



4G LTE 移动通信技术系列教程

# 移动通信技术

MOBILE COMMUNICATION  
TECHNOLOGY

宋铁成 宋晓勤 © 主编  
朱彤 赵航 王春峰 © 副主编



中国工信出版集团



人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS



—— 4G LTE 移动通信技术系列教程 ——

# 移动通信技术

MOBILE COMMUNICATION  
TECHNOLOGY

宋铁成 宋晓勤 © 主编  
朱彤 赵航 王春峰 © 副主编



人民邮电出版社  
北京

## 图书在版编目 (C I P) 数据

移动通信技术 / 宋铁成, 宋晓勤主编. — 北京 :  
人民邮电出版社, 2018. 2 (2018. 6重印)  
4G LTE移动通信技术系列教程  
ISBN 978-7-115-47464-3

I. ①移… II. ①宋… ②宋… III. ①移动通信—通  
信技术 IV. ①TN929. 5

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第303818号

## 内 容 提 要

本书较为全面地介绍了 LTE 通信网络架构、信令流程及产品操作维护等内容。全书共 10 章, 讲述了无线传播理论、LTE 关键技术、LTE 空中接口、LTE 信令流程、EPC 网络原理、LTE 基站原理及运行维护、LTE 网络规划与优化、LTE 仿真系统和 5G 技术演进等内容, 全书通过植入二维码的方式, 穿插了很多在线视频, 帮助读者巩固所学的内容。

本书可以作为高校通信相关专业的教材, 也可以作为华为 HCNA 认证培训班的教材, 还可以作为无线网络维护人员、移动通信设备销售技术支持的专业人员和广大移动通信爱好者的自学参考书。

- 
- ◆ 主 编 宋铁成 宋晓勤
  - 副 主 编 朱 彤 赵 航 王春峰
  - 责任编辑 左仲海
  - 责任印制 马振武
  
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
  - 邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
  - 网址 <http://www.ptpress.com.cn>
  - 北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
  
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16
  - 印张: 15 2018 年 2 月第 1 版
  - 字数: 429 千字 2018 年 6 月北京第 2 次印刷
- 

定价: 49.80 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京东工商广登字 20170147 号

# “4G LTE移动通信技术系列教程”编委会

主任：宋铁成

副主任：朱明程 赵新胜 李世银 尉彦清 倪建军

周建勋 张立科

委员（按姓氏笔画排序）：

王春峰 王霄峻 卞璐 方朝曦 朱彤

李良 李建蕊 李晓滨 李海涛 杨福猛

杨德相 应祥岳 宋晓勤 张轲 陈启彪

陈国华 陈美娟 赵航 闻银 郭俐

当前，在云计算、大数据、物联网、移动互联网、人工智能等新领域出现人才奇缺状况。习近平总书记指出：“我们对高等教育的需要比以往任何时候都更加迫切，对科学知识和卓越人才的渴求比以往任何时候都更加强烈”。国民经济与社会信息化和现代服务业的迅猛发展，对电子信息领域的人才培养提出了更高的要求，而电子信息类专业又是许多高等学校的传统专业、优势专业和主干专业，也是近年来发展最快、在校人数最多的专业之一。

为此，高校必须深化机制体制改革，推进人才培养模式创新，进一步深化产教融合、校企合作、协同育人，促进人才培养与产业需求紧密衔接，有效支撑我国产业结构深度调整、新旧动能接续转换。机制体制改革关键之一就是深入推进产学合作、产教融合、科教协同，通过校企联合制定培养目标和培养方案、共同建设课程与开发教程、共建实验室和实训实习基地、合作培养培训师资和合作开展研究等，鼓励行业企业参与到教育教学各个环节中，促进人才培养与产业需求紧密结合。要按照工程逻辑构建模块化课程，梳理课程知识点，开展学习成果导向的课程体系重构，建立工作能力和课程体系之间的对应关系，构建遵循工程逻辑和教育规律的课程体系。

由高校教学一线的教育工作者与华为技术有限公司、浙江华为通信技术有限公司的技术专家联合成立编委会，共同编写“4G LTE 移动通信技术系列教程”，将移动通信系统的基础理论与华为技术有限公司相关系列产品深度融合，构建完善的移动通信理论知识和工程技术体系，搭建基础理论到工程实践的知识桥梁，目标是培养具备扎实理论基础，从事工程实践的优秀应用型人才。

“4G LTE 移动通信技术系列教程”包括《移动通信技术》《网络规划与优化技术》《路由与交换技术》和《传输网络技术》四本教材，基本涵盖了通信系统的交换、传输、接入和通信等核心内容。系列教程有效融合华为技能认证课程体系，将理论教学与工程实践融为一体。教材配套华为 ICT 学堂在线视频，置入华为工程现场实际案例，读者既可以学习到前沿知识，又可以掌握相关岗位所需的能力。

我很高兴看到这套教材的出版，希望读者在学习后，能够构建起完备的移动通信知识体系，掌握相关的实用工程技能，成为电子信息领域的优秀应用型人才。

教育部电子信息与电气工程专业认证委员会学术委员会副主任委员  
北京交通大学



2017年12月

国内 4G 网络的全面覆盖,标志着高速移动通信时代的来临。相对于 3G 网络,4G 能够实现更高的数据通信速率、更低的时延以及更大的系统容量。4G 网络在网络结构和关键技术等方面也与 3G 网络有着较大的区别。对于移动通信工程的行业从业者来说,LTE 是必须要掌握的移动通信技术。

