

高等院校计算机精品教材系列

# 无线移动互联网

## 原理、技术与应用



崔 勇 张 鹏 编著  
吴建平 审



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



高等院校计算机精品教材系列

# 无线移动互联网

## 原理、技术与应用

崔 勇 张 鹏 编著



机械工业出版社

本书是一本介绍无线移动互联网基本原理和最新研究进展的教材。本书第1章介绍了无线移动互联网的基础知识；第2章分析了无线接入网络技术；第3~5章讨论了无线移动互联网的三种重要组网方式：移动自组织网络、无线传感器网络和无线 Mesh 网络；第6、7章介绍了网络层和传输层的重要技术：移动 IP 和无线 TCP 技术；第8~10章探讨了服务质量控制技术、安全机制和异构网络互联技术；第11章介绍了这些技术的综合应用。本书基本上涵盖了无线移动互联网的主要内容。书中每章均附有习题，便于教学。

本书可作为高等院校研究生、高年级本科生学习移动计算课程的教材，也可供相关专业技术人员和教育工作者参考使用。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

无线移动互联网：原理、技术与应用/崔勇，张鹏编著. —北京：机械工业出版社，2011. 11

高等院校计算机精品教材系列

ISBN 978-7-111-36023-0

I. ① 无… II. ① 崔… ② 张… III. ① 移动通信-无线网：互联网络-高等学校-教材 IV. ① TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 202080 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑：郝建伟

责任印制：乔宇

三河市国英印务有限公司印刷

2012 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·26.25 印张·647 千字

0001-3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-36023-0

定价：52.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010) 68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：(010) 88379649

读者购书热线：(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

2005年2月16日,国际计算机协会(Association for Computing Machinery ACM)将图灵奖授予Vinton G. Cerf和Robert E. Kahn,以表彰他们发明了TCP/IP参考模型和其协议簇以及他们在计算机网络领域的其他成就。与此同时,这项图灵奖也表明了计算机网络技术在信息技术领域的重要学术地位。可以说,计算机网络彻底改变了人类的知识获取方式和思维方式,使人类摆脱了信息交流的地域限制。近年来,无线通信技术的高速发展成为固定宽带之后计算机网络技术发展的重要推动力,构架于其上的无线移动互联网代表了未来网络技术乃至信息技术的发展趋势。不可否认,21世纪已经成为无线移动互联网的时代,在不久的将来人们将能够随时随地获得广泛的信息服务。

无线移动互联网具有无线链路传输、分布式计算、终端能量有限以及网络拓扑动态变化等特点,这使得无线移动互联网与传统互联网之间具有很大差异。同时,无线移动互联网不仅是计算机、微电子和无线通信等多个学科交叉融合的结果,也是信息技术发展的重要基础,因此对无线移动互联网技术的学习和研究已经成为业界当务之急。为了使信息领域研究生和本科高年级学生能够尽快掌握无线移动互联网的研究现状,了解目前学术界和产业界的最新技术进展,很多高等院校都开设了移动计算、无线移动互联网等专业课。笔者对国内外大学的相关课程进行了广泛调研,发现目前国内外还没有一本全面阐述无线移动互联网最新进展的教材,因此笔者决定撰写此书。

写书的过程非常艰苦,尤其是编写一本覆盖面广而前沿性强的教材。本书涉及的内容多数是新兴的研究热点,而且发展迅速,具有丰富的研究成果,需要从大量论文中查阅学术研究成果,并从大量发明专利和技术报告中查阅业界最新技术进展。虽然本书的成稿花费了作者大量的时间和精力,但如果本书能够为我国移动互联网领域的教学科研和技术工作起到一些推动作用,那么作者的努力将是非常值得的。

本书向读者全面、系统、深入地介绍了无线移动互联网的相关知识,并力图培养读者的独立研究能力,使得读者能够在较短时间内掌握无线移动互联网的基本原理和关键技术,了解学术界和产业界的最新研究进展。本书通过大量应用实例来为读者增强感性认识,从而达到学以致用目的。本书的每一章都从基本原理出发,结合实例介绍基本协议原理及其运行机制和关键技术,然后分析学术界在该问题上的最新研究进展以及产业界的最新应用,最后展望该技术的未来研究方向。下面具体介绍本书各章的内容安排。

