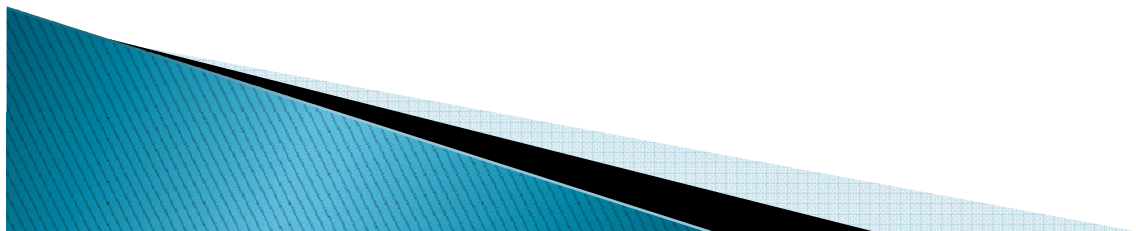


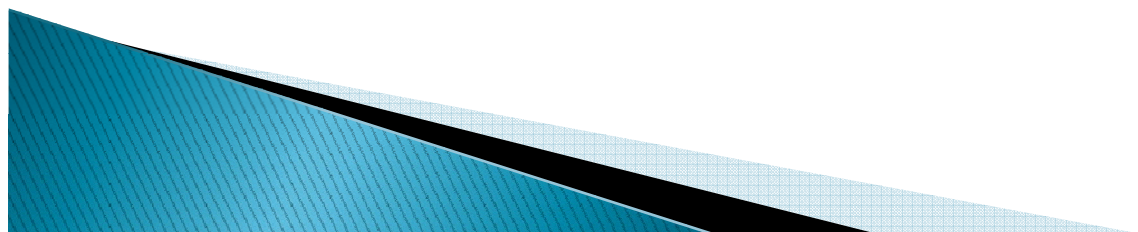
# LTE物理层空中接口



# 学习内容

通过本节的学习，我们将了解到

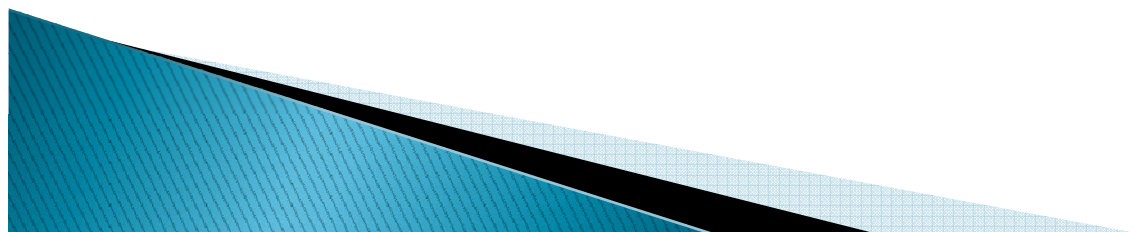
- ▶ LTE时频资源是如何组织，与码分系统相比，具有什么特点
- ▶ LTE-FDD与LTE-TDD的帧结构是怎样的
- ▶ 下行控制信道如何设计
- ▶ 下行共享信道如何设计
- ▶ 上行控制信道如何设计
- ▶ 上行共享信道如何设计



# LTE物理层

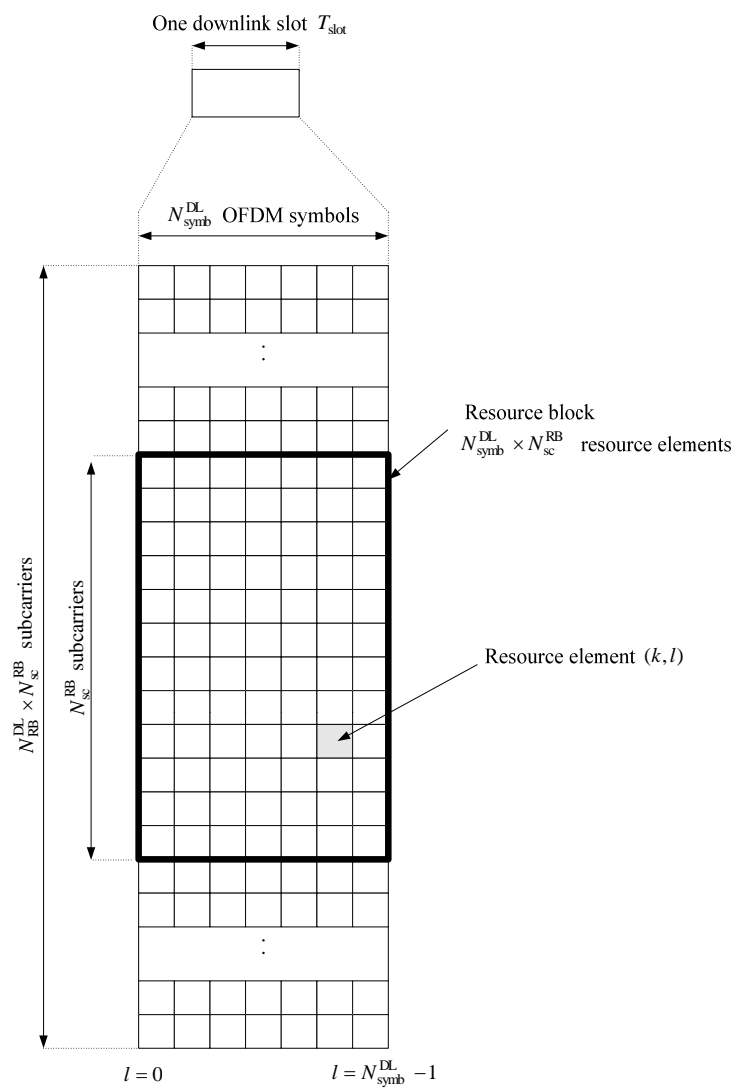
## LTE时频资源

- ▶ RE(Resource Element), LTE最小的资源
- ▶ REG(Resource Element Group), 将4个RE组合在一起, 作为更大的粒度
- ▶ RB(Resource Block),  $12\text{subcarrier} \times 1\text{slot}$ , 是LTE基本调度单元
- ▶ RB Pair, 在一个TTI中两个时间上连续的, 频率相同的RB



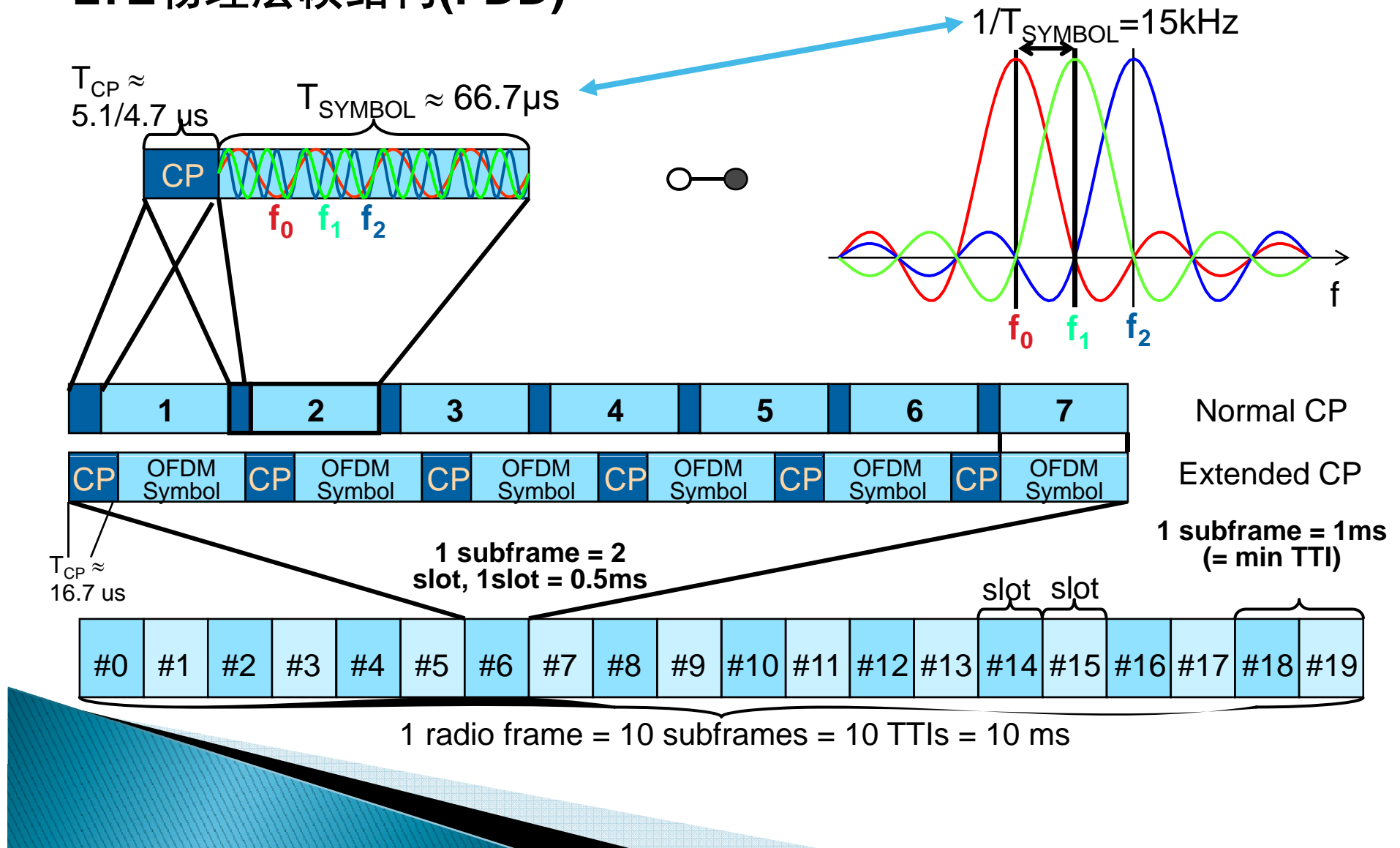
# LTE物理层

物理层资源示意图



# LTE物理层

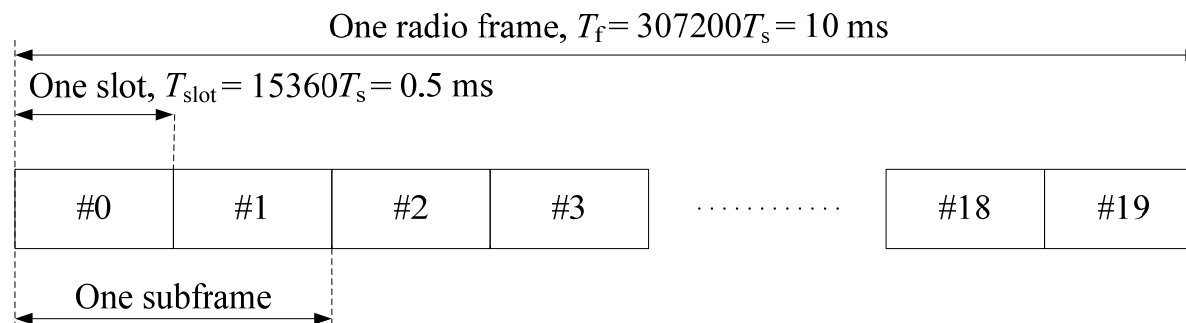
## LTE物理层帧结构(FDD)



