)
5.6.1	模拟实验环境的建立	(88)
5.6.2	实验结果与分析	(90)
5.7	小结	(94)

## 第6章 无线自组网中避免冲突的 服务质量路由协议

6.1	概述	(95)
6.2	研究背景和相关工作	(96)
6.3	现有服务质量路由协议的局限性	(98)
6.4	避免冲突的服务质量路由协议	(104)
6.4.1	定义和假设	(104)
6.4.2	状态信息的转变	(106)
6.4.3	避免冲突的服务质量路由协议描述	(109)
6.5	模拟实验与分析比较	(120)
6.5.1	模拟实验环境的建立	(120)
6.5.2	模拟实验结果和分析	(123)
6.6	小结	(127)

## 第7章 无线自组网中功率控制的 服务质量路由协议

7.1	概述	(128)
7.2	相关工作及存在的问题	(130)

7.3	时分多址模型中功率控制的基本思想 .....	(131)
7.3.1	系统模型和帧结构 .....	(131)
7.3.2	服务质量要求 .....	(131)
7.3.3	功率控制 .....	(132)
7.3.4	功率控制的 QoS 路由模式的基本思想 .....	(133)
7.4	功率控制的服务质量路由协议 .....	(134)
7.4.1	定义和假设 .....	(134)
7.4.2	服务质量路由发现阶段 .....	(136)
7.4.3	服务质量路由应答阶段 .....	(141)
7.5	模拟实验与分析比较 .....	(142)
7.5.1	模拟实验环境的建立 .....	(143)
7.5.2	实验结果与分析 .....	(144)
7.6	小结 .....	(150)

## 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

8.1	概述 .....	(152)
8.2	背景 .....	(153)
8.2.1	基于时分多址的带宽预留 .....	(153)
8.2.2	多路径服务质量路由 .....	(154)
8.3	最大带宽预留优先的服务质量路由协议 .....	(155)
8.3.1	定义和假设 .....	(155)
8.3.2	服务质量的路径发现 .....	(156)
8.3.3	最大路径带宽的多路选择 .....	(156)
8.3.4	最大带宽预留优先的时隙分配算法 .....	(157)
8.4	模拟实验与分析比较 .....	(158)
8.4.1	模拟实验环境的建立 .....	(158)

8.4.2 实验结果与分析 .....	(159)
8.5 小结 .....	(160)

## 第9章 无线自组网定向天线多播 服务质量路由协议

9.1 定向天线概述 .....	(161)
9.2 相关工作 .....	(162)
9.3 定向天线的多播服务质量路由协议 .....	(163)
9.3.1 定义和假设 .....	(163)
9.3.2 定向天线的多播服务质量路由协议 .....	(165)
9.4 模拟实验与分析比较 .....	(168)
9.5 小结 .....	(171)

## 第10章 去掉控制阶段的时分多址模型的设计

10.1 传统的时分多址模型概述 .....	(173)
10.2 去掉控制阶段的时分多址模型 .....	(174)
10.3 实验方法 .....	(175)
10.4 小结 .....	(176)

## 第11章 总结与展望

11.1 主要工作总结 .....	(177)
11.2 无线自组网服务质量路由的展望 .....	(180)
参考文献 .....	(182)

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 无线自组网的概述

在 21 世纪的信息社会里,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,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方式有关,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 等等,而对无线和移动的相关研究成为这些系统中的最主要的部分。

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(或节点)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。

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 20 世纪 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节点,源节点和目标节点之间有时需要多个主机从中转发。

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,人们自然会产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。本文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<sup>[1]</sup>。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)<sup>[2]</sup>。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<sup>[3]</sup>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<sup>[4]</sup>,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)<sup>[5,6]</sup>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<sup>[7]</sup>,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<sup>[8]</sup>,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 系统之间的互连和互操作性。美军研究的 SINCGARS SIP IP 网络<sup>[9]</sup>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<sup>[10]</sup>。如英国的战斗网络无线电(CNR);澳大利亚国防部 1993 年研制的短波战术无线网(TPRN),可以支持语音、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)<sup>[11]</sup>、图书馆自动化分组无线网络<sup>[12]</sup>。

近年来,出现了采用蜂窝式网络结构的一跳无线网络,比如传输语音业务的蜂窝系统、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节点的通信。而 CDPD<sup>[13]</sup>和 GPRS<sup>[14]</sup>等系统利用现有的蜂窝系统,可为用户提供分组语音、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 的高速蓬勃的发展,为了支持广泛的 Internet 业务,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(语音、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:

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)<sup>[15]</sup> 工作小组,负责移动 Ad Hoc 网络的相关协议的标准化工作。该工作组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。

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<sup>[16]</sup>。

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<sup>[17]</sup>。

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<sup>[18]</sup>。

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、QoS 等<sup>[19]</sup>。



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<sup>[20]</sup>。

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<sup>[21]</sup>。

瑞士联邦工学院和瑞士电信合作的项目 Terminodes, 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<sup>[22]</sup>。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, 与国际会议 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 已经从 2005 年开始连续举办了 7 届, 第 8 届 WiCOM 会议将于 2012 年 9 月 23 日在上海召开。

此外, 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;