

TD-LTE无线网络 优化与应用

郭宝 张阳 李冶文 编著

- 从现网实际问题出发，介绍TD-LTE相关背景技术引入初期的设计与规划思路
从网络优化工程师的角度，阐述优化方法论在实际网络优化过程中的应用及效果
专注于TD-LTE网络的优化与应用，阐述提升网络质量的方法及实施中的诸多思考
拓展传统优化的范畴，对现有的234G网络协同优化进行深入细致的分析



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪移动通信技术丛书

TD-LTE 无线网络优化与应用

郭 宝 张 阳 李冶文 编著



机械工业出版社

本书从无线网络优化工程师的角度介绍了 TD-LTE 系统理论知识、网络结构以及 TD-LTE 系统中的关键技术;介绍了 TD-LTE 物理层,上下行物理信道及信号,详细阐述了 TD-LTE 系统各类信令流程、各类无线参数及厂家私有参数,并介绍了 TD-LTE 系统中功率控制、无线资源管理的过程;最后运用优化方法论对实际网络优化工作进行了深入研究,列举出日常优化阶段的多个专题优化思路,每个专题优化都配备相关的案例分析,并根据目前中国移动面临的 2G/3G/4G 互操作问题进行了深入细致的分析,对当前 iPhone 终端必须用到的语音回落技术进行了重点阐述。本书对 TD-LTE 系统演进起到知识过渡的作用。系统地学习本书内容必然会更快地熟悉 TD-LTE 系统。

本书面对希望系统学习 TD-LTE 理论知识的学生、工程师,从事 TD-LTE 无线网络监控、维护、优化的工程师,以及开拓基于 TD-LTE 市场营销的客户经理,也可供高等院校通信、计算机、电子和信息类专业的本科生及研究生参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

TD-LTE 无线网络优化与应用/郭宝,张阳,李治文编著. —北京:机械工业出版社,2014.8

(21 世纪移动通信技术丛书)

ISBN 978-7-111-48040-2

I. ①T… II. ①郭… ②张… ③李… III. ①码分多址移动通信-通信技术 IV. ①TN929.533

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 219120 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:李馨馨 崔利平 责任校对:张艳霞

责任印制:乔宇

唐山丰电印务有限公司印刷

2014 年 11 月第 1 版·第 1 次

184mm×260mm·16.25 印张·402 千字

0001-3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-48040-2

定价:49.00 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

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书专注于 TD-LTE 网络的优化与应用,在介绍 TD-LTE 无线网络原理的基础上,对网络规划、优化工作中遇到的问题,以及解决的方法进行了详细阐述,对规划、优化、信令、参数、2G/3G/4G 互操作同样进行了详实的阐述,并对涉及的专题分析都给出来自现场网络的实际优化案例,以便读者加深理解。书中特有的指标及信令分析详细阐述了通信过程所涉及的信令,并在优化专题部分详细分析了如何使用性能指标来支撑优化分析。

与已面市的同类书籍明显不同的是,本书从无线优化工程师的角度,以实际应用为主,对涉及的理论知识及推导过程介绍较少。在整体架构上突出了优化方法论在实际网络优化过程中的应用,本书章节安排体现了优化工作的关联,如信令、参数与专题优化的关联,甚至多网之间的协同优化。

本书第 1 章介绍了 TD-LTE 系统理论知识和 TD-LTE 的发展历程与关键技术。第 2~8 章介绍了 TD-LTE 网络物理层、信令流程、无线参数、移动性管理、功率控制与无线资源管理,重点介绍了 TD-LTE 网络优化过程中所用到的信令流程与无线参数等,使用优化方法论对现网优化工作进行了深入分析。第 9 章为 TD-LTE 系统专题优化,对覆盖、干扰、切换、语音保持等专题分别进行了细致的分析,每个专题优化都配备实际的优化案例分析。在 TD-LTE 无线参数优化章节,详细介绍了定时器和计数器、基本无线参数、小区覆盖功率类参数、小区接入类参数、小区选择/重选参数、寻呼类参数、小区切换参数、功率控制参数等,最后的 2G/3G/4G 互操作部分对中国移动当前使用的 2G/3G/4G 网络进行了整体分析,既考虑了 2G 网络的覆盖优势,又兼顾了 4G 网络的速率优势,对 iPhone 终端必须使用的语音回落技术 CSFB 也进行了详细的阐述,并根据实地优化经验,总结了 CSFB 优化中遇到的典型问题及解决办法。

在本书的编撰过程中,郭宝负责编写第 1~3 章及第 9、10 章,张阳负责编写第 5~7 章,李冶文负责编写第 8 章并把控全书的整体架构。

参加本书编校工作的还有中国移动集团网络部的阮征,研究院的徐晓东,设计院的王西点、王磊、程楠、徐晶、沈鹭、董江波、孙浩、王砚、姜涛、谢礼鑫、孙述鹏、王天石、王涛、刘锐、周鹏、王康、刘娜、韩云波,广东公司的刘少聪、刘大洋、冯绍濠、毛燕军,浙江公司的王国治、陆清清,上海公司的顾安、谢玉铭,福建公司的赵飞龙、黄冰、王希,江苏公司的郑康、郑英、仇勇,张建奎,山东公司的王治国、刘毅,陕西公司的王晓琦等。此外,中兴通讯的陈波、弥岳峰和华为公司的赵智琳对本书的出版也给予了大力支持。

