

LTE上行信道原理介绍

内容

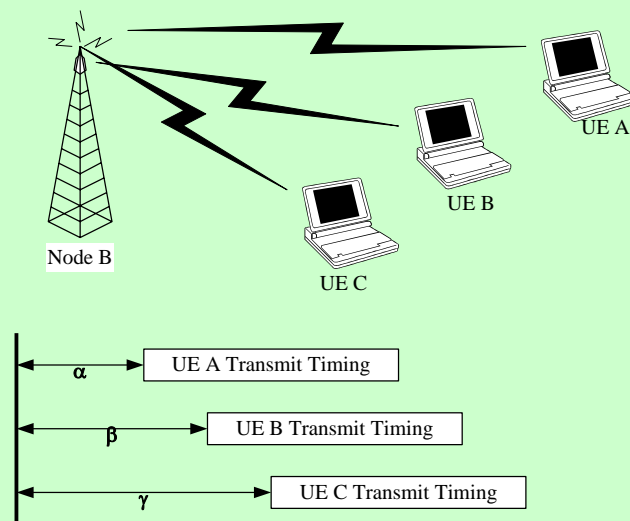
- LTE上行物理层基础
- RACH信道介绍
- PUCCH信道介绍
- PUSCH信道介绍
- LTE上行调度分配

1. LTE上行物理层基础

LTE上行链路：多址接入方案

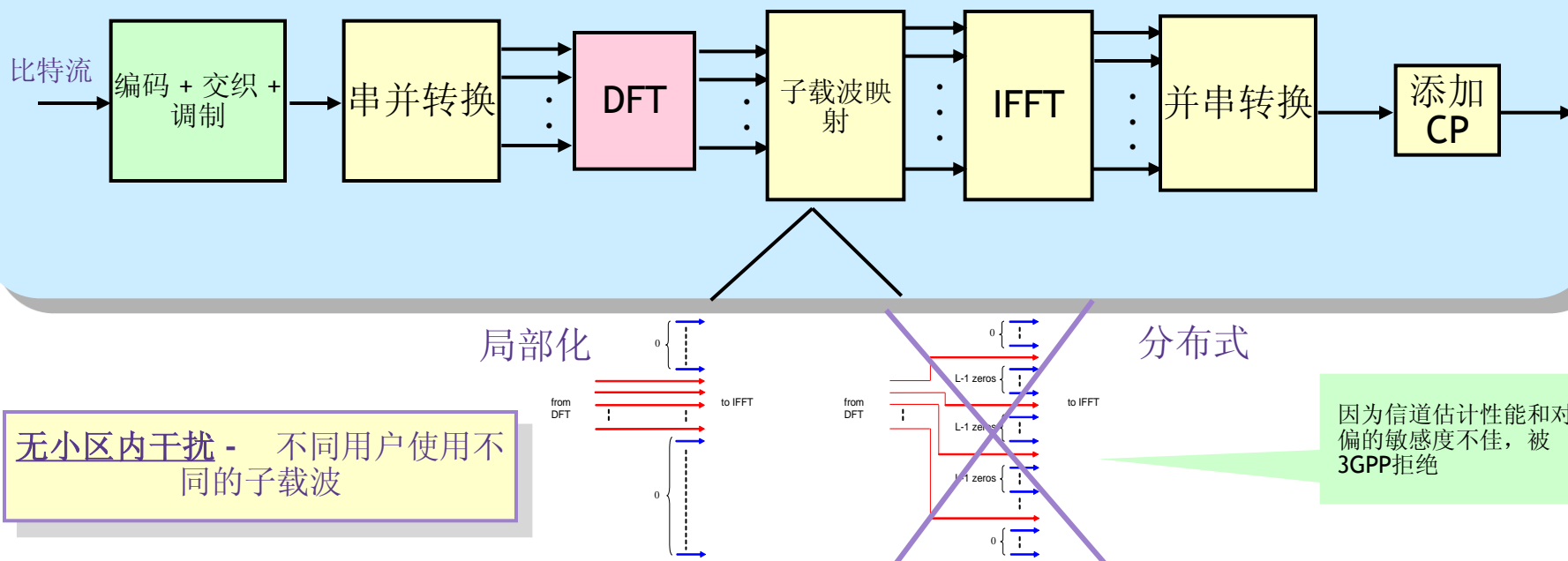
- 为了方便UE中高效的功率放大器设计，在上行链路多址接入方面，3GPP选择了单载波频分多址接入（SC-FDMA）来支持OFDMA。
- 与OFDM相比，SC-FDMA能够抑制峰均功率比（PAPR）
 - 对于QPSK提高了~4 dB，对于16-QAM提高了~2 dB
 - 降低了移动台功率放大器的成本
 - 降低了功率放大器的回退→ 增大了覆盖范围

- SC-FDMA仍是一种 正交频分 多址接入方案
 - UE使用的频率相互正交
 - 通过使用定时提前信号（TA）达到时域上的同步
 - 只需在一个CP长度范围内同步
 - TA命令作为一个MAC控制元素以0.52μs的时间精度进行发送



LTE上行链路：借力DFT预编码OFDMA的SC-FDMA

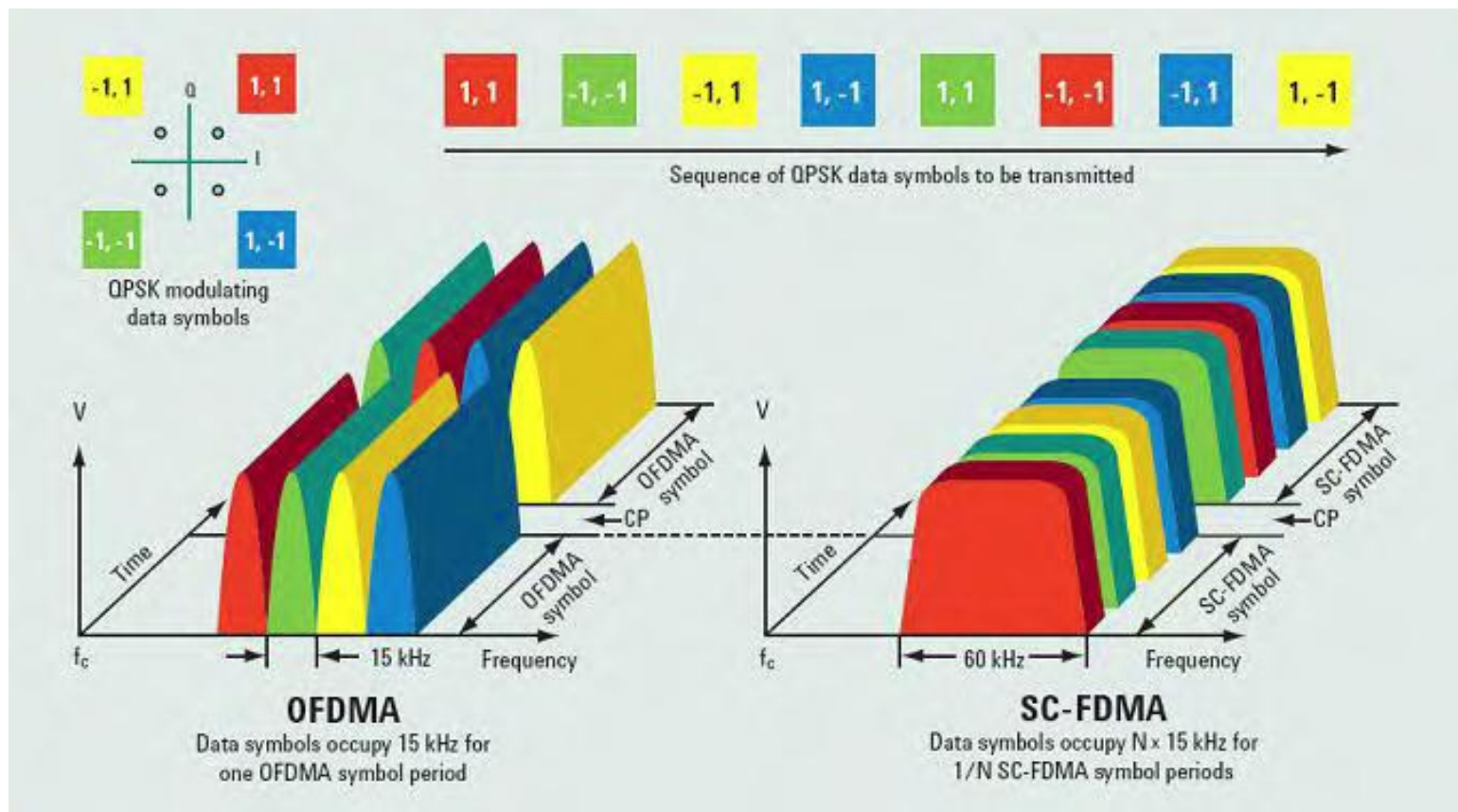
- 使用一个OFDMA前端和一个DFT预编码器实现SC-FDMA，称作DFT扩展OFDMA（DFT-SOFDMA）
 - 优点是上行链路和下行链路之间可以共享数量关系（子载波间距、符号时间和FFT大小等）
 - 以12个子载波为单位的可变带宽分配（与下行链路相同）



