

# 数据通信原理

## 绪论

全宇晖

二零一九年秋

# 数字通信

# 什么是通信？

通信 = 传递信息

# 什么是通信系统？

- 狭义的通信系统

利用电信号和光信号来传递信息的电通信、光通信或电光混合的通信系统。

- 广义的通信系统

电通信、光通信，普通邮件、报纸、杂志、各种介质的记录与重放的方式等等。

# 通信相关的基本概念

消息：文字、符号、数据、图片、音频和视频信号；

信息：信息是消息的内涵，消息是信息的载体；

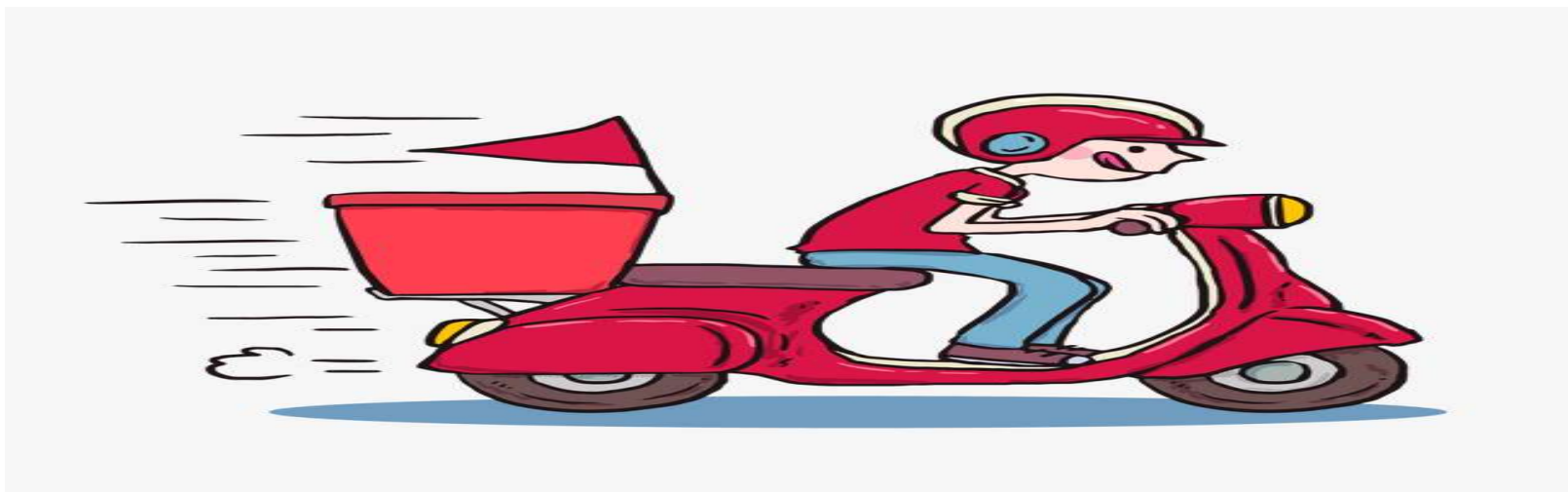
信号：与消息对应的电、声、光等物理量，它是消息的物质载体；

数字信号：时间和幅度取值均为离散的信号；

通信系统：传递信息所需的一切技术设备的总和；

数字通信系统：传输数字信号的通信系统。

传个信，很难吗？



# 通信系统须考虑的因素

- 两个障碍
  - 时间障碍
  - 空间障碍
- 四个因素
  - 准确性（高质量、抗干扰、抗噪声、自纠错）
  - 高效性（时效）
  - 安全性（加密、防串改）
  - 可实现性（便于大规模集成电路实现）

