

LTE 射频检测实用宝典

“十二五”

国家重点图书出版规划项目

LTE Radio Frequency Technology and Testing 4G 丛书

LTE

射频技术及设备检测

□ 许巧春 宋起柱 编著

014057500

TN929. 53
617

“十二五”
国家重点图书出版规划项目

LTE Radio Frequency Technology and Testing 4G 丛书

LTE

射频技术及设备检测

□ 许巧春 宋起柱 编著



TN929.53
617



人民邮电出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

LTE射频技术及设备检测 / 许巧春, 宋起柱编著. --
北京: 人民邮电出版社, 2014.9
(4G丛书)
ISBN 978-7-115-35991-9

I. ①L… II. ①许… ②宋… III. ①无线电通信—移
动网—研究 IV. ①TN929.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第168759号

内 容 提 要

本书立足于LTE原理和技术特点,给出了3GPP R8中的LTE标准,对LTE系统的射频测试和终端一致性测试系统进行了详细分析,并进一步研究了LTE相关内容,包括物理信道、关键技术、物理层过程等。全书共分8章,主要内容涉及LTE概述、LTE关键技术、LTE物理信道、LTE物理层过程、系统设计与仿真、射频测试、终端一致性测试系统、LTE-Advanced的测试演进。

本书可供从事LTE射频技术研究及设备检测的相关工程技术人员学习参考。

◆ 编 著 许巧春 宋起柱

责任编辑 杨 凌

责任印制 杨林杰

◆ 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: 16.25

字数: 398千字

2014年9月第1版

2014年9月北京第1次印刷

定价: 59.00元

读者服务热线: (010) 81055488 印装质量热线: (010) 81055316

反盗版热线: (010) 81055315

前言

随着移动用户数量的迅速增长以及移动互联网的崛起,移动通信的演进步伐也越来越快。LTE 是第四代移动通信的主流技术之一,而且 LTE 及其增强版本 LTE-Advanced 的研究和标准化工作受到了全球电信运营商和设备厂商广泛的支持和参与。

目前,全球范围内 LTE 已经规模化商用,中国的 LTE 网络也投入商业运营。在今后的发展中, LTE 标准的研究结果将逐步应用到产业化和市场化中。设备企业的研究人员要根据这个标准来开发 LTE 设备,运营企业的技术人员则需要根据标准来部署 LTE 网络、推广业务,这都需要对 LTE 标准有深入的理解。本书立足于 LTE 原理和技术特点,给出了 3GPP R8 中的 LTE 标准,对 LTE 系统的射频测试和终端一致性测试系统进行了详细分析,并进一步研究了 LTE 相关内容,包括物理信道、关键技术、物理层过程等。

本书第 1 章概述部分介绍了 UMTS 系统的长期演进,并对比了 LTE TDD 和 LTE FDD 的不同特点,简要介绍了 LTE 终端射频检测的基本知识。第 2 章着重分析了 LTE 中的关键技术,重点介绍了宏分集、多址通信、MIMO、载波聚合和小区间干扰抑制,并结合 LTE 系统的技术规范说明了其在系统中的应用。第 3 章介绍了 LTE 物理层的无线帧结构、物理信道、信号以及调制过程,第 4 章则在第 3 章的基础上重点讲解了 LTE 信道复用、编码以及物理层过程,这些基本过程是 LTE 系统正常运作的关键组成部分。通过第 3、4 章内容的介绍,读者将对 LTE 系统的工作原理有更加深入的认识。第 5 章为系统设计和仿真部分,本章从 LTE 系统架构出发,根据网络架构和协议内容演示了空中接口协议的实现过程,并描述了 LTE 链路级和系统级仿真的流程。

本书重点部分为第 6、7 章。第 6 章为射频测试。介绍了基站输出功率、总功率动态范围、频率误差、误差矢量幅度 (EVM)、时间对准误差等内容,并从定义、最低要求、测试目的、测试方法、测试要求对每个指标进行了详细介绍。第 7 章为终端一致性测试介绍了终端一致性测试规范协议以及终端最大输出功率、最大功率回退 (MPR)、终端配置输出功率、误差频率、载波泄漏等内容,并从测试目的、最低一致性要求、测试描述、测试要求对每个测试指标进行分析。

本书第 8 章介绍了 LTE-Advanced 的技术和网络方面的演进,并结合相关测试,对载波聚合、上行链路多天线和下行链路空间复用增强方案和中继操作进行了详细描述。