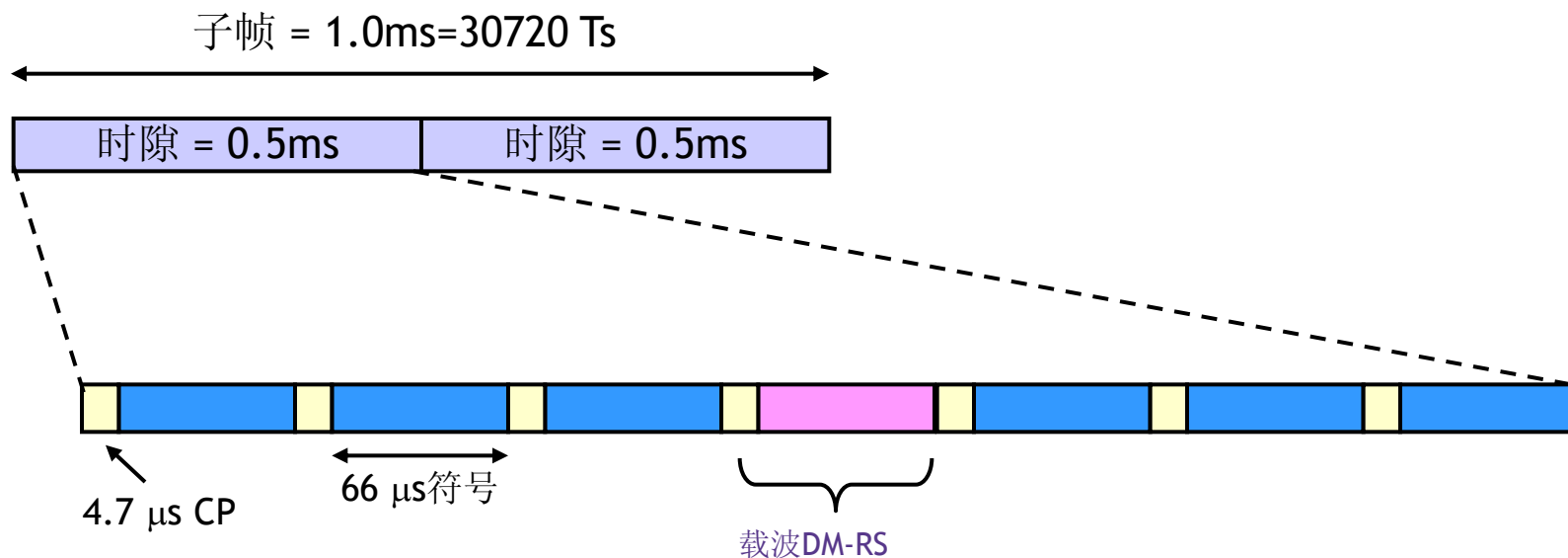
SC-FDMA原理

- 相比于OFDMA，SC-FDMA 能够减小PAPR

- OFDM中，符号并行传输，每15kHz子载波一个符号
- SC-FDMA中，这些符号将串行传输，而每个符号在频域上占用 $N \times 15\text{kHz}$
 - 对应12个子载波 For one symbol of 12 subcarriers, each symbol occupies $12 \times 15 = 180\text{kHz}$



LTE上行链路：帧格式



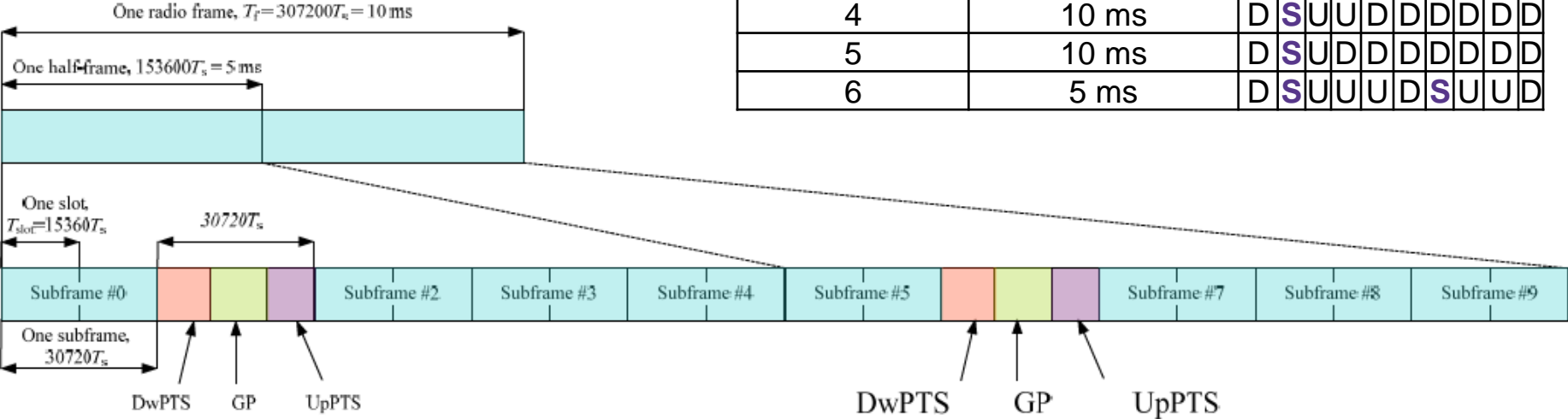
- 子帧长度为1ms
 - 1ms的子帧由两个0.5ms的时隙组成（可在时隙边缘跳时）
 - T_s 为LTE的基础采样时间单位
- 每个0.5ms的时隙有7个SC-FDMA符号
 - 6个SC-FDMA符号用于承载数据
 - 中间的SC-FDMA符号用于数据解调参考信号（DM-RS）

LTE 无线帧结构

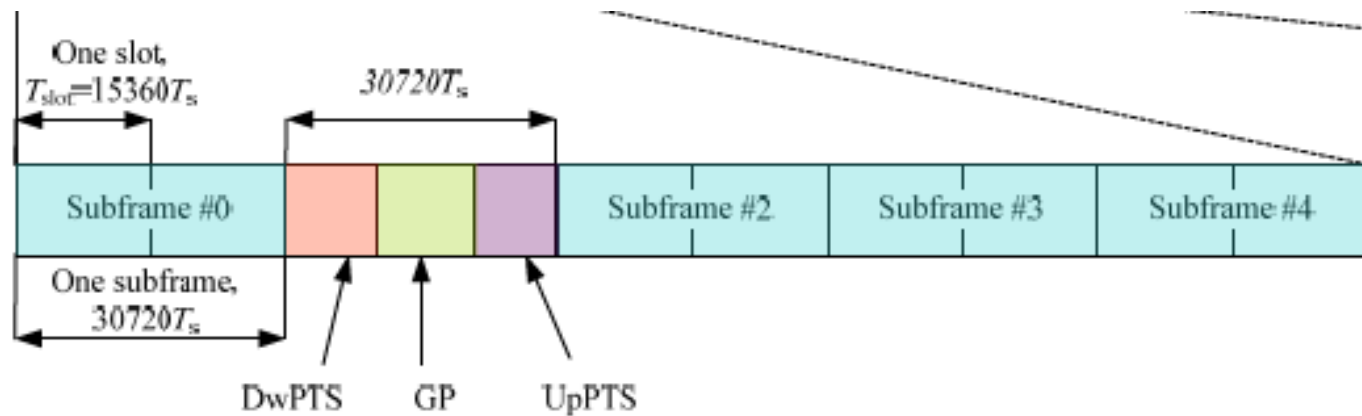
●TDD帧结构

- 仅适用于TDD(时分双工)
- 帧长 $T_f=307200 \cdot T_s=10\text{ms}$, 含两个5ms的半帧
- 每帧含1或2个特殊子帧, 特殊子帧数目与UL/DL比例相关
- 特殊子帧由三部分组成: DwPTS, GP, UpPTS
- DwPTS, GP, UpPTS的长度可变
- UL/DL比例可变

configuration	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



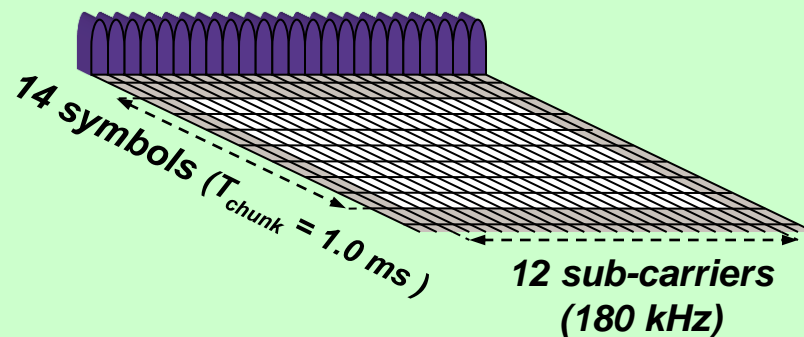
TDD帧格式



- **DwPTS为动态长度，可支持 3/9/10/11/12个符号**
 - 可传送下行信令和业务信道（PCFICH/PHICH/PDCCH/PDSCH）
 - 承载下行同步信息（P-SCH）
- **UpPTS配置灵活，可支持1或2个符号。**
 - 可传送短 RACH，降低开销
 - 或传送Sounding RS获得TDD信道环境信息，支持Beamforming
- **灵活的GP 设置，可以最小化GP的开销，同时支持不同的覆盖半径**
 - 1~10个 OFDM符号大小的GP， 最大可以支持100Km的覆盖半径
- **灵活的上下行时隙配比，可以支持非对称业务和其它业务应用等**
 - 7 个DL/UL配置比例: 3/1, 2/2, 1/3, 6/3, 7/2, 8/1, 4/5

