

21 世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

现代移动通信技术 与系统 (第2版)

张玉艳 编著

Modern Mobile Communication Technology
and System (2nd Edition)

 中国工信出版集团

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS


精品系列

21 世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

现代移动通信技术 与系统 (第2版)

上艳 编著

Modern Mobile Communication Technology
and System (2nd Edition)

人民邮电出版社
北京



图书在版编目 (CIP) 数据

现代移动通信技术与系统 / 张玉艳编著. -- 2版

— 北京 : 人民邮电出版社, 2016. 1

21世纪高等院校信息与通信工程规划教材

ISBN 978-7-115-41051-1

I. ①现… II. ①张… III. ①移动通信—通信技术—高等学校—教材 IV. ①TN929.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第274047号

内 容 提 要

本书全面系统地介绍了第三代移动通信的基本理论和系统原理,介绍了第四代移动通信的基本理论和系统原理。全书共分7章,内容包括3G、4G及5G移动通信系统发展概述,第三代移动通信系统用到的基础理论和主要技术,WCDMA网络结构与接口协议、空中接口各层原理和WCDMA系统主要工作过程,HSPA网络结构及工作原理,第四代移动通信系统用到的基础理论和关键技术,LTE的系统结构、空中接口各层原理,LTE系统基本过程等内容。

本书可作为普通高等院校通信工程、电子信息等相关专业相关课程的教材,也可作为通信工程技术人员

的参考书。

◆ 编 著 张玉艳

责任编辑 张孟玮

执行编辑 李 召

责任印制 沈 蓉 彭志环

◆ 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>

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 20

2016年1月第2版

字数: 526千字

2016年1月北京第1次印刷

定价: 52.00元

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

反盗版热线: (010)81055315

第2版前言

第三代移动通信技术已在许多国家和地区得到广泛应用。我国于2013年年底正式发放第四代移动通信许可。面向未来,移动通信将渗透到物联网及各种行业领域,与工业设施、医疗仪器、交通工具等深度融合,有效满足工业、医疗、交通等垂直行业的多样化业务需求,实现真正的“万物互联”。移动通信技术、产业和市场的高速发展,激发了人们学习移动通信新技术的热情,也对移动通信领域的教学及教材提出了更新的要求。

作者于2009年所编写的《第三代移动通信》一书自出版以来,受到了广泛的欢迎。为了更好地适应移动通信技术的发展,作者结合近几年的教学科研工作和广大读者的反馈意见,在保留原书特色的基础上,对教材进行了全面的修订,这次修订的主要内容如下。

1. 内容紧扣移动通信发展的需求和未来移动通信的发展趋势,增加了第四代移动通信技术标准的内容,介绍了5G概念、关键技术及技术路线。

2. 考虑到3G, 4G, 5G移动通信技术标准的延续性,教材中删除了TD-SCDMA移动通信系统和cdma2000移动通信系统相关内容。3GPP标准的发展作为贯穿教材的主线。

3. 增加了第四代移动通信系统用到的基础理论和关键技术,包括OFDM技术、MIMO技术、调度和链路自适应、干扰抑制技术、自动化网络技术、载波聚合技术和无线中继技术。

4. 增加了LTE的系统结构、空中接口各层原理、物理层传输过程及LTE系统基本过程等内容。

全书共分7章,第1章讲述第三代移动通信标准、频谱分配、提供的业务,第四代移动通信标准,5G的概念,5G的技术路线;第2章讲述第三代移动通信系统的基础理论和主要技术,包括移动通信信道、扩频技术、数字调制技术、语音编码技术、信道编码技术、功率控制技术、发送接收技术和蜂窝组网技术等;第3章和第4章讲述WCDMA网络结构与接口协议、空中接口各层原理、WCDMA系统的编号计划和WCDMA系统主要工作过程;第5章讲述HSPA网络结构及工作原理,HSPA系统的演进(HSPA+);第6章讲述第四代移动通信系统用到的基础理论和关键技术,包括OFDM技术、MIMO技术、调度和链路自适应、干扰抑制技术、自动化网络技术、载波聚合技术和无线中继技术。第7章讲述LTE的系统结构、空中接口各层原理、物理层传输过程及LTE系统基本过程等内容。

本书由张玉艳主编。第2章由方莉编写。编者在教学及编写本书的过程中得到了方莉、王晋超、席雨、于翠波等的大力支持,在此表示诚挚的感谢。

编者

2015年11月

目 录

第1章 概述	1	2.3.2 基本调制方法性能分析	45
1.1 移动通信的标准化	1	2.3.3 现代数字调制技术	46
1.1.1 第三代移动通信标准化组织	1	2.4 信源编码技术	52
1.1.2 第三代移动通信技术标准	3	2.4.1 信源编码概述	52
1.1.3 移动通信标准化进程	5	2.4.2 语音编码	53
1.2 第三代移动通信频谱分配	9	2.4.3 第三代移动通信中的语音编码	57
1.3 第三代移动通信业务	10	2.4.4 图像压缩编码	58
1.4 第三代移动通信演进(4G)	11	2.5 信道编码技术	59
1.4.1 第三代移动通信的演进路径	11	2.5.1 信道编码的定义	59
1.4.2 IMT-Advanced(4G)	14	2.5.2 几种典型的信道编码	59
1.5 第五代移动通信	15	2.6 功率控制技术	63
小结	19	2.6.1 功率控制的意义	63
练习题	19	2.6.2 功率控制的分类	64
第2章 3G 关键技术	20	2.7 发送接收技术	66
2.1 移动通信信道	20	2.7.1 多用户信号检测技术	66
2.1.1 无线电波的传播	21	2.7.2 分集技术	67
2.1.2 无线电波对接收信号的影响	21	2.7.3 Rake 接收机	72
2.1.3 移动通信中的噪声和干扰	23	2.7.4 智能天线技术	73
2.1.4 移动通信信道的物理模型	24	2.8 蜂窝组网技术	75
2.2 扩频通信系统	25	2.8.1 蜂窝组网	75
2.2.1 多址接入技术	25	2.8.2 小区扩容技术	76
2.2.2 扩频通信系统	26	小结	78
2.2.3 信道化码和扰码	30	练习题	79
2.2.4 扩频通信技术	38	第3章 WCDMA 移动通信系统	81
2.2.5 各种蜂窝系统容量比较	42	3.1 概述	81
2.3 数字调制技术	43	3.1.1 WCDMA 网络的演进	81
2.3.1 数字调制的基本原理	43		

