

“十三五”国家重点出版物出版规划项目



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

高等教育网络空间安全规划教材

移动互联网

原理、技术与应用

第2版

崔勇 张鹏 编著
吴建平 主审



提供电子教案

<http://www.cmpedu.com>

非外借



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

“十三五”国家重点出版物出版规划项目



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

高等教育网络空间安全规划教材

移动互联网：原理、 技术与应用

第2版

崔 勇 张 鹏 编著
吴建平 主审

机械工业出版社

本书是一本介绍移动互联网基本原理和目前研究进展的教材。第1章介绍了移动互联网的基础知识；第2章分析了无线接入技术；第3、4章讨论了移动互联网的两种重要组网方式：移动自组织网络和无线传感器网络；第5章阐述了网络层移动IP技术；第6章介绍了传输层的重要技术：无线TCP技术和QUIC协议；第7章介绍了移动云计算的关键技术；第8章探讨了移动互联网安全机制；第9、10章介绍了移动互联网技术的综合应用和实验。上述内容基本上涵盖了移动互联网的主要内容。书中每章均附有习题，可以指导读者进行深入的学习。

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

本书配有授课电子课件，需要的教师可登录 www.cmpedu.com 免费注册，审核通过后下载，或联系编辑索取。QQ：2850823885。电话：010-88379739。

图书在版编目（CIP）数据

移动互联网：原理、技术与应用 第2版/崔勇，张鹏编著. —2版. —北京：机械工业出版社，2017.12

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

高等教育网络空间安全规划教材

ISBN 978-7-111-58618-0

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

中国版本图书馆CIP数据核字（2017）第295834号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）

策划编辑：郝建伟 责任编辑：郝建伟 胡静

责任校对：张艳霞 责任印制：张博

三河市宏达印刷有限公司印刷

2018年1月第2版·第1次印刷

184mm×260mm·20.75印张·501千字

0001-3000册

标准书号：ISBN 978-7-111-58618-0

定价：59.00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

服务咨询热线：(010)88379833

读者购书热线：(010)88379649

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网：www.cmpbook.com

机工官博：weibo.com/cmp1952

教育服务网：www.cmpedu.com

金书网：www.golden-book.com

高等教育网络空间安全规划教材

编委会成员名单

- 名誉主任 沈昌祥 中国工程院院士
- 主任 李建华 上海交通大学
- 副主任 (以姓氏拼音为序)
- 崔 勇 清华大学
- 王 军 中国信息安全测评中心
- 吴礼发 解放军理工大学
- 郑崇辉 国家保密教育培训基地
- 朱建明 中央财经大学
- 委 员 (以姓氏拼音为序)
- 陈 波 南京师范大学
- 贾铁军 上海电机学院
- 李 剑 北京邮电大学
- 梁亚声 31003 部队
- 刘海波 哈尔滨工程大学
- 潘柱廷 启明星辰信息技术有限公司
- 彭 澎 教育部教育管理信息中心
- 沈苏彬 南京邮电大学
- 王相林 杭州电子科技大学
- 王孝忠 公安部国家专业技术人员继续教育基地
- 王秀利 中央财经大学
- 伍 军 上海交通大学
- 杨 珉 复旦大学
- 俞承杭 浙江传媒学院
- 张 蕾 北京建筑大学
- 秘书长 胡毓坚 机械工业出版社

序 言

计算机网络作为信息产业发展的关键技术，已经成为现代计算领域不可或缺的重要组成部分。作为当今最有发展前景的网络技术，移动互联网更是受到学术界和产业界的普遍关注。然而，由于移动互联网技术发展迅速，目前市场上尚无全面介绍移动互联网的基本原理、关键技术和具体应用的教材。教材作为提高教学质量的关键，需紧跟新兴领域发展的步伐。为了适应学科的快速发展和培养方案的需要，有必要编写移动互联网领域的教材。

