



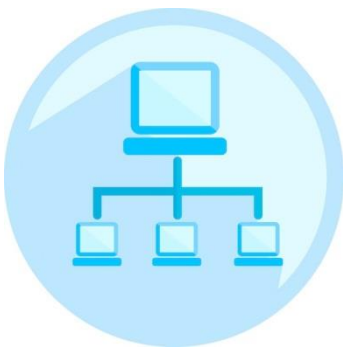
计算机网络



顾 军

计算机学院

jgu@cumt.edu.cn





专题2：信号如何在计算机网络中流动



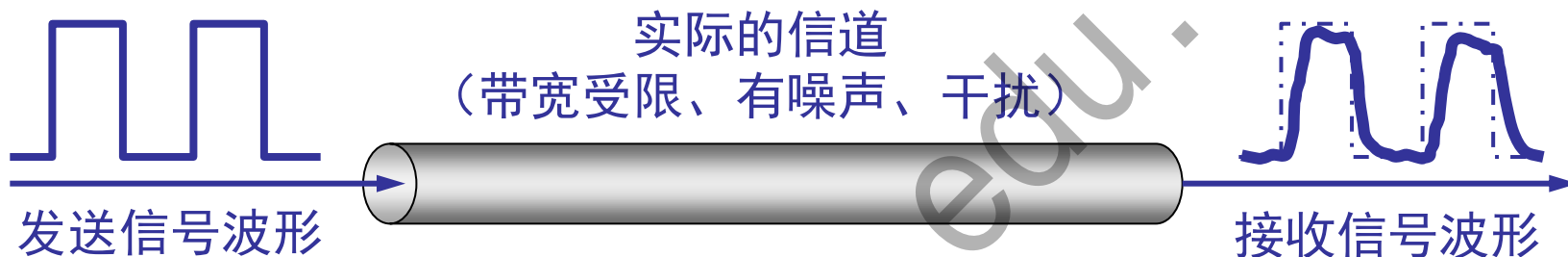
- 应用层(application layer)
- 运输层(transport layer)
- 网络层(network layer)
- 数据链路层(data link layer)
- 物理层(physical layer)



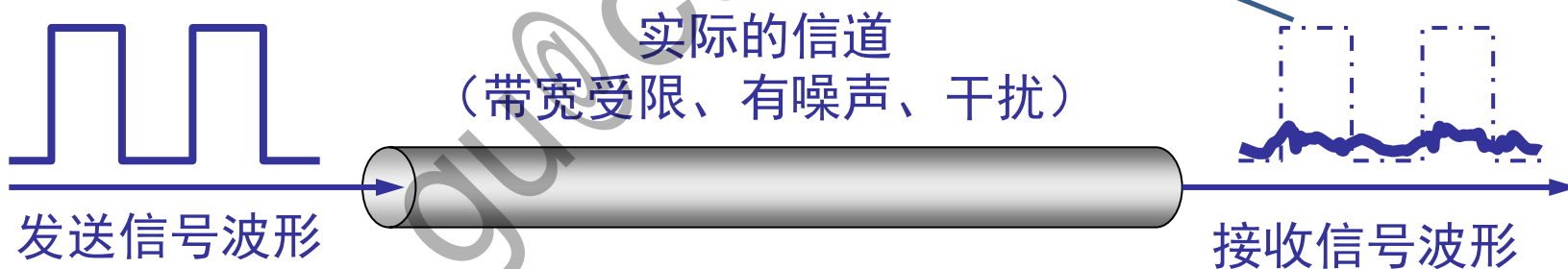


信道容量是信道能无错误传送信号的最大信息率

- 有失真，但可识别



- 失真大，无法识别

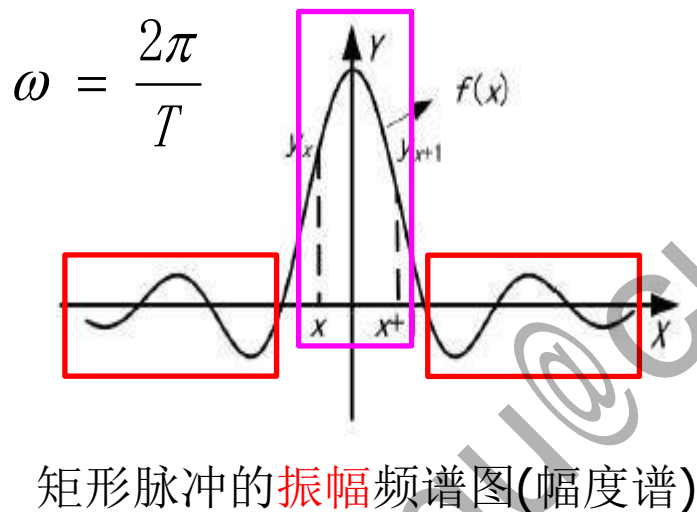
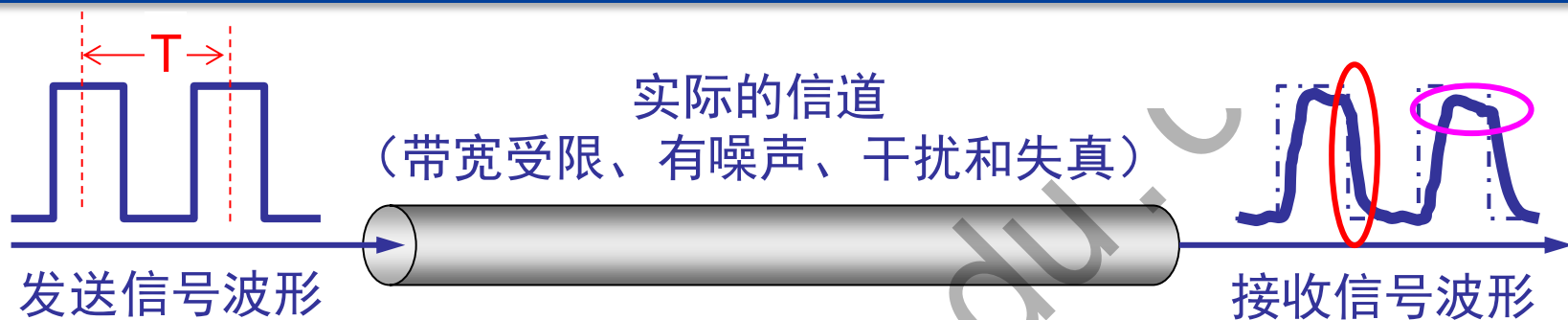


数字信号通过实际的信道的情形





信道带宽越高，可以支持的码元传输速率越高，对信道媒介的频带资源要求也越高



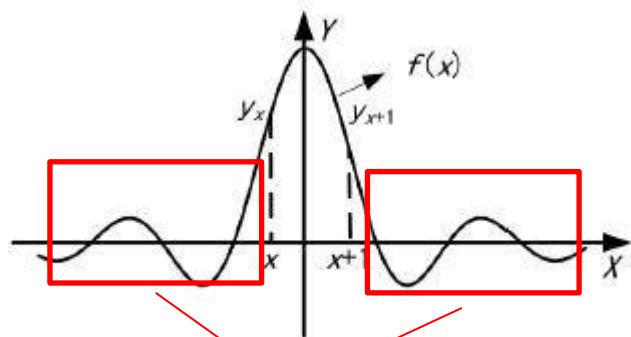
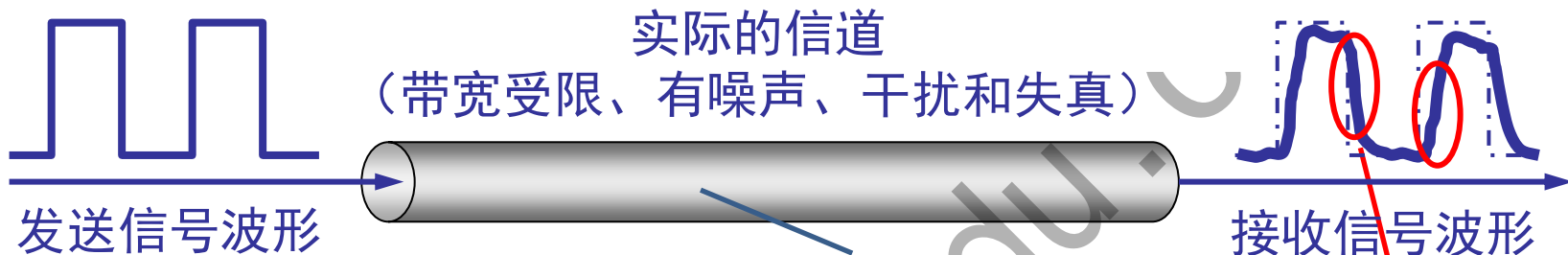
在高速信号传输中，信号的高频分量衰减要比低频分量的衰减大很多。

- ✓ **高频**分量主要影响脉冲的跳变沿，脉冲信号波形变化愈剧烈，说明所含的高频分量愈丰富；
- ✓ **低频**分量影响脉冲的顶部，变化愈缓慢，说明所含的低频分量愈丰富；
- ✓ 当信号中任一频谱分量的幅度值或相位值发生相对变化时，输出波形一般会**发生失真**。





高频分量的过分衰减会导致码间串扰



矩形脉冲信号包含很丰富的高频分量

一个特定的信号往往是由许多不同的频率成份组成，而具体的信道所能通过的频率范围(带宽)总是有限的。如果信道的带宽不够宽，那么信号中的许多高频分量往往不能通过信道。

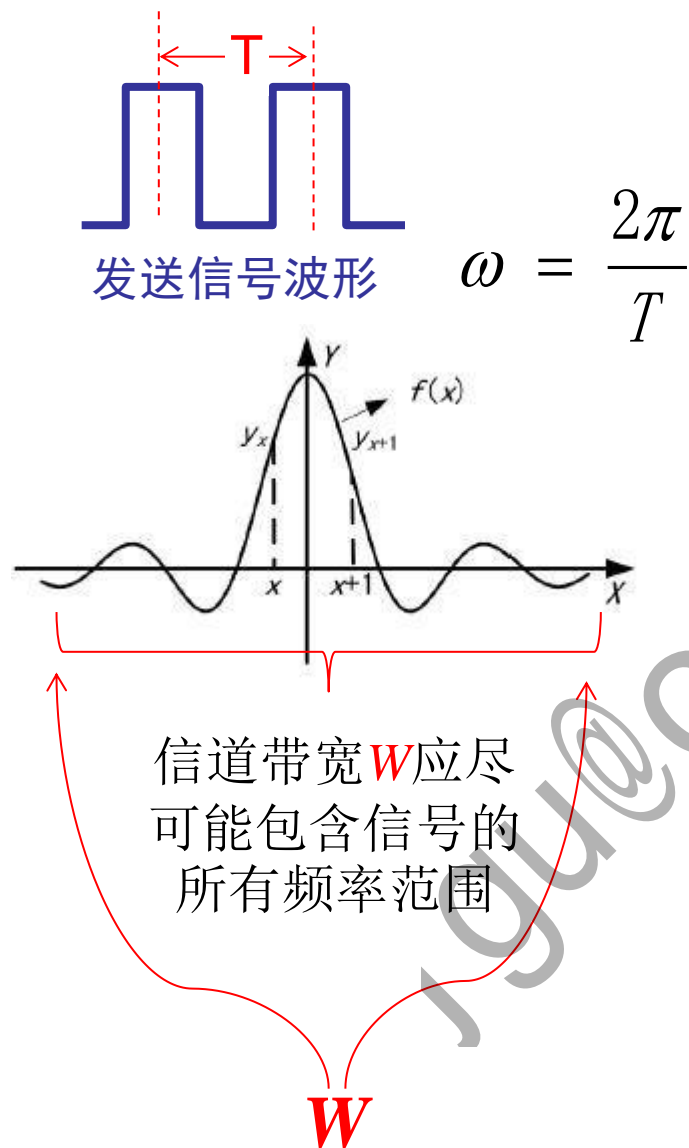
如果高频分量受到衰减，那么接收到的波形前沿和后沿就变得不那么陡峭了，每一个码元所占的时间界限也不再是很明确的，而是前后都拖了“尾巴”。

这种在接收端收到的信号波形失去了码元之间的清晰界限的现象叫做码间串扰。





码元速率和带宽的关系



- ◆ 如果码元速率 C 的越高，意味着脉冲波形的周期 T 变小，那么信号高频分量也就越多，信号的频率范围也就越大。
- ◆ 如果信道的频带 W 越宽，也就是能够通过的信号高频分量越多，那么就可以用更高的速率 C 传送码元而不出现码间串扰。
- ◆ 但是，任何信道的频带宽度 W 都是有限的，因此码元传输的速率 C 也是有上限的，否则就会出现码间串扰的问题，使接收端对码元的判决（即识别）成为不可能。





奈氏(Nyquist)准则

- 1924 年，奈奎斯特(Nyquist)推导出著名的奈氏准则，给出了在假定的理想条件下，为了避免码间串扰，码元的传输速率的上限值。

$$C = 2 * W * \log_2 N \text{ Baud/s}$$

- “理想条件”指无噪声的信道
- W是理想信道的带宽，单位为赫(Hz)
- Baud是波特，是码元传输速率的单位，1波特=1码元/秒





香农公式

- 1948年，香农(Shannon)用信息论的理论推导出了带宽受限且有高斯白噪声干扰的信道的无差错的、极限信息传输速率。
- 信道的极限信息传输速率 C

$$C = W \log_2(1 + S/N) \text{ bit/s}$$

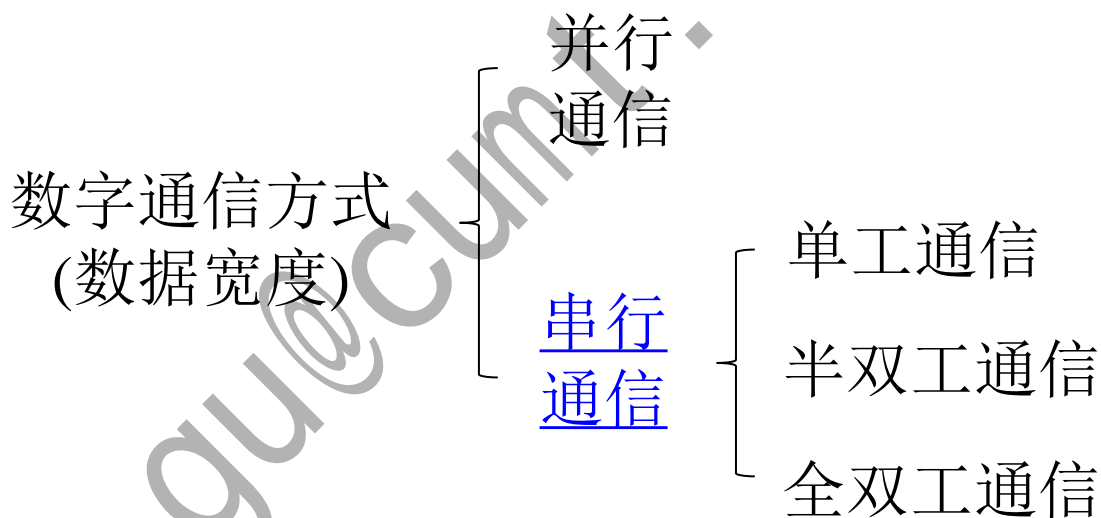
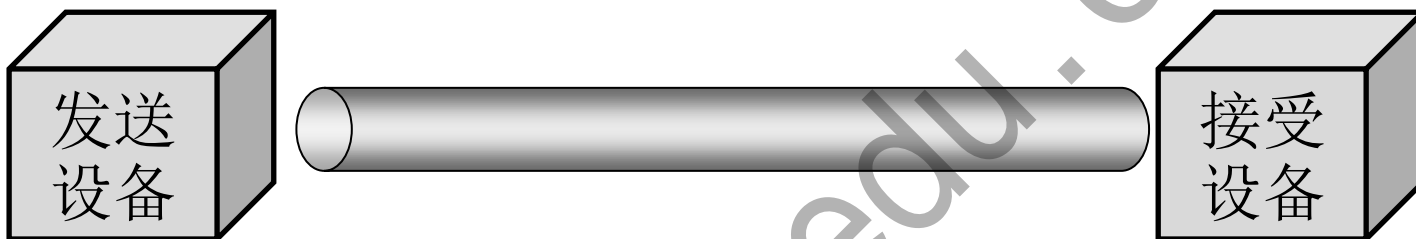
- W 为信道的带宽（以 Hz 为单位）；
- S 为信道内所传信号的平均功率；
- N 为信道内部的高斯噪声功率。