第1章介绍了无线移动互联网的基础知识。无线移动互联网是指,使用微波、光波、红外线等电磁波作为信息传输载体,通信设备的相对位置或者网络节点互联的拓扑结构随时可能改变的计算机网络。本章首先概述了无线通信技术与通信网络的发展,随后对无线移动互联网的概念与特点进行了描述,接着列举并介绍了多个标准化组织,最后给出了无线移动互联网的设计要求。

第2章介绍了无线接入网络技术。当个人数字助理(PDA)、手机、笔记本电脑等移

动设备需要进行无线连接的时候，首先要求各个设备按照一定的无线接入标准协议工作，与接入网络连接，进而访问互联网。本章覆盖了各种主流的无线网络接入技术，包括 IEEE 802.11 无线局域网技术、IEEE 802.15 短距离蓝牙技术、IEEE 802.16 宽带无线城域网标准、IEEE 802.20 移动宽带无线接入技术以及 3G 和 B3G 技术等。作为无线移动互联网的接入技术，这些协议标准成为无线移动互联网的重要基础。本章主要讨论这些接入技术的物理层和 MAC 层机制以及主要技术扩展。

第 3 章讨论了无线移动互联网的一种重要组网方式：移动自组织网络。一个移动自组织网络由一组移动节点组成，并且这些节点不需要借助基站等已建立好的基础设施就能相互通信，组成一个网络。本章主要关注于移动自组织网络的信道接入技术和动态路由技术。在无线接入技术的基础上，这两项技术是实现无线移动互联网数据高效传输的必要条件。本章首先介绍移动自组织网络的基本信道接入协议和基本路由协议，然后分析了信道接入技术中的退避算法以及路由技术中的路由选择算法等，并在此基础上进一步阐述了上述算法的最新研究进展，最后介绍了移动自组织网络的多种应用技术。

第 4 章介绍了无线移动互联网的第二种组网方式：无线传感器网络。作为移动自组织网络与传感器结合的一种组网形式，无线传感器网络在很多领域得到广泛的应用，成为一种特殊而具有良好前景的无线移动互联网。本章主要关注于无线传感器网络的链路层协议、路由协议、定位技术以及时钟同步技术，首先介绍了无线传感器网络的基本链路层协议和路由协议，然后分析了传感器定位以及时钟同步中所采用的关键技术，并进一步阐述了上述技术的最新研究进展，最后介绍了无线传感器网络的多种应用技术。

第 5 章给出了无线移动互联网的另一种组网方式：无线 Mesh 网络。作为移动自组织网络的集中式组网方式和分布式组网方式结合而得到的一种网络形式，无线 Mesh 网络充分利用了移动网络和固定网络二者的优势，在很多领域得到广泛应用，成为一种较为成熟的无线移动互联网，并作为业界所宣扬的“无线城市”的技术基础而得到较为广泛的应用。本章主要关注于无线 Mesh 网络的物理层、链路层实现技术和路由技术以及跨层技术。本章首先对无线 Mesh 网络的基本实现机制进行介绍，然后阐述了路由算法等关键技术及其最新研究进展，最后介绍了无线 Mesh 网络的应用技术。

第 6 章研究了互联网移动 IP 技术。移动 IP 技术作为互联网技术与无线移动通信技术结合的产物，使得人们能够借助于各种移动设备在任何地点、任何时间访问互联网并被其他用户所访问。本章首先介绍了移动 IPv4 和移动 IPv6 的基本工作原理，然后详细阐述了移动切换、微移动、网络移动 NEMO、代理移动 IP、移动 IP 组播等技术，并对其中关键技术的最新研究进展加以综述，最后给出了移动 IP 技术的应用。

第 7 章关注于无线移动互联网传输层的数据传输技术。TCP 协议是互联网中最为重要的传输层协议，然而无线移动互联网广泛存在的信道干扰、高误码率和时延等问题对 TCP 协议性能造成了重要影响。无线 TCP 技术及其相关研究致力于提高无线移动互联网中的传输层协议性能。本章不仅分析了最后一跳传输的性能优化技术，而且阐述了多跳无线链路传输的性能优化方法。

第 8 章探讨了无线移动互联网的服务质量保证机制。无线链路和节点移动导致无线移动互联网的服务质量难以控制，而无线移动互联网的很多应用对吞吐量、丢包率、延迟等有严格的要求，如视频会议等多媒体应用。本章分析了无线移动互联网中的链路层、网络层、传