# LTE物理层

## 物理层帧结构 – Type 1(FDD)

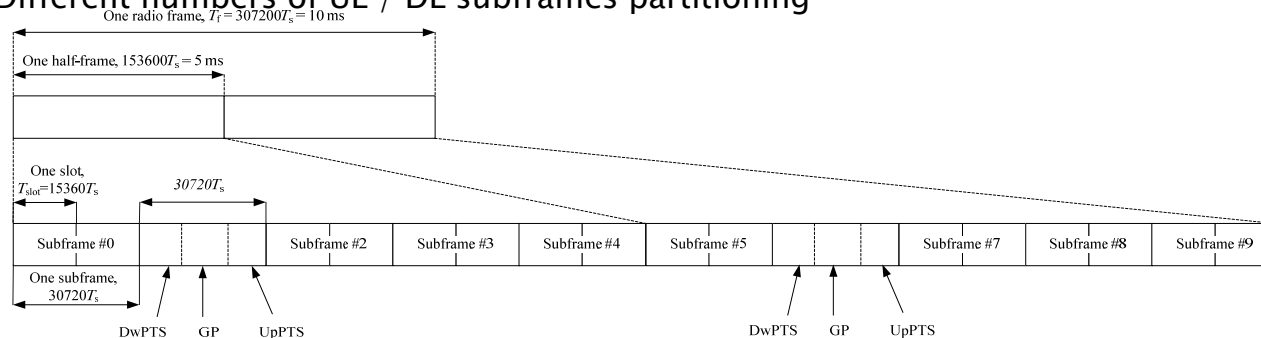
- ❖ 1 frame = 10 ms
- ❖ 1 frame = 10 subframe
- ❖ 1 subframe = 2 slot(0.5ms)
- ❖ Maximum FFT size (20 MHz Bandwidth) = 2048(110x12=1320 subcarrier used)
- ❖ Subcarrier spacing = 15 kHz
- ❖ Subcarrier Bandwidth  $2048 \times 15 \text{ kHz} = 30.72 \text{ MHz}$



# LTE物理层

## 物理层帧结构 – Type 2(TDD)

- ▶ One radio frame = 10 ms = 2 half-frames
  - ❖ Subframes 0 and 5 always for DL
- ▶ Special subframe with various partitioning of the following 3 fields
  - ❖ DwPTS – DL
  - ❖ GP – Guard period
  - ❖ UpPTS – UL, always followed by an UL subframe
- ▶ Diagram illustrates 5 ms DL to UL switching point periodicity
  - ❖ One special subframe per half-frame
- ▶ 10 ms switching point periodicity also supported
  - ❖ One special subframe per radio frame
- ▶ Supports 7 different UL/DL configurations
  - ❖ Different numbers of UL / DL subframes partitioning

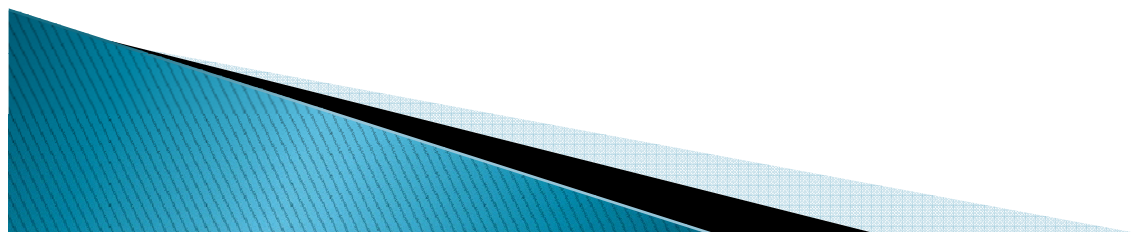


# LTE物理层

## TYPE2 UL/DL 配置

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

这个时间间隔表示两个相邻特殊子帧的时间间隔





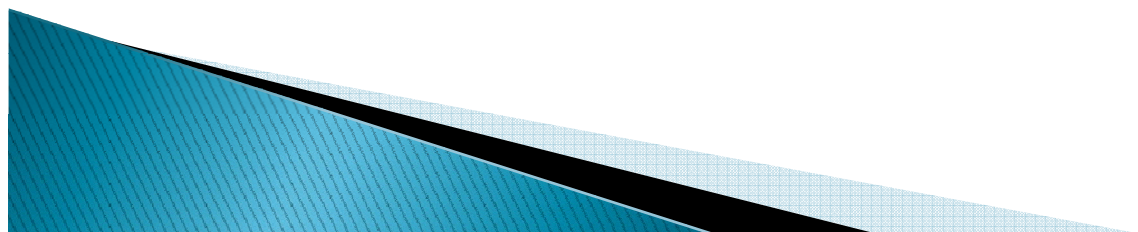
# LTE物理层

## TDD与FDD相比优点:

- ▶ 实现上下行非对称
- ▶ 由于上下行同频段，可使用一套硬件Filter
- ▶ 由于上下行同频段，可共享信道测量结果

## TDD与FDD相比缺点:

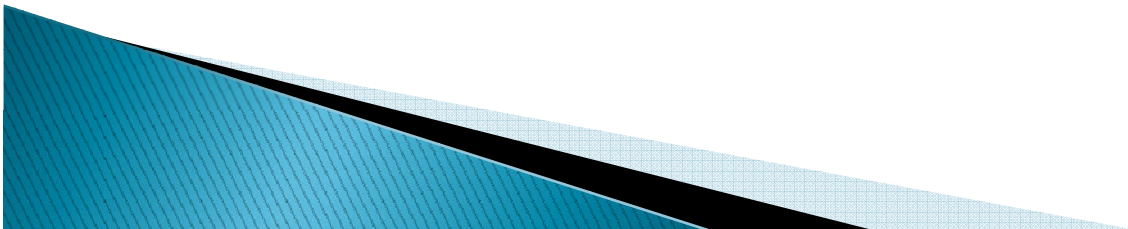
- ▶ 上下行共享一个频段，总体性能低于FDD



# LTE物理层下行传输

## LTE物理层下行传输

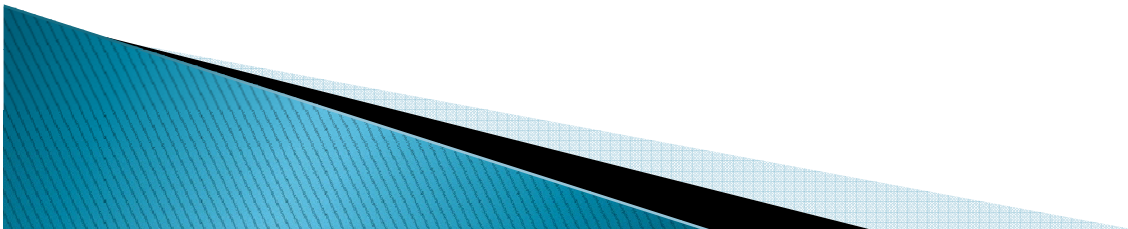
- ▶ DL Reference Signal
- ▶ PCFICH
- ▶ PHICH
- ▶ PDCCH
- ▶ PDSCH



# LTE物理层下行传输

## 下行参考信号

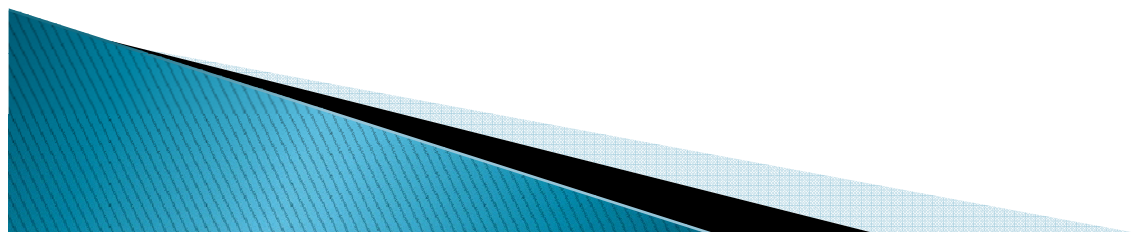
- ▶ Cell-specific reference signal (RS)
- ▶ UE-specific RS
- ▶ MBSFN reference signal



# LTE物理层下行传输

## Cell-specific reference signal (RS)

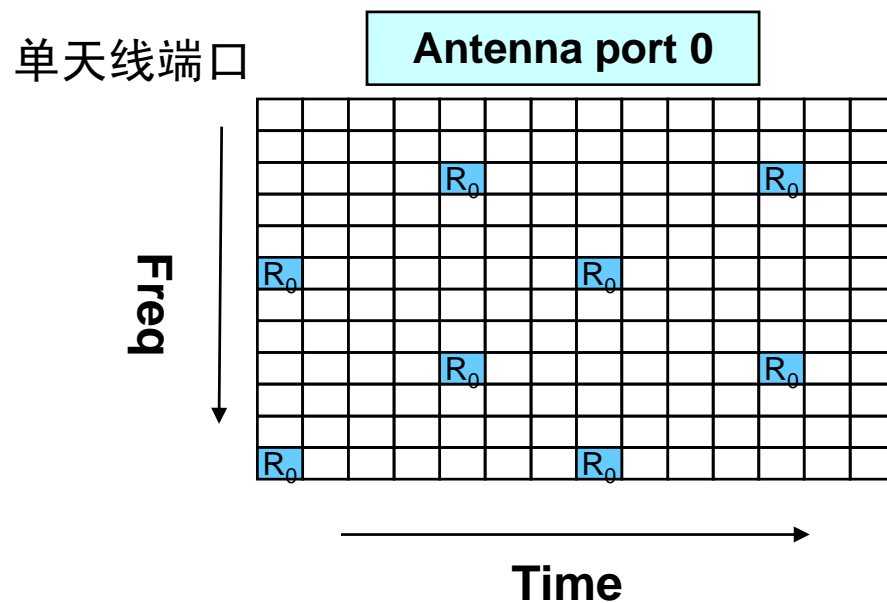
- ▶ Cell-Specific RS用于下行相干解调的信道估计
- ▶ 使用PN(gold码)序列作为RS序列
- ▶ 不同的参考信号用于不同的neighbor cell (cell ID有关)
- ▶ 对所有的UE来说，参考信号所用的序列是一致的