3.1.2 WCDMA 网络的特点	82	4.2.5 系统间切换	172
3.2 WCDMA 网络结构与接口	84	4.3 WCDMA 系统安全	174
3.2.1 UMTS 系统结构	84	4.3.1 鉴权过程	176
3.2.2 UMTS 网元和接口功能	84	4.3.2 信令和业务数据的加密	179
3.2.3 基于 R99, R4, R5/R6 的核心网结构	87	4.3.3 数据完整性保护	180
3.2.4 IP 多媒体子系统	94	4.4 WCDMA 系统中呼叫的建立过程	181
3.3 UTRAN 接口协议结构	99	4.4.1 电路域呼叫过程	181
3.3.1 UTRAN 接口协议模型	99	4.4.2 分组域呼叫过程	185
3.3.2 Iu 接口	105	小结	189
3.3.3 Iub 接口	110	练习题	191
3.3.4 Iur 接口	113	第5章 HSPA 网络技术	193
3.4 WCDMA 空中接口	114	5.1 概述	193
3.4.1 Uu 接口协议结构	114	5.2 HSPA 网络结构	196
3.4.2 物理层	116	5.2.1 引入 HSPA 对 R99/R4 版本无线网络结构的影响	196
3.4.3 数据链路层	126	5.2.2 HSPA 的用户协议结构	200
3.4.4 无线资源控制层	131	5.3 高速下行分组接入	202
3.5 WCDMA 网络中的编号计划	134	5.3.1 HSDPA 系统中的关键技术	202
3.5.1 UMTS 网络的服务区域划分	134	5.3.2 HSDPA 的物理层	205
3.5.2 WCDMA 网络中的编号计划	135	5.3.3 HSDPA 的 MAC 子层结构	211
小结	138	5.4 高速上行分组接入	213
练习题	140	5.4.1 HSUPA 关键技术	213
第4章 WCDMA 系统主要工作过程	141	5.4.2 物理层信道结构的变化	215
4.1 WCDMA 系统的基本工作过程	141	5.4.3 HSUPA 的 MAC 子层结构	219
4.1.1 小区的系统信息广播	141	5.5 HSPA 技术演进	223
4.1.2 网络选择及小区选择和重选	146	小结	224
4.1.3 随机接入过程	151	练习题	225
4.1.4 寻呼过程	153	第6章 LTE 关键技术	226
4.1.5 RRC 连接建立过程	154	6.1 OFDM 技术	226
4.1.6 RAB 的建立	158	6.1.1 概述	226
4.2 WCDMA 系统中的切换	159	6.1.2 OFDM 基本原理	228
4.2.1 切换	159	6.1.3 DFTS-OFDM	234
4.2.2 软切换/更软切换	162	6.2 MIMO 技术	237
4.2.3 压缩模式	168	6.2.1 MIMO 技术介绍	237
4.2.4 载频间切换	171	6.2.2 空时编码	240
		6.2.3 LTE 中的 MIMO 方案	243
		6.3 调度和链路自适应	246

6.3.1 调度	246	7.2.2 E-UTRAN 的结构及接口	272
6.3.2 链路自适应和 HARQ	248	7.2.3 核心网结构及接口	275
6.4 干扰抑制技术	252	7.3 LTE 的空中接口	278
6.5 自动化网络技术	253	7.3.1 LTE 工作频段	278
6.5.1 自动邻区关系功能	253	7.3.2 空中接口协议	282
6.5.2 eNodeB 和 MME 自配置	255	7.3.3 物理层	283
6.5.3 物理小区 ID 的自动配置	255	7.3.4 数据链路层	286
6.5.4 R9 新增优化功能	256	7.3.5 RRC 层	289
6.6 载波聚合技术	257	7.4 上下行物理层传输	290
6.6.1 载波聚合概述	257	7.4.1 时频结构	290
6.6.2 载波聚合协议	259	7.4.2 下行物理层传输	293
6.7 无线中继技术	260	7.4.3 上行物理层传输	300
6.7.1 无线中继技术概述	260	7.5 LTE 系统基本过程	302
6.7.2 LTE-A 中的无线中继技术	262	7.5.1 小区搜索	302
小结	265	7.5.2 随机接入过程	304
练习题	266	7.5.3 寻呼	307
第 7 章 LTE 移动通信系统	267	7.5.4 跟踪区域更新	308
7.1 概述	267	小结	309
7.2 LTE 的系统结构	270	练习题	310
7.2.1 LTE/SAE 的网络结构	270	参考文献	312

第三代移动通信（简称 3G）技术已在许多国家和地区得到广泛应用，我国于 2013 年年底正式发布第四代移动通信许可，第五代移动通信的标准化工作已经启动。本章主要内容如下。

- 移动通信的标准化组织
- 移动通信技术标准
- 第三代移动通信系统的频谱分配
- 第三代移动通信系统的业务特点
- 第三代移动通信的演进（4G）
- 第五代移动通信

1.1 移动通信的标准化

1.1.1 第三代移动通信标准化组织

第三代移动通信系统（The Third Generation Mobile Communication），又被国际电信联盟（International Telecommunication Union, ITU）称为 IMT-2000，意指在 2000 年左右开始商用并工作在 2 000MHz 频段上的国际移动通信系统。IMT-2000 的标准化工作开始于 1985 年。第三代移动通信标准规范具体由第三代移动通信合作伙伴项目（3G Partnership Project, 3GPP）和第三代移动通信合作伙伴项目二（3G Partnership Project 2, 3GPP2）分别负责。3GPP 作为国际移动通信行业的主要标准组织，完成了第四代移动通信（简称 4G）的标准化工作，并承担第五代移动通信（简称 5G）国际标准技术内容的制定工作。