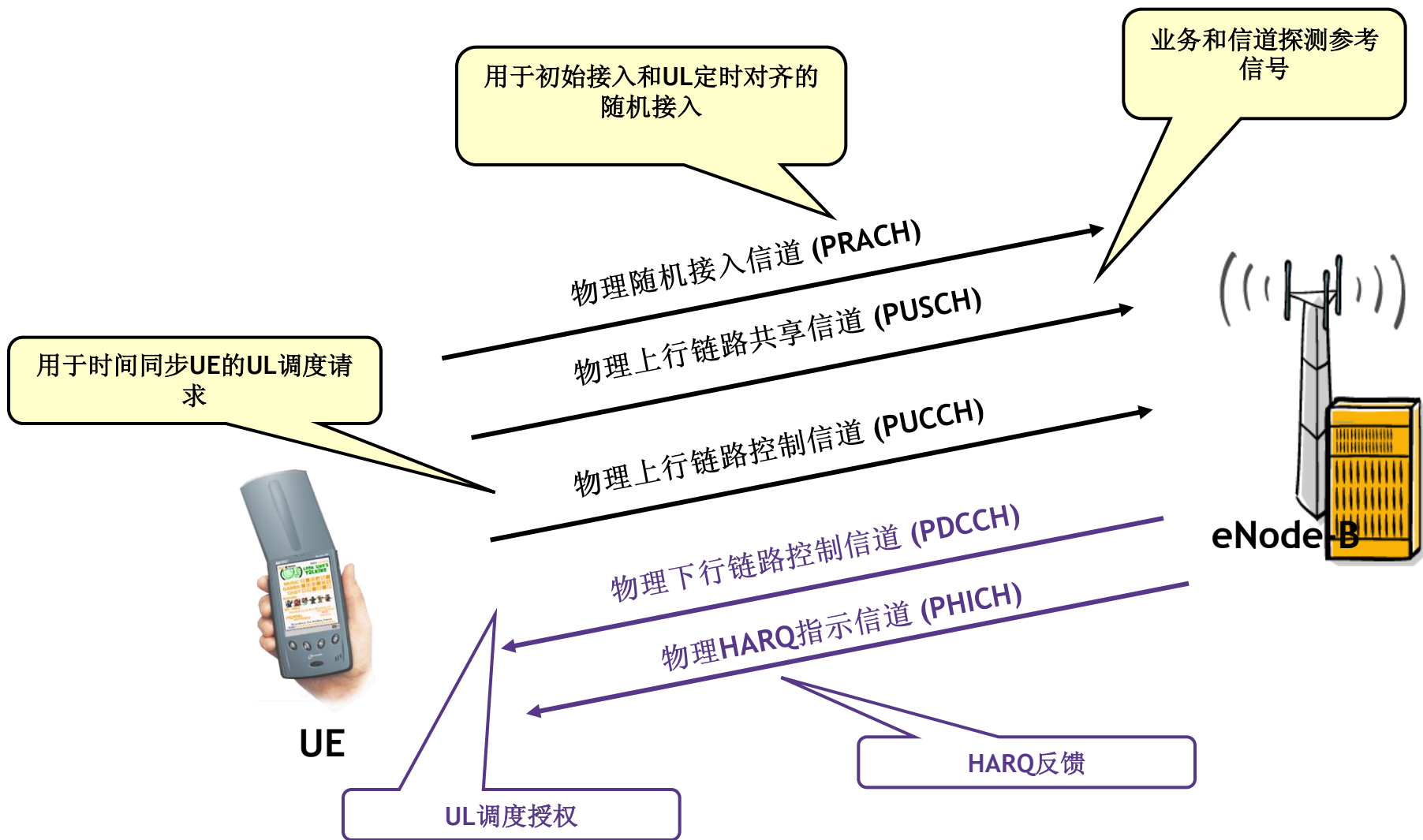
物理资源块快速小结 (PRB)

- 分配的基本单元组称作物理资源块 (PRB)
 - 频率上为12个子载波 (= 180 kHz)
 - 时间上为1个子帧 (= 1 ms, = 14个OFDM符号)
 - 可以为给定子帧中的用户分配多个资源块



- 资源块(RB Resource Block)
 - 在一个时隙(7个符号)中, 频域上连续宽度180kHz的物理资源
- 可用PRB总数依赖于操作带宽
 - 1.4 MHz时为6个PRB, 10MHz为50个PRB, 20 MHz时最多100个PRB

支持LTE上行链路的物理信道



LTE上行链路：逻辑、传输和物理信道的映射

CCCH: 公共控制信道

DCCH: 专用控制信道

DTCH: 专用业务信道

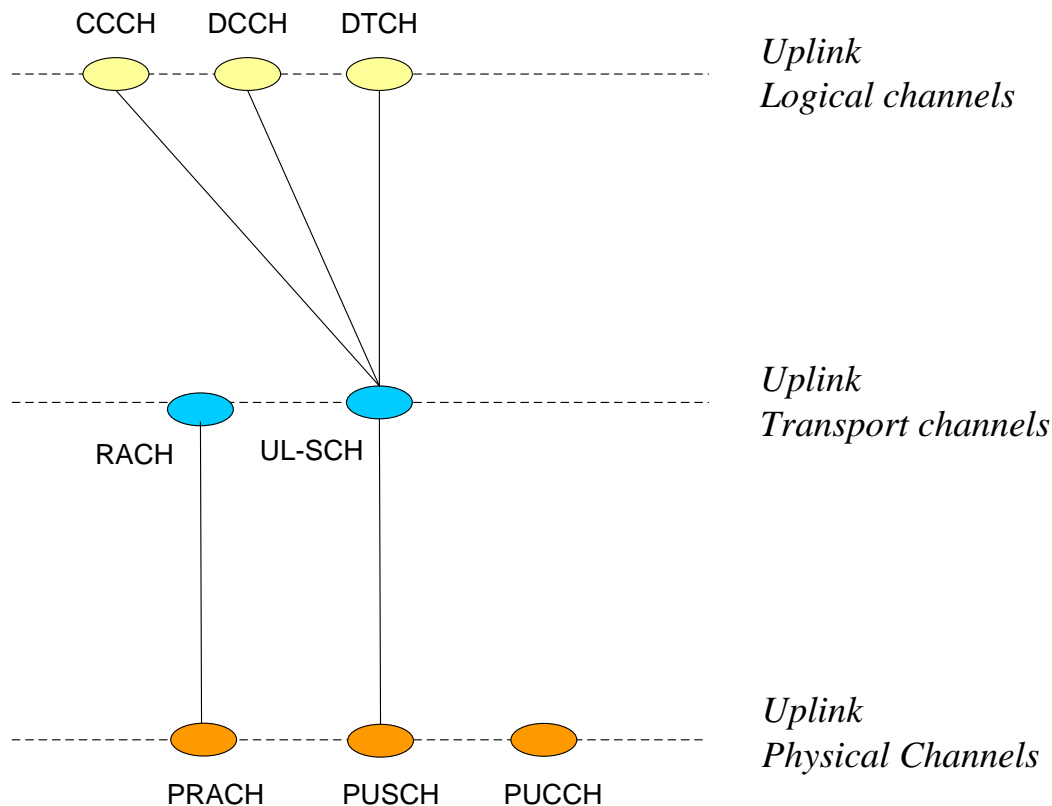
RACH: 随机接入信道

UL-SCH: UL共享信道

PUSCH: 物理UL共享信道

PUCCH: 物理UL控制信道

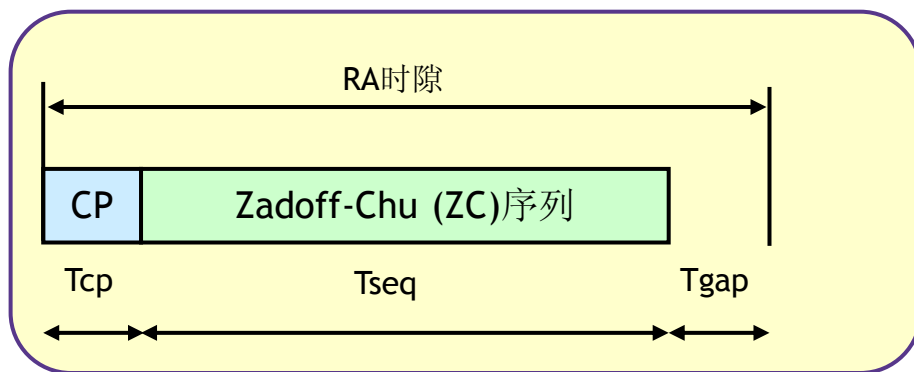
PRACH: 物理随机接入信道



2. RACH介绍

LTE上行链路：随机接入信道-1

- 随机接入信道（**RACH**）用于初始接入、切换或者上行链路同步丢失期间
- **UE**在物理随机接入前导信道上发送一个**RACH**前导
 - **UE**首先自**SCH**处获得下行链路定时，然后发送**RACH**前导（非同步）
 - **eNB**探测定时前导并且发送一个定时提前命令以便时间同步**UE**
- 每个小区的**PRACH**可用**64**个前导序列（**6**比特）
 - 对于比较小的小区，前导序列都是正交的（根**ZC**序列的不同循环移位生成。）
 - 对于比较大的小区不是完全正交的（需要使用不同的根**ZC**序列生成）



