

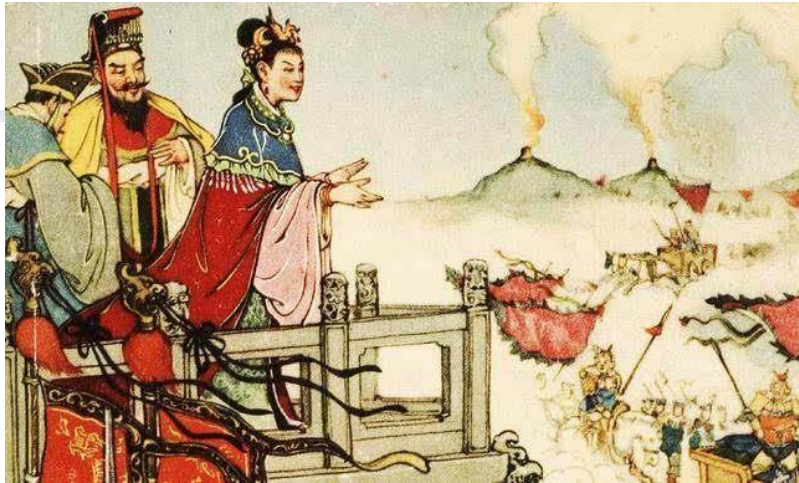
# 基础信息论

## 信道模型

华中科技大学电信学院

# 古代烽火通信

FiberHome

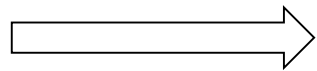


周幽王

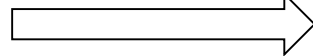
烽火台

诸侯

信源



信道



信宿

# 学习目标

- 构建信道的数学模型
- 辨识信道的分类

# 信道的定义

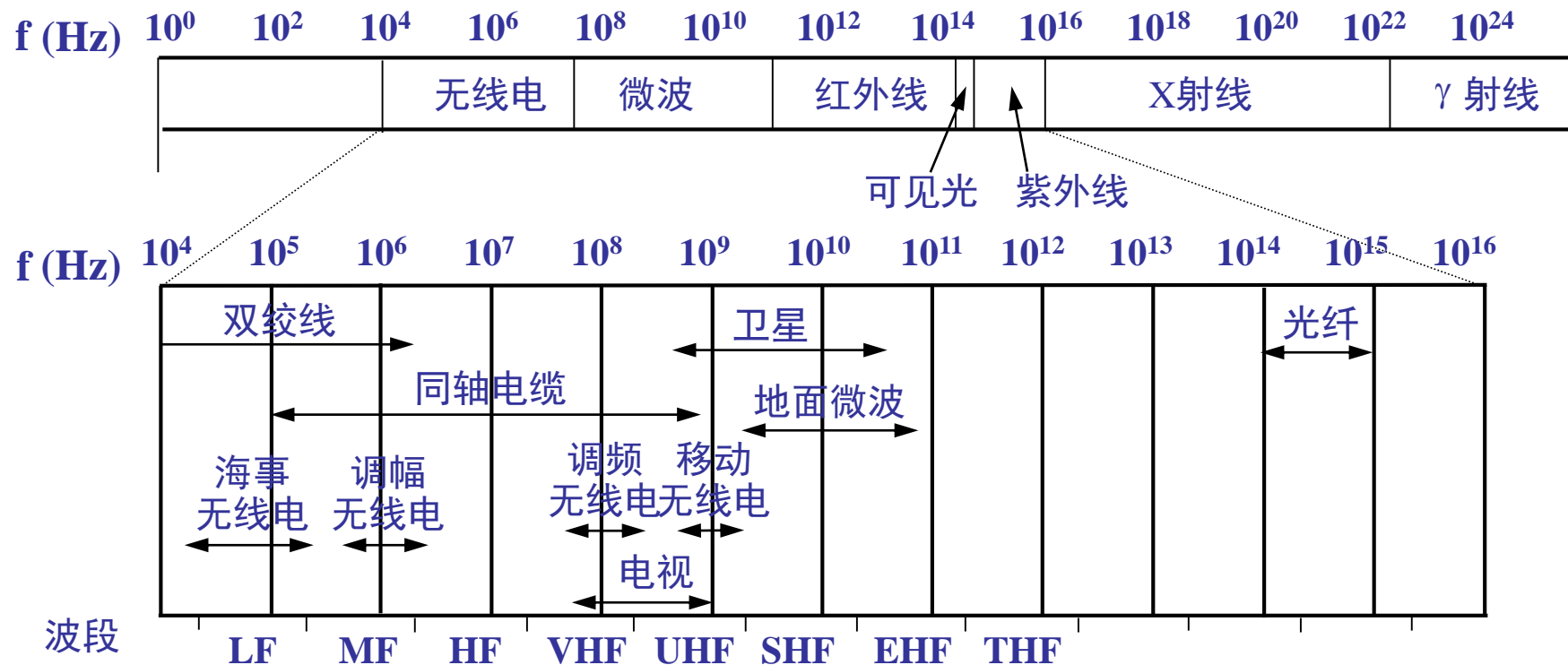
**通信的传输通道** { **狭义：传输媒介**  
空气 电话线 同轴电缆  
双绞线 光纤 微波/卫星中继  
**广义：传输媒介 + 调制功能**  
**+ 编码功能**

