

► 21世纪通信网络技术丛书

Application

网络通信与工程应用系列

移动Ad Hoc网络

——自组织分组无线网络技术

(第2版)

陈林星 曾曦 曹毅 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

21 世纪通信网络技术丛书
网络通信与工程应用系列

移动 Ad Hoc 网络 ——自组织分组无线网络技术 (第 2 版)

陈林星 曾 曦 曹 毅 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

出版说明

为了促进和推动我国通信产业的发展,符合国家在 21 世纪的中长期信息通信技术的发展规划,电子工业出版社通信出版分社特策划了一套《21 世纪通信网络技术丛书》。这套丛书根据不同的技术应用层面,又细分为 4 个系列:《移动通信前沿技术系列》、《3GPP LTE 无线通信新技术系列》、《物联网技术与应用开发系列》和《网络通信与工程应用系列》。

《移动通信前沿技术系列》是以移动通信技术(3G 技术)的应用现状与发展情况为导向,结合新一代移动宽带系统(4G 技术)的逐步建立,全面介绍当今移动通信领域涉及的前沿关键技术与热点技术,以理论创新和技术突破为主。

《3GPP LTE 无线通信新技术系列》是以 TD-LTE、WCDMA-LTE、cdma2000-LTE、WiMAX-LTE 的新技术与新标准为主攻方向,以 3GPP 中 LTE 标准的关键技术在无线、宽带、高速、资源中的有效管理和实现为主。LTE 作为无线通信技术的一个重要的长期演进计划,代表了国内外无线通信领域的最新发展需求和解决方案。以新一代移动宽带通信技术为主。

《物联网技术与应用开发系列》是下一代 ICT(信息通信技术)产业的新增长点之一。将物联网技术与应用开发单独列为一个系列主要是从无处不在的应用宽泛性和无所不能的移动互联网对人们生活和工作的深刻影响而构建的。物联网是互联网的自然延伸,以 IP 技术为核心,是一种架构在基于 IPv4/IPv6 的各种网络上的综合应用和通信能力。根据它的四个层面——感知、传输、处理和应用,通过技术与应用开发的紧密结合去推动物联网工程应用的进一步发展。以物联网技术开发应用为主。

《网络通信与工程应用系列》是以构建网络的体系结构、标准、协议为目标所开展的对现代无线、移动、宽带通信网络的规划与优化,以及结合工程应用的成功案例所提出来的。以移动通信网络工程应用为主。

为了提升本套丛书的影响力,依托各高等院校在通信领域从事科研、教学、工程、管理的具有丰富的理论与实践经验的专家、教授;各科研院所的研究员,国内有一定规模和研发实力的科技公司的一线研发人员,以及国外知名研究实验室的专家、学者等组成编写和翻译队伍,力求实现内容的先进性、实用性和系统性;力求内容组织循序渐进、深入浅出;理论阐述概念清晰、层次分明、经典实例源于实践;力求很强的可读性和可操作性。

本套丛书的主要读者对象是广大从事通信网络技术工作的各科研院所和公司的广大工程技术人员;各高等院校的专业教师和研究生;刚走上工作岗位的大学毕业生,以及与此相关的其他学科的技术人员,供他们阅读和参考。

本套丛书从 2008 年上半年开始陆续推出,希望广大读者能关注它,多对本套丛书提出宝贵意见与建议,欢迎通过电子邮箱 wchn@phei.com.cn 进行探讨、交流和指正,以便今后为广大读者奉献更多、更好的优秀通信技术类图书。

电子工业出版社
通信出版分社

作者简介

陈林星 毕业于电子科技大学通信专业，研究员。长期从事通信尤其是分组无线网络方面的研究和开发工作。参与或主持过多项大型或重点通信项目的研究和开发工作。主要研究兴趣是无线网络技术。已出版的技术专著有：《无线传感器网络技术与应用》、《IEEE 802.11 无线局域网》、《无线网络安全——技术与策略》。

曾曦 毕业于重庆邮电学院（现重庆邮电大学）和电子科技大学，研究员。一直在从事通信网络的研发工作。参与或主持过多项大型或重点通信项目的研究和开发。主要研究兴趣是交换技术和网络协议。

