

# 从 LTE 到 5G 移动通信系统

技术原理及其LabVIEW实现

李晓辉 刘晋东 李丹涛 屠方泽 编著



清华大学出版社

# 从LTE到5G 移动通信系统

技术原理及其LabVIEW实现

李晓辉 刘晋东 李丹涛 屠方泽 编著

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书在对 LTE 关键技术和规范深入分析的基础上,全面介绍 5G 移动通信系统的 NSA 和 SA 标准,并阐述业界关注的 5G 移动通信新技术。同时,本书将移动通信新技术和图形化 LabVIEW 设计语言相结合,详细介绍基于 LabVIEW 图形化设计语言和 USRP 的 LTE 框架实现,并描述 5G 移动通信中大规模 MIMO、GFDM 等新技术的 LabVIEW 实现,是一本原理、技术和实现相结合的通信工程专业前沿性书籍。

本书基于西安电子科技大学通信工程学院多年来对 LTE/LTE-Advanced 以及 5G 移动通信技术的研究,结合通信与信息工程国家级实验教学示范中心的通信与网络综合开发实验以及 NI 公司在移动通信领域最新的成果编写而成。本书内容丰富,叙述深入浅出。通过本书的学习,读者不仅可以掌握移动通信的基本原理和技术规范,了解未来移动通信的新技术,还可以通过 LabVIEW 和 USRP 实例对这些新技术有深刻的认识,并在提供的 NI 软件无线电上进行技术实验和相应开发。

本书可作为通信领域高年级本科生或硕士、博士研究生的教材,还可作为从事通信网络和无线通信等领域工程技术人员的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

从 LTE 到 5G 移动通信系统:技术原理及其 LabVIEW 实现/李晓辉等编著. —北京:清华大学出版社,2020.1 (2020.7重印)

ISBN 978-7-302-53765-6

I. ①从… II. ①李… 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(2019)第 219160 号

责任编辑:王 芳

封面设计:常雪影

责任校对:李建庄

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-83470236

印 装 者:北京富博印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:23

字 数:558千字

版 次:2020年1月第1版

印 次:2020年7月第2次印刷

定 价:79.00元

产品编号:076735-01

# P 前言

## Preface



随着移动通信技术的飞速发展,人们开始意识到移动通信技术给自身生活带来的巨大变化。在第四代(4G)移动通信技术不断成熟和人们理念不断更新的前提下,第五代(5G)移动通信技术应运而生并有了很大的进展。随着 5G 移动通信标准 NSA 和 SA 标准第一版本的冻结,移动通信产业开始把注意力转向如何为其他行业提供有效的通信能力,万物互联成为移动通信的愿景。

本书主要介绍 LTE 移动通信技术及其向第五代移动通信技术的演进,涉及 LTE 和 5G 新空口(NR)的原理、技术规范及 LabVIEW 实现等内容。首先分析 LTE 的关键技术和相关规范,然后阐述 5G 移动通信系统的 NSA 和 SA 标准,并研究讨论业界关注的 5G 移动通信新技术。在实现方面,在介绍基于 LabVIEW 图形化设计语言和通用软件无线电平台(USRP)的基础上,给出详细的 LTE 框架实现,以及 5G 移动通信中大规模 MIMO、GFDM 等新技术的 LabVIEW 实现。

本书是一本理论和实际相结合的通信领域专业性书籍,在学习新知识的同时,通过技术实现形式来掌握新技术,并可将其用于未来移动通信技术的研究开发,整体上本书可分为两大部分:第一部分是 LTE 和 5G 的基本原理和技术规范,包括第 1~8 章;第二部分包括第 9~14 章,主要介绍 LabVIEW 和 USRP 在移动通信新技术上的应用。

第 1 章主要介绍从第一代移动通信到第五代移动通信的发展历程,重点描述 LTE 和 5G 的新技术和标准化进展,使读者对移动通信的发展过程有一个全面认识。为了便于对 LTE 技术规范的学习,在介绍 LTE 技术规范之前,在第 2 章首先给出 LTE 的体系架构,然后重点介绍无线接入的物理层技术和规范。第 3 章介绍 LTE 的关键技术,包括 OFDM 技术、多天线技术、自适应编码和调制技术、带有软合并的 HARQ 技术等。第 4 章介绍 LTE 技术规范,包括 LTE 物理层概述、上行传输过程和下行传输过程等。第 5 章介绍 LTE-Advanced 技术,包括 LTE-A 中的多天线技术、多点协作技术、中继技术和载波聚合技术。

