

“863”通信高技术丛书

“十五”国家重点
图书出版规划项目

无线移动 自组织网

于宏毅 等 著

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

“十五”国家重点图书出版规划项目

“863”通信高技术丛书

无线移动自组织网

于宏毅 等著

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

无线移动自组织网 / 于宏毅著. —北京: 人民邮电出版社, 2005.4
(863 通信高技术丛书)

ISBN 7-115-12859-6

I. 无... II. 于... III. 无线电通信: 移动通信—通信网 IV. TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 012630 号

内 容 提 要

本书全面系统地介绍了无线移动自组织网 (简称自组网) 的特点、发展、关键技术和研究热点等内容。全书共分 18 章。第 1 章概要介绍无线通信的概念和特点。第 2 章介绍无线移动自组网的发展历程和应用前景。第 3 章概要分析了自组网的媒体接入控制 (MAC) 问题, 讨论在自组网中实现分布式媒体接入控制的难点和关键问题。第 4、5 章介绍应用于异步网络和同步网络的 MAC 协议。第 6 章分析自组网中的路由问题。第 7、8 章介绍先应式和反应式路由协议。第 9 章介绍支持大规模自组网的路由协议。第 10 章介绍自组网中利用地理位置信息的路由协议。第 11 章介绍自组网的 QoS 路由协议。第 12 章介绍自组网的功率感知路由协议。第 13 章介绍自组网多播路由协议。第 14 章分析自组网中的 QoS 问题。第 15 章分析自组网的安全问题。第 16 章介绍面向军事通信开发的无线自组网系统。第 17 章分析自组网与蜂窝移动通信系统的结合问题。第 18 章从通信的角度介绍传感器网的特点、体系结构和关键技术。

本书内容充实、结构严谨, 适合通信领域的读者阅读, 也可作为高等院校通信、计算机类研究生教材。

“十五”国家重点图书出版规划项目

“863”通信高技术丛书

无线移动自组织网

-
- ◆ 著 于宏毅 等
责任编辑 陈万寿
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
读者热线 010-67129258
北京密云春雷印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 24.5
字数: 583 千字 2005 年 4 月第 1 版
印数: 1-3 500 册 2005 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-12859-6/TN · 2368

定价: 45.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

“863” 通信高技术丛书

编 委 会

主 任: 叶培大

委 员: (按姓氏笔画顺序排列)

卫 国	王志威	王 京	王柏义
韦乐平	尤肖虎	冯记春	朱近康
邬江兴	邬贺铨	孙 玉	纪越峰
杜肤生	李少谦	李世鹤	李红滨
李武强	李 星	李默芳	杨千里
杨 壮	张 凌	陈俊亮	周炯槃
郑南宁	赵梓森	赵慧玲	侯自强
姚 彦	郭云飞	唐 健	蒋林涛
曹淑敏	强小哲	谢麟振	简水生

前 言

无线移动自组织网技术起源于美军的军事通信系统 PRNET (Packet Radio Network), 是一种节点可任意移动、拓扑结构高度动态变化、没有预设的网络基础设施的无线网络技术。这种无线网络具有可临时组网、快速展开、无控制中心、抗毁性强等特点, 在军事通信中的战术互联网、单兵个人电台等场合获得了广泛的应用。同时, 其应用也正在迅速地向民用系统扩展, 如无线局域网、个域网、传感器组网等。近年来, 国外许多著名实验室纷纷设立蜂窝网与自组网结合方面的研究项目, 并认为这是极具吸引力的一种可能的未来移动通信系统网络构架。我国对未来移动通信的研究已正式列入“863”项目, 并于 2002 年 6 月启动了面向未来的通用无线环境计划——“FuTURE 计划”, 设立了众多关于未来移动通信系统框架结构、关键技术等方面的研究项目。