曹毅 毕业于重庆通信学院，硕士，讲师。主要研究兴趣是移动自组织网络技术。

第2版前言

无线自组织网络技术一直在不停发展,其应用也在不断地深入和拓广。自组织网络技术 是战场通信系统(如战术互联网、单兵通信系统等)的重要技术之一;是无线传感器网络 (WSN)的基本网络技术;是物联网的重要网络技术之一;是无线局域网(WLAN)、无线 个人区域网络(WPAN)必备的网络技术;是车辆通信系统中的核心网络技术。自组织网 络技术可以嵌入到许多平台中,提升平台的协作能力、智能水平,以及综合工作能力。无线自组织网络技术也早已是我国中长期规划中的一项基本技术。因此,自然需要一本系统 阐述无线自组织网络的基本理论与技术的书。为此,决定对受到读者厚爱的《移动 Ad Hoc 网络——自组织分组无线网络技术》一书进行修订再版。

在修订过程中,充分吸收当前国际上移动 Ad Hoc 网络(MANET)领域的最新研究成果; 继续保持原书详细描述的编写风格;原书主要内容保持不变,但对具体内容作了调整,同时 增加了新的内容。具体说明如下。

(1) 对原书章节调整如下:

① 将原“第2章 移动 Ad Hoc 网络的基本内容”、“第3章 移动 Ad Hoc 网络的应用”、 “第4章 移动 Ad Hoc 网络中的广播”纳入“第1章 移动 Ad Hoc 网络概述”。

② 将原“第6章 移动 Ad Hoc 网络的分配类 MAC 协议”和“第7章 移动 Ad Hoc 网 络的混合类 MAC 协议”合并成1章。

③ 删除原“第14章 移动 Ad Hoc 网络路由协议的对比研究”,只将其中有关路由协议 的对比研究内容(即“DSR、AODV、ABR 的性能对比及分析”)安排在“移动 Ad Hoc 网络的 按需路由协议”一章中。

④ 原“第14章 移动 Ad Hoc 网络中的功率与能量效率”主要论述节能问题。考虑到作 者在其另一部专著《无线传感器网络技术与应用》中已对此问题有了论述,以及本书篇幅已 经较大,故删除此章。

(2) 新增一章是“移动 Ad Hoc 网络的分群技术”。

(3) 保留并重新编写“移动 Ad Hoc 网络的安全”一章。

(4) 充实的内容如下:

① 在“移动 Ad Hoc 网络的 MAC 协议——竞争类”一章中,增加了多信道 CSMA 协议, 增加了 FAMA-NCS、FAMA-NPS 协议的正确性分析、吞吐量对比分析。

② 在“移动 Ad Hoc 网络的按需路由协议”一章中,增加了 QoS 路由协议(即具有 QoS 意识的 AODV 路由协议)。

③ 在“移动 Ad Hoc 网络的混合路由协议”一章中,增加了灵敏混合自适应路由协议 (SHARP)。

④ 在“移动 Ad Hoc 网络的多径路由协议”一章中,增加了多径源动态路由协议 (MP-DSP)、可靠数据交付安全协议 (SPREAD)、载荷平衡多径路由协议 (MRP-LB)。

⑤ 在“移动 Ad Hoc 网络的多目标路由协议”一章中,增加了 MAODV、ABAM、 ODMRP、ADMR 的性能,ODMRP 的优化,ABAM 与 ODMRP 的对比分析,ODMRP 与

MAODV 的对比分析。

⑥ 在“移动 Ad Hoc 网络的 IP 地址分配技术”一章中,增加了跨层交互对 TCP 性能的影响,环形地址自动配置协议(RAA)。

⑦ 在“移动 Ad Hoc 网络中的 TCP”一章中,增加了提高 MANET 环境中 TCP 性能的机制,如小窗口递增策略与按需路由协议链路中断容忍机制。

⑧ 在“第 12 章 移动 Ad Hoc 网络的 QoS”一章中,增加了 MANET 服务质量(QoS)的基本概念。

(5) 修订版各章篇幅大致一样。全书共 14 章(减少了 5 章,既保留了原书的基本内容,又增加了许多新内容),安排如下:

“第 1 章 移动 Ad Hoc 网络概述”介绍 MANET 的发展历史、基本概念、特点、基本内容,分析 MANET 面临的问题和挑战,详细描述 MANET 广播技术,分析和介绍 MANET 的应用。

“第 2 章 移动 Ad Hoc 网络的 MAC 协议——竞争类”介绍的竞争类 MAC 协议包括 ALOHA, CSMA, 基于控制分组握手的竞争访问控制协议(如 MACA、MACAW、FAMA、IEEE 802.11 MAC、MACA-BI), 忙音类多址访问协议[如 BTMA、DBTMA、RI-BTMA、无线碰撞检测(WCD)], 多信道 CSMA 协议。

“第 3 章 移动 Ad Hoc 网络的 MAC 协议——分配类和混合类”详细描述 TDMA、五步预留协议(FPRP)、跳频预留多址访问协议(HRMA)、混合时分多址访问协议(HTDMA), 简单介绍了一种 TDMA 和 CSMA 的混合协议、ADAPT、ABROAD、AGENT、Meta-协议。

“第 4 章 移动 Ad Hoc 网络的主动式路由协议”详细描述 MANET 两个典型的主动式路由协议,即最优化链路状态(OLSR)协议和基于反向路径转发的拓扑分发(TBRPF)协议。

“第 5 章 移动 Ad Hoc 网络的源动态路由协议”详细描述源动态路由协议(DSR)。

“第 6 章 移动 Ad Hoc 网络的按需路由协议”详细描述 MANET 两个典型按需路由协议,一个是 Ad Hoc 按需距离矢量路由(AODV)协议,另一个是基于相互关系的路由(ABR)协议,接着详细描述具有 QoS 意识的 AODV 路由协议,最后比较 DSR、AODV、ABR 的性能。

“第 7 章 移动 Ad Hoc 网络的混合路由协议”详细描述域路由协议(ZRP)、抢先式路由协议、灵敏混合自适应路由协议(SHARP)。

“第 8 章 移动 Ad Hoc 网络的多径路由协议”介绍多径路由的基本概念,详细描述 Ad Hoc 按需多径距离矢量路由协议(AOMDV)、分离多径路由路由(SMR)、多径源动态路由协议(MP-DSP)、可靠数据交付安全协议(SPREAD)、载荷平衡多径路由协议(MRP-LB)。

“第 9 章 移动 Ad Hoc 网络的多目标路由协议”详细描述 Ad Hoc 按需距离矢量多目标路由协议(MAODV)、基于相互关系的多目标路由协议(ABAM)、按需多目标路由协议(ODMRP)、自适应按需驱动多目标路由协议(ADMR)。

“第 10 章 移动 Ad Hoc 网络的分群技术”介绍分群的基本概念,详细描述基于节点 ID 和网络连通性的分群技术[包括最小 ID 分群算法(MinID)和最高连通性分群算法(MaxDegree)], 自适应分群算法、基于节点权重的分群技术[包括加权分群算法(WCA)和分布式分群算法(DCA)], 基于节点移动性的分群技术、基于弱连通支配集(WCDS)的分群技术。

“第 11 章 移动 Ad Hoc 网络的 IP 地址分配技术”分析 MANET IP 地址分配面临的困难与基本要求, 介绍 MANET IP 地址分配算法的分类, 详细描述 Perkins 冲突检测分配法、分布式动态主机配置协议 (DDHCP)、基于二分法的主动式 IP 地址动态分配法、预测分配法、环形地址自动配置协议 (RAA)。

“第 12 章 移动 Ad Hoc 网络的 QoS”介绍 MANET 服务质量 (QoS) 的基本概念, 详细描述基于 MACA/PR 的 QoS 体系、INSIGNIA 服务质量框架体系、综合移动 Ad Hoc 服务质量 QoS 框架体系 (iMAQ)。