**《通信原理》：广义信道**

**《信息论与编码》：以狭义信道为主**  
**重点：信道容量的求取**

# 物理媒介

- **比特(Bit):** 在发射机和接收机之间传输的数据单位
- **物理链路:** 连接发射机和接收机
- **引导媒介:** 信号在固定物理介质中传输: 铜线、光纤、同轴电缆
- **非引导媒介:** 信号自由传播: 例如无线电波



# 物理链路：双绞线

## 双绞线 (Twisted Pair TP)

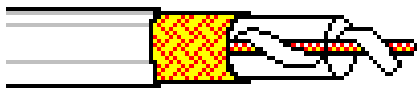
- 两根绝缘铜线
  - 第三类: 传统的电话线, 10 Mbps 以太网
  - 第五类: 100Mbps 以太网



## 物理链路： 同轴电缆， 光纤

### 同轴电缆：

- 内外由两个同轴心绝缘铜导体构成
- 双向的
- 基带同轴电缆：
  - 单通道电缆
  - 传统以太网
- 宽带同轴电缆：
  - 多通道电缆
  - HFC(光纤同轴电缆混合网)



### 光缆：

- 光脉冲在玻璃纤维中传导，一个脉冲表示一比特
- 高速：
  - 高速点对点传输 (10' s-100' s Gbps)
- 低误码率：
  - 中继器间隔远， 不受电磁噪声干扰



## 物理链路：无线电波

- 信号由电磁频谱承载
- 没有物理的 “线路”
- 双向的
- 传播环境效应：
  - 反射
  - 衍射
  - 干涉

- 无线链路类型：
  - 地面微波
    - 45 Mbps
  - 局域网(例如, WiFi)
    - 11Mbps, 54 Mbps, 300Mbps, 7Gbps
  - 广域网 (例如蜂窝网)
    - 3G 蜂窝网: ~ 1 Mbps
  - 卫星：
    - kbps 到45Mbps 信道(或多个小信道)
    - 270 微秒 端到端延时
    - 地球同步轨道与低空



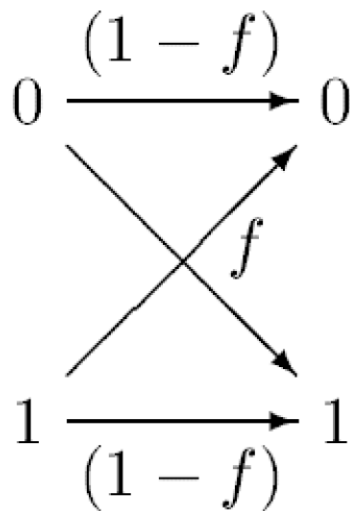
# 信道的功能

- 以电（光）信号的形式传输、放大和存储信息
- 长距离传输 衰减大 噪声和干扰 需放大、中继、再生

Cable	Typical Bandwidths	Distances
Category 5 twisted pair	10–100 Mbps	100 m
Thin-net coax	10–100 Mbps	200 m
Thick-net coax	10–100 Mbps	500 m
Multimode fiber	100 Mbps	2 km
Single-mode fiber	100–2400 Mbps	40 km

# 影响信息传输速率的因素

- 物理信道本身特性（信道幅频、相频特性）
- 载荷信息的信号形式（数字/模拟 是否调频 调相）
- 信源输出信号的统计特性
  - 平均互信息量的极值性
  - 信源熵的大小
  - 信源统计特性是否与信道匹配



