

网络数据通信基础

教学目标

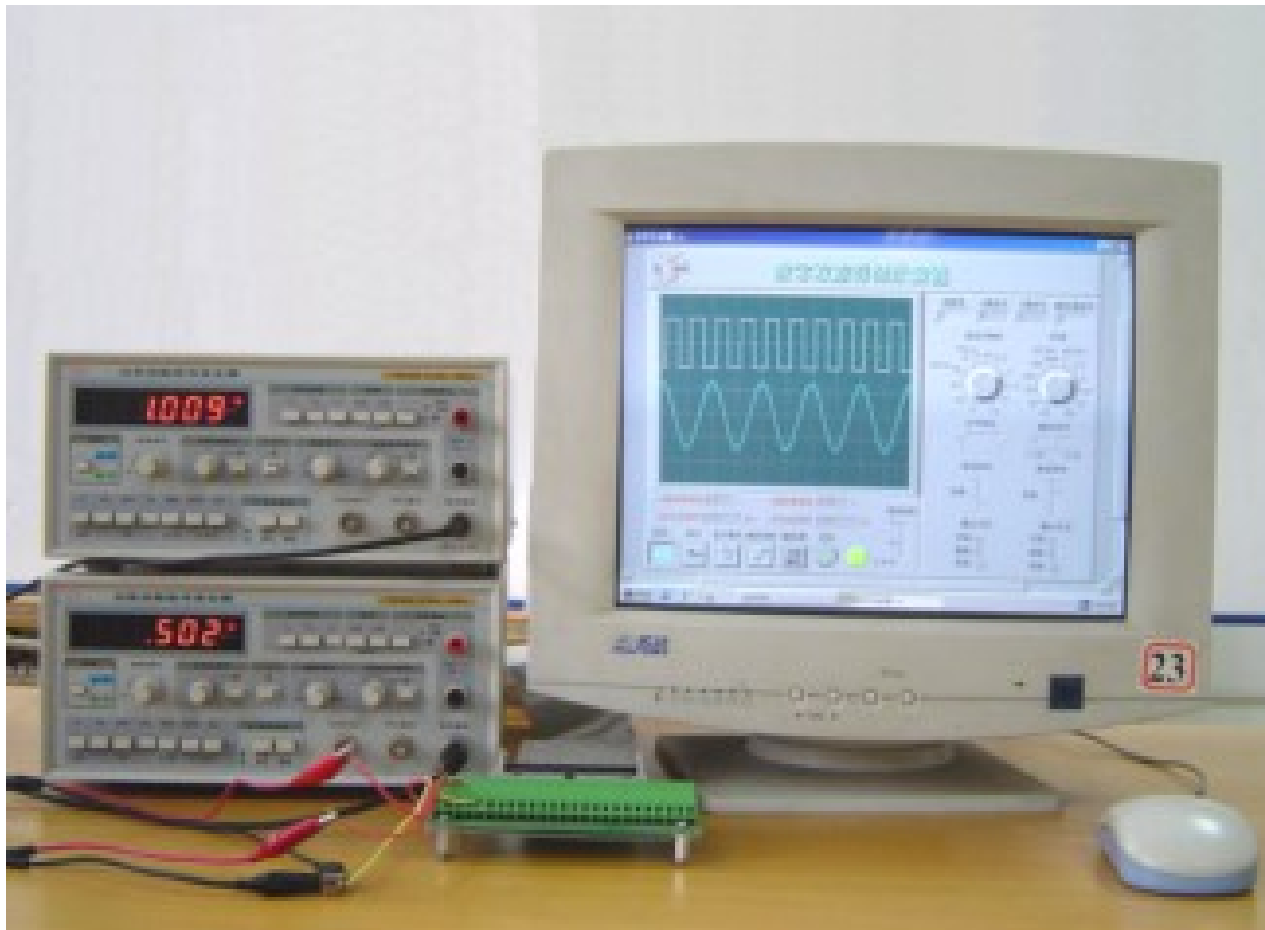
【知识目标】

1. 理解数据通信的基本概念和技术指标
2. 理解异步通信和同步通信的过程
3. 理解数字（模拟）数据到数字（模拟）信号的编码过程
4. 了解常用的数据交换技术和多路复用技术
5. 理解多路复用技术
6. 理解网络噪声干扰与差错控制技术