信道的带宽或信道中的信噪比越大，
则信息的极限传输速率就越高。



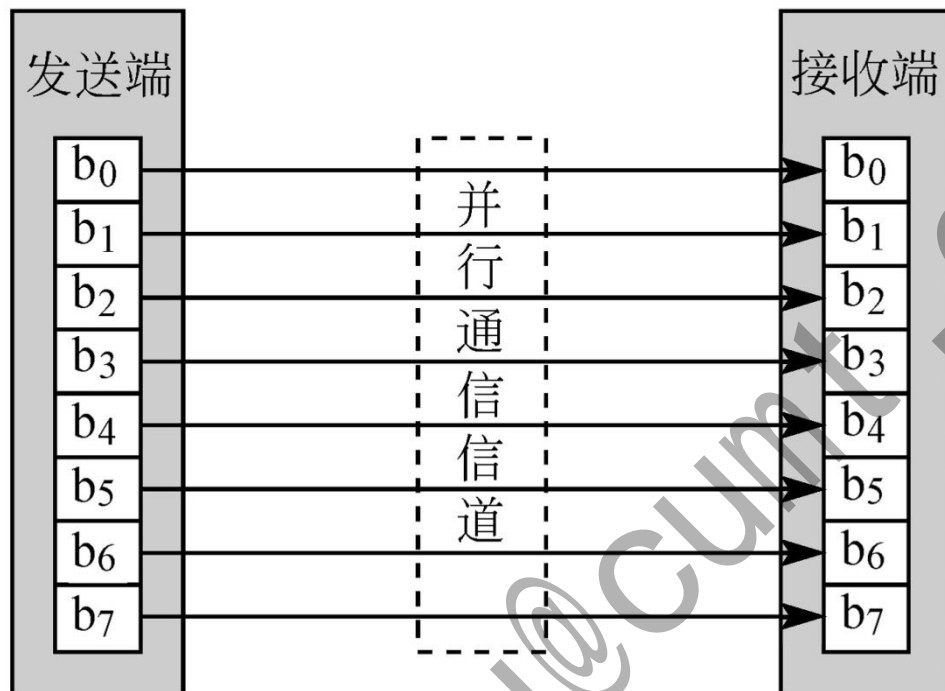


Q9: 数字通信方式有哪些?





并行通信

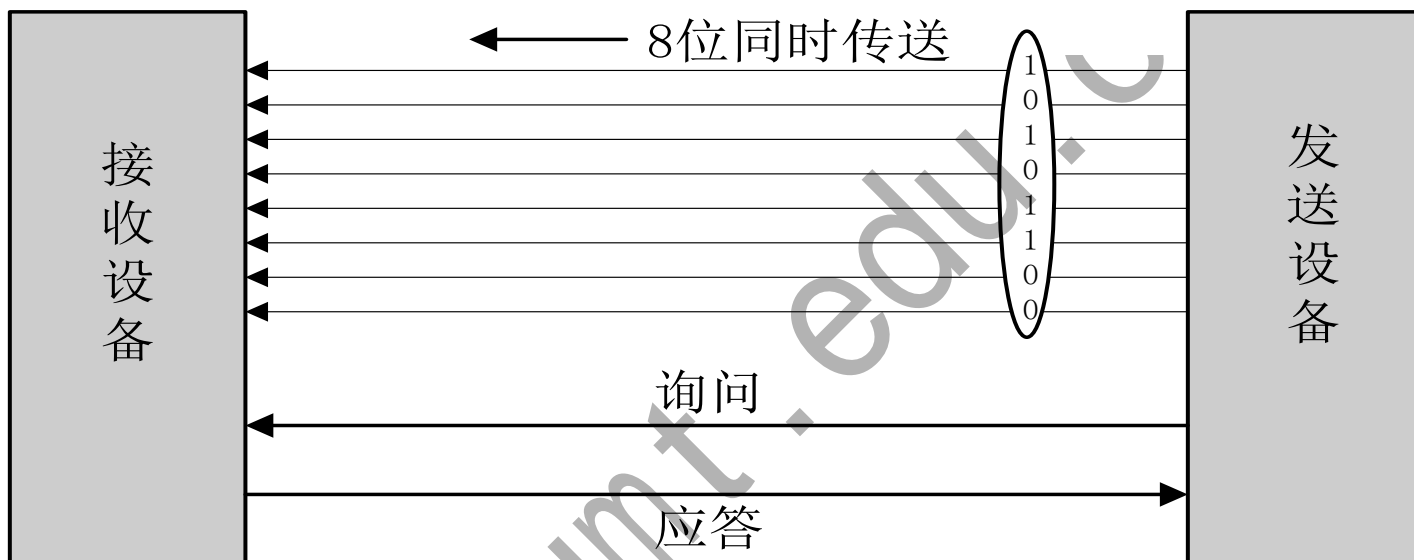


- 如果一组数据的各数据位在多条线上同时被传输，这种传输方式称为并行通信。
- 并行通信时数据的各个位同时传送，可以字或字节为单位并行进行。





并行通信

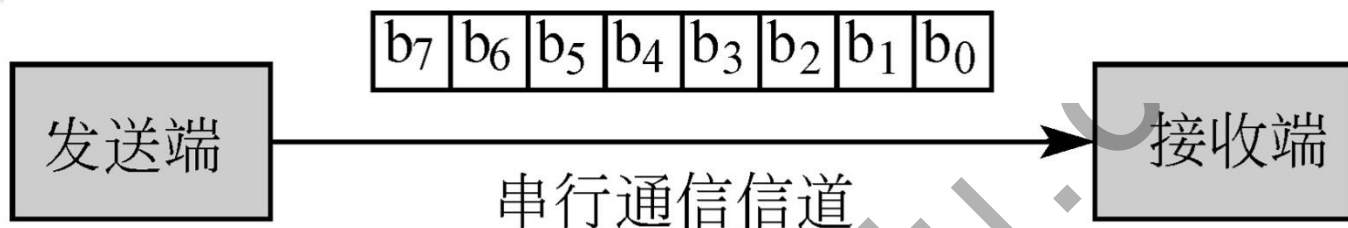


- 并行通信控制简单、传输速度快；由于传输线较多，长距离传送时成本高且接收方的各位同时接收存在困难。
- 计算机或PLC各种内部总线就是以并行方式传送数据的。

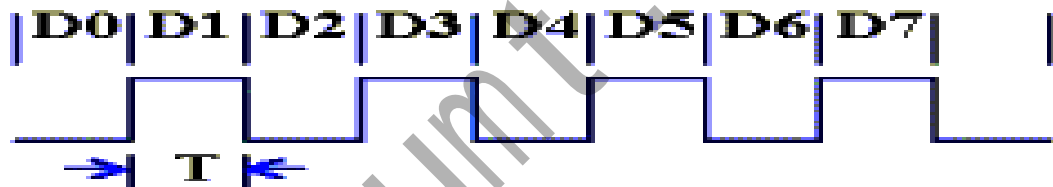




串行通信



- 串行通信是指使用一条数据线，将数据一位一位地依次传输，每一位数据占据一个固定的时间长度。



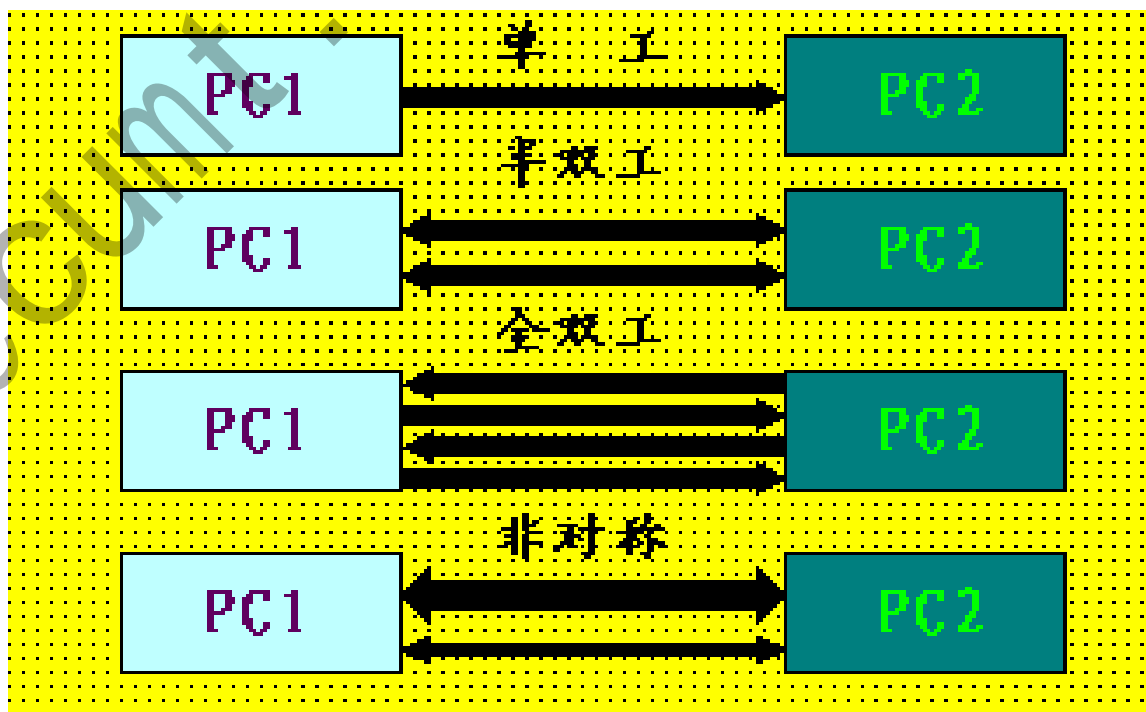
- 串行通信只需要少数几条线就可以在系统间交换信息，特别适用于计算机与计算机、计算机与外设之间的远距离通信。
- 串行通信的特点：传输线少，长距离传送时成本低，且可以利用电话网等现成的设备，但数据的传送控制比并行通信复杂。





串行通信的传输方向

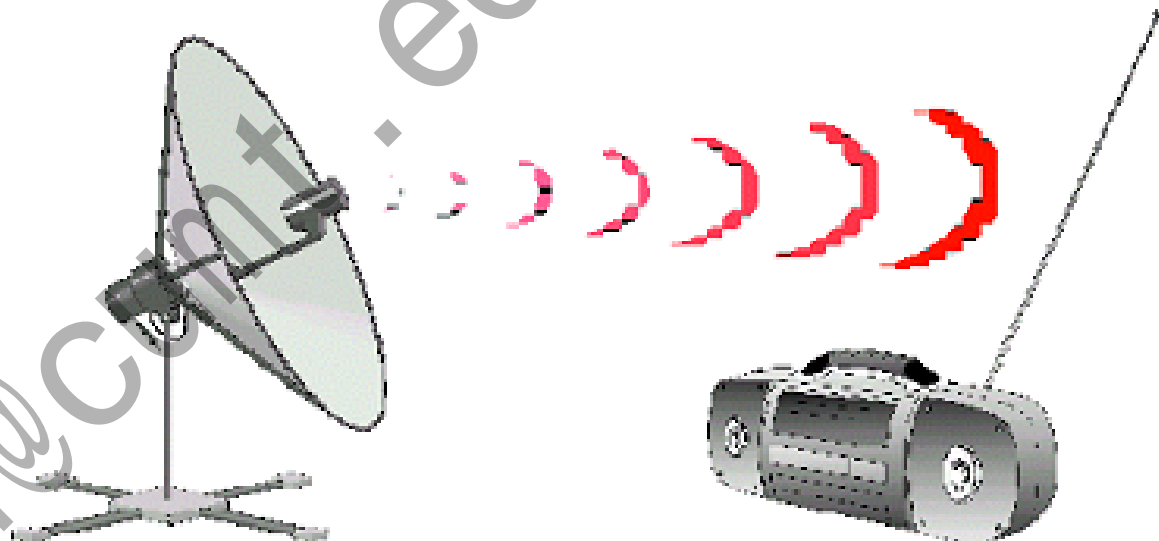
- 信道(channel): 一般用来表示向某一个方向传送信息的媒体。
 - 一条通信电路往往包含一条发送信道和一条接收信道。
- 根据通信双方的信息交互方式可以进一步分三种。
- 信息只能**单向传送**为单工;
- 信息能双向传送但不能同时双向传送称为半双工, 即**双向交替通信**;
- 信息能够同时双向传送则称为全双工, 即**双向同时通信**。





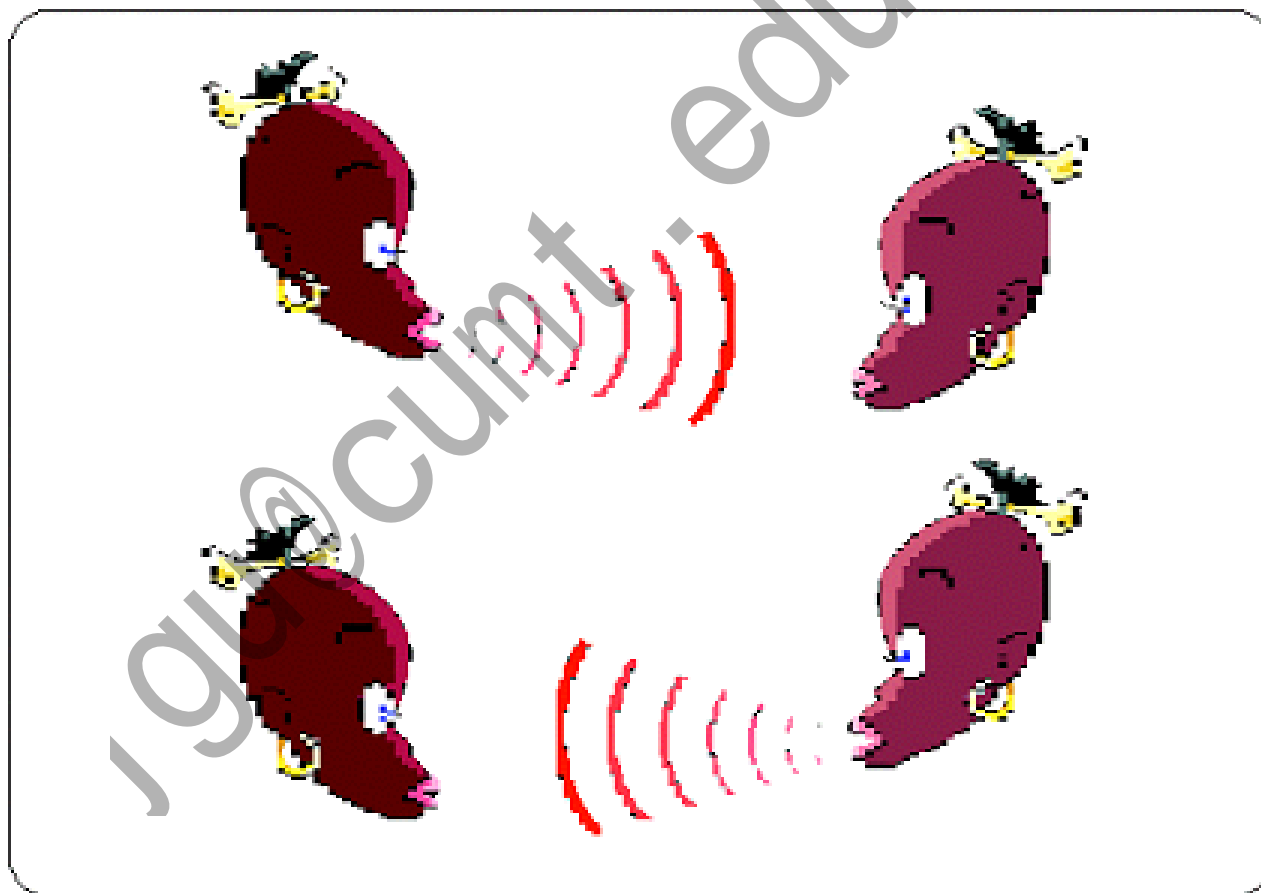
单工(Simplex)：数据单向传输

- Transmitter
- Receiver
- transceiver





半双工(Half Duplex)信号可以双向传输，但不能在一时刻双向传输

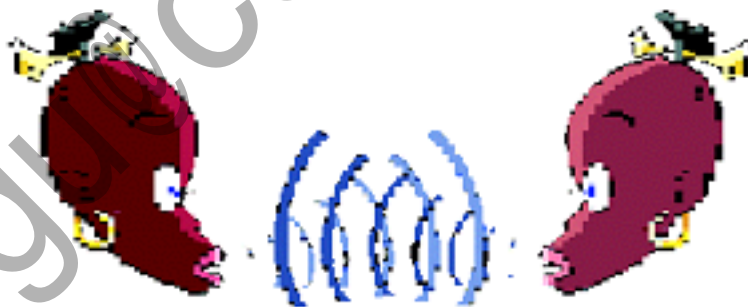




全双工(Full Duplex)信号可同时双向传输

两个方向的信号共享链路带宽：

- 1)链路具有两条物理上独立的传输线路
- 2)将带宽一分为二，分别用于不同方向的信号传输





Q10: 如何协调串行通信的收发?