多年以来，笔者一直从事信息类相关专业本科生和研究生的高等教育工作，深切体会到研究生的教育和本科高年级学生的教育应当突出“创新”，既要加强基础理论的学习，使得学生具备该领域的基础知识；又要加强科研能力的训练，使得学生能够具备发现问题、分析研究问题和解决问题的能力。本书的内容充分体现了这一点。一方面着重反映了移动互联网领域基础性、普遍性的知识，深入研究了移动互联网的基本原理；另一方面跟踪了学术界和产业界的最新研究进展。众所周知，计算机科学与技术专业是一个工科专业，具有强烈的实践性特征，而计算机网络更是如此。应当说，学术界的论文和产业界的发明共同推动了移动互联网技术的发展。那些站在学术界最前沿的研究人员和站在产业界最前沿的研究者通力合作，才有了今天移动互联网技术的蓬勃发展。总结前人知识成果，也是笔者的另一大诉求和心愿。

古人云：知其然，知其所以然。所以在此提醒读者，不仅要学习知识、掌握原理、了解应用，更要多些疑问：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乃是无价之宝，但发明的过程才是思维的凝炼和学习的精髓。如果本书能够让读者思考问题的模式得到些许改变，那么本书对读者的价值就远远超过对移动互联网知识本身的学习了。

本书内容丰富，体系结构严谨，概念清晰，易学易懂，符合学生的认识规律，适合于教学和自学，我愿意向广大读者推荐本书，希望本书能够给致力于移动计算领域研究和应用开发的读者一些有益的启示。

崔 勇

2017年4月于清华园

前 言

移动互联网时代是网络化和智能化的时代，与云计算、大数据、物联网、人工智能和虚拟现实等技术相结合，能广泛应用于游戏、视频、零售、教育、医疗、旅游等领域。移动互联网的快速发展和广泛应用，不仅让人们的生活和工作更加便捷，而且对社会、经济发展产生了极其深刻的影响。移动互联网，尤其是移动互联网与其他应用平台的有机结合体，必将成为未来人们进行移动通信和获取互联网服务的首要模式。

移动互联网不仅是计算机、微电子和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、移动互联网等专业课。本书第1版自2012年1月出版以来，受到清华大学“无线网络与移动计算”课程研究生以及广大院校教师与学生们的喜爱，《无线移动互联网原理、技术与应用》这本书被收入高等院校计算机精品教材系列，并被评为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材和“十三五”国家重点出版物出版规划项目。

近年来，随着移动互联网行业的蓬勃发展，移动云计算、移动终端和移动支付等安全问题日益突出，同时移动互联网的传输也面临着各种性能与安全挑战，例如低延迟通信，用户数据的隐私安全，以及新的传输层技术的部署问题。移动互联网的理论教学、实战训练和人才培养等面临全新的挑战，课程教材的适时更新与不断完善也势在必行。本次修订本着“前沿、实用”的原则，在尽量保持教材的核心技术内容不变的前提下，突出移动互联网的特色，删减部分过时内容，在移动互联网行业核心原理、关键技术、典型应用等内容的时效性和实用性方面有所更新和充实，新增业界最新研究进展，如新兴互联网传输层协议 QUIC、移动云计算、移动互联网安全与应用等，并更新书名为《移动互联网原理、技术与应用》。

本书向读者全面、系统、深入地介绍了移动互联网的相关知识，并力图培养读者的独立研究能力，使读者能够在较短时间内掌握移动互联网的基本原理和关键技术，了解学术界和工业界的最新研究进展。本书通过大量应用实例，增强读者感性认识，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。

为了帮助读者更好地理解移动互联网的关键技术，本书第1章介绍了移动互联网的基础知识，第2章分析了无线接入技术，第3、4章讨论了移动互联网的两种重要组网方式：移动自组织网络和无线传感器网络，第5章阐述了网络层移动IP技术，第6章介绍了传输层的重要技术：无线TCP技术和QUIC协议，第7章介绍了移动云计算的关键技术，第8章探讨了移动互联网安全机制，第9、10章介绍了移动互联网技术的综合应用和实验。

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，并且各章相对独立，难度适当；第二、内容涵盖广泛，全面介绍了学术界最新研究成果和工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移动互联网的最新成果；第三、实用性强，分析了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。

