

LTE

无线网络优化实践

LTE Wireless Network Optimization Practice

(第2版)

► 张守国 周海骄 雷志纯 等 / 编著

跟随 4G 发展步伐，利用多年网络优化经验，提炼 4G 网络优化分析思路
侧重实用性，解决实际问题

 中国工信出版集团

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

LTE

无线网络优化实践

LTE Wireless Network Optimization Practice

(第2版)

► 张守国 周海骄 雷志纯 等 / 编著

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

LTE无线网络优化实践 / 张守国等编著. — 2版. —
北京 : 人民邮电出版社, 2018. 4
ISBN 978-7-115-47733-0

I. ①L… II. ①张… III. ①无线电通信—移动网—
最佳化 IV. ①TN929.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第003827号

内 容 提 要

本书从LTE无线网络优化基本原理的角度出发,侧重于LTE无线网络优化实施中遇到的常见知识点和网络问题优化方法的介绍,涵盖了基本理论基础、参数规划、信令流程、性能分析等方面的内容。本书首先回顾了LTE网络结构、空中接口、关键技术、接口协议、主要参数的规划原则,使得读者对LTE基本原理有进一步的了解。随后本书通过对信令流程的介绍,使读者对移动台和网络的寻呼过程、业务建立过程、切换过程、载波聚合、VoLTE等信令传输过程有一个比较全面的认识。接下来本书重点对LTE常见问题的分析思路进行了介绍,力求让读者掌握LTE无线网络问题的基本分析思路和方法,在实践运用中能够举一反三。

本书根据作者自身多年的移动网络优化经验,结合运营商的需求以及设备厂商优化维护人员的建议进行编写,对LTE常见问题的优化思路和方法进行了重点介绍,适合于LTE优化维护人员阅读和进阶使用。

◆ 编 著 张守国 周海骄 雷志纯 等

责任编辑 李 强

责任印制 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>

三河市潮河印业有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 16.75

2018年4月第2版

字数: 354千字

2018年4月河北第1次印刷

定价: 85.00 元

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

反盗版热线: (010) 81055315

广告经营许可证: 京东工商广登字 20170147 号

随着中国 LTE 网络的建设和完善,用户和网络负荷的增加,LTE 网络质量也面临着前所未有的挑战。与 2G、3G 网络优化相比,LTE 网络优化既有相同点又有不同点,相同的是宏观优化思路,如都需要进行覆盖优化、干扰排查、参数调整等,不同的是具体的优化方法和优化对象。本书结合一线 LTE 网络优化维护人员的需求,着重介绍了 LTE 信令流程、关键消息内容、参数规划原则、问题分析思路、定位方法等。本书在内容编排时也进行了删减,篇幅方面也有所控制,目的侧重于适用性,突出网络优化方面的内容。

第 1 章首先回顾了 LTE 网络基本理论知识,对 LTE 物理层、协议栈等进行了介绍。第 2 章介绍了主叫业务过程、被叫业务建立过程、不连续接收技术 DRX、切换过程等,对流程中的相关消息和参数进行了解释。第 3 章重点介绍了 CSFB 和 VoLTE 网络结构、功能以及信令流程。第 4 章介绍了编号规则、PCI 规划、PRACH 规划、TA 规划、邻区规划的方法和原则。第 5 章介绍了常见 LTE 网络问题产生的原因、优化思路和流程,主要围绕 LTE 网络覆盖优化、干扰分析与排查、接入问题优化、掉线优化、切换问题优化、吞吐率优化 6 个维度展开。第 6 章介绍了 LTE 混合组网、系统间互操作、地铁隧道优化的总体原则。本书结合实践,对与日常优化紧密相关的基础知识进行了深入浅出的介绍,在此基础上着重对 LTE 网络常见问题的优化思路进行详细描述,可以在 LTE 优化维护人员遇到问题时提供参考和指导。

在此非常感谢参与本书编写的浙江省电信公司的李曙海、沈保华,华信咨询设计研究院有限公司同事给予的帮助。同时也非常感谢浙江移动杭州分公司网络部和华信咨询设计研究院有限公司领导给予的指导和 support。本书责任编辑也给予了大力支持和辛勤付出,在此深表感谢!

