

## 信道-1



## Contents

1

信道的定义与分类

2

信道在时频域的特征



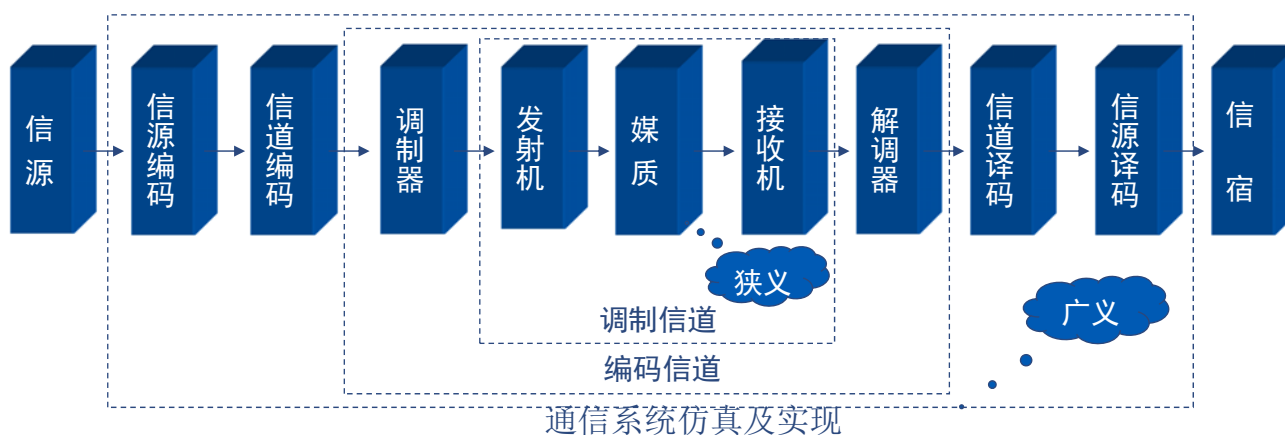
# What is channel?

## ❖ 狭义信道：收、发两端之间传输媒质的总称

- 有线 vs. 无线
- 离散 vs. 连续
- 恒参 vs. 随参

## ❖ 广义信道：除传输媒质外，还包括某些设备

- 调制信道：调制器输出端到解调器输入端的部分。从调制解调的角度来看，调制解调器之间的装置及传输媒质都是对已调信号进行某种变换。
- 编码信道：针对编/译码，编码器输出端到译码器输入端的部分。
- 研究对象收发之间的部分都可称为信道。



# 信道

$$Y = hX + I + n$$

注意：对于X、Y而言  
都有符号周期 $T_s$ 和信号  
带宽B的概念。

## ❖ 加性干扰和噪声

- 窄带干扰  $I$ ：单频干扰，时间上连续变化，频率集中与某载波附近的窄带内。e. g: 交流电对医用仪器的低频干扰
- 脉冲干扰  $I$ ：时间突发性，具有较宽的频带
- 噪声  $n$ ：时间上连续变化，非常宽的带宽，
  - 常建模为高斯白噪声（热噪声）
  - 加性： $n$ 与 $X$ 独立
  - 白：覆盖整个带宽范围
  - 高斯：指 $n$ 是零均值高斯

## ❖ 乘性干扰 $h$

- 通常乘性因子是一个复杂的函数，包括各种线性\非线性畸变，同时由于信道的**迟延特性**和**损耗特性****随时间随机变化**，往往用随机过程表述
- 据乘性干扰时间变化特性，信道可分为
  - 恒参信道：不随时间变化或基本不变
  - 随参信道：随时间快变

## 本章的目标： 几个重要定义 和 信道的分类

信道选择性	信道扩展	相关度量参数
频率选择性	时延扩展 $\sigma_t$	相关带宽 $B_c$
时间选择性	多普勒扩展 $f_m$	相关时间 $T_c$

	分类
频域	平坦
	频率选择性
时域	快衰
	慢衰



# Contents

1

信道的定义与分类

2

信道在时频域的特征

3

信道的容量定义

通信系统仿真及实现



## ❖ 无线信道基本传播方式

- 反射：电磁波入射到一个尺寸比波长大得多的物体，电磁波会发生反射；主要来自地表面，建筑物和墙壁
- 绕射：电磁波被一个明显不规则边缘的表面阻塞，阻塞表面引起的二次波能够绕过障碍物传播
- 散射：电磁波遇到一些尺寸与波长可比拟的障碍物时会发生散射。它由粗糙表面，小目标物或信道的不规则性产生。

