



# 通信原理

---

## 第4章 信道 Channel



- 信道分类
- 信道模型
- 恒参/随参信道特性对信号传输的影响
- 信道噪声
- 信道容量

定义·分类

模型·特性

影响·措施

信道噪声  
信道容量



# 概述

## 信道的定义与分类

### ■ 狭义信道：

——**传输媒质**

- **有线信道**

——明线、电缆、光纤

- **无线信道**

——自由空间或大气层

### 无线信道举例：

地波传播、短波电离层反射、超短波或微波视距中继、卫星中继、散射及移动无线电信道

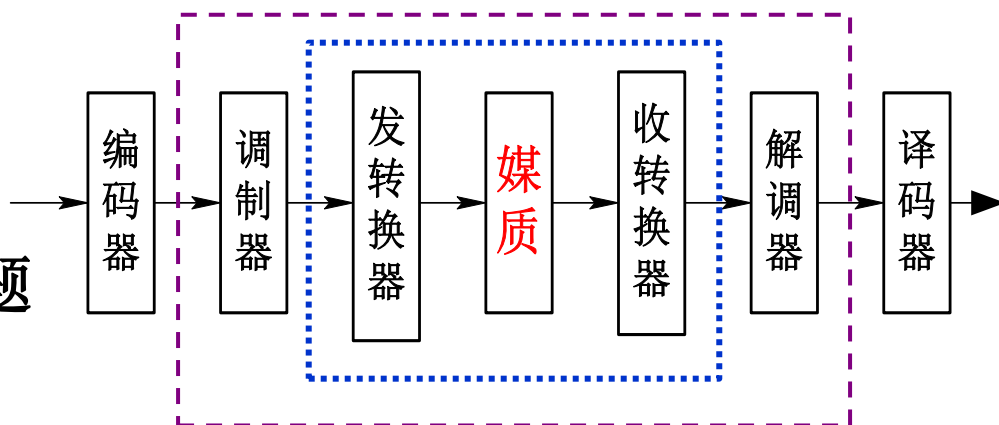
### ■ 广义信道：

- **调制信道**

——研究调制/解调问题

- **编码信道**

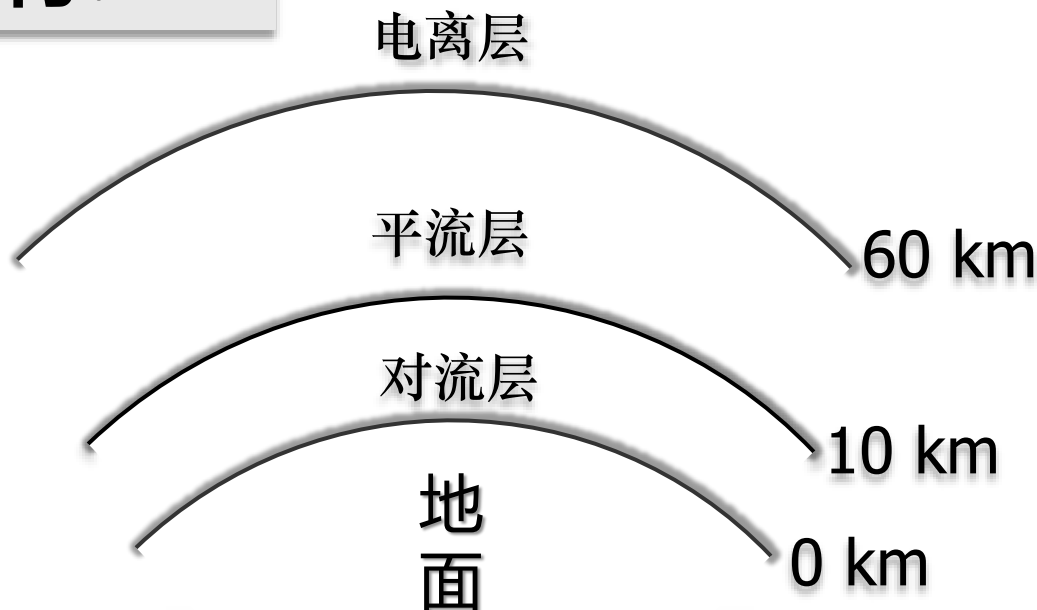
——研究编码/译码问题





## 4.1 无线信道(Wireless channel)

### ■ 地球大气层的结构：



- 对流层：约 **0 ~10** km
- 平流层：约 **10~60** km
- 电离层：约 **60~400** km



## 4.1 无线信道(Wireless channel)

### ■ 电磁波的传播方式:

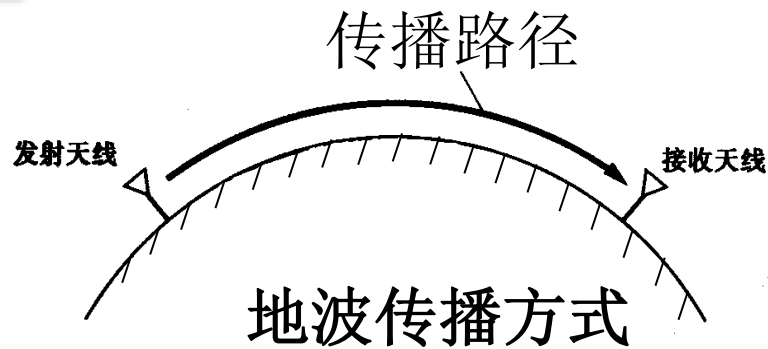
#### □ 地波 ground-wave

频率:  $< 2 \text{ MHz}$

特性: 有绕射能力

距离: 数百或数千米

用于: AM广播



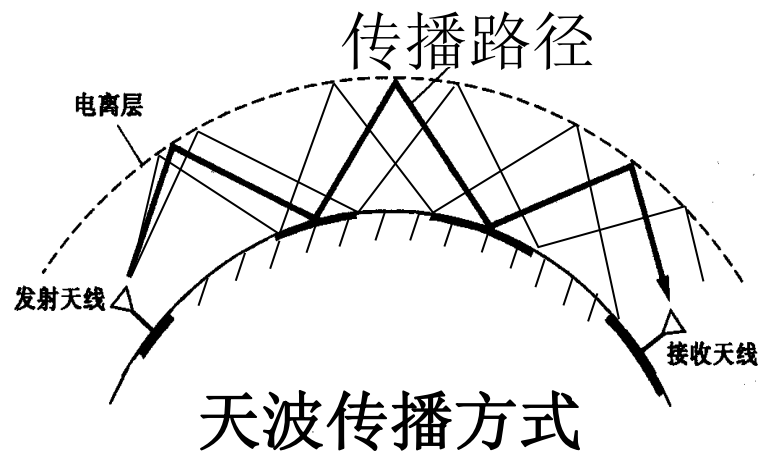
#### □ 天波 sky-wave

频率:  $2 \sim 30 \text{ MHz}$

特性: 被电离层反射

距离:  $< 4000 \text{ km}$  (一跳)

用于: 远程、短波通信



# 4.1 无线信道(Wireless channel)



## □ 视线传播 line-of-sight

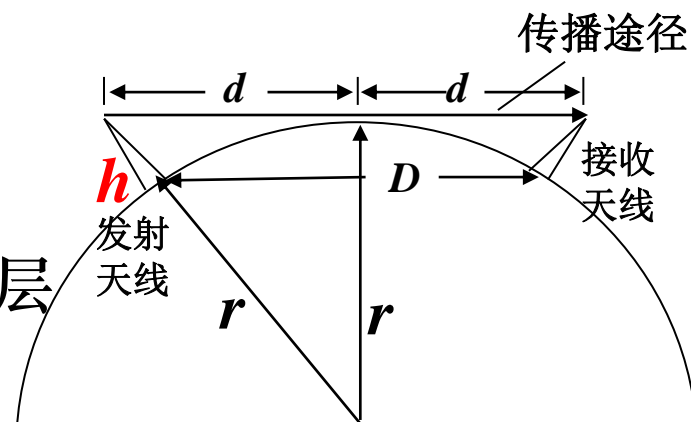
频率: > 30 MHz

特性: 直线传播、穿透电离层

用途: 卫星和外太空通信

超短波及微波通信

距离: 与天线高度有关



视线传播方式

$$h = \frac{D^2}{8r} \approx \frac{D^2}{50} (m)$$

$D$  为收发天线间距离(km)

