

LTE Key Technology

Jul 28, 2011

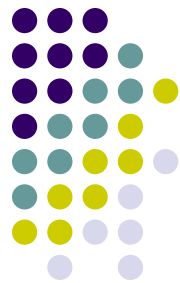
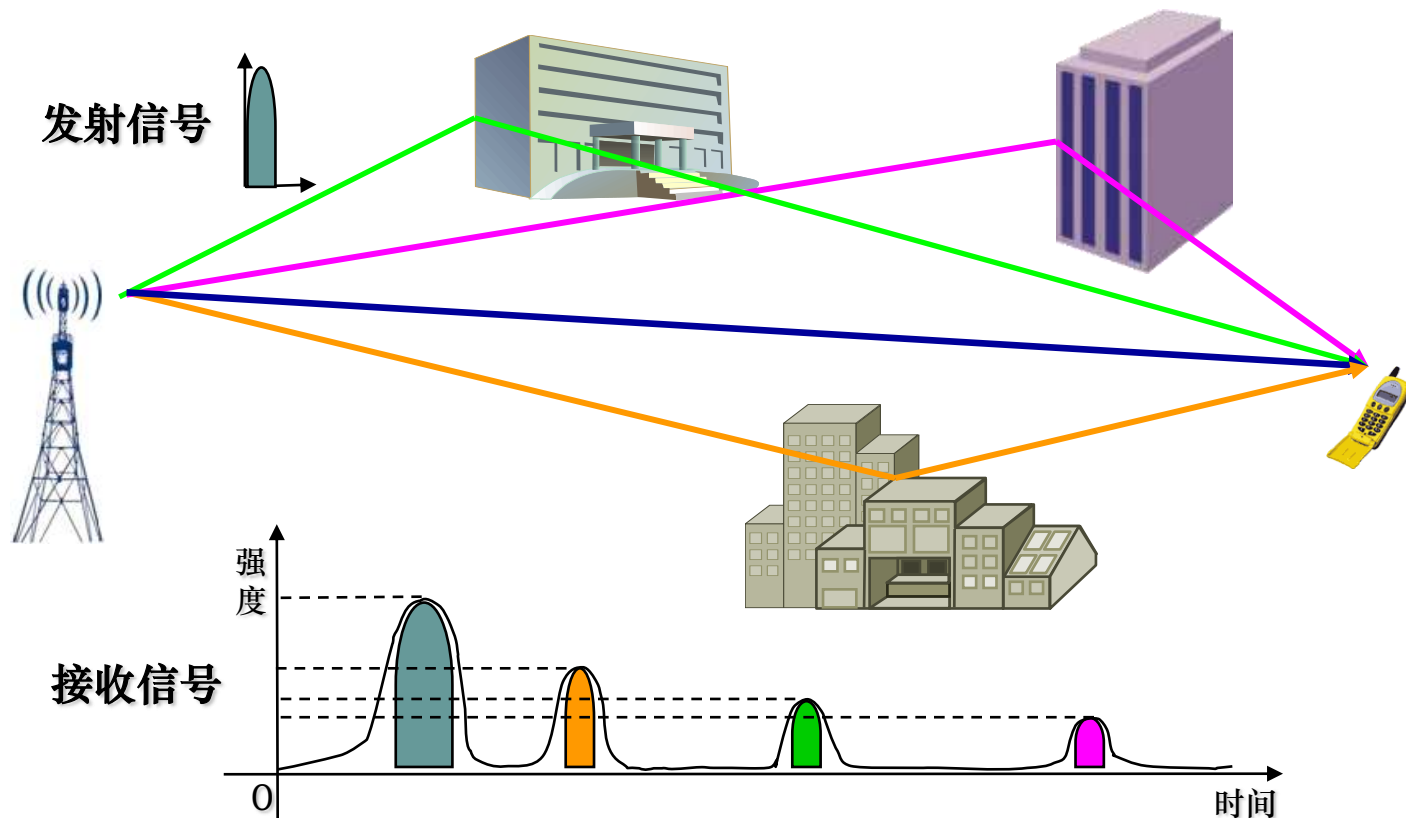




提纲

- 下行OFDM
- 上行SC-FDMA
- MIMO
- HARQ
- 信道调度
- 链路自适应
- 小区间干扰消除

WHY DO OFDM?



移动通信不得不处理多径干扰和多普勒效应：**OFDM** 优势明显

- 多径指无线电信号从发射天线经过多个路径抵达接收天线的传播现象。多径会导致信号的衰落和相移。
- 多径效应产生的符号间干扰（intersymbol interference, ISI）会影响到信号传输的质量。
- 多普勒效应：波源和观察者有相对运动时观察者接受到的波的频率与波源发出不同频率的现象。观察者远离波源运动，频率变低，波长变长。

OFDM原理

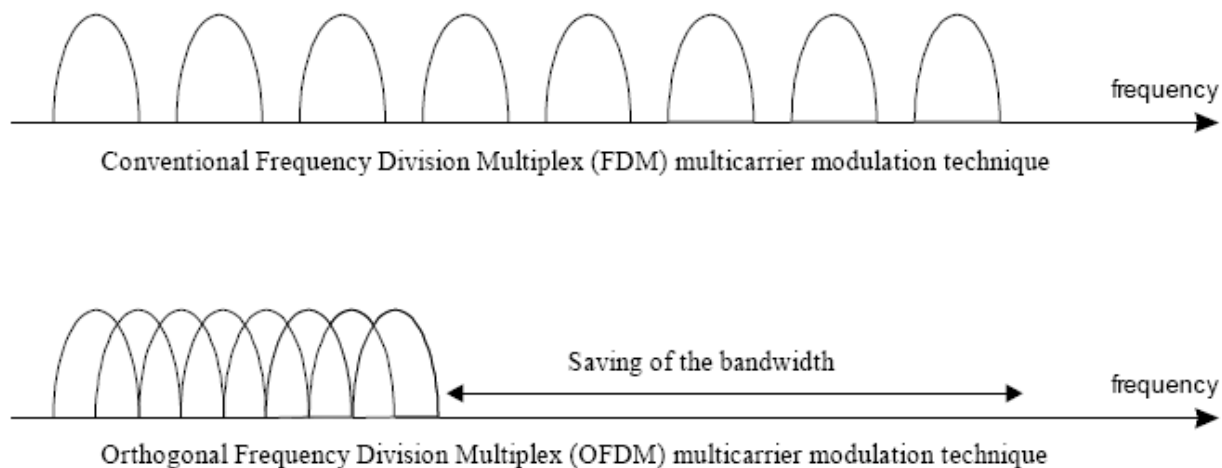


- 频分复用、频分多址(FDM/FDMA)技术其实是一种传统的技术；将较宽的频带分成若干较窄的子带(子载波)进行并行发送是最朴素的实现宽带传输的方法。但是为了各子载波间的干扰，不得不在相邻的子载波间保留较大的间隔，这就大大的降低了频谱效率。
- 因此，频谱效率更高的TDM TDMA(时分复用、时分多址)和CDMA技术成了无线通信的核心传输技术。
- 但是近几年由于数字信号处理技术FFT（快速傅立叶变换）的发展，使得FDM技术有了革命性的变化；FFT允许将FDM的各个子载波重叠排列，同时保留子载波间的正交性(以避免子载波间的干扰)。部分重叠的子载波排列可以大大提高频谱。

OFDM原理



■ OFDM即正交频分多路复用（Orthogonal Frequency Division Multiplexing），与传统的多载波调制（MCM）相比，OFDM调制的各个子载波间可相互重叠，并且能够保持各个子载波之间的正交性。

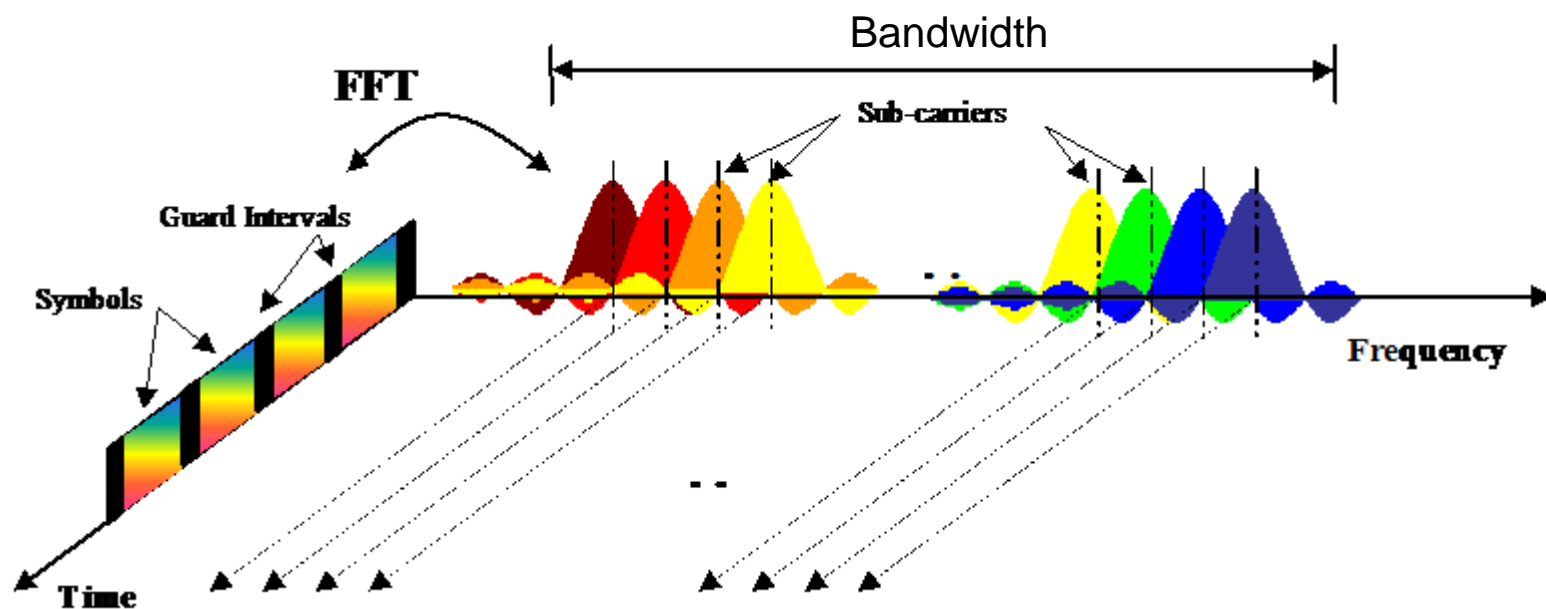


OFDM原理



■ OFDM的基本原理是将高速的数据流分解为N个并行的低速数据流，在N个子载波上同时进行传输。这些在N子载波上同时传输的数据符号，构成一个OFDM符号。

■ 在单载波系统中，一次衰落或者干扰可能就会导致整个链路的失效，但是在多载波系统中，某一时刻将只有少部分的子信道受到深度衰落的影响。



OFDM原理

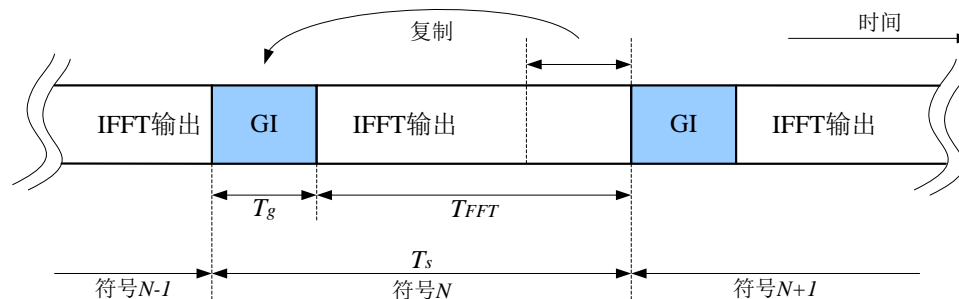


- OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)即正交频分复用技术，OFDM是多载波调制的一种。
- 将信道分成若干正交子信道，将高速数据信号转换成并行的低速子数据流，调制到在每个子信道上进行传输。
- 子数据流的速率是原来的 $1/N$,即符号周期是原来的 N 倍，通过设计使得该符号周期远大于信道的时延扩展，从而实现了将一个宽带频率选择性信道划分成 N 个窄带平坦衰落信道，从而消除符号间干扰，使其具有很强的抗无线信道多径衰落和抗脉冲干扰的能力。
- 正交信号可以通过在接收端采用相关技术来分开，这样可以减少子信道之间的相互干扰 ICI 。

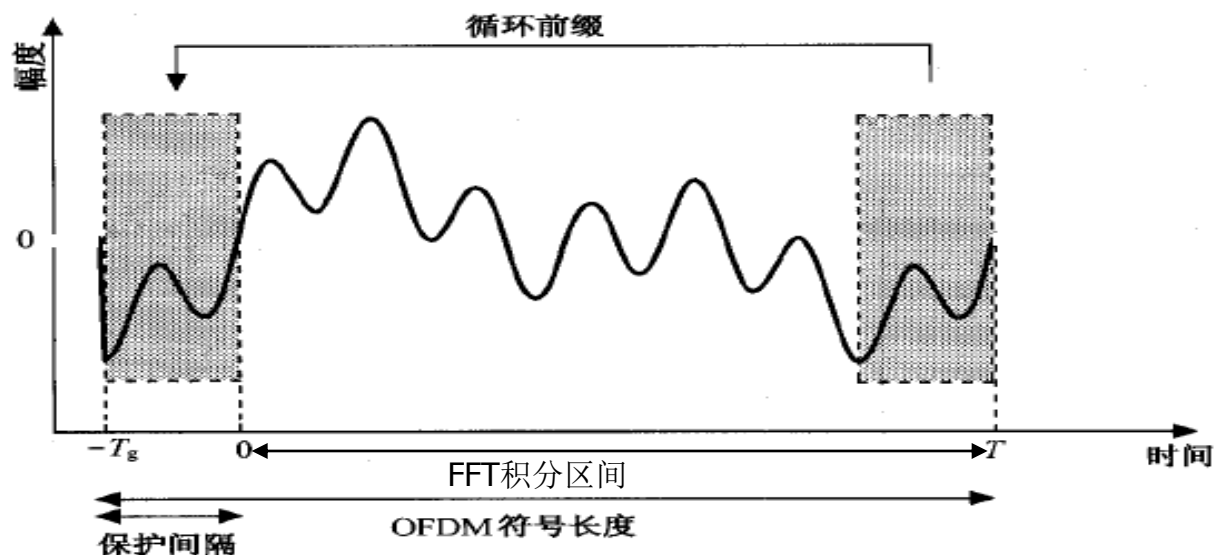


符号间干扰和保护间隔

- 由于无线信号的传播环境不是理想的，发射机输出的信号会经过多次反射到达接收机，经过不同反射到达接收机的信号有不同的传输时延，这个就是多径。这些信号到达接收机后会发生混叠，从而会出现某一径的前一个符号与另一径的后一个符号在同一时间到达接收机的现象，这样就出现了ISI。当数据速率提高时，数据间的间隔就会减小，到一定程度符号重叠无法区分，产生ISI。
- 为了克服符号间干扰，减少在接收端定时偏移的错误，一般都要在每个OFDM符号之间插入保护间隔(Guard Interval)。通常是将每个OFDM符号的后 T_g 时间中的样点复制到OFDM符号的前面，形成前缀，在交接点没有任何间断。这种保护间隔叫做循环前缀(Cyclic Prefix)。



保护间隔与循环前缀



■ 为了避免空闲保护间隔由于多径传播造成子载波间的正交性破坏，将每个OFDM符号的后时间中的样点复制到OFDM符号的前面，形成循环前缀(cyclic prefix)