第 6~8 章介绍 5G 移动通信新技术。第 6 章介绍 5G 移动通信系统的网络架构,阐述 SDN 和 NFV 的概念及其在第五代移动通信系统中的应用。第 7 章围绕当前 5G NR 的系列标准,给出物理层传输的一般过程,重点阐述 5G 采用的编码方式。第 8 章从研究领域重点介绍 5G 移动通信物理层传输新技术,包括大规模 MIMO 技术、毫米波混合波束成形、新波形技术和全双工干扰抑制等。

第 9~14 章阐述本书原理部分在 USRP 上的实现。第 9 章和第 10 章分别是软件无线电平台简介和 LabVIEW 编程基础,第 11 章介绍用 USRP 和 LabVIEW 构建无线系统的实例,第 12 章介绍 LTE 在 USRP 上的实现,第 13 章介绍 MIMO 平台的构建,第 14 章介绍 NI 公司开发的其他的第五代移动通信新技术的实现方案。

本书由李晓辉、刘晋东、李丹涛和屠方泽编著。感谢参与本书材料整理的杜洋帆、谢羿以及参与校对的各位研究生。本书是在西安电子科技大学通信工程学院多年来对 LTE/LTE-Advanced 以及 5G 移动通信技术研究的基础上,结合通信与信息工程国家级实验教学示范中心的通信与网络综合开发实验以及 NI 公司在移动通信领域最新的成果编写而成的。感谢西安电子科技大学通信工程学院以及通信与信息工程实验教学示范中心各位领导和老师给予的帮助和支持。本书的出版得到了西安电子科技大学研究生精品教材建设项目以及 NI 公司的教育部产学合作育人项目的资助和支持,在此表示感谢!

本书可作为通信领域高年级本科生和硕士、博士研究生的教学与科研用书,使学生在掌握移动通信新技术基本原理和技术规范的同时,还能够通过图形化的实践模式展开深入学习和研究,便于提高学生的创新意识和动手能力。此外,本书还可作为无线通信等领域工程技术人员的参考书。

由于作者水平有限,加上时间仓促,书中难免存在不足之处,恳请广大读者批评指正。

作 者

2019 年 10 月

# C 目 录

## Contents



<b>第 1 章 移动通信技术概述</b> .....	1
1.1 移动通信发展历程 .....	1
1.2 演进分组系统概述 .....	4
1.2.1 网络结构演进.....	4
1.2.2 LTE 技术指标 .....	5
1.2.3 LTE 关键技术 .....	6
1.2.4 LTE-Advanced .....	7
1.3 第五代移动通信技术.....	10
1.3.1 5G 总体愿景.....	10
1.3.2 5G 的应用场景和技术需求.....	10
1.3.3 5G 的标准化进展.....	11
1.3.4 5G 新空口.....	12
1.4 基于 USRP 的移动通信技术研发 .....	15
1.5 本书内容安排.....	16
<b>第 2 章 LTE 网络体系架构</b> .....	17
2.1 网络体系架构.....	17
2.1.1 基本概念 .....	17
2.1.2 EPS 体系架构 .....	18
2.1.3 EPS 的特点 .....	19
2.2 网络接口.....	20
2.2.1 S1 接口 .....	21
2.2.2 S1 的灵活组网 .....	24
2.2.3 X2 接口.....	25
2.3 用户平面和控制平面.....	25
2.3.1 用户平面结构 .....	25
2.3.2 控制平面结构 .....	29
2.4 无线接口协议.....	29
2.4.1 协议的分层结构 .....	29
2.4.2 无线信道 .....	30