“第 13 章 移动 Ad Hoc 网络中的 TCP”分析和介绍多跳无线信道、MAC 协议、多径路由协议、跨层交互对 TCP 性能的影响, 详细介绍一些提高 MANET 环境中 TCP 性能的措施 (如反馈策略、乱序检测与响应对策、小数窗口递增策略与按需路由协议链路中断容忍机制)。

“第 14 章 移动 Ad Hoc 网络的安全”介绍和分析 MANET 的安全目标、安全要求、面临的安全挑战和安全威胁、安全攻击, 详细描述了一些 MANET 的安全技术 (如多层次多方面安全防护对策、MANET 网络层分组交付功能的 SCAN 安全解决方案、对抗分组注入攻击的简易夹层对策 (LIP)、对抗 MANET 蠕虫攻击的分组束缚对策)。

本次修订工作主要由陈林星和曾曦两位研究员完成。其中中国电子科技集团公司第三十研究所的曾曦研究员完成第 11 章“移动 Ad Hoc 网络的 IP 地址分配技术”、第 13 章“移动 Ad Hoc 网络中的 TCP”的修订和编写工作, 并完成了本书中大多数图形的描绘; 陈林星研究员完成其余各章的修订和编写工作, 并负责全书的统稿; 参加修订和编写的还有骆睿、方丽群、曾晖、刘陶惠、曾令长、马蓉、张虎、刘科、刘玲玲、曾德蓉、刘飙、廖昌秀等。

本次修订参阅了大量的研究文献和资料。在每章最后列出本章的参考资料。对于本书修订及出版, 电子工业出版社给予了大力支持。作者在此一并表示感谢, 同时感谢帮助作者完成本书编写及修订的所有人士!

借此修订版出版之际, 作者特别感谢本书读者, 感谢您们指出书中的错误!

由于作者水平有限, 本书难免有缺陷甚至错误。非常欢迎读者给予指正。联系信箱: clx-clx-clx@163.com。

目 录

第 1 章 移动 Ad Hoc 网络概述	1
1.1 移动 Ad Hoc 网络的发展历史简述	2
1.2 移动 Ad Hoc 网络	3
1.3 移动 Ad Hoc 网络的特点	6
1.4 移动 Ad Hoc 网络中的问题	7
1.4.1 传统的无线问题	7
1.4.2 网络设计约束条件	8
1.4.3 带宽有限	8
1.4.4 扩展性	8
1.4.5 电池能量极其有限	9
1.4.6 外部系统连接	9
1.4.7 安全问题	9
1.4.8 消费者应用问题	10
1.5 移动 Ad Hoc 网络的基本内容	10
1.5.1 MANET 的媒介访问控制	10
1.5.2 MANET 的路由	16
1.6 移动 Ad Hoc 网络中的广播	18
1.6.1 MANET 广播的作用与特点	18
1.6.2 典型的的 MANET 广播技术	19
1.6.3 泛洪产生的广播暴	21
1.6.4 广播暴问题的减轻方法	24
1.7 移动 Ad Hoc 网络的应用	27
1.7.1 应用范围	28
1.7.2 JTRS 宽带自组织网络及其应用	29
1.7.3 传感器网络	43
1.7.4 车辆网络 (VANET)	43
1.7.5 紧急事件服务	43
1.7.6 会议	44
1.7.7 个人区域网络 (PAN)	44
本章参考文献	44
第 2 章 移动 Ad Hoc 网络的 MAC 协议——竞争类	47
2.1 ALOHA 协议	47
2.2 载波侦听多址访问 (CSMA) 协议	47