移动通信运营商目前需要大量 LTE 网络建设和维护人员。本书基于作者多年的现网工作经验,从现网工程师实际需要的角度出发,以理论知识与实际应用相结合的方式,介绍 LTE 领域的专业人才需要掌握的知识。

本书以现网工程建设和维护的各个环节为主线,介绍 LTE 网络建设和维护中每个环节需要掌握的理论知识以及实际操作的专业技能。无线传播理论、LTE 关键技术和 LTE 空中接口章节,全面介绍 LTE 无线部分的理论知识。LTE 信令流程章节主要介绍 LTE 协议基础,附着、寻呼、位置区更新以及切换等信令流程。EPC 网络原理章节主要介绍与 LTE 对接的核心网网络结构、网络主要接口和协议以及 EPC 的主要工作原理。LTE 基站原理及运行维护章节主要介绍 LTE 站点开通阶段用到的基站硬件知识和 LTE 基站数据配置,还有维护阶段的 LTE 基站操作维护和 LTE 基站故障处理等方面的知识。LTE 网络规划与优化章节主要介绍建网前的规划工作和设备入网使用后的优化工作。LTE 仿真系统章节介绍利用软件模拟实际设备的操作维护。5G 技术演进章节主要介绍 5G 性能需求、频谱、新空口和无线接入虚拟化等下一代移动通信技术。

本书中穿插了很多在线视频二维码,读者可以通过扫描二维码,在线观看相关技术视频,帮助消化吸收。通过本书的学习,读者能够掌握 LTE 产品工程师需要具备的各项技能。

本书的参考学时为 46~64 学时,建议采用理论实践一体化教学模式,各章的参考学时见下面的学时分配表。

学时分配表

章 节	课程内容	学 时
第 1 章	绪论	2~3
第 2 章	无线传播理论	2~4
第 3 章	LTE 关键技术	4~6
第 4 章	LTE 空中接口	4~6
第 5 章	LTE 信令流程	4~6
第 6 章	EPC 网络原理	6~8
第 7 章	LTE 基站原理及运行维护	12~14
第 8 章	LTE 网络规划与优化	4~6
第 9 章	LTE 仿真系统	4~6
第 10 章	5G 技术演进	2~3
	课程考评	2
	课时总计	46~64

本书由宋铁成、宋晓勤任主编，朱彤、赵航、王春峰任副主编。由于编者水平和经验有限，书中难免有不妥和疏漏之处，恳请读者批评指正。读者可登录人民邮电出版社教育社区（[www.ryjiaoyu.com](http://www.ryjiaoyu.com)）下载本书相关资源。

编者

2017年10月

<b>第 1 章 绪论</b> .....	<b>1</b>		
1.1 LTE 移动通信网络架构.....	2		
1.2 移动通信网络演进.....	3		
1.2.1 第一代移动通信系统.....	3		
1.2.2 第二代移动通信系统.....	3		
1.2.3 第三代移动通信系统.....	4		
1.2.4 第四代移动通信系统.....	5		
1.2.5 第五代移动通信系统.....	5		
1.3 双工技术和多址技术.....	5		
1.3.1 双工技术.....	6		
1.3.2 多址技术.....	6		
1.4 本书内容与安排.....	8		
<b>第 2 章 无线传播理论</b> .....	<b>10</b>		
2.1 无线电波传播特性.....	11		
2.1.1 多径效应.....	11		
2.1.2 多普勒效应.....	12		
2.2 无线电波传播模型.....	13		
2.2.1 自由空间传播.....	13		
2.2.2 Okumura-Hata 模型.....	14		
2.2.3 COST231-Hata 模型.....	14		
2.2.4 Keenan-Motley 模型.....	15		
2.2.5 “通用”传播模型.....	15		
2.3 抗衰落技术.....	16		
2.3.1 分集技术.....	17		
2.3.2 均衡技术.....	18		
课后练习.....	19		
<b>第 3 章 LTE 关键技术</b> .....	<b>20</b>		
3.1 正交频分复用.....	21		
3.1.1 OFDM 技术原理.....	21		
3.1.2 OFDM 的技术特点.....	22		
3.2 多入多出.....	25		
3.2.1 多天线技术产生背景.....	26		
3.2.2 MIMO 增益.....	26		
3.2.3 MIMO 技术分类.....	27		
3.2.4 多天线接收.....	28		
3.2.5 多天线发射.....	29		
3.3 高阶调制和自适应调制编码.....	30		
3.3.1 高阶调制.....	30		
3.3.2 自适应调制编码.....	31		
3.4 载波聚合.....	32		
3.4.1 载波聚合的定义.....	32		
3.4.2 CA 场景介绍.....	33		
3.4.3 载波管理.....	34		
课后练习.....	35		
<b>第 4 章 LTE 空中接口</b> .....	<b>36</b>		
4.1 LTE 空中接口协议.....	37		
4.2 LTE 帧结构.....	40		
4.2.1 FDD 无线帧结构.....	40		
4.2.2 TDD 无线帧结构.....	40		
4.2.3 物理资源的相关概念.....	41		
4.3 LTE 物理信道.....	42		
4.3.1 上行物理信道.....	42		
4.3.2 下行物理信道.....	44		
4.4 LTE 参考信号.....	49		
4.4.1 上行参考信号.....	49		
4.4.2 下行参考信号.....	51		
课后练习.....	52		
<b>第 5 章 LTE 信令流程</b> .....	<b>53</b>		
5.1 LTE 协议基础.....	54		
5.1.1 LTE 协议栈概述.....	54		
5.1.2 LTE 网络用户标识.....	55		
5.2 LTE 信令流程.....	57		
5.2.1 附着流程.....	57		
5.2.2 寻呼流程.....	66		
5.2.3 位置更新流程.....	67		
5.2.4 切换流程.....	70		