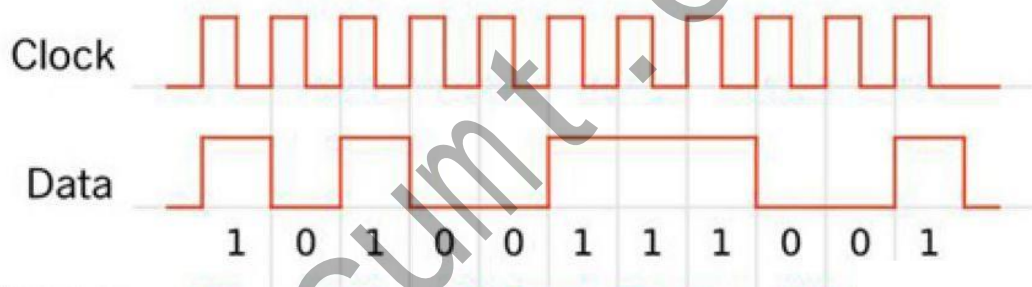
- 并行通信中属于同一数据的各数据位是同时发送和接受的，因此很容易识别该数据的所有比特位。
- 但是串行通信中，各数据位是一位一位依次传输的，如何识别属于某个数据的**数据位从哪开始、到哪结束**是保证正确通信的关键。
- 因此串行通信的双方在交换数据时需要有高度的协同动作，彼此间**传输数据的速率、每个比特的持续时间**和**间隔**都必须相同，使接收端与发送端在时间基准上一致（包括**开始时间、位边界、重复频率**等），这就是**同步**问题。





数据传输同步技术

- **同步**就是要接收方按照发送方发送的每个码元/比特起止时刻和速率来接收数据；否则，收发之间会产生误差，即使是很小的误差，随着时间增加的逐步累积，也会造成传输的数据出错。



◆ 常用的同步技术:

- 位同步

- 字符同步: 异步方式

- 帧同步: 同步方式

面向信号

面向数据

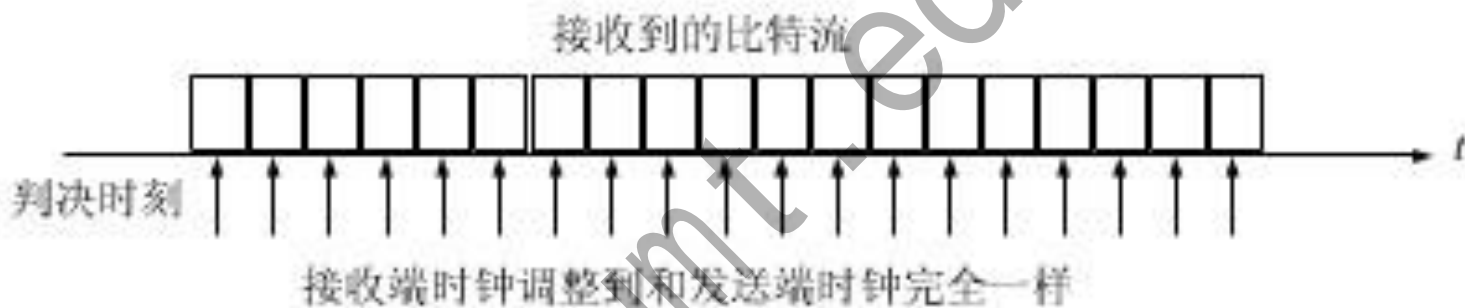
因为涉及到数据，已经突破了物理层信号处理的边界，跨入到数据链路层范畴，两者无法分开，所以才有了网络接口层的概念。





一、位同步

- 最基本的同步方式是“位同步”(bit synchronization)或比特同步，目的是使接收端接收的每一位信息都与发送端保持同步。



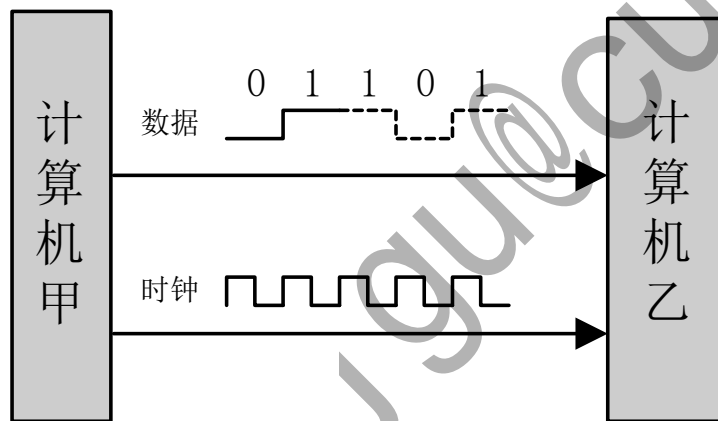
- 接收端时钟已经调整到和发送端时钟完全一样，因此接收端收到比特流后，就能够在每一位的中间位置进行判决，以便将发送端发送的每一个比特都正确地接收下来。
- 在正确的时刻（通常就是在每一位的中间位置）对收到的电平根据事先已约定好的规则进行判决。例如，电平若超过一定数值则为1，否则为0。



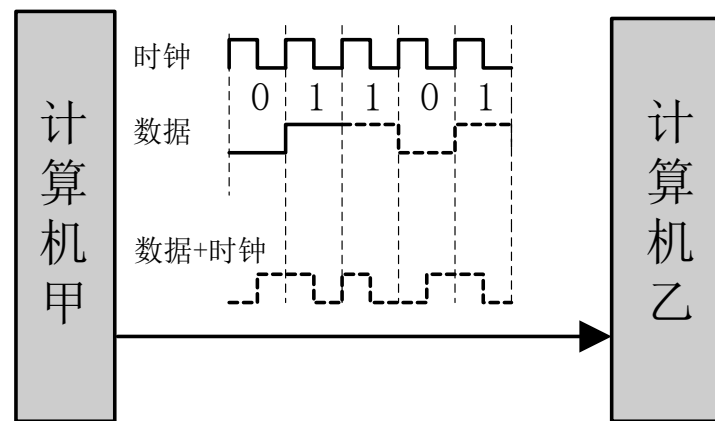


位同步的两种实现方法

- 发送方对接收方的位同步有两种实现方法:
 - 外同步方法：发送端发送数据之前**先发送同步时钟信号**，接收方用这一同步信号来锁定自己的时钟脉冲频率，以此来达到收发双方位同步的目的。
 - 内同步方法：接收方利用**包含有同步信号的特殊编码**（如曼彻斯特编码）从信号自身提取同步信号来锁定自己的时钟脉冲频率，达到同步目的。



外同步



自同步





仅仅有“位同步”是不够的

■ 字符同步：异步方式

- 以**字符**为边界实现字符的同步接收
- 通过具有时钟特征的数据位协调双方的收发关系
- 不需要额外的时钟信号进行控制。

■ 帧同步：同步方式

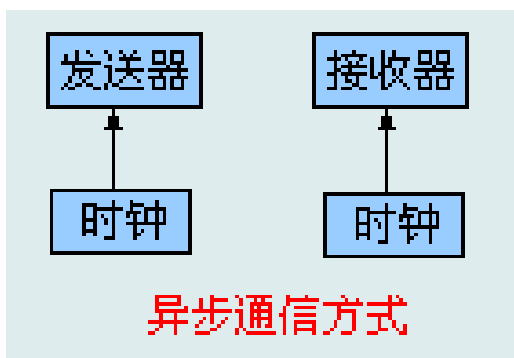
- 以**字符块**为单位（多个字符构成的一个**帧**）
- 通过严格的时钟规范通信双方的收发关系，需要额外的时钟信号进行控制。





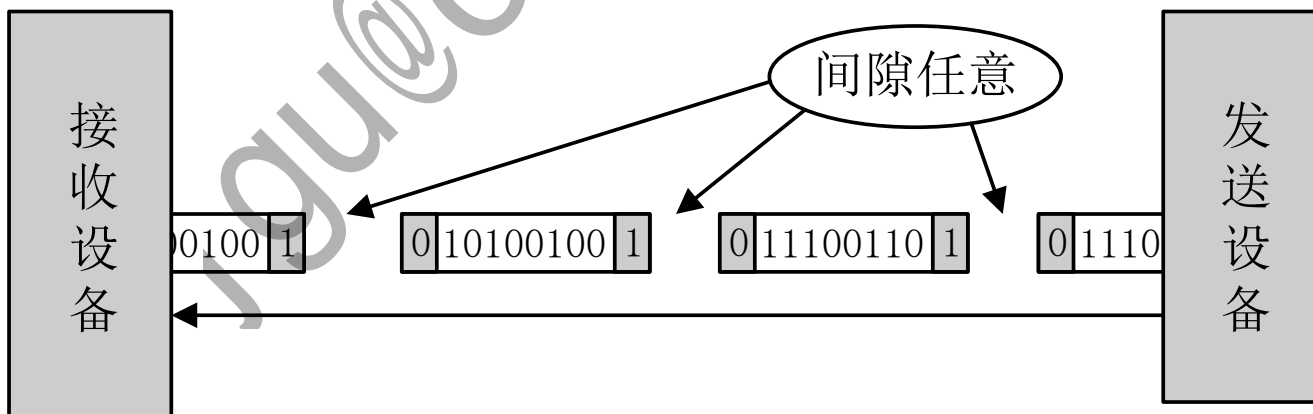
二、字符同步（异步方式）

- 异步通信是指通信的发送与接收设备使用各自的时钟控制数据的发送和接收过程。



- ✓ 两个时钟源彼此独立，互不同步。
- ✓ 但是，为使双方的收发协调，要求发送和接收设备的时钟尽可能一致。

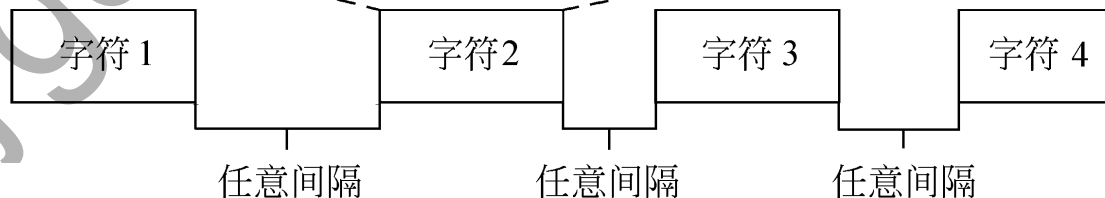
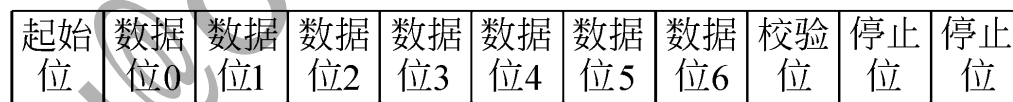
- 以字符为边界实现字符的同步接收。





异步通信方式

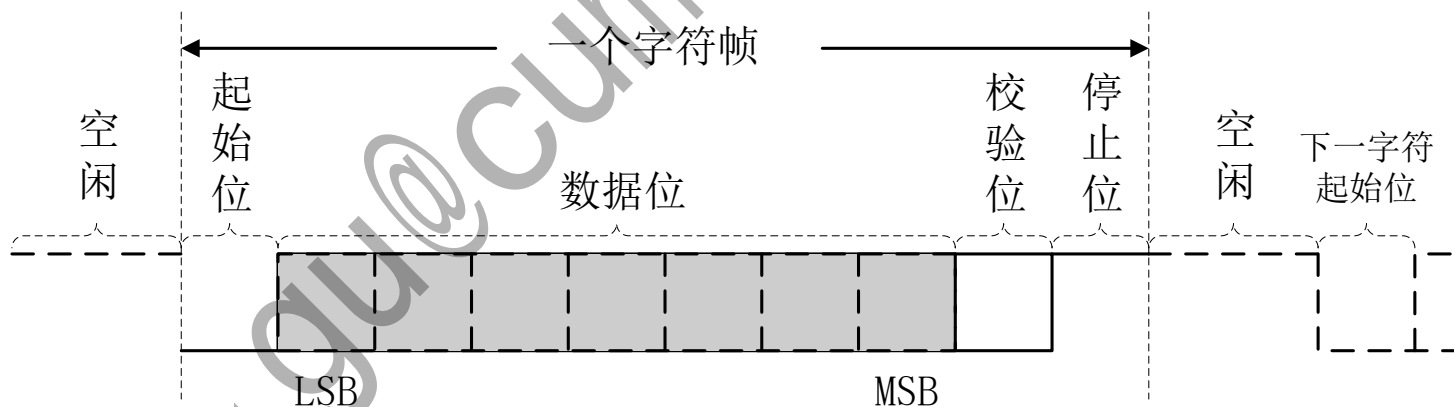
- 异步通信方式以字符（构成的帧）为单位进行传输，字符与字符之间的**间隙（时间间隔）是任意的**，但每个字符中的各位是以固定的时间传送的。
 - **字符之间是异步的**（字符任意时刻发送，字符之间不一定有“位间隔”的整数倍的关系），但同一字符内的**各位是同步的**（各位之间的距离均为“位间隔”的整数倍）。
- 字符异步通信有两个重要指标：**字符帧格式和波特率**。





异步字符帧的数据格式

- 异步通信规定字符由起始位(start bit)、数据位(data bit)、奇偶校验位(parity)和停止位(stop bit)组成。
 - **起始位**表示一个字符的开始，接收方可用起始位使自己的接收时钟与数据同步。
 - **停止位**则表示一个字符的结束。
 - **奇偶校验位**用于检验数据传送的正确性，也可以没有，可由程序来指定。