# 什么是数字通信？

模拟



定义域连续  
值域均连续

数字

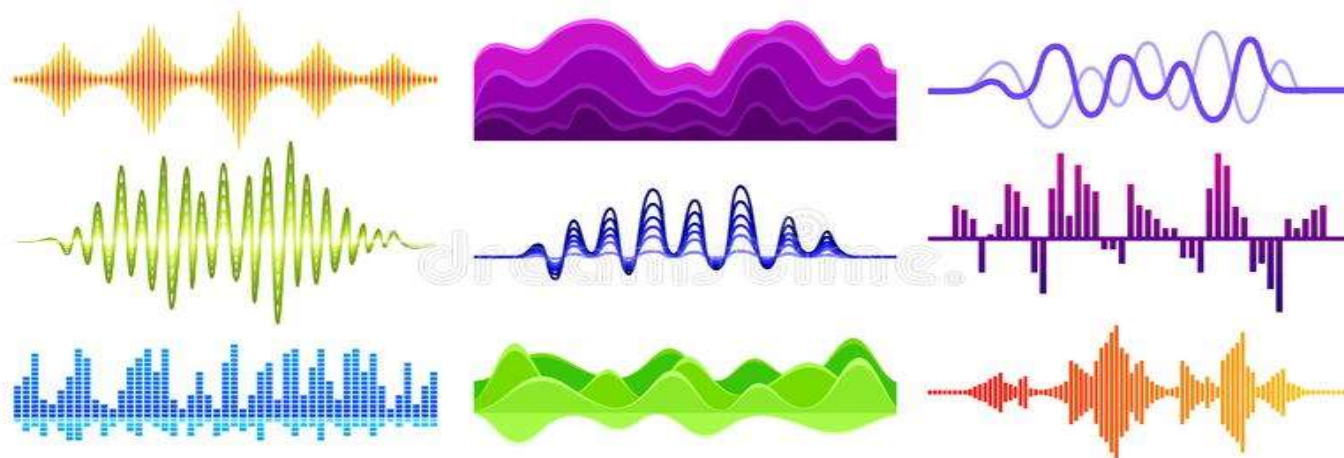


定义域离散  
值域离散有限





# 常见的数字信号

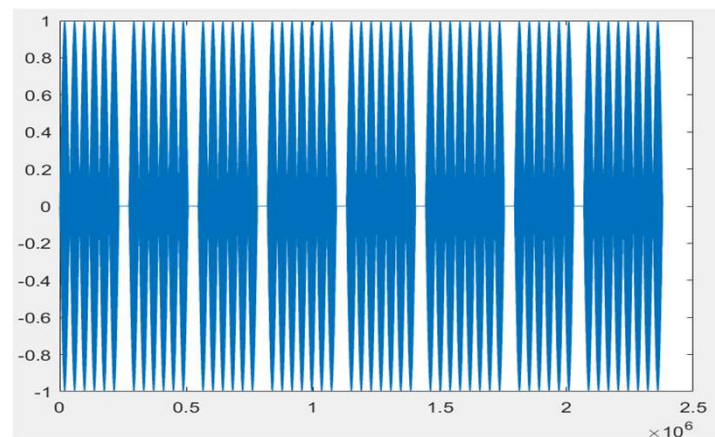


音频

```
notes = [5 123530231 6120 51235707716565051117650356651320123345055431321];
tone = [-100000000000-1000-10000000000100000011100000000000000000000000000000];

fs = 44100;
time_dur = 1;
time_note = 40000;
len = time_note*time_dur;
len_mix = 1000;

w = note_transfer(notes, tone);
v = zeros(1, len_mix);
amp = sin(pi/time_note*linspace(1, len, len));
for i = 1 : length(w)
    v0 = (notes(i)~=0)*sin(2*pi*w(i)/fs*linspace(1, len, len));
    v = [v(1:end-len_mix), v(end)+amp(1:len_mix).*v0(1:len_mix), amp(len_mix+1:end).*v0(len_mix+1:end)];
end
sound(v, fs);
```



# 常见的数字信号



3	144	109	115	176
5	233	194	181	121
8	121	47	40	41
13	98	241	221	162
21	219	32	5	203