1. 第三代移动通信的目标

- ① 全球统一频谱、标准，实现全球无缝漫游。
- ② 更高的频谱效率，更低的建设成本。
- ③ 能提供较高的服务质量和保密性能。
- ④ 能提供足够的系统容量，方便 2G 系统的过渡和演进。
- ⑤ 能提供多种业务，适应多种环境。快速移动环境中最高传输速率可达 144kbit/s，室外到室内或步行环境中最高传输速率达到 384kbit/s，室内环境中最高传输速率达到 2Mbit/s。

2. 第三代移动通信的特征

相比于第二代移动通信，第三代移动通信具有如下特征。

- ① 3G 系统具有大容量语音、高速数据和图像传输的能力。IMT-2000 提供给用户的基本服务包括高质量的语音传输、消息服务、多媒体业务、Internet 访问、Web 浏览、视频会议和移动商务等。

- ② 3G 系统可以基于第二代移动通信系统平滑过渡和演进。
- ③ 3G 系统采用了新的通信技术。3G 系统普遍采用了无线宽带传输、复杂的编解码方案、高阶的调制解调算法、功率控制技术、新的切换算法、智能天线、分集技术等。

3. 第三代移动通信的标准化组织

(1) 3GPP

① 3GPP 的组织机构。第三代移动通信合作伙伴项目 (3GPP) 是由欧洲电信标准化协会 (ETSI)、日本无线工业及商贸联合会 (ARIB)、日本电信技术委员会 (TTC)、韩国电信技术协会 (TTA) 以及美国电信标准委员会 (T1) 等标准化组织在 1998 年底发起成立的, 1998 年 12 月正式成立。中国无线通信标准化组织 (China Wireless Telecommunication Standard Group, CWTS) 于 1999 年在韩国正式签字加入 3GPP, 成为 3GPP 的组织伙伴。

为了确保 3GPP 的高效运转, 3GPP 建立了 4 个不同的技术规范组 (Technical Specification Group, TSG), 分别为核心网络和终端、业务和系统、无线接入网、GSM/EDGE 无线接入网, 每组又被分为不同的工作组。3GPP 的组织机构如图 1-1 所示。

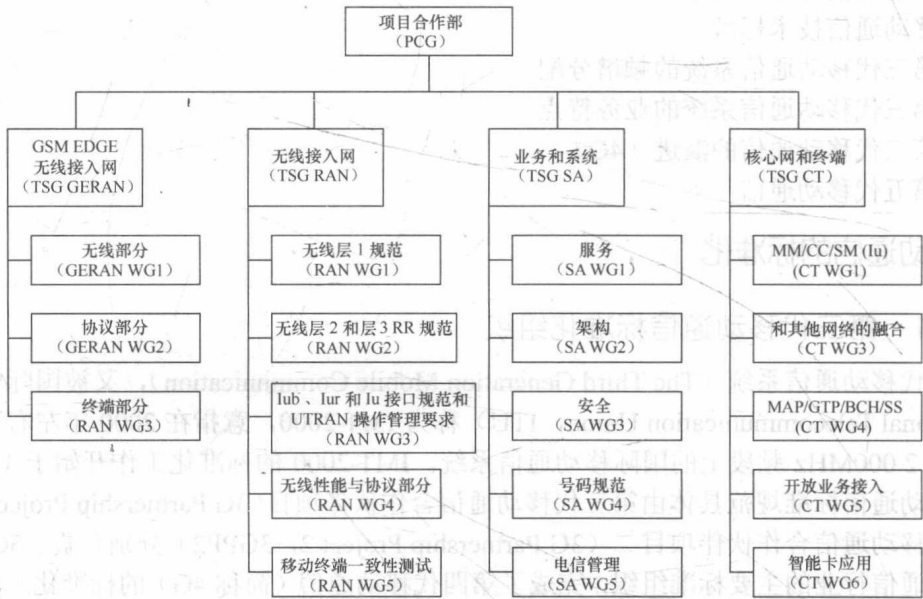


图 1-1 3GPP 组织机构

② 3GPP 工作。3GPP 的主要工作是研究制定并推广基于演进的 GSM 核心网络的 3G 标准, 即制定以 GSM 移动应用部分 (GSM Mobile Application Part, GSM MAP) 为核心网, 通用陆地无线接入 (Universal Terrestrial Radio Access, UTRA) 为无线接口的标准。

2000 年, 有关 GSM 的标准工作从 ETSI 和其他组织正式转到 3GPP 组织, 成立了 TSG GREAN 工作组, 负责通用分组无线服务技术 (General Packet Radio Service, GPRS) 和增强型数据率 GSM 演进技术 (Enhanced Data Rate for GSM Evolution, EDGE) 的标准化工作。

TSG RAN 的工作就是制定 UTRA 空中接口规范, 5 个不同的工作组分别负责 UTRA 空中接口不同方面的标准化工作。该工作组除了负责制定 WCDMA 标准外, TD-SCDMA, HSPA 等的标准化工作也在 TSG RAN 中完成。

3GPP 制定了 WCDMA, CDMA-TDD (含 TD-SCDMA 和 UTRA-TDD, 其中 TD-SCDMA 标准由中国提出), EDGE 等具有 3G 特征的标准。3GPP 的 3G 标准目前有多个版本, 包括 R99, R4, R5, R6, R7, R8 等有关标准。

3GPP 的 R8 标准中推出了长期演进（Long Term Evolution，LTE）移动通信系统的第一版，在 R9 对 LTE 标准进行局部增强。LTE-A 的第一个版本 R10 已被 ITU 接纳为 4G 国际标准。之后 LTE-A 又相继形成 R11，R12 2 个演进版本，R13 阶段已经启动，将继续向提升网络容量、增强业务能力、更灵活使用频谱等方面发展。