设收发天线的架设高度均为40 m，则最远通信距离为：[填空1]。



## 4.1 无线信道(Wireless channel)

Q&A

增大视线传播距离的其他途径？

- ◆ 微波中继（微波接力）
- ◆ 卫星中继（静止卫星、移动卫星）
- ◆ 平流层通信





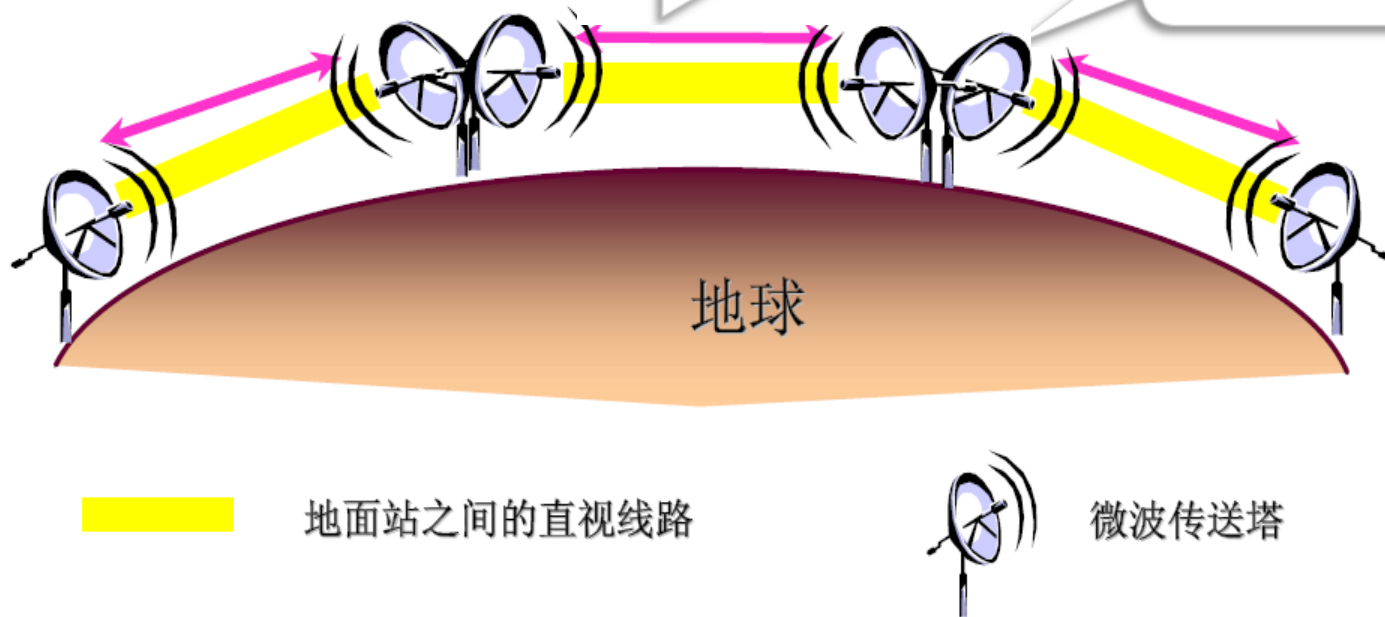
## 4.1 无线信道(Wireless channel)

### ◆ 微波中继

Microwave relay

两点间传输距离  
30km ~ 50km

远距离通信时，  
需建立多个中继站



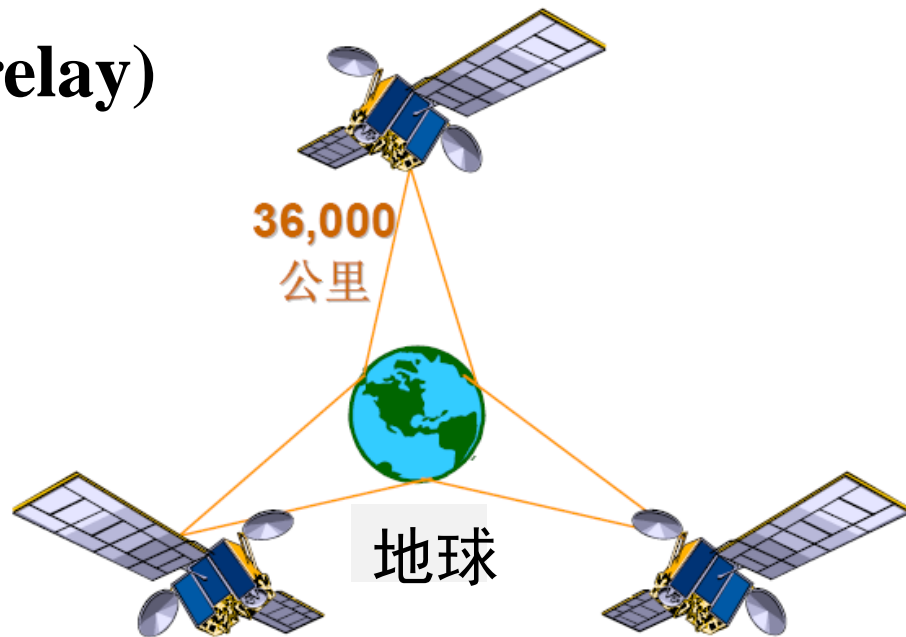
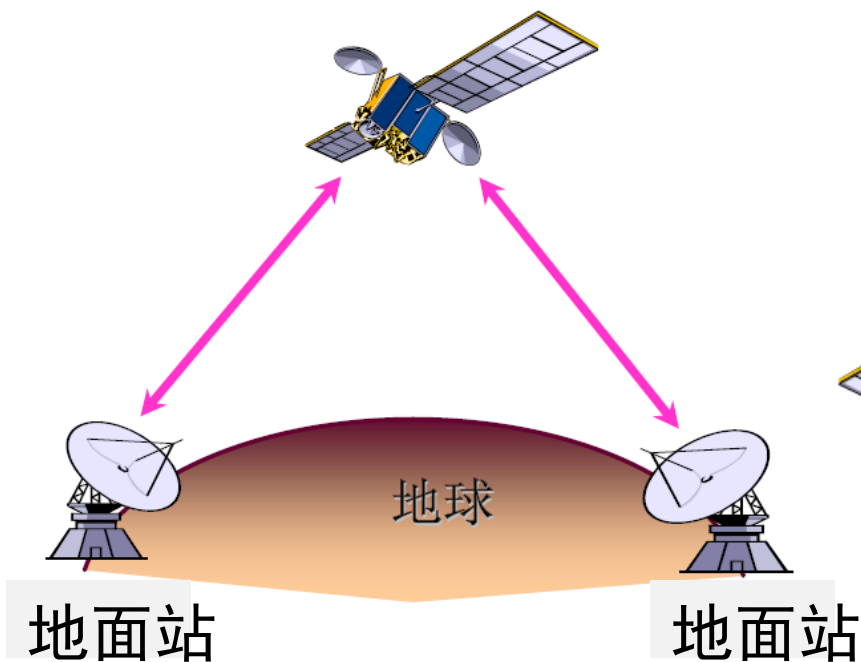
优点：容量大、投资少、维护方便、传输质量稳定。

应用：远距离传输话音和电视信号。



## 4.1 无线信道(Wireless channel)

### ◆ 卫星中继(Satellite relay)



**优点：** 通信容量大，传输质量稳定，传输距离远，覆盖区域广。  
**缺点：** 传输时延大，信号衰减大，造价高。



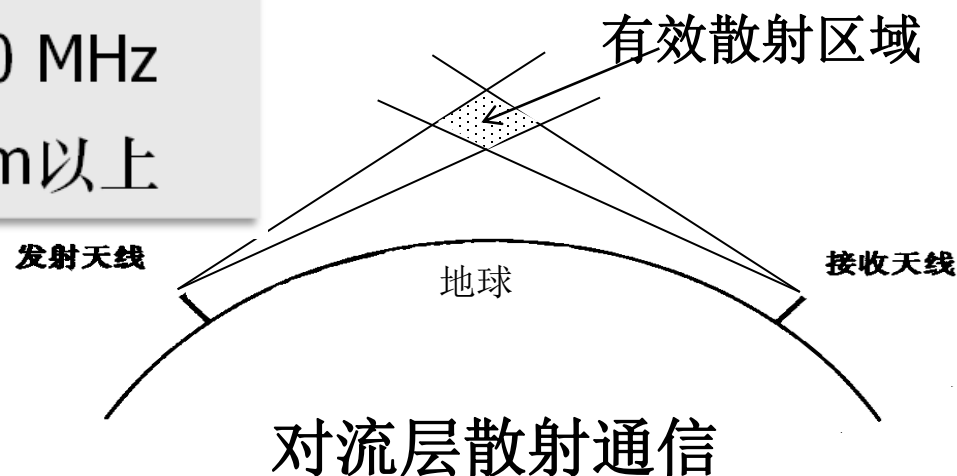
## 4.1 无线信道(Wireless channel)