2.2.1 多信道 CSMA 协议	48
2.3 基于控制分组握手的访问控制协议	52
2.3.1 MACA 协议	52
2.3.2 MACAW 协议	53
2.3.3 FAMA 协议	60
2.3.4 IEEE 802.11 MAC 协议	75
2.3.5 MACA-BI 协议	77
2.4 忙音类多址访问协议	79
2.4.1 忙音多址访问 (BTMA) 协议	79
2.4.2 双忙音多址访问 (DBTMA) 协议	80
2.4.3 接收机初始化忙音多址访问 (RI-BTMA) 协议	89
2.4.4 无线碰撞检测 (WCD) 协议	89
本章参考文献	89
第 3 章 移动 Ad Hoc 网络的 MAC 协议——分配类和混合类	91
3.1 时分多址访问 (TDMA) 协议	91
3.2 五步预留协议 (FPRP)	91
3.2.1 FPRP 协议	92
3.2.2 基于竞争的访问	100
3.2.3 节点移动的影响	103
3.2.4 时间同步问题	104
3.2.5 干扰考虑	105
3.2.6 FPRP 协议的应用	105
3.3 跳频预留多址访问 (HRMA) 协议	106
3.3.1 HRMA 协议描述	106
3.3.2 HRMA 协议的正确性	111
3.3.3 HRMA 协议吞吐量的比较分析	112
3.4 混合时分多址访问 (HTDMA) 协议	118
3.4.1 HTDMA 传输时间安排的基本设计考虑	118
3.4.2 HTDMA 时间安排协议	119
3.4.3 HTDMA 的碰撞分析	123
3.5 其他混合协议简述	124
3.5.1 TDMA 和 CSMA 的混合协议	124
3.5.2 ADAPT 协议	124
3.5.3 ABROAD 协议	125
3.5.4 AGENT 协议	125
3.5.5 Meta 协议	126
本章参考文献	128

第 4 章 移动 Ad Hoc 网络的主动式路由协议	130
4.1 最优化链路状态路由 (OLSR) 协议	130
4.1.1 OLSR 协议概述	131
4.1.2 OLSR 协议功能	133
4.1.3 OLSR 协议内核	134
4.1.4 OLSR 协议的辅助功能	153
4.1.5 有关常量的建议值	159
4.1.6 序列号	161
4.1.7 流量控制和拥塞控制	162
4.1.8 其他考虑	162
4.2 基于反向路径转发的拓扑分发 (TBRPF) 协议	162
4.2.1 TBRPF 协议术语及其应用范围	162
4.2.2 TBRPF 概述	164
4.2.3 TBRPF 分组	166
4.2.4 TBRPF 相邻节点寻找	168
4.2.5 TBRPF 路由模块	172
4.2.6 TBRPF 泛洪机制	183
4.2.7 TBRPF 在移动 Ad Hoc 网络中的操作	184
本章参考文献	185
第 5 章 移动 Ad Hoc 网络的源动态路由协议	187
5.1 假设条件	188
5.2 DSR 路由协议概述	189
5.2.1 DSR 路由协议的基本路由寻找	189
5.2.2 DSR 路由协议的基本路由维护	191
5.2.3 路由寻找的其他特点	192
5.2.4 路由维护的其他特点	194
5.2.5 可选的 DSR 流状态扩充	196
5.3 DSR 概念性数据结构	199
5.3.1 路由存储器	200
5.3.2 发送缓存器	202
5.3.3 路由请求表	202
5.3.4 无请求路由应答表	203
5.3.5 网络接口队列与维护缓存器	204
5.3.6 黑名单	204
5.3.7 流状态扩充的其他概念性数据结构	205
5.4 DSR 选项头格式	206
5.4.1 DSR 选项头的固定组成部分	206
5.4.2 路由请求选项	207

5.4.3	路由应答选项	208
5.4.4	路由错误选项	209
5.4.5	确认请求选项	211
5.4.6	确认选项	211
5.4.7	DSR 源路由选项	211
5.4.8	填充码 Pad1 选项	212
5.4.9	填充码 PadN 选项	213
5.5	流状态扩充的其他分组头格式与选项	213
5.5.1	DSR 流状态头	214
5.5.2	DSR 选项头中的新选项与扩充	214
5.5.3	路由错误选项的新错误类型	215
5.5.4	确认请求选项的新扩充	216
5.6	DSR 路由协议的详细操作	216
5.6.1	分组的一般性处理	216
5.6.2	路由寻找的处理	220
5.6.3	路由维护的处理	226
5.6.4	多网络接口的支持	231
5.6.5	IP 分组的分片与重组	231
5.6.6	流状态的处理	232
5.7	DSR 路由协议的常量与配置变量	236
5.8	IANA 考虑	237
5.9	DSR 协议在 ISO 网络参考模型中的位置	238
	本章参考文献	238

