

第 1 章

网络概述

LTE^①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,并支持 1.4MHz、3MHz、5MHz、10MHz、15MHz 和 20MHz 等多种带宽分配,且支持全球主流 2G/3G 频段和一些新增频段,因而频谱分配更加灵活,系统容量显著提升。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。LTE TDD 和 LTE FDD 相比,主要差别在于空中接口的物理层上, FDD-LTE 系统空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 层有少量差别外,其他方面基本一致。表 1-1 为 LTE TDD 和 LTE FDD 的主要技术对比。

表 1-1 LTE TDD 和 LTE FDD 技术对比

名称	时分双工(LTE TDD)	频分双工(LTE FDD)
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

^① 特别说明,本书书名中的 4G,指代的就是此处介绍的 LTE。

续表

名 称	时分双工(LTE TDD)	频分双工(LTE FDD)
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)	进程数与延时随上下行配比不同而不同	进程数与延时固定
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
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,包括演进后的核心网(EPC)和演进后的接入网(E-UTRAN),EPC 和 E-UTRAN 合在一起称为演进后的分组系统(EPS)。演进后的接入网由 eNodeB 组成,去掉了 2G/3G 中的 BSC/RNC 功能实体,以减少用户面和控制面的时延。演进后的分组核心网(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。

LTE 核心网引入 MME 和 Serving GW 后,实现了用户面与控制面的分离。控制面信令流和用户面数据流路由如图 1-2 所示。

eNodeB: 提供到 UE 的 E-UTRA 控制面与用户面的协议终止点,eNodeB 具有现有 NodeB 全部和 RNC 大部分的功能;具备移动性管理功能、无线资源管理功能、空口数据传输、寻呼消息调度与传输、系统广播消息调度与传输、NAS 节点选择功能、安全功能、QoS 功能、SON 功能。eNodeB 和 UE 之间的接口为 Uu 接口,eNodeB 之间通过 X2 接口连接,eNodeB 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 eNodeB 与 S-GW 的用户面接口,S1-MME 为 eNodeB 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。

