



# 《通信原理》第一章

---

主讲教师：朱维红

提示：面对面建群

# 通信原理 (Principles of Communication)

- 山东大学信息学院
- 通信23.2 崇新23
- 2024-2025学年第二学期
- 课程名称：通信原理
- 课号课序号：sd01234070-0
- 教材：通信系统工程 第二版 (John G. Proakis & Masoud Salehi)
- 参考书：《通信原理》(周炯磐, 樊昌信版), 《数字通信—基础与应用》(Bernard Sklar)

# Principles of Communication

先修课程：《微积分》、《随机信号分析》、《高频电子线路》 & 《信号与系统》

作业：会在雨课堂或QQ作业中发布，请按时提交。

评分：	作业	10-15%
	课堂表现	5-10%
	随堂测试	20%
	期末	55-60%
	总分	100%



希望大家能够有疑问就在当堂提出！

# Brief Overview of the Course

## Chapter 1 绪论

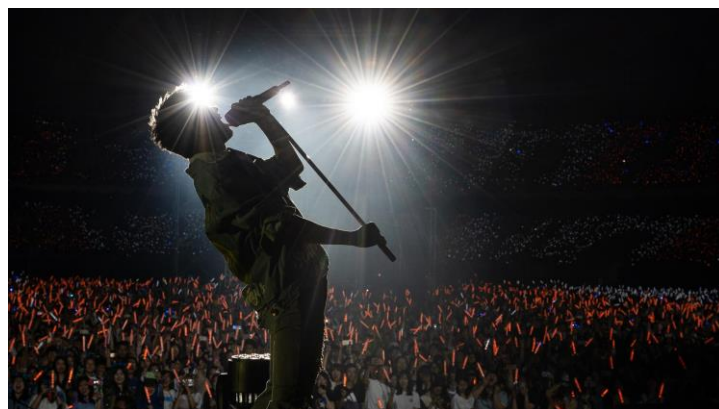
- Chapter 2 and 4      理论和数学基础
- Chapter 3 and 5      模拟通信系统原理与性能
- Chapter 6      模拟信号数字化（选讲）
- Chapter 7      加性高斯白噪声下的数字传输
- Chapter 8      带限AWGN信道的数字传输

# 课程核心内容——信息的传输

## 近距离消息传递



## ■ 稍远距离消息传递



## 远距离消息传递怎么办？



## 本章学习目标

- 描述通信的发展历程；
- 画出通信系统的组成，并分能够正确分类；
- 介绍信道类型，写成3种信道的数学模型；
- 列举通信系统的评价指标，定义“带宽”、“信噪比”、“信息速率”、“码元速率”、“频带利用率”、“误码率”等，并能够正确计算出上述指标（正确率达80%以上）。