输层和跨层的服务质量控制机制，然后研究了资源分配等关键技术。

第9章研究了无线移动互联网的安全机制。无线电波在传输中容易被窃听，而无线节点又面临计算能力和能量消耗等方面的诸多限制，因此无线移动互联网需要在诸多限制条件下建立适合其特点的安全机制。本章首先介绍了无线移动互联网的安全标准，然后给出了适合无线移动互联网特点的入侵检测机制、安全路由机制和加密机制等，分析了主要关键技术及其最新研究进展，最后给出了安全机制的若干应用。

第10章介绍了异构网络互联技术。无线移动互联网、有线互联网、蜂窝移动通信网络等不同网络都逐渐走进了人们的生活，这些异构网络需要相互连接，从而为用户提供广泛而便捷的应用。本章主要介绍无线移动互联网与有线互联网之间、无线移动互联网与蜂窝移动通信网络之间以及不同结构的无线移动互联网之间的互联技术。

第11章举例分析了无线移动互联网技术的综合应用。本章主要结合产业界的工程实践，介绍了无线移动互联网技术的应用实例，以及以期实现上述技术的综合应用。

本书具有以下特点：第一，入门要求低，读者只需了解计算机网络的基本知识即可阅读本书，并且本书各个章节相对独立，难度错落有致；第二，内容涵盖广泛，全面介绍了学术界最新研究成果和产业界最新技术发明及产品，从原理、技术到应用几个角度向读者展示了无线移动互联网的最新成果；第三，内容实用性强，介绍分析了无线移动互联网各关键技术的应用，力图让读者学以致用，使得今后的学习、工作和研究更加得心应手。

古人云：知其然，知其所以然。所以在最后希望提醒读者，不仅要学习知识、掌握原理、了解应用，更要多些疑问，即每学习一个协议、一个算法，就多想想为什么要这样设计，为什么不能那样设计。进一步而言，如果说人类发明了互联网而不是发现了互联网的话，那么本书不仅希望读者学习无线移动互联网的基本知识和研究进展，更希望能够带领读者，针对无线移动互联网所面临的每一个问题，一起去“发明”每一个协议、每一个算法，哪怕是去“发明”一个十年前已经成熟的技术。虽然优秀的发明成果本身就是无价之宝，但发明的过程才是思维的凝练和学习的精髓。如果本书能够让读者思考问题的模式得到些许改变，那这本书对读者的价值就远远超过对无线移动互联网知识本身的学习了。

本书可作为计算机、电子工程、通信、自动化、软件工程等信息类相关专业的研究生和本科高年级教材，也可供信息领域的工程技术人员参考使用。

本书由崔勇和张鹏共同编写，由崔勇完成全书的统稿。本书是作者多年教学实践工作的总结。本书的出版，首先应该感谢近年来清华大学“无线网络与移动计算”课程的研究生们，他们对本书的期盼使得作者备受鼓舞并感到义不容辞。清华大学计算机系无线移动互联网研究小组的同学们参与了本书的资料收集和整理工作。清华大学吴建平教授，不仅审阅了全文，而且给出了许多宝贵建议，使本书增色不少。感谢国家基础研究发展计划和国家自然科学基金项目多年来对作者相关研究工作的支持（项目编号：2009CB320500，60911130511，60873252）。

希望读者在阅读过程中，对本书不足之处提出宝贵意见，以便作者对本书内容不断加以完善，更好地为读者服务。联系人：崔勇，电子邮件：cuiyong@tsinghua.edu.cn。