2.4.3	物理层 .....	34
2.4.4	MAC .....	35
2.4.5	RLC .....	36
2.4.6	RRC .....	37
2.4.7	PDCP .....	38
2.4.8	NAS 协议 .....	41
2.5	本章小结 .....	43
<b>第3章</b>	<b>LTE 关键技术 .....</b>	<b>44</b>
3.1	OFDM 技术 .....	44
3.1.1	OFDM 基本原理 .....	45
3.1.2	OFDM 的 IFFT 实现 .....	46
3.1.3	OFDM 系统的抗多径原理 .....	47
3.1.4	OFDM 系统中的信道估计技术 .....	48
3.2	MIMO 技术 .....	52
3.2.1	空时分组码 .....	53
3.2.2	MIMO 空间复用技术 .....	56
3.2.3	MIMO 预编码技术 .....	60
3.2.4	虚拟 MIMO .....	66
3.3	自适应编码调制 .....	67
3.4	HARQ .....	70
3.5	本章小结 .....	72
<b>第4章</b>	<b>LTE 技术规范 .....</b>	<b>73</b>
4.1	工作频带及带宽 .....	73
4.1.1	LTE 频带划分 .....	73
4.1.2	LTE 带宽分配 .....	75
4.2	帧结构和资源块 .....	76
4.2.1	帧结构 .....	76
4.2.2	资源块及其映射 .....	80
4.3	上行传输过程 .....	84
4.3.1	上行信道编码 .....	84
4.3.2	PUSCH 传输过程 .....	88
4.3.3	PUCCH 传输过程 .....	92
4.3.4	上行参考信号 .....	98
4.3.5	SC-FDMA 生成 .....	100
4.3.6	上行调度与链路自适应 .....	102
4.3.7	随机接入过程 .....	103

4.4	下行传输过程 .....	113
4.4.1	物理下行传输一般过程.....	113
4.4.2	PDSCH 传输过程 .....	113
4.4.3	PDCCH 传输过程 .....	119
4.4.4	PCFICH 及 PHICH 传输过程.....	122
4.4.5	下行参考信号.....	123
4.4.6	OFDM 信号产生 .....	124
4.4.7	下行资源调度及链路自适应.....	125
4.4.8	限制小区间干扰的方法.....	127
4.5	eMBMS .....	128
4.6	本章小结 .....	130
<b>第 5 章</b>	<b>LTE-A 技术增强 .....</b>	<b>131</b>
5.1	LTE 中的载波聚合技术 .....	131
5.1.1	载波聚合技术的引入.....	131
5.1.2	载波聚合的分类.....	132
5.1.3	载波聚合实现方式.....	134
5.1.4	控制信道设计.....	134
5.1.5	载波聚合的聚合方式.....	136
5.1.6	载波聚合中的随机接入过程.....	136
5.1.7	载波聚合中的资源管理.....	139
5.2	LTE-A 中的中继技术 .....	142
5.2.1	中继的原理及特点.....	142
5.2.2	中继分类.....	143
5.2.3	3GPP 中继系统框架 .....	144
5.2.4	中继双工方式.....	147
5.3	LTE-A 中的多点协作技术 .....	150
5.3.1	多点协作基本概念.....	150
5.3.2	多点协作分类.....	151
5.3.3	多点协作传输方案.....	153
5.4	本章小结 .....	155
<b>第 6 章</b>	<b>5G 移动通信网络架构 .....</b>	<b>156</b>
6.1	5G 应用场景及技术指标.....	156
6.1.1	5G 应用场景 .....	156
6.1.2	基于服务的网络架构.....	157
6.1.3	关键性能指标.....	158
6.1.4	5G 的频谱规划 .....	159