# LTE物理层下行传输

## Cell-specific reference signal (RS)

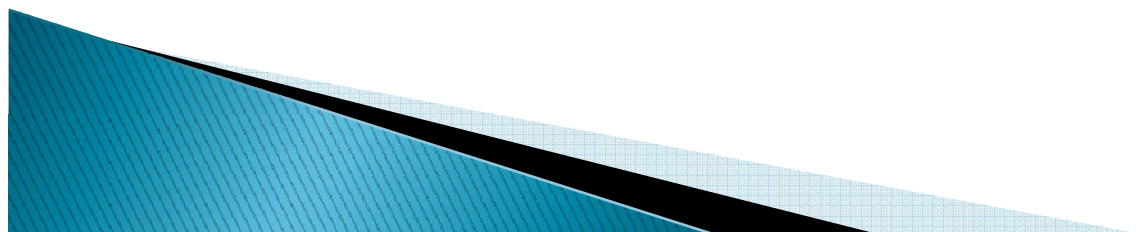
### ► Mapping示意图



# LTE物理层下行传输

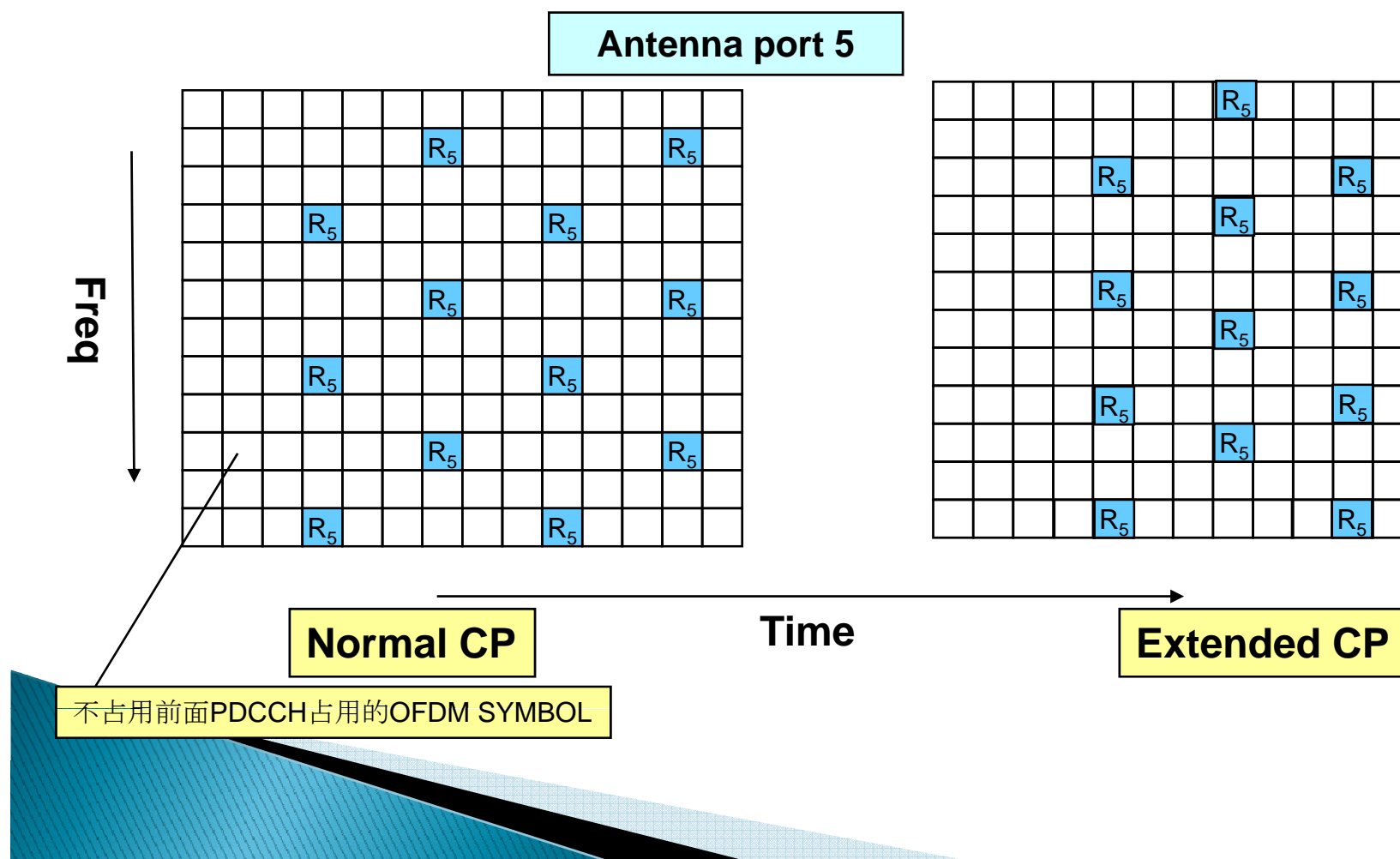
## UE-Specific Reference Signal

- ▶ 给Beamforming传输方式做信道估计
- ▶ 只有使用Beamforming传输的UE才使用该参考信号
- ▶ 使用天线端口5发送
- ▶ 与cell-specific RS不放在同一个OFDM符号
- ▶ cell-specific RS只放在数据RB



# LTE物理层下行传输

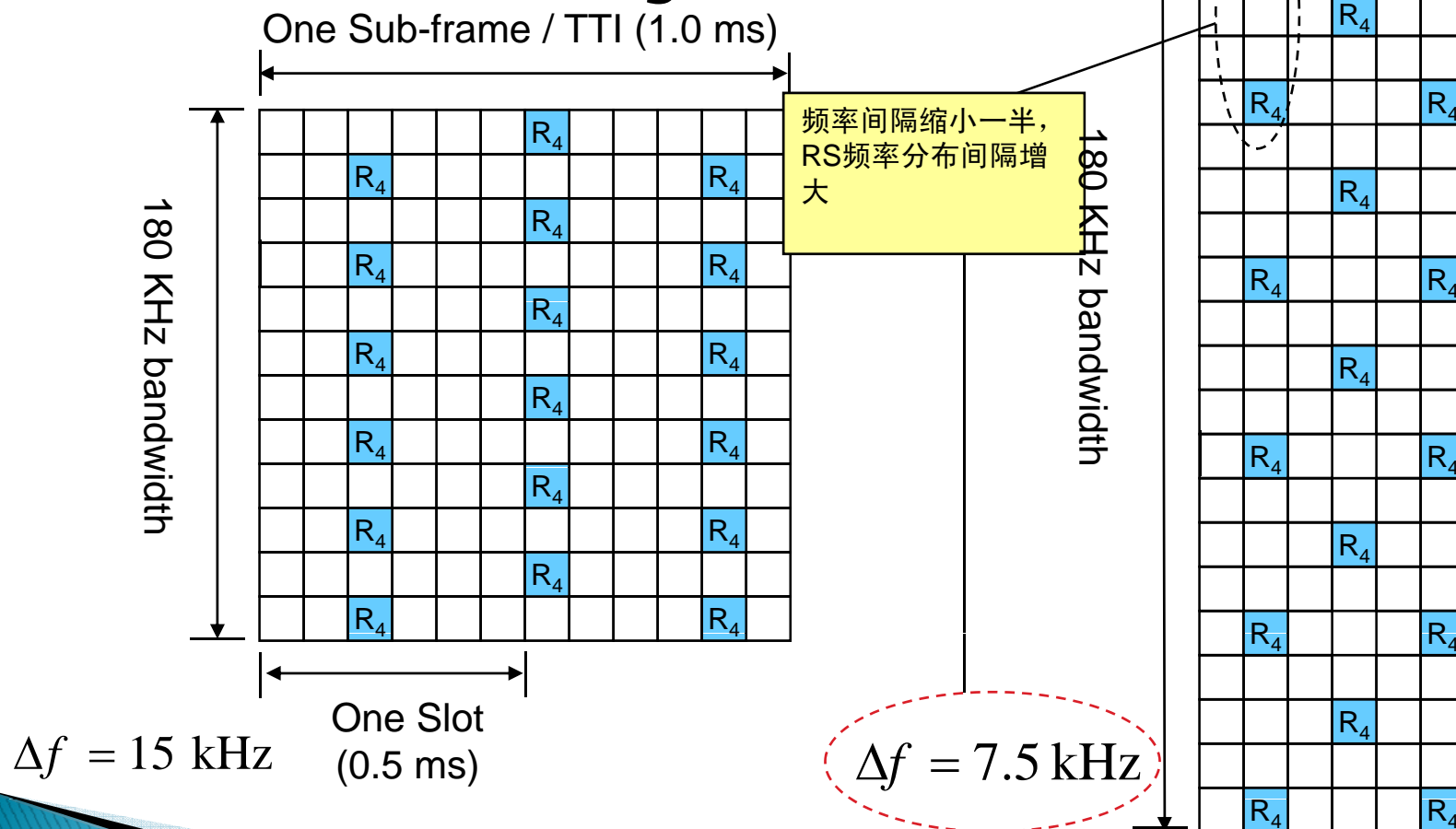
## UE-Specific Reference Signal



# LTE物理层下行传输

Antenna port 4

## MBSFN Reference Signal

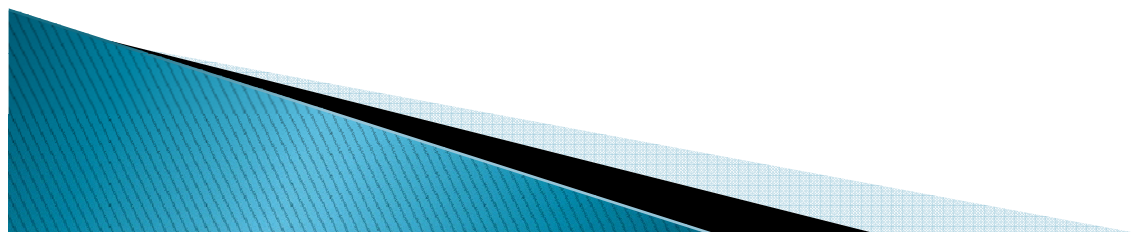




# LTE物理层下行传输

## Physical Control Format Indicator Channel (PCFICH)

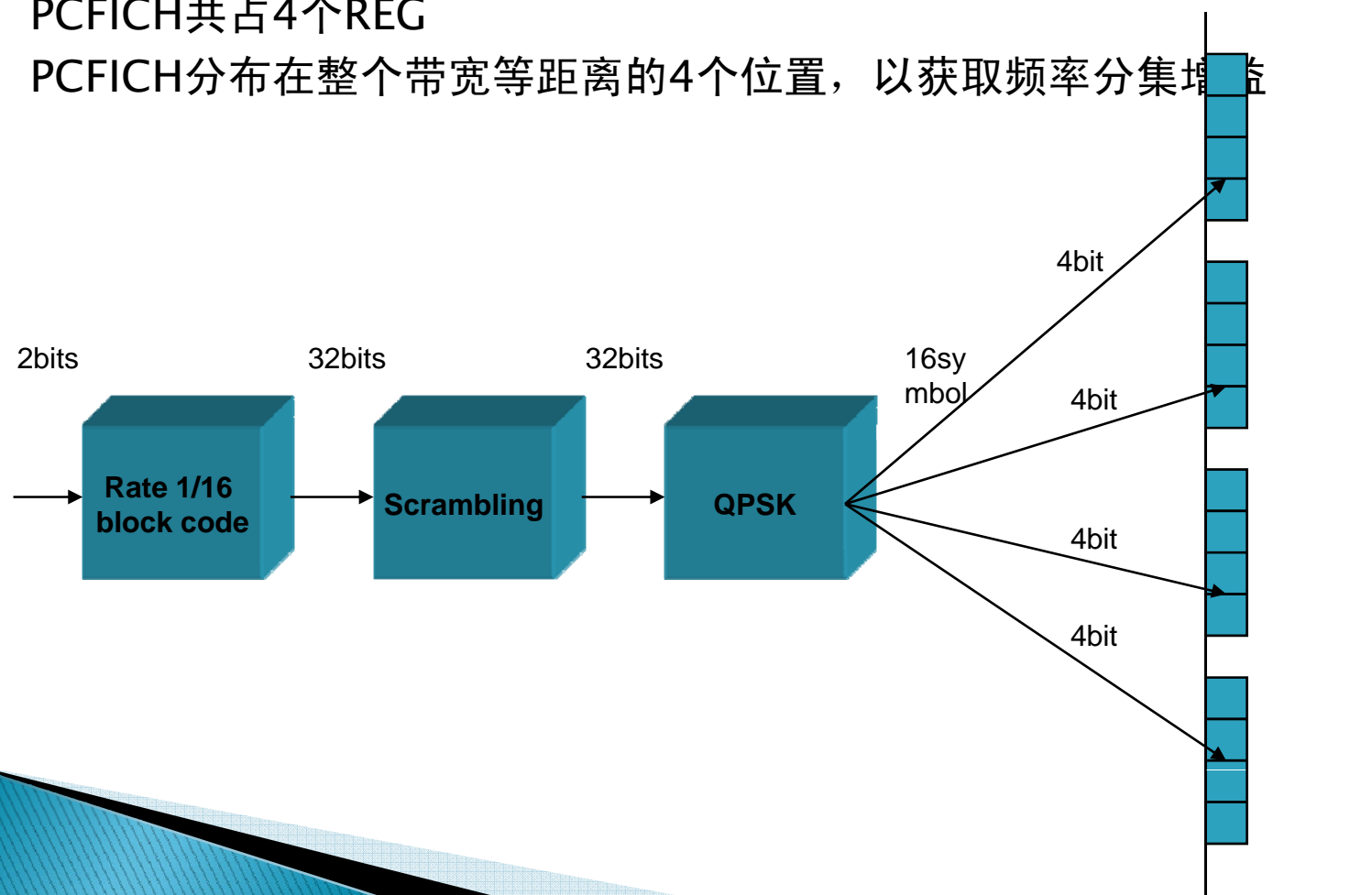
- ▶ PCFICH用于指示该subframe有多少个OFDM symbol用于PDCCH
- ▶ 指定可用于PDCCH的符号数为1,2,3
- ▶ PCFICH总是放在subframe的第一个symbol