■ 只要各径的延迟不超过 T_g ，都能保证在FFT的积分区间内包含各径各子载波的整数个波形

OFDM 插入保护间隔，以避免“符号间”干扰



保护间隔

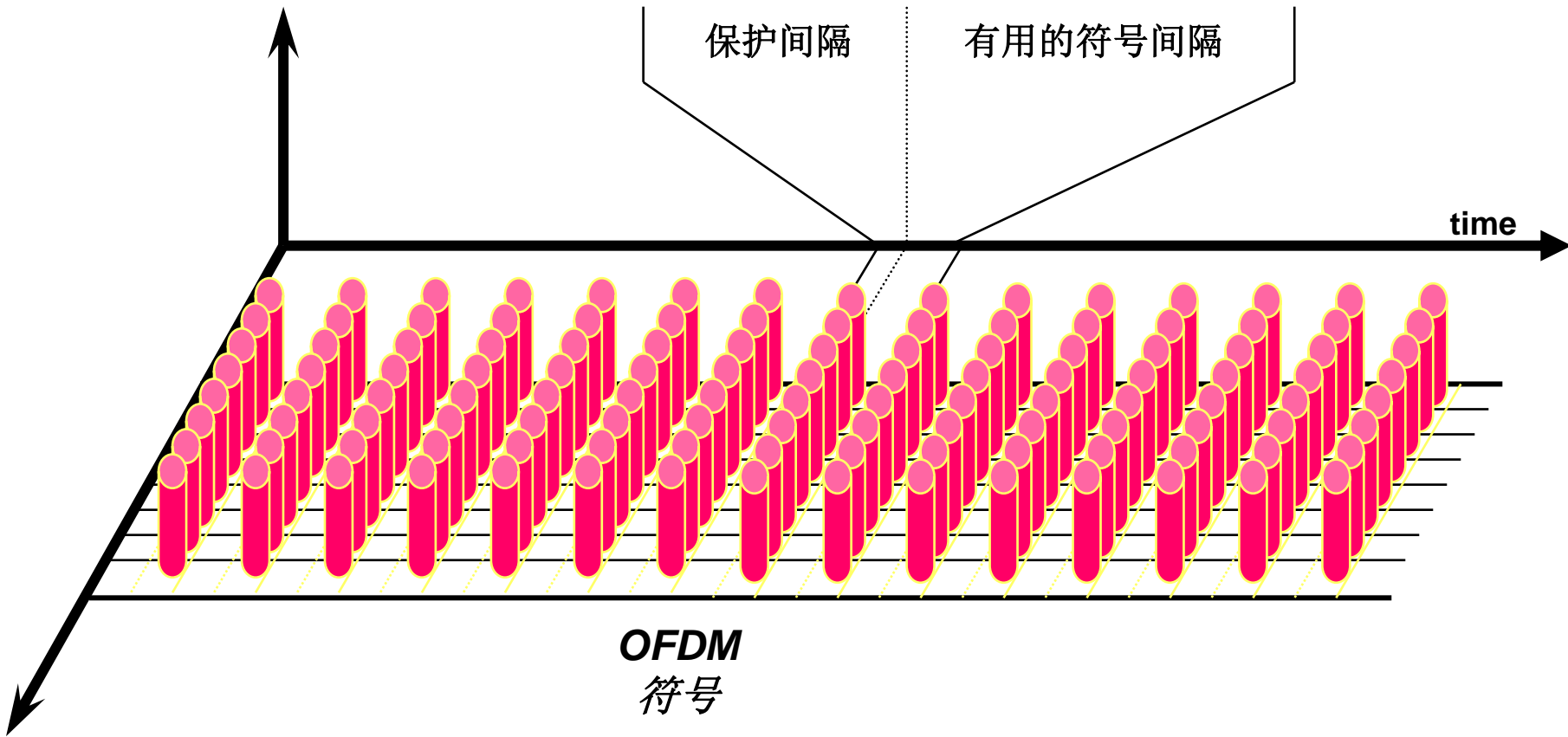
有用的符号间隔

time

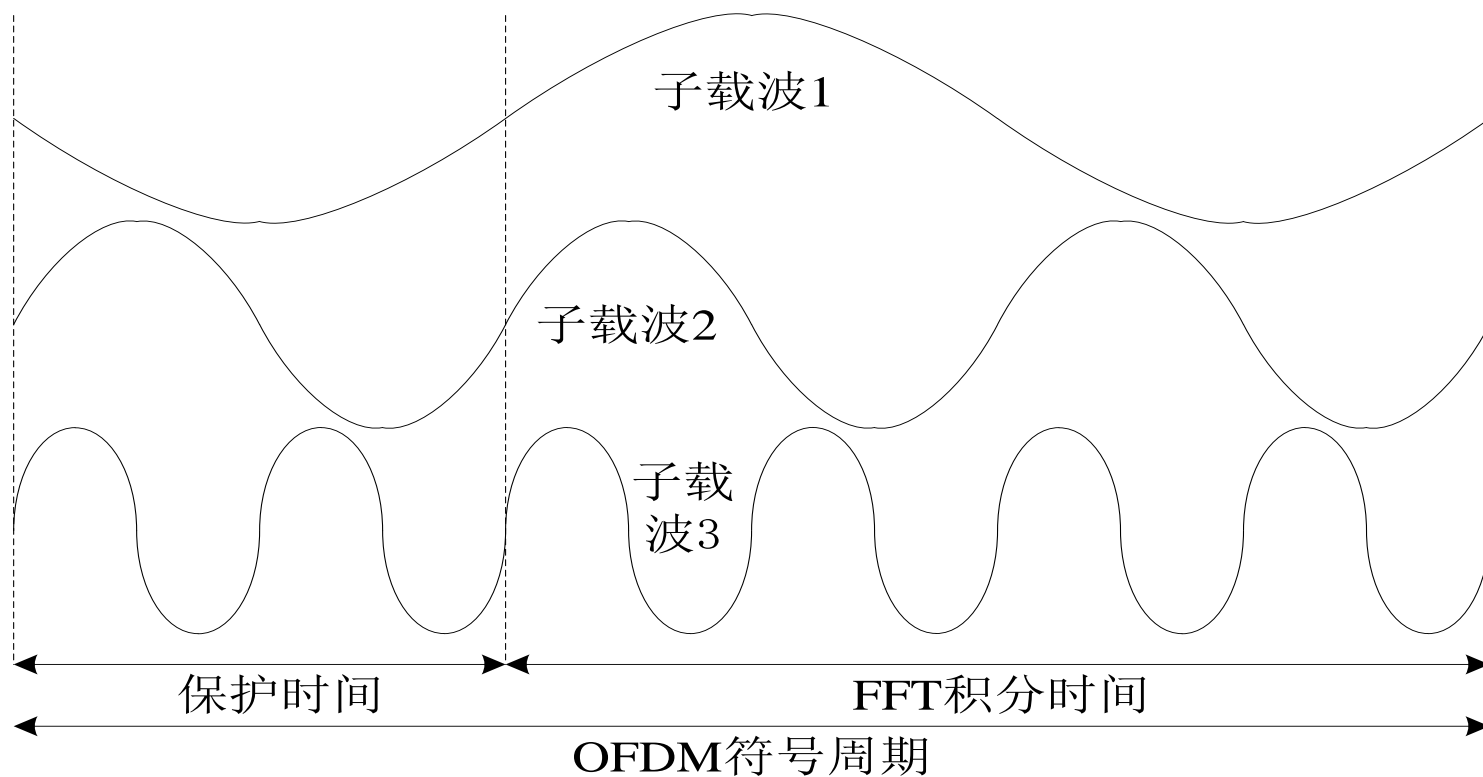
OFDM
符号

保护间隔导致了传输容量的损失

frequency



OFDM符号循环前缀

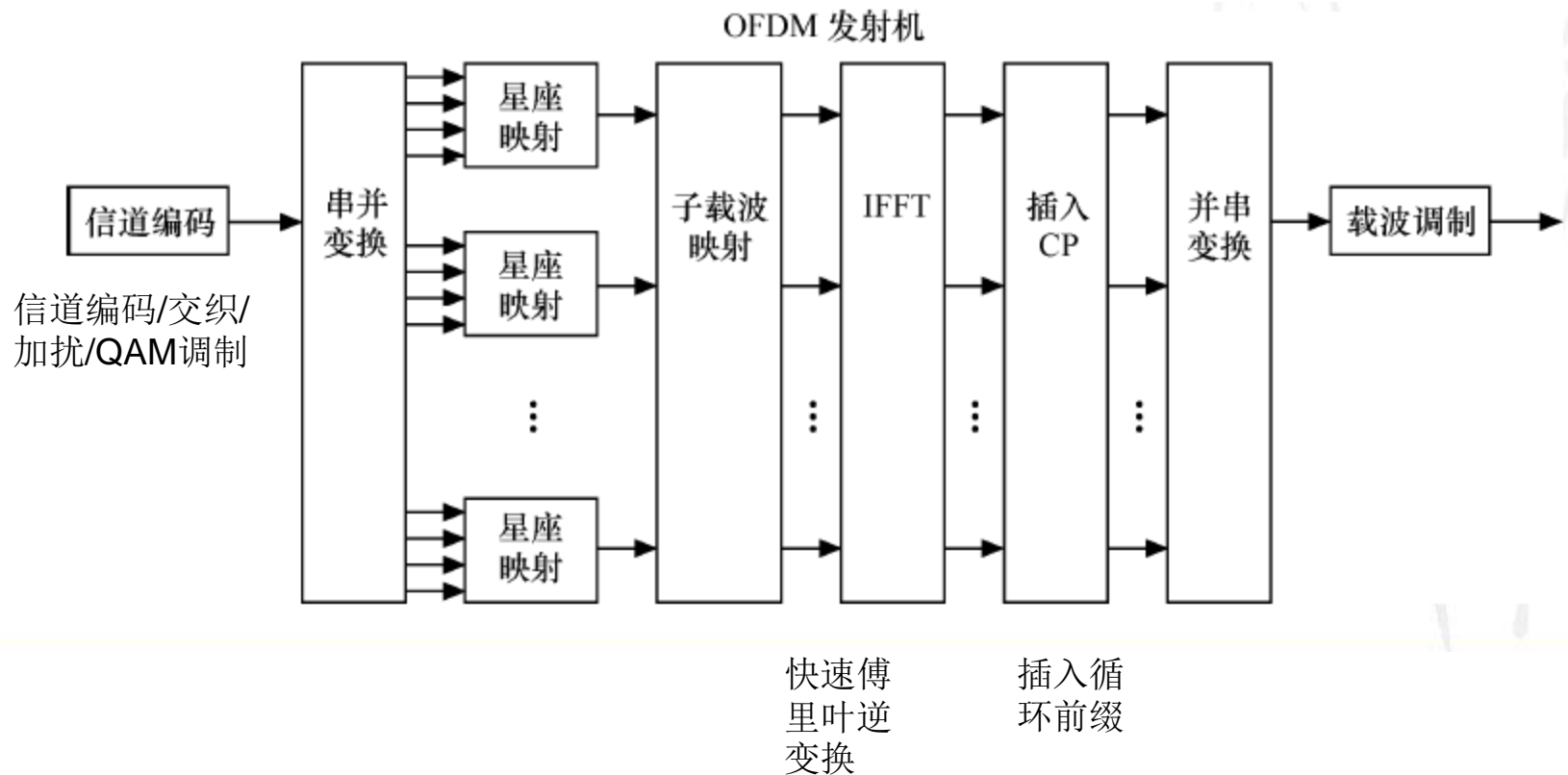




下行传输技术 OFDM

- 下行传输方案：OFDM

OFDM发射机结构





OFDMA关键技术

- 时频同步。为了实现正确解调，FFT的时间窗必须是对准信号部分，因此系统时间必须完全同步。为了保证OFDM各个子载波的正交性，频率也必须完全同步。
- 随机跳频。同一小区内各个用户的跳频图案是相互正交的，因为在同步情况下将不存在小区内干扰。
- 动态载波分配。OFDM可以根据各个子载波的信号质量灵活分配用户信道，避开干扰信道，提供信号传输质量。

LTE OFDM主要参数



■ 子载波间隔

- 15kHz, 用于单播 (unicast) 和多播 (MBSFN) 传输
- 7.5kHz, 仅仅可以应用于独立载波的MBSFN传输

■ 子载波数目

信道带宽(MHz)	1.4	3	5	10	15	20
子载波数目	72	180	300	600	900	1200

■ 循环前缀长度

- 一个时隙中不同OFDM符号的循环前缀长度不同

配置		循环前缀长度 $N_{CP,l}$
常规 CP	$\Delta f = 15 \text{ kHz}$	160 for $l = 0$ 144 for $l = 1, 2, \dots, 6$
	$\Delta f = 7.5 \text{ kHz}$	1024 for $l = 0, 1, 2$



不同带宽下的RB数

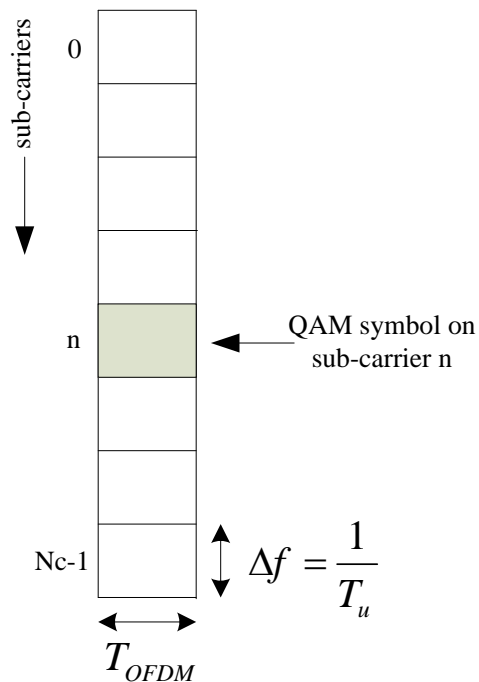
名义带宽 (MHz)	1.4	3	5	10	15	20
RB数目	6	15	25	50	75	100
实际占用带宽 (MHz)	1.08	2.7	4.5	9	13.5	18

- 占用带宽 = 子载波间隔 x 每RB的子载波数目 x RB数目
- 子载波间隔 = 15KHz
- 每RB的子载波数目 = 12

注:目前协议规定RB数最大可达110个

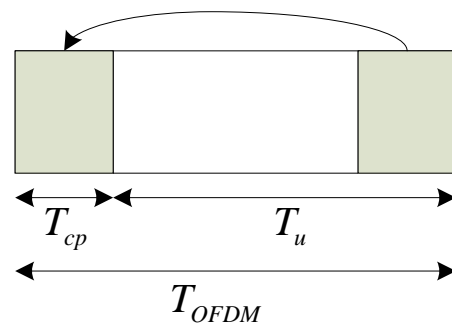
OFDM主要参数

- 采样频率 F_s
- 采样周期 T_s
- 子载波间隔 Δf
- 有用符号时间 T_u
- 循环前缀时间 T_{cp}
- OFDM符号时间 T_{OFDM}
- 可用子载波数目 N_c