6.2	SDN 和 NFV .....	159
6.2.1	采用 SDN 和 NFV 技术的原因 .....	160
6.2.2	SDN 技术及其在 5G 的应用 .....	160
6.2.3	NFV 编排和功能分拆 .....	162
6.2.4	5G 网络的部署 .....	165
6.2.5	LTE 与 5G 新空口的协作 .....	168
6.3	网络架构标准进展及选项 .....	170
6.3.1	NSA 与 SA .....	170
6.3.2	网络架构及选项 .....	172
6.3.3	5G 架构演进方案 .....	177
6.4	网络切片 .....	178
6.5	本章小结 .....	180
<b>第 7 章</b>	<b>5G 物理层技术规范 .....</b>	<b>181</b>
7.1	5G NR 物理层规范概述 .....	181
7.2	帧结构和物理资源 .....	182
7.2.1	参数集 .....	182
7.2.2	帧结构 .....	182
7.2.3	物理资源 .....	183
7.3	整体架构和信号生成 .....	185
7.3.1	调制映射 .....	185
7.3.2	序列生成 .....	185
7.3.3	OFDM 基带信号生成 .....	186
7.3.4	调制和上变频 .....	187
7.4	信道编码及在 5G 中的应用 .....	187
7.4.1	不同信道编码方式 .....	187
7.4.2	LDPC 码及其应用 .....	188
7.4.3	极化码及其应用 .....	195
7.5	本章小结 .....	204
<b>第 8 章</b>	<b>5G 无线传输新技术 .....</b>	<b>205</b>
8.1	5G 无线传输新技术概述 .....	205
8.2	大规模 MIMO 技术 .....	207
8.2.1	大规模 MIMO 概述 .....	207
8.2.2	大规模 MIMO 关键技术 .....	208
8.2.3	大规模 MIMO 的预编码技术 .....	209
8.3	毫米波无线通信技术 .....	211
8.3.1	毫米波通信概述 .....	211
8.3.2	单用户混合波束成形 .....	212

8.3.3 多用户混合波束成形.....	213
8.4 GFDM 原理及性能分析 .....	217
8.4.1 GFDM 与 OFDM 的比较 .....	217
8.4.2 GFDM 基本原理 .....	218
8.4.3 脉冲成形滤波器及性能.....	220
8.4.4 编码 GFDM .....	221
8.5 同时同频全双工技术 .....	223
8.5.1 灵活双工概述.....	223
8.5.2 全双工系统干扰分析.....	224
8.5.3 全双工系统中的自干扰消除技术.....	225
8.6 本章小结 .....	228
<b>第 9 章 软件无线电平台简介.....</b>	<b>229</b>
9.1 什么是软件无线电 .....	229
9.1.1 软件无线电的定义和特点.....	229
9.1.2 软件无线电的发展历程.....	230
9.1.3 软件无线电基本架构.....	232
9.1.4 NI 软件无线电基本架构 .....	233
9.2 LabVIEW Communications 简介 .....	234
9.2.1 什么是 LabVIEW Communications .....	234
9.2.2 LabVIEW Communications 的功能及特点 .....	235
9.3 NI USRP-RIO 简介 .....	239
9.3.1 什么是 NI USRP-RIO .....	239
9.3.2 NI USRP-RIO 的功能及特点 .....	239
9.4 构建软件无线电平台 .....	241
9.5 本章小结 .....	243
<b>第 10 章 LabVIEW Communications 编程基础 .....</b>	<b>244</b>
10.1 LabVIEW Communications 导航 .....	244
10.1.1 LabVIEW Editor 简介 .....	244
10.1.2 LabVIEW Communications 中的 FPGA 设计流程 .....	249
10.2 LabVIEW Communications 编程基础 .....	252
10.2.1 VI 的组成 .....	252
10.2.2 VI 的前面板 .....	253
10.2.3 VI 的程序框图 .....	256
10.2.4 基于文本的设计语言支持 .....	258
10.2.5 程序结构 .....	259
10.2.6 VI 的调试 .....	270
10.3 本章小结 .....	273



<b>第 11 章 快速构建实时无线系统实例</b>	274
11.1 从 LabVIEW Communications 开始	274
11.1.1 MathScript 节点: 简单的正弦波	274
11.1.2 使用捕捉到的数据	276
11.2 实现一个 FM 收音机	276
11.3 算法设计和测试	280
11.3.1 使用多速率图标创建一个 OFDM 调制器	280
11.3.2 显示和配置采样计数	284
11.3.3 使用图表探针	286
11.3.4 测试 OFDM 算法	286
11.4 定点转换	288
11.4.1 复制层次结构	288
11.4.2 分析复制的层次结构	289
11.4.3 将数据类型转换为定点数据	290
11.4.4 微调定点设计	290
11.5 将应用程序部署到 FPGA 上	291
11.5.1 NI USRP 数据流项目范例	291
11.5.2 利用 SystemDesigner 创建一个新的 FIFO	293
11.5.3 修改 Streaming Xcvr FPGA 程序	295
11.5.4 编译 FPGA 生成规范	298
11.6 本章小结	300
<b>第 12 章 LTE 数据链路的软件无线电实现</b>	301
12.1 LTE 数据链路的软件无线电实现概要设计	301
12.1.1 LTE 数据链路中需要实现的关键特性	301
12.1.2 如何完成 LTE 数据链路的软件无线电实现	304
12.2 FPGA 实现概述	306
12.2.1 下行链路发射机(基站发送)	306
12.2.2 上行链路发射机(用户发送)	308
12.2.3 上行链路接收机(基站接收)	308
12.2.4 FPGA 时钟考虑	309
12.3 上位机实现概述	309
12.3.1 上位机初始化	311
12.3.2 配置 RX/TX 基带和 RF	311
12.3.3 同步和自动增益控制(AGC)	311
12.3.4 更新图表和指标	311
12.3.5 计算吞吐量和误块率	311
12.3.6 DL 和 UL 的子帧配置参数	312