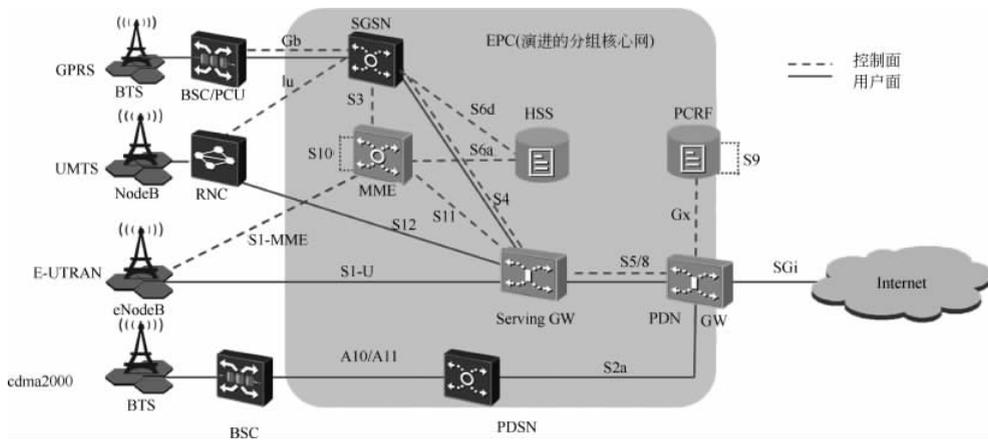


图 1-1 EPS 网络结构

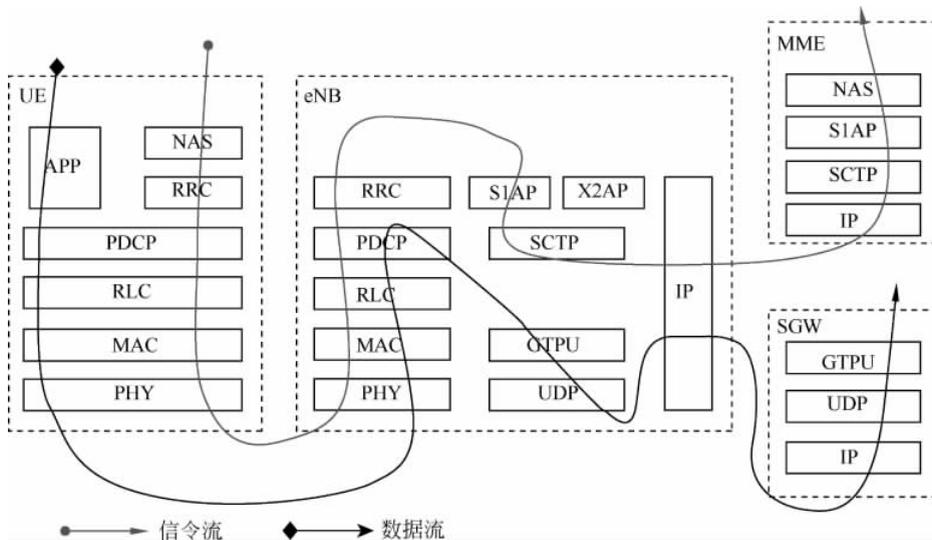


图 1-2 控制面和用户面分离

MME：信令实体，主要负责移动性管理、会话管理、用户鉴权和密钥管理、NAS 层信令的加密和完整性保护、TA List 管理、S-GW 选择、漫游控制、合法监听。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 用户面处理、路由和数据的转发、3GPP 定义的不同接入方式间的接入、eNodeB 间切换、分组路由和转发功能、IP 头压缩、IDLE 态终结点、下行数据缓存、基于用户和承载的计费、路由优化和用户漫游时 QoS 和计费策略实现功能。

4 4G 无线网络原理及优化

S-GW 与 P-GW 通过 S5/8 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: 主要负责分组路由和转发、3GPP 和非 3GPP 网络间的锚点、UE IP 地址分配及接入外部 PDN 的网关、计费 and QoS 策略执行功能、基于业务的计费、PCRF 选择。P-GW 和外面数据网络(如互联网、IMS 等)的接口为 SGi,是 EPS 锚点,P-GW 和 PCRF 的接口为 Gx 接口。

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,为 PCRF(策略与计费执行功能单元)选择及提供可用的策略和计费控制决策,PCRF 间通过 S9 接口连接。在非漫游场景时,在 HPLMN 中只有一个 PCRF 跟 UE 的 IP 连接访问网络(IP-CAN)会话相关。在漫游场景时,并且业务流量 Local Breakout 时,有两个 PCRF 跟一个 UE 的 IP-CAN 会话相关。

HSS: 主要负责存储 LTE/SAE 网络中用户所有与业务相关的数据。

UE: 用户终端,Release 8 和 Release 9 版本中分 5 个等级,其中等级 5 终端能提供的速率最高,Release 10 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 空间复用的层数量也有所不同。不同 UE 等级支持的功能如表 1-2 所示。

表 1-2 UE 类型定义

基本参数	UE 类别 (Release 8 和 Release 9)				
	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 (Release 10)				
	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		
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 2G/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作定义,每一个频带都具有一个或多个独立的载波。对于 FDD,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一个相似位置。LTE 的频段定义如表 1-3 所示。

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	
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。

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。另外,由于基站限制条件非常少,因而通常以一种频段不可知的方式对 eNodeB 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,如图 1-3 所示。

