



# 物联网通信技术

主讲人：宁磊

Email: [ninglei@sztu.edu.cn](mailto:ninglei@sztu.edu.cn)

# 目录

## CONTENTS

第1章. 物联网通信概述

第2章. 基带传输技术

第3章. 频带传输技术

第4章. 链路传输技术

第5章. 网络传输技术

第6章. 应用传输技术

第7章. 典型物联网通信系统

- 本章主要内容：数字基带信号波形和信道编码的基本原理
- 本章学习目标
  - 熟悉常见基带信号的波形
  - 掌握分组信道编码的原理

- **通信**是在源点与终点之间传递消息或者信息，但信息和消息有着不同的概念
- **消息**是指能向人们表达客观物质运动和主观思维活动的文字、符号、数据、语音和图像等
- 消息两个特点：
  - ①能被通信双方所理解
  - ②可以相互传递
- **信息**是指包含在消息中对通信者有意义的那部分内容
- 消息是信息的载体，消息中可能含有信息



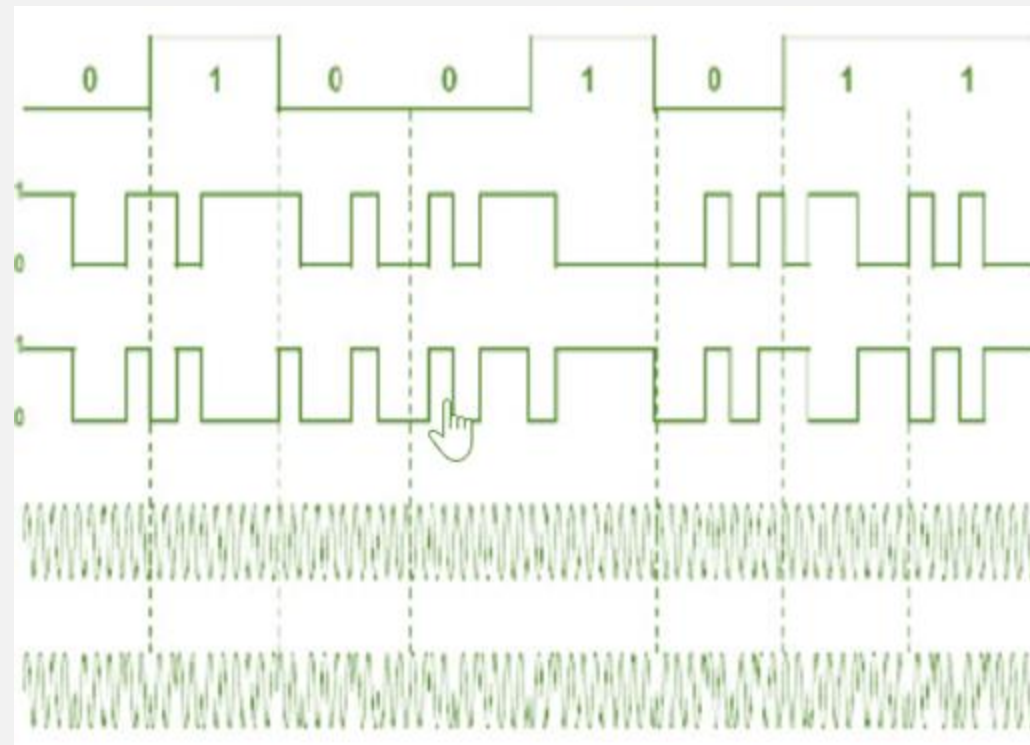
举例：比如一个人想要学物联网通信技术的课程，那么无论是书本，还是老师上课的视频，或者上课的音频，这都是消息，而转化到学习者大脑里就是知识了，他可以通过以上各种方式学习，到大脑里就是信息。而将电子书、视频或音频传给他的过程就是数据传输的过程。

- **数据**是对某一事实的不经解释并赋予一定含义的数字、字母、文字等符号及其组合的原始表达
- 数据是消息的一种表示形式，是传达某种意义或信息的实体。
- 在通信系统中，消息是通过电信号来传递的
- **信号是消息的载体**（比如电信号、光信号等）

字母

A

编码





- 当信息被表示为数据时，数据中就包含了信息
- 信息可以通过解释数据来产生
- 信息强调“处理”和“使用”两个方面，尤其是“使用”。一份资料在使用之前其中的内容隶属于数制范畴，仅当它被使用之后才转化为信息
- 数据分为**模拟数据**和**数字数据**。模拟数据在一段时间内具有连续的值(如声音等)，而数字数据则具有离散的值(如文本等)



模拟数据



数字数据

- **位置：**物理层是网络体系结构中的最低层
  - 是连接计算机的具体物理设备吗？ ×不是
  - 是负责信号传输的具体物理媒体吗？ ×不是
- **功能：**如何在连接各计算机的传输媒体上**传输数据比特流**
  - 数据链路层将数据比特流传送给物理层
  - 物理层将比特流按照传输媒体的需要进行编码
  - 然后将信号通过传输媒体传输到下一个节点的物理层
- **作用：**尽可能地**屏蔽掉不同传输媒体和通信手段的差异**
  - 为数据链路层提供一个统一的数据传输服务



TCP/IP 5层模型

- 主要内容
  - 研究信号在通信信道上传输时的数学表示及其所受到的限制
- 傅立叶分析
  - 在网络通信中，信息是以电磁信号（或简称信号）的形式传输的
  - 电磁信号是时间的函数（时域观）
  - 也可以表示成频率的函数（频域观）
  - 对于理解数据传输来讲，信号的频域观比时域观更重要
- 时域观
  - 从时间函数的角度来看，电磁信号分为模拟信号和数字信号
  - 模拟信号的信号强度随着时间平滑变化，或者说信号中没有突变或不连续的地方。
  - 数字信号的信号强度在一段时间内保持一个恒定值，然后又变成另外一个恒定值
- 频域观
  - 基本定义
    - 当一个信号的所有频率成分是某一个频率的整数倍时，该频率被称为基本频率
    - 信号的周期等于基本频率的周期
  - 傅立叶分析