## 1.1 历史回顾

- 1900年之前
- 1900-1950年间
- 1950-1980年间
- 1980-2000年间
- 2000-今天
- 未来通信技术的发展

见AI生成的PPT

# 1.2 (电)通信系统的基本组成

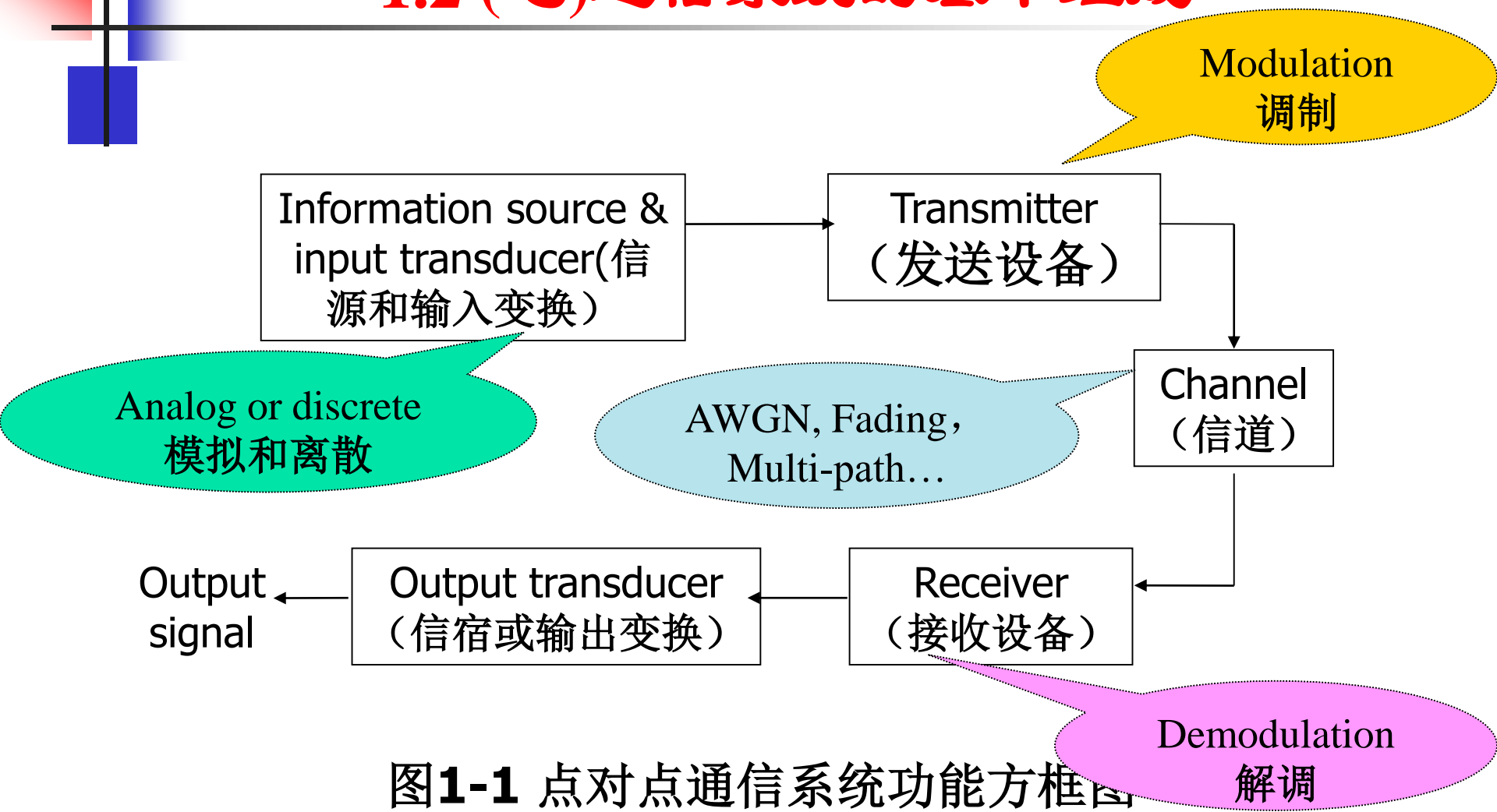


图1-1 点对点通信系统功能方框图



## 1.2.1 数字通信系统

### ■ 模拟通信系统（Analog communication system）

就是模拟信号通过载波调制直接在通信信道上传输，然后在接收端进行相应的解调的通信系统。

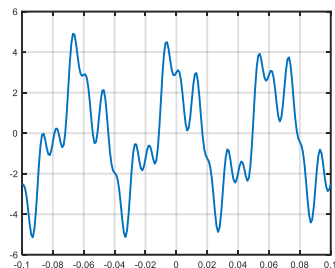
### ■ 数字通信系统（Digital communication system）

就是数字信号（或离散信号）通过数字调制发送，数字解调接收的通信系统。

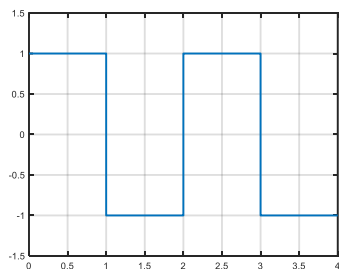
问题：什么是模拟信号和数字信号？

下面两个图形，哪个是数字信号？