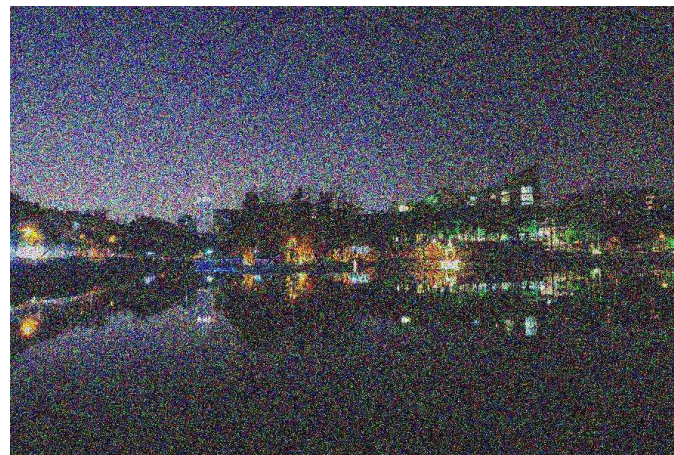
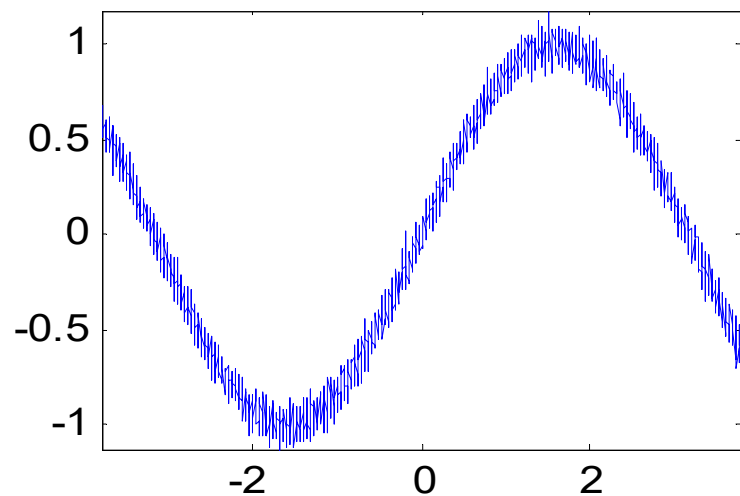
灰度图像



3	144	109	115	176	6
5	233	194	181	121	1
8	121	47	40	41	1
13	98	241	221	162	2
21	219	32	5	203	2
					3
					3
					3