(a)频域描述

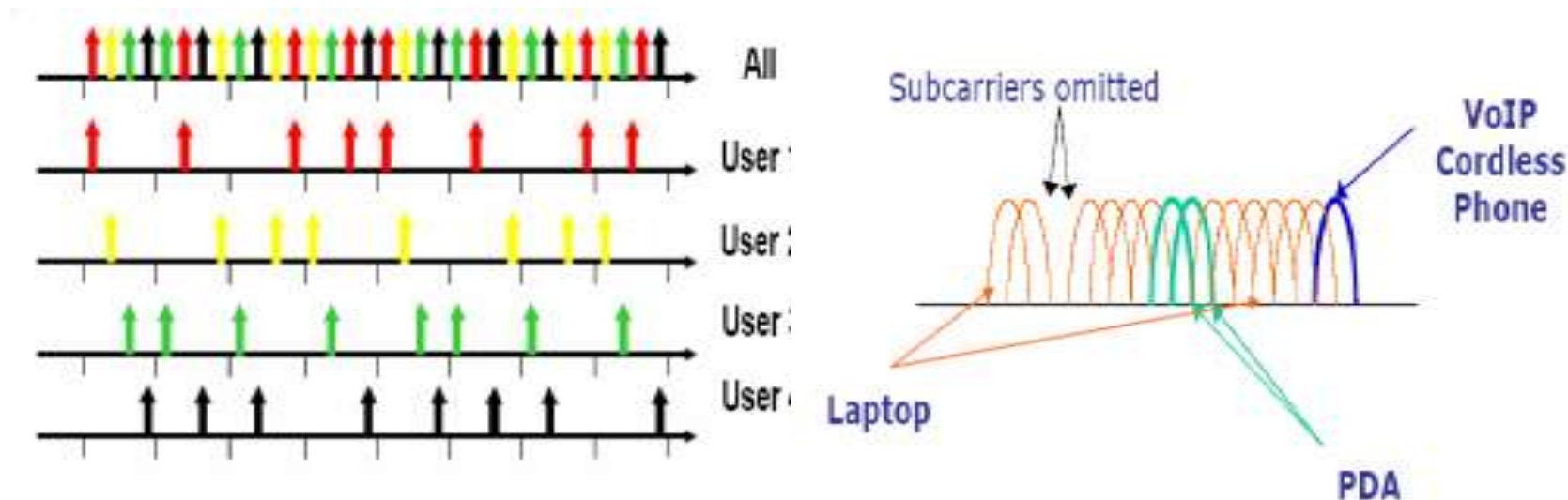
$$\Delta f = \frac{F_s}{N_{FFT}}$$



(b)时域描述

关键参数： Δf , T_{cp} 以及 N_c
采样频率以及FFT点数与实现相关

OFDM技术优越性-可变带宽



- 可变带宽的OFDMA 能够平衡抗多径能力与多普勒的影响
- 可变带宽的OFDMA通过使用相同的子载波间隔能够简化系统设计
符号宽度
- 可扩展的结构，支持的可变带宽从1.25到20MHz
- 灵活的子信道分配，
- 多用户接入保证正交，可减少干扰增加容量
- 精确的带宽分配

OFDM技术的优势



■ 频谱效率高

- **OFDM**采用多载波方式避免用户的干扰，只是取得用户间正交性的一种方式，“防讳于未然”的一种方式
- **CDMA**采用等干扰出现后用信号处理技术将其消除，例如信道均衡、多用户检测等；以恢复系统的正交性
- 相对单载波系统(CDMA)来说，多载波技术(OFDM)是更直接的实现正交传输的方法

■ 带宽扩展性强-----决定性优势

- OFDM信道带宽取决于子载波的数量
- CDMA只能通过提高码片速率或者多载波方式支持更大带宽，使得接收机复杂度大幅度上

■ 抗多径衰落

- 相对于CDMA系统，OFDMA系统是实现简单均衡接收机的最直接方式

OFDM技术的优势



■ 频域调度及自适应

- OFDM可以实现频域调度，相对CDMA来说灵活性更高
- 可以在不同的频带采用不同的调制编码方式，更好的适应频率选择性衰落

■ 实现MIMO技术较简单

- MIMO技术的关键：有效避免天线之间的干扰以区分多个数据流
- 水平衰落信道中实现MIMO更容易



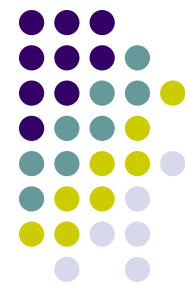
提纲

- 下行OFDM
- 上行SC-FDMA
- MIMO
- HARQ
- 信道调度
- 链路自适应
- 小区间干扰消除



峰均比PAPR

- 在OFDM多载波调制中，由于多路信号在频域的并行传输，叠加后形成的时域输出信号具有较大的动态范围，即峰均比（信号功率峰值与均值之比）。
- 由于基站功率放大器的能力较强，在下行方向上峰均比不会成为影响系统性能的主要问题。但是在上行方向上，考虑到终端的成本和功率效率，使用具有单载波特性的发送信号，即较低的峰均比，具有重要的意义。



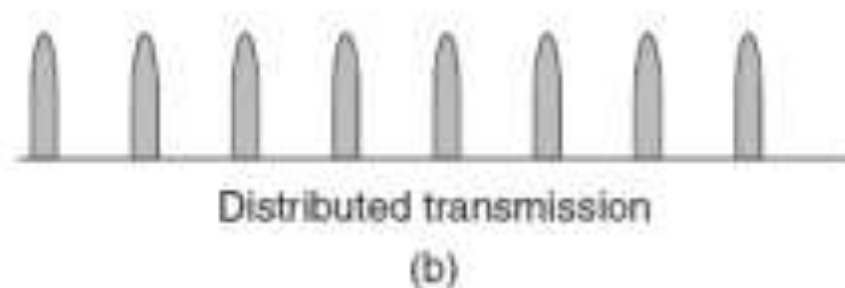
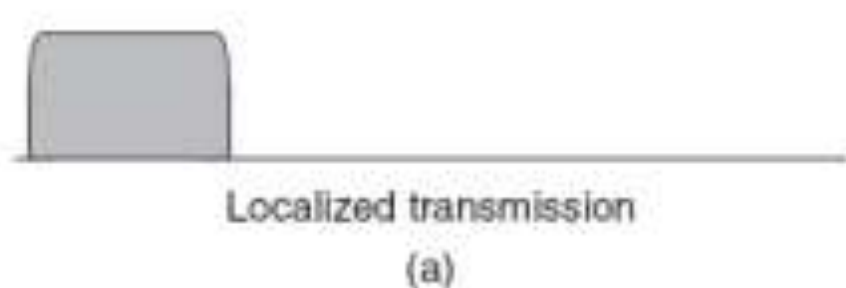
上行多址接入技术

- 为了避免过高PAPR，LTE上行采用单载波频分多址（**SC-FDMA**）技术。
- 它是相对于OFDMA提出的一种多址方案，可以降低上行发射信号的PAPR。
- **SC-FDMA**在每个传输时间间隔内，基站会没给**UE**分配一个独立的频段，保证了小区内同一时刻不同用户所使用上行载波的正交性，避免了小区内的同频干扰。
- 同样采用了**15kHz**的子载波带宽，以及不同子载波数目实现可变的系统带宽。



单载波频分复用 SC-FDMA

- 在LTE中定义的单载波传输是指其时域信号包络符合单载波特性，从而可以获得较低的PAPR。
- **Distributed**单载波传输在更宽的频带上传输，可以获得更大的频域分集增益，但由于不同用户的子载波交错放置，一旦子载波频域偏离，会产生较严重的用户间干扰。对同步误差和多普勒频偏比较敏感。
- **Localized**单载波传输，出现了由于频率误差造成了用户间干扰，受影响只有边缘子载波，较强的抗频偏能力，但频域分集增益较小。

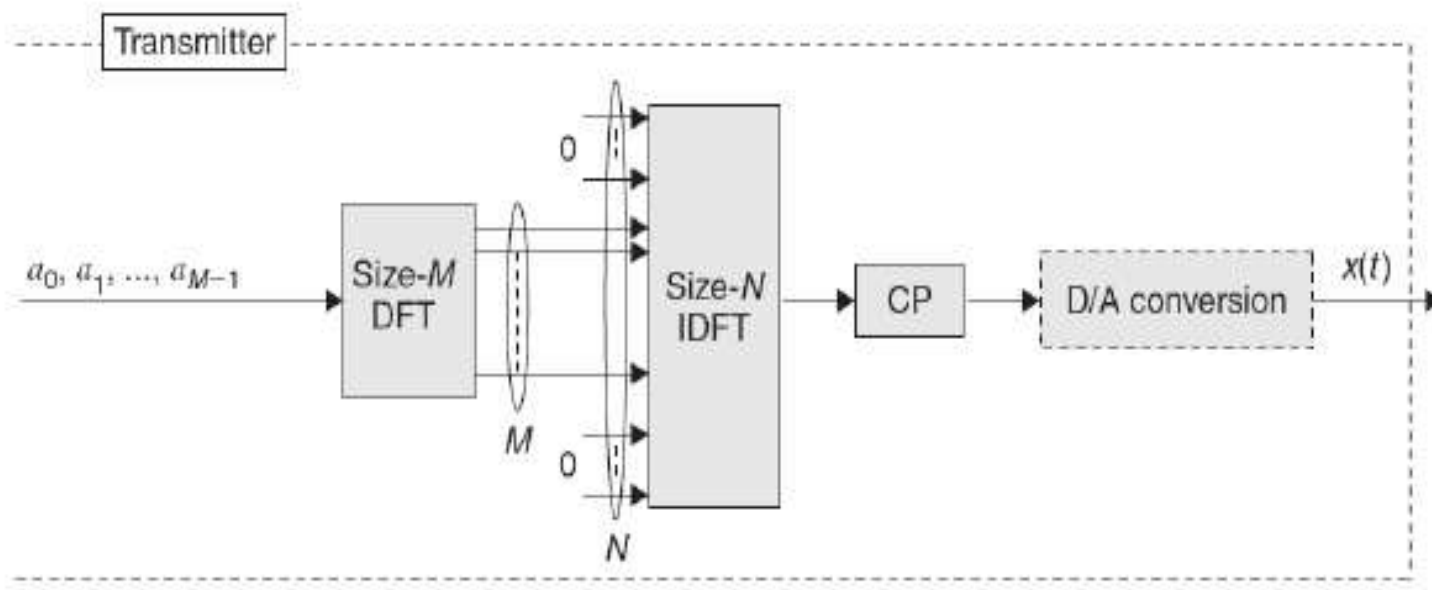


上行传输技术



• 上行传输方案选择：DFT-S-OFDM

信道编码/
交织/加扰
/QAM调制



- 上行采用sc-fdma，发送端并行数据先进行dft变换，分配到不同载波上的已经是傅里叶变换后的数据的频域参数，再进行idft变换，数据重新变回时域数据，所以数据的时域顺序不变。
- 从直观上来理解，多个并行且不相关的随机信号通过IFFT变换之后其输出信号PAPR会增大，而DFT预编码则会抵消或者部分抵消IFFT的作用，从而降低PAPR。

LTE上行SC-FDMA多址方式



- 利用DFTS-OFDM的特点可以方便的实现SC-FDMA多址接入方式，多用户复用频谱资源时只需要改变不同用户DFT的输出到IDFT输入的关系就可以实现多址接入，同时子载波之间具有良好的正交性，避免了多址干扰。

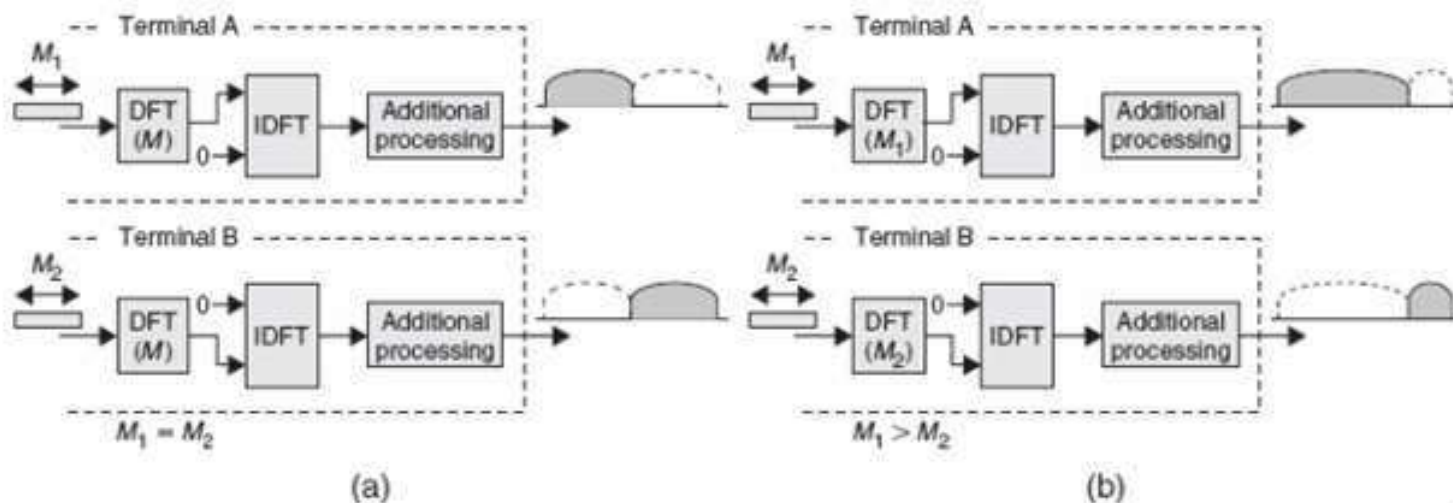


图 1-17 基于 DFTS-OFDM 的频分多址

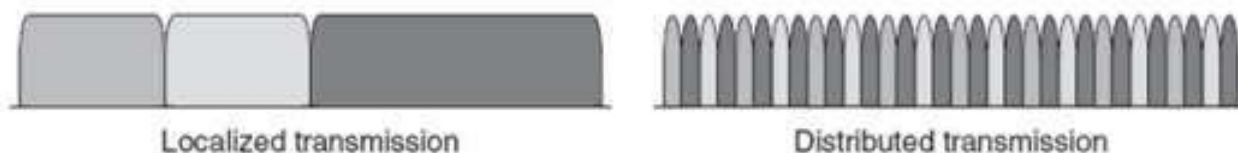
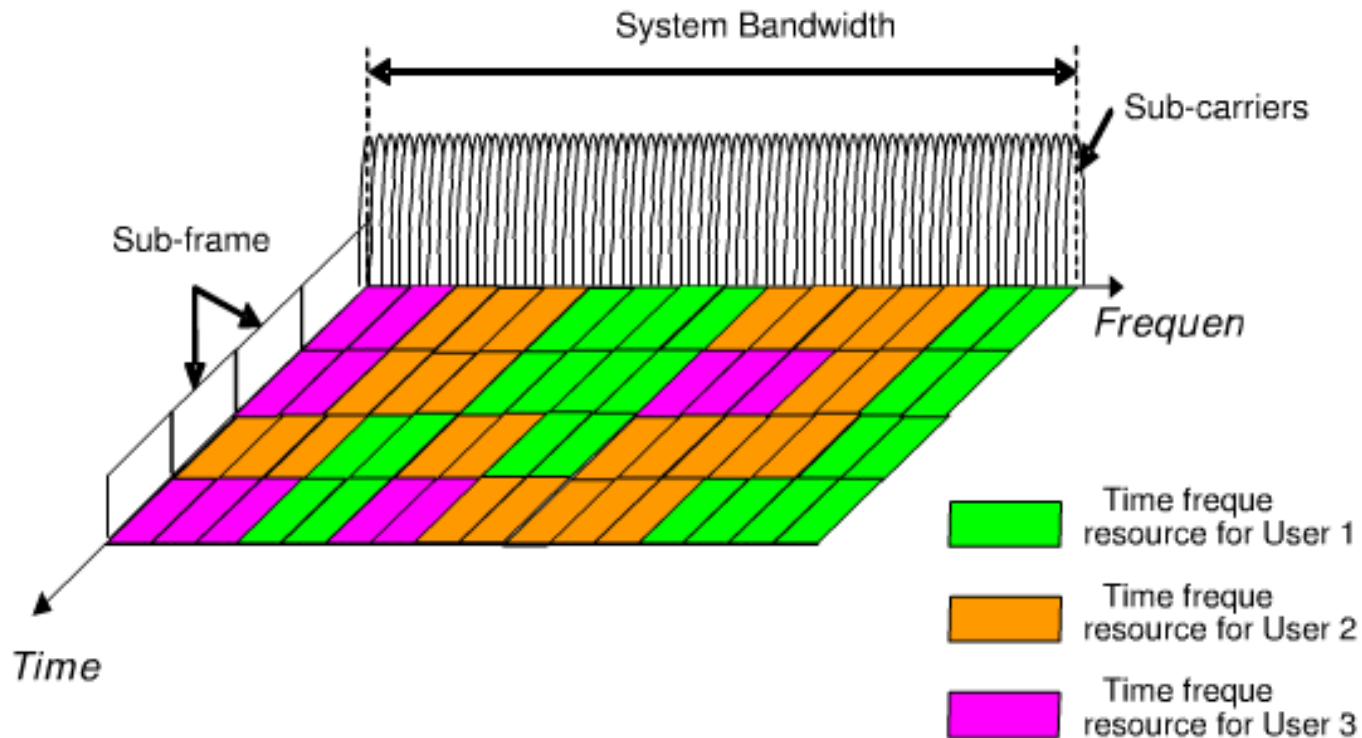