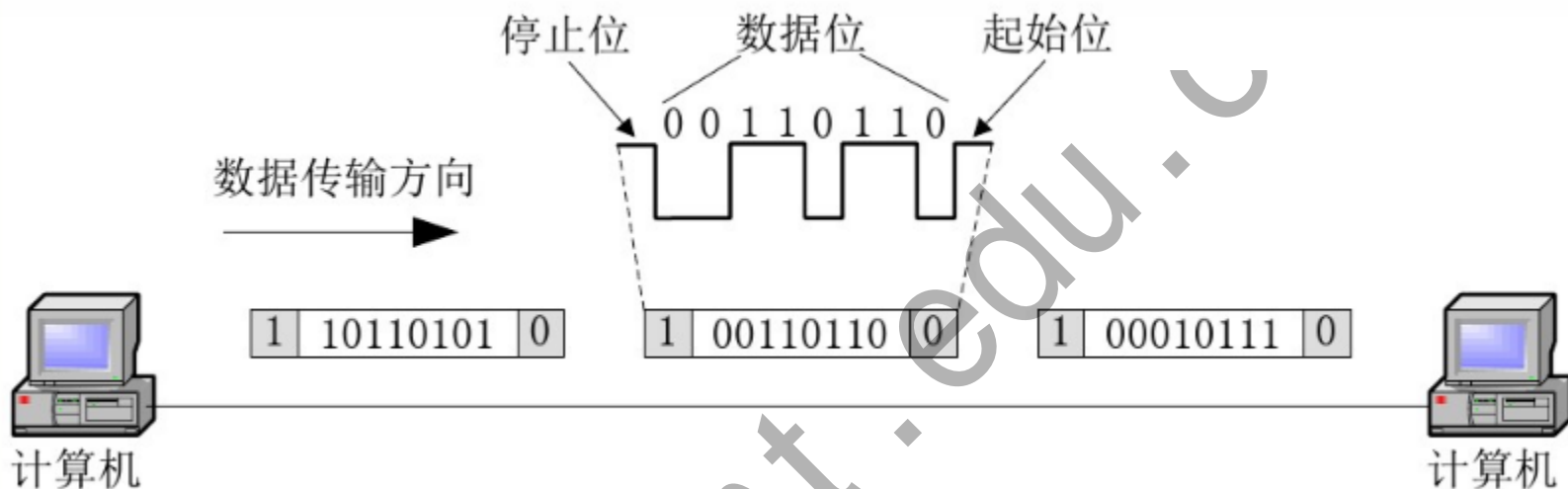


- 这种用起始位开始，停止位结束所构成的一串信息称为**帧(frame)**。这个“**帧**”只包含一个字符，也称**字符帧**。





异步字符帧的发送



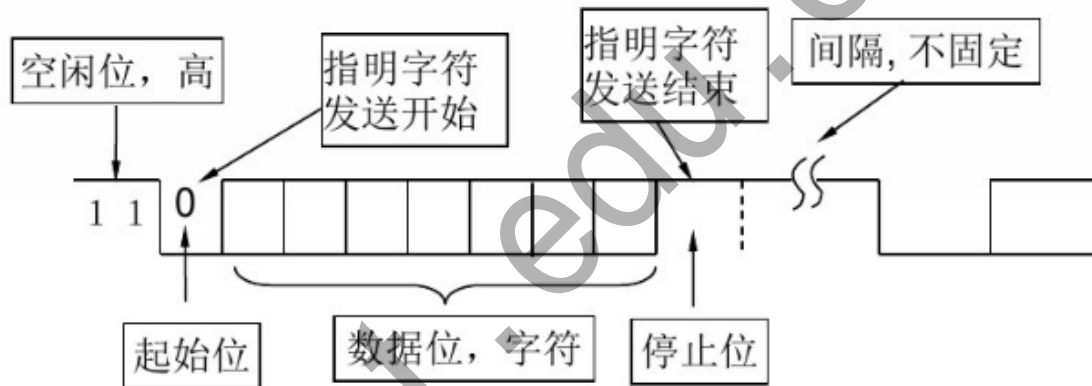
- 异步通信发送端可以在任意时刻开始发送字符帧。
- 在发送一个字符时，由一位低电平逻辑“0”（即字符帧起始位）开始；
- 接着传送数据位，数据位的位数为5~8，按低位在前、高位在后的顺序传送；
- 最后传送的是高电平的停止位，停止位可以是1位、1.5位或2位。





异步字符帧的接收

- 接收端必须时刻做好接收的准备，通过传输线逐帧接收。

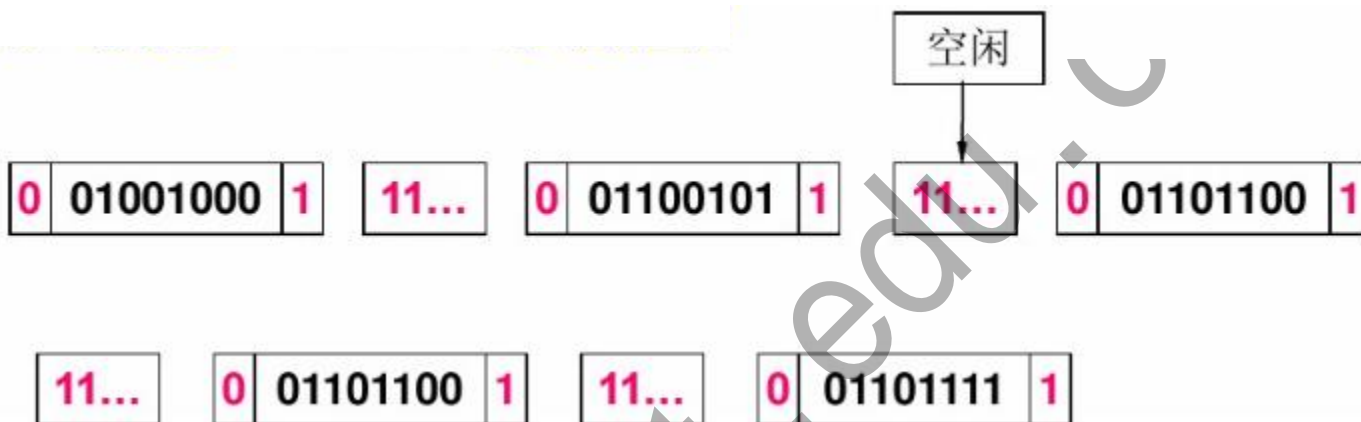


- 接收端检测到传输线上发送过来的**低电平逻辑"0"**(即字符帧起始位)时，确定发送端已开始发送数据，每当接收端收到字符帧中的**停止位**时，就知道一帧字符已经发送完毕。
- 停止位结束到下一个字符的起始位之间的空闲位要由**高电平来填充**(只要不发送下一个字符，线路上就始终为空闲位)。





发送“Hello”示例



- H的ASCII值为 $(72)_{10}=(01001000)_2$
- e的ASCII值为 $(101)_{10}=(01100101)_2$
- l的ASCII值为 $(108)_{10}=(01101100)_2$
- o的ASCII值为 $(111)_{10}=(01101111)_2$
- 每个字符的发送是独立的，字符间的空闲是不固定的。





字符异步通信方式的优缺点

■ 优点:

- 每接收一个字符，接收方都要重新与发送方同步一次，所以接收端的同步时钟信号并不需要严格地与发送方同步，只要它们在一个字符的传输时间范围内能保持同步即可，这意味着时钟信号漂移的要求要比同步信号低得多，硬件成本也要低的多。
- 异步通讯方式简单可靠，也容易实现，故广泛地应用于各种通讯场合中。

■ 缺点:

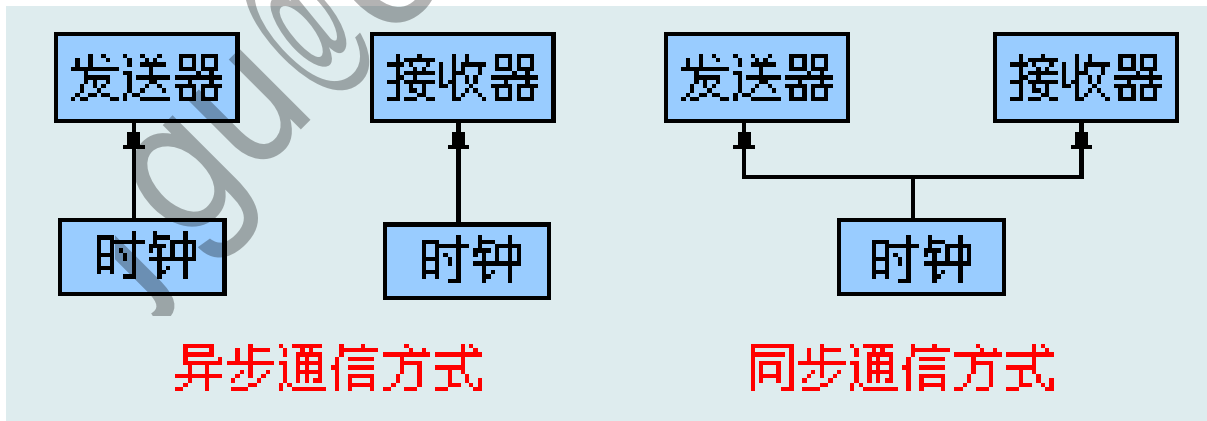
- 异步传送一个字符，要增加大约20%的附加信息位，所以传送效率比较低。
- 适合于低速通信。





三、帧同步（同步方式）

- 所谓同步方式是指收发双方在时间基准上保持一致，包括开始时间、位边界、重复频率等都保持一致，这就保证了通信双方在发送和接收数据时具有完全一致的定时关系。
- 同步通信方式是一种连续串行传送数据的通信方式，一次通信只传送一帧信息，称为同步帧。
 - 这里的同步帧与异步通信中的字符帧不同，通常含有若干个数据字符。





帧同步

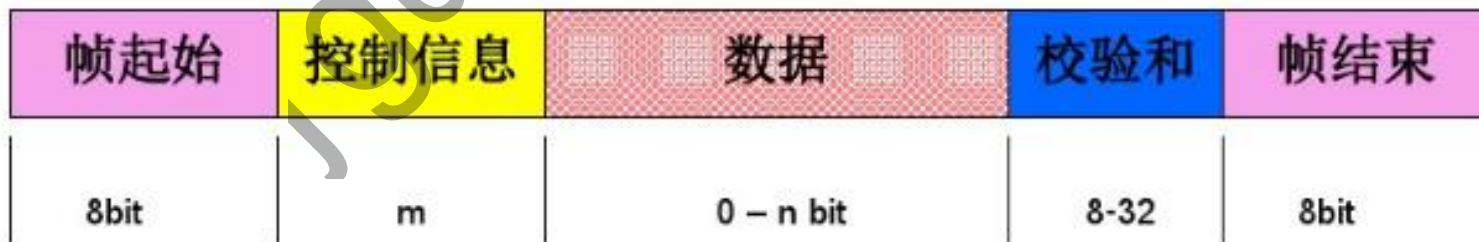
- 若某一个帧有差错，以后就重传这个出错的帧，因此一个帧应当有明确的界限，也就是说，要有帧定界符。
 - 接收端在收到比特流后，必须能够正确地找出帧定界符，以便知道哪些比特构成一个帧。
- 接收端找到了帧定界符并确定帧的准确位置，就是完成了“帧同步”(frame synchronization)。
- 同步通信方式下，传输数据的位之间的距离均为“位间隔”的整数倍，同时传送的字符间不留间隙，既保持位同步关系，也保持字符同步关系。






同步帧格式

- 同步帧由同步字符、数据字符和校验字符组成。
 - 同步字符位于帧开头，用于确认数据字符的开始，使发收双方能够根据同频同相的同步时钟信号，建立同步关系，此后便在同步时钟的控制下逐位发送/接收；
 - 数据字符在同步字符之后，个数没有限制，由所需传输的数据块长度来决定。
 - 校验字符（CRC）有1到2个，用于接收端对接收到的字符序列进行正确性的校验。





- 





帧同步方式的优点

- 以时钟对传输进行同步
 - ◆ 接收端的时钟同步不是为了获得和发端完全相同的绝对时间，而是为了获得和接收到的数据对齐的时钟信息，以便能够从接收到的数据波形中正确恢复出数据。
- 以数据块（帧或分组）为单位传输
 - ◆ 在每组信息(通常称为信息帧)的开始要加上同步字符，在没有信息要传输时，要填上空字符，因为同步传输不允许有间隙。
- 收发方以字符块作为单位传送，附加位又少，提高了数据传输速率，适用于**高速数据传输**。





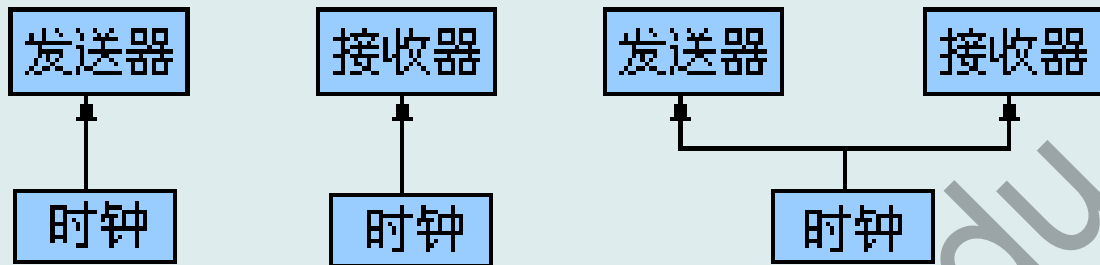
帧同步方式的缺点

- ▣ 要求发送时钟和接收时钟**保持严格的同步**。
 - ◆ 发送方除了发送数据，还要传输同步时钟信号，信息传输的双方用同一个时钟信号确定传输过程中每1位的位置。
 - ◆ 发送端必须将与数据速率相关的时钟信号传输给接收端，**时钟信号可以走单独的信号线，也可以用一定的方式隐含在数据信号中**。接收端对此时钟信号进行同步，从而能够“不多也不少”地从接收的数据波形中恢复数据。
 - ◆ 另外传输过程中，数据信号多少会发生一定的畸变，时钟同步的另外一个作用是保证接收端在波形畸变最少的时刻恢复数据，减少出错概率。



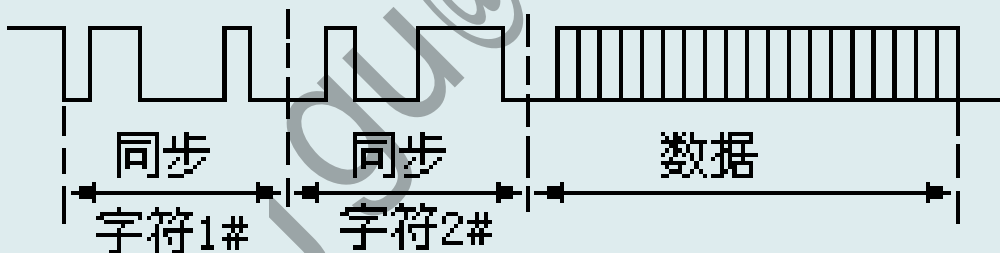
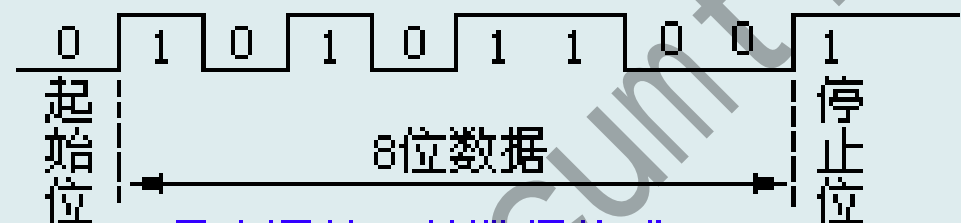


