

# VoLTE 基础理论+关键技术+LTE 技术原理

## 一、LTE 语音相关

### 1. 基础概念

**CS 语音:**在 2G/3G 网络中, 语音一般由 **电路域交换** (Circuit Switch, CS) 系统提供, 因此我们一般也称之为 CS 语音。

**IMS 语音:**当 IP 多媒体子系统 (IP Multi-media Subsystem, IMS) 出现后, 我们将 IMS 提供的语音业务称之为 IMS 语音, 一般也可以称之为 **PS** (分组域交换, Packet Switch) 语音, 这是因为 IMS 需要通过分组域交换网络提供的 IP 通道与用户终端进行交互。一般认为, IMS 语音是 LTE/EPS 阶段提供的标准语音服务方案。

**全 IP 网络:**随着 IP 技术的发展, 电信网络逐渐废弃了传统七号信令网络, 而全面转向全 IP 网络, 以第三代伙伴项目 (3GPP, 3rd Generation Partnership Project) 组织为例, LTE 将采用 **全 IP 化核心网**, 抛弃了当前 2G/3G 系统中的电路交换域, 而将分组交换域进行研究, 从而定义了全 IP 的长期演进/演进分组系统网络 LTE/EPS (Long Term Evolution/Evolved Packet System[1])。因此在 LTE/EPS 网络中 CS 语音将不可用。

由于语音业务对时延的要求比较高, 在目前的 3G 及其以前的系统中, 都通过电路域承载。利用专用资源。

语音业务通过 IP 承载已经成为发展趋势。在 LTE (Long Term Evolution) 系统中, 只存在分组域, 语音业务通过 VoIP (Voice over Internet Protocol) 承载。

### 2. LTE 语音实现方案

LTE 将采用全 IP 化核心网, 从而带来对传统电路域语音业务承载的变革。

**CS 回退** (CS FallBack) 技术。使用 CS 回退技术可把语音业务从 LTE 网络转移到传统的 2G 或 3G 网络, 通过 **传统的电路域** 进行语音承载。缺点: CS 回退过程中将发生 inter-RAT 小区选择或切换, 因此带来较大的呼叫建立延迟, 且 CS 回退要求 2G/3G 网络与 E-UTRAN 网络重叠覆盖, 没有传统 2G/3G 网络的新兴运营商无法采用此方案。

**SR-VCC 方案。**一般认为, **IMS 语音** 是 LTE/EPS 阶段提供的标准语音服务方案, 但是基于 IMS 的 VoIP 技术只支持在存在分组域的网络发起语音业务, 无法保证用户从 E-UTRAN 移动到 GERAN / UTRAN/cdma2000 1X 网络后的语音连续性。为此 3GPP 提出了基于 IMS 的 SR-VCC 方案, 此方案支持将分组域的语音业务 **切换到** 电路域, 但需要运营商部署 IMS 系统。

**VoLGA 方案。**考虑利用 LTE 接入网络, 以数据包方式封装语音数据并透明传输到 CS 域的 MSC 服务器, 从而实现在即使不存在 UTRAN/GERAN/cdma2000 1X 等传统接入网络的情况下, 利用 E-

UTRAN 接入网和传统的 CS 域核心网来提供 **CS 语音业务**。此方案需在网络侧增加 VoLGA 接入网络控制器(VANC)来实现语音业务管理。

### 3.VOIP

VOIP 建立在 IP 技术上的分组化、数字化传输技术，其**基本原理**是：通过语音压缩算法对话音进行压缩编码处理，然后把这些语音数据按 IP 等相关协议进行打包，经过 IP 网络把数据包传输到目的地，再把这些语音数据包串起来，经过解码解压处理后，恢复成原来的语音信号，从而达到由 IP 网络传送话音的目的。

表 1 IP 电话服务与传统电话服务的比较

传统电话服务	VoIP
电路交换技术	分组交换技术
传输使用同步时分多址，故带宽利用率较低	传输使用非同步时分多址，故带宽利用率较高
当线路拥塞时可能无法接通，而一旦接通就不会断开	当线路拥塞时，可能会出现分组丢失等现象，会导致通信质量下降
使用G.711 脉冲编码调制， <b>无压缩</b> 语音编码，传送速率为64Kbps	通常使用语音 <b>压缩编码</b> ，编码速率可以从5.3Kbps至16Kbps
除卫星通信外，端到端的时延很小，并且抖动很有限	端到端的时延相对较长，并且有显著的抖动
能够保证良好的通信质量	通信质量受到IP网络的影响很大，语音质量难以保证
通话线路是独立的，故而难以降低通信成本	共享IP网络资源，大大降低通信成本

#### 3.1VoIP 的基本传输过程

传统的电话网是以电路交换方式传输语音，所要求的传输**宽带**为 64kbit/s.而所谓的 VoIP 是以 IP 分组交换网络为传输平台，对模拟的语音信号进行压缩、打包等一系列的特殊处理，使之可以采用无连接的 UDP 协议进行传输。

为了在一个 IP 网络上传输语音信号，要求几个元素和功能。最简单形式的网络由两个或多个具有 VoIP 功能的设备组成，这一设备通过一个 IP 网络连接。VoIP 模型的基本结构图如图下图所示。从图中可以发现 VoIP 设备是如何把语音信号转换为 IP 数据流，并把这些数据流转发到 IP 目的地，IP 目的地又把它们转换回到语音信号。两者之音的网络必须支持 IP 传输，且可以是 IP 路由器和网络链路的任意组合。因此可以简单地将 VoIP 的传输过程分为下列几个阶段。

## 1、语音-数据转换

语音信号是模拟波形，通过 IP 方式来传输语音，不管是实时应用业务还是非实时应用业务，首先要对语音信号进行模拟数据转换，也就是对模拟语音信号进行 8 位或 6 位的量化，然后送入到缓冲存储区中，缓冲器的大小可以根据延迟和编码的要求选择。许多低比特率的编码器是采取以帧为单位进行编码。典型**帧长为 10~30ms**。考虑传输过程中的代价，**语音包**通常由 60、120 或 240ms 的语音数据组成。**数字化**可以使用各种语音编码方案来实现，目前采用的语音**编码标准**主要有 ITU-T **G.711**。源和目的地的语音编码器必须实现相同的算法，这样目的地的语音设备帮可以还原模拟语音信号。

## 2、原数据到 IP 转换

一旦语音信号进行**数字编码**，下一步就是对语音包以特定的帧长进行**压缩编码**。大部份的编码器都有特定的帧长，若一个编码器使用 15ms 的帧，则把从第一来的 60ms 的包分成 4 帧，并按顺序进行编码。每个帧合 120 个语音样点（抽样率为 8kHz）。编码后，将 4 个压缩的帧**合成一个压缩的语音包**送入网络处理器。网络处理器为语音**添加包头、时标和其它信息**后通过网络传送到另一端点。语音网络简单地建立通信端点之间的物理连接（一条线路），并在端点之间传输编码的信号。IP 网络不像电路交换网络，**它不形成连接**，它要求把数据放在可变长的数据报或分组中，然后给每个数据报附带寻址和控制信息，并通过网络发送，一站一站地转发到目的地。

## 3、传送

在这个通道中，全部网络被看成一个从输入端接收语音包，然后在一定时间（t）内将其传送到网络输出端。t 可以在某全范围内变化，反映了网络传输中的抖动。网络中的同间节点检查每个 IP 数据附带的寻址信息，并使用这个信息把该数据报转发到目的地路径上的下一站。网络链路可以是支持 IP 数据流的任何拓结构或访问方法。

## 4、IP 包-数据的转换

目的地 VoIP 设备接收这个 IP 数据并开始处理。网络级提供一个**可变长度的缓冲器**，用来调节网络产生的抖动。该**缓冲器可容纳许多语音包**，用户可以选择缓冲器的大小。小的缓冲器产生延迟较小，**但不能调节大的抖动**。其次，解码器将经编码的语音包**解压缩后产生新的语音包**，这个模块也可以按帧进行操作，完全和解码器的长度相同。若帧长度为 15ms，是 60ms 的语音包被分成 4 帧，然后它们被**解码还原成 60ms**的语音数据流送入解码缓冲器。在数据报的处理过程中，**去掉寻址和控制信息**，保留原始的原数据，然后把这个原数据提供给解码器。

## 5、数字语音转换为模拟语音

播放驱动器将缓冲器中的语音样点（480 个）取出送入声卡，通过扬声器**按预定的频率（例如 8kHz）播出**。简而言之，语音信号在 IP 网络上的传送要经过从模拟信号到数字信号的转换、数字语音封装成 IP 分组、IP 分组通过网络的传送、IP 分组的解包和数字语音还原到模拟信号等过程。

# 3.2 关键技术

**语音编码标准：**ITU-T G.711，数据速率为 64kbit/s。

**压缩编码标准：**有 ITU-T **G.723.1** 和 ITU-T **G.729**，以及 **AMR** 等，其中 ITU-T G.723.1 的数据速率为 5.3kbit/s 或 6.3kbit/s，而 ITU-T G.729 的数据速率为 8 kbit/s。

**注：**G.711 往往需要进一步压缩，因此它是其它语音编码算法的输入源。

**语音传输技术：**先利用 RTP/TRCP 协议进行处理，再交给 UDP 进行传输。

VoIP 利用 RTP 实时传输协议传送数据。**RTP** 是一个基于**无连接** UDP 的应用协议，UDP 是无连接的，它不会对数据包的传送提供应答和跟踪，这样 RTP 也不会重新传送网络的丢包，这就要求网络传输中应尽可能减少数据包的丢失；此外，按照 TCP 的应用协议，RTP 也没有直接的碰撞控制，以致于因为发送者发送太多太快的数据包，接收者将被淹没。为了克服这个问题，RTP 应用程序总是以**固定速率**发送数据包，这就要求网络能够尽量以固定的速率传输数据包。

RTP 分组由 RTP 头部和净荷数据组成；RTP 分组由 UDP 包来进行传输，通常一个 UDP 包仅含一个 RTP 分组，若采用一定的封装方法，也可以包含多个 RTP 分组；其中的 RTP 净荷就是 RTP 传送的语音数据。

**控制信令技术：**有两种（1）**H.323** 协议是一个协议族，包含 RAS、Q.931、H.245 等一系列的协议，RAS 协议用于呼叫接入控制等功能，Q.931 协议用于实现呼叫控制，而 H.245 协议用于媒体信道控制（2）SIP 协议采用的是客户机/服务器（C/S）结构，定义了各种不同的服务器和用户代理，通过和服务服务器之间的请求和响应来完成呼叫控制。

### 3.3VoIP 业务调度问题：

首先介绍一下 **LTE 系统中的资源调度**。与传统 3G 技术不同的是，LTE 系统采用下行 OFDMA、上行 SC-FDMA 的接入方式，供基站进行调度的传输资源由以前 3G CDMA 系统的码域资源变成了**时频二维资源**。同时，LTE 系统中取消了专用信道，采用**共享信道**的调度式资源分配方式，eNB（基站）可以根据不同用户的不同信道质量、业务的 QoS 要求以及系统整体资源的利用情况和干扰水平来进行**综合调度**，从而更加有效地利用系统资源，提高系统的吞吐量，使得无线资源可以得到最大限度的有效利用。但同时，这种调度方式带来的开销也是系统设计者必须考虑的问题之一。

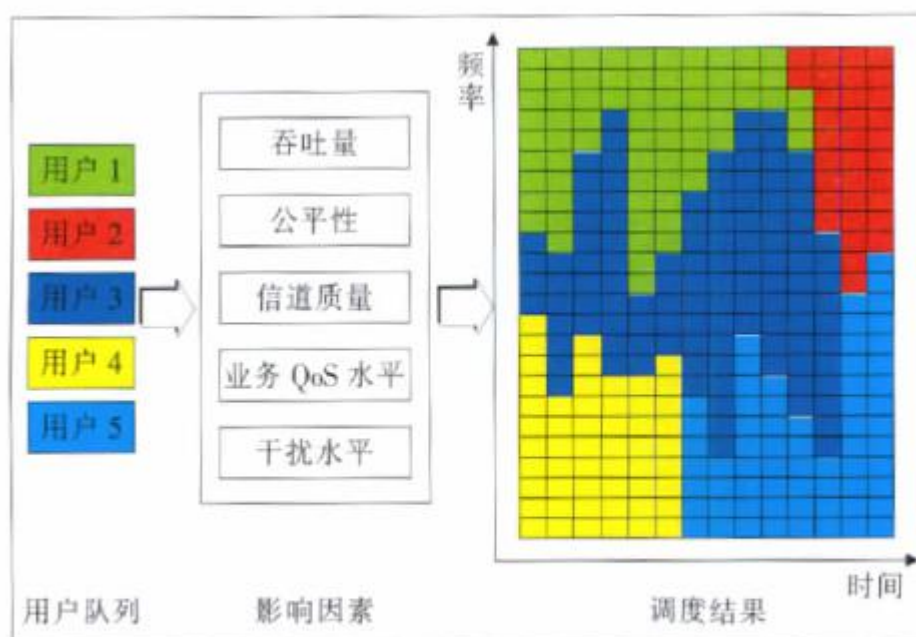


图 1 LTE 系统的资源调度示意图

在 LTE 系统中，取消了全部电路域的语音业务，而代之以数据域的 VoIP 业务。但由于语音用户的数量往往比较庞大，LTE 又采用共享式调度的资源分配方式，每次传输都需要相关的控制信息，所以过大控制信息开销可能会成为 LTE 系统同时支持的用户数能达到的系统吞吐量的瓶颈。在 LTE 系统中，其带宽所能支持的 VoIP 用户数是其可调度指示用户数的 5 倍左右，于是，对于 VoIP 业务而言，LTE



系统**控制信息的不足**将极大地限制其所同时支持的用户数。针对这类数据包大小比较固定，到达时间间隔满足一定规律的实时性业务，LTE 引入了一种新的调度方式——**半静态调度技术**。

LTE 系统中，每个用户会配置独有的无线网络标识（RNTI），eNB 通过用 UE 的 RNTI 对**授权指示 PD-CCH** 进行掩码来区分用户，对于同一个 UE 的不同类型的授权信息，可能会通过不同的 RNTI 进行授权指示。如对于动态业务，eNB 会用 UE 的小区无线网络标识（C-RNTI）进行掩码，对于半静态调度业务，使用半静态小区无线网络标识（**SPS-C-RNTI**）等。

在 LTE 的调度传输过程中，起初 eNB 通过 **PDCCH 指示** UE 当前的调度信息，**UE 识别是半静态调度，则保存当前的调度信息**，每隔固定的周期在相同的时频资源位置上进行该业务数据的发送或接收。使用半静态调度传输，可充分利用语音数据包**周期性到达**的特点，**一次授权，周期使用**，可以有效地节省 LTE 系统用于调度指示的 PDCCH 资源，从而在不影响通话质量和系统性能的同时，支持更多的语音用户，并且为动态调度的业务保留一定的控制信息以供使用。

以典型的 **VoIP 业务** 为例，其数据包到达周期为 **20 ms**，则 eNB 只要通过 PDCCH 给 UE 半静态调度指示，UE 即按照 PDCCH 的指示进行**本次**调度数据的传输或接收，并且在**每隔 20 ms**，在相同的时频资源位置上进行新到达的 VoIP 数据包的传输或接收。如图 2 所示，标记为绿色的资源即为 UE 周期进行发送或接收的资源位置。

对于半静态调度传输，主要有 3 个关键的步骤，即半静态调度传输的激活、半静态调度传输的 HARQ 过程和半静态调度传输资源的释放。

VoIP 业务具有的特点，例如**包比较小**，为几十个字节，包的**到达间隔**和包的**大小基本上是固定**的。如果针对 VoIP 业务的这些小包采用动态调度方法，信令负荷会很大。在 LTE 系统中要达到一定的 VoIP 用户容量，需要减少开销。因此，提出了**持续调度**（Persistent Scheduling）的方法，即为 VoIP 业务周期性的持续分配资源。如何利用 VoIP 业务的特点进行有效的调度，保证 QoS（Quality of Service），最大程度的减少信令开销，是需要研究的问题。

VoIP 业务存在三个状态：瞬态、激活期和静默期。**瞬态包**只发生在会话开始以及会话过程中，包的头没有进行头压缩，因此这个状态的包比较大，包大小为 97byte。**激活期**的包为进行了头压缩的语音业务的数据，包大小为 **35~49byte**。在**静默期**没有语音数据传输，只有由于背景噪声产生的 SID（Silence Descriptor）包，包大小为 **10~24byte**。以上包的大小值都是基于 **AMR**（Adaptive Multi Rate）声码器，速率为 **12.2kbps**。包到达**间隔是固定**的，在瞬态/激活期时为 **20ms**，静默期为 **160ms**。从业务模型可以看出，VoIP 业务具有包比较小，包的大小比较固定，到达间隔比较固定的特点。VoIP 业务的调度方案应当充分利用这些特点，优化系统性能。

参考：LTE 系统语音业务调度研究 (1)；LTE 系统的半静态调度传输解决方案。

### 3.4 VoIP 中的 QoS 保障技术

主要包括抖动平滑技术、丢包处理技术、拥塞控制技术、回声消除技术以及静默压缩技术等，至于降低延时的问题，需要考虑网络拥塞，并对链路层延时或抖动缓冲（Jitter Buffer）延时进行改善。

### 3.5 有关 QoS 的 3GPP 标准

## 二、LTE 知识总结

### 1.TDD 帧结构

TD-LTE 系统采用 3GPP 定义的 type 2 帧结构<sup>[3]</sup>，如图 2 所示。

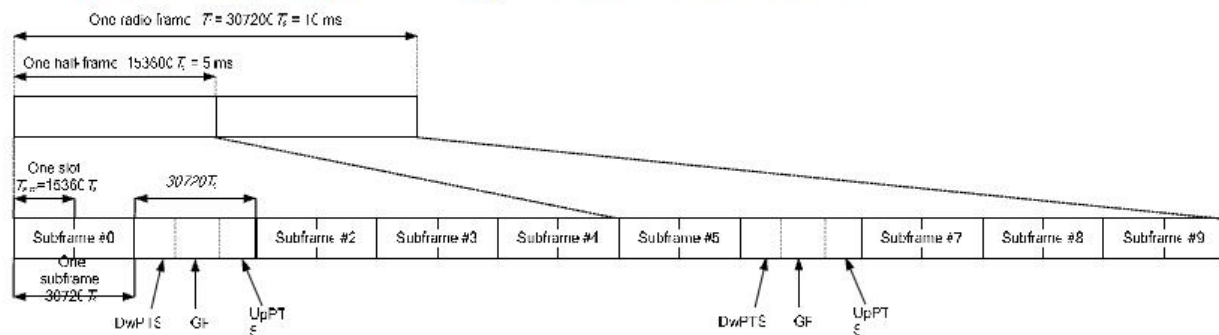


图1 帧结构 type 2 (5ms 切换点周期)

帧长为 10ms，每个无线帧由两个 5ms 长的半帧组成。每个半帧由 5 个 1ms 长的子帧组成，每个半帧包括 8 个时长 0.5ms 的时隙，和 3 个特殊时隙：DwPTS，GP 和 UpPTS。三者的总时长为 1ms。每个特殊时隙的长度可变。其它时隙的长度和 OFDM 符号的长度与 FDD 保持一致。该帧结构支持 5ms 和 10ms 切换点周期。

如果下行到上行转换点周期为 5ms，特殊子帧会存在于两个半帧中；

如果下行到上行转换点周期 10ms，特殊子帧只存在于第一个半帧中。

子帧 0 和子帧 5 以及 DwPTS 总是用于下行传输。UpPTS 和紧跟于特殊子帧后的子帧专用于上行传输。

DwPTS 传什么和特殊子帧的配置有关，某些配置下的 DwPTS 只能传 PSS，某些配置下的 DwPTS 可以同时传下行数据，只是可用 PRB 数有限制，可以参考 36.211 和 36.213

DwPTS 和 UpPTS 的长度可配置，DwPTS 的长度为 3~12 个 OFDM 符号，UpPTS 的长度为 1~2 个 OFDM 符号，相应的 GP 长度为 1~10 个 OFDM 符号。

DwPTS 也可用于传输 PCFICH、PDCCH、PHICH、PDSCH 和 P-SCH（主同步信号）等控制信道和控制信息。其中，DwPTS 时隙中下行控制信道的最大长度为两个符号，且主同步信道固定位于 DwPTS 的第三个符号。

Uplink-downlink configuration	Downlink-to-Uplink Switch-point periodicity	Subframe number									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5 ms	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	5 ms	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10 ms	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	10 ms	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	10 ms	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

从图中可以看到，子帧 0 和 5 传输的总是下行子帧。子帧 1 传输的总是特殊子帧。并且特殊子帧后传输的总是上行子帧。

在上述的几种配置中，0—2 和 6 的配置，从下行到上行的转化周期为 5s,由于从下行转换为上行时，首先发送特殊子帧，意味着特殊子帧的出现周期为 5 秒，也就是说，子帧 1 和子帧 6 传输的是特殊子帧。

配置 3，4，5 中，下行到上行的转换周期为 10 s。

这里经常会有疑问，为何只有下行 subframe 到上行 subframe 之间有隔离（GP），而在上行 subframe 到下行 subframe 之间没有有隔离（GP）？

在 36.211，Section 8 里面提到，上行发送的时间是：  
 $TA + TA_{offset}$ ,  $TA_{offset}$  固定为 624 个  $T_s$ ，前面是基站进行上行同步用的，后面这个就是上行提前了发送的时间了,也就是可以理解为上行到下行的时间间隔。

特殊子帧包含三个部分：DwPTS(downlink pilot time slot),GP(guard period),UpPTS(uplink pilot time slot)。DwPTS 传输的是下行的参考信号，也可以传输一些控制信息。UpPTS 上可以传输一些短的 RACH 和 SRS 的信息。GP 是上下行之间的保护时间。

同其他的子帧相同，特殊子帧的长度也是 1S。但其中各个部分的长度是不同的，是可以通过高层信令配置的。如下图所示：

Special subframe configuration	Extended cyclic prefix length in OFDM symbols			Normal cyclic prefix length in OFDM symbols		
	DwPTS	GP	UpPTS	DwPTS	GP	UpPTS
0	3	8	1	3	10	1
1	8	3		9	4	
2	9	2		10	3	
3	10	1		11	2	
4	3	7	2	12	1	2
5	8	2		3	9	
6	9	1		9	3	
7	-	-	-	10	2	
8	-	-	-	11	1	

相对而言，UpPTS 的长度比较固定，只支持一个符号、两个符号两种长度，以避免过多的选项，简化系统设计，GP 和 DwPTS 具有很大的灵活性，这主要是为了实现可变的 GP 长度和 GP 位置，以支持各种尺寸的小区半径。

表 4.2-1: 特殊子帧配置 (DwPTS/GP/UpPTS 长度)

特殊子帧配置	常规循环前缀，下行			常规循环前缀，上行		
	DwPTS	UpPTS		DwPTS	UpPTS	
		常规循环前缀，上行	扩展循环前缀，上行		常规循环前缀，上行	扩展循环前缀，上行
0	$6592 \cdot T_s$	$2192 \cdot T_s$	$2560 \cdot T_s$	$7680 \cdot T_s$	$2192 \cdot T_s$	$2560 \cdot T_s$
1	$19760 \cdot T_s$			$20480 \cdot T_s$		

2	$21952 \cdot T_s$			$23040 \cdot T_s$		
3	$24144 \cdot T_s$			$25600 \cdot T_s$		
4	$26336 \cdot T_s$			$7680 \cdot T_s$		
5	$6592 \cdot T_s$	$4384 \cdot T_s$	$5120 \cdot T_s$	$20480 \cdot T_s$	$4384 \cdot T_s$	$5120 \cdot T_s$
6	$19760 \cdot T_s$			$23040 \cdot T_s$		
7	$21952 \cdot T_s$			-	-	-
8	$24144 \cdot T_s$			-	-	-

## 2. OFDM

(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

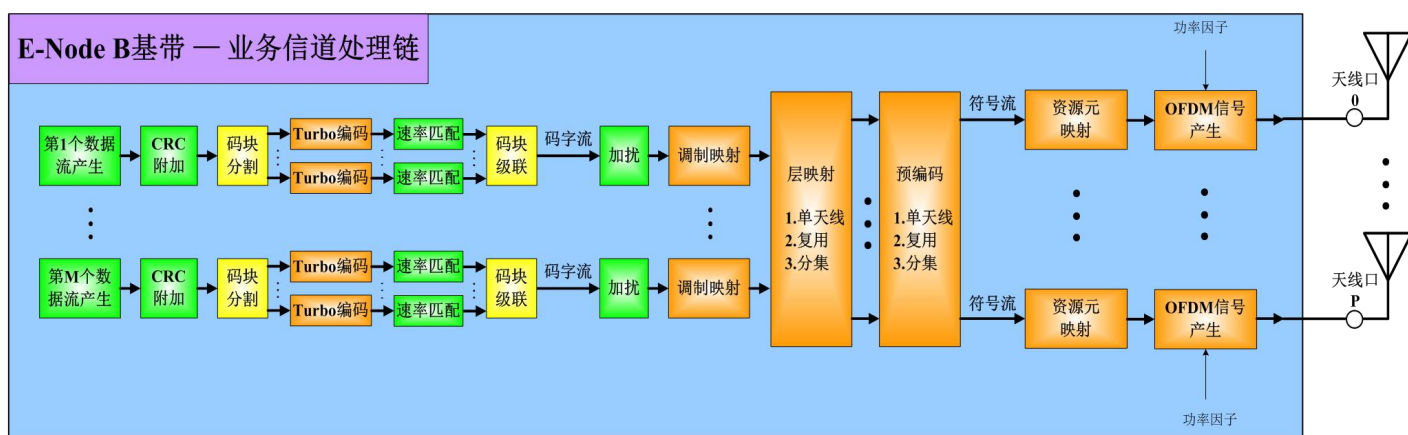
即交频分复用技术，实际上 OFDM 是多载波调制的一种。其**主要思想**是：将信道分成若干正交子信道，**将高速数据信号转换成并行的低速子数据流**，调制到在每个子信道上进行传输。正交信号可以通过在接收端采用相关技术来分开，这样可以减少子信道之间的相互干扰 ICI(Inter-Channel Interference)。每个子信道上的信号带宽小于信道的相关带宽，因此每个子信道上的可以看成平坦性衰落，从而可以消除符号间干扰。而且由于每个子信道的带宽仅仅是原信道带宽的一小部分，信道均衡变得相对容易。

OFDM 的**循环前缀 CP**：循环前缀为单个的 OFDM 符号创建一个保护带，在信噪比边缘损耗中被丢掉，以极大地减少符号间干扰。信道有多径时延，如果没有 CP，时间上，OFDM 符号之间就会因为信道多径影响而相互干扰，从而破坏了子载波之间的正交性，大大降低性能。加了 CP 之后，就是避免 OFDM 符号之间相互干扰，因此 CP 的长度是有讲究的，一定要大于最大多径时延。OFDM 的循环前缀 (CP) 可以使接收 OFDM 呈现循环卷积。循环卷积就可进行 FFT 计算，FFT 变换就是正交载波调制的。**特点**：1 它必须是 OFDM 符号最后一段时间的重复 2 CP 时间必须大于时延扩展，否则不能完全消除子载波间干扰 (ICI)。

OFDM 包络的不恒定性可以用 PAPR 来表示。PAPR(Peak to Average Power Ratio)是峰值功率与平均功率之比。**PAPR 越大，系统的包络的不恒定性越大**。因此要改善系统性能，就是要设法减小 PAPR。



### 3. 物理层处理细节



对于负责向高层提供数据传输服务的 LTE 物理层，它可以通过 MAC 子层并使用传输信道来接入这些服务。为了支持成对的和不成对的频谱，支持频分双工（Frequency Division Duplex .FDD）模式和时分双工（Time Division Duplex .TDD）模式。