【能力目标】

1. 能够配置网络终端的基本通信参数。
2. 能够测试网络终端的网速状况。

2.1 数据通信基础



虚拟仪器采集到的信号

1 掌握通信的基本概念

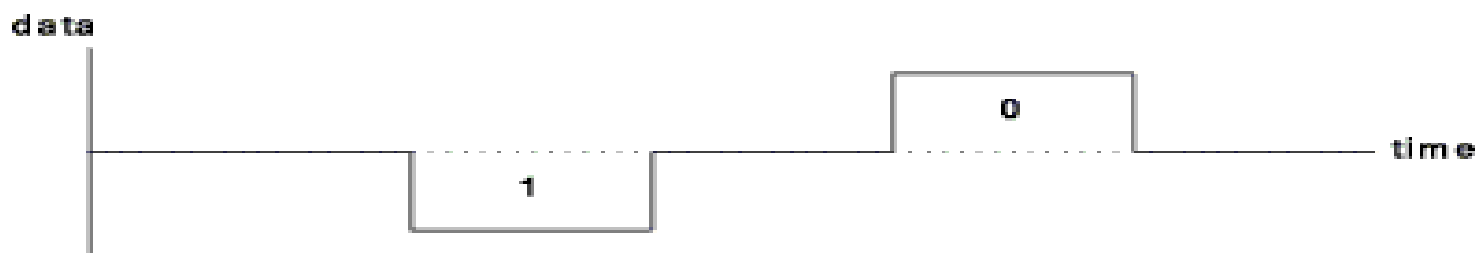
- ❖ **信息、数据和信号**（信息与信号是否是同一概念？）
- ❖ **信息**：是人们对现实世界事物存在方式或运动状态的某种认识，是客观事物属性和相关特征的表征。“对人们有用的知识”
- ❖ **数据**：是把事件的某些属性规范化后的表现形式，一般可以理解为“信息的数字化形式”。它总是以某种媒体作为载体进行存储和传递。
- ❖ **信号**：是数据的具体物理表现，具有确定的物理描述。例如电信号、电磁信号、光信号、载波信号、脉冲信号等。
“信号是以某种特性参数的变化来代表信息的”，可以是模拟的，也可以是数字的。信息的传递依据信号的变化进行。

根据信号使用的特性参数的不同，分为：

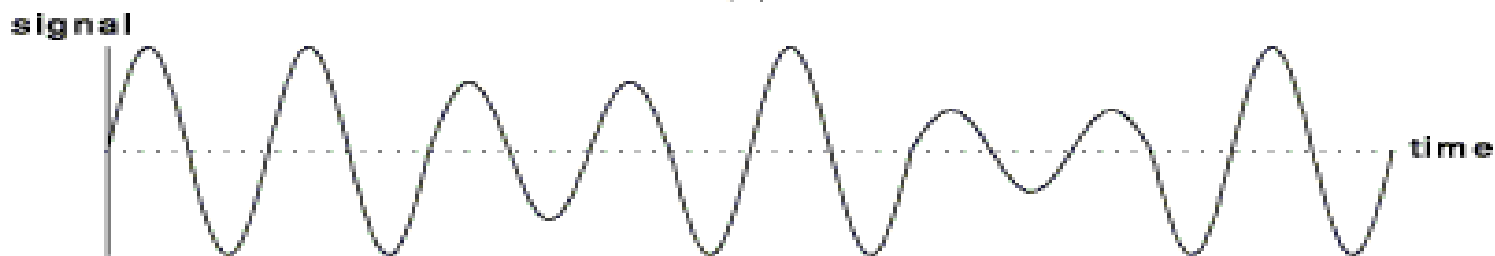
❖ 数字信号：

- 当通信中的数据用**离散的电信号**表示时，就称为数字信号。

❖ 模拟信号：



(a)



(b)