A



B



- 打开手机录音机，录下一段话，回放看波形，判断是数字信号还是模拟信号？



# 模拟通信系统

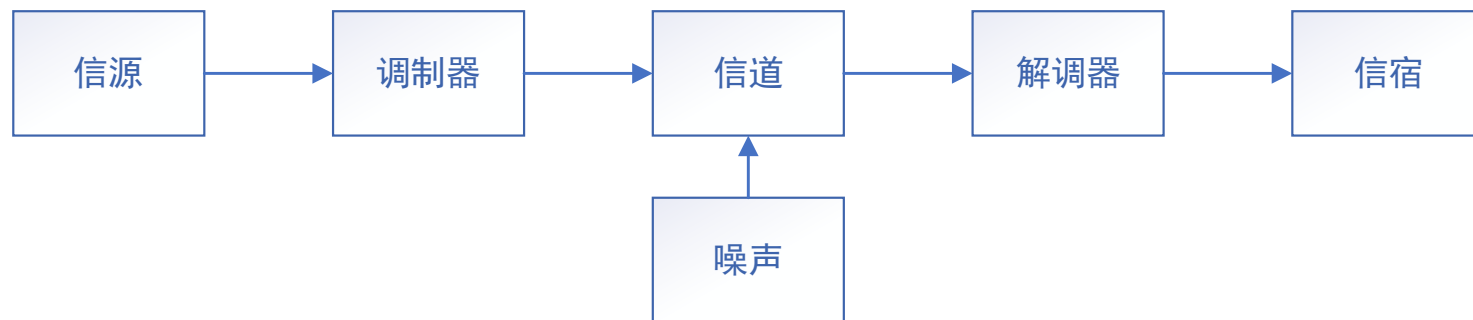
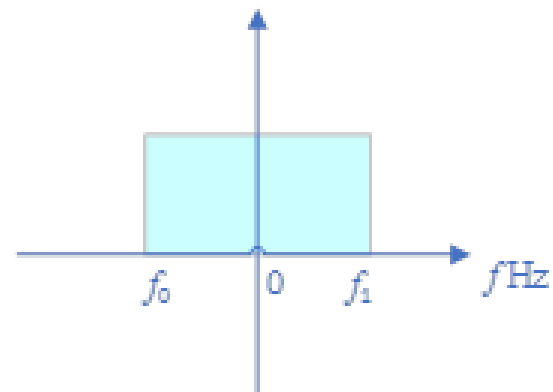


图1-4 模拟 通信系统框图

主要性能指标：带宽&信噪比

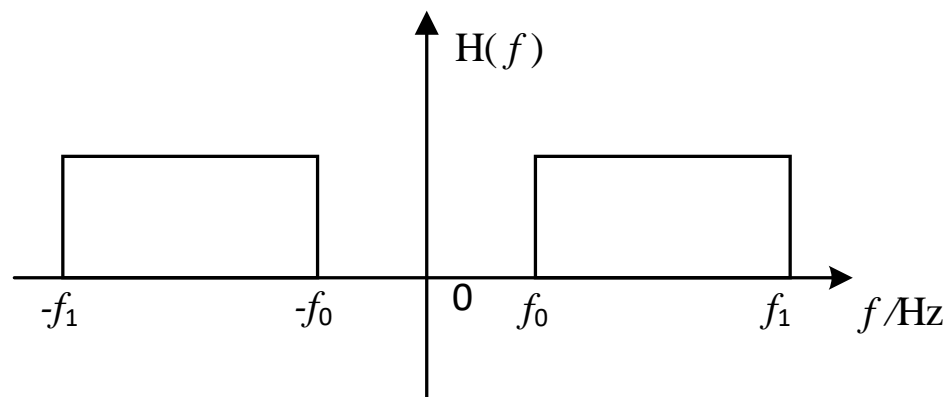
右图的信道带宽是多少？



- ☒ A  $f_1$
- ☐ B  $2f_1$
- ☐ C  $f_1 - f_0$
- ☐ D  $2f_0$

右图的信道带宽是多少？

- ☐ A  $f_1$
- ☐ B  $2f_1$
- ☒ C  $f_1 - f_0$
- ☐ D  $2(f_1 - f_0)$



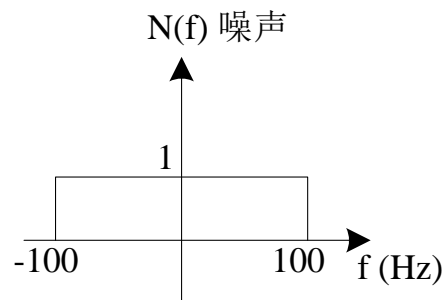
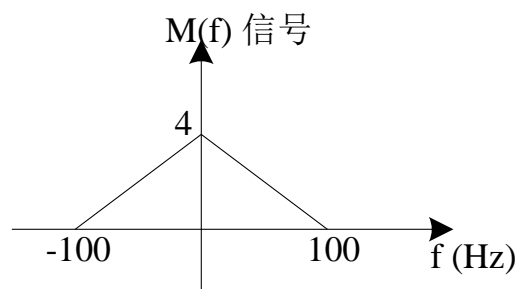
## 模拟通信系统性能指标