- 间隔时间**Tgap**反应了由于往返传播延迟造成的时间不确定性
- **CP**用于频域处理，其必须覆盖往返传播延迟和延迟扩展

LTE上行链路：随机接入信道-2

- 在信道条件差的情况下，格式#2 和#3提供了一个2 x 0.8ms前导重复，以此提高检测性能
- $Df_{RA} = 1/0.8\text{ms} = 1.25 \text{ kHz}$ → 高速UE多普勒频移的敏感度（大于~120 km/hr）
- 格式0-3共同支持FDD和TDD,前导序列长度都是839
- 格式4为TD-LTE专用，可以利用UpPTS在核心频率1.08MHz中传送，节省资源，前导序列长度是139

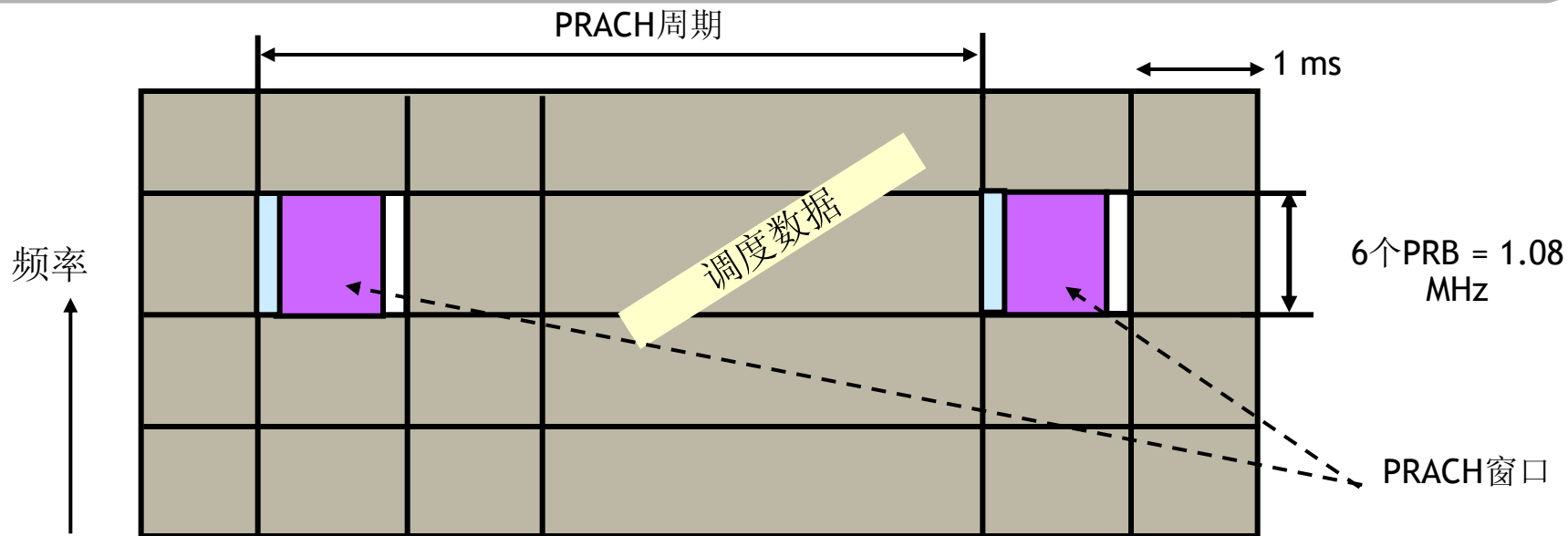
格式	RA时间	Tcp(Ts)	Tseq(Ts)	Tgap(Ts)	小区最大范围
#0	1 ms	3168	24576	2976	~15 km
#1	2 ms	21024	24576	15840	~77km
#2	2 ms	6240	2*24576	6048	~30 km
#3	3 ms	21024	2*24576	21984	~100 km
#4	1 ms(UpPTS)	448	4096	288	~1.41 km

$1\text{ms}=30720 \times T_s$ ，一个 T_s 约：0.0326 微秒

LTE上行链路：随机接入信道-3

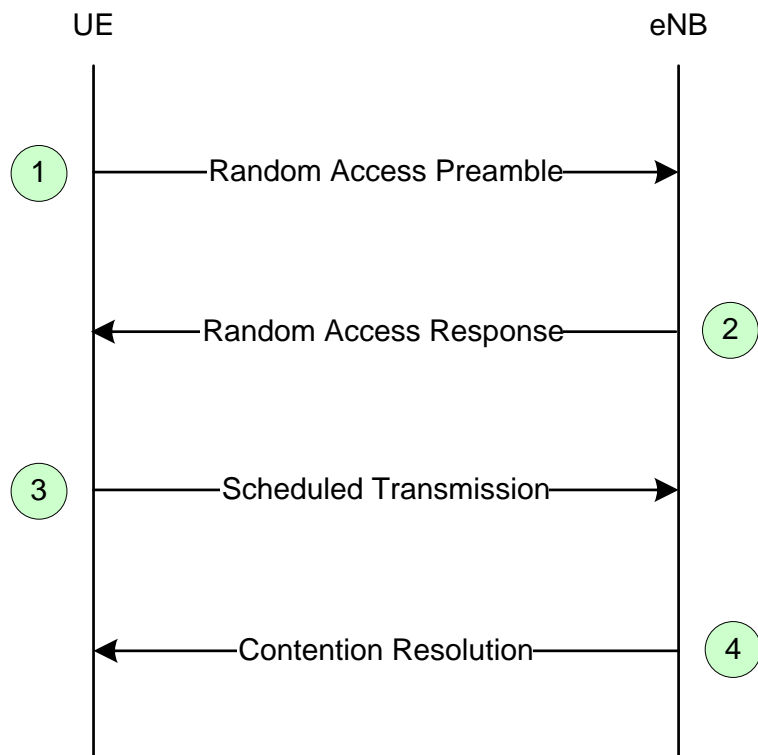
- **PRACH**在预留的时-频域发送；为半静态配置
 - PRACH资源 = 6个PRB(1.08 MHz); 每个子帧最多一个PRACH资源
 - TD-LTE的PRACH可以不在核心频率以降低干扰
 - PRACH接入时隙可以配置为每1、2、5、10或者20ms出现一次

- 如：配置为一个10ms的PRACH周期
 - 在碰撞概率为1%时，支持的强度为每秒钟64次接入尝试



LTE上行链路：基于竞争的随机接入过程

1. **MSG1- PRACH前导**：6个比特（64个签名），由5个随机ID比特+1个信息位组成
2. **MSG2- 由DL-SCH上的MAC使用相关PDCCH上的RA-RNTI生成RA响应**
 - RA-RNTI与PRACH的时间/频率资源绑定
 - 包含RA前导标识符、定时对齐信息和初始上行链路授权
3. **MSG3- UL-SCH上首次调度的UL传输**
 - 使用HARQ
 - 对于初始接入，包含承载于CCCH上的RRC连接请求、NAS UE标识符，但是没有NAS消息
4. **MSG4- DL-SCH上的竞争解决方案**
 - 由RRC生成并且承载于CCCH上



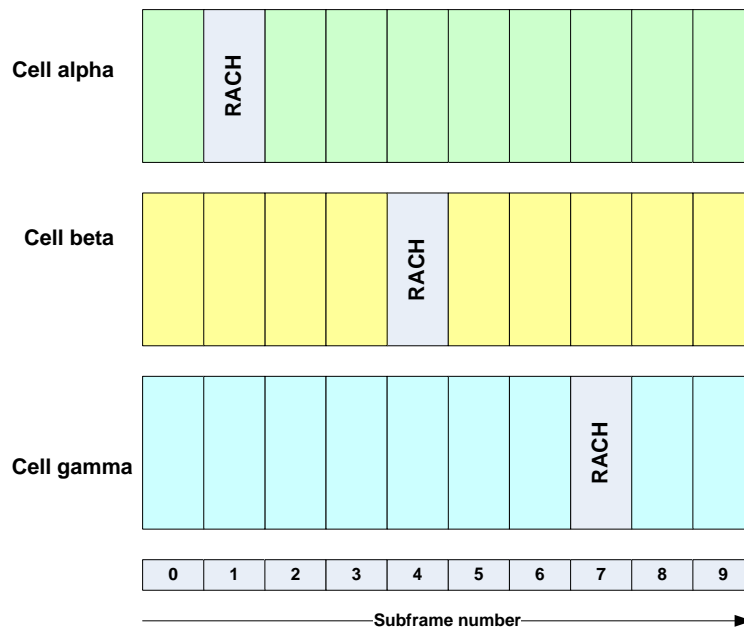
LTE上行链路：随机接入过程

- 为以下5种事件执行随机接入过程
 1. 无线链路故障后的初始接入
 2. 切换
 3. 当UL不同步时，在RRC_CONNECTED时有DL数据到达
 4. 当UL不同步，在RRC_CONNECTED时有UL数据到达
 5. PUCCH上不存在信令资源时，在RRC_CONNECTED时有UL数据到达

