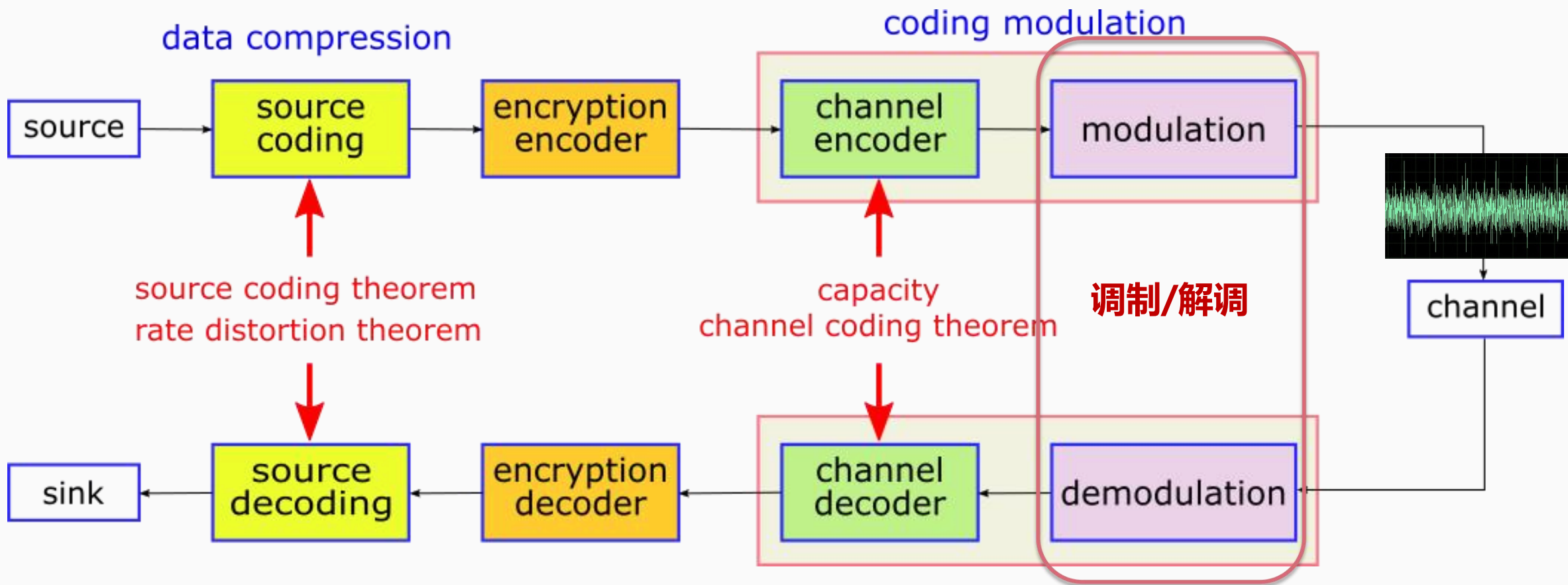

无线通信系统与蜂窝网络

无线通信系统

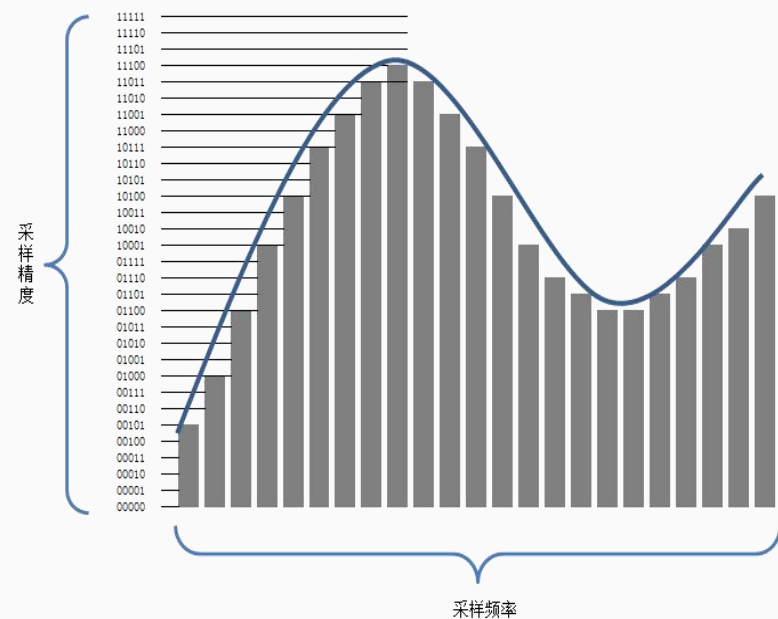
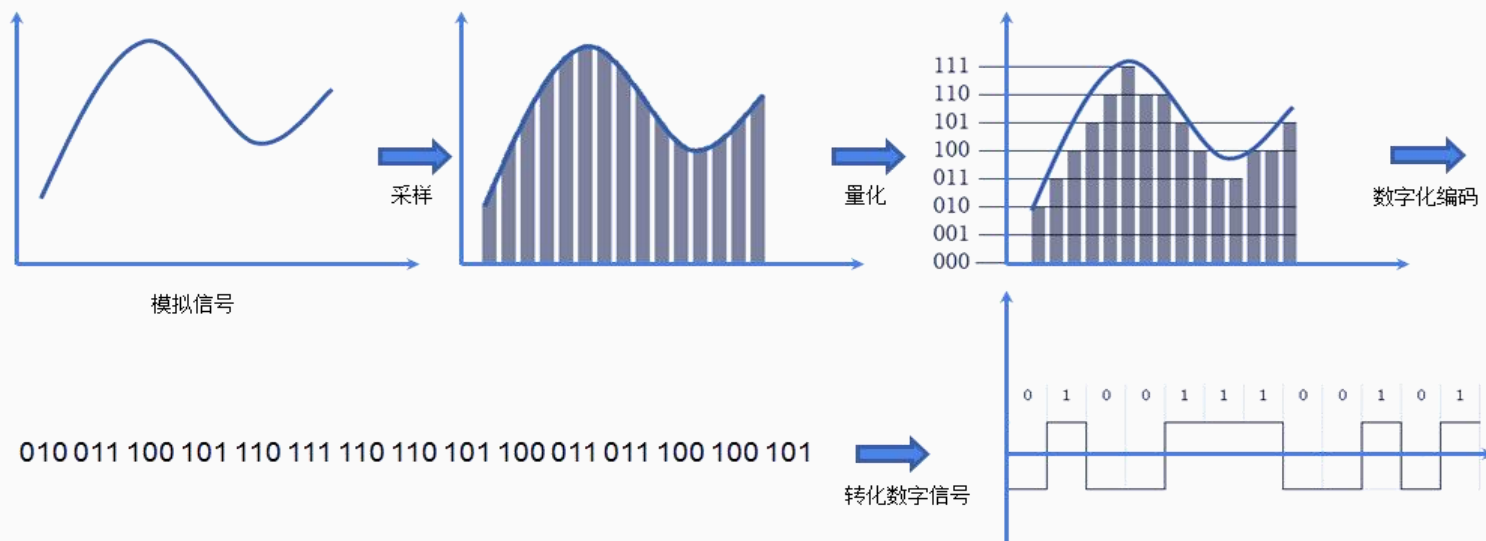