### ■ 模拟通信系统

**信噪比** (SNR, signal to noise ration) : 信号功率和噪声功率的比值,

$$SNR = \frac{S}{N} = \frac{\text{power of signal}}{\text{power of noise}}$$

例1: 已知信号和噪声的功率谱密度如下图所示, 请求出SNR?



信噪比 (SNR) 是一个无量纲的量, 一般用分贝 (dB) 值来表示其大小, 请

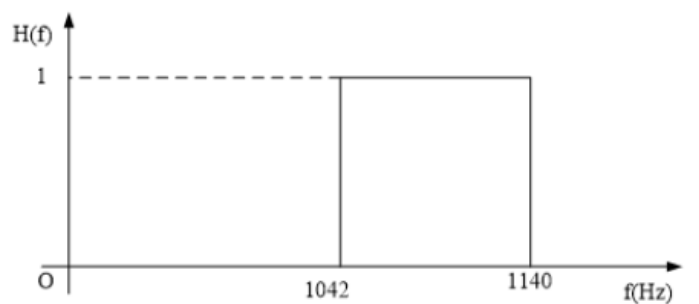
(1) 写出如何根据SNR计算其dB值。

(2) 例1中的SNR= ( ) dB。

正常使用主观题需2.0以上版本雨课堂



- **例题2**、某带通滤波器频率响应如图所示。滤波器输入为  $s(t) + N(t)$ ,  $s(t) = 5 \cos(2\pi \times 900t) + 10 \cos(2\pi \times 1100t)$  (V),  $N(t)$  是双边功率谱密度为  $0.05 \text{ V}^2/\text{Hz}$  的高斯白噪声, 试求该滤波器的输出信噪比。



- 解：滤波器通带范围为1042~1140Hz，信号  $s(t) = 5 \cos(2\pi \times 900t) + 10 \cos(2\pi \times 1100t) (V)$  由900Hz和1100Hz两个单频信号组成，可知只有1100Hz信号能够通过该滤波器。

故

信号功率=50瓦

噪声功率= $0.05 * (1140 - 1042) * 2 = 9.8$ 瓦

SNR=50/9.8~7dB

## 1.2.1 数字通信系统

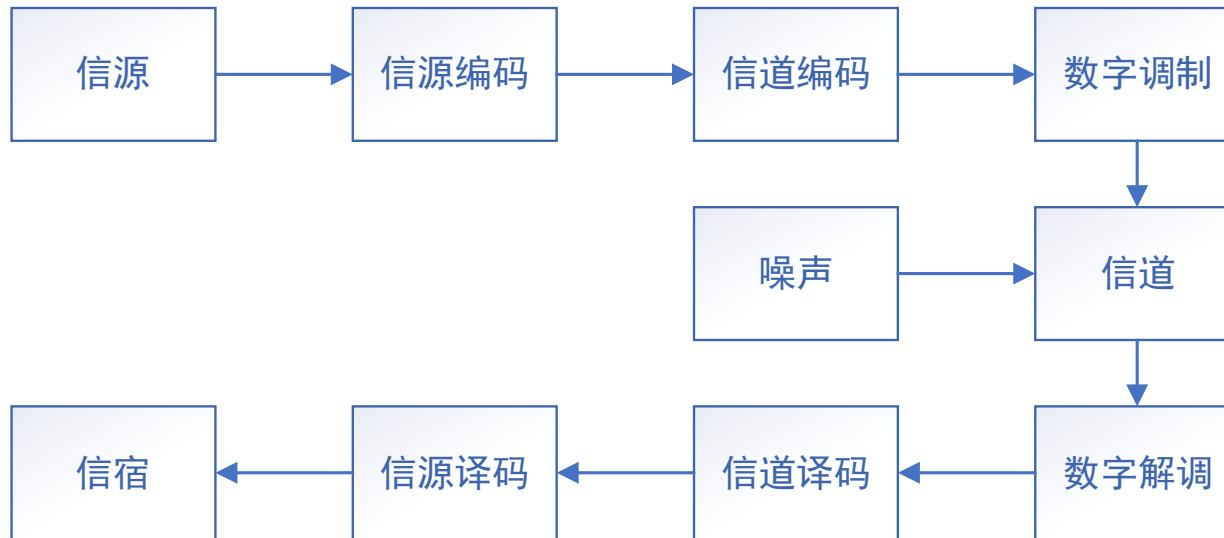
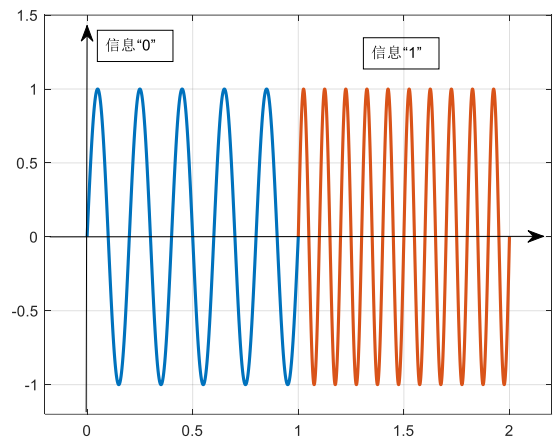
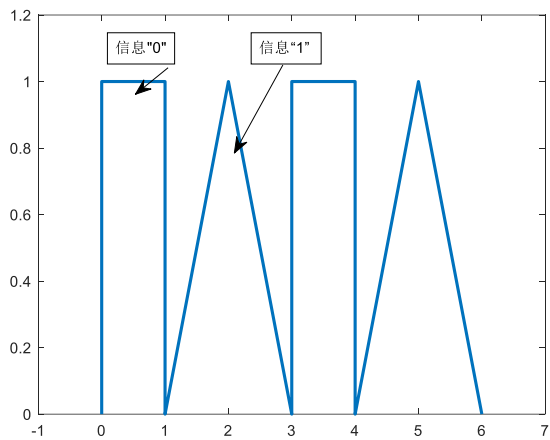
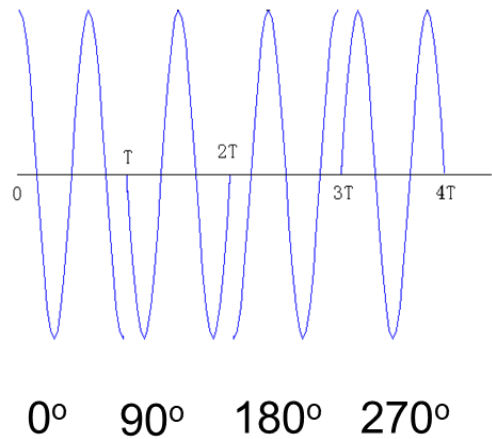
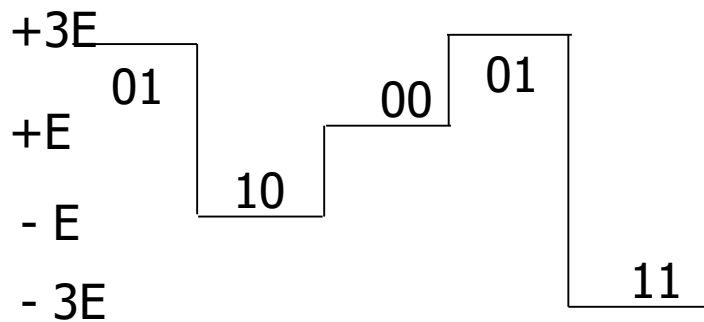