作者所在课题组从事移动通信系统及自组网方面的研究已有多年, 并参加和完成了多项国家“863”无线通信方面的重大课题, 奠定了较为深厚的理论基础, 积累了较丰富的工程实践经验。2002 年又有幸承担了“FuTURE 计划”中的重大研究课题之一——“基于 3G 技术的移动自组织网研究”(项目编号 2002AA123021), 经过艰苦努力, 目前已在理论研究和工程实现方面基本完成项目合同规定的研究任务。鉴于移动自组网技术在未来移动通信系统发展中的重要地位, 我们撰写了“863”通信高技术丛书中《无线移动自组织网》一书, 希望能对关心自组网技术发展和从事相关研究的人员提供一定的帮助。

本书共分 18 章, 从自组网的产生到典型应用、发展趋势等方面进行了系统、全面的阐述。同时对制约自组网发展的关键技术、目前研究中的重点和难点问题进行了较为深刻的剖析, 并对其中的经典协议给出了详细、具体的讨论和分析。

在本书的编写过程中, 为照顾到不同层次读者的需要, 书中从每部分内容到每个具体的协议都是从基本问题、基本思想入手, 由浅到深, 逐步深入至关键技术问题及具体算法, 读者可以根据需要选择相应的内容进行重点阅读。所以本书不仅可以作为初学者的入门指导, 也可以为研究人员的进一步工作提供诸多帮助。

本书是信息工程大学国家“863”自组网课题组集体智慧的结晶, 于宏毅为主要编著者, 许多同志参加了本书协议、算法的编写与校订, 他们主要有李青、张大龙、齐卫宁、杨锦亚、张霞等; 李勇、李煜等同志为本书完成了多幅插图。

在这里, 首先要感谢国家新闻出版总署将本书列为“十五”国家重点图书出版规划项目, 这是对我们极大的信任和鼓励, 还要感谢人民邮电出版社给予我们的大力支持, 并为本书的出版提供了有力的保证。同时书中引用了大量的参考文献, 在此一并对文献作者表示感谢。由于水平有限, 书中难免有疏漏和不妥之处, 敬请读者不吝赐教。

作者

2004 年 12 月

目 录

第 1 章 无线通信概述	1
1.1 引言.....	1
1.2 无线通信系统网络结构.....	1
1.3 蜂窝移动通信系统.....	3
1.3.1 蜂窝移动通信系统概述.....	3
1.3.2 蜂窝移动通信系统结构.....	3
1.3.3 小结.....	4
1.4 蓝牙技术.....	4
1.4.1 概述.....	4
1.4.2 蓝牙的网络结构及通信过程.....	5
1.4.3 小结.....	7
1.5 无线局域网.....	8
1.5.1 无线局域网概述.....	8
1.5.2 IEEE 802.11 网络结构.....	9
1.5.3 小结.....	10
参考文献.....	10
第 2 章 无线移动自组织网概述	11
2.1 概述.....	11
2.2 发展历史.....	13
2.3 协议栈.....	14
2.3.1 引言.....	14
2.3.2 多个节点共享无线资源的控制与仲裁.....	15
2.3.3 多跳路由的发现与维护.....	18
2.4 其他关键技术.....	20
2.4.1 QoS 保证.....	20
2.4.2 功率控制与管理.....	21
2.4.3 自组网中网络与信息的安全.....	23
2.5 应用.....	23
参考文献.....	25
第 3 章 MAC 协议引论	26