(2) 3GPP2

① 3GPP2 的组织。第三代移动通信合作伙伴项目二（3GPP2）由美国独立电话联盟委员会（TIA）、日本 ARIB 和 TTC、韩国 TTA 等 4 个标准化组织发起，1999 年 1 月正式成立。CWTS 于 1999 年 6 月在韩国正式签字加入 3GPP2，成为 3GPP2 的组织伙伴，在此之前，我国是以观察员的身份参与 3GPP2 的标准化活动。3GPP2 的组织机构如图 1-2 所示。



图 1-2 3GPP2 组织机构

② 3GPP2 工作。3GPP2 的主要工作是制定以 ANSI/IS-41 为核心网、cdma2000 为无线接口的 3G 标准。ANSI（American National Standards Institute）是美国国家标准学会，IS-41 协议是码分多址（Code Division Multiple, Access, CDMA）第二代数字蜂窝移动通信系统的核心网移动性管理协议。3GPP2 的标准化工作受到拥有多项 CDMA 关键技术专利的高通公司的较多支持。3GPP2 的标准化演进采用和 3GPP 类似的演进路径，面向数据通信的方向演进。

3GPP2 已制定了 cdma2000 标准，已发布 R0，RA，RB，RC，RD 等标准。LTE 提供了与 3GPP2 开发系统的互操作功能，允许使用 3GPP2 系统的网络运营商平滑向 LTE 演进。

1.1.2 第三代移动通信技术标准

1. 第三代移动通信标准的提出

第三代移动通信标准通常指无线接口的无线传输技术标准。截至 1998 年 6 月 30 日，提交到 ITU 的陆地第三代移动通信无线传输技术标准共有 10 种。ITU 延续了在 多址接入方面以 CDMA 为主，辅 以时分多址（Time Division Multiple Access，TDMA）或者两者相结合的策略，1999 年 11 月 5 日在芬兰赫尔辛基召开的 ITU TG8/1 第 18 次会议上最终确定了 5 种技术标准作为第三代移动通信的基础，见表 1-1。

表 1-1 IMT-2000 无线接口的 5 种技术标准

多址接入技术	正式名称	习惯称呼
CDMA	IMT-2000 CDMA-DS	WCDMA
	IMT-2000 CDMA-MC	cdma2000
	IMT-2000 CDMA-TDD	TD-SCDMA/UTRA-TDD
TDMA	IMT-2000 TDMA-SC	UWC-136
	IMT-2000 TDMA-MC	EP-DECT

采用 CDMA 接入技术的 3 种候选方案成为第三代移动通信的主流标准。3 种主流标准的工作方式分别为频分双工-直扩（FDD-DS）、频分双工-多载波（FDD-MC）和时分双工（TDD），对应的标准分别为 WCDMA，cdma2000 和 TD-SCDMA/UTRA-TDD。

(1) IMT-2000 CDMA-DS

IMT-2000 CDMA-DS 又称宽带码分多址（Wide band CDMA，WCDMA）。WCDMA 的核心网基于演进的 GSM/GPRS 网络技术，空中接口采用 DS-CDMA 多址方式。

WCDMA 技术可在同一个载频内对同一用户同时支持语音、数据和多媒体业务；基站收发信机之间可以不用全球定位系统（Global Positioning System，GPS）同步；优化的分组数据传输方式；支持不同载频之间的切换；上、下行快速功率控制；反向采用导频辅助的相干检测技术，解决了 CDMA 中反向信道容量受限的问题；还采用了自适应天线、多用户检测、分集接收和分层小区结构等技术。

(2) IMT-2000 CDMA-MC

IMT-2000 CDMA-MC 又称 cdma2000。cdma2000 是基于 IS-95 标准的各种 CDMA 制造厂家的产品和不同运营商的网络构成的一个家族概念，从 IS-95 演进而来的 cdma2000 标准是一个体系结构，称为 cdma2000 家族，它包含一系列子标准，经过融合后含多载波（Multi-Carrier，MC）方式，即单载波（1x）、三载波（3x）等方式。

cdma2000 可支持语音、分组和数据等业务，并且可实现 QoS 的协商。cdma2000 沿用了 IS-95 的主要技术和基本技术思路，如帧长为 20ms、软切换和功率控制技术、需要 GPS 同步等，同时也在提高性能和容量上做了一些实质性的改进。

(3) IMT-2000 CDMA-TDD

IMT-2000 CDMA-TDD 目前包括低码片速率 TD-SCDMA 和高码片速率 UTRA-TDD 2 个技术。TD-SCDMA（Time Division Synchronous CDMA）采用时分-同步码分多址技术。UTRA-TDD 采用通用陆地无线接入-时分双工技术。TD-SCDMA 是中国提出的国际标准，目前已经在我国国内建网，而 UTRA-TDD 标准制定现在已处于停顿状态，所以通常提到 IMT-2000 CDMA-TDD 即指 TD-SCDMA。

TD-SCDMA 采用时分双工（TDD）技术，频谱分配上更加容易；由于时隙等资源的灵活调配，在提供上、下行非对称的高速数据传输方面有很大的优势。TD-SCDMA 系统上、下行使用相同频率，上、下行链路的传播特性相同，易于引入智能天线、多用户检测等新技术，有利于提高无线频谱利用率。

