

■ 5G 新技术丛书

5G

移动通信系统及 关键技术

／ 张传福 赵立英 张 宇 ／ 等编著



◎ 北京中网华通设计咨询有限公司 组织编写

 中国工信出版集团

 电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

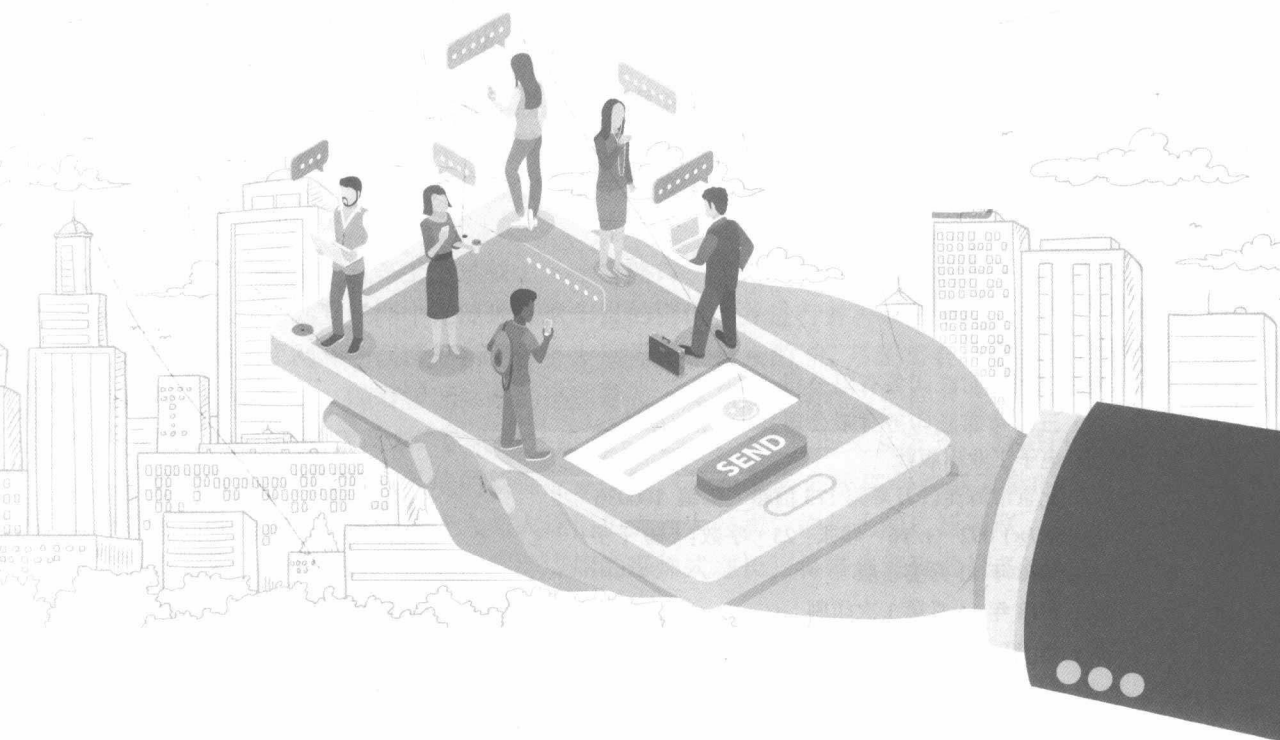
■ 5G 新技术丛书

5G

移动通信系统及 关键技术

/ 张传福 赵立英 张 宇 / 等编著

◎ 北京中网华通设计咨询有限公司 组织编写



電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书首先回顾移动通信技术的发展历史和4G通信网络所面临的挑战,引出5G的愿景与需求、5G的标准化、5G的性能要求,接着介绍为满足5G性能要求所需要的无线技术、网络技术及支撑技术,分析5G的频谱需求和5G网络的安全需求,最后探讨5G网络规划和部署方面的问题。

本书的读者对象包括从事5G技术研究、标准制定、产品及业务研发的专业人员,未来的网络规划设计、网络建设人员,高等院校相关专业的师生,以及所有关心5G移动通信的人们。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

5G移动通信系统及关键技术/张传福等编著. —北京:电子工业出版社,2018.11
(5G新技术丛书)

ISBN 978-7-121-35534-9

I. ①5… II. ①张… III. ①无线电通信-移动通信-通信技术 IV. ①TN929.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第259544号

策划编辑:曲 昕

责任编辑:曲 昕

印 刷:三河市君旺印务有限公司

装 订:三河市君旺印务有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:25 字数:640千字

版 次:2018年11月第1版

印 次:2018年11月第1次印刷

定 价:98.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888,88258888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:(010)88254469。

前 言

移动通信和互联网这两个发展最快、创新最活跃领域的融合产生了巨大的发展空间，创新的业务模式、商业模式层出不穷，甚至在不断改变整个信息产业的发展模式。

移动互联网是移动网络与互联网融合的产物，随着两者融合的扩大和深入，逐渐成为更具移动特性的、能够深入到人们生产生活的网络与服务体系。移动互联网以手机、个人数字助理（PDA）、便携式计算机、专用移动互联网终端等作为终端，以移动通信网络（包括2G、3G、4G等）或无线局域网（WiFi）、无线城域网（WiMAX）作为接入手段，直接或通过无线应用协议（WAP）访问互联网并使用互联网业务。