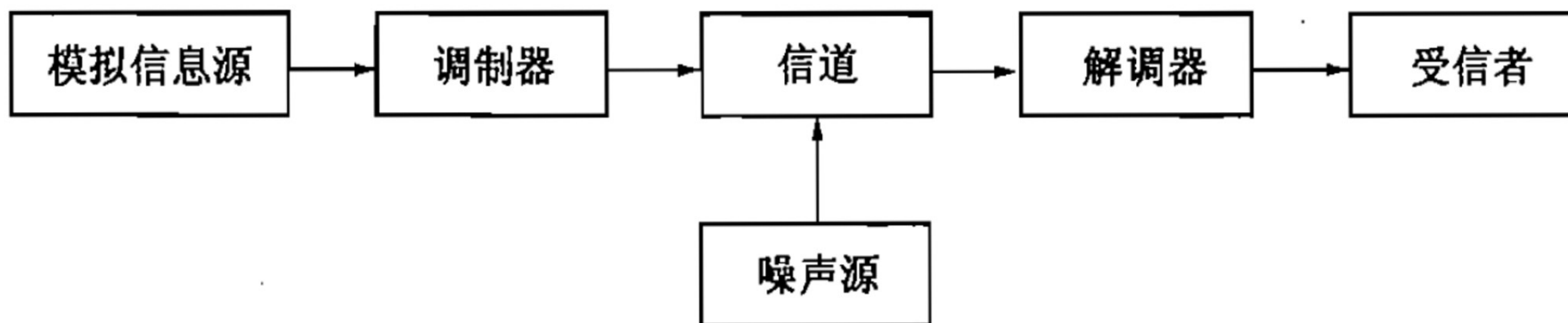
彩色图像

# 常见的数字信号

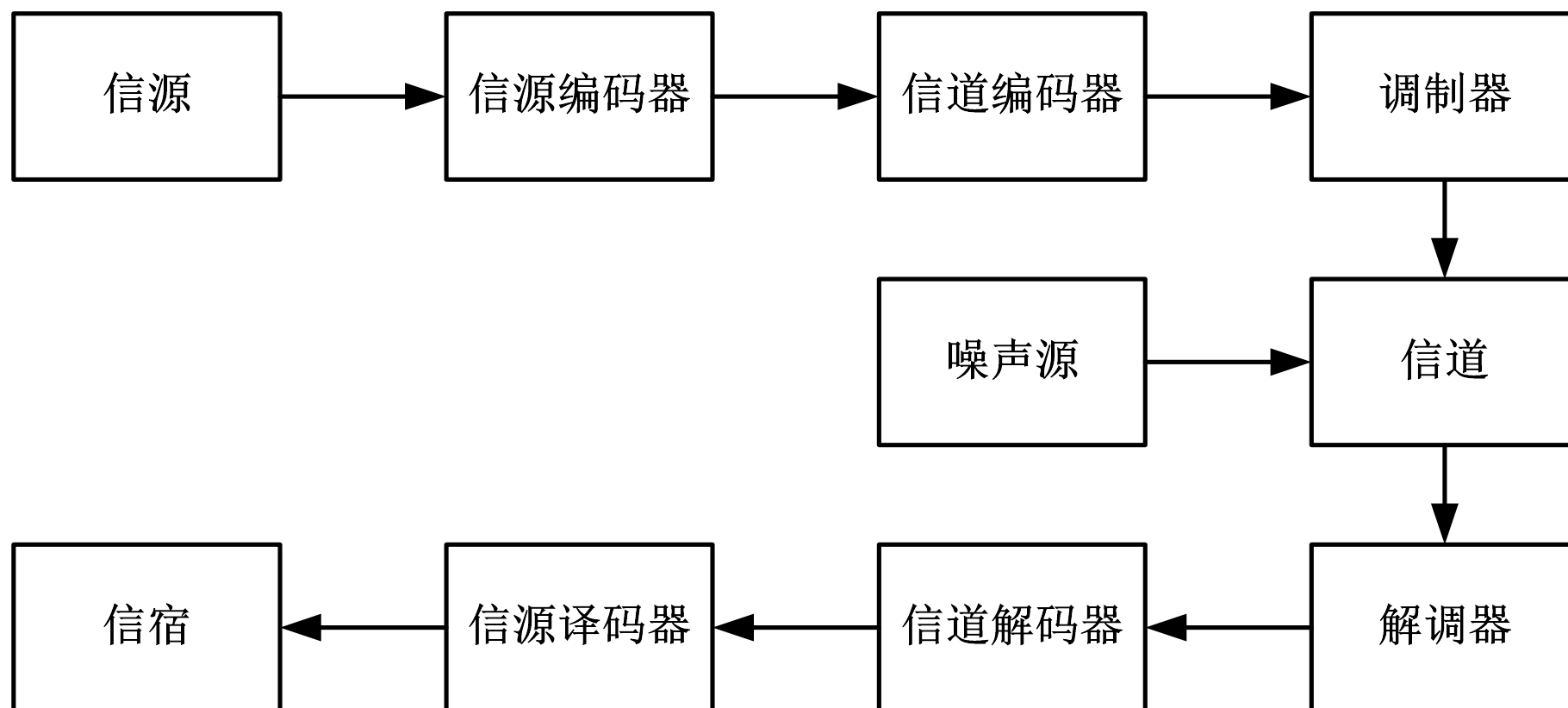


带噪信号

# 模拟通信系统模型



# 数字通信系统模型

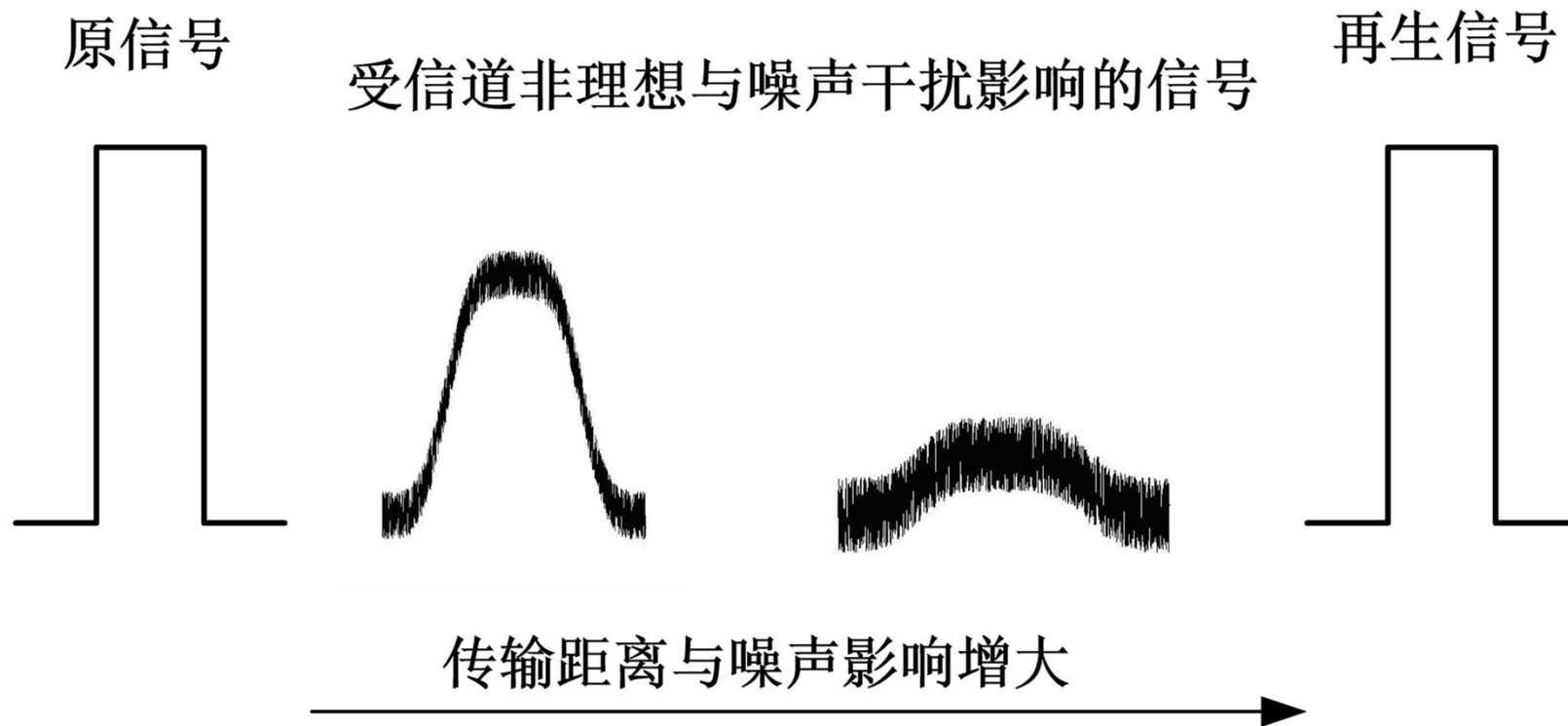


# 数字通信与模拟通信

- 在很多领域，数字通信逐步取代模拟通信
- 数字通信优点
  - 抗噪声和抗干扰能力强
  - 便于提高消息传输效率
  - 便于进行差错控制
  - 便于对信息进行加密处理
  - 便于大规模集成电路实现
- 数字通信缺点
  - 同步复杂
  - “错了就错了”