由于 TD-LTE 系统建设优化时间并不长,优化经验相对不足,书中难免存在不妥之处,请读者原谅,并提出宝贵意见。意见及建议请发送至: sunaik@139.com。

编 者

目 录

前言

第1章 TD-LTE 系统概述	1
1.1 TD-LTE 系统技术特点	1
1.1.1 TD-LTE 系统主要技术特点	1
1.1.2 TD-LTE 与 FDD-LTE 系统的区别	1
1.2 TD-LTE 网络结构	3
1.2.1 S1、X2 接口协议栈	4
1.2.2 空中接口协议栈	5
1.3 TD-LTE 关键技术	6
1.3.1 正交频分多址接入	6
1.3.2 多天线技术	8
第2章 TD-LTE 无线网络物理层	12
2.1 TD-LTE 物理层	12
2.1.1 TD-LTE 无线帧结构	12
2.1.2 TD-LTE 无线帧及特殊子帧	13
2.1.3 TD-LTE 资源块	15
2.2 物理层信道及信号	16
2.2.1 TD-LTE 逻辑信道与传输信道	16
2.2.2 TD-LTE 上行物理信道及参考信号	18
2.2.3 TD-LTE 下行物理信道及参考信号	20
2.2.4 物理信道与传输信道之间的映射关系	29
2.3 物理信道处理流程	30
2.3.1 信道编码	30
2.3.2 层映射与预编码过程	31
2.3.3 资源映射与调度	32
2.3.4 自适应调制编码	35
2.4 同步过程	36
2.4.1 小区搜索	37
2.4.2 同步信号	37
2.4.3 小区搜索总结	40
第3章 TD-LTE 信令流程	41
3.1 开机附着流程	41
3.1.1 开机附着	41
3.1.2 附着流程中的异常	43

3.2	小区搜索及读取广播消息	45
3.2.1	MIB 消息读取	46
3.2.2	SI 解析	47
3.2.3	SIB type1 消息解析	50
3.3	RRC 连接建立	51
3.3.1	RRC 连接建立成功	52
3.3.2	RRC 连接重建失败	53
3.3.3	RRC 连接重配置过程	54
3.4	业务请求流程	54
3.4.1	业务请求正常流程	54
3.4.2	业务请求异常流程	56
3.5	专用承载建立及修改流程	56
3.5.1	专用承载建立流程	56
3.5.2	专用承载建立异常流程	57
3.5.3	专用承载修改流程	61
3.5.4	专用承载释放流程	63
3.6	去附着流程	65
3.6.1	关机去附着流程	65
3.6.2	非关机去附着流程	65
3.6.3	空口信令流程	67
第4章	TD-LTE 系统移动性管理	69
4.1	空闲态的移动性管理	70
4.1.1	小区选择	71
4.1.2	邻区优先级	72
4.1.3	邻区测量	73
4.1.4	同频/同优先级小区重选 (R 准则)	74
4.1.5	异频/不同优先级小区重选	75
4.2	重定向与跟踪区更新	76
4.2.1	重定向过程	76
4.2.2	TA 与 TAI LIST	78
4.2.3	TAU 状态及流程	79
4.3	寻呼	81
4.3.1	寻呼消息的发送	81
4.3.2	寻呼消息的读取	81
4.3.3	空口寻呼机制	82
4.4	切换测量	83
4.4.1	切换测量对象	84
4.4.2	测量上报	85
4.4.3	重定向方式	88

4.5	同频切换	89
4.5.1	同频切换测量	90
4.5.2	同频切换信令流程	93
4.5.3	切换失败 RRC 重建	94
4.6	异频切换	95
4.6.1	异频测量的触发/停止	95
4.6.2	异频测量	100
4.6.3	异频切换决策	103
4.7	异系统切换	104
4.7.1	异系统测量的触发/停止	104
4.7.2	异系统切换测量	107
4.7.3	异系统切换决策与执行	109
第5章	TD-LTE 系统功率控制	111
5.1	下行功率控制	111
5.1.1	PHICH 功率分配	112
5.1.2	PDCCH 功率控制	113
5.1.3	PDSCH 功率控制	113
5.2	上行功率控制	116
5.2.1	PRACH 功率控制	117
5.2.2	PUSCH 功率控制	118
第6章	TD-LTE 系统无线资源管理	120
6.1	调度	120
6.1.1	下行调度	120
6.1.2	上行调度	122
6.2	准入拥塞控制	123
6.2.1	负载监测	123
6.2.2	拥塞控制	125
第7章	TD-LTE 无线参数优化	127
7.1	TD-LTE 无线参数分类	127
7.2	TD-LTE 主要公共参数	127
7.2.1	功率配置及功控类参数	127
7.2.2	小区选择类参数	132
7.2.3	系统内移动性管理参数	133
7.2.4	系统间互操作参数	139
7.2.5	定时器和常量类参数	143
7.3	TD-LTE 私有参数	149
7.4	参数与无线优化	152
7.4.1	分场景参数设置原则	152
7.4.2	现网案例	152

