

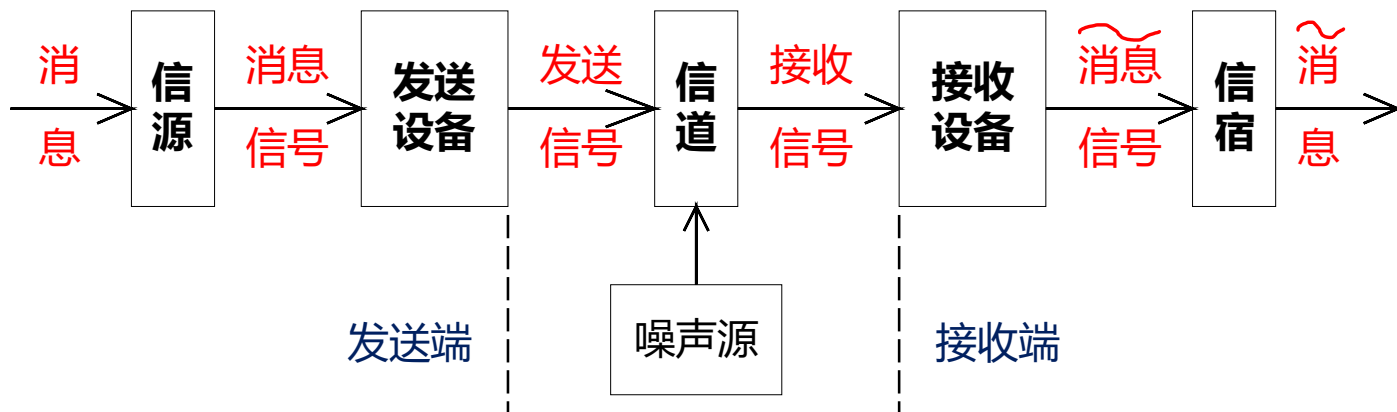


第四章

信道

主要内容

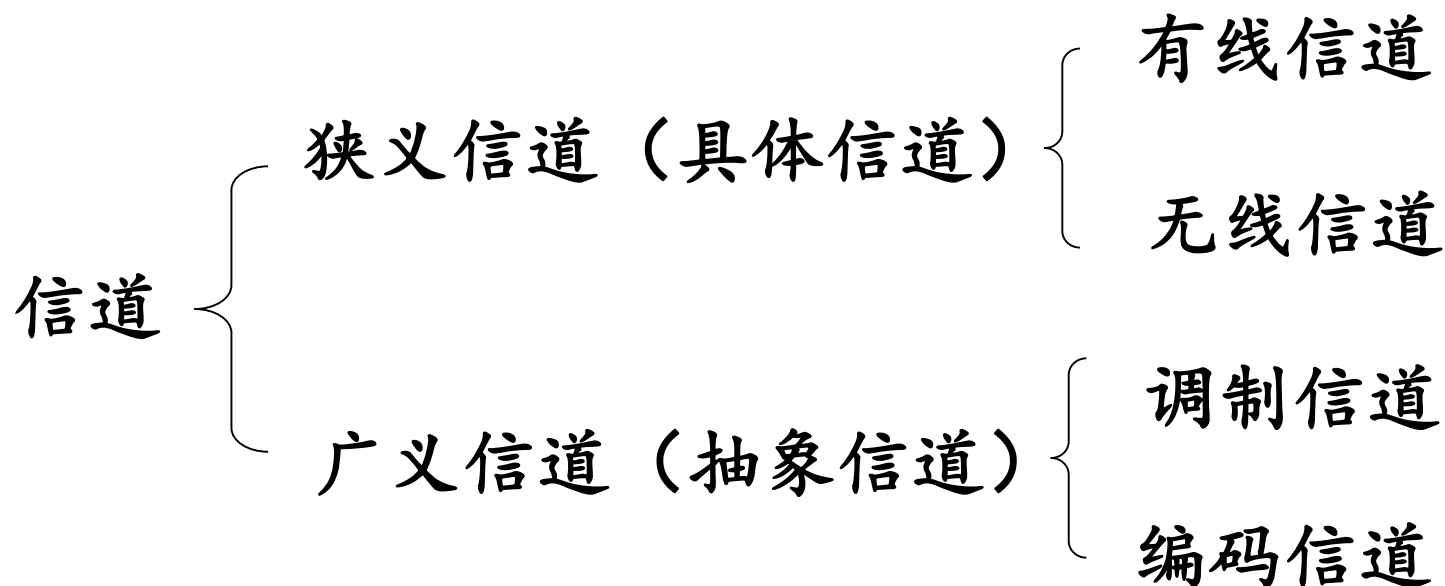
- 信道数学模型
- 信道特性及对信号传输的影响

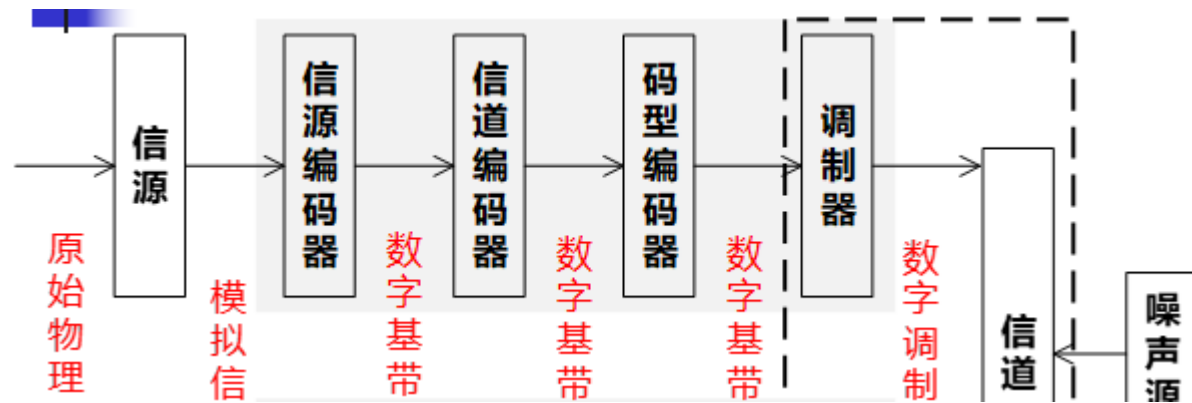
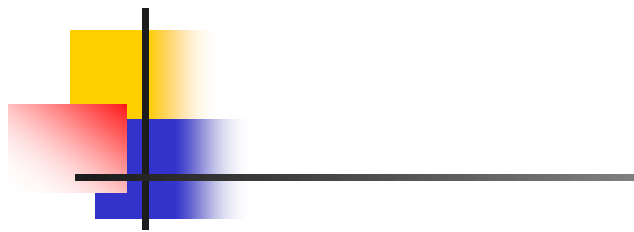