摩根斯坦利认为，移动互联网是继大型机、小型机、个人电脑、桌面互联网之后第五个信息产业的发展周期，是当今信息产业竞争最为激烈、发展最为迅速的领域。移动互联网带来的跨界融合甚至改变了信息通信产业的发展模式——移动互联网已经完全改变了移动智能终端制造领域，又在深刻改变着电信业的游戏规则。

2005年，在信息社会世界峰会（WSIS）上，国际电信联盟发布了《ITU 互联网报告2005：物联网》。报告指出，无所不在的“物联网”通信时代即将来临，世界上所有的物体，从轮胎到牙刷、从房屋到纸巾都可以通过互联网主动进行信息交换。射频识别（RFID）技术、传感器技术、纳米技术、智能嵌入技术将得到更加广泛的应用。

移动终端向智能化、多媒体化发展。移动终端所支持的业务功能更加丰富。移动智能终端已经成为全球最大消费电子产品分支，深刻改变着全球终端产业布局。其快速放量引领了全球消费电子产品的发展。

在生活中，无论在汽车上、地铁上、十字路口、休闲场所，低头族的出现已成为一种普遍现象。人们从移动互联网中便捷地获取丰富的资讯，并进行各种娱乐活动。

面对移动互联网和物联网等新型业务发展需求，未来的5G系统需要满足各种业务类型和应用场景。一方面，随着智能终端的迅速普及，移动互联网在过去的几年中在世界范围内发展迅猛，面向2020年及未来，将进一步改变人类社会信息的交互方式，为用户提供增强现实、虚拟现实等更加身临其境的新型业务体验，从而带来未来移动数据流量的飞速增长；另一方面，物联网的发展将传统人与人通信扩大到人与物、物与物的广泛互联，届时，智能家居、车联网、移动医疗、工业控制等应用的爆炸式增长，将带来海量的设备连接，最终实现“信息随心至，万物触手及”的5G总体愿景。

当前，5G已成为全球业界研发的焦点。世界上主要的标准化组织有ITU-R、3GPP、NGMN等。中国、欧盟、日本、韩国、美国等国家和地区纷纷成立相关组织，凝聚各方力量，积极开展5G的研究和标准化工作。

5G移动通信系统不是简单的以某个单一技术或某些业务能力来定义的。5G将是一系列无线技术的深度融合。它不但关注更高速率、更大带宽、更强能力的无线空口技术，而且更关注新的无线网络架构。5G将是融合多业务、多技术，聚焦于业务应用和用户体验的新一

代移动通信网络。

本书是介绍第五代移动通信技术（5G）的书籍。全书共分8章。第1章概述移动通信的发展历史、4G（LTE）面临的挑战及5G技术的研究与标准化。第2章介绍5G愿景与需求，包括5G的需求、5G的愿景、5G网络的性能及5G的应用。第3章阐述5G的无线技术，包括多址技术、双工技术、多载波技术、多天线技术、调制编码技术、毫米波通信技术。第4章分析5G的网络技术，包括5G网络结构需求、5G网络架构设计总体要求、5G网络架构的关键技术、5G接入网网络架构、5G核心网网络架构、超密集组网。第5章介绍5G的频谱需求，包括无线频谱分配现状、5G的频谱需求、中低频频谱的利用、频谱共享技术、高频频谱的利用、白频谱的利用、全频谱接入及认知无线电技术。第6章阐述5G支撑技术，包括移动云技术、双连接技术、SON技术、M2M技术、D2D技术、网络切片技术、边缘计算技术及CDN技术。第7章分析5G网络的安全。第8章探讨5G网络的规划、部署，包括5G网络规划面临的挑战、5G网络规划设计的考虑、小基站设备的应用、5G绿色网络的实现、5G室内覆盖及5G传输网络。

笔者是北京中网华通设计咨询有限公司的专业技术人员，长期从事移动通信网络技术的研究、追踪，长期从事移动通信网络的规划与设计，拥有深厚的理论知识与丰富的实际工作经验。

由于笔者的知识视野有一定的局限性，书中不准确、不完善之处在所难免，敬请同行专家和广大读者批评指正。

作者

2018年8月于北京

目 录

第 1 章 移动通信技术的发展及 5G 标准	1
1.1 移动通信的发展历史	1
1.1.1 移动通信的发展	1
1.1.2 第一代 (1G) 移动通信系统	1
1.1.3 第二代 (2G) 移动通信系统	2
1.1.4 第三代 (3G) 移动通信系统	4
1.1.5 第四代 LTE 移动通信系统	5
1.2 4G 面临的挑战	9
1.2.1 运营商面临的挑战	9
1.2.2 用户需求的挑战	9
1.2.3 技术面临的挑战	10
1.3 5G 移动通信研究与标准化	11
1.3.1 国际标准化组织	11
1.3.2 地区和国家组织	14
第 2 章 5G 愿景与需求	18
2.1 5G 需求	18
2.1.1 5G 的驱动力	18
2.1.2 运营需求	20
2.1.3 业务需求	21
2.1.4 用户需求	22
2.1.5 网络需求	22
2.1.6 效率需求	23
2.1.7 终端需求	23
2.2 5G 愿景	24
2.2.1 5G 总体愿景	24
2.2.2 5G 网络的特征	25
2.3 5G 网络的性能	26
2.3.1 5G 网络的性能指标	26
2.3.2 5G 关键能力	29
2.3.3 满足 5G 关键能力的途径	30
2.4 5G 应用	33
2.4.1 5G 应用趋势	33
2.4.2 5G 应用场景	34
2.4.3 5G 业务类型及特点	34