崔 勇

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 无线移动互联网基础</b> .....	1
1.1 引言 .....	1
1.2 无线通信技术的发展 .....	2
1.3 通信网络的发展与演进 .....	5
1.4 无线移动互联网的概念与特点 .....	5
1.4.1 无线移动互联网的概念 .....	5
1.4.2 无线移动互联网的特点 .....	6
1.5 协议与标准化组织 .....	7
1.5.1 国际标准化组织 (ISO) .....	8
1.5.2 电气和电子工程师协会 (IEEE) .....	8
1.5.3 互联网工程任务组 (IETF) .....	9
1.5.4 国际电信联盟 (ITU) .....	9
1.5.5 中国的标准化组织 .....	10
1.5.6 其他标准化组织 .....	10
1.6 无线移动互联网的设计要求 .....	10
1.7 本章小结 .....	11
1.8 习题 .....	11
参考文献 .....	12
<b>第 2 章 无线接入网络技术</b> .....	14
2.1 无线局域网与 IEEE 802.11 标准 .....	14
2.1.1 IEEE 802.11 标准的演进 .....	15
2.1.2 IEEE 802.11 协议簇 .....	15
2.1.3 IEEE 802.11 协议框架 .....	19
2.1.4 IEEE 802.11 物理层技术 .....	20
2.1.5 IEEE 802.11 MAC 层技术 .....	23
2.2 无线个域网与 IEEE 802.15 标准 .....	29
2.2.1 IEEE 802.15 标准的演进 .....	29
2.2.2 IEEE 802.15 协议簇 .....	30
2.2.3 IEEE 802.15.3 关键技术 .....	31
2.2.4 IEEE 802.15.4/ZigBee 关键技术 .....	35
2.2.5 其他近距离无线通信技术 .....	41
2.3 IEEE 802.16 标准及相关技术 .....	42

2.3.1	IEEE 802.16 标准的演进	43
2.3.2	IEEE 802.16 协议簇	43
2.3.3	IEEE 802.16 协议框架	44
2.3.4	IEEE 802.16 物理层技术	46
2.3.5	IEEE 802.16 MAC 层技术	47
2.4	IEEE 802.20 标准及相关技术	50
2.4.1	IEEE 802.20 标准的演进	51
2.4.2	IEEE 802.20 协议框架	51
2.4.3	IEEE 802.20 物理层技术	53
2.4.4	IEEE 802.20 MAC 层技术	53
2.4.5	IEEE 802.20 的其他技术	55
2.4.6	IEEE 802.20 系统的建模和度量标准	56
2.4.7	IEEE 802.20 的典型应用	56
2.5	IEEE 802.22 标准及相关技术	57
2.5.1	IEEE 802.22 标准的演进	57
2.5.2	IEEE 802.22 的基本概念	58
2.5.3	IEEE 802.22 协议框架	59
2.5.4	频谱感知技术	59
2.5.5	数据传输技术	60
2.6	3G 和 B3G 技术	60
2.6.1	3G 技术的演进	60
2.6.2	3G 与 IEEE 802.16e、802.22 的比较	62
2.6.3	3G 技术标准	63
2.6.4	三种典型的 3G 标准比较	66
2.6.5	B3G 与 4G 技术	67
2.7	本章小结	71
2.8	习题	72
	参考文献	74
<b>第 3 章</b>	<b>移动自组织网络</b>	<b>78</b>
3.1	移动自组织网络概述	78
3.1.1	移动自组织网络的基本概念	78
3.1.2	移动自组织网络的特点	79
3.1.3	移动自组织网络的体系结构	80
3.1.4	移动自组织网络的关键技术研究	81
3.2	移动自组织网络的 MAC 协议	82
3.2.1	单信道 MAC 协议	82
3.2.2	多信道 MAC 协议	84
3.2.3	基于功率控制的 MAC 协议	87
3.2.4	基于定向天线的 MAC 协议	88



3.3	移动自组织网络的路由协议	89
3.3.1	基本路由机制及其分类	89
3.3.2	表驱动路由协议	93
3.3.3	按需驱动路由协议	97
3.3.4	混合路由协议	101
3.3.5	基本路由选择算法	102
3.3.6	路由更新与预测技术	105
3.3.7	面向能耗的路由选择算法	107
3.3.8	基于位置的路由选择算法	109
3.4	移动自组织网络的应用	110
3.4.1	相关标准	110
3.4.2	移动设备组网	112
3.4.3	军事应用	114
3.4.4	突发事件或者特殊环境中的应用	115
3.5	本章小结	116
3.6	习题	117
	参考文献	119
<b>第4章</b>	<b>无线传感器网络</b>	<b>125</b>
4.1	无线传感器网络概述	125
4.1.1	无线传感器网络的基本概念	125
4.1.2	无线传感器网络的体系结构	126
4.1.3	无线传感器网络设计的考虑因素	128
4.2	无线传感器网络的节点设计	129
4.2.1	传感单元	130
4.2.2	数据处理单元	130
4.2.3	通信单元	131
4.2.4	能量供应单元	132
4.2.5	操作系统	133
4.3	无线传感器网络的物理层	134
4.3.1	无线传感器网络物理层概述	134
4.3.2	无线传感器网络的调制与编码方法	134
4.4	无线传感器网络的 MAC 协议	136
4.4.1	无线传感器网络 MAC 协议概述	136
4.4.2	竞争型 MAC 协议	137
4.4.3	分配型 MAC 协议	140
4.4.4	混合型 MAC 协议	143
4.4.5	MAC 协议比较	144
4.5	无线传感器网络的路由协议	145
4.5.1	无线传感器网络路由协议概述	145