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。本书是编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编者备受鼓舞并感到义不容辞；清华大学计算机系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，不仅审阅了全稿，而且给出了许多宝贵建议，使本书增色不少；感谢机械工业出版社的各位编辑辛勤编校；最后感谢国家自然科学基金优青项目和教育部长江学者青年学者项目对编者相关研究工作的支持。

希望读者在阅读过程中，对本书不足之处提出宝贵意见，以便编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。

编 者

目 录

序言	
前言	
第1章 移动互联网基础 1	
1.1 引言	1
1.2 移动互联网的发展与演进	2
1.3 移动互联网的概念与特点	4
1.3.1 移动互联网的概念	4
1.3.2 移动互联网的特点	5
1.4 协议与标准化组织	5
1.4.1 国际标准化组织 ISO	6
1.4.2 电气和电子工程师协会 IEEE	6
1.4.3 互联网工程任务组 IETF	7
1.4.4 国际电信联盟 ITU	7
1.4.5 中国的标准化组织	7
1.4.6 其他标准化组织	8
1.5 移动互联网的设计要求	8
1.6 本章小结	9
习题	9
参考文献	10
第2章 无线接入技术	11
2.1 无线局域网与 IEEE 802.11 标准	11
2.1.1 IEEE 802.11 标准的 演进	12
2.1.2 IEEE 802.11 协议簇	12
2.1.3 IEEE 802.11 协议框架	14
2.1.4 IEEE 802.11 物理层 技术	15
2.1.5 IEEE 802.11 MAC 层 技术	17
2.2 IEEE 802.15 标准及相关 技术	23
2.2.1 IEEE 802.15 标准的 演进	23
2.2.2 IEEE 802.15 协议簇	24
2.2.3 IEEE 802.15.3 关键 技术	25
2.2.4 IEEE 802.15.4/ZigBee 关键 技术	29
2.2.5 其他近距离无线通信 技术	35
2.3 IEEE 802 的其他标准	36
2.3.1 IEEE 802.16 标准及相关 技术	36
2.3.2 IEEE 802.20 标准及相关 技术	39
2.3.3 IEEE 802.22 标准及相关 技术	39
2.4 移动通信技术	41
2.4.1 3G 技术	41
2.4.2 4G 及 5G 技术发展	42
2.5 本章小结	43
习题	44
参考文献	45
第3章 移动自组织网络	47
3.1 移动自组织网络概述	47
3.1.1 移动自组织网络的基本 概念	47
3.1.2 移动自组织网络的特点	48
3.1.3 移动自组织网络的体系 结构	49
3.1.4 移动自组织网络的关键技术 研究	50
3.2 移动自组织网络的 MAC 协议	50
3.2.1 单信道 MAC 协议	51

3.2.2	多信道 MAC 协议	53	定位	112
3.2.3	基于功率控制的 MAC 协议	55	4.4.1	无线传感器网络节点定位概述
3.2.4	基于定向天线的 MAC 协议	56	4.4.2	基于测距的定位机制
3.3	移动自组织网络的路由协议	57	4.4.3	无需测距的定位机制
3.3.1	基本路由机制及其分类	58	4.4.4	定位机制的对比分析
3.3.2	表驱动路由协议	61	4.5	无线传感器网络的时间同步算法
3.3.3	按需驱动路由协议	65	4.5.1	无线传感器网络时间同步概述
3.3.4	混合路由协议	69	4.5.2	接收者—接收者同步算法
3.3.5	基本路由选择算法	70	4.5.3	发送者—接收者成对同步算法
3.3.6	路由更新与预测技术	73	4.5.4	发送者—接收者单向同步算法
3.3.7	面向能耗的路由选择算法	75	4.5.5	接收同步算法
3.3.8	基于位置的路由选择算法	77	4.5.6	同步算法的比较
3.4	无线 Mesh 网络	78	4.6	本章小结
3.4.1	无线 Mesh 网络概述	78	习题	127
3.4.2	无线 Mesh 网络的 MAC 协议	80	参考文献	128
3.4.3	无线 Mesh 网络路由协议	85	第 5 章 移动 IP 技术	133
3.5	本章小结	89	5.1	移动 IP 概述
习题		91	5.2	移动 IPv4
参考文献		92	5.2.1	移动 IPv4 概述
第 4 章 无线传感器网络		99	5.2.2	代理发现
4.1	无线传感器网络概述	99	5.2.3	移动节点注册
4.1.1	无线传感器网络的基本概念	99	5.2.4	数据传输
4.1.2	无线传感器网络设计	100	5.2.5	链路层地址解析
4.2	操作系统	100	5.2.6	路由优化
4.3	组网技术	101	5.2.7	安全问题
4.3.1	无线传感器网络物理层	101	5.3	移动 IPv6
4.3.2	无线传感器网络的 MAC 协议	103	5.3.1	移动 IPv6 概述
4.3.3	无线传感器网络的路由协议	104	5.3.2	移动节点注册
4.4	无线传感器网络的节点		5.3.3	数据传输
			5.3.4	移动 IPv6 与移动 IPv4 的比较
			5.4	移动 IP 的切换优化机制
			5.4.1	移动 IP 切换优化机制