5.2.5 去附着流程 .....	75	8.1.2 LTE 网络优化流程 .....	182
课后练习 .....	75	8.2 LTE 网络规划 .....	183
<b>第 6 章 EPC 网络原理 .....</b>	<b>76</b>	8.2.1 覆盖规划 .....	183
6.1 EPC 网络架构 .....	77	8.2.2 容量规划 .....	188
6.1.1 EPS 网络架构 .....	77	8.2.3 传输规划 .....	190
6.1.2 EPS 网络功能 .....	77	8.3 LTE 网络优化 .....	192
6.1.3 GUL 网络架构 .....	78	8.3.1 入网优化 .....	192
6.1.4 EPC 漫游结构 .....	79	8.3.2 日常优化 .....	195
6.1.5 EPC 主要逻辑网元功能 .....	80	课后练习 .....	200
6.1.6 EPS 网络接口 .....	82	<b>第 9 章 LTE 仿真系统 .....</b>	<b>201</b>
6.2 EPC 网络工作原理 .....	86	9.1 LTE 仿真系统组成 .....	202
6.2.1 典型业务流 .....	86	9.1.1 计算机配置要求 .....	202
6.2.2 EPC 网络标识 .....	87	9.1.2 LTEStar 仿真软件的安装 .....	202
6.2.3 移动性管理流程 .....	88	9.1.3 授权 License .....	204
6.2.4 会话管理流程 .....	97	9.2 LTE 仿真界面 .....	204
课后练习 .....	103	9.3 LTE 仿真操作 .....	207
<b>第 7 章 LTE 基站原理及</b>		9.3.1 工程操作 .....	207
<b>    运行维护 .....</b>	<b>104</b>	9.3.2 拓扑操作 .....	210
7.1 LTE 基站系统 .....	105	9.3.3 覆盖操作 .....	215
7.1.1 基站硬件结构 .....	105	9.3.4 UE 操作 .....	216
7.1.2 基站应用场景及典型配置 .....	120	9.3.5 切换操作 .....	219
7.2 LTE 基站数据配置 .....	124	课后练习 .....	221
7.2.1 全局设备配置 .....	124	<b>第 10 章 5G 技术演进 .....</b>	<b>222</b>
7.2.2 传输配置 .....	125	10.1 5G 性能需求 .....	223
7.2.3 无线配置 .....	127	10.1.1 什么是 5G .....	223
7.3 LTE 基站操作维护 .....	128	10.1.2 5G 性能需求 .....	223
7.3.1 操作维护系统概述 .....	128	10.2 5G 频谱 .....	224
7.3.2 日常操作维护任务 .....	131	10.3 5G 新空口 .....	225
7.4 LTE 基站故障处理 .....	146	10.3.1 Filtered-OFDM .....	225
7.4.1 传输故障分析 .....	147	10.3.2 SCMA .....	226
7.4.2 链路故障分析 .....	155	10.3.3 Polar Codes .....	227
7.4.3 维护故障分析 .....	165	10.3.4 大规模 MIMO .....	229
7.4.4 天馈故障分析 .....	173	10.3.5 全双工 .....	230
课后练习 .....	179	10.4 无线接入虚拟化 .....	230
<b>第 8 章 LTE 网络规划与优化 ...</b>	<b>181</b>	10.4.1 消除小区边界 .....	231
8.1 LTE 网络规划与优化的		10.4.2 以终端为中心的	
基本原理 .....	182	接入点优化 .....	231
8.1.1 LTE 网络规划流程 .....	182	10.4.3 基于网络辅助的终端协作 ...	231
		课后练习 .....	231

## 第 1 章 绪论

电信技术及业务移动化、宽带化和 IP 化的趋势日益明显,移动通信技术正处于网络技术演进的关键时期。长期演进 (Long-Term Evolution, LTE) / 系统架构演进 (System Architecture Evolution, SAE) 作为下一代移动通信的统一标准,具有高频谱效率、高峰值速率、高移动性和网络架构扁平化等多种优势。

### 课堂学习目标

- 掌握移动通信网络架构
- 了解移动通信网络演进过程
- 掌握双工技术和多址技术



## 1.1 LTE 移动通信网络架构

在过去的一段时间里,世界通信行业发生了巨大的变化,移动电话逐步代替固定电话,从单一的语音通话为主转为以数据业务、增值业务为主。移动通信网络也从 TDM、ATM 转为全 IP,网络架构也变得更加扁平化。LTE 移动通信网络架构如图 1-1 所示,主要可分成以下几部分。

(1) LTE 无线接入网部分,亦称演进型通用陆地无线接入网(Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network, E-UTRAN),该部分只包含一种设备:演进型 LTE 基站(Evolved Node B, eNodeB)。

(2) 移动承载网部分,实现无线接入网与核心网的对接,以及跨省漫游通信。移动承载网主要包括分组传送网(Packet Transport Network, PTN)、光传送网(Optical Transport Network, OTN)、用户边缘(Customer Edge, CE)路由器、防火墙(Firewall, FW)等。