12.3.7	接收 UDP 数据/生成反馈 .....	313
12.3.8	发送 UDP 数据/接收反馈 .....	313
12.3.9	多个 eNodeB 场景的定时调整 .....	313
12.3.10	DL 和 eNodeB 时序调整 .....	314
12.3.11	UE 定时调整 .....	314
12.4	基于 LTE 数据链路应用程序框架构建软件无线电应用 .....	314
12.5	本章小结 .....	316
<b>第 13 章</b>	<b>MIMO 数据链路的软件无线电实现 .....</b>	<b>317</b>
13.1	MIMO 数据链路的软件无线电实现概要设计 .....	317
13.1.1	MIMO 数据链路中需要实现的关键特性 .....	318
13.1.2	如何完成 MIMO 数据链路的软件无线电实现 .....	319
13.2	大规模 MIMO 基站实现概述 .....	321
13.2.1	基站端定时和同步 .....	322
13.2.2	大规模 MIMO 基站软件架构图 .....	322
13.3	大规模 MIMO 用户端实现概述 .....	324
13.4	大规模 MIMO 应用案例 .....	324
13.5	基于 MIMO 数据链路应用程序框架构建软件无线电应用 .....	325
13.6	本章小结 .....	327
<b>第 14 章</b>	<b>移动通信新技术的软件无线电实现 .....</b>	<b>328</b>
14.1	5G NR 毫米波原型系统 .....	328
14.1.1	NI 毫米波收发系统框架介绍 .....	328
14.1.2	NI 毫米波收发原型系统介绍 .....	329
14.1.3	5G NR 毫米波系统运行结果 .....	334
14.1.4	NI 毫米波系统扩展应用 .....	335
14.2	新型物理层研究 .....	336
14.2.1	基于 GFDM 的物理层系统框架介绍 .....	337
14.2.2	GFDM 原型系统介绍 .....	338
14.2.3	GFDM 原型系统运行结果 .....	338
14.3	5G 网络层和物理层联合研究 .....	340
14.3.1	5G 网络层与物理层联合研究系统框架介绍 .....	341
14.3.2	5G 网络层和物理层联合原型系统介绍 .....	342
14.3.3	5G 网络层和物理层联合原型系统运行结果 .....	343
14.4	本章小结 .....	344
缩略词表 .....		345
参考文献 .....		351



## 移动通信技术概述

本章给出了移动通信技术概述,首先介绍了移动通信系统的发展历程,阐述了长期演进(Long Term Evolution, LTE)技术指标、体系架构和关键技术。同时,还描述了 5G 移动通信技术的发展现状和标准化进展。此外,还介绍了 NI USRP 在移动通信领域的应用。最后给出了本书的组织结构和内容安排。

### 1.1 移动通信发展历程

移动通信系统出现于 20 世纪 80 年代中期,最初被称为第一代(First-Generation, 1G)模拟移动通信系统,例如美国的高级移动电话系统(Advanced Mobile Phone System, AMPS)和北欧移动电话系统(Nordic Mobile Telephone, NMT)。