对于书中论述不完善或者错误的地方,恳请各位读者予以指正,并提出宝贵意见,以便后续有机会予以修改和更正。

编者

2014 年 5 月于北京

目 录

第 1 章 概述	1	应用模式	19
1.1 UMTS 系统的长期演进	1	2.4 载波聚合	20
1.1.1 历史背景	1	2.4.1 载波聚合技术简介	20
1.1.2 LTE 目标	2	2.4.2 载波聚合方式	21
1.2 TDD 和 FDD 的技术体制和区别	3	2.5 小区间干扰抑制	21
1.2.1 TDD 和 FDD 的技术体制	3	2.5.1 上下行干扰抑制技术	22
1.2.2 TDD 和 FDD 的区别	3	2.5.2 小区间的干扰协调分类	23
1.3 LTE 终端射频检测的技术标准	5	2.5.3 上下行干扰协调技术实现	24
1.4 LTE 终端射频一致性测试要求	5		
1.4.1 性能和一致性测试	5	第 3 章 LTE 物理信道	26
1.4.2 终端射频一致性测试	5	3.1 无线帧结构	26
		3.1.1 FDD 帧结构	26
第 2 章 LTE 关键技术	6	3.1.2 TDD 帧结构	28
2.1 宏分集	6	3.2 物理层信道与信号	30
2.1.1 软切换	6	3.2.1 上行物理信道和信号	30
2.1.2 宏分集在 LTE 中的应用	7	3.2.2 下行物理信道和信号	46
2.2 多址通信	8		
2.2.1 LTE 多址技术简介	9	第 4 章 LTE 物理层过程	72
2.2.2 OFDMA	10	4.1 信道的编码、复用与交织	72
2.2.3 SC-FDMA	12	4.1.1 物理信道的映射	72
2.3 MIMO	15	4.1.2 信道编码的基本过程	73
2.3.1 多天线技术	15	4.1.3 上行传输信道与控制信息	77
2.3.2 MIMO 的不同种类	16	4.1.4 下行传输信道与控制信息	79
2.3.3 LTE 上行 MIMO 应用模式	18	4.2 物理层过程	81
2.3.4 LTE 系统中的下行 MIMO			

4.2.1	小区搜索过程	81
4.2.2	功率控制过程	84
4.2.3	随机接入过程	89
4.2.4	寻呼过程	92
4.2.5	HARQ 过程	93
4.2.6	终端反馈信道状态信息 过程	97

第 5 章 系统设计与仿真.....101

5.1	LTE 频段及信道安排	101
5.1.1	工作频段和信道分配	101
5.1.2	信道带宽	104
5.1.3	信道配置	106
5.2	网络结构设计	109
5.2.1	LTE 系统网络架构概述	109
5.2.2	LTE 核心网	110
5.2.3	LTE 接入网	111
5.2.4	协议架构	112
5.2.5	E-UTRAN 网络接口	113
5.3	空中接口系统设计	116
5.3.1	PDCP 子层	118
5.3.2	RLC 子层	119
5.3.3	MAC 子层	120
5.3.4	RRC 技术	122
5.4	LTE 系统仿真简介	123
5.4.1	LTE 系统需求	123
5.4.2	蜂窝通信系统的仿真 技术简介	124
5.5	TD-LTE 仿真分析	128
5.5.1	TD-LTE 链路级仿真 分析	128
5.5.2	TD-LTE 系统级仿真 分析	130
5.5.3	TD-LTE 系统性能分析	134
5.6	LTE FDD 仿真分析	137
5.6.1	LTE FDD 链路级仿真 分析	137
5.6.2	LTE FDD 系统级仿真 分析	139

5.6.3	LTE FDD 系统性能 分析	142
-------	--------------------	-----

第 6 章 射频测试.....144

6.1	射频规范	144
6.2	发射机射频测试	147
6.2.1	基站输出功率	147
6.2.2	RE 功率控制动态范围	148
6.2.3	总功率动态范围	149
6.2.4	发射关闭功率	150
6.2.5	发射机暂态阶段	150
6.2.6	频率误差	152
6.2.7	误差矢量幅度 (EVM)	152
6.2.8	时间对准误差	153
6.2.9	下行参考信号功率	154
6.2.10	占用带宽 (OBW)	155
6.2.11	邻道功率泄漏比 (ACLR)	156
6.2.12	带内非期望辐射	157
6.2.13	杂散辐射	158
6.2.14	发射互调	159
6.3	接收机射频测试	160
6.3.1	参考灵敏度电平	160
6.3.2	接收机动态范围	163
6.3.3	信道内选择性	166
6.3.4	邻道选择性和窄带阻塞	169
6.3.5	阻塞特性	171
6.3.6	接收机杂散辐射	175
6.3.7	接收机互调特性	176

第 7 章 终端一致性测试系统.....178

7.1	终端一致性测试协议规范	178
7.2	终端发射机射频一致性测试	180
7.2.1	最大输出功率	180
7.2.2	最大功率回退 (MPR)	182
7.2.3	终端配置输出功率	184
7.2.4	最小输出功率	186
7.2.5	发射关闭功率	187
7.2.6	发射开/关时间模板	188

7.2.7	功率控制	190
7.2.8	频率误差	198
7.2.9	误差矢量幅度 (EVM)	200
7.2.10	载波泄漏	203
7.2.11	未分配资源块带内 辐射	205
7.2.12	EVM 均衡器频谱 平坦度	208
7.2.13	占用带宽	210
7.2.14	频谱辐射模板	211
7.2.15	邻道功率泄漏比 (ACLR)	214
7.2.16	杂散辐射	217
7.2.17	发射互调	219
7.3	终端接收机射频一致性测试	221
7.3.1	参考灵敏度电平	221
7.3.2	最大输入电平	225
7.3.3	邻道选择性 (ACS)	226
7.3.4	阻塞特性	228

7.3.5	杂散响应	235
7.3.6	宽带互调	236
7.3.7	杂散辐射	238

第 8 章 LTE-Advanced 的测试

演进.....	241
8.1 LTE-Advanced 的技术演进.....	241
8.1.1 载波聚合.....	241
8.1.2 下行链路多天线增强 方案.....	243
8.1.3 上行链路多天线技术.....	244
8.2 LTE-Advanced 的网络演进.....	246
8.2.1 异构网络.....	246
8.2.2 中继.....	247