由于作者水平有限,书中难免存在疏漏和错误之处,敬请各位读者和专家批评指正。意见和建议可反馈至作者邮箱:zhangsgzh@139.com。

张守国

2018 年 3 月于杭州

第1章 网络概述	1
1.1 网络结构	2
1.2 频谱划分	5
1.3 无线帧结构	9
1.4 物理信道	14
1.5 关键技术	21
1.5.1 正交频分复用 (OFDM)	21
1.5.2 多天线技术 (MIMO)	23
1.5.3 混合自动重传 (HARQ)	24
1.5.4 自适应调制编码 (AMC)	25
1.5.5 小区间干扰协调 (ICIC)	27
1.5.6 下行 PDSCH 功率分配	28
1.5.7 载波聚合 (CA)	32
1.5.8 上行多点协作 (CoMP)	32
1.5.9 自组织优化 (SON)	33
1.6 接口协议	33
1.7 RRM 功能	36
第2章 信令流程分析	38
2.1 随机接入过程	38
2.1.1 竞争模式	39
2.1.2 非竞争模式	40
2.1.3 RRC 连接建立	41
2.1.4 相关参数	41
2.2 S1 连接建立	42
2.3 RRC 连接重配置	44
2.4 专用承载建立	46
2.4.1 正常建立过程	46



2.4.2	异常信令流程	48
2.5	服务质量控制	52
2.5.1	QoS 参数	53
2.5.2	QoS 管理	54
2.6	开机入网流程	56
2.6.1	小区搜索	56
2.6.2	小区选择	57
2.6.3	小区重选	57
2.6.4	附着过程	59
2.7	业务建立流程	62
2.7.1	主叫流程	62
2.7.2	被叫流程	64
2.8	切换流程	66
2.8.1	测量事件类型	67
2.8.2	切换信令流程	72
2.8.3	主要消息内容	77
2.9	TAU 更新过程	80
2.9.1	空闲态 TAU 过程	81
2.9.2	连接态 TAU 过程	83
2.9.3	相关消息说明	84
2.10	CA 业务流程	85
2.11	空口主要消息	86
第3章	语音解决方案	97
3.1	双待机终端方案	98
3.2	CSFB 方案	98
3.2.1	CSFB 定义	98
3.2.2	回落机制	100
3.2.3	返回方式	101
3.2.4	信令流程	101
3.2.5	CSFB 优化	105
3.3	VoLTE 方案	108
3.3.1	网络结构	108
3.3.2	网络接口	109

3.3.3	IMS 协议栈	110
3.3.4	IMS 用户标识	110
3.3.5	业务过程	111
3.3.6	关键技术	121
3.4	SRVCC 方案	131
3.4.1	SRVCC 定义	131
3.4.2	SRVCC 网络架构	132
3.4.3	eSRVCC 网络架构	132
3.4.4	信令流程	133
第 4 章	参数规划	136
4.1	编号规则	136
4.1.1	小区全球识别码 (ECGI)	136
4.1.2	全球唯一临时标识 (GUTI)	136
4.1.3	SAE 临时移动用户标识 (S-TMSI)	137
4.1.4	跟踪区标识 (TAI)	137
4.1.5	物理小区标识 (PCI)	137
4.1.6	RNTI	137
4.2	PCI 规划	138
4.2.1	PCI 规划原则	138
4.2.2	PCI 分组案例	138
4.3	PRACH 规划	140
4.3.1	PRACH 概念	140
4.3.2	PRACH 规划流程	146
4.3.3	PRACH 规划案例	147
4.4	TA 规划	147
4.4.1	跟踪区 TA 与规划原则	147
4.4.2	寻呼容量计算	148
4.4.3	TAI 划分案例	149
4.5	邻区规划	149
4.6	容量规划与优化	150
4.6.1	容量规划与优化	150
4.6.2	LTE 网络承载能力	151
4.6.3	空口调度数计算	151