## ❖ 随参信道特征

- 损耗 随时间随机变化
- 时延 随时间随机变化

通信系统仿真及实现



## 一、在时域观察信道的时变性



- ❖ 对任意两个时刻 $t_1$ 、 $t_2$ ，信道增益 $h_1=h(t_1)$ 和 $h_2=h(t_2)$ 是两个复随机变量。
  - 若 $t_2 \rightarrow t_1$ ，必然 $h_2 \rightarrow h_1$ ，即它们趋于同一个随机变量（完全相关）；
  - 反之，若 $t_2$ 远离 $t_1$ ， $h_2$ 也应该与 $h_1$ 趋于独立（完全不相关）
  - 一般来说，随着时间间隔的增加，这两个信道增益之间的相似度越来越小
  - 平稳随机过程 $h(t)$ 的自相关函数是时间间隔 $t_2-t_1$ 的函数，一般是单调减函数（但不是必然）。

### 定义1：相干时间

- ❖ 为了给完全相关和完全不相关这两种状态给出一个数量边界，引入了一个物理量称为相干时间 $T_c$ 
  - $T_c$ 只具有定性的意义。用来大致判断：经过一定时间间隔后，信道是基本不变，还是完全独立
  - 万不可认为：间隔为 $T_c + \epsilon$ 是不相关，间隔为 $T_c - \epsilon$ 是信道不变。

通信系统仿真及实现



## 信道在时域的分类：快衰落和慢衰落



### ❖ 快衰落

- 符号间隔大于相干时间（或与之相当），则一个符号间隔内冲激响应变化很大，信号发生严重失真。

$$T_s \geq T_c$$

### ❖ 慢衰落

- 符号间隔远小于相干时间，则一个符号间隔内冲激响应基本不变，信号波形变化很小（失真可以忽略）

$$T_s \leq T_c$$

通信系统仿真及实现



## 二、在时域域观察信道的时延扩展

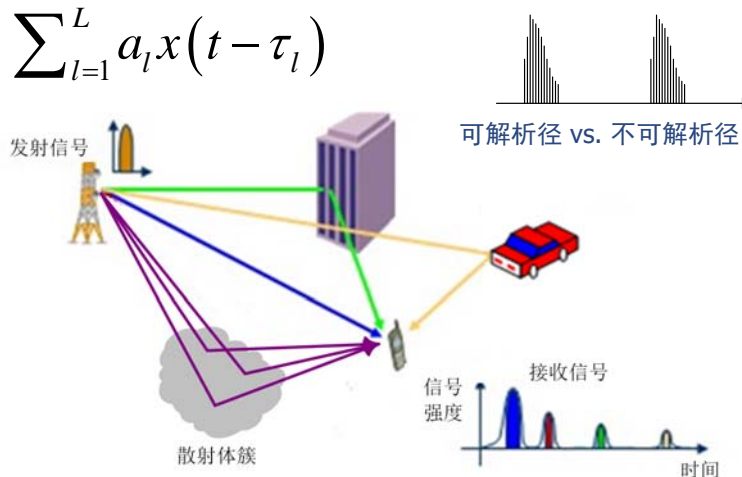
- 发送 $x(t)$ ，经过无失真信道得到 $y(t)=ax(t-\tau)$
- 如果发送信号经由 $L$ 条无失真的路径到达接收端，则输出是

$$y(t) = \sum_{l=1}^L a_l x(t - \tau_l)$$

$$h(t) = \sum_{l=1}^L a_l \delta(t - \tau_l)$$

称其为**多径信道**，其中

- $a_l$ : 第 $l$ 径的幅度增益
- $t_l$ : 第 $l$ 径的时延



❖ **最大时延扩展**  $\tau_{\max}$  最后一径相对于第一径的时延

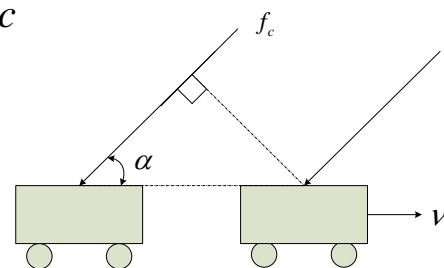
通信系统仿真及实现

## 三、在频域观察信道的时变性

- ❖ **定义3：多普勒频移**  $f_d = f_m \cos \alpha = \frac{vf_c}{c} \cos \alpha$ 
  - 收发信机的相对运动产生的频率迁移