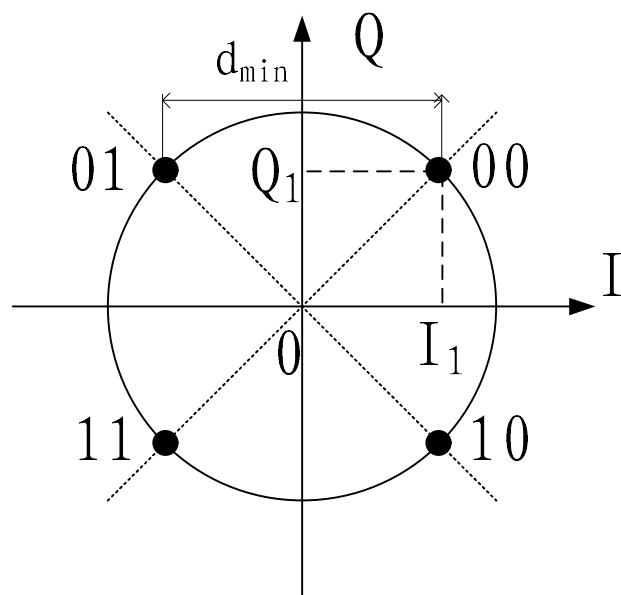
# 数字通信优点：抗噪抗干扰能力强

数字信号只有有限种状态，易于识别和重构



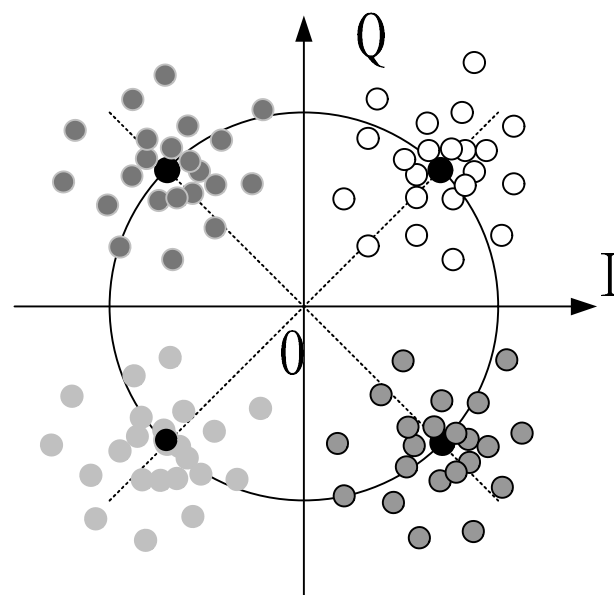
# 数字通信优点(1): 抗噪抗干扰能力强

只有有限种状态，易于识别和重构



(a)