第8章 TD-LTE 系统性能指标	155
8.1 覆盖类指标	155
8.1.1 参考信号接收功率	155
8.1.2 信号与噪声和干扰之和的比值	156
8.2 KPI 网管指标	158
8.2.1 呼叫接入类指标	158
8.2.2 呼叫保持类指标	158
8.2.3 移动性指标	159
8.3 质量类指标	159
8.3.1 上下行误块率	159
8.3.2 上下行 MAC 层重传率	160
8.3.3 时延类指标	160
8.4 测试类指标	161
8.4.1 覆盖类指标	162
8.4.2 干扰类指标	162
8.4.3 调度类指标	162
8.4.4 移动类指标	163
第9章 TD-LTE 系统专题优化	164
9.1 TD-LTE 网络优化原则	164
9.1.1 覆盖优化	164
9.1.2 邻区优化	165
9.1.3 干扰优化	166
9.1.4 新站开通入网流程	166
9.2 覆盖专题优化	167
9.2.1 覆盖优化指标	168
9.2.2 基于 RS 发射功率的覆盖优化	169
9.2.3 弱覆盖优化	171
9.2.4 越区覆盖优化	172
9.2.5 导频污染优化	173
9.3 切换专题优化	179
9.3.1 切换专题的邻区优化	180
9.3.2 ANR 邻区自优化	181
9.3.3 切换优化实际案例	184
9.4 干扰专题优化	189
9.4.1 干扰分类	189
9.4.2 TD-LTE F 频段系统间干扰汇总	191
9.4.3 TD-LTE 系统 F 频段干扰排查案例	193
9.5 速率提升专题	197
9.5.1 影响 TD-LTE 系统速率的关键因素	197

9.5.2	速率异常的优化排查	202
9.5.3	传输资源不足的速率优化案例	203
第10章 TD-LTE 异系统互操作		206
10.1	TD-LTE 与 2G、3G 邻区原则	206
10.1.1	TD-LTE 配置 2G、3G 邻区	206
10.1.2	2G、3G 配置 TD-LTE 邻区	207
10.2	TD-LTE 与 2G、3G 空闲态重选	207
10.2.1	TD-LTE 空闲态重选原则	207
10.2.2	TD-LTE 向 2G、3G 重选	208
10.2.3	2G、3G 向 TD-LTE 重选	213
10.3	TD-LTE 与 2G、3G 连接态重定向	217
10.3.1	TD-LTE 连接态重定向原则	217
10.3.2	TD-LTE 到 TD-SCDMA 重定向	217
10.3.3	TD-SCDMA 到 TD-LTE 重定向	221
10.4	2G、3G、4G 互操作实地测试	225
10.4.1	TD-LTE 空闲态重选出测试	225
10.4.2	TD-LTE 连接态重定向出测试	226
10.5	TD-LTE 系统语音解决方案 CSFB	227
10.5.1	CSFB 关键流程	227
10.5.2	CSFB 时延分析	233
10.5.3	CSFB 优化思路	235
10.5.4	CSFB 优化中典型问题	236
附录 缩略语		242
参考文献		251

第1章 TD-LTE 系统概述

本章先介绍 TD-LTE 系统技术特点, 然后概括了 TD-LTE 与 FDD-LTE 系统的区别, 最后介绍了 TD-LTE 网络结构、主要接口协议栈, 以及两项主要的关键技术: 正交频分多址接入与多天线技术。

1.1 TD-LTE 系统技术特点

1.1.1 TD-LTE 系统主要技术特点

经过多次修订, 3G 各个版本基本成熟, UMTS 的 R7 协议版本的 HSPA+ 支持的传输速率已远远超过最初设计的最大传输速率 2 Mbit/s, 但是 3G 标准仍存在诸多不足, 如利用率不高, 仍采用电路交换; 多种标准难以实现全球漫游等。正是由于 3G 的局限性推动了对 4G 的研究, 第四代移动通信系统可称为宽带接入和分布式网络, 是一个采用全 IP 的网络结构。4G 网络采用许多关键技术来支撑, 包括: 正交频分复用 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 技术、多载波调制技术、自适应调制和编码 (Adaptive Modulation and Coding, AMC) 技术、多输入多输出 (Multiple Input Multiple Output, MIMO) 技术等。

第四代移动通信系统具有如下特征。

- 1) 传输速率更快: 对于大范围高速移动用户 (250 km/h) 数据速率为 2 Mbit/s; 对于中速移动用户 (60 km/h) 数据速率为 20 Mbit/s; 对于低速移动用户 (室内或步行者), 数据速率为 100 Mbit/s。
- 2) 频谱利用效率更高: 下行可达到 5 bit/s/Hz, 上行达到 2.5 bit/s/Hz。
- 3) 网络频谱更宽: 每个 4G 信道将会占用 100 MHz 或是更高的带宽, 而 3G 网络的带宽则在 5 ~ 20 MHz 之间。
- 4) 容量更大: 4G 将采用新的网络技术 (如空分多址技术等) 来极大地提高系统容量, 以满足未来大信息量的需求。
- 5) 灵活性更强: 4G 系统采用智能技术, 可自适应地进行资源分配, 采用智能信号处理技术对信道条件不同的各种复杂环境进行信号的正常收发。另外, 用户将使用各式各样的设备接入 4G 系统。