- 任何一个周期为T的有理周期性函数  $g(t)$  可分解为若干项（可能无限多项）正弦和余弦函数之和

$$g(t) = c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft)$$

$$f = 1/T$$

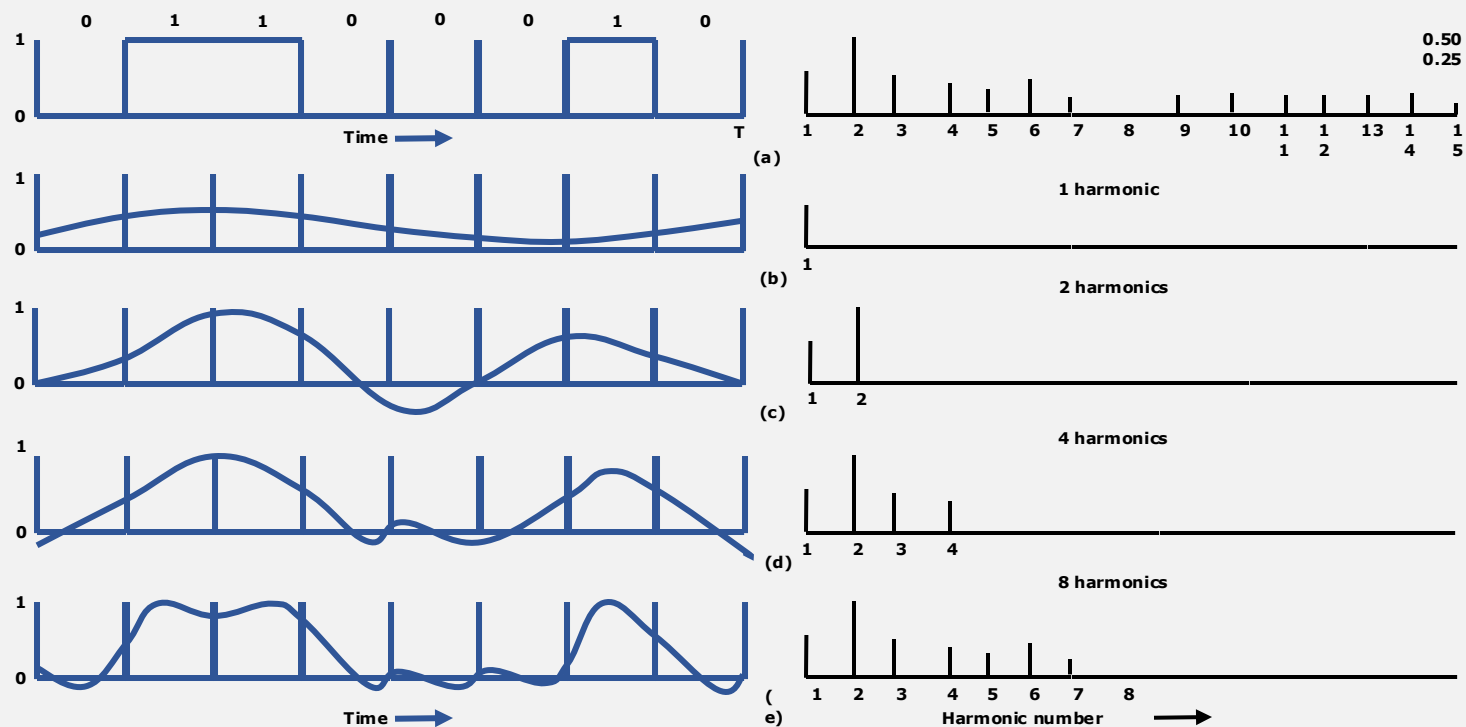
基本频率

$$a_n, b_n$$

n次谐波项的正弦和余弦振幅值

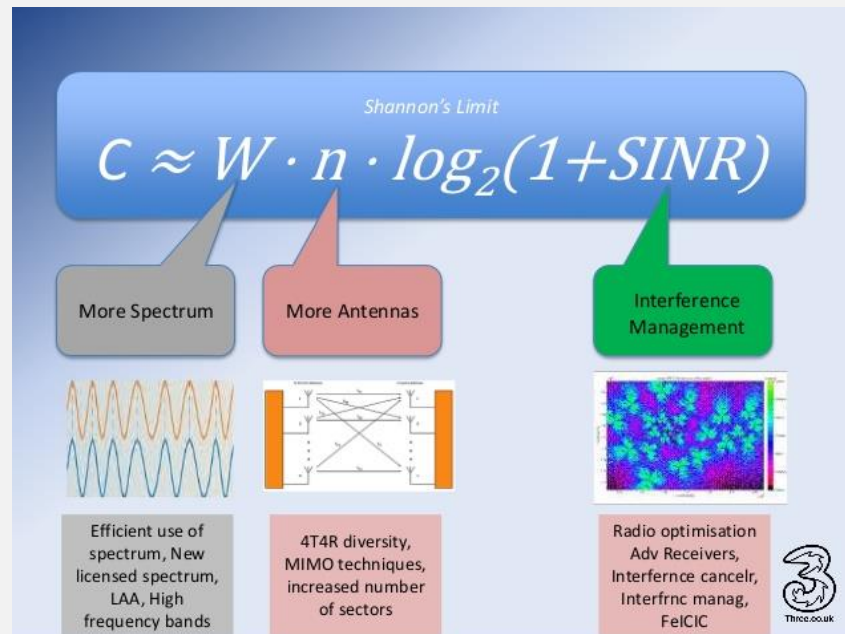
# 傅立叶分析

- 根据傅立叶分析，任何电磁信号可以由若干具有不同振幅、频率和相位的周期模拟信号（正弦波）组成
- 反过来，只要有足够的具有适当振幅、频率和相位的正弦波，就可以构造任何一个信号