物理层是基于**资源块**以带宽不可知的方式进行定义的，从而允许 LTE 物理层适用于不同的频谱分配。一个资源块在频域上或者占用**12 个带宽为 15KHz**的子载波，或者占用**24 个宽度为 7.5KHz**的子载波，在时域上持续时间为**0.5ms**。

在每个**无线帧**中，又引入**RE（Resource Element）**的概念，通过上层调度进行资源分配，同时**将数据映射到相应的 RE 上**并通过无线帧传输将数据和控制信令发出。

在具体的实现过程中，系统的发送侧和接收侧需要区分比特级和符号级进行处理。以发送侧为例，**比特级**处理是数据处理的前端，主要是将二进制数据进行添加 CRC 校验位、信道编码、速率匹配以及加扰的处理之后发送至下一级处理；**符号级**处理则是将加扰之后数据进行**调制、层映射、传输预编码、资源块映射**并经过**天线**将数据发送出去。

#### 3.1 UE 侧编码原理

首先以数据信道为例来简单研究下发送侧的编码原理。

首先对输入的**TB 块进行 CRC 添加和码块分割**以及后继的**CRC CB 块添加**。这里需要注意的是，TB 块 CRC 和 CB 块 CRC 虽然同为 24 比特，但是生成多项式却是不同的。

采用 CRC 校验时，发送方和接收方用同一个生成多项式  $g(x)$ 。CRC 校验时，以计算的校正结果是否为 0 为据，判断数据帧是否出错。这样做主要是实现接收侧 CRC 的双重校验，**TB 块的校验可以检出 CB 块未校验出的错误**，保证校验的准确性。

特别需要注意的是，**Turbo 编码只适用于下行的 PDSCH 编码，对于 PBCH 和 PDCCH 都需要用咬尾卷积编码**，其输出至速率匹配的三部信号分为对应于三个不同的转移函数，其中  $0dkG0 = 133(octal)$ ， $11171()kdG = octal$ ， $22165()kdG = octal$ 。

**速率匹配部分主要作用是将 1/3 码率输出的编码数据进行速率整合，以使其适合 HARQ 重传的需求**。首先三路信道会分别经过信道交织。此交织为典型的分组交织，行读入，列读出。循环缓冲区将之前的三路信号顺序全部读入到相应位置，读出时根据 RV 值计算出 CB 块的起点位置将数据依次读出。

需要注意的是，之前信道交织中有可能添加进来的填充比特在读出过程中需要丢掉。再经过码块级联，即完成发送侧的数据信道编码。为基于 CB 块的速率匹配结构图。

对于控制信道的（包括 PDCCH 和 PBCH）速率匹配，首先由上层根据 UE 报告的宽带 CQI 值确定 PDCCH 的格式（即 PDCCH 占用的 CCE 的个数），然后根据占用的 CCE 的个数进行速率匹配。信道条件好，信道码率可以提高，即可以占用较少的 CCE；信道条件差，信道码率可以降低，即可以用较多的 CCE 进行控制信息的传输。算法实现上，在接收到循环卷积编码后的三路数据之后，经过与 PDSCH 原理大致相同的交织处理过程。只是在比特收集和筛选过程中，是将数据收集到循环缓冲区之后直接按 CB 块输出，而无需通过 RV 值选择输出数据的起点接收侧，三条信道的译码过程主要是发送端编码的逆过程。但是由于每条信道的各自特性，过程又稍有不同。

## 3.2 LTE 下行比特级译码实现设计

3GPP 下行主要包括 PBCH(Physical Broadcasting Channel)、PDCCH(Physical Downlink Control Channel)、PDSCH (Physical Downlink Shared Channel)、PHICH(Physical HARQ Indicator Channel)、PCFICH(Physical Control Format Indicator Channel)五个传输信道。其中，PHICH 和 PCFICH 在解调的时候就将其检出并将数据反馈给高层，故而在比特级并不对其做处理。下行译码过程主要涉及到 PDSCH、PDCCH 和 PBCH 三条信道。这三条信道的译码过程如所示。

### 3.2.1 PBCH 信道译码过程

PBCH 作为广播信道，主要用于 UE 初始化接入网络 and 小区初始化建立时对整个小区系统配置消息进行广播。LTE 3GPP 中指出在发送侧 PBCH 的原始 MIB (the Master Information Block) 信息为 24 比特，对其进行 16 比特 CRC 添加后进行编码以及后续处理。

在接收侧，由于 PBCH 信道在物理层配置是完全静态的并且不支持任何自适应调度和重传，因此，为了保证 PBCH 信道的可靠性传输，鉴于它码率非常低 ( $(24+16)/1920=0.0204$ )，因此在解调、解速率匹配时需要将解扰后的软比特块进行多次重复的软合并，解速率匹配后的序列被送往信道译码模块；由于 PBCH 信道传输数据量较小，故 PBCH 采用 Viterbi 算法进行译码。译码器输出比特序列还需要用相应天线数对应的天线 mask 扰码进行解扰，进行 CRC 校验，最终完成子帧的检测。

鉴于其他过程的通用性，这里只对 PBCH 的子帧检测的是实现过程进行着重研究。

在子帧自解码的过程中，接收到的子帧内比特分别与 4 个扰码子块进行解扰、译码处理，如果信道条件足够好的话，在同某一个扰码子块处理过程中可以实现子帧的自解码，从而可以判断出无线帧的序号，也就是当前无线帧在 PBCH 的 TTI 中的位置。

如果利用一个子帧中的接收数据不能实现自解码，则可以连续接收第二个无线帧中的 PBCH 传输块，并且利用两个无线帧的数据一起进行检测，在解扰过程中也将两个连续的 CB 块一起操作，从而提高检测概率。依此类推，直至实现 PBCH 的正确接收。

接收端的 PBCH 检测过程的具体过程是这样的：

- (1) 从相应的时频位置获得 PBCH 信号；
- (2) 根据发射、接收天线数，采用相应的算法对 PBCH 信号进行均衡；
- (3) 进行 QPSK 符号解调，得到软比特信息；
- (4) 利用 CB0 解扰码序列进行解扰处理；
- (5) 从序列的起始位置提取编码比特，并且将编码序列送入译码器进行译码了；
- (6) 根据发射天线数利用相应的天线掩码对译码序列进行解扰处理；
- (7) 对解扰的序列进行 CRC 校验，如果正确，则检测成功，从而可以判断当前接收到的无线帧的序号；如果错误，则分别利用 CB1、CB2、CB3 重复步骤 4—7，在步骤 5 读取码字序列；

(8) 如果上述过程仍不能正确检测出 PBCH 信息, 终端顺序接收下一个无线帧的 PBCH 信息, 利用两个无线帧的数据进行联合译码处理。

这里需要注意的是, 由于 PBCH 内传输帧序号信息, 因此每个 TTI 内的 PBCH 信息是不一样的, 因此不同 TTI 内的 PBCH 子块联合检测会导致检测失败。在上述的检测过程中, 如果利用一个接收子帧内的数据检测失败, 会联合下一个无线帧内的 PBCH 子块进行联合检测, 而此时如果这两个子块位于同一个 PBCH TTI 内, 会提高检测概率, 而如果两个子块属于不同的 TTI, 则会导致检测失败, 此时可以顺序接收下面的 PBCH 子块, 如果利用连续的四个子块仍不能成功检测, 再接收下一个子块, 同时将第一个子块数据丢弃, 利用最后接收到的连续四个子块进行联合检测, 如此重复, 直至检测成功为止。该检测过程的流程所示。

### 3.2.2 PDCCH 信道译码过程

PDCCH 信道主要携带**调度分配和其他的控制信息**, 所有的信息都包含在 **DCI** (Downlink Control Information) 中。主要是根据调度的不同需要, DCI 所采取的格式和其中的信息也**有所差别**, 但是实现方式基本一致。DCI 的原始比特长度根据格式的不同有所差别 (format 0, 1A, 3 长度为 31 比特 (format 0 和 1A 是通过 DCI 信息中的 FLAG 标志位; format 3 则是通过被 common identity, rather than UE-specific identity 加扰进行区分); format 1 长度为 42 比特; format 1B 长度为 33 比特; format 2 长度为 54 比特; format 2A 长度为 51 比特, 该统计均是在上下行带宽 20MHz, 天线个数 1~2 的简化需求下计算得到的, 仅作为举例)。至于**采用哪种格式**的 DCI, 则**由高层根据调度请求的不同进行配置**后发给物理层。

当盲检测过程从搜索空间中候选 PDCCH 的控制信息提取出来后, 根据需要检测的 DCI 信息长度为  $n$ , 从 PDCCH 对应的 CCE 中经解调解扰提取出  $f(n)$  个软比特信息。按照需要检测的 DCI 信息长度为  $n$  进行软合并; 然后送往咬尾比特卷积码译码器做信道译码; 当盲检 DCI format 0 且 UE 被高层配置天线选择时, 用相应 RNTI 和天线选择掩码解扰 CRC 校验比特部分并进行 CRC 校验; 否则用相应 RNTI 解扰 CRC 校验比特部分并进行 CRC 校验; 输出 CRC 校验结果, 如果校验正确, 输出 DCI 复用信息比特以及可能的天线选择信息。

这里, 对于 UE 侧的一个问题就是: 由于在发送端 eNodeB 会针对多个 UE 同时发送 PDCCHs, 在接收端如何实现对这多个 PDCCHs 的检测以保证 UE 接收到相应的控制信息, 同时又不会为系统带来多余信令的消耗。

在实现上, 这也体现了 PDCCH 信道与其他信道译码最大的不同, 即在 CRC 校验之后需要对 DCI 数据进行解包盲检测。为了保证 eNodeB 侧发送的多个 PDCCH 能够被正确的 UE 接收到, 需要设定一个 DCI 的搜索空间, 同时针对不同的传输过程, 需要检测 DCI 的不同格式和被加扰 RNTI 并解出 DCI 中包含相应的信道控制的信息并反馈给高层。因此, 为了防止提高检测效率, 针对不同的调度和传输情况, 设定了特定搜索空间 (specific searchspace) 和公共搜索空间 (common search space)。

在 CRC 校验部分, 除了完成正常的去校验位并得到 DCI 数据的基本功能外, 还需要对搜索空间进行检测, 得到目前该 DCI 是处在特定搜索空间还是公共搜索空间的指示, 并且检测出当前 RNTI 和 DCI 类型。在得到这些检测基本信息之后, 将数据传向 unpack 部分, 进行 DCI 解包分析。

### 2.3 PDSCH 信道译码过程

PDSCH 信道主要用来携带下行链路的数据信息, 也承载一部分 PBCH 信道中没有承载的广播消息 (SIB, System Information Block, 包含一部分小区选择和调度信息)。数据在 PDSCH 上以 Transport Block (以下简称 TB 块) 的形式进行传输, 这些 **TB 块对应于 MAC 层的 PDU** (Protocol Data Unit)。每一个 **TTI**, **TB 块都从 MAC 层传到物理层**, 在接收侧经过符号级 (接收侧解调之前) 的处理, 在解扰后到达比特级译码部分。在发送端, **为了满足 Turbo 编码的需求**, 需要将一个大的 **TB 块分成若干 Code Block** (以下简称 CB 块), 大小从 40 到 6144 比特不等。在**接收端**, 在 Turbo 译码之后, 也需要先经过**码块级**联再进行 CRC 校验, 最后将传输数据反馈给高层。

## 4.HARQ

允许接收端将错误的数据包储存起来，并将当前接收到的重复数据流与缓存中先前未能正确译码的数据流相对应并按照信噪比加权合并后译码，相当于起到了分集的作用。可以分为相位合并（Chase Combination, CC） HARQ 和增量冗余（Incremental Redundancy, IR） HARQ 两种。在 CC HARQ 中，各次重传分组相同，接收端通过最大比合并各次重传数据流，从而获得分集增益改善链路质量。在 IR HARQ 中，各次重传分别按照不同的冗余版本，将各次重传数据流合并后，接收端将获得一个冗余更多码率更低的码字，从而提高码字被正确译码的概率，改善链路质量。

HARQ 主要是由速率匹配这个模块进行实现的。UE 接收到 NAK 信息后向 eNode B 重传同一个 TTI 的数据包，接收端将解速率匹配模块输出的数据流与收端缓存中的数据流进行软合并，然后进行 Turbo 译码和 CRC 校验。如此重复直到传输正确或者重传次数达到预定的最大重传次数为止，UE 接着再发送下一个 TTI 的数据块。在进行重传时，若采用 CC HARQ，速率匹配时冗余版本号为 0；若采用 IR HARQ 时，速率匹配时冗余版本号则为 0,1, ...,  $r_{max}$  ( $r_{max}$  为最大重传次数)。对于 CC 方式，重传的子数据包与第一次传输的子数据包完全相同，即 data1；对于 IR 方式，重传的子数据包中包含额外的校验位(data12, data13)，增强了合并后的数据包的纠错能力。

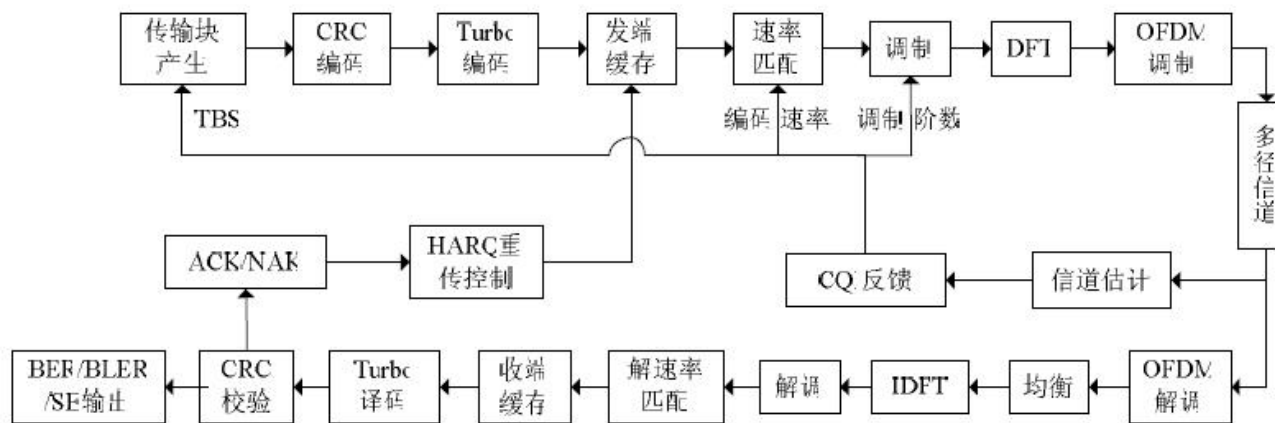


图 1 LTE 上行链路仿真模型

## 5.信道类型

**物理信道、逻辑信道、传输信道之别。**这个问题不是 LTE 特有的，在 3G 中已经引入了 RLC 和 MAC 来承载逻辑和传输信道。至于原因有多方面的，我们知道物理信道只是最后传输的载体，但是在物理信道上传什么样的信息，以及怎样传信息是需要上层来确定的，因此就有了逻辑信道（传什么样的信息），以及传输信道（怎样传信息）。另外对于这些不同类型的信道的加密方式也是需要定义的，这就是为什么需要引入 RLC 层的原因。同理，对于传输信道的传输格式选择以及优先级队列的调度也是需要的，因此也就有了 MAC。所以这样做的目的就是更加高效地对资源进行调度、分配和管理，尽可能提高系统的处理效率。

LTE 的逻辑信道，传输信道，物理信道功能介绍

### 5.1 逻辑信道

介于 MAC 层和 RLC 层之间。



逻辑信道按照消息的类别不同,将业务和信令消息进行分类,获得相应的信道称为逻辑信道,这种信道的定义只是逻辑上人为的定义。

按**内容**本身区分,MAC 通过逻辑信道为上层提供数据传送服务,MAC 支持的逻辑信道:

逻辑信道名	缩写	控制信道	业务信道
Broadcast Control Channel 广播控制信道	BCCH	X	
Paging Control Channel 呼叫控制信道	PCCH	X	
Common Control Channel 通用控制信道	CCCH	X	
Dedicated Control Channel 专用控制信道	DCCH	X	
Dedicated Traffic Channel 专用数据信道	DTCH		X

BCCH:下行广播控制信息

PCCH:下行寻呼信息

CCCH:在 **RRC** 连接建立**前** UE 与网络之间的**双向**控制信息。

MCCH:控制一个或者多个 MTCH 的控制信息,只有支持 MBMS 才有该信道

**DCCH**: **RRC** 连接建立**后** UE 到网络之间的双向控制信息

**DTCH**:点到点的双向业务信息。

## 5.2 传输信道

介于物理层和 MAC 层之间。

传输信道对应的是空中接口上不同信号的基带处理方式,根据不同的处理方式描述信道的特性参数,构成了传输信道的概念,具体来说,就是信号的信道编码、选择的交织方式(交织周期、块内块间交织方式等)、CRC 冗余校验的选择以及块的分段等过程的不同,而定义了不同类别的传输信道;简单的说就是会**定义 MCS, 编码**,等方式,也就是**告诉物理层**如何去传递这些消息。

按怎样传,传什么**特征**的数据区分,物理层通过传输信道为上层提供数据传送服务。物理层支持的传输信道:

传输信道名	缩写	下行	上行
Broadcast Channel 广播信道	BCH	X	
Downlink Shared Channel 下行共享信道	DL-SCH	X	



Paging Channel 呼叫信道	PCH	X	
Uplink Shared Channel 上行共享信道	UL-SCH		X
Random Access Channel 随机接入信道	RACH		X

BCH: 固定 MCS, 广播

PCH: 支持 DRX(UE 省电), 广播

MCH: 广播, 支持 SFN 合并, 支持半静态资源分配(如分配长 CP 帧)

RACH: (随机接入信道) 是一种上行信道, 用于 **PAGING** 回答和 **MS** 主叫/登录的接入等。限信息, 存在竞争。

**DL-SCH**: 下行共享信道 (Downlink Shared Channel, DL-SCH) 支持 HARQ, AMC, 可以广播, 可以波束赋形, 可以动态或半静态资源分配, 支持 DTX, 支持 MBMS(FFS)

UL-SCH: 支持 HARQ, AMC, 可以波束赋形(可能不需要标准化), 可以动态或半静态资源分配

## 5.3 物理信道

位于物理层。

信号在空中传输的承载。

物理信道, 就是在特定的频域与时域乃至码域上采用特地的调制编码等方式发送数据的通道, 物理信道就是空中接口的承载媒体, 根据它所承载的上层信息的不同定义了不同类的物理信道。

### 下行物理信道

PCFICH: 物理控制格式指示信道, 指示 **用多少个 OFDM 符号**来传输 PDCCH. 由 **CFI** 来指示, CFI 可以取值为 CFI = 1, 2, 3, 4 (4 保留)。PCFICH 总是位于子帧的第一个 OFDM 符号上。其具体的位置依赖于系统的带宽和小区的物理标识 PCI (Physical Cell Identity, 物理小区 **标识**)。LTE PCFICH 大小是 2bit, 其中承载的是 CFI (Control Format Indicator), 用来指明 PDCCH 在子帧内所占用的符号个数。

PHICH: 物理 HARQ 指示信道, 用来反**馈上行 HARQ 接收结果**, 用于 NodB 向 UE 反馈和 PUSCH 相关的 ACK/NAK 信息。

**PDCCH**: 物理下行控制信道. PDCCH 承载调度以及其他控制信息, 具体包含 **传输格式**、**资源分配**、**上行调度许可**、**功率控制** 以及与上行传输相关的 **ACK/NAK** 等信息。这些信息可以组成多种控制信息 (DCI) 格式, **被映射到每个子帧的最先的前 n (n ≤ 4) 个 OFDM 符号**中, n 的具体取值由 PCFICH 信道中的 CFI 来指示

PDCCH 中承载的是 DCI (Downlink Control Information), 包含一个或多个 UE 上的资源分配和其他的控制信息。在一个子帧内, 可以有多个 PDCCH。UE 需要首先解调 PDCCH 中的 DCI, 然后才能够在相应的资源位置上解调属于 UE 自己的 PDSCH (包括广播消息, 寻呼, UE 的数据等)

**PBCH**:物理广播信道, 用来传输 MIB 信息的物理广播信道, 传递 UE 接入系统所必需的系统信息, 如带宽, 天线数目等。

**PMCH** 物理多播信道 PMCH

**PDSCH** 物理下行共享信道

UE 需要**先收听 PCFICH** 信道, PCFICH 信道用于描述 PDCCH 的控制信息的放置位置和数量, 然后 UE 去**接收 PDCCH** 的信息, 进而接收 **PDSCH** 的信息。

## 上行物理信道

**PRACH** 物理随机接入信道

(UE 通过上行 RACH 来达到与 LTE 系统之间的上行接入和同步。在 FDD 模式下 (以下若未特别指出, 均是对 FDD 模式而言) PRACH 的大小为 6 个 RB, 每个子帧中, 至多有一个 PRACH (36.211, Section 5.7.1)。TDD 模式下, 允许一个子帧中存在多个频分的 PRACH。)

**PUCCH** 物理上行控制信道 PUCCH。

**PUSCH** 物理上行共享信道

每个信道都有独立的频域资源, 如 PBCH/PSS/SSS/PCFICH/PHICH/PDCCH

## 5.4 映射关系

CCCH 和 DCCH 映射的传输信道都是 DL\_SCH, 对应的物理层都是 PDSCH, 它们的接收过程和数据相同, 都是先通过 RNTI 确认属于 PDSCH 上的数据是否属于自己, 然后接收后上报高层并作解析。

## 6.RS(Reference Signal)

### DL RS

包括 CRS 和 DRS, DRS 用于 BF 数据的**相干解调**; CRS 则用于非 BF 数据的相干解调及**信道测量**。

CRS 是 Cell-specific 的, 在系统频带内的任一个 RB 上都有 CRS, 通过它可以计算各种 CQI (基于全频带的, 子带的或者 RB 的), 而 DRS 即 UE-specific RS 就是 DRS 只在用户分配到的 PDSCH 的 RB 上有, 而且还是预编码的, 也就是说只能计算这些 RB 上的 CQI, 而且还是在选定某个方向上的。因此一般 DRS 只做解调用, 不做测量。这也是目前 LTE-A 把 RS 分为两类的原因 (DM-RS、CSI-RS)。

### UL RS

包括 DM (Demodulation) RS (窄带) 与 Sounding RS (宽带)。前者用于数据 PUCCH, PUSCH 数据的相干解调, 后者用于**信道测量**。更进一步说, DM RS 是用来进行上行信道估计的, 用来解调上行信号。SRS 是用来对上行信道质量评估的, 用来作为上行调度的参考。

## 7.TDD-LTE 网络结构

LTE 的系统架构分成两部分，包括演进后的**核心网 EPC**（MME/S-GW）和演进后的**接入网 E-UTRAN**。演进后的系统仅存在分组交换域。

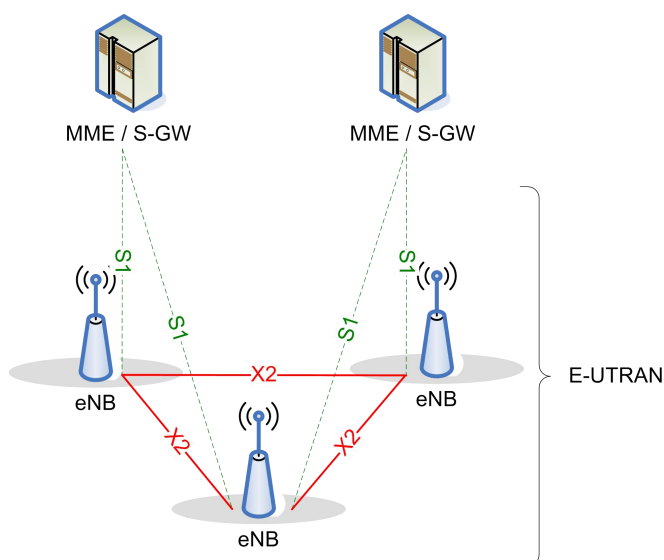
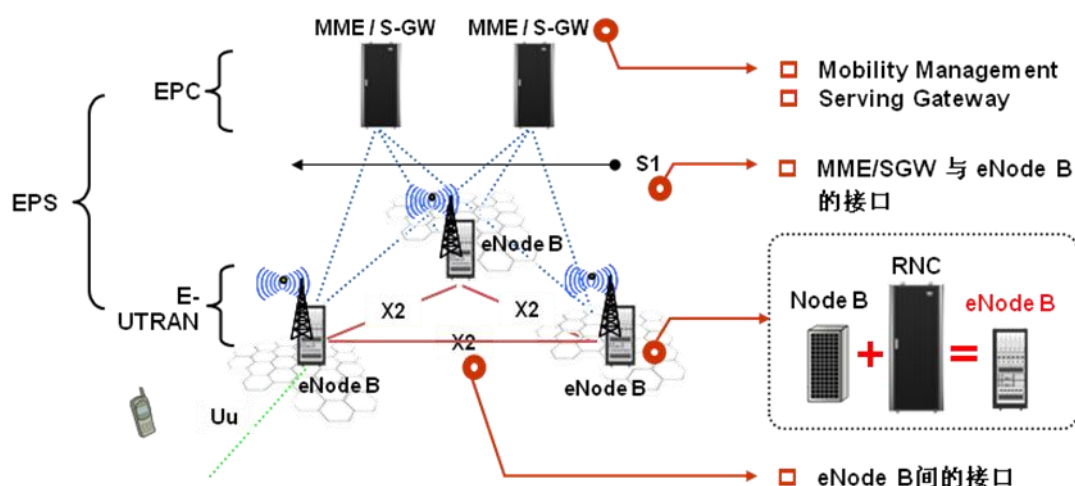
EPS=EPC+E-UTRAN

LTE 是物理层的演进

LTE 提供无线接口，EPC 提供核心网络

LTE+EPC=EPS

网络元素被分成扩充的无线接入网(Evolve-UTRAN, E-UTRAN)、核心网 (Core Network, CN)和用户设备(User Equipment, UE)，其中 E-UTRAN 负责处理所有与无线通信相关的功能；CN 负责对语音和数据业务进行交换和路由查询，以便将业务连接到外部网络