第二代(The Second-Generation, 2G)移动通信系统是无线数字系统,具有比第一代模拟系统更高的频谱效率和更强的鲁棒性。主要的 2G 技术包括全球移动通信系统(Global System for Mobile communications, GSM)、CDMAOne、时分多址接入系统(Time Division Multiple Access, TDMA)和个人数字蜂窝网(Personal Digital Cellular, PDC)。CDMAOne 以码分多址接入(Code Division Multiple Access, CDMA)为基础,也称 IS-95,主要用于亚太地区、北美和拉丁美洲。GSM 在欧洲和全球范围的其他多数国家开发和使用。TDMA 系统采用 IS-136 北美标准,由于 TDMA 是 1G 标准 AMPS 的演进,因此该系统也称为数字高级移动电话系统(Digital Advanced Mobile Phone System, D-AMPS)。PDC 是日本专用的 2G 标准。

表 1.1 描述了上述 4 种主流 2G 系统间的区别,给出了各自的无线基本参数(例如调制方式、载波频率间隔和主要接入方式等)以及服务级别参数(例如初始数据速率和话音编码算法等)。

表 1.1 主要 2G 系统参数对照表

参 数	系 统 名 称			
	GSM	CDMAOne	TDMA	PDC
工作频段	900MHz	800MHz	800MHz	900MHz
调制方式	GMSK	QPSK/BPSK	QPSK	QPSK
载波频率间隔	200kHz	1.25MHz	30kHz	25kHz
载波调制速率	270Kb/s	1.2288Mchip/s	48.6Kb/s	42Kb/s
每载波业务信道	8	61	3	3

续表

参 数	系 统 名 称			
	GSM	CDMAOne	TDMA	PDC
主要接入方式	TDMA	CDMA	TDMA	TDMA
初始数据速率	9.6Kb/s	14.4Kb/s	28.8Kb/s	4.8Kb/s
话音编码算法	RPE-LTP	CELP	VSELP	VSELP
话音速率	13Kb/s	13.3Kb/s	7.95Kb/s	6.7Kb/s

2G 系统向第三代(The Third Generation, 3G)移动通信演进的中间版本称为 2.5G,即在语音基础上又引入了分组交换业务。GSM 对应 2.5G 是通用分组无线业务(General Packet Radio Service, GPRS)系统。CDMAOne 可以进一步分为 IS-95A 和 IS-95B, IS-95A 是 2G 标准,而 IS-95B 是 IS-95A 的 2.5G 演进标准。

EDGE 是英文 Enhanced Data Rate for GSM Evolution 的缩写,也是一种从 GSM 向 3G 演进的过渡技术。EDGE 主要是在 GSM 系统中采用了多时隙操作和 8PSK 调制技术,使每个符号所包含的信息是原来的 3 倍,其性能优于 GPRS 技术。

随着 2G 技术的不断发展,用户迫切地需要全球统一的移动通信标准。制定 3G 移动通信系统标准的根本目的就是为无线用户提供一种简单的全球移动解决方案,避免大量多模终端来覆盖公共蜂窝的通信方式带来的严重的无线资源和能量浪费,从更广泛的业务层面改善用户终端体验。3G 移动通信系统期望的吞吐量为:在乡村室外无线环境 144Kb/s,在城市或郊区室外无线环境 384Kb/s,在室内或室外热点环境 2048Kb/s。

主要的 3G 标准包括 WCDMA、CDMA2000 和时分同步码分多址(Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access, TD-SCDMA)。

WCDMA 是第 3 代伙伴计划(3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project, 3GPP)提出的 3G 系统标准,也称通用移动通信系统(Universal Mobile Telecommunications System, UMTS)。WCDMA 是基于码分多址(Code Division Multiple Access, CDMA)的方案,使用高速编码的直接扩频序列。每个用户在单信道的速率可达 384Kb/s,在专用信道上的理论最大比特速率为 2Mb/s,同时支持基于分组交换(Packet Switch, PS)和电路交换(Circuit Switch, CS)的应用并且改进了漫游能力。WCDMA 于 2001 年在日本开始商用,其名称为自由移动多媒体接入(Freedom of Mobile Multimedia Access, FOMA),并于 2003 年在其他国家商用。WCDMA 的无线接口与 GSM/EDGE 完全不同,但是其结构和处理过程是从 GSM 继承而来,与 GSM 后向兼容,终端能够在 GSM 和 WCDMA 网络间无缝切换。

3GPP 还接纳了我国的时分同步码分多址(Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access, TD-SCDMA)技术,有的文献也将其称为 TDD 模式的 UMTS 标准。

