

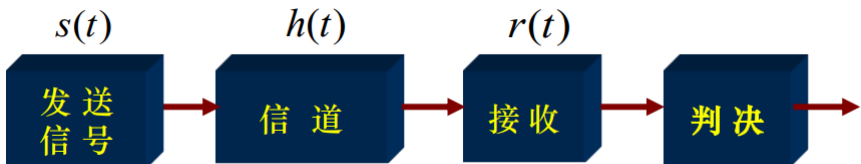
信道

信道的概念和实际信道

信道的概念

定义：信号传输的通道

如何研究信道



$$r(t) = h(t) * s(t) + n(t)$$

从信道来说， $h(t)$ 就是信道冲激响应，也称信道特性。

无线信道

电磁波频谱划分

- 按工作波段分类

频率

3KHz 30KHz 300KHz 3MHz 30MHz 300MHz 3GHz 30GHz 300GHz

VLF 甚低频	LF 低频	MF 中频	HF 高频	VHF 甚高频	UHF 特高频	SHF 超高频	EHF 极高频
VLW 甚长波	LW 长波	MW 中波	SW 短波	VSW 甚短波	分米波	厘米波	毫米波

10⁵m 10⁴m 10³m 10²m 10¹m 1m 10⁻¹m 10⁻²m 10⁻³m
波长

18

- 国际通用的频段名称

频段名称	VHF	UHF	L	S	C	X	Ku	K	Ka	F	E	V
频段 (GHz)	0.03 ~ 0.3	0.3 ~ 1.0	1.0 ~ 2.0	2.0 ~ 4.0	4.0 ~ 8.0	8.0 ~ 12.5	12.5 ~ 18.0	18.0 ~ 26.5	26.5 ~ 40.0	40.0 ~ 60.0	60.0 ~ 90.0	90.0 ~ 140.

电磁波的特性

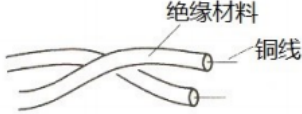
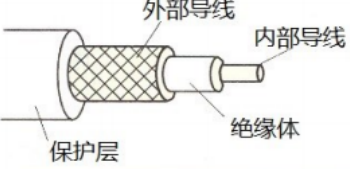
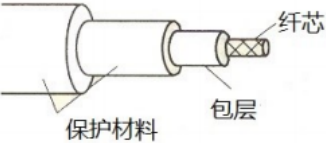
- 电磁波频率越高，则同样的天线，通信波束越窄，功率利用越充分。
- 电磁波频率越高，则其他条件不变的情况下，天线发射（接收）效率越高，天线口径可越小。
- 电磁波频率越高，其穿透能力和绕射能力越弱。

电波主要传播模式

- 天波传播
- 地波传播
- 散射传播
- 视距传播

有线信道

几种典型的有线信道

线路种类	构造	特征	主要用途
双绞线	 绝缘材料 铜线	便宜、结构简单， 传输频带宽，有漏话 现象，易混入杂音。	用户电话线 低速LAN
同轴电缆	 外部导线 内部导线 绝缘体 保护层	价格稍高，传输频带 宽，漏话感应少，分 支、接头容易	CATV分配电缆 程控交换机
光纤	 纤芯 包层 保护材料	低损耗，频带宽，重 量轻，直径小，无感 应，无漏话	国际间主干线 国内城市间主干线 高速LAN

双绞线

为什么要绞绞

目的是为了提高抗干扰性能，绞度越大，抗干扰性能越好，同时成本也越高

同轴电缆

光纤

光纤传输原理：全反射原理

- 多模光纤（MMF）
- 单模光纤（SMF）

光源：LED、激光

光纤中的色散：限制了光纤的无中继传输的距离

信道特性及其数学模型

信道的数学模型

调制信道和编码信道

- 调制信道：从调制器的输出端到解调器的输入端
 - 使调制信号发生波形变化
- 编码信道：从编码器的输出端到解码器的输入端
 - 对信号的影响是数字序列的变化

调制信道模型

1. 调制信道的主要特性

- 有一对或多对输入端，必然有一对或多对输出端
- 绝大部分信道是线性的，即满足叠加原理
- 信号通过信道需要经过一定的延时
- 信道对信号有损耗（固定或时变损耗）
- 即使没有信号输入，接收端仍有信号输出（噪声），通常称为**加性噪声**或**加性干扰**

2. 二对端的调制信道模型

$$\begin{aligned}e_o(t) &= f[e_i(t)] + n(t) \\e_o(t) &= k(t) \cdot e_i(t) + n(t) \\&\begin{cases} k(t) \text{ 为乘性噪声} \\ n(t) \text{ 为加性噪声} \end{cases}\end{aligned}$$