MME:移动管理实体

LTE 接入网仅由演进后的节点 B（evolved NodeB）组成，提供到 UE 的 E-UTRA 控制面与用户面的协议终止点。

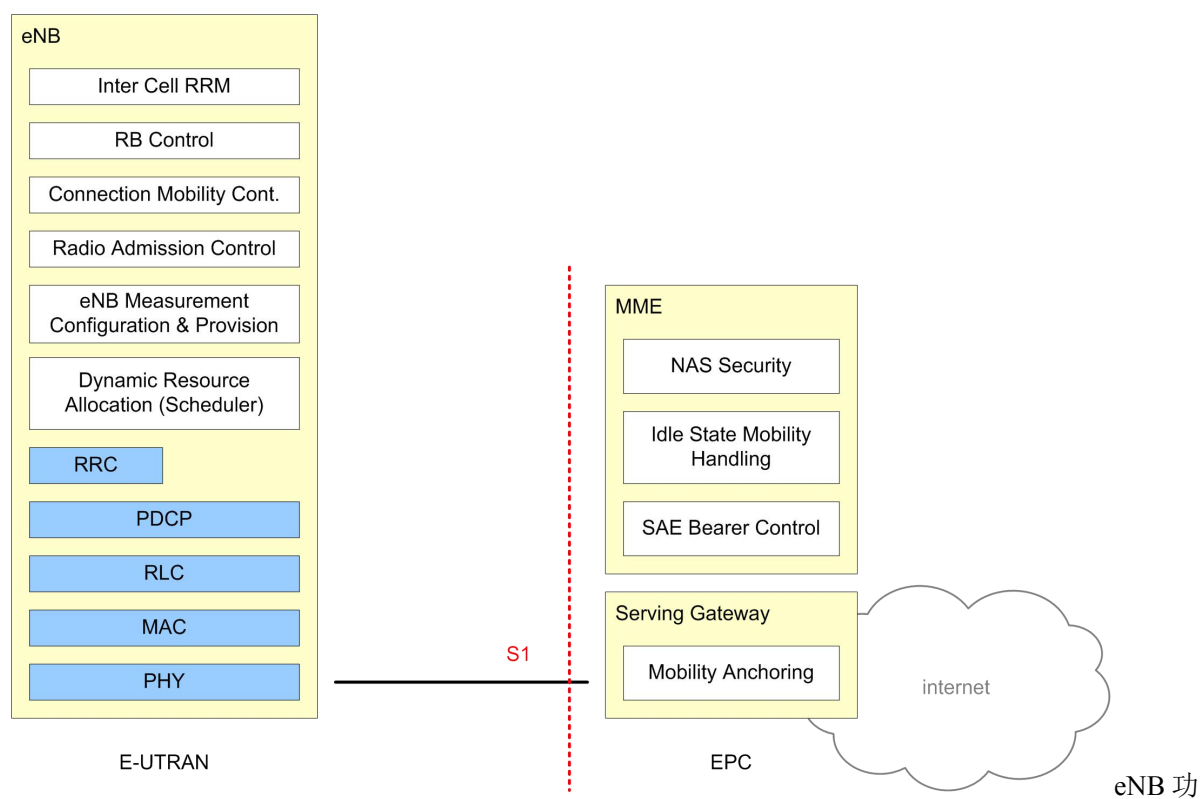
## 7.1EPC 与 E-UTRAN 功能划分

LTE 分为横向三层：物理层、数据链路层、网络高层。

物理层给高层提供数据传输服务。

**数链层(层 2)**分为 MAC 子层，RLC(Radio Link Control)子层，PDCP 子层。PDCP Packet data converge protocol（分组数据汇聚协议）

网络高层即 RRC 层。



能:

**eNB 之间采用 IP 传输。**

- 1) 无线资源管理相关的功能，包括无线承载控制、接纳控制、连接移动性管理、上/下行动态资源分配/调度等；
- 2) IP 头压缩与用户数据流加密；
- 3) UE 附着时的 MME 选择；

- 4) 提供到 S-GW 的用户面数据的路由;
- 5) 寻呼消息的调度与传输;
- 6) 系统广播信息的调度与传输;
- 7) 测量与测量报告的配置。

MME (移动管理实体) 功能:

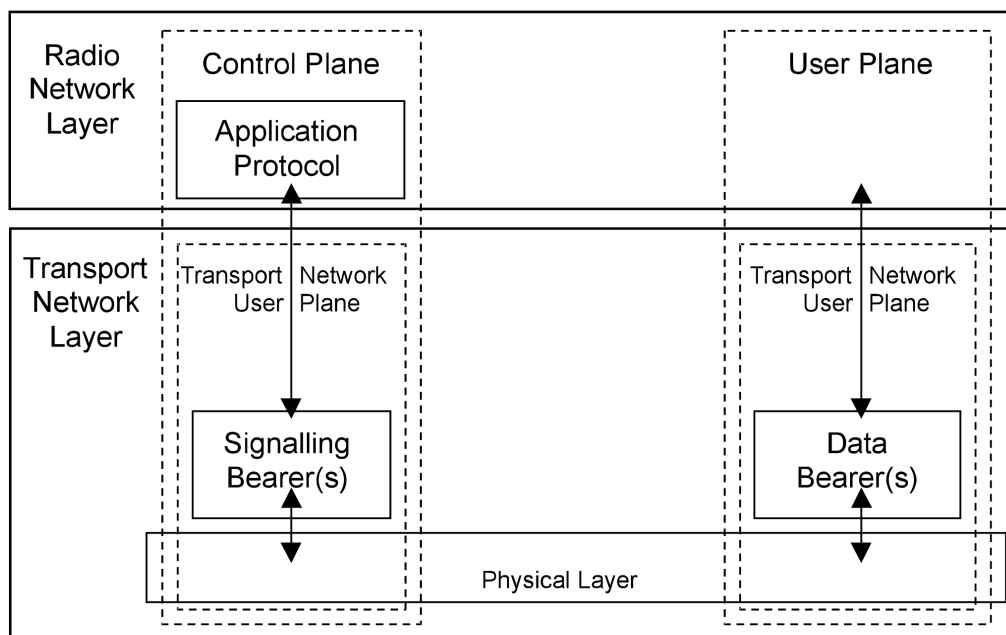
- 1) 寻呼消息分发, MME 负责将寻呼消息按照一定的原则分发到相关的 eNB;
- 2) 安全控制;
- 3) 空闲状态的移动性管理;
- 4) SAE 承载控制;
- 5) 非接入层信令的加密与完整性保护。

服务网关功能:

- 1) 终止由于寻呼原因产生的用户平面数据包;
- 2) 支持由于 UE 移动性产生的用户平面切换。

## 7.2E-UTRAN 接口的通用协议模型

E-UTRAN 接口的通用协议模型如下图所示, 适用于 E-UTRAN 相关的所有接口, 即 **S1 和 X2 接口**。E-UTRAN 接口的通用协议模型继承了 UTRAN 接口的定义原则, 即**控制面和用户面相分离, 无线网络层与传输网络层相分离**。继续保持控制平面与用户平面、无线网络层与传输网络层技术的独立演进, 同时减少了 LTE 系统接口标准化工作的代价。





## 7.3 OSI 七层模型

OSI 模型有 7 层结构，每层都可以有几个子层。OSI 的 7 层从上到下分别是：

7 应用层

6 表示层

5 会话层

4 传输层（段，segment）

TCP 和 UDP 都是传输层的协议，TCP 和 UDP 都在网络层协议（如 IP）的基础上工作地。比如 TCP 向下封装在 IP 包里面。

3 网络层（包，packed）

IP 是网络层的协议

2 数据链路层(帧，frame)

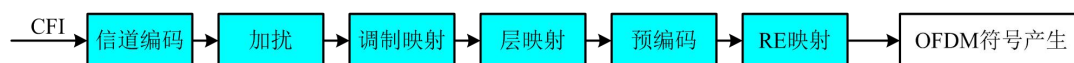
IEEE802 系列标准把数据链路层分成 LLC（Logical Link Control，逻辑链路控制）和 MAC（Media Access Control，媒介接入控制）两个子层。

1 物理层（比特，bit）

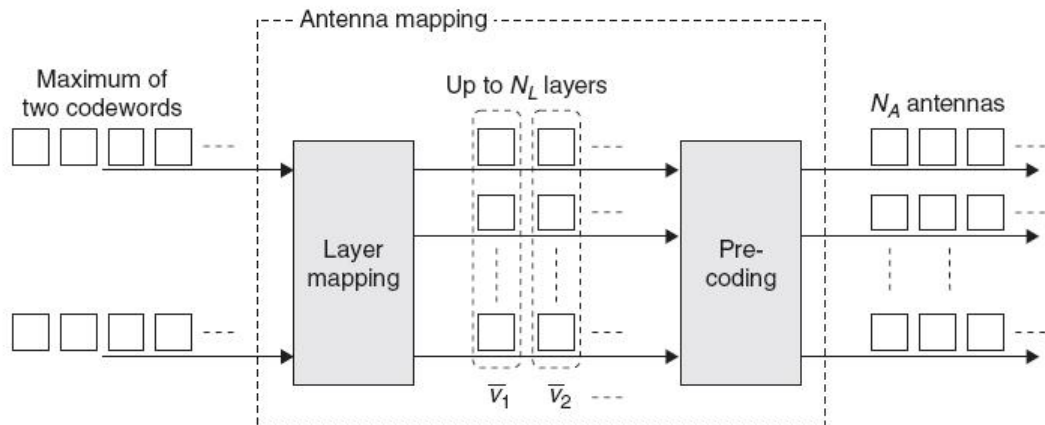
数据发送时，从第七层传到第一层，接受方则相反。

其中高层，既 7、6、5 层定义了应用程序的功能，称为应用层，下面 4 层，既 4、3、2、1 层主要面向通过网络的端到端的数据流。数据在发至数据流层的时候将被拆分。

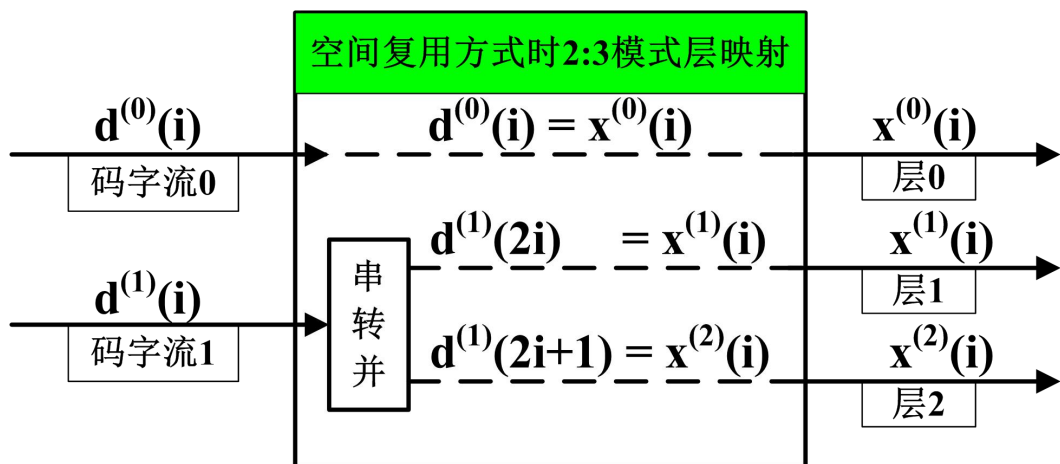
## 8.层映射和预编码



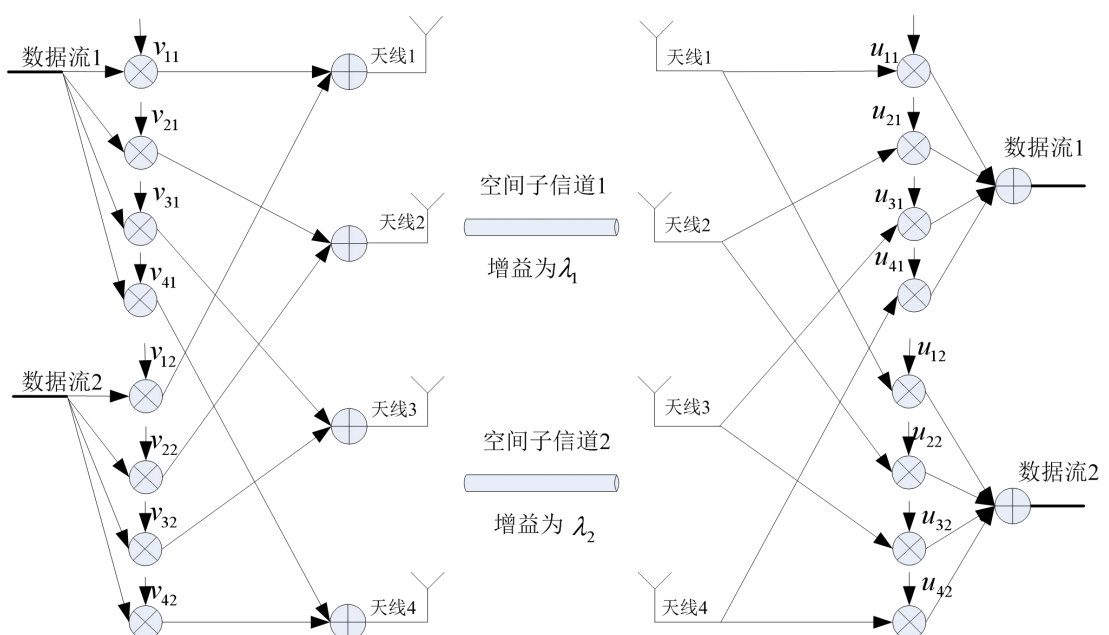
层映射原理示意



空间复用时的层映射举例—2:3



预编码原理示意



层映射（layer mapping）和预编码（precoding）共同组成了 LTE 的 MIMO 部分。

层映射是把码字（codeword）映射到层（layer），这样原本的串行数据流就有了空间的概念，将码字映射到并行的数据流上，层数就是可并行传输的数据流个数，一般来说小于等于信道矩阵的秩，唯一例外的是发分集，层数就是天线的逻辑端口个数。很多 MIMO 的书籍都提到过，其原理类似解线性方程组，每层上的符号就是待解的未知数。

预编码是把数据由层映射到天线端口，所以预编码又可以看做是天线端口映射。预编码：为了使上面的方程组在求解的时候具有更好的精度（反映在通信系统就是误码率），可以利用矩阵原理中的一些算法，对线性方程组系数进行处理，反映出来就是预编码。预编码：把一个编码阵（天线端口数\*层数）乘以并行的多个数据流，从而把所有数据流映射到天线端口上；唯一例外的也是发分集，是硬分配的。

码字可以有 1 路也可以有两路，层可以有 1, 2, 3, 4 层，天线端口可以有 1 个，2 个和 4 个。当层数是 3 的时候，映射到 4 个天线端口，不存在 3 个天线端口的情况。codeword 最大只能取 2

天线端口的概念，是一种导频（图谱），“antenna port defined by the presence of an antenna port specific reference signal”。LTE 最大支持基站 4 根天线，6 个天线端口( $p=\{0,1,2,3,4,5\}$ )，

其中  $p=\{0,1,2,3\}$  表示的是小区专用导频（cell-specific），分别对应 4 根发送天线，一般情况下，每个天线使用其中的一个导频图谱，也就是一个天线端口。

$p=4$  时表示的是 MBSFN 参考信号，与 MBSFN 传输相关联。MBSFN 应该是指多媒体广播单频网 Multicast/Broadcast over Single Frequency Network。

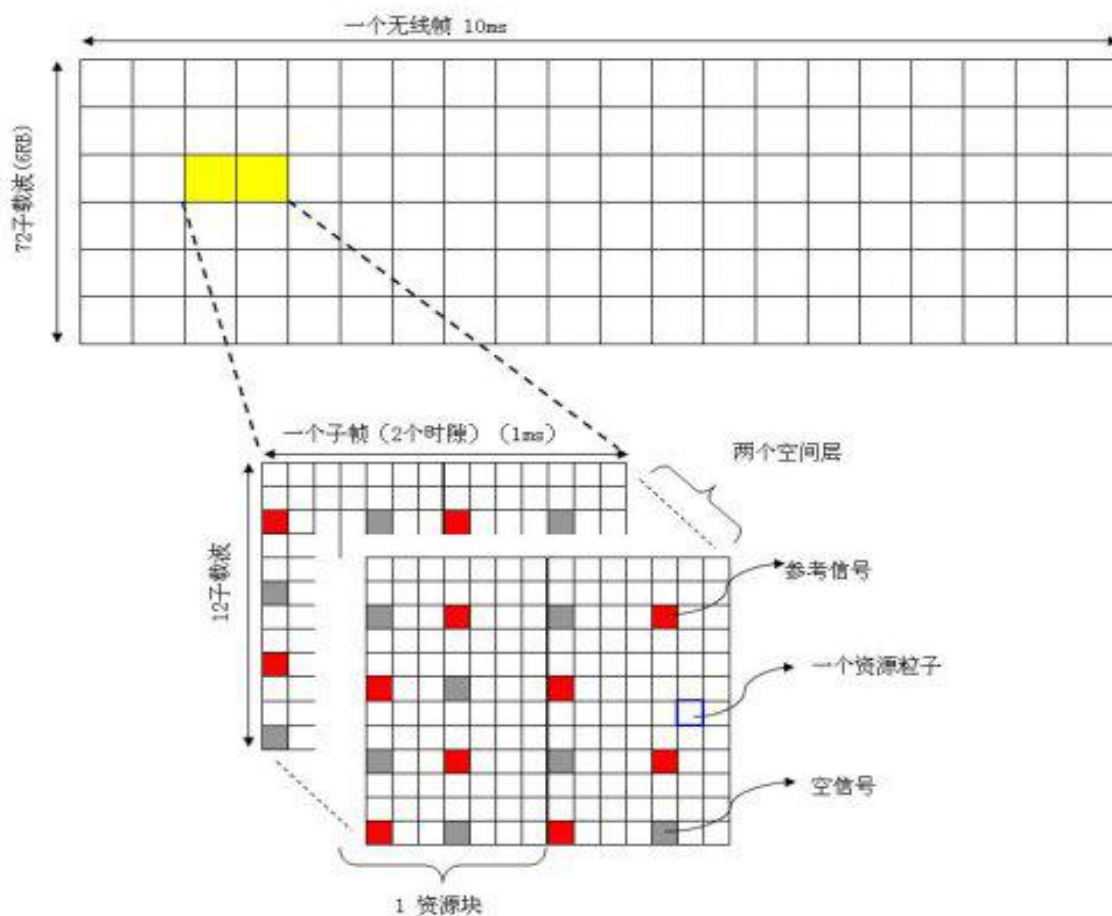
$p=5$  表示的是用户终端专用导频，（UE-specific），是用来做 beamforming 专用的。

天线端口指用于传输的逻辑端口，与物理天线不存在定义上的一一对应关系。天线端口由用于该天线的参考信号来定义。

## 9.LTE 中 PDSCH 的资源分配

### 多天线资源栅格

由于 LTE 引入了多天线技术，每根天线上传输的资源栅格具有一定相似性，但是由于它们对应的天线端口往往是不一样的，因此它们的资源栅格也会不一样，这主要表现在不同的参考信号的分布上，下图为多天线端口情况下的资源栅格示意图 1.2:



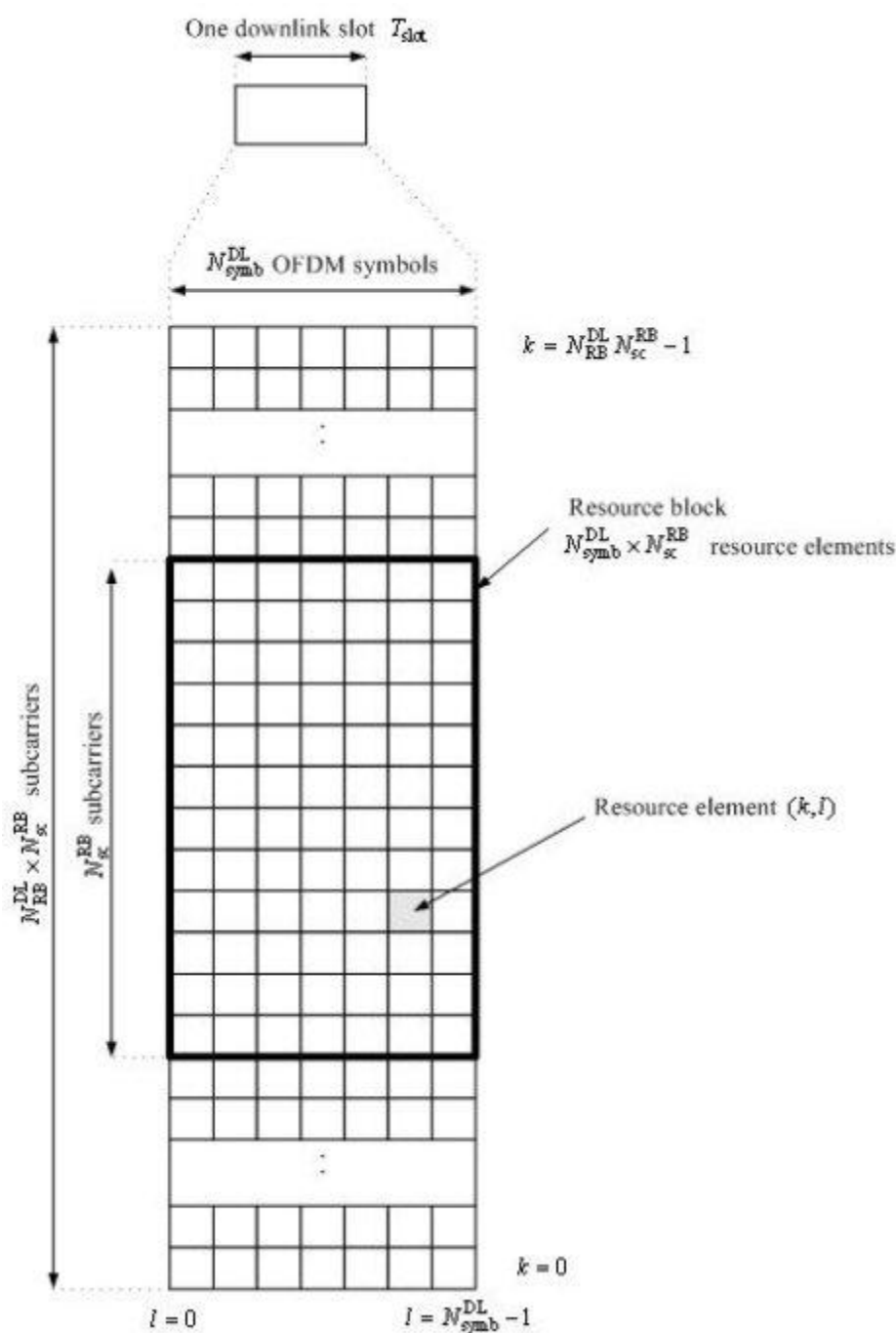
上图红色方块为参考信号所处位置，而灰色的方块为空信号。参考信号是为了让用户对信号质量进行测量以及信道估计所用，因此对于多天线端口的情况，在某一天线端口上存在参考信号的话，那么对应的另外的天线端口相应的位置就不能够传任何信号，以避免对参考信号造成干扰。

PRB: 0.5ms, 12 个子载波, 7 个 OFDM 符号 (前两个传控制信令, 后五个传数据)

注: 当使用常规 CP 时, 一个下行时隙包含 7 个 OFDM 符号; 当使用扩展 CP 时, 一个下行时隙包含 6 个 OFDM 符号。

PRB 是基站调度器进行资源分配的最小单元。

RE: 资源单元, 对于多天线应用, 每个发射天线都会对应一个 RE, 同一个 RE 可以被多个发射天线复用。



物理层是基于**资源块**以带宽不可知的方式进行定义的，从而允许 LTE 物理层适用于不同的频谱分配。一个资源块在频域上或者占用 **12 个带宽为 15KHz** 的子载波，或者占用 **24 个宽度为 7.5KHz** 的子载波，在时域上持续时间为 **0.5ms**。

在每个**无线帧**中，又引入 **RE (Resource Element)** 的概念，通过上层调度进行资源分配，同时**将数据映射到相应的 RE 上**并通过无线帧传输将数据和控制信令发出。

资源单元 RE 对应频域上一个载波，时域上一个时隙（0.5ms）的资源。

每个业务**时隙**长为 **0.5ms**，包含 7/8 个 OFDM 符号。



物理资源块 **PRB** 对应的是频域上 **12 个**连续的载波（在 15K 载波间隔的情况下是 180K），时域上是一个**时隙**（半个子帧，0.5 ms）的资源。

**虚拟资源块 VRB** 是资源分配的基本单位，其大小与 PRB 相同，分为集中式和分布式两种。前者，VRB 和 PRB 是相同的，可以认为 VRB 就是 PRB。对于后者，分布式的 VRB，其与 PRB 的对应关系将在后面介绍。

在资源分配时，同一个子帧内两个时系上的 VRB 是成对分配的，尽管是用一个 VRB 号来表示的。

PDCCH 中有一个资源分配域，定义了相应的 PDSCH 使用的 VRB (PRB) 资源。PDSCH 的资源分配类型有 0, 1 和 2 三种。每一个 PDCCH 中的资源分配域包括两部分，即一个类型域以及包含真正资源分配的信息。UE 根据检测到的 **DCI** (Downlink Control Information) **格式** 对于 PDCCH 中的资源分配域进行解释。DCI 格式 1, 2, 2A 和 2B 中资源分配域具有类型 0 和类型 1 两种方式，其资源分配信息部分具有相同的格式，使用类型域进行区分（0 代表类型 0 而 1 代表类型 1），对于带宽小于或者等于 10 个 PRB 的系统，总是使用类型 0 的资源分配，在每一个 PDCCH 中的资源分配域也只包含真正资源分配信息。具有 DCI 格式 1A, 1B, 1C 和 1D 的 PDCCH 使用类型 2 的资源分配，与类型 0 或者类型 1 资源分配的 PDCCH 资源分配格式不同。具有类型 2 资源分配的 PDCCH 没有类型域。(36.213 Section 7.1.6, 36.212 Section 5.3)

类型 0 的资源分配中，分配给 UE 的资源由位图 (bitmap) 来表示，其中位图中的每一位代表一个**资源块组 (RBG)**，置 1 表示相应的资源块分配给了此 UE，0 则表示未分配。资源块组 RBG 是由一个或多个连续的 VRB 组成，VRB 是集中类型的，RBG 的大小 P (包含的 RB 数目) 与系统带宽有关，如下表所示：

System Bandwidth	RBG Size (P)
≤10	1
11 – 26	2
27 – 63	3
64 – 110	4

那么在系统带宽为  $B$  下 RBG 的数目（也就是资源位图的 bit 数）为  $\lceil B/P \rceil$ ，其中最后一个 RBG 的大小可能小于 P。同 RB 的编号一样，RBG 的编号也是从最低的频率开始的。

在类型 1 的资源分配中，与类型 0 相同，资源块同样划分为大小为 P (与系统带宽有关) 的资源块组，数目为  $\lceil B/P \rceil$ 。不同的是，一个资源块组被分为 P 个子集，其中 RBG 子集 m 是由起始点为 m，间隔为 P 的 RBG 组成的集合。其中  $0 \leq m < P$ 。在每个 RBG 子集中，使用资源位图来表示可用的 VRB/PRB (注意是 RB 而非 RBG)。在类型 1 的资源分配中，同样用由个 bit 组成的位图 (位数与类型 0 相同) 来表示 PDSCH 的资源分配。其中，前  $\lceil B/P \rceil$  位用来指示分配的 PRB 所处的 RBG 的子集。接下来的一个 Bit 用来表示资源分配位图是左对齐还是右对齐的。置位 1 表示是右对齐的，反之是左对齐的。剩下的  $\lceil B/P \rceil$  位用来表示在所选择的 RBG 组中，VRB 的分配位图。同样，1 表示对应的 VRB (也就是 PRB) 被分配，0 则表示未被分配。由于在一个 RBG 中，用来表示 RB 的位图只有  $\lceil B/P \rceil$  位，在  $P > 1$  的情况下无法覆盖 RBG 中所有的 RB，因此才引入了 1 个 Bit 的对齐位，置 0 时表示位图的 MSB (也就是最左边) 对应 RBG 子集中编号最小的 RB (再次注意，是 RB 而非 RBG)，也就是左对齐，此时位图的 LSB (也就是最右边) 并不对应 RBG 子集中编号最大的 RB。对齐 Bit 置 1 时表示位图的 LSB 对应 RBG 子集中编号最大的 RB，也就是右对齐。

对比类型 0 和类型 1 的资源分配方式，可以看出：类型 0 是以 RBG 为单位进行分配的。比较简单，但对于小数据量的业务，容易造成资源浪费。类型 1 是以 RB 为单位，资源分配相对灵活，可以获得更好的频率分集增益。但类型分配 1 每次最多只能分配一个 RBG 子集中的部分 RB。

资源分配类型 2 中，可以采用集中式的资源分配方式，也可采用分布式的资源分配方式。在 PDCCH 的 DCI 类型 1A, 1B 和 1D 中，使用 1 个 Bit 的标志位来表示使用集中类型的 VRB 还是分布类型的 VRB，0 表示是集中型而 1 表示是分布型。DCI 格式为 1C 的 PDCCH 中，总是使用分布形式的 VRB。