参考文献	249
------------	-----

缩略语	250
-----------	-----

第 1 章

概述

1.1 UMTS 系统的长期演进

1.1.1 历史背景

通用移动通信系统 (Universal Mobile Telecommunications System, UMTS) 这个理想的空中接口标准始于 1996 年年末, 是由欧洲电信标准化学会 (European Telecommunication Standards Institute, ETSI) 支持的。欧洲的运营商、制造商、政府共同研究了 this 标准的早期版本, 视其为有竞争力的、第三代无线通信的、开放的空中接口标准。

在第三代合作伙伴计划 (the 3rd Generation Partnership Project, 3GPP) 标准的演进过程中, 3 种关键技术的引入划分了数字通信的发展历程: “第二代” 的全球移动通信系统 (Global System For Mobile communications, GSM) / 通用分组无线业务 (General Packet Radio Service, GPRS) / 增强型数据速率 (Enhanced Data rates for GSM Evolution, EDGE) 是基于时分和频分多址的接入技术; “第三代” 的 UMTS 家族标志着码分多址技术进入 3GPP 演进过程, 被称为宽带码分多址 (Code Division Multiple Access, CDMA), 因为它的载波带宽有 5MHz, 又称为 WCDMA; 最后, LTE 采用了正交频分复用 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 接入技术。目前, OFDM 技术在移动无线标准的最新技术演进中已经起主导作用。

第二代移动网络, 比如全球移动通信系统, 最初设计用于传输语音业务, 数据能力是后来增加的。随着业务的发展, 数据应用不断增加, 但在第二代网络的业务量中, 语音业务仍占统治地位。第三代网络的引入大大拓展了数据业务应用的范围, 这一代网络采用了高速下行链路分组接入 (High Speed Downlink Packet Access, HSDPA) 技术。

长期演进 (Long Term Evolution, LTE) 延续了 3GPP 中 GSM 和 UMTS 家族的技术演进, 它可被看作是完成了业务扩展这一趋势, 即从简单的语音业务向建立多业务空中接口的转变。LTE 在设计之初就考虑了无线接入技术演进这一目标, 并设想所有的业务都是分组交换模式而不是早期的电路交换模式。此外, LTE 也伴随整个系统中非无线方面的演进, 业界上称之为系统架构演进 (System Architecture Evolution, SAE), 包括演进型分组核心网络 (Evolution Packet Core Network, EPC)。LTE 和 SAE 共同组成了演进的分组交换系统 (Packet Switching System, PSS), 其核心网和无线接入都完全采用分组交换技术。

LTE 标准化工作是在 3GPP 组织内开展的, WCDMA 及 GSM 演进后续阶段的标准化工

作也是如此。

3GPP 组织的发展历史可追溯至 1998 年。第一个 WCDMA 版本——R99，是在 1999 年 12 月发布的。它包含了 WCDMA 的基本特征，数据速率理论上可达到 2Mbit/s。此后，3GPP 放弃了每年发布标准的原则，因而从 2001 年 3 月完成的 3GPP R4（包括 TD-SCDMA）开始，标准命名规则也开始发生变化，在 R5 版本和 R6 版本中已经分别扩展了高速下行和高速上行增强（在 R5 和 R6 中分别称为 HSDPA 和 HSUPA），统称为高速分组接入（High Speed Packet Access, HSPA）。HSPA 在 R7 版本中通过了采用高阶调制技术和第一次在蜂窝通信系统中采用 MIMO 技术而得到进一步增强（称为 HSPA+）。HSPA+在 R8 版本中得到了进一步增强，使得已经大量投资于 UMTS 中 WCDMA 技术的网络运营商在向使用原有终端的用户提供业务的同时可以通过新增业务获取新的收入。同时 R8 发布了首个 LTE 版本。

LTE 可以从 HSPA 和 HSPA+的技术发展和最新理解中获益，特别是在协议栈优化相关方面，同时，LTE 必须满足新的需求，如有关频谱部署的灵活性等。LTE 可以在一个统一的框架下同时采用频分双工(Frequency Division Duplex, FDD)和时分双工(Time Division Duplex, TOD)模式，其设计也支持时分同步的码分多址(Time Division-Synchronization Code Division Multiple Access, TD-SCDMA)技术的演进。为了能直观地了解 3GPP 的发展，表 1-1 列出了 3GPP Release 版本信息。

表 1-1 3GPP Release 版本信息

版 本	发 布 时 间	信 息
R99	2000 年	制订第一个 UMTS 3G 网络，集成了 CDMA 空中接口
R4	2001 年	新增全 IP 核心网络
R5	2002 年	提出了 IMS 和 HSDPA
R6	2004 年	与无线局域网集成，增加了 HSUPA、MBMS，加强了 IMS，比如 PoC
R7	2007 年	侧重于降低延迟，对服务质量与实时应用的改善 VoIP，同时侧重于 HSPA+，SIM 卡高速协议与非接触前端接口（允许运营商提供非接触式服务的近场通信，如移动支付）、EDGE 演进
R8	2008 年	首次发布 LTE。全 IP 网络（SAE），新增 OFDMA、FDE 与基于 MIMO 的无线接口，不再向后支持以前的 CDMA 接口，Dual-Cell HSUPA
R9	2009 年	对 SAE 的增强、WiMAX 与 LTE/UMTS 的互操作性
R10	2011 年	实现了 IMT-Advanced 4G 要求的 LTE-Advanced。向下兼容 R8（LTE）
R11	2012 年	高端服务的 IP 互联。国家运营商以及第三方应用提供商之间的服务层互联