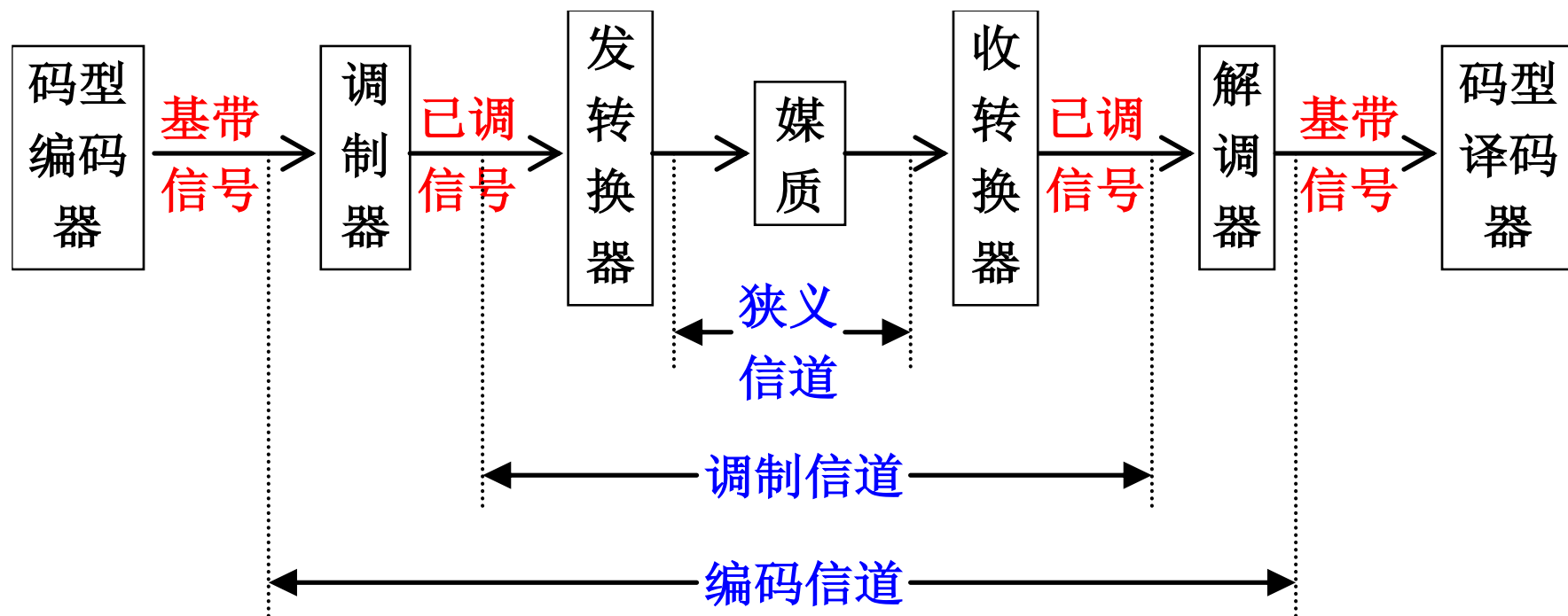
4.1 信道数学模型

■ 信道分类



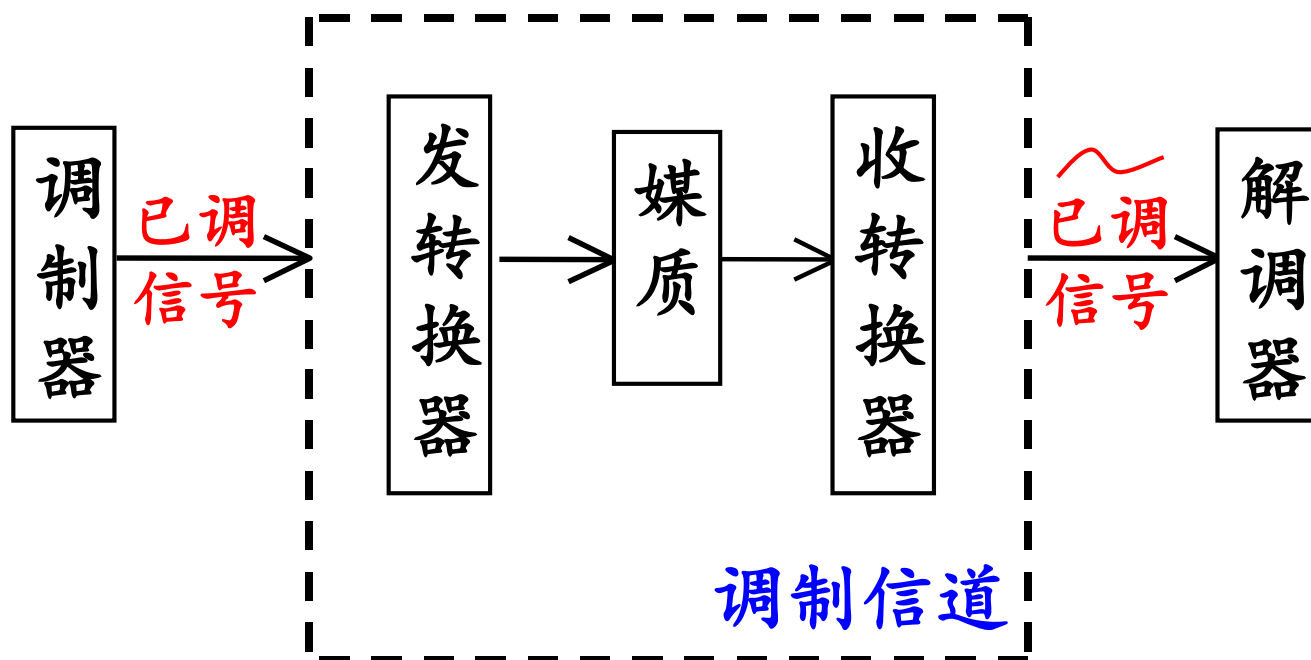


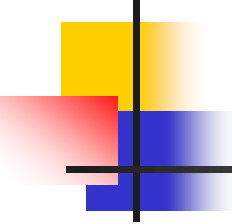
■ 数字通信系统模型



信道数学模型

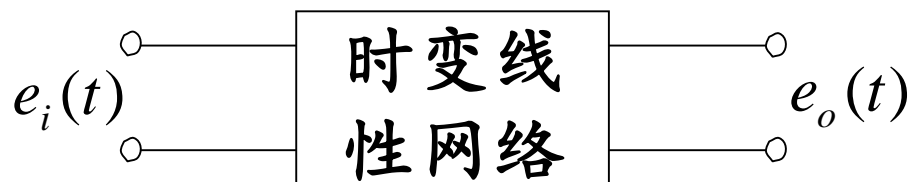
一. 调制信道

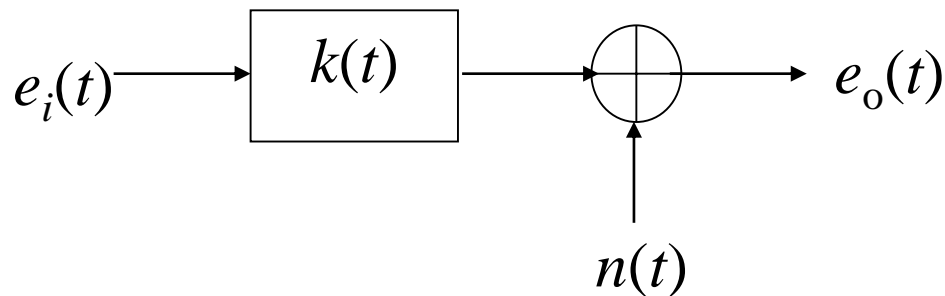




■ 调制信道属性

- 有一对或多对输入和输出端
- 多数信道是线性的
- 信号通过信道有一定延迟，且受到时变损耗
- 无信号输入时，信道也有噪声功率输出