什么是调制？

■ 调制的几种定义：

- 将某一载有信息的信号嵌入到另一个信号的过程。
- 使消息载体的某些特征随消息变化的过程。

■ 模拟信号 vs 数字信号

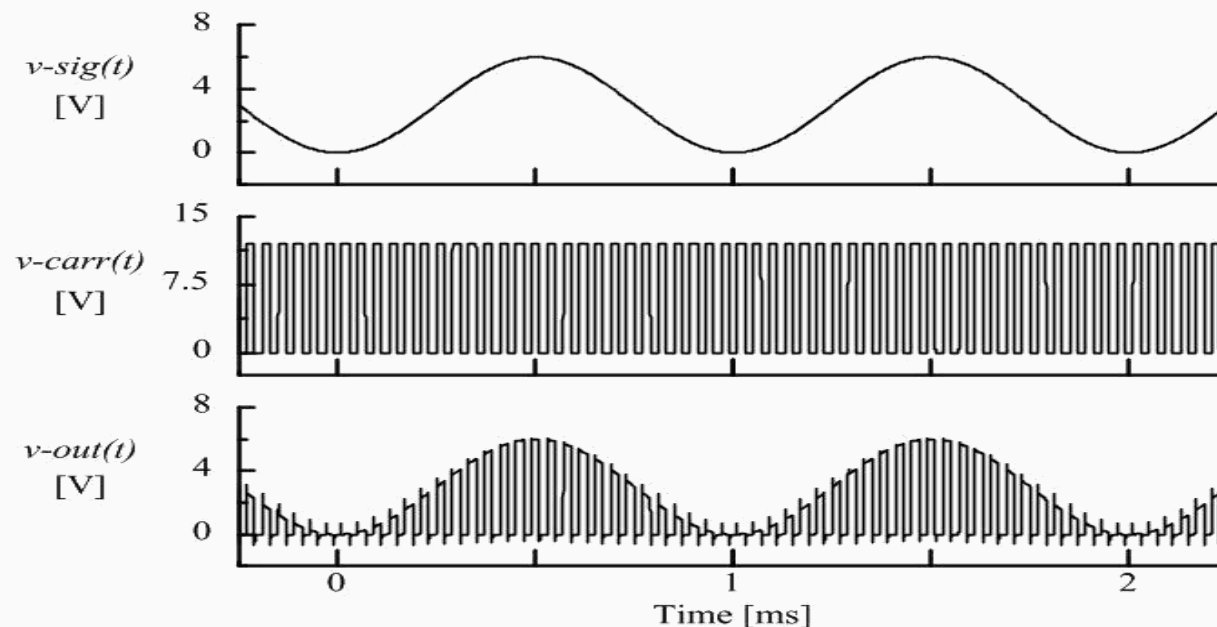


为什么要（载波）调制？

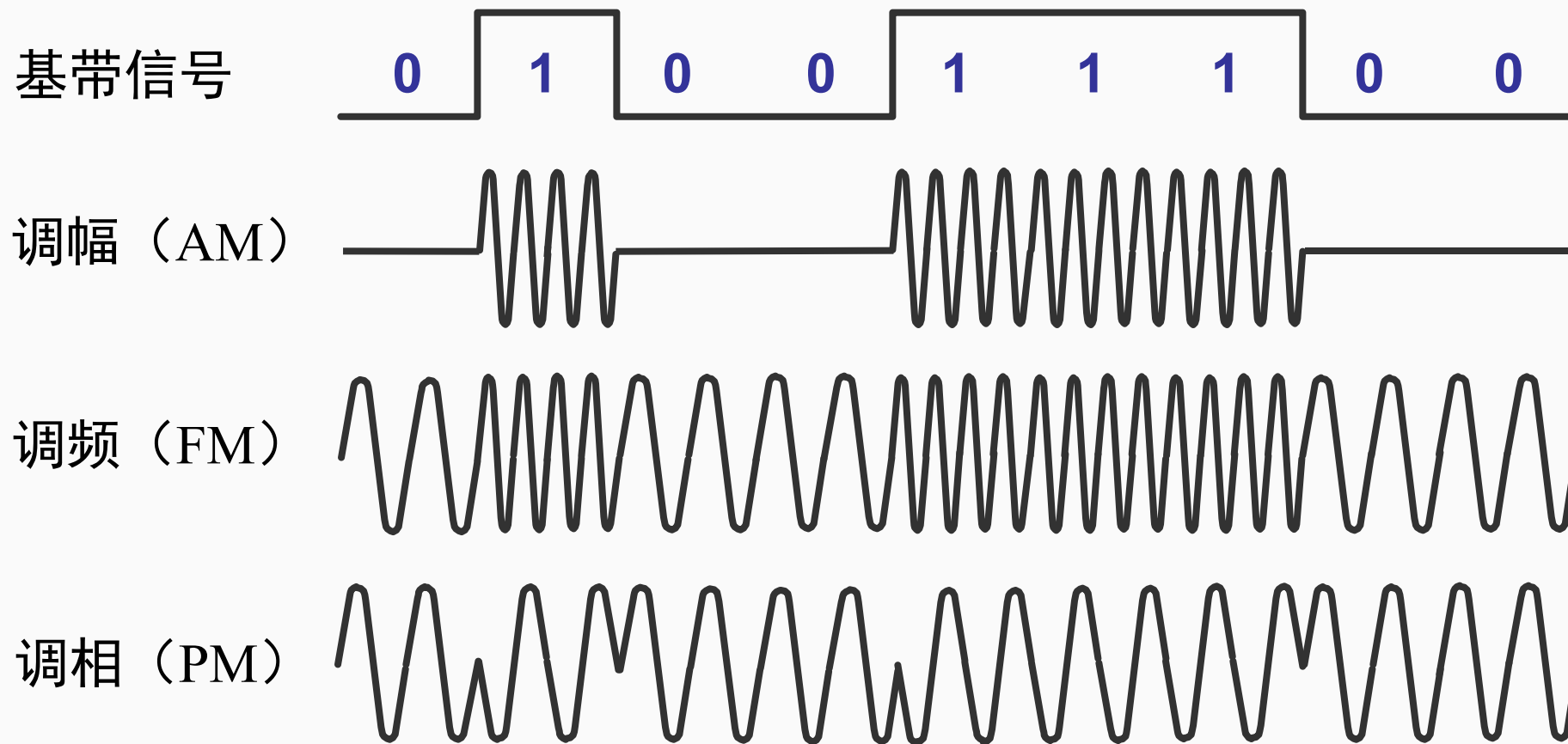
- 基带信号：来自信源的信号。像代表各种文字或图像文件的数据信号都属于基带信号。往往**包含有较多的低频成分，甚至有直流成分**，而许多信道并不能传输这种低频分量或直流分量。
- Why?
 - **高频信号便于天线发射**：为了使电磁能量有效辐射，需要发射天线尺寸至少为发射信号波长的 $1/10$ ，而基带信号频率低、波长长，如果直接发射，所需天线太长难以实现。
 - **可以同时传输多路不同的基带信号**：基带信号所占频率相同，相互干扰，可以调制到不同的频段同时传输。例如电台广播，多个频道主持人声音信号所占频带是相同的，假设不进行调制，就没办法同时发射广播，互相干扰；但若对基带信号进行调制，可调制到不同频带，互不干扰。

载波调制 (Carrier Modulation)

- 载波调制：使用载波 (carrier) 进行调制，把基带信号的频率范围搬移到较高的频段，形成在中心载波频率附近具有一定频带宽度的带通信号。
- 用基带信号去改变高频信号某个参量的过程，这样而来发射的已调高频信号就带有基带信号的信息。高频信号为运载信息的工具，因此称之为载波，相应频率为载频。



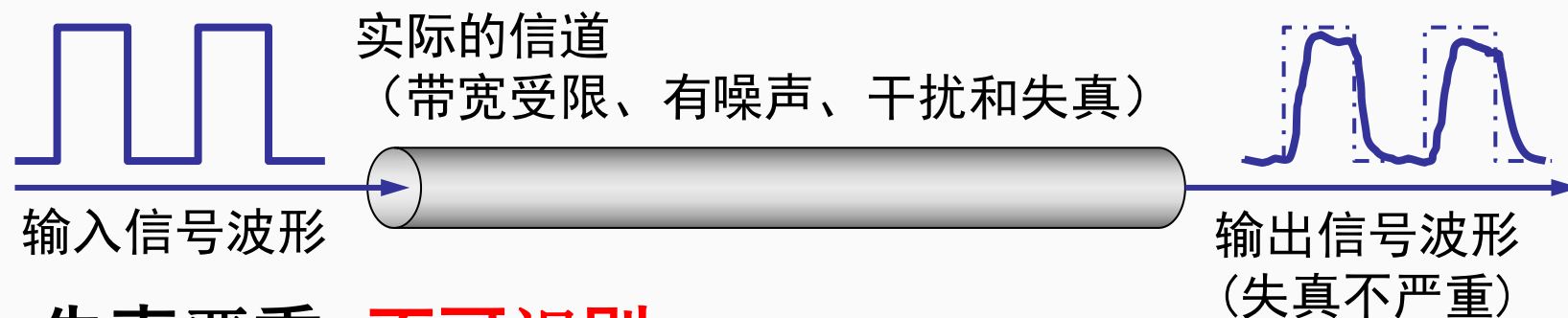
几种典型的模拟调制



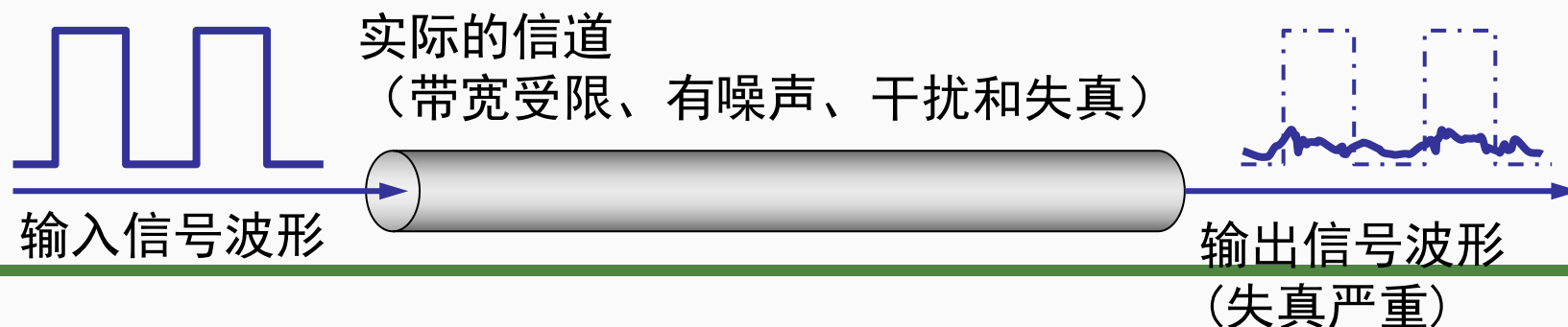
码元调制(1)