TD-LTE (TDD-Long Term Evolution) 是一种专门为移动高宽带应用而设计的无线通信标准, 沿用了 TD-SCDMA 的帧结构。TD-LTE 的技术优势体现在速率、时延和频谱利用率等多个领域, 使得运营商能够在有限的频谱带宽资源上具备更强大的业务提供能力。在 TD-LTE 的建设发展过程中, 可参考建设 TD-SCDMA 系统时面临的干扰规避、干扰协调等问题。

1.1.2 TD-LTE 与 FDD-LTE 系统的区别

LTE 系统定义了频分双工 (FDD) 和时分双工 (TDD) 两种双工方式, FDD 是指在对

称的频率信道上接收和发送数据，通过保护频段来分离发送和接收信道。TDD 是指通过时间来分离发送和接收信道，发送和接收使用同一载波频率的不同时隙。时间资源在两个方向上进行分配，因此基站和移动台必须协同一致进行工作。

2008 年发布 3GPP R8 版本中，明确规定采用 Type 1 作为 FDD 的物理层帧结构，Type 2 作为 TDD 物理层帧结构。FDD - LTE 和 TD - LTE 网络架构相同，其物理层帧结构不同，MAC 层调度有区别。两种双工方式在支持带宽、多址接入、调制编码方式、功率控制等方面使用相同的关键技术，见表 1-1。

表 1-1 FDD - LTE 与 TD - LTE 相同的技术

	TD - LTE	FDD - LTE
支持带宽/MHz	1.4, 3, 5, 10, 15, 20	相同
多址接入	UL: SC - FDMA, 15 kHz sub - carrier spacing	相同
	DL: OFDMA, 7.5/15 kHz sub - carrier spacing	
编码方式	卷积编码, Turbo 编码	相同
调制方式	QPSK, 16QAM, 64QAM	相同
循环前缀长度	4.7 μ s、5.2 μ s (Normal CP)	相同
	16.7 μ s (Extended CP)	
	33.3 μ s (Extended CP 7.5 kHz)	
时隙/每子帧符号/每子帧时隙	每子帧 2 $\times$ 0.5 ms 时隙	相同
	每时隙 7 个符号 (Normal CP)	
	每时隙 6 个符号 (Extended CP)	
功率控制	开环功控, 闭环功控	相同
链路自适应	上下行都支持链路自适应	相同
拥塞控制	上下行都支持拥塞控制	相同

在物理帧结构、上下行子帧配置、同步信道位置与 HARQ 进程方面，FDD - LTE 和 TD - LTE 采用不同的技术，见表 1-2。

表 1-2 FDD - LTE 与 TD - LTE 不同的技术

	TD - LTE	FDD - LTE
双工方式	TDD	FDD
物理帧结构	Type 2	Type 1
上下行子帧配置	支持上下行子帧灵活配置	不支持上下行子帧灵活配置
同步	PSS 和 SSS 位置与 FDD - LTE 不同	PSS 和 SSS 位置与 TD - LTE 不同
HARQ	HARQ 进程数取决于上下行子帧配置	HARQ 进程数固定
调度周期	取决于上下行子帧配比，最小周期为 1ms	1 ms
多天线 beam forming	可以利用接收信号相关特性预估下行信道质量，对下行信道做相应改善	不支持
随机接入 preamble	Preamble 格式 0 ~ 4	Preamble 格式 0 ~ 3
小区搜索	P - SCH 和 S - SCH 符号位置与 FDD 不同	P - SCH 和 S - SCH 符号位置与 TDD 不同

(续)

	TD-LTE	FDD-LTE
参考信号	DL: 支持 UE 相关和小区相关的 RS	DL: 仅支持小区相关 RS
	UL: 支持 DMRS 和 SRS, SRS 承载在 UpPTS	UL: 支持 DMRS 和 SRS, SRS 承载在数据子帧
MIMO 模式	支持 mode 1~7	支持 mode 1~7, mode 7 更适用于 TD-LTE

TDD 方式和 FDD 方式相比有一些独特的技术特点: 能灵活配置频率, 利用 FDD 系统不易使用的零散频段; TDD 方式不需要对称使用频率, 频谱利用率高; 具有上下行信道互惠性, 能够更好地采用传输预处理技术, 如预 RAKE 技术、联合传输 (JT) 技术、智能天线技术等, 能有效降低移动终端的处理复杂性。

TDD 方式相较于 FDD, 也存在明显的不足: TDD 方式的时间资源在上行和下行两个方向进行分配, 因此基站和移动台必须协同一致进行工作, 对于同步要求高, 系统较 FDD 复杂; 另外, TDD 系统上行受限, 因此 TDD 基站的覆盖范围明显小于 FDD 基站; TDD 系统收发信道同频, 无法进行干扰隔离, 对高速移动的物体的支持性不足。