### □ 散射通信

#### 电离层散射

频率：30 ~ 60 MHz

距离：1000 km以上



#### 对流层散射

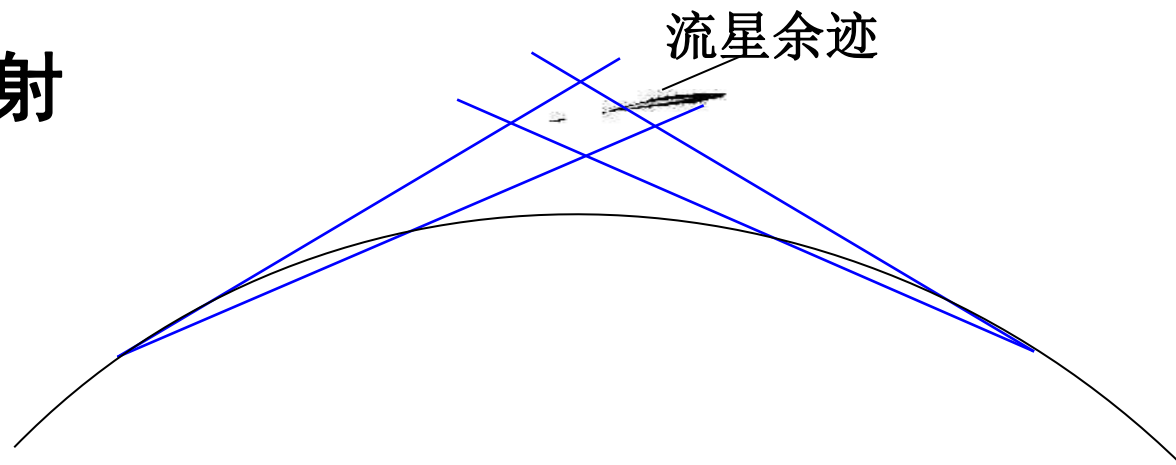
频率：100 ~ 4000 MHz

距离：< 600 km



## 4.1 无线信道(Wireless channel)

### □ 流星余迹散射



特性: 高度80 ~ 120 km, 长度15 ~ 40 km

存留时间: 小于1秒至几分钟

频率: 30 ~ 100 MHz

距离: 1000 km以上

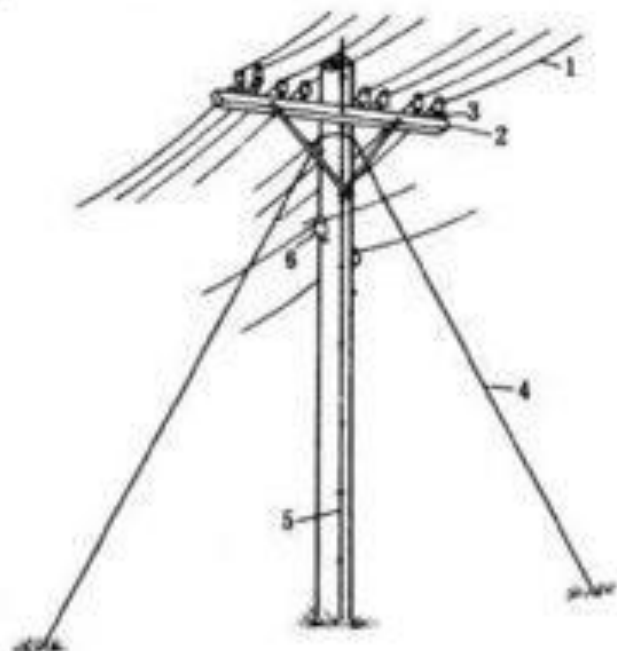
用途: 低速存储、高速突发、断续传输



## 4.2 有线信道

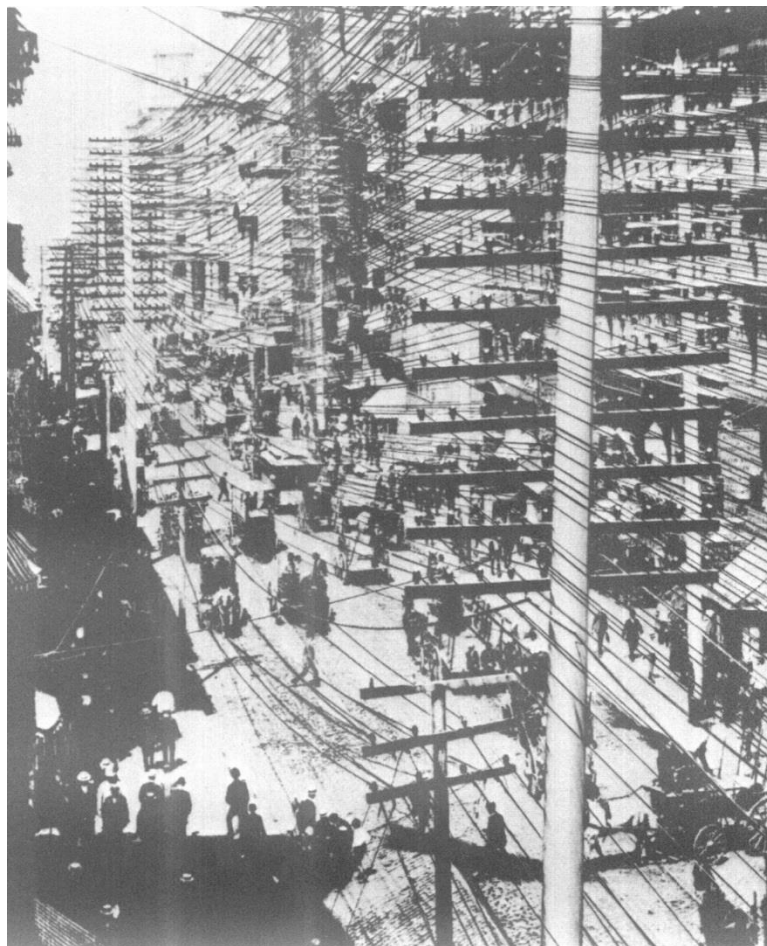
明线 对称电缆 同轴电缆 光纤

### ■ 明线



明线线路图

1 导线 2 横担 3 直螺脚  
4 拉线 5 避雷线 6 弯螺脚隔电子



1880年纽约街貌



## 4.2 有线信道

### ■ 对称电缆



#### 特点

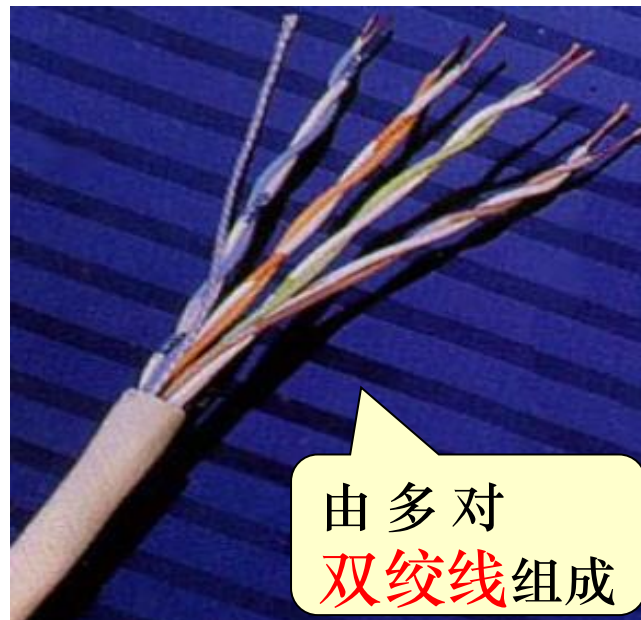
每对呈扭绞状，以减小各线对的相互干扰。

#### 缺点

传输衰减大/距离短，邻道间有串话干扰。

#### 应用

电话线路、局域网及综合布线工程中的传输介质



非屏蔽双绞线(UTP)

(便宜、易弯曲、易安装)

屏蔽双绞线(STP)

(可减少噪声干扰)