- 码间串扰：在接收端收到的信号波形就失去了码元/符号之间的清晰界限，即为码间串扰。

- 失真不严重，尚可识别



- 失真严重，不可识别



码元调制(2)

- 奈氏准则：奈奎斯特(Nyquist)给出了在假定的理想条件下（无噪声信道，有限带宽 W ），为了避免码间串扰，码元的传输速率的上限值。

理想低通信道的最高码元传输速率 = $2W$ Baud（波特）

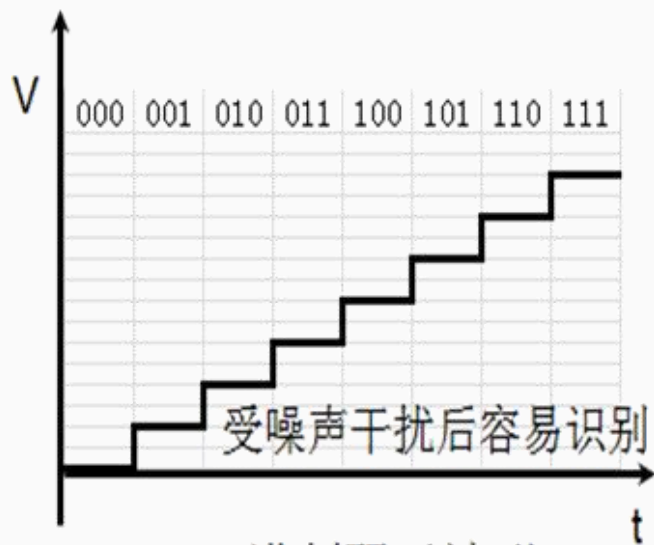
- 在任何信道中，码元传输的速率是有上限的，否则就会出现码间串扰的问题，使接收端对码元的判决（即识别）成为不可能。
- 最高码元速率决定于信道宽度，**信道 = 信号采样通道**
- 如果信道的频带越宽，等效采样频率越高，那么就可以用更高的速率（即时域上更密集的码元分布）传送码元而不出现码间串扰。

码元调制(3)

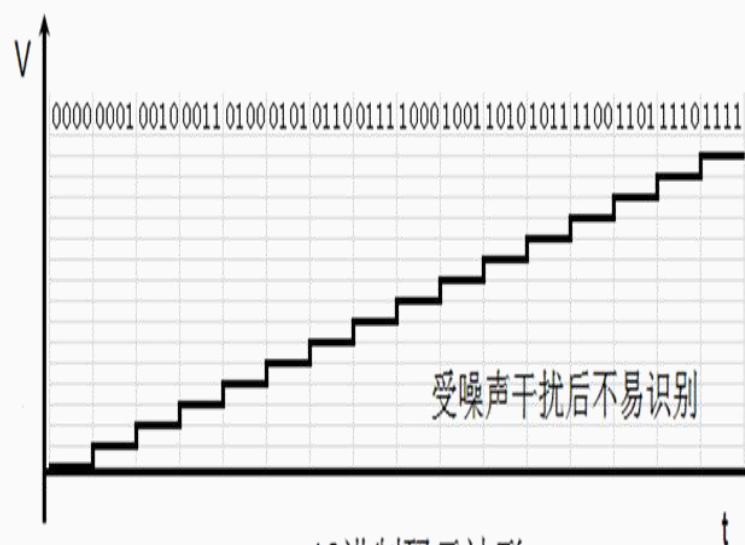
■ 为什么要进行码元/符号调制?

- 带宽一定, 最高码元速率受限 😞
- 单个码元携带更多bit的信息? 可行! 😊

■ 在码元速率一定的情况下提高数据传输速率



8进制码元波形



16进制码元波形

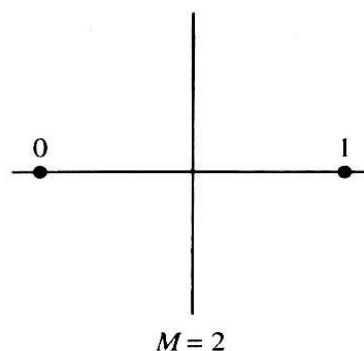
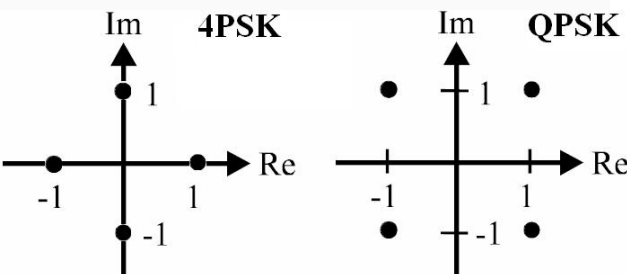
几种常用的符号调制: PSK

- PSK (phase shift keying, 相移键控) : 一种用载波相位表示输入信号信息的调制技术。

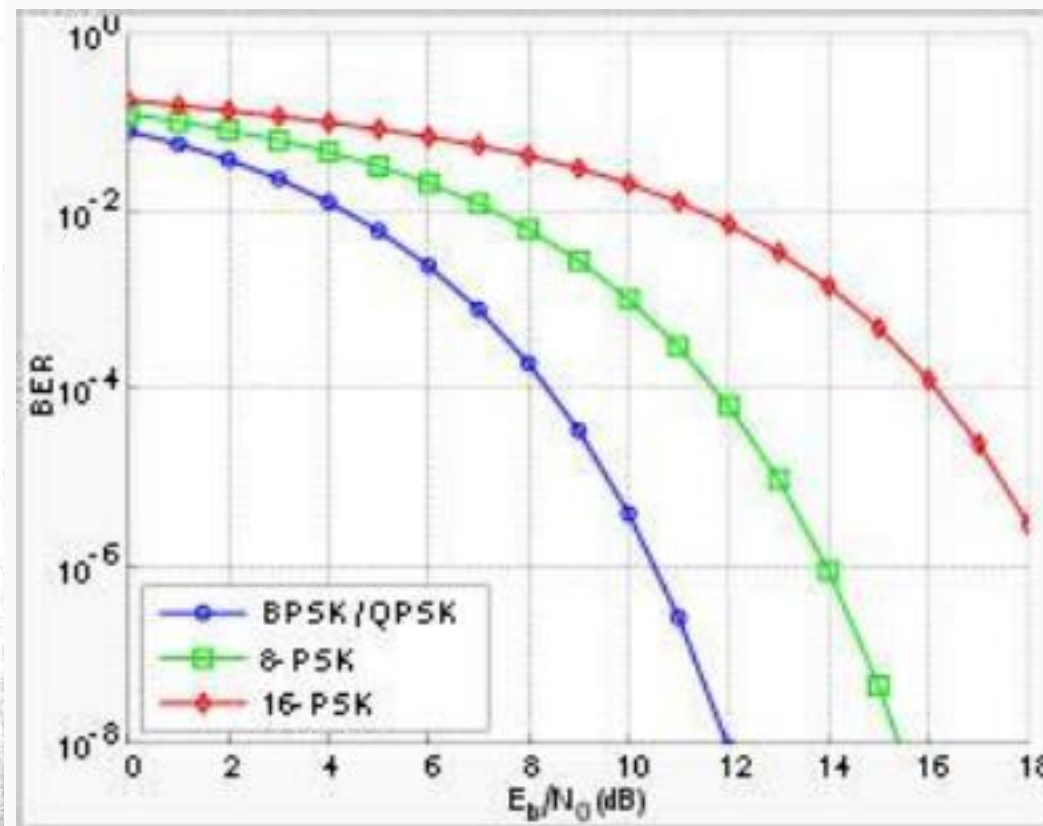
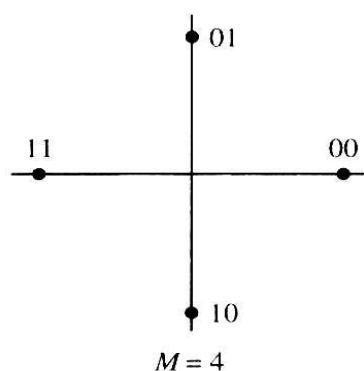
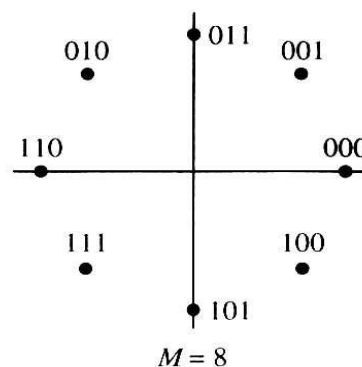
$M=2$, BPSK