## 10.TDD LTE 和 FDD LTE 的区别

**FDD** 是在分离的两个对称频率信道上进行接收和发送，用保护频段来分离接收和发送信道。FDD 必须采用成对的频率，依靠频率来区分上下行链路，其单方向的资源在时间上是连续的。FDD 在支持对称业务时，能充分利用上下行的频谱，但在支持非对称业务时，频谱利用率将大大降低。

**TDD** 用时间来分离接收和发送信道。在 TDD 方式的移动通信系统中, 接收和发送使用同一频率载波的不同时隙作为信道的承载, 其单方向的资源在时间上是不连续的，时间资源在两个方向上进行了分配。某个时间段由基站发送信号给移动台，另外的时间由移动台发送信号给基站，基站和移动台之间必须协同一致才能顺利工作。

由于 TDD 帧结构与 FDD 帧结构不同，TD-LTE 系统具有一些特有技术。

### (1) 上下行配比

LTE TDD 中支持不同的上下行时间配比，上下行时间比不总是“1:1”（见表 1），可以根据不同的业务类型，调整上下行时间配比，以满足上下行非对称的业务需求。

表 1：不同帧周期的上下行配比

周期	上下行配比
5ms	1DL:3UL, 2DL:2UL, 3DL:1UL
10ms	6DL:3UL, 7DL:2UL, 8DL:1UL, 3DL:5UL

### (2) 特殊时隙的应用

为了节省网络开销，TD-LTE 允许利用特殊时隙 DwPTS 和 UpPTS 传输系统控制信息。LTE FDD 中用普通数据子帧传输上行 sounding 导频，而 TDD 系统中，上行 sounding 导频可以在 UpPTS 上发送。另外，DwPTS 也可用于传输 PCFICH、PDCCH、PHICH、PDSCH 和 P-SCH（主同步信号）等控制信道和控制信息。其中，DwPTS 时隙中下行控制信道的最大长度为两个符号，且主同步信道固定位于 DwPTS 的第三个符号。

### (3) 多子帧调度/反馈

和 FDD 不同，TDD 系统不总是存在 1:1 的上下行比例。当下行多于上行时，存在一个上行子帧反馈多个下行子帧，TD-LTE 提出的解决方案有：multi-ACK/NAK，ACK/NAK 捆绑（bundling）等。当上行子帧多于下行子帧时，存在一个下行子帧调度多个上行子帧（多子帧调度）的情况。

### (4) 同步信号设计

除了 TDD 固有的特性之外（上下行转换、特殊时隙等），TDD 帧结构与 FDD 帧结构的主要区别在于同步信号的设计。LTE 同步信号的周期是 5ms，分为主同步信号（PSS）和辅同步信号（SSS）。LTE TDD 和 FDD 帧结构中，同步信号的位置/相对位置不同，如图 3 所示。在 TDD 帧结构中，PSS 位于 DwPTS 的第三个符号，SSS 位于 5ms 第一个子帧的最后一个符号；在 FDD 帧结构中，主同步信号和辅同步信号位于 5ms 第一个子帧内前一个时隙的最后两个符号。利用主、辅同步信号相对位置的不同，终端可以在小区搜索的初始阶段识别系统是 TDD 还是 FDD。

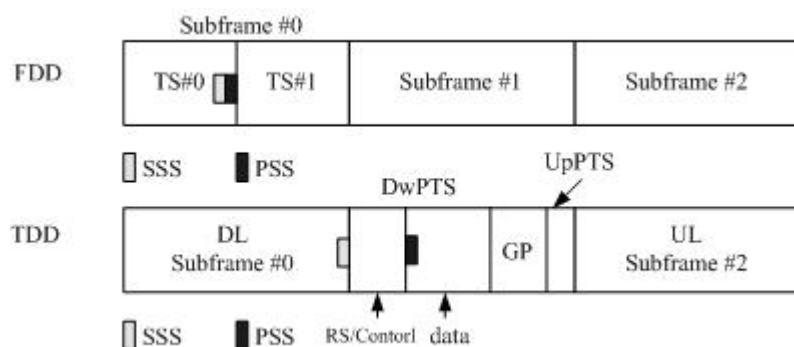


图 3: FDD 和 TDD 的同步信号设计

#### (5) HARQ 的设计

LTE FDD 系统中，HARQ 的 RTT（Round Trip Time）固定为 8ms，且 ACK/NACK 位置固定，如图 4 所示。TD-LTE 系统中 HARQ 的设计原理与 LTE FDD 相同，但是实现过程却比 LTE FDD 复杂，由于 TDD 上下行链路在时间上是不连续的，UE 发送 ACK/NACK 的位置不固定，而且同一种上下行配置的 HARQ 的 RTT 长度都有可能不一样，这样增加了信令交互的过程和设备的复杂度。

如图 4 所示，LTE FDD 系统中，UE 发送数据后，经过 3ms 的处理时间，系统发送 ACK/NACK，UE 再经过 3ms 的处理时间确认，此后，一个完整的 HARQ 处理过程结束，整个过程耗费 8ms。在 LTE TDD 系统中，UE 发送数据，3ms 处理时间后，系统本来应该发送 ACK/NACK，但是经过 3ms 处理时间的时隙为上行，必须等到下行才能发送 ACK/NACK。系统发送 ACK/NACK 后，UE 再经过 3ms 处理时间确认，整个 HARQ 处理过程耗费 11ms。类似的道理，UE 如果在第 2 个时隙发送数据，同样，系统必须等到 DL 时隙时才能发送 ACK/NACK，此时，HARQ 的一个处理过程耗费 10ms。可见，LTE TDD 系统 HARQ 的过程复杂，处理时间长度不固定，发送 ACK/NACK 的时隙也不固定，给系统的设计增加了难度。

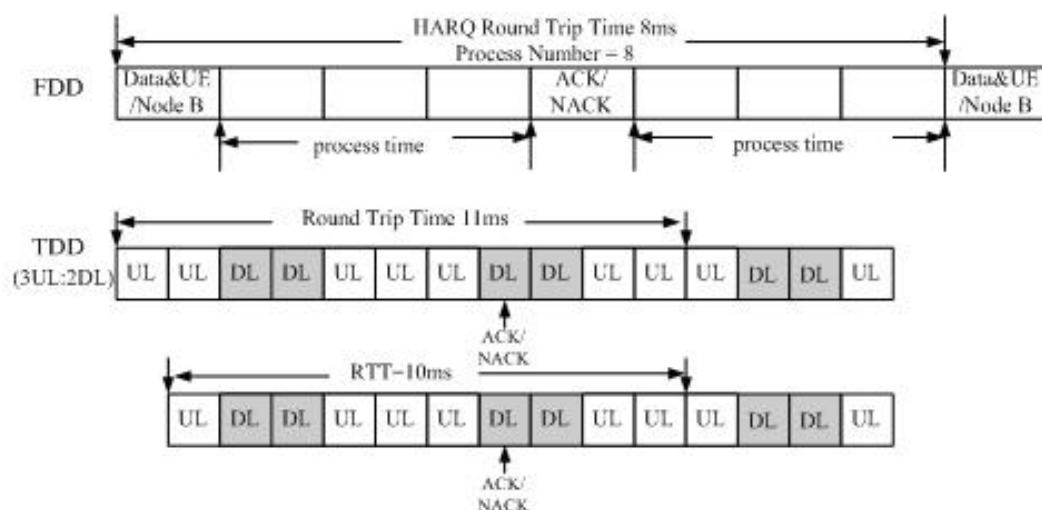


图 4: FDD 和 TDD 的 HARQ 设计

与 FDD 模式一样，在 LTE TDD 模式中支持 VoIP 面临着**诸多挑战**，主要包括：时延要求严格，HARQRTT 较长；不同上行链路/下行链路配置方案中的各种控制信道限制条件；由不连续传输导致的严重上行链路覆盖范围问题，由于存在多个可能的上行链路/下行链路配置方案，它可用于实现高的 VoIP 总容量。

我们给出当系统带宽为 5 MHz 时，LTE TDD 模式中的 VoIP 系统级性能。**容量估计标准**与 FDD 相同，它可定义为当中断概率不超过 5%时，每个扇区 VoIP 支持的用户最大数。VoIP 容量数可以从宏蜂窝场景 1 和宏蜂窝场景 3 中的系统仿真结果中得到。

## 11.调度器

参考文献：

- 1.Adaptive Fairness Control for a Proportional Fair LTE Scheduler
- 2.Sensitivity Analysis of the Optimal ParameterSettings of an LTE Packet Scheduler
- 3.Fairness Improvement of Maximum C/I Schedulerby Dumb

## Antennas in Slow Fading Channel

### 4.Scheduling Techniques Evaluation in LTE systems with Mixed Data Traffic

### 5.An improved downlink scheduling algorithm for VOIP traffic in IEEE 802.16

### 6.Dynamic Packet Scheduling for Traffic Mixes of Best Effort and VoIP Users in E-UTRAN Downlink

### 7.Downlink Packet Scheduling for Real-Time Traffic in Multi-User OFDMA System

### 8.An Efficient Downlink Packet Scheduling Algorithm in LTE-Advanced Systems with Carrier Aggregation

### 9.Virtually Dedicated Resource Allocation for VoIP Traffic in the Downlink Mobile WiMAX System With Hybrid ARQ

### 10.Fair Resource Allocation for Inband Relaying in LTE-Advanced

### 11.Performance of WiMAX Packet Schedulers for Multi-Class Traffic

### 12.Packet Scheduling and Fairness for Multiuser MIMO Systems

### 13.Performance Analysis of Two Packet Scheduling Algorithms in Downlink 3GPP LTE System

### 14.Resource Allocation and Scheduling in MIMO-OFDMA with Time-



## Varying Channel and Bursty Arrivals

### 15. A Packet Scheduling Scheme to Support Real-Time Traffic in OFDMA Systems

### 16. Packet scheduling for real-time traffic for multiuser downlink MIMO-OFDMA systems

### 17. Performance Analysis of Persistent Scheduling for VoIP in WiMAX Networks

### 18. VoIP Traffic Scheduling in WiMAX Networks

### 19. MAC Scheduling Scheme for VoIP Traffic Service in 3G LTE

### 20. Scheduling and Link Adaptations for VoIP in TDD-LTE Uplink

### 21. Efficient Semi-Persistent Scheduling for VoIP on EUTRA Downlink

### 22. Semi-Persistent Scheduling for VoIP Service in the LTE-Advanced Relaying Networks

### 23. Group Scheduling for Improving VoIP Capacity in IEEE 802.16e Networks

### 24. Principle and Performance of Semi-Persistent Scheduling for VoIP in LTE System

### 25. Utility-Based Uplink Scheduling Algorithm for Enhancing

## Throughput and Fairness in Relayed LTE Networks

### 26. Semi-persistent scheduling for VoIP service in the LTE-Advanced relaying networks

调度时应主要基于信道条件，同时考虑等待发射的数据量以及业务的优先等级等情况，并充分发挥自适应调制编码(AMC)和混合重传机(HARQ)的能力

eNB 负责上下行的调度，上下行是不同的调度器负责，因为上下行使用完全独立的资源，而且在链路性能的监测方面几乎也是独立的，因此设计时，尽量能够独立，但是如果采用 TD-LTE 的制式，能够结合上下行结合起来调度呢？我想这是应该做的，比如上行调度，完全可以参考下行反馈的信道质量，乃至至于空间复用方式选择上；

调度器是实现快速分组调度技术的功能实体，它是 LTE 系统 eNB 侧 MAC 层的核心功能，对系统性能有重大影响，决定哪些用户得到调度，以及这些用户的时频资源、调制编码方案(MCS, Modulation and Coding Scheme)、MIMO 等，它分为上行调度器和下行调度器，分别负责给上行共享传输信道 UL-SCH 和下行共享传输信道 DL-SCH 分配物理层资源。物理层资源主要包括物理资源块(PRB)和调制编码方案(MCS)，多天线情况下还包括天线选择方案。调度器在 LTE 协议中的位置，以及它和 HARQ、AMC 等关键技术的实现关系如图 2.5 所示。其功能是判决在什么时间分配给哪些用户什么样的无线资源(如频率、时间、调制编码方案和天线等)来进行通信。这种判决是以最大化系统吞吐量为目标，以保证用户间的公平性为前提，以确保不同业务流服务质量要求为基础的。3GPP Release5 以前的版本一般将无线分组调度功能放在 RNC 上进行，借鉴了计算机网络的做拥塞控制。但对无线网络有其自身的特点(或者说 QoS 要求)，如信道的快速时变特性，将调度器放囿在 RNC 侧就不很好地、自适应地、迅速地反映当前时变信道的传输信息，从而无法进行快速的链路自适应和快速调度，所以在 LTE 系统中把调度器放置在基站侧进行控制，这样调度器可以及时地根据信道情况和衰落特性自适应改变调制方式或其他传输参数，同时减少用户设备(UE)的内存要求和系统的传输延迟。

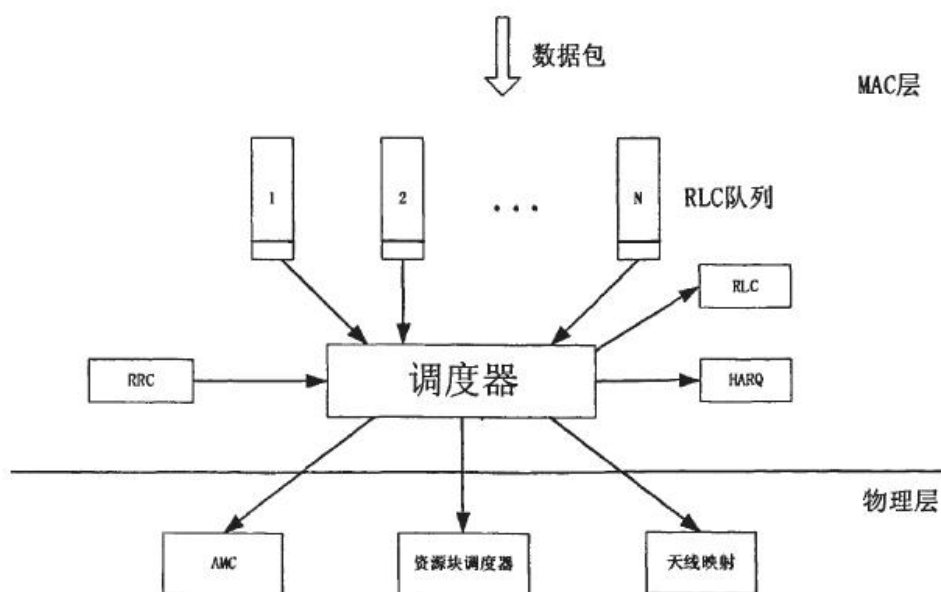


图 2-5 调度器在 LTE 协议中的位置

调度器进行调度需要知道以下信息：

- 1)可用时频资源(含可用 PRB、小区负载、功率、干扰协调等信息)
- 2)用户的 QoS 参数(各个业务的类别、优先级、GB 刚 MB 肿 B 洲 BR 等)
- 3)Buffer Status(区分不同优先级组)
- 4)空口质量(如不同频带的 CQI / CPI 等)
- 5)UE能力(例如 MIMO 能力、MIMO 能力、内存大小、处理能力等)
- 6)HARQ 信息(如 HARQ 重传信息、persistent scheduling 等)

调度器的输出：

- 1) 调度用户的上下行时频资源分配(资源分配)：UE 标识、分配的资源位置和分配时长
- 2)调度用户的上下行 MCS / MIMO 信息（传输格式）：多天线信息、调制方式和负载大小
- 3)调度用户的 HARQ 参数：的内容视 HARQ 的类型有所不同，异步 HARQ 信令包括 HARQ 流程编号、增量冗余(IR)、HARQ 的冗余版本和新数据指示等，同步 HARQ 信令包括重传序列号。

在采用多天线的情况下，资源分配信息和传输格式可能需要对多个天线分别进行传送。

调度器进行多业务调度时应该考虑每个用户设备和相应的无线承载的业务量及 QoS 要求，当一个用户存在多种业务，即多个无线承载时，上行调度器应采取“每用户”的调度分配原则，即每次调度时调度器给一个用户只发一个调度命令，多业务间的资源分配或者按照事先默认的原则进行分配或者由用

户决定，即 UE 侧需要进行二次调度。考虑调度准许信令和 HARQ 的因素，“每承载”的调度分配原则，即每个承载发一个调度命令的方式在 LTE 系统中不予采用。

在同一个传输信道(比如 DL-SCH 和 UL-SCH)上发送的同一个用户的多个逻辑信道上的数据经过调度模块最终复用成一个 TB(Transport Block)块。在没有 MIMO 的情况下，每个用户每个 TTl 只能发一个 TB 块。只能发送一个 TB 块意味着当调度算法分配给同一个用户多个 RB 块时，需要针对该用户的信道质量在多个 RB 块上进行合并，给出统一的调制编码方式。

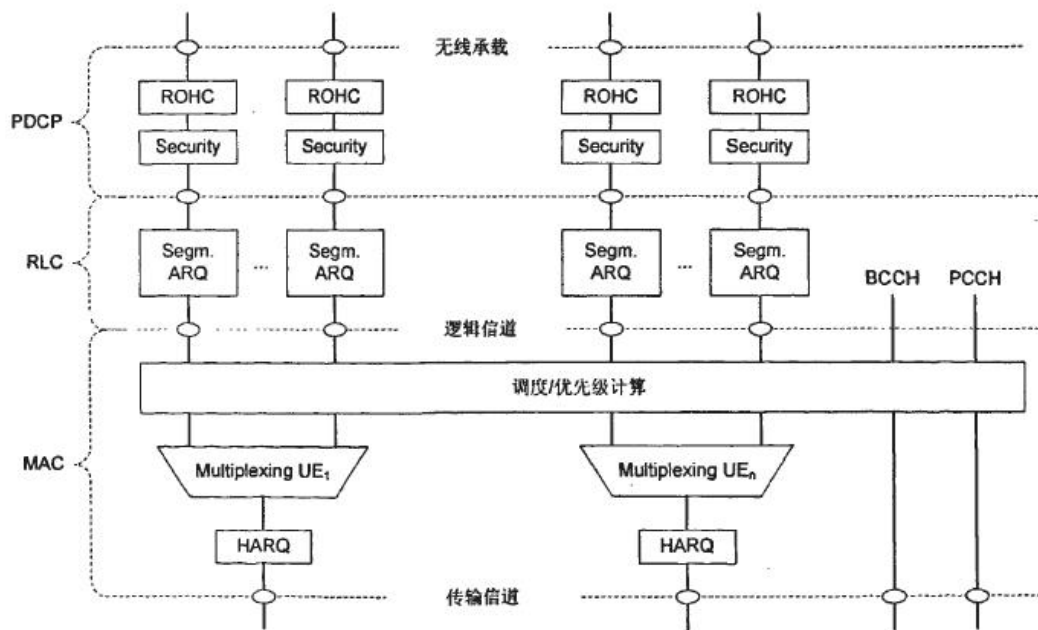


图 2-4 下行 MAC 层的结构

## 半静态调度 Semi-Persistent Scheduling

VoIP（Voice Over IP）、视频流

包大小比较固定，到达时间间隔满足一定规律的实时性业务

半静态调度方式是指在 LTE 的调度传输过程中，eNB 在初始调度通过 PDCCH 指示 UE 当前的调度信息，UE 识别是半静态调度，则保存当前的调度信息，每隔固定的周期在相同的时频资源位置上进行该业务数据的发送或接收。容易理解，使用半静态调度传输，可以充分利用话音数据包周期性到达的特点，一次授权，周期使用，可以有效的节省 LTE 系统用于调度指示的 PDCCH 资源

以典型的 VoIP 业务举例，其数据包到达周期为 20ms，则 eNB 只要通过 PDCCH 给 UE 半静态调度指示，UE 即按照 PDCCH 的指示进行本次调度数据的传输或者接收，并且在每隔 20ms 之后，在相同的

时频资源位置上进行新到达的 VoIP 数据包的传输或者接收。如图 2 所示，标记为绿色的资源即为 UE 周期进行发送或者接收的资源位置。

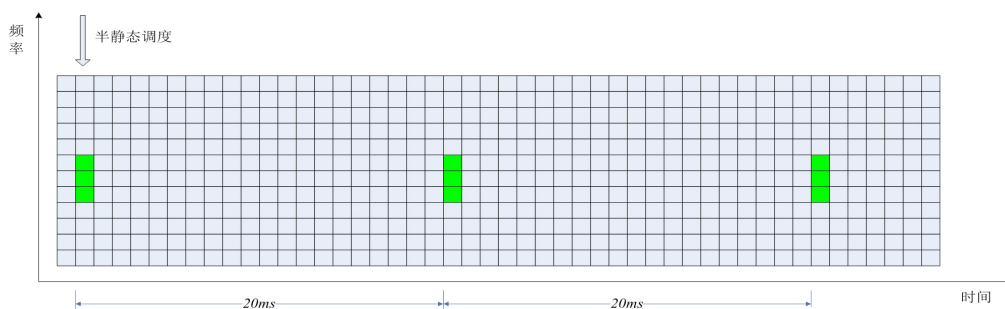


图 2 半静态调度资源使用示意图

对于半静态调度传输，主要有三个关键的步骤，即半静态调度传输的激活，半静态调度传输的 HARQ 过程以及半静态调度传输资源的释放。

#### 3.4.4.2 半静态调度（SPS）

半静态调度跟 WIMAX 系统的 UGS 相似，由于这些资源主要是分配那些需要周期性调度的业务，比如 VoIP，既然是周期性需要的，那么为何不采用事先配置来做呢？这样就可以减少 PDCCH 的资源，要知道在 LTE PDCCH 的资源是非常宝贵，上下行共用的；而且如果不发自然也相应的减少了空口资源的使用。

当通过 RRC 消息激活 SPS 调度，则需要提供以下信息，（可以查 36.331 来获得这些参数的具体描述与定义）：

- SPS C-RNTI
- 上行调度间隔 *semiPersistSchedIntervalUL* 与隐含指示多少个空传之后释放连接参数 *implicitReleaseAfter*;
- 下行调度间隔 *semiPersistSchedIntervalDL* 以及多少个 HARQ 进程用于半静态调度 *numberOfConfSPS-Processes*;



如果 RRC 去激活上行或者下行连接，那么相应的配置授权与配置的资源要丢弃。

#### 3.4.4.2.1 下行

当下行 SPS 资源分配配置好以后，在每一个子帧，UE 通过计算下面的公式来判断是不是在这个子帧有这个资源分配：

$$(10 * SFN + subframe) = [(10 * SFN_{start\ time} + subframe_{start\ time}) + N * semiPersistSchedIntervalDL] \text{ modulo } 10240, N > 0$$

其中  $SFN_{start\ time}$  和  $subframe_{start\ time}$  是配置资源分配的起始 SFN 与起始子帧，这两个值的设置可以在初始化或者重配的时候告诉 UE 的。

#### 3.4.4.2.2 上行

当上行 SPS 授权（Grant）配置好，则 UE 认为在满足下式的子帧都会存在这个授权：

$$(10 * SFN + subframe) = [(10 * SFN_{start\ time} + subframe_{start\ time}) + N * semiPersistSchedIntervalUL + Subframe\_Offset * (N \text{ modulo } 2)] \text{ modulo } 10240, N > 0.$$

其中  $SFN_{start\ time}$  和  $subframe_{start\ time}$  是配置资源分配的起始 SFN 与起始子帧，这两个值的设置可以在初始化或者重配的时候告诉 UE 的。

UE 在经过连续 *implicitReleaseAfter* 次在 SPS 分配的资源上空传（MAC PDU 不包含任何 MAC SDU）后就要清掉这个配置好的上行授权。

注：在清掉配置的上行授权后，还可以继续发送 SPS 的重传，当然这个资源就要按照通常的调度来获得了。

### 三、LTE 语音仿真平台

我们把整个无线系统的 IP 语音质量仿真分为链路级仿真、系统级仿真和 VoIP 语音质量仿真三部分分开进行，每一级仿真为下一级仿真提供统计结果，如图所示。



图 1 移动通讯系统的 VoIP 语音质量的仿真框架

#### 1.链路级仿真

链路级仿真是通过对物理层和链路层传输的建模，输出错误概率和信干噪比（SINR）的关系。通常采用的错误概率为 BER（误比特率）或 BLER（误块率）或 FER（误帧率）。一个好的链路级性能是达到好的系统级性能的必要条件但并不是充分条件。

表2：链路级仿真参数

参数	值
下行信道带宽	10MHz
载波频率	2GHz
FFT 尺寸	1024
可用子载波数目	600
簇数目	50
每簇包含的子载波数目	12
相邻子载波空间	15KHz
采样频率	15.36MHz
子帧长度	1ms
OFDM 符号长度	71.43us
每个子帧包含的符号数目	14

## 1.1 主要模块功能

**Codec 模块。**该模块对数据进行信道编码，编码模块不仅实现了检错纠错功能，而且还包含有交织、速率匹配和信道映射等功能。LTE 的信道编码模块主要可以分为以下几个子模块，程序严格按照 R8 协议依照子模块的次序进行编写。

**Scheduler 模块。**属于频域资源调度模块，其主要内容是进行 CQI 计算，并为 UE 选择适当的 RB 传输方案，包括 rank，MCS，TBS，RBG 等。在测量 CQI 时，以几个 RBG 为单位，一般选取为 5，不同的 RBG 组内的反馈信息是不同的。在计算预编码矩阵时考虑了基于码本和非基于码本两种方式。

LTE 调度器调度时对资源的分辨是一个子帧中两个时隙的两个资源单元，而不是以资源单元为单位

**MIMO 模块。**把调制后的符号映射为每根天线发送所需要的信号。MIMO 模块的实现流程是，先进行层映射然后进行预编码处理。层映射是通过子函数 layer\_mapping.m 实现的，预编码处理可以选择基于码本的和非基于码本的，对于非基于码本的，用求的的预编码矩阵相乘层映射后的矩阵即可，对于基于码本的情况，根据求的的预编码索引矩阵从已经存在的码本中查询到相应的预编码矢量即可。

**Resource mapping and de-mapping 模块。**资源映射模块，即把预编码后的信号映射到时频资源块上，然后做 Ifft，加上循环前缀后得到每根天线的发射序列。而逆映射模块即是上述的逆过程，即将得到的接收序列依次去循环前缀，做 fft 变换。