- 信号在信道上传输时的特性
  - 对不同傅立叶分量的衰减不同，引起输出失真
  - 信道有截止频率 $f_c$ ， $0 \sim f_c$ 的振幅衰减较弱， $f_c$ 以上的振幅衰减厉害，这主要由信道的物理特性决定， $0 \sim f_c$ 是信道的有限带宽
  - 实际使用时，可以接入滤波器，限制用户的带宽
  - 通过信道的谐波次数越多，信号越逼真
- 波特率 (baud) 和比特率 (bit) 的关系
  - 波特率：每秒钟信号变化的次数，也称调制速率
  - 比特率：每秒钟传送的二进制位数
  - 波特率与比特率的关系取决于信号值与比特位的关系
    - 例：每个信号值可表示3位，则比特率是波特率的3倍；每个信号值可表示1位，则比特率和波特率相同

# 信道的最大数据传输速率



- 大带宽
- 多天线
- 降干扰

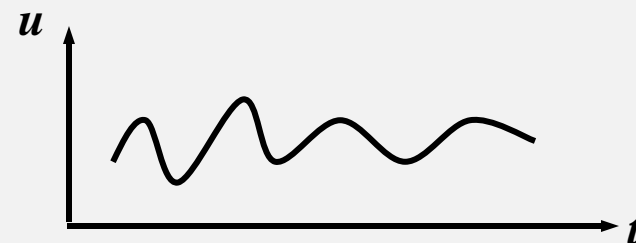
Erol Hepsaydir - Three - 5G View

It reads "The mathematical principles of Information Theory, laid down by Claude Elwood Shannon during the period 1939-1967, set in motion a revolution in communication systems engineering. They quantified the concept of information, **established fundamental limits for the representation and reliable transmission of information**, and revealed the architecture of systems for approaching them. Today, Information Theory, **continues** to provide the **foundation** for advances in information collection, storage, distribution, and processing."

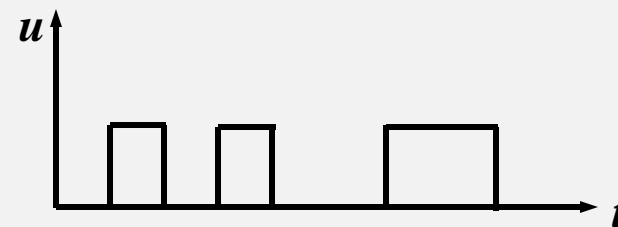


## ➤ 数字通信和模拟通信

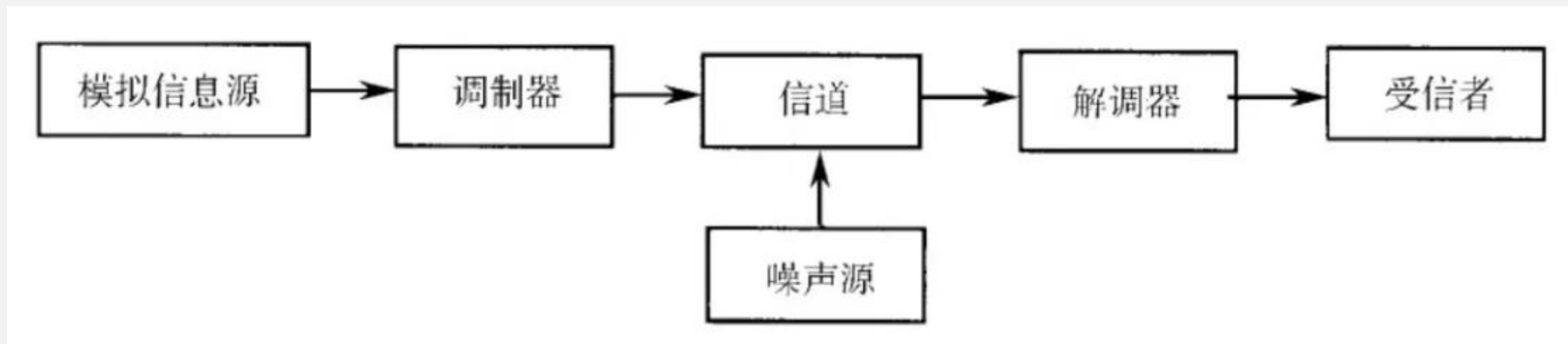
- 以模拟信号来传送消息的通信方式称为模拟通信，而传输模拟信号的通信系统称为模拟通信系统
- 以数字信号来传送消息的通信方式称为数字通信，而传输数字信号的通信方式称为数字通信系统
- 模拟信号和数字信号在传输过程中可以相互变换，即A/D和D/A