4.5.2	平面路由协议 .....	146
4.5.3	分层路由协议 .....	148
4.5.4	优化的路由协议 .....	150
4.5.5	路由协议的比较 .....	152
4.6	无线传感器网络的节点定位 .....	153
4.6.1	无线传感器网络节点定位概述 .....	153
4.6.2	基于测距的定位机制 .....	156
4.6.3	无需测距的定位机制 .....	157
4.6.4	定位机制的对比分析 .....	160
4.7	无线传感器网络的时间同步算法 .....	160
4.7.1	无线传感器网络时间同步概述 .....	160
4.7.2	接收者-接收者同步算法 .....	162
4.7.3	发送者-接收者成对同步 .....	163
4.7.4	发送者-接收者单向同步 .....	165
4.7.5	接收同步 .....	166
4.7.6	同步算法的比较 .....	166
4.8	无线传感器网络应用 .....	167
4.8.1	生态与环境监测 .....	167
4.8.2	公共安全 .....	168
4.8.3	工业自动化 .....	169
4.8.4	智能建筑 .....	170
4.8.5	军事领域 .....	170
4.8.6	其他应用 .....	171
4.9	本章小结 .....	172
4.10	习题 .....	173
	参考文献 .....	175
<b>第5章</b>	<b>无线 Mesh 网络 .....</b>	<b>181</b>
5.1	无线 Mesh 网概述 .....	181
5.1.1	无线 Mesh 网的起源 .....	181
5.1.2	无线 Mesh 网基本概念 .....	181
5.1.3	无线 Mesh 网与其他网络的比较 .....	183
5.1.4	无线 Mesh 网体系结构 .....	184
5.1.5	无线 Mesh 网物理层上的优势 .....	185
5.2	无线 Mesh 网的 MAC 协议 .....	187
5.2.1	无线 Mesh 网 MAC 协议概述 .....	187
5.2.2	单信道 MAC 协议 .....	189
5.2.3	多信道单收发器 MAC 协议 .....	190
5.2.4	多信道多收发器 MAC 协议 .....	192
5.2.5	无线 Mesh 网 MAC 协议比较 .....	195

5.3	无线 Mesh 网路由协议 .....	195
5.3.1	无线 Mesh 网中的路由协议概述 .....	195
5.3.2	基于移动自组织网络的路由协议 .....	197
5.3.3	控制洪泛的路由协议 .....	201
5.3.4	利用有利时机的路由协议 .....	202
5.3.5	多径路由协议 .....	205
5.3.6	无线 Mesh 网路由协议比较 .....	207
5.4	无线 Mesh 网中的跨层设计 .....	207
5.4.1	跨层设计概述 .....	207
5.4.2	各层协议对跨层设计的需求 .....	208
5.4.3	跨层设计的分类 .....	211
5.4.4	松耦合跨层技术 .....	212
5.4.5	紧耦合跨层技术 .....	214
5.4.6	跨层设计的反思 .....	216
5.5	无线 Mesh 网络的应用 .....	217
5.5.1	研究院所的试验床 .....	217
5.5.2	企业在 Mesh 方面的研究现状 .....	219
5.6	本章小结 .....	221
5.7	习题 .....	221
	参考文献 .....	223
<b>第 6 章</b>	<b>移动 IP 技术 .....</b>	<b>227</b>
6.1	移动 IP 概述 .....	227
6.2	移动 IPv4 .....	228
6.2.1	移动 IPv4 概述 .....	229
6.2.2	代理发现 .....	231
6.2.3	移动节点注册 .....	232
6.2.4	数据传输 .....	233
6.2.5	链路层地址解析 .....	235
6.2.6	路由优化 .....	236
6.2.7	安全问题 .....	238
6.3	移动 IPv6 .....	239
6.3.1	移动 IPv6 概述 .....	240
6.3.2	移动节点注册 .....	242
6.3.3	数据传输 .....	244
6.3.4	移动 IPv6 与移动 IPv4 的比较 .....	245
6.4	移动 IP 的切换优化机制 .....	246
6.4.1	移动 IP 切换优化机制概述 .....	246
6.4.2	移动 IPv4 切换优化机制 .....	246
6.4.3	移动 IP 平滑切换技术 .....	248