北美 CDMA2000 是由 IS-95 发展而来。CDMA2000 的一个主要分支称为演进数据和话音(Evolution Data and Voice, 1xEV-DV),迄今为止没有大规模商用。另外一个分支是演进数据优化(Evolution Data Optimized, 1xEV-DO),支持高速分组数据业务传送,在 CDMA2000 的发展中将占据重要的地位。

高速分组接入(High Speed Packet Access, HSPA)是对 UMTS 进一步的增强,包括高速下行链路分组接入(High Speed Downlink Packet Access, HSDPA)和高速上行链路分组



接入(High Speed Uplink Packet Access, HSUPA)。HSDPA 于 2005 年底开始商用化。HSDPA 中引入了新的调制方式——正交幅度调制(Quadrature Amplitude Modulation, QAM),理论上支持 14.4Mb/s 的峰值速率(使用最低信道保护算法)。用户实际体验到的数据速率可以达到 1.8Mb/s 甚至 3.6Mb/s。

主要 3G 系统的参数对照如表 1.2 所示。

表 1.2 主要 3G 系统参数对照表

参 数	3G 系统		
	WCDMA 或 HSPA	CDMA2000	TD-SCDMA
多址方式	FDMA+CDMA	FDMA+CDMA	FDMA+TDMA+CDMA
双工方式	FDD	FDD	TDD
工作频段/MHz	上行: 1920~1980 下行: 2110~2170	上行: 1920~1980 下行: 2110~2170	上行: 1880~1920 下行: 2010~2025
载波带宽/MHz	5	1.25	1.6
码片速率/(Mc/s)	3.84	1.2288	1.28
峰值速率/(Mb/s)	下行: 14.4 上行: 5.76	下行: 3.1 上行: 1.8	下行: 2.8 上行: 0.384
接收检测	相干检测	相干检测	联合检测
越区切换	软、硬切换	软、硬切换	接力切换

HSDPA 采用共享无线方案和实时(每 2ms)信道估计技术来分配无线资源,能够实现对用户的数据突发进行快速反应。此外,HSDPA 实现了混合自动重传(Hybrid Automatic Repeat Request, HARQ),这是一种在靠近无线接口处实现的快速重传方案,能够快速适应无线传输信道特征的变化。HSDPA 是一种与 HSDPA 相对应的上行链路(从终端到网络)分组发送方案。HSUPA 不是基于完全共享信道的发送方案,每一个 HSUPA 信道实际上具有自己专有物理资源的专用信道。HSUPA 的共享资源由基站来分配,主要是根据终端的资源请求来分配上行 HSUPA 的发送功率。HSUPA 理论上可以提供高达 5.7Mb/s 的速率,当移动用户进行高优先级业务传输时,还可以使用比通常情况下分配给单个终端更多的资源。

HSPA+也称 HSPA 演进,是 HSDPA 和 HSUPA 技术的增强,目标是在 LTE 成熟之前,提供一种 3G 后向兼容演进技术。由于采用了大量新技术,例如,多输入多输出(Multiple Input Multiple Output, MIMO)技术和高阶调制(例如下行采用 64QAM,上行采用 16QAM),HSPA+能在 WCDMA 系统的 5MHz 带宽上达到接近演进 UMTS 的频谱效率。同时,HSPA+结构上也做了改进,降低了数据发送时延。

同时,CDMA2000 也在不断发展,出现了 1xEV-DO 和 1xEV-DO 两个 3G 版本的标准,而 1xEV-DO 逐步发展到 Revision C。北美 CDMA 系列标准不是本书研究的重点,这里不再赘述。

HSPA 的引入使得移动网络由话音业务占统治地位的网络转换为数据业务占统治地位的网络。数据使用主要是由占用大量带宽的便携式应用推动的,这些应用包括互联网接入、文件共享、用于分发视频内容的流媒体业务、移动电视以及交互式游戏。此外,视频、数据和话音业务的集成也进入移动市场。