1.1.2 LTE 目标

在开展 LTE 可行性研究工作时，针对 LTE 目标设置提出了许多关键元素，其中主要包括以下内容。

(1) LTE 系统应当是优化的分组交换域。所有的服务都假设为分组类型,不再向后兼容电路交换的业务,要求系统支持以后的 IP 多媒体子系统和 3GPP 分组核心网。

(2) 明显提高峰值数据速率,比如上行链路和下行链路的峰值速率要求分别设置为 50Mbit/s 和 100Mbit/s。

(3) 随着数据速率不断提高,要求降低数据速率的时延。要求设定的 LTE 无线往返时间低于 10ms,接入时间低于 300ms。

(4) 高水平的移动性和安全性。

(5) 终端的功耗问题是个严峻的挑战,有必要优化终端功率效率。

(6) 频谱效率比 3GPP R6 标准中的 HSPA 技术高 2~4 倍。

(7) 1.4~20MHz 频率范围内的灵活分配。

1.2 TDD 和 FDD 的技术体制和区别

1.2.1 TDD 和 FDD 的技术体制

根据 ITU-R 对第三代移动通信系统(3G)的频谱划分,3G 频谱被划分为成对频谱和非成对频谱,分别用频分双工和时分双工两种双工方式。在 3G 三大国际标准中,WCDMA 和 cdma2000 系统主要采用 FDD 方式,TD-SCDMA 系统采用 TDD 方式。

LTE 项目被定义为 3G 技术的演进。根据 LTE 系统需求,系统需要支持在成对频谱和非成对频谱中的部署,以使用现有的 3G 频段,并在将来可以重用第二代移动通信系统退网后留出的。因此,LTE 系统也需要支持 FDD 和 TDD 这两种双工方式。同时,LTE 还考虑半双工 FDD(Half-duplex FDD, H-FDD)这种特殊的双工方式。

1.2.1.1 FDD 双工方式

FDD 双工方式指的是蜂窝系统中上行和下行信号分别在两个频带上发送,上下频带间留有一定的频带保护间隔,避免上下行信号间的干扰。FDD 使用上下行成对频带,信号的发送和接收可以同时进行,减少了上下行信号间的反馈时延。FDD 的发送信号特征使得其在功率控制、链路自适应、信道和干扰反馈等方面具有天然的优势。

1.2.1.2 TDD 双工方式

TDD 双工方式中,发送和接收信号在相同的频带内,上下行信号通过在时间轴上不同的时间段内发送进行区分。TDD 双工方式信号可以在非成对频带内发送,不需要像 FDD 双工方式所需的成对频带,具有配置灵活的特点,同时,由于上下行信号占用的无线信道资源可以通过调整上下行时隙的比例灵活配置,非常适合与 3G 和后 3G(B3G)等以 IP 分组业务为主要特征的移动蜂窝系统。TDD 系统的上下行信号在相同的频带内发送,可以充分利用信道的对称性。这会给 TDD 系统的信道估计、信号测量以及多天线技术的应用带来明显的好处。近几年随着 TD-LTE 通信系统的部署,TDD 双工方式将在后续的系统演进中扮演更为重要的角色。

1.2.2 TDD 和 FDD 的区别

图 1-1 所示为 FDD 与 TDD 在频域和时域上的区别。

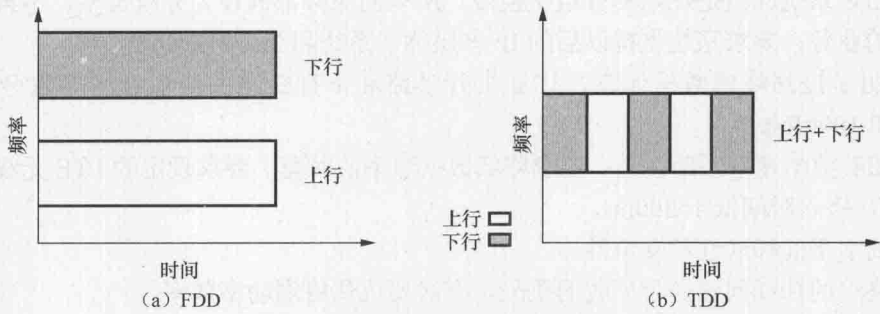


图 1-1 FDD 和 TDD

TDD 系统有如下技术优势。

与 FDD 相比，TDD 可以使用零碎的频段，因为上下行有时间区别，不要求宽带对称的频段。TDD 技术不需要收发隔离器，只需要一个开关即可。TDD 模式具有更高的频谱利用率主要是因为只有 TDD 模式能利用非对称频段，以及提供同样速率的业务是 TDD 模式占用的带宽 FDD 模式少。TDD 技术可以灵活地设置上行和下行转换时刻，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。但是这种转换时刻的设置必须与相邻基站协同进行。