概述	150	协议	192
5.4.2 移动 IPv4 低延迟切换优化		6.4 本章小结	192
机制	151	习题	193
5.4.3 移动 IP 平滑切换技术	153	参考文献	194
5.4.4 移动 IPv6 快速切换优化		第7章 移动云计算	199
机制	154	7.1 移动云计算概述	199
5.5 移动 IP 技术其他研究		7.2 移动云计算关键技术	200
热点	156	7.2.1 计算迁移技术	200
5.5.1 微移动协议	156	7.2.2 基于移动云的位置	
5.5.2 代理移动 IP 技术	159	服务	204
5.5.3 网络移动性 NEMO	160	7.2.3 移动终端节能技术	206
5.5.4 移动 IP 组播技术	161	5.3 数据中心网络	210
5.5.5 网络接入检测	163	7.3.1 数据中心概述	210
5.5.6 移动 IPv4 动态家乡代理		7.3.2 数据中心网络架构	211
分配	164	7.3.3 无线数据中心网络	
5.5.7 移动 IPv4 区域性注册	164	架构	214
5.6 本章小结	165	7.3.4 无线数据中心网络性能	
习题	166	优化	217
参考文献	168	5.4 移动云计算发展趋势与	
第6章 移动互联网传输机制	171	展望	221
6.1 传统传输技术	171	7.4.1 移动云计算的功能	
6.1.1 TCP 的基本机制	171	增强	221
6.1.2 无线 TCP 面临的挑战	173	7.4.2 移动云计算的服务质量	
6.1.3 单跳无线 TCP 传输		保障	221
机制	173	5.5 本章小结	222
6.1.4 多跳无线 TCP 传输		习题	222
机制	178	参考文献	223
6.2 新兴传输层协议 QUIC	185	第8章 移动互联网安全	231
6.2.1 QUIC 协议概述	185	8.1 移动互联网安全概述	231
6.2.2 建立连接	186	8.1.1 网络安全基本概念	231
6.2.3 多路复用	187	8.1.2 网络安全的目标、服务与	
6.2.4 拥塞控制和丢包恢复		机制	232
机制	188	8.1.3 移动互联网安全	232
6.2.5 挑战及未来方向	189	8.2 移动终端安全	233
6.3 其他传输机制	190	8.2.1 终端操作系统安全	
6.3.1 基于速率的显式流		机制	234
控制	190	8.2.2 移动终端安全威胁	237
6.3.2 移动自组织网络传输		8.2.3 移动终端安全防护	240
协议	191	8.3 无线接入安全	246
6.3.3 无线显式拥塞控制			