第 3 章	5G 无线技术	40
3.1	多址技术	40
3.1.1	非正交多址技术的概念和优势	41
3.1.2	非正交多址接入系统模型和理论极限	41
3.1.3	串行干扰消除 SIC 技术	44
3.1.4	功率域非正交多址接入	45
3.1.5	码域非正交多址接入	47
3.1.6	星座域非正交多址接入	51
3.1.7	图样分割多址接入技术 (PDMA)	51
3.1.8	非正交多址接入技术比较	53
3.2	双工技术	54
3.2.1	灵活双工技术	54
3.2.2	同频同时双工	59
3.3	多载波技术	65
3.3.1	OFDM 改进	66
3.3.2	超奈奎斯特技术 (FTN)	70
3.4	多天线技术	72
3.4.1	多天线技术概述	72
3.4.2	大规模 MIMO 简介	73
3.4.3	Massive MIMO 原理及关键技术	75
3.4.4	Massive MIMO 系统传输方案	78
3.4.5	Massive MIMO 性能及部署	79
3.5	调制编码技术	84
3.5.1	新型调制技术	84
3.5.2	新型编码技术	84
3.5.3	链路自适应	92
3.5.4	调制编码与软件无线电	93
3.6	毫米波通信	94
3.6.1	毫米波通信技术简介	94
3.6.2	面向 5G 的毫米波网络架构	95
3.6.3	毫米波的传播	97
3.6.4	面向 5G 的毫米波天线	98
第 4 章	5G 网络技术	100
4.1	5G 网络结构需求	100
4.1.1	5G 网络的特性和愿景	100
4.1.2	现有无线网络存在的问题	100
4.1.3	5G 网络架构的标准化进展	101
4.1.4	5G 蜂窝网络架构技术特征	102
4.2	5G 网络架构设计总体要求	107
4.2.1	5G 需求与网络功能映射	107

4.2.2	网络逻辑功能框架	108
4.2.3	基础设施平台	109
4.2.4	网络架构技术方向	110
4.3	G 网络服务——端到端网络切片	111
4.4	5G 网络架构的关键技术	112
4.4.1	超密集网络	113
4.4.2	网络虚拟化	113
4.4.3	内容分发网络	118
4.4.4	绿色通信	118
4.5	5G 接入网网络架构	119
4.5.1	5G 无线网架构设计挑战	119
4.5.2	基于控制与承载分离的 5G 无线网架构	121
4.5.3	基于 NFV 的 5G 无线网络架构	126
4.5.4	基于 SDN 的 5G 无线网络架构	129
4.5.5	基于 SDN、NFV 和云计算的 5G 无线网络架构	131
4.5.6	一种基于软件定义的以用户为中心的无线网络架构	135
4.5.7	基于 C-RAN 的 5G 无线网络架构	138
4.5.8	基于 H-CRAN 的无线网络架构	143
4.5.9	5G 无线接入网组网方案	147
4.6	5G 核心网网络架构	150
4.6.1	移动核心网网络架构现状及其发展趋势	150
4.6.2	5G 核心网的标准化	151
4.6.3	5G 应用场景和对网络的需求	151
4.6.4	5G 核心网关键技术	152
4.7	超密集组网 (UDN)	155
4.7.1	超密集组网的概念	155
4.7.2	UDN 应用场景	156
4.7.3	5G 超密集组网网络架构	157
4.7.4	UDN 的关键技术	158
4.7.5	5G 超密集组网具体部署场景	170
4.7.6	UDN 面临的挑战	174
第 5 章	5G 的频谱	176
5.1	无线频谱分配现状	176
5.1.1	概述	176
5.1.2	现有频谱分配	178
5.2	5G 频谱	183
5.2.1	5G 频谱需求	183
5.2.2	5G 频谱框架	185
5.2.3	5G 频谱核心工作内容	186
5.3	中低频频谱	187
5.3.1	授权频谱与非授权频谱	187
5.3.2	授权辅助接入 (LAA)	189

5.3.3	授权共享接入 (LSA)	196
5.4	频谱共享	196
5.4.1	频谱共享的内涵	197
5.4.2	频谱共享的分类	199
5.4.3	授权的频谱共享	201
5.4.4	动态频谱共享技术	204
5.4.5	国际频谱共享实施案例	206
5.4.6	我国的频谱共享策略	209
5.5	高频频谱	214
5.5.1	高频段频谱现状	215
5.5.2	超高频信号的传播	217
5.5.3	高频信道建模、射频器件及射频指标	222
5.5.4	高频频段的应用场景	226
5.6	白频谱的利用	229
5.6.1	白频谱的定义	229
5.6.2	广电频谱	230
5.6.3	雷达频谱	231
5.7	全频谱接入	231
5.7.1	全频谱接入的研究现状	231
5.7.2	全频谱接入应用场景	232
5.7.3	全频谱接入关键技术	232
5.8	认知无线电	234
5.8.1	认知无线电的概念	234
5.8.2	认知无线网络的关键技术	235
5.8.3	认知无线网络特点及应用	241
第 6 章	5G 支撑技术	244
6.1	移动云技术	244
6.1.1	云计算的概念	244
6.1.2	移动云的概念	246
6.1.3	移动云的网络架构	247
6.1.4	移动云的资源	248
6.1.5	移动云使能技术	250
6.1.6	移动云的关键技术	257
6.1.7	移动云计算的安全	260
6.2	双连接技术	261
6.2.1	双连接技术简介	261
6.2.2	LTE 双连接架构	262
6.2.3	双连接技术优势和面临的挑战	265
6.2.4	5G 建设中的双连接	265
6.3	SON 技术	268
6.3.1	自组织网络的发展与演进	268
6.3.2	SON 的基本功能	269