(3) 核心网部分,包括 2G/3G 核心网和 LTE 核心网。2G/3G 核心网包括电路交换(Circuit Switched, CS)和分组交换(Packet Switched, PS)域,主要设备包括移动交换中心(Mobile Switching Center, MSC)和通用分组无线系统业务支撑节点(Serving GPRS Support Node, SGSN)。LTE 核心网 SAE,亦称演进型分组核心网(Evolved Packet Core, EPC),该部分包含了移动性管理实体(Mobility Management Entity, MME)、系统架构演进网关(System Architecture Evolution Gateway, SAE-GW)、策略和计费规则功能(Policy and Charging Rules Function, PCRF)、归属用户服务器(Home Subscriber Server, HSS)等设备。

(4) 配套系统部分,该部分包含保证网络正常运行的必不可少的设备和网络。其主要包括设备网管系统 U2000 或者操作维护中心(Operation and Maintenance Center, OMC)、在线计费系统(Online Charging System, OCS)、短消息中心(Short Message Center, SMC)、域名服务器(Domain Name Server, DNS)、Diameter 路由代理(Diameter Routing Agent, DRA)、低级信令转接点(Low-level Signaling Transfer Point, LSTP)、高级信令转接点(High-level Signaling Transfer Point, HSTP)、业务运营支撑系统(Business and Operation Support System, BOSS)等设备和系统。

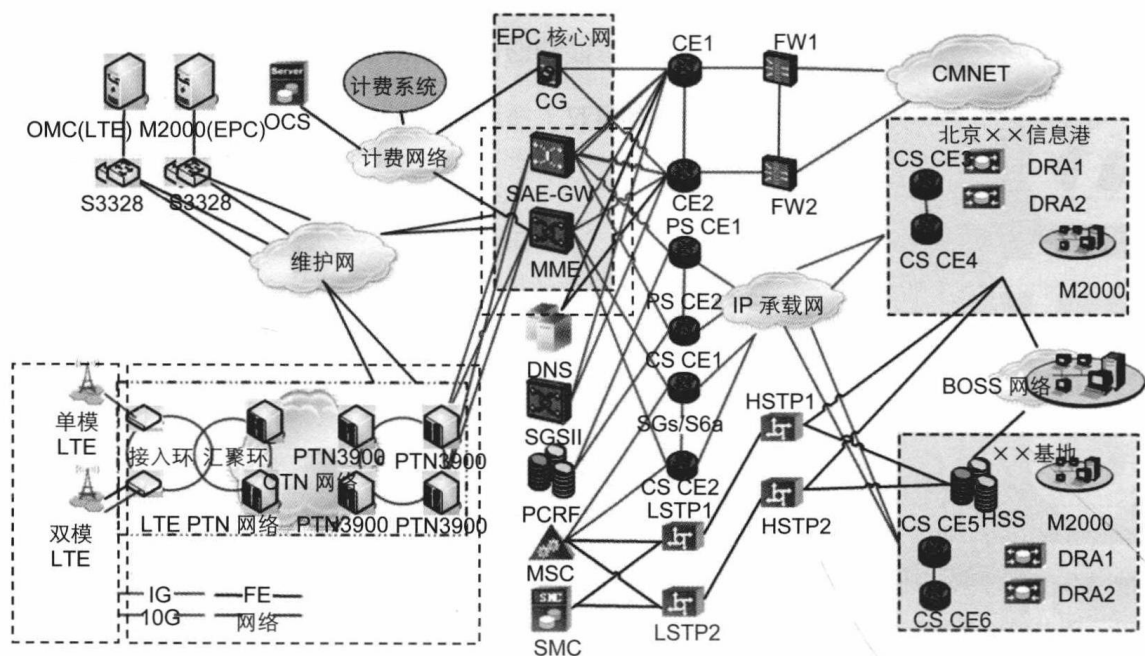


图 1-1 LTE 移动通信网络架构

本书重点介绍 LTE 无线接入网部分, 包括无线接入关键技术, LTE 空中接口, LTE 信令流程, 无线接入设备硬件介绍、调测和维护, 无线网络规划优化等内容。

## 1.2 移动通信网络演进

随着移动用户的增多, 以及人们对移动通信业务需求的不断增加, 移动通信系统已经经历了四代的变革, 并继续向着第五代技术演进。本节主要对移动通信网络演进过程进行介绍。

### 1.2.1 第一代移动通信系统

第一代移动通信技术 (1st Generation, 1G) 诞生在 20 世纪 40 年代, 美国底特律警察使用车载无线电系统进行联络, 主要采用大区制模拟技术。1978 年底, 美国贝尔实验室成功研制了先进移动电话系统 (Advanced Mobile Phone System, AMPS), 建成了蜂窝状移动通信网, 这是第一种真正意义上的具有及时通信功能的大容量蜂窝状移动通信系统。1983 年, AMPS 首次在芝加哥投入商用并迅速推广。1985 年, 已扩展到了 47 个地区。