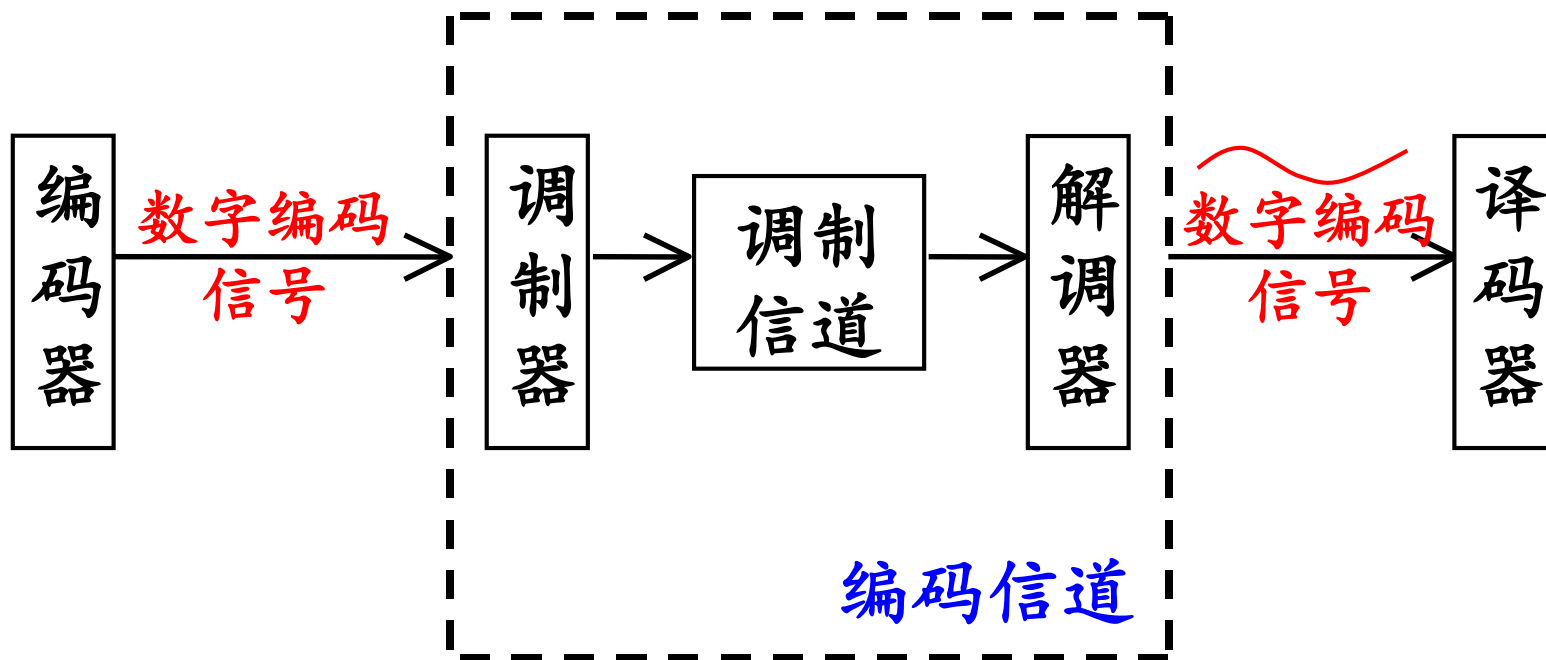


■ 数学模型 $e_o(t) = f[e_i(t)] + n(t)$

$$= k(t) \cdot e_i(t) + n(t)$$

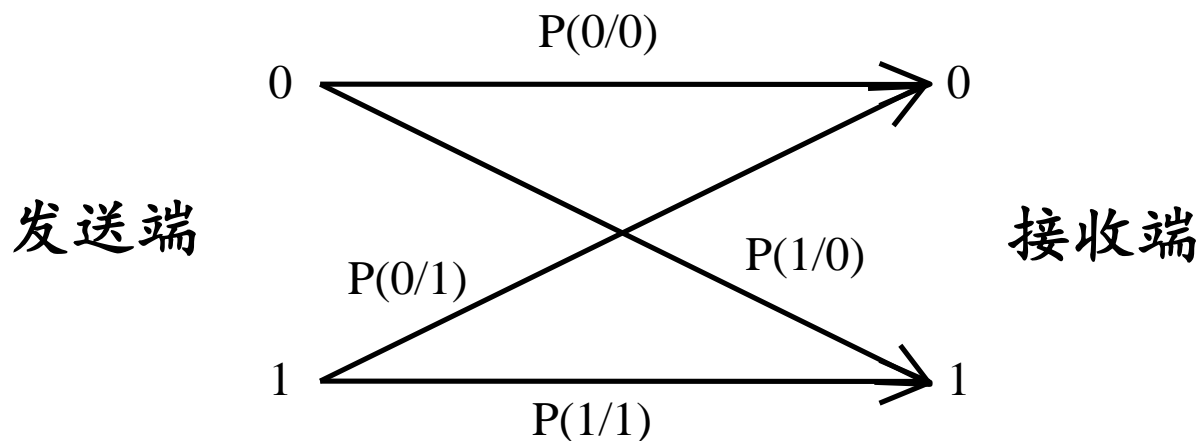
- $k(t)$ 称为**乘性干扰**，随信号而存在
- $n(t)$ 称为**加性噪声**，始终存在
- $k(t)$ 反映信道特性，若随 t 变化，则信道称为**时变信道**
若为常数，则称信道为**时不变信道**
- 若 $k(t)$ 变化很慢或很小，则称信道属于**恒参信道**
若 $k(t)$ 作随机变化，则信道属于**随参信道**