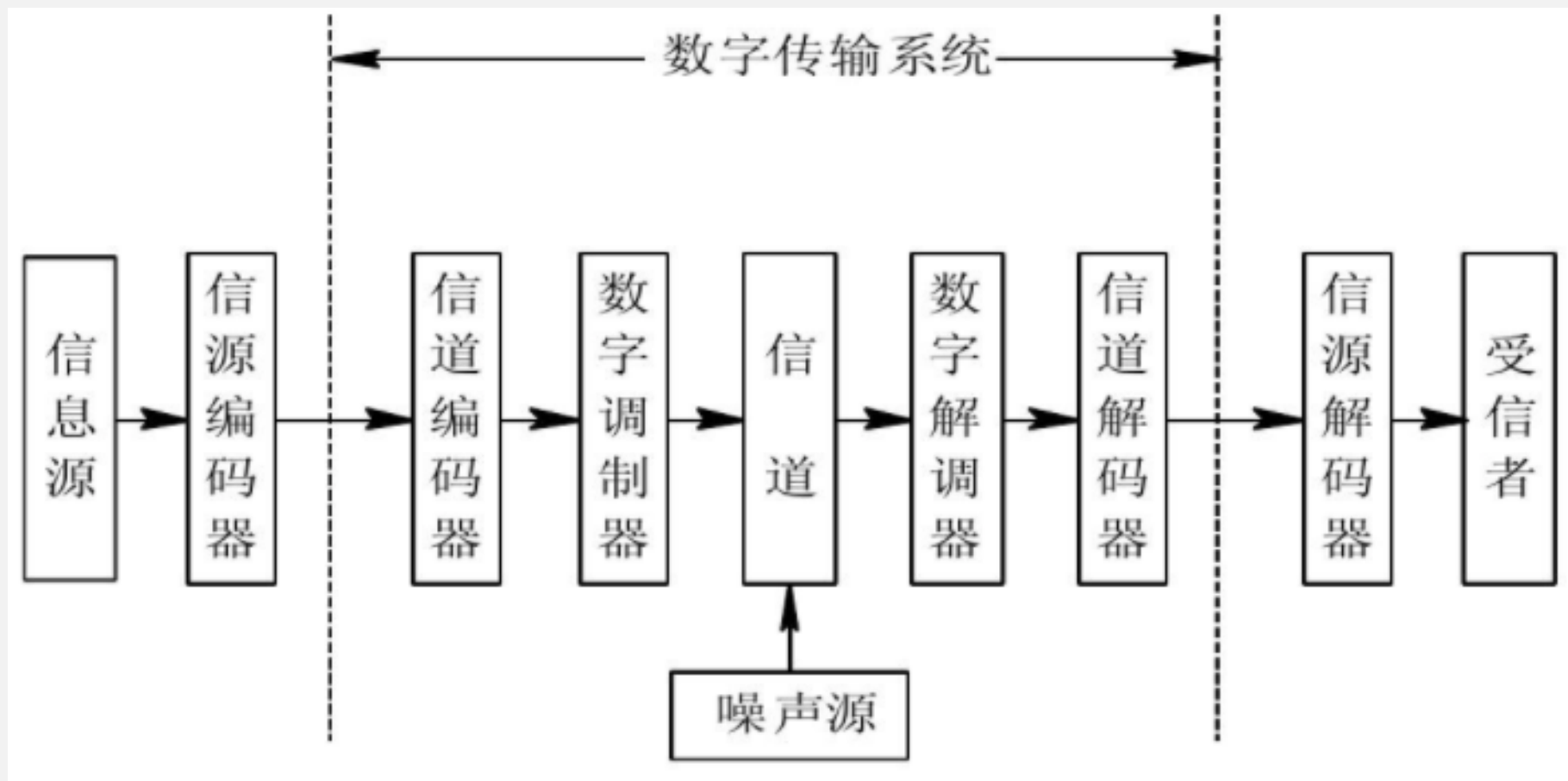
模拟信号



数字信号







## 串行传输和并行传输

按照传输数据的时空顺序，传输方式可分为两类：

➤ **串行传输** 指数据在一个信道上按位依次传输的方式

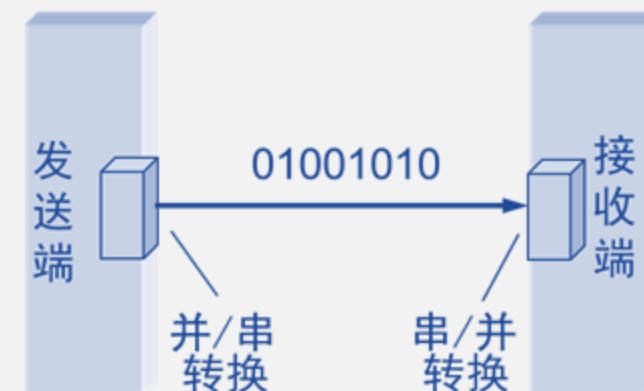
其特点是：

- 所需线路数少，投资省，线路利用率高
- 在发送和接收端需要分别进行并/串和串/并转换
- 收发之间必须实施同步。适用于远距离数据传输

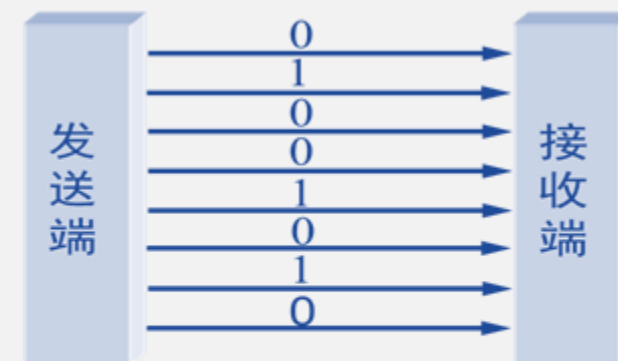
➤ **并行传输** 指数据在多个信道上同时传输的方式

其特点是：

- 在终端装置和线路之间不需要对传输代码作时序变换
- 需要 $n$ 条信道的传输设施，故其成本较高，适用于要求传输速率高的短距离数据传输



串行传输

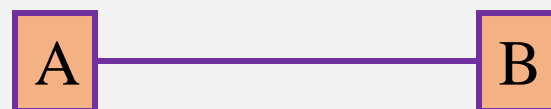


并行传输

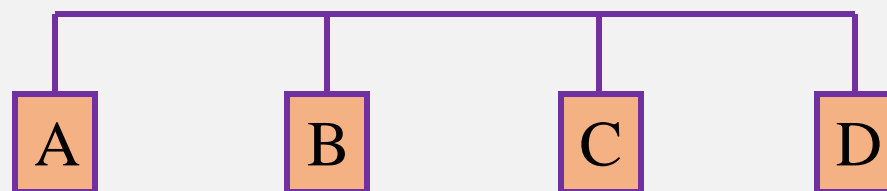