使用 TDD 技术时，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，就可以比较简单地根据对方的信号估计信道特征，而对于一般的 FDD 技术，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，也无法用下行信号估计上行；这一特点使得 TDD 方式的移动通信体制在功率控制以及智能天线技术的使用方面有明显的优势。

在 FDD 模式的 CDMA 移动通信系统中，为减少同道干扰，每个移动台必须在保证在可接受性能的前提下以最低功率传送信息，这需要很精确的功率控制；另外上下行链路的衰落因子是不相关的，这需要用闭环功率控制。因此，FDD 模式的 CDMA 移动通信系统对功率控制极其敏感，功率控制的失败会导致十分严重的系统容量下降。但对于 TDD 模式的 CDMA 移动通信系统来说，上下行链路的衰落因子是相关的，仅需开环功率控制即可。

在移动通信系统中广泛采用分集结合技术来缩短信道的衰落周期。对于选择性分集，接收机通过测量相互独立的路径来选择最好的路径接收信号电平，以提高接收性能，但接收机的复杂性也相应提高了。在这种情况下，基站能容忍复杂性的提高，而手持机则不行，此时天线（空间）分集是为手持机提供分集接收的仅有方法，根据 TDD 模式原理，基于 TDD 模式系统的上下行链路的衰落是相同的，基站通过测量它从每个天线接收到的上行链路信号功率估计最强的路径，从而估计和选择最好的天线拥有下行链路下一帧的传送。这样手持机可在不增加复杂性的情况下，借助基站的天线分集设备实现预选择天线分集，是接收性能得以改进。

不足之处如下。

TDD 系统收发信道同频，无法进行干扰隔离，系统内和系统间存在干扰。

覆盖半径小。也是由于上下行时间间隔的缘故，基站覆盖半径明显小于 FDD 基站。否则，小区边缘的用户信号到达基站时不能同步。

由于 FDD 方式的时间资源分别分给了上行和下行, 因此 TDD 方式的发射时间大概只有 FDD 的一半, 如果 TDD 要发送和 FDD 同样多的数据, 就要增大 TDD 的发送功率。

为了避免与其他无线系统之间的干扰, TDD 需要预留较大的保护带宽, 影响了整体频率利用效率。

移动台移动速率受限制。在高速移动时, 多普勒效应会导致快衰落, 速度越高, 衰落变换频率越高, 衰落深度越深, 因此必须要求移动速率不能太高。例如, 在使用 TDD 技术的 TD-SCDMA 系统中, 在目前芯片处理速度和算法基础上, 当数据速率为 144kbit/s 时, TDD 的最大移动速率只能达到 FDD 移动台的一半甚至更低。

1.3 LTE 终端射频检测的技术标准

3GPP 为终端 (UE) 定义了最低射频 (RF) 性能要求。人们要在多供应商环境中提供的连续的、可预测的系统性能时, 这些性能要求是 LTE 标准的一个重要组成部分。

一些射频性能要求有利于实现 LTE 和邻近 LTE 系统或邻近 2G/3G 系统之间的共存, 这些系统可能属于不同运营商, 相互之间不存在协调。对应的要求能从 3GPP 组织的管理法规或共存研究成果中得到的。

第 6 章主要介绍最重要的 LTE 最低性能要求、这些要求隐含的基本原理、系统性能的含义以及设备设计等内容。我们既分析了 RF 性能的要求, 又分析了基带性能的要求。

1.4 LTE 终端射频一致性测试要求

1.4.1 性能和一致性测试

性能测试是所有测试中的一个常规项, 一些性能指标要在性能测试中测量。例如这些指标可以是功率、电压、灵敏度、BER、误块率、系统吞吐量或者切换成功率等。为准确地测量性能, 必须使用已校准的测试设备, 如信号发生器和衰落模拟器。通常需要标准化的信道模型以比较不同的产品和技术。一致性测试的目的不是确保在该领域的最佳产品操作, 只是验证在网络上的各种产品是否符合规定要求, 并确保不会引起意想不到的问题。进行一致性测试的目的是确定产品是否符合一些规定的标准, 通常结果是“通过”或“不合格”。一般由外部组织进行测定, 不需要精确地定义性能, 只需要表明一些规定的性能是否达到规定的阈值。

1.4.2 终端射频一致性测试

终端射频一致性测试是根据 3GPP 的 TS 36.521-1 标准。这个标准中制订了测试的步骤, 其中包括发送参数、接收参数以及性能要求。RRM (Radio Resource Management) 一致性测试在规范 TS 36.521-3 中。

第 7 章将对终端射频一致性测试的 3GPP 标准进行详细的介绍。

第 2 章

LTE 关键技术

2.1 宏分集

宏分集技术是 LTE 做出的一个选择性关键技术，宏分集的取舍直接影响到网络架构的选择，对 LTE/SAE 的发展有着深远的影响。

宏分集技术包括上行宏分集和下行宏分集两种方式。上行宏分集指的是终端 UE 发送的上行信号被两个或者两个以上的基站（小区）接收到，并将接收信号进行选择性地合并或软合并，提高接收信号的性能。下行宏分集是指下行信号在两个或者两个以上的基站（小区）发送，终端对不同的基站（小区）来的信号进行软合并处理。WCDMA 的软切换技术用到的就是宏分集技术。