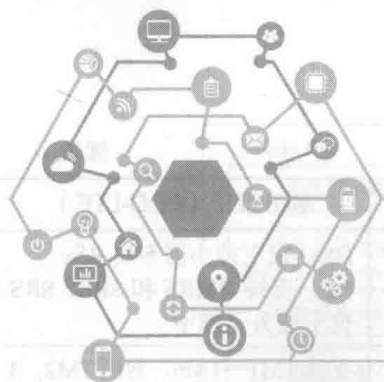


4.6.4	可调度用户数计算	152
4.6.5	VoIP 用户数	153
第5章 无线网络优化		154
5.1	优化原则	154
5.2	优化流程	154
5.3	覆盖问题优化	155
5.3.1	优化原则	156
5.3.2	优化流程	156
5.3.3	优化措施	157
5.4	干扰问题排查	158
5.4.1	干扰来源	158
5.4.2	排查方法	161
5.4.3	规避方案	164
5.5	接入性能优化	165
5.5.1	指标定义	165
5.5.2	分析思路	166
5.5.3	优化流程	168
5.6	掉线率优化	171
5.6.1	指标定义	171
5.6.2	分析思路	172
5.6.3	优化流程	173
5.7	切换性能优化	175
5.7.1	指标定义	175
5.7.2	分析思路	177
5.7.3	优化流程	178
5.8	吞吐率优化	179
5.8.1	指标定义	179
5.8.2	分析思路	180
5.8.3	优化流程	183
5.8.4	Iperf 工具使用方法	185
5.9	常用小区参数	188
5.9.1	小区选择与重选	188
5.9.2	切换控制	191

5.9.3 功率控制	195
5.9.4 定时器	198
5.10 常用统计项分类	199
5.11 典型案例分析	201
第 6 章 特殊场景优化	214
6.1 FDD 和 TDD 混合组网与优化	214
6.2 LTE 与 2/3G 互操作策略	215
6.3 地铁隧道优化	216
6.3.1 覆盖特点	216
6.3.2 隧道链路预算	217
6.3.3 TAC 区规划考虑	219
6.3.4 地铁切换带设置	220
附录 A LTE 常用信令消息	221
1. rrcConnectionRequest	221
2. rrcConnectionSetup	221
3. rrcConnectionSetupComplete	221
4. initialUEMessage (ePS-attach)	222
5. AuthenticationRequest	223
6. AuthenticationResponse	223
7. InitialContextSetupRequest	224
8. InitialContextSetupResponse	225
9. UeCapabilityInformationIndication	225
10. rrcConnectionReconfiguration (radioResourceConfigDedicated)	227
11. rrcConnectionReconfiguration (measConfig)	227
12. MeasurementReport	230
13. HandoverRequired	230
14. rrcConnectionReconfiguration (mobilityControlInfo)	232
15. eNBStatusTransfer	232
16. handoverRequest	233
17. handoverRequestAcknowledge	234
18. pathSwitchRequest	235
19. pathSwitchRequestAcknowledge	236



20. rlc-Config	236
21. logicalChannelConfig	237
22. mac-MainConfig	237
23. physicalConfigDedicated	237
24. MasterInformationBlock	239
25. SystemInformationBlockType1	239
26. SystemInformationBlockType2	240
27. as-Config	241
28. as-Context	241
29. radioResourceConfigCommon	242
30. securityAlgorithmConfig	244
31. Extended service request (CSFB)	244
32. rrcConnectionRelease-r8 (CSFB)	244
33. IMS_SIP_INVITE (VoLTE)	244
34. Activate dedicated EPS bearer context request (VoLTE)	246
35. 183 Session Progress (VoLTE)	247
36. PRACK (VoLTE)	249
37. UPDATE (VoLTE)	250
38. Mobility From EUTRA Command (SRVCC)	251
附录 B LTE 常用术语	252
参考文献	258