# LTE物理层下行传输

## Physical Control Format Indicator Channel (PCFICH)

- ▶ PCFICH共占4个REG
- ▶ PCFICH分布在整个带宽等距离的4个位置，以获取频率分集增益



# LTE物理层下行传输

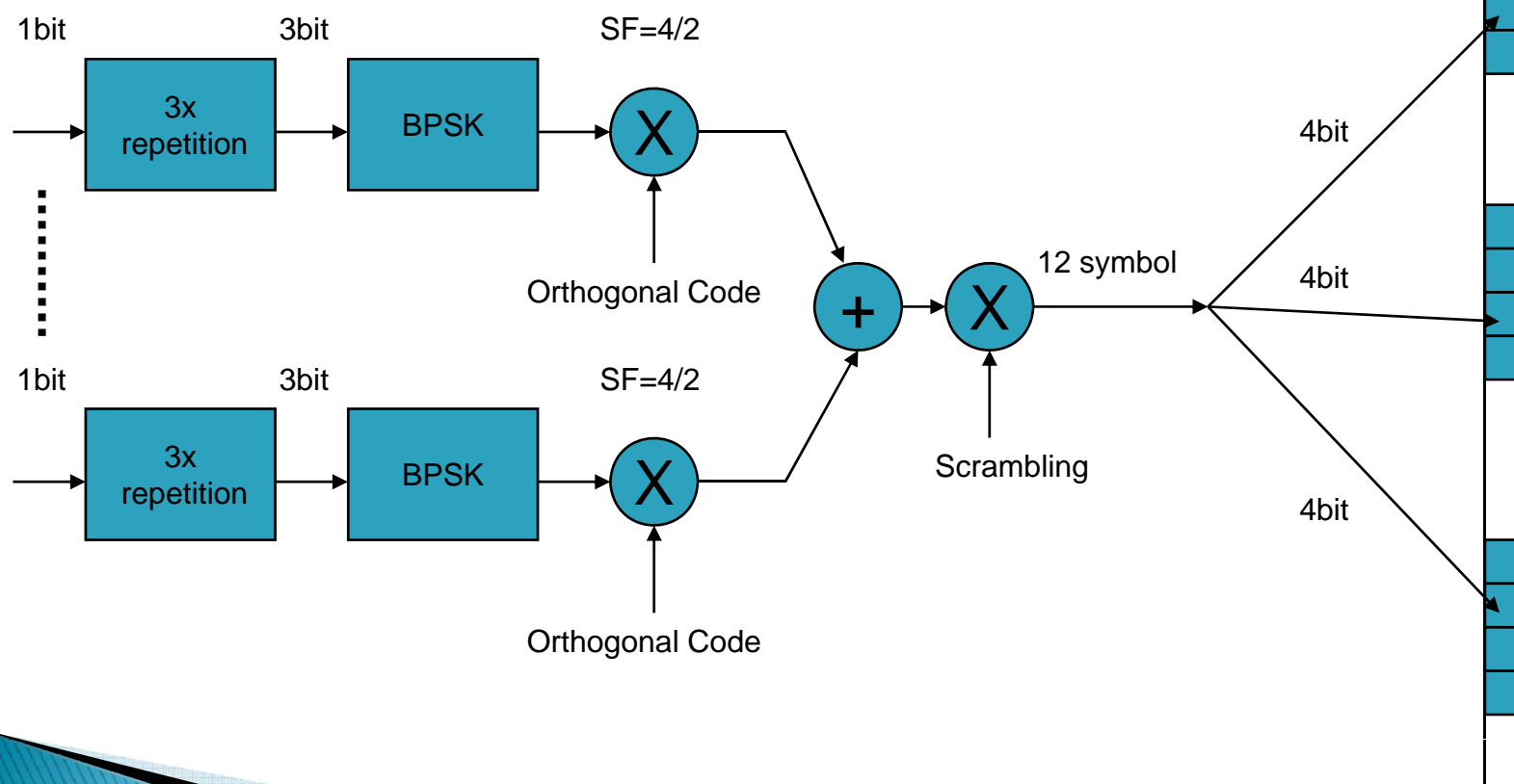
## Physical Hybrid-ARQ Indicator Channel (PHICH)

- ▶ PHICH用于传输上行HARQ消息的应答（ACK/NACK）
- ▶ 使用码分的方式，将多个HARQ ACK/NACK映射到同一组REG上，这样的一组PHICH称为PHICH Group，对于normal CP，一个PHICH Group包含8个PHICH，分别乘以一个SF=4的正交码
- ▶ 每个PHICH GROUP对应3个REG

Sequence index $n_{\text{PHICH}}^{\text{seq}}$	Orthogonal sequence	
	Normal cyclic prefix $N_{\text{SF}}^{\text{PHICH}} = 4$	Extended cyclic prefix $N_{\text{SF}}^{\text{PHICH}} = 2$
0	$[+1 \ +1 \ +1 \ +1]$	$[+1 \ +1]$
1	$[+1 \ -1 \ +1 \ -1]$	$[+1 \ -1]$
2	$[+1 \ +1 \ -1 \ -1]$	$[+j \ +j]$
3	$[+1 \ -1 \ -1 \ +1]$	$[+j \ -j]$
4	$[+j \ +j \ +j \ +j]$	-
5	$[+j \ -j \ +j \ -j]$	-
6	$[+j \ +j \ -j \ -j]$	-
7	$[+j \ -j \ -j \ +j]$	-