# 研究信道的目的

- 在信息论中研究信道，主要是为了描述、度量、分析不同类型信道，计算其容量，即极限传输能力，从而分析信道的特性。

## 学习重点

针对各种信道，其信道容量的计算，特别是**单符号信道**、**连续信道中的香农公式**。

主要研究内容：（两个方面）

在**什么条件**（信源的输入概率分布）下，通过信道的信息量最大？**最大值等于多少**？

# 信道的数学模型

# 信道的输入输出关系

- 信号在信道中传输会引入噪声和干扰，它们使得信号通过信道后产生错误和失真；
- 信道的输入和输出之间一般并不是确定性的函数关系，而是统计依赖关系；
- 知道了信道的输入信号、输出信号以及它们之间的统计依赖关系，信道的全部特性就确定了。一般来说，输入和输出信号多为时间连续的随机信号，可用随机过程来描述。 实际信号： 带限 随机序列

# 信道的数学模型 (三大组成要素)

$$\{X \quad P(Y / X) \quad Y\}$$

输入、输出符号

输入  
符号

信道转移特性

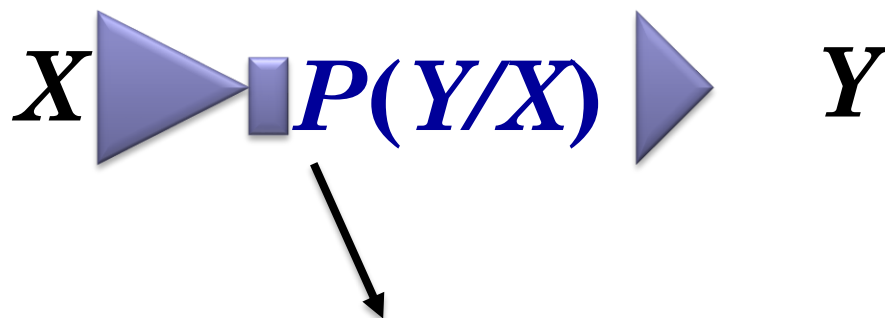
输出  
符号

离散、单符号：随机变量

离散、多符号：随机序列

连续、单符号：随机变量

连续、多符号：随机过程



离散信道：一系列条件转移概率构成的信道矩阵

连续信道：条件概率密度函数

# 信道的分类

## 按输入、输出信号的特点分类

离散信道	输入/输出均离散
连续信道	输入/输出均连续
半连续信道	输入连续/输出离散，或反之

## 按信道输入、输出随机变量个数的多少分类

单符号信道	用随机变量描述
多符号信道	用随机序列描述

## 按输入、输出用户的个数分类

单用户信道	一对用户
多用户信道	多个用户共享

**按信道中是否存在干扰或噪声分类**

- 有干扰信道：实际信道
- 无干扰信道：理想信道

例：计算机和外存间的信道

## **按信道是否存在记忆特性分类**

- 无记忆信道：当前时刻输出仅与当前时刻的输入有关
- 有记忆信道：当前时刻输出还与过去时刻的输入、输出, 将来时刻的输入、输出有关

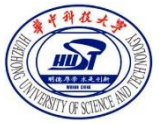
## **按信道统计特性是否随时间变化分类**

- 平稳信道：信道统计特性不随时间变化
- 非平稳信道：信道统计特性随时间变化



# 实际信道

- 多为以上各种分类的组合:
  - 离散单符号信道
  - 离散多符号无记忆信道
  - 离散多符号有记忆信道
  - 连续单符号(变量)信道
  - 连续非平稳信道
  - 连续有记忆信道



谢谢!

黑晓军

华中科技大学

电子信息与通信学院

Email: heixj@hust.edu.cn

网址: <http://eic.hust.edu.cn/aprofessor/heixiaojun>

## 参考资料

- 陈运, 信息论与编码 (第三版) 第四章, 电子工业出版社出版, 2015

## 第3章 信道容量学习内容

- 3.1 信道的数学模型和分类
- 3.2 单符号离散信道的信道容量 (**重点**)
  - 特殊信道；一般信道；解方程组；定义；信道容量定理
- 3.3 多符号离散信道（多个输入、输出符号）
- 3.4 离散组合信道（独立并联 级联）
- 3.5 连续信道
  - **重点**：香农公式的推导 物理意义 应用
- 3.6 信道编码定理