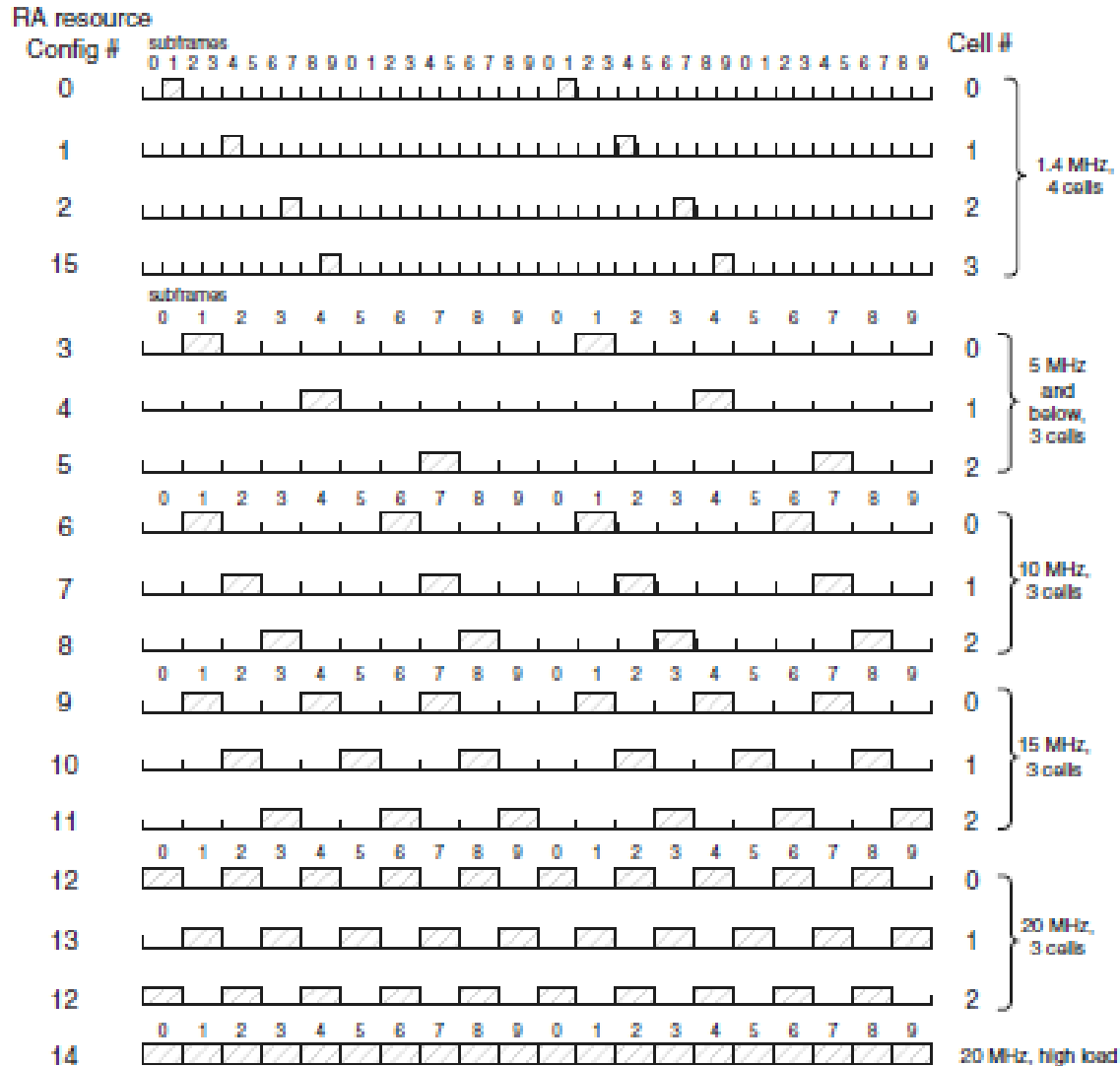
- 两种类型的随机接入过程：
 1. 基于竞争：适用于所有5种事件
 2. 基于非竞争：仅适用于切换和UL失步后接收DL数据

时域中的实例- RACH配置

- 在时域，eNB的三个扇区分别以PRACH配置编号3、4和5进行配置。
 - RACH msg1的周期采用10ms
 - 3个扇区的机会在时间上轮转，以便减少扇区间错误



PRACH资源分配



假设:

- PRACH冲突概率=1%

结论:

-对于5/10/20MHz带宽来讲, 每秒尝试64/128/256 PRACH

PRACH格式0目前可以使用配置3/4/5, 对应TDD配置1的3、8、2三个子帧

PRACH格式4目前可以使用配置51/52, 对应TDD配置2的1、6两个子帧

3. UL参考信号介绍

UL参考信号

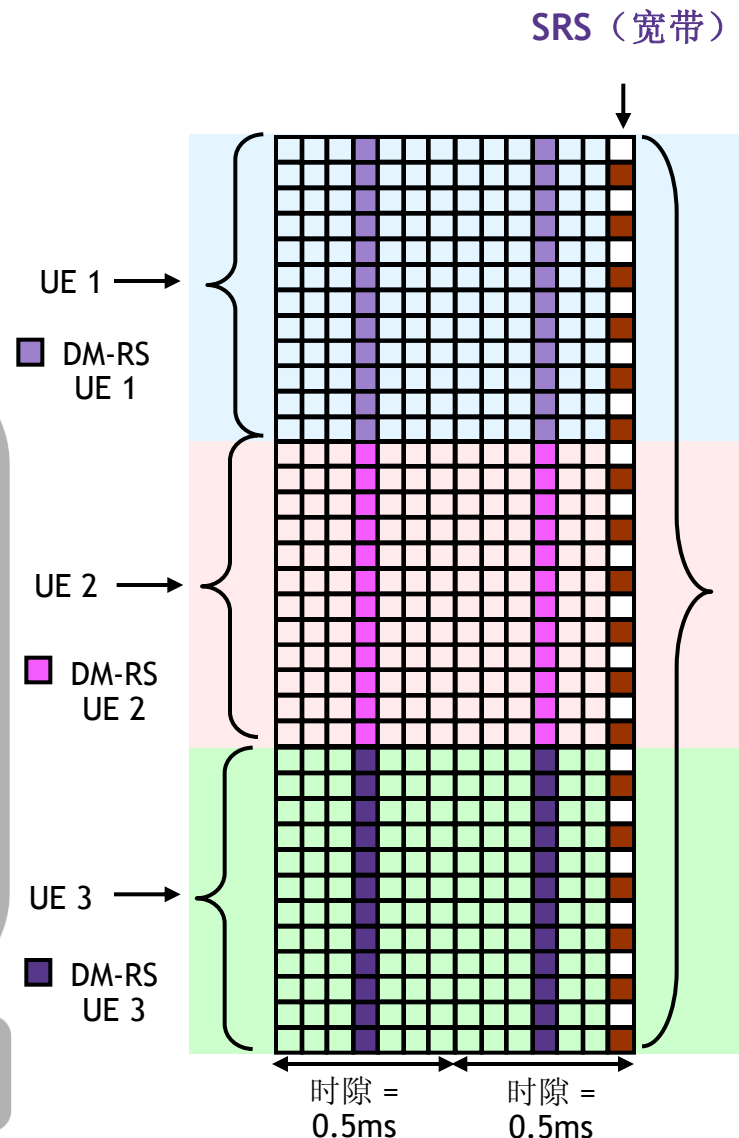
1. 数据解调参考信号 (DM-RS)

- 与每个分组传输一同发送，以便解调数据
- 占据时隙的中间SC-FDMA符号，仅在为数据传输分配的带宽上发送

2. 探测参考信号 (SRS)

- 用于探测上行链路信道，以便支持频率选择性调度
 - 时间和频率域的信道选择性调度
- SRS参数是半静态UE specific参数
 - 子帧中的1个符号用于SRS
 - 周期：{2, 5, 10, 20, 40, 80, 160, 320} ms
 - 带宽：通常在整個PUSCH带宽上进行传输（不包括PUCCH域）
- 当在PUCCH上发送一个调度请求 (SR) 或者CQI时，不发送SRS（为了避免多载波传输）