$M=4$, 4PSK/QPSK

$M=8$, 8PSK



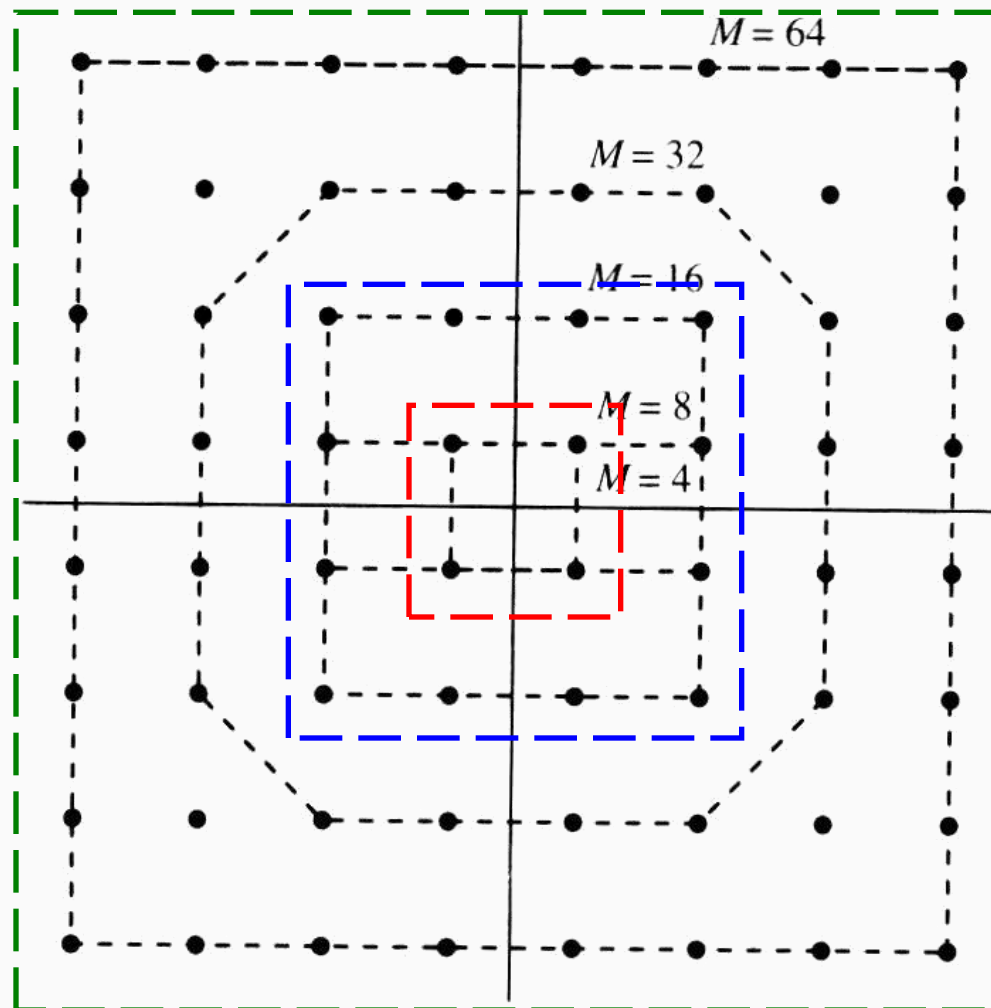
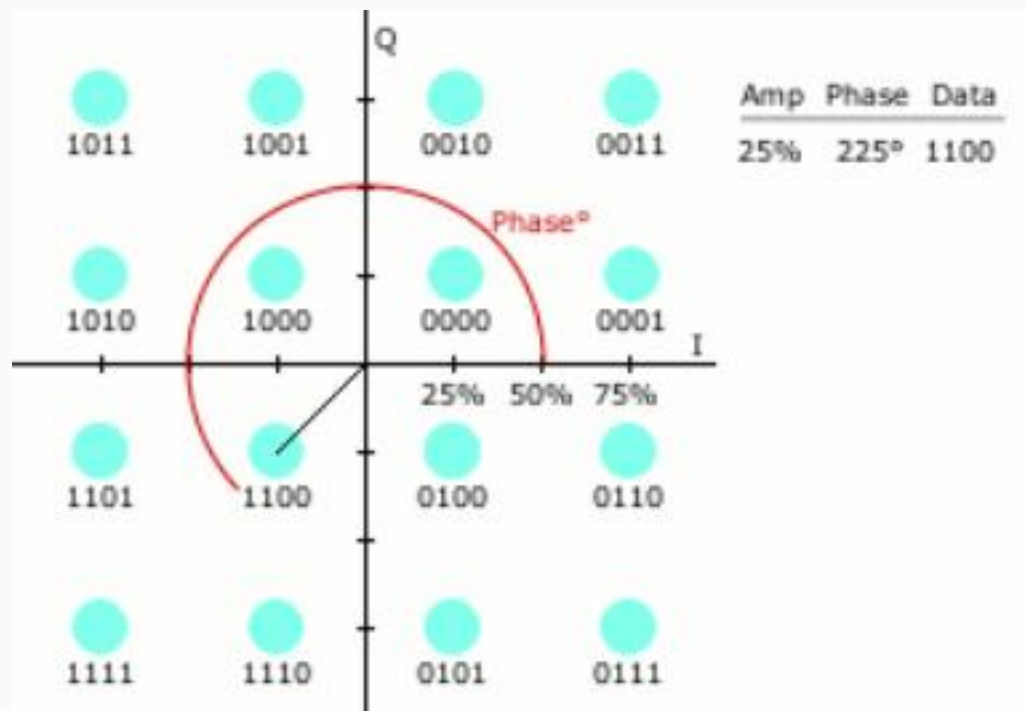
星座图