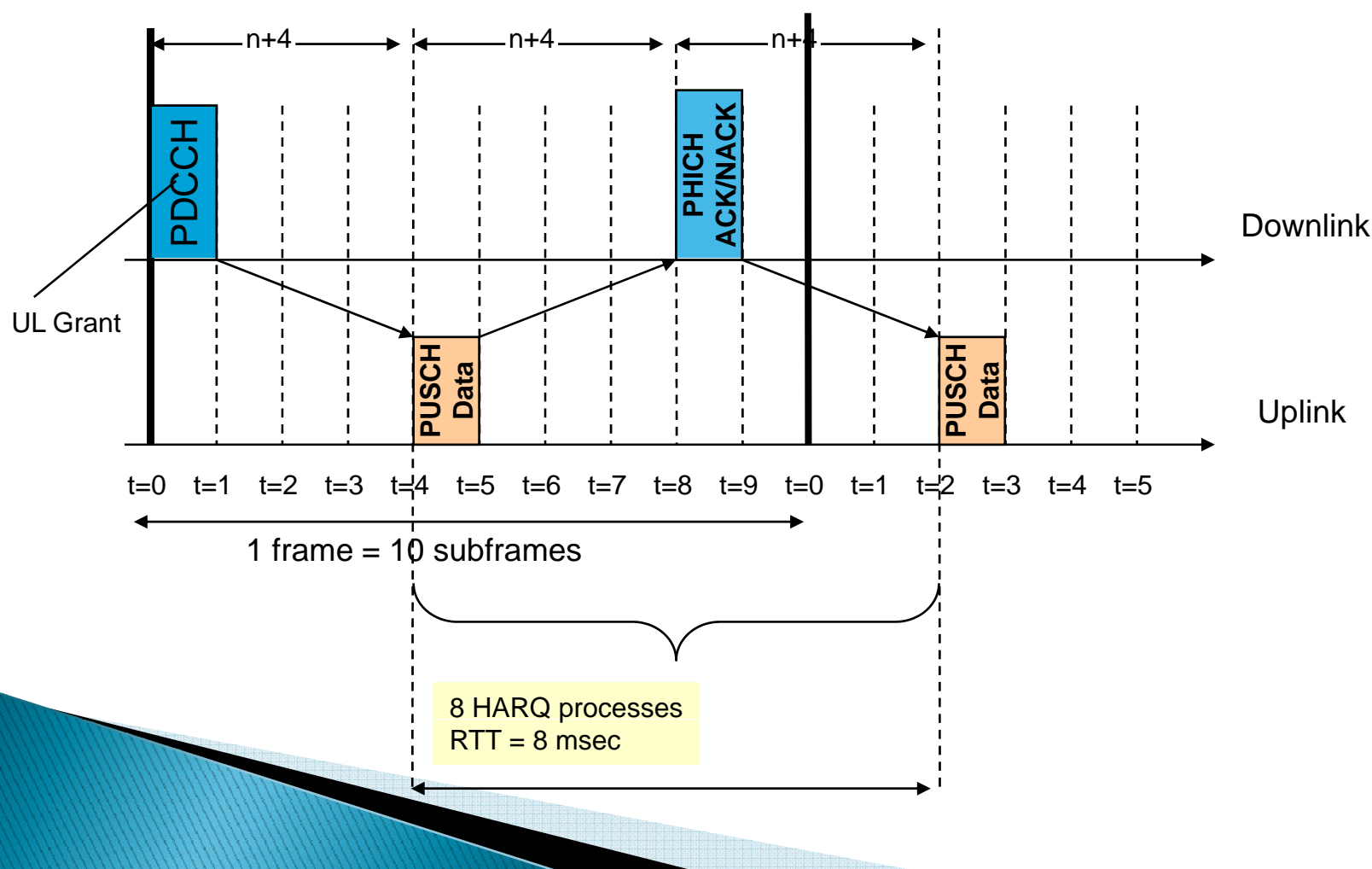
# LTE物理层下行传输

## Physical Hybrid-ARQ Indicator Channel (PHICH)



# LTE物理层下行传输

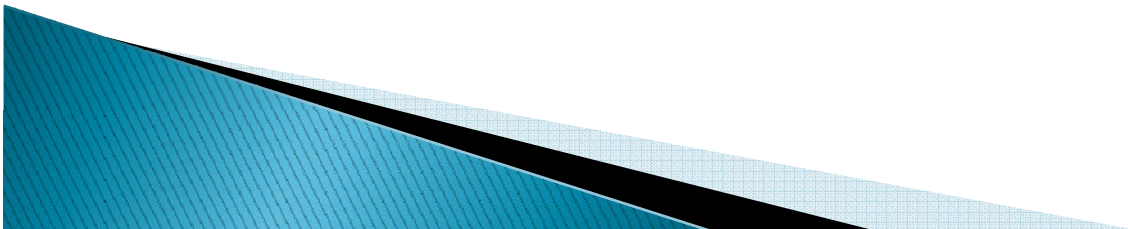
## PHICH与PUSCH传输



# LTE物理层下行控制信道

## PDCCH的主要功能

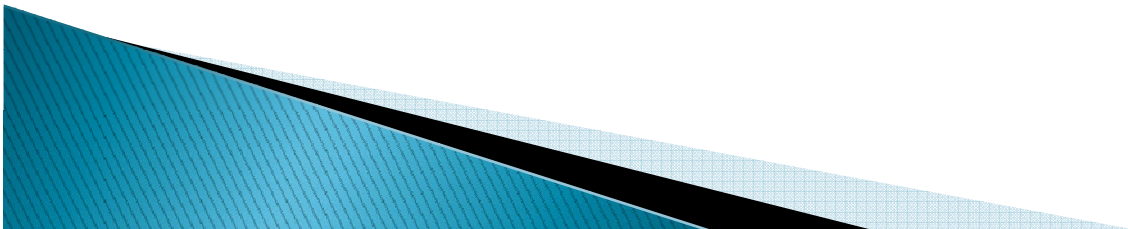
- ▶ 下行调度控制
- ▶ 上行调度控制
- ▶ 功率控制



# LTE物理层下行控制信道

## DCI

- ▶ PDCCH用于承载DCI信息
- ▶ DCI信息中携带多种物理层信息包括:
  - DL Grant:
    - RB分配, MCS, HARQ进程号, RV, NDI, RNTI
  - UL Grant:
    - Hopping Flag, RB分配, MCS, NDI, TPC, CS for DMRS, CQI req, RNTI
  - 上行功率控制



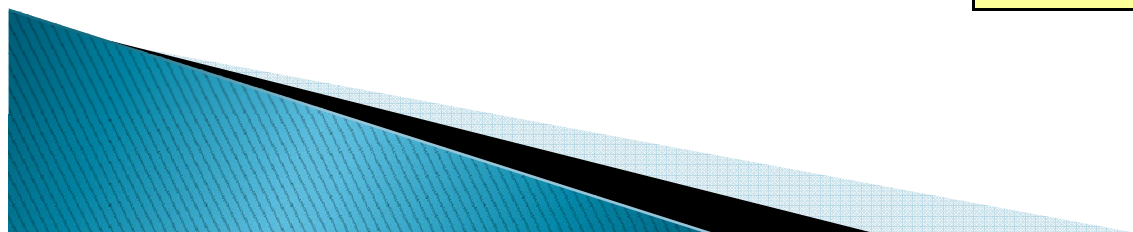
# LTE物理层下行控制信道

## DCI的类型

- ▶ 0 – PUSCH 调度
- ▶ 1/1a/1c – PDSCH 调度, SIMO方式
- ▶ 2 – PDSCH, MIMO方式
- ▶ 3/3a – 上行功控

1. Single-antenna port; port 0
2. Transmit diversity
3. Open-loop spatial multiplexing
4. Closed-loop spatial multiplexing
5. Multi-user MIMO
6. Closed-loop Rank=1 precoding
7. Single-antenna port; port 5

Transmission Mode	Reference DCI Format
1	1, 1A
2	1, 1A
3	2A
4	2
5	1D
6	1B
7	1, 1A

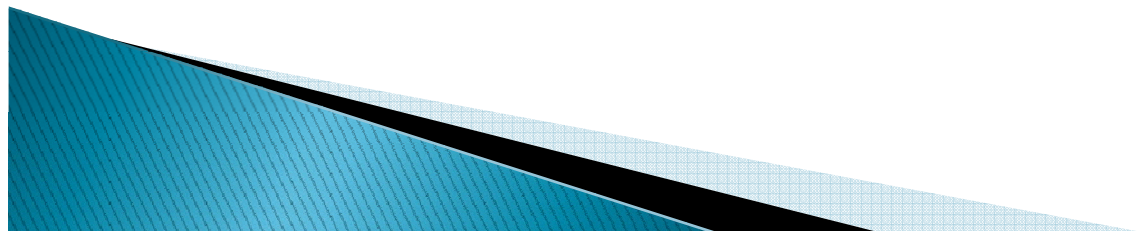




# LTE物理层下行控制信道

## RB分配方式

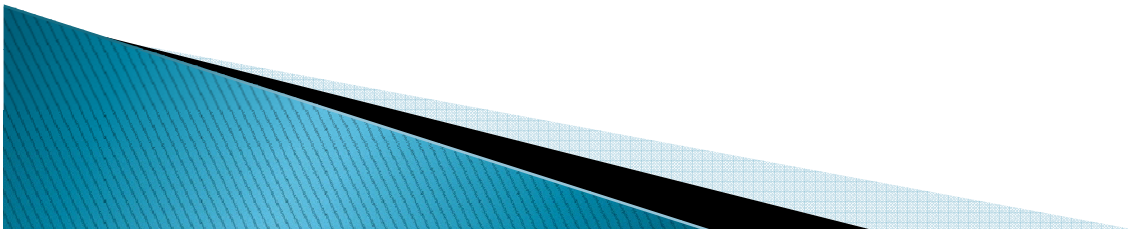
- ▶ 有三种分配方式：Type0, Type1, Type2
- ▶ RB的分配是指Virtual RB的分配，最终还要经过映射才分配到真正的物理RB上
- ▶ Type0，根据带宽的不同，将若干个（具体多少个由带宽大小决定）连续的RB用一位bitmap（相当于掩码的功效）表示，这样可以减少bitmap的长度，将整个bitmap告诉UE，UE就知道数据分布在哪些RB上
- ▶ Type1，将RB划分成若干个subset（100个RB可划分4个subset），然后，用bitmap来表示subset内分配的RB编号，这样做的目的是为了节省bitmap的长度，使得bitmap代表的RB分辨率提高。这种方式的分配RB是不连续的，因为subset中的RB是交错分布的。另外Type1也有左对齐和右对齐两种方式，具体处理可参考协议规范
- ▶ Type2，指出分配RB的start和length，分配一段连续RB。Type2方式的分布也是相当复杂的



# LTE物理层下行控制信道

## MCS指定

- ▶ 用5位标识MCS类型，总共可表达32种情况，共用了29个码，有3个码保留用作表示重传的调制方式（QPSK,16QAM,64QAM）
- ▶ 一个MCS代表一种调制与编码方式的组合，由MCS确定每个RB的编码率，这样通过MCS与RB数，就可以计算能承载多大的TB size
- ▶ MCS的选择由调度器根据信道质量（对应到具体的RB上）决定



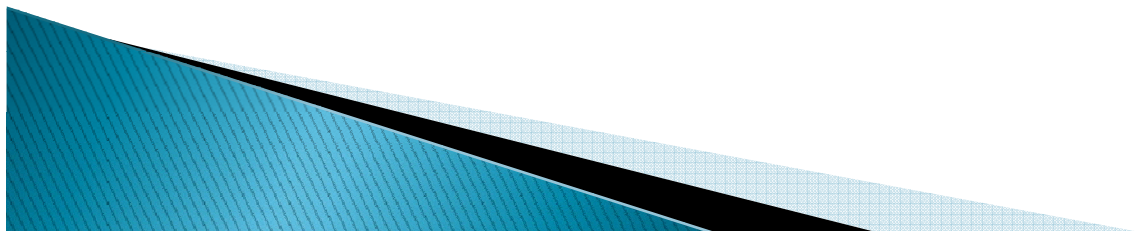
# LTE物理层下行控制信道

## CCE (Control Channel Element)

- ▶ 所谓CCE，是PDCCH时频资源的一种组织方式，CCE在PDCCH时频资源上的物理分布是离散的，CCE编号将这些物理上离散的资源（REGs）标识起来
- ▶ CCE用于承载DCI
- ▶  $1 \text{ CCE} = 9 \text{ REGs} = 36 \text{ REs}$
- ▶ LTE定义一个DCI使用1、2、4、8个CCE来传输，称作Aggregation Level，这样定义是为了便于UE做盲检

PDCCH format	Number of CCEs	Number of Resource-Element Groups	Number of PDCCH bits
0	1	9	72
1	2	18	144
2	4	36	288
3	8	72	576

