

LTE-TDD系统简介

LTE 基本要求

峰值速率:

下行峰值速率: **100 Mb/s** (20 MHz带宽), 对应 **5 bps/Hz**频谱效率。

上行峰值速率: **50Mb/s** (20 MHz带宽), 对应 **2.5 bps/Hz**频谱效率。

可容纳用户能力:

带宽**5MHz**时, 每小区至少同时支持**200** 个**active**的用户。

移动性:

对于低速 **0 至15 km/h**环境, 系统提供最优性能。

对于中速**15 至120 km/h**环境, 系统提供较好的性能。

对于高速**120 km/h to 350 km/h**环境, 系统保证通话能力。

也考虑高达**500 km/h**环境中的传输。

覆盖范围:

一般情况, 小区半径**5 km**,满足所以的性能要求。

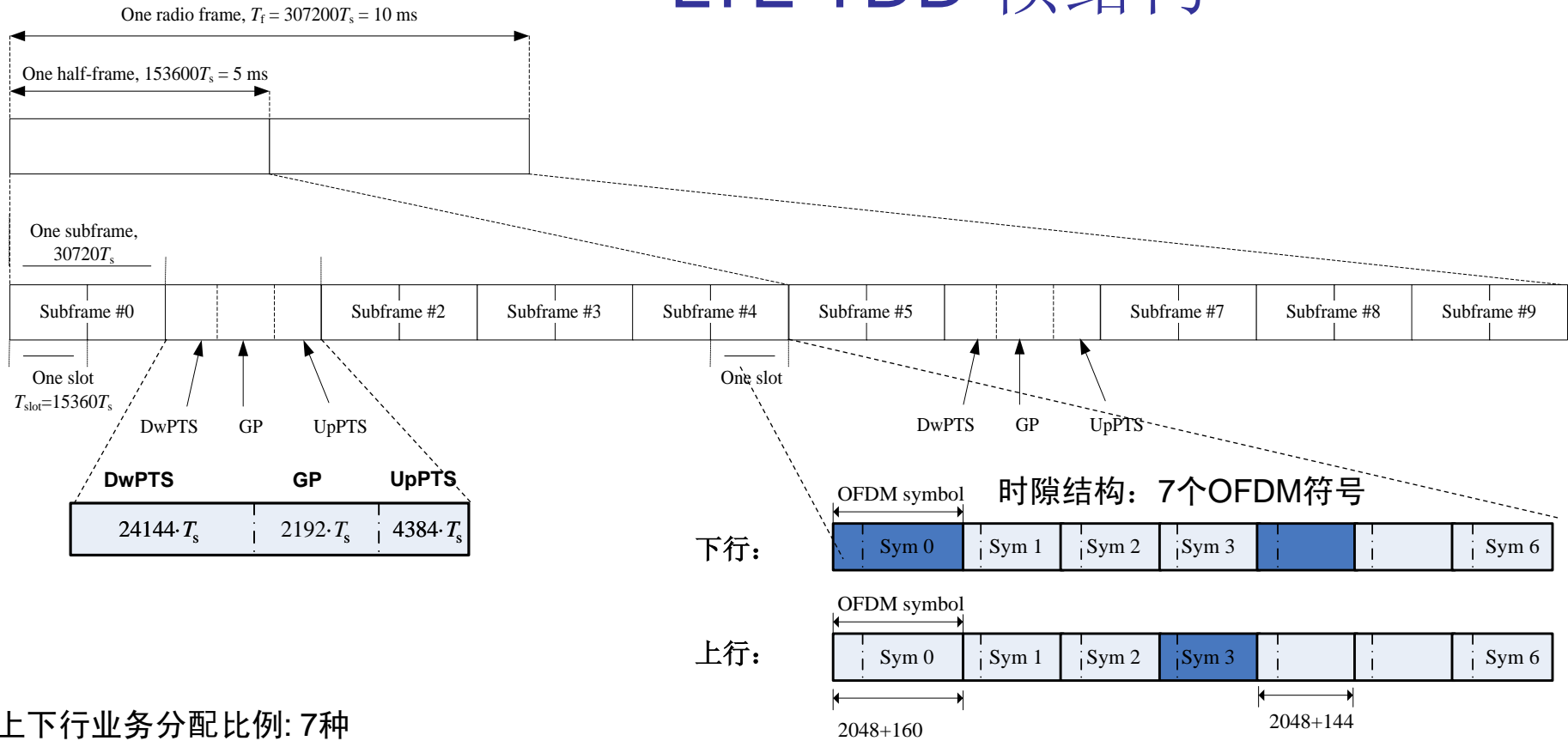
小区半径**30 km**时, 允许少许性能损失, 但仍能提供常规服务。

也考虑小区半径高达**100 km**的情况。

支持灵活带宽配置:

支持六种带宽配置: **1.4MHz, 3MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz及20MHz**。

LTE TDD 帧结构



Up-downlink configuration	Down-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

相关协议: 36.211

LTE TDD

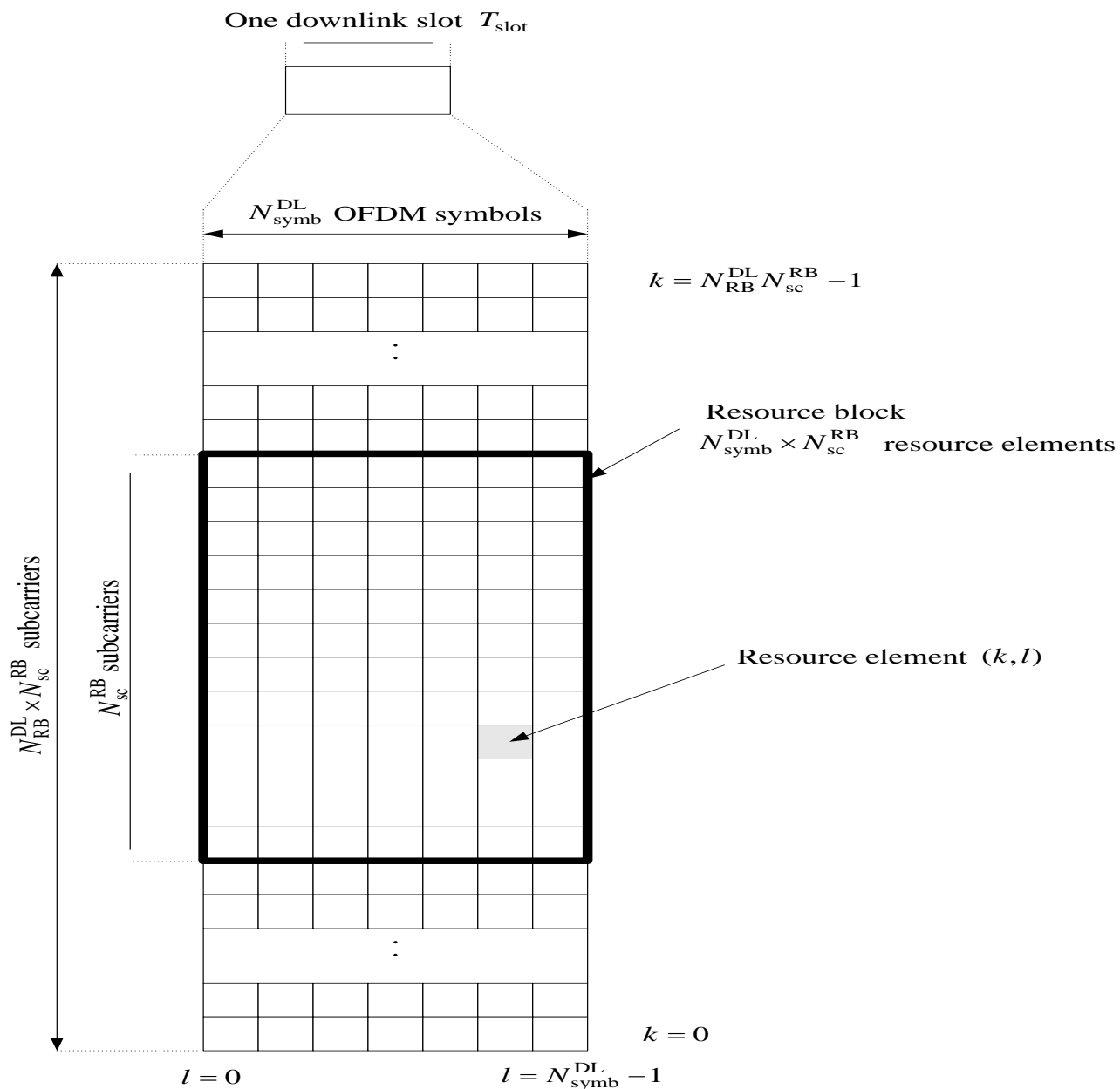
基本物理单元

Resource Block:

频率上连续的12个子载波，
时域上对应1个时隙。这是
LTE里调度的最小单元。

Resource element:

RB内的各个时频单元，
以 (k,l) 来表征， k 为子
载波， l 为OFDM符号。



LTE TDD 基本参数

Parameter	Value in 10MHz BW	Comment
Transmission bandwidth	1.4/3/5/10/15/20MHz	
Carrier Frequency	1.85GHz~2.62GHz	3GPP Band class 40 (TDD 有 8 种)
Subcarrier spacing	15kHz	
Sampling frequency	1.92/3.84/7.68/15.36//23.04/30.72MHz	
FFT size	128/256/512/1024/1536/2048	
CP size	80 (1st symbol) 72 (2~7th symbol) (以10MHz为例)	也有extended CP情况, 每个slot有6个OFDM符号, CP为256
Number of active subcarriers	72/180/300/600/900/1200	
RBs per subframe	6/15/25/50/75/100	One RB = 12 subcarriers
Frame length	10ms	frame structure type 2 for TDD
Subframe length	1ms	
Slot length	0.5ms	

相关协议: 36.211,36.212,36.104

Channel conditions	Maximum Doppler frequency	MIMO correlation
Extended Pedestrian (EPA)	5Hz	(0, 0), (0.3, 0.9), (0.9,0.9)
Extended Vehicular A (EVA)	70Hz	(0, 0), (0.3, 0.9), (0.9,0.9)
Extended Vehicular A (EVA)	300Hz	(0, 0), (0.3, 0.9), (0.9,0.9)
Extended Typical Urban (ETU)	70Hz	(0, 0), (0.3, 0.9), (0.9,0.9)

Channel coding	Turbo/ Bite tailing CC/BC
Rate matching	1/2, 2/3, 3/4
Modulation	QPSK/16QAM/64QAM
MIMO scheme	Transmit diversity/ Precoding for large delay CDD/without CDD/ beamforming
Multiple users	OFDMA/MU-MIMO
Transmit/receive antenna	1×2, 1×4 (uplink) 1×2, 1×4, 2×2, 2×4, 4×2, 4×4, (downlink)



LTE TDD 下行物理信道及导频信号

Physical Channels	Modulation Scheme	Comment
PDSCH	QPSK, 16QAM, 64QAM	承载数据
PDCCH	QPSK	控制信息
PBCH	QPSK	系统信息（包括天线配置等）
PHICH	BPSK	ACK/NACK
PCFICH	QPSK	确定PDCCH占用的OFDM符号个数
Physical Signals	Sequence	Comment
Reference Signal	PN码	信道估计
Synchronisation Signals	Zadoff-Chu (primary) Pseudo sequence (secondary)	获取帧同步、符号同步及小区ID



LTE TDD 上行物理信道及导频信号

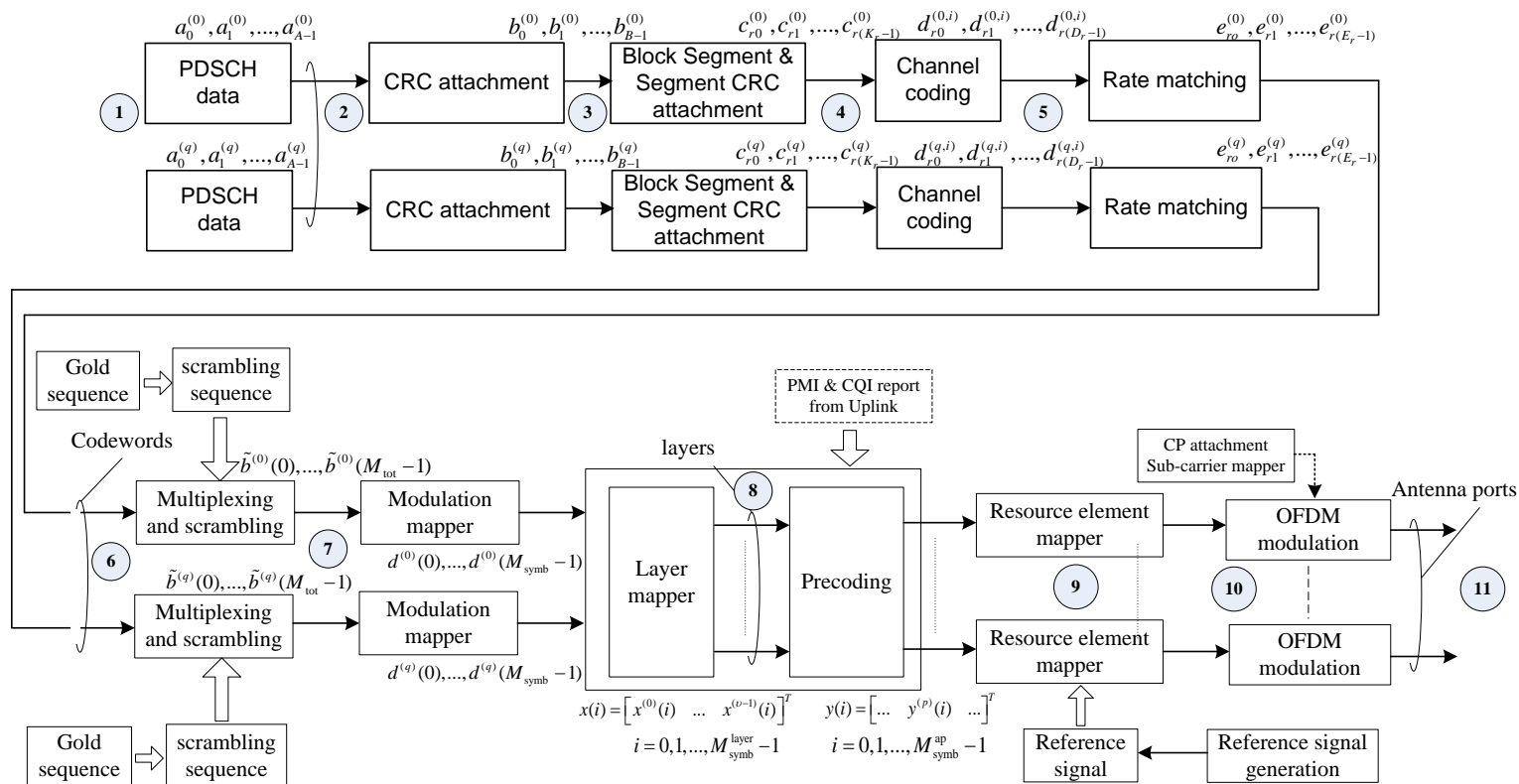
Physical Channels	Modulation Scheme	Comment
Physical Uplink Shared Channel PUSCH	QPSK, 16QAM, 64QAM	数据传输, 控制信令
Physical Uplink Control Channel PUCCH	BPSK/QPSK	控制信令 (CQI,ACK/NACK)
Physical Random Access Channel	Zadoff-Chu	上行随机接入
Physical Signals	Sequence	Comment
Reference Signals	Zadoff-Chu	信道估计及探测

注意: PUCCH不与PUSCH同时存在, 当不存在上行业务时, 控制信令由PUCCH承载

[相关协议: 36.211, 36.212](#)