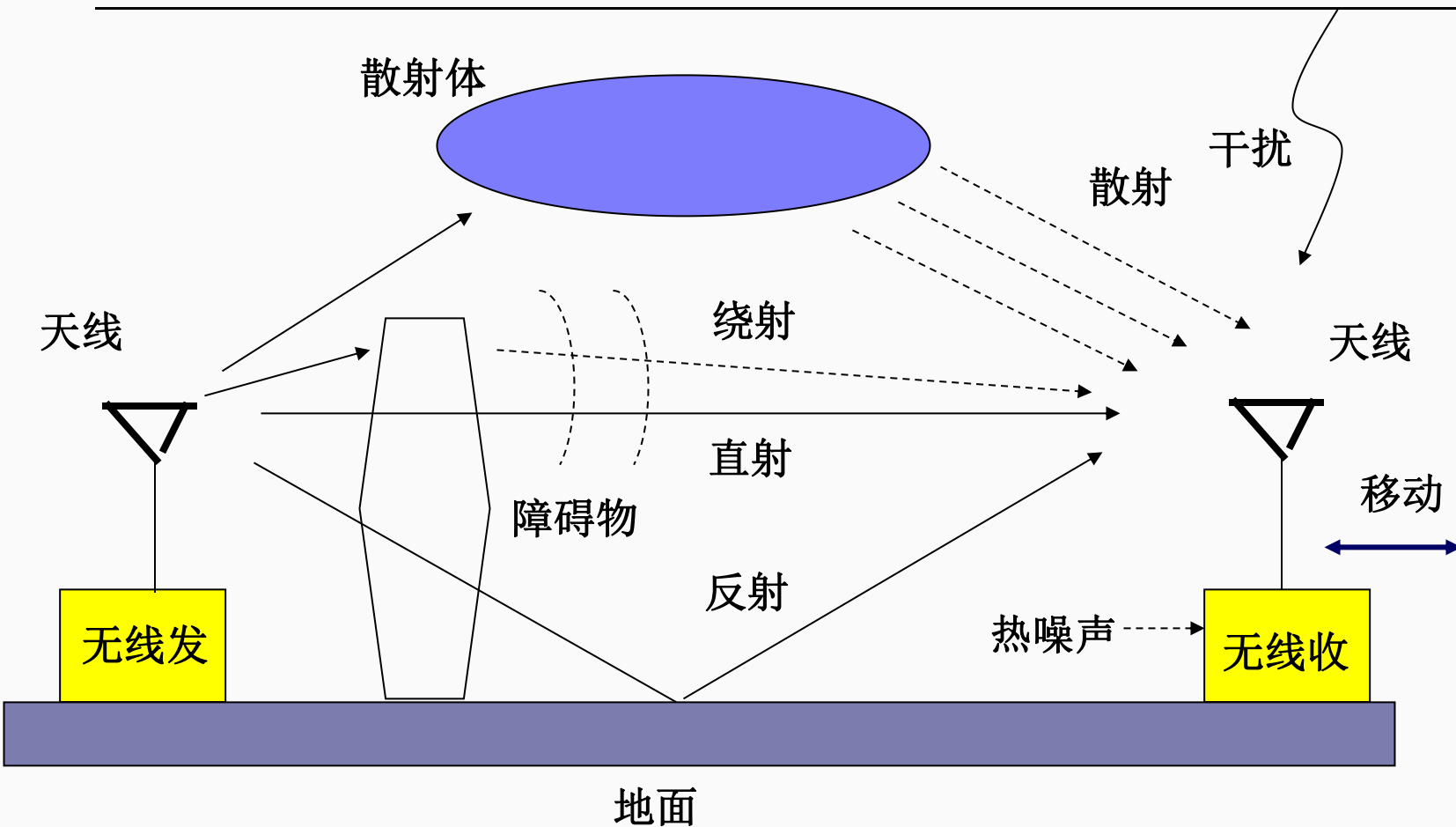
几种常用的符号调制: QAM

- QAM: 正交幅度调制

可以看成是幅度和相位的联合调制

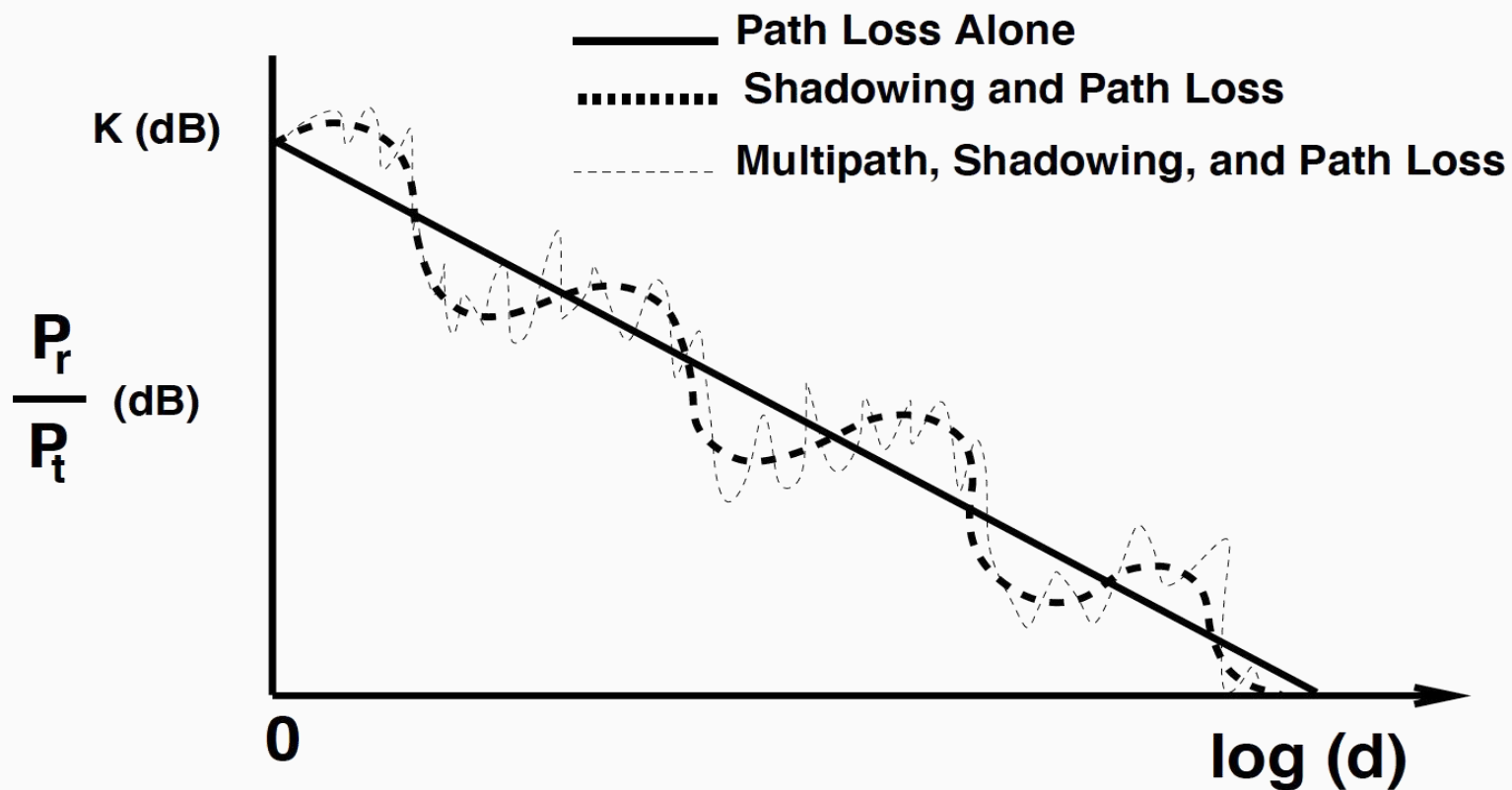


无线传输信道



由于信号传播中可能经反射、衍射、散射，接收信号一般地讲是一个多径信号。随着发射机和接收机距离的增大，接收信号的损耗是十分明显的。这种信号损失表现为在某一小区域内接收信号平均值的下降。预测这种信号平均值下降的模型叫做Large-Scale模型。而由于多径信号相干叠加引起的衰落称之为Small-Scale模型，其预测模型称为Small-Scale模型或Fading模型。

大尺度衰落 vs 小尺度衰落



大尺度衰落 (Large-Scale Fading)

- 路径损耗 (Path Loss)
- 阴影效应 (Shadowing)

小尺度衰落 (Small-Scale Fading)

- 频率选择性衰落
- 时变特性

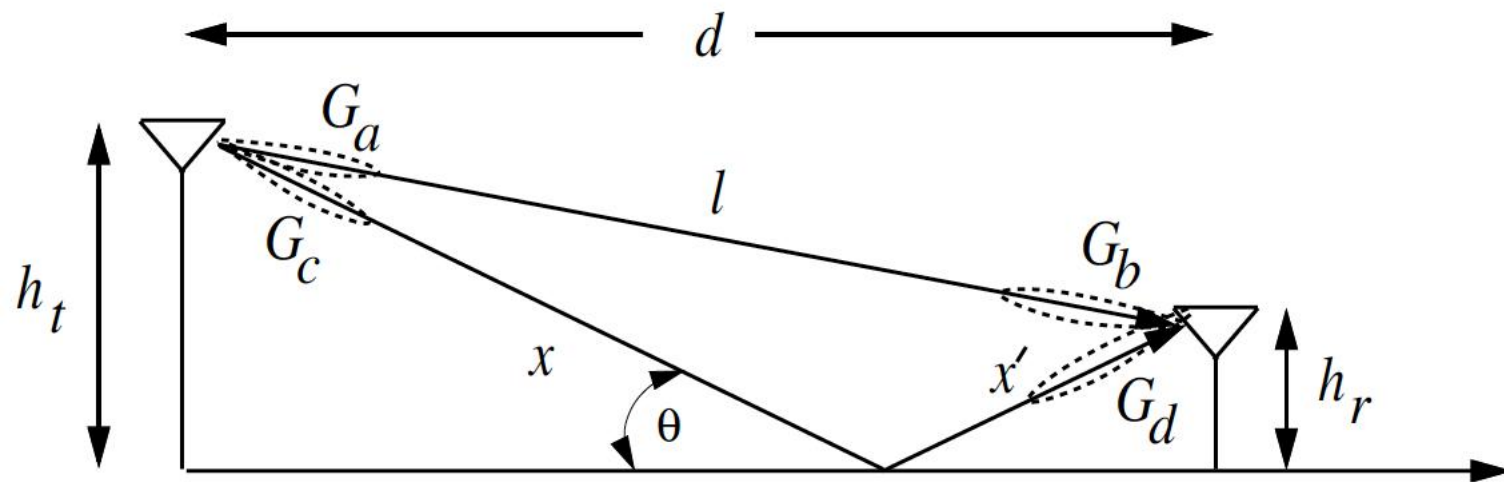
Figure 2.1: Path Loss, Shadowing and Multipath versus Distance.