### ❖ 多普勒频率扩展

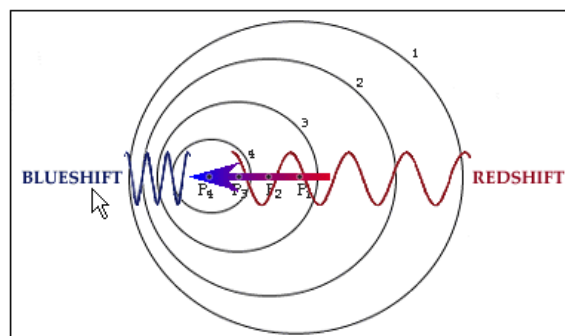
- 移动信道中散射体在各方向中均有分布，接收机接收到各方向的信号，频率偏移为 $(-f_m \sim +f_m)$



### ❖ 相干时间 $T_c$

- 最大多普勒频移的倒数：
- 信道冲激响应幅度的时变特性。

$$T_c \approx 1 / f_m$$



通信系统仿真及实现



## 四、在频域观察信道的时延扩展

- 假设发送 $x(t)=\delta(t)$ ，此时信号时宽为0，带宽为无穷
- 输出为：
$$y_L(t) = \sum_{l=1}^L a_l \delta(t - \tau_l)$$
- 单位冲击激励下的输出为**信道冲激响应**，傅氏变换后为信道传递函数 $H(f)$ ：
  - 若为常数，则只有一个冲激，这不是多径信道
  - 不是常数，称此信道为**频率选择性衰落信道**

13

通信系统仿真及实现



## 时延扩展vs.相干带宽

- 基于完全相同的逻辑，对于频变衰落信道，我们可以建立相干带宽 $B_c$ 的概念
- **定义2：相干带宽 $B_c$** 
  - 反映 $H(f)$ 上两个频率点的响应之间的关系
  - 若频率间隔远小于 $B_c$ ，则这两个频率上的响应基本相同
  - 若频率间隔远大于 $B_c$ ，则这两个频率上的响应完全独立
- 从时域观察：
  - 时宽为0的信号在信道输出端变宽，称此现象为时延扩展
  - 扩展程度体现频率选择性程度：相干带宽与时延扩展是倒数关系

通信系统仿真及实现

## ❖ 最大时延扩展 $\tau_{\max}$

■ 均方根时延扩展  $\sigma_{\tau} = \sqrt{\tau^2 - \bar{\tau}^2}$

■ 相干带宽  $B_c = \frac{1}{2\pi\sigma_{\tau}}$   $B_c \approx \frac{1}{\tau_{\max}}$

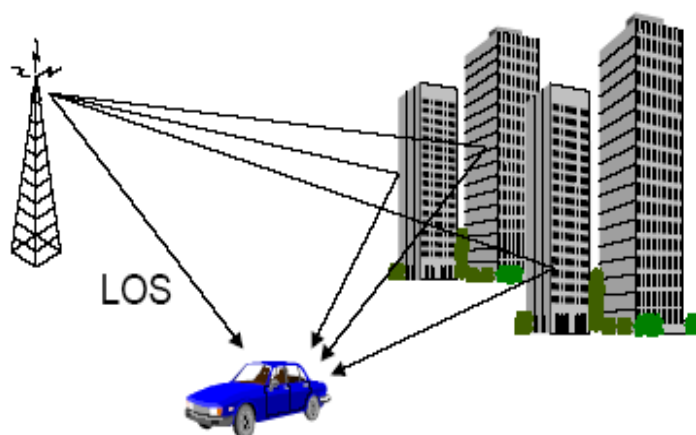
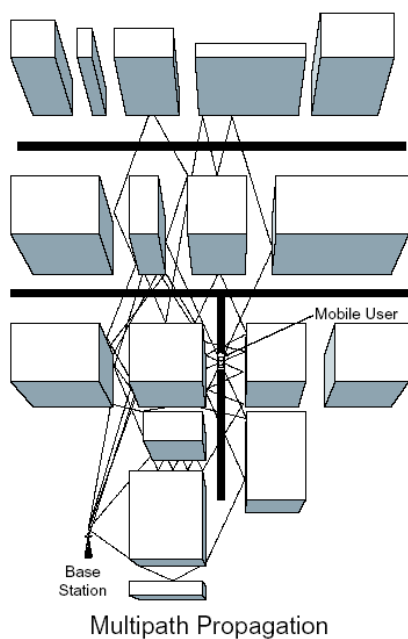
## ■ 信号带宽B vs. 信道相干带宽