1.2 TD-LTE 网络结构

TD-LTE 系统采用扁平化的网络结构, 取消了 RNC 节点, 接入网侧仅包含 eNodeB (简称 eNB), 减少了信令流程交互需经过的网元, 缩短了控制面的信令时延, 相应地对 3G 的信令流程也有一定的简化。

整个 TD-LTE 系统由演进型分组核心网 (Evolved Packet Core, EPC)、演进型网络基站 (eNodeB) 和用户设备 (UE) 三部分组成, 如图 1-1 所示。其中, EPC 负责核心网部分, EPC 控制处理部分称为 MME, 数据承载部分称为 SAE Gateway (S-GW); eNodeB 负责接入网部分, 也称 E-UTRAN。

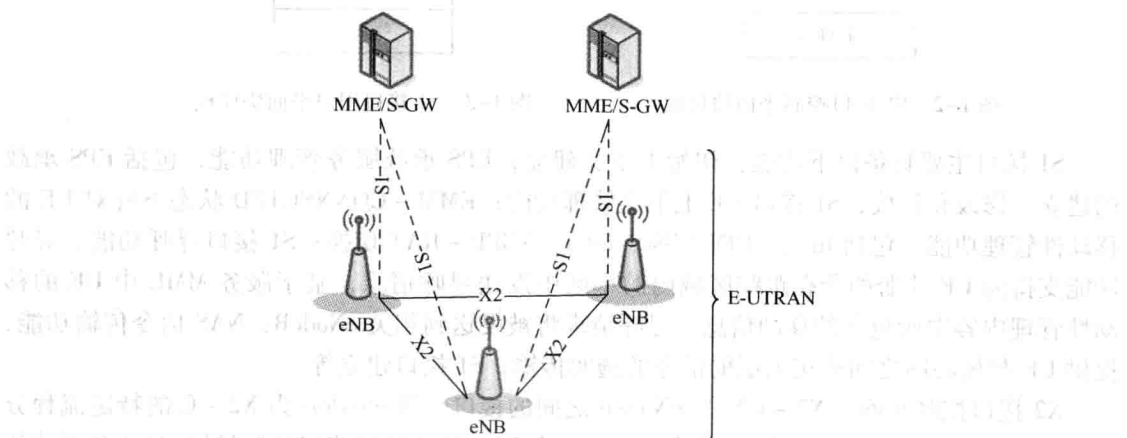


图 1-1 TD-LTE 网络结构

eNodeB 与 EPC 通过 S1 接口连接; eNodeB 之间通过 X2 接口连接; eNodeB 与 UE 之间通过 Uu 接口连接。与 UMTS 相比, 由于 NodeB 和 RNC 融合为网元 eNodeB, 所以 TD-LTE 少

了 Iub 接口。X2 接口类似于 Iur 接口，S1 接口类似于 Iu 接口。

MME 的功能主要包括：寻呼消息发送、安全控制、Idle 状态的移动性管理、SAE 承载管理以及 NAS 信令的加密与完整性保护等。S-GW 的功能主要包括：数据的路由和传输，以及用户面数据的加密。P-GW 的主要功能包括分组数据过滤、UE 的 IP 地址分配、上下行计费及限速。

TD-LTE 系统接口主要包括 S1 接口、X2 接口、空中接口，下面分别介绍每种接口控制平面与用户平面的协议栈结构。

1.2.1 S1、X2 接口协议栈

S1 控制平面接口（S1-MME）是指 eNodeB 和 MME 之间的接口，S1 接口控制平面协议栈如图 1-2 所示。传输网络层建立在 IP 传输基础上，IP 层之上采用 SCTP 层来实现信令消息的可靠传输。应用层协议栈使用 S1 应用协议，每个 S1-MME 接口都关联一个单独的 SCTP。

S1 用户平面接口（S1-U）是指连接在 eNodeB 和 S-GW 之间的接口，提供 eNodeB 和 S-GW 之间用户平面协议数据单元（Protocol Data Unite，PDU）的非保障传输。S1 接口用户平面协议栈如图 1-3 所示，S1-U 的传输网络层建立在 IP 层之上，UDP/IP 之上采用 GPRS 用户平面隧道协议（GPRS Tunneling Protocol for User Plane，GTP-U）来传输用户平面 PDU。