3.1	自组网的 MAC 协议	26
3.2	关键技术问题	27
3.2.1	隐藏终端和暴露终端问题	27
3.2.2	MAC 协议的公平接入	29
3.2.3	MAC 协议中的 QoS 保障	30
3.2.4	MAC 协议中的功率控制	31
3.3	MAC 协议的分类	32
3.4	从 ALOHA 到 CSMA/CA	32
3.5	本章小结	35
	参考文献	35
第 4 章	异步 MAC 协议	36
4.1	MACA 及其相关协议	36
4.1.1	MACA	36
4.1.2	MACAW	39
4.1.3	MACA-BI (MACA By Invitation)	44
4.1.4	MACA-PR	49
4.2	802.11 的 DCF	52
4.2.1	四握手机制	52
4.2.2	载波侦听机制	53
4.2.3	帧间间隔的定义	54
4.2.4	BEB 退避算法	55
4.2.5	小结	55
4.3	802.11e 的 QoS 保障	56
4.3.1	802.11b 中的 MAC 协议	56
4.3.2	802.11e 中的 QoS 保证机制	56
4.3.3	小结	58
4.4	FAMA 及其相关协议	59
4.4.1	FAMA-NCS	59
4.4.2	FAMA-NPS	64
4.4.3	FAMA-NTR	67
4.4.4	FAMA-PJ	72
4.5	双忙音检测协议 (DBTMA)	78
4.5.1	基本思想	79
4.5.2	关键问题分析	80
4.5.3	算法描述	80
4.5.4	小结	81
4.6	无线令牌环 (WTRP)	82
4.6.1	基本思想	82

4.6.2	关键问题	82
4.6.3	流程描述	86
4.6.4	小结	88
4.7	采用发送功率控制的 802.11 DCF 协议	88
4.7.1	802.11 DCF 中的冲突	89
4.7.2	BASIC 功率控制算法	90
4.7.3	PCM 算法	90
4.7.4	小结	92
4.8	PAMAS 协议	92
4.8.1	基本思想	92
4.8.2	关键技术问题分析	93
4.8.3	算法描述	93
4.9	本章小结	94
	参考文献	95
第 5 章	同步 MAC 协议	97
5.1	FPRP	97
5.1.1	基本思想	97
5.1.2	关键问题	98
5.1.3	算法描述	102
5.1.4	小结	102
5.2	E-TDMA	104
5.2.1	基本思想	104
5.2.2	关键问题	105
5.2.3	算法描述	108
5.2.4	小结	113
5.3	RR-ALOHA (Reliable Reservation ALOHA)	113
5.3.1	基本思想	114
5.3.2	关键问题	114
5.3.3	算法描述	117
5.3.4	小结	118
5.4	TBMAC	118
5.4.1	基本思想	118
5.4.2	关键技术	119
5.4.3	算法描述	121
5.4.4	小结	122
5.5	跳预约多址接入	123
5.5.1	基本思想	123
5.5.2	关键问题分析	124

5.5.3	算法描述	126
5.5.4	小结	131
5.6	本章小结	131
	参考文献	131
第6章	路由技术引论	133
6.1	概述	133
6.2	主要关键技术问题	134
6.2.1	路由环路避免问题	134
6.2.2	控制开销问题	135
6.2.3	对网络动态性的适应问题	136
6.2.4	路由协议与定位技术的结合	136
6.3	自组网路由协议分类	137
6.3.1	基本路由算法及相应路由协议	137
6.3.2	先应式路由协议和按需的路由协议	138
6.3.3	平面结构路由协议和分层结构路由协议	139
6.3.4	中、小规模路由协议和大规模(可扩展)路由协议	139
6.3.5	单播路由协议和多播路由协议	139
6.3.6	其他路由协议	139
6.4	本书路由协议部分的章节安排	140
	参考文献	140
第7章	先应式路由协议	141
7.1	DSDV 协议	141
7.1.1	算法的提出	141
7.1.2	关键技术	142
7.1.3	协议描述	144
7.1.4	运行中的 DSDV 协议实例	145
7.1.5	小结	148
7.2	WRP 协议	148
7.2.1	基本思想	148
7.2.2	协议描述	148
7.2.3	小结	152
7.3	OLSR 协议	152
7.3.1	基本思想	152
7.3.2	关键技术	153
7.3.3	协议描述	153
7.3.4	小结	159
7.4	STAR 协议	159