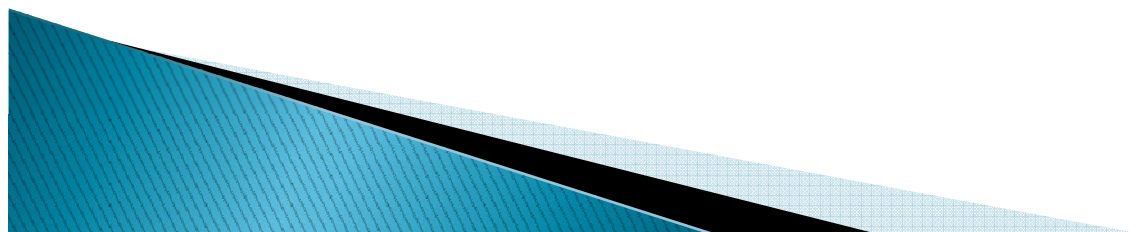
QPSK调制



# LTE物理层下行控制信道

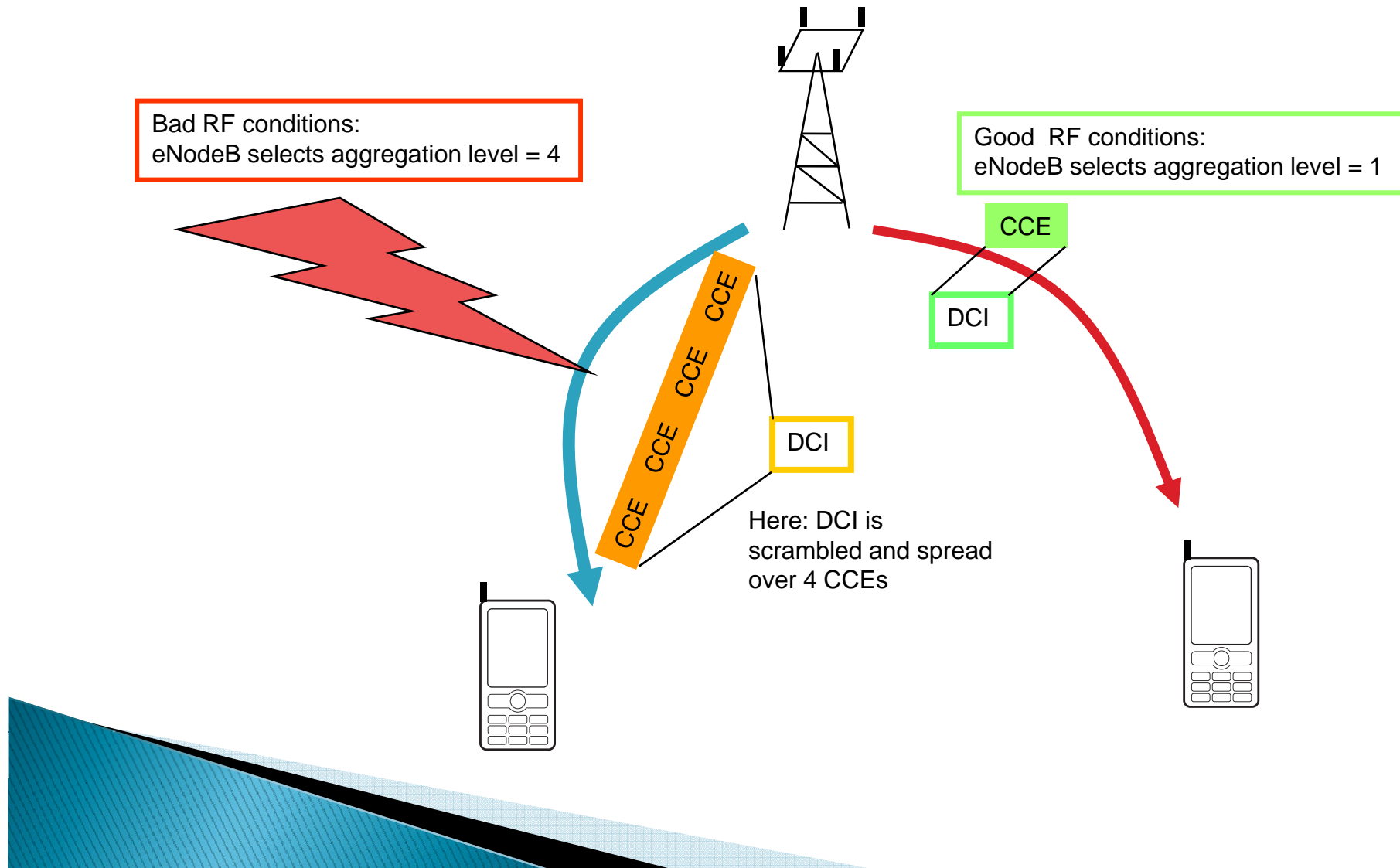
## CCE映射

- ▶ CCE以REG为单位进行映射
- ▶ 用Frequency first的方式进行映射，避开所有RS，PCFICH，PHICH



# LTE物理层下行控制信道

The aggregation level of CCE is selected by the eNodeB according to the RF conditions

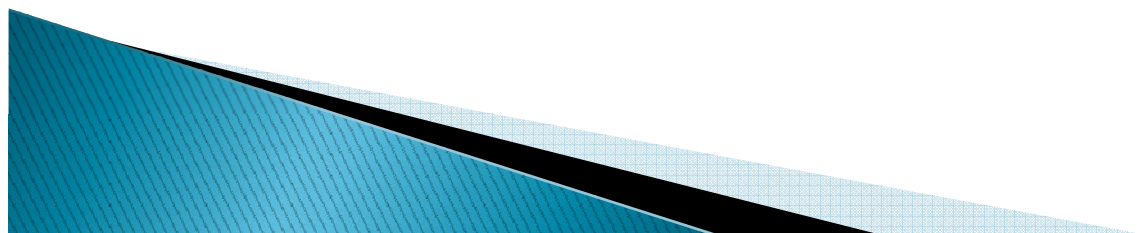


# LTE物理层下行控制信道

## UE搜索空间（Search Space）

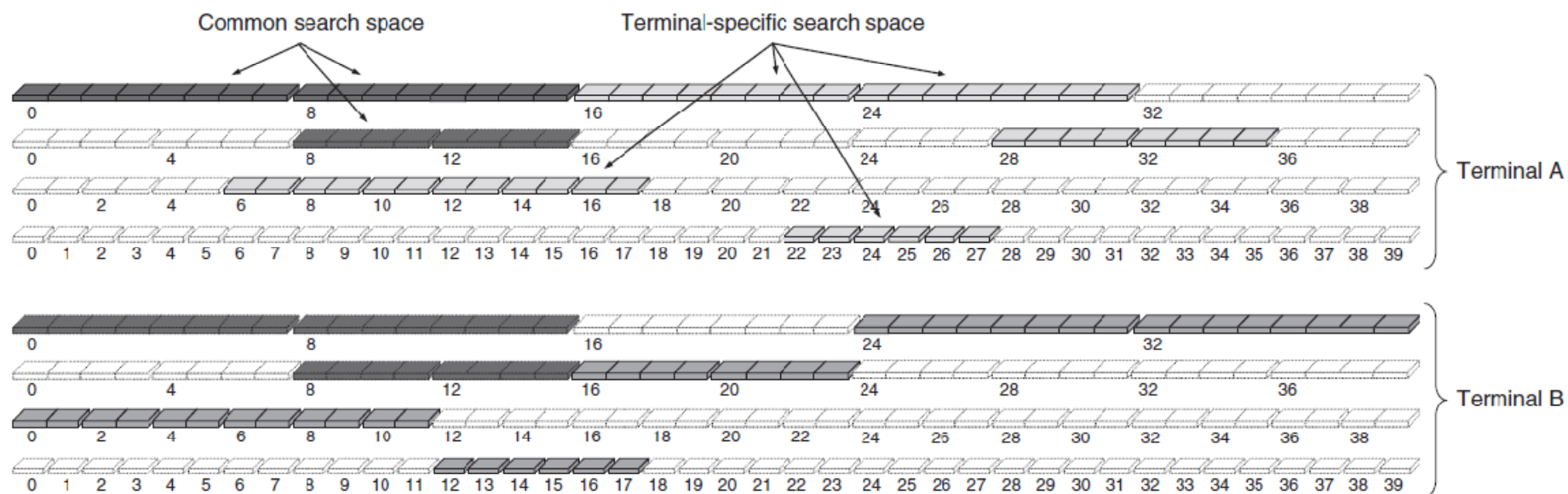
- ▶ UE搜索下行控制信道的信息要进行盲检（Blind Decoding）
- ▶ UE只能在有限的位置去搜索CCE（否则开销太大），找出是否存在发给自己的控制信道信息，这个搜索的位置的集合称为搜索空间
- ▶ 有两种Search Space: Common Search Space, Terminal-specific Search Space

Common Search Space是所有UE都会去解调的（如paging, SI, 群组功控消息），但Terminal-specific Search Space只有特定UE才去解调，UE与UE之间的Terminal-specific Search Space是允许重叠的，但每个位置只会被一个UE的控制信道占据。Terminal-specific Search Space由C-RNTI计算得出