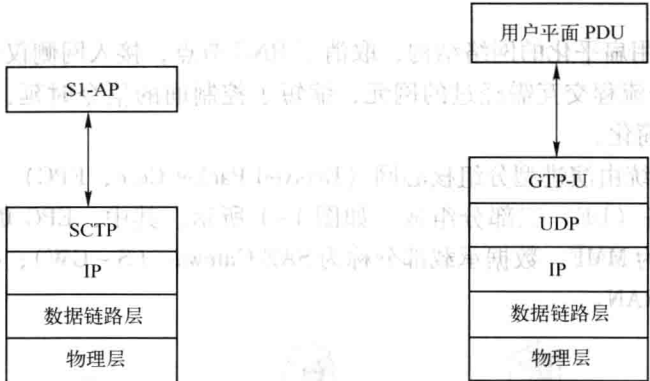


图 1-2 S1 接口控制平面协议栈

图 1-3 S1 接口用户平面协议栈

S1 接口主要具备以下功能：初始上下文建立；EPS 承载服务管理功能，包括 EPS 承载的建立、修改和释放；S1 接口 UE 上下文管理功能；EMM-CONNECTED 状态下针对 UE 的移动性管理功能，包括 Intra-LTE 切换、Inter-3GPP-RAT 切换；S1 接口寻呼功能，寻呼功能支持向 UE 注册的所有跟踪区域内的小区中发送寻呼请求，基于服务 MME 中 UE 的移动性管理内容中所包含的移动信息，寻呼请求将被发送到相关 eNodeB；NAS 信令传输功能，提供 UE 与核心网之间非接入层的信令的透明传输；S1 接口建立等。

X2 接口控制平面（X2-C）是 eNodeB 之间的接口。源 eNodeB 为 X2-C 的特定流程分配源 eNodeB 通信的上下文标识，目标 eNodeB 为 X2-C 的特定流程分配目标 eNodeB 通信的上下文标识。这些上下文标识用来区别 UE 特定的 X2-C 信令传输承载。通信上下文标识通过各自的 X2-AP 消息传输。X2 控制平面接口（X2-CP）定义为连接 eNodeB 之间接口的控制面。X2 接口控制平面的协议栈类似 S1 接口，SCTP 层之上的应用层信令协议为 X2-AP 协议。

X2 接口用户平面提供 eNodeB 之间的用户数据传输功能。X2 接口的用户平面协议栈与 S1 - UP 协议栈类似，X2 - UP 的传输网络层基于 IP 传输，采用 GTP - U 协议来传输 eNodeB 之间的用户平面 PDU。

X2 应用协议支持 UE 在 EMM - CONNECTED 状态时的 LTE 接入系统内的移动性管理功能。如在切换过程中由源 eNodeB 到目标 eNodeB 的上下文传输、源 eNodeB 与目标 eNodeB 之间用户平面隧道的控制以及切换取消等。

1.2.2 空中接口协议栈

空中接口协议主要是用来建立、重配置和释放各种无线承载业务。空中接口协议栈根据用途分为控制平面协议栈和用户平面协议栈。控制平面负责用户无线资源的管理、无线连接的建立、业务的 QoS 保证和最终的资源释放，如图 1-4 所示。

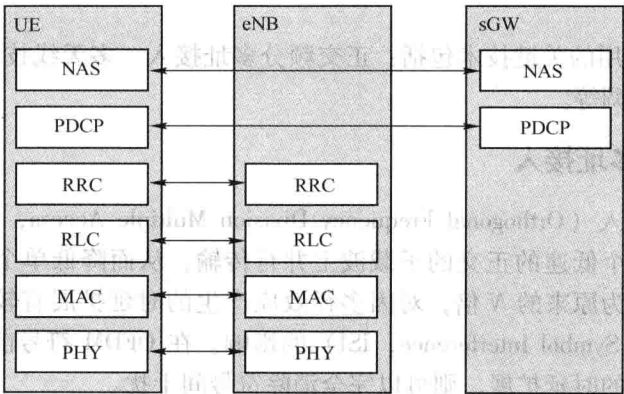


图 1-4 空中接口控制平面协议栈

控制平面协议栈主要包括非接入层（Non - Access Stratum，NAS），NAS 层之下为接入层，包括：分组数据汇聚子层（Packet Data Convergence Protocol，PDCP）、无线资源控制子层（Radio Resource Control，RRC）、无线链路控制子层（Radio Link Control，RLC）及媒体接入控制子层（Media Access Control，MAC）。

控制平面的主要功能由 NAS 层与 RRC 层实现，NAS 控制协议实体位于终端 UE 和移动管理实体 MME 内，主要负责非接入层的管理和控制。实现的功能包括：EPC 承载管理、鉴权、产生 LTE - IDLE 状态下的寻呼消息、移动性管理以及安全控制等。RRC 协议实体位于 UE 和 eNodeB 网络实体内，主要负责接入层的管理和控制，实现的功能包括：系统消息广播，寻呼建立、管理、释放，RRC 连接管理，无线承载（Radio Bearer，RB）管理，移动性功能，终端的测量和测量上报控制。

用户平面用于执行无线接入承载业务，主要负责用户发送和接收的所有信息的处理，如图 1-5 所示。

用户平面协议栈 PDCP 主要任务是头压缩和用户平面数据加密。MAC 子层主要用于实现与数据处理相关的功能，包括信道管理与映射、数据包的封装与解封装、HARQ 功能、数据调度及逻辑信道的优先级管理等。RLC 实现的功能包括数据包的封装和解封装、ARQ 过程、数据的重排序和重复检测、协议错误检测和恢复等。