2. 3 大主流技术标准性能对比

3G 的 3 大主流技术的网络基础、核心网、空中接口、码片速率、载频间隔、扩频方式、同步和功控速度等主要技术特点见表 1-2。

表 1-2 3G 的主流标准性能对比

标准 性能指标	WCDMA	cdma2000	TD-SCDMA
核心网	GSM MAP	ANSI-41	GSM MAP
带宽	5MHz	1.25MHz	1.6MHz
多址方式	CDMA	CDMA	CDMA/TDMA
码片速率	3.84Mchip/s	1.228 8Mchip/s	1.28Mchip/s
双工方式	FDD/TDD	FDD	TDD
帧长	10ms/15 时隙/帧	5, 10, 20, 40, 80ms/16 时隙/帧	5×2ms/7×2 时隙/2 子帧/帧
语音编码	自适应多速率语音编码器（AMR）	可变速率声码器 IS-773, IS-127	自适应多速率语音编码器（AMR）

续表

标准 性能指标	WCDMA	cdma2000	TD-SCDMA
信道编码	卷积码和 Turbo 码	卷积码和 Turbo 码	卷积码和 Turbo 码
信道化码	前向 OVSF, 扩频因子 512~4 反向 OVSF, 扩频因子 256~4	前向, Walsh 和长码 反向, Walsh 和准正交码	OVSF, 扩频因子 16~1
扰码	前向: 18 位 GOLD 码 反向: 24 位 GOLD 码	长码和短 PN 码	长度固定为 16 的伪随机码
功率控制	开环+闭环	开环+闭环	开环+闭环
切换	软切换	软切换	接力切换
导频结构	上行专用导频 下行公共或专用导频	上行专用导频 下行公共或专用导频	下行公共导频 DwPTS 上行同步 UpPTS
基站同步	同步/异步	GPS 同步	同步

1.1.3 移动通信标准化进程

移动通信标准的制定主要由 2 个标准化组织 3GPP 和 3GPP2 负责。移动通信标准依靠不断增加新特性来增加自身的竞争力,使用并行版本体制。下面按照移动通信标准技术规范的不同版本,介绍移动通信 3G, 4G, 5G 的标准化进程。

1. 3GPP 技术规范的版本划分

(1) R99 版本

R99 版本的功能于 2000 年 3 月份确定,是 3GPP 制定完成的第一个 3G 正式版本,有时称为 UMTS 标准,后续版本不再以年份命名。

R99 版本的主要特征是在网络结构上继承了 2G 系统的 GSM/GPRS 核心网结构。R99 版本的电路域与 GSM 完全兼容,分组域采用了基于服务 GPRS 支撑节点(Serving GPRS Support Node, SGSN)和网关 GPRS 支撑节点(Gateway GPRS Support Node, GGSN)的网络结构。与 GPRS 不同的是,R99 版本扩大了系统带宽,增加了服务等级的概念,提高了分组域的业务质量保证能力。

R99 引入了全新的 UMTS 陆地无线接入网(UMTS Terrestrial Radio Access Network, UTRAN)概念,定义了全新的 WCDMA 技术,采用了功率控制、软切换等 CDMA 关键技术。基站只实现基带处理和扩频操作,接入系统由 RNC 统一管理,引入了适于分组数据传输的协议和机制,数据速率支持 144kbit/s, 384kbit/s,理论上峰值速率可达 2Mbit/s。基站和 RNC 之间的 Iub 接口基于异步传输模式(ATM)实现,RNC 和核心网的电路交换(CS)域之间的 Iu-CS 接口、与分组交换(PS)域之间的 Iu-PS 接口则分别通过基于 ATM 自适应层类型 2(ATM AAL2)和基于 ATM 自适应层类型 5(ATM AAL5)完成。

(2) R4 版本

R4 版本功能于 2001 年 3 月确定。与 R99 版本相比,R4 版本在无线接入网络结构方面无明显变化,重要的改变是在核心网电路域方面,此外增加了一些接口协议的增强功能和特性。

R4 版本在电路域完全体现了下一代网络(Next Generation Network, NGN)的体系构架思想,引入了软交换的概念,实现了控制和承载分离。核心网的电路交换域被分成控制层和

承载层 2 层, 控制层负责呼叫的建立、进程的管理和计费等功能, 承载层主要用来传输用户的数据。由于分层结构的引入, 可以采用新的承载技术 (如 ATM 和 IP) 来传输电路域的语音和信令。由于分组交换域的传输也是建立在 ATM 或 IP 网络上, 因而运营商可以用同一个网络来传输所有业务。

R4 版本与 R99 版本相比, 增加了低码片速率的 TDD 模式, 即 TD-SCDMA 系统的空中接口标准。

(3) R5 版本

R5 版本功能于 2002 年 6 月份确定。R5 版本在无线接入网方面做了如下改进。

① 提出高速下行分组接入 (High Speed Downlink Packet Access, HSDPA) 技术, 使下行数据理论峰值速率可达 14.4Mbit/s。

② Iu, Iur, Iub 接口增加了基于 IP 的可选择传输方式, 保证无线接入网能实现全 IP 化。

③ R5 版本在核心网 (Core Network, CN) 方面, 在 R4 基础上增加了 IP 多媒体子系统 (IP Multimedia Subsystem, IMS), 完成了 IMS 子系统基本功能的描述。

IMS 是在基于 IP 的 PS 域的基础上构架的, IMS 控制平面信令采用基于 IP 的 SIP 信令。具有 IMS 功能的移动终端由 WCDMA 接入网 (或其他无线接入网) 接入网络, IMS 引发的数据传输直接由 GGSN 连接到外部应用服务器或数据网。R5 版本中 IMS 的引入, 为开展基于 IP 技术的多媒体业务创造了条件。R5 主要提供端到端的 IP 多媒体业务, 新增加了支持 SIP 业务的功能, 如 IP 语音 (Voice over IP, VoIP)、即时消息、多媒体信息业务 (Multimedia Messaging Service, MMS)、在线游戏以及多媒体邮件等。

(4) R6 版本

R6 版本功能于 2004 年 12 月确定。与 R5 版本相比, R6 版本的网络结构没有太大的变动, 主要是对已有功能的增强, 增加了一些新的功能特性。R6 研究的主要内容如下。