6.3.3	LTE SON 的管理系统架构	273
6.3.4	5G 中的 SON	277
6.4	M2M 技术	282
6.4.1	M2M/MTC 标准概述	282
6.4.2	关键技术	283
6.5	D2D 技术	284
6.5.1	D2D 技术概述	284
6.5.2	D2D 通信的原理及场景	285
6.5.3	D2D 的技术特点	289
6.5.4	D2D 的应用	290
6.5.5	关键技术	292
6.6	网络切片技术	293
6.6.1	网络切片的概念及特征	293
6.6.2	网络切片的总体架构	294
6.6.3	网络切片的功能及分类	296
6.6.4	基于虚拟化技术的 5G 网络切片实现方案 1	298
6.6.5	基于虚拟化技术的 5G 网络切片实现方案 2	301
6.6.6	虚拟化技术下的网络切片的资源管理	304
6.7	边缘计算技术	305
6.7.1	边缘计算技术概述	305
6.7.2	移动边缘计算系统平台架构	306
6.7.3	MEC 的关键技术	311
6.7.4	MEC 典型应用场景	313
6.7.5	MEC 应用于本地分流	314
6.7.6	MEC 面临的问题与挑战	318
6.7.7	MEC 从 4G 到 5G 的平滑过渡部署建议	319
6.8	CDN	321
6.8.1	CDN 概述	321
6.8.2	CDN 的网络架构	322
6.8.3	CDN 网络关键技术	324
6.8.4	CDN 在 5G 的应用	327
6.8.5	虚拟 CDN	329
第 7 章	5G 网络的安全	334
7.1	移动通信网络安全概述	334
7.2	5G 网络安全的实现	334
7.2.1	5G 网络安全面临的挑战	334
7.2.2	5G 网络安全的目标	338
7.2.3	5G 网络的安全架构	338
7.2.4	5G 网络新的安全能力	341
7.2.5	5G 网络安全的关键技术	346

第 8 章 5G 网络规划部署初探	348
8.1 5G 网络规划面临的挑战	348
8.1.1 5G 应用场景	348
8.1.2 5G 空中接口	350
8.1.3 5G 网络规划面临的挑战	352
8.2 网络规划设计的考虑	353
8.2.1 无线网络规划的思考	353
8.2.2 网络建设方式	353
8.3 小基站设备的应用	356
8.3.1 小基站的概念与优势	356
8.3.2 小基站的分类	357
8.3.3 小基站应用场景	360
8.3.4 小基站解决的问题	360
8.3.5 小基站设备的架构及特点	362
8.3.6 小基站的部署	363
8.4 5G 绿色超密集无线异构网络	369
8.4.1 5G 时代能量损耗面临的挑战	369
8.4.2 国内外绿色通信发展战略和理念	371
8.4.3 5G 网络绿色通信的关键技术	372
8.5 5G 室内覆盖	376
8.5.1 5G 室内覆盖的特点及面临的挑战	376
8.5.2 5G 室内密集立体覆盖的计算通信	377
8.6 5G 传输网络	379
8.6.1 运营商传输现状	379
8.6.2 5G 时代传输网络建设的思考	381
参考文献	383

第 1 章 移动通信技术的发展及 5G 标准

1.1 移动通信的发展历史

1.1.1 移动通信的发展

通信是衡量一个国家或地区经济文化发展水平的重要标志，对推动社会进步和人类文明的发展有着重大的影响。随着社会经济的发展，人类交往活动范围的不断扩大，人们迫切需要交往中的各种信息。这就需要移动通信系统来提供这种服务。移动通信系统由于综合利用了有线和无线的传输方式，解决了人们在活动中与固定终端或其他移动载体上的对象进行通信联系的要求，使其成为 20 世纪 70 年代以来发展最快的通信领域之一。目前，我国的移动通信网络无论从网络规模还是用户总数上来说，都已跃居世界首位。

无线通信的发展历史可以上溯到 19 世纪 80 年代赫兹（Heinrich Hertz）所做的基础性实验，以及马可尼（Guglielmo Marconi）所做的研究工作。移动通信的始祖马可尼首先证明了在海上轮船之间进行通信的可行性。自从 1897 年马可尼在实验室证明了运动中无线通信的可应用性以来，人类就开始了移动通信的兴趣和追求。也正是 20 世纪 20 年代末，奈奎斯特（Harry Nyquist）提出了著名的采样定理，成为人类迈向数字化时代的金钥匙。