6.4.4	移动 IPv6 切换优化机制 .....	249
6.5	微移动协议 .....	251
6.5.1	微移动协议概述 .....	252
6.5.2	蜂窝 IP .....	254
6.5.3	层次移动 IPv6 .....	255
6.5.4	域内移动管理协议 IDMP .....	257
6.5.5	微移动协议的比较 .....	258
6.6	代理移动 IP 技术 .....	258
6.6.1	代理移动 IP 概述 .....	259
6.6.2	移动节点接入 .....	261
6.6.3	移动节点切换 .....	262
6.6.4	IPv4 到 IPv6 的过渡问题 .....	262
6.7	网络移动性 NEMO .....	263
6.7.1	网络移动性概述 .....	263
6.7.2	移动路由器注册 .....	264
6.7.3	NEMO 协议的优化 .....	264
6.8	移动 IP 组播技术 .....	266
6.8.1	组播概述 .....	266
6.8.2	移动组播面临的问题 .....	267
6.8.3	基本的移动组播方案 .....	268
6.8.4	扩展的移动组播方案 .....	270
6.8.5	主要移动组播方案的比较 .....	272
6.9	移动 IP 技术其他研究热点 .....	273
6.9.1	网络接入检测 .....	273
6.9.2	移动 IPv4 动态家乡代理分配 .....	274
6.9.3	移动 IPv4 区域性注册 .....	274
6.10	本章小结 .....	275
6.11	习题 .....	275
	参考文献 .....	278
<b>第 7 章</b>	<b>无线 TCP 技术 .....</b>	<b>283</b>
7.1	无线 TCP 技术概述 .....	283
7.1.1	TCP 协议的基本机制 .....	283
7.1.2	无线 TCP 面临的挑战 .....	285
7.2	单跳无线 TCP 传输机制 .....	285
7.2.1	链路层丢包恢复机制 .....	286
7.2.2	丢包原因通知机制 .....	287
7.2.3	分离链路机制 .....	288
7.2.4	端到端连接机制 .....	289
7.3	多跳无线 TCP 传输机制 .....	290

7.3.1	多跳无线 TCP 面临的挑战	290
7.3.2	区分无线传输损失与拥塞	291
7.3.3	降低路由失败的损失	295
7.3.4	降低信道竞争与增强公平性	296
7.4	非 TCP 传输机制	297
7.4.1	基于速度的显式流控制	297
7.4.2	移动自组织网络传输协议	298
7.4.3	无线显式拥塞控制协议	299
7.5	本章小结	299
7.6	习题	300
	参考文献	301
<b>第 8 章</b>	<b>无线移动互联网的服务质量保证机制</b>	<b>306</b>
8.1	无线移动互联网的 QoS 机制概述	306
8.1.1	QoS 机制的基本概念	306
8.1.2	网络模型和 QoS 度量	307
8.1.3	互联网的主要 QoS 控制框架	309
8.1.4	无线移动互联网 QoS 机制关键技术研究	311
8.2	物理层 QoS 机制	312
8.3	链路层 QoS 机制	314
8.3.1	无线接入标准的 QoS 机制及其优化	314
8.3.2	信道接入技术及其预测机制	317
8.4	服务质量感知路由	318
8.4.1	非竞争性的服务质量感知路由	318
8.4.2	竞争性服务质量感知路由	319
8.4.3	独立服务质量感知路由	320
8.5	Mobile IP 的 QoS 机制	322
8.5.1	Mobile IP 的集成服务	322
8.5.2	Mobile IP 的区分服务	324
8.5.3	移动 IP 的 MPLS	325
8.6	应用层 QoS 机制	326
8.7	资源分配机制与调度算法	326
8.8	本章小结	328
8.9	习题	330
	参考文献	332
<b>第 9 章</b>	<b>无线移动互联网的安全机制</b>	<b>338</b>
9.1	无线移动互联网的安全技术概述	338
9.1.1	网络安全的基本概念	339
9.1.2	网络安全的目标、服务与机制	339
9.1.3	互联网的常用安全机制	340