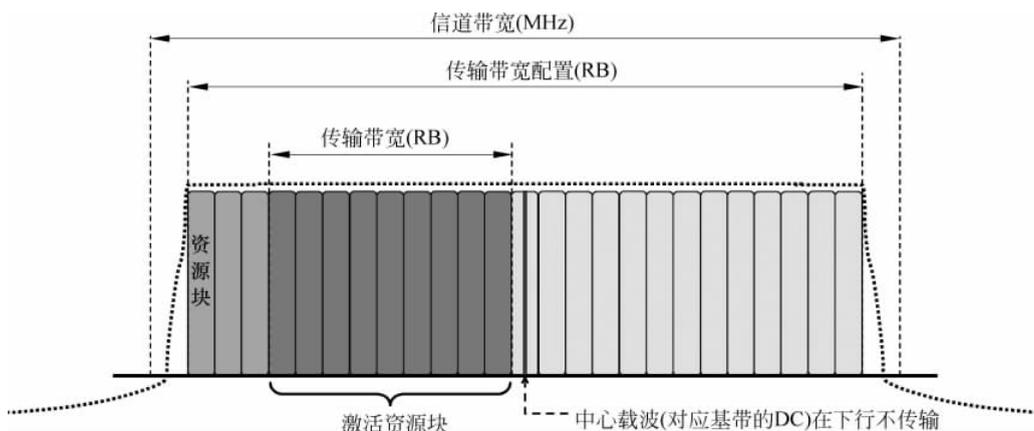


图 1-3 信道带宽和传输带宽配置的定义

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。尽管规范支持传输带宽配置(N_{RB})采用 $6 \leq N_{\text{RB}} \leq 110$ 范围内的任何值,可是所有 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 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的输入基础上。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 和频段 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 和频段 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

表 1-6 为目前国内各运营商频率使用情况。

表 1-6 国内各运营商频率使用情况

运 营 商	上行频率(MHz)	下行频率(MHz)	制 式
中国移动	880~890	925~935	EGSM900
	890~909	935~954	GSM900
	1 710~1 735	1 805~1 830	GSM 1800
	1 880~1 900	1 880~1 900	TD-SCDMA/TD-LTE[F]
	2 010~2 025	2 010~2 025	TD-SCDMA[A]
	2 320~2 370	2 320~2 370	TDD LTE[E]
	2 575~2 635	2 575~2 635	TDD LTE[D]

续表

运 营 商	上行频率 (MHz)	下行频率 (MHz)	制 式
中国 电信	824~825	869~870	CDMA800
	825~835	870~880	CDMA800
	1 920~1 935	2 110~2 125	FPD LTE
	2 370~2 390	2 370~2 390	TDD LTE
	2 635~2 655	2 635~2 655	TDD LTE
中国 联通	909~915	954~960	GSM900
	1 735~1 755	1 830~1 850	GSM1800
	1 940~1 955	2 130~2 145	UMTS 2.1G
	2 300~2 320	2 300~2 320	TDD LTE
	2 555~2 575	2 555~2 575	TDD LTE

对 LTE 而言上、下行载波频率用绝对频点 EARFCN 表示,取值范围为 0~65 535。绝对频点 EARFCN 计算公式如下:

$$F_{DL} = F_{DL_low} + 0.1 \times (N_{DL} - N_{Offs-DL})$$

$$F_{UL} = F_{UL_low} + 0.1 \times (N_{UL} - N_{Offs-UL})$$

式中, F_{DL} 、 F_{UL} 分别为下行和上行中心频率, N_{DL} 、 N_{UL} 分别为下行和上行绝对频点。详细描述可参考 3GPP 36.104。LTE 常用频带和绝对频点对应关系如表 1-7 所示。