- ALU实现配置了一个周期为5ms的宽带SRS



DMRS (Demodulation Reference Signal) 上行解调参考信号

SRS (Sounding Reference Signal) 上行测量参考信号

DMRS信号

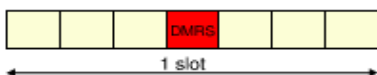
➤ 在PUCCH/PUSCH上传输，用于信道的相关解调

- 针对PUSCH

For PUSCH

- 每个slot(0.5ms) 一个RS, 第四个OFDM symbol

Slot structure for PUSCH and its RS



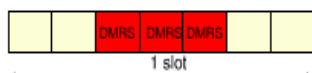
ECP时为第三符号

- 针对PUCCH

• **For PUCCH-ACK**

- 每个slot中间三个OFDM symbol为RS

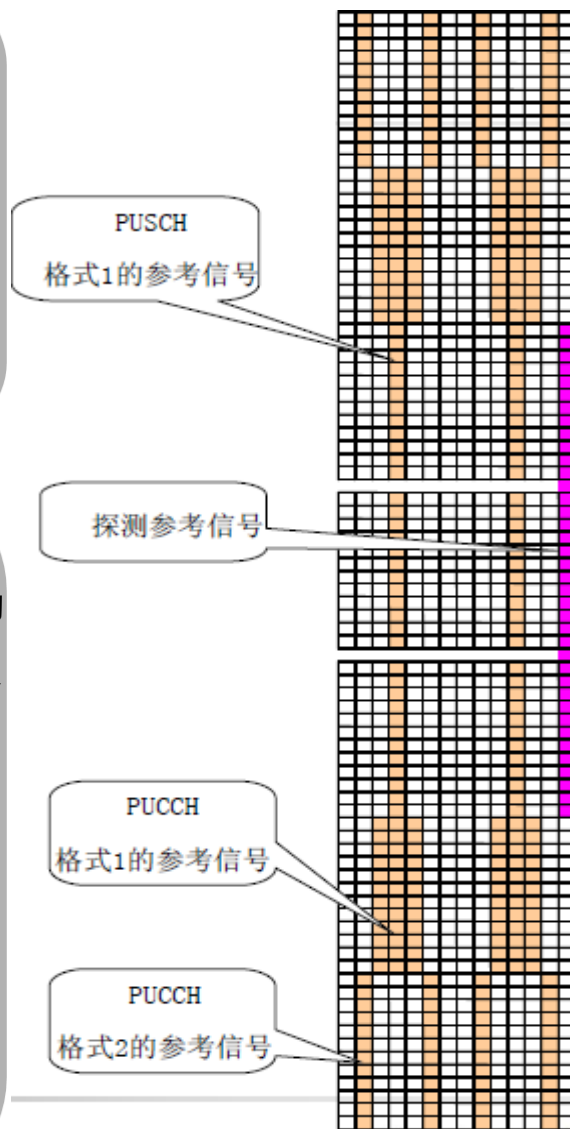
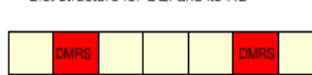
Slot structure for ACK/NAK and its RS



• **For PUCCH-CQI**

- 每个slot两个参考信号

Slot structure for CQI and its RS



SRS信号

➤ 时频域

时域 - 可在普通上行子帧上传输，也可以在UpPTS上传输，位于上行子帧的最后一个符号

频域 - 在PDSCH带宽上传输，针对PUCCH,仅针对1/1a/2a格式可选性传输。eNB 配置UE在某个时隙资源上发送Sounding以及发送Sounding的长度

➤ 功能 - 上行信道估计

- 上行信道估计，选择MCS、功率控制和上行频率选择性调度
- TDD系统中，估计上行信道矩阵H，用于下行波束赋型

➤ SRS周期

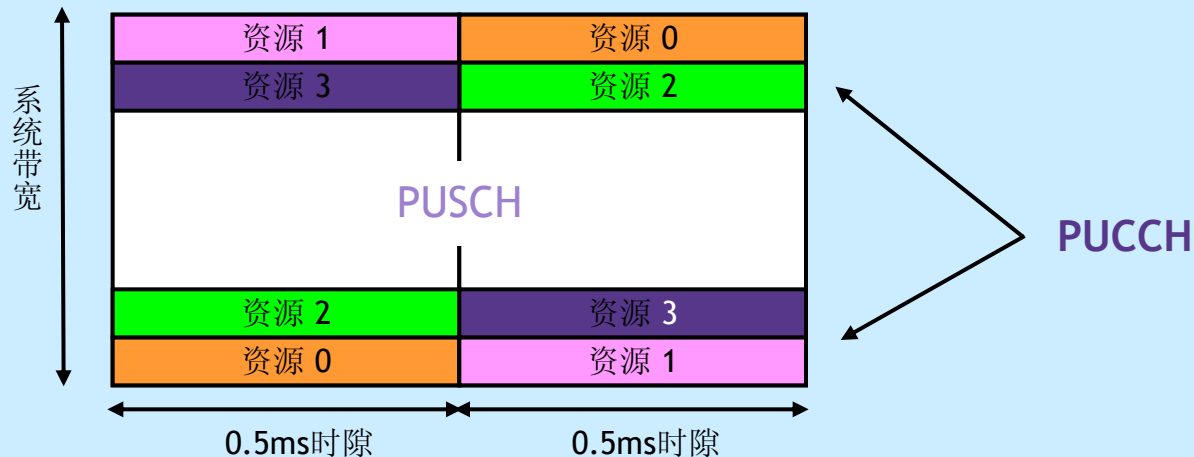
- 由高层通过RRC信令触发UE发送SRS，包括一次性的SRS和周期性SRS两种方式

- 周期性SRS支持2ms、5ms、10ms、20ms、40ms、80ms、160ms、320ms八种周期

4. PUCCH介绍

LTE上行链路：物理上行链路控制信道（PUCCH）

- PUCCH承载支持下行链路的**ACK/NACK**和**CQI**，以及用于上行链路的调度请求（**SR**）
 - 频带两端的PRB是半静态保留的（已经配置了的PUCCH除外）
 - 为额外的频率分集在时隙边界跳频
 - 半静态保留的PUCCH PRB的数量取决于控制需求的数量



- 为了维持单载波传输，PUCCH从不与PUSCH一起发送
 - 当存在PUSCH传输时，若需要发送ACK/NACK或者CQI，则其必须与PUSCH复用

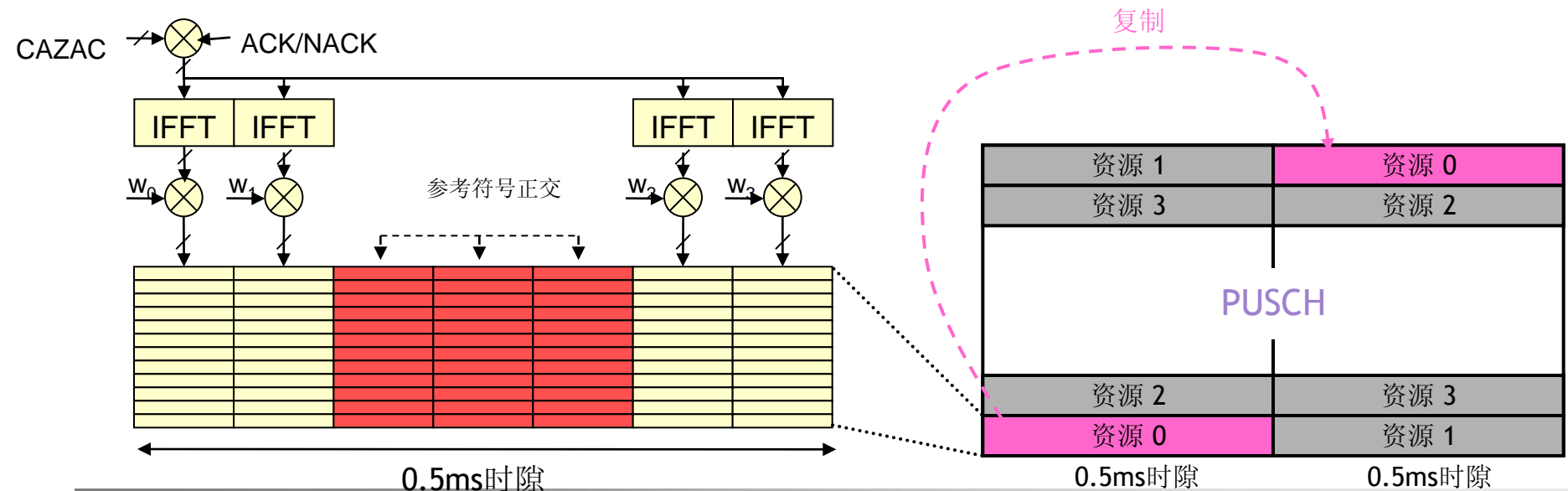
LTE上行链路：PUCCH格式

格式	调制	目的	每子帧的比特数
1	(开/关键控)	调度请求 (SQ)	N/A
1a	BPSK	用于SIMO的 ACK/NACK	1
1b	QPSK	用于MIMO的ACK/NACK	2
2	QPSK	CQI/PMI/RI	20
2a	QPSK + BPSK	CQI/PMI/RI + ACK/NACK (SIMO)	21
2b	QPSK + QPSK	CQI/PMI/RI + ACK/NACK (MIMO)	22

- 依据PUCCH的格式，在PUCCH上使用独立的功率偏移
- RI不与CQI/PMI一同传输，其具有与CQI/PMI的周期相同或者更大的周期。
- 当子带上报启动时，每个子带轮流上报CQI/PMI。