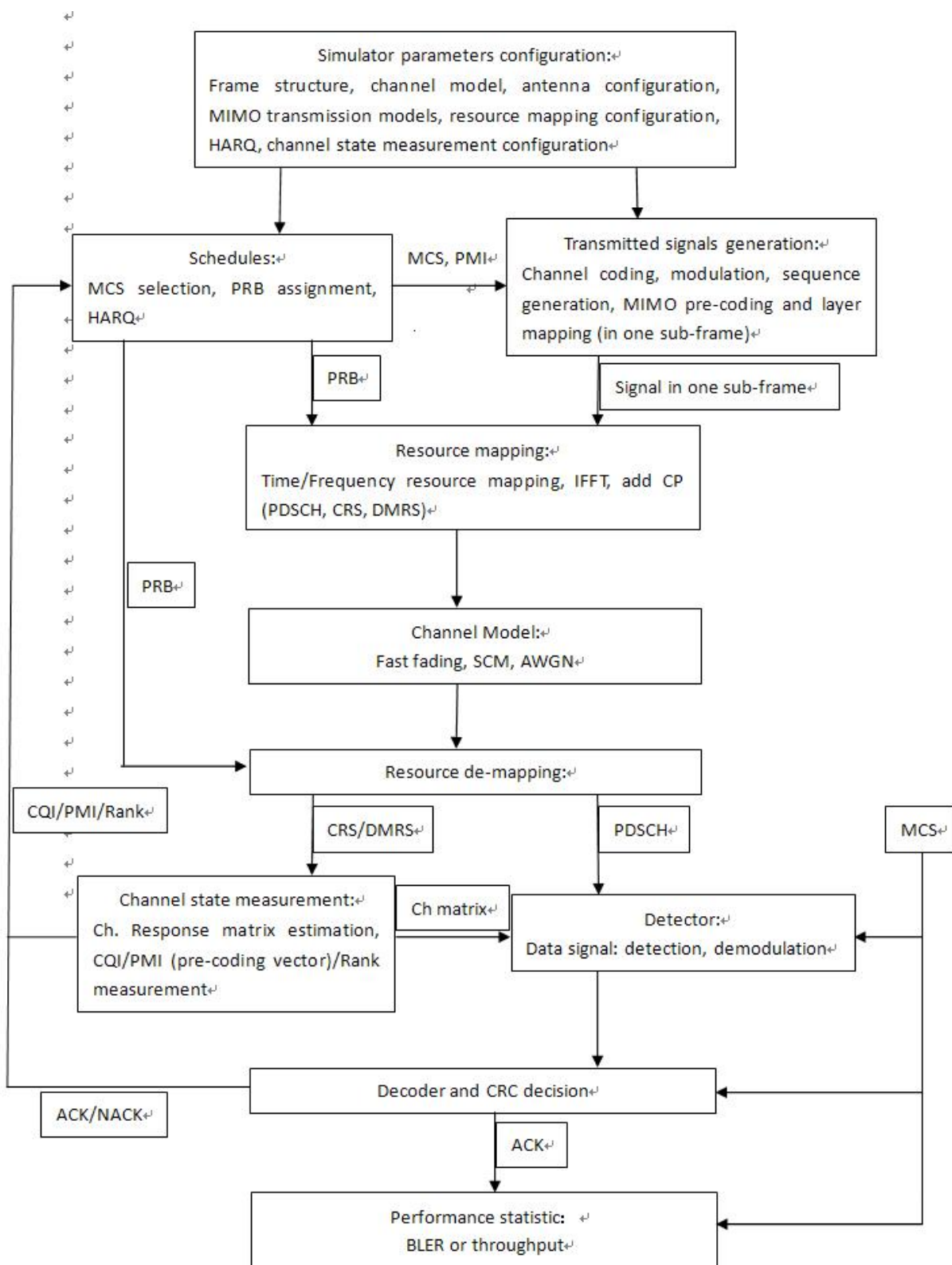
### Channel 模块。

**Rx-detector 模块。**该模块实现在使用多天线的情况下，通过接收天线接收到得信息序列，通过 MMSE 或者 MRC 算法得到每根接收天线对应的信息序列。在秩为 1 时，采用 **MRC 算法**，当秩>1 时，采用 **MMSE 算法**。

**信道估计模块**的主要作用是在接收端**对信道进行估计**，并得到估计信道矩阵，模块中的信道估计分理想信道估计和非理想信道估计，理想信道估计是假设在接收端信道已知，非理想信道估计则采用了基于维纳滤波的 MMSE 准则估计算法。

### HARQ 模块

## 1.2 链路级仿真流程图



链路级仿真流程图



## 2.链路到系统级的映射

系统级仿真的难点之一是如何获得所有终端和基站/接入点之间的无线链路性能，对每条链路都进行链路级仿真的复杂度和耗时都是巨大的，因而不切实际。通常的做法是建立 L-S 接口，如图 5.1 所示。通过链路级仿真，预先建立各种调制编码方案（MCS）在 AWGN 信道下的误码率性能查找表，根据 LEP 模型预测能力的不同，查找表建立时要考虑到调制模式、编码方式、码长、码率和信道类型等因素中的某一些或全部。在系统级仿真时，链路测量模型考虑大、小尺度衰落、路径损耗、阴影衰落、小区间干扰、功率分配、无线资源分配和收发机预处理和后处理等多种因素后，计算出链路当前的 SINR 值（标量或矢量），L-S 接口按照系统的特点将该 SINR 值映射为一个有效 SINR 值（标量），再由有效 SINR 值查找链路级查找表，得到 BER、BLER 等链路级性能指标，然后将它们作为链路当前 SINR 值对应的误码率反馈给系统级仿真器，这样大大降低了系统级仿真的复杂度。

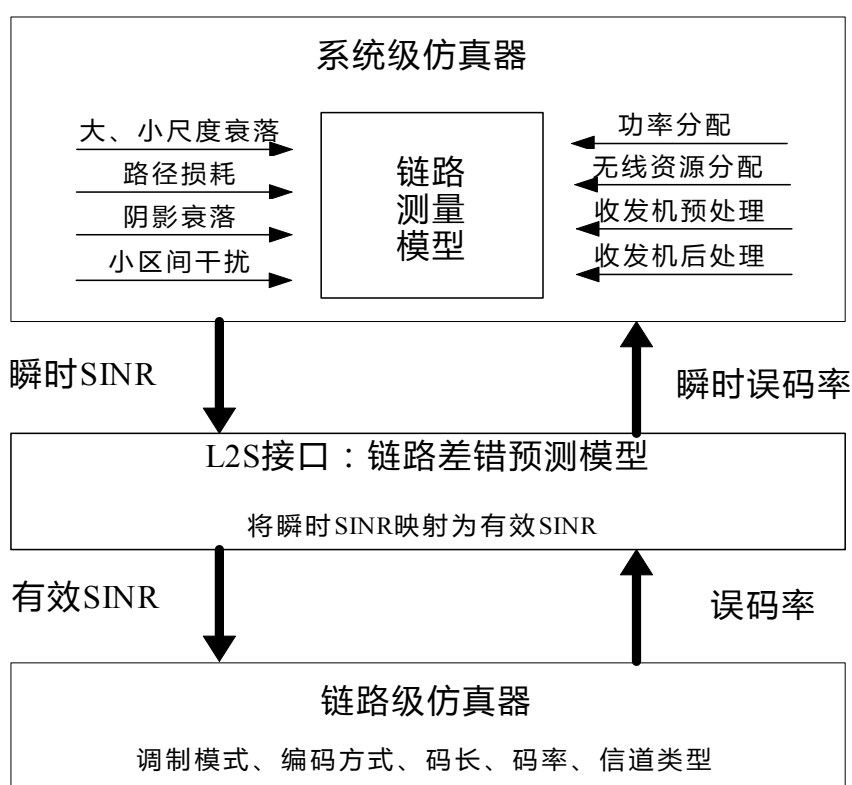


图 5.1 链路级到系统级的接口

从链路当前 SINR 到有效 SINR 的映射是 L-S 接口精确性的决定性因素。对于传统的单载波系统来说，链路当前 SINR 是一个标量，有效 SINR 映射是其它信道类型到 AWGN 信道的 SINR 等效过程。对于以多载波和多天线传输为重要特点的 B3G/4G 系统而言，瞬时 SINR 是一个向量，要通过有效 SINR 映射将其压缩映射为一个标量，增加了有效 SINR 映射的难度。

OFDM 系统的性能分析主要采用两种链路到系统级映射方法：指数有效信噪比映射(EESM)和互信息有效信噪比映射(MI-ESM)。EESM 是一种非常简单且易于实现的方法,当使用它的时候,一个终端的所有子载波都必须使用相同的调制和编码方式；而 MI-ESM 是一种更高级的映射方法,它不会要求一个终端的所有子载波都使用相同的编码调制方式。这两种方法都是基于有效信噪比映射(ESM)的思想,目的是要找到一个压缩函数把一组不同的 SINR 序列映射成一个单一的有效 SINR 值,然后通过这个值就能够查表得到 BLER 值。二者的主要差别是使用的信息测度函数不一样。

有效 SINR 映射 (ESM) 的基本原理是将多个 OFDM 子载波的 SINR 值  $\{ \gamma_k \}$  映射成一个有效的 SINR 值  $\gamma_{\text{eff}}$ ，然后用这个有效的 SINR 值从一条基本的 AWGN 链路级性能曲线上查找到 BLER 的估计值。目前在 3G LTE 的研究中主要使用的是 EESM 映射方法

### 3. 系统级仿真平台

系统级仿真基于链路级仿真，可分为静态仿真和动态仿真 2 类。静态仿真的原理是采用蒙特卡罗 (Monte Carlo) 方法：在特定配置下，静态仿真产生不同的场景（快照）并通过迭代过程达到稳定状态。通过获得足够多次的快照可获得系统平均性能。在静态仿真中时间是固定的，因此仿真速度较快，仿真也比较容易。静态仿真不能仿真 RRM 算法，因为这些算法都是与时间相关的。动态仿真更适用于模拟真实系统的运行，比静态仿真更加准确但更复杂，同时也需要更多的时间搭建及运行。在动态系统级仿真中，网络元素（包括传播环境）和算法都必须按照其功能和要求建模。系统级性能与很多因素有关，例如系统结构、参数选择、用户特性和业务特性等。RRM（无线资源管理）算法也对系统级性能起着至关重要的作用，例如接入控制、功率控制、资源分配算法和切换策略等。

本论文根据 3GPP 协议 TR 25.814, 25.892 的要求和参数，设计建立了一个基于 Matlab 的 LTE 系统级仿真平台。仿真器包括多小区建立，用户移动模型，Wrap-around，链路级映射，信道衰落模型，AMC，HARQ，分组调度等部分。该平台采用连续的时间驱动的动态仿真机制，按照固定的时隙工作，更新用户的位置，信道衰落，干扰水平，对用户进行实时的调度，其系统级仿真框架如图 1 所示。

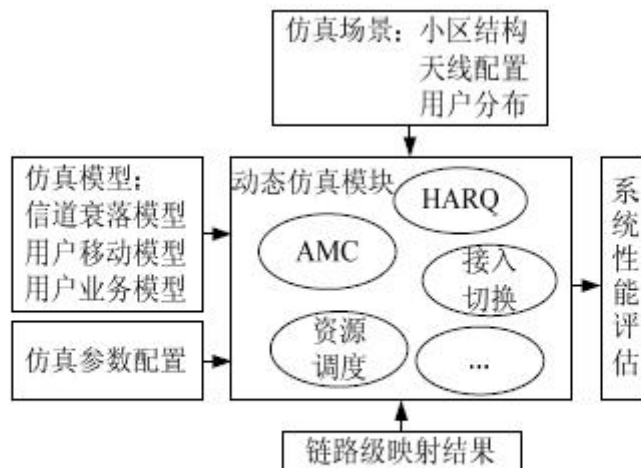


图 1 系统级仿真框架

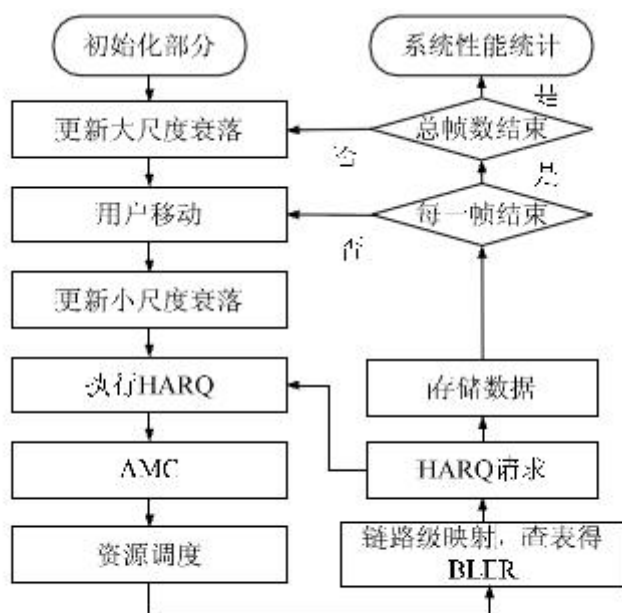


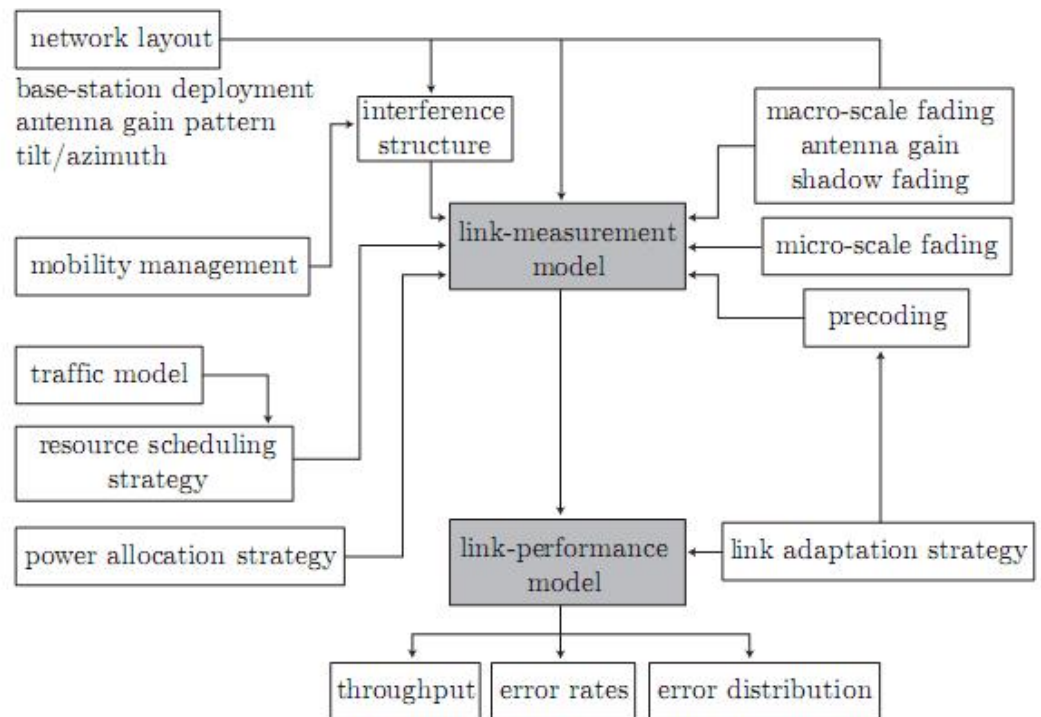
图 5 系统级仿真算法流程

表3：宏小区系统级仿真基本参数

参数名	参数值
用户业务模型	Full Buffer, VoIP
小区分布	六边形，7 小区，每小区包含 3 扇区，wrap-around
站间距	500m
载波频率	2GHz
带宽	DL:10MHz UL:10MHz
基于距离的路损	$128.1 + 37.6 \lg(d)$ , d 单位为 km, 是基站与用户间的距离
对数阴影衰落	相同
衰落标准差	8dB
衰落的相关距离	50m
小区间的衰落相关值	0.5
扇区间的衰落相关值	1.0
穿透损失	20dB
固定天线模式 3 扇区 小区的 <span style="color: red;">水平天线模式</span>	$A(\theta) = \max \left[ 1, \left( \frac{\theta}{\theta_{3dB}} \right)^2 \right] A_m$ $\theta_{3dB} = 70 \text{ 度}$ $A_m = 20 \text{ dB}$

系统使用的调制编码方式由 QPSK、16QAM 和 64QAM 以及 1/2、3/5、2/3、3/4 和 4/5 码率的 Turbo 编码结合构成，最大重传次数为 3，重传合并的方式为 Chase 合并。

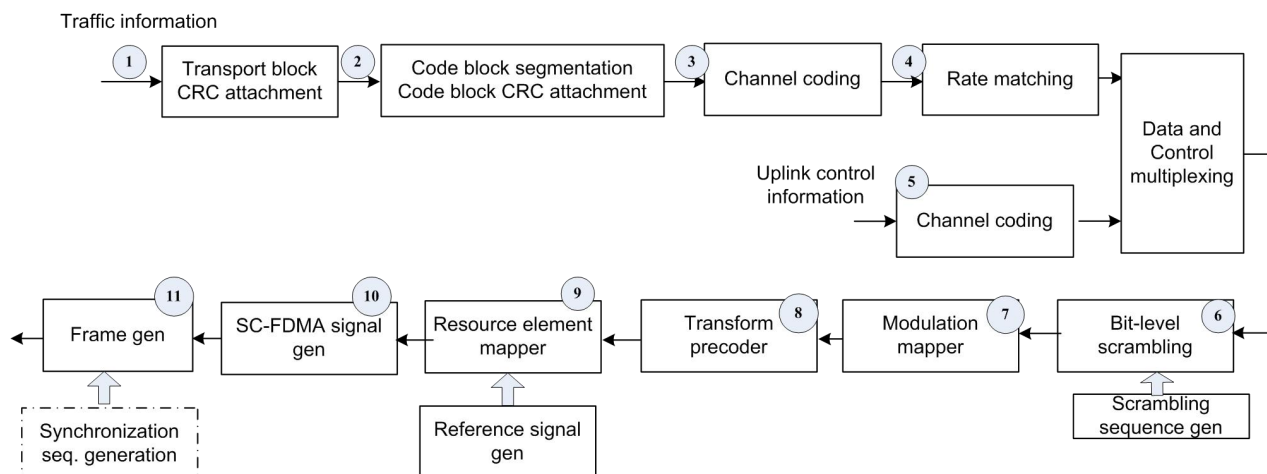
其他仿真说明如下：系统评估采用的频率复用因子为 1；下行链路每个子载波**等功率**发射；用户根据接收到的**导频信号**的 **SINR 值**选择服务基站，并在满足时延窗口后进行切换；对满 Buffer 业务采用 **PF 调度**算法，对 VoIP 业务采用 **M-LWDF 算法**；在**下行链路**，采用**异步自适应 HARQ**方法；在上行链路采用同步 HARQ 方法。重传数据采用 **CC 方式合并**，重传数据包的 MCS 等级不变；上行链路的虚拟 MU-MIMO 采用随机用户配对方式。



图系统级仿真框架

### 3.1 工作流程

#### 3. 1. 1 LTE 上行系统仿真实现功能描述



1.24 位 CRC 校验码，生成多项式 CRC24A

2.CRC 编码块分割，再加一次 24 位 CRC 校验码，生成多项式 CRC24B，（若第一次 CRC 码块长度>6144）



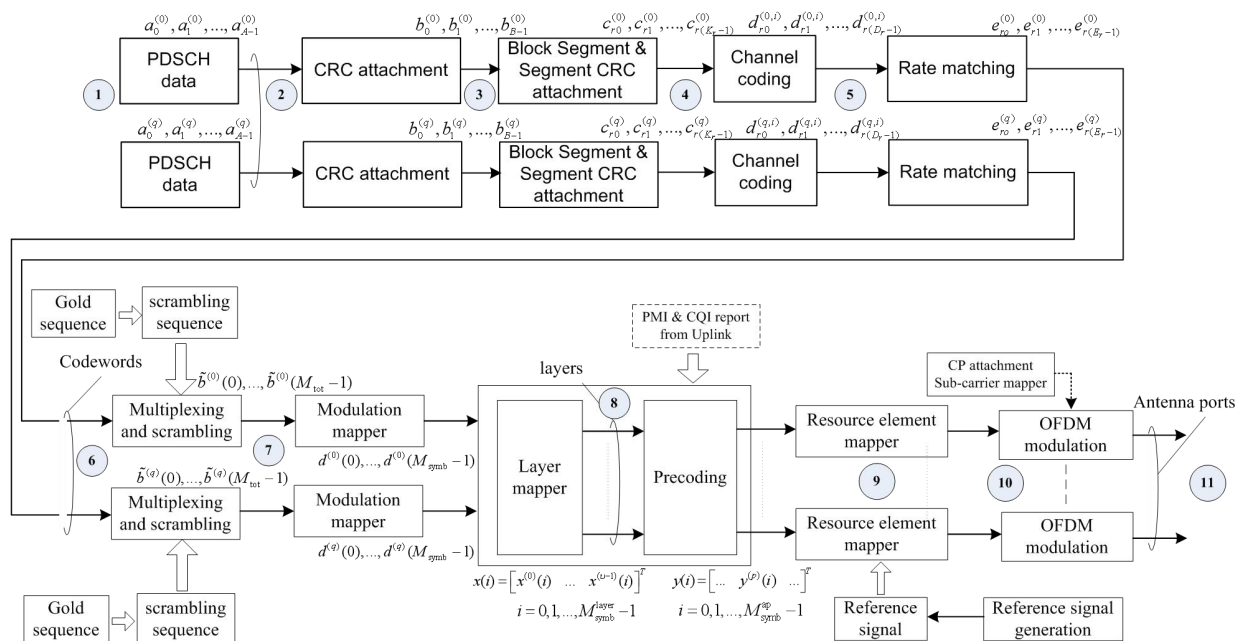
- 3.信道编码（Turbo 编码，1/3 码率，QPP(Quadrature Permutation Polynomial)交织器）
- 4.速率匹配（包括以 Turbo 块为单位的频域交织及根据 HARQ 的冗余版本对数据进行打孔或重复）
- 5.加入控制信息（包括控制信息的信道编码（1/3 卷积码、线性分组码）。控制信息与数据满足时分的关系）
- 6.比特级交织（将上行控制信息按规定得位置映射到数据序列内后，进行行进列出交织，将一个传输块相邻载波映射到不同的 OFDM 符号内）
7. 比特级加扰（扰码为寄存器长度=31 的 Golden 序列,初始状态与小区的 Cell\_id,用户的 nRNTI 及时隙号有关）
8. 调制（采用 QPSK, 16QAM、64QAM）
9. DFT 变换（上行单载波传输）
10. 资源块的映射（包括数据的子载波映射，并对导频信号做相同的子载波映射，导频与数据满足时分的关系）
11. IFFT 变换
12. 加入同步时隙，成帧（加入 Dw PTS, UpPTS）

服务区环境及参数配制确定了服务区形状、小区结构、Wraparound 算法、仿真过程使用的控制参数；BS 与 UE 的信息交换通过空中信道进行，空中信道分**两类**，一类是由慢衰、快衰及路损组成的无线信道；另一类是由时延及差错率进行建模的无线信道(时延及差错率的取值需要链路级的支持)。**上行导频及数据信号**需要经过**第一类信道**进行传输；**控制信令、功控指令、切换指令**需要经过**第二类信道**进行传输，这样做的目的是为了减少需要详细建模的物理信道的数量，加快仿真速度。为了满足 3GPP 中提出的需求，LTE 上行系统(由于 BS 端及 UE 端两部分组成)主要完成四方面的工作，即功控、切换、ICIC 及数据的发送和接收。

在 BS 端，基站通过对上行**导频的测量**利用各种调度算法分配时频资源，然后通过**速率预测**确定上行的传输格式(**grant 信令**)。对于接收到的上行**数据信号**，基站首先计算频域上各载波的 SINR，然后利用 EESM 算法计算时域信号的**等效 SINR**，再叠加上各种非理想因素的影响之后通过链路级曲线**确定 BLER**，从而得到分组的传输质量，**产生 ACK / NAK 信令**并将其与 grant 信令一起封装到下行 **L1 / L2 控制信令**中下发给 UE。**闭环功控指令**可以通过 ACK / NAK 指令产生，并下发给 UE。BS 会利用一定的**切换算法**根据 UE 上报的**下行导频测量**结果以及目标 BS 的情况来判断是否可以发生切换并将相应的切换信令下发给 UE。

在 UE 端，移动台根据接收到的 **L1 / L2 层控制信令**进行 HARQ 过程的处理：将分组序号等信息封装到上行 L1 / L2 层控制信令中上报给 BS；确定上行需要传输的数据(重传分组或从数据池中读取的数据)。**上行导频的发射功率**由开环功控和接收到的闭环功控指令决定，同时**数据信道的发射功率**会根据导频与数据信道的功率比而确定。UE 还会**测量下行导频强度**，并将其上报给 BS。在接收到 BS 下发的切换指令之后，UE 会进行相应的**切换操作**，如修改服务基站等。

### 3. 1. 2 LTE 下行系统仿真实现功能描述



codeword 是经过信道编码和速率适配以后的数据码流。在 MIMO 系统中，可以同时发送多个码流，所以可以有 1, 2 甚至更多的 codewords。但是在现在 LTE 系统中，一个 TTI 最多只能同时接收与发送 2 个 TB，所以最多 2 个 codewords；

layer 和信道矩阵的“秩”（rank）是一一对应的，信道矩阵的秩是由收发天线数量的最小值决定的。例如 4 发 2 收天线，那么 layer/rank = 2；4 发 4 收天线，layer/rank=4；codeword 的数量和 layer 的数量可能不相等，所以需要有一个 layer mapper 把 codeword 流转换到 layer 上（串并转换）；一根天线对应一个 layer，经过 layer mapper 的数据再经过 precoding 矩阵对应到不同的 antenna port 发送。

1.信源数据（业务数据）

2.24 位 CRC 校验码，生成多项式 CRC24A

3.CRC 编码块分割，再加一次 24 位 CRC 校验码，生成多项式 CRC24B，（若第一次 CRC 码块长度>6144）

**注：首先对输入的 TB 块进行 CRC 添加和码块分割以及后继的 CRC CB 块添加。这样做主要是实现接收侧 CRC 的双重校验，TB 块的校验可以检出 CB 块未校验出的错误，保证校验的准确性。**

4.信道编码（Turbo 编码，1/3 码率，QPP(Quadrature Permutation Polynomial)交织器）

5.速率匹配（包括以 Turbo 块为单位的频域交织及根据 HARQ 的冗余版本对数据进行打孔或重复）

6. 比特级加扰（扰码为寄存器长度=31 的 Golden 序列,初始状态与小区的 Cell\_id,用户的 nRNTI 及时隙号有关）

调制（采用 QPSK, 16QAM、64QAM）

## 8. 层映射及预编码处理

a. 层映射：即将 1 个或 2 个传输块 TB 的数据串并变换为  $M$  并行数据流， $M$  为层数。 $M$  必须小于等于发送天线数。对于基于码书的 **Precoding** 中， $M$  需小于等于接收天线数以保证左伪逆的存在。

**注：在同一个传输信道(比如 DL, SCH 和 UL, SCH)上发送的同一个用户的多个逻辑信道上的数据经过调度模块最终复用成一个 TB(Transport Block)块。在没有 MIMO 的情况下，每个用户每个 TTI 只能发一个 TB 块。**

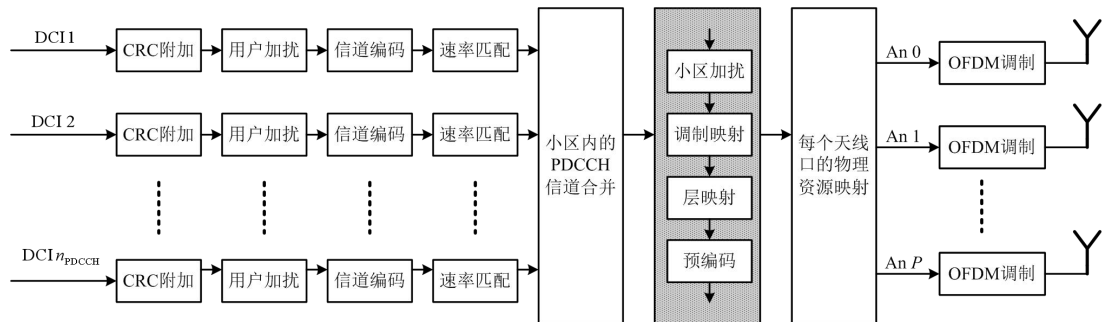
b. 对各个层的数据，进行相应的预编码处理。在 LTE 中，所有的 MIMO 方式均可表示为一个预编码矩阵与原始信号的相乘，不同 MIMO 方式，其预编码矩阵不同。包括 SFBC, Codebook precoding with CDD or without CDD。