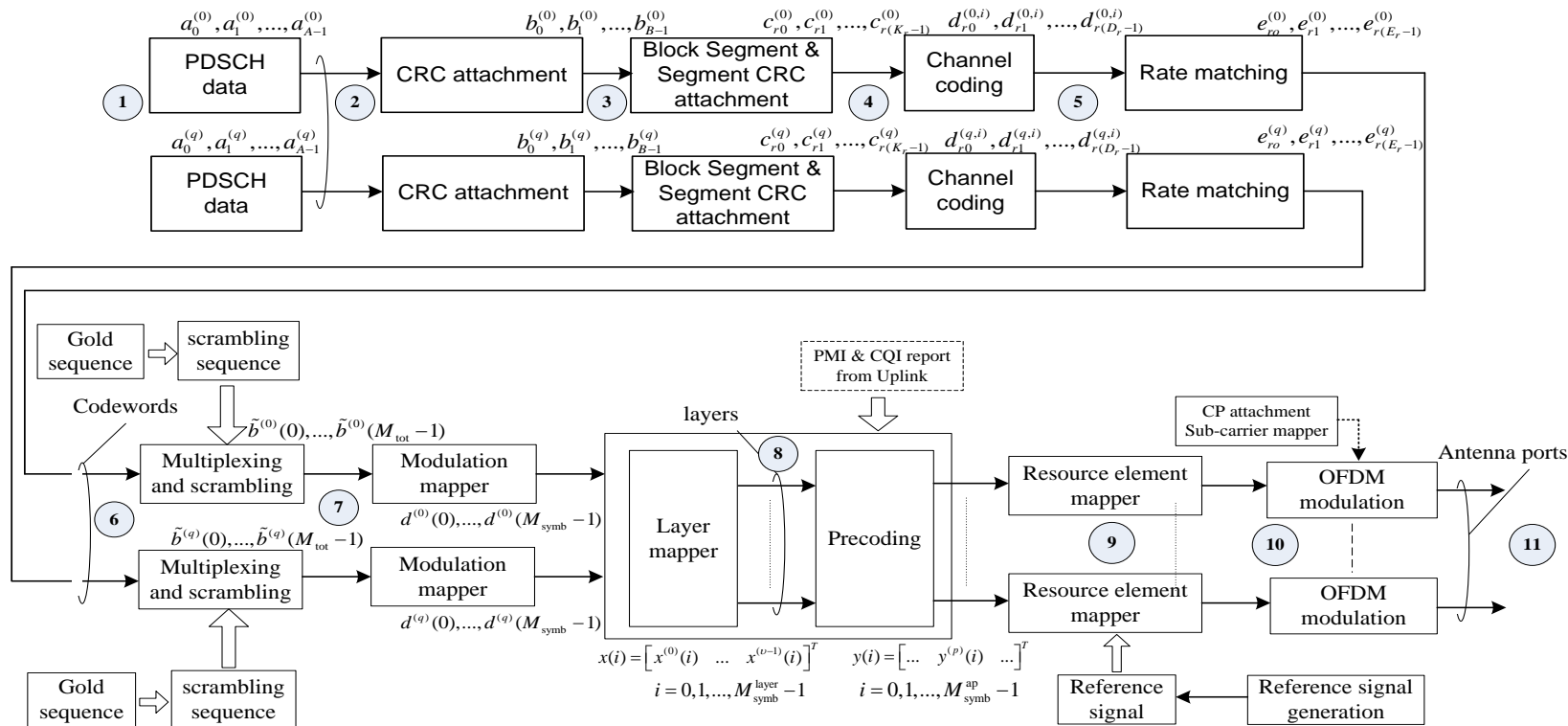
LTE TDD 下行共享信道：PDSCH

发送端信号流程



1. 信源数据（业务数据）
2. 24位CRC校验码，生成多项式CRC_{24A}
3. CRC编码块分割，再加一次24位CRC校验码，生成多项式CRC_{24B}。（若第一次CRC码块长度>6144）
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 n_{RNTI} 及时隙号有关）

发送端信号流程



7. 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。

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）

PDSCH采用的MIMO

应用MIMO的不同目的:

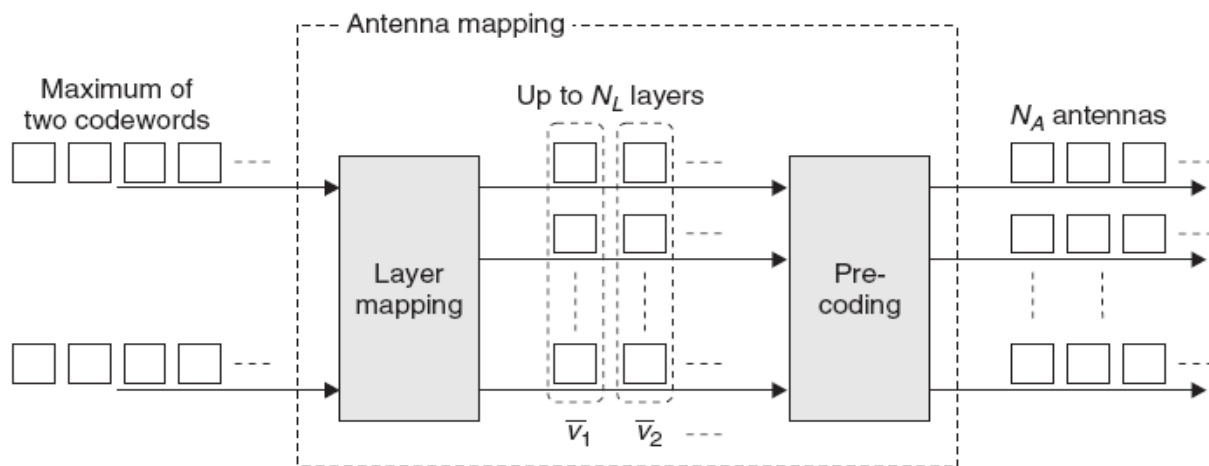
- improving received SINR (适应于低信噪比情况, 发送分集, beamforming)
- sharing SINR (适用于高信噪比情况, 多码字的Precoding)

LTE中采用的MIMO方式:

- SFBC → 开环MIMO
 - Precoding with CDD
 - Precoding without CDD
 - Beamforming → 闭环MIMO → 高相关性
- 低相关性

均可表示为一个预编码矩阵与原始信号的相乘:

$$\begin{bmatrix} y^{(0)}(i) \\ \vdots \\ y^{(P-1)}(i) \end{bmatrix} = \underbrace{P(i)}_{\text{Precoding matrix}} \begin{bmatrix} x^{(0)}(i) \\ \vdots \\ x^{(N_L-1)}(i) \end{bmatrix}$$





下行控制信道：PBCH/ PCFICH/ PHICH/PDCCH

Downlink Control Channel	Channel coding	Modulation	Mapping	MIMO方式
PBCH	16 CRC+1/3 卷积码	QPSK	连续4个radio frame中第一个subframe的第2个slot的连续4个OFDM符号中，频域上占用6个RB（导频位置跳过）	SFBC
PCFICH	1/16 编码（协议已给定编码结果）	QPSK	每个subframe的第1个OFDM符号中。4个子载波为一组，总组数与下行总RB数有关。（4组,32个bit_ys）	SFBC
PHICH	1/3 repeat 编码	BPSK	对于Normal情况，每个subframe的第1个OFDM符号中。	SFBC
PDCCH	16 CRC+1/3 卷积码	QPSK	每个subframe的前M个OFDM符号（normal情况下M=1,2,3均可）。4个子载波一组为单位在频域上进行映射。先排时间维，再排频域维。	SFBC

Resource element group（REG）的概念：用于下行控制信息，每个element group包含4个有效子载波。（除了PBCH）

LTE TDD 下行控制信道：PDCCH

- **PDCCH 承载控制信息：** 上行传输的相关信息（如资源块个数，位置，调制编码方式等），下行传输的相关信息（for SIMO,MIMO）,上行物理信道的功率控制命令。
- 承载的不同信息，对应不同的**DCI（downlink control information）Format**。
- 而**DCI**信号所需比特数的不同，则对应不同的**PDCCH Format**。

DCI format	information
0	对PUSCH调度：包括：Hopping，RB分配，起始位置，MCS，CQI，功控及关于RS的CS信息，新信息或重传次数
1	对单TB的PDSCH的调度，包括：RB分配及起始位置，MCS，重传次数及对PUCCH的功控
1A	对单TB的PDSCH的调度的压缩模式（包含信息基本与format1 相同）
1B	对单TB的PDSCH的调度的压缩模式，包含PMI信息（其他信息基本与format1A 相同）
1C	对单TB的PDSCH的调度的very压缩模式，仅包含PDSCH的RB分配及起始位置信息
1D	对单TB的PDSCH的调度的压缩模式，包含PMI信息，数据与导频功率比的信息（其他信息基本与format1A 相同）
2	对采用闭环空间复用形式的PDSCH的调度，包括：RB分配及起始位置，每个TB的MCS，每个TB的重传次数、每个TB的PMI及对PUCCH的功控
2A	对采用开环空间复用形式的PDSCH的调度，包括：RB分配及起始位置，每个TB的MCS，每个TB的重传次数及对PUCCH的功控（比format 2少了PMI）
3	对PUSCH/PUCCH的功率控制（2个bit）
3A	对PUSCH/PUCCH的功率控制（1个bit）

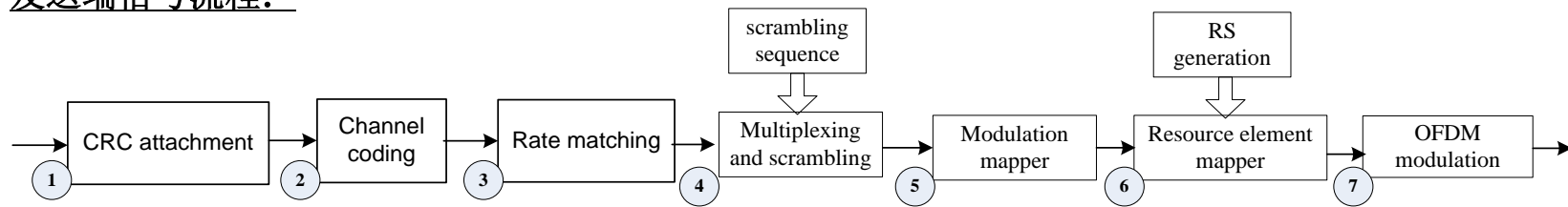
PDCCH format	Number of CCEs	Number of resource-element groups	Number of PDCCH bits
0	1	9	72
1	2	18	144
2	4	36	288
3	8	72	576