## 4.2 有线信道

### ■ 同轴电缆

#### 组成

由同轴的两个导体组成

内芯：金属导线

外导体：金属编织网

#### 优点（相比双绞线）

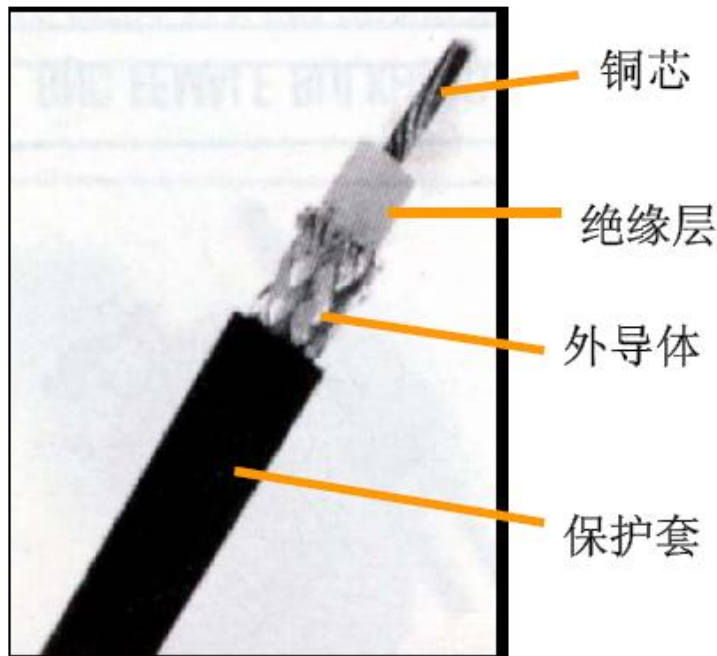
抗电磁干扰能力强

带宽更宽、速率更高

#### 缺点

成本较高；

解决：用光缆代替（干线）







## 4.2 有线信道

### 基带同轴电缆：

- **50Ω**，多用于数字基带传输
- 速率可达10Mb/s
- 传输距离<几千米

### 宽带（射频）同轴电缆：

- **75Ω**，用于传输模拟信号
- 多用于有线电视（CATV）系统
- 传输距离可达几十千米



## 4.2 有线信道



### ■ 光纤 (Optical fiber)

结构:

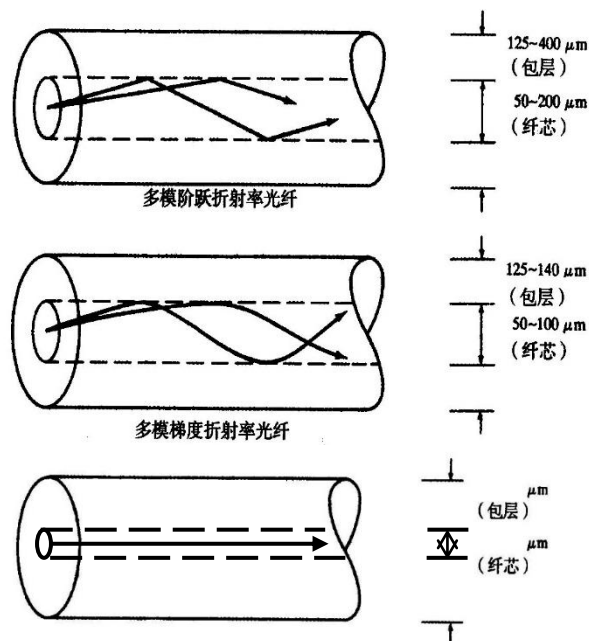
- 纤芯
- 包层

按折射率分类:

- 阶跃型
- 梯度型

按模式分类:

- 多模光纤
- 单模光纤



光纤结构示意图

多模式  
粗  
近  
便宜

单模式  
细  
远  
较贵



## 4.2 有线信道

### 优点

- 传输带宽宽、通信容量大；
- 传输衰减小，无中继传输距离远；  
( $< 0.2\text{dB/km}$ ) (几百公里)
- 抗电磁干扰，传输质量好，防窃听，耐腐蚀；
- 体积小，重量轻，节省有色金属，环保。

### 缺点

易碎，接口昂贵，安装和维护需要专门技能。

### 应用

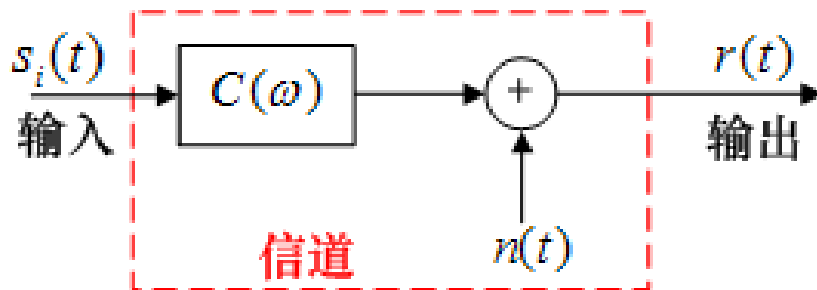
长途电话网、有线电视网等的主干线路中。



## 4.3 信道数学模型

### 4.3.1 调制信道模型

- **模型：** 叠加有噪声的线性时变/时不变网络：



- **共性：**

- 有一对（或多对）输入端和输出端
- 大多数信道都满足线性叠加原理
- 对信号有固定或时变的延迟和损耗
- 无信号输入时，仍可能有输出（噪声）

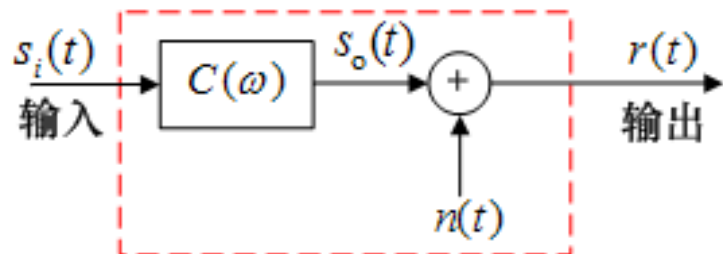


## 4.3.1 调制信道模型

### ■ 入出关系:

加性噪声  
始终存在

$$r(t) = s_o(t) + n(t)$$



$$s_o(t) = f[s_i(t)] = c(t) * s_i(t)$$

反映信道  
本身特性

乘性干扰  
(共存共失)

$$S_o(\omega) = C(\omega)S_i(\omega)$$

◆ 调制信道对信号的影响程度取决  $C(\omega)$  与  $n(t)$  的特性。

## 4.3.1 调制信道模型

- 不同的物理信道具有不同的特性  $C(\omega) = \text{常数}$ （可取1）

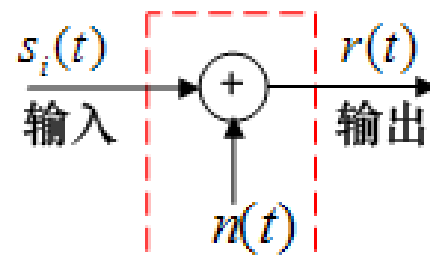
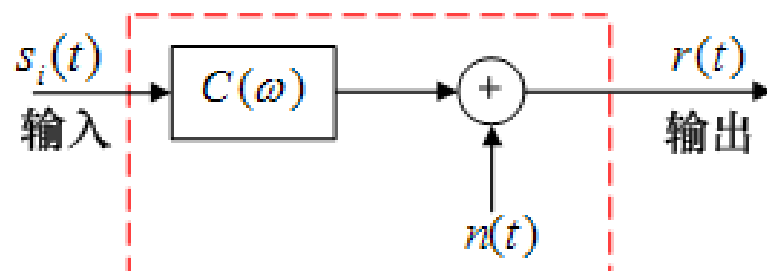
调制信道分为：  
（根据信道的时变特性）