## 点到点传输/点到多点传输

- 连接方式 为适应不同的需要，通信线路采用不同的连接方式

- 点到点传输

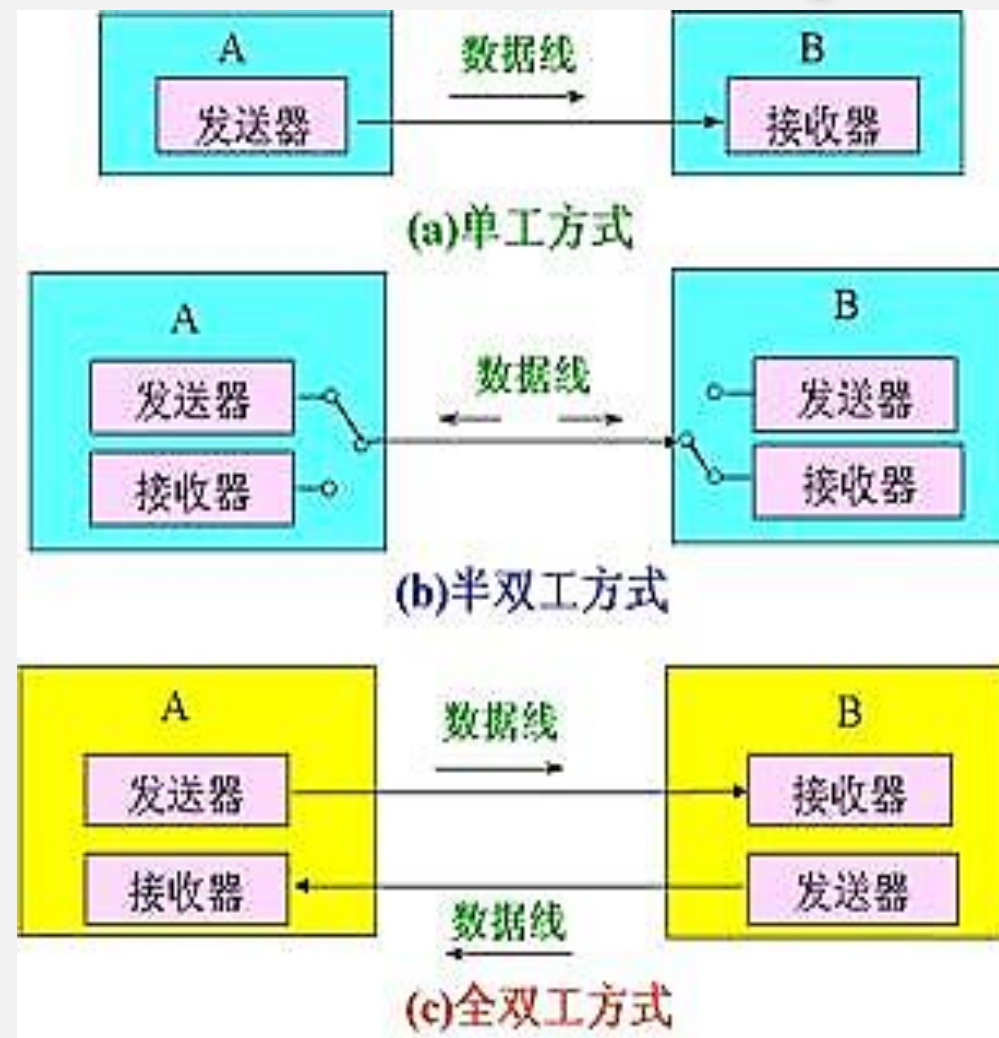


- 点到多点传输



## 单工、半双工和全双工

- 按照数据信号在信道上的传送方向与时间的关系，传输方式可分为三类：
- **单工** 指两个站之间只能沿一个指定的方向传送数据信号
- **半双工** 指两个站之间可以在两个方向上传送数据信号，但不能同时进行，又称“双向交替”模式，发/收之间的转向时间为20~50ms
- **全双工** 指两个站之间可以在两个方向上同时传送数据信号



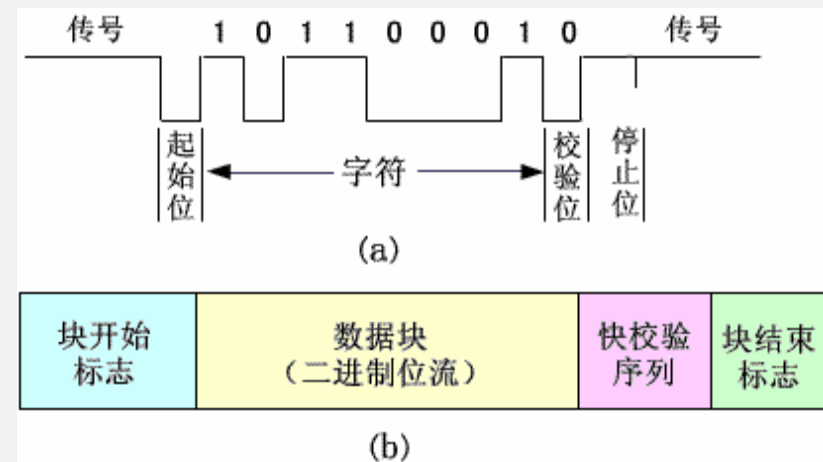
# 传输方式

## 异步传输和同步传输

按照发/收两端实现同步的方法，传输方式可分为两类：

### ➤ 异步传输

- 被传送的每一个字符一般都附加有1个起始位和1个停止位，起始位与停止位的极性不同，为了保证正确接收，利用一个频率为传输比特率的 $n$  ( $=16$ )倍的时钟，在每一个比特周期的中心采样