二. 编码信道



■ 数学模型

■ 二进制编码信道的数字转移概率



- 设 $P(y/x)$ 表示发送 x 接收 y 的概率

$$P(0/0) + P(1/0) = 1$$

$$P(1/1) + P(0/1) = 1$$

$$\text{误码率 } P_e = P(0) P(1/0) + P(1) P(0/1)$$



■ 编码信道模型的假设条件

- 平稳：各转移概率的取值不随时间变化
- 对称：各码元具有同等的地位

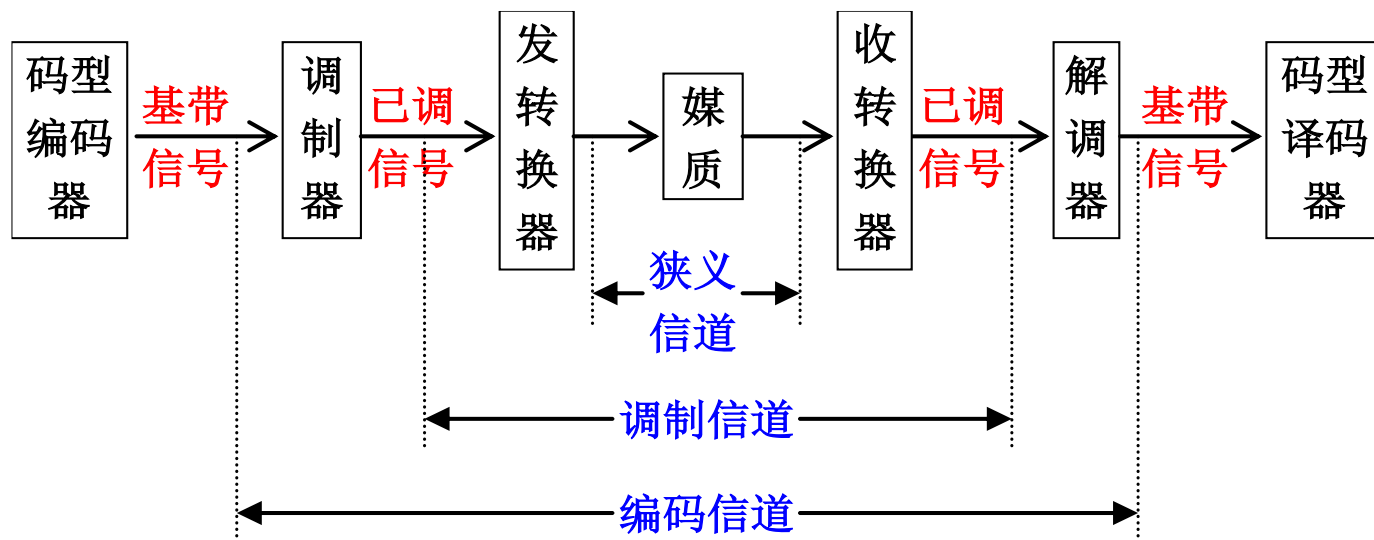
$$P(0/1) = P(1/0) = p$$

$$P(0/0) = P(1/1) = 1 - p$$

- 无记忆：各码元的转移概率相互独立
- 离散：信道的输入和输出都是数字编码序列

4.2 信道特性及对信号传输的影响

- 信道类型
- 恒参信道对信号传输的影响
- 随参信道对信号传输的影响



$$e_o(t) = k(t)e_i(t) + n(t)$$



一. 信道类型

■ 恒参信道

- 信道特性 $k(t)$ 随时间缓变或不变，它对传输信号的衰减和时延基本为常数
- 时不变线性网络

■ 随参信道

- 信道特性 $k(t)$ （衰减、时延）随时间做随机快变化
- 时变线性网络



二. 恒参信道举例

- 有线信道

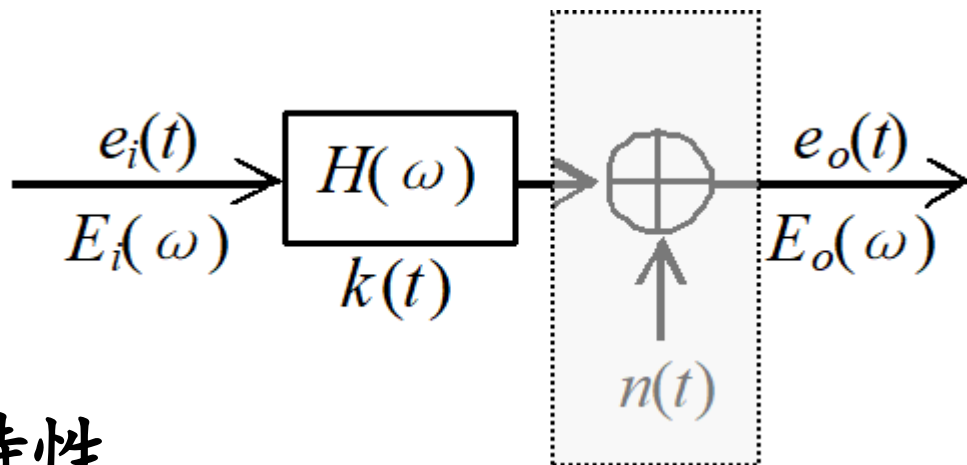
- 架空明线
- 双绞线
- 同轴电缆
- 光纤

- 无线信道

- 地面微波中继信道
- 卫星中继信道

三. 恒参信道特性

■ 模型



■ 传输特性

- 恒参信道 \Rightarrow 时不变线性网络 \Rightarrow 信号通过线性系统的分析方法

$$H(\omega) = |H(\omega)|e^{j\varphi(\omega)}$$



■ 理想恒参信道

■ 当不考虑加性噪声 $n(t)$ 时，应满足：

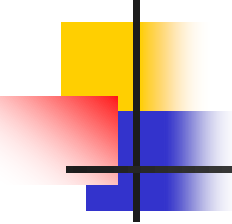
$$\begin{aligned}e_o(t) &= k(t) \cdot e_i(t) \\ &= K \cdot e_i(t - t_d)\end{aligned}$$

$$H(\omega) = |H(\omega)| \cdot e^{j\varphi(\omega)} = \begin{cases} \text{幅频特性: } |H(\omega)| = K \\ \text{相频特性: } \varphi(\omega) = -t_d \omega \\ \text{群时延: } \tau(\omega) = -\frac{d\varphi(\omega)}{d\omega} = t_d \end{cases}$$

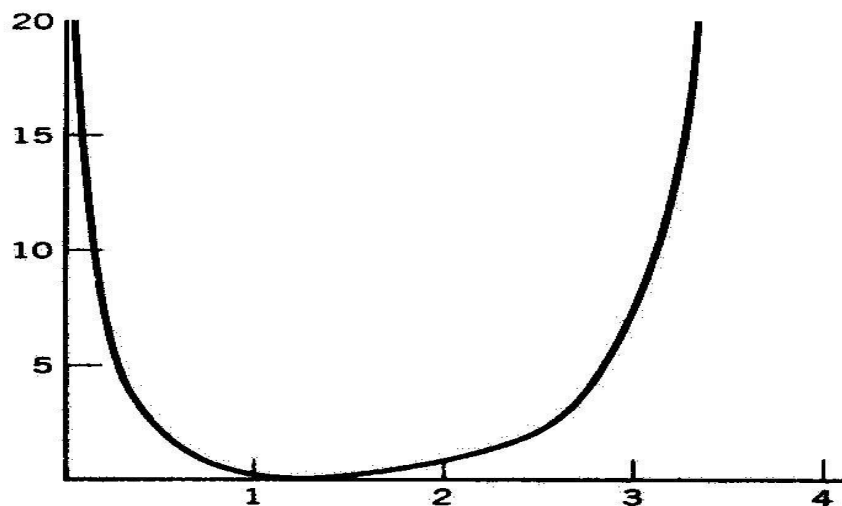


实际恒参信道

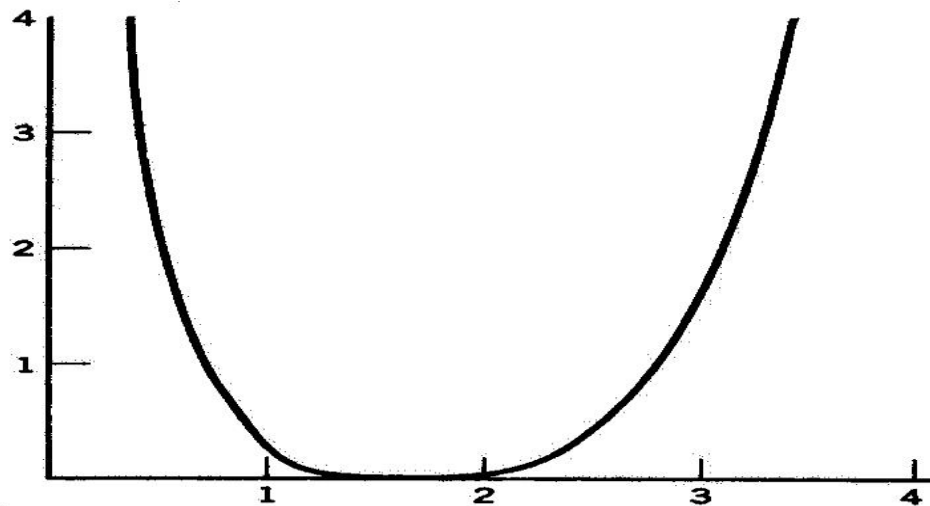
- 频率失真 $|H(\omega)| \neq K$
 - 模拟信号：对话音信号影响大，对视频影响不大
 - 数字信号：码间干扰→误码
- 相位失真 $\tau(\omega) \neq t_d$
 - 模拟信号：对话音信号影响不大，对视频影响大
 - 数字信号：码间干扰→误码
- 以上两种为线性失真：线性网络补偿