图1-5 数字 通信系统框图

# 数字通信系统如何传输信号



二进制数字信号



多进制数字信号

## 1.2.1 数字通信系统

数字通信的优势：

1. 信号的保真度可控.
2. 可通过数字处理技术消除信号中的冗余信息，从而节省带宽资源。
3. 数字通信系统的实现成本低。



请上网搜索“数字通信的优势”，选择3条上传。

作答

## 数字通信系统性能指标

### ■ 有效性指标 (越大越好):

1. 符号传输速率——码元速率:  $T$  为符号 (码元) 周期

$$R_B = \frac{1}{T} \text{ baud (波特)}$$

2. 信息传输速率——bit速率:  $T_b$  为比特周期

$$R_b = \frac{1}{T_b} \text{ bit/s (比特每秒, 或bps)}$$

讨论:  $R_B$  和  $R_b$  的关系

$$R_b = \log_2 M \times R_B$$

## 数字通信系统性能指标

### 3. 频带利用率:

$$\eta = \frac{R_b}{W} \text{ bit}/(s \cdot \text{Hz})$$

其中W为传输带宽,  $\eta$ 越大越好。



已知一个二进制数字传输系统，码元周期为0.01s，请问该系统的信息传输速率是多少？

- ☐ A 100波特
- ☐ B 100bit
- ☐ C 100波特/s
- ☒ D 100bit/s

提交

现有一个数字传输系统，传输8进制码元，速率为2400波特，此系统的信息传输速率是多少？

- ☐ A 800bit/s
- ☐ B 2400bit/s
- ☒ C 7200bit/s
- ☐ D 19200bit/s

提交

已知某4进制数字传输系统的码元速率为1200baud，在带宽为2kHz的信道中传输信息，请问该系统的频带利用率是多少？

- ☐ A 0.6 bit/s/ Hz
- ☒ B 1.2 bit/s/Hz
- ☐ C 2.4 bit/s/Hz
- ☐ D 4.8 bit/s/Hz

提交

## 数字 通信系统性能指标

### ■ 可靠性指标:

1. 误码率:  $P_B = \frac{\text{接收到的错误码元数}}{\text{接收到的总码元数}}$

2. 误比特率:  $P_b = \frac{\text{接收到的错误比特数}}{\text{接收到的总比特数}}$

越小越好

已知某LTE每秒发送10kbit二进制信息，接收端每秒正确接收9.999kbit信息，则该系统的误码率是多少？

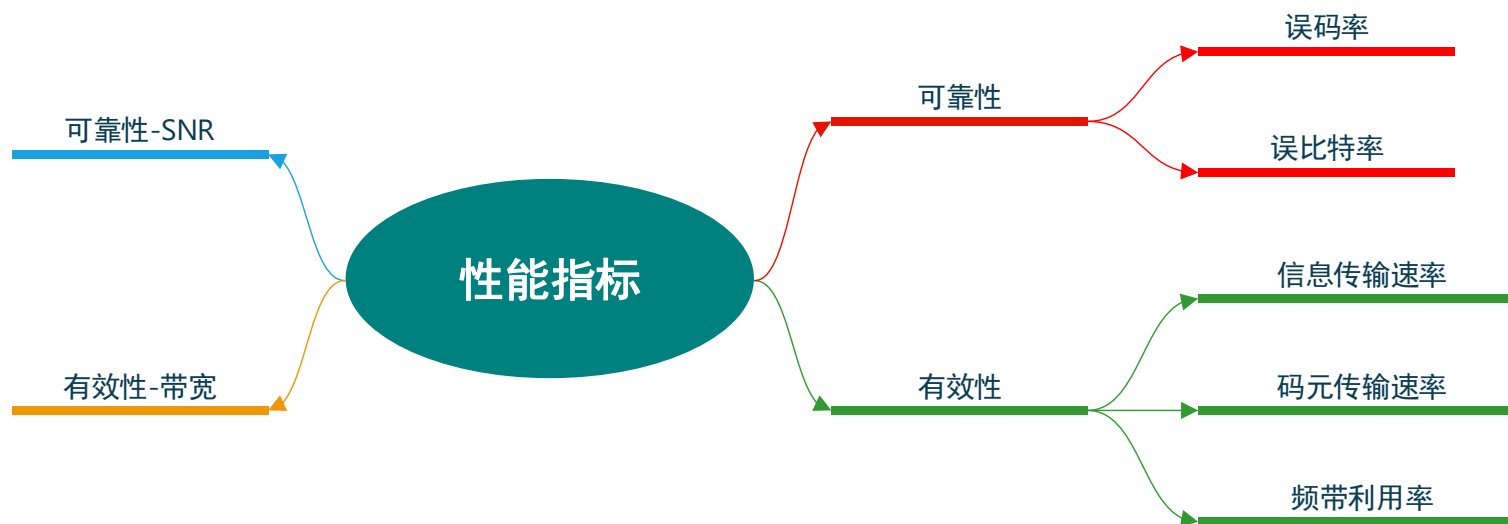
- ☐ A 0.1
- ☒ B 0.0001

提交

## 1.2 通信系统性能指标

模拟通信系统

数字通信系统



## 总结

- 通信系统组成
  - ✓ 模拟通信系统
  - ✓ 数字通信系统
- 通信系统的性能指标
  - ✓ 有效性指标
  - ✓ 可靠性指标

## 1.3 通信信道及其特征

### ■ 物理信道分类:

Wireline Channels, (有线信道)

Fiber Optic Channels, (光纤信道)

Wireless Electromagnetic Channels, (无线电磁波信道)

Underwater Acoustic Channels. (水声信道)

Data storage channel. (数据存储信道)

### ■ 信号在信道中传输时会面临两个问题。

噪声: 可通过提高信号的发送功率予以克服。

信道带宽: 通过各种技术提高带宽利用率。

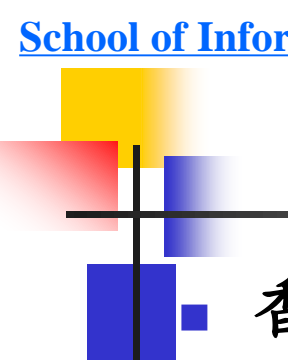


## 1.3 通信信道及其特征

- 功率和带宽限制导致了在任何通信信道上能够可靠传输的数据量（信息量）受到限制。
- 香农信道容量公式（带限AWGN信道）

$$C = W \log\left(1 + \frac{P}{N_0 W}\right) \quad \text{bits/sec}$$

其中 $W$ 为信道带宽， $P$ 是平均发送功率， $N_0$ 是加性噪声的功率谱密度（单边）。


$$C = W \log\left(1 + \frac{P}{N_0 W}\right) \quad \text{bits/sec}$$

## ■ 香农信道容量公式的说明

- 信道模型： $y(t) = x(t) + n(t)$

其中 $y(t)$ 是信道输出； $x(t)$ 是信道输入； $n(t)$ 是加性高斯白噪声。可见该模型中假设信道对信号没有衰减。

若有衰减，公式中的 $P$ 如何计算？

- 信道容量 $C$ 是该信道信息传输速率的上限！

只要信息速率 $R_b < C$ ，就能找到方法实现无差错传输。否则 $R_b > C$ ，传输一定会出错。

## 1.3 通信信道及其特征

- 例题3：已知某AWGN信道带宽为10kHz，双边功率谱密度为0.05W/Hz，信道承载的信号最大功率为20千瓦。问信息速率为1Mbps的信息能否通过该信道无失真传输。

- 解：该信道的容量为

$$\begin{aligned} C &= W \log \left( 1 + \frac{P}{N_0 W} \right) \\ &= 10^4 \times \log \left( 1 + \frac{2 \times 10^4}{0.05 \times 2 \times 10^4} \right) = 4.4 \times 10^4 \text{ bps} \\ &\because 4.4 \times 10^4 < 10^6 \end{aligned}$$

故无法无失真传输。

## 1.3 通信信道及其特征

有线信道:

1. Twisted-pair wirelines(双绞线) : 带宽几百KHz. 其对信号的干扰有: :振幅和相位失真、串话 和热噪声。
2. Coaxial cable (同轴电缆) : 带宽几MHz. 其对信号的干扰有: 振幅和相位失真和热噪声。
3. 光纤信道: 目前商用带宽可达1600Gbps ( $160 \times 10 \text{Gbps}$ , 波分复用160路, 单路达10Gbps) 。