### ➤ 同步传输

- 每一个字符使用起止位按位进行传送，数据块以帧作为整体传输，并做到：
  - ①发/收之间的位同步
  - ②每一帧建立同步标志，建立帧同步



区别：异步传输的发送器的接收器的时钟是不同步的，而同步传输两者的时钟是同步的

## 基带传输和频带传输

按照传输系统在传输数据信号过程中是否搬其频谱，传输方式可分两类：

### ➤基带传输

- 指未对载波调制的待传信号称为基带信号，它所占的频带称为基带。基带传输，指一种不搬移基带信号频谱的传输方式
- 基带传输是一种最简单最基本的传输方式，一般用低电平表示“0”，高电平表示“1”
- 适用范围：低速和高速的各种情况
- 限制：因基带信号所带的频率成分很宽，所以对传输线有一定的要求

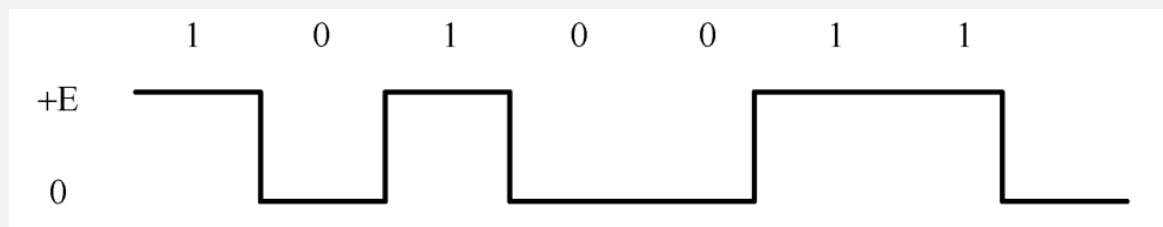
### ➤频带传输

- 指利用调制解调器搬移信号频谱的传输体制
- 搬移频谱的目的是为了适应信道的频率特性



- 单极性不归零码

- 采用高电平表示1，低电平表示0
- 0,1均匀分布时，波形的平均电平不为零，含有直流分量，难以在低频传输特性差的有线信道传输
- 判决电平一般取高电平的一半，信道特性变化时，判决电平难以稳定在最佳电平
- 不能直接用于提取同步信号



单极性不归零码波形

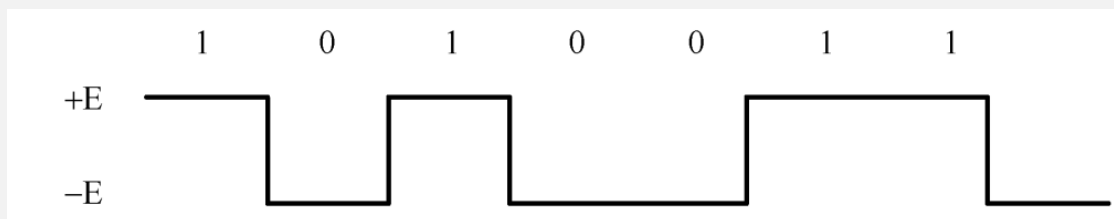
- 双极性不归零码

- 采用正电平表示1，负电平表示0

- 0,1均匀分布时，波形的平均电平为零，不含有直流分量，但0码和1码不等概时，仍有直流分量

- 判决电平为0，容易设置且稳定，抗干扰能力强

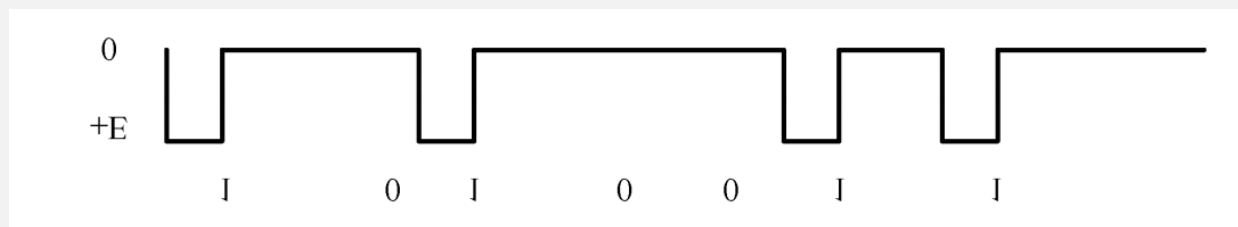
- 不能直接用于提取同步信号



双极性不归零码波形

- 单极性归零码

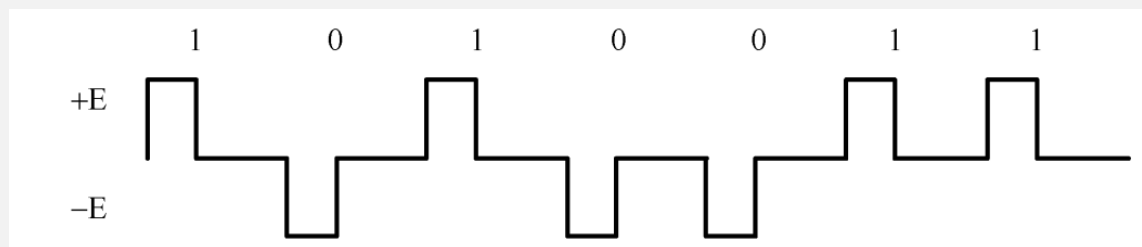
- 采用高电平表示1，低电平表示0，在整个码元期间高电平只维持一段时间，其余时间返回零电平
- 含有直流分量
- 可以直接用于提取同步信号