Control Channel Elements (CCE)包含9个REG

LTE TDD 下行控制信道：PDCCH

PDCCH Format 0

发送端信号流程：



1. 16位CRC校验码，生成多项式CRC₁₆

3. 速率匹配（频域交织及根据HARQ的冗余版本对数据进行打孔）

5. 调制（QPSK调制）

7. IFFT变换

2. 信道编码（卷积码，1/3码率）

4. 复用与加扰（多个PDCCH相连接）

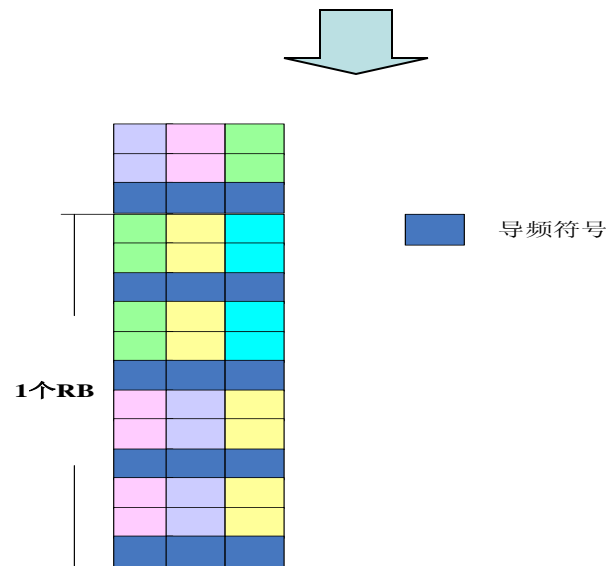
6. 频域资源映射（4个符号一组映射，REG）

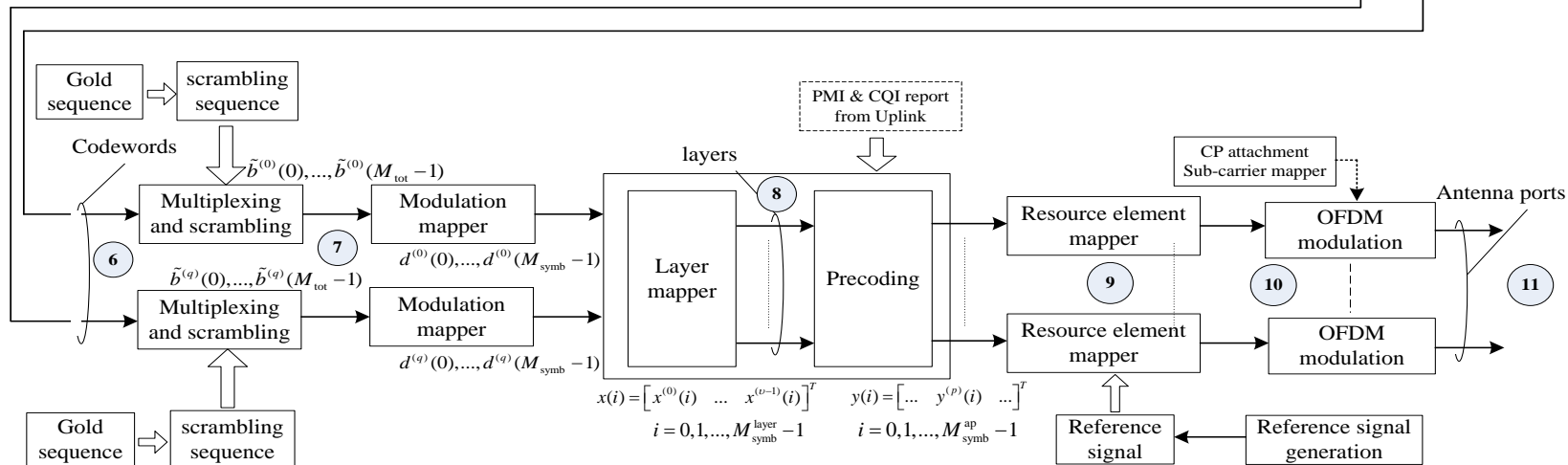
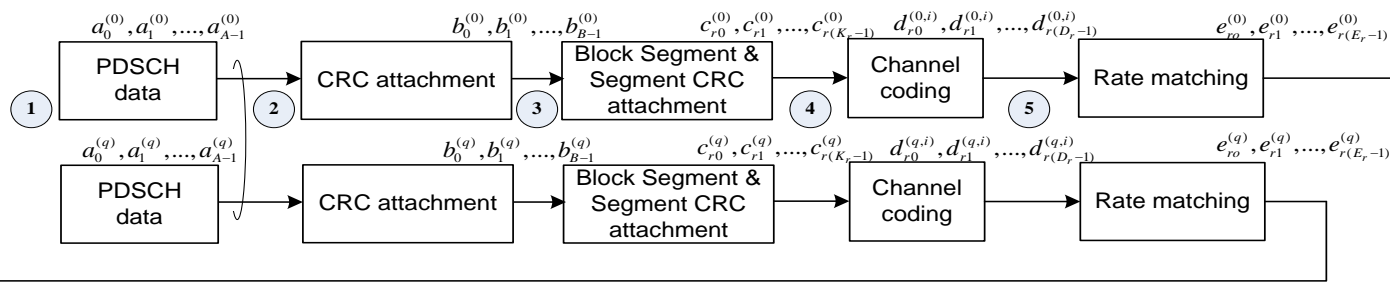
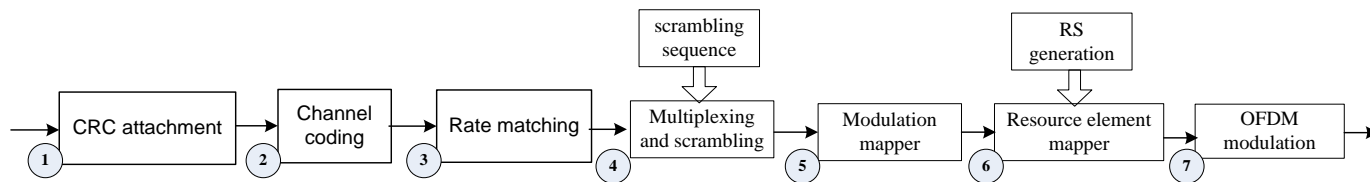
注意：

□ 接收端需先解出PCFICH，获得PDCCH占用的OFDM符号个数其起始位置，找到PDCCH

□ 通过对PDCCH的CRC加扰，使得PDCCH包含用户的ID信息

□ 对于DCI format 0，也是通过对PDCCH的CRC加扰来包含天线选择信息。





LTE TDD 下行同步信道：P-SCH,S-SCH

下行同步信号分为两种：

- 主同步信号：粗同步，判断出主同步序列（3选1），子帧的同步；由P-SCH承载
- 次同步信号：细同步，判断出次同步序列（168选1），联合粗同步结果确定cell id，并实现无线帧的同步及更准确的符号同步；由S-SCH承载

$$N_{ID}^{cell} = 3N_{ID}^{(1)} + N_{ID}^{(2)}$$

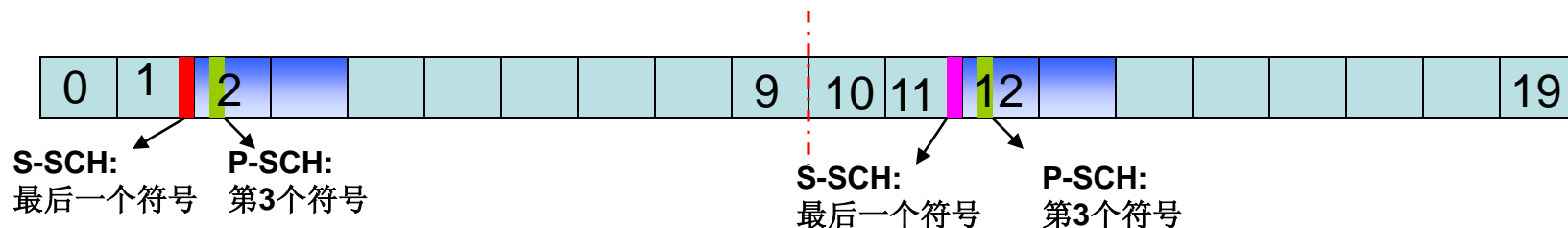
小区ID组 物理层ID（可理解为sector index）

次同步信号获取 主同步信号获取

相关协议：36.211, 36.213

主同步信号：长为62的Zad-off Chu序列，映射到系统带宽中间的6个RB，特殊时隙中的第3个OFDM符号内（notes：最短的DwPTS长为3个OFDM符号）。