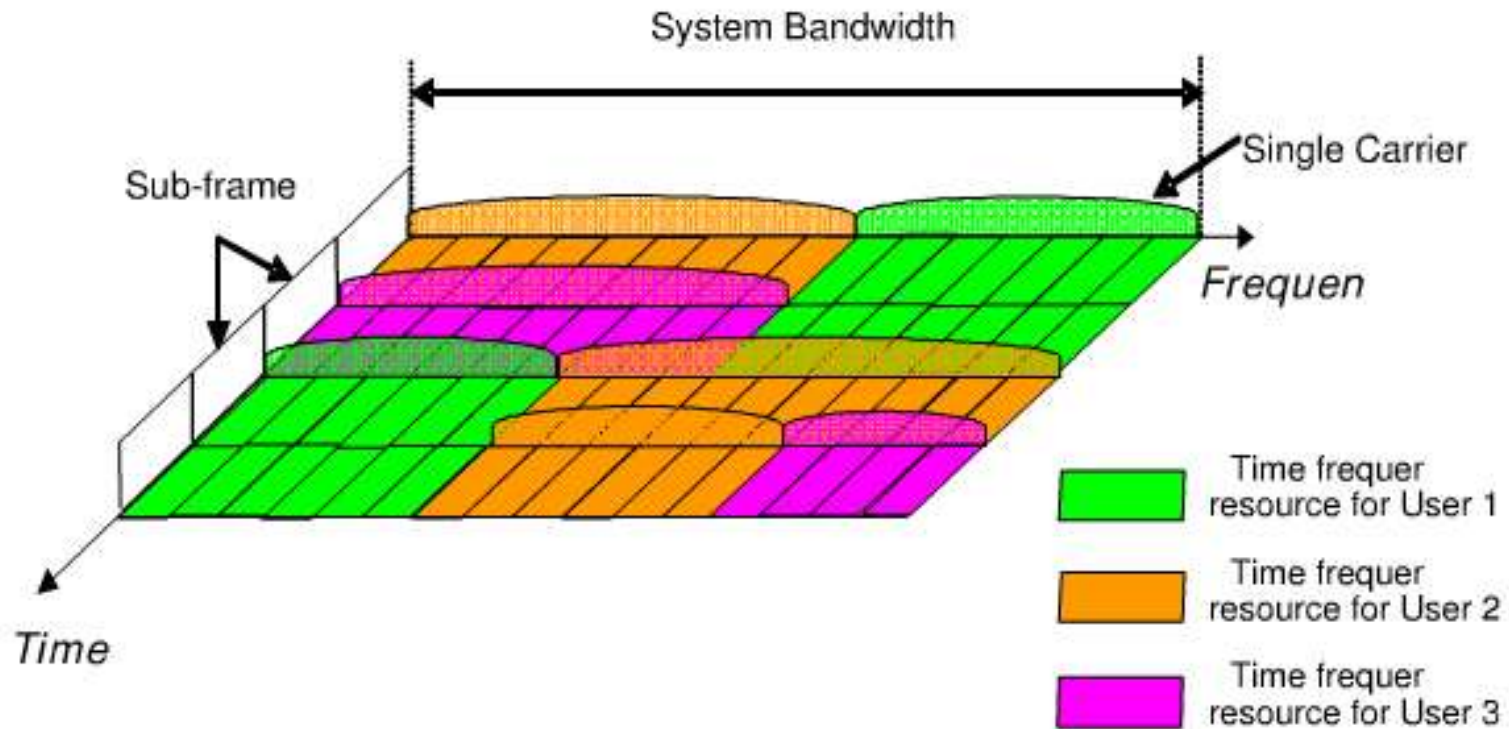
图 1-18 基于 DFTS-OFDM 的集中式、分布式频分多址

OFDM



A resource block (RB) spans 12 subcarriers over a slot duration of 0.5 ms.

SC-FDMA



问题



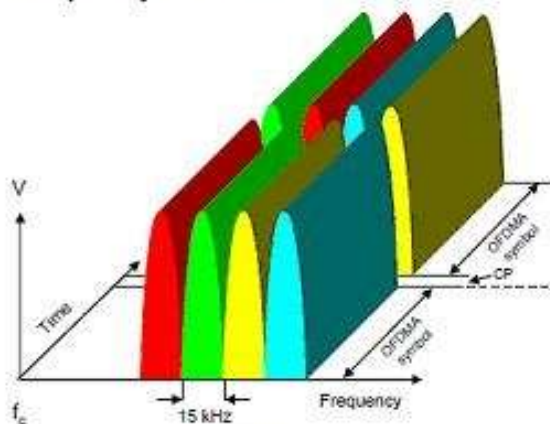
- 1.为什么SC-FDMA称之为单载波？
- 2.为什么SC-FDMA的PARP较低？

解释之一



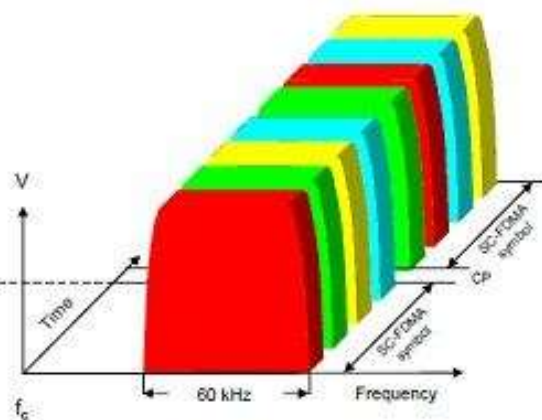
Comparing OFDM and SC-FDMA QPSK example using N=4 subcarriers

The following graphs show how this sequence of QPSK symbols is represented in frequency and time



OFDMA

Data symbols occupy 15 kHz for one OFDMA symbol period



SC-FDMA

Data symbols occupy N*15 kHz for one SC-FDMA symbol period
<http://myzhan.com>

上图在频域和时域中显示了OFDMA和SC-FDMA如何发送一个8 QPSK符号序列。在OFDMA示例中，**4个符号是并行发送的**，每个符号都在适当的QPSK相位上调制各自的子载波。一个OFDMA符号周期内，每个数据符号占用15kHz。在符号周期尾部，在传送4个新符号的下一个符号周期到达之前，插入一个防护间隔，其中包含循环前缀。

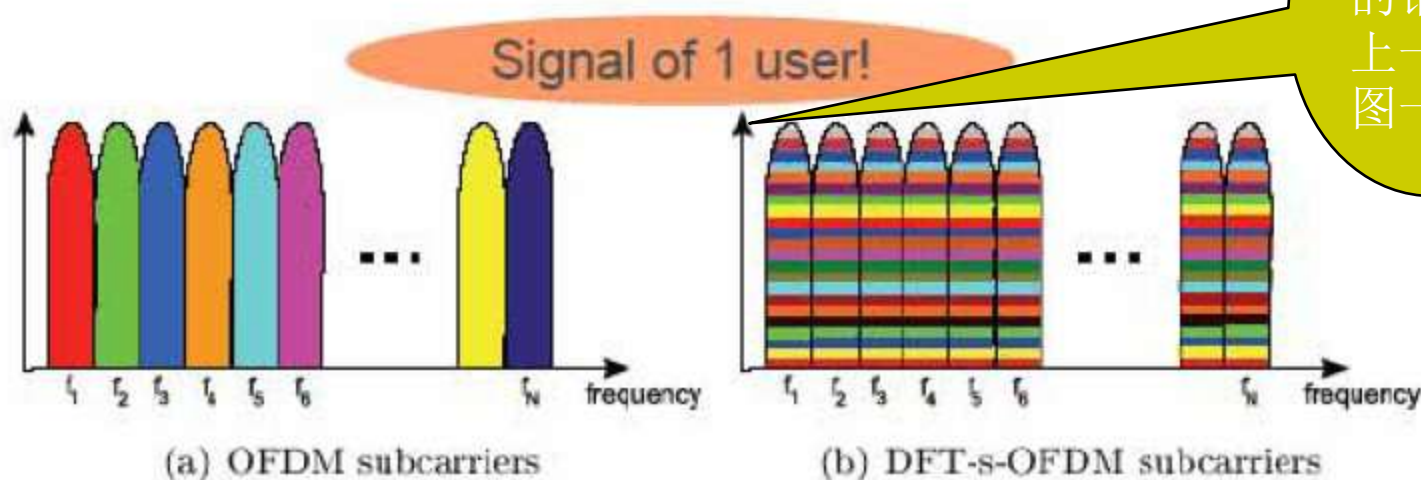
在SC-FDMA中，**数据符号是按顺序发送的**。因为本例中有4个子载波，所以要在一个SC-FDMA符号周期内连续发送4个数据符号。数据速率较高的符号需要4倍带宽，所以每个数据符号占用60kHz而不是15kHz的频谱。发送完4个数据符号之后，插入CP。（注，OFDMA与SC-FDMA的符号周期相同。）

解释之二

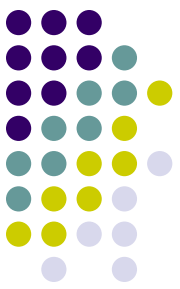


❖ In principle similar to OFDMA, BUT:

- In OFDMA, each sub-carrier only carries information related to one specific symbol
- In SC-FDMA, each sub-carrier contains information of ALL transmitted symbols



因为上行在做资源映射之前，做了一次**DFT**，相当于把时域的信号先扩展到所分配的频域资源上，再做**IFFT**，从而变换到时域，经过这两个过程后，实际上**开始的一个时域上的符号，已经映射到所分配的所有频域资源上了，而在时域上被压缩了**，这看起来就像一个单载波的信号，所以不再是单纯的一个符号了，它包含了多个符号的信息。由于在同一时刻来说只有一个符号了，那么也就不存因为多载波而造成**PAPR**了。



Why not CDMA?

- ❖ **OFDM**更有利于带宽扩展，不同的**FFT**数目 \Leftrightarrow 不同带宽
- ❖ 专利：限制**CDMA**发展
- ❖ **OFDM**抗多径干扰：串并 \Rightarrow 数据符号持续长度相对增加
- ❖ 与**MIMO**技术更容易结合
- ❖ 多址更方便
- ❖ 可以在各个子载波上自适应调制**or**功率分配等



提纲

- 下行OFDM
- 上行SC-FDMA
- MIMO
- HARQ
- 信道调度
- 链路自适应
- 小区间干扰消除



多天线技术MIMO

- MIMO 表示多输入多输出。MIMO系统在发射端和接收端均采用多天线(或阵列天线)和多通道。传输信息流 $\mathbf{s}(k)$ 经过空时编码形成 N 个信息子流 $\mathbf{c}_l(k)$, $l=1, \dots, N$ 。这 N 个子流由 N 个天线发射出去, 经空间信道后由 M 个接收天线接收。
- 利用MIMO技术可以提高信道的容量, 也可以提高信道的可靠性, 降低误码率。前者是利用MIMO信道提供的空间复用增益(称为空间复用), 后者是利用MIMO信道提供的空间分集增益(称为发射分集)。



空间复用、传输分集

- 空间复用：利用空间信道的弱相关性，在多个互相独立的空间信道上传递不同的数据流，从而提高数据传输的峰值速率。
- 传输分集：利用空间信道的弱相关性，结合时间、频率上的选择性，为信号传递提供更多的副本，提高信号传输的可靠性，从而改善接收信号的信噪比。
- 波束赋形：应用于小间距天线阵列的多天线传输技术，主要原理是利用空间信道的强相关性，利用波的干涉原理产生强方向的辐射方向图，对准用户方向，从而提高信噪比，提高覆盖和容量。



LTE系统的天线配置

■ 下行

- 利用公共天线端口，**LTE**系统可以支持单天线发送（**1x**），双天线发送（**2x**）以及4天线发送（**4x**），从而提供不同级别的传输分集和空间复用增益
- 利用专用天线端口以及灵活的天线端口映射技术，**LTE**系统可以支持更多发送天线，比如**8**天线发送，从而提供传输分集、空间复用增益同时，提供波束赋形增益

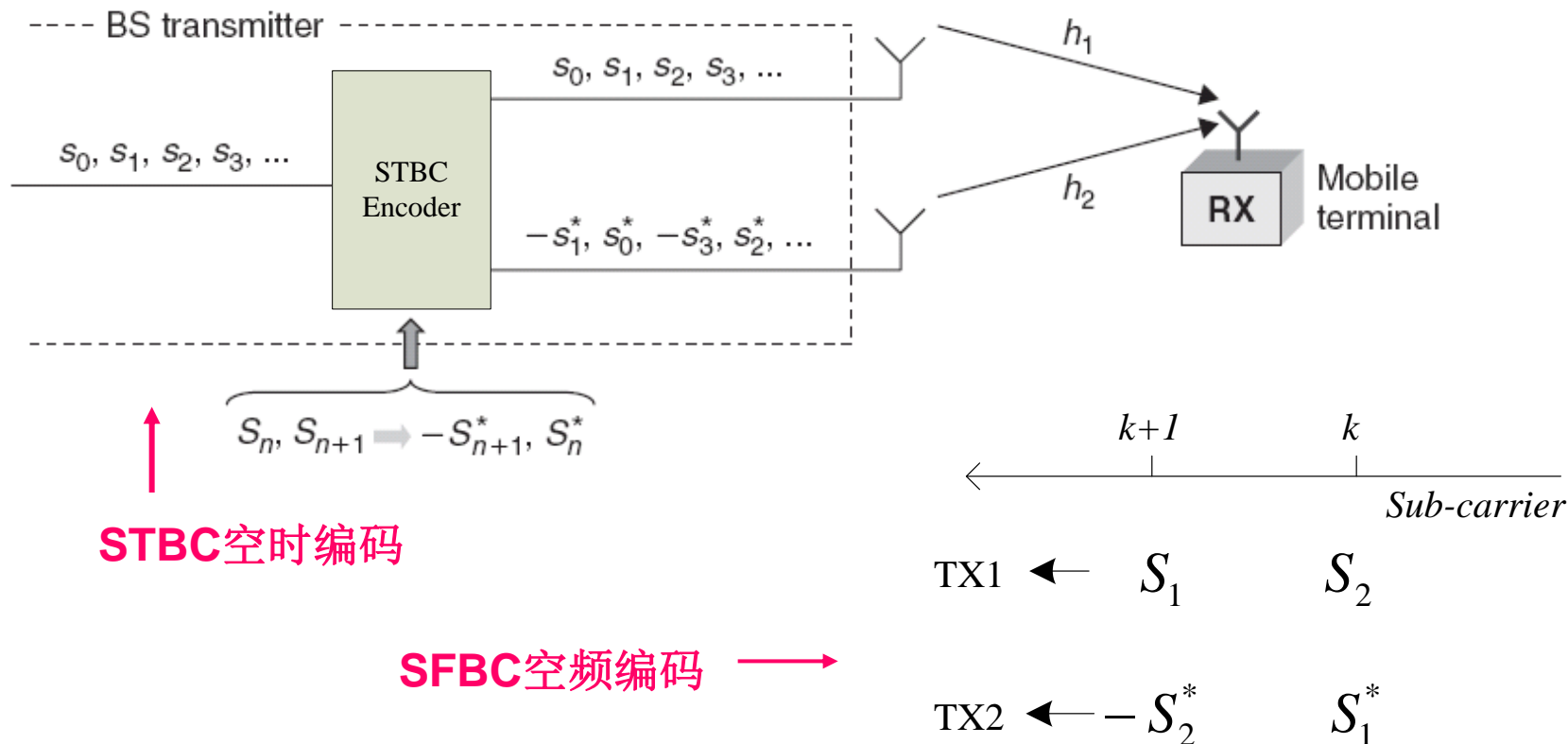
■ 上行

- 目前，**LTE**系统上行仅支持单天线发送
- 可以采用天线选择技术提供空间分集增益
- 由于担心终端实现时复杂度过高，目前**LTE**中上行为**2**收**1**发，所以上行仅仅支持 上行传输天线选择和多用户**MU-MIMO**