8.3.1	无线接入安全威胁	246	展望	301	
8.3.2	无线接入安全发展	247	9.4	视频直播应用	302
8.3.3	IEEE 802.11i 安全标准	247	9.4.1	视频直播应用概述	302
8.3.4	IEEE 802.11i 安全接入 过程	249	9.4.2	流媒体技术基础	303
8.4	网络传输安全	251	9.4.3	流媒体传输协议	304
8.4.1	TLS	251	9.4.4	流媒体分发关键技术	306
8.4.2	HTTPS	255	9.5	本章小结	307
8.5	移动云计算安全	257	习题	307	
8.5.1	云计算数据安全	257	参考文献	308	
8.5.2	云数据机密性保护	258	第10章 移动互联网实验指导	312	
8.5.3	云数据访问控制	264	10.1	安卓应用开发实验	312
8.5.4	云数据完整性保证	267	10.1.1	实验目的	312
8.5.5	云数据可信删除	271	10.1.2	实验要求	312
8.6	本章小结	274	10.1.3	实验内容	312
习题		275	10.1.4	实验帮助	313
参考文献		276	10.2	VR 游戏开发实验	314
第9章 移动互联网的应用		281	10.2.1	实验目的	314
9.1	移动互联网的应用场景	281	10.2.2	实验要求	314
9.1.1	移动云计算应用	281	10.2.3	实验内容	314
9.1.2	物联网应用	284	10.2.4	实验帮助	315
9.1.3	互联网+应用	285	10.3	传输协议握手实验	316
9.1.4	虚拟现实应用	287	10.3.1	实验目的	316
9.2	移动云存储应用	290	10.3.2	实验要求	316
9.2.1	移动云存储概述	290	10.3.3	实验内容	316
9.2.2	移动云存储同步机制	293	10.3.4	实验帮助	317
9.2.3	移动云存储传输优化	294	10.4	WEP 密码破解实验	318
9.2.4	移动云存储面临的 挑战	296	10.4.1	实验目的	318
9.3	移动社交应用	297	10.4.2	实验要求	318
9.3.1	移动社交应用概述	297	10.4.3	实验内容	318
9.3.2	移动社交应用系统 架构	298	10.4.4	实验帮助	319
9.3.3	移动社交应用现有 研究	300	10.5	移动 IP 协议实验	320
9.3.4	移动社交应用前景		10.5.1	实验目的	320
			10.5.2	实验要求	320
			10.5.3	实验内容	320
			10.5.4	实验帮助	321

第1章 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·纽科门发明蒸汽机和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是信息的广泛共享与高效处理^[1]。

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》一书中，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手机、平板电脑、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，2016年8月份我国手机上网用户已经达到10亿，每月每户平均移动互联网接入流量近800MB，手机上网流量占9成。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、4G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世纪已成为无线移动互联网的时代。

本章1.1节是引言，1.2、1.3分别回顾了移动互联网的发展演进历程以及移动互联网的概念和特点，1.4节介绍了移动互联网相关标准化组织，1.5节阐述了移动互联网的设计要求，1.6节是本章小结。

1.1 引言

计算机网络经历了几十年的发展，影响力最大的计算机网络是互联网^[2]。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（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已经具备了互联网的一些特点，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^[3]。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^[4]，该模型被专门设计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，建立了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 NSFNET。随着 NSFNET 规模不断增长，美国国家科学基金会鼓励 MERIT、MCI 和 IBM 组成非营利性企业 ANS，该企业在 NSFNET 的基础上构建了 ANSNET。随后，ANS 被美国在线公司 (AOL) 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。

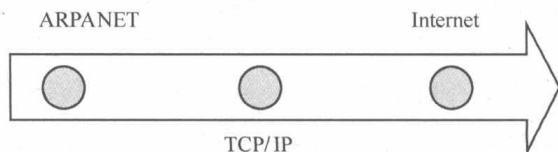


图 1-1 互联网的演进

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，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，相关内容在后续章节详细阐述。