次同步信号：2个长为31的PN序列的交织级连。映射到系统带宽中间的6个RB，映射到第2个及第12个时隙中的最后一个OFDM符号内。



LTE TDD 下行导频信号：RS

下行导频信号分为三大类：

- **Cell specific RS**，做为下行物理信道估计的导频
- MBSFN中用的RS，仅在MBSFN中应用
- UE specific RS，Beamforming时下行物理信道估计的导频

Cell specific RS：由Golden码构造的伪随机序列

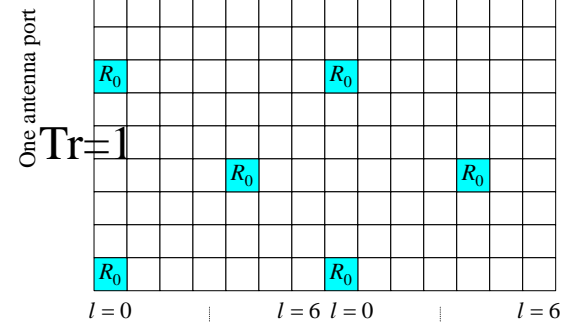
$$r_{l,n_s}(m) = \frac{1}{\sqrt{2}}(1 - 2 \cdot c(2m)) + j \frac{1}{\sqrt{2}}(1 - 2 \cdot c(2m+1)), \quad m = 0, 1, \dots, 2N_{\text{RB}}^{\text{max,DL}} - 1$$

其中 $N_{\text{RB}}^{\text{max,DL}}$ 为下行可用的最大资源块数， $c(m)$ 为Golden序列，该序列的初始值由小区ID，时隙index及OFDM符号index共同决定。

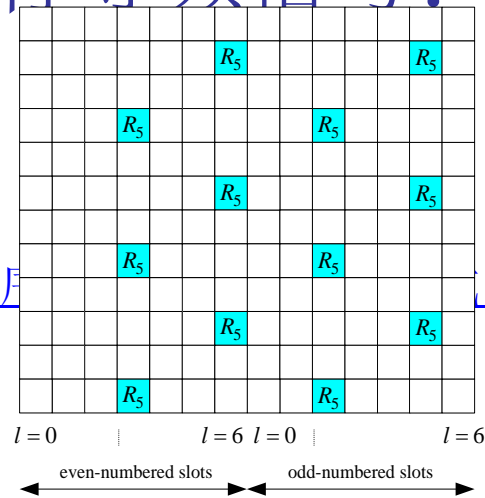
- 与上行导频不同，下行导频在频域上散状分布（上行导频为集中式）。
- 且下行导频在整个系统带宽上广播（上行导频只在用户占用的频带内发送）。

相关协议：36.211, Sec. 6.10

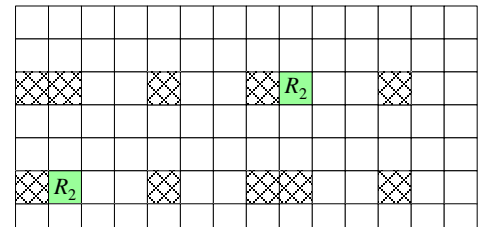
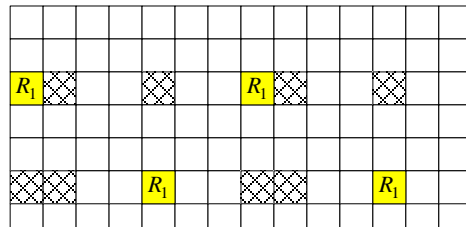
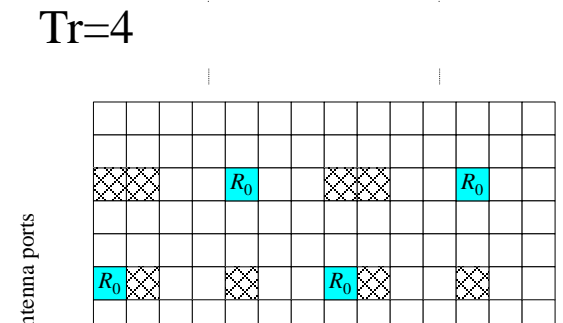
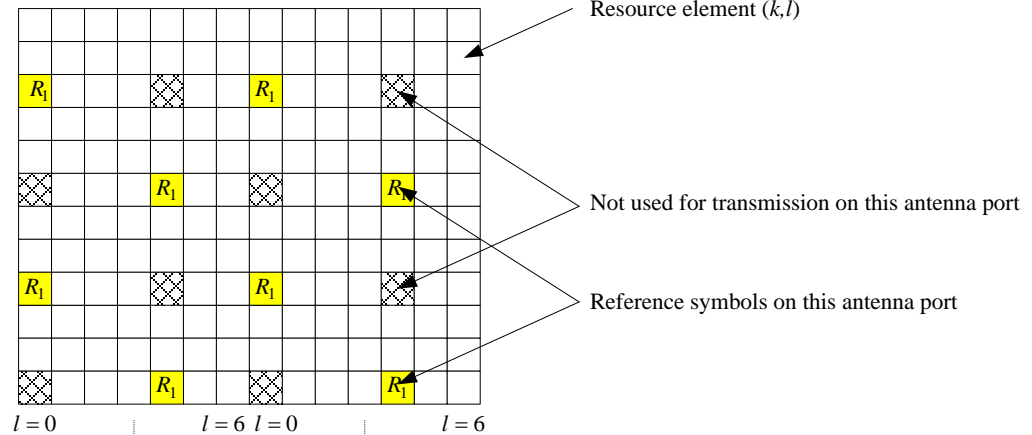
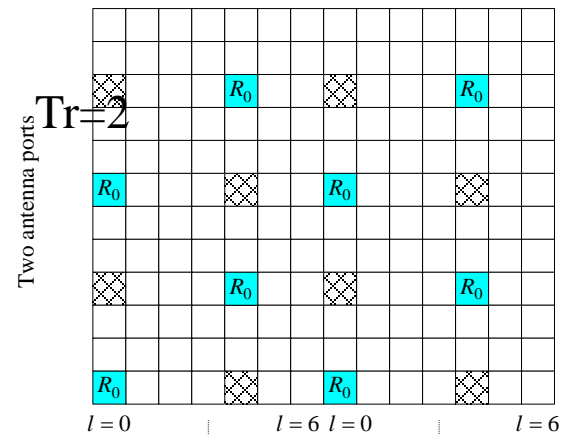
LTE TDD 下行导频信号: RS