传输分集



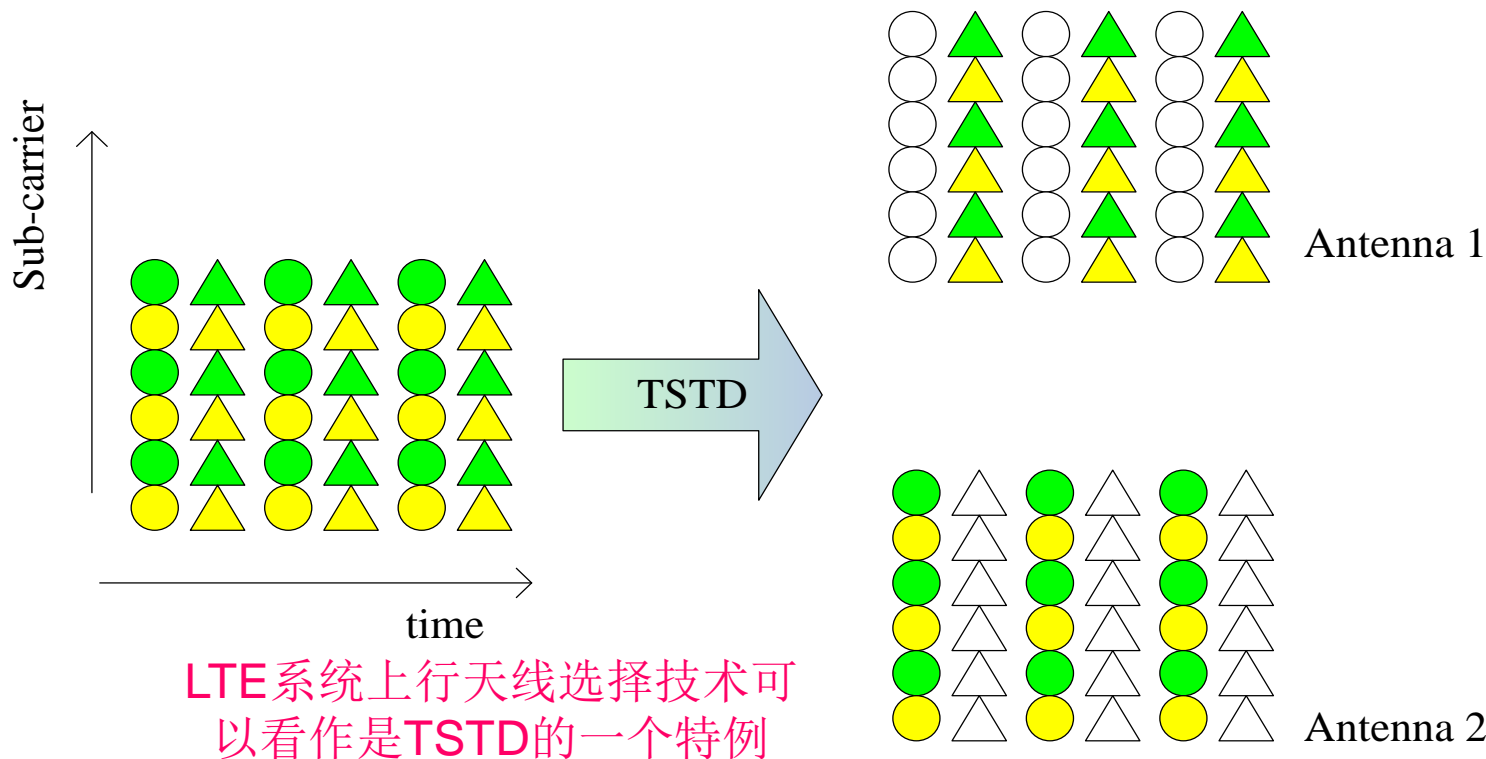
■ ST/FBC



LTE系统中在2天线端口发送情况下的传输分集技术确定为SFBC

传输分集

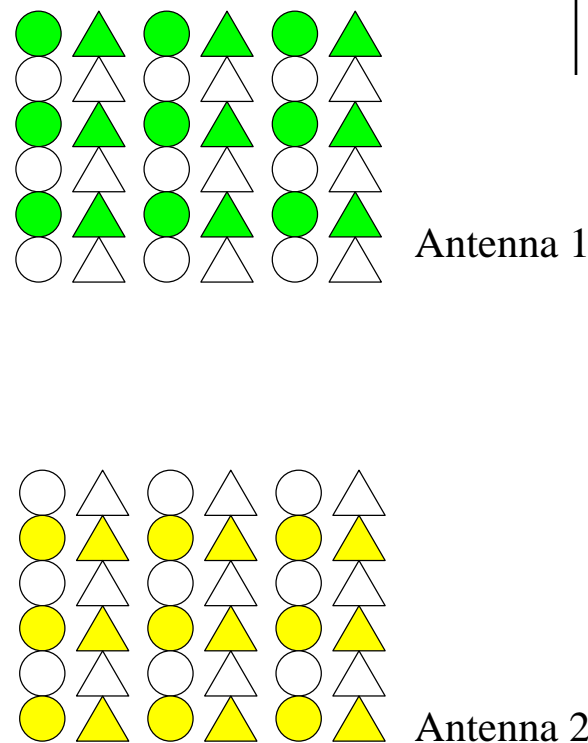
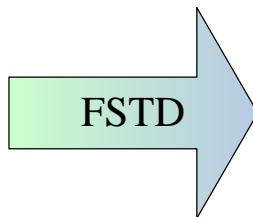
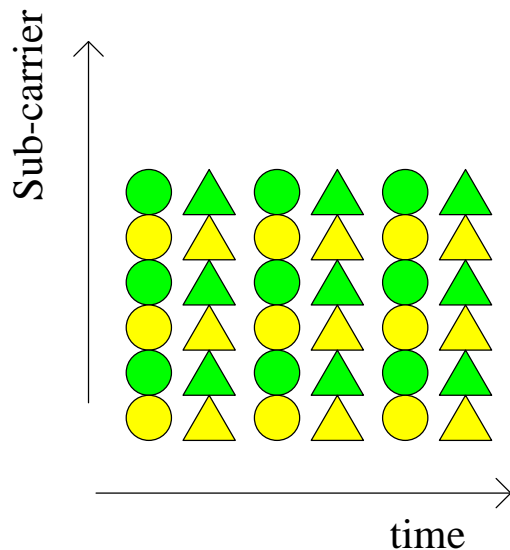
■ TSTD时间切换传输分集



- 天线切换分集技术即当发射端存在多根传输天线时，从时间上或者频率上按照一定的顺序依次选择其中一根天线进行传输的技术。
- 如果在不同的时间上进行天线的切换，即时间切换传输分集（TSTD，Time Switched Transmit Diversity）；

传输分集

■ FSTD



LTE系统并没有直接采用FSTD技术，而且与其他传输分集技术结合起来使用

- 如果在不同的子载波上进行天线的切换，即频率切换传输分集（FSTD，Frequency Switched Transmit Diversity）技术。



空间复用



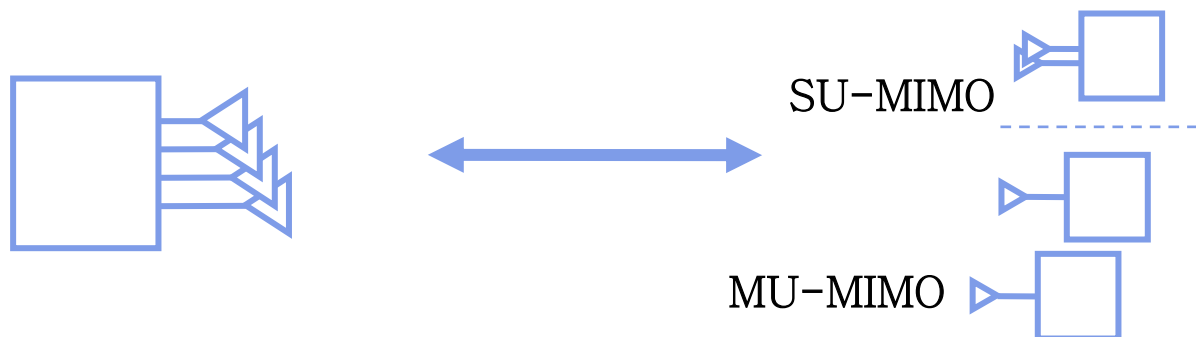
SISO



MISO



SIMO



SU-MIMO

MU-MIMO

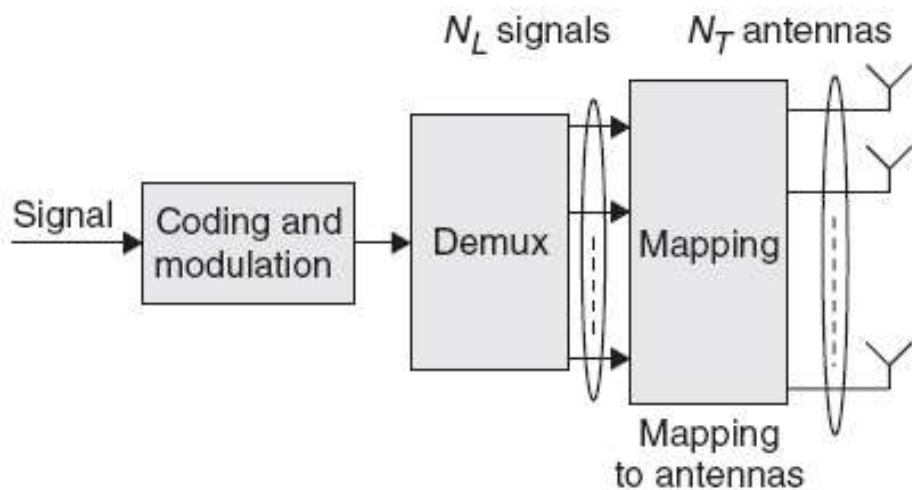
MIMO

空间复用

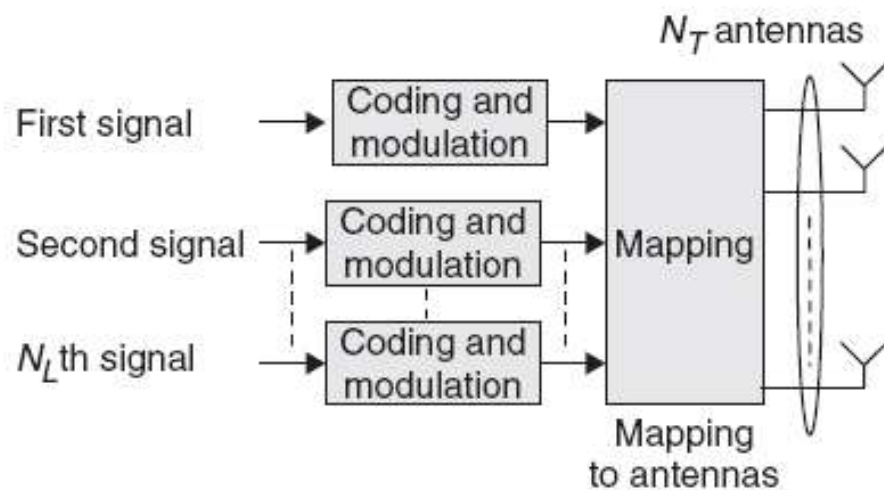


■ 多码字传输

- 多码字传输即复用到多根天线上的数据流可以独立进行信道编码和调制
- 单码字传输是一个数据流进行信道编码和调制之后再复用到多根天线上
- LTE支持最大的码字数目为2



单码字



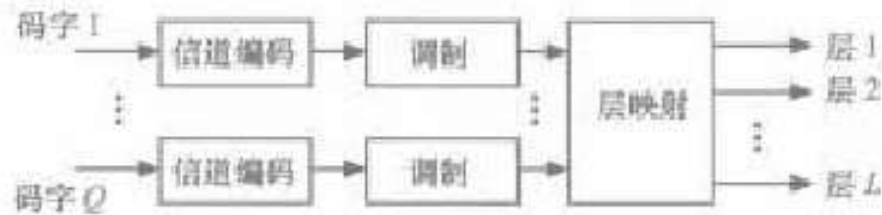
多码字

基于预编码的空间复用



■ 在空间复用传输之前，多个数据流使用一个线性的预编码矩阵或者向量进行预编码操作。

■ **L**为空间复用传输的层数目，**LTE**系统支持的最大层数目为**4**，而**LTE**支持的最大码字数目为**2**。码字和层存在一对多的映射关系。

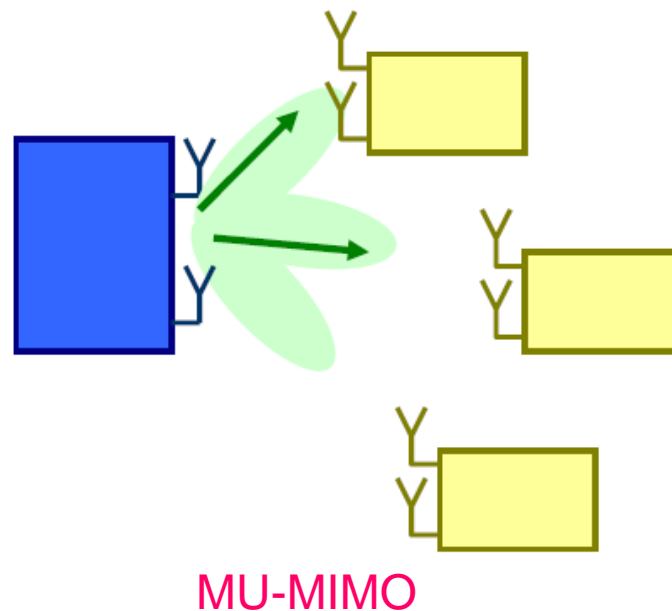
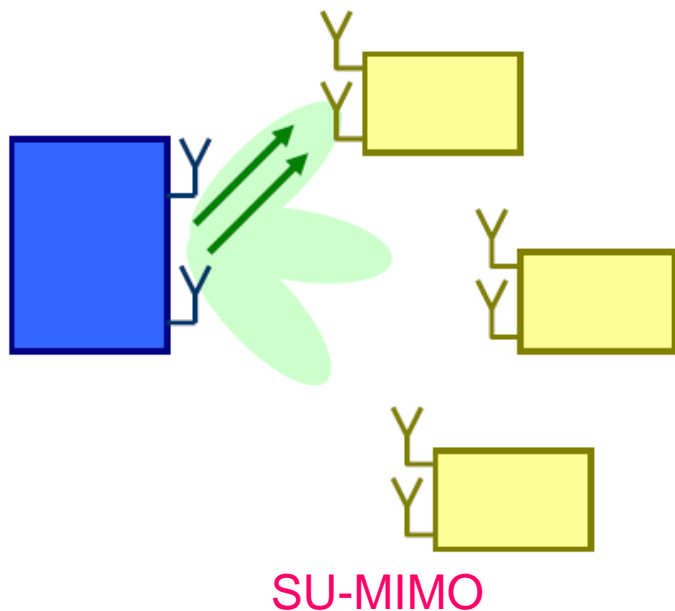