① PS 域与承载无关的网络框架, 研究是否在分组域也实行控制和承载的分离, 将 SGSN 和 GGSN 分为 GSN Server 和媒体网关的形式。

② 在网络互操作方面, 研究 IMS 与 PLMN/PSTN/ISDN 等网络的互操作, 以实现 IMS 与其他网络的互连互通; 研究无线局域网—通用移动通信系统 (WLAN-UMTS) 互通, 保证用户使用不同的接入方式时切换不中断业务。

③ 在业务方面, 研究包括多媒体广播/多播业务 (Multimedia Broadcast and Multicast Service, MBMS)、Push 业务、Presence、PoC (Push-To-Talk over Cellular) 业务、网上聊天业务及数字权限管理等。

④ 无线接入方面采用的新技术有正交频分复用调制 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 技术、多天线技术 (Multiple-Input Multiple-Output, MIMO)、高阶调制技术和新的信道编码方案等, OFDM 和 MIMO 也是后 3G 的重点技术。

⑤ 引入用于提高上行分组域的数据速率的 HSUPA 技术, 理论峰值数据速率可达 5.76Mbit/s; R6 的 HSDPA 技术, 理论峰值数据速率可达 30Mbit/s。

(5) R7 版本

R7 版本除了完成一些 R6 版本未完成的工作 (如 MIMO 技术的标准化) 外, 又增加了一些新的功能特性, 或对已有的功能特性进行增强。另外, R7 版本中还花费大量精力开展了 LTE 的可行性研究和 HSPA 演进的研究。在 R7 版本中研究和标准化的主要内容包括以下方面。

① 无线接入方面新技术的研究, 包括干扰消除技术、下行符号周期减小和高阶调制、延迟降低技术, 用于 HSDPA 的 MIMO 技术, 采用 OFDM 增强 HSDPA 和 HSUPA 的可行性

研究。

② 与 IMS 应用相关的研究, 包括通过 CS 域承载 IMS 话音, 支持 IMS 紧急呼叫, 通过 IMS 支持电话会议组与信息组管理, 为实时通信增强和优化 IMS, 基于 WLAN 的 IMS 话音与 GSM 网络的电路域的互通等。

③ 业务的增强, 包括位置业务的增强, 在通用 3GPP IP 接入系统中支持短信息业务 (SMS) 和多媒体信息业务 (MMS), MBMS 增强可视电话 (Video Telephony) 业务研究等。

④ LTE 的可行性研究。

⑤ FDD HSPA 演进工作范围研究。

⑥ 引入了先进全球导航卫星系统 (Advanced Global Navigation Satellite System, AGNSS) 的概念, 分析了辅助 GPS (Assisted GPS, AGPS) 的最小性能。

(6) R8 版本

R8 版本中开展了 2 项非常重要的演进标准化项目——LTE 和 SAE。SAE 指 3G 系统架构的演进。在完成 LTE 和 SAE 规范制定的同时, R8 还进行了一系列其他的增强和完善工作。在 R8 版本中研究和标准化的主要内容包括以下方面。

① 3G 长期演进 (LTE) 和 3G 系统架构演进 (SAE)。

② 3G 家庭结点 B (Home Node B) 与家庭演进型结点 B (Home eNode B)。

③ 网络互通方面, 包括 LTE 和 3GPP2、移动全球微波互联接入 (WiMAX) 系统之间改进的网络控制移动性研究, 3GPP WLAN 和 3GPP LTE 之间互操作和移动性的可行性研究, GERAN 侧对 GERAN/LTE 互操作的支持, 针对 Home Node B 与自组织网络 (Self Organizing Network, SON) 相关的 O&M 接口, GSM 和 UMTS 系统中的机器间通信等。

④ 业务方面包括基于短信服务 (SMS) 的增值业务, 地震与海啸报警系统, IP 多媒体子系统 (IMS) 多媒体电话与补充业务等。

(7) R9 版本

R9 版本研究和标准化工作主要包括以下内容。

① 网络互通方面包括对移动网络和 WLAN 之间的无缝漫游和业务连续性的需求研究; 对 WiMAX/LTE 移动性的支持; 对 WiMAX/UMTS 移动性的支持。

② 业务方面包括对 IMS 紧急呼叫的扩展性的支持, 对 GPRS 和演进的分组系统 (Evolved Packet System, EPS) 中 IMS 紧急呼叫的支持, 对 EPS 中增强话音业务的需求研究。

③ Home Node B 和 Home eNode B 安全性的研究。

④ LTE-ADVANCED 的研究等。

(8) R10 版本

R10 版本的 LTE-A 标准支持 100MHz 带宽, 峰值速率超过 1Gbit/s, 于 2010 年 9 月被 ITU 正式接受为 IMT-Advanced (4G) 国际标准。R10 是 LTE-A 第一个版本, 引入了载波聚合、中继 Relay 技术、异构网干扰消除等技术, 并在 LTE 技术上增强了多天线技术, 进一步提升了系统性能, 最大支持 100MHz 带宽, 支持 8×8 天线配置, 系统峰值吞吐量提高到 1Gbit/s 以上。其标准化工作于 2011 年 3 月完成。

(9) R11 版本

R11 版本在 R10 版本基础上进一步支持了协作多点传输 CoMP 技术, 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吞吐量, 特别是小区边缘用户的吞吐量。同时, 设计了新的控制信道, 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干扰。通过对载波聚合技术的增强, 支持了时隙配置不同的多个 TDD 载波间的聚合。

(10) R12 版本

R12 版本是 LTE-A 最新版本, 主要标准化工作已完成。R12 版本针对室内外热点等场景进行了优化, 称为 Small Cell, 国内称为 LTE-Hi 或小小小区增强。LTE-Hi 技术可以提升系统频谱效率和运维效率, 采用的关键技术包括更高阶调制 (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 动态时隙配置等。R12 还进一步优化了多天线技术, 包括下行四天线传输技术增强、小区间多点协作技术增强等, 并研究了二维多天线的传播信道模型, 为后续垂直赋形和全维 MIMO 传输技术研究做了准备。R12 还支持了终端间直接通信, 可以利用终端间高质量通信链路, 提升系统性能。