将该导频用 间隔=6

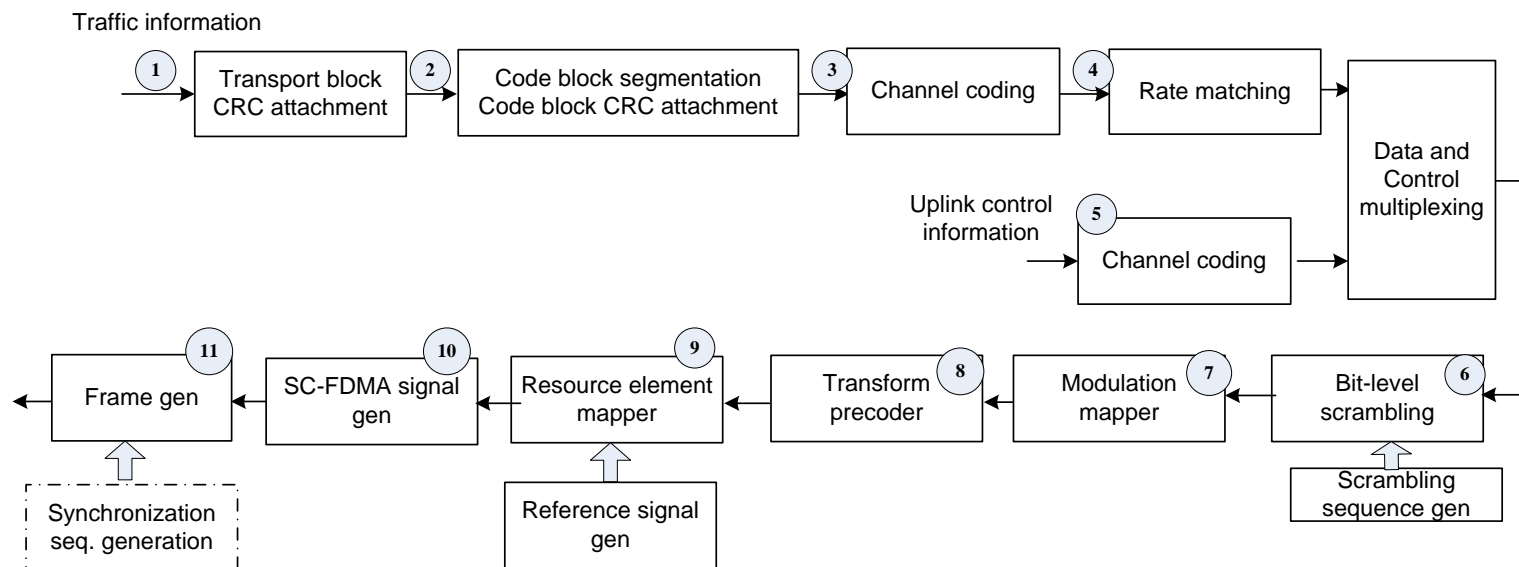


Antenna port 5



LTE TDD 上行共享信道：PUSCH

发送端信号流程：

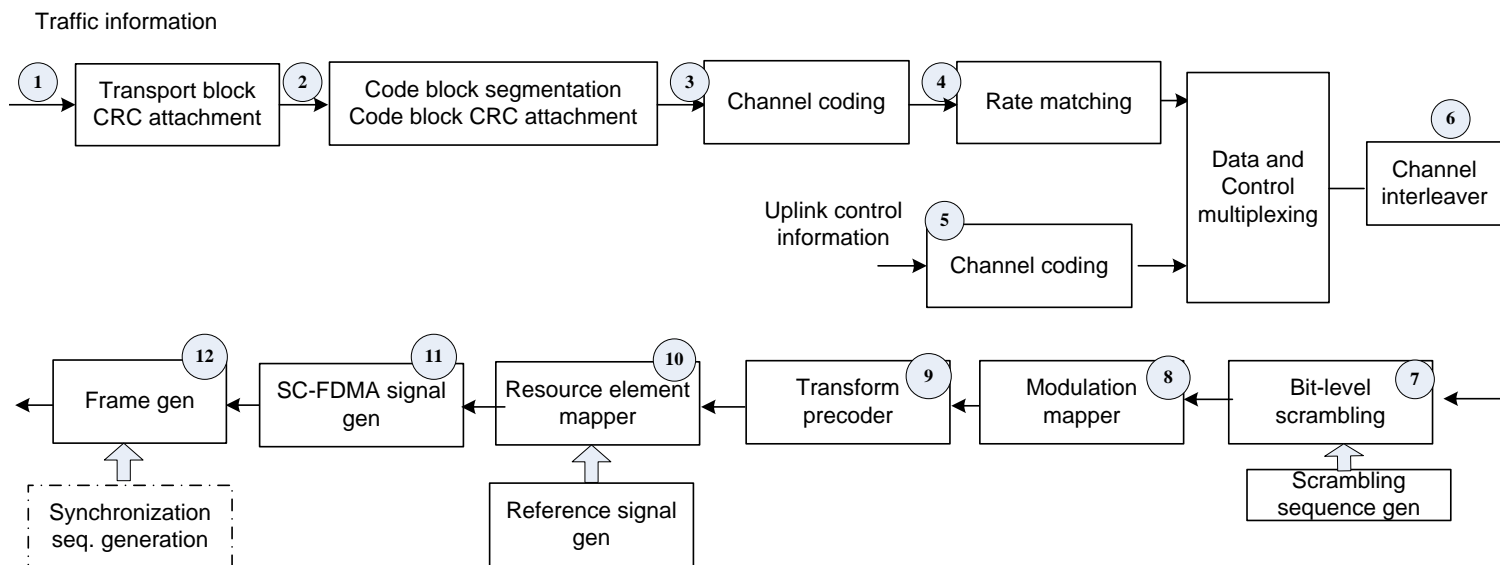


1. 24位CRC校验码，生成多项式CRC_{24A}
2. CRC编码块分割，再加一次24位CRC校验码，生成多项式CRC_{24B}。（若第一次CRC码块长度>6144）
3. 信道编码（Turbo编码，1/3码率，QPP(Quadrature Permutation Polynomial)交织器）
4. 速率匹配（包括以Turbo块为单位的频域交织及根据HARQ的冗余版本对数据进行打孔或重复）
5. 加入控制信息（包括控制信息的信道编码（1/3卷积码、线性分组码）。控制信息与数据满足时分的关系）

相关协议：36.212, Sec. 5.1~5.2

LTE TDD 上行共享信道：PUSCH

发送端信号流程：



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 n_{RNTI} 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）

LTE TDD 上行控制信道：PUCCH

PUCCH用于承载对下行链路的控制信息，包括**HARQ**的**ACK/NACK**信息，下行链路的**CQI**信息，根据下行信道情况获得的**PMI**（**Precoding Matrix Index**）与**RI**（**Rank index**）信息。

Information Format	ACK/N ACK	CQI/PMI/RI	备注
1			没有具体的比特信息，仅表示上行调度请求
1a	✓		单传输块的PDSCH的ACK/NACK信息，BPSK调制
1b	✓		两个传输块的PDSCH的ACK/NACK信息，QPSK调制
2		✓	PDSCH的CQI/PMI/RI信息，分为Wideband report 和 UE-selected subband report
2a	✓	✓	CQI/PMI/RI+1bit ACK/NACK
2b	✓	✓	CQI/PMI/RI+2bit ACK/NACK

■ 对于**PUCCH**是无需做**DFT**变换。（数据少，不会导致高的**PAPR**。避免单载波特性带来的性能损失。错位概率

控制于1%以内）

■ 对于**PUCCH**所有的**Format**，均采用了长为12的**Zad-off Chu**序列进行频域扩频。

■ 对于**PUCCH**所有的**Format**，均占用1个**RB**，即12个子载波。且按照一定的准则，占用频谱边缘的**RB**。

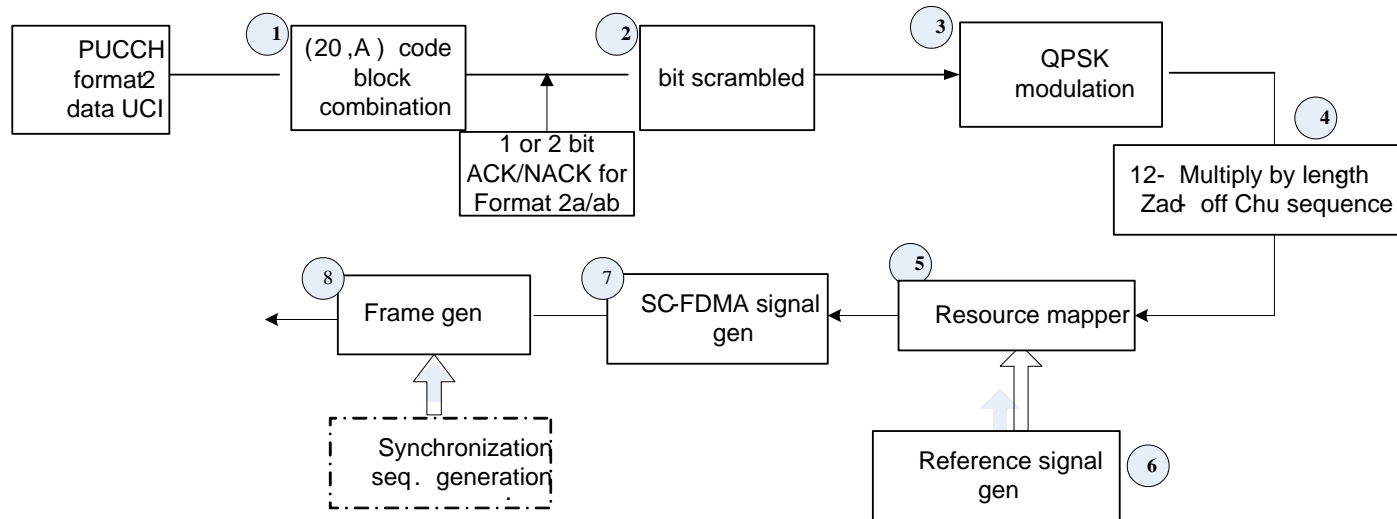
■ 对于相同**Format**的多个**PUCCH**信道，是采用码分的形式进行时频资源的复用。

✓ 对于**Format1**，借助**Zad-off Chu**序列在频域的相移（**step=2**）可支持6个同格式的**PUCCH**，同时借助于3组正交码字（时域扩频），可支持3个同格式的**PUCCH**，共 $6 \times 3 = 18$ 个**PUCCH**。

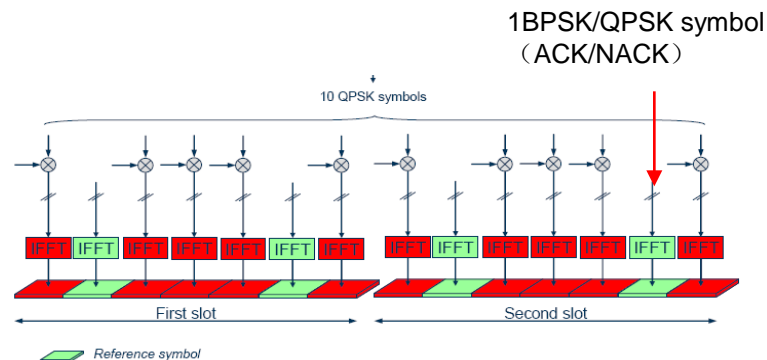
✓ 对于**Format2**，借助 **Zad-off Chu**序列在频域的相移（**step=1**）可支持12个同格式的**PUCCH**。