表 1-7 常用频带和频点对应关系

频段	下 行			上 行		
	起始频率 F_{DL_low} (MHz)	起始频点 $N_{Offs-DL}$	频点范围 N_{DL}	起始频率 F_{UL_low} (MHz)	起始编号 $N_{Offs-UL}$	频点范围 N_{UL}
33	1 900	36 000	36 000~36 199	1 900	36 000	36 000~36 199
34	2 010	36 200	36 200~36 349	2 010	36 200	36 200~36 349
35	1 850	36 350	36 350~36 949	1 850	36 350	36 350~36 949
36	1 930	36 950	36 950~37 549	1 930	36 950	36 950~37 549
37	1 910	37 550	37 550~37 749	1 910	37 550	37 550~37 749
38[D]	2 570	37 750	37 750~38 249	2 570	37 750	37 750~38 249
39[F]	1 880	38 250	38 250~38 649	1 880	38 250	38 250~38 649
40[E]	2 300	38 650	38 650~39 649	2 300	38 650	38 650~39 649

1.3 无线帧结构

LTE 分 TDD 和 FDD 两种不同的双工方式,分别对应不同的无线帧结构。FDD 采用频率来区分上、下行,其单方向的资源在时间上连续;而 TDD 则采用时间来区分

上、下行,其单方向的资源在时间上不连续,而且需要保护时间间隔,避免两个方向之间的收发干扰,所以 LTE 分别为 FDD 和 TDD 设计了各自的帧结构。

FDD-LTE 帧是长度为 10ms 的无线帧,由 10 个长度为 1ms 的子帧组成,每个子帧由两个长度为 0.5ms 的时隙构成,每个时隙内含有 7 个 OFDM 符号(常规 CP)或 6 个 OFDM 符号(扩展 CP),时域的基本单位 $T_s=1/(15\ 000\times 2\ 048)s=32.55\mu s$,基带采样率 $f_s=1/T_s=30.72\text{MHz}$,LTE 的采样率分别是 WCDMA 的采用率(3.84MHz)和 TD-SCDMA 的采样率(1.28MHz)的 8 倍和 24 倍,简化了 WCDMA/TD-SCDMA/LTE 多模终端的设计,因为多模终端可以直接使用同一个时钟电路实现,降低了系统的复杂度。FDD-LTE 帧结构如图 1-4 所示。

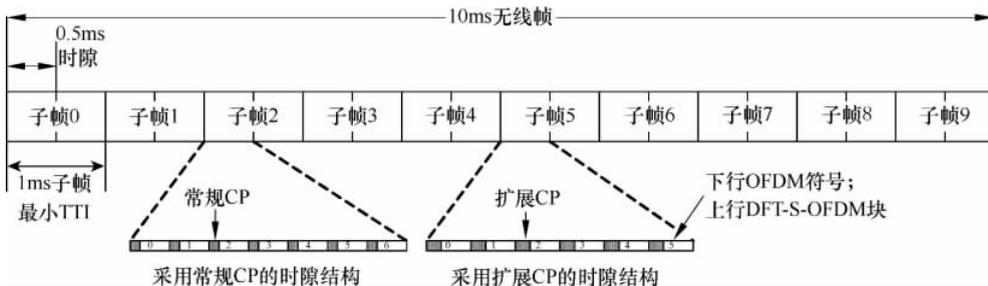


图 1-4 FDD-LTE 帧结构

LTE 时隙(0.5ms)的详细结构如图 1-5 所示。每个时隙由一定数量的 OFDM 符号加上相应的循环前缀(CP)组成,OFDM 的符号时间定义为可用符号时间和循环前缀的长度之和。LTE 系统定义了两种循环前缀(CP),即常规 CP 和扩展 CP,分别相当于每个时隙有 7 个和 6 个 OFDM 符号。在常规 CP 中,每个时隙的第一个 OFDM 符号的 CP 比其余 OFDM 符号的 CP 长,这样做是为了将 0.5ms 的时隙完全填充,因为一个时隙的时间单位 T_s 数(15 360)不能被 7 整除。