路径损耗

自由空间路径损耗

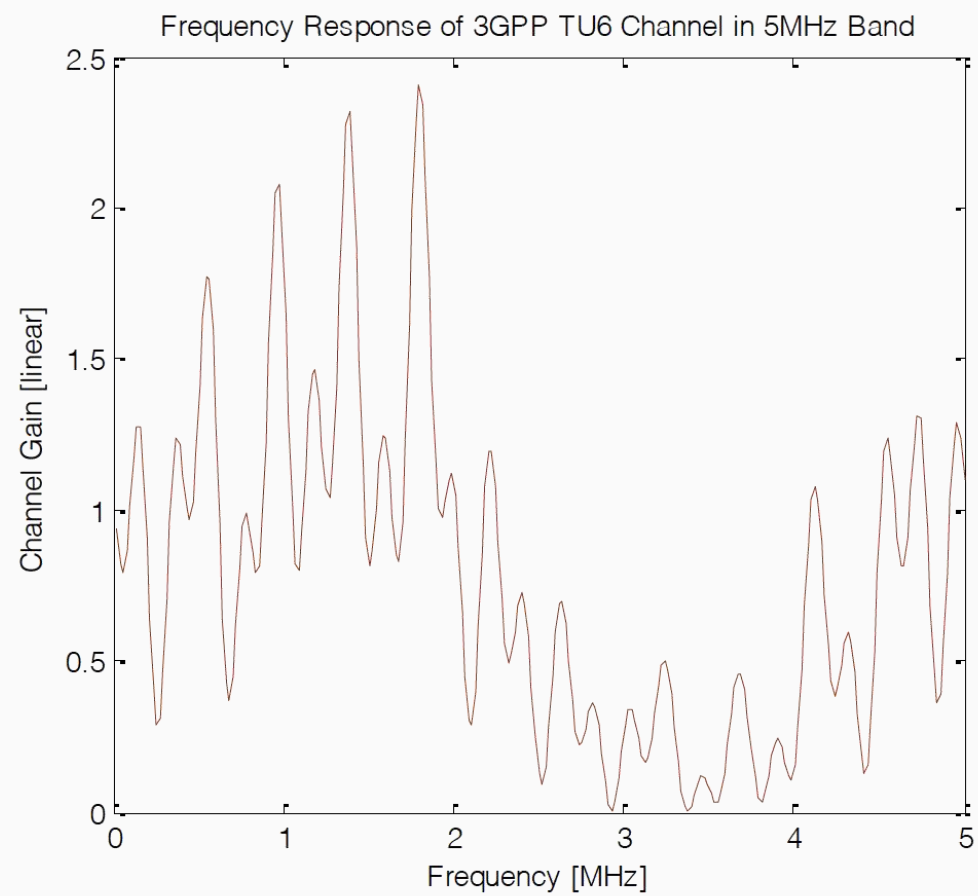
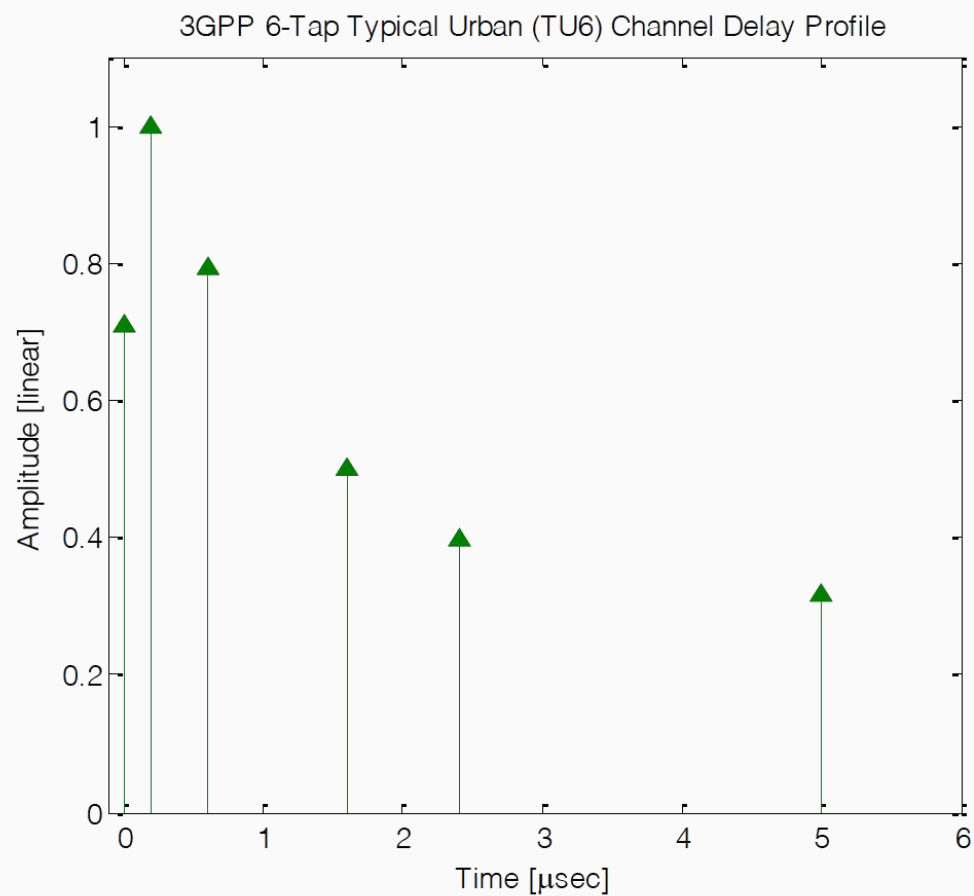
$$P_L \text{ dB} = 10 \log_{10} \frac{P_t}{P_r} = -10 \log_{10} \frac{G_l \lambda^2}{(4\pi d)^2}$$