3. 信道对信号的影响

- 加性干扰 $n(t)$
- 乘性干扰 $k(t)$

包含的要素：线性失真、非线性失真、时间延迟以及衰减等

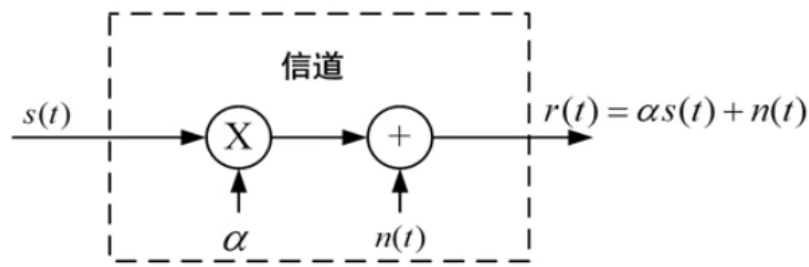
随时间变换的特性

调制信道的分类

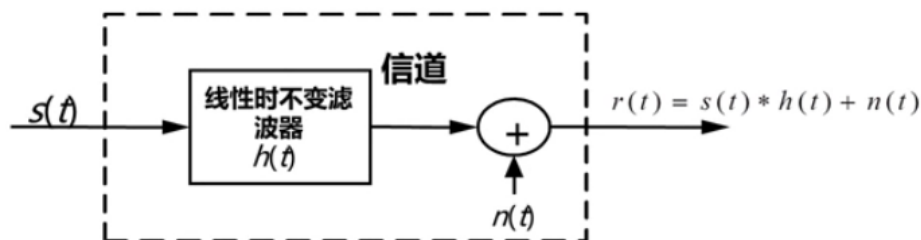
- 恒参信道： $k(t)$ 不随时间变化或变化极为缓慢；有线信道通常可以看成恒参信道
- 随参信道： $k(t)$ 随时间 t 随机变化；移动无线信道为随参信道

4. 调制信道的数学模型

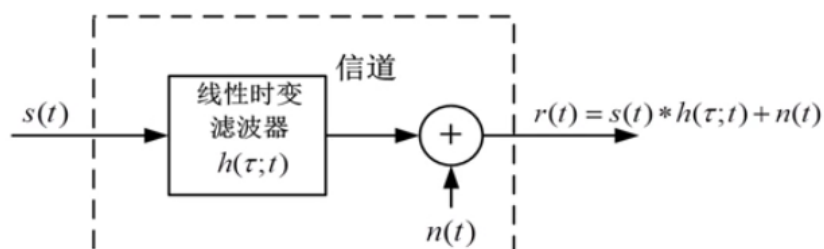
① 加性噪声恒参信道



② 具有加性噪声的线性滤波信道



③ 加性噪声线性时变滤波信道模型



编码信道模型

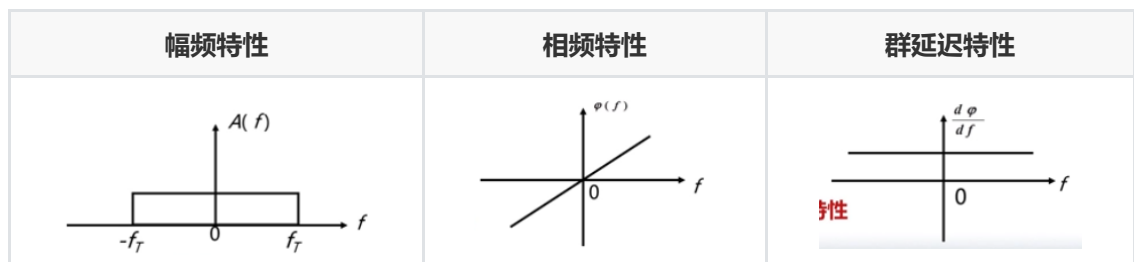
1. 编码信道包括调制器、解调器和传输媒介
2. 与调制信道的关系
 - 调制信道不理想会导致编码信道中产生错码
3. 编码信道模型
 - 采用数字信号的转移概率来描述