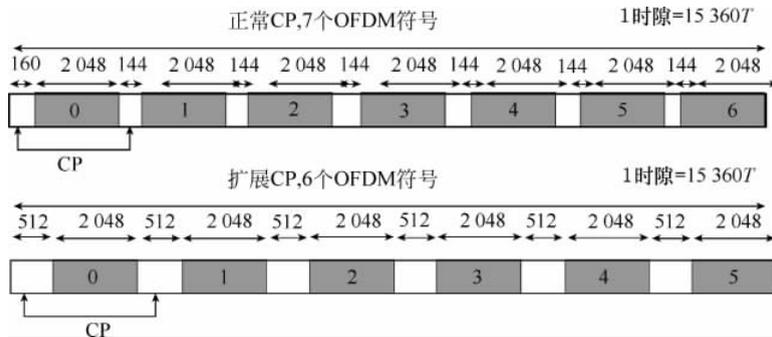


图 1-5 LTE 时隙结构

LTE 系统定义了两种 CP,主要有以下两个方面的原因。第一,虽然从总体的开销上来说扩展 CP 的效率更低,但在具有很大时延扩展的环境中,例如,在覆盖范围很大的小区中,长的 CP 对信道的估计更为准确;第二,在基于 MBSFN 的多播/广播传输中,CP 不仅应覆盖传输信道的大部分时延扩展,还应能够屏蔽由于不同基站传输所带来的时间差异,因此,在 MBSFN 系统的实际操作中,也需要额外的 CP。因此,LTE 系统的扩展 CP 主要用于 MBSFN 的传输,而不同的 CP 可以用在一帧内不同的子帧中。

在系统设计时,要求 CP 长度大于无线信道的最大时延扩展,而时延扩展与小区半径和无线信道传播环境相关。通常用均方根(Root Mean Square,RMS)多径延迟扩展 τ_{rms} 来描述功率延迟分布情况, τ_{rms} 公式定义如下。

$$\tau_{\text{rms}} = T_1 d^\epsilon y$$

其中 T_1 表示 1 公里距离 RMS 时延扩展值, d 表示小区半径, y 表示阴影衰落余量,多径时延扩展 τ_{rms} 随着小区半径的增加而增加。表 1-8 给出了不同小区半径 d ,在 4 种传播环境下,包含 90% 能量的 RMS 时延扩展值(μs)。

表 1-8 RMS 时延扩展

		不同小区半径 $d(\text{km})$ 下,包含 90% 能量 RMS 时延扩展值(μs)			
		市区	郊区	农村	山区
环境		$T_1=1.0,$ $\epsilon=0.5,$ $\sigma_y=2.0\text{dB}$	$T_1=0.3,$ $\epsilon=0.5,$ $\sigma_y=2.0\text{dB}$	$T_1=0.1,$ $\epsilon=0.5,$ $\sigma_y=2.0\text{dB}$	$T_1=0.5,$ $\epsilon=1.0,$ $\sigma_y=2.0\text{dB}$
小区半径, $d(\text{km})$	3	2.5	0.8	0.25	1.9
	5	3.2	1.0	0.32	3.2
	10	4.6	1.4	0.46	6.3

注: σ_y 表示阴影衰落标准差。

正常 CP: 正常 CP 有 7 个 OFDM 符号,第 1 个 OFDM 符号的 CP 长度是 $5.21\mu\text{s}$,第 2 个到第 7 个 OFDM 符号的 CP 长度是 $4.69\mu\text{s}$,正常 CP 可以在 1.4km 的时延扩展范围内提供抗多径保护能力,适合于市区、郊区、农村以及小区半径低于 5km 的山区环境。

扩展 CP: 扩展 CP 有 6 个 OFDM 符号,每个 OFDM 符号的 CP 长度均是 $16.67\mu\text{s}$,扩展 CP 可以在 5km 的时延扩展范围内提供抗多径保护能力,适合于覆盖距离大于 5km 的山区环境及需要超远距离覆盖的海面和沙漠等环境。

TDD-LTE 帧结构也是一个长度为 10ms 的无线帧,由两个 5ms 的半帧构成,每个