PUCCH Format 2

格式2/2a/2b 发送端信号流程:



1. 信道编码：采用(20,A)的线性分组码（若有ACK/NACK信息，加在CQI的20个bit后）
2. 比特级加扰：Golden码
3. QPSK调制
4. 长为12的Zad-off Chu序列对QPSK符号频域扩频
5. 资源块映射（若系统共有50个RB,则只能映射到0~1RB,或者48~49RB）
6. 导频信号的产生与映射
7. IFFT变换
8. 成帧



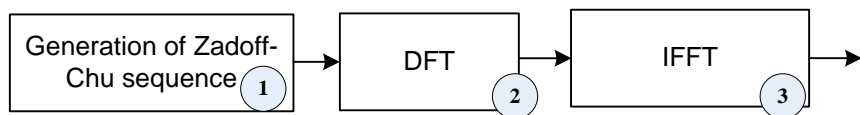
LTE TDD 随机接入信道: PRACH

用户完成小区搜索后,若有业务到来,则需进行随机接入过程。**UE**通过该过程向**eNB**发起接入请求,包括以下步骤:

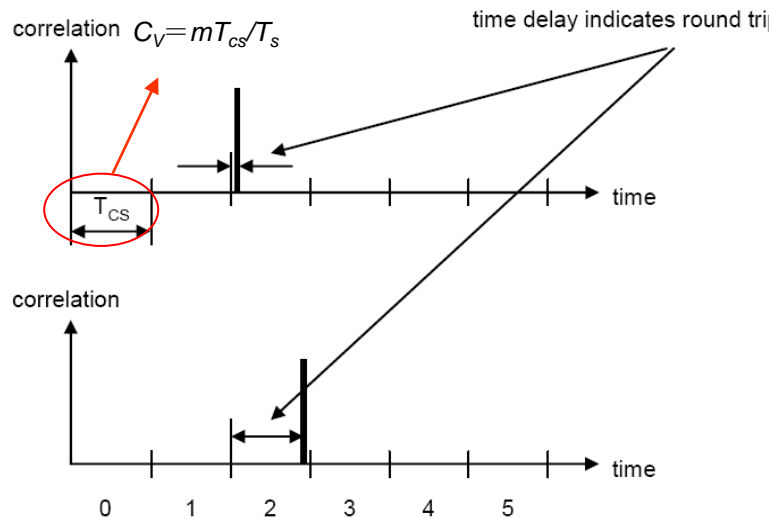
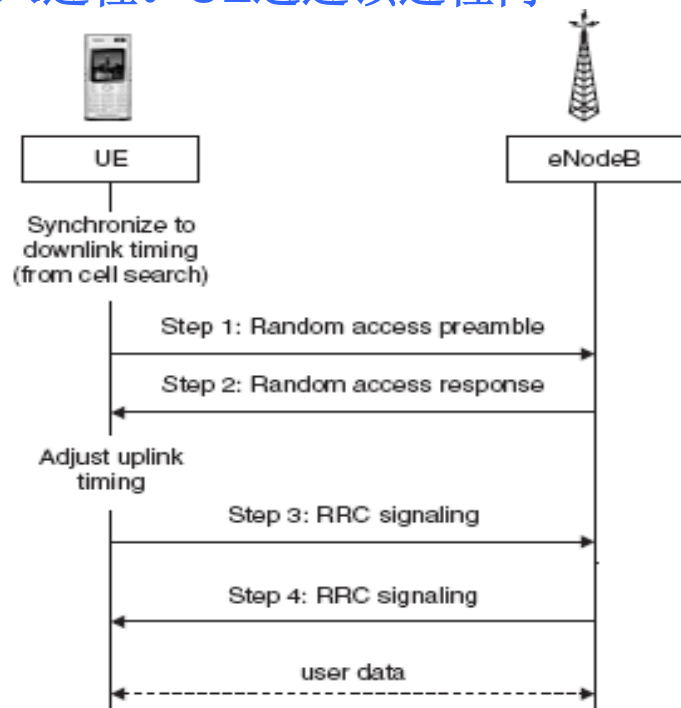
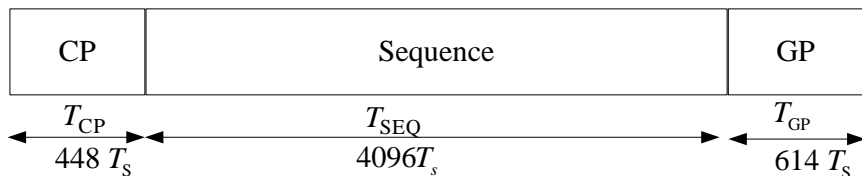
1. UE上行发送PRACH序列。
2. eNB通过该序列可获知UE的上行同步定时提前量,通过下行控制信令告知UE调整同步;并为UE分配临时ID (TC-RNTI) 及接入请求所需资源,供UE发起接入请求,并表明身份。
3. UE获得该ID后,以该ID标识自己身份,并根据eNB分配的资源发送RRC信令。
4. 若eNB接受UE请求,则为UE分配资源,发送下行RRC信令。
5. 随机接入过程结束。UE成功接入,获得eNB为其分配的C-RNTI ID,UE发送数据。

PRACH sequence: Zadoff-Chu序列 (FDD: 长为83

不同的u对应不同码组: $x_u(n) = e^{-j\frac{\pi u n(n+1)}{N_{ZC}}}$, $0 \leq n \leq N_{ZC} - 1$ 循环位移得个码字序列



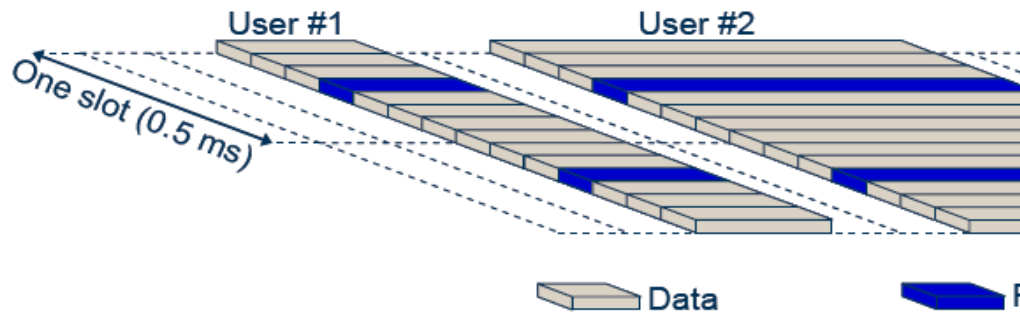
PRACH:为支持不同小区半径,共有5种Format,
(Format 4 为TDD专用,在UpPTS中发送,频域占用6个RB)



LTE TDD 上

上行导频信号分为两大类：

- 解调导频信号 (Demodulation RS), 与 PUSCH, PUCCH 的数据同时传输
- 探测导频 (sounding RS), 用于上行调度



每个时隙1个导频符号，位于每个时隙的第4个OFDM符号位置。频域上连续，与PUSCH占用相同长度的频域资源

以上两种RS均采用相同的导频序列：

导频序列由一基本序列相移获得：
$$r_{u,v}^{(\alpha)}(n) = e^{j\alpha n} \bar{r}_{u,v}(n), \quad 0 \leq n < M_{sc}^{RS}$$

其中 $\bar{r}_{u,v}(n)$ 为基本导频序列， α 为相移

(1) 当导频所占资源块数=1 or 2时，导频码的基本序列如下：

$$\bar{r}_{u,v}(n) = e^{j\varphi(n)\pi/4}, \quad 0 \leq n \leq M_{sc}^{RS} - 1$$

其中 $\varphi(n)$ 为一给定的整数序列。导频码长度 $M_{sc}^{RS} = 12$ or 24

(2) 当导频所占资源块数>2时，导频码的基本序列为Zadoff—Chu序列：

$$\bar{r}_{u,v}(n) = x_q(n \bmod N_{ZC}^{RS}), \quad 0 \leq n < M_{sc}^{RS}$$

$$x_q(m) = e^{-j \frac{\pi q m(m+1)}{N_{ZC}^{RS}}}, \quad 0 \leq m \leq N_{ZC}^{RS} - 1$$

u, v 决定 q 的值，
 u, v 与时隙、跳频方式等有关

相关协议：36.211

LTE-Advanced考虑的主要技术

Requirements / targets

- Fulfill ITU requirements for IMT-Advanced (higher data rate, wider bandwidth)
- Allow for smooth migration from LTE Release 8
- Enable extended multi-antenna deployments in a cost-efficient way
- Target low terminal and network power consumption

Proposed radio access techniques for LTE-Advanced:

1. Support of wider bandwidth

Carrier aggregation for wider bandwidth

Spectrum aggregation for more efficient spectrum utilization

2. Enhanced multi-antenna transmission techniques

Extend spatial multiplexing up to eight layers

Combination of MIMO modes for efficiency transmission

3. Advanced multi-cell transmission/reception techniques

Coordinated multipoint transmission

4. Enhanced techniques to extend coverage area

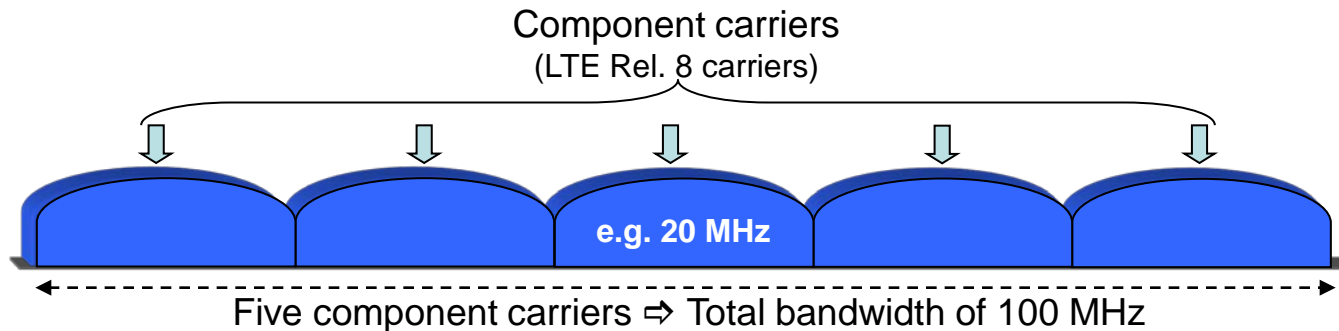
Relay/repeater functionality

Support of Wider bandwidth

LTE-Advanced should support wider bandwidth: support up to at least 100 MHz

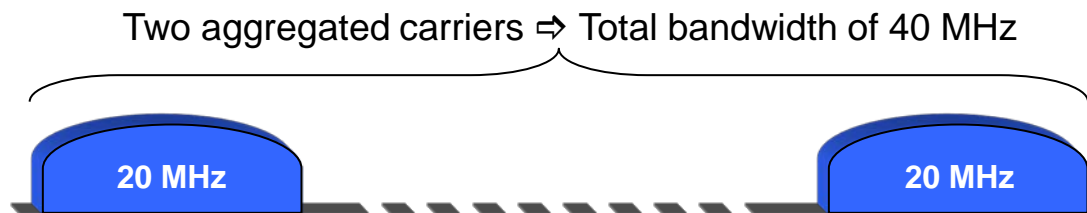
- *Carrier aggregation preferred*

- Aggregation of multiple component carriers into an overall wider bandwidth
- Each component carrier appear as LTE R8 carrier to LTE R8 UE
- LTE-Advanced UE can access and benefit from overall wider bandwidth



- *Spectrum aggregation*

- Carrier aggregation with carriers in different frequency bands.
- Possibility for wider total bandwidth without correspondingly wider contiguous spectrum



Enhanced multi-antenna transmission techniques

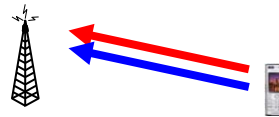
- Necessity of higher-order MIMO channel transmissions:*

Higher peak frequency efficiency: Increased number of antennas up to 8

	LTE (Rel-8)	LTE-Advanced
DL	Baseline: 2-by-2 MIMO Max: 4-by-4 MIMO	Baseline: 2-by-2, 4-by-2, and 4-by-4 according to UE categories and eNB types (optimization condition is FFS) Max: 8-by-8 MIMO
UL	Baseline: 1-by-2 SIMO	Baseline: 2-by-2 and 2-by-4 according to eNB types Max: 4-by-4(8) MIMO

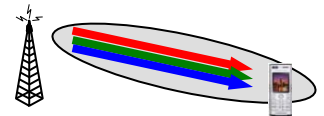
- Uplink spatial multiplexing*

- Higher uplink data rates



- Combined beamforming and multi-layer transmission*

- Beamforming to improve receiver SINR
- Multi-layer transmission to efficiently exploit improved SINR

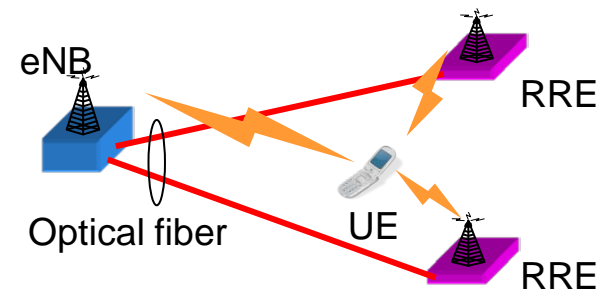
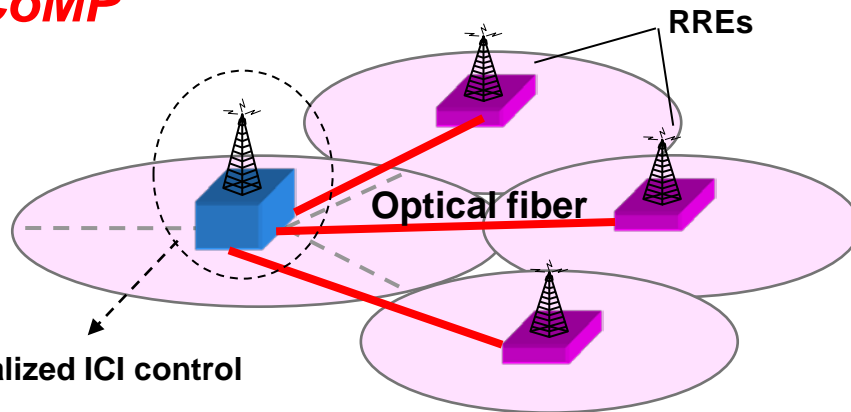


Advanced multi-cell trans/rece techniques

Although ICIC is adopted in LTE, it only introduces fractional frequency reuse at cell edge with slow control speed using control signals via backhaul. Thus, inter-cell orthogonality will be established in LTE-Advanced to achieve high frequency efficiency and high data rate at cell edge.

- *Dynamic coordination of transmission/reception at geographically separated points:* joint transmission from multiple points
- *Use cell structure employing remote radio equipments (RREs)*
ICI management among cells of RREs using scheduling at central eNB:
Achieves complete inter-cell orthogonality.

CoMP



How to design RS?

Downlink

- Use common RS

Explicit signaling for transmit RRE (or eNB) information
Blind detection of transmit RRE (or eNB)

- Use DRS

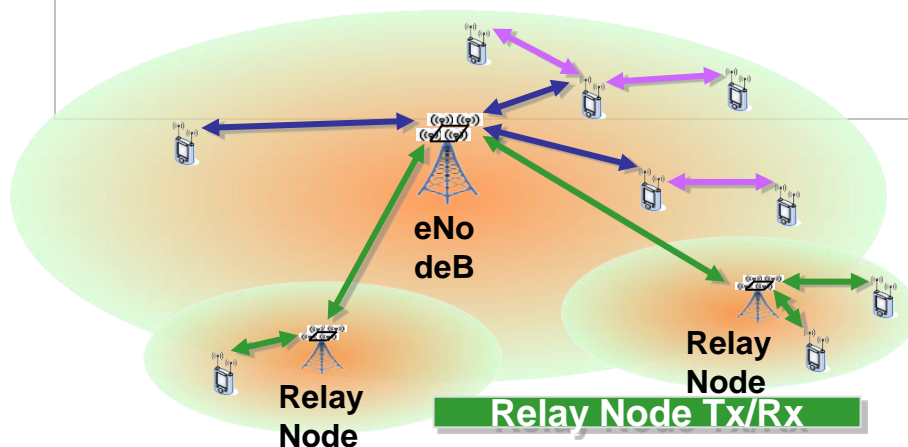
Uplink

MRC reception at the central eNB

Central eNB combines uplink data channel of the target

Enhanced techniques to extend coverage area

- **RREs using optical fiber (“sector” belonging to the same eNB)**
- Should be used in LTE-Advanced as effective technique to extend cell coverage
- **Relays using radio**
- **L1 relays with non-regenerative transmission, i.e., repeaters**
 - Since delay is shorter than cyclic prefix duration, no additional change to radio interface is necessary
 - Repeaters are effective in improving coverage in existing cells
 - Should be used as well as in 2G/3G networks
- **L1 relays with regenerative transmission**
 - Must improve coverage without reducing capacity
 - Our concerns are efficient radio resource assignment to signals to/from relay station, delay due to relay, etc.



- Remote relay node Tx/Rx
- L1 baseband processing and RRM
- Coverage extension and throughput enhancement