字符帧异步通信与帧同步通信的比较



异步通信方式

同步通信方式



同步通信数据格式

异步：独立时钟，位同步，字符不同步，以字符帧为单位传输

同步：“统一”时钟，位同步，字符同步，以数据块帧为单位传输





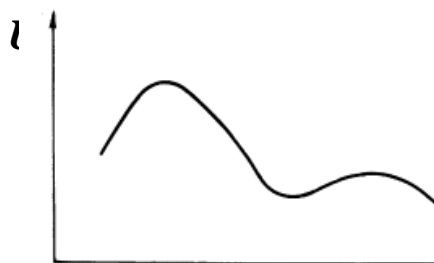
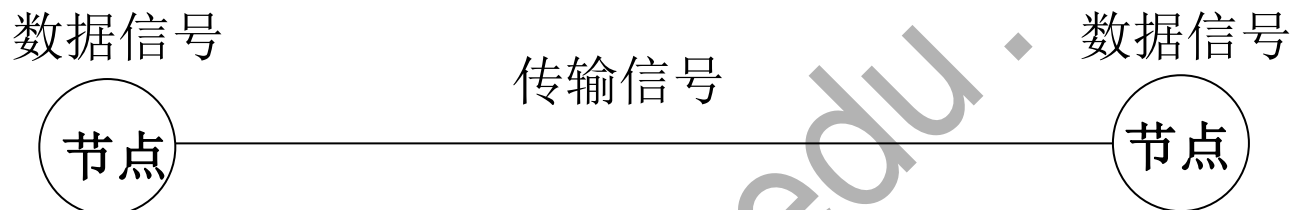
同步通信与异步通信的比较

同步通信	异步通信
要求接收端时钟频率和发送端时钟频率一致，发送端发送连续的比特流	不要求接收端时钟和发送端时钟同步，发送端发送完一个字节后，可经过任意长的时间间隔再发送下一个字节
效率高	效率较低
同步通信较复杂，双方时钟的允许误差较小	异步通信简单，双方时钟可允许一定误差
可用于点对多点	只适用于点对点

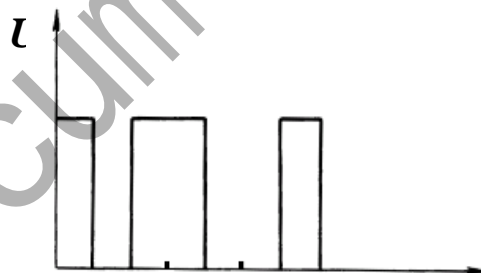




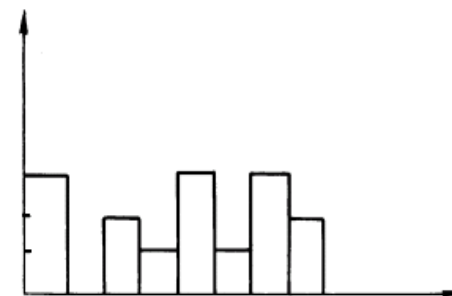
Q11: 数据的信号编码与调制?



(a) 模拟信号



(b) 数字信号1

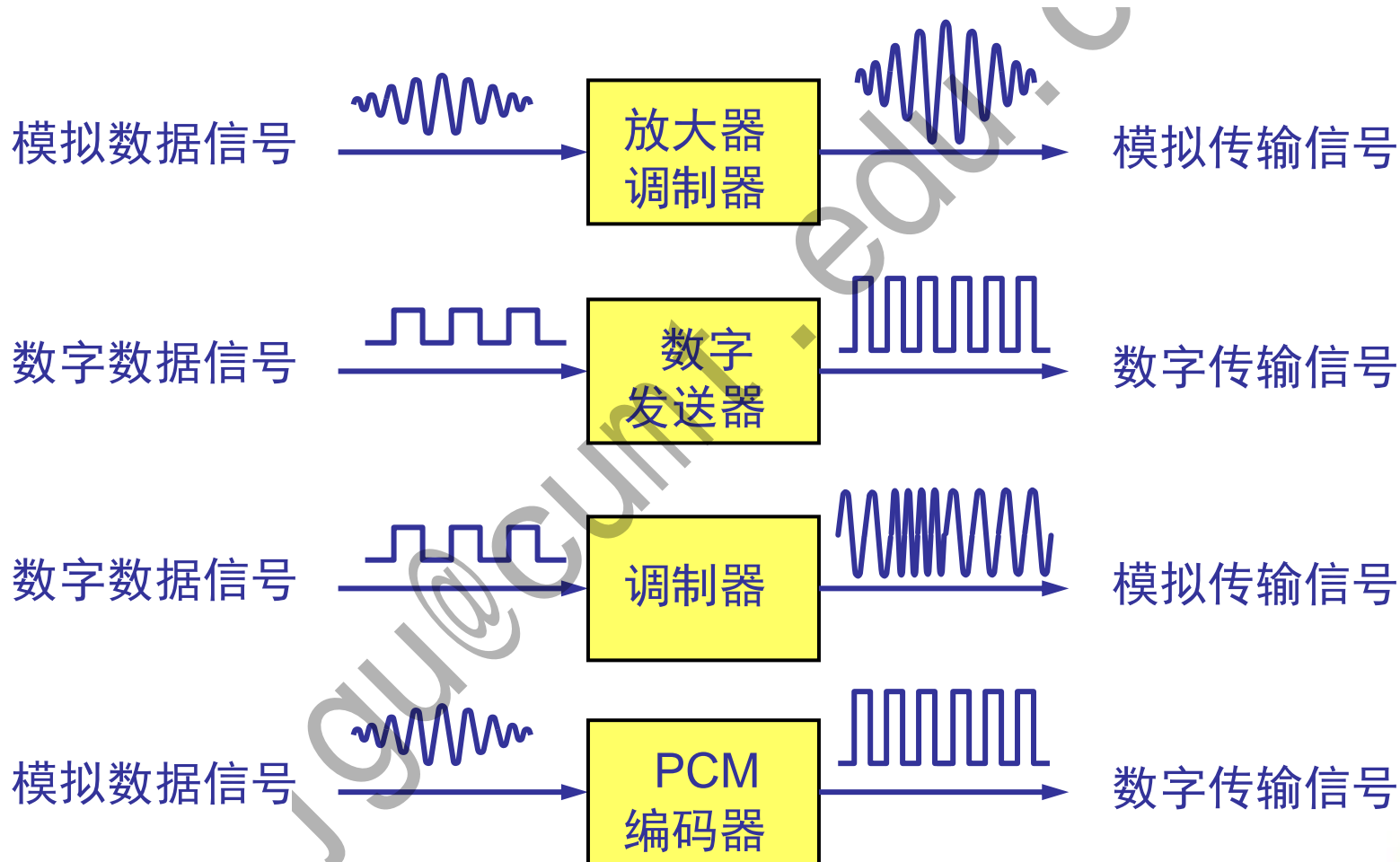


(c) 数字信号2





数据信号→传输信号





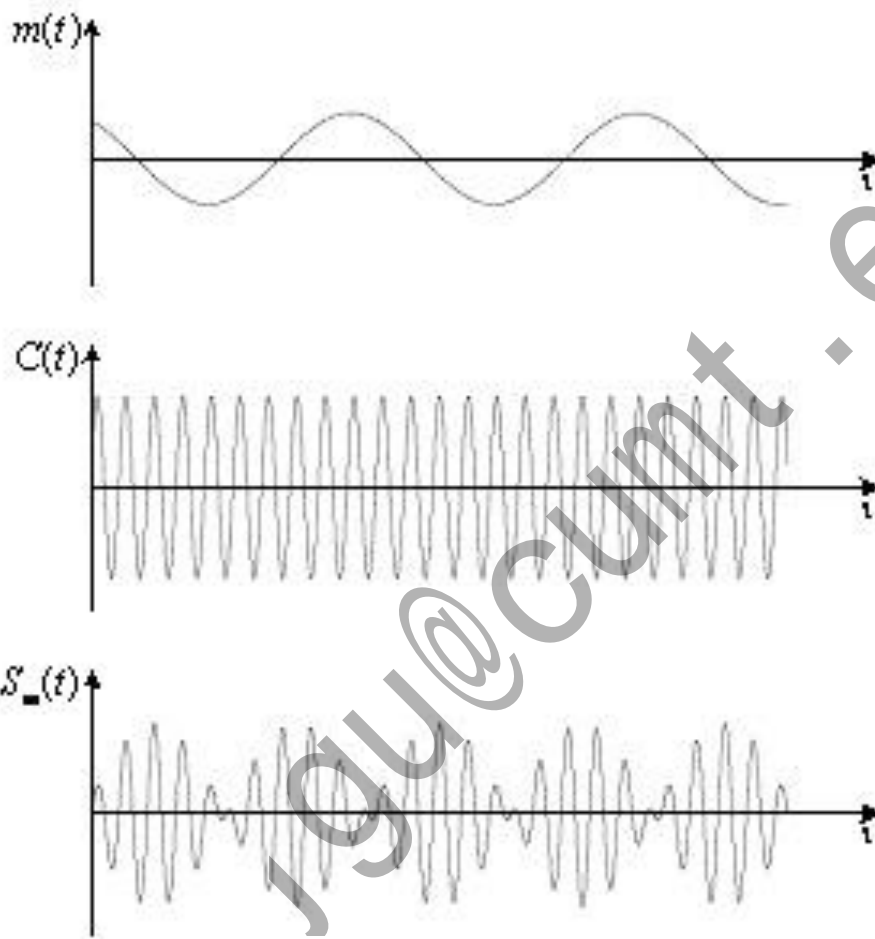
模拟-模拟调制

- 模拟-模拟调制(modulation)的目的是将模拟信号调制到高频载波信号上，以便远距离传输。
- 最基本的调制方法有以下几种：
 - 调幅(AM)：载波信号的振幅随调制信号振幅而变化，载波的频率和相位保持不变。
 - 调频(FM)：载波信号的频率随调制信号电压(振幅)的改变而改变，载波信号的最大振幅和相位都保持不变。
 - 调相(PM)：载波信号的相位随信号的电压变化而调整，载波的最大振幅和频率保持不变，而当数据信号的振幅变化时，载波的相位会相应发生改变。





幅度调制过程中的时域波形

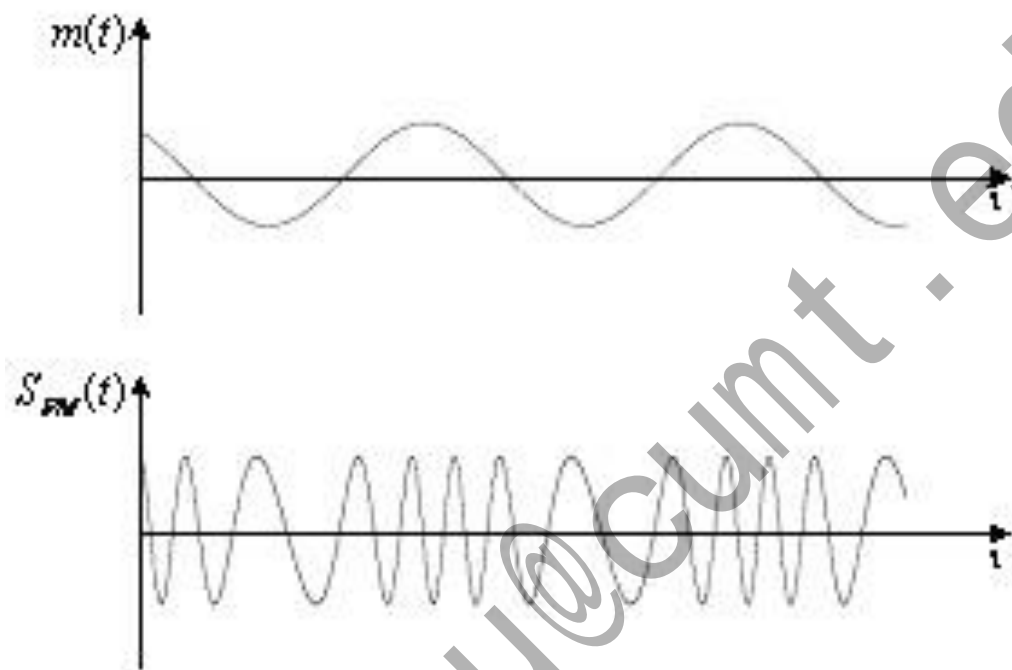


- ◆ 幅度调制是正弦载波信号的幅度随调制信号做线性变化的过程。





调频信号时的时域波形

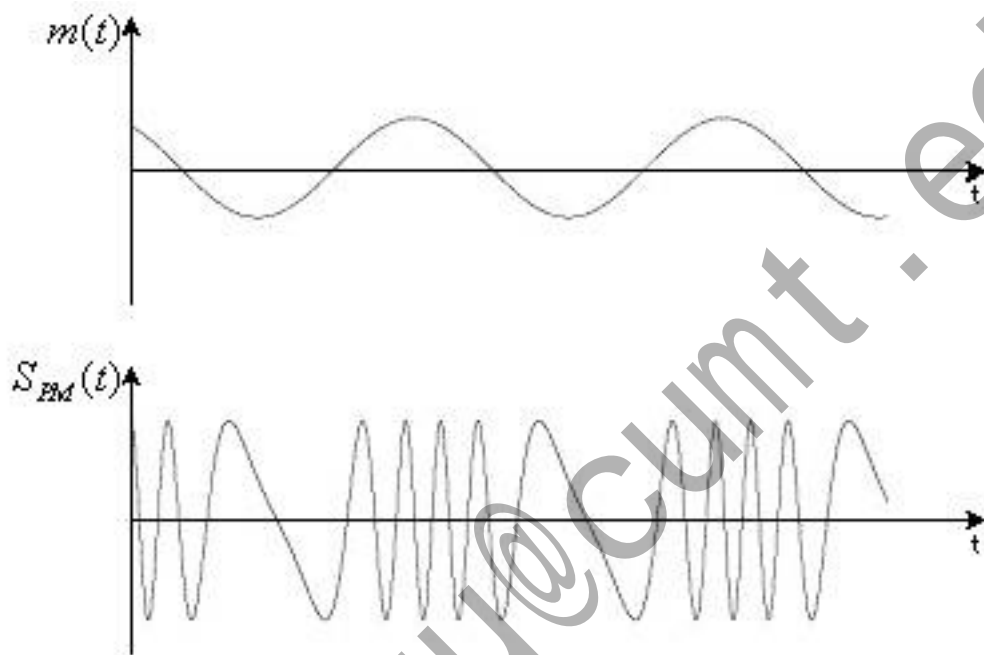


频率调制是已调信号的瞬时角频率受基带信号的控制而改变的调制过程，调频信号的瞬时频率与基带信号呈线性关系。





调相信号时的时域波形



相位调制是已调信号的瞬时相位受基带信号的控制而改变的调制过程，调相信号的幅度和角频率相对于载波保持不变，而瞬时相位偏移是基带信号的线性函数。





数字-数字编码

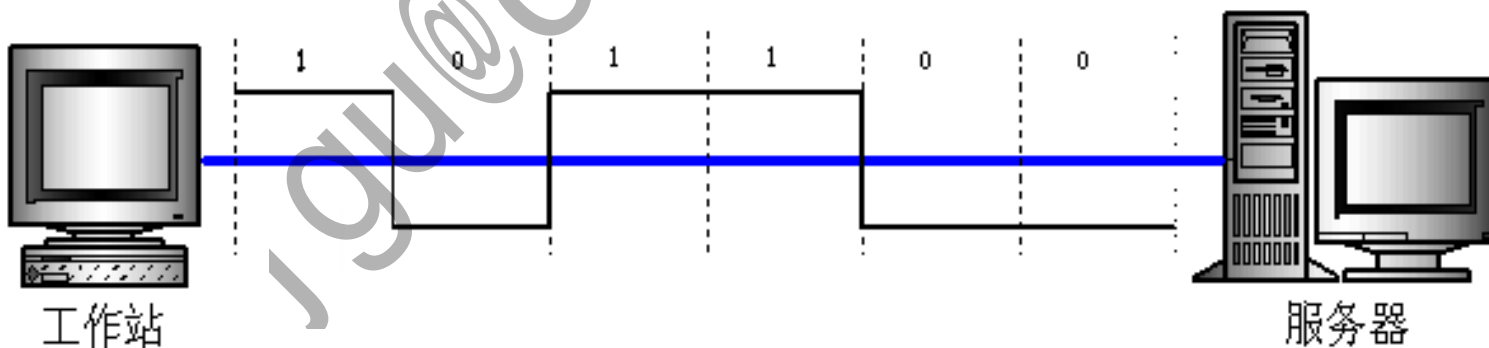
- 数字-数字编码或转换就是用数字信号表示数字数据。例如，将数据从计算机传输到打印机，一般是采用数字-数字编码方式。
- 这种编码方式下，由计算机产生的二进制0和1数字信号被转换成一串可以在导线上传输的电压脉冲。