7.4.1 问题的提出	159
7.4.2 协议概述	159
7.4.3 协议描述	160
7.4.4 小结	165
7.5 TBRPF 协议	165
7.5.1 基本思想	165
7.5.2 关键问题	166
7.5.3 算法描述	168
7.5.4 小结	169
参考文献	170
第 8 章 按需路由协议	171
8.1 DSR 协议	171
8.1.1 基本思想	171
8.1.2 关键问题	172
8.1.3 算法描述	174
8.1.4 小结	176
8.2 AODV 协议	176
8.2.1 基本思想	176
8.2.2 关键问题	177
8.2.3 算法描述	177
8.2.4 小结	182
8.3 ABR 协议	182
8.3.1 基本思想	182
8.3.2 关键问题	183
8.3.3 算法描述	184
8.3.4 小结	187
8.4 TORA 协议	187
8.4.1 基本思想	187
8.4.2 关键问题	188
8.4.3 算法描述	189
8.4.4 小结	196
参考文献	197
第 9 章 自组网可扩展路由协议	198
9.1 FSR 路由协议	198
9.1.1 基本思想	198
9.1.2 关键技术问题	199
9.1.3 路由协议描述	200

9.1.4	小结	201
9.2	LANMAR 路由协议	201
9.2.1	基本思想	201
9.2.2	关键技术问题	202
9.2.3	路由协议描述	203
9.2.4	小结	204
9.3	ZRP 路由协议	205
9.3.1	基本思想	205
9.3.2	关键技术问题	205
9.3.3	路由协议描述	207
9.3.4	小结	209
9.4	VBS 路由协议	209
9.4.1	基本思想	209
9.4.2	关键技术问题	209
9.4.3	基本 VBS 路由协议描述	212
9.4.4	小结	213
9.5	分群路由协议	214
9.5.1	CGSR 路由协议	215
9.5.2	HSR 路由协议	216
	参考文献	220
第 10 章	利用地理位置信息的路由协议	222
10.1	位置辅助的路由协议	222
10.1.1	基于洪泛的路由协议	223
10.1.2	LAR 协议概述	223
10.1.3	关键技术: 期望域 (Expected Zone) 和寻找域 (Request Zone)	223
10.1.4	算法介绍	224
10.1.5	小结	227
10.2	贪婪路由 (Greedy Routing)	227
10.2.1	GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing)	228
10.2.2	GEDIR (Geographic Distance Routing)	233
10.2.3	GRA (Geographical Routing Algorithm)	233
10.3	定向洪泛 (Directed Flooding)	233
10.3.1	关键技术	234
10.3.2	数据结构	236
10.3.3	算法描述	236
10.3.4	小结	237
10.4	分层路由 (Hierarchical Routing)	238
10.4.1	Terminodes Routing	238

10.4.2	Grid Routing	242
10.5	本章小结	243
	参考文献	243
第 11 章	QoS 路由协议	245
11.1	核心提取的分布式自组网路由 CEDAR	245
11.1.1	基本思想	246
11.1.2	关键问题	246
11.1.3	算法描述	248
11.1.4	小结	250
11.2	基于统治节点的逆向标签路由 SRL	250
11.2.1	基本思想	250
11.2.2	算法描述	250
11.2.3	小结	253
11.3	QoS-MSR 路由	253
11.3.1	MSR	254
11.3.2	QoS-MSR	254
11.3.3	小结	256
11.4	提供 QoS 支持的最优化链路状态协议 QoS-OLSR	256
11.4.1	OLSR 概述	257
11.4.2	QoS-OLSR	257
11.4.3	小结	258
11.5	基于“ticket”探寻的路由算法 TBP	259
11.5.1	基本思想	259
11.5.2	关键问题	259
11.5.3	算法描述	263
11.5.4	小结	264
	参考文献	264
第 12 章	功率感知路由	266
12.1	功率感知路由的度量指标	267
12.2	COMPOW	269
12.2.1	引言	269
12.2.2	关键技术问题	270
12.2.3	COMPOW 协议的体系结构	271
12.2.4	小结	271
12.3	PARO	272
12.3.1	基本思想	272
12.3.2	协议描述	274