2.1.1 软切换

在 WCDMA FDD 的 R4 之前，上下行宏分集被用于软切换中，以提高小区边缘的传输性能。对于下行宏分集，数据从几个不同的基站（小区）在专用的物理数据信道 DPDCH 中传输，终端接收到不同小区的数据，进行软合并后对数据进行处理。同样，对于上行宏分集，数据通过 DPDCH 发送，在几个基站（小区）中接收后通过软合并或者选择性合并对接收信号进行处理。

在 R5 中，系统采用速率自适应的方式，根据终端信道的实时变化情况，通过共享信道中的资源调度的方法来发送数据。由于终端对于不同的基站（小区）的信道条件变化不同，不同基站在与相同的终端通信时可能会选择不同的自适应编码和调制（Adaptive Coding and Modulation, ACM）等级，这样会增加软合并的实现难度。因此在 HSDPA 中没有保留软切换的能力。

由于宏分集是为了提高小区间的边缘性能。在 HSDPA 曾经欲用小区间快速选择（Fast Sector Selection, FSS）的分集方式来取代宏分集，以便提高小区间边缘性能。FSS 技术是根据终端对相邻小区的测量报告，为每一个终端配置一个激活的小区集合 S，当网络数据向终端发送数据时，网络根据小区集合 S 中每个小区到达终端的信道条件选取其中一个小区发送数据到终端，发送下行数据的小区根据信道条件的变化进行选择。图 2-1 给出了 FSS 和宏分集传输数据的示意图。

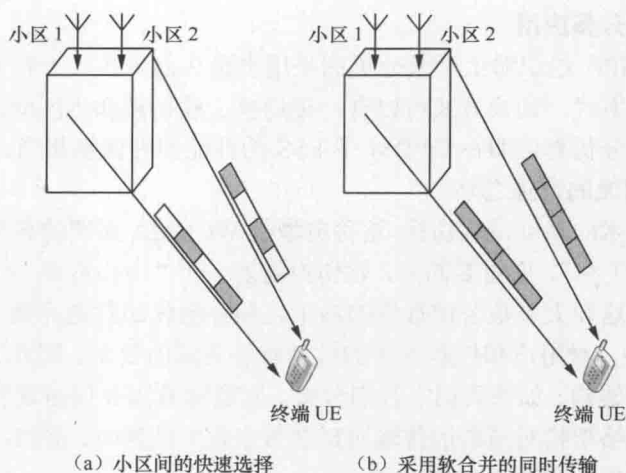


图 2-1 小区间快速选择和宏分集数据传输示意图

图 2-1 (a) 中采用小区间快速选择发送方式, 小区 1 和小区 2 交替发送数据到终端, 但两个小区并不同时发送数据; 在图 2-1 (b) 中, 小区 1 和小区 2 发送相同的数据到终端, 终端将两个小区发送的数据接收解调, 并进行软合并后进行数据处理。

由于 FSS 需要在小区激活集之间进行频繁的切换, 终端需要快速的与新基站 (小区) 同步, 如果不够快, 则容易丢失数据。因此, FSS 在 HSDPA 中并没有得到应用。

2.1.2 宏分集在 LTE 中的应用

宏分集技术之所以成为物理层需要解决的问题, 主要是因为宏分集技术的取舍决定了演进型全球陆地无线接入网 (evolved UTRAN, E-UTRAN) 的网络架构。如果 E-UTRA 系统支持宏分集技术, 则意味着现有的核心网、无线网络控制器和基站三层的网络架构将被保留; 如果不采用宏分集技术, 未来将可能演进为核心网加基站的扁平化结构方式。

关于宏分集取舍的关键问题集中在宏分集在可能采用的多址接入方式中是否会带来显著的增益。支持采用宏分集的公司认为宏分集可以提高小区边缘的性能、小区的传输容量和覆盖范围; 而反对的一方则认为, 在可能采用多址接入技术 (OFDMA/FDMA) 的系统中, 宏分集技术并不会为传输带来太大的好处, 却会使系统的网络架构复杂度增加, 这样会提高系统的成本, 并且增加了传输时延, 从而影响性能。

2.1.2.1 下行宏分集应用

在 E-UTRA 系统中采用的信息传输方式和 HSDPA 有相似之处, 即采用速率自适应方法。正如上文的分析, 在 HSDPA 中没有使用下行宏分集。相对而言, LTE 下行使用宏分集有更大的困难。由于下行宏分集需要在相邻的小区同时为一个 UE 分配相同的频率资源, 传输相同的数据, 因此需要消耗两倍的系统资源。这种方式远远与 LTE 大数据量的传输相违背, 造成资源的浪费。另外, OFDM 采用下行宏分集还需要更大的循环前缀 (CP), 以避免到达基站时产生相互干扰, 这会造成频谱效率的额外损失。因此, 各公司很快对 E-UTRA 系统中不使用下行宏分集达成了共识。

2.1.2.2 上行宏分集应用

与下行相似, 3GPP 组织对上行宏分集的采用也是久而未决。上行宏分集的讨论主要集中在系统采用的切换方式。切换方式可以有: 硬切换、软切换和小区间快速选择。由于 FSS 有明显的缺点, 且部分仿真证明在 OFDM 中 FSS 的性能和硬切换相当, 因此 FSS 最早被排除在 E-UTRA 系统切换的选择之外。