(11) R13 版本

R13 版本刚刚启动, 将继续向提升网络容量、增强业务能力、更灵活使用频谱等方面发展。目前, 已确定 R13 将开展垂直赋形和全维 MIMO 传输技术、LTE 许可频谱辅助接入 (LAA)、面向低成本低功耗广覆盖物联网优化等技术的研究和标准化工作。

2. 3GPP2 技术规范的发展历程

cdma2000 相关标准主要由 3GPP2 制定。cdma2000 标准体系主要分为无线网和核心网两大部分, 无线网与核心网技术的演进是分阶段、各自独立进行的, 而 WCDMA/TD-SCDMA 的演进则是无线网和核心网同时进行的。3GPP2 制定的标准侧重于无线技术, 3GPP 制定的标准则包括无线侧和核心侧。

(1) cdma2000 无线技术的发展历程

CDMA 系统的无线接口经历了 IS-95, IS-95A, IS-95B, cdma2000, cdma2000 1xEV-DO 和 cdma2000 1xEV-DV 几个发展阶段。第一个大规模进入商用的版本是 IS-95A。IS-95A 的先进性和成熟性经过了时间的充分检验, 直到现在, 该系统仍然在广泛使用。

① cdma2000 1x 是 cdma2000 移动通信系统发展的第一阶段, 对应 cdma2000 标准的 Rev.0, Rev.A, Rev.B 协议版本。

a. Rev.0 版本于 1999 年 6 月制定完成, 提出的 cdma2000 1x 标准与 IS-95 标准后向兼容, 使用了 IS-95B 的开销信道, 增加了新的业务信道和补充信道。cdma2000 1x 系统中, 语音和低速数据业务在基本信道 (FCH) 上传输, 高速数据业务在补充信道 (SCH) 上传输。

b. Rev.A 版本于 2000 年 3 月由 3GPP2 制定完成, 增加了新的开销信道和相应信令。

c. Rev.B 版本于 2002 年 4 月由 3GPP2 制定完成, 增加了补救信道, 提供了保持连接的能力。

② cdma2000 1xEV-DO 技术起源于美国 Qualcomm 公司提出的高速率数据 (High Data Rate, HDR) 技术。2000 年 3 月, 3GPP2 专门成立了 HDR 工作组并开始标准化工作。2000 年 10 月, cdma2000 1xEV-DO 获得通过, 标准编号 C.S0024, 在 TIA/EIA 标准中编号为 IS-856。2001 年 12 月, cdma2000 1xEV-DO 作为 cdma2000 家族的一个分支被吸收为 IMT-2000 标准之一。3GPP2 已完成的 cdma2000 1xEV-DO 标准对应 HDR Rev.0 和 Rev.A 协议版本。

a. Rev.0 通过采用新技术, 前、反向数据速率均有较大提升。

b. Rev.A 在 Rev.0 的基础上, 增强了反向数据速率, 提高了系统吞吐量。

③ cdma2000 1xEV-DV 综合了 cdma2000 1x 和 cdma2000 1xEV-DO 的优点, 对应 Rev.C 和 Rev.D 协议版本。

a. Rev.C 版本于 2002 年 5 月由 3GPP2 制定完成, 主要解决和增强了 cdma2000 1xEV-DV 前向链路的功能。

b. Rev.D 版本于 2004 年 3 月由 3GPP2 制定完成,主要解决和增强了 cdma2000 1xEV-DV 反向链路的功能。

(2) cdma2000 核心网发展历程

cdma2000 的核心网架构是基于 3GPP2 制定的全 IP 网络架构。全 IP 网络的演进共分为 4 个阶段。

① 阶段 0 基于传统的电路模式,核心网标准为 ANSI-41。

② 阶段 1 是向全 IP 网络演进过程中的增强型网络,分组网络能力扩大,接入网和分组网络信令和承载开始分离,信令用 IP 进行传输。

③ 阶段 2 引入软交换思想,信令和承载开始独立演变并采用 IP 进行传输,核心网和接入网也开始分离。引入了传统 MS 域 (Legacy MS Domain, LMSD) 概念,在 IP 核心网中支持传统的终端,以及多媒体域 IMS 的一些实体。

④ 阶段 3 也称为多媒体域,包括分组数据子系统 (PDS) 和 IP 多媒体子系统 (IMS),目前正在研究。实现全 IP 网络及空中接口 IP 化是移动网络的最终目标。

1.2 第三代移动通信频谱分配

国际电信联盟对第三代移动通信系统划分了 230MHz 频带,即上行 1 885~2 025MHz、下行 2 110~2 200MHz。其中 1 980~2 010MHz 和 2 170~2 200MHz 用于移动卫星业务 (Mobile Satellite Service, MSS),其他频段上、下行不对称,考虑可采用 FDD 和 TDD 双工方式,此种频谱安排在 WRC1992 会议上通过。2000 年在 WRC2000 大会上,在 WRC 1992 基础上又批准了 519MHz 附加频段,即 806~960MHz,1 710~1 885MHz,2 500~2 690MHz,第三代移动通信系统频谱安排如图 1-3 所示。