9. 资源块的映射（包括数据的子载波映射，并对导频信号做相同的子载波映射，导频与数据满足时分的关系）

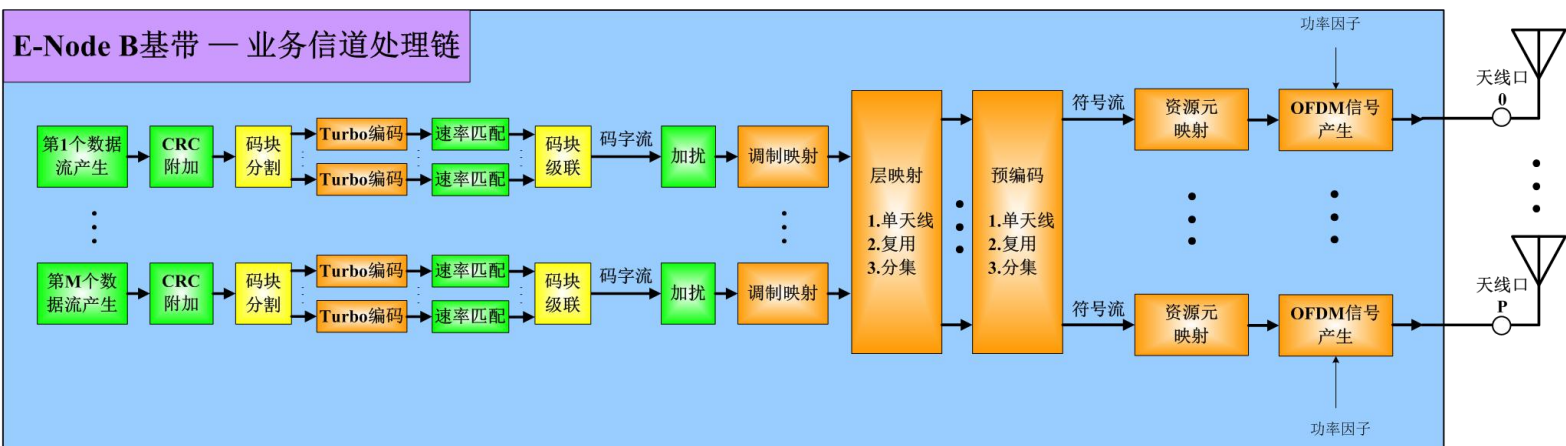
## 10. IFFT 变换

## 11. 加入同步时隙，成帧（加入 Dw PTS, UpPTS）

## PDCCH（物理下行控制信道）



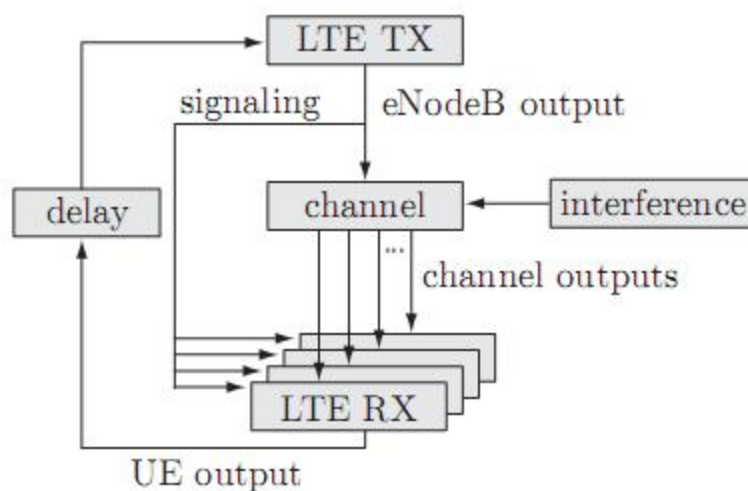
## PDSCH（物理下行业务信道）



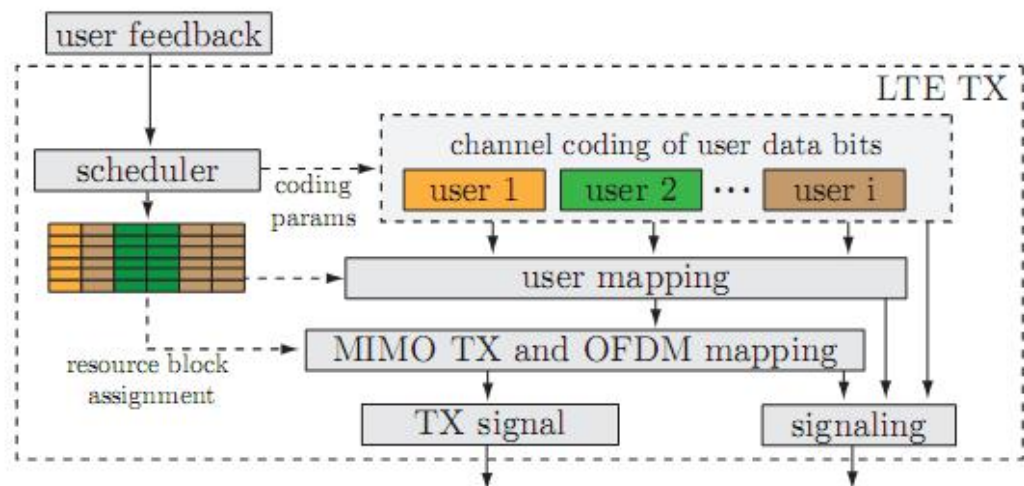
```

foreachsimulatedTTI do
  moveUEs
  ifUEoutsideROI
  then
    reallocate UE randomly in ROI
  for eachNodeB do
    receiveUEfeedbackafteragivenfeedbackdelay
    scheduleusers: (1) 最大载干比 (2) 轮循 (3) 比例公平 (李猛)
  for eachUE do
    1-channelstate →linkqualitymodel→SINR, MCS, CQI (赵帝)
    2-SINR, MCS→linkperformence model →BLER, ACK/NACK,throughput (韩延涛)
    3-sendUEfeedback,CQI+ACK/NACK (韩延涛)
  
```

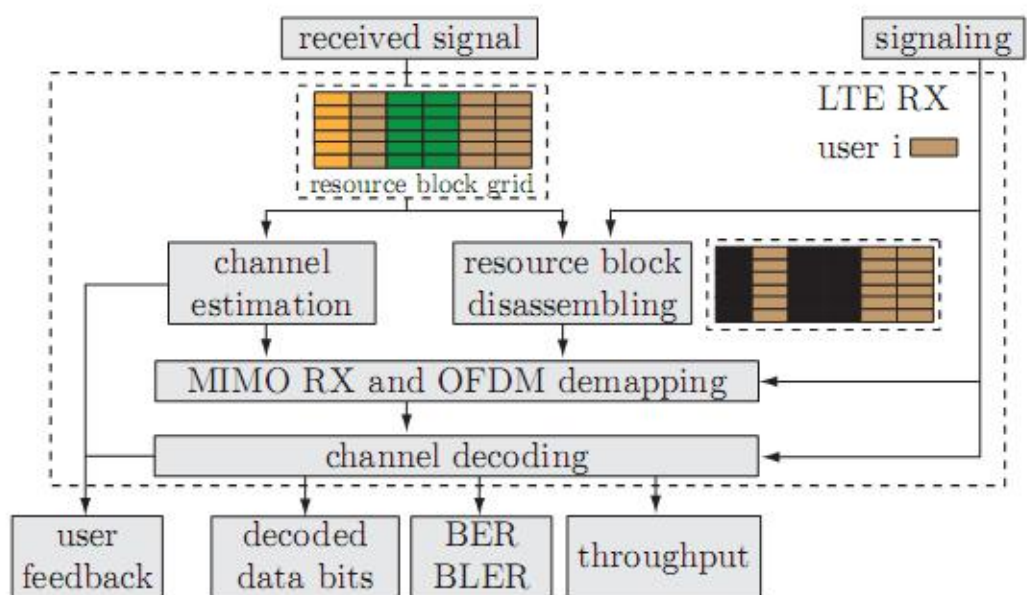
下行系统仿真与上行类似，首先需要完成初始参数赋值，服务区环境搭建及无线信道初始化。为了满足 3GPP 提出的需求，LTE 下行系统(由于 BS 端及 UE 端两部分组成)主要完成三方面的工作，即切换、ICIC 及数据的发送和接收。



在 BS 端，基站在 **CQI 反馈** 的基础上，利用各种调度算法**分配时频资源**，然后通过**速率预测**确定下行的传输格式(**grant 信令**)。根据接收到的 ACK / NCK 信令进行 **HARQ 过程** 的处理，确定下行需要传输的数据(重传分组或从数据池中读取的数据)。



在 UE 端，对于接收到的下行数据信号，基站首先计算频域上各载波的 SINR，然后利用 EESM 算法计算时域信号的**等效 SINR**，再叠加上各种非理想因素的影响之后通过链路级曲线**确定 BLER**，从而得到分组的传输质量，**产生 ACK / NAK** 信令反馈给基站。UE 还需**测量下行导频强度**，将测量结果**打包成 CQI** 反馈给基站。此外基站还会定期监视 UE 下行导频强度，达到一定门限时，基站会下发切换指令，并和目标基站进行协商，执行切换过程。



### 3.2 各个细节模块

**TD-LTE** 系统级动态仿真平台首先需要实现 TD-LTE 系统的基本功能，包括物理层帧结构的定义以及仿真时间推进机制的实现、仿真环境、对象、用户移动特性、业务、衰落、系统级和链路级动态接口、性能统计等功能模块。

**全局定时模块**的时隙定时到达之后，首先**判断本时隙为上行还是下行时隙**。若是上行时隙，则先发送定时中断到所有的用户，再发送定时中断到所有的 eNodeB；若是下行时隙，则先发送定时中断到所有的 eNodeB，再发送定时中断到所有的用户。这样可以确定对于发送端的设置可以在接收之前完成。全局定时模块给各个节点发送完定时中断之后，根据本时隙的长度，设置下一个时隙定时的发生时间，从而将仿真时间按照 TDD LTE 系统的时隙结构不断向前推进



**资源块等效信噪比的计算。**TD-LTE 仿真平台使用接收信号的 **SINR**（信干噪比）**作为 CQI**（信道质量指示），即 SINR 直接影响信号的接收质量，SINR 越高则正确接收的概率越大，因此，需要对每个用户整个共享信道上的每个资源块（**Resource Block, RB**）的 SINR 进行计算。图 3 为 LTE 下行资源块设计图，相邻的 12 个子载波被划分在一个资源块内，承载传输的数据。

用户在每个子载波上接收到的 SINR 值为  $SINR_i = \frac{P_i}{P_i + P_n + P_n}$ ，其中  $i$  为子载波标号， $P_i$ 、 $P_n$  和  $P_n$  分别为接收的信号功率，干扰功率和噪声功率。计算得到每一个子载波上的 SINR 值后，对每个资源块上的 **12 个子载波 SINR 进行 EESM 合并，可以得到一个 RB 上的 SINR 值。**

使用 EESM 时候，一个终端的所有子载波都要使用相同的调制和编码方式（MCS），而 MI-ESM 则无此要求。

注：计算 effective-sinr 时，为了简化计算，只考虑了 **两个** sub-carriers per RB???

**调度算法**主要关注两点：系统吞吐量和用户公平性。传统的调度算法主要有轮循调度（**Round Robin**）、最大 C/I 调度（**Max C/I**），前者保证了用户间的绝对公平性但没有考虑到各个用户的信道状况，后者充分利用了用户的信道状况，使系统的资源总是给信道质量最好的用户使用，从而使系统的总吞吐量达到最高，但是由于系统资源只给信道质量好的用户使用，所以完全不能保证用户间的公平性，高通公司提出的正比公平调度算法或称比例公平调度算法（Proportional Fairness Scheduling, **PFS**）同时兼顾了用户的公平性和系统的吞吐量，成为系统级仿真平台中的主要调度算法。

对满 Buffer 业务采用 PF 调度算法，对 VoIP 业务采用 **M-LWDF** 算法；

改进的最大权重时延优先算法（Modified Largest Weighted Delay First, M-LWDF）

**自适应调制编码（AMC）**在 TD-LTE 系统中，根据当前的无线信道状况而自适应的改变传输参数可以带来系统性能方面的改善。改变传输参数补偿信道条件变化的处理过程称为链路自适应，自适应调制编码（AMC）就属于其中一种。AMC 的原理就是在系统限制的范围内，根据信道质量情况变化，灵活地调整每个用户数据的调制与编码方式（**MCS**）。处于有利位置的用户（通常是那些距离基站很近的用户），会被赋予较高的调制与编码方式（比如 64QAM 4/5 Turbo 码率）；而处于不利位置的用户（通常是那些处于小区边界的用户），会被赋予较低的调制与编码方式（比如 QPSK 1/3 Turbo 码率）。MCS 选择**基于 CQI 计算和调度策略进行**，eNodeB 根据分配给用户的**资源块**和用户反馈的 **CQI**，可以**查表**确定传输所用的 MCS。

是根据信道条件的变化来动态地选择适当的调制编码方式（Modulation and Coding Scheme, MCS），**变化的周期**为一个发送时间间隔（Transmission Time Interval, **TTI**）。AMC 是基于信道质量指示（Channel Quality Indicator, CQI）信息反馈实现的。CQI 的测量过程是接收端根据信噪比测量值，找出 HARQ 第 1 次重传能够达到误块率小于 0.1 的 MCS，然后反馈相应的 CQI index。CQI 信息用来指示传输块尺寸、MCS 等参数。AMC 主要由**信道估计和 CQI**这两个模块实现。eNode B 侧信道估计模块估计当前的 CQI 信息，并由此确定传输块大小(Transport Block Size, TBS)，MCS 等参数，通过理想反馈信道发送给 UE，UE 按照 eNode B 的调度进行相应的传输。

## 4.业务模块

参考：B3G 系统中数据业务通用模型的仿真建模

## 4.1 数据业务的通用模型

参考：《B3G系统中数据业务通用模型的仿真建模》

数据业务的种类很多，新业务层出不穷，各有特点，但统一到**传输层**抽象来看，业务数据全部封装到**IP数据包**当中后，差异无非就只有分组包的大小和它的**QoS**要求。其中，**QoS**一般包括时延要求、防抖动要求以及对传输正确程度的要求。我们在仿真时只需要把这些特征抽象出来，不考虑各种业务在应用层的表现形式。而**QoS**一般由**调度算法**来保障，传输结束时将对满足**QoS**的程度进行精确的量化统计。

发送端**网络层**的分组数据包在仿真中一般都是由**链表**来表示，链表中的每个节点代表一个包，并且各节点采用先进先出（FIFO）的原则。到了无线链路控制（RLC）层和媒体接入控制（MAC）层再**加上开销比特**，分成**传输块**，并映射到相应的物理信道。

每次时间驱动的业务更新需要进行的**3个常规处理**包括判断当前的**业务状态是否该转换**、判断**是否该生成新的数据包**、判断链表队列的**第一个包（或称头包）是否需要丢弃或重传**，然后进行相应的处理。这**3个常规处理**也对应了区分各种不同业务的**3个明显特征**。

当前时隙特定业务的业务状态一般都有多种，而且跟具体的业务种类直接相关，这是区分业务的明显特征之一。如**VoIP**业务有**激活与非激活**状态，**FTP**业务有阅读状态和数据包生成状态，而用来测试系统性能的满队列（Full Queue）业务则只有一种状态，等等。

同一种业务处于不同的业务状态也会有**不同的数据包生成规则**。如**VoIP**业务在**激活状态发送的数据包与非激活状态相比，时间间隔较短、数据量较大**；**FTP**在阅读状态不会生成任何数据包。因而，这是区分不同业务的第二个明显特征。

第三个明显特征是对头包的处理。有时延要求的业务，一般在**头包时延（从数据包生成时刻到当前时刻的时间间隔）大于某个门限时**将会对包进行特殊处理，或**丢弃**（如**VoIP**业务）、或重传（如**HTTP**业务）。而这种门限对于特殊业务有可能会有多个，每个门限对应其相应的处理方法。对时延不敏感的业务，也可能没有这种门限（如满队列业务），或者门限值会比较大（如**E-mail**业务）。

上述**3个判断**分别引出**3种处理流程**，也即各种业务通用模型**时间驱动的3大功能：状态转换、生成新数据包和对头包的处理**。

**事件驱动**则是由特定的事件来触发的。即，**调度器**调上了某个用户进行传送，则需要对该用户的业务队列**缓存器进行处理（队列处理）**。这种处理包括从业务缓存器**减去**相应的已传数据、作相关的**统计**、判断当前**头包是否为空**，如果头包为空还需要判断该包**是否满足QoS**要求，并统计头包的传送信息，最后把它从队列中**删去**。在这个处理功能中，大部分过程都是各业务通用的，只有判断是否满足**QoS**时是每种业务有所差异。这也可以归纳为区分各种业务的**第4个特征**。

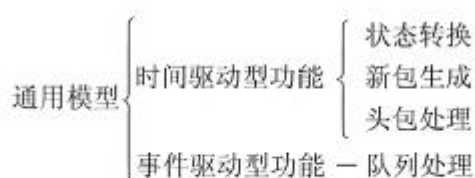


图1 数据业务通用模型的功能结构简图

## 4.2 Full Buffer 业务

其实质可以看成是下载数据量无限大，而用户阅读时间为 0 的 FTP 业务。也就是说队列**缓存器永远都是满的**（或者永远都是有剩余数据的），**只要用户被调度上，就肯定有数据来被系统传送**。所以有时候也称它为满缓存（Full Buffer）业务。它也是对于数据业务的一种简化，用处很大，在系统仿真分析中经常要用到。它可以用多种模型来实现，但为了采用本文提出的通用模型，对它的建模仍套用以上的处理流程，下面也对其进行简单分析：

(1) 状态转换。因为此业务只有一种状态，所以任何时刻都**无需进行状态转换**的判断。

(2) 新包生成。仿真初始时刻**给缓存器存入一个 IP 包**，它的大小只需保证在一次业务更新周期内传送不完，一般设为超过传送能力上限的一个值。而每次**生成新包时让队列总数据量等于这个值即可**。

(3) 头包处理。一般**无需处理**。

(4) 队列处理。一般只把传送的**数据量**记录即可。如果要统计**时延**，则需对模型进行一点改进，使每次生成的新包大小一致，这样才有可比性。有时根据特殊需要，还要统计**其他信息**，这时也可以再作其他改进措施，同样不会影响模型的框架结构。

## 4.3 VoIP 业务的建模

传统的话音业务模型的参数一般包括：呼叫的到达间隔时间和持续时间，这两个参数都服从负指数分布，即传统的话音业务可以用泊松过程描述。而 VoIP 业务与其他数据一起在分组域中传输，建模就不那么简单了。

注意，仿真过程中**并没有真实的语音**。

为了降低传输速率、提高系统容量，VoIP **业务源**一般都采用**二状态语音激活**技术。两个状态分别为**激活状态**和**非激活状态**（静默状态）。图 2 所示为二状态的转移概率图，其中 **a** 和 **b** 均为转移概率。

则语音**激活因子**可以表示成  $\lambda = \frac{b}{a+b}$ 。

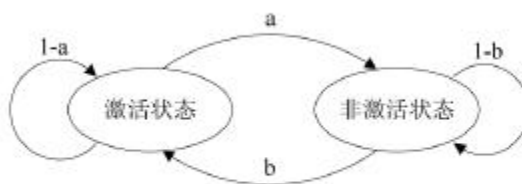


图2 二状态语音激活模型

**数据源**编码方式一般采用 RTP **AMR 12.2**，其数据速率为 12.2 kbit/s。AMR 是 3GPP 采用的语音编码标准。AMR 数据率为：4.75-12.22，共八种；帧长为 20ms；每个帧包含的数据信息比特数为 95-244。AMR 能够根据链路自适应选择 8 个类别中的一个。如果无线环境比较差，那么源编码比特就减少，而信道编码比特相应增加。通过这种方式牺牲了一定的语音清晰度，但提高了整体质量与增强了鲁棒性。这里我们为了简化 VoIP 业务模型，关闭了 AMR 链路自适应功能，固定数据率为 **12.2kbps**，对应最差的信道环境情况下的编码数据率。

采用话音激活技术后，该模型每  $T$  时间更新一次，更新频率为  $R=1/T$ 。 $T$  为语音编码帧长，典型值为 20ms。在激活状态时，数据源每 20 ms 发出一个大小为 320 bit 的 IP 包（包括数据和开销）；在非激活状态时，数据源每 160 ms（每 8 帧）发出一个大小为 160 bit（只含开销，无数据）的 IP 包。故其长期统计平均速率可算出为 8.5 kbit/s。由于 VoIP 业务对于时延较敏感，一旦某个数据包时延达到 200 ms（丢包门限），即可认为它不具有时效性，把它丢弃（此时在对方终端发声器表现为出现一个短暂的中断，如果前后的包都正常的话，用户不易察觉）。根据以上的业务模型，可以套用通用模型作以下的分析：

(1) 状态转换。每隔一定的时间间隔（如 20 ms），根据设定的转移概率随机判断是否转换当前的状态。

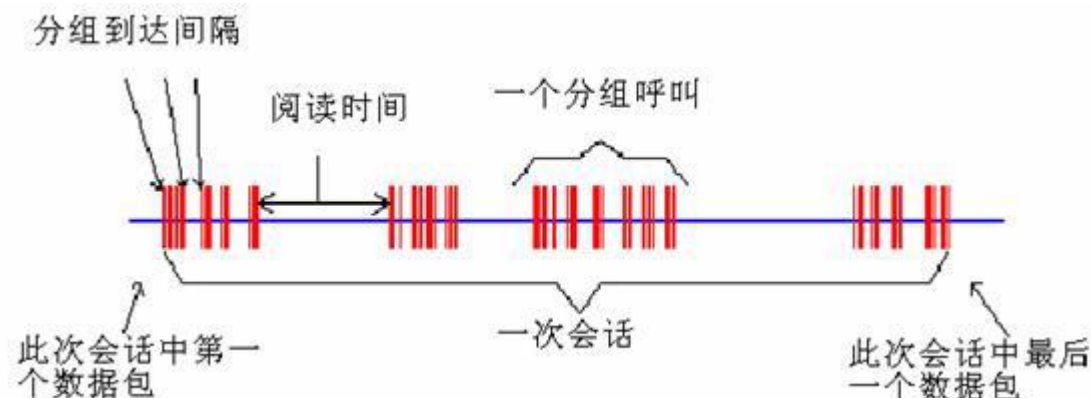
(2) 新包生成。根据当前的状态和生成新包的时间间隔( $iT + \tau$ ， $i$  为帧号， $\tau$  为时延抖动)，决定当前时刻是否该生成新包。包大小和数据率由编码方案决定。不同的业务状态会有不同的数据包生成规则。VoIP 业务在激活状态发送的数据包与非激活状态相比，时间间隔较短、数据量较大。激活状态每 20ms 产生一个新包，非激活状态每 160ms 产生一个新包。

(3) 头包处理。判断当前时刻头包时延是否达到丢包门限，如果是的话就将其抛弃，并作相应的统计。丢包率是 VoIP 业务的一个重要统计指标，它的大小将影响 QoS。

(4) 队列处理。如果该用户被调度上，则在队列缓存器中减去相应的数据量。如果头包已传送完毕，则须统计相关信息，比如此时的头包时延（即为该包的传送时延）。特定用户平均的传送时延也是一个重要的 QoS 指标，也是衡量小区容量的唯一根据。“用户中断”是指该用户大于 50 ms 传送时延的包所占的比例大于 98%，即该用户“不满意”。而某个系统能够把中断的用户比例控制在 2% 以内的最大同时服务用户数则称为 VoIP 业务系统容量，反映了系统接纳服务的能力。

## 4.4 HTTP 模型介绍

### HTTP 业务模型



图业务基本模型

HTTP 业务的基本模型如图所示。假设当阅读时间中止后，用户立即发出新的网页请求，周而复始。这个模型给出了激活和休眠两个状态，激活状态对应网页请求和数据下载的过程，休眠状态对应所有对象下载完毕到下一个请求发出之间的过程。在激活状态下，可以实现多个对象建立多个 TCP 连接的并行传输（对应 HTTP/1.0 的情形）。

上图采用了三层的结构来描述：会话（session）、分组呼叫（packet call）、分组（packet）。



一次会话由 on/off 阶段代表 Web 网页的下载时间和阅读时间。

一个分组呼叫（packet Call）对应用户发出一次网页请求然后浏览整个网页的过程。其中，每个分组呼叫又分为主对象和内嵌对象，主对象和第一个内嵌对象之间的时间间隔称为网页的解析时间。如图 2.16 所示：

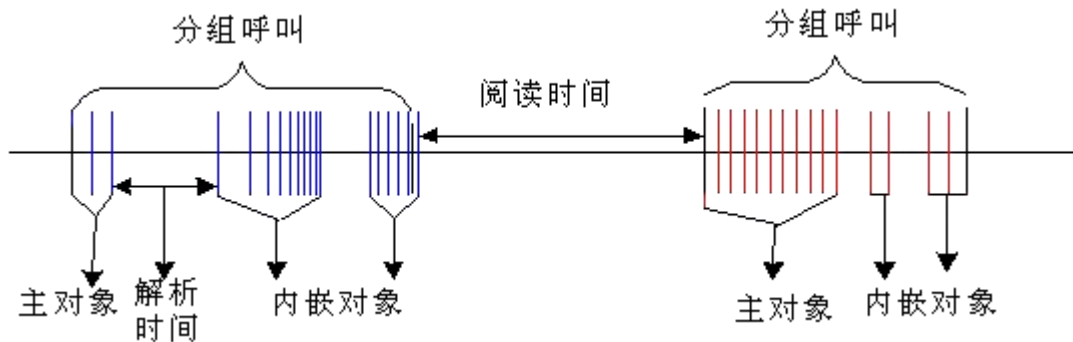


图 2.16 主对象和内嵌对象的返回过程

一个分组对应一个对象的到达，传输过程中对象根据协议规定的（maximum transmit unit）MTU 分为多个包。packet 的间隔时间服从 Geometry 几何分布

主对象和内嵌对象的区别如图 2.17 所示，最初的 HTML 页被称作主对象（main object），主对象中的每一个构成对象（constituent object）被称作内嵌对象（embedded object）。

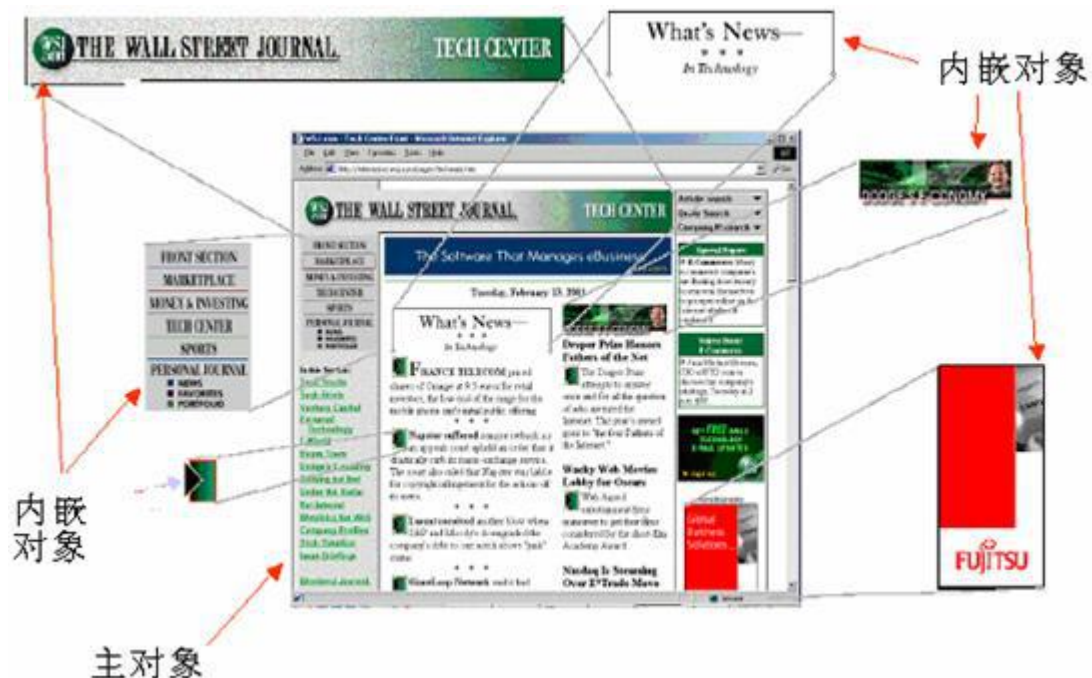


图 2.17 主对象与内嵌对象的区别

## HTTP 业务模型的参数

基于以上的分析，HTTP 业务用以下几个参数表示：

$S_m$ : 网页中主对象的大小;