■ 典型电话信道特性



插入损耗/dB~频率/kHz
(幅频特性)



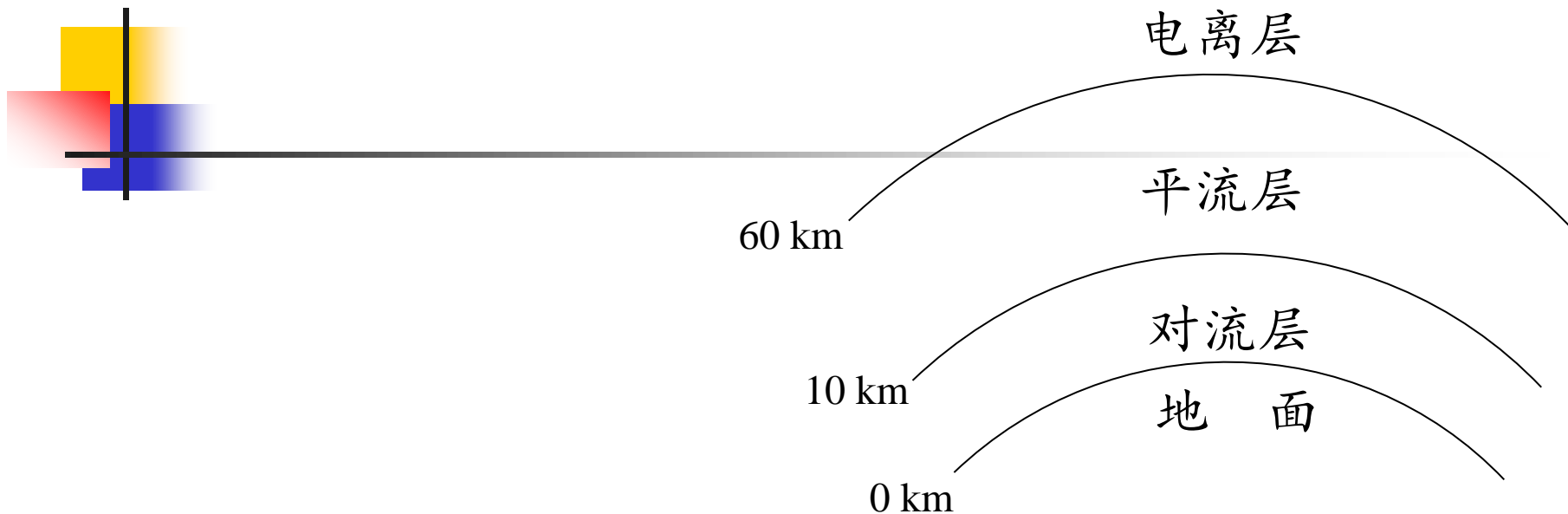
群时延/ms~频率/kHz
(相频特性)



四. 随参信道举例

■ 无线信道

- 短波电离层反射信道
- 超短波流星余迹散射信道
- 超短波及微波对流层散射信道
- 超短波电离层散射信道
- 超短波超视距绕射信道
- 陆地移动通信信道

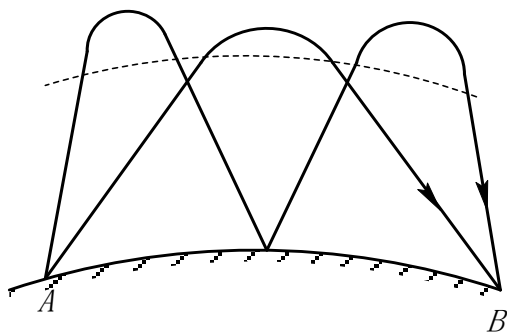


■ 大气层结构

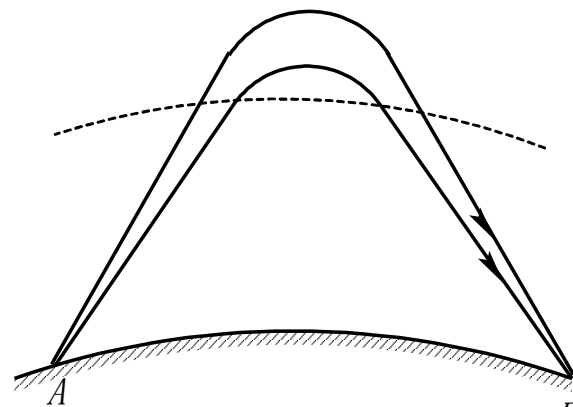
- 对流层：地面上 0 ~ 10 km
- 平流层：约 10 ~ 60 km
- 电离层：约 60 ~ 400 km
- 逃逸层：400km 以外