双绞线



同轴电缆



光缆

## 1.3 通信信道及其特征

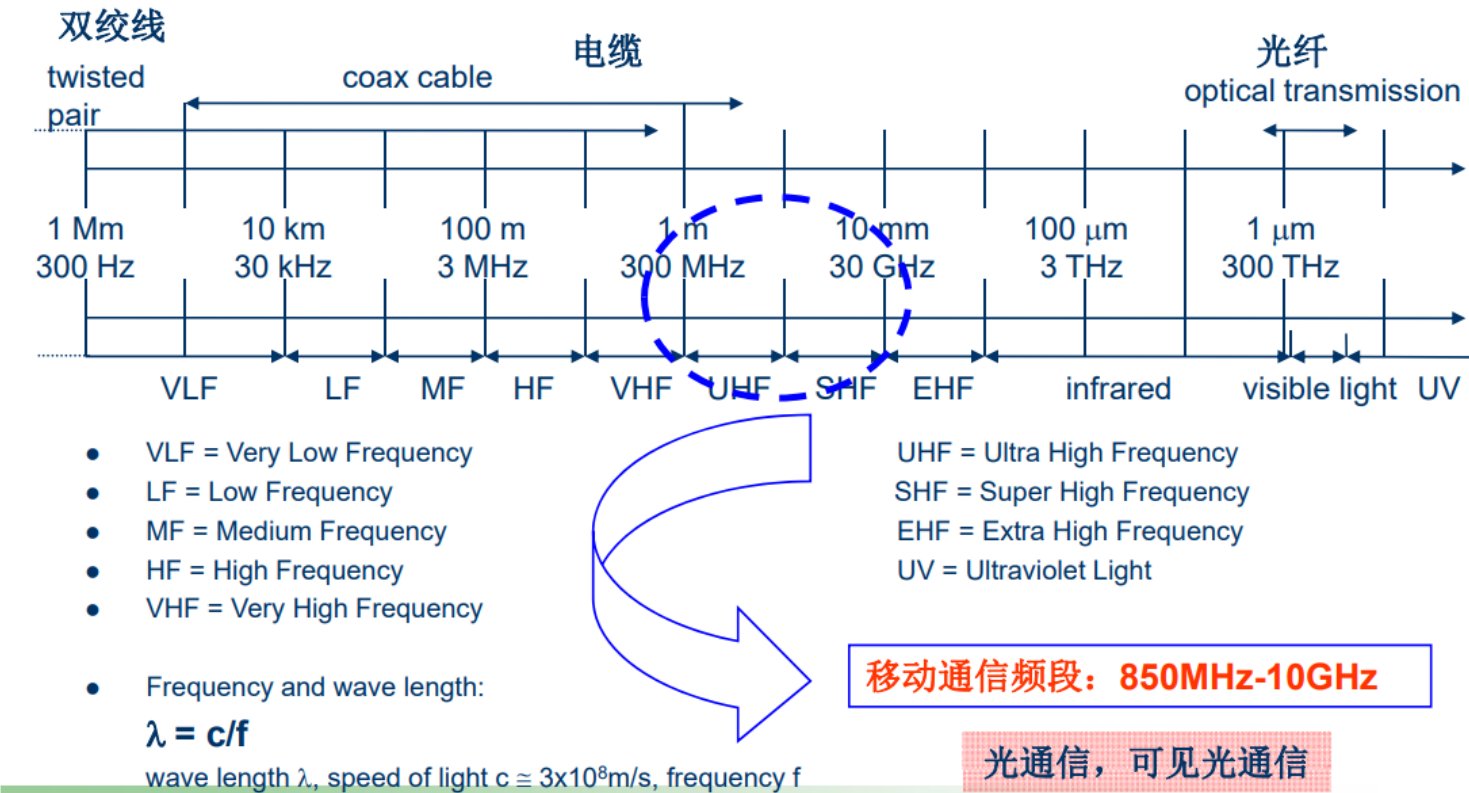
1966年，英籍华人高锟（2009年获诺贝尔物理学奖）提出以玻璃纤维进行远距离激光通信的设想（《光频率介质纤维表面波导》）。

- 武汉邮电科学研究院（中国信息通信科技集团有限公司 (cict.com)）- 中国光通信的发源地
- 2024年中国移动&电信100G WDM OTN设备集采：中兴、烽火、华为和诺基亚贝尔中标。
- 目前国内外光纤通信的大厂有：中兴、华为、烽火和诺基亚贝尔和思科等。



# 主要有线电磁信道频率范围

– 通信频率（Frequencies for communications systems）



光纤通信用的光信道在红外线区域

## 1.3 通信信道及其特征

### ■ 无线电磁信道

天线尺寸  $\geq 1/10$  传输波长

传播分类（见pp11，图1.4）：

0. 地表传播 (*Global surface propagation*). 频带为 VLF (甚低频) 和 ELF (超低频) (3KHz—30KHz). 可用带宽为中心频率的1-10%，所以  $B \leq 0.3-3\text{KHz}$ . 只限于数字信号传输。

## 1.3 通信信道及其特征

1. Ground-wave propagation (地波传播). 频带为 MF (中波) (0.3-3MHz) 用于AM 广播。
2. Sky-wave propagation (天波传播). 频带为 HF (高频) (3-30MHz) 用于长距离AM 广播。信号会遭受多径和衰落。
3. Line-of-sight (LOS) propagation (视线传播). 频带为 VHF (甚高频) 或更高 (30MHz- ).

■ 水下声波信道。

■ 存储信道。

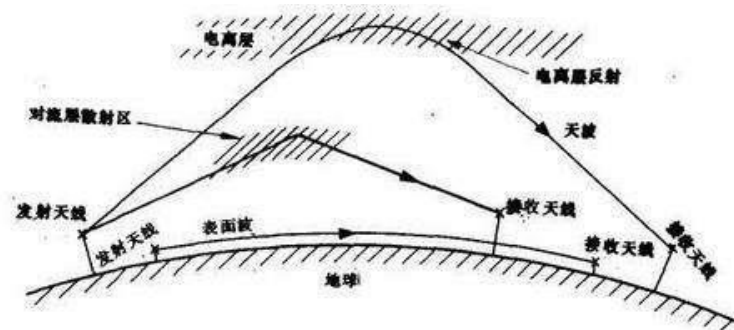


图 2.30 无线电波传播路径



# 无线电磁信道频率范围

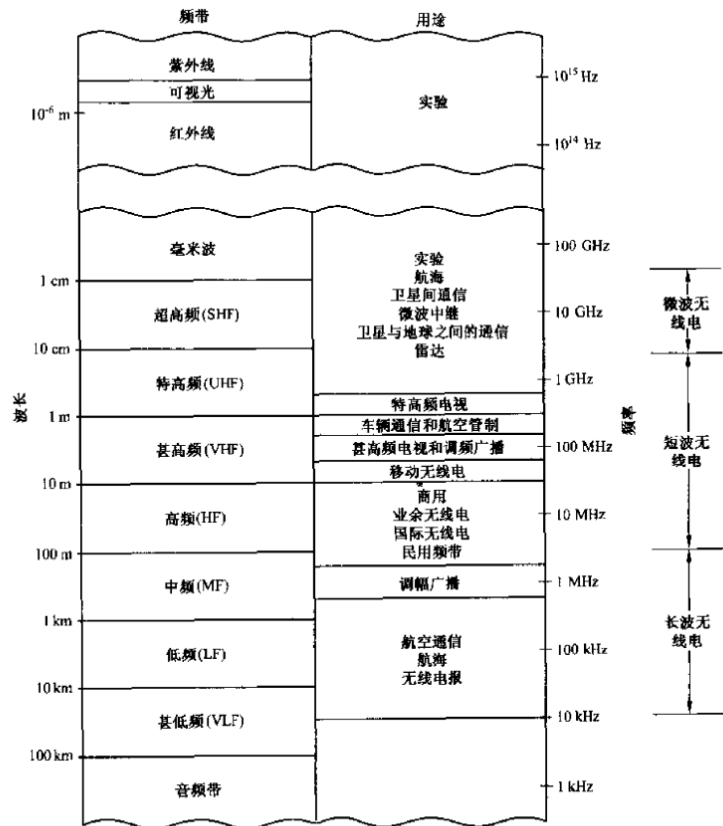


图 1.4 无线电磁信道的频率范围

Frequency and wave length:

$$\lambda = c/f$$

wave length  $\lambda$ ,

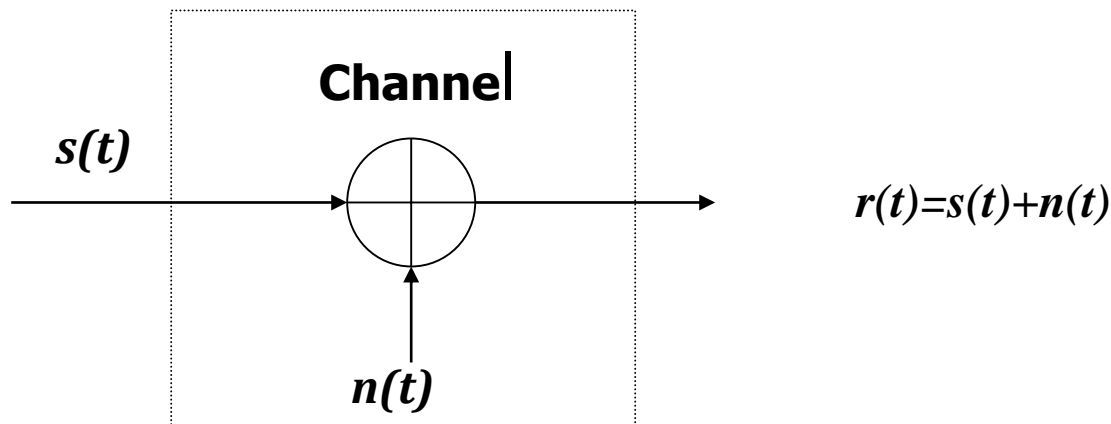
speed of light  $c \cong 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ,

frequency  $f$

## 1.4 通信信道的数学模型

数学模型反映的是传输媒质的主要特征。

The Additive Noise Channel——加性噪声信道.



## 1.4 Mathematical Models for Communication Channels

1. 从物理意义上说,  $n(t)$  来源于电子元件和放大器, 系统收发端都存在。
2. 从统计上看,  $n(t)$  是随机过程。
3. 高斯噪声:  $n(t)$  服从高斯分布。
4. 当发送信号在信道上经历衰减时