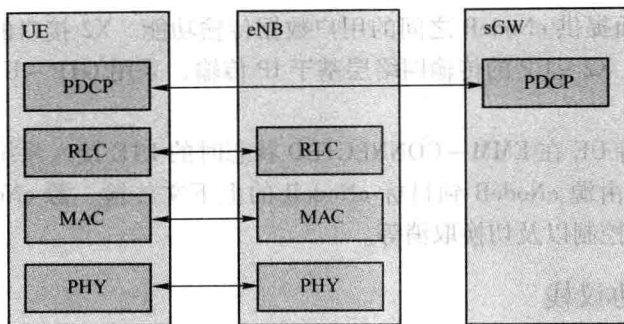


图 1-5 空中接口用户平面协议栈

1.3 TD-LTE 关键技术

TD-LTE 系统使用的关键技术包括：正交频分多址接入、多天线技术、混合自动重传、链路自适应、干扰协调等。

1.3.1 正交频分多址接入

正交频分多址接入（Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA）技术是把高速数据流分散到多个低速的正交的子载波上并行传输，从而降低单个子载波上的符号速率，将符号周期扩大为原来的 N 倍，对因多径效应产生的时延扩展有较强的抵抗力，减少了符号间干扰（Inter Symbol Interference, ISI）的影响。在 OFDM 符号前加入保护间隔，只要保护间隔大于信道的时延扩展，则可以完全消除符号间干扰。

在传统 FDMA 系统中，为了避免各子载波间的干扰，相邻载波之间需要较大的保护频带，频谱效率较低。OFDM 系统允许各子载波之间紧密相邻，甚至部分重合，通过正交复用方式避免频率间干扰，降低了保护间隔的要求，从而实现很高的频率效率。两种复用方式的频谱使用对比如图 1-6 所示。

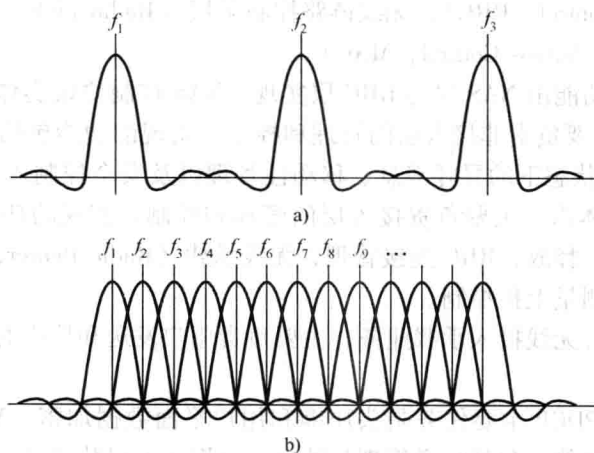


图 1-6 传统 FDMA 与 OFDMA 频谱对比

a) 传统 FDMA 频谱 b) OFDMA 频谱

在 TD-LTE 系统中，下行采用了 OFDMA 方式，而上行方向，采用了具有单载波峰均比特征的 DFT-S-OFDMA 多址方式。

TD-LTE 下行 OFDMA 方式如图 1-7 所示，发端信号先进行信道编码与交织，然后进行 QAM 调制，将调制后的频域信号进行串→并变换，以及子载波映射，并对所有子载波上的符号进行逆傅里叶变换（IFFT）后生成时域信号，然后在每个 OFDM 符号前插入一个循环前缀（Cyclic Prefix, CP），以在 多径衰落环境下保持子载波之间的正交性。插入 CP 就是将 OFDM 符号尾部的一段复制到 OFDMA 符号之前，CP 长度必须长于主要多径分量的时延扩展，才能保证接收端信号的正确解调。

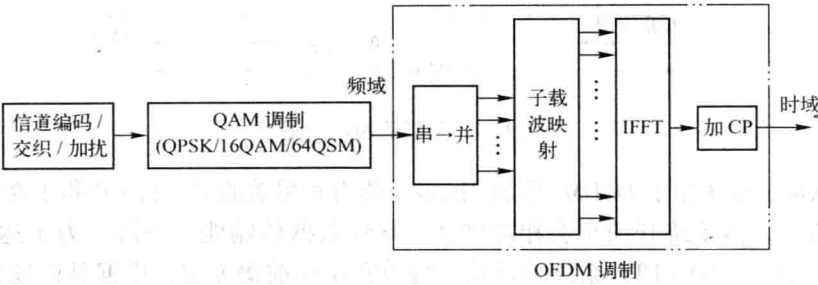


图 1-7 TD-LTE 下行 OFDMA 示意图

选择 DFT-S-OFDM，即 SC-FDMA（单载波）作为上行多址方式，是因为 DFT-S-OFDM 具有单载波的特性，其发送信号峰均比较低，在上行功放要求相同的情况下，可以提高上行的功率效率，降低系统对终端的功耗要求。LTE 上行多址方式的示意图如图 1-8 所示。下行 OFDMA 子载波分配方式有集中式和分布式，上行为了获得较低的峰均比以降低 UE 的负担，选择集中式的分配方式。