$S_e$ : 网页中内嵌对象的大小;

$N_e$ : 网页中内嵌对象的数量;

$D_{re}$ : 阅读时间;

$T_p$ : 主页的解析时间。

对采集到的数据进行处理, 就可以得到描述业务模型的各个参数的概率分布, 然后将得到的分布与标准的概率分布函数比较, 取最接近的标准概率分布为相应的参数分布。用 Q-Q 画图工具

(Quantile-Quantile plot, 见参考文献[7]) 来检测采集到的数据和其他标准分布函数的吻合程度。

参考文献中列出的 HTTP 模型各个参数的统计分布, 如表 2.4 所示:

表 2.4 HTTP 模型参数

模型的各部分	服从的分布	分布参数	概率密度函数
主对象大小 $S_m$	截短的对数正态分布	均值: 10710B  方差: 25032B  最小值: 100B  最大值: 2MB	$f_x = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right],$ $\sigma = 1.37, \mu = 8.35$
内嵌对象大小 $S_e$	截短的对数正态分布	均值: 7758B  方差: 126168B  最小值: 50B  最大值: 2MB	$f_x = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right],$ $\sigma = 2.36, \mu = 6.17$



内嵌对象 数量 $N_e$	截短的 Pareto 分布	均值: 5.64 最大值: 53	$f_x = \frac{\alpha k}{\alpha + 1}, k \leq x < m$ $f_x = \left(\frac{k}{m}\right)^\alpha, x = m$ $\alpha = 1.1, k = 2, m = 55$ <p>注<sup>4</sup></p>
阅读时间 $D_{re}$	负指数分 布	均值: 30s	$f_x = \lambda e^{-\lambda x}, x \geq 0$ $\lambda = 7.69$
解析时间 $T_p$	负指数分 布	均值: 0.13s	$f_x = \lambda e^{-\lambda x}, x \geq 0$ $\lambda = 0.033$

注：从生成的随机数中减去  $k$  得到  $N_d$

从上表来看，对数正态分布和 Pareto 分布都采用了截短的形式，是为了防止出现太大或者太小的随机数而使生成的参数偏离正确的结果，所以规定了最大值与最小值。

注：模型的建立是在采集了 1900 多位用户的数据，前后发出了 24000 多个网页请求。主要应用 Tcpdump 和 Tcpshow [4] 两个工具对数据进行分析。Tcpdump 工具记录了 TCP/IP 分组头以及 300B 的 TCP 净荷信息。300B 的 TCP 净荷信息包含了我们需要研究的 HTTP 请求和应答的分组头信息。通过 HTTP 的分组头信息字段可以分析得到关于 HTTP 业务的很多信息，例如，判断是否是网页请求，判断当前连接是激活的还是已经关闭。Tcpshow 工具翻译采集到的分组中的二进制信息。它分别对 HTTP 分组头信息和 TCP 分组头信息进行解析，分别获得关于 HTTP 层和 TCP 层的有关参数。

## 5.VoIP 音质客观评测模块

已经通过上述介绍的系统级仿真为分组语音质量仿真提供必要的输入参数，主要是分组丢失率、连续分组丢失、时延、时延抖动等。

PSQM 和 PESQ 法基于传统的电话网络，测量不是基于数据网络的，不能反映诸如**延时、抖动和丢包**等数据网络特有的问题，没有考虑网络故障对用户感觉造成的影响，单纯的从收发信号差异的角度分析网络语音问题。

**E-model**，它关注数据全面的网络损伤因素，很好地适应在数据网络中语音质量的评估。

E-model 用来作为算法最终结果的是 R 值，取值范围从 0 到 100。**R o** 是无网络延时和设备损伤因素的基本信号与收发噪声以及电流、背景噪声之比，即**基本信噪比**。但是因为网络和设备损伤因素的存在，减少了通过网络的语音质量，R 值的基本计算公式如下：

ITU-T 的 G.107 标准提出的 E 模型考虑了延时、噪声、回音、编码器性能、丢包、抖动等网络损伤因素对语音质量的影响。它的评价标准如图 1 所示。

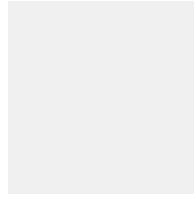
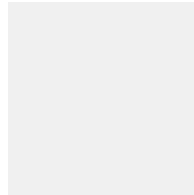
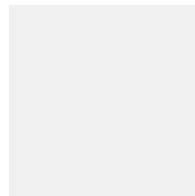


图 1 用户满意度等级与 R 值和 MOS 值的范围对应表

根据 ITU-T G.107 的定义和实际测试所需的参数可以求出 R 的值。传输参数 R 的表达式为：

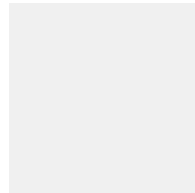


(1) Ro 表示基本的信噪比，Ro 的表达式为：



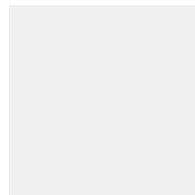
其中，SLR 表示发送端响度评测值，No 表示不同噪声源功率之和。

No 的表达式为：



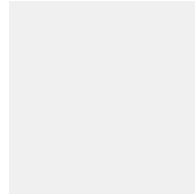
其中，Nc 表示电路引起的所有噪声功率之和，Nos 表示发送端背景噪声引起的电路噪声，Nor 表示接收端背景噪声引起的电路噪声，Nfo 表示接收端的噪声。影响 Ro 的主要因素包括：响度评测值（SLR，RLR），背景噪声（Ps，Pr），电话延迟值（Ds，Dr），说话者回音响度额定值（TELR）。

(2) Is 表示语音实时传输所产生的同步损伤，Is 的表达式为：



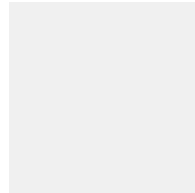
其中,  $I_{olr}$  表示是由太低的响度评测值所引起的质量的下降,  $I_{st}$  表示是由非适宜的电话噪声引起的损伤,  $I_q$  表示量化失真所造成的损伤。影响  $I_s$  的主要因素有: 响度评测值, 背景噪声, 电话延迟值, 说话者回音响度额定值, 单向延迟时间 ( $T$ ), 量化失真度 ( $qdu$ )。

(3)  $I_d$  表示语音信号的延迟损伤,  $I_d$  的表达式为:



其中,  $I_{dte}$  表示发送端回音所造成的损伤,  $I_{dle}$  表示接收端回音所造成的损伤,  $I_{dd}$  表示太长的绝对延迟所引起的损伤。影响  $I_d$  的主要因素有: 延迟, 说话者回音响度, 背景噪声, 响度评测值等。

(4)  $I_{e-eff}$  表示低比特率编码及丢包所造成的损伤,  $I_{e-eff}$  的表达式为:

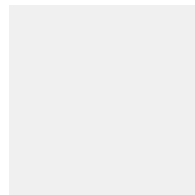


其中  $I_e$  表示设备损伤因素,  $Bbl$  表示丢包主要因素,  $Ppl$  表示丢包率。

(5)  $A$  表示优势损伤因素, 它是当有其它优势传递到用户的一种补偿, 通常情况下设置为零[4]。

在 **E-Model** 测量中包含了影响窄带电话通话质量的多种传输参数, 在 **ITU-T G.107** 中提供了一组默认值, 当终端和应用环境是正常的, 可以直接使用这些默认值。根据这些默认值和一些可求的参数比如延时、丢包率等可以得到 **E-Model** 输出的传输参数  $R$ 。 $R$  直越大, 说明语音质量越好,  $R$  值的范围是 0-100, 0 是最差的, 100 是最好的。

平均主观值 **MOS** 是 1-5 之间的数, 1 是语音质量最差的, 5 是语音质量最好的。 $R$  值可以通过下面的公式转化成 **MOS** 分:



**IP** 电话网络损伤的主要因素包括延时、噪声、回音、语音编码和丢包[5, 6]:

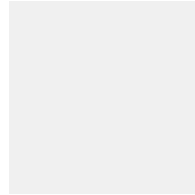
(1) 延时 (**delay**), 指 **IP** 包从网络入口点到达网络出口点所需要的传输时间。如果在一个呼叫中包含不同的通路时间, 则存在抖动, 抖动越大则语音质量下降的越明显。在 **E** 模型中采用固定缓冲区的方法, 可以使抖动的影响转化为延时[7]。

(2) 回音 (**echo**), 是由语音网络中的电气反射引起的, 延时超过 16 ms 的回声对说话人会有影响。下文通过说话者回音响度额定值 (**TELR**), 来检测回音对语音质量的影响。

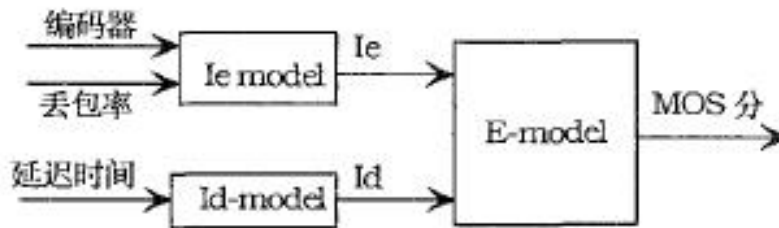
(3) 噪声 (noise)，是影响语音质量的一个关键因素，下文分别通过发送端背景噪声  $P_s$  和接收端背景噪声  $P_r$  来分析噪声对语音质量的影响。

(4) 语音压缩 (Speech compression)，在语音处理中语音编码有很多种方式，每一种都有不同的特点。低速的编码方式占用较少的带宽，但是低速编码使用有损的压缩算法，削弱了语音质量。仿真将采用标准为 G.711、G.729 A、G.723.1 的编码方式，演示编码对语音质量的影响，其主要参数如表 1 所示。

表 1 标准编码器的主要参数



(5) 丢包 (Packet loss)，是影响语音质量的又一个关键因素。数据包发送端和接收端之间的数据包数目的差值即为网络传输丢失包数目。当少量的丢包且是随机地分布时，人耳并不容易感觉到较差的语音质量。当丢包数量变大时，语音质量也就相应的变差。



实际应用中，基本公式中的输入  $R_o$ 、 $I_s$ 、 $I_d$  和  $I_e$ ，每一个都需要考虑各种各样的实际网络损伤因素，通过非常复杂的数学计算而得到。

$R$  值可以映射为 MOS 分值。由于网络数据与实际语音之间存在转化过程，这样固有的损耗使得  $R$  值最大只能到 93.2，也就是平均主观值 MOS 只有 4.4。G.107 的  $R$  值默认最大为 94。

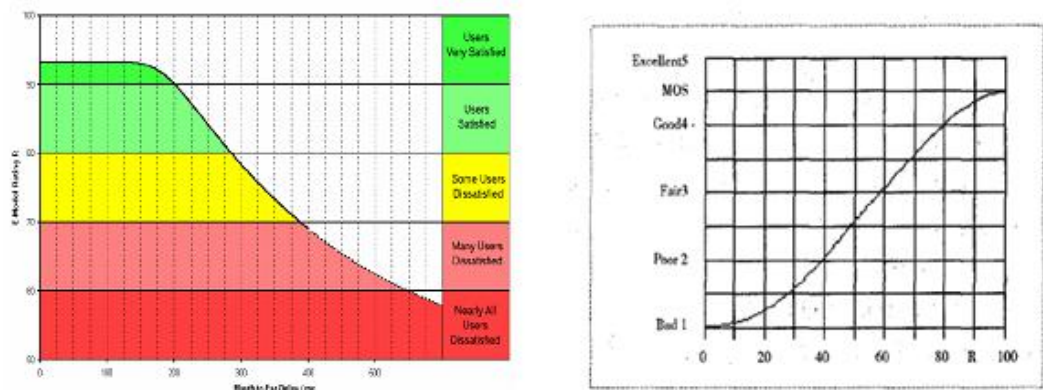


图 8 延时和语音质量的关系

网络损伤的主要因素包括语音编码、回声、平均包延时、抖动和包丢失率。

回声产生于 IP 网络与传统 PSTN 相连处，在单一 VoIP 网络内部暂不讨论。

在一个仅由编码、延时、抖动和丢包造成系统失真的情况下，R 的计算公式可以简化如下：

$$R = R_o - I_{codec} - I_{delay} - I_{p dv} - I_{packet loss}$$

下面将讨论这四个主要损伤因素对 R 值的影响。

**编码**是以硬件或软件的方式去采样语音和决定数据包的速率。ITU 标准定义了差不多十几种编码方式，每一种都有不同的特点。低速的编码方式占用更少的带宽，但是因为使用有损的压缩算法，低速编码更加削弱了语音质量。在实际情况中，选择低速的编码方式能够在相同的连接上建立更多的呼叫，但是引入了更大的延时，使语音质量对丢包也更加敏感。因此选择越低速率的编码方式，将明显地减少 E 模型的 R 值，当然这也不是完全绝对的。下表显示了一些常用的编码方式对应的 I e 值和固有 R 值。

**延时**是指语音从发起者到接收者所经过的时间，一般而言，端到端的延时由以下四部分组成：

(1) 传播延时：指语音从一端到另一端通过网络的时间，由信号通过传播媒介的速度和传播的距离决定

(2) 传送延时：指通过网络路径上的所有网络设备的时间

(3) 包转化延时：指的是编码器进行数模转化的时间

(4) **抖动缓冲延时**：指的是在接收端用来保持一个或多个接收的数据包的时间，用来克服数据包到达时间的变化，也就是**克服抖动产生的延时**

延时会引起语音会话过程的空白，带来语音的变形和会话的中断，也就是说，延时的增大导致了 R 值的减小。延时的时长在 100~200ms 之间开始被收听者所察觉，使得会话不自然。建议的延时上限为 150ms，若延时达到 **200ms** 则开始有严重的会话中断。

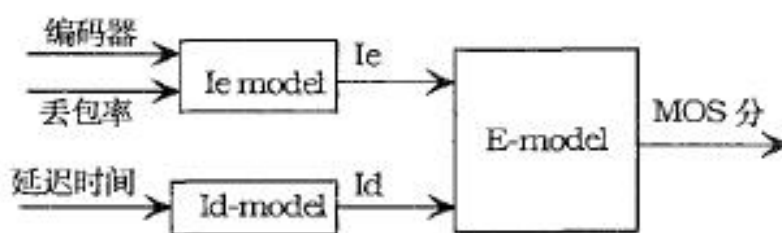
**抖动**，也叫做延时的变化，是指在一个 VoIP 呼叫过程中所有发送的数据包到达的时间差异。当一个数据包发送时，发送端在 RTP 报文头上增加一个时间戳；当在另一端被接收时，接收端同样增加另一个时间戳；计算这两个时间戳可以得到这个数据包的通路时间。如果在一个呼叫中包含不同的通路时间，则存在抖动。在视频应用程序中，抖动表现为图像闪动，而在电话呼叫中，它表现的效果与丢包产生的效果相似，某些字词听不清楚或错误。抖动的大小取决于数据包的通路时间的差异程度，差异程度越大，则抖动也越大。如果抖动值大于 **50ms**，则平均主观值 MOS 值剧烈地降低，认为是极差的语音质量。通过增加抖动缓冲的数量，可以有效地降低抖动的影响，但是增加了一毫秒的抖动缓冲，则相应增加了一毫秒的网络延时。

丢包是一个影响语音质量的关键因素。数据包发送端和接收端之间的数据包数目的差值即为网络传输丢失包数目。VoIP 使用 RTP 实时传输协议传输语音数据包，虽然可以利用 RTP 报文头的序列号检查数据包的丢失和乱序，但是它并没有重传机制。任何丢包和乱序都将影响语音的质量。网络主要有两种类型的丢包情况，一种是或多或少的随机丢包，当网络保持冲突碰撞时，就会偶尔有一个或两个数据包发生丢失；另一种是**爆裂丢包**，是指连续一个以上的数据包丢失，会显著地影响语音质量，明显减小 R 值。当少量的丢包是随机地分布时，人耳并不容易感觉到较差的语音质量。VoIP 中丢包与丢帧概念：在整个过程中，编码、解码是以语音帧为单位进行的，而在网络中的传输则是以语音包的形式进行的。换句话说，**一个语音包里可以包含一个或多个语音帧**，所以丢包与丢帧不是完全等价的。丢包对 VoIP 语音质量的影响较大，当丢包率大于 10% 时，已不能接受，而在丢包率为 5% 时，基本可以接受。因此，一般要求 IP 承载网的丢包率小于 5%。

**E-model 测量方法正是将这些网络的损伤因素充分予以考虑，以此作为对网络语音质量的全面传输评估，真正意义上的研究了数据包化的语音呼叫的质量问题。**

### 运用 E-model 对实时的 VoIP 网络进行语音质量测量

在数据网络的软件代理之间产生 **RTP 数据流去模拟 VoIP 语音呼叫**，每次这个模拟 VoIP 语音呼叫运行时，网络延时，抖动和丢包将作为测量结果而被记录，这个测量通过 E-model 计算公式得到一维的结果 R 值，然后再对应到平均主观值 MOS。注意，**并没有真实的语音信号通过数据网络。**



## 四、精细理解

### 1.LTE 中的上行时间同步

不同 UE 的上行信号到达 eNodeB 时要时间对齐，以保证 UE 之间上行信号的正交性，从而有助于消除小区内的干扰。

上行传输的时间对齐是通过在 UE 发送侧应用 **TA** (Timing Advance) 来实现的。TA 的主要目的是为了消除 UE 之间不同的传输时延。

UE 在初始接入 LTE 的过程中，首先发送上行的 PRACH 前导序列，eNodeB 通过测量 UE 的前导序列，在随机接入消息中 (RAR) 返回给 UE **11 位** 的初始 TA 值 (在 0 到 1282 之间取值)。TA 的时间范围为 0 到 0.67ms，粒度为 0.52us (16Ts, 16/(15000X2048))，对应小区的半径最大为 100 KM。UE 根据 RAR 中的初始 TA 值，做相应的上行时间调整  $N_{TA} = T_A / 16$

UE 在获得初始同步以后，随着时间的推移，由于信道情况的改变或者 UE (以及 eNodeB) 的时钟漂移，UE 可能重新变为失步状态。为此 eNodeB 会周期性的为 UE 发送 TA 命令，指导 UE 进行上行的



同步，并且 eNodeB 为每个 UE 配置了一个 Time Alignment Timer，规定了 TA 的有效期，为此 eNodeB 需要在 UE 的能力和系统的开销之间进行折中。UE 在每次接收到 eNodeB 的 TA 命令后，都将此定时器重置为零。在 Time Alignment Timer 超时以后，如果 UE 未能收到任何的 TA 命令，那么 UE 认为上行已经失步，此时 UE 不能再进行任何的上行数据传输，而必须通过随机接入的过程来对上行的 TA 进行重新初始化。

UE 接入到 LTE 系统以后，获得初始的上行同步，开始可以发送上行信号。eNodeB 通过对 UE 上行信号（包括 SRS，CQI，HARQ 以及 PUSCH 中的数据等）的时间进行测量，来决定 TA 的时间并在适当的时机发送相应的 TA 命令给 UE。与初始接入相应中的 TA 不同，此时的 TA 为 6 个 Bit，在 0 到 63 之间取值，代表时的 TA 与上一个 TA 之间的偏移值，即： $N_{TA,new} = N_{TA,old} + (TA - 31) \cdot 16$ 。

对于在子帧 N 收到的 TA 命令，UE 会在子帧 N+6 应用相应的时间偏移。如果由于 TA 时间的调整，使得子帧 N 和子帧 N+1 存在相互重叠的部分，那么 UE 会传输完整的子帧 N 而忽略掉子帧 N+1 中相应的部分。

## 2.参考信号

下行参考信号是以 RE 为单位的，即一个参考信号占用一个 RE。这些参考信号可分为两列：第 1 参考信号和第 2 参考信号。第 1 参考信号位于每个 0.5ms 时隙的第 1 个 OFDM 符号，第 2 参考信号位于每个时隙的倒数第 3 个 OFDM 符号。第 1 参考信号位于第 1 个 OFDM 符号有助于下行控制信号被尽早解调。在频域上，每 6 个子载波插入一个参考信号，这个数值是在信道估计性能和 RS 开销之间求取平衡的结果，RS 过疏则信道估计性能无法接受；RS 过密则会造成 RS 开销过大。每 6 个子载波插入一个 RS 既能在典型频率选择性衰落信道中获得良好的信道估计性能，又能将 RS 控制在较低水平。RS 的时域密度也是根据相同的原理确定的，每个时隙插入两行 RS 既可以在典型的运动速度下获得满意的信道估计性能，RS 的开销又不是很大。在参考信号的设置上的考虑主要是基于对高速移动性的支持。

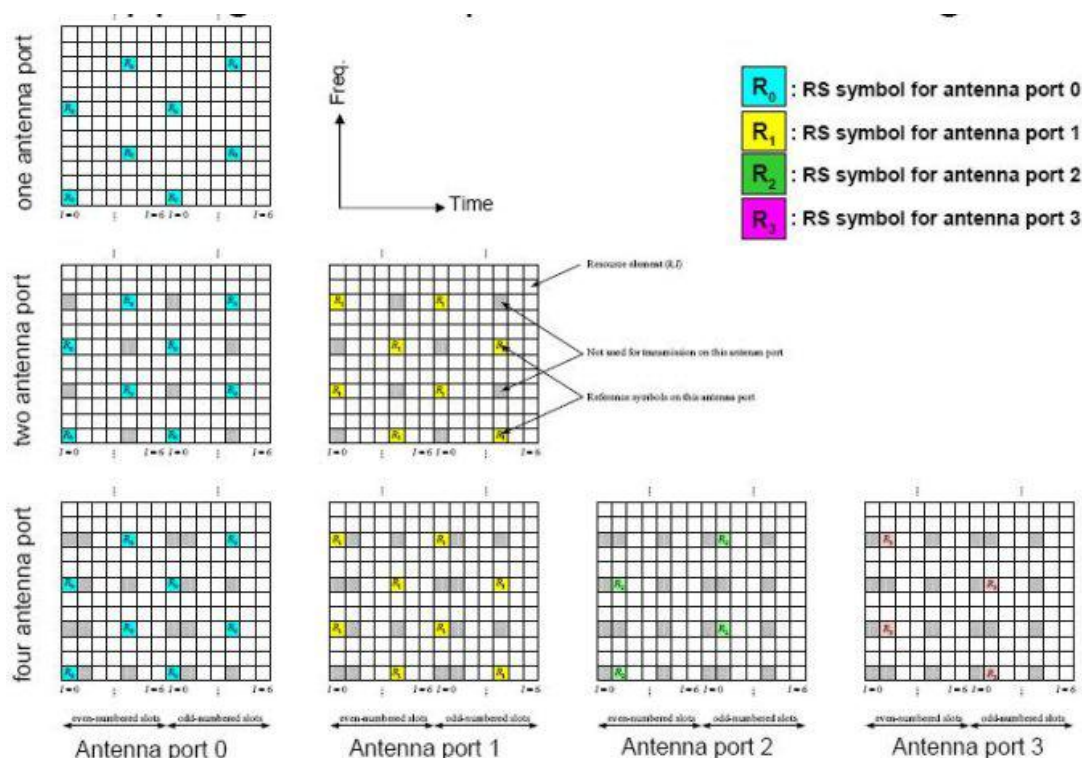


图 2.3.1-1 天线端口对应的参考信号

天线端口可以有 1 个，2 个和 4 个，不存在 3 个天线端口的情况。

```
switch LTE_config.nTX    % number of reference symbols
case 1
    numb = 4;
case 2
    numb = 8;
otherwise
    numb = 12;
end
```

（以上对于 TDD FDD 均适用，0.5s）

### 3.同步信号设计

P-SCH 用于时隙同步, S-SCH 用于帧同步

除了 TDD 固有的特性之外（上下行转换、特殊时隙等），TDD 帧结构与 FDD 帧结构的主要区别在于同步信号的设计。LTE 同步信号的周期是 5ms，分为主同步信号（PSS）和辅同步信号（SSS）。LTE TDD 和 FDD 帧结构中，同步信号的位置/相对位置不同，如图 3 所示。

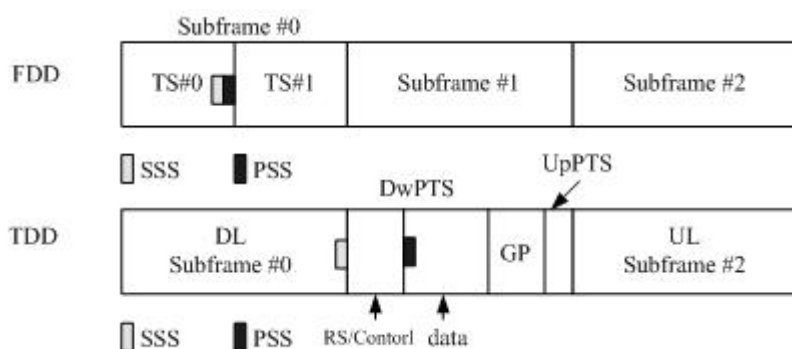


图 3: FDD 和 TDD 的同步信号设计

对于 Type 1 帧结构，PSS 在 slots #0 和 #10 的最后一个 OFDM 符号上发送，SSS 在 slots #0 和 #10 的倒数第二个 OFDM 符号上发送；

对于 Type 2 帧结构，PSS 在 subframe #1 和 subframe #6 的第三个 OFDM 符号上发送，SSS 在 slots #1 和 #11 的最后一个 OFDM 符号上发送，因此可以通过同步信号的位置检测来判定系统为 FDD (Type1) 还是 TDD (Type2)。

主同步信号和辅同步信号在相同的某一根天线上发送。

对于各种不同的系统带宽（5、10、15、20MHz），同步信号的传输带宽相同：占用频带中心的 1.08MHz 带宽。其中信号占用 62 个子载波，两边各预留 5 个子载波作为保护带。（P-SCH 和 S-SCH 的频域位置为直流附近的 72 个子载波，也即最中心的 6 个资源块。实际上只占用了 62 个子载波，其他 10 个不放同步序列）

## 4. TDD 与 FDD 的不同 HARQ 设计

LTE FDD 系统中，HARQ 的 RTT (Round Trip Time, 指从数据包发出开始，到达接收方后，由接收方返回应答，再到接到应答所经过的时间) 固定为 8ms，且 ACK/NACK 位置固定，如图 4 所示。TD-LTE 系统中 HARQ 的设计原理与 LTE FDD 相同，但是实现过程却比 LTE FDD 复杂，由于 TDD 上下行链路在时间上是不连续的，UE 发送 ACK/NACK 的位置不固定，而且同一种上下行配置的 HARQ 的 RTT 长度都有可能不一样，这样增加了信令交互的过程和设备的复杂度。