第 1 章 网络概述

LTE 是由 3GPP 组织制定的 UMTS 技术标准的长期演进，于 2004 年 12 月在多伦多召开的 3GPP TSG RAN#26 会议上正式立项并启动。LTE 系统引入了 OFDM 和 MIMO 等关键传输技术，显著增加了频谱效率和数据传输速率，支持 1.4MHz、3MHz、5MHz、10MHz、15MHz 和 20MHz 等多种带宽分配，且支持全球主流 2/3G 频段和一些新增频段，因而频谱分配更加灵活，系统容量显著增加。LTE 系统网络架构更加扁平化、简单化，减少了网络节点和系统复杂度，从而减小了系统时延，改善了用户体验，可开展更多业务，降低了网络部署和维护成本。

LTE 系统有两种制式：FDD-LTE 和 TDD-LTE，即频分双工 LTE 系统和时分双工 LTE 系统。FDD-LTE 和 TDD-LTE 相比，主要差别在于空中接口的物理层上，FDD-LTE 系统空中口上下行传输采用一对对称的频段接收和发送数据，而 TDD-LTE 系统上下行则使用相同的频段在不同的时隙上传输。高层信令除了 MAC 和 RRC 层有少量差别，其他方面基本一致。表 1-1 为 TDD-LTE 和 FDD-LTE 的主要技术对比。

表 1-1 TDD-LTE 和 FDD-LTE 技术对比

名称	时分双工 (TDD-LTE)	频分双工 (FDD-LTE)
信道带宽配置灵活	1.4、3、5、10、15、20	1.4、3、5、10、15、20
多址方式	DL: OFDMA; UL: SC-FDMA	DL: OFDMA; UL: SC-FDMA
编码方式	卷积码、Turbo 码	卷积码、Turbo 码
调制方式	QPSK、16QAM、64QAM	QPSK、16QAM、64QAM
功控方式	开闭环结合	开闭环结合
语音解决方案	CSFB/SRVCC	CSFB/SRVCC
帧结构	Type2	Type1
子帧上下行配置	多种子帧上下行配比组合	子帧全部上行或下行
重传 (HARQ)	进程数、时延与上下行配比有关	进程数与时延固定
同步	主辅同步信号符号位置不连续	主辅同步信号位置连续
天线	自然支持 AAS	不能很方便地支持 AAS
波束赋形	支持 (基于上下行信道互易性)	未商用 (无上下行信道互易性)
随机接入前导	Format 0~4, 且一个子帧中可以传输多个随机接入资源	Format 0~3



续表

名称	时分双工（TDD-LTE）	频分双工（FDD-LTE）
参考信号	DL：支持 UE 专用 RS 和小区专用 RS； UL：支持 DMRS 和 SRS，SRS 可以位于 UpPTS 信道	DL：仅支持小区专用 RS； UL：支持 DMRS 和 SRS，SRS 位于业务子帧中
MIMO 模式	支持 TM1~TM8，常用 TM2，3，7，8	支持 TM1~TM6，常用 TM2，3

1.1 网络结构

LTE 系统架构分两部分：演进的核心网（EPC）和演进的接入网（E-UTRAN），EPC 和 E-UTRAN 合在一起称为演进的分组系统（EPS）。演进的接入网由 eNode B 组成，去掉了 2/3G 中的 BSC/RNC 功能实体，使得网络更扁平化，减少控制面和用户面的传输时延。演进的核心网（EPC）主要包括移动管理实体（MME）、业务网关（Serving GW）、分组数据网关（PDN GW）、归属用户服务器（HSS）和策略与计费规则功能单元（PCRF）。EPS 的网络结构如图 1-1 所示，功能实体划分如图 1-2 所示。