移动通信是指通信双方或至少有一方处于运动中，在运动中进行信息交换的通信方式。移动通信的主要应用系统有无绳电话、无线寻呼、陆地蜂窝移动通信、卫星移动通信、海事卫星移动通信等。陆地蜂窝移动通信是当今移动通信发展的主流和热点。

众所周知，个人通信（Personal Communications）是人类通信的最高目标，是用各种可能的网络技术实现任何人（Whoever）在任何时间（Whenever）、任何地点（Wherever）与任何人（Whoever）进行任何种类（Whatever）的信息交换。个人通信的主要特点是每一个用户有一个属于个人的唯一通信号码。它取代了以设备为基础的传统通信号码。电信网能够随时跟踪用户并为其服务，不论被呼叫的用户在车上、船上、飞机上，还是在办公室里、家里、公园里，电信网都能根据呼叫人所拨的个人号码找到用户，然后接通电路提供通信，用户通信完全不受地理位置的限制。实现个人通信，必须要把以各种技术为基础的通信网组合到一起，把移动通信网和固定通信网结合在一起，把有线接入和无线接入结合到一起，才能综合成一个容量极大、无处不通的个人通信网，被称为“无缝网”，形成所谓万能个人通信网（UPT）。这是 21 世纪电信技术发展的重要目标之一。

移动通信是实现个人通信的必由之路。没有移动通信，个人通信的愿望是无法实现的。

1.1.2 第一代（1G）移动通信系统

D. H. Ring 在 1947 年提出蜂窝通信的概念，在 20 世纪 60 年代对此进行了系统的实验。

20 世纪 60 年代末、70 年代初开始出现了第一个蜂窝 (Cellular) 系统。蜂窝的意思是将一个大区域划分为几个小区 (Cell)，相邻的蜂窝区域使用不同的频率进行传输，以免产生相互干扰。

大规模集成电路技术和计算机技术的迅猛发展，解决了困扰移动通信的终端小型化和系统设计等关键问题，移动通信系统进入了蓬勃发展阶段。随着用户数量的急剧增加，传统的大区制移动通信系统很快就达到饱和状态，无法满足服务要求。针对这种情况，贝尔实验室提出了小区制的蜂窝式移动通信系统的解决方案，在 1978 年开发了 AMPS (Advance Mobile Phone Service) 系统。这是第一个真正意义上的具有随时随地通信的大容量的蜂窝移动通信系统。它结合频率复用技术，可以在整个服务覆盖区域内实现自动接入公用电话网络，与以前的系统相比，具有更大的容量和更好的话音质量。因此，蜂窝化的系统设计方案解决了公用移动通信系统的大容量要求和频谱资源受限的矛盾。欧洲也推出来了可向用户提供商业服务的通信系统 TACS (Total Access Communication System)。其他通信系统还有法国的 450 系统和北欧国家的 NMT-450 (Nordic Mobile Telephone-450) 系统。这些系统都是双工的 FDMA 模拟制式系统，被称为第一代蜂窝移动通信系统。这些系统提供相当好的质量和容量。在某些地区，它们取得了非常大的成功。

第一代系统所提供的基本业务是话音业务 (Voice Communication)。在这项业务上，上面列出的各个系统都是十分成功的。其中的一些系统直到目前还仍在为用户提供第一代通信服务。

1.1.3 第二代 (2G) 移动通信系统

随着移动通信市场的迅速发展，对移动通信技术提出了更高的要求。由于模拟系统本身的缺陷，如频谱效率低、网络容量有限、保密性差、体制混杂、不能国际漫游、不能提供 ISDN 业务、设备成本高、手机体积大等，使模拟系统无法满足人们的需求。为此，在 20 世纪 90 年代初，开发出了基于数字通信的移动通信系统，即数字蜂窝移动通信系统——第二代移动通信系统。

数字技术最吸引人的优点之一是抗干扰能力和潜在的大容量。也就是说，它可以在环境恶劣和需求量更大的地区使用。随着数字信号处理和数字通信技术的发展，开始出现一些新的无线应用，如移动计算、移动传真、电子邮件、金融管理、移动商务等。在一定的带宽内，数字系统良好的抗干扰能力使第二代蜂窝系统具有比第一代蜂窝移动通信系统更大的通信容量，更高的服务质量。采用数字技术的系统具有下述特点。

(1) 系统灵活性：由于各种功能模块，特别是数字信号处理 (Digital Signal Processing, DSP)、现场可编程门阵列 (Field Programmable Gate Array, FPGA) 等可编程数字单元的出现和成熟，使系统的编程控制能力和增加新功能的能力与模拟系统相比大大提高。

(2) 高效的数字调制技术和低功耗系统：一方面，利用数字调制技术的系统，频谱利用率和灵活性等都超过了同类的模拟系统；另一方面，数字调制技术的采用，使系统的功率消耗降低，从而延长了电池的使用寿命。

(3) 系统的有效容量：在这方面，模拟系统是无效的，比如在配置给 AMPS 的 333 个信道中，大约有 21 个用于呼叫接通。这 21 个信道降低了有效带宽系统的通信能力，通过数字技术，用于同步、导频、传输控制、质量控制、路由等的附加比特位大大降低。