与此同时, 其他国家也相继开发出各自的蜂窝移动通信网。英国在 1985 年开发出全接入通信系统 (Total Access Communications System, TACS), 频带为 900 MHz; 加拿大推出 450 MHz 移动电话系统 (Mobile Telephone System, MTS); 瑞典等北欧四国于 1980 年开发出北欧移动电话 (Nordic Mobile Telephone, NMT) 移动通信网, 频带为 450 MHz; 中国的 1G 系统于 1987 年 11 月 18 日在广东第六届全运会上开通并正式商用, 采用的是 TACS 制式。从 1987 年 11 月中国电信开始运营模拟移动电话业务到 2001 年 12 月底中国移动关闭模拟移动通信网, 1G 系统在中国的应用长达 14 年, 用户数最高曾达到了 660 万。如今, 1G 时代像砖头一样的手持终端——“大哥大”, 已经成为很多人的回忆。

由于 1G 系统是基于模拟通信技术传输的, 存在频谱利用率低、系统安全保密性差、数据承载业务难以开展、设备成本高、体积大、费用高等局限, 最关键的问题在于系统容量低, 已不能满足日益增长的移动用户需求。为了解决这些缺陷, 第二代移动通信系统 (2nd Generation, 2G) 应运而生。

### 1.2.2 第二代移动通信系统

20 世纪 80 年代中期, 欧洲首先推出全球移动通信系统 (Global System for Mobile Communications, GSM) 数字通信网。随后, 美国、日本也制定了各自的数字通信体系。数字通信系统具有频谱效率高、容量大、业务种类多、保密性好、语音质量好、网络管理能力强等优势, 使得数字通信网得到迅猛发展。

第二代移动通信系统 (2st Generation, 2G) 包括 GSM、IS-95 码分多址 (IS-95 Code Division Multiple Access, IS-95 CDMA)、先进数字移动电话系统 (Digital Advanced Mobile Phone System, DAMPS)、个人数字蜂窝系统 (Personal Digital Cellular, PDC) 等。特别是 GSM 系统, 体制开放、技术成熟、应用广泛, 成为陆地公用移动通信的主要系统。

使用 900 MHz 频带的 GSM 称为 GSM900, 使用 1800 MHz 频带的称为 DCS1800。它是依据全球数字蜂窝通信的时分多址 (Time Division Multiple Access, TDMA) 标准而设计的。GSM 支持低速数据业务, 可与综合业务数字网 (Integrated Services Digital Network, ISDN) 互联。GSM 采用频分双工 (Frequency Division Duplex, FDD) 方式、TDMA 多址方式, 每载频支持 8 信道, 载频带宽为 200 kHz。随着通用分组无线系统 (General Packet Radio System, GPRS)、增强型数据速率 GSM 演进技术 (Enhanced Data Rate for GSM Evolution, EDGE) 的引入, 使 GSM 的功能得到不断增强, 初步具备了支持多媒体业务的能力, 可以实现图片传送、电子邮件收发等。

IS-95 CDMA 是北美数字蜂窝系统标准, 使用 800 MHz 频带或 1.9 GHz 频带。IS-95 CDMA 的多址方式为时分多址 (Code Division Multiple Access, CDMA)。CDMA One 是 IS-95 CDMA 的品牌名称。IS-95 CDMA 又分为 IS-95A 和 IS-95B 两个阶段。

DAMPS 也称 IS-54/IS-136 (北美数字蜂窝), 使用 800 MHz 频带, 是两种北美数字蜂窝标准中推出较早的一种, 使用 TDMA 多址方式。

PDC 是由日本提出的标准, 也就是后来中国的个人手持电话系统 (Personal Handyphone System, PHS), 俗称“小灵通”, 后因技术落后和后续移动通信发展的需要, 已经关闭。

我国的 2G 系统制式主要是 GSM 和 IS-95 CDMA, 比如中国移动和中国联通都部署了 GSM 网络。2001 年, 中国联通开始在中国部署 IS-95 CDMA 网络 (简称 C 网)。2008 年 5 月, 中国电信收购中国联通 C 网, 并将 C 网规划为中国电信未来主要的发展方向。

2G 系统的主要业务是语音, 其主要特性是提供数字化的语音业务及低速数据业务。它克服了模拟移动通信系统的弱点, 语音质量、保密性能得到很大提高, 并可进行省内、省际自动漫游。2G 系统替代 1G 系统, 完成了模拟技术向数字技术的转变, 但由于 2G 采用不同的制式, 移动通信标准不统一, 用户只能在同一制式覆盖的范围内进行漫游, 因而无法进行全球漫游。又由于 2G 系统带宽有限, 限制了数据业务的应用, 因此无法实现高速率的业务, 如移动的多媒体业务。

尽管 2G 系统技术在发展中不断得到完善, 但随着人们对于移动数据业务的需求不断增加, 希望能够在移动的情况下达到类似于宽带上网时所要求的速率, 因此, 需要有新一代的移动通信技术来支持高速的空中承载, 以提供各种各样的高速数据业务, 如电影点播、文件下载、视频电话、在线游戏等。

### 1.2.3 第三代移动通信系统

第三代移动通信系统 (3rd Generation, 3G) 又被国际电联 (International Telecommunication Union, ITU) 称为国际移动电话系统 2000 (International Mobile Telecom System-2000, IMT-2000), 是在 2000 年左右开始商用, 并工作在 2 000 MHz 频带上的国际移动通信系统。IMT-2000 的标准化工作开始于 1985 年。3G 标准规范具体由第三代移动通信合作伙伴项目 (3rd Generation Partnership Project, 3GPP) 和第三代移动通信合作伙伴项目二 (3rd Generation Partnership Project 2, 3GPP2) 分别负责。