真正的宏分集技术的基础是软切换,这种典型的 WCDMA 系统的典型技术应用在 FDMA 系统中却可能“弊大于利”。更重要的是,软切换需要一个“中心节点”(如 UTRAN 的 RNC)来进行控制和合并,这和大多数公司推崇的扁平化和分散化却背道而驰。

在 LTE 的需求中,对用户和控制界面的时延有着苛刻的要求。因此大多数公司都希望采用扁平化的两层网络架构。如果采用上行宏分集,则意味着需要保留现有的 UTRA 系统的三层网络架构。三层网络架构对系统的传输时延会带来较大的影响。图 2-2 给出了采用三层网络架构和两层网络架构的时延示意图。

如图 2-2 所示, 左边采用三层网络架构, 如果应用宏分集, 需要服务 RNC、DRNC、两个 Node B 和一个 UE 终端。而右边采用两层的网络架构的系统, 不采用宏分集技术。

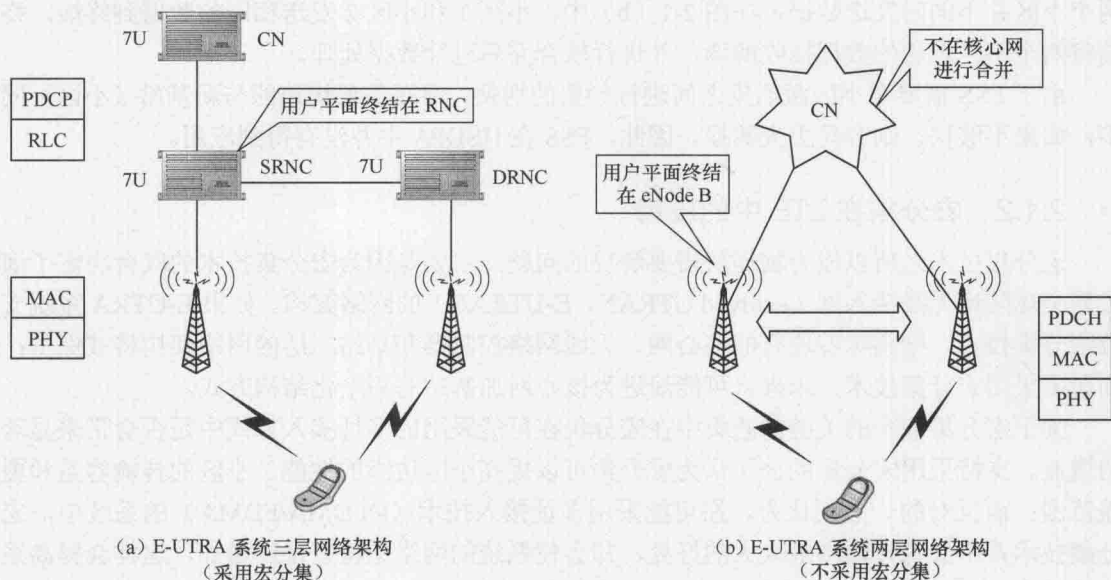


图 2-2 不同网络架构对 E-UTRA 系统用户面传输时延的影响示意图

对于三层网络架构，由于节点间需要进行相互的通信，会大大增加系统的延时。因此在三层网络架构下，为了满足 LTE 对用户平面单向最大 5ms 的传输时延要求，每个网络节点和接口都会增加，系统需要付出更大的代价。因此，经过长期的激烈的讨论，3GPP 决定对单播不采用上行宏分集技术。

2.2 多址通信

在 WCDMA 中采用了多址技术,但是 LTE 的多址技术和 WCDMA 的技术有本质上的区

别。在 LTE 链路中，下行采用正交频分多址（Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA）。上行链路多址技术采用基于单载波频分多址（Single Carrier Frequency Division Multiple Access, SC-FDMA）技术。本节将主要介绍上行和下行的多址技术。

2.2.1 LTE 多址技术简介

单载波（Single Carrier, SC）传输意味着信息只能调制到一个载波上，我们对单载波既可以调相也可以调频，也可以同时调频加调相。但是，LTE 系统并未实现调频。数据速率越高，数字系统中的符号速率越高，因而带宽也越宽。如果使用简单的正交幅度调制（Quadrature Amplitude Modulation, QAM）技术，则发射机可以对信号进行调整，以确保在每个调制符号上传送适当比特的信息，由此形成频谱波形是一种单载波频谱，如图 2-3 所示。

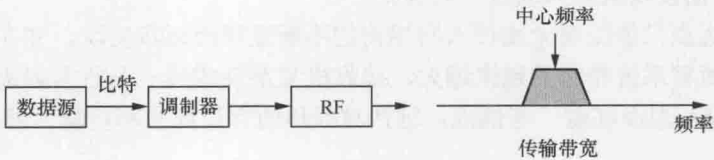


图 2-3 单载波发射机

根据频分多址（Frequency Division Multiple Access, FDMA）原理，不同的用户将使用不同的载波或子载波同时接入系统，其数据调制频率位于不同中心频率附近，如图 2-4 所示。