如图 4 所示，LTE FDD 系统中，UE 发送数据后，经过 3ms 的处理时间，系统发送 ACK/NACK，UE 再经过 3ms 的处理时间确认，此后，一个完整的 HARQ 处理过程结束，整个过程耗费 8ms。在 LTE TDD 系统中，UE 发送数据，3ms 处理时间后，系统本来应该发送 ACK/NACK，但是经过 3ms 处理时间的时隙为上行，必须等到下行才能发送 ACK/NACK。系统发送 ACK/NACK 后，UE 再经过 3ms 处理时间确认，整个 HARQ 处理过程耗费 11ms。类似的道理，UE 如果在第 2 个时隙发送数据，同样，系统必须等到 DL 时隙才能发送 ACK/NACK，此时，HARQ 的一个处理过程耗费 10ms。可见，LTE TDD 系统 HARQ 的过程复杂，处理时间长度不固定，发送 ACK/NACK 的时隙也不固定，给系统的设计增加了难度。

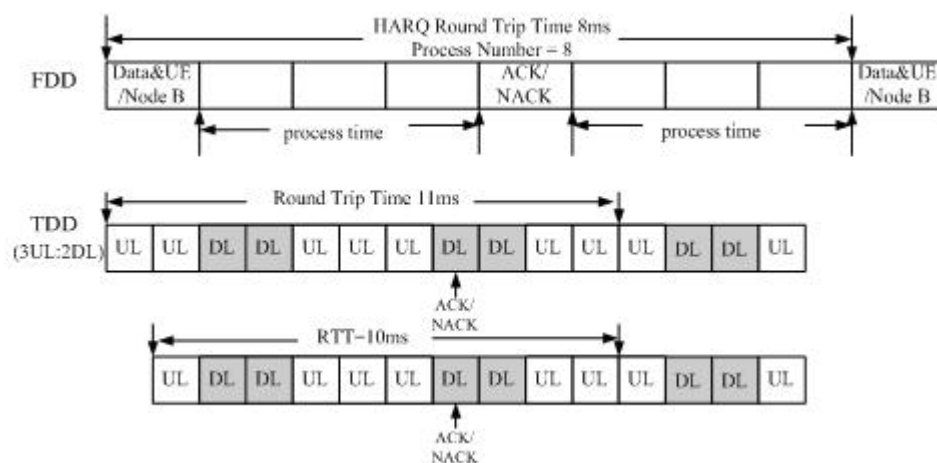


图 4: FDD 和 TDD 的 HARQ 设计

## 其他常识:

**单用户多用户 MIMO:** 目前, 已经有不少关于点对点的**单用户 MIMO**系统的研究。在实际应用中, 系统往往需要一个基站 (BS) 同时和多个移动台 (MS) 进行通信, 比如最常见的蜂窝系统和无线局域网 (WLAN) 等。因此, 有关点对多点的**多用户 MIMO** (Multi-user MIMO) 系统 (如图 1 所示) 的研究也就应运而生, 它比**单用户 MIMO**更加复杂。

**NAS:非接入层。**所谓接入层的流程和非接入层的流程, 实际是从协议栈的角度出发的。在协议栈中, RRC 和 RANAP 层及其以下的协议层称为接入层, 它们之上的 MM、SM、CC、SMS 等称为非接入层。简单地说, 接入层的流程, 也就是指无线接入层的设备 RNC、NodeB 需要参与处理的流程。非接入层的流程, 就是指只有 UE 和 CN 需要处理的信令流程, 无线接入网络 RNC、NodeB 是不需要处理的。举个形象的比喻, 接入层的信令是为非接入层的信令交互铺路搭桥的。通过接入层的信令交互, 在 UE 和 CN 之间建立起了信令通路, 从而便能进行非接入层信令流程了。

接入层的流程主要包括 PLMN 选择、小区选择和无线资源管理流程。无线资源管理流程就是 RRC 层面的流程, 包括 RRC 连接建立流程、UE 和 CN 之间的信令建立流程、RAB 建立流程、呼叫释放流程、切换流程和 SRNS 重定位流程。其中切换和 SRNS 重定位含有跨 RNC、跨 SGSN/MSC 的情况, 此时还需要 SGSN/MSC 协助完成。所以从协议栈的层面上来说, 接入层的流程都是一些底层的流程, 通过它们, 为上层的信令流程搭建底层的承载。

按照信令及过程是否与接入有关, Uu 接口协议被分为接入层和非接入层, 其中接入层包括物理层 (L1), 数据链路层 (L2) 和网络层 (L3) 的 RRC 子层; 非接入层包括移动性管理层和连接管理层等。

在 UE 与 UTRAN 的 RRC 连接建立起来以后, UE 通过 RNC 建立与 CN 的信令连接, 就是所谓的 NAS 消息, 例如鉴权, 业务请求等。UE 与 CN 的交互消息相对于 RNC 来说都是直传消息。而 RRC 消息都属于接入层的。

可以理解为接入层: 就是无线侧的 UU 口。非接入层: RNC 到核心网的接口 IU。

**CDF** 是累计分布函数 (cumulative distribution function): 对连续函数, 所有小于等于  $a$  的值, 其出现概率的和为  $F(a)=P(x \leq a)$

**链表**(Linked list)是一种常见的基础数据结构, 是一种线性表, 但是并不会按线性的顺序存储数据, 而是在每一个节点里存到下一个节点的指针(Pointer)。由于不必须按顺序存储, 链表在插入的时候可以达到  $O(1)$  的复杂度, 比另一种线性表: 顺序表快得多, 但是查找一个节点或者访问特定编号的节点则需要  $O(n)$  的时间, 而顺序表相应的时间复杂度分别是  $O(\log n)$  和  $O(1)$ 。使用链表结构可以克服数组链表需要预先知道数据大小的缺点, 链表结构可以充分利用计算机内存空间, 实现灵活的内存动态管理。但是链表失去了数组随机读取的优点, 同时链表由于增加了结点的指针域, 空间开销比较大。在计算机科学中, 链表作为一种基础的数据结构可以用来生成其它类型的数据结构。**链表通常由一连串节点组成, 每个节点包含任意的实例数据(data fields)和一或两个用来指向明上一个/或下一个节点的位置的链接 ("links")**。链表最明显的好处就是, 常规数组排列关联项目的方式可能不同于这些数据项目在记忆体或磁盘上顺序, 数据的存取往往要在不同的排列顺序中转换。而链表是一种自我指示数据类型, 因为它包含指向另一个相同类型的数据的指针 (链接)。链表允许插入和移除表上任意位置上的节点, 但是不允许随机存取。链表有很多种不同的类型: 单向链表, 双向链表以及循环链表。

**用户面:**主要指的是业务方面的, 比如数据业务、语言业务等。

**控制面:** 主要是指信令方面。

**IMT-Advanced** 的提案可以分为两大阵容: 3GPP LTE-Advanced 和 IEEE 802.16 m。TD-LTE-Advanced 是继 TD-SCDMA 之后中国提出的具有自主知识产权的新一代移动通信技术, 它吸纳了 TD-SCDMA 的主要技术元素, 已成为 IMT-Advanced 的正式候选提案。

由 IEEE 自 2007 年开始制定的 **802.16m**, 是现行 WiMAX 技术标准 802.16e 的升级版, 平均下行速率可达 100Mbps, 约为现行标准的 10 倍。

**FDD** 是在分离的两个对称频率信道上进行接收和发送, 用保护频段来分离接收和发送信道。FDD 必须采用成对的频率, 依靠频率来区分上下行链路, 其单方向的资源在时间上是连续的。FDD 在支持对称业务时, 能充分利用上下行的频谱, 但在支持非对称业务时, 频谱利用率将大大降低。

**TDD** 用时间来分离接收和发送信道。在 TDD 方式的移动通信系统中, 接收和发送使用同一频率载波的不同时隙作为信道的承载, 其单方向的资源在时间上是不连续的, 时间资源在两个方向上进行了分配。某个时间段由基站发送信号给移动台, 另外的时间由移动台发送信号给基站, 基站和移动台之间必须协同一致才能顺利工作。

**TD-LTE** 即 TD-SCDMA Long Term Evolution, 宣传是指 TD-SCDMA 的长期演进。实际上没有关系。TD-LTE 是 TDD 版本的 LTE 的技术, FDD LTE 的技术是 FDD 版本的 LTE 技术。TDD 和 FDD 的差别就是 TD 采用的是不对称频率是用时间进行双工的, 而 FDD 是采用一对频率来进行双工。TD-SCDMA 是 CDMA 技术, TD-LTE 是 OFDM 技术, 不能对接。

**TD-LTE 和 FDD LTE**。LTE 系统同时定义了频分双工(FDD) 和时分双工(TDD) 两种双工方式, 并分别设计了 FDD 和 TDD 的帧结构。FDD 模式下, 10ms 的无线帧被分为 10 个子帧, 每个子帧包含两个时隙, 每个时隙长 0.5ms。TDD 模式下, 每个 10ms 无线帧包括 2 个长度为 5ms 的半帧, 每个半帧由 4 个



数据子帧和 1 个特殊子帧组成，如图 2 所示。特殊子帧包括 3 个特殊时隙：DwPTS，GP 和 UpPTS，总长度为 1ms。DwPTS 和 UpPTS 的长度可配置，DwPTS 的长度为 3~12 个 OFDM 符号，UpPTS 的长度为 1~2 个 OFDM 符号，相应的 GP 长度为 1~10 个 OFDM 符号。

在未来系统中，TDD 双工方式由于具有可以利用信道的对称特性提高传输效率、不需要复杂笨重的频率双工器、可以灵活地分配上下行信道的无线资源、不需要对称频带等**优点**，在 LTE 以及未来 IMT-Advanced 系统应用中变得越来越重要。从系统优化后的评估结果来看，TD-LTE 的系统性能和 FDD LTE 基本相当，而仅因为 TDD 系统的上下行之间的**保护时隙的开销**导致性能**略有损失**。

**HSDPA** (High Speed Downlink Packet Access)高速下行分组接入,是一种移动通信协议，亦称为 3.5G(3 $\frac{1}{2}$ G)。该协议在 WCDMA 下行链路中提供分组数据业务，在一个 5MHz 载波上的传输速率可达 8-10 Mbit/s（如采用 MIMO 技术，则可达 20 Mbit/s）。在具体实现中，采用了自适应调制和编码（AMC）、多输入多输出（MIMO）、混合自动重传请求（HARQ）、快速调度、快速小区选择等技术。

**BICM**：比特交织编码调制。

**TAU**。跟踪区域更新(Tracking Area Update, TAU) LTE 还有一个 Tracking Area List 的概念。多个 **Tracking Area** 组成一个 **TAL**。通常一个 eNB 下的 TA 都会在同一 TAL 里面。当 UE 位于某一个 TA 的时候，MME 把整个 TAL 分配给这个 UE。UE 在 TAL 里面的 TA 之间移动的时候不需要做 Tracking Area Update。这样可以减少网络的 TAU。这是对 3G 的 RAU 的一个改进。

**IMSI /S-TMSI** (**international** mobile subscriber identity)是存在 SIM 卡及 HLR 中的，一般在网络中，用 IMSI 标示用户，而不是 MSISDN 即 139XXXX。TMSI (**temperate** mobile subscriber identity)是基站(BTS)在呼叫用户时，所用的号码，一般比 IMSI 短。但有的设备商的此项功能没开，直接用 IMSI。S-TMSI 是在 LTE 里标识用户的，相当于 P-TMSI 在 UMTS 里的作用。LTE 要寻呼 UE 时，就是**通过 S-TMSI 在 TA 范围**里寻找用户的。

**DRX**, Discontinuous Reception, 就是 UE 在一段时间里停止监听 PDCCH 信道，可以达到省电的目的。DRX 分为两种, Idle DRX 和 Connected DRX。Idle 状态下,为了能够从 EUTRAN 接收到传呼消息,UE 需要监听 PDCCH 信道中以 P-RNTI 指示的传呼消息。DRX,是指 UE 不需要连续地监听传呼信道,而只需要监听某些特定的无线帧和子帧（eNB 通知 UE 何时解码/监听无线帧，这会显著降低 UE 功耗。）。在其余的时间内,UE 可以关闭其接收机,从而达到省电的目的。

**传输块(TB)大小与资源块(RB)**。TB 是相对于传输层说的，RB 是相对于物理层说的。TB（传输块）是供物理层处理的 MAC 子层和物理层之间数据交换的基本单元。RB 是物理层中的资源单元。LTE 中，一个 **codeword 对应一个 TB**，LTE 最多只有两个 codeword，codeword0 and codeword1，而 codeword **最大只能取 2** 是因为一个 TTI 最多有两个 TB。关键是，对一个 UE 而言，一个 TTI 最多只能有两个 TB，但这并不意味着系统在一个 TTI 内只能传输一个 UE 的数据；实际上，同一个 TTI 上可以传输多个 UE 的数据，而不同 UE 在同一个 TTI 上可利用不同 TB 块（即不同 RB pair）传输不同数据。

**TB 块对应于 MAC 层的 PDU**（Protocol Data Unit）。每一个 **TTI**,TB 块都从 MAC 层传到物理层，在接收侧经过符号级（接收侧解调之前）的处理，在解扰后到达比特级译码部分。在发送端，**为了满足 Turbo 编码的需求**，需要将一个大的 **TB 块分成若干 Code Block** (以下简称 CB 块)，大小从 40 到 6144 比特不等。在**接收端**，在 Turbo 译码之后，也需要先经过**码块级联**再进行 CRC 校验，最后将传输数据反馈给高层。



"A maximum of one MAC PDU can be transmitted per TB per UE",即一个用户一个 TB 最多只能传一个 MAC PDU。我的理解就是因为 LTE 能够支持 2x2MIMO，它最大允许 2 个 TB/UE，也就是说在这种情况下 2 个 TB 传一个 MAC PDU。但是对于一个 TB 来说，它最多就是一个 MAC PDU，对于只有一个 TB 的情况下。

可将一个 TB 视为一个码字，MAC 从上层获得数据量大小，根据数据量大小考量当前可用资源(RB)和用户在当前资源上的 CQI，计算决定采用 RB 数量与位置以及 Itbs（可视为 CQI 对应出来的）、TB\_SIZE（TB 大小，单位为 bit）。Itbs、TB\_SIZE、使用 RB 数目三者是有对应关系的，表格见 TS36.213 协议（目前协议规定 RB 数最大可达 110 个，TBS 是传输块大小，是编码前比特数）。

**资源块组 RBG** 的大小 P（包含的 RB 数目）与系统带宽有关。

**虚连接**与物理连接。分组交换中有虚电路，其通信过程与电路交换类似，建立连接后，**属于同一呼叫**的数据分组均沿着这一条虚电路传送；通信结束后拆除。首先虚连接所用的复用为**统计时分复用**，而电路交换用的物理连接是同步时分复用。其次虚连接是**逻辑连接**，一个物理连接可以有多个逻辑连接（一个 DTE 允许经其 DCE 在一条物理的 DTE---DCE 链路上，同时与其他的 DTE 建立多达 4095 条虚拟电路）。

**统计时分复用**利用公共信道“时隙”的方法与传统的时分复用方法不同，传统的时分复用接入的每个终端都固定地分配了一个公共信道的一个时隙，是对号入座的，不管这个终端是否正在工作都占用着这个时隙，这就使时隙常常被浪费掉了。因为终端和时隙是“对号入座”的，所以它们是“同步”的。而异步时分复用或统计时分复用是把公共信道的时隙实行“按需分配”，即只对那些需要传送信息或正在工作的终端才分配给时隙，这样就使所有的时隙都能饱满地得到使用，可以使服务的终端数大于时隙的个数，提高了媒质的利用率，从而起到了“复用”的作用。统计分析，统计复用可比传统的时分复用提高传输效率 2-4 倍。这种复用的主要特点是动态地分配信道时隙，所以统计复用又可叫做“动态复用”，有效提高了信道和设备利用率，所以更适合用于数据传输。

**时分复用**是指将时间分成若干个时隙（time slot），每个时隙对应一个信道。如果该信道被某特定用户固定使用，如传统电路交换网中，也就是说不管有没有信息传送，该信道都不能被其他用户使用，这也是同步时分复用的特征。如果该信道能被多用户复用，则为统计时分复用。统计时分复用有两种方式：面向连接的虚电路方式和面向无连接方式。如 ATM 网络就是前者，IP 网络就是后者。

**面向连接**服务的主要特点有：面向连接服务要经过三个阶段：数据传送前，先建立连接，连接建立后再传输数据，数据传送完后，释放连接。面向连接服务，可确保数据传送的次序和传输的可靠性。**无连接**服务的特点是：无连接服务只有传输数据阶段。消除了除数据通信外的其它开销。只要发送实体是活跃的，无须接收实体也是活跃的。它的优点是灵活方便、迅速，特别适合于传送少量零星的报文，但无连接服务不能防止报文的丢失、重复或失序。

**TCP/UDP/IP**。TCP 和 UDP 都是**传输层**的协议，IP 是**网络层**的协议，TCP 和 UDP 都在网络层协议（如 IP）的基础上工作。IP 打招呼的方式呢：是面向无连接的。TCP 打招呼的方式呢：是面向连接的，三次握手验证：你跟对方说 HI，对方跟你说 HI，然后你跟对方建立起连接，这就叫面向连接的服务。主机是端到端联系的，你可以这样去理解：IP 跟对端的 IP 打招呼，TCP 跟对端的 TCP 打招呼。**TCP 向下封装在 IP 包里面**，通过 IP 包传输到对端，IP 跟对端的 IP 打上招呼了，就将 TCP 的报文解封装，并交接上一层的 TCP，这样 TCP 也跟对端的 TCP 打上招呼了。

**UDP** 是 User Datagram Protocol 的简称，中文名是用户数据包协议，是 OSI 参考模型中一种无连接的传输层协议，由于**无连接**，时延短，适合语音业务。而 TCP 是面向连接的。

**SDU/PDU:**SDU 是指服务数据单元，上层下来的都叫 SDU，比如说，RLC 的数据，到了 MAC，就是 MAC SDU；PDCP 的到了 RLC，就是 RLC SDU。PDU 是指协议数据单元，本层出口到下层都叫 PDU，比如说，RLC 处理过的数据，要到 MAC 去，对于 RLC 来讲，就是 RLC PDU。

RLC 协议中，上层的 PDU 在下层成为了下层的 SDU，发生了分段/重组，级联，填充的过程。PDU 是 SDU 在 RLC 的承载，SDU 被分段或者级联，然后填充到 PDU 中，即 SDU 封装后就是 PDU 协议数据单元 PDU (Protocol Data Unit) 是指对等层次之间传递的数据单位。

协议数据单元(Protocol Data Unit)物理层的 PDU 是数据位 (bit)，数据链路层的 PDU 是数据帧 (frame)，网络层的 PDU 是数据包 (packet)，传输层的 PDU 是数据段 (segment)，其他更高层次的 PDU 是数据 (data)

**信道模型**来源于对多径效应的估计，在信道模型中列出了不同路径的平均延时和功率差别。在 TS25.943 中，3GPP 定义了各种信道模型，目前常用的有 TU3，TU50，RA3，RA50 等信道模型。其中，**TU 即城区** Typical Urban，**RA 即农村** Rural Area，而 3 和 50 代表运动的速度。ITU 也定义了信道模型，可以与 3GPP 联系起来，其中 **PedB** 和 **VehA** 等价于 TU，**PedA** 等价于 RA。城市与农村信道模型的差别在于多径中 LOS 视距是否占主导地位，显然城市是非视距为主的。信道模型决定了 Eb/No 参数，此外，信道模型也决定了 F 和正交因子等参数的取值。从使用的角度看，每种信道模型代表不同无线网络参数的集合。

信道类型 **TU6**:TU 表示 Typical Urban 环境，它是 COST207 信道模型中的一种，即典型城市信道，但 6 不是表示速度 6km/h，而是对应的 6 径模型，与其中的 12 径模型区分开来。

**SAIC:**单天线干扰消除技术

**MUROS:**Multi-user reuse one slot 多用户复用单时隙。多用户时隙复用的方法包括：接收多个用户上报的功率控制参数；根据所述功率控制参数获取功率调整因子，并根据所述功率调整因子调整所述多个用户的发送功率；根据调整后的发送功率复用多个用户的发射信号。

**CQI/PMI/RI** 的报告:CQI (Channel Quality Indication)、**PMI** (Precoding Matrix Indicator) 和 **RI** (Rank Indication)。RI 是矩阵的秩。可以理解为空口有多少个独立的信道。在 spatial multiplexing 中 layer 的数目等于 rank 的上报值。当然最后用多少 rank 还是由 MAC 来决定。PMI 就是 UE 推荐的预编码的值。怎么用还是 MAC 来决定的。可以看看 DCI Format 2 的格式。对 PMI 的一些规定。

**IPv6.**与 IPv4 相比，IPv6 主要有如下一些优势。第一，明显地扩大了地址空间。IPv6 采用 128 位地址长度，几乎可以不受限制地提供 IP 地址，从而确保了端到端连接的可能性。第二，提高了网络的整体吞吐量。由于 IPv6 的数据包可以远远超过 64k 字节，应用程序可以利用最大传输单元 (MTU)，获得更快、更可靠的数据传输，同时在设计上改进了选路结构，采用简化的报头定长结构和更合理的分段方法，使路由器加快数据包处理速度，提高了转发效率，从而提高网络的整体吞吐量。第三，使得整个服务质量得到很大改善。报头中的业务级别和流标记通过路由器的配置可以实现优先级控制和 QoS 保障，从而极大改善了 IPv6 的服务质量。第四，安全性有了更好的保证。采用 IPSec 可以为上层协议和应用提供有效的端到端安全保证，能提高在路由器水平上的安全性。第五，支持即插即用和移动性。设备接入网络时通过自动配置可自动获取 IP 地址和必要的参数，实现即插即用，简化了网络管理，易于支持移动节点。而且 IPv6 不仅从 IPv4 中借鉴了许多概念和术语，它还定义了许多移动 IPv6 所需的新功能。第六，更好地实现了多播功能。在 IPv6 的多播功能中增加了“范围”和“标志”，限定了路由范围和可以区分永久性与临时性地址，更有利于多播功能的实现。































微信扫码下方二维码，免费加入【5G 俱乐部】，还赠送整套：5G 前沿、NB-IoT、4G+（VoLTE）资料。






































赠送资料部分如下：

- |                          |  |
|--------------------------|--|
| 5G-NR物理层过程（控制）           | 04-5G多连接网络架构及标准化进展                     |
| 5G-NR复用与信道编码             | 05-5G大规模天线技术及其它空口技术v1                  |
| 5G-NR物理层提供的服务            | 5G毫米波通信                                |
| NR物理层概述                  | 5G介绍概述                                 |
| 华为5G Use Case商业价值评估白皮书   | 5G超密集组网网络架构及实现                         |
| 5G无线通信的新技术               | 5G-无线通信网络蜂窝结构体系和关键技术                   |
| 5G-NR物理信道与调制             | 5G移动通信-无线架构-RAPP-CoDe-RAN-Architecture |
| 5G高频段关键器件                | 5G移动通信关键技术综述--蒋红梅                      |
| 5G无线通信与4G的典型区别           | 03-5G无线网络架构及虚拟化技术20170903              |
| 5G、天线、后盖的关系              | 白皮书：《5G网络的开放生态》                        |
| GSMA《5G网络切片白皮书》全文        | 5G-MIMO-OTA测量技术2                       |
| 5G传输网（中移动解析版）            | 讲座-5G中的认知无线电通信                         |
| 详解5G的六大关键技术              | 5g-C-RAN-无线云网络总体技术报告                   |
| 5G大规模天线技术及其他空口技术详解       | 5G网络架构和演进考虑                            |
| 5G Massive MIMO系统架构及测试技术 | 5G网络介绍                                 |
| 5G光传送网技术                 | 5G网络架构设计的5个重要问题                        |
| 5G新空口L1底层分离技术解读          | 5G移动通信系统                               |
| 5G——RAN78概要              | 5G总体白皮书2.0-中文版-v1                      |
|                          | 5G-技术框架与测试应用面面观---迎接-5G-大未来            |
|                          | IMT2020-5G网络架构白皮书                      |
|                          | 5G技术通俗讲解                               |
|                          | 01-5G标准进展及热点问题-20170822                |



-  (重点)VOLTE掉话分析
-  [基础培训]IMS技术与网络演进
-  《VoLTE基本原理、信令流程与端到端测试》
-  【VoLTE基础理论+Vo关键技术+LTE技术原理】VOIP及信道LTE学习积累总结-
-  LTE\_VOLTE专题
-  LTE语音解决方案--VOLTE调度机制的研究-5.24
-  PDSCH功率-PaPb(精)
-  SEQ分析VOLTE实战操作指导书
-  TD-LTE VoLTE语音质量(MOS)测试说明书
-  TD-LTE\_VoLTE-SIP完整信令解析
-  TDLTE中VoLTE的理论极限容量
-  TD-LTE中VoLTE的理论极限容量
-  VoLTE\_KPI指标定义
-  VOLTE-KPI优化
-  VoLTE-Log分析与主要SIP消息
-  VoLTEMOS专题分析报告V2
-  VOLTE-SIP代码意义
-  VOLTE参数分层指导书0803
-  VoLTE参数及邻区配置原则
-  VOLTE测试问题点汇总
-  VOLTE丢包率专题分析
-  Volte分析方法与主要问题
-  Volte分析方法与主要问题
-  Volte分析方法与主要问题2
-  VoLTE呼叫SIP信令分析
-  VOLTE呼叫建立过程中的UPDATE含义及过程分析
-  VoLTE呼叫失败案例分析(华为修订版)
-  VoLTE话统指标订阅
-  VoLTE基本原理及信令解析
-  VOLTE基础资料

#### 文件名

- |  |  |
|--|--|
|  5G测试需求及热点方案研究NB-IoT专题.pdf                  |  NB-IoT技术业务流程.pptx                        |
|  eMTC(eRAN12.1_04).pdf                      |  NB-IoT解决方案介绍.pdf                         |
|  NB-IoT解决方案介绍(中国移动设计院无线所汇报)V1.0(1).p...     |  NB-IoT上行物理层技术.docx                       |
|  NB-IoT技术简介和网络规划(非加密)v1.2 20170505.pptx     |  NB-IoT网优概述.pptx                          |
|  NB_IoT白皮书-罗德施瓦茨.pdf                        |  NB-iot文档.docx                            |
|  厦门联通NB-IoT解决方案交流-v1.0.pdf                |  NB-IoT无线和性能原理(eRAN12.1_05).pdf         |
|  窄带物联网(NB-IOT)简要介绍.pdf                    |  NB-IoT系统现状与发展.pdf                      |
|  Feature_Perspectives_-_NB-IoT.pdf        |  NB-IOT系统消息.txt                         |
|  Huawei-NB-IoT-Partner-List-Issue-2.0.pdf |  NB-IoT下行物理层技术.docx                     |
|  HW-NB-IoT 参数权限申请.xlsx                    |  NB-IOT原理及测试.pdf                        |
|  IoT_Coverage_v02.pdf                     |  NB理论为什么低20DBM.docx                     |
|  LTE-NB-IOT-协议介绍.docx                     |  PSM和eDRX.docx                          |
|  LTENB-IOT协议介绍.pdf                        |  《窄带物联网(NB-IoT)技术与应用解决方案》厦门-20161229... |
|  NB-IOT MAC层流程简介.pptx                     |  杭州移动NB-IoT项目建设白皮书.docx                 |
|  NB-IoT_CSCN16_final_v3.pdf               |  核心网关键技术流程.docx                         |
|  NB-IOT关键技术及应用.pptx                       |  基于网络大数据的NB-IoT深度覆盖评估.docx              |
|  NB-IoT规划目标及规划思路初探.docx                   |  简述NB物联网测试方法.docx                       |
|  NB-IoT基本原理与eMTC对比介绍--杭州移动培训v1.0.pdf      |  接入网协议流程.docx                           |
|  NB-IoT技术--物理层简介_085107.pptx              |  |