第 6 章 移动 Ad Hoc 网络的按需路由协议

6.1	Ad Hoc 按需距离矢量路由 (AODV) 协议	240
6.1.1	概述	240
6.1.2	AODV 消息格式	242
6.1.3	AODV 路由协议的操作	245
6.1.4	AODV 路由协议与综合网络	255
6.1.5	AODV 路由协议在其他网络中的应用	256
6.1.6	扩展	256
6.1.7	参数配置与 IANA 考虑	257
6.2	基于相互关系的路由 (ABR) 协议	259
6.2.1	ABR 路由协议概述	259
6.2.2	ABR 路由协议的数据结构	262
6.2.3	ABR 路由协议描述	263
6.3	具有 QoS 意识的 AODV 路由协议	270
6.3.1	网络模型	270
6.3.2	带宽计算问题 (BWC)	271

6.3.3	带宽计算算法	271
6.3.4	QoS-AODV 路由协议	275
6.3.5	对 QoS-AODV 协议和 BE 协议的讨论	284
6.3.6	小结	285
6.4	DSR、AODV、ABR 的性能对比及分析	286
6.4.1	DSR 与 AODV 的对比	286
6.4.2	ABR、DSR、DBF 的对比	298
6.4.3	ABR、AODV、DSR 的对比分析	301
	本章参考文献	302
第 7 章	移动 Ad Hoc 网络的混合路由协议	304
7.1	域路由协议 (ZRP)	304
7.1.1	可重构无线网络 (RWN) 的概念	304
7.1.2	通信环境与可重构无线网络模型	305
7.1.3	ZRP 路由协议概述	306
7.1.4	ZRP 路由协议的详细描述	311
7.1.5	ZRP 路由协议的性能	316
7.1.6	ZRP 协议的正确性	319
7.2	抢先式路由协议	322
7.2.1	抢先式路由维护	323
7.2.2	抢先告警的产生	323
7.2.3	抢先式路由维护实例	326
7.2.4	抢先式路由协议的性能	327
7.3	灵敏混合自适应路由协议 (SHARP)	330
7.3.1	SHARP 概述	330
7.3.2	SHARP 路由协议	331
7.3.3	分析模型	333
7.3.4	SHARP 自适应	334
7.3.5	SHARP 性能	337
7.3.6	SHARP 小结	340
	本章参考文献	341
第 8 章	移动 Ad Hoc 网络的多径路由技术	343
8.1	多径路由的基本概念	343
8.1.1	不相交性	343
8.1.2	多径路由的优点	344
8.1.3	多径路由的组成	344
8.1.4	链路层对多径路由的影响	345
8.1.5	多径路由的选择准则	345
8.1.6	多径路由的分类	347

8.2	Ad Hoc 按需多径距离矢量路由 (AOMDV) 协议	347
8.2.1	多条开环路径的计算	348
8.2.2	寻找链路不相交的多条路径	349
8.2.3	AOMDV 协议开环路由的正确性	351
8.2.4	AOMDV 协议的性能	351
8.3	分离多径路由路由 (SMR)	354
8.3.1	SMR 路径寻找	354
8.3.2	SMR 路由维护	356
8.3.3	SMR 流量分配间隔	356
8.3.4	SMR 协议的性能	356
8.4	多径源动态路由协议 (MP-DSP)	358
8.4.1	MP-DSR 端到端可靠性模型	359
8.4.2	MP-DSR 概述	359
8.4.3	MP-DSR 路由寻找	360
8.4.4	MP-DSR 路由维护	364
8.4.5	MP-DSR 优化	364
8.4.6	MP-DSR 的性能	365
8.5	可靠数据交付安全 (SPREAD) 协议	366
8.5.1	SPREAD 共享生成	366
8.5.2	多径路由	367
8.5.3	共享分配	368
8.5.4	SPREAD 的安全性能	370
8.6	载荷平衡多径路由 (MRP-LB) 协议	372
8.6.1	路由寻找	373
8.6.2	数据传输	374
8.6.3	路由维护	374
8.6.4	载荷平衡维护	374
8.6.5	MRP-LB 仿真结果与分析	375
8.6.6	MRP-LB 开销分析	376
8.6.7	平均端到端时延的分析	378
	本章参考文献	380