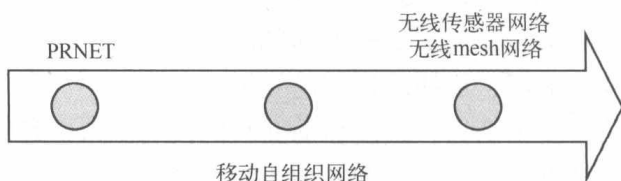


图 1-2 移动互联网的演进

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 移动互联网的发展与演进

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^[5]。其中，消息，或者称为报文，是需要由计算机网络进行交换与传送的基本数据单元。发送方、接收方分别是发送、接收数据消息的设备，可以是计算机、移动节点、手机、笔记本电脑等。传输介质是将消息从发送方传送到接收方的物理通路，包括双绞线、同轴电缆、光纤、无线电波或红外线等。协议是控制数据传送的规则，进行通信的设备双方需要按照相同的约定进行消息传送，这种约定就是协议。图 1-3

所示为数据通信的基本原理，首先发送方按照一定协议将数据封装成协议要求的消息格式，即报文，报文通过传输介质传送到接收方，接收方按照协议的约定解析该数据消息以获得传送的信息。

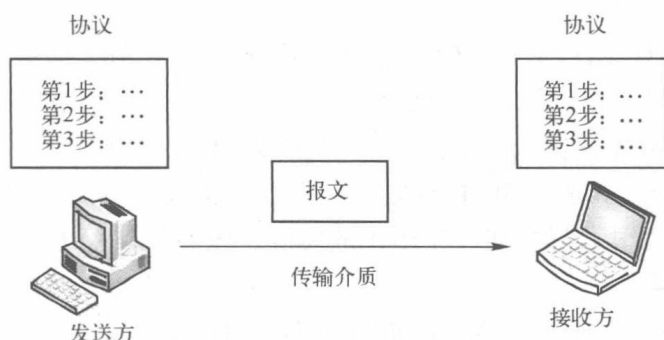


图 1-3 数据通信基本原理

人们最初使用的电话是与固定接口连接的固定电话，随着无线通信技术的发展，出现了无需与固定接口连接的移动电话（即手机）。移动电话的使用使人们随时随地进行语音通信成为现实，人们对互联网数据通信的移动性提出了要求，希望随时随地通过手机等移动设备发送或者接收传真和电子邮件或者浏览网页、访问远程文件，希望实现移动办公室、移动管理等。在该需求的推动下，无线移动互联网技术应运而生。

移动电话系统经历了 3 个发展阶段：第一代的模拟语音通信；第二代数字语音通信的移动电话系统（扩展为 2.5G 后可以支持低带宽数据通信），主要采用全球移动通信系统（Global System for Mobile communication, GSM）和码分多路访问系统（Code Division Multiple Access, CDMA）。第三代移动电话系统则同时支持数字语音与高速数据混合通信。其中，第二代移动电话系统，主要包括 TD-SCDMA、WCDMA（Wideband CDMA）和 CDMA2000 等。

移动电话系统和无线移动互联网都是在移动环境下对数字信号进行无线传输，并且都可以使用移动电话等作为终端设备，但是二者存在很多不同之处。首先，无线移动互联网主要面向数据包传送，而移动电话系统侧重固定带宽的高质量语音传送。其次，无线移动互联网在不同情况下，其数据流量和服务质量要求均存在较大差异，而移动电话系统的语音传送则具有固定带宽和服务质量要求。比如，在无线移动互联网的网页浏览中，通常需要较低的数据流量，但是也具有突发数据流的可能。在文件下载过程中，通常需要较高的数据流量，但也有可能由于传输完毕或者网络拥塞造成数据流量的突然降低。在流媒体传送中，则对延迟、带宽和丢失率有一定的服务质量要求。最后，无线移动互联网往往对带宽需求很大，而移动电话系统则没有这样的要求。

从 2009 年初开始，ITU 在全世界范围内征集 IMT-Advanced 候选技术。2009 年 10 月，ITU 共计征集到了 6 个候选技术。这 6 个技术基本上可以分为两大类，一类是基于 3GPP 的 LTE 的技术，我国提交的 TD-LTE-Advanced 是其中的 TDD 部分；另一类是基于 IEEE 802.16m 的技术。

ITU 在收到候选技术以后，组织世界各国和国际组织进行了技术评估。在 2010 年 10 月份，在我国重庆，ITU-R 下属的 WP5D 工作组最终确定了 IMT-Advanced 的两大关键技术，