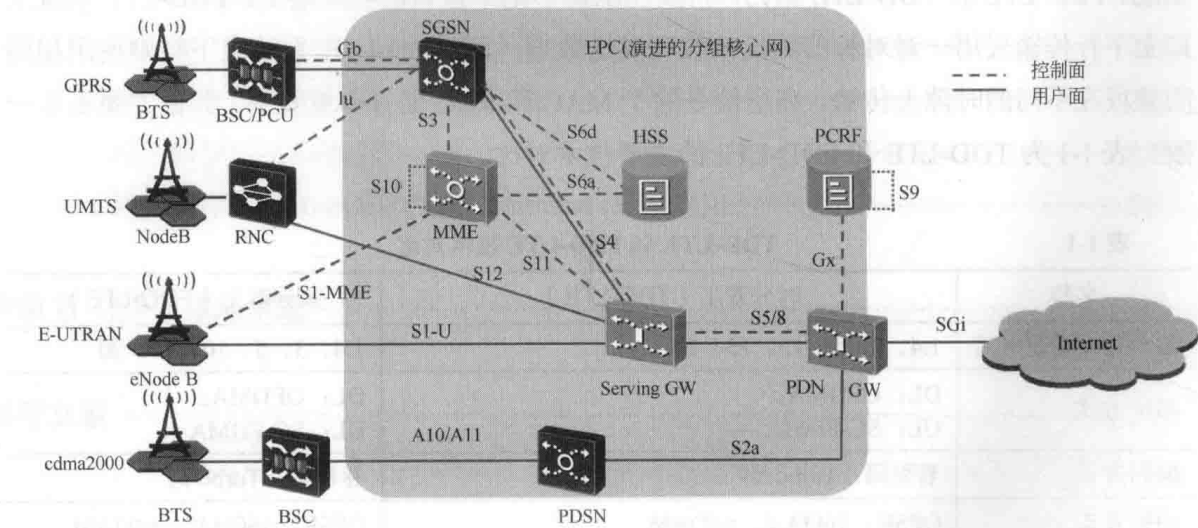


图 1-1 EPS 网络结构

eNode B: 提供到 UE 的 E-UTRAN 控制面与用户面的协议终止点，eNode B 具有 NodeB 全部和 RNC 大部分的功能。eNode B 支持的主要功能分为：无线资源管理功能、终端附着时 MME 的选择、寻呼消息调度与传输、系统广播消息调度与传输、信道编解码、调制与解调、SON 功能等。eNode B 和 UE 之间的接口为 Uu 接口，eNode B 之间通过 X2 接口连接，eNode B 与 EPC 之间通过 S1 接口连接。S1 接口又分为 S1-MME 和 S1-U 两类，其中 S1-U 为 eNode B 与 S-GW 的用户面接口，S1-MME 为 eNode B 与 MME 的控制面接口，采用 S1-AP 协议，类似于 UMTS 网络中的无线网络层的控制部分，主要完成 S1 接口的无线接入承载控制、操作维护等功能。