9.1.4	无线移动互联网的常见安全威胁	342
9.1.5	无线移动互联网安全关键技术研究	343
9.2	入侵检测机制	344
9.2.1	节点级入侵检测机制	345
9.2.2	系统级入侵检测机制	346
9.3	安全路由机制	349
9.4	加密机制	352
9.4.1	部分分布式证书验证机制	352
9.4.2	完全分布式证书验证机制	354
9.4.3	基于身份的密钥管理机制	354
9.4.4	基于证书链的密钥管理机制	354
9.4.5	基于簇的密钥管理机制	355
9.4.6	基于预部署的密钥管理机制	356
9.4.7	基于动态性的密钥管理机制	356
9.4.8	并行密钥管理机制	357
9.4.9	其他密钥管理机制	357
9.5	其他安全机制	358
9.6	安全机制的应用	358
9.7	本章小结	359
9.8	习题	360
	参考文献	362
<b>第 10 章</b>	<b>异构网络互联的设备与技术</b>	<b>366</b>
10.1	异构网络互联概述	366
10.1.1	网络互联设备	366
10.1.2	异构网络互联的概念与类型	369
10.1.3	异构网络互联的基本问题	370
10.1.4	异构网络互联的关键技术	370
10.2	有线网与无线网的互联	371
10.2.1	有线网与无线网的差别	371
10.2.2	有线网和无线网互联的方法	373
10.3	固定网和移动网的互联	373
10.3.1	固定和移动网融合的需求	373
10.3.2	固定网和移动网互联的方法	374
10.4	异构无线网间的互联	375
10.4.1	异构无线网络互联的相关标准和技术	376
10.4.2	3G 与 WLAN 的互联	377
10.4.3	Wi-Fi 与 WiMAX 的互联	380
10.5	本章小结	382
10.6	习题	383

参考文献	383
<b>第 11 章 无线移动互联网的应用</b>	<b>385</b>
11.1 引言	385
11.2 无线移动互联网的应用场景	386
11.2.1 手机娱乐应用	386
11.2.2 校园科研应用	391
11.2.3 城市交通应用	393
11.2.4 公共安全与军事应用	394
11.2.5 无线城市应用	394
11.3 无线移动互联网的规划与设计	395
11.3.1 需要考虑的因素	395
11.3.2 现场勘测与规划	396
11.4 无线移动互联网的安装与配置	398
11.4.1 综合布线	398
11.4.2 无线设备的配置	399
11.4.3 网络调试与工程验收	400
11.5 本章小结	400
11.6 习题	400
参考文献	401

# 第1章 无线移动互联网基础

过去的3个世纪是人类历史长河中生产力飞跃的3个世纪。从1712年詹姆斯·纽考门发明蒸汽机和1781年詹姆斯·瓦特发明现代蒸汽机开始，第一次工业革命促使生产力大幅度提高，人类社会进入机械系统的时代。从1867年韦纳·冯·西门子发明发电机和1870年格拉姆发明电动机开始，第二次工业革命使得人类社会进入电气化时代。从1936年英国数学家阿兰·图灵发明图灵机以及1945年现代计算机之父冯·诺依曼第一次提出存储程序计算机开始，计算机日益成为人们生产生活不可或缺的重要组成部分，人类社会进入信息时代。信息时代的关键技术是信息收集、处理和分发，信息时代的重要特征在于，信息的广泛共享与高效处理<sup>[1]</sup>。

计算机技术和通信技术的融合，对信息时代的发展起到了重要的推动作用，尤其是二者融合所产生的计算机网络彻底改变了人们的生活方式和思维方式。Tanenbaum教授在《计算机网络》中，将计算机网络定义为通过同一种技术相互连接起来的一组自主计算机的集合，所谓相互连接是指各台计算机之间能够交换信息。