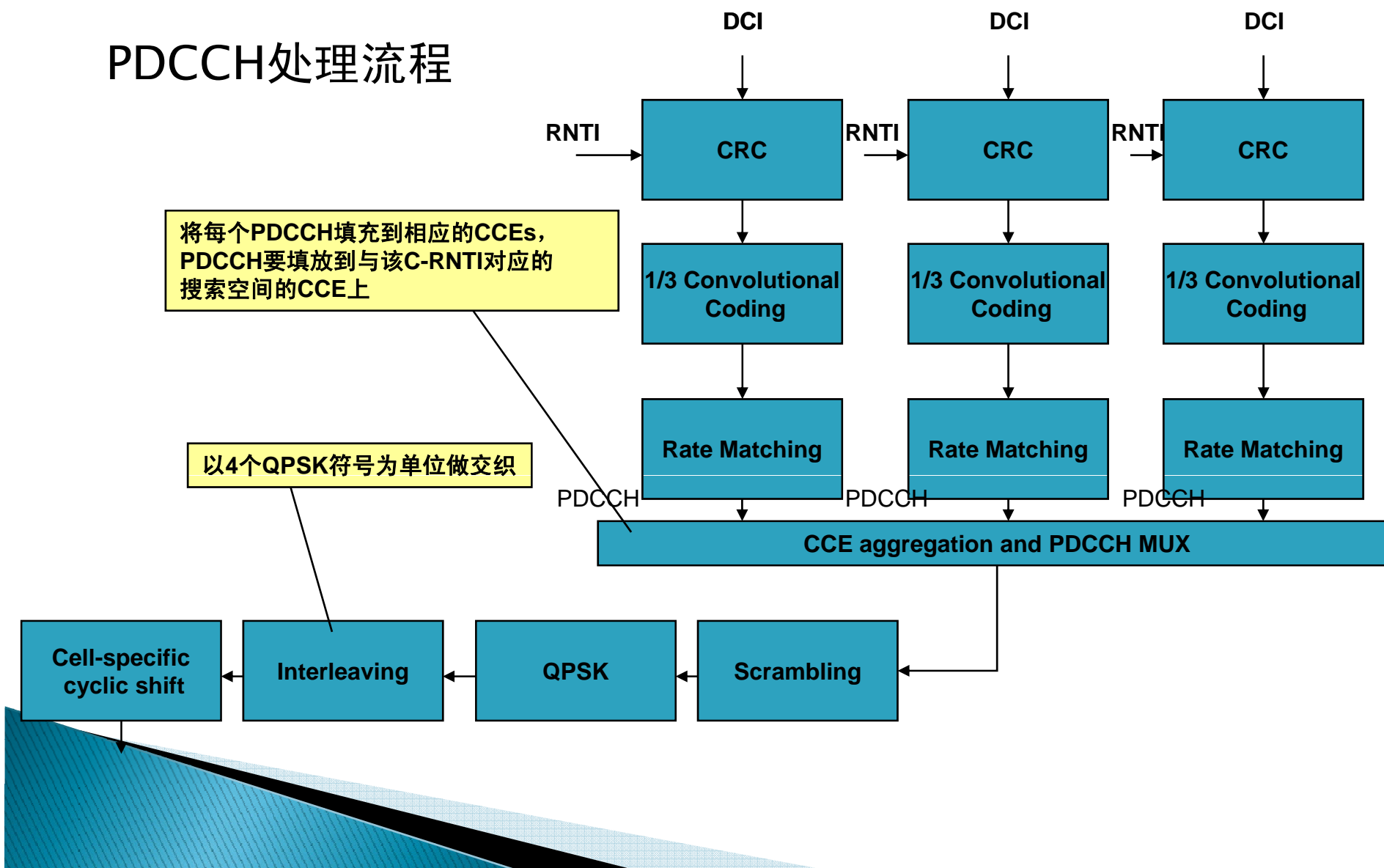
# LTE物理层下行控制信道

## UE搜索空间（Search Space）



# LTE物理层下行控制信道

## PDCCH处理流程

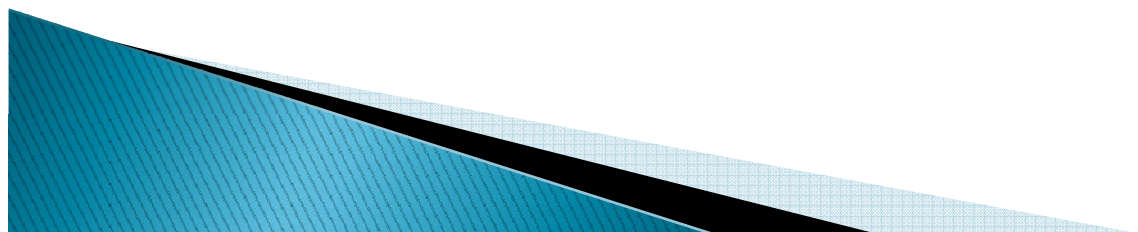




# LTE物理层下行共享信道

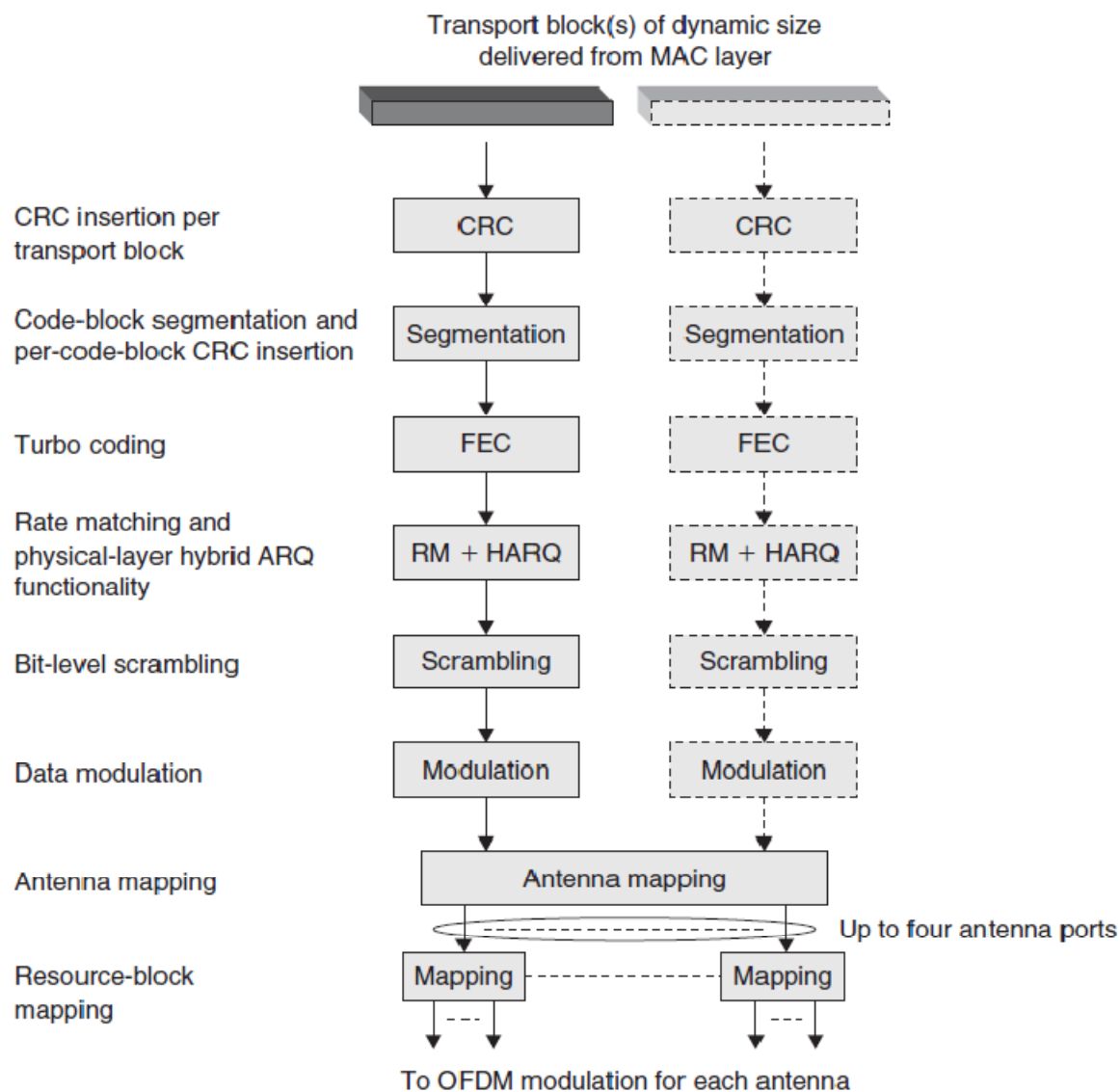
## 下行共享信道的功能

- ▶ 传送下行数据
  - 对于单天线系统，每个TTI传送一个TB size的数据
  - 对于多天线系统，每个TTI传送最多2个TB size的数据



# LTE物理层下行公共信道发送

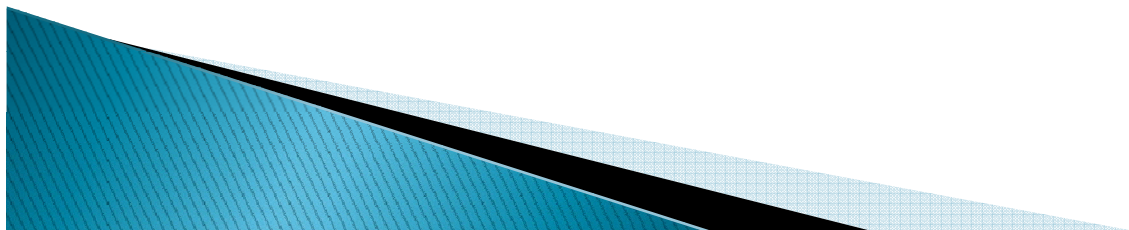
## PDSCH处理



# LTE物理层上行传输

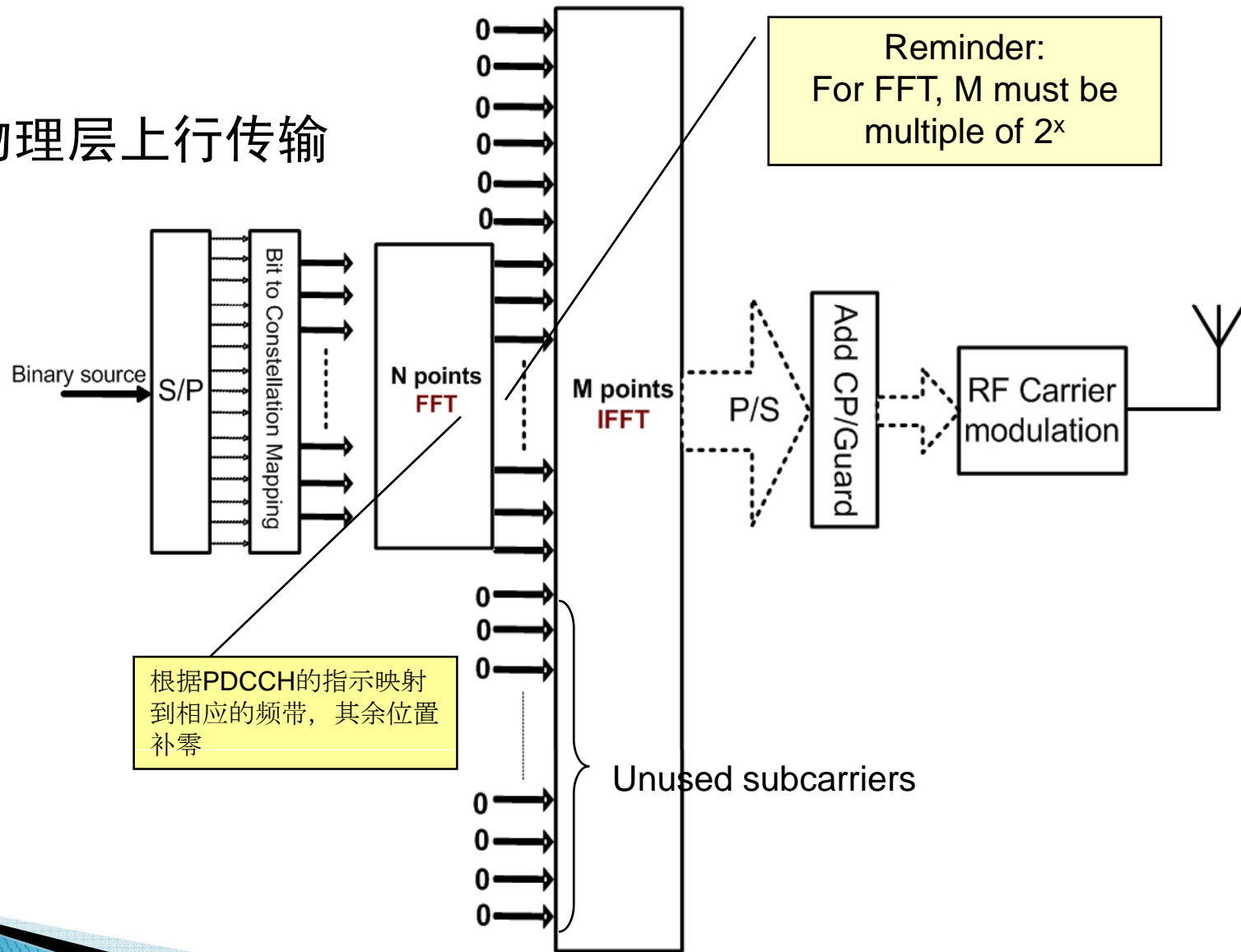
## LTE物理层上行传输特点

- ▶ 上行传输使用DFTS-OFDM方式
- ▶ 一个TTI内每个用户占用一段频率连续的带宽，多个用户在频率上是频分的
- ▶ PUCCH分布在频域上下边缘的RB，这种设计是由于DFTS-OFDM为了保持单载波特性必须保持频域是连续的
- ▶ 对于一个用户，在一个TTI内不能同时传输PUSCH和PUCCH
- ▶ 上行传输的UE带宽，RB数目必须是2,3,5的整数倍



# LTE物理层上行传输

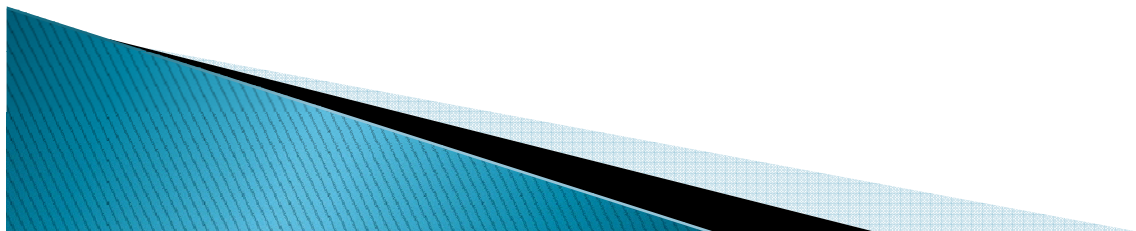
## LTE物理层上行传输



# LTE物理层上行传输

## LTE物理层上行传输

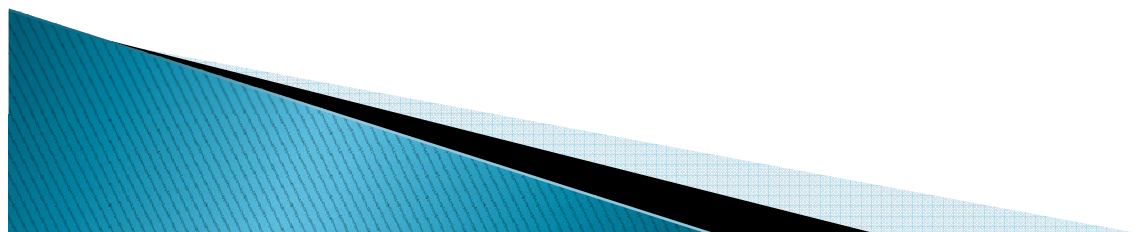
- ▶ UL Reference Signal
- ▶ PUCCH
- ▶ PUSCH