即 LTE-Advanced 和 IEEE 802.16m。我国提交的候选技术作为 LTE-Advanced 的一个组成部分，也包含在其中。在确定了关键技术以后，WP5D 工作组继续完成了电联建议的编写工作，以及各个标准化组织的确认工作。此后 WP5D 将文件提交上一级机构审核，SG5 审核通过以后，再提交给 ITU 讨论。

在此次会议上，TD-LTE 正式被确定为 4G 国际标准，也标志着我国在移动通信标准制定领域再次走到了世界前列，为 TD-LTE 产业的后续发展及国际化提供了重要基础。

TD-LTE-Advanced 是我国自主知识产权 3G 标准 TD-SCDMA 的发展和演进技术。TD-SCDMA 技术于 2000 年正式成为 3G 标准之一，但在过去发展的 17 年中，TD-SCDMA 并没有成为真正意义上的“国际”标准，在产业链发展、国际发展等方面都非常滞后，而 TD-LTE 的发展明显要好得多。

2010 年 9 月，为适应 TD-SCDMA 演进技术 TD-LTE 发展及产业发展的需要，我国加快了 TD-LTE 产业研发进程，工业和信息化部率先规划 2570 ~ 2620 MHz（共 50 MHz）频段用于 TDD 方式的 IMT 系统。在良好实施 TD-LTE 技术试验的基础上，于 2011 年初在广州、上海、杭州、南京、深圳、厦门六城市进行了 TD-LTE 规模技术试验；2011 年底在北京启动了 TD-LTE 规模技术试验演示网建设。与此同时，随着国内规模技术试验的顺利进展，国际电信运营企业和制造企业纷纷看好 TD-LTE 发展前景^[1]。

2012 年 1 月 18 日，国际电信联盟在 2012 年无线电通信全会全体会议上，正式审议通过将 LTE-Advanced 和 WirelessMAN-Advanced（IEEE 802.16m）技术规范确立为 IMT-Advanced（俗称“4G”）国际标准，我国主导制定的 TD-LTE-Advanced 同时成为 IMT-Advanced 国际标准。

日本软银、沙特阿拉伯 STC 和 mobily、巴西 Sky Brazil、波兰 Aero2、印度 Augere 等众多国际运营商已经开始商用 TD-LTE 网络。同时，国际主流的电信设备制造商基本全部支持 TD-LTE，而在芯片领域，TD-LTE 已吸引 17 家厂商加入，其中不乏高通等国际芯片市场的领导者。

第五代移动电话行动通信标准，也称第五代移动通信技术，缩写为 5G，也是 4G 之后的延伸，正在研究中。

随着移动通信技术的飞速发展，智能终端即时通信应用蓬勃兴起。例如微信（WeChat）是腾讯公司于 2011 年 1 月 21 日推出的一个为智能终端提供即时通信服务的免费应用程序，微信支持跨通信运营商、跨操作系统平台，通过网络快速发送免费（需消耗少量网络流量）语音短信、视频、图片和文字，同时，也可以使用通过共享流媒体内容的资料和基于位置的社交插件。

1.3 移动互联网的概念与特点

1.3.1 移动互联网的概念

移动互联网是互联网与移动通信各自独立发展后互相融合的新兴市场，目前呈现出互联网产品移动化强于移动产品互联网化的趋势。从技术层面的定义，以宽带 IP 为技术核心，可以同时提供语音、数据和多媒体业务的开放式基础电信网络；从终端的定义，用户使用手

机、上网本、笔记本电脑、平板电脑、智能本等移动终端，通过移动网络获取移动通信网络服务和互联网服务。因此一般认为移动互联网是桌面互联网的补充和延伸，应用和内容仍是移动互联网的根本。

1.3.2 移动互联网的特点

虽然移动互联网与桌面互联网共享着互联网的核心理念和价值观，但移动互联网有实时性、隐私性、便携性、准确性、可定位的特点，日益丰富且智能的移动装置是移动互联网的重要特征之一。