(4) 信源和信道编码技术：相比于有线通信，无线通信的频率资源是极其有限的。新一代的信源和信道编码技术不仅实现了数字语音和数据通信的综合，降低了单用户的带宽需要，使多个用户的语音信号复用到同一个载波上，并且改善了移动环境中信号传送的可靠性。如速率为 13.2kbit/s 的、应用于 GSM 系统的 RPE-LTP (Regular Pulse Excited Long Term Prediction) 语音压缩技术，速率为 8kbit/s 应用于 IS-54 系统的 VSELP (Vector Sum Excited Linear Predictions) 语音压缩技术，以及目前受到广泛重视的 Turbo 信道编码技术等，不仅提高了频谱效率，也增强了系统的抗干扰能力。

(5) 抗干扰能力：数字系统不仅有更好的抗同信道干扰 (CCI) 和邻信道干扰 (ACI) 能力，而且有更好的对抗外来干扰能力。同时，采用数字技术的系统可利用比特交织、信道编码、编码调制等技术进一步提高系统的可靠性和抗干扰能力。这也是第二代、第三代和第四代蜂窝移动通信系统采用数字技术的重要原因之一。由于数字系统有可能在很高 CCI 和 ACI 的环境中工作，设计者可利用这个特征降低蜂窝尺寸，减少信道组的复用距离，减少复用组的数量，大大提高系统的通信容量。

(6) 灵活的带宽配置：由于模拟系统不允许用户改变带宽以满足对通信的特殊要求，因而对于一个预先固定带宽的通信系统，频谱的利用率可能不是最有效的。从原理上讲，数字系统有能力比较容易灵活地配置带宽，从而提高利用率。灵活的带宽配置虽未在第二代系统中得以充分体现，但它是采用数字技术的又一大优点。

(7) 新的服务项目：数字系统可以实现模拟系统不能实现的新服务项目，比如鉴权、短消息、WWW 浏览、数据服务、语音和数据的保密编码，以及增加综合业务 (ISDN)、宽带综合业务 (B-ISDN) 等新业务 (这些应用在第二代移动通信系统中未能全部直接实现)。

(8) 接入和切换的能力和效率：对于固定数量的频谱资源，蜂窝系统通信容量的增加意味着相应蜂窝尺寸的减小，同时意味着更为频繁的切换和信令活动。基站将处理更多的接入请求和漫游注册。

由于数字系统具有上述优点，所以第二代移动通信系统采用数字方式，被称为第二代数字移动通信系统。

在第一代移动通信系统中，欧洲国家使用的制式各不相同，技术上也不占有很大优势，并且不能互相漫游。因此在开发第二代数字蜂窝通信系统时，欧洲联合起来研制泛欧洲的移动通信标准，提高竞争优势。为了建立一个全欧统一的数字蜂窝移动通信系统，1982 年，欧洲有关主管部门会议 (CEPT) 设立了移动通信特别小组 (Group Special Mobile, GSM) 协调推动第二代数字蜂窝通信系统的研发，在 1988 年提出主要建议和标准，1991 年 7 月双工 TDMA 制式的 GSM 数字蜂窝通信系统开始投入商用。它拥有更大的容量和良好的服务质量。美国也制定了基于 TDMA 的 DAMPS、IS-54、IS-136 标准的数字网络。

美国的 Qualcomm 公司提出一种采用码分多址 (CDMA) 方式的数字蜂窝通信系统的技术方案，成为 IS-95 标准，在技术上有许多独特之处和优势。

日本也开发了个人数字系统 (PDC) 和个人手持电话系统 (PHS) 技术。第二代移动通信系统使用数字技术，提供话音业务、低比特率数据业务以及其他补充业务。GSM 是当今世界范围内普及最广的移动无线标准。

1993 年，我国第一个全数字移动电话系统 (GSM) 建成开通。现在，我国主要使用的移动通信网络有 GSM 和 CDMA 两种系统。

在市场方面，主要有三种技术标准获得较为广泛的应用，即主要应用于欧洲和世界各地的 GSM、北美的 IS-136 和日本的 JDC (Japanese Digital Cellular) 或 PDC (Pacific Digital Cellular)。第二代无绳电话标准有 CT-2 和 DECT (Digital European Cordless Telecommunications)。

1.1.4 第三代 (3G) 移动通信系统

由于第二代数字移动通信系统在很多方面仍然没有实现最初的目标，比如统一的全球标准；同时也由于技术的发展和人们对于系统传输能力的要求愈来愈高，几千比特每秒的数据传输能力已经不能满足某些用户对于高速率数据传输的需要，一些新的技术，如 IP 等不能有效地实现。这些需求是高速率移动通信系统发展的市场动力。在此情况下，具有 9 ~ 150kbit/s 传输能力的通用分组无线业务 (General Packet Radio Services, GPRS) 系统和其他系统开始出现，并成为向第三代移动通信系统过渡的中间技术。

第二代系统没有达到的主要目标包括以下几个方面：

(1) 没有形成全球统一的标准系统。在第二代移动通信系统发展的过程中，欧洲建立了以 TDMA 为基础的 GSM 系统；日本建立了以 TDMA 为基础的 JDC 系统；美国建立了以模拟 FDMA 和数字 TDMA 为基础的 IS-136 混合系统，以及以 N-CDMA 为基础的 IS-95 系统。