- **恒参信道**

——特性基本不随时间变化

- **随参信道**

——特性随时间随机快变化

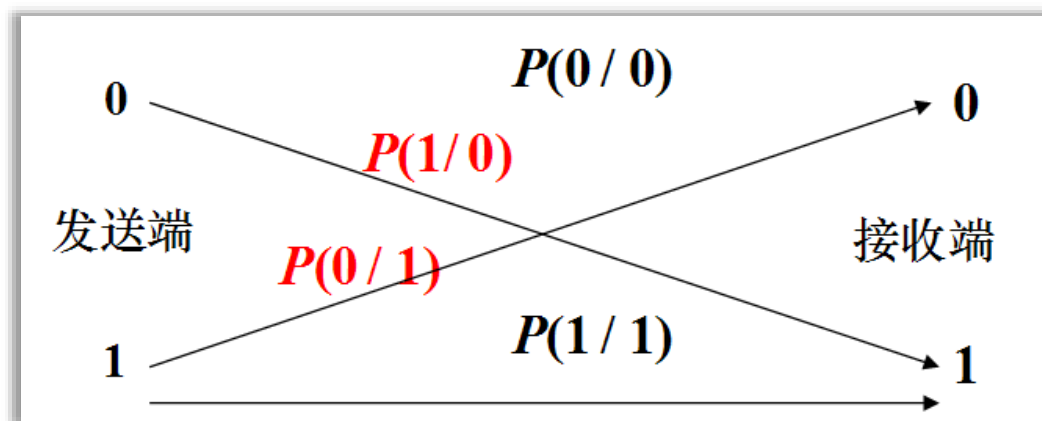


加性高斯白噪声信道模型



## 4.3.2 编码信道模型

- 模型：可用转移概率来描述。



二进制  
无记忆  
编码信道  
模型

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

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

正确

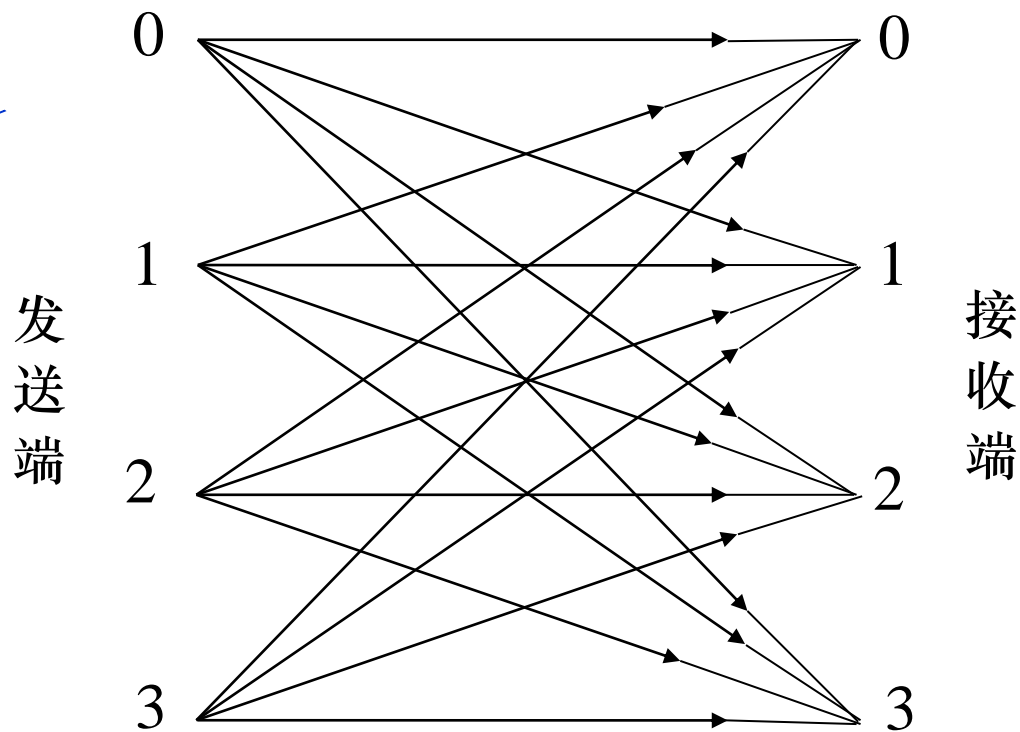
错误

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



## 4.3.2 编码信道模型

四进制  
无记忆  
编码信道





## 4.4 恒参/随参信道特性对信号传输的影响

### 恒参信道特性及其对信号传输的影响

#### 线性时不变系统

- 特点：传输特性随时间缓变或不变。
- 举例：各种有线信道、卫星信道…

#### 1. 传输特性

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

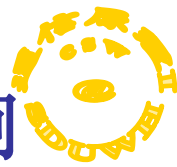
$$\begin{cases} |H(\omega)| \sim \omega & \text{幅频特性} \\ \phi(\omega) \sim \omega & \text{相频特性} \end{cases}$$

#### 2. 无失真传输

$$H(\omega) = K e^{-j\omega t_d}$$

$$\begin{cases} |H(\omega)| = K \\ \phi(\omega) = \omega t_d \end{cases}$$

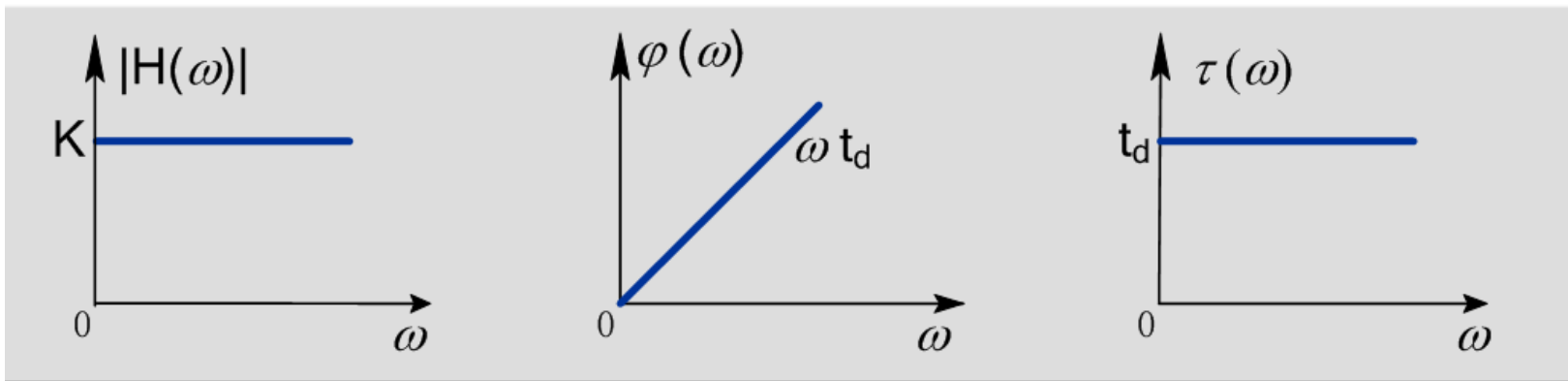




## 4.4 恒参/随参信道特性对信号传输的影响

### 恒参信道特性及其对信号传输的影响

- ◆ 无失真传输（理想恒参信道）特性曲线：



$$|H(\omega)| = K$$

幅频特性

$$\varphi(\omega) = \omega t_d$$

相频特性



$$\tau(\omega) = \frac{d\varphi(\omega)}{d\omega} = t_d$$

群延迟特性



## 4.4 恒参/随参信道特性对信号传输的影响

### ■ 恒参信道 特性及其对信号传输的影响

- ◆ 理想恒参信道的冲激响应:

$$H(\omega) = K e^{-j\omega t_d}$$



$$h(t) = K \delta(t - t_d)$$

若输入信号为 $s(t)$ ，则理想恒参信道的输出:

$$s_o(t) = K s(t - t_d)$$

固定的迟延

固定的衰减

—— 这种情况称为无失真传输



## 4.4 恒参/随参信道特性对信号传输的影响

### 恒参信道特性及其对信号传输的影响

#### 3. 失真 影响 措施

- ◆ 幅频失真:  $|H(\omega)| \neq K$

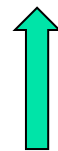
影响 { 对模拟信号: 造成波形失真 → 信噪比下降  
对数字信号: 产生码间串扰 → 误码率增大

- ◆ 相频失真:  $\phi(\omega) \neq \omega t_d$

群延迟失真:  $\tau(\omega) \neq t_d$

影响 { 对语音信号影响不大, 对视频信号影响大  
对数字信号: 码间串扰 → 误码率增大

线性  
失真



线性  
补偿  
网络

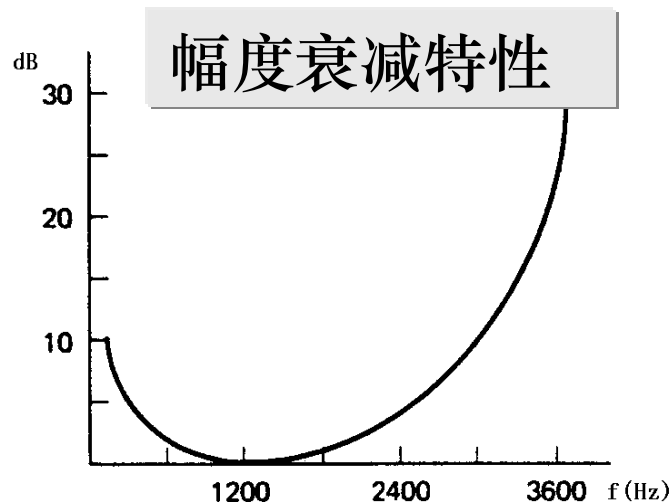
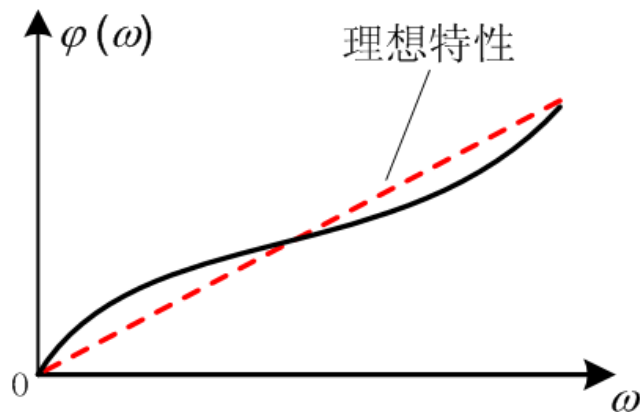


## 4.4 恒参/随参信道特性对信号传输的影响

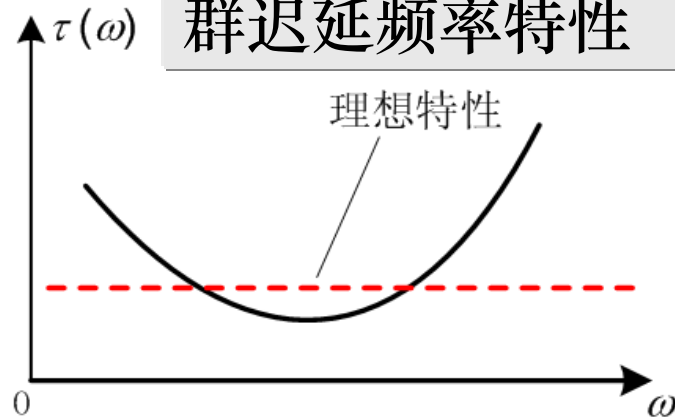
### 恒参信道特性及其对信号传输的影响

典型音频电话信道:

相频特性



群延迟频率特性





## 4.4 恒参/随参信道特性对信号传输的影响

### ■ 随参信道特性及其对信号传输的影响

→ 指传输特性随时间随机快变的信道。

#### 1. 随参信道举例

- 陆地移动信道
- 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
- 超短波超视距绕射

...