- 平坦衰落:  $B \ll B_c$ 
  - 接收端只有一条可辨析径
  - 信号的各个频率分量经历相同的衰落
- 频选衰落:  $B > B_c$ 
  - 多条可辨析径
  - 信号的各个频率分量经历不同的衰落

通信系统仿真及实现

## 五、损耗特性

### 瑞利信道 vs. 莱斯信道



通信系统仿真及实现

BUPT





## 衰落信道的包络统计特性

### ➤ 瑞利衰落分布

$$p(x) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right), \quad x \geq 0$$

$$p(\varphi) = \frac{1}{2\pi}, \quad 0 \leq \varphi < 2\pi$$

### ➤ 莱斯衰落分布

$$p(x) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + A^2}{2\sigma^2}\right) \cdot I_0\left(\frac{Ax}{\sigma^2}\right), \quad x \geq 0$$

$$p(\varphi) = \frac{1}{2\pi}, \quad 0 \leq \varphi < 2\pi$$

### ➤ Nakagami 衰落分布

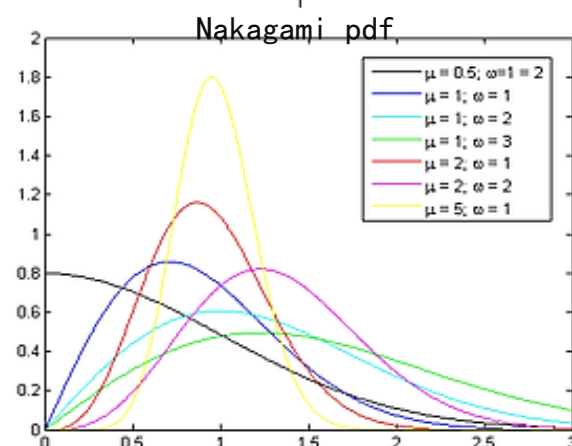
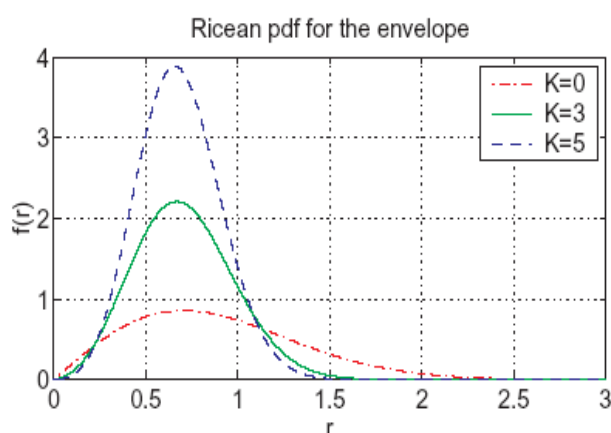
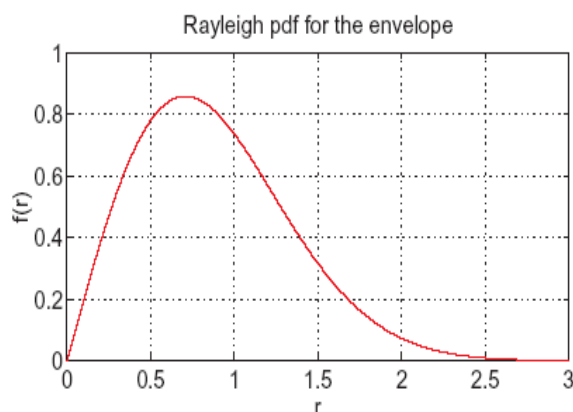
$$p(x; u, w) = \frac{2u^u}{\Gamma(u) w^u} x^{2u-1} \exp\left(-\frac{ux^2}{w}\right), \quad x \geq 0$$

$$p(\varphi) = \frac{1}{2\pi}, \quad 0 \leq \varphi < 2\pi$$

- $\mu = 1$ 时, 瑞利分布;
- $1 < \mu < \infty$ 时, 莱斯分布;
- $\mu = 0.5$ 时, 单边高斯分布(因为变量是幅度, 取值>0);