# LTE物理层上行传输

## 上行参考信号

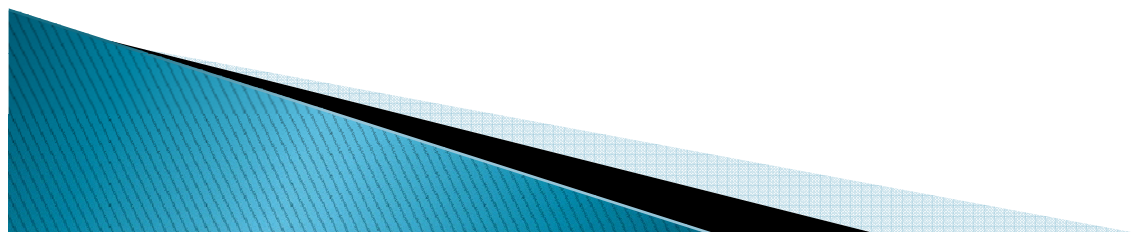
- ▶ Demodulation Reference Signal (DMRS)
- ▶ Sounding Reference Signal (SRS)



# LTE物理层上行传输

## DMRS

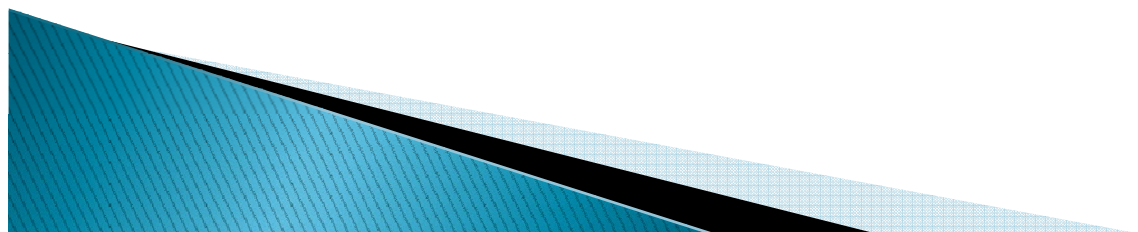
- ▶ DMRS用于eNB对上行传输作信道估计
- ▶ DMRS放在OFDM的第四个符号位
- ▶ 对于某一UE来说，DMRS占满UE带宽的整个第四OFDM符号位
- ▶ 每个UE有各自的DMRS符号



# LTE物理层上行传输

## SRS

- ▶ SRS用于探测上行信道质量
- ▶ SRS可覆盖一个较大的频带宽度范围
- ▶ UE可以配置成周期性发送SRS信号，周期2ms–160ms
- ▶ SRS放在subframe的最后一个OFDM symbol
- ▶ SRS占据的带宽是4个RB带宽的倍数
- ▶ eNB会通告全网，在哪个subframe有UE要发SRS，这样所有的UE就不会用最后一个symbol传PUSCH



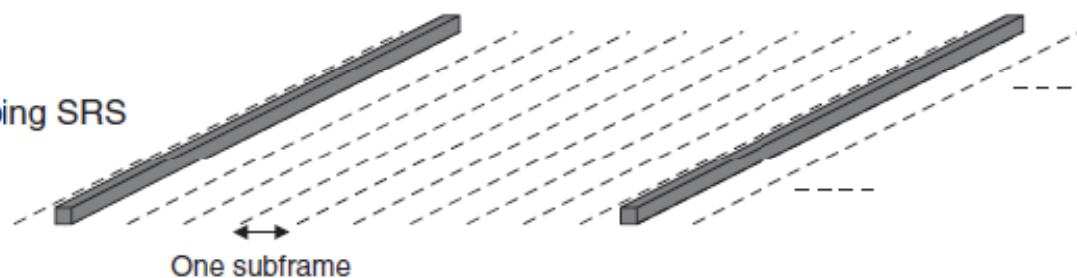


# LTE物理层上行传输

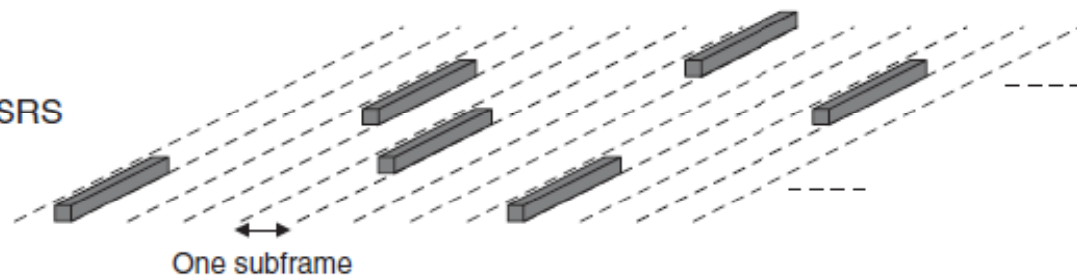
## SRS

- ▶ UE使用SRS探测信道质量，可以探测一个大的频带，也可以选择关心的频带探测

Non-frequency hopping SRS



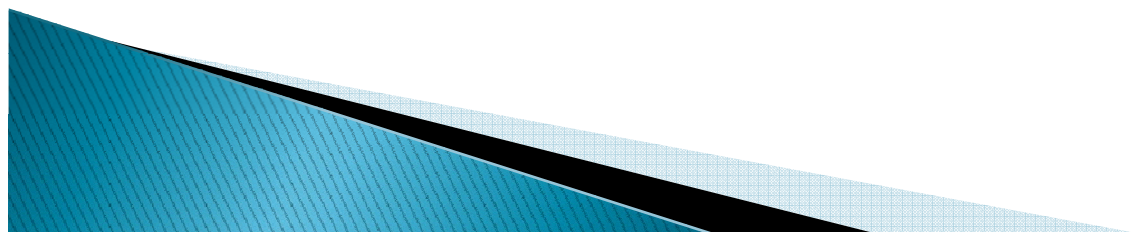
Frequency-hopping SRS



# LTE物理层上行控制信道

## PUCCH (Physical Uplink Control Channel)主要功能

- ▶ 对PDSCH的HARQ应答
- ▶ 反馈下行信道估计的结果(CQI)
- ▶ 发送上行调度请求(schedule request, SR)
- ▶ 下行闭环空间复用的反馈 (PMI,RI)



# LTE物理层上行控制信道

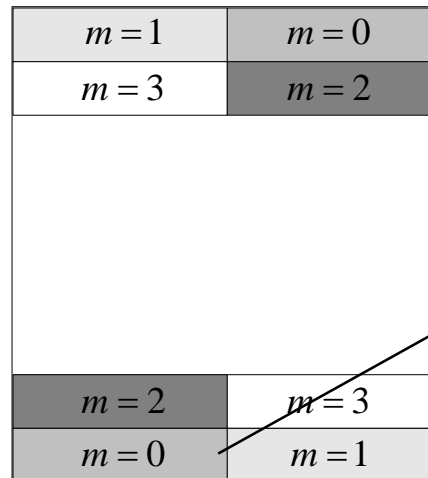
## PUCCH 分布

- ▶ PUCCH分布在一个subframe的上下两端的RB，与PDCCH形成鲜明对比
- ▶ PUCCH的这种分布是由于上行DFTS-OFDM要求UE占据的RB在频域上是连续的，这种分布方式不会破坏UE数据通道分配RB的连续性
- ▶ 对于一个UE来说，不能在一个subframe内同时传输PUCCH和PUSCH，如果在某个subframe既要传输上行控制信息，又要传输上行数据，则将上行控制信息放到PUSCH中传输

$$n_{\text{PRB}} = N_{\text{RB}}^{\text{UL}} - 1$$

⋮

$$n_{\text{PRB}} = 0$$



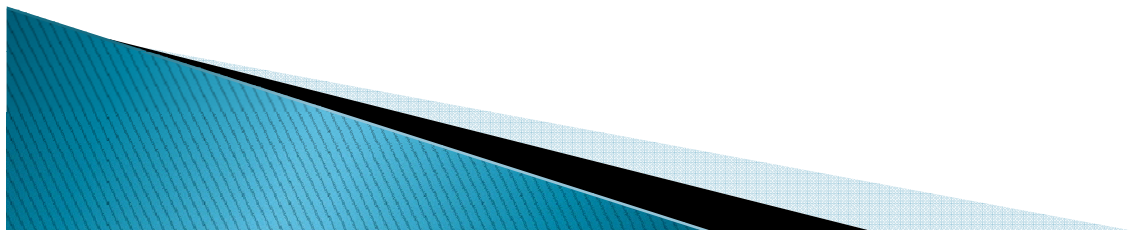
获得最大频域diversity

← One subframe →

# LTE物理层上行控制信道

## PUCCH 格式

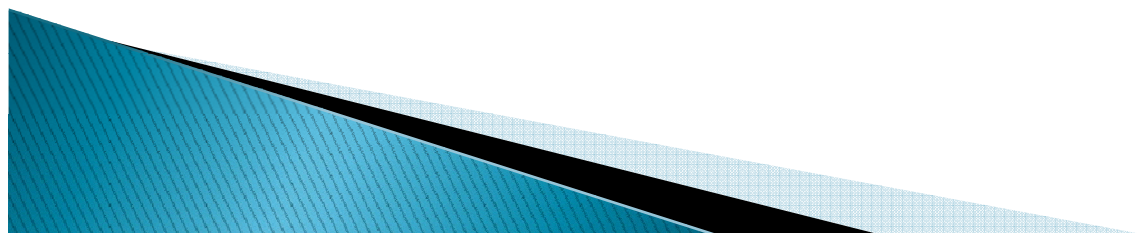
PUCCH format	Bits per subframe	Modulation	Contents
1	On/Off	N/A	Scheduling Request (SR)
1a	1	BPSK	ACK/NACK, ACK/NACK+SR
1b	2	QPSK	ACK/NACK, ACK/NACK+SR
2	20	QPSK	CQI/PMI or RI (any CP), (CQI/PMI or RI)+ACK/NACK (long CP only)
2a	21	QPSK+BPSK	(CQI/PMI or RI)+ACK/NACK (normal CP only)
2b	22	QPSK+BPSK	(CQI/PMI or RI)+ACK/NACK (normal CP only)



# LTE物理层上行控制信道

## CQI/PMI/RI的功能

- ▶ CQI反馈下行信道估计的报告给eNB
- ▶ eNB通过上层信令配置UE是周期性报告CQI,还是非周期性报告CQI
- ▶ 对于周期性报告方式, eNB通过上层信令配置UE周期性的发送CQI报告, 发送周期可以是[2...160]个子帧
- ▶ 对于非周期性报告方式, eNB通过发送PDCCH携带format0的DCI, 指示CQI Request, UE在4个TTI之后发送CQI报告



# LTE物理层上行共享信道

## 物理层上行共享信道 PUSCH

- ▶ PUSCH的处理过程与PDSCH大体相似，中间多了一个DFTS-OFDM的过程
- ▶ PUSCH也引入了空间复用（闭环天线）

CRC insertion per transport block

Code-block segmentation and per-code-block CRC insertion

Turbo coding

Rate matching and physical-layer hybrid-ARQ functionality

Bit-level scrambling

Data modulation

Transport block of dynamic size delivered from MAC layer