双折线模型路径损耗

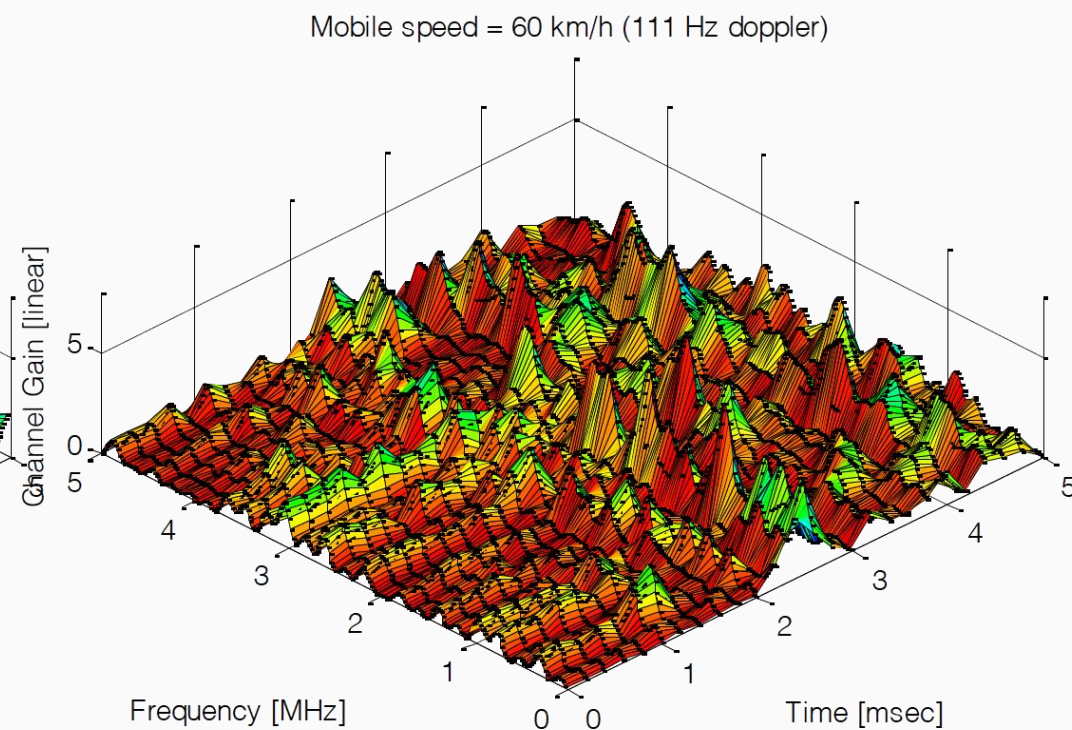
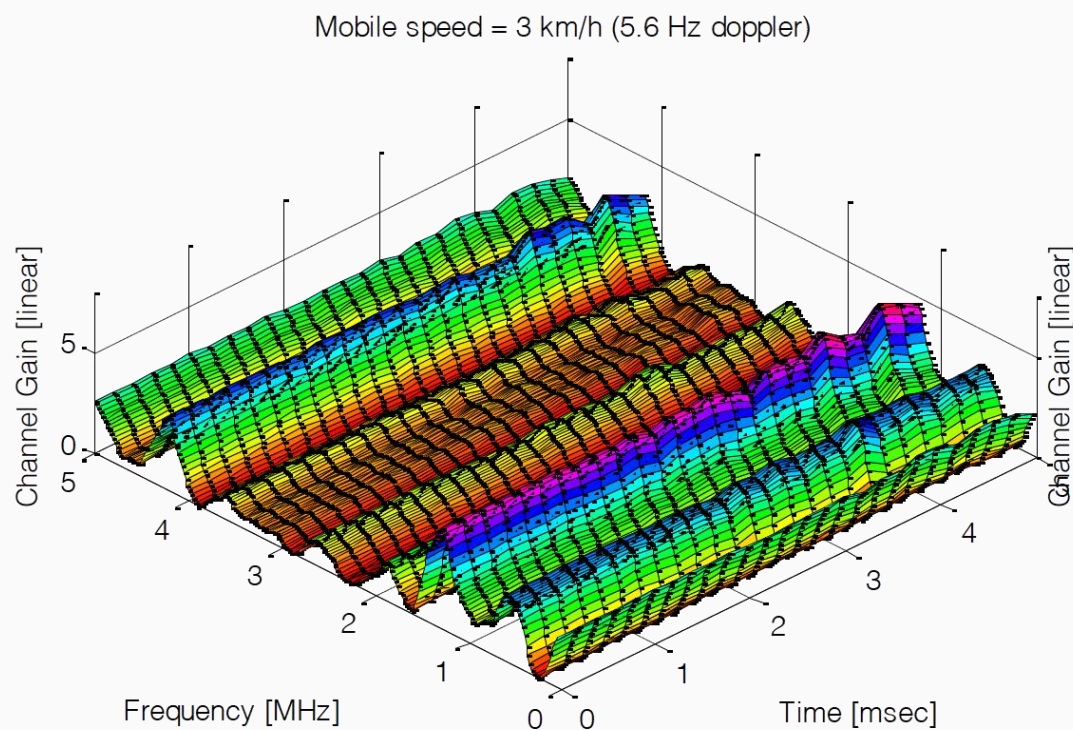


$$P_r \approx \left[\frac{\lambda \sqrt{G_l}}{4\pi d} \right]^2 \left[\frac{4\pi h_t h_r}{\lambda d} \right]^2 P_t = \left[\frac{\sqrt{G_l} h_t h_r}{d^2} \right]^2 P_t,$$

多径信道



时变多径信道



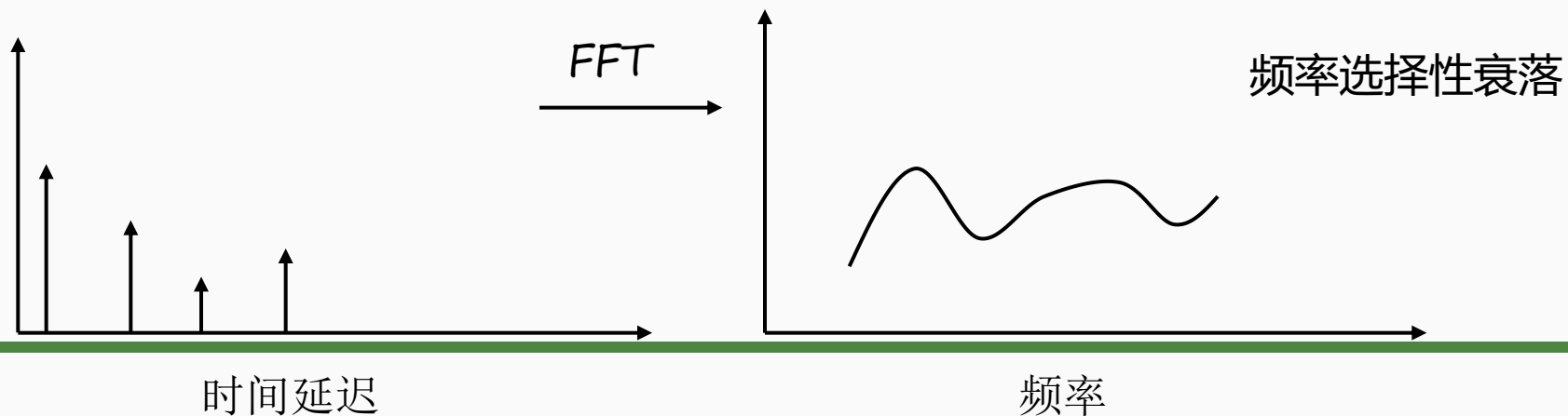
相干带宽

- 信道除了可以用时域的脉冲响应函数描述，还可以用频域信道响应函数描述。
- 已知信道频域响应函数以及发射信号的频谱，可以用点乘求得信道输出信号的频谱

$$Y(f) = H(f)X(f)$$

其中 $Y(f), H(f), X(f)$ 是对时域信号和信道响应做傅立叶变换得到的频谱信号

- 一些时频变换的性质：
 - 时域卷积对应频域点乘
 - 时域脉冲函数对应频域信号为常数



相干带宽

- 多径信道从时域信道响应看，多径延迟导致了信号时域的叠加，时域波形混乱；从频域信道响应看，信号的频谱经过信道后发生了畸变。
- 如果传输的信号带宽相对信道频谱响应起伏来说很窄，那么信号频谱畸变可忽略，信号时域形变也较小；反之，多径效应明显，需要均衡等技术恢复信号。
- 相干带宽是用来量度在信道频带线性范围的统计参量，即：信道在多大频率范围内有近似相等的增益，并且相位的响应是线性的。

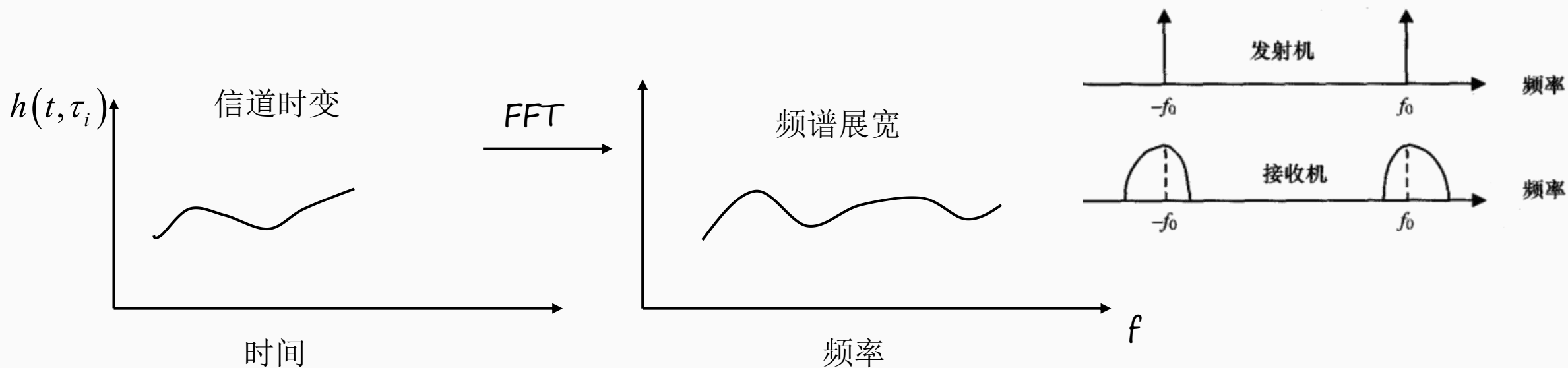
相关函数大于0.9 $B_c \approx \frac{1}{50 \sigma_\tau}$