(a) 理想的接收信号星座图



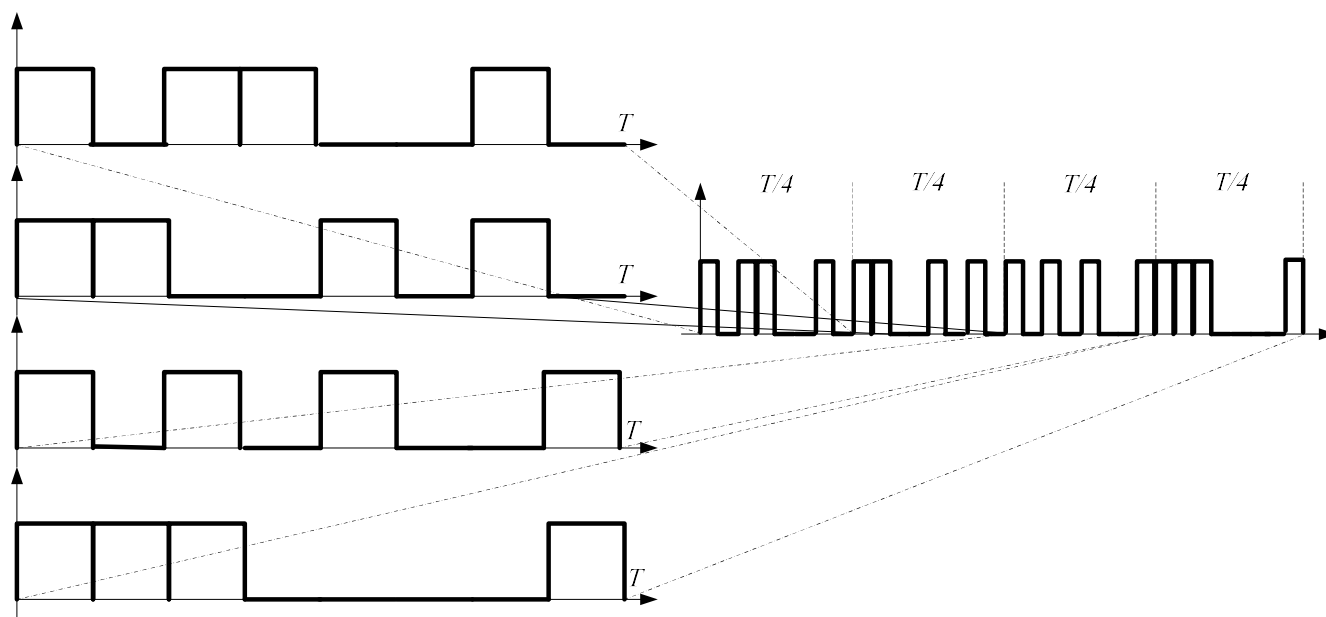
(b)

(b) 受噪声干扰的接收信号星座图



# 数字通信优点(2): 便于传输效率提升

定义域离散, 易于汇并多路数据



时分复用系统

# 数字通信优点(3): 便于进行差错控制

## 状态有限, 容易纠错

原信息码组: 100

→ 通过纠错编码生成的码字: 110100

→ 传输, 码字受到噪声和信道非理想等影响

因受干扰接收端收到出错的码字: 110000

→ 纠错译码可恢复正确的码字: 110100

→ 译码后得到原信息码组: 100

# 数字通信优点(4): 便于信息加密和保护

用“古典置换密码”进行编译码

密钥	<b>C</b>	<b>H</b>	<b>I</b>	<b>N</b>	<b>A</b>
	D	i	g	i	t
	a	l	C	o	m
	m	u	n	i	c
	a	t	i	o	n
	I	s	F	u	n

明文: DigitalCommunicationIsFun

密文: tmcnnDamaiIilutsgCniFioiou

## 数字通信优点(5): 大规模集成电路实现

- 利用专用的集成电路芯片 (ASIC) 构建
- 利用通用的集成电路芯片 (FPGA) 构建
- 利用专用的数字信号处理器 (DSP) 构建
- 利用通用的数字信号处理器 (DSP) 构建
- 利用通用计算机系统构建
- 利用云计算的方法构建

课程相关

# 相关材料

- 《数字通信原理》，冯穗力，电子工业出版社.
- A Scientist and Engineers' Guide to Digital Signal Processing, Steven W. Smith, California Technical Publishing.
- Some notes.
- Search Engines.