3G 系统最初有 3 种主流标准, 即欧洲国家和日本提出的宽带码分多址 (Wideband Code Division Multiple Access, WCDMA), 美国提出的码分多址 2000 (Code Division Multiple Access 2000, CDMA 2000), 又称多载波码分复用扩频调制, 中国提出的时分同步码分多址接入 (Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access, TD-SCDMA)。

3G 系统采用 CDMA 技术和分组交换技术, 而不是 2G 中 GSM 系统通常采用的 TDMA 技术和电路交换技术。在业务和性能方面, 3G 不仅能传输语音, 还能传输数据, 提供高质量的多媒体业务, 如可变速率数据、移动视频和高清晰图像等多种业务, 实现多种信息一体化, 从而提供快捷、方便的无线应用。

3G 系统具有低成本、优质的服务质量、高保密性及良好的安全性能等优点。但是, 3G 系统仍有不足: 第一, 3G 标准有 WCDMA、CDMA 2000 和 TD-SCDMA 三大分支, 3 个制式之间存在相互不兼容的问题; 第二, 3G 的频谱利用率还比较低, 不能充分地利用宝贵的频谱资源; 第三, 3G 支持的速率还不够高。这些不足点远远不能适应未来移动通信发展的需要, 因此需要寻求一种能适应未来移动通信需求的新技术。

此外, 微波存取全球互通 (Worldwide Interoperability for Microwave Access, WiMAX), 又称为 802.16 无线城域网, 是另一种为企业和家庭用户提供“最后一千米”的宽带无线连接方案。由于成本较低, 将此技术与需要授权或免授权的微波设备相结合之后, 能扩大宽带无线市场, 改善企业与服务供应商的认知度。2007 年 10 月 19 日, 在 ITU 于日内瓦举行的无线通信全体会议上, 经投票表决, WiMAX 正式被纳入 3G

标准，成为继 WCDMA、CDMA 2000 和 TD-SCDMA 之后的第四个全球 3G 标准。

#### 1.2.4 第四代移动通信系统

2000 年确定了 3G 国际标准之后，ITU 就启动了第四代移动通信（4th Generation, 4G）的相关工作。2008 年，ITU 开始公开征集 4G 标准，有 3 种方案成为 4G 的标准备选方案，分别是 3GPP 的 LTE、3GPP2 的超移动宽带（Ultra Mobile Broadband, UMB）以及电气和电子工程师协会（Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE）的 WiMAX，其中最被产业界看好的是 LTE。LTE、UMB 和移动 WiMAX 虽然各有差别，但是它们也有一些相同之处，3 个系统都采用正交频分复用（Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM）和多入多出（Multi-input Multi-output, MIMO）技术来提供更高的频谱利用率。

LTE 并不是真正意义上的 4G 技术，而是 3G 向 4G 技术发展过程中的一个过渡技术，也被称为 3.9G 的全球化标准。它采用 OFDM 和 MIMO 等关键技术，改进并且增强了传统的无线空中接入技术。这些技术的运用，使得 LTE 的峰值速率与 3G 相比有很大的提高。同时，LTE 技术改善了小区边缘位置的用户的性能，提高小区容量值，降低了系统的延迟以及网络成本。

2012 年，LTE-Advanced 正式被确立为 IMT-Advanced（也称 4G）国际标准，我国主导制定的 TD-LTE-Advanced 也同时成为 IMT-Advanced 国际标准。LTE 包括 LTE 时分双工（Time Division Duplexing, TDD）和 LTE 频分双工（Frequency Division Duplexing, FDD）两种制式，其中，我国引领 LTE TDD（简称 TD-LTE）的发展。TD-LTE 继承和拓展了 TD-SCDMA 在智能天线、系统设计等方面的关键技术和自主知识产权，系统能力与 LTE FDD 相当。

#### 1.2.5 第五代移动通信系统

第五代移动通信技术（5th Generation, 5G）是 4G 的延伸。5G 是新一代移动通信技术发展的主要方向，是未来新一代信息基础设施的重要组成部分。与 4G 相比，5G 不仅能进一步提升用户的网络体验，同时还将满足未来万物互联的应用需求。

从用户体验看，5G 具有更高的速率、更宽的带宽，预计 5G 的网速比 4G 高 10 倍左右，只需要几秒即可下载一部高清电影，能够满足消费者对虚拟现实、超高清视频等更高的网络体验需求。

从行业应用看，5G 具有更高的可靠性、更低的时延，能够满足智能制造、自动驾驶等行业应用的特定需求，拓宽融合产业的发展空间，支撑经济社会创新发展。

从发展态势看，5G 目前还处于技术标准的研究阶段，今后几年，4G 还将保持主导地位，并实现持续高速发展。5G 有望在 2020 年正式商用。

2016 年 11 月，在美国内华达州里诺举行的 3GPP RAN1#87 会议上，国际移动通信标准化组织 3GPP 确定了 Polar 码（极化码）作为 5G eMBB（增强移动宽带）场景的控制信道编码方案。至此，5G eMBB 场景的信道编码技术方案完全确定，其中，极化码作为控制信道的编码方案，LDPC 码（低密度奇偶校验码）作为数据信道的编码方案。

华为作为中国 IMT-2020（5G）推进组的成员，参与了 Polar 码的研究与创新，后续也将和推进组全体成员持续加大对 5G 的研究投入。同时，与全球产业伙伴开放合作，通过充分整合全球优秀的创新资源来共同推动标准化工作的协同，为形成全球统一的 5G 标准、提升 5G 标准竞争力做出重大贡献。