相关函数大于0.5 $B_c \approx \frac{1}{5 \sigma_\tau}$

最大多径时延

多普勒效应

- 时延扩散和相干带宽是描述信道的时延展开参量，它们并不包括由于移动引起的信道随时间变化的信息。多普勒扩展和相干时间将描述信道在小尺度衰落上的时变特性。
- 对于多径信号从多个角度到达接收端的情况，多普勒效应表现为**频散而非频偏**，即接收信号相对于发射信号在频域上进行了扩展



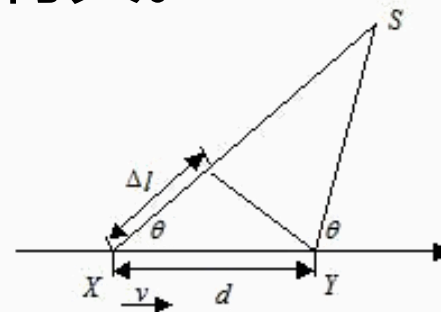
多普勒扩展

- 多普勒扩展 B_D 定义为一个频率范围，在此范围内接收的多普勒频谱为非零值。
- 如果发射机发射频率为 f_c ，由于多普勒效应，接收信号谱分布在 $f_c - f_d$ 到 $f_c + f_d$ 之间。多普勒频率展宽为：

$$B_D = 2f_d$$

一般地讲， f_d 与接收机相对BS运动的速度和角度有关。

$$f_d \approx \frac{v}{\lambda_c} \cos \theta = \frac{vf_c}{c} \cos \theta$$

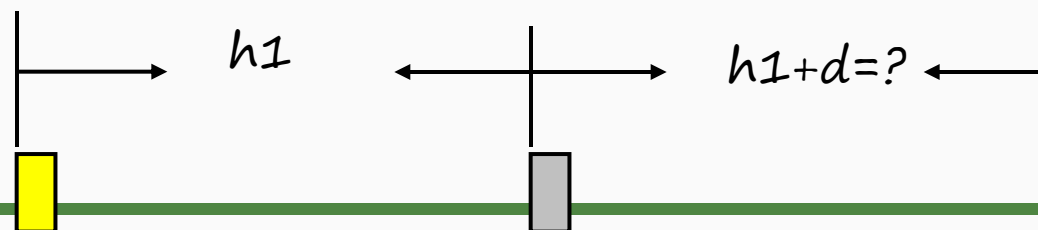


相干时间

- 相干时间是一个统计量，即：在这段时间内信道冲击响应是近似不变的。或者说，在这段时间内信道对两接收信号的幅值响应是相关的。
- 相干时间是表现在时域上的多普勒扩展效应，它是用来测量信道由频散引起的时域上的变化参量。相干时间与多普勒扩展成反比：

$$T_c \approx \frac{1}{f_d}$$

- 当传送符号的持续时间大于相干时间时，接收信号的一个符号时间内波形会发生变化；当信号带宽小于多普勒频偏，则多普勒效应严重
- 当信道估计的速度无法跟踪信道的快速变化，信号解调将遇到困难



相干时间

- 如果确定时间相关函数大于0.5，则相干时间由下列公式给出：

$$T_c = \frac{9}{16\pi f_d}$$

- 在现代通信系统中，认为前面两个相干时间的限制分别过于严厉和宽松，所以通常取它们的几何平均值：

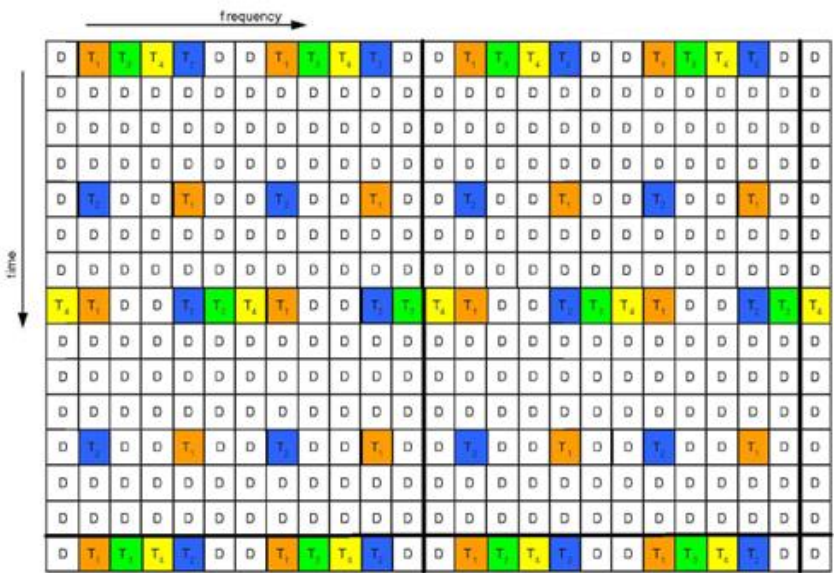
$$T_c = \sqrt{\frac{9}{16\pi f_d^2}} = \frac{0.423}{f_d}$$

相干时间和相干带宽有何用？

- 无线通信系统帧结构设计

 - 如：导频信号图样（用于估计无线传输信道）

 - 时域上相邻导频点间隔小于相干时间
 - 频域上相邻导频点间隔小于相干带宽

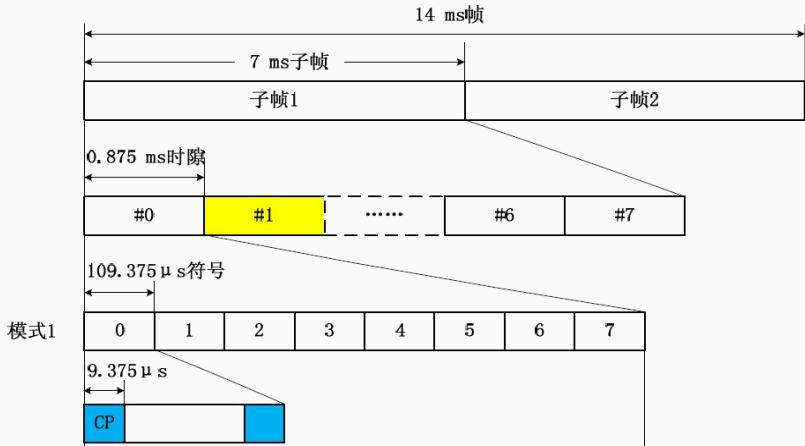


LTE系统四天线发射机导频图样

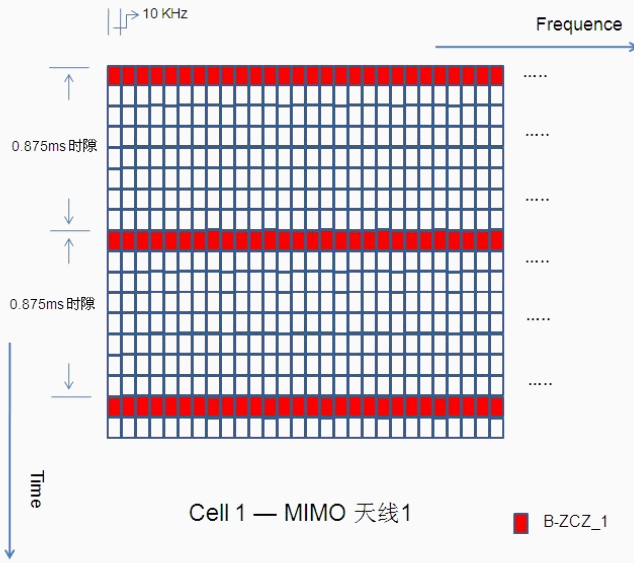
导频信号

信道估计

$$\mathbf{R} = \mathbf{H} \cdot \mathbf{S} + \mathbf{N} \longrightarrow \hat{\mathbf{H}} = f(\mathbf{S}, \mathbf{R})$$



HMA系统帧结构和导频图样



考虑导频信号时域间隔自身能够支持120 km/h的移动速度，与LTE采用相同的载波频率 $f_c=2.0\text{GHz}$ ，则可算得相干时间约为

$$T_c = \frac{0.423}{f_d} = \frac{0.423}{\frac{v}{\lambda_c}} = \frac{0.423c}{f_c v} = 1.904\text{ms}$$