■ 短波电离层反射信道

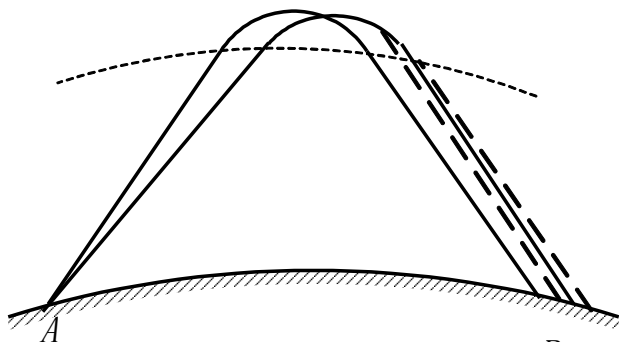
■ 多径传输



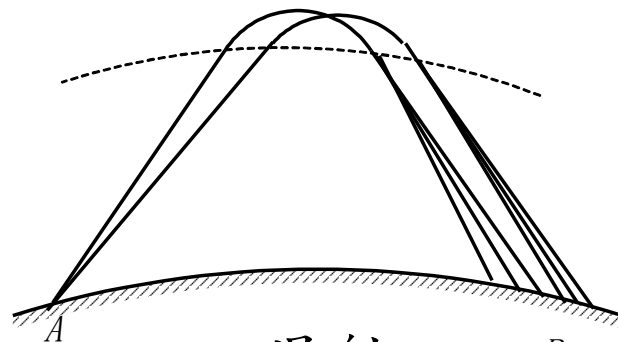
一次与多次反射



不同高度的反射区^B



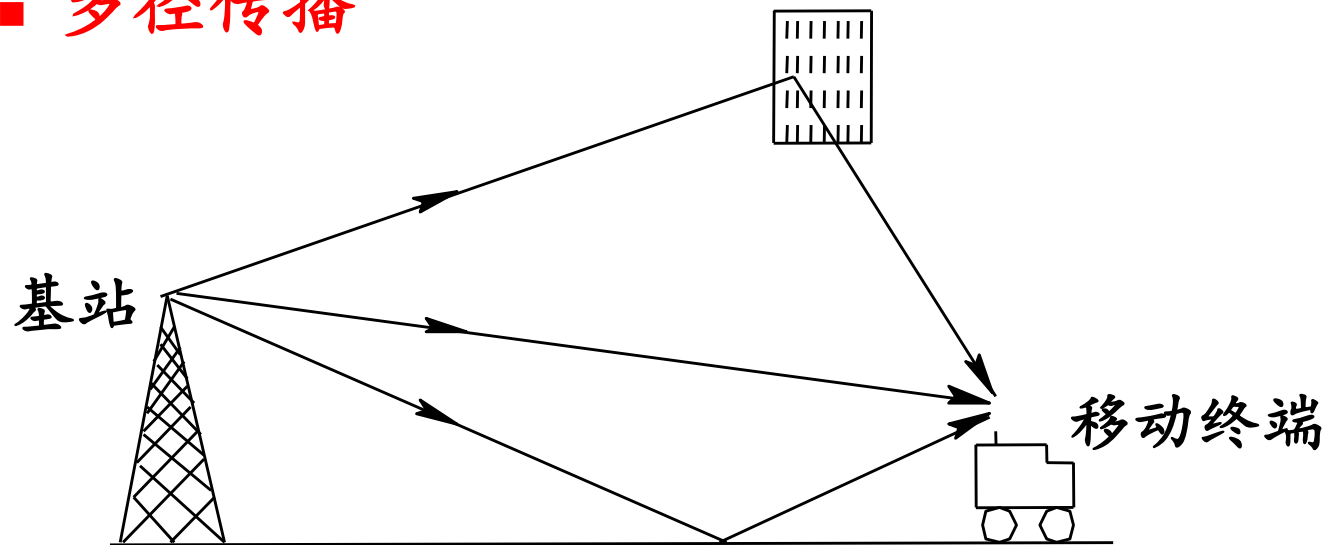
电磁波束分裂^B



漫射^B

■ 陆地移动通信信道

■ 多径传播





五. 随参信道特性

- $k(t)$ 是时变的随机过程
 - 对信号的**衰减**随时间变化
 - 信号传输**时延**随时间变化
 - **多径传播**：信号经过几条路径到达接收端，而且每条路径的信号衰减和时延都随时间而变，多径传播对信号的影响称为多径效应



■ 多径效应

■ 多径传播引起的信号衰落

■ 瑞利衰落

- 接收的合成信号包络服从瑞利分布
- 现象：幅度波动、频率弥散

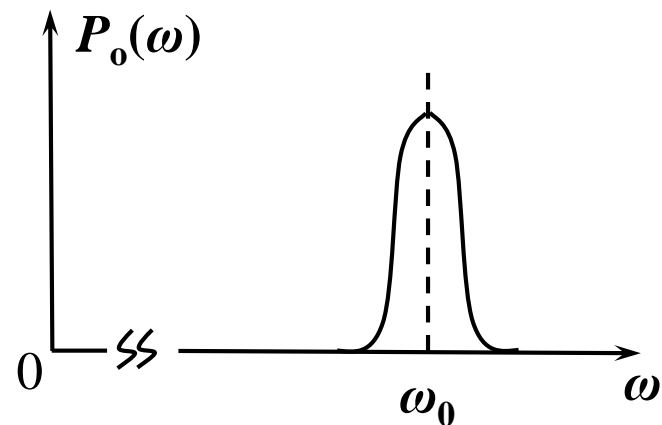
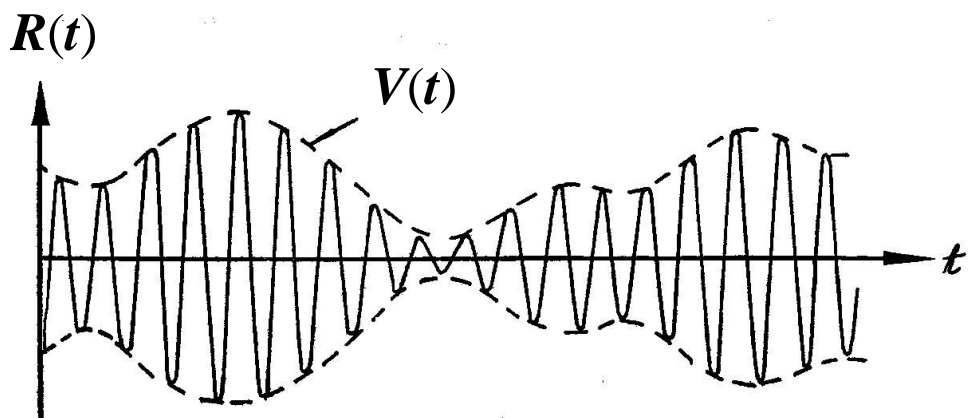
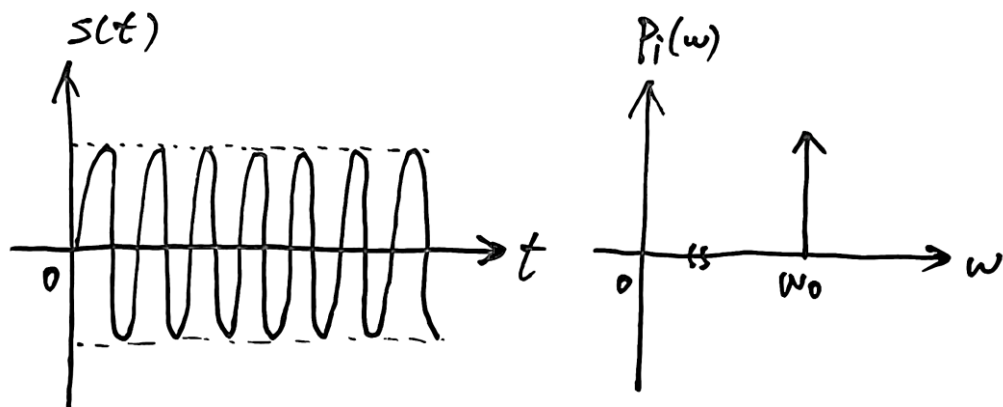
■ 频率选择性衰落