基带信号和基带传输

- **基带信号**（base band，即基本频带信号）——来自信源的信号。像计算机输出的代表各种文字或图像文件的数据信号都属于基带信号。
- **基带传输**：不调制，编码后的数字脉冲信号直接在信道上传送，传输距离比较短。
 - 例如：近距离的局域网





数字-数字编码

二进制
数据

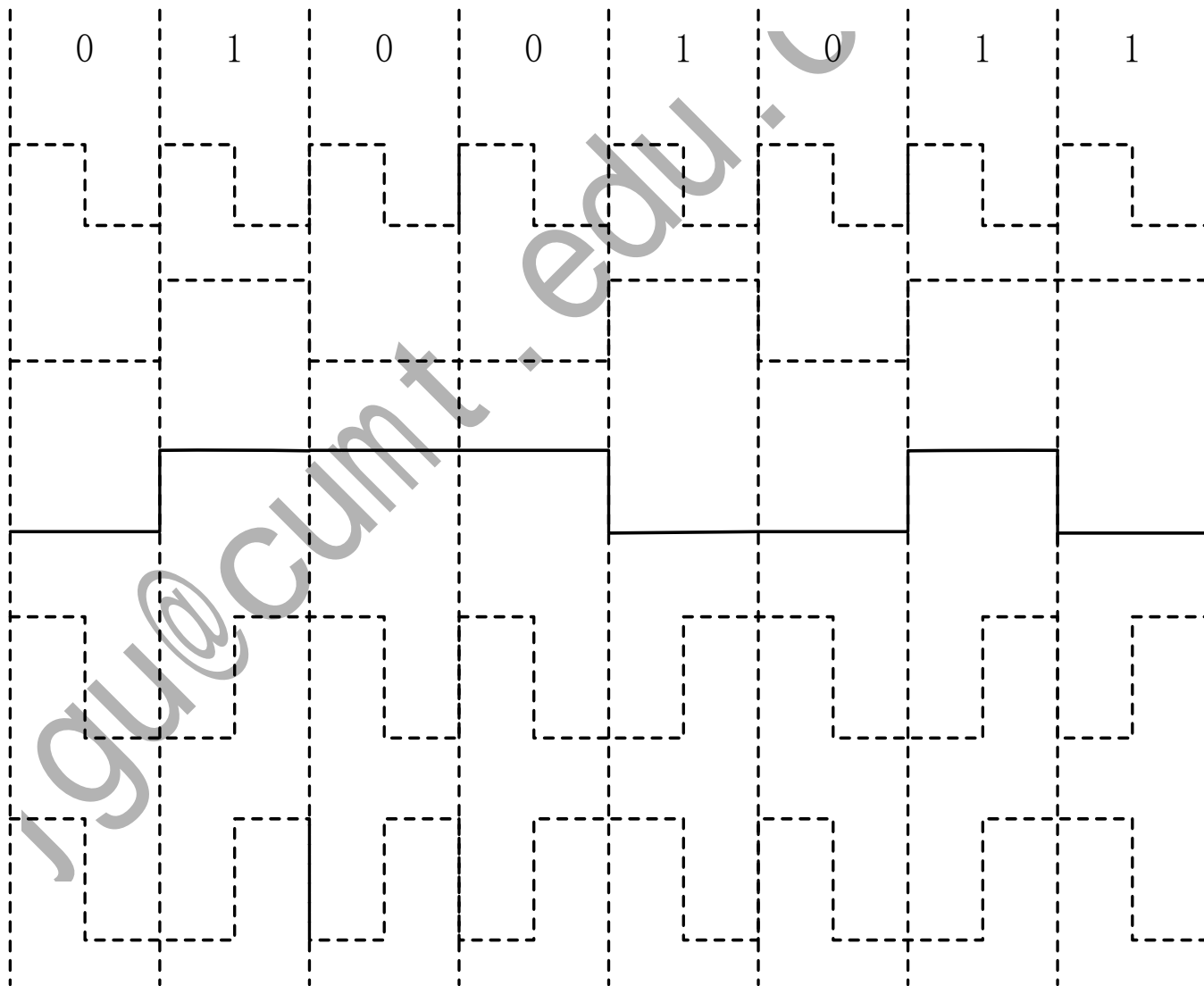
同步时钟

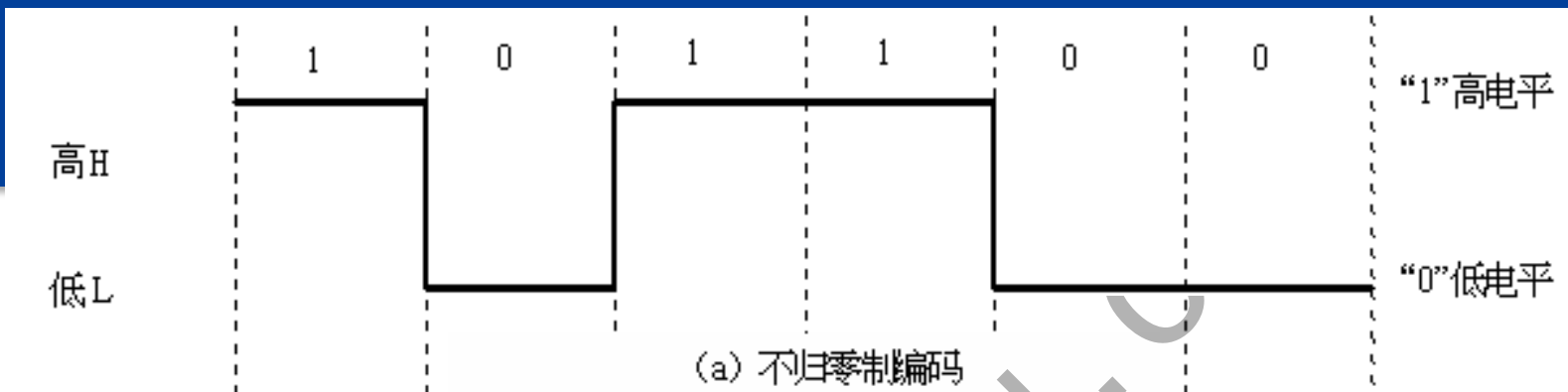
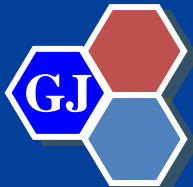
(a) 不归零制码

(b) 逢“1”变化的
非归零码

(b) 曼彻斯特编码

(c) 差分曼彻斯特编码

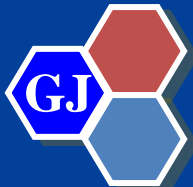




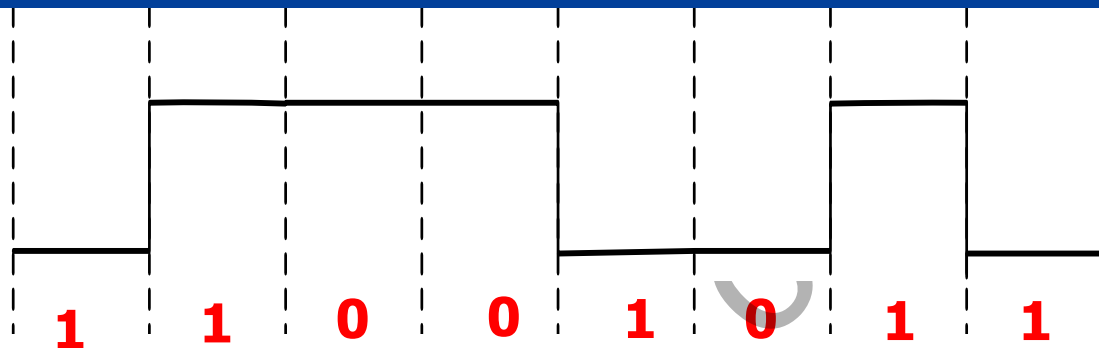
(1) 不归零制(NRZ, Non-Return to Zero Code)

- 用高电平（正电压）表示 1，用低电平（负电压）表示 0。
- 优缺点：
 - ✓ 难以判断一位的结束和另一位开始。
 - ✓ 连续传送0或者1，那么在单位时间内将产生累积的支流分量，能使设备连接点产生电腐蚀或者损坏。
 - ✓ 不适合电接口传输，但是光接口STM-NO、1000Base-SX、1000Base-LX采用此码型。





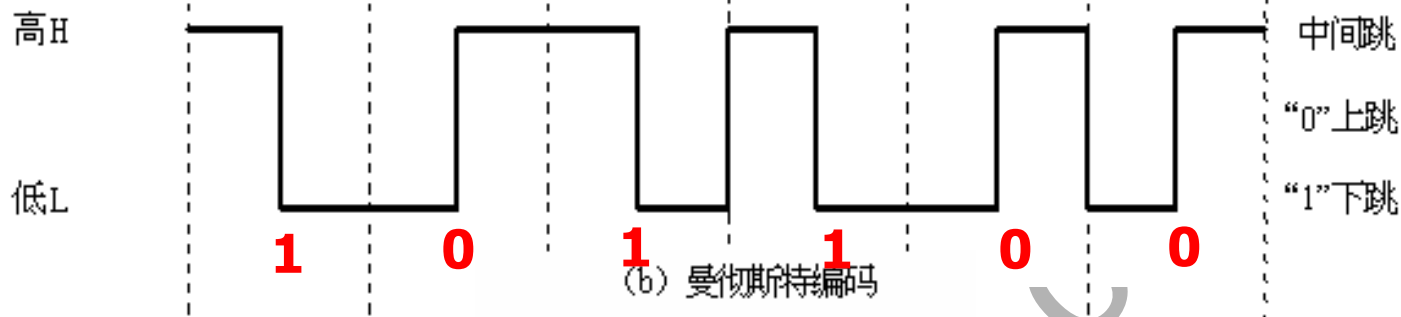
(b) 逢“1”变化的
非归零码



(2) 逢“1”变化的NRZ码 (DNRZ)

- DNRZ码是一种NRZ码的改进形式，它是用信号的相位变化来表示二进制数据的，即在每位开始时，逢“1”电平跳变，逢“0”电平不跳变。
- DNRZ码不仅保持了全宽码的优点，同时提高了信号的抗干扰性和易同步性。

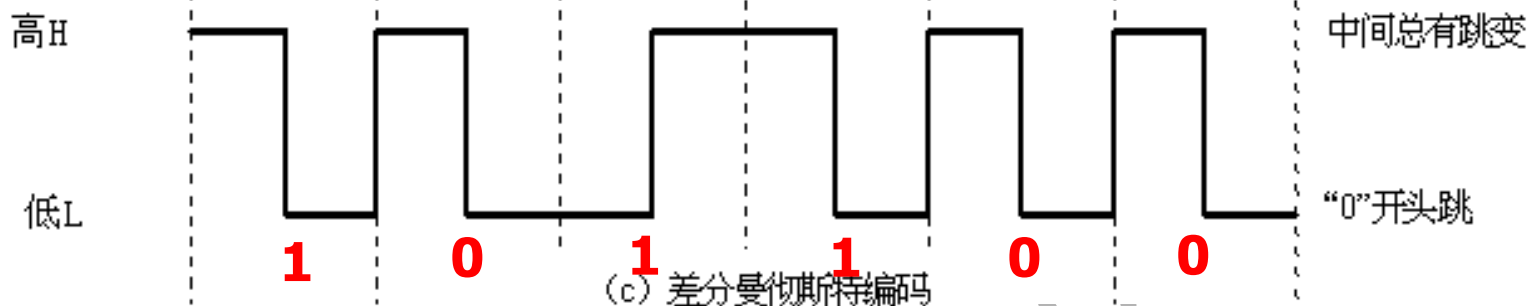
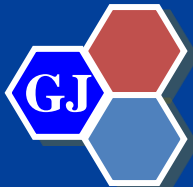




(3) 曼彻斯特编码

- 也叫做相位编码 (Phase Encode)，是一种 **自同步** 编码方式，包括数据信息和时钟信息。
- 方法：将每一个码元再分成两个相等的间隔，码元1的前一间隔为高电平后一间隔为低电平，**下跳为1**；码元0的前一间隔为低电平，后一间隔为高电平，**上跳为0**。
- 优点：接收端易接收同步信号，同时可根据信号判断是否违例（出错）。
- 缺点：所占频带宽度比原始信号增加一倍。
- 应用：以太网