12.3.3 移动性支持	276
12.3.4 小结	277
12.4 LEAR	277
12.4.1 基本思想	277
12.4.2 关键技术问题	278
12.4.3 算法描述	280
12.4.4 小结	280
12.5 GAF	280
12.5.1 基本思想	280
12.5.2 关键技术问题	281
12.5.3 小结	283
12.6 Span	283
12.6.1 关键技术问题	284
12.6.2 小结	285
参考文献	285
第 13 章 多播路由协议	287
13.1 自组网多播路由协议简介	287
13.1.1 多播概述	287
13.1.2 自组网多播路由协议的特殊性	287
13.1.3 自组网多播路由协议的分类	287
13.2 自组网典型的多播路由协议及其思想	288
13.2.1 ODMRP	288
13.2.2 MAODV 协议	290
13.2.3 CAMP	293
13.2.4 AMRoute 协议	295
13.2.5 AMRIS 协议	297
13.2.6 自组网典型多播路由协议的比较	299
参考文献	299
第 14 章 QoS 保证	301
14.1 自组网中 QoS 保证面临的挑战	301
14.2 QoS 模型	302
14.2.1 IntServ/RSVP 和 DiffServ	303
14.2.2 FQMM	304
14.2.3 Cross-Layer QoS Model	307
14.3 QoS 信令	308
14.3.1 带内信令和带外信令	308
14.3.2 RSVP	309

14.3.3	INSIGNIA	309
14.4	其他问题	311
	参考文献	312
第 15 章	自组网的安全性	313
15.1	安全需求	313
15.1.1	机密性	313
15.1.2	完整性	313
15.1.3	有效性	313
15.1.4	身份认证	314
15.1.5	不可否认	314
15.2	系统脆弱性	314
15.2.1	无线链路	314
15.2.2	无基础设施的分布式网络	314
15.2.3	动态变化的网络	315
15.2.4	节点的特性	315
15.3	安全威胁	315
15.3.1	对路由的攻击	315
15.3.2	对传输信息的攻击	317
15.3.3	对信任关系的攻击	317
15.3.4	假冒攻击	317
15.3.5	拒绝服务攻击 (DoS)	318
15.4	安全方案	318
15.4.1	安全体系结构	318
15.4.2	早期安全模型	319
15.4.3	安全路由	320
15.4.4	认证协议	322
15.4.5	密钥管理	324
15.4.6	入侵检测	325
15.5	本章小结	326
	参考文献	326
第 16 章	自组网在军事通信中的应用	328
16.1	引言	328
16.2	PRNET (Packet Radio Network)	329
16.2.1	系统组成	329
16.2.2	链路连接性与路由计算	330
16.2.3	转发协议	331
16.2.4	MAC 协议	332

16.2.5 物理层.....	332
16.3 NTDR (Near Term Digital Radio)	332
16.3.1 分群和路由.....	333
16.3.2 MAC 协议.....	335
16.3.3 物理层.....	335
16.4 WINGs (Wireless Internet Gateways)	335
16.4.1 WINGs 协议栈结构.....	336
16.4.2 MAC 机制: FAMA-NCS.....	337
16.4.3 无线因特网路由协议: WIRP (Wireless Internet Routing Protocol)	337
16.5 本章小结.....	338
参考文献.....	338
第 17 章 支持自组网方式的蜂窝移动通信系统	340
17.1 研究现状.....	340
17.1.1 ODMA.....	340
17.1.2 A-GSM.....	342
17.1.3 SOPRANO.....	343
17.1.4 iCAR	344
17.1.5 Sphinx (A Hybrid Network Model for Next Generation Wireless System)	346
17.1.6 UCAN	347
17.1.7 PARCELS.....	348
17.2 关键技术问题.....	349
17.2.1 网络容量分析.....	349
17.2.2 弥补覆盖缺陷问题的定量分析.....	349
17.2.3 通信模式的选择.....	350
17.2.4 信道分配问题.....	350
17.2.5 混合路由问题分析.....	351
17.3 本章小结.....	352
17.3.1 形成局域子网.....	352
17.3.2 虚拟小区扩展.....	352
17.3.3 虚拟小区分裂.....	352
参考文献.....	352
第 18 章 自组网与传感器网	354
18.1 引言.....	354
18.2 传感器网的概念及其特点.....	354
18.2.1 传感器网的概念.....	354
18.2.2 传感器网的特点.....	355
18.2.3 传感器网与自组网的比较.....	355