(2) 业务单一。第二代移动通信系统主要是语音服务，只能传送简短的消息。

(3) 无法实现全球漫游。由于标准分散和经济保护，全球统一和全球漫游无法实现，因此无法通过规模效应降低系统的运营成本。

(4) 通信容量不足。在 900MHz 频段，包括后来扩充到 1 800MHz 频段以后，系统的通信容量依然不能满足市场的需要。随着用户数量的上升，网络未接通率和通话中断率开始增加。

第二代移动通信系统是主要针对传统的话音和低速率数据业务的系统。而“信息社会”所需的图像、话音、数据相结合的多媒体业务和高速率数据业务的业务量超过传统话音业务的业务量。

第三代移动通信系统需要有更大的系统容量和更灵活的高速率、多速率数据传输的能力，除了话音和数据传输外，还能传送高达 2Mbit/s 的高质量活动图像，真正实现“任何人，在任何地点、任何时间与任何人”都能便利通信这个目标。

在第三代移动通信系统中，CDMA 是主流的多址接入技术。CDMA 通信系统使用扩频通信技术。扩频通信技术在军用通信中已有半个多世纪的历史，主要用于两个目的：对抗外来强干扰和保密。因此，CDMA 通信技术具有许多技术上的优点：抗多径衰减、软容量、软切换。其系统容量比 GSM 系统大，采用话音激活、分集接收和智能天线技术可以进一步提高系统容量。

由于 CDMA 通信技术具有上述技术优势，因此第三代移动通信系统主要采用宽带 CDMA 技术。现在第三代移动通信系统的无线传输技术主要有三种：欧洲和日本提出的 WCDMA 技术、北美提出的基于 IS-95 CDMA 系统的 cdma2000 技术，以及我国提出的具有自己知识产权的 TD-SCDMA 系统。后来 WiMAX 也成为 3G 标准。

IMT-2000 是自 20 世纪 90 年代初期数字通信系统出现以来，移动通信取得的最令人鼓舞的发展。它也代表了在 20 世纪过去的 10 年，ITU 所取得的最重要的成就之一。

第三代移动通信系统的重要技术包括地址码的选择、功率控制技术、软切换技术、

RAKE 接收技术、高效的信道编译码技术、分集技术、QCELP 编码和话音激活技术、多速率自适应检测技术、多用户检测和干扰消除技术、软件无线电技术和智能天线技术。

1.1.5 第四代 LTE 移动通信系统

第四代移动通信技术的概念可称为宽带接入和分布网络，具有非对称的超过 2Mbit/s 的数据传输能力。它包括宽带无线固定接入、宽带无线局域网、移动宽带系统和交互式广播网络。第四代移动通信标准比第三代标准拥有更多的功能。第四代移动通信可以在不同的固定、无线平台和跨越不同频带的网络中提供无线服务，可以在任何地方用宽带接入互联网（包括卫星通信和平流层通信），能够提供定位定时、数据采集和远程控制等综合功能。此外，第四代移动通信系统是集成多功能的宽带移动通信系统，是宽带接入的 IP 系统。4G 能够以 100Mbit/s 以上的速率下载，能够满足几乎所有用户对无线服务的要求。通信制式的演进如图 1.1 所示。