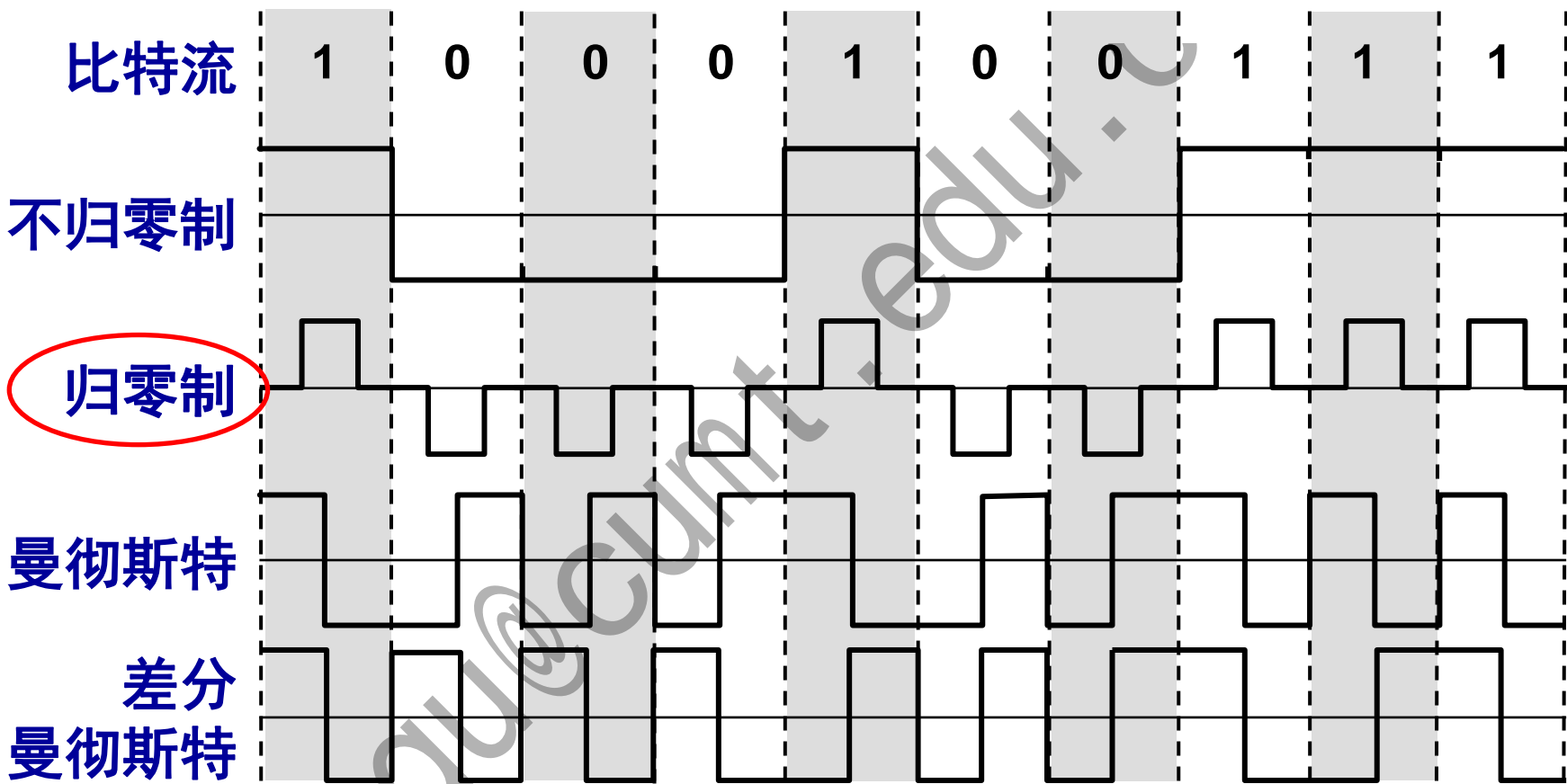
(4) 差分曼彻斯特编码

- 编码规则是：每位中间的跳变仅提供时钟定时，而用每位开始时有无跳变表示"0"或"1"，有跳变为"0"，无跳变为"1"。
 - 若码元为1，则其前半半个码元的电平与上一个码元的后半半个码元的电平一样；
 - 若码元为0，则其前半半个码元的电平与上一个码元的后半半个码元的电平相反。
 - 不论码元是1或0，在每个码元的正中间时刻，一定要有一次电平的转换。
- 优缺点：差分曼彻斯特编码需要较复杂的技术，但可以获得较好的抗干扰性能。
- 应用：令牌环网





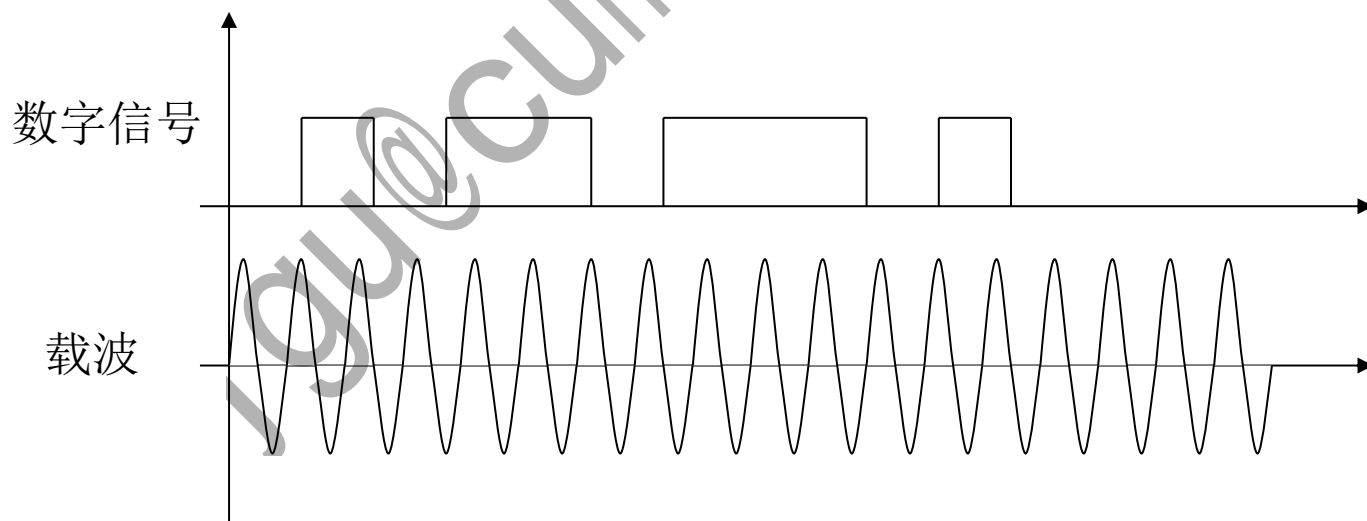
归零制数字信号编码





数字-模拟编码

- 基带信号往往包含有较多的低频成分，甚至有直流成分，而许多信道并不能传输这种低频分量或直流分量。因此必须对基带信号进行调制(modulation)。
- **调制(modulation)**的方法是，选取一个适合在线路上传输的正弦波作为载波，令载波的某些特征随基带信号的变化而变化。





几种最基本的调制方法

- 最基本的二元制调制方法有以下几种：
 - 幅移键控(Amplitude-Shift Keying, **ASK**): 载波的振幅随基带数字信号而变化。
 - 频移键控(Frequency-Shift Keying, **FSK**): 载波的频率随基带数字信号而变化。
 - 相移键控(Phase-Shift Keying, **PSK**): 载波的初始相位随基带数字信号而变化。



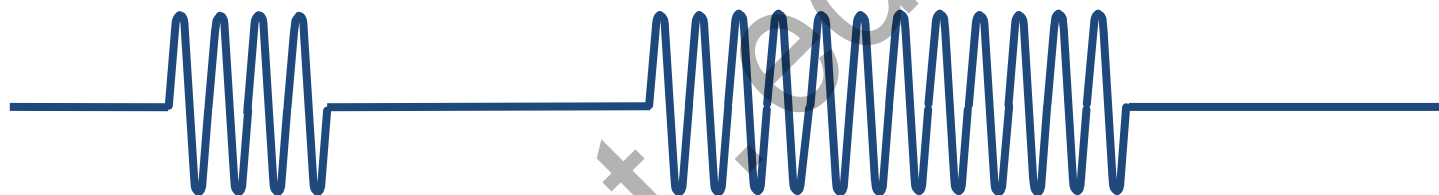


对基带数字信号的几种调制方法

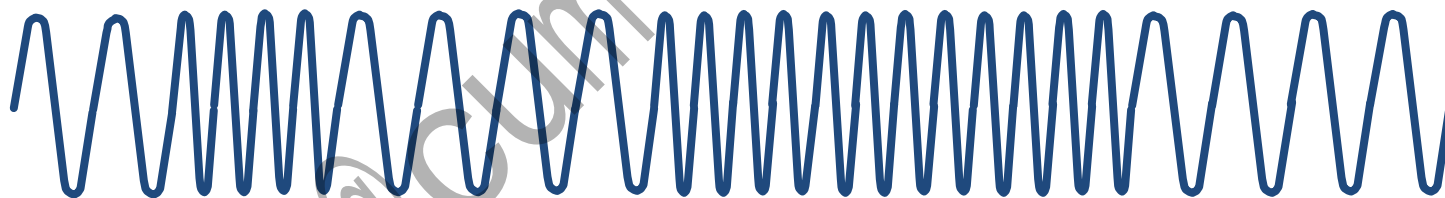
基带信号



ASK



FSK



PSK

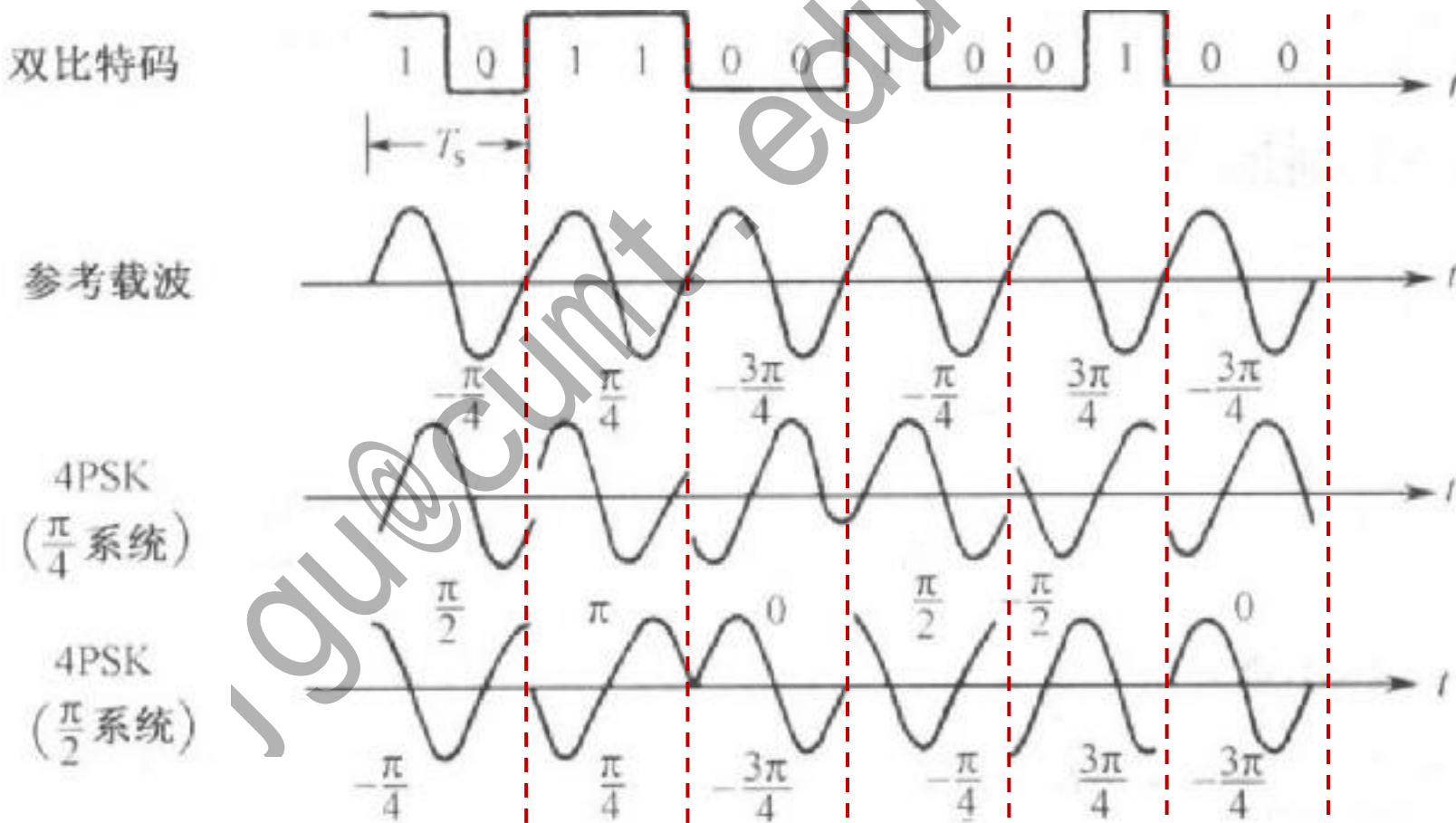




正交相移键控QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)

QPSK是一种四进制相位调制，具有良好的抗噪特性和频带利用率，广泛应用于卫星链路、数字集群等通信业务。

每个载波相位的波形可以携带两个二进制位

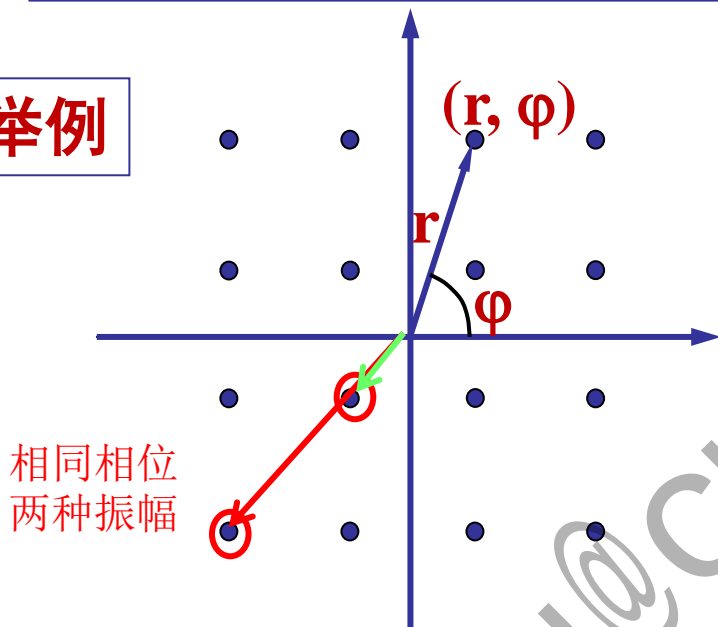




正交振幅调制 QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

为了达到更高的信息传输速率，必须采用技术上更为复杂的多元制的振幅相位混合调制方法。

举例



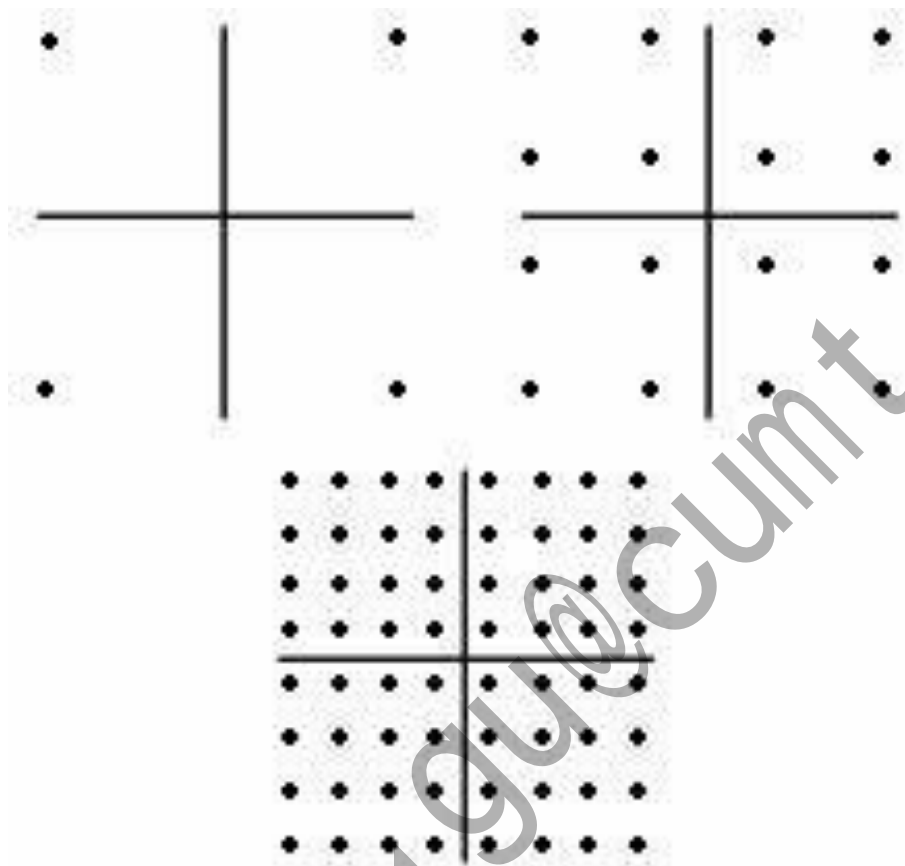
		Q	
1011	1001	0001	0011
1010	1000	0000	0010
1110	1100	0100	0110
1111	1101	0101	0111
		I	