- 不同频率衰落不一致，具有周期性
- 现象：波形畸变

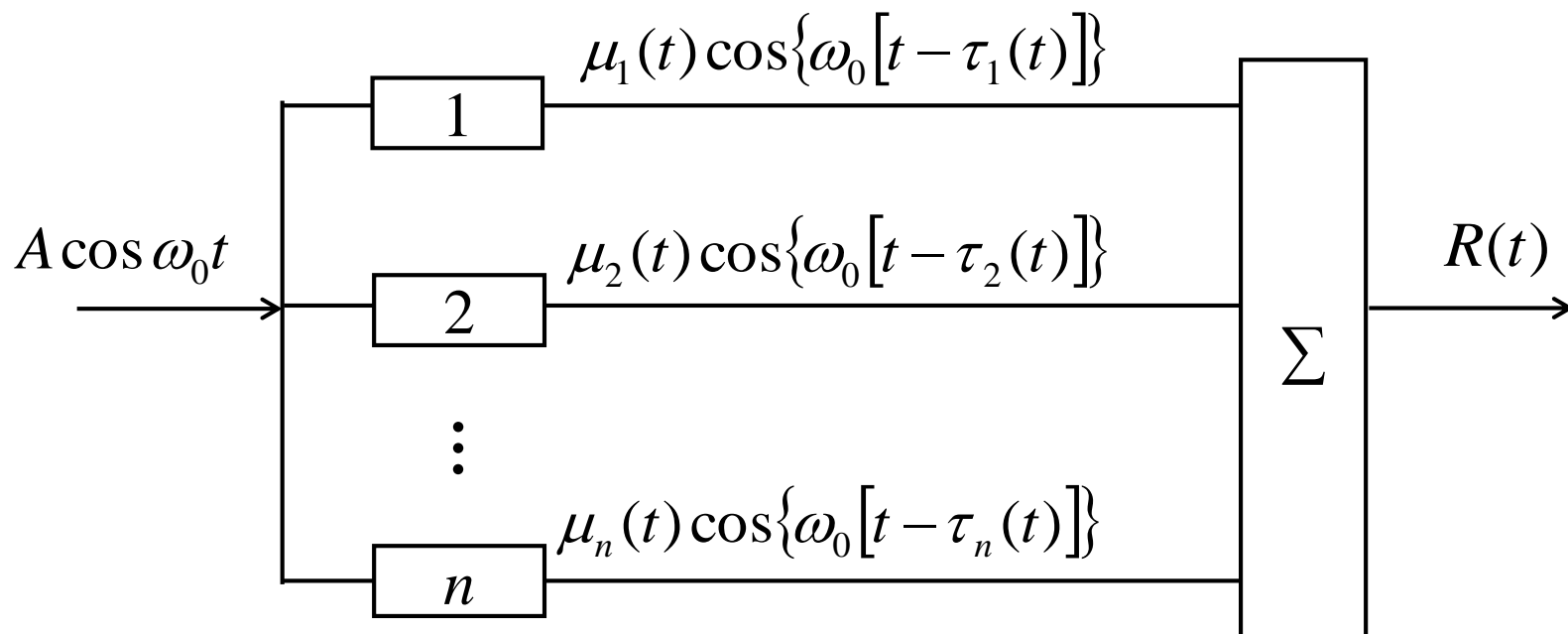


■ 瑞利衰落

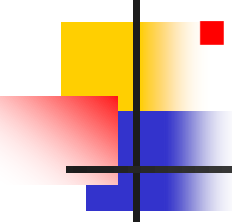
- 假设发射信号为单频等幅正弦波，接收信号因多径效应变成包络起伏的窄带平稳高斯过程，包络的一维分布服从**瑞利分布**，相位一维分布服从均匀分布，出现**频率弥散**现象，这种衰落称为瑞利衰落。



- 
- 每条路径的衰减和时延都是随机过程*



$$R(t) = \sum_{i=1}^n \mu_i(t) \cos\{\omega_0[t - \tau_i(t)]\}$$

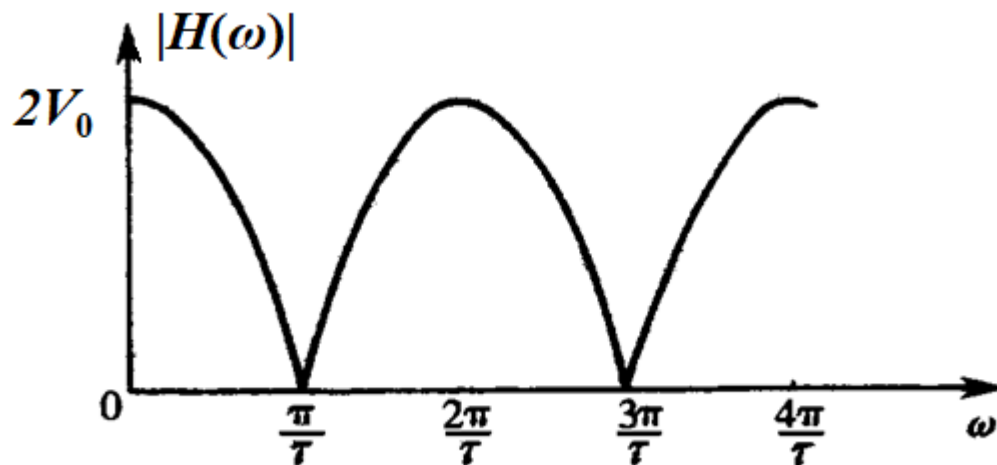
- 
- $R(t)$ 是窄带平稳高斯过程，包络 $V(t)$ 的一维分布是瑞利分布，相位 $\varphi(t)$ 的一维分布是均匀分布。
-

$$\begin{aligned} R(t) &= \sum_{i=1}^n \mu_i(t) \cos\{\omega_0[t - \tau_i(t)]\} = \sum_{i=1}^n \mu_i(t) \cos[\omega_0 t + \varphi_i(t)] \\ &= \sum_{i=1}^n \mu_i(t) \cos \varphi_i(t) \cos \omega_0 t - \sum_{i=1}^n \mu_i(t) \sin \varphi_i(t) \sin \omega_0 t \\ &= X_c(t) \cos \omega_0 t - X_s(t) \sin \omega_0 t \\ &= V(t) \cos[\omega_0 t + \varphi(t)] \end{aligned}$$

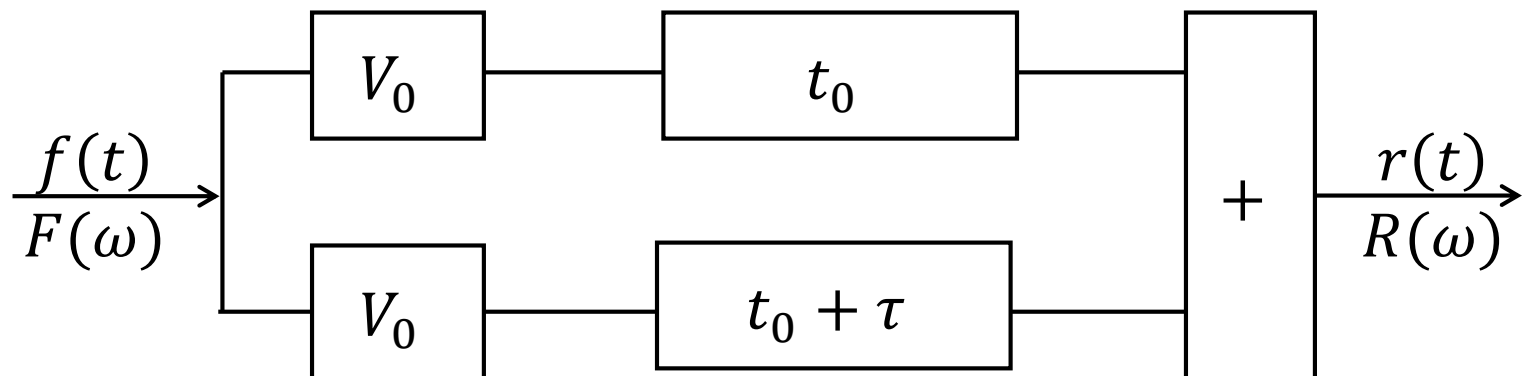
$$V(t) = \sqrt{X_c^2(t) + X_s^2(t)} \qquad \varphi(t) = \operatorname{arctg} \frac{X_s(t)}{X_c(t)}$$