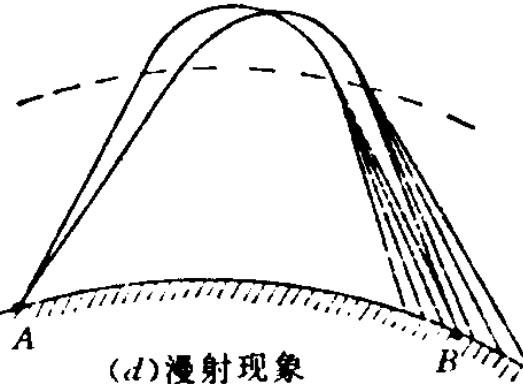
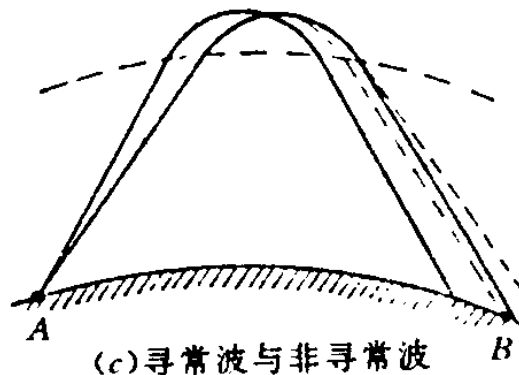
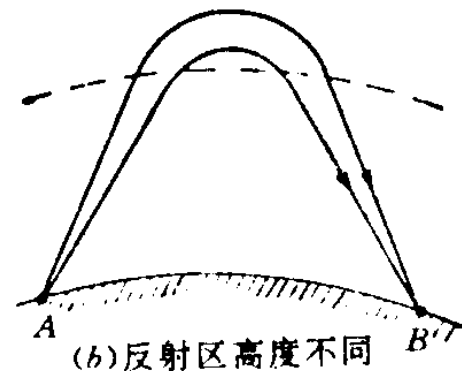
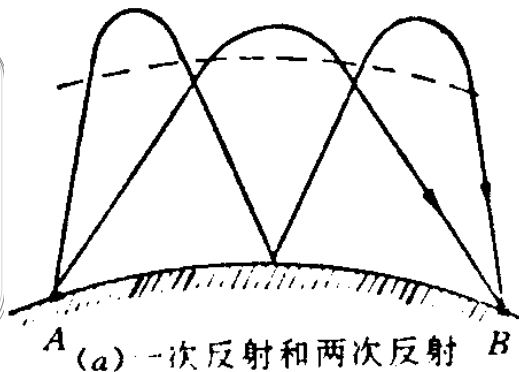
## 4.4 恒参/随参信道特性对信号传输的影响

### ■ 随参信道特性及其对信号传输的影响

#### 2. 随参信道特性

- 衰减随时间变化
- 时延随时间变化
- 多径传播

多径传播  
示意图:





## 4.4 恒参/随参信道特性对信号传输的影响

### 3. 多径效应

— 多经传播的影响

Multipath effect

设发送信号为

$$s(t) = A \cos \omega_c t$$

幅度恒定  
频率单一

经过 **$n$ 条路径**传播（各路径有**时变的衰落**和**时延**）

则接收信号为

$$r(t) = a_1(t) \cos \omega_c [t - \tau_1(t)] + a_2(t) \cos \omega_c [t - \tau_2(t)]$$

第*i*条路径  
接收信号振幅

$$\cdots + a_n(t) \cos \omega_c [t - \tau_n(t)]$$

$$= \sum_{i=1}^n a_i(t) \cos \omega_c [t - \tau_i(t)]$$

传输时延

$$= \sum_{i=1}^n a_i(t) \cos [\omega_c t + \varphi_i(t)]$$

$$\varphi_i(t) = -\omega_c \tau_i(t)$$



## 4.4 恒参/随参信道特性对信号传输的影响

### 3. 多径效应 — 多经传播的影响

$$r(t) = \sum_{i=1}^n a_i(t) \cos \varphi_i \cos \omega_c t - \sum_{i=1}^n a_i(t) \sin \varphi_i \sin \omega_c t$$

$$= \underline{X(t)} \cos \omega_c t - \underline{Y(t)} \sin \omega_c t$$

同相 ~ 正交形式

$$= \underline{V(t)} \cos [\omega_c t + \underline{\varphi(t)}]$$

包络 ~ 相位形式

包络  
相位  
随机  
缓变  
的  
窄带  
信号

瑞利  
分布

均匀  
分布

$$X(t) = \sum_{i=1}^n a_i(t) \cos \varphi_i$$

$$Y(t) = \sum_{i=1}^n a_i(t) \sin \varphi_i$$

根据概率论中心极限定理：当  $n$  足够大时， $x(t)$ 和 $y(t)$  趋于正态分布。



## 4.4 恒参/随参信道特性对信号传输的影响

### 3. 多径效应 — 多经传播的影响

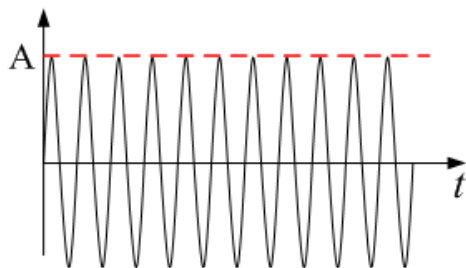
发送信号

$$s(t) = A \cos \omega_c t$$

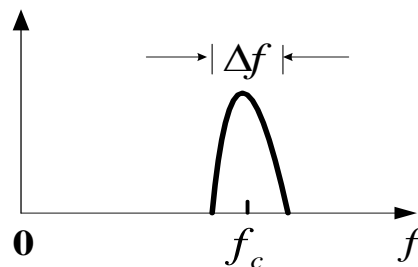
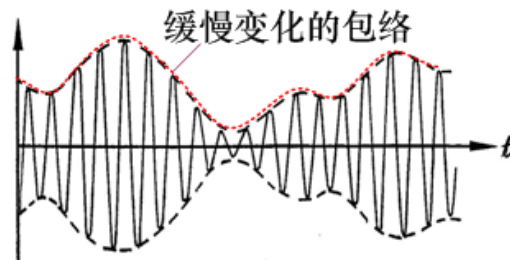
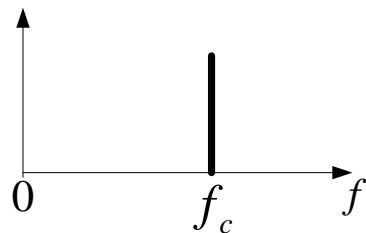
接收信号

$$r(t) = V(t) \cos [\omega_c t + \varphi(t)]$$

波形



频谱



结论

- 多径传播使信号产生瑞利型衰落；
- 多径传播引起频率弥散。



## 4.4 恒参/随参信道特性对信号传输的影响

### 3. 多径效应 — 多经传播的影响

我们更关心的问题：

多径传播

对于一个复杂信号  $f(t)$  （实际情况）

的影响如何呢？

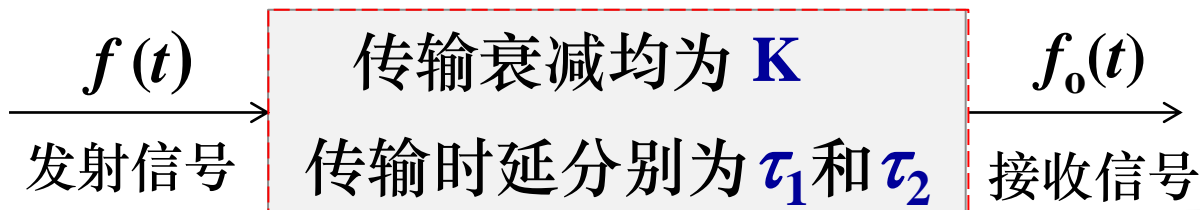




## 4.4 恒参/随参信道特性对信号传输的影响

### 3. 多径效应 — 多经传播的影响

设两条路径的信道为



则接收信号为

$$f_o(t) = K f(t - \tau_1) + K f(t - \tau_2)$$

$$\tau = \tau_2 - \tau_1$$

相对时延差

$$F_o(\omega) = K F(\omega) e^{-j\omega\tau_1} + K F(\omega) e^{-j\omega(\tau_1 + \tau)}$$