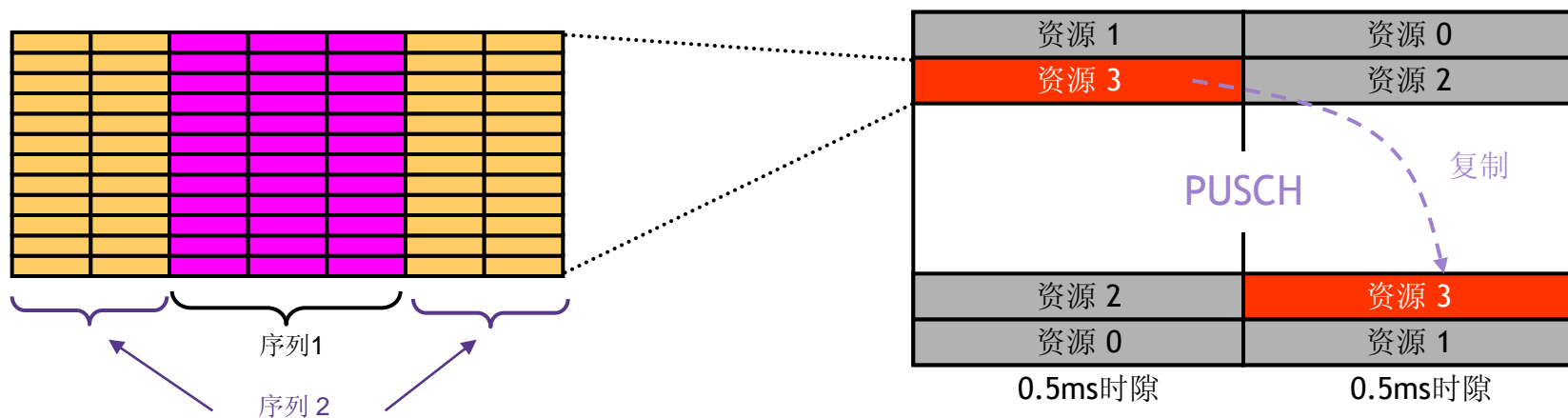
LTE上行链路：用于ACK/NACK的PUCCH格式1a/1b

- 1比特用于SIMO（格式1a: BPSK），2比特用于MIMO（格式1b: QPSK）
 - 重复ACK/NACK 8次并且在频域以长度为12 CAZAC的序列扩展
 - 来自不同UE的ACK/NACK的CDM使用CAZAC序列的不同循环移位
 - 为了进一步增强复用能力，在每个时隙添加了通过 w_i 实现的基于块的扩展
 - 例如：对于每个资源，使用6个循环移位和3个正交RS覆盖提供18个复用的UE
- 用于ACK/NACK传输的PUCCH资源与CCE相关，PDCCH使用这些CCE来传送对应的DL调度授权
- 如果在相同的子帧中发射SRS，则使用一个缩短了的ACK/NACK格式，该格式中删除了与SRS位置相对应的ACK/NACK符号



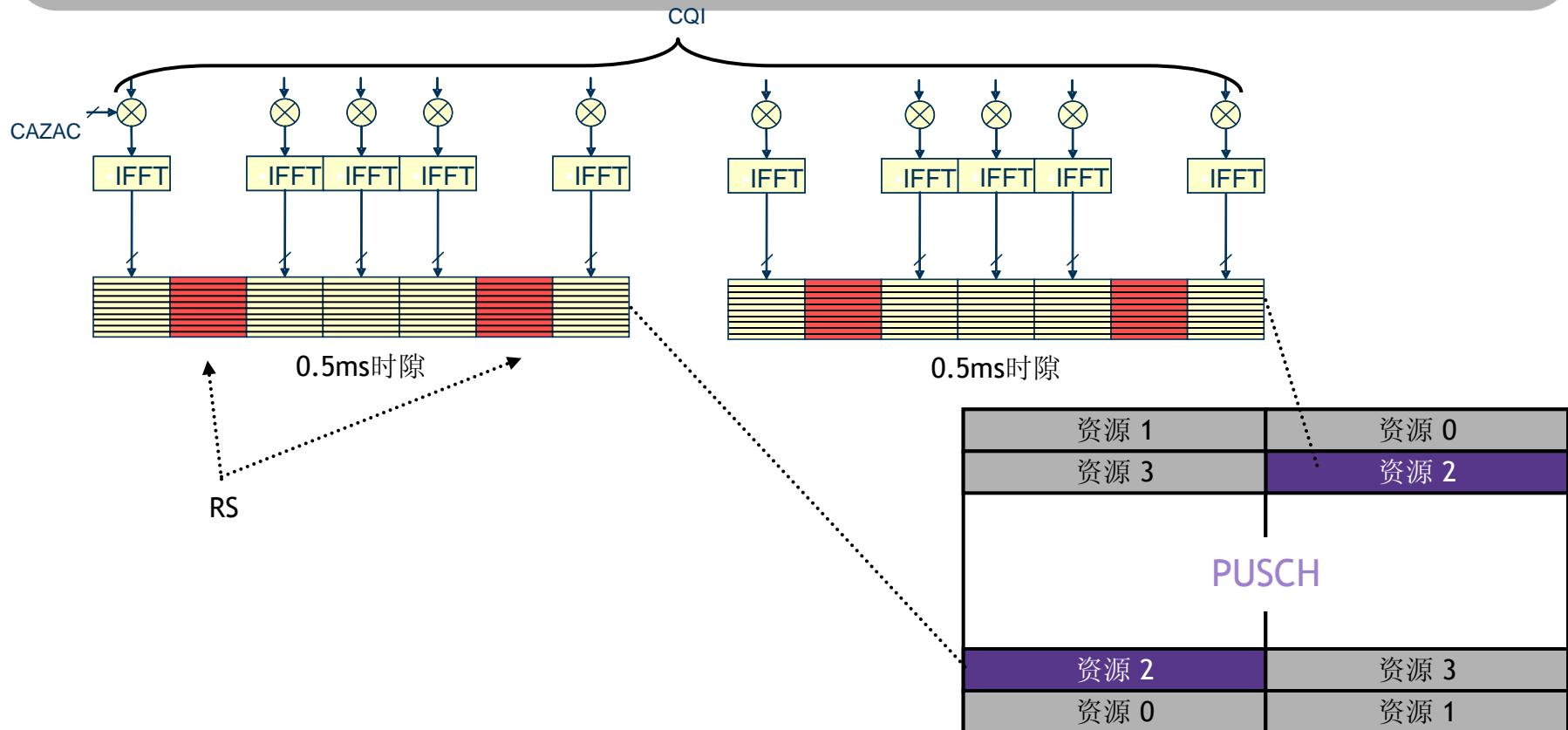
LTE上行链路：用于调度请求的PUCCH格式1

- On/Off键控基于ACK/NACK设计
 - 两个序列：长度4 + 长度3
 - 对于不同的UE与ACK/NACK传输兼容
- PUCCH上的SR资源通过RRC进行配置（时间复用和系列#）
- 相同用户的SR和ACK/NACK可以复用
 - 如果需要发送SR，则使用分配的SR PUCCH资源发送ACK/NACK
- 相同用户的SR和CQI不能复用
- SR与SRS不能在相同的子帧中发送（丢弃SRS）



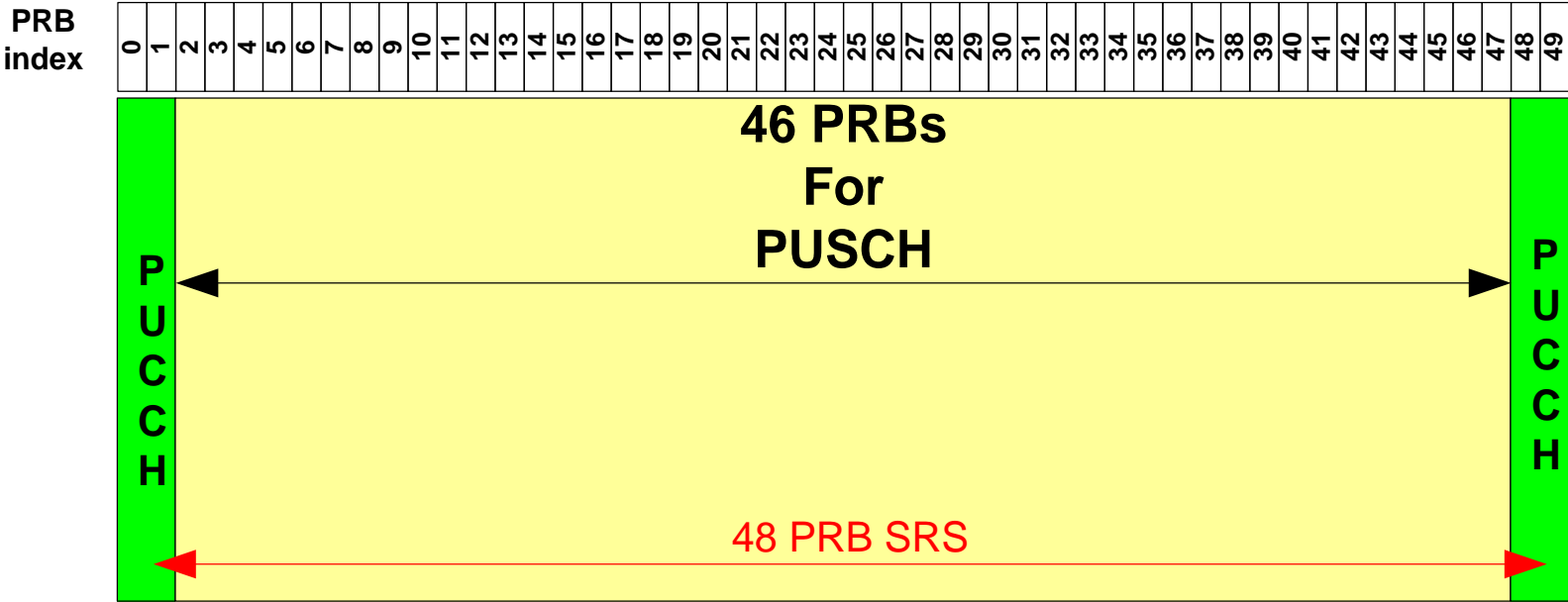
LTE上行链路：用于CQI/PMI/RI的PUCCH格式2

- QPSK调制的每个子帧（10个符号）20个编码比特
 - UE的CDM在频域使用一个长度为12 CAZAC的序列扩展每一个符号
 - 通过RRC分配CQI/PMI/RI PUCCH资源
 - ACK/NACK可以与CQI复用（格式2a/2b）；当发送SR时丢弃CQI
 - SRS与CQI不在相同的子帧中发送（丢弃SRS）：应该尝试避免更高层配置