## 衰落信道的包络统计特性





## 总结

信道扩展	相关度量参数
时延扩展 $\sigma_t$	相关带宽 $B_c$
多普勒扩展 $f_m$	相关时间 $T_c$

$$B_c = \frac{1}{2\pi\sigma_\tau}$$

$$T_c \approx 1/f_m$$

	分类
频域	平坦
	频率选择性
时域	慢衰
	快衰/时间选择性

$$B < B_c$$

$$B > B_c$$

$$T_s < T_c$$

$$T_s > T_c$$

通信系统仿真及实现

**BUPT**



## Contents

1

信道的定义与分类

2

信道在时频域的特征

3

信道的容量定义

通信系统仿真及实现



## 连续信道的容量

### ❖ 输入X与输入Y的互信息

$$I[X; Y, p(x)] = H(X) - H(X|Y)$$

### ❖ 连续信道的容量为

$$C = \max_{p(x)} I[X; Y, p(x)]$$

$$\begin{aligned} I[X; Y, p(x)] &= H(Y) - H(Y|X) \\ &= H(Y) + \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \int_{-\infty}^{\infty} p(y|x) \log p(y|x) dy dx \\ &= H(Y) - \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \log \sqrt{2\pi e \sigma^2} dx \\ &= H(Y) - \log \sqrt{2\pi e \sigma^2} \end{aligned}$$

$$p(y|x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(y-x)^2\right]$$



通信系统仿真及实现

BUPT



$$I[X; Y] = H(Y) - \log \sqrt{2\pi e \sigma^2}$$

$$C = \log \sqrt{2\pi e P_y} - \log \sqrt{2\pi e \sigma^2}$$

问：什么样的Y 会有最大的H(Y)?

$$= \frac{1}{2} \log \frac{P_y}{\sigma^2}$$

答：Y为均值为0的正态分布

$$= \frac{1}{2} \log \frac{P_s + \sigma^2}{\sigma^2} = \frac{1}{2} \log \left(1 + \frac{P_s}{\sigma^2}\right)$$

$$C = \frac{1}{2} \log \left(1 + \frac{P_s}{\sigma^2}\right)$$

$$C = \log \left(1 + \frac{P_s}{\sigma^2}\right)$$

$$C = B \log \left(1 + \frac{P_s}{\sigma^2}\right)$$

通信系统仿真及实现

BUPT



实数信道  $C = \frac{1}{2} \log(1 + \frac{P_s}{\sigma^2})$  Bits/symbol

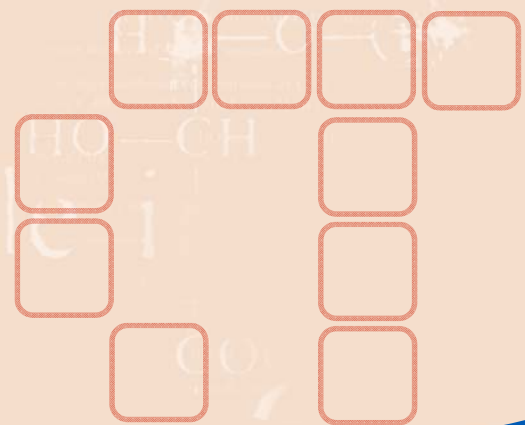
复数信道  $C = \log(1 + \frac{P_s}{\sigma^2})$  Bits/symbol

$$C = \frac{C_T}{T} = \frac{2BT \cdot \frac{1}{2} \log(1 + \frac{P_s}{\sigma^2})}{T} \text{ Bits/second}$$
$$= B \log(1 + \frac{P_s}{N_0 B})$$

通信系统仿真及实现

**BUPT**

**BUPT**



# Thank You !