18.3 传感器网的体系结构.....	356
18.3.1 传感器结构.....	356
18.3.2 传感器网的体系结构.....	357
18.4 传感器网相关研究概况.....	358
18.4.1 节能研究.....	358
18.4.2 路由协议.....	359
18.4.3 媒体接入控制.....	361
18.4.4 时钟同步.....	361
18.4.5 定位机制与算法.....	361
18.4.6 容错机制.....	361
18.4.7 网络安全.....	362
18.5 当前国际主流研究项目.....	362
18.5.1 智能尘埃 (Smart Dust)	362
18.5.2 NEST (Network Embedded System Technology)	364
18.5.3 μ AMPS.....	364
18.5.4 WINS.....	365
18.5.5 SCADDS.....	366
18.6 传感器网的应用.....	366
18.6.1 军事应用.....	366
18.6.2 环境应用.....	367
18.6.3 医疗健康.....	367
18.6.4 空间探索.....	367
18.6.5 其他应用.....	368
18.7 本章小结.....	368
参考文献.....	368
附录 缩略语.....	371

第 1 章 无线通信概述

1.1 引言

无线通信，顾名思义，是不借助有线传输媒介，而通过电磁波在空间传播来传递信息的通信方式。无线通信的特点就在于它的传输媒介——无线信道具有以下特征。

- 广播性：一个发射机发送，多个接收机都可以接收；
- 信道随空间而变化：随着空间环境的不同，信道特性往往不同；
- 信道随时间而变化：有快速变化和较慢的变化区别；
- 传播距离有限：发送信号随距离增大在逐渐衰减，信号衰减到一定程度，接收机将不能正确接收；
- 多径效应：信号可沿不同路径到达接收机，造成衰落和时延扩展；
- 相互之间形成干扰：多个发射机发送的信号可能会在接收端叠加，形成相互干扰，从而对信号的正确接收造成影响。

虽然这些特征给无线通信系统的设计提出了巨大的挑战，但是无线通信从其被发明时起就得到了极大的发展。这是因为无线通信能够带来许多好处，它的最大的优点就是可以支持终端的移动性，另一个优点是可以在不适于铺设线路的地方使用，例如用于地理环境恶劣地区的无线传输和无线接入系统等。目前，随着集成电路和计算机技术的迅猛发展，无线通信设备所用的模块可以做得体积小（如硬币大小），造价很低（蓝牙模块 5 美元），无线通信的应用范围将越来越广泛。

所谓无线通信系统，就是采用无线通信技术的通信系统，它是通信系统的一个组成部分，从整个通信网整体而言，无线通信系统处于通信网的末端，它往往被用来解决接入问题，也就是所谓“距离用户最后 1km”的问题。

无线通信系统有若干种分类方式，按照使用的频段不同，可分为长波、中波、短波、超短波、微波、红外等。按照系统使用的通信体制和技术又可分为蜂窝移动通信、寻呼移动通信、集群移动通信、卫星通信、微波传输、无线局域网、无线个域网等系统。

本书介绍的无线移动自组织网是无线通信的一个新的技术领域，它具有无需预先架设基础设施，可临时快速组网等优点，因此吸引了越来越多的研究人员的关注。下面，我们将从系统网络结构入手，讨论无线移动自组织网与一般无线通信系统的区别。

1.2 无线通信系统网络结构

无线通信系统有两种网络结构：有基础设施网和无基础设施网。下面分别对这两种结构加以介绍。

有基础设施网络结构：通常是对有线通信网的一种扩展。如图 1-1 所示，有线网被用作