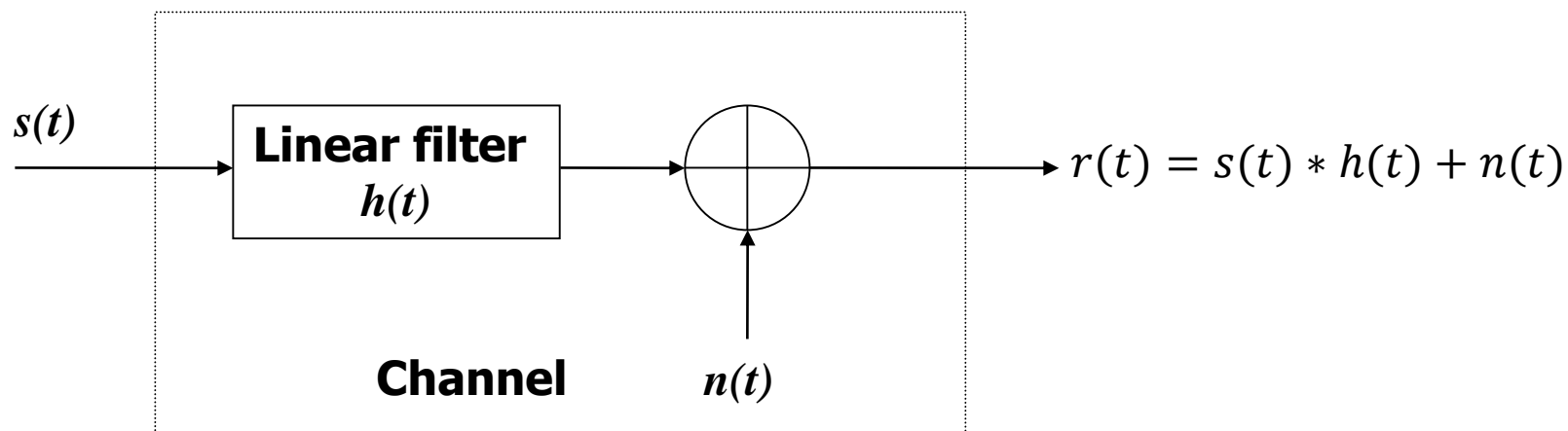
$$r(t) = as(t) + n(t)$$

其中  $a$  代表衰减因子。

## 1.4 通信信道的数学模型

### ■ The Linear Filter Channel——线性滤波器信道.

有线电话信道一般建模为线性滤波器信道。

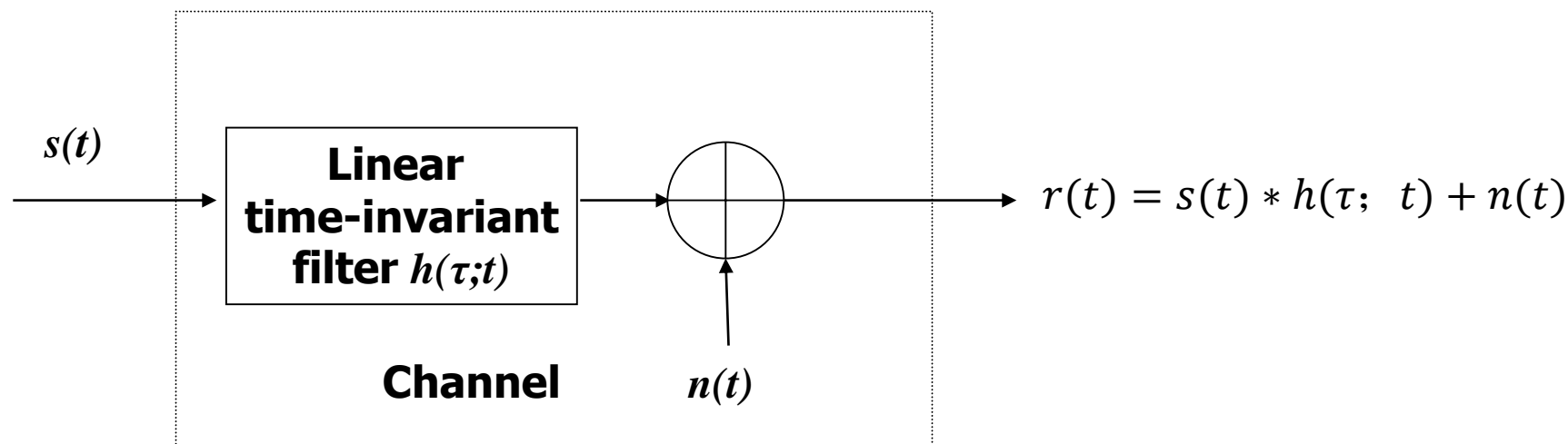


$$r(t) = s(t) * h(t) + n(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(\tau) s(t - \tau) d\tau + n(t)$$

## 1.4 通信信道的数学模型

### ■ The Linear time-Variant Filter Channel——线性时变滤波器信道.

水下声波信道、电离层无线信道和无线移动信道建模为线性时变滤波器信道。



## 1.4 Mathematical Models for Communication Channels

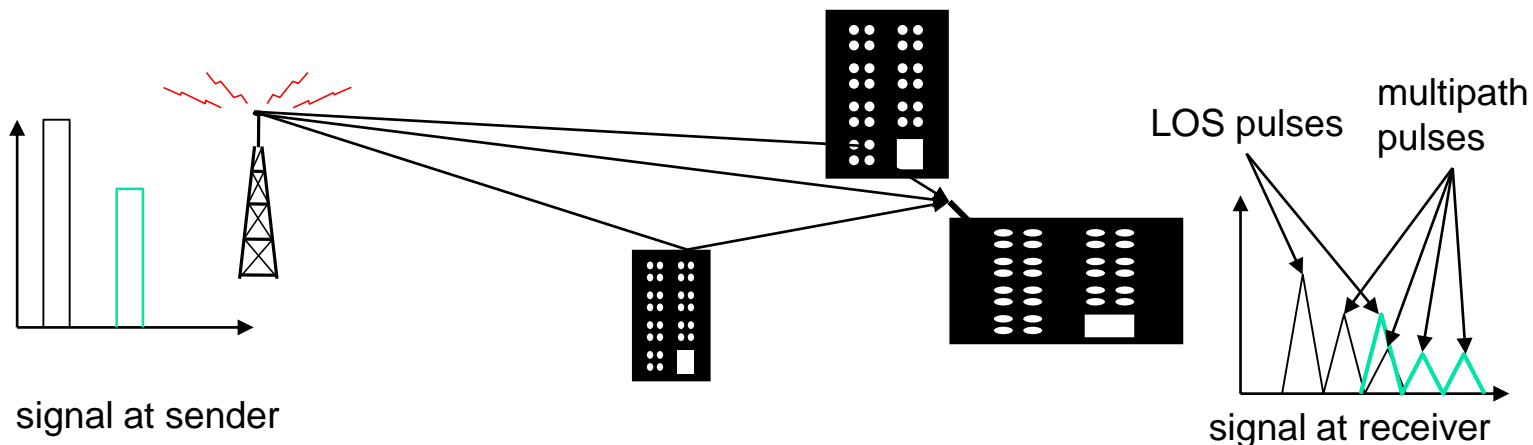
$$\begin{aligned} r(t) &= s(t) * h(\tau; t) + n(t) \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} h(\tau; t) s(t - \tau) d\tau + n(t) \\ &= \sum_{k=1}^L a_k(t) s(t - \tau_k) + n(t) \end{aligned}$$

$$\text{where} \quad h(\tau; t) = \sum_{k=1}^L a_k(t) \delta(\tau - \tau_k)$$

## 1.4 通信信道的数学模型

### Multipath channel——多径信道

1. 是线性时变滤波器信道的特例
2. 广泛的用于无线通信中



$$h(\tau; t) = \sum_{k=1}^L a_k(t) \delta(\tau - \tau_k)$$

$$r(t) = \sum_{k=1}^L a_k(t) s(t - \tau_k) + n(t)$$

$L$	多径数
$\{a_k(t)\}$	时变衰减因子
$\{\tau_k\}$	时延因子

## 本章小结

- 课程简介。
- 课程内容。
- 通信系统组成，尤其是数字通信系统（会画框图，并解释各模块的作用）。
- 通信发展史（了解）。
- 通信系统的评价指标（会计算）
- 信道模型（会画信道模型图，写成相应的卷积公式）。



## 下次课内容

### ■ Chapter 2

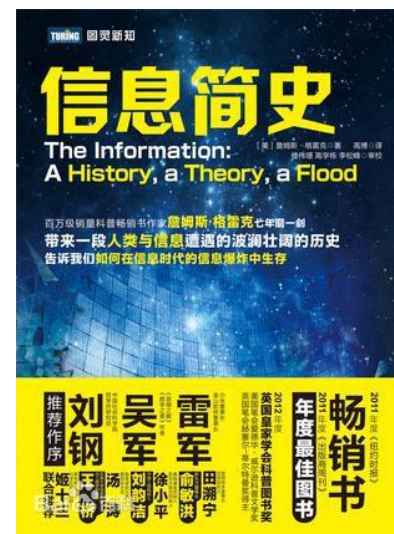
傅立叶级数 ( section 2.1)

傅立叶变换 (section 2.2)

功率和能量 (section 2.3)

### ■ 拓展阅读:

《信息简史》，作者：[美] 詹姆斯·格雷克，人民邮电出版社。



## Chapter 1 Introduction

---

**Thank you for your attention!**

**Any question?**