从客户需求来看，移动互联网以运动场景为主，碎片时间、随时随地，业务应用相对短小精悍。

移动互联网的特点可以概括为以下几点。

(1) 终端移动性

移动互联网业务使得用户可以在移动状态下接入和使用互联网服务，移动的终端便于用户随身携带和随时使用。

(2) 业务使用的私密性

在使用移动互联网业务时，所使用的内容和服务更私密，如手机支付业务等。

(3) 终端和网络的局限性

移动互联网业务在便携的同时，也受到了来自网络能力和终端能力的限制：在网络能力方面，受到无线网络传输环境、技术能力等因素限制；在终端能力方面，受到终端大小、处理能力、电池容量等的限制。无线资源的稀缺性决定了移动互联网必须遵循按流量计费的商业模式。

(4) 业务与终端、网络的强关联性

由于移动互联网业务受到了网络自身的特性以及终端能力的限制，其业务内容和形式也需要适合特定的网络技术规格、终端类型以及特殊的终端应用。

1.4 协议与标准化组织

在使用无线电波作为传输介质将数据发送方和接收方连接的情况下，为了进行通信，数据发送方和接收方之间必须达成协议。协议是通信双方关于如何进行通信的一种约定，是用来控制数据通信的各个方面的规则。协议的关键因素包括语法、语义和时序。其中，语法是数据的结构或者格式，主要描述各个数据组成部分的顺序；语义主要规定每部分比特流流的意义；时序则描述发送数据的时间以及速率。

目前，产业界有众多的网络设备生产商和供应商，一个单独的网络设备生产商容易保证自己的产品之间能够较好地协作，但是多家生产商所生产的同类网络设备要进行互联互通，就必须遵循相同的协议。对数据通信而言，标准就是指协议的文本定义和阐述。

数据通信标准包括两种：事实标准和法定标准。事实标准是指业界广泛使用而非正式颁布的标准，例如 IBM PC 及其后继产品成为个人计算机的事实标准。法定标准是权威的标准化组织所采纳的、正式颁布的标准。无线互联网的相关技术标准大部分都是由标准化组织制

定并颁布的。鉴于标准的重要性，下面将介绍与无线互联网相关的主要国际、国内标准化组织。

1.4.1 国际标准化组织 ISO

目前，国际标准领域中最具有影响力的国际组织是国际标准化组织（International Organization for Standardization, ISO）。国际标准化组织成立于1946年，是一个由89个成员国的国家标准组织组成的国际组织。ISO为大量的学科制定标准，具有约200个处理专门主题的技术委员会（Technical Committee, TC），其中TC97负责计算机和信息处理技术，每个技术委员会具有若干分委员会，分委员会则通常由若干工作组组成。

1.4.2 电气和电子工程师协会 IEEE

在标准领域的另外一个重要组织是电气和电子工程师协会（Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE）。电气和电子工程师协会是世界上最大的信息领域专业组织，负责开发电气、电子和计算机领域的标准。电气和电子工程师协会由很多委员会（工作组）组成，802委员会完成了大量计算机网络的标准制定工作，见表1-1。其中，IEEE 802.2、IEEE 802.4、IEEE 802.6、IEEE 802.7、IEEE 802.9、IEEE 802.10、IEEE 802.12、IEEE 802.14的工作组已经停止工作；IEEE 802.8的工作组已经自行解散；IEEE 802.3、IEEE 802.11、IEEE 802.15、IEEE 802.16是目前非常重要的工作组，研发了很多通信标准，他们的大量工作成果已经成为无线接入网络技术的基础。第2章将详细阐述这些无线接入网络技术的标准。

表 1-1 IEEE802 工作组^[1]

序 号	主 题
802.1	局域网的总体介绍和体系结构
802.2	逻辑链路控制
802.3	以太网
802.4	令牌总线
802.5	令牌环网
802.6	双队列双总线
802.7	宽带技术
802.8	光纤技术
802.9	同步局域网
802.10	虚拟局域网和安全机制
802.11	无线局域网
802.12	需求的优先级
802.13	未使用
802.14	有线调制解调器
802.15	蓝牙
802.16	宽带无线