层数目 (L)	码字数目 (Q)	映射关系
1	1	第1码字→第1层
2	2	第1码字→第1层 第2码字→第2层
3	2	第1码字→第1层 第2码字→第2层和第3层
4	2	第1码字→第1层和第2层 第2码字→第3层和第4层

下行MU-MIMO



- 当基站将占用相同时频资源的多个数据流发送给同一个用户时，即为单用户**MIMO**，**SU-MIMO**，空分复用。
- 当基站将占用相同时频资源的多个数据流发送给同不同用户时，即为多用户**MIMO**，**MU-MIMO**，空分多址。

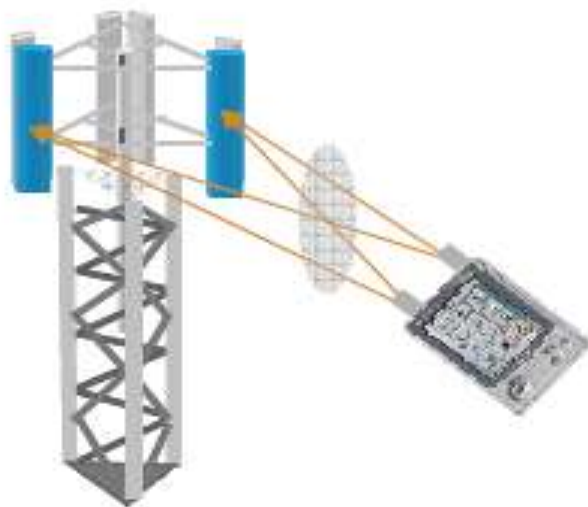


上行MU-MIMO

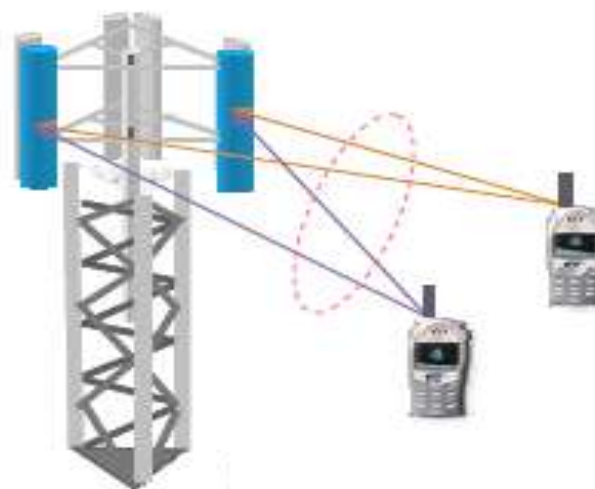


■ 上行**MU-MIMO**: 不同用户使用相同的时频资源进行上行发送（单天线发送），从接收端来看，这些数据流可以看作来自一个用户终端的不同天线，从而构成了一个虚拟的**MIMO**系统，即上行**MU-MIMO**

■ LTE上行仅仅支持**MU-MIMO**这一种**MIMO**模式



SU-MIMO



MU-MIMO

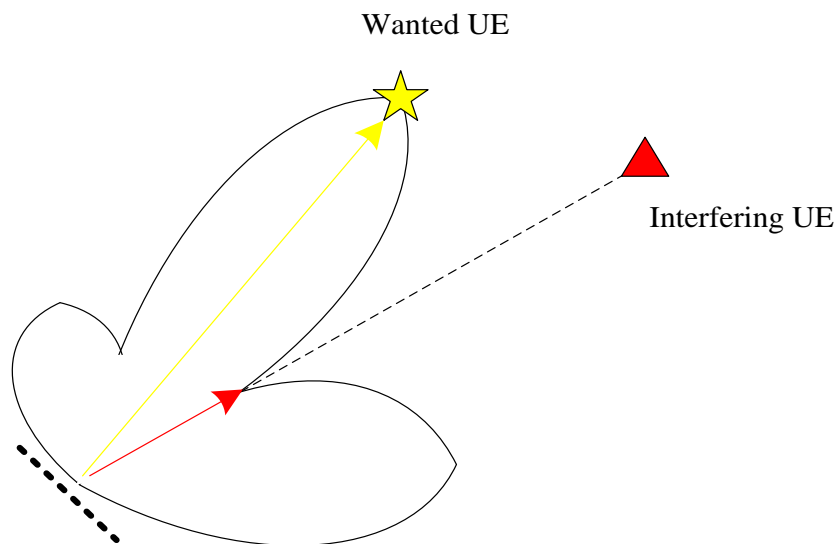
波束赋形



- 波束赋形技术要求使用小间距的天线阵列，且天线单元数目要足够多
- 波束赋形技术的实现方式是将一个单一的数据流通过加权形成一个指向用户方向的波束，从而使得更多的功率可以集中在用户的方向上
- 波束赋形技术可以充分的利用**TDD**系统的信道对称性

- **DOA**

- **SVD**

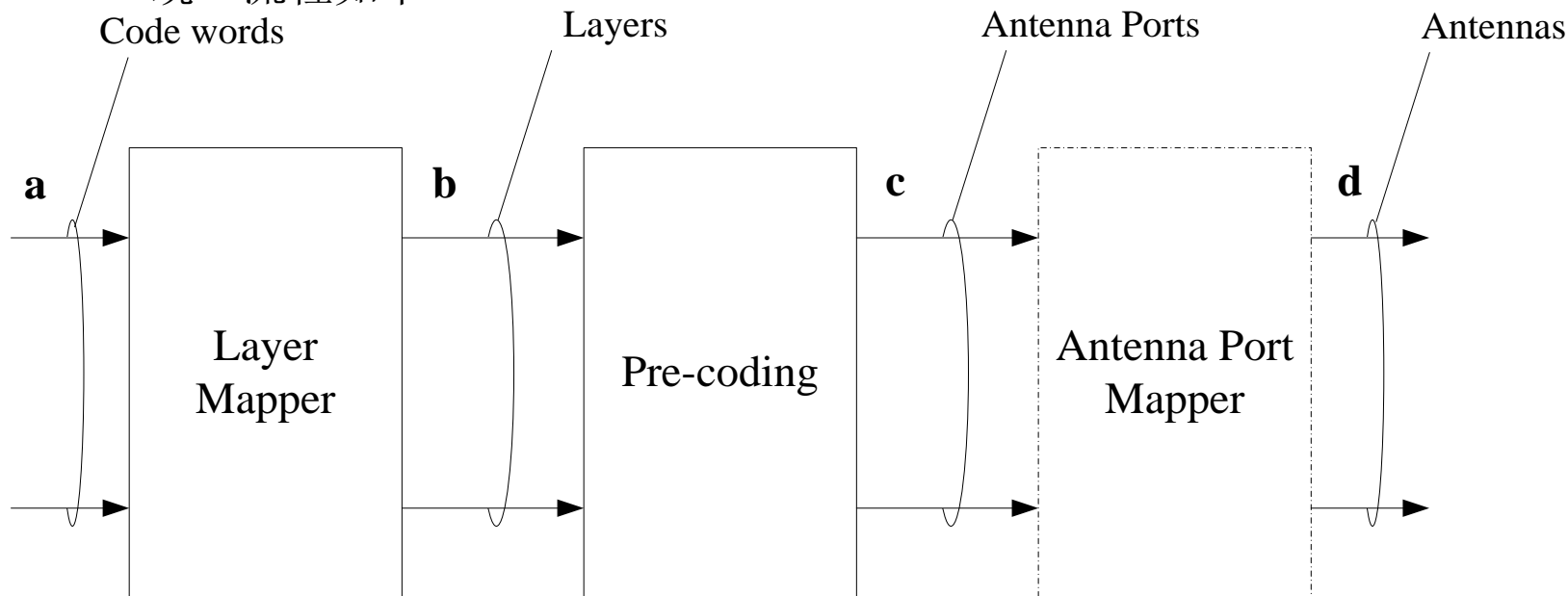


LTE多天线技术具体实现方式



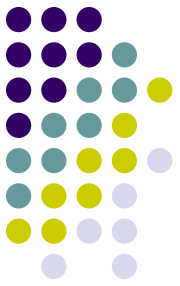
■ 主要在下行方向，上行方向虽然支持MU-MIMO，但是每一个UE来看，其与单天线传输没有区别

■ 统一流程如下



层（**Layer**）有不同的解释

在使用单天线传输、传输分集以及波束赋形时，层数目等于天线端口数目；在使用空间复用传输时，层数目等于空间信道的**Rank**数目，即实际传输的流数目



提纲

- 下行OFDM
- 上行SC-FDMA
- MIMO
- HARQ
- 信道调度
- 链路自适应
- 小区间干扰消除

HARQ基本概念



- **FEC**: 前向纠错编码
- **ARQ**: 自动重传请求
- **HARQ**: **ARQ+FEC**混合自动重传请求
 - 单路停等协议与多路并行停等协议
 - 同步HARQ协议与异步HARQ协议
 - 自适应的HARQ与非自适应的HARQ

HARQ RTT与进程数



■所谓停等，就是指使用某个HARQ进程传输数据包后，在收到反馈信息之前，不能继续使用该进程传输其它任何数据。

■单路停等协议的优点是比较简单，但是传输效率比较低，而采用多路并行停等协议，同时启动多个HARQ进程，可以弥补传输效率低的缺点。基本思想在于同时配置多个HARQ进程，在等待某个HARQ进程的反馈信息过程中，可以继续使用其它的空闲进程传输数据包。

■LTE采用多路并行停等协议

■ FDD: RTT 包括下行信号传输时间 T_P ，下行信号接收时间 T_{sf} ，下行信号处理时间 T_{RX} ，上行ACK/NACK传输时间 T_P ，上行ACK/NACK接收时间 T_{TX} ，上行ACK/NACK处理时间 T_{RX} ，即 $RTT = 2 * T_P + 2 * T_{sf} + T_{RX} + T_{TX}$

■ FDD:进程数等于 RTT 中包含的下行子帧数目，即 $N_{proc} = RTT / T_{sf}$

■ LTE FDD的 RTT 确定为8ms，最大进程数目为8

■对于TDD来说，其 RTT 大小不仅与传输时延、接收时间和处理时间有关，还与TDD系统的时隙比例、传输所在的子帧位置有关

HARQ定时关系



- ACK/NACK定时：对于子帧 n 中的数据传输，其ACK/NACK在 $n+k$ 子帧中传输，对于FDD， $k=4$ ，对于TDD， $k>3$ 。
- 重传与初传之间的定时关系：同步HARQ协议；异步HARQ协议
- LTE上行为同步HARQ协议：如果重传在预先定义好的时间进行，接收机不需要显示告知进程号，则称为同步HARQ协议
 - 根据物理HARQ指示信道PHICH传输的子帧位置，确定上行物理共享先到PUSCH的传输子帧位置
 - 与物理下行控制信道PDCCH→PUSCH的定时关系相同
- LTE下行为异步HARQ协议：如果重传在上一次传输之后的任何可用时间上进行，接收机需要显示告知具体的进程号，则称为异步HARQ协议



自适应/非自适应HARQ

- **自适应HARQ:** 自适应HARQ是指重传时可以改变初传的一部分或者全部属性，比如调制方式，资源分配等，这些属性的改变需要信令额外通知。
- **非自适应HARQ:** 非自适应的HARQ是指重传时改变的属性是发射机与接收机实现协商好的，不需要额外的信令通知
- LTE下行采用自适应的HARQ
- LTE上行同时支持自适应HARQ和非自适应的HARQ
 - 非自适应的HARQ仅仅由PHICH信道中承载的NACK应答信息来触发
 - 自适应的HARQ通过PDCCH调度来实现，即基站发现接收输出错误之后，不反馈NACK，而是通过调度器调度其重传所使用的参数