单极性归零码波形

- 双极性归零码

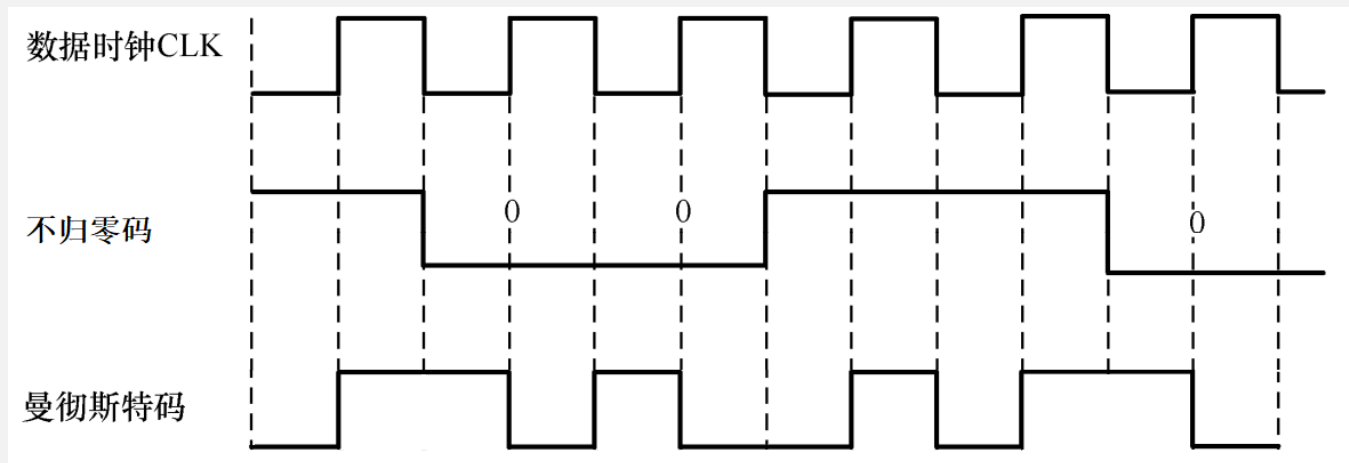
- 采用正电平表示1，负电平表示0
- 0和1分布不均时，仍有直流分量
- 可以直接用于提取同步信号



双极性归零码波形

- 分相码（曼彻斯特码）

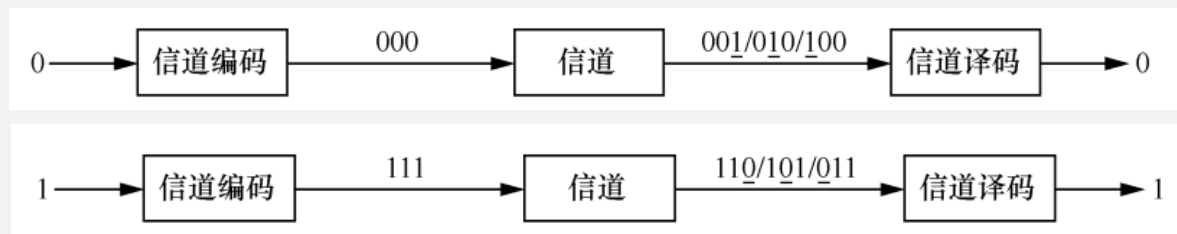
- 采用**正边沿**（由低变高）表示**1**，**负边沿**（由高变低）表示**0**，高低电平各占半码元周期
- 码元的正负电平各半，**无直流分量**
- 每个码元周期的中心点都存在电平跳变，**富含码元定时信息**



曼彻斯特码与不归零码波形关系

## ● 信道编码概述

信道编码就是根据一定的**规律**在待发送的信息中**添加冗余信息**，以便在接收端进行**纠错**处理，解决信道的噪声和干扰导致的误码问题。这些多余的信息也被称为**校验元**或**监督元**



0多判为0，1多判为1，只错1位时，可以正确译码。



错2位时，就不能正确译码了；而且将同一信息比特发送了3次，传输效率只有1/3重复码。



## ● 分组码

分组码是把信源输出的信息序列以 $k$ 个码元作为一组数据输入,经过编码后生成 $r$ 个校验元,输出总长为 $n = k + r$ 的一组数据。该 $n$ 长码元的输出数据组称为码字。分组码的每个码组的校验元仅与本组的信息元有关,而与其他组无关。分组码一般用 $(n, k)$ 表示,  $n$ 表示码长,  $k$ 表示信息位个数