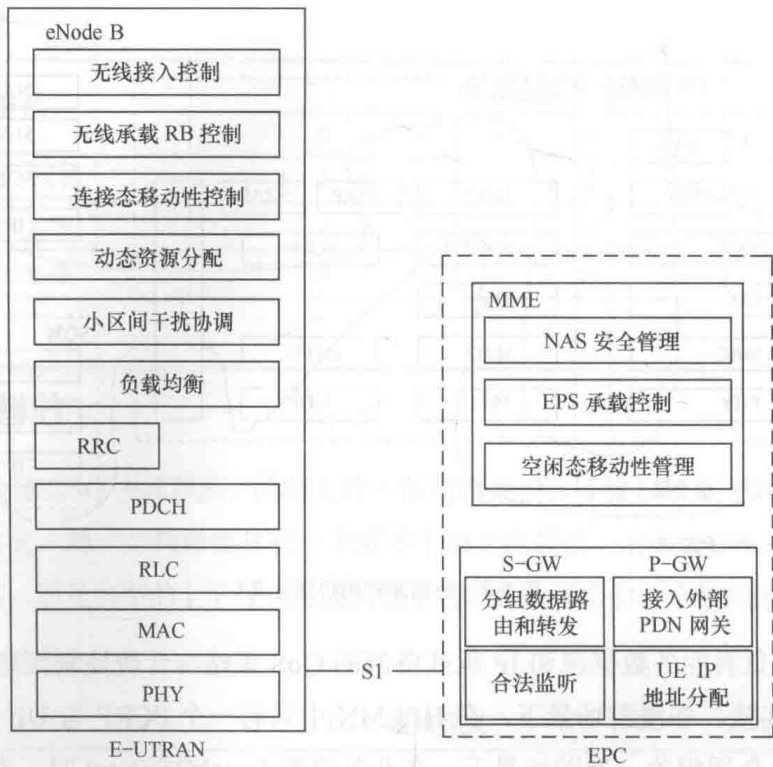


图 1-2 功能实体划分示意

MME：移动管理实体是处理 UE 与核心网络间信令交互的控制点，在 UE 和核心网间执行的协议栈称为非接入层协议（NAS）。MME 支持的主要功能分为：EPS 承载的建立、维护和释放相关的管理功能，由 NAS 协议中的会话管理层来执行；负责空闲态移动性管理，如寻呼、TAU 更新；与连接相关的功能，包括用户鉴权和密钥管理、漫游控制、NAS 层信令的加密、S-GW 选择；与其他网络交互相关的功能，包括切换语音到 2/3G 网络。MME 之间通过 S10 接口连接，MME 与 S-GW 通过 S11 接口连接，MME 与 HSS 通过 S6a 接口连接。

S-GW：主要负责 UE 用户面数据的路由和转发。当用户在 eNode B 间移动时，S-GW 作为数据承载的本地移动锚点。当用户处于 ECM-IDLE 空闲状态时，S-GW 将保留承载信息并将接收到的下行数据缓存。此外，S-GW 在拜访网络执行一些管理职能，如收集计费信息及合法监听等。S-GW 与 P-GW 通过 S5/8 连接（漫游时 S-GW 与 P-GW 通过 S8 连接）。除切换外，对于每个与 EPS 系统相关联的 UE，每个时刻仅有一个 S-GW 为之服务。

P-GW：负责用户 IP 地址分配、速率限制，分组数据的路由选择和转发并根据 PCRF 规则进行基于流量的计费，作为 3GPP 和非 3GPP 网络间的移动性锚点，接入外部 PDN 的网关。P-GW 和外部数据网络（如互联网、IMS 等）的接口为 SGi，P-GW 和 PCRF 的接口为 Gx 接口。

LTE 核心网引入 MME 和 Serving GW 后，实现了用户面与控制面的分离。控制面信令和用户面数据流路由如图 1-3 所示。

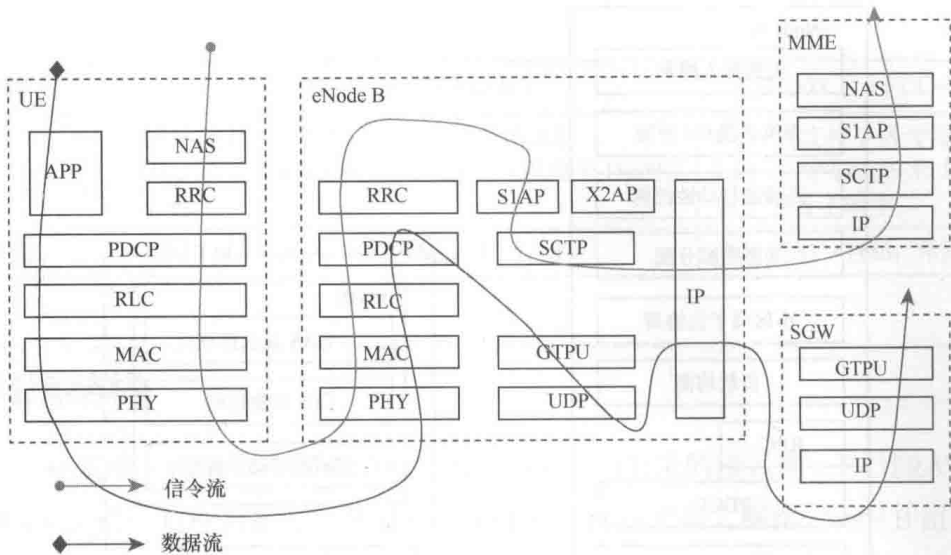


图 1-3 控制面和用户面分离

PCRF：主要负责业务数据流和 IP 承载资源的 QoS 策略与计费控制策略的制定。PCRF 间通过 S9 接口连接。非漫游场景下，在 HPLMN 中只有一个 PCRF 与 UE 的 IP 连接访问网络（IP-CAN）会话相关；漫游场景下，在业务流量 Local Breakout 时，有两个 PCRF 与一个 UE 的 IP-CAN 会话相关。