随着无线通信技术的发展，行走在路上的人们已经可以随时随地通过个人数字助理PDA、手机、笔记本电脑等移动设备发送或者接收电子邮件、浏览网页，或者访问远程文件等。随着无线接入技术的进一步发展以及移动操作系统和移动浏览器的开发，无线移动互联网具有越来越多的网络应用，并且越来越多的使用者逐步接受无线移动互联网。据统计，2007年年底我国手机上网用户已经达到5000多万，其中一半同时是互联网用户，另外一半则只用手机上网。与此同时，“无线城市”不仅成为耳熟能详的新名词，而且通过Wi-Fi、3G等无线网络技术组建的无线局域网、无线城域网已经走进千家万户。可以说，无线通信成为固定宽带之后互联网发展的重要推动力，无线移动互联网代表了未来计算机网络技术乃至未来计算机技术的发展趋势，21世纪成为无线移动互联网的时代。

本章1.1节是引言；1.2节、1.3节分别回顾了无线通信技术和通信网络的发展历程；1.4节给出了无线移动互联网的基本概念与特点；1.5节介绍了无线移动互联网中协议标准的基本概念和相关标准化组织；1.6节阐述了无线移动互联网的设计要求与关键技术；1.7节是本章小结。

## 1.1 引言

计算机网络的发展经历了几十年的历史，影响力最大的计算机网络是互联网<sup>[2]</sup>。互联网起源于20世纪60年代后期美国国防部国防高级研究计划署所建立的ARPANET。ARPANET是由一些被称为接口消息处理器（Interface Message Processors, IMP）的小型机所构成的分组交换网络，每个节点具有接口消息处理器和主机，主机向接口消息处理器发送消息，接口消息处理器将该消息分组，接着向目的节点发送分组。ARPANET具备互联网的一些特点，并迅速成长。



虽然 ARPANET 成长迅速，但是各个网络的消息格式、接口等缺乏统一标准，多个网络之间的互联和通信成为亟待解决的问题。解决该问题的方案在于协议，只要各个网络采用相同的协议，那么相互之间的通信就能够实现<sup>[3]</sup>。这促进了有关协议的研究工作，最终研究者们提出了 TCP/IP 参考模型及其协议簇<sup>[4]</sup>，并被专门设计成用于处理网络互联的通信。随着越来越多的网络连接到 ARPANET，TCP/IP 成为互联网的核心协议簇。

20 世纪 70 年代后期，美国国家科学基金会在 ARPANET 的基础上，建立美国境内的骨干网络，并且将一些区域性网络连接到骨干网上，这些区域性网络和骨干网构成了 NSF-NET。随着 NSFNET 规模不断扩大，美国国家科学基金会鼓励 MERIT、MCI 和 IBM 公司组成非营利性企业 ANS，该企业在 NSFNET 的基础上构建了 ANSNET。之后，ANS 公司被美国在线 AOL 公司收购，美国在线等公司成为 IP 服务的提供商。可见，计算机网络的发展经历了军用需求推动最初建立、政府资助推动扩大发展和商业运营推动广泛应用的过程，其演进过程如图 1-1 所示。随后，随着文件下载 FTP、远程访问 TELNET、电子邮件乃至万维网应用的发明，互联网走进了每个人的生活。

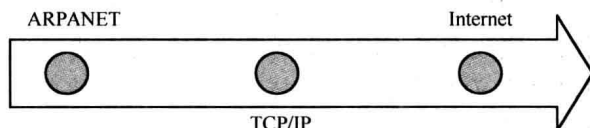


图 1-1 互联网的演进

除了帮助 ARPANET 成长之外，美国国防部国防高级研究计划署还资助了卫星网络和分组无线网络（PRNET），而该分组无线网络（PRNET）成为无线移动互联网的雏形，在此基础上发展出移动自组织网络，然后进一步提出无线传感器网络和无线 Mesh 网络等无线移动互联网，如图 1-2 所示，这一点在后面的相关章节详细阐述。人们对无线通信和无线移动互联网的需求日益明显，人们希望能够一边乘车旅行，一边保持他们的笔记本电脑连接到互联网上。从 20 世纪 90 年代开始，随着带有无线网卡的计算机以及各种便携式通信设备的广泛使用，无线通信和无线移动互联网成为学术界和产业界关注的热点。



图 1-2 无线移动互联网的演进

纵观计算机网络技术的发展，可以看出其发展经历了从有线通信到无线通信、从固定结构互联网到无线移动互联网的发展历程。

## 1.2 无线通信技术的发展

数据通信是指通过某种传输介质在两台设备间进行数据交换。数据通信系统主要包括消息、发送方、接收方、传输介质和协议<sup>[5]</sup>。其中，消息，或者称为报文，是需要由计算机