信道特性对信号传输的影响

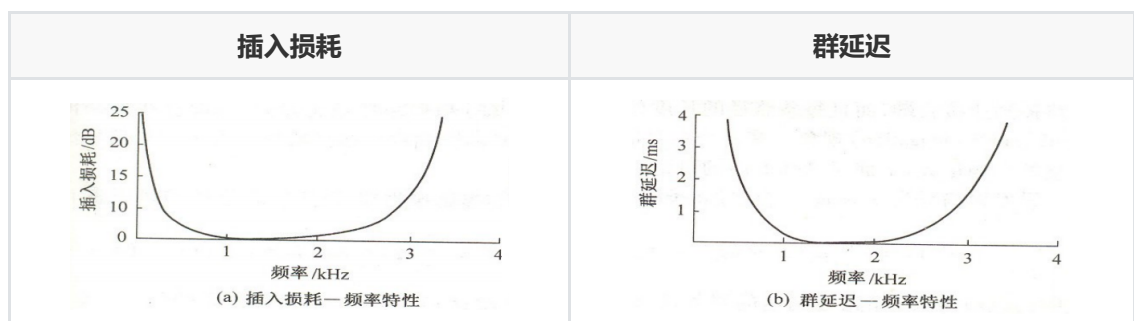
信道的传输特性

信道的传输特性可用其**幅-频特性**和**相-频特性**来描述。（适用于恒参信道）

- 理想信道的幅频和相频特性



- 实际信道的幅、相特性



解决办法：采用线性网络进行补偿，如时域均衡

信道引起的信号失真

1. 码间串扰：传输特性不理想或多径引起
2. 频率偏移：主要由多普勒效应引起
3. 信号衰落：多径或信道自身变化引起

衰落：信号包络因传播有了起伏的现象

- 多径传播会引起信号衰落（快衰落），主要由于信号叠加
- 信道自身特性的变化也会引起传输信号的衰落，慢衰落。如短波信道
- 衰落还分为**时间选择性衰落**、**频率选择性衰落**和**平衰落**
 - 多径引起的衰落以频率选择性衰落为主
 - 传输频偏可引起时间选择性衰落
 - 平衰落出现在低速数据传输时

无线信道的统计模型

1. 瑞利(Rayleigh)分布衰落

当电磁波经过反射、折射、散射等丰富路径传播至接收端时，接收信号包络服从Rayleigh分布。假设 r 为接收信号包络，其概率密度函数为：

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp(-\frac{r^2}{2\sigma^2}) & 0 \leq r \leq \infty \\ 0 & r < 0 \end{cases}$$

2. 莱斯(Rician)分布衰落

如果电磁波除经反射、散射等路径传播以外还存在直射路径，则接收信号包络服从Rician分布。假设 r 为接收信号包络，则概率密度函数：

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp(-\frac{r^2+A^2}{2\sigma^2}) I_0(\frac{Ar}{2\sigma^2}) & 0 \leq r, A \geq 0 \\ 0 & r < 0 \end{cases}$$

3. SUI信道模型

美国斯坦福大学提出的信道统计模型，共有SUI1-SUI6六套典型参数。其中SUI-1和SUI-2描述较为平坦和轻微树木遮挡信道，SUI-3和SUI-4描述中等路损地区，SUI-5和SUI-6描述山区和树木遮挡严重区域。

信道中的噪声和干扰

信道中的噪声

加性噪声 $N(t)$ 分为**自然噪声**和**人为干扰**两类。

- 自然噪声包括自然界辐射的噪声和接收机内部的热噪声
- 热噪声是任何温度高于绝对零度的电子设备所固有的。热噪声来自电阻性元器件中电子的热运动。

信道中的干扰

1. 己方和民用设备造成的干扰

- 同频干扰
- 邻频干扰
- 互调干扰
- 杂散辐射干扰
- 谐波辐射干扰

2. 敌方施放的恶意干扰

- 定频式干扰
- 瞄准式干扰
- 阻塞式干扰
- 扫频式干扰

信道容量

连续信道的信道容量

信道容量的概念

- 信道容量：信道中信息能够无差错传输的最大平均信息速率

香农公式

对于带宽有限、平均功率有限的高斯白噪声连续信道，设信道带宽为 $B(HZ)$ ，信道输出信号功率 $S(W)$ ，输出加性高斯噪声功率为 $N(W)$ ，则可以证明该信道的信道容量为

$$C = B \log(1 + \frac{S}{N})(b/s)$$

令加性高斯噪声的单边功率谱密度为 n_0 ，则

$$N = n_0 B$$
$$C = B \log(1 + \frac{S}{n_0 B})(b/s)$$

保持 $\frac{S}{n_0}$ 一定，信道带宽 $B \rightarrow \infty$

$$\lim_{B \rightarrow \infty} C = \lim_{B \rightarrow \infty} [\frac{B n_0}{S} \log_2(1 + \frac{S}{B n_0})] \cdot \frac{S}{n_0} = 1.44 \frac{S}{n_0}$$

① $\frac{S}{n_0}$ 一定时无限大带宽对应的信道容量称为**信道容量极限**

② 带宽与信噪比的互换

$$C = B \log_2(1 + \frac{S}{N})$$

- 带宽和信噪比的互换能保持信道容量不变
- 增加较小的带宽可以节省较多的功率
- 通过增加信噪比来节省带宽往往付出较大代价

③ 令信息传输速率 $R = C$ ，比特平均能量为 E_b ，信道容量极限可以表示为：

$$\lim_{B \rightarrow \infty} C = 1.44 \frac{S}{n_0} = 1.44 \frac{E_b C}{n_0}$$
$$\rightarrow \frac{E_b}{n_0} = \frac{1}{1.44} = -1.6dB$$

离散信道的信道容量