实例-ALU 10MHz的PUCCH配置

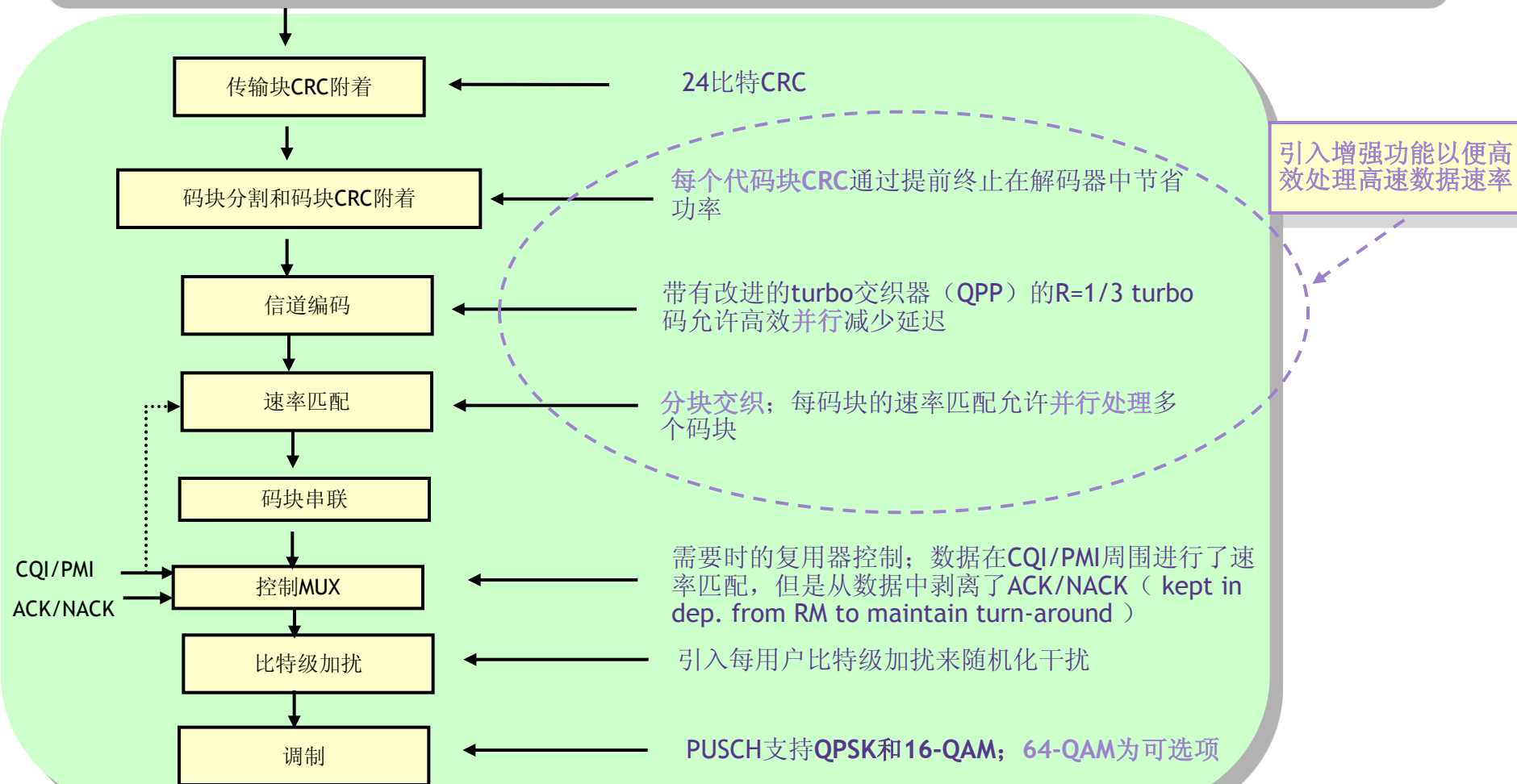
- 4个PRB（每边2个）用于PUCCH业务



5. PUSCH介绍

LTE上行链路：上行链路共享信道（UL-SCH）

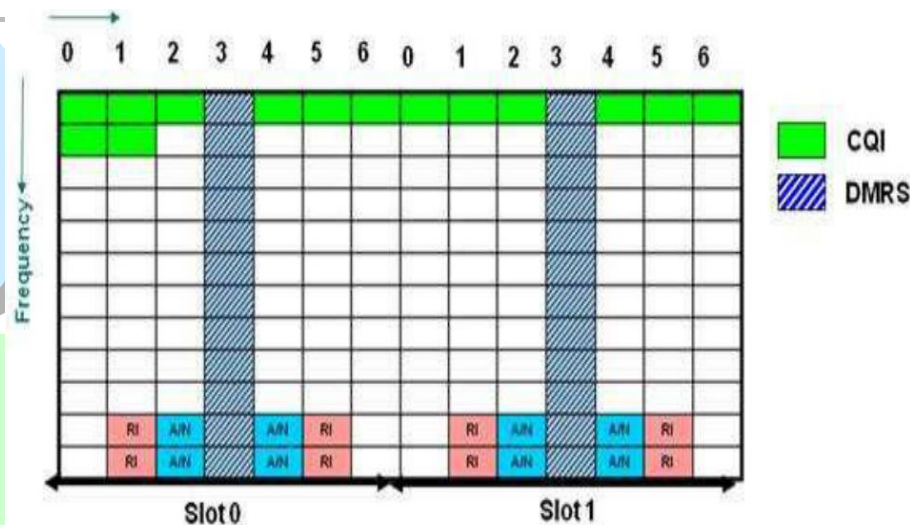
- UL-SCH传输信道承载调度分组数据并且映射到物理上行链路共享信道上（PUSCH）



PUSCH 物理上行共享信道

PUSCH 承载上行SCH数据(如需要可同时传输UCI)

- 支持QPSK、16QAM、64QAM调制方式
- 当PUSCH传输时, 上层控制信令与PUSCH混合传输, 其中因为PUSCH已经在传输了, SR信息无需再上报.



分为跳频和非跳频两种模式

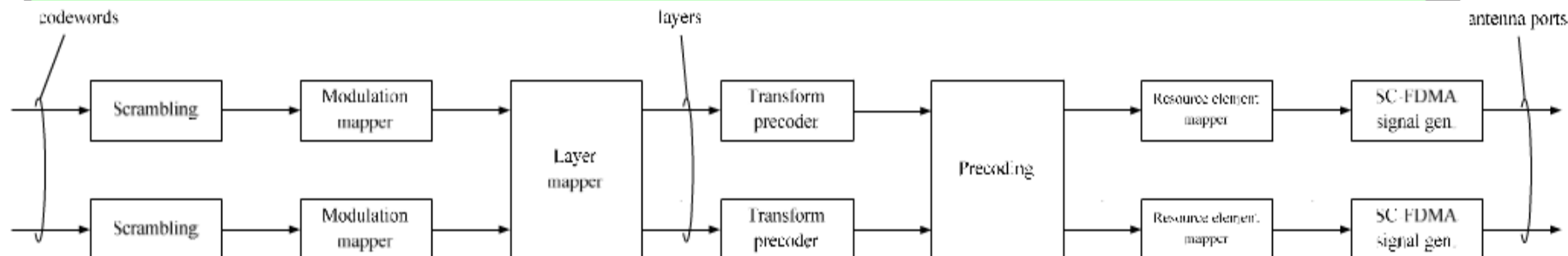
- 当跳频关闭时, 基站通过SRS为UE分配上行资源, 根据调度信令指示获得物理资源块索引

- 跳频模式可分为Type 1 跳频和Type 2(预定义)跳频, 跳频类型的选择与Type 1跳频偏移信息来自PDCCH Format 0

- Type 1跳频: 开启时, 跳频根据上行调度信令显示指示的跳频偏移进行跳频。

- Type 2跳频

包含子带跳频和子带内镜像跳频。用于传输的资源块由调度信息和预定义模式共同决定。预定义模式由扰码序列确定, 通过扰码序列唯一确定子带跳频偏移值以及子带内镜像开启。



The background is a solid blue color with several white, curved, concentric lines that sweep across the frame, creating a sense of motion and depth. The lines are more prominent in the lower half of the image.

谢谢！

www.alcatel-lucent.com