第 9 章 移动 Ad Hoc 网络的多目标路由协议 382

9.1	Ad Hoc 按需距离矢量多目标路由 (MAODV) 协议	382
9.1.1	路由请求消息的产生	382
9.1.2	反向路由的建立	383
9.1.3	路由应答消息的产生	384
9.1.4	多目标组 HELLO 消息	384
9.1.5	多目标树的维护	385
9.1.6	中断链的修复	387

9.1.7	MAODV 的性能	388
9.2	基于相互关系的多目标路由 (ABAM) 协议	392
9.2.1	ABAM 多目标树的建立	392
9.2.2	ABAM 多目标树的重建	393
9.2.3	ABAM 多目标树的删除	394
9.2.4	ABAM 协议对多目标组成员动态性的处理	394
9.2.5	ABAM 与 ODMRP 的对比分析	395
9.2.6	ABAM 的性能	395
9.3	按需多目标路由协议 (ODMRP)	397
9.3.1	多目标路由与网格的建立	397
9.3.2	数据转发	399
9.3.3	软状态	399
9.3.4	定时器数值的选择	399
9.3.5	数据结构	400
9.3.6	单目标传输能力	400
9.3.7	ODMRP 的优化	400
9.3.8	ODMRP 与 MAODV 的对比分析	403
9.3.9	ODMRP 的性能	404
9.4	自适应按需驱动多目标路由 (ADMR) 协议	407
9.4.1	ADMR 协议概述	408
9.4.2	数据结构	410
9.4.3	多目标分组的转发	411
9.4.4	加入新的多目标源节点	411
9.4.5	接收节点应用加入	412
9.4.6	接收新多目标源节点发送的数据	413
9.4.7	子树的本地修复	414
9.4.8	接收节点启动的修复	415
9.4.9	树的修剪	416
9.4.10	ADMR 的性能	416
	本章参考文献	419
第 10 章	移动 Ad Hoc 网络的分群技术	421
10.1	分群概述	421
10.2	基于节点 ID 和网络连通性的分群	422
10.2.1	最小 ID 分群算法 (MinID)	422
10.2.2	最高连通性分群算法 (MaxDegree)	423
10.2.3	MinID 和 MaxDegree 的性质与对比	423
10.3	自适应分群算法	425
10.3.1	分群算法	425
10.3.2	移动条件下的分群维护	427

10.3.3	扩频码分配	429
10.3.4	网络初始化	429
10.3.5	移动	429
10.3.6	加权端到端吞吐量	430
10.3.7	VC 建立举例	430
10.4	基于节点权重的分群	430
10.4.1	加权分群算法 (WCA)	430
10.4.2	分布式分群算法 (DCA)	438
10.4.3	MinID、MaxDegree、DCA 的对比讨论	443
10.5	基于节点移动性的分群	443
10.5.1	(α, t) 分群框架	443
10.5.2	(α, t) 分群算法	447
10.5.3	链路有效性和路径有效性	452
10.5.4	(α, t) 分群的性能	454
10.6	基于弱连通支配集 (WCDS) 的分群	456
10.6.1	基本概念	456
10.6.2	网络假设条件和预备知识	458
10.6.3	域算法	458
10.6.4	域算法的性能分析	461
10.6.5	域算法的性能对比评估	462
	本章参考文献	463

第 11 章 移动 Ad Hoc 网络的 IP 地址分配技术

11.1	IP 地址分配面临的困难与基本要求	466
11.1.1	面临的困难	466
11.1.2	基本要求	467
11.1.3	主要术语与定义	468
11.1.4	地址分配协议的性能评估	468
11.2	IP 地址分配算法的分类	469
11.2.1	冲突检测分配法	469
11.2.2	无冲突分配法	469
11.2.3	最大努力分配法	469
11.2.4	Buddy 系统分配法	470
11.3	Perkins 冲突检测分配法	470
11.3.1	概述	471
11.3.2	分组格式	471
11.3.3	IPv4 地址自动配置	473
11.3.4	IPv6 地址自动配置	474
11.3.5	参数配置	475
11.3.6	有关讨论	475