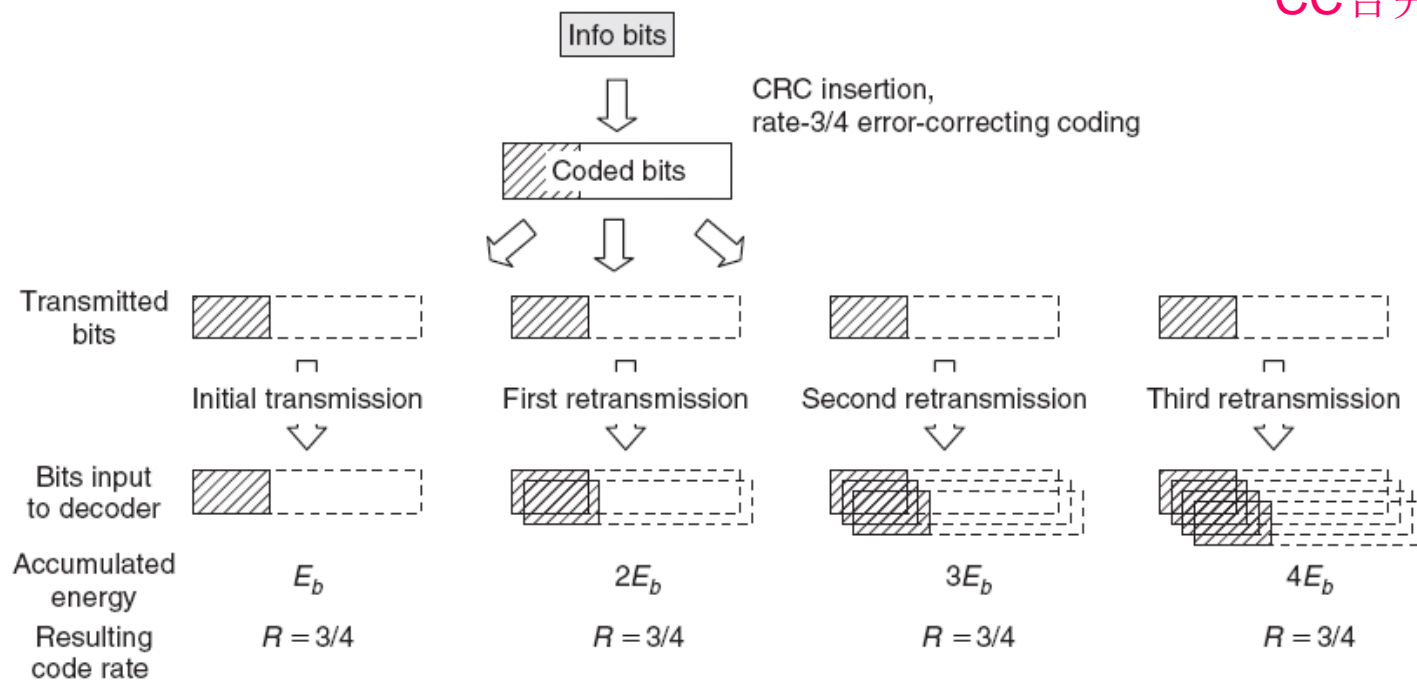
HARQ与软合并



■ 单纯HARQ机制中，接收到的错误数据包都是直接被丢掉的

■ **HARQ与软合并结合**：将接收到的错误数据包保存在存储器中，与重传的数据包合并在一起进行译码，提高传输效率

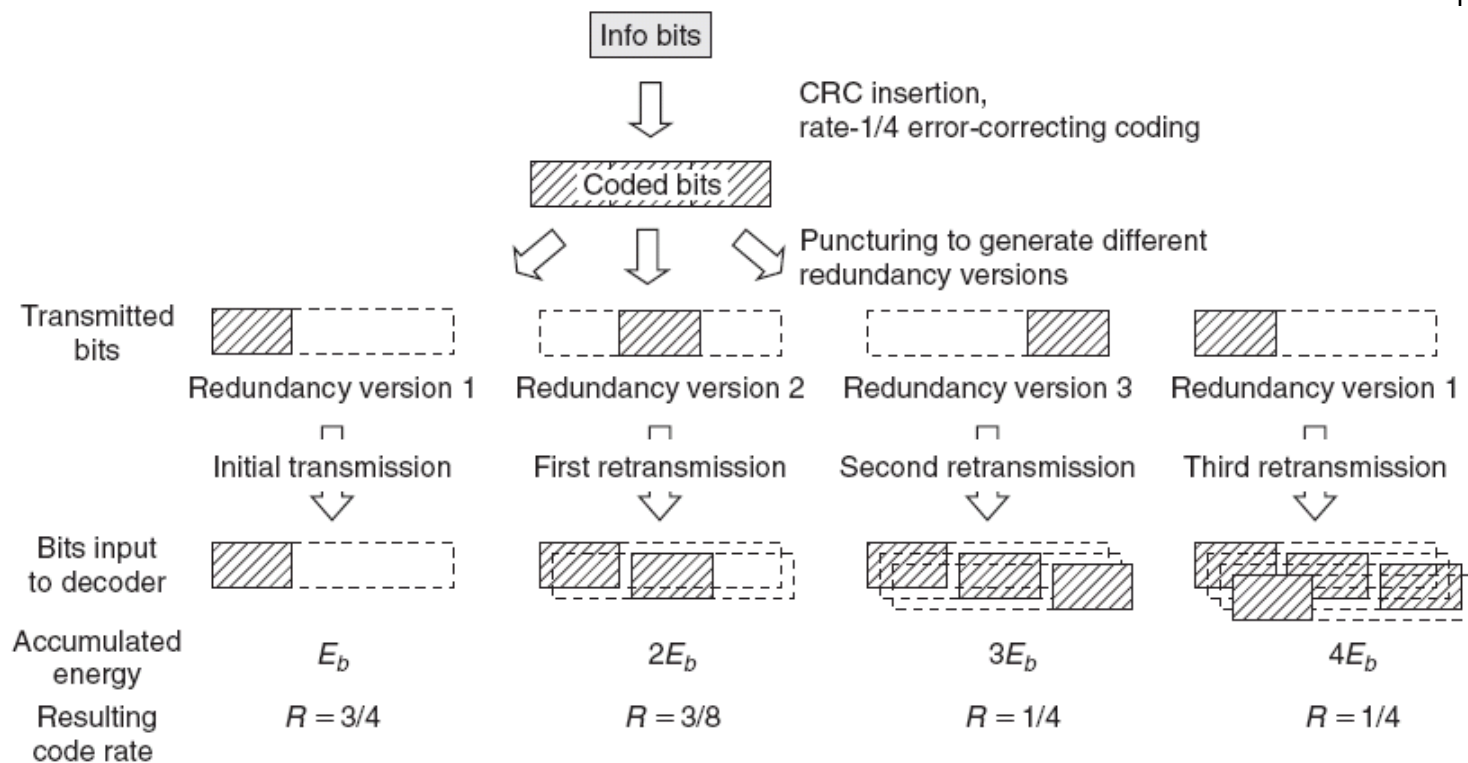
CC合并



HARQ与软合并



IR冗余递增合并



LTE支持使用IR合并的HARQ，其中CC合并可以看作IR合并的一个特例



提纲

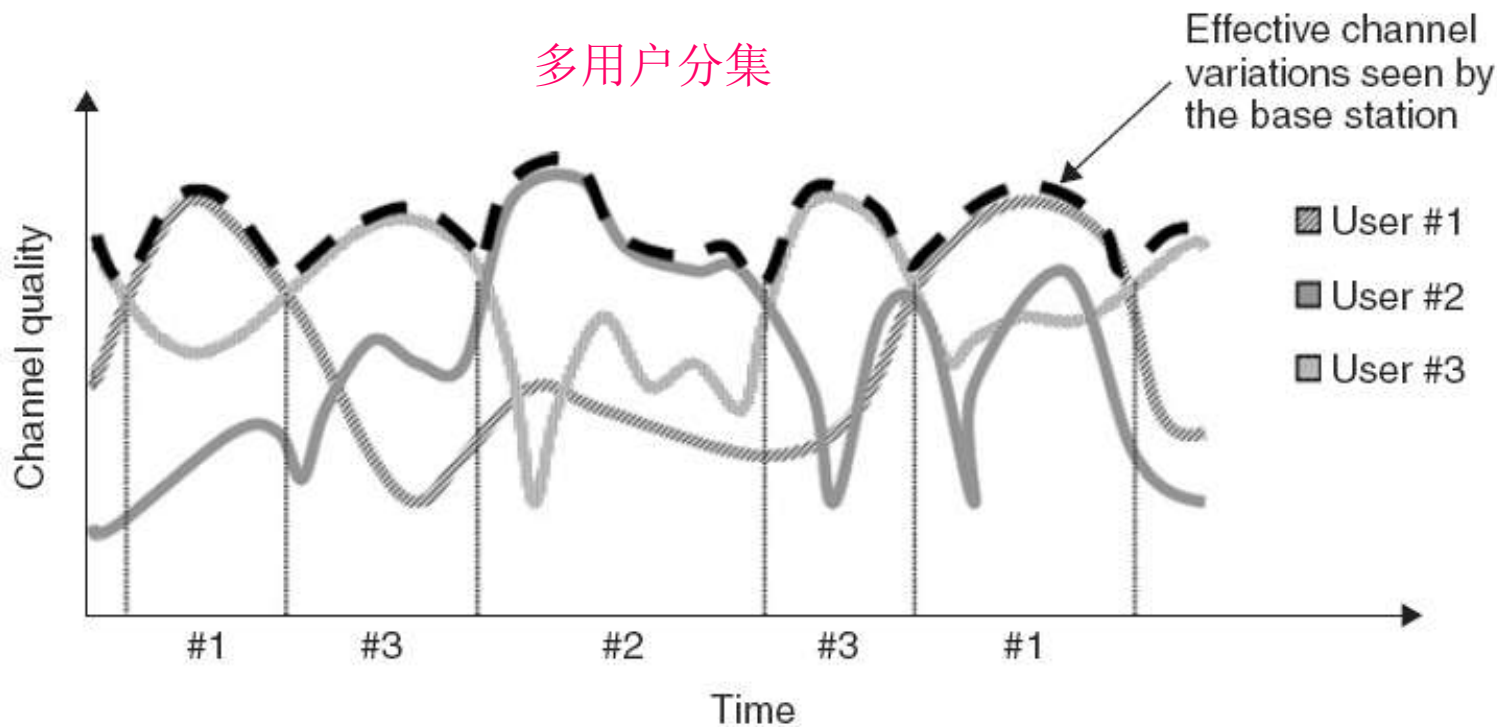
- 下行OFDM
- 上行SC-FDMA
- MIMO
- HARQ
- 信道调度
- 链路自适应
- 小区间干扰消除

信道调度



■ 基本思想

- 对于某一块资源，选择信道传输条件最好的用户进行调度，从而最大化系统吞吐量



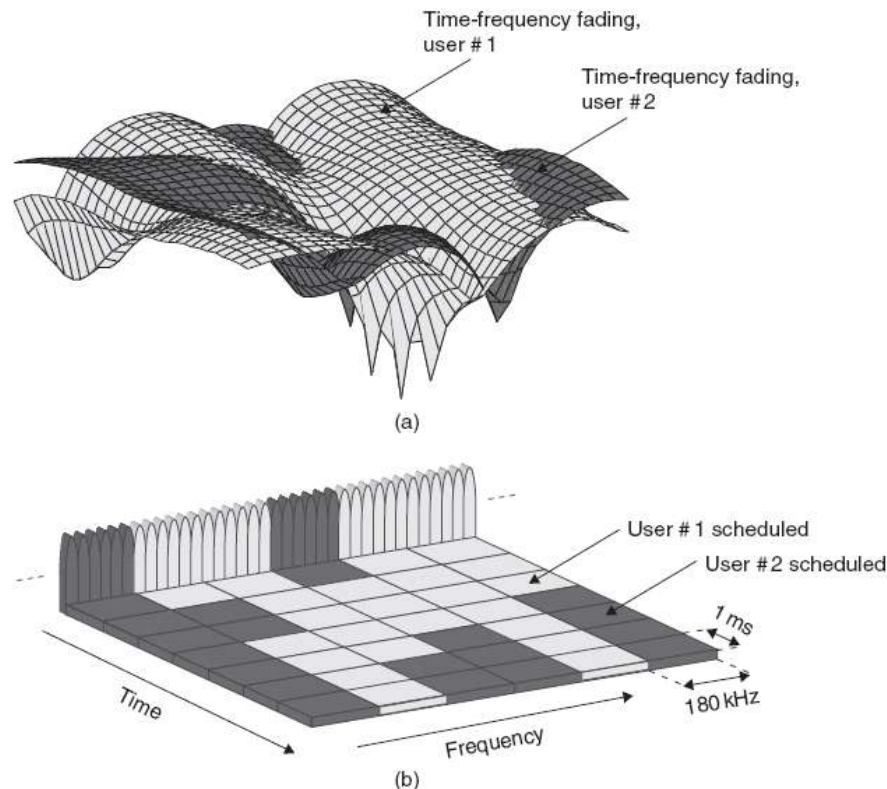
信道调度

■ LTE系统支持基于频域的信道调度

■ 相对于单载波CDMA系统，LTE系统的一个典型特征是在频域进行信道调度和速率控制，要求基站侧知道频域上不同频带的信道状态信息。

■ 对于下行可以通过测量全带宽的公共参考信号，获得不同频带的信道状态信息，量化为信道质量指示（CQI），并反馈给基站。

■ 对于上行可以通过测量终端发送的上行探测参考信号（SRS），获得不同频带的信道状态信息，进行频域上的信道调度和速率控制。





提纲

- 下行OFDM
- 上行SC-FDMA
- MIMO
- HARQ
- 信道调度
- 链路自适应
- 小区间干扰消除

链路自适应

- 速率控制
- 功率控制

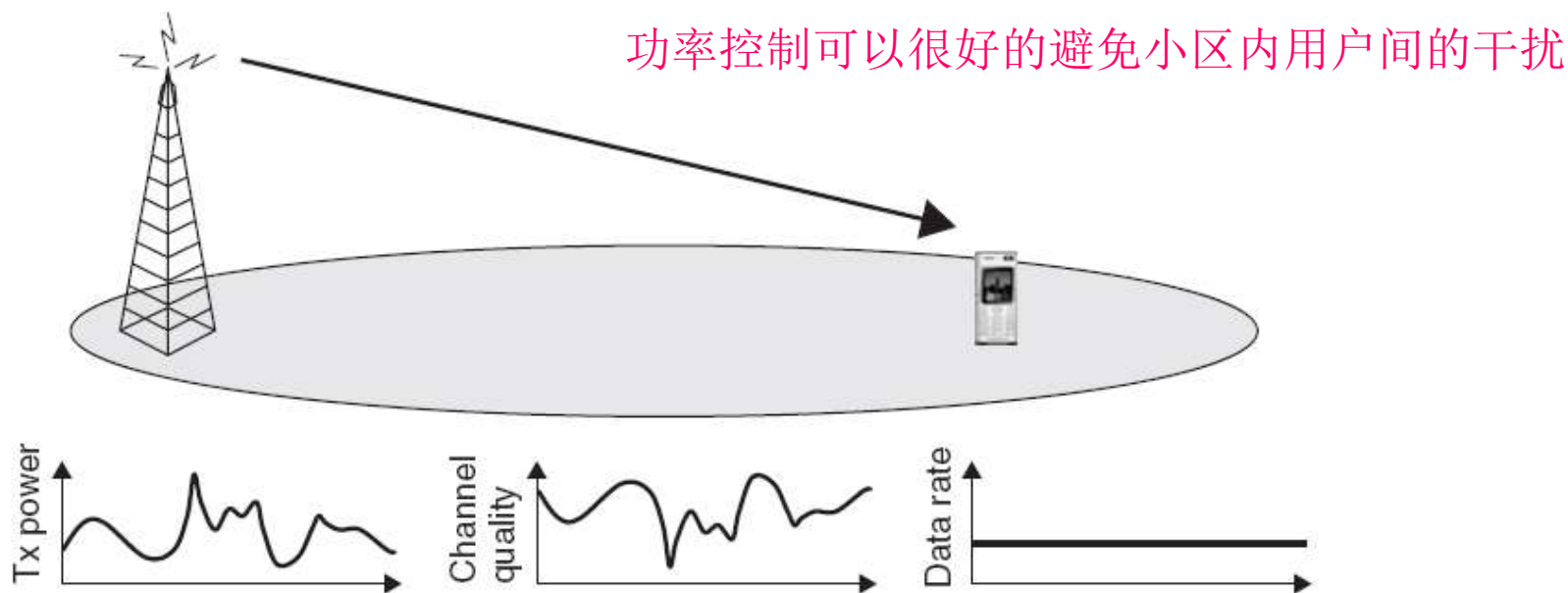
链路自适应技术一般指速率控制技术，即自适应调制编码技术



功率控制



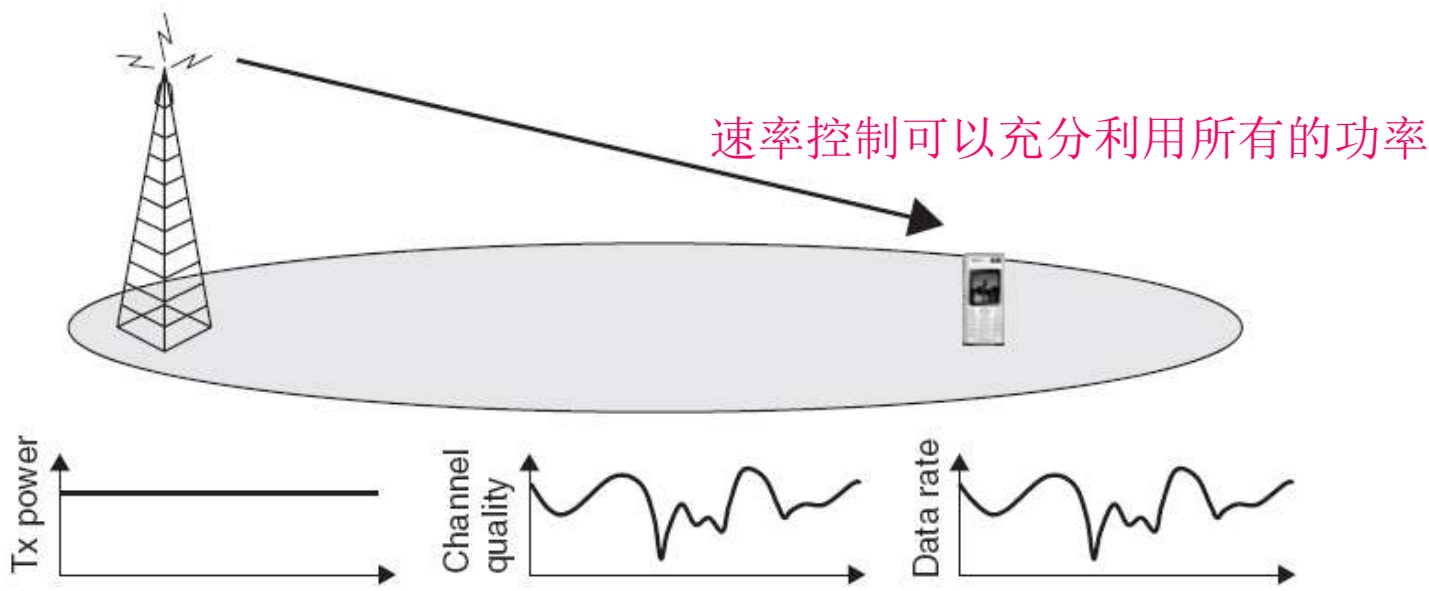
- 通过动态调整发射功率，维持接收端一定的信噪比，从而保证链路的传输质量
- 当信道条件较差时需要增加发射功率，当信道条件较好时需要降低发射功率，从而保证了恒定的传输速率