信道传输函数

$$H(\omega) = \frac{F_o(\omega)}{F(\omega)} = K e^{-j\omega\tau_1} (1 + e^{-j\omega\tau})$$

常数衰减因子 确定的传输时延因子 与信号频率 $\omega$ 有关的复因子

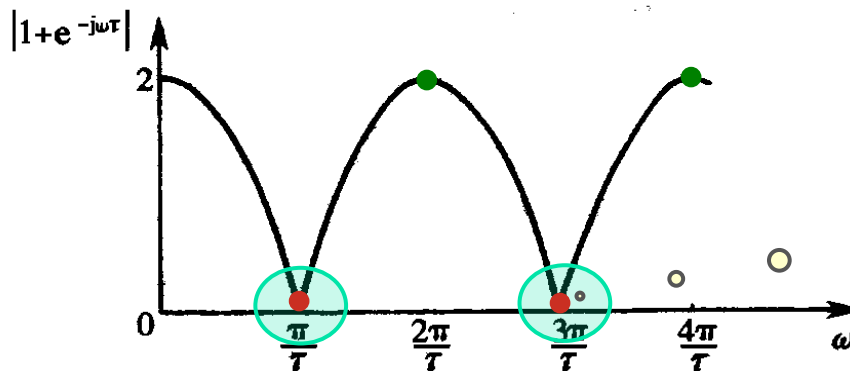


## 4.4 恒参/随参信道特性对信号传输的影响

### 3. 多径效应 — 多经传播的影响

信道幅频特性

$$|H(\omega)| = |1 + e^{-j\omega\tau}| = 2 \left| \cos \frac{\omega\tau}{2} \right|$$



陷点

- ◆ 信道对信号不同的频率成分，将有不同的衰减。

——频率选择性衰落

如何减小？

假设某随参信道具有两条路径，其衰减相同、路径时延差为  $\tau$ ，试求该信道在哪些频率上传输衰减最大？

☐ A  $\omega = \frac{2\pi n}{\tau}$

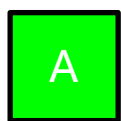
☒ B  $f = \frac{n+0.5}{\tau}$

☐ C  $f = \frac{n}{\tau}$

☒ D  $\omega = \frac{(2n+1)\pi}{\tau}$

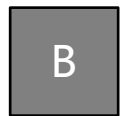
提交

假设某随参信道具有两条路径，其衰减相同、路径时延差为  $\tau$ ，试求该信道在哪些频率上传输信号最有利。



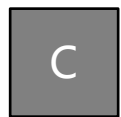
A

$$\omega = \frac{2\pi n}{\tau}$$



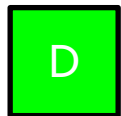
B

$$\omega = \frac{(2n+1)\pi}{\tau}$$



C

$$f = \frac{n+0.5}{\tau}$$



D

$$f = \frac{n}{\tau}$$

提交



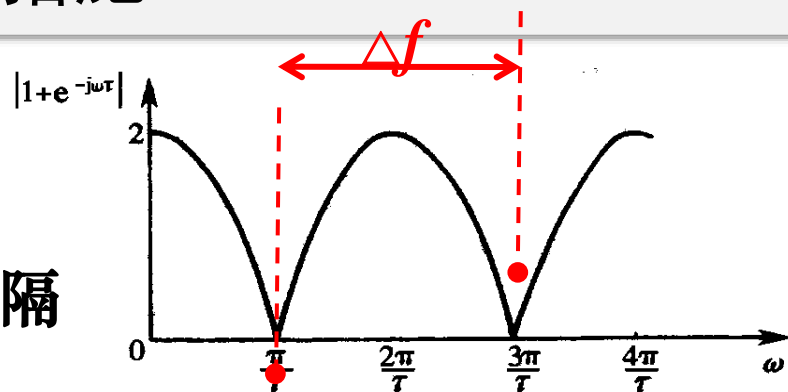
## 4.4 恒参/随参信道特性对信号传输的影响

### 4. 减小频率选择性衰落的措施

- ◆ 信道相关带宽:

$$\Delta f = 1/\tau_m$$

定义为相邻传输零点的频率间隔



- ◆ 应使信号带宽  $B_s < \Delta f$ ，工程经验公式:

$$B_s = (1/3 \sim 1/5) \Delta f$$

- ◆ 数字信号的码元宽度:

$$T_s = (3 \sim 5) \tau_m$$

$\rightarrow R_B \downarrow$

假设某随参信道的最大多径时延差为  $20\mu s$ ，为了避免发生选择性衰减，是估算在该信道上传输线性调制数字信号的码元宽度。

- ☐ A 40-80
- ☐ B  $40-80\mu s$
- ☐ C 60-100
- ☒ D  $60-100\mu s$

提交





## 4.4 恒参/随参信道特性对信号传输的影响

### 归纳

#### ■ 随参信道特性

- 衰减随时间变化
- 时延随时间变化
- 多径传播

#### ■ 多径效应

- 瑞利型衰落
- 频率弥散
- 频率选择型衰落

#### ■ 减小衰落的措施

$$B_s = (1/3 \sim 1/5) \Delta f$$

- 分集接收
- 扩频技术
- OFDM等



## 4.5 信道噪声

### 1. 何谓噪声

- 信道中存在的不需要的电信号。
- 它独立于信号始终存在， $\therefore$  又称加性干扰。
- 它使信号失真，发生错码，限制传输速率。

### 2. 噪声类型



按噪声来源

- 人为噪声
- 自然噪声
- 内部噪声  
(如热噪声)



按噪声性质

- 脉冲噪声
- 窄带/单频噪声
- 起伏噪声  
(热噪声、散弹噪声和宇宙噪声)



## 4.5 信道噪声

### 热噪声：

- 来自一切电阻性元器件中电子的热运动。
- 均匀分布在  **$0 \sim 10^{12}$  Hz** 频率范围。
- 性质：**高斯白噪声**

热噪声电压有效值：

$$V = \sqrt{4kTRB} \quad (\text{V})$$

式中

$k = 1.38 \times 10^{-23}$  (J/K) — 波兹曼常数

$T$  — 热力学温度 (°K)

$R$  — 阻值 ( $\Omega$ )

$B$  — 带宽 (Hz)

设一个接收机输入电路的等效电阻为  $600\Omega$ ，输入电路的带宽等于  $6MHz$ ，环境温度为  $27^\circ C$ ，试求该电路产生的热噪声电压有效值。

- ☐ A  $7.72V$
- ☒ B  $7.72\mu V$
- ☐ C  $2.3\mu V$
- ☐ D  $2.3V$

提交



## 4.5 信道噪声

### 归纳

#### ■ 信道加性噪声 $n(t)$ ：

- 代表：起伏噪声（热噪声等）
- 性质：高斯白噪声

Additive white  
Gaussian noise, **AWGN**  
高斯：瞬时值分布  
白：功率谱密度

$$P_n(f) = \frac{n_0}{2} \text{ (W/Hz)} \quad R_n(\tau) = \frac{n_0}{2} \delta(\tau)$$

$$f_n(v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_n} \exp\left(-\frac{v^2}{2\sigma_n^2}\right)$$