HSS：主要负责存储 LTE/SAE 网络中所有与业务相关的用户数据，如所归属 EPS 的 QoS 配置信息和用户漫游时的接入限制，保留用户可以连接的 PDN 信息。此外，HSS 还保存用户当前连接或注册的移动性管理实体标识等动态信息。

UE：用户终端，Release8 和 Release9 版本中分 5 个等级，Release10 版本新增加 3 个终端等级。不同等级终端支持的调制方式和接收 MIMO 空间复用的层数量见表 1-2。

表 1-2 UE 类型定义

基本参数	UE 类别 (Release8 和 Release9)				
	1	2	3	4	5
最大下行数据速率 (Mbit/s)	10	50	100	150	300
最大上行数据速率 (Mbit/s)	5	25	50	50	75
所需接收天线数量	2	2	2	2	4
所支持的下行 MIMO 流的数量	1	2	2	2	4
下行对 64QAM 的支持	√	√	√	√	√
上行对 64QAM 的支持	×	×	×	×	√
基本参数	UE 类别 (Release10)				
	6	7	8		
最大下行数据速率 (Mbit/s)	300	300	3 000		
最大上行数据速率 (Mbit/s)	50	100	1 500		
下行支持的 MIMO 层数	2、4	2、4	8		

续表

基本参数	UE 类别 (Release 10)		
	6	7	8
上行支持的 MIMO 层数	1、2、4	1、2、4	4
下行对 64QAM 的支持	√	√	√
上行对 64QAM 的支持	×	×	√

1.2 频谱划分

LTE 支持全球 2/3G 主流频段，同时支持一些新增频段。目前 LTE 在不同频带的一个较宽的范围内进行定义，每一个频带都具有一个或多个独立的载波。对于 FDD-LTE，实际上并没有定义双工分离，而是典型的上下行一对载波处于它们各自频带的一个相似位置。LTE 的频段定义见表 1-3。

表 1-3		LTE 频段定义	
频段	上行 (MHz)	下行 (MHz)	模式
1	1 920~1 980	2 110~2 170	FDD
2	1 850~1 910	1 930~1 990	
3	1 710~1 785	1 805~1 880	
4	1 710~1 755	2 110~2 155	
5	824~849	869~894	
6	830~840	875~885	
7	2 500~2 570	2 620~2 690	
8	880~915	925~960	
9	1 749.9~1 784.9	1 844.9~1 879.9	
10	1 710~1 770	2 110~2 170	
11	1 427.9~1 447.9	1 475.9~1 495.9	
12	698~716	728~746	
13	777~787	746~756	
14	788~798	758~768	
17	704~716	734~746	
18	815~830	860~875	
19	830~845	875~890	
20	832~862	791~821	
21	1 447.9~1 462.9	1 495.9~1 510.9	
24	1 626.5~1 660.5	1 525~1 559	



续表

频段	上行 (MHz)	下行 (MHz)	模式
33	1 900~1 920	1 900~1 920	TDD
34	2 010~2 025	2 010~2 025	
35	1 850~1 910	1 850~1 910	
36	1 930~1 990	1 930~1 990	
37	1 910~1 930	1 910~1 930	
38	2 570~2 620	2 570~2 620	
39	1 880~1 920	1 880~1 920	
40	2 300~2 400	2 300~2 400	
41	2 496~2 690	2 496~2 690	
42	3 400~3 600	3 400~3 600	
43	3 600~3 800	3 600~3 800	

注：频段 6 没有被使用。

一方面，对于这些频段来说，物理层规范和许多 RF 要求是相同的，但针对 UE RF 规范，这条规则存在一些例外情况。另一方面，由于基站的限制条件非常少，因而通常以一种频段不可知的方式对 eNode B 射频 (RF) 要求进行定义。即使出现新的要求，增加 LTE 频段也很容易，且只会影响到 RF 规范的独立部分。