# 分数设置

- 平时 (40%): 出勤、作业、实验等
- 考试 (60%): 涵盖课上所讲知识点

# 分组讨论





# 先备知识

- 微积分
- 线性代数
- 矩阵分析
- 概率论
- 随机过程
- 最优化
- 信号处理
- 物理硬件

特点：

要求知识面广

要求基础知识扎实

“死记硬背”无用

若不足，如何补？

# 数字通信系统的性能指标

# 数字通信系统的主要性能指标及度量

(1) 比特率 $R_b$ ：单位时间内可传输的0/1位数。

单位：比特/秒(bits/s, b/s, bps)。

无损时，比特率也称为信息速率。

(2) 码元速率 $R_s$ ：单位时间内可传输的码元(符号)的个数。

单位：波特 (Baud)

码元速率也称为符号速率、波特率

$$R_b = R_s \log_2 M$$

假设传输 $M$ 个符号，波特率 $R_b$ 与比特率 $R_s$ 间的关系？？

# 数字通信系统的主要性能指标及度量

(3) 带宽 $W$ （单位：赫兹）：

信号带宽：信号频率成分所占据的频谱宽度；

信道带宽：信道可利用的频谱宽度。

(4) 带宽利用率

定义1 每秒每赫兹可传输的比特位数： $\eta = \frac{R_b}{W}$

定义2 每秒每赫兹可传输的符号数： $\eta = \frac{R_s}{W}$

# 数字通信系统主要性能指标及度量参数

(5) 信噪比 ( SNR , Signal-to-Noise Ratio )

信号功率 $S$ 和噪声功率 $N$ 的比值

$$SNR = \frac{S}{N}$$

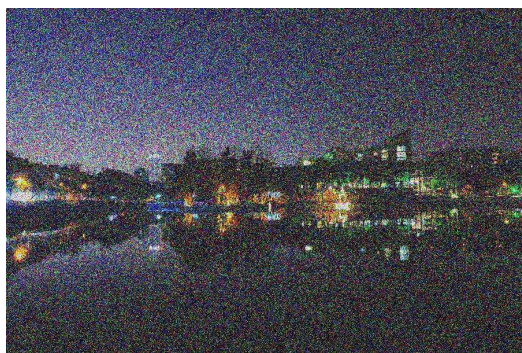
SNR的分贝值(dB) :  $(SNR)_{dB} = 10lg \frac{S}{N}$

峰值信噪比 (PSNR, Peak Signal-to-Noise Ratio)

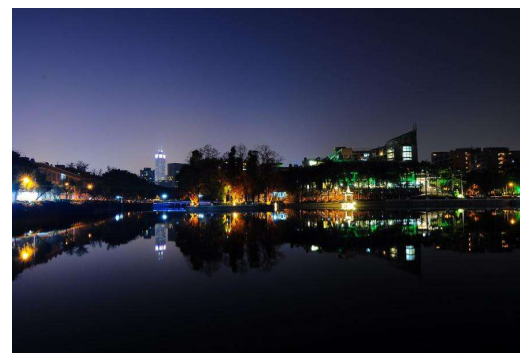
$$(PSNR)_{dB} = 10lg \frac{MAX\_VALUE}{N}$$

# 数字通信系统主要性能指标及度量参数

## (5) 信噪比 实际如何计算？



噪声图像  $\hat{f}$



无噪图像  $f$

Signal to Noise Ratio (SNR)

$$\text{SNR (dB)} = 10 \cdot \log_{10} \left[ \frac{\sum_{x=1}^{N_x} \sum_{y=1}^{N_y} (f(x, y))^2}{\sum_{x=1}^{N_x} \sum_{y=1}^{N_y} (f(x, y) - \hat{f}(x, y))^2} \right]$$

Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)

$$\text{PSNR (dB)} = 10 \cdot \log_{10} \left[ \frac{\sum_{x=1}^{N_x} \sum_{y=1}^{N_y} (255)^2}{\sum_{x=1}^{N_x} \sum_{y=1}^{N_y} (f(x, y) - \hat{f}(x, y))^2} \right]$$

# 数字通信系统主要性能指标及度量参数

## (6) 误码率

$$P_s = \frac{\text{出错的码元数}}{\text{发送的总码元数}}$$

## (7) 误比特率

$$P_b = \frac{\text{出错的比特数}}{\text{发送的总比特数}}$$

*End*