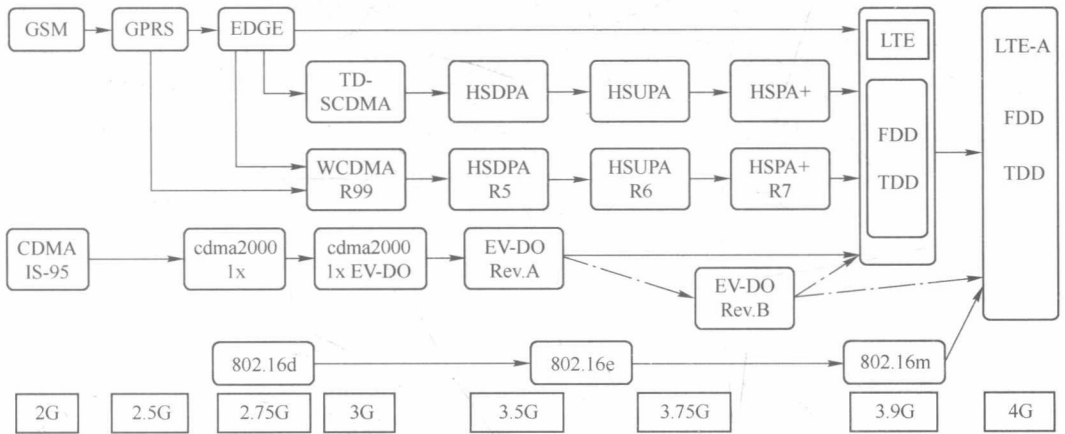


图 1.1 通信制式的演进

LTE (Long Term Evolution, 长期演进) 是由 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project, 第三代合作伙伴计划) 组织制定的 UMTS (Universal Mobile Telecommunications System, 通用移动通信系统) 技术标准的长期演进, 于 2004 年 12 月在 3GPP 多伦多 TSG RAN#26 会议上正式立项并启动。LTE 系统引入 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, 正交频分复用) 和 MIMO (Multiple-Input Multiple-Output, 多输入多输出) 等关键技术, 显著增加了频谱效率和数据传输速率 (20MHz 带宽, 2×2 MIMO, 在 64QAM 情况下, 理论下行最大传输速率为 201Mbit/s, 除去信令开销后, 大概为 140Mbit/s, 但根据实际组网情况以及终端能力限制, 一般认为下行峰值速率为 100Mbit/s, 上行行为 50Mbit/s), 并支持多种带宽分配 1.4MHz、3MHz、5MHz、10MHz、15MHz 和 20MHz 等, 支持全球主流 2G/3G 频段和一些新增频段, 因而频谱分配更加灵活, 系统容量和覆盖也显著提升。LTE 系统网络架构更加扁平化、简单化, 减少了网络节点和系统复杂度, 从而减小了系统时延, 也降低了网络部署和维护成本。LTE 系统支持与其他 3GPP 系统互操作。LTE 系统有两种制式: LTE FDD 和 TD-LTE, 即频分双工 LTE 系统和时分双工 LTE 系统。两者技术的主要区别在于空中接口的物理层面上 (如帧结构、时分设计、同步等)。LTE FDD 系统空口上下行传输采用一对对称的频段

接收和发送数据；TD-LTE 系统上下行则使用相同的频段在不同的时隙上传输。相对于 FDD 双工方式，TDD 有着较高的频谱利用率。

LTE 的演进可分为 LTE、LTE-A、LTE-A Pro 三个阶段，分别对应 3GPP 标准的 R8 ~ R14 版本，如图 1.2 所示。LTE 阶段实际上并未被 3GPP 认可为国际电信联盟所描述的下一代无线通信标准 IMT-Advanced，在严格意义上还未达到 4G 的标准，准确来说，应该称为 3.9G，只有升级版的 LTE-Advanced (LTE-A) 才满足国际电信联盟对 4G 的要求，是真正的 4G 阶段，也是后 4G 网络的演进阶段。

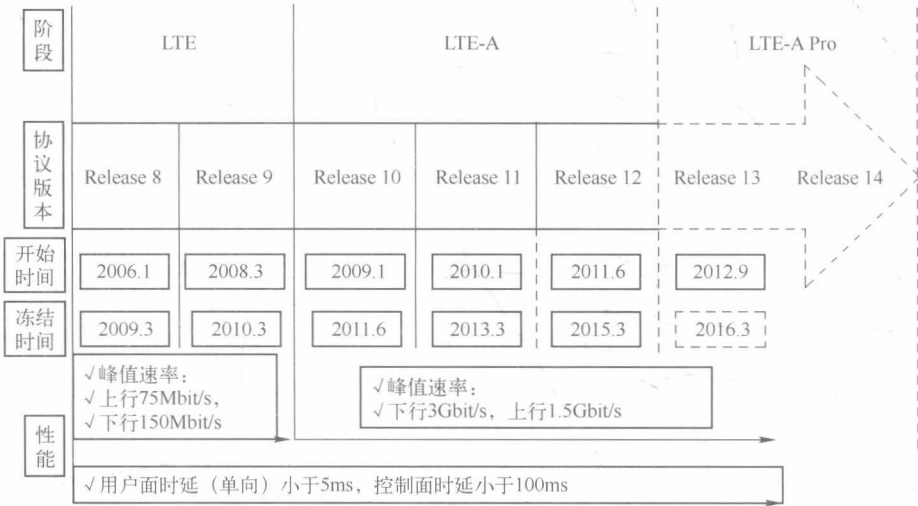


图 1.2 LTE 的版本演进

R10 是 LTE-A 的首个版本，于 2011 年 3 月完成标准化。R10 最大支持 100MHz 的带宽， 8×8 天线配置，峰值吞吐量提高到 1Gbit/s。R10 引入了载波聚合、中继 (Relay)、异构网干扰消除等新技术，增强了多天线技术，相比 LTE 进一步提升了系统性能。

R11 增强了载波聚合技术，采用协作多点传输 (CoMP) 技术，并设计新的控制信道 ePDCCH。其中，CoMP 通过同小区不同扇区间协调调度或多个扇区协同传输提高系统的吞吐量，尤其对提升小区边缘用户的吞吐量效果明显；ePDCCH 实现了更高的多天线传输增益，并降低了异构网络中控制信道间的干扰。R11 通过增强载波聚合技术，支持时隙配置不同的多个 TDD 载波间的聚合。

R12 被称为 Small Cell，采用的关键技术包括 256QAM、小区快速开关和小区发现、基于空中接口的基站间同步增强、宏微融合的双连接技术、业务自适应的 TDD 动态时隙配置、D2D 等。

R13 主要关注垂直赋形和全维 MIMO 传输技术、LTE 许可频谱辅助接入 (LAA) 以及物联网优化等内容。

CRAN 是 4G 网络中的热点技术。其主要原理是将传统的 BBU 信号处理资源转化为可动态共享的信号处理资源池，在更大的范围内实现蜂窝网络小区处理能力的即取即用和虚拟化管理，从而提高网络协同能力，大幅降低网络设备成本，提高频谱利用率和网络容量。

当前，CRAN 还面临一些技术挑战，包括基带池集中处理性能、集中基带池与射频远端的信号传输问题、通用处理器性能功耗比、软基带处理时延等问题。