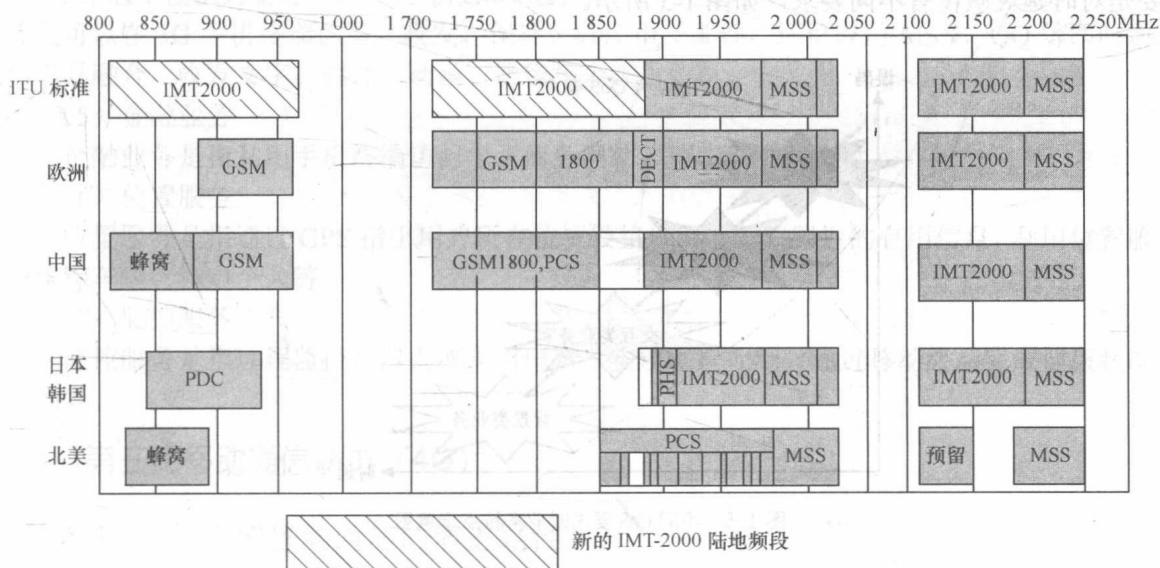


图 1-3 WRC2000 频谱安排

我国信息产业部在 2002 年 10 月公布了中国 3G 的频谱分配方案,如图 1-4 所示,其中 TDD 方式分配了 155MHz。

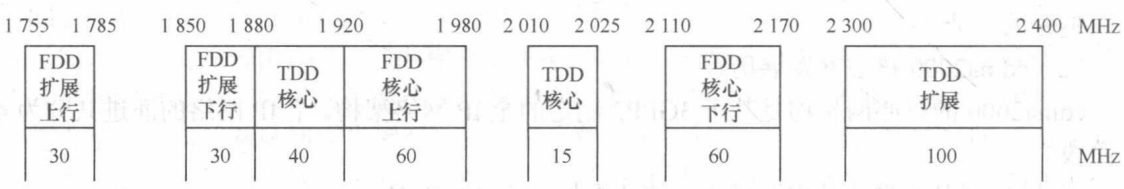


图 1-4 中国第三代移动通信系统频谱安排

1.3 第三代移动通信业务

第三代移动通信（3G）业务可以从不同的角度进行不同的分类，不同分类所属的各种业务可以是相互交叠的。基于 GSM 网络和固定网络数据业务的分类，UMTS 论坛将 3G 业务分为 6 类，即移动 Internet 接入、定制信息和娱乐业务、多媒体短消息业务、基于位置的业务、移动 Internet/Extranet 接入业务和增强语音（含可视电话服务）；按照应用层 QoS 的业务分类，3GPP 定义了 4 种基本业务类型，即会话类业务、流媒体业务、交互类业务和背景类业务；按照媒体的表现形式，3G 业务可以分为文本业务、视频业务和多媒体业务。下面根据应用层 QoS 的业务和用户体验来分类介绍 3G 业务。

1. 根据应用层 QoS 的 3G 业务分类

QoS 在 Internet 工程任务组（The Internet Engineering Task Force, IETF）中定义为网络在传输数据流要满足的一系列服务请求，具体可以量化为传输时延、抖动、丢失率、带宽要求、吞吐量等指标。IETF 是松散的、自律的、志愿的民间学术组织，成立于 1985 年底，其主要任务是负责 Internet 相关技术规范的研发和制定。

按照应用层 QoS 的业务分类，3GPP 定义了 4 种基本业务类型，各种业务类型的区别主要是对时延灵敏度有不同要求，如图 1-5 所示。

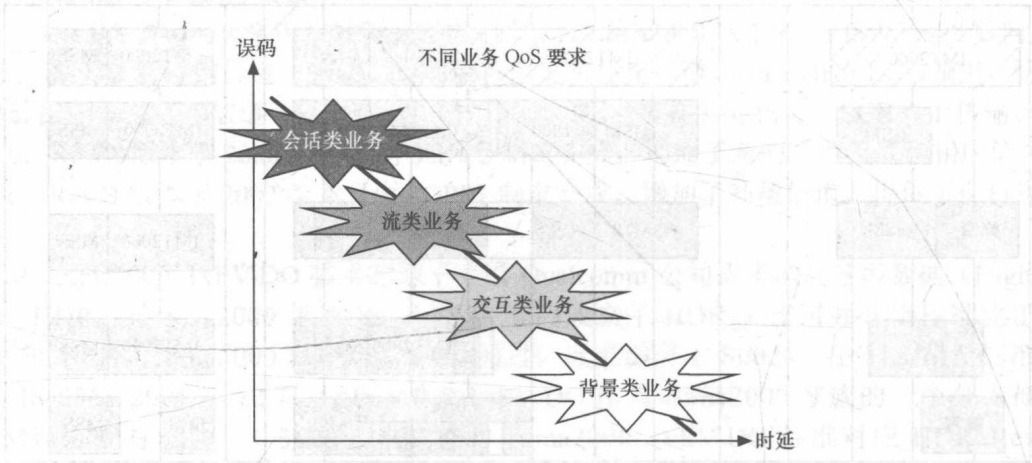


图 1-5 不同 QoS 要求时业务特点示意图

(1) 会话类业务

会话类业务可以认为是对称的或近似对称的，对端到端的延时要求比较严格，通常由电路域 CS 承载。例如对于语音业务通常要求时延最大不能超过 400ms。

(2) 流类业务

流类业务与会话类业务相比，区别在于对端到端的延时要求降低。流类业务对呼叫等待