- $n(t) \rightsquigarrow$  BPF  $\rightsquigarrow$  窄带高斯噪声

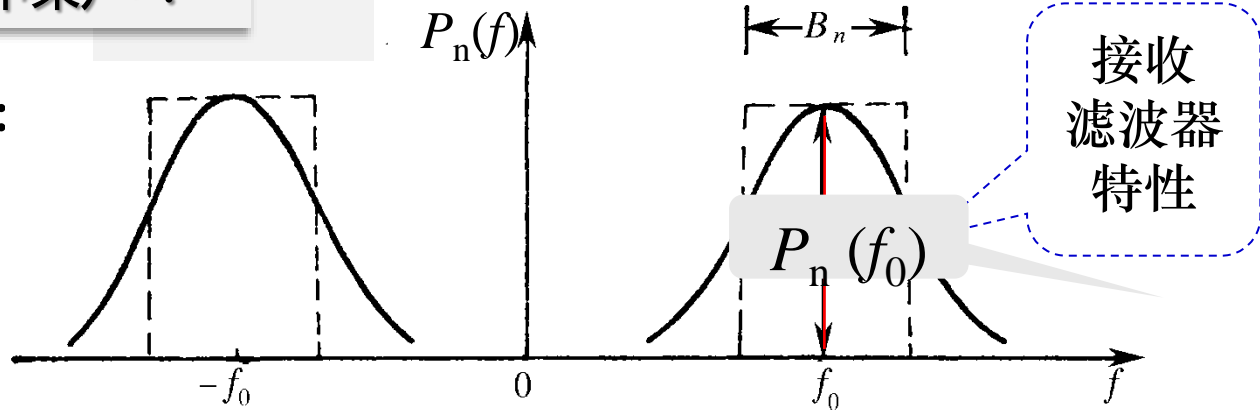


## 4.5 信道噪声

### 噪声等效带宽

#### ■ 窄带高斯噪声：

##### • 功率谱：



##### • 噪声等效带宽：

$$B_n = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} P_n(f) df}{2P_n(f_0)} = \frac{\int_0^{\infty} P_n(f) df}{P_n(f_0)}$$

##### • 平均功率：

$$N = \int_{-\infty}^{\infty} P_n(f) df$$

物理  
意义

通过宽度为 $B_n$ 的矩形滤波器的噪声功率  
= 通过实际接收滤波器的噪声功率。

## 4.6 信道容量(Channel capacity)

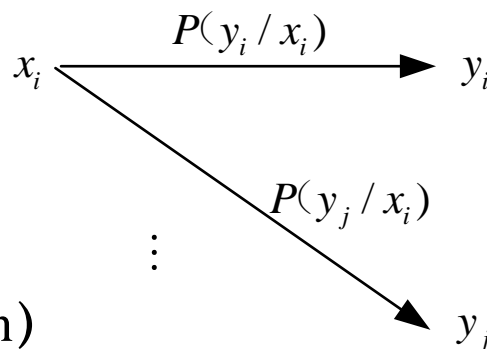


——指信道能够无差错传输时的最大平均信息速率

### 4.6.1 离散信道容量

#### (1) 信源发送的平均信息量 (熵)

$$H(x) = -\sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i)$$



式中,  $P(x_i)$  – 发送符号  $x_i$  的概率 ( $i=1,2,3,\dots,n$ )

#### (2) 因信道噪声而损失的平均信息量

$$H(x / y) = -\sum_{j=1}^m P(y_j) \sum_{i=1}^n P(x_i / y_j) \log_2 P(x_i / y_j)$$

式中,  $P(y_j)$  – 收到  $y_j$  的概率 ( $j=1,2,3,\dots,m$ ) ;

$P(x_i / y_j)$  – 收到  $y_j$  后判断发送的是  $x_i$  的转移概率



## 4.6.1 离散信道容量

(3) 信息传输速率  $R$  —— 信道每秒传输的平均信息量

$$R = r[H(x) - H(x/y)] \quad (\text{b/s})$$

$r$  – 信道每秒传输的符号数为 (符号速率)

$[H(x) - H(x/y)]$  – 是接收端得到的平均信息量

(4) 信道容量  $C_t$

——最大信息传输速率：对一切可能的信源概率分布，求  $R$  的最大值：

$$C_t = \max_{P(x)} \{R\} = \max_{P(x)} \{r[H(x) - H(x/y)]\} \quad (\text{b/s})$$

等价式：

$$C = \max_{P(x)} [H(x) - H(x/y)] \quad (\text{b/符号})$$

含义：每个符号能够传输的最大平均信息量





## 4.6.1 离散信道容量

例

教材80-81页，例4-2

贝叶斯公式



## 4.6.2 连续信道模型

由香农信息论可证，白噪声背景下的连续信道容量为：

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \text{ (b/s)} \quad \text{——香农公式}$$

等价式：

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{n_0 B} \right) \text{ (b/s)}$$

$S$  — 信号平均功率 (W) ;  $B$  — 带宽 (Hz)

$n_0$  — 噪声单边功率谱密度;  $N = n_0 B$  — 噪声功率 (W)



## 4.6.2 连续信道模型

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{n_0 B} \right) \text{ (b/s)}$$

含义:

当信号和信道噪声的平均功率给定时，在具有一定频带宽度的信道上，理论上单位时间内可能传输的信息量的极限数值。

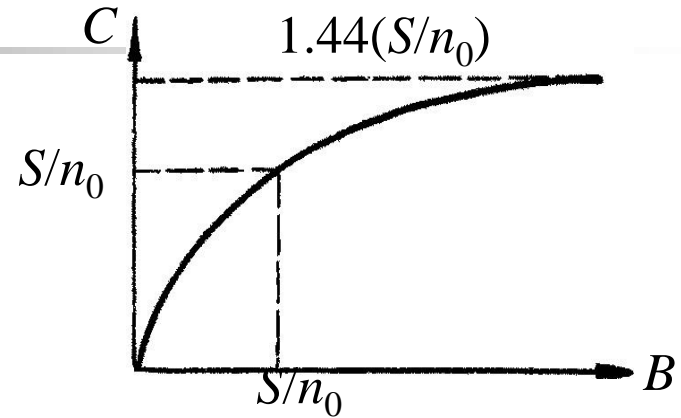
意义:

若  $R_b \leq C$ ，则总能找到一种信道编码方式，实现无差错传输；若传输速率大于信道容量，则不可能实现无差错传输。



## 4.6.2 连续信道模型

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{n_0 B} \right)$$



信道容量和带宽关系

结论:

- 信道容量  $C$  依赖于  $B$ 、 $S$  和  $n_0$
- 增大  $S$  可增加  $C$ ，若  $S \rightarrow \infty$ ，则  $C \rightarrow \infty$ ；
- 减小  $n_0$  可增加  $C$ ，若  $n_0 \rightarrow 0$ ，则  $C \rightarrow \infty$ ；
- 增大  $B$  可增加  $C$ ，但不能使  $C$  无限制增大。

当  $B \rightarrow \infty$  时， $C$  将趋向一个定值：

$$\lim_{B \rightarrow \infty} C = \lim_{B \rightarrow \infty} B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{n_0 B} \right) \approx 1.44 \frac{S}{n_0}$$



## 4.6.2 连续信道模型

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{n_0 B} \right) \text{ (b/s)}$$

应用：

- $C$ 一定时，信道带宽 $B$ 、信噪比 $S/N$ 、传输时间 $t$ 三者之间可以互相转换。
- 增加 $B$ ，可以换取 $S/N$ 的降低；反之亦然。
- 若 $S/N$ 不变，增加 $B$ ，可以换取  $t$  的减少。

【例如】

$$C = 12 \times 10^3 \text{ b/s}$$

互换前：若 $B_1 = 3 \text{ KHz}$ ，则 $\frac{S_1}{N_1} = 15$   
互换后：若 $B_2 = 4 \text{ KHz}$ ，则 $\frac{S_2}{N_2} = 7$



## 4.6.2 连续信道模型

例

图片传输。每幅含  $2.25 \times 10^6$  个像素，每个像素有 12 个亮度电平，它们等概独立出现。线路传输条件为：  
 $B=3\text{KHz}$ ， $S/N=30\text{dB}$ ，求传输图片所需的最小时间。

解： 每个像素的信息量

$$I_i = \log_2 \frac{1}{P(x_i)} = \log_2 12 = 3.58 \text{ bit}$$

一幅图片的信息量

$$I_{\text{图片}} = 2.25 \times 10^6 \times I_i = 8.055 \text{ Mbit}$$

$$t_{\min} = \frac{I_{\text{total}}}{C} = 269.4 \text{ s}$$

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N}\right) = 3 \times 10^3 \times \log_2 (1 + 10^3) = 29902 \text{ b/s}$$

30dB



## 补充说明:

### 1、dB

dB是一个表征相对值的量。

表征功率关系用  $10\lg \frac{P_A}{P_B}$ ；表征幅度关系用  $20\lg \frac{V_A}{V_B}$ 。

### 2、dBm

dBm是一个表征功率绝对值量,  $10\lg P$  (功率值/1mW)。

若发射功率P为1mW, 可折算为0dBm; 若发射功率为40W, 可折算为46dBm。

### 3、dBi和dBd

dBi和dBd是表征增益的量(功率增益), 两者都是一个相对值, 但dBi参考基准为全方向性天线, dBd参考基准为偶极子。一般认为, 同一个增益, 用dBi表示比用dBd表示大2.15。

欲在具有3000Hz通频带的语音信道中以120kbps的速率传输信息。当功率信噪比为11.76dB（即15）时，是否能达到无差错传输？

- ☐ A 能
- ☒ B 不能
- ☐ C 无从下手
- ☐ D 有思路了，未做完

提交





**作业：**

---

**4-2（选作）、4-7、4-8、4-9（选作）**