### 1.3 双工技术和多址技术

移动通信技术里的双工技术是用于区分用户上行和下行信号的方式。上行信号是指移动台发给基地站的

信号,下行信号是指基站发给移动台的信号。双工技术主要包含 TDD 和 FDD 两种。

当把多个用户接入一个公共的传输媒质以实现相互间的通信时,需要给每个用户的信号赋予不同的特征,以区分不同的用户,这种技术即为多址技术。

### 1.3.1 双工技术

对于 FDD,系统发送和接收数据使用不同的频段,在上行和下行频率之间有双工间隔。GSM、CDMA 2000、WCDMA 等系统都是典型的 FDD 系统。而对于 TDD,系统的发送和接收使用相同的频段,上、下行数据发送时在时间上错开。通过在不同时隙发送上、下行数据,可有效避免上、下行干扰。TD-SCDMA 就是 TDD 系统。

FDD 和 TDD 技术有各自的特点与优势。

(1) TDD 系统便于进行信道估计。对于 TDD 技术,只要基站和移动台之间的上、下行时间间隔不大,小于信道相干时间,就可以简单地根据接收信号估计收、发信道特征。这一特点使得采用 TDD 方式的移动通信体制在功率控制及智能天线技术的使用方面有明显的优势。而对于 FDD 技术,通常上、下行频率间隔远远大于信道相干带宽,几乎无法利用上行信号估计下行信道,也无法用下行信号估计上行信道。

(2) FDD 系统硬件实现简单。对于 FDD 技术,由于基站的接收和发送使用不同射频单元,且有收发隔离,因此使得系统的设计、实现相对简单。而对于 TDD 技术,射频单元在发射和接收时分时隙进行,因此, TDD 的射频模块里要配置一个收发开关。

(3) TDD 系统更适合支持非对称业务。对非对称业务而言, TDD 技术可以灵活设置上、下行的转换时刻,可用于实现不对称的上行和下行业务带宽,有利于实现明显上、下行不对称的互联网业务。当然,这种转换时刻的设置必须与相邻基站协同进行。因此,在支持非对称业务时, TDD 频谱利用率更高。

(4) FDD 系统在实现对称业务时,频谱利用率更高。对于对称业务, FDD 技术的上行和下行使用不同的频率,因此 FDD 上、下行间没有干扰。而 TDD 技术的上行和下行使用相同的频率,为了避免上、下行信号间的干扰,需要在上、下行中间插入一个保护间隔,从而导致 FDD 在支持对称业务时,能充分利用上下的频谱,但在支持非对称业务时,频谱利用率将大大降低。

### 1.3.2 多址技术

无线通信系统中常用的多址技术分为频分多址 (Frequency Division Multiple Access, FDMA)、时分多址 (Time Division Multiple Access, TDMA)、码分多址 (Code Division Multiple Access, CDMA)、空分多址 (Space Division Multiple Access, SDMA) 和正交频分多址 (Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA)。在实际的移动通信系统中,某一种多址技术可以单独使用,也可以两种或者多种多址技术相结合使用。

(1) FDMA: 以传输信号的频率不同来区分信道的接入方式,即为不同的用户分配不同的载波频率来共享无线信道。在 FDMA 系统中,总频带被分成若干个带宽相等且没有交集的子频带,将不同的子频带分配给不同的用户,每个子频带在同一时间只能供一个用户使用,相邻子频带之间有保护间隔,频带之间无明显的干扰。一个子频带相当于一个信道,从基站发送到移动台的信号在前向信道上传输,而从移动台发送到基站的信号在反向信道上传输。频分多址技术比较成熟,1G 系统均采用该技术,但是由于各个用户使用不同频率的信道,所以用户容量受限。FDMA 示意图如图 1-2 所示。

(2) TDMA: 以传输信号存在的时间段不同来划分信道的接入方式,即给不同的用户分配不同的时间段以共享无线信道。TDMA 是在一个具有一定宽带的无线载波上把时间分成周期性的帧,每一帧再分成若干时隙,每个时隙就是一个通信信道。然后根据一定的时隙分配原则,使每个用户只能在指定的时隙内发

送。2G 中的 GSM 系统在 FDMA 的基础上还采用了 TDMA。对比单纯采用 FDMA 的系统，在可用频段相同的情况下，TDMA 能够容纳更多的用户。但是时分通信系统需要精确的时间同步，以保证各用户发送的信号不会发生时间上的重叠。TMDA 示意图如图 1-3 所示。

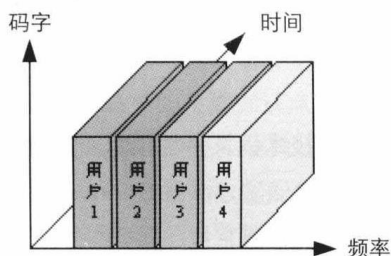


图 1-2 FDMA 示意图

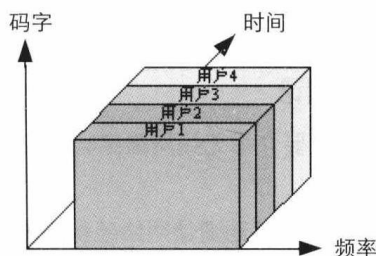


图 1-3 TDMA 示意图

(3) CDMA: 以传输信号的码字不同来区分信道的接入方式，即给每个移动用户分配不同的码字。每个用户所分配到的码字是唯一的、互相正交或准正交的，从而实现不同用户的信号在频率、时间上都可以重叠。发送时使用该码字对基带信号进行扩频，接收机使用相关检测器将具有特定码字的用户信号检测出来，与接收机本地产生的码字正交或准正交，从而被消除或大部分被消除，残留的小部分非本用户信号相当于背景噪声。3G 系统主要采用 CDMA。CDMA 可容纳比 TDMA 系统更多的用户，且具有低功率、软切换、抗干扰能力强等优点。CDMA 示意图如图 1-4 所示。