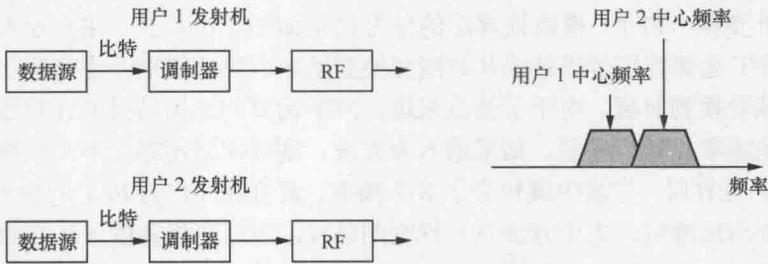


图 2-4 FDMA 原理

根据以上不难知道多载波的工作原理，如图 2-5 所示。多载波技术将数据分配在一个发射机的不同载波上。图 2-5 所示的实例包含一个滤波器组。在实际解决方案中，对于那些子载波数目较大的应用来说，通常使用快速傅里叶逆变换（IFFT）来替代滤波器组。多载波的一种实现方式是双载波 WCDMA，在该实现方法中，通信双方互相向对方发送两个 WCDMA 系统信息，但为了提高频谱利用率，一般不适用后面提到的方法。

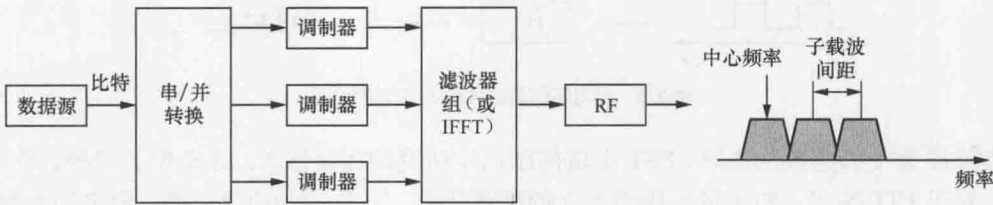


图 2-5 多载波工作原理

20 世纪 50 年代, 人们已经了解 OFDMA 的基本原理, 当时的系统还在使用模拟技术, 要保持子载波之间的正交性并不是一个简单的问题。随着数字通信技术的广泛应用, 对于消费者来说, OFDMA 变得越来越可行, 价格也越来越合理。近年来, OFDMA 技术已经广泛应用于多个领域, 如数字电视, 包括地面数字视频广播和手持式数字视频广播, 以及无线局域网应用。

OFDMA 的技术优点如下:

- ① 在频率选择性衰落中具有良好的性能;
- ② 基带接收机复杂性低;
- ③ 较好的频谱特性和较强的多带宽处理能力;
- ④ 链路自适应和频域调度能力;
- ⑤ 能够与其他接收机和天线技术兼容。

上述的许多优点只能随着无线接入网架构的不断发展而逐步实现, 并在基站中进行无线相关控制设置。随着系统带宽的越来越大, 接收机复杂性成为一个急需解决的问题。

当然, OFDMA 也面临着一些挑战, 包括对频移的容限问题和传输信号的峰均比 (PAR) 较高。

2.2.2 OFDMA

OFDMA 系统实际实现是建立在数字基础上的, 更确切地说, 是通过采集离散傅里叶变换 (DFT) 和离散傅里叶逆变换 (IDFT) 来实现时域和频域表达式之间的转换。输入正弦波通过快速傅里叶变换 (FFT) 模块处理后的信号结果如图 2-6 所示。在实际实现过程中, 通常采用 FFT。FFT 运算将信号表达式从时域变换到频域。快速傅里叶逆变换 (IFFT) 则将信号表达式从频域变换到时域。对于正弦波来说, FFT 运算的输出结果是在相应的频率点出现峰值, 而在其他频率点处为零值。如果输入为方波, 则频率输出将在多个频率点出现峰值, 这样在进行 FFT 运算时, 方波中就包含了多个频率。若将脉冲作为 FFT 的输入, 则运算结果将在所有频点处出现峰值。由于方波具有规则间隔 T , 因而在代表波形基频的频率在 $1/T$ 处出现较大的峰值; 在基频的奇次谐波处, 将出现较小的峰值。假定数字信号处理方面的典型要求 (如最小采样率和字长) 都能得到满足的话, 则 FFT 运算可以反复进行, 且不会丢失任何原始信息。

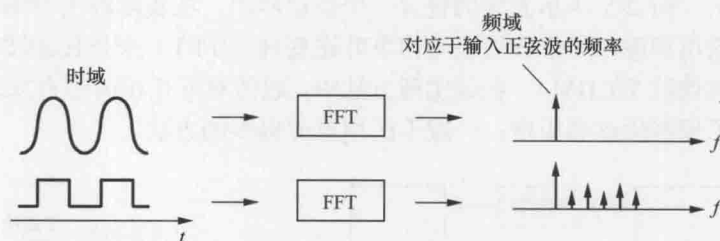


图 2-6 针对不同的输入的 FFT 运算结果

当长度为 2 的整数次幂时, FFT 实现问题已经研究的比较深入, 并提出了多种优化算法。因此, 对于 LTE 来说, FFT 的长度将是 2 的整数次幂。从实现的角度来看, FFT 的长度最好是 1024, 即使输出只使用 600, 然后尽量将另一个 FFT 长度在 600~1024 间选择。