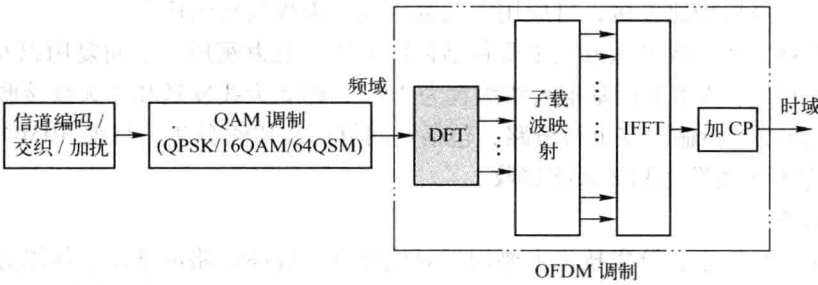


图 1-8 TD-LTE 上行 DFT-S-OFDMA 示意图

OFDMA 技术的优势包括：抗多径衰落、频谱利用率高、计算方法简单高效，但是也存在不足，如受频率偏差的影响较大、存在较高的峰均比。由于 OFDM 子信道频谱相互重叠，因此对正交性要求严格。然而无线信道存在时变性，在传输过程中会有无线信号的频率偏移，会破坏 OFDM 子载波之间的正交性，引起子信道间的信号干扰。此外，由于 OFDM 信号是多个子信道信号的总和，这些子信道信号可能同相，在幅度上叠加在一起会产生很大的瞬时峰值幅度。峰均比过大会降低射频功率放大器的效率。

循环前缀是前一个符号最后一段样本值的重复，加入循环前缀的目的是不破坏子载

波间的正交性，循环前缀示意图如图 1-9 所示。加入循环前缀后，保护间隔内的时间资源不可使用，降低了各个子载波的符号速率和信道容量，带来的益处是抗多径效应能力增强。

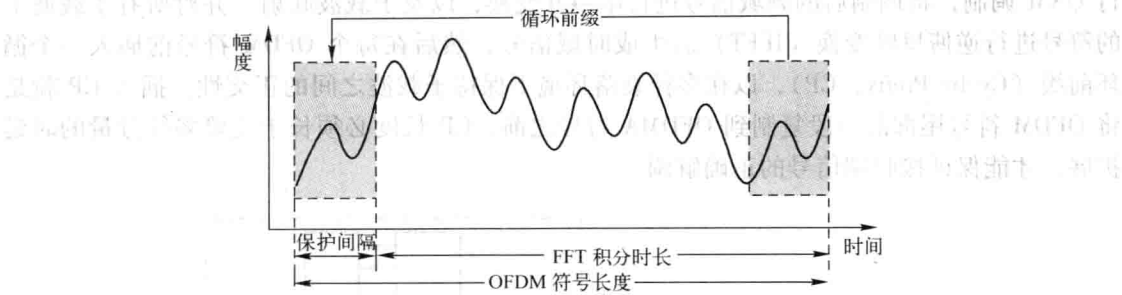


图 1-9 循环前缀示意图

循环前缀的长度决定了 OFDM 系统的抗多径能力和覆盖能力。长 CP 利于克服多径干扰，支持大范围覆盖，但系统开销也会相应增加，导致数据传输能力下降。为了达到小区半径 100 km 的覆盖要求，TD-LTE 系统采用长、短两套循环前缀方案，根据具体场景进行选择：短 CP 方案为基本选项，长 CP 方案用于支持 TD-LTE 大范围小区覆盖和多小区广播业务。

1.3.2 多天线技术

多天线（Multiple Input Multiple Output, MIMO）技术是指将用户数据分解为多个并行的数据流，在指定的宽带内由多个发射天线上同时刻发射，经过无线传播后，由多个接收天线接收，并根据各个并行数据流的空间特性，解调出原数据流。采用多天线技术，在低信噪比区域，应用传输分集技术和波束赋形技术可有效提高接收信号的信噪比，从而提高传输速率或覆盖范围；在高信噪比区域，可应用空间复用技术来提高传输速率。

在下行链路，多天线发送方式主要包括传输分集、波束赋形、空间复用以及多用户 MIMO 等。目前 MIMO 技术下行基本天线配置为 2×2 ，即 2 天线发送和 2 天线接收，最大支持 4 天线进行下行方向传输。在上行链路，包括空间复用和传输分集，目前 MIMO 上行天线配置为 1×2 ，即 1 天线发送和 2 天线接收。

1. 传输分集

在无线通信系统中，分集技术主要用于对抗衰落、提高链路可靠性。传输分集的主要原理是，利用空间信道的弱相关性，结合时间/频率上的选择性，为信号的传递提供更多的副本，提高信号传输的可靠性，从而改善接收信号的信噪比。空间发射分集利用了分集增益的原理，在基站发射端，对发射的信号进行预处理，采用多根天线进行发射，在接收端通过一定的检测算法获得分集信号。

TD-LTE 中发射分集技术的实现方式有：空时发射分集、空频发射分集、延时发射分集、循环延时发射分集、切换发射分集等。

（1）空时发射分集

通过对不同的天线发射的信号进行空时编码达到时间和空间分集的目的，在发射端对数据流进行联合编码以减小由于信道衰落和噪声导致的符号错误概率。空时编码通过发射端的