(4) SDMA: 亦称多波束频率复用，即通过在不同方向上使用相同频率的定位天线波束来区分信道的接入方式。该多址方式以天线技术为基础，用点射束天线实现信道复用。理想情况下，它要求天线给每个用户分配一个点波束，这样，根据用户的空间位置就可以区分每个用户的无线信号，从而完成多址的划分。SDMA 示意图如图 1-5 所示。

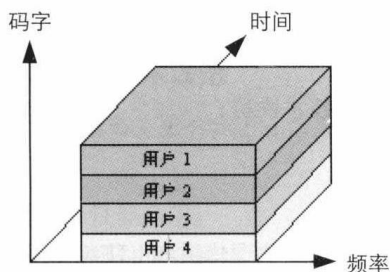


图 1-4 CDMA 示意图

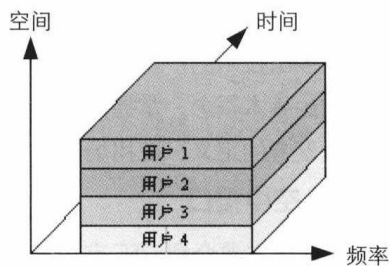


图 1-5 SDMA 示意图

(5) OFDMA: 以相互正交的不同频率子载波来区分信道的接入方式，即为不同的用户分配若干不同的正交频率子载波来共享无线信道。在 OFDMA 系统中，总频带被分成若干个相互正交的子载波，根据用户需求调度若干个不同的子载波给不同的用户，每个子载波在同一时间只能供一个用户使用。4G 系统采用 OFDMA 技术。由于 OFDMA 系统中的子载波之间是相互正交的，子载波之间的排列更加紧密，因此 OFDMA 能够提高频谱效率和系统容量。OFDMA 示意图如图 1-6 所示。

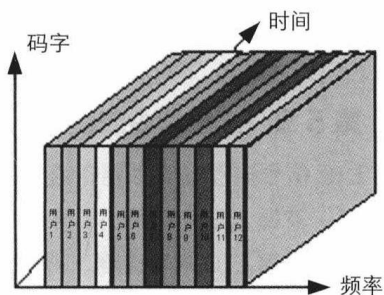


图 1-6 OFDMA 示意图



## 1.4 本书内容与安排

本书共包含 10 个章节，分别是绪论、无线传播理论、LTE 关键技术、LTE 空中接口、LTE 信令流程、EPC 网络原理、LTE 基站原理及运行维护、LTE 网络规划与优化、LTE 仿真系统和 5G 技术演进。

### 第 1 章 绪论

绪论章节主要介绍无线网络架构、移动通信网络演进过程、双工技术以及多址技术。本章节的主要知识点如下：

- (1) 掌握 LTE 移动通信网络架构的基本组成；
- (2) 了解移动通信 1G、2G、3G、4G 及 5G 系统的发展历程；
- (3) 掌握时分双工技术和频分双工技术，掌握频分多址技术、时分多址技术、码分多址技术、空分多址技术和正交频分多址技术。

### 第 2 章 无线传播理论

无线传播理论章节主要介绍无线电波传播特性、无线电波传播模型和抗衰落技术。本章节的主要知识点如下：

- (1) 掌握多径效应和多普勒效应等无线电波传播特性；
- (2) 了解常见的无线电波传播模型；
- (3) 掌握抗衰落分集技术和均衡技术。

### 第 3 章 LTE 关键技术

LTE 关键技术章节主要介绍正交频分多址、多入多出、高阶调制和自适应调制编码、载波聚合。本章节的主要知识点如下：

- (1) 掌握正交频分多址技术的原理、技术特点以及在 LTE 中的应用；
- (2) 掌握多入多出技术的产生背景、技术分类和增益；
- (3) 掌握调制的基本概念，掌握高阶调制和自适应调制编码的技术优势；
- (4) 掌握载波聚合的定义、应用场景，以及载波管理。

### 第 4 章 LTE 空中接口

LTE 空中接口章节主要介绍 LTE 空中接口协议、LTE 帧结构、LTE 物理信道和 LTE 参考信号。本章节的主要知识点如下：

- (1) 掌握 LTE 空中接口协议的栈分层以及每一层的功能；
- (2) 掌握 LTE FDD 和 TDD 帧结构；
- (3) 掌握 LTE 物理信道分类，各物理信道的作用和应用；
- (4) 了解上、下行参考信号在 LTE 中的应用。

### 第 5 章 LTE 信令流程

LTE 信令流程章节主要介绍 LTE 协议基础和 LTE 协议流程分析。本章节的主要知识点如下：

- (1) 掌握 LTE 空口和 S1 接口协议栈；
- (2) 理解 LTE 附着流程、寻呼流程、位置更新流程、切换流程和去附着等典型信令流程。

### 第 6 章 EPC 网络原理

EPC 网络原理章节主要介绍 EPC 网络结构和 EPC 网络工作原理。本章节的主要知识点如下：