分组编码如下图所示。若校验元与信息元之间的关系满足线性叠加定理, 则称为线性码; 否则, 称为非线性码。



把 $k$ 个信息元编成 $n$ 个已编码元的分组编码

- 分组码

## 奇偶校验码

奇偶校验码的校验码元只有1位

例：(3,2) 偶校验码，通过添加1位校验码元使得整个码字中“1”的个数变为偶数

奇偶校验码只能检测奇数个错误，而不能纠正错误

收到1个码字，对所有位做异或运算，如果为0，则正确；如果为1，则错误

00→000

01→011

10→101

11→110

## ● 分组码

### 汉明码定义

汉明码是一种能纠正单个随机错误的线性分组码，是一种编码效率较高的分组码

如果有偶数校验方程

$$c_{n-1} + c_{n-2} + \cdots + c_0 = 0$$

式中，符号“+”表示模2加法（异或）运算， $c_0$ 为校验元， $c_{n-1}$ ， $c_{n-2}$ ， $\dots$ ， $c_1$ 为信息元，则 $c_0$ 与 $c_{n-1}$ ， $c_{n-2}$ ， $\dots$ ， $c_1$ 一起构成一个代数式。在接收端译码时，计算

$$S = c_{n-1} + c_{n-2} + \cdots + c_0$$

若 $S = 0$ ，就认为无错；若 $S = 1$ ，就认为有错。上式被称为校验关系式， $S$ 被称为校正子。

由于校正子 $S$ 的取值只有两种，因此只能代表有错和无错两种信息，不能指示错码位置。

注：关于最小汉明距离的描述请参考教材40页

- 分组码

## 汉明码结构

如果校验元增加一位，变成两位，则两个校正子的可能值有4种组合：00、01、10、11，故能表示4种不同的信息，其中1种表示无错，其余3种就有可能指示一位错码的3种不同位置。同理， $r$ 个校验元，可构成 $r$ 个校验关系式，可能指示一位错码的 $(2^r - 1)$ 个可能位置。一般来说，若码长为 $n$ ，信息元为 $k$ ，则校验元数 $r = n - k$ 。若希望用 $r$ 个校验元构造出 $r$ 个校验关系以指示一位错码的 $n$ 个可能位置，则要求

$$2^r - 1 \geq n \quad \text{或} \quad 2^r \geq k + r + 1$$

以  $(7,4)$  码为例说明汉明码的结构。这里 $k = 4$ ，为纠正一位错码，要求校验元数 $r \geq 3$ ，现在取 $r = 3$ ，则 $n = k + r = 7$ 。

## ● 分组码

### 汉明码构造

下面用 $c_6, c_5, \dots, c_0$ 表示这7个码元, 用 $S_1, S_2, S_3$ 表示3个校验关系式的3个校正子, 校正子与错码位置的对应关系如下表所示

$S_1$ $S_2$ $S_3$	错码位置	$S_1$ $S_2$ $S_3$	错码位置
0 0 1	$c_0$	1 0 1	$c_4$
0 1 0	$c_1$	1 1 0	$c_5$
1 0 0	$c_2$	1 1 1	$c_6$
0 1 1	$c_3$	0 0 0	无错

当错码位置为 $c_{x0}, c_{x1}, c_{x2}, c_{x3}$ 时,  
校正 $S_x$ 为1, 否则为0, 构成偶数校验关系式:

$$S_1 = c_6 + c_5 + c_4 + c_2$$

$$S_2 = c_6 + c_5 + c_3 + c_1$$

$$S_3 = c_6 + c_4 + c_3 + c_0$$

- 分组码

## 汉明码构造

在发送端编码时，信息元 $c_3, c_4, c_5, c_6$ 的值是由输入信号决定的，校验元的取值应根据信息元按校验关系式决定，即校验元应使以上3式中的 $s_1, s_2, s_3$ 为0（表示编码组中无错码），于是有

$$\begin{cases} c_6 + c_5 + c_4 + c_2 = 0 \\ c_6 + c_5 + c_3 + c_1 = 0 \\ c_6 + c_4 + c_3 + c_0 = 0 \end{cases}$$

由上式可解得校验元为

$$\begin{cases} c_2 = c_6 + c_5 + c_4 \\ c_1 = c_6 + c_5 + c_3 \\ c_0 = c_6 + c_4 + c_3 \end{cases}$$





● 分组码

汉明码构造

已知信息位后，就可直接由上式计算出校验元。计算得出16个码组，结果列于下表中

信息元				校验元			信息元				校验元		
$c_6$	$c_5$	$c_4$	$c_3$	$c_2$	$c_1$	$c_0$	$c_6$	$c_5$	$c_4$	$c_3$	$c_2$	$c_1$	$c_0$
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1
0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0
0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0
0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1
0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1
0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0
0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0
0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1

## ● 分组码

### 汉明码译码示例

接收端收到每个码组后，先计算 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 。

若接收码组为0000011，按照偶数校验关系式，计算得： $S_1 = 0$ 、 $S_2 = 1$ 、 $S_3 = 1$

再按校正子与错码位置对应关系表判断误码情况，可知在 $c_3$ 有一位错码；

由信息元和校验元的对应关系表可知，（7,4）汉明码能纠正1位错码或检测2位错码

$S_1$ $S_2$ $S_3$	错码位置	$S_1$ $S_2$ $S_3$	错码位置
0 0 1	$c_0$	1 0 1	$c_4$
0 1 0	$c_1$	1 1 0	$c_5$
1 0 0	$c_2$	1 1 1	$c_6$
0 1 1	$c_3$	0 0 0	无错

### 汉明码编码效率

汉明码的编码效率 $R = \frac{k}{n} = \frac{n-r}{n} = 1 - \frac{r}{n}$ 。当 $n$ 很大时，编码效率接近1，因此汉明码是编码效率较高的码，前提需满足如下方程：

$$2^r - 1 \geq n \quad \text{或} \quad 2^r \geq k + r + 1$$

- 本章主要内容：数字基带信号波形和信道编码的基本原理
- 本章学习目标
  - 熟悉常见基带信号的波形
  - 掌握分组信道编码的原理
- 参考习题
  - 第1、7、8和9题