■ 频率选择性衰落

- 多径信道的传输衰减和信号频率及相对时延差 τ 有关，因而导致信号中某些频率成份随机性严重衰落。由于这种衰落和频率有关，故称频率选择性衰落

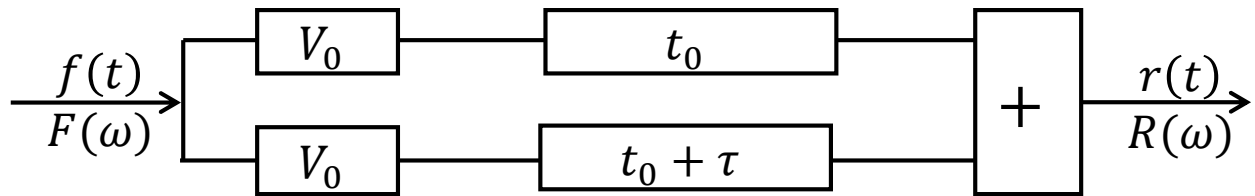


- 
- 假设多径传播只有两个多径分量



$$R(\omega) = F(\omega) \cdot H(\omega)$$

$$|H(\omega)| = 2V_0 \left| \cos \frac{\omega\tau}{2} \right|$$



*推导

$$r(t) = V_0 f(t - t_0) + V_0 f(t - t_0 - \tau)$$

$$R(\omega) = V_0 F(\omega) [e^{-j\omega t_0} + e^{-j\omega(t_0 + \tau)}] = F(\omega) \cdot H(\omega)$$

$$H(\omega) = V_0 e^{-j\omega t_0} (1 + e^{-j\omega \tau})$$

$$\text{幅频特性: } |H(\omega)| = 2V_0 \left| \cos \frac{\omega \tau}{2} \right|$$

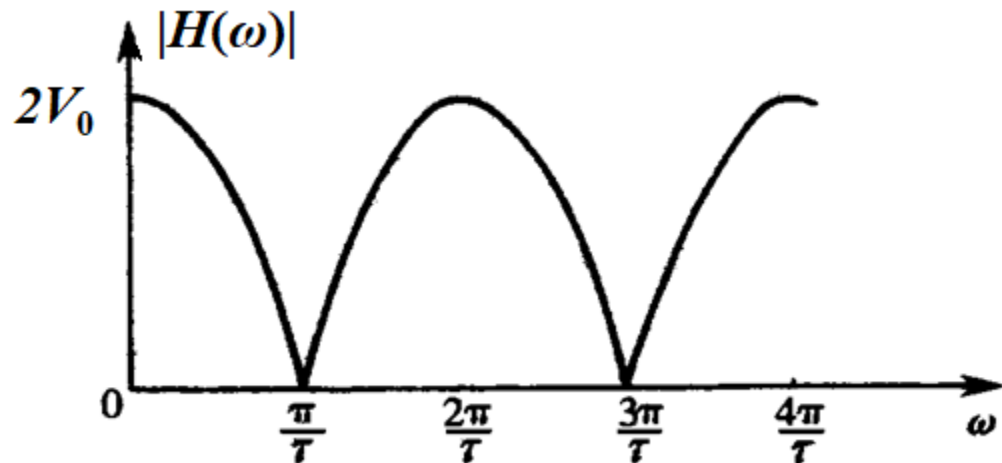
■ 当 $\frac{\omega \tau}{2} = k\pi$, 即: $\omega = \frac{2k\pi}{\tau}$

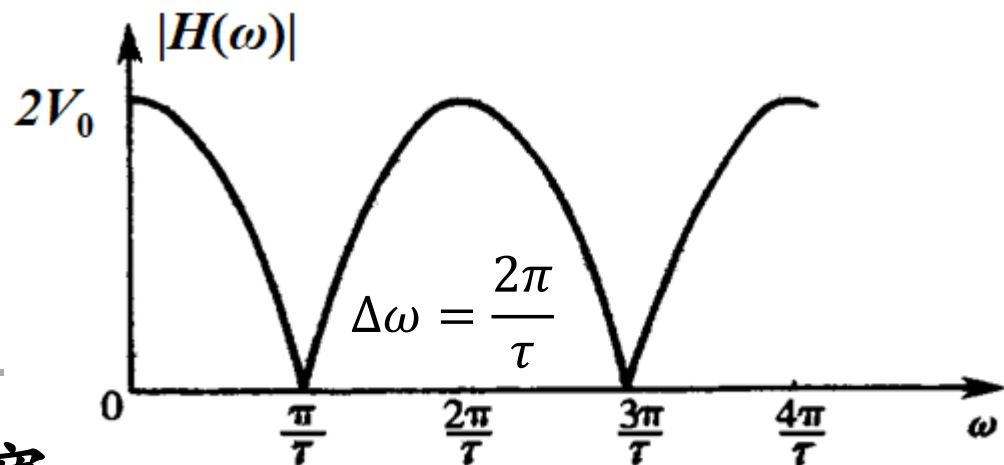
$k = 0, 1, 2 \dots$ 时, $|H(\omega)| = 2V_0$

■ 当 $\frac{\omega \tau}{2} = k\pi + \frac{\pi}{2}$,

即: $\omega = \frac{(2k+1)\pi}{\tau}$,

$k = 0, 1, 2 \dots$ 时, $|H(\omega)| = 0$





■ 多径信道相关带宽

设 τ_m — 多径中最大的相对时延差

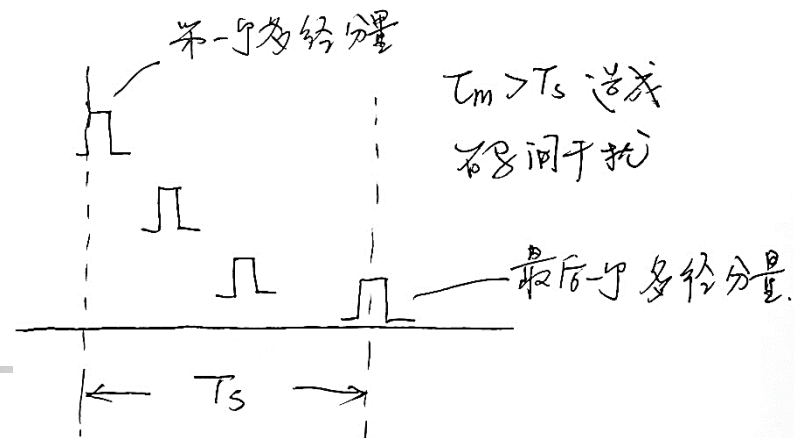
定义：相关带宽

$$\Delta f = \frac{1}{\tau_m}$$

■ 避免频率选择性衰落的措施

- 当信号带宽 $B_s > \Delta f$ 时，将产生严重的频率选择性衰落。为避免之，取经验公式：

$$B_s = \left(\frac{1}{5} \sim \frac{1}{3}\right) \Delta f$$



■ 多径效应对数字信号的影响

- 导致数字信号出现码间干扰

- 要求码元宽度 $T_s > \tau_m$

即：码元速率 $R_B < \Delta f$

■ 随参信道特性改善一分集技术*

- 基本思想：人为制造多径，用相互独立的多路信号传输同一信息，在接收端分别接收这些信号，再进行合并处理，由于接收的多路信号不可能同时被衰落掉，则可大大减少衰落的影响



本章小结

- 信道分类
 - 狭义和广义、有线和无线、恒参和随参、调制和编码、离散和连续、模拟和数字
- 广义信道的数学模型
- 恒参信道无失真传输条件
- 随参信道对传输信号的主要影响
- 多径效应的概念



作业

- 阅读教材第四章前5节内容
- 思考题（要写）：6、8