11.4 分布式动态主机配置协议 (DDHCP)	476
11.4.1 系统模型	476
11.4.2 DDHCP 协议的基本思想	477
11.4.3 DDHCP 协议描述	478
11.4.4 DDHCP 协议的强壮性	480
11.4.5 DDHCP 协议的性能	484
11.5 基于二分法的主动式 IP 地址动态分配法	486
11.5.1 系统模型	486
11.5.2 IP 地址分配协议	486
11.5.3 节点同步	488
11.5.4 IP 地址池回收协议	488
11.5.5 算法	489
11.5.6 网络的分割与合并	491
11.5.7 性能简评	492
11.6 预测分配法	492
11.6.1 预测分配	492
11.6.2 网络分割与合并的处理机制	493
11.6.3 函数 $f(n)$ 的设计	494
11.6.4 预测分配协议	495
11.6.5 预测分配法的性能	495
11.7 环形地址自动配置 (RAA) 协议	498
11.7.1 RAA 基本思想	498
11.7.2 RAA 协议状态图	499
11.7.3 DRAA 协议	500
11.7.4 CRAA 协议	504
11.7.5 RAA 与其他地址分配协议的对比	506
本章参考文献	507
第 12 章 移动 Ad Hoc 网络的 QoS	509
12.1 服务质量 (QoS) 概述	509
12.1.1 基本概念	509
12.1.2 MANET 的 QoS 参数	510
12.1.3 提供 MANET QoS 所面临的问题与挑战	510
12.1.4 MANET QoS 解决方法概述	511
12.2 基于 MACA/PR 的 QoS 体系	511
12.2.1 MACA/PR 协议	512
12.2.2 预留协议	512
12.2.3 QoS 路由算法	515
12.2.4 性能	516
12.3 INSIGNIA 服务质量框架体系	517

12.3.1	基本考虑	517
12.3.2	INSIGNIA 服务质量框架体系的组成	519
12.3.3	INSIGNIA 的信令系统	520
12.3.4	INSIGNIA QoS 框架体系的性能	528
12.4	iMAQ 体系	534
12.4.1	iMAQ 系统框架的组成	535
12.4.2	跨层信息结构	536
12.4.3	中间件数据可达性服务	537
12.4.4	网络层机制	540
12.4.5	iMAQ 的性能	545
	本章参考文献	549
第 13 章	移动 Ad Hoc 网络中的 TCP	551
13.1	多跳无线信道对 TCP 的影响	551
13.1.1	实验配置	551
13.1.2	多跳无线网络中的 TCP 吞吐量	552
13.1.3	TCP 分组丢失性能	555
13.1.4	小结	558
13.2	MAC 协议对 TCP 的影响	559
13.2.1	实验配置和实验参数	560
13.2.2	使用 TCP 的文件传输	561
13.2.3	MAC 协议对 TCP 影响的结论	573
13.3	多径路由协议上的 TCP	574
13.3.1	仿真环境与协议模型	574
13.3.2	使用多条路径同时传输的 TCP	574
13.3.3	使用备用路径的 TCP	575
13.3.4	备用路径多径路由的 TCP 性能评估	577
13.4	跨层交互对 TCP 性能的影响	578
13.4.1	多跳 802.11 网络的稳定性	578
13.4.2	TCP 窗口机制的影响	580
13.5	提高 TCP 性能的反馈策略	581
13.5.1	反馈法概述	581
13.5.2	移动 Ad Hoc 网络 TCP (ATCP)	581
13.6	提高 TCP 性能的乱序检测与响应对策 (DOOR)	589
13.6.1	乱序交付	589
13.6.2	乱序事件的检测	590
13.6.3	对乱序事件做出的响应	591
13.6.4	DOOR 的性能	591
13.6.5	DOOR 小结	594
13.7	小数窗口递增策略与按需路由协议链路中断容忍机制	594