- 可供选择的相位有 12 种，而对于每一种相位有 1 或 2 种振幅可供选择。总共有 16 种组合，即 16 个码元。
- 由于 4 bit 编码共有 16 种不同的组合，因此这 16 个点中的每个点可对应于一种 4 bit 的编码。数据传输率可提高 4 倍。





不同进制的QAM星座图



理论上，QAM可能的变化是无数的。但不是码元越多越好。若每一个码元可表示的比特数越多，则在接收端进行解调时要正确识别每一种状态就越困难，出错率增加。





2009年研究生入学考试试题

- 34. (2分) 在无噪声情况下, 若某通信链路的带宽为3KHZ, 采用4个相位, 每个相位具有4种振幅的QAM调制技术, 则该通信链路的最大数据传输速率是 ()
 - A、12kbps B、24kbps
 - C、48kbps D、96kbps





- 解答：

- 根据奈奎斯特公式，无噪声信道的最高码元传输速率为：

$$2W = 2 * 3 \text{ KHZ} = 6 \text{ KBaud}$$

- 因为采用的是QAM调制技术（4个相位，每个相位具有4种振幅），即有16种码元波形，每个码元可含有4bit信息，
- 所以，通信链路的最大数据传输速率是：

$$6 \text{ KBaud} * 4 \text{ b/Baud} = 24 \text{ kbps}$$





频带传输

- **带通信号(band pass)**——把基带信号经过载波调制后，把信号的频率范围搬移到较高的频段以便在信道中传输（即仅在一段频率范围内能够通过信道），又称为**频带信号**。
- **频带传输**：**调制**成模拟信号后再传送，接收方需要**解调**
 - 例如：通过电话模拟信道传输



- 串行数据在传输时通常采用幅移键控（ASK）和频移键控（FSK）两种方式传送数字信息。





串行数据信号的幅度调制

- 幅度调制：
 - 用某种电平或电流来表示逻辑“1”，称为传号(mark)
 - 用另一种电平或电流来表示逻辑“0”，称为空号(space)
- mark/space的串行数据形式通常有四种标准：
 - **TTL标准**：用+5V电平表示逻辑“1”；用0V电平表示逻辑“0”，这里采用的是正逻辑。
 - **RS-232标准**：用-3V—-15V之间的任意电平表示逻辑“1”；用+3V — +15V电平表示逻辑“0”，这里采用的是负逻辑。
 - **20mA电流环标准**：线路中存在20mA电流表示逻辑1，不存在20mA电流表示逻辑0。
 - **60mA电流环标准**：线路中存在60mA电流表示逻辑1，不存在60mA电流表示逻辑0。

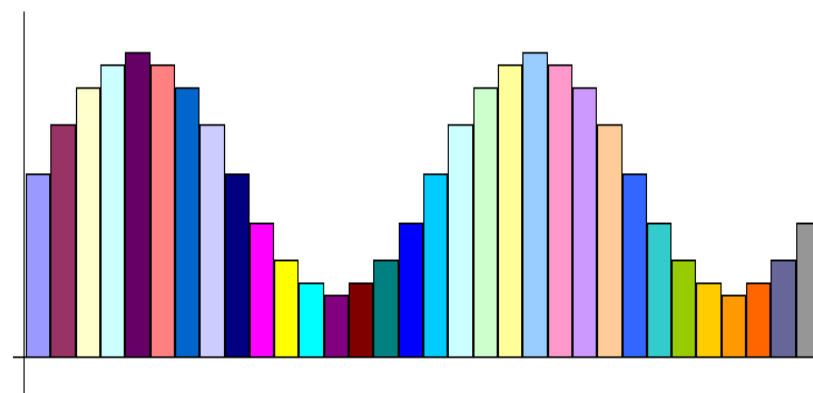
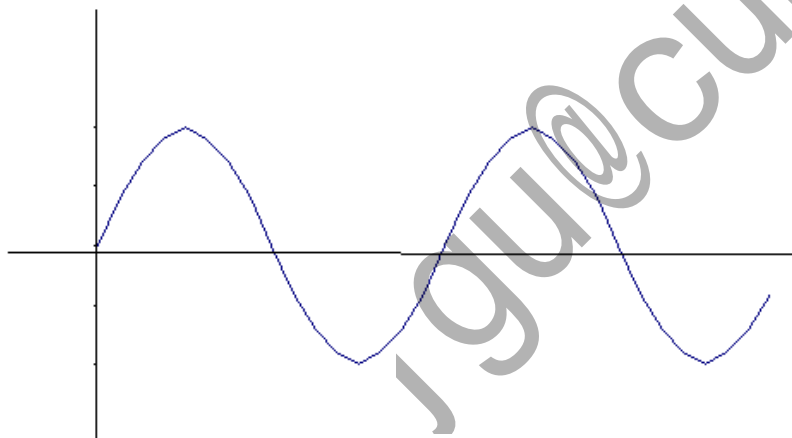




模拟-数字编码

模拟信号要经过计算机处理，必须将模拟信号数字化(Digitize)。这需要经过三个步骤：

- 采样(Sampling): 按一定间隔对语音信号进行采样
- 量化(quantizing): 把每个样本舍入到量化级别上
- 编码(Coding): 对每个舍入后的样本进行编码





采样定理

- ◆ 1928年，美国电信工程师H.奈奎斯特推出采样定理，因此称为**奈奎斯特采样定理**。
 - 如果连续变化的模拟信号最高频率为**F**，若以**2F**的采样频率对其采样，则采样得到的离散信号序列就能完整地恢复出原始信号。
- ◆ 1933年，由苏联工程师科捷利尼科夫首次用公式严格地表述这一定理，因此在苏联文献中称为**科捷利尼科夫采样定理**。
- ◆ 1948年，信息论的创始人C.E.香农(Shannon)对这一定理加以明确地说明并正式作为定理引用，因此在许多文献中又称为**香农采样定理**。
 - 一定条件下，用离散的序列可以完全代表一个连续函数。
- 从信号处理的角度来看，采样定理描述了两个过程：其一是采样，这一过程将连续时间信号转换为离散时间信号；其二是信号的重建，这一过程离散信号还原成连续信号。

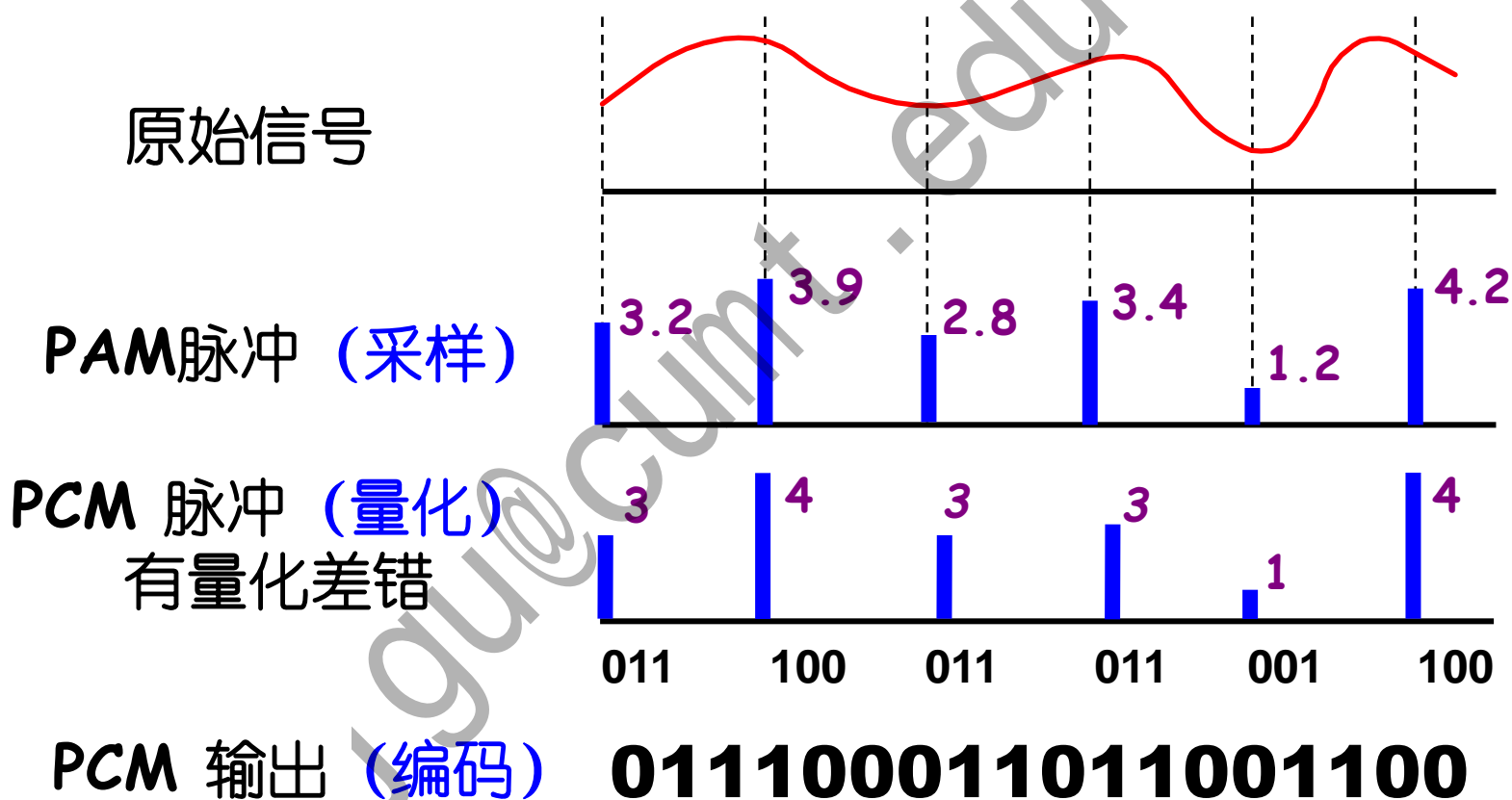




语音信号的数字化

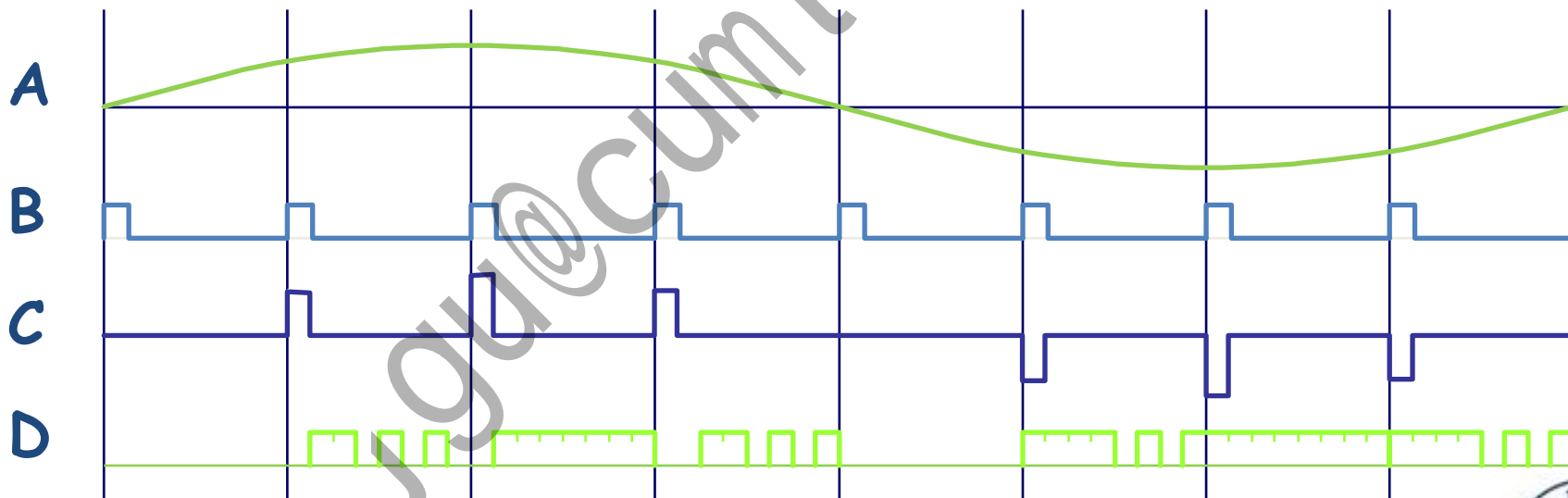
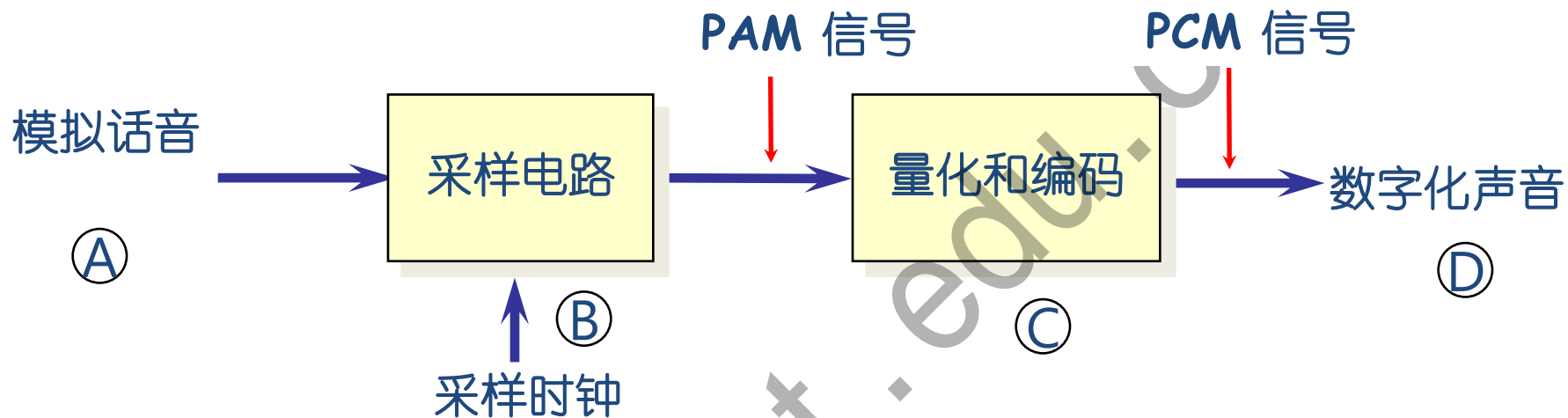
PAM(Pulse Amplitude Modulation, 脉冲振幅调制)

PCM(Pulse Coded Modulation, 脉冲编码调制)





PCM 转换波形图





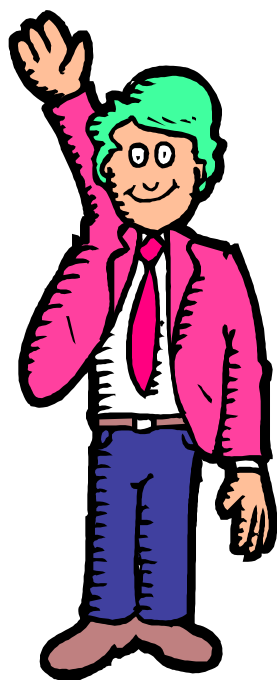
PCM信号参数

采样率频越高，稍后恢复出的波形就越接近原信号，但是对系统的要求就更高，转换电路必须具有更快的转换速度。

- 话音信道带宽<4KHz
- 采样时钟频率：8KHz (> 2倍话音最大频率)
- 量化级数：256级 (8位二进制码表示)
- 数据率：8000次/s*8bit = 64Kb/s

每路PCM信号的速率 = 64000bps





**THANK
YOU!**