LTE 承载带宽是根据信道带宽 (BW_{Channel}) 和传输带宽配置 (N_{RB}) 理论进行定义的，如图 1-4 所示。

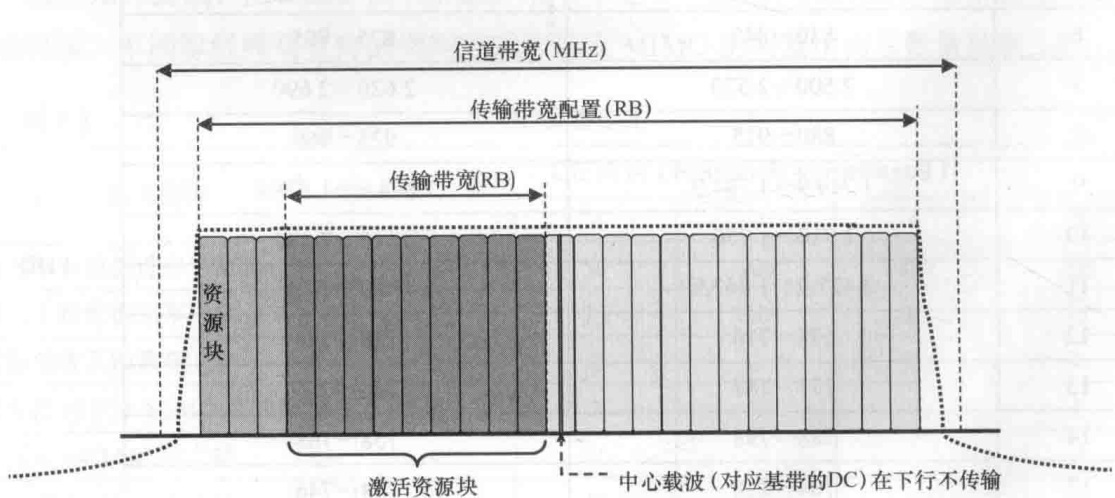


图 1-4 信道带宽和传输带宽配置的定义

传输带宽配置 (N_{RB}) 定义为在 LTE 信道中分配的最大资源块 (RB) 数。一个资源块 (RB) 包含 12 个子载波，它占用 180kHz 的标称带宽。尽管规范定义的传输带宽配置 (N_{RB}) 支持 $6 \leq N_{\text{RB}} \leq 110$ 范围内的任何值，实际中 RF 要求只能使用表 1-4 中定义的值。

表 1-4 LTE 信道带宽中的传输带宽配置 (N_{RB})

信道带宽 $BW_{Channel}$ (MHz)	1.4	3	5	10	15	20
传输带宽配置 N_{RB}	6	15	25	50	75	100

不是所有的 LTE 频段与信道带宽的组合方案都是有意义的。表 1-5 给出了标准所支持的组合，这些组合是建立在来自于运营商使用情况的基础上。需要注意的是，在表 1-5 中，如果方案具有较高的信道带宽，则标准会在更多的可用频谱内支持该方案。例如：在频段 1、2、3、4 内，标准支持带宽为 20MHz 的 LTE；但在频段 5 和 8 内，标准不支持带宽为 20MHz 的 LTE。反过来，当 LTE 的信道带宽低于 5MHz 时，标准会在较少的可用频谱（如频段 5 和 8）内支持该方案，或者在具有 2G 迁移场景的频段（如频段 2、5、8）内支持该方案。

表 1-5 标准所支持的具有标准灵敏度（“X”）和松弛灵敏度（“O”）的传输带宽

频段	1.4MHz	3MHz	5MHz	10MHz	15MHz	20MHz
1			X	X	X	X
2	X	X	X	X	O	O
3	X	X	X	X	O	O
4	X	X	X	X	X	X
5	X	X	X	O		
6			X	O		
7			X	X	X	O
8	X	X	X	O		
9			X	X	O	O
10			X	X	X	X
11			X	O	O	O
12						
13	X	X	O	O		
14	X	X	O	O		
17						
...						
33			X	X	X	X
34			X	X	X	X
35	X	X	X	X	X	X
36	X	X	X	X	X	X
37			X	X	X	X
38			X	X		
39			X	X	X	X
40				X	X	X
41			X	X	X	X
42			X	X	X	X
43			X	X	X	X