速率控制(即AMC)



- 保证发送功率恒定的情况下，通过调整无线链路传输的调制方式与编码速率，确保链路的传输质量
- 当信道条件较差时选择较小的调制方式与编码速率，当信道条件较好是选择较大的调制方式，从而最大化了传输速率
- LTE下行方向的链路自适应技术基于UE反馈的CQI，从预定义的CQI表格中具体的调制与编码方式
- LTE 上行方向的链路自适应技术基于基站测量的上行信道质量，直接确定具体的调制与编码方式





提纲

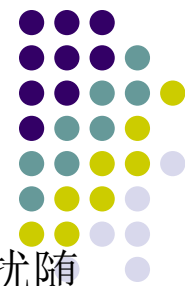
- 下行OFDM
- 上行SC-FDMA
- MIMO
- HARQ
- 信道调度
- 链路自适应
- 小区间干扰消除



小区间干扰消除

- 现有的移动通信系统提供的数据率在小区中心和小区边缘有很大的差异，不同的位置得到的服务质量有很大的差异，提高小区边缘的性能是新一代无线通信系统的主要需求。
 - 加扰
 - 发射端波束赋形以及IRC
 - 小区间干扰协调
 - 功率控制

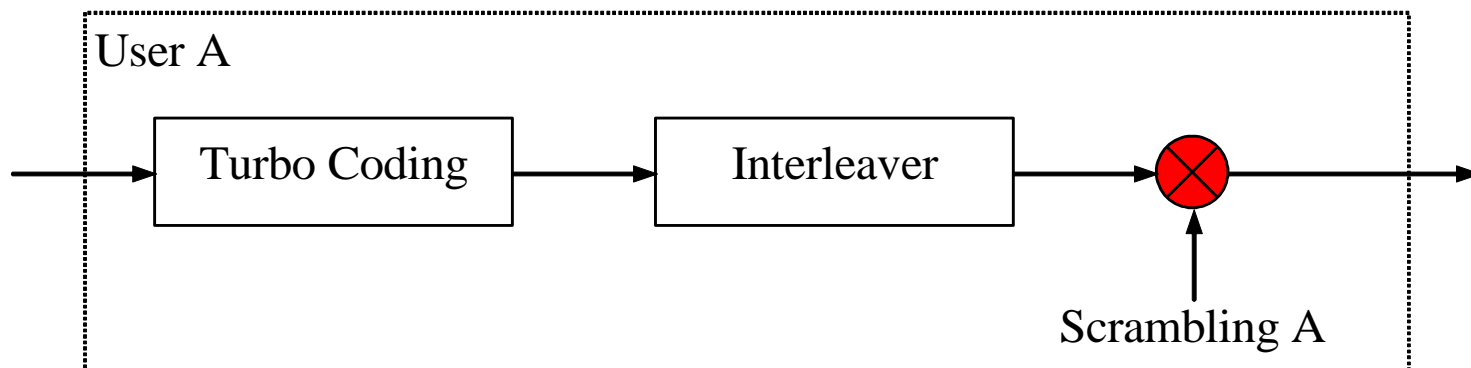
加扰



■ 干扰随机化不能降低干扰的能量，但能通过给干扰信号加扰的方式将干扰随机化为“白噪声”，从而抑制小区间干扰，因此又称为“干扰白化”。干扰随机化的方法主要包括小区专属加扰和小区专属交织。

■ 小区专属加扰，即在信道编码后，对干扰信号随机加扰。如果没有加扰，用户设备(UE)的解码器不能区分接收到的信号是来自本小区还是来自其他小区。小区专属加扰可以通过不同的扰码对不同小区的信息进行区分，让UE只针对有用信息进行解码，以降低干扰。

■ 小区专属交织，即在信道编码后，对传输信号进行不同方式的交织。



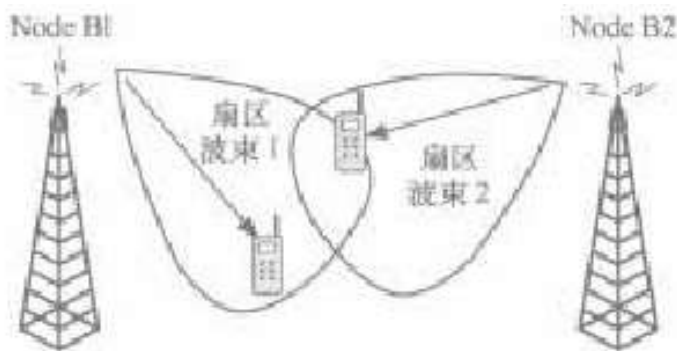
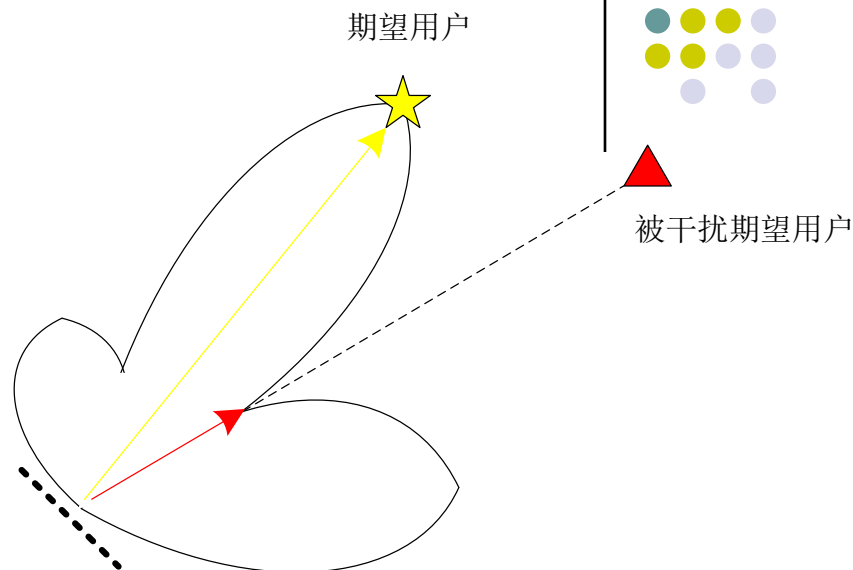
发射端波束赋形

■普通的扇区天线形成的波束是覆盖整个扇区的，必定会和相邻小区的扇区波束重叠，从而造成小区间的干扰。波束赋形天线的波束是指向UE的窄波束。

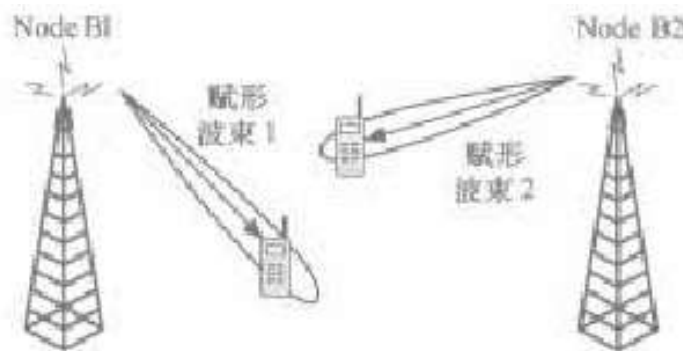
■提高期望用户的信号强度

■降低信号对其他用户的干扰

■如果波束赋形时已经知道被干扰用户的方位，可以主动降低对该方向辐射能量



(a) 较宽的扇区波束很容易造成小区间干扰



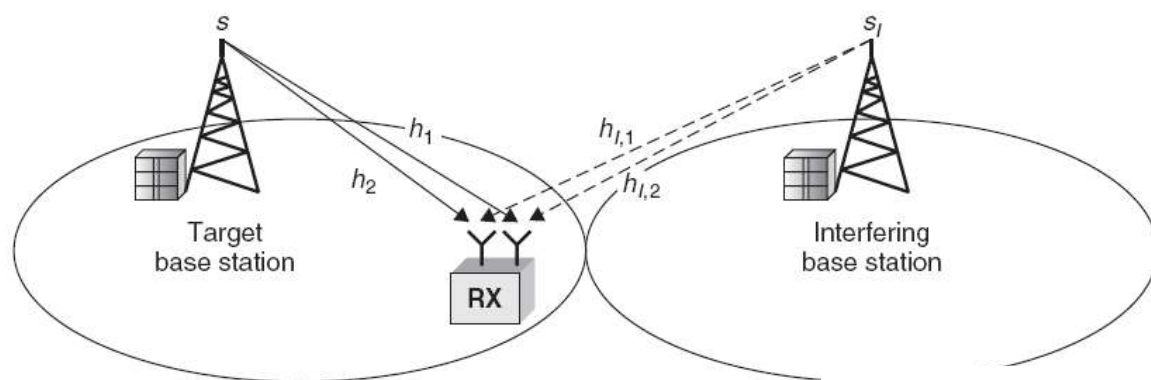
(b) 较窄的赋形波束不容易造成波束重叠

基于UE多天线接收的干扰抵制合并技术IRC

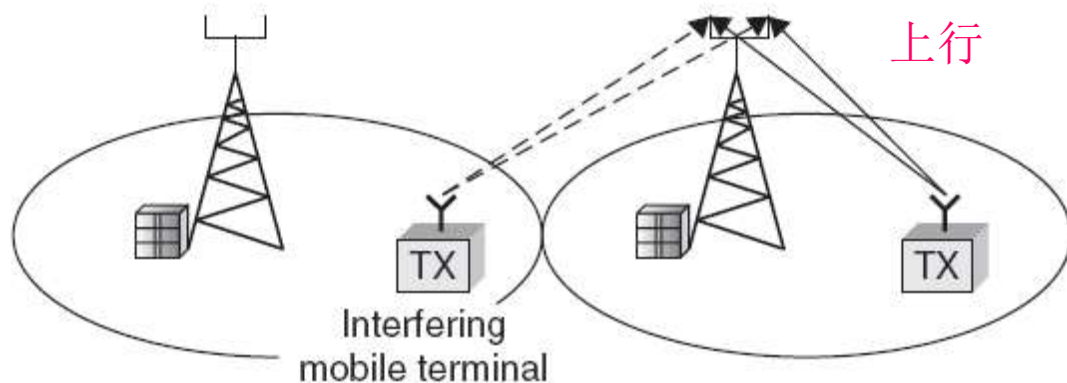


■ 当接收端也存在多根天线时，接收端也可以利用多根天线降低用户间干扰，其主要的原理是通过对接收信号进行加权，抑制强干扰，称为IRC (Interference Rejection Combining)

■ IRC也可以用于上行，用来抑制来自外小区的干扰，这种方法通常也叫做接收端波束赋形，

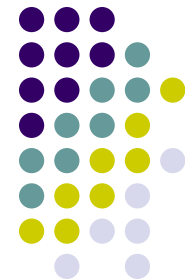


下行



上行

小区间干扰协调-软频率复用



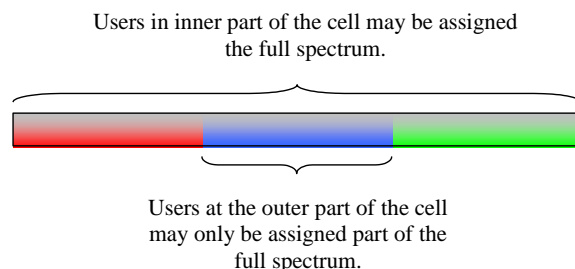
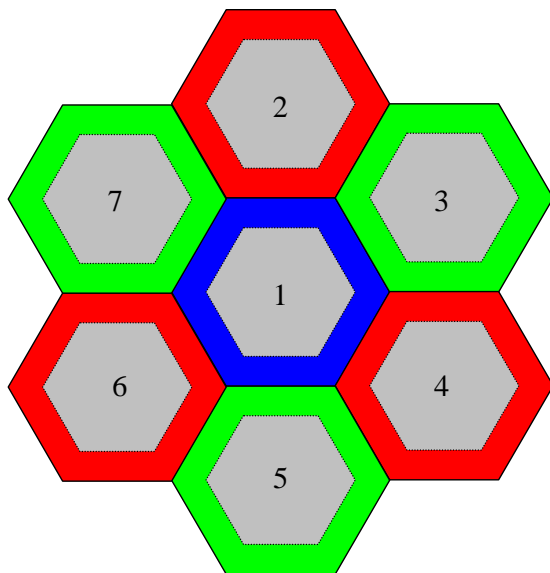
■ **基本思想**：以小区间协调的方式对资源的使用进行限制，包括限制哪些时频资源可用，或者在一定的时频资源上限制其发射功率

■ 软频率复用

■ 通过有限制的频域调度来实现

■ 允许小区中心的用户自由使用所有频率资源，相应频带上的eNodeB发射功率较小

■ 对小区边缘的用户，只允许他们按照频率复用规则使用一部分频率资源，相应频带上的eNodeB发射功率较大



频率资源协调(example)

小区间干扰协调-部分功率控制



- 如果一个小区使用和相邻小区不同的频率资源，可以采用全功率发射。
- 如果一个小区使用和相邻小区重叠的频率资源，则必须限制发射功率。
- 传统的功率控制是基于一个**UE**的需要调整发射功率，达到一个期望的信干噪比**SINR**。但可能造成小区间干扰，降低系统容量。

静态和半静态小区间干扰协调



- 在干扰协调所需的小区间信息交互

- 静态干扰协调：小区之间的信息交互非常有限，资源分配限制的配置更新周期为几天，信息交互周期也在数天

- 半静态干扰协调：信息交互周期也在数天，需要小区间交换信息，比如资源使用信息

- 目前LTE已经确定，可以在X2接口交换PRB的使用信息进行频率资源的小区间干扰协调（上行），即告知哪个PRB被分配给小区边缘用户，以及哪些PRB对小区间干扰比较敏感。

- 同时，小区之间可以在X2接口上交换过载指示信息（OI: Overload Indicator），用来进行小区间的上行功率控制

功率控制



■ 小区间功率控制（Inter-Cell Power Control）

■ 一种通过告知其它小区本小区IoT信息，控制本小区IoT的方法

■ 小区内功率控制（Intra-Cell Power Control）

■ 补偿路损和阴影衰落，节省终端的发射功率，尽量降低对其他小区的干扰，使得IoT保持在一定的水平之下