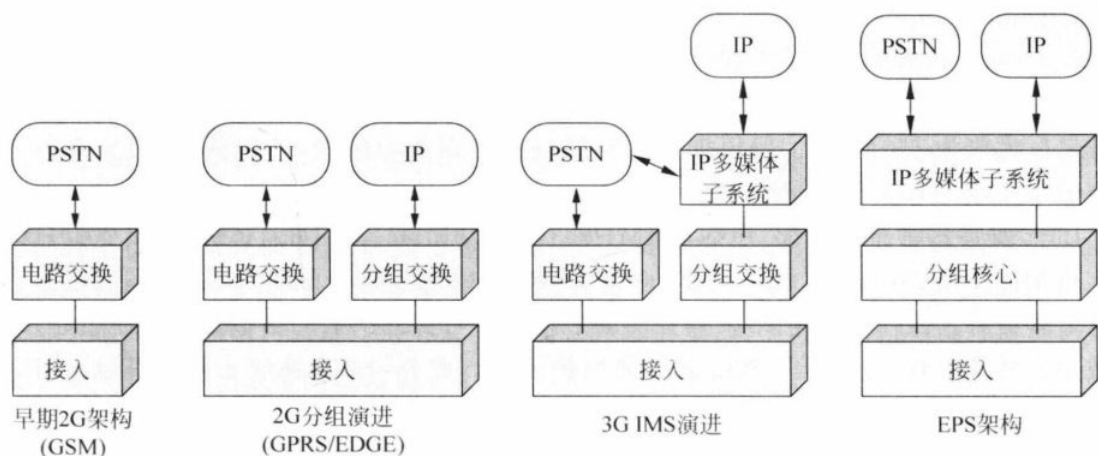


图 1.2 网络结构演进

随着 IP 和 Web 业务的出现,2G GSM 网络逐步演进到能够支持分组数据传输方式的阶段,例如 GPRS 和 EDGE。这一阶段里,系统的接入网络规范中引入了支持分组发送和共享资源分配方案。此外,还增加了与 CS 域并行的 PS 域。PS 域支持分组发送(包括认证和计费)以及与公共或私有 IP 网络的互通。

早期 3G UMTS 网络结构与 2G 网络或多或少有相同的地方,都包括电路和分组核心网络。随着网络结构的发展,UMTS 逐步在 PS 域上面增加了新的域:IP 多媒体子系统(IP Multimedia Subsystem, IMS)。IMS 是在 Internet 工程任务委员会(Internet Engineering Task Force, IETF)提出会话发起协议(Session Initiation Protocol, SIP)的基础上开发的,主要目标是在各种无线网络间采用统一的方法来实现 IP 业务的互操作。此外,IMS 标准通过信令和媒体网关支持 VoIP(Voice over IP),并且能够与传统 PSTN 进行互通。虽然 IMS 在综合业务方面具有很强的吸引力,但是在 3G 核心网中仍保留了 CS 域,来支持电路交换话音业务和基于 H324M 的视频电话。在该阶段,IMS 机制还不支持与 CS 网络间话音业务的无缝移动,因此传统网络运营商没有把 IMS 作为一个面向所有业务的公共平台(包括话音、实时和非实时业务)。

在 EPS 架构中,3GPP 组织重点针对 LTE/SAE 网络的系统架构、无线传输关键技术、接口协议与功能、基本消息流程、系统安全等方面进行了细致的研究与标准化,在核心网方面引入了全新的 PS 域核心网络系统架构,在 PS 域上支持所有应用(包括大多数实时受限应用),不再包括 CS 域。此外,还对 IMS 技术进行了增强,提出 Common IMS 课题,并重点解决 3GPP 与 3GPP2、TISPAN 等几个标准化组织之间的 IMS 技术的融合和统一,支持多种非 3GPP 接入网技术接入统一的核心网。EPS 结构中需要引入一个网关节点,该节点可以作为 IMS 结构的一部分,使得 IP 业务能够转换到基于电路交换的 PSTN 进行传输。

### 1.2.2 LTE 技术指标

LTE 是由 3GPP 组织制定的通用移动通信系统(Universal Mobile Telecommunications System, UMTS)的长期演进标准,于 2004 年 12 月在 3GPP 多伦多会议上正式立项并启动,2009 年 3 月发布 LTE 标准的第一个版本。

LTE 的主要目标是设计一种高性能无线接口,也称之为演进的陆地无线接入网(Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network, EUTRAN),通过引入正交频分复用