2. 数据在网络通信中的形式

❖ **频带传输：也称作模拟传输。**

放大器 噪声 传输距离受限

例如：电话线、广播

❖ **基带传输：也叫做数字传输，即传输信道上传输的是数字信号。**

转发器

多级转发不会积累噪声引起的失真

长距离传输

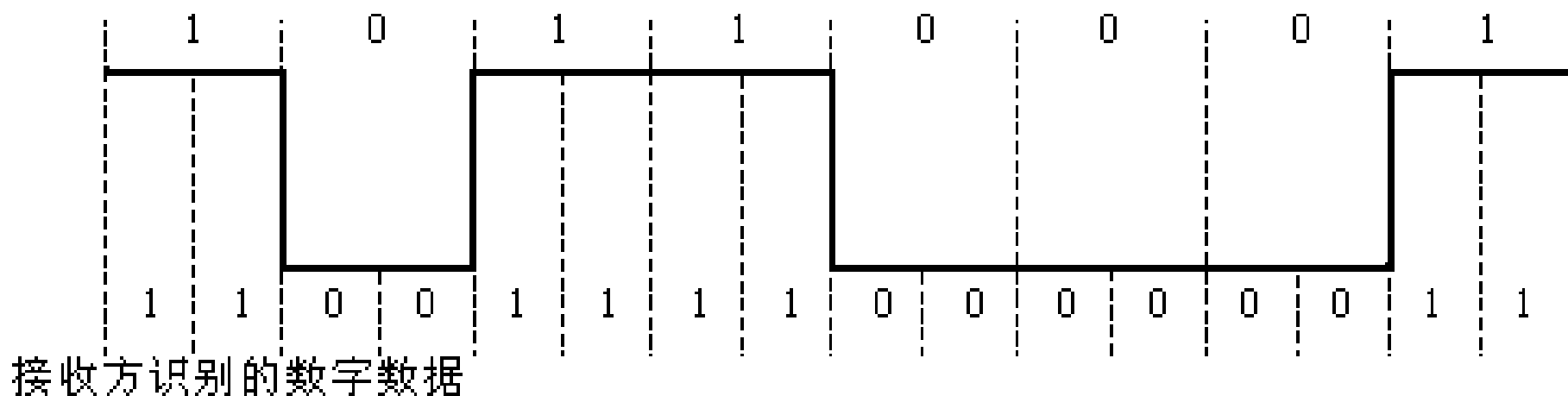
计算机网络重点解决数字数据的基带传输。

从数据到信号的编码

- ❖ 在数据通信中，由计算机产生的数字信号要经过编码 (而不是直接) 才送入数字传输信道。
- ❖ 为什么进行编码呢？
- ❖ 未经编码的二进制基带数字信号就是高电平和低电平不断交替的信号。至于是用高电平还是用低电平代表 1 或 0 则都是可以的。使用这种基带信号的最大问题是当出现一长串连续 1 或连续 0 时，在接收端中无法从收到的比特流中提取位同步信号。

数据到数字信号的编码

发送方发送的基带数字信号



例如表示 **1011 0001** 的矩形波，若把比特持续时间缩短一半，就会读成 **1100111100000011**，也就是接收方与发送方之间无法做到位同步。

解决方案

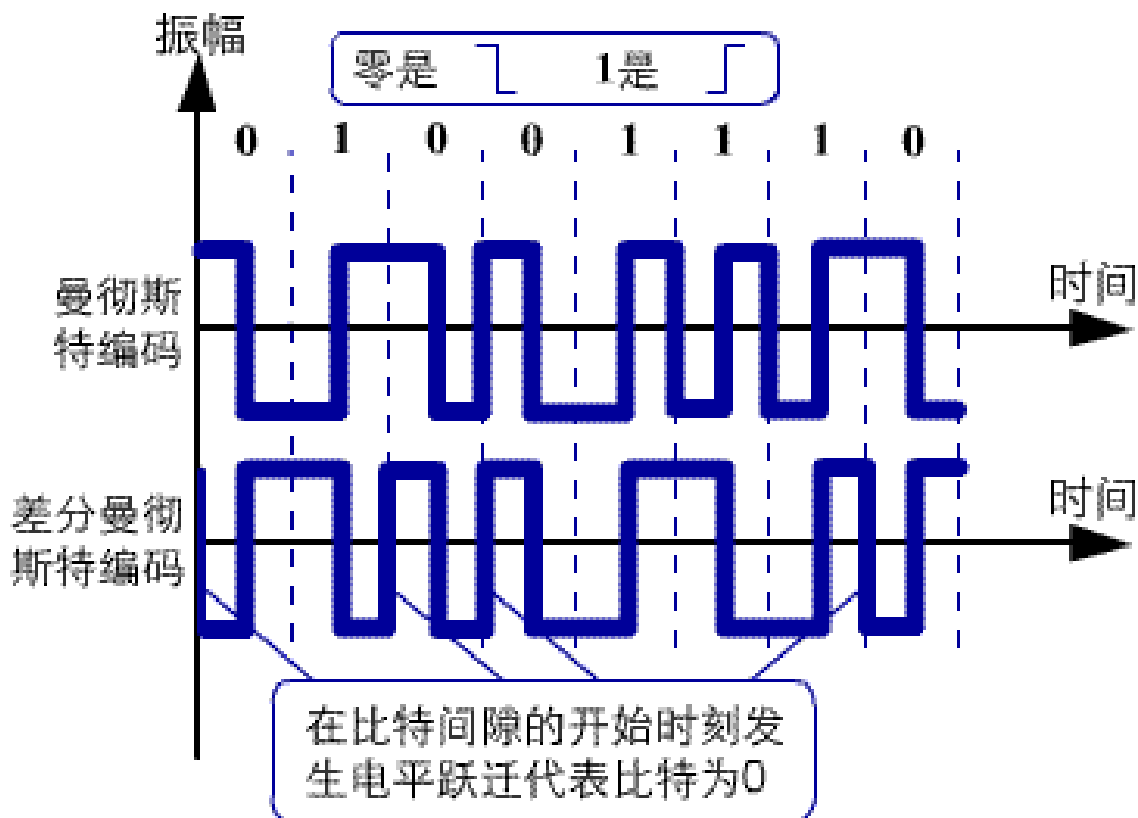
- ❖ 在网络传输中通常使用自同步的编码方法，所谓自同步就是接收方能够从传输的数据流中提取同步时钟，以达到与发送方同步的目的。
- ❖ 经常使用的自同步技术：
 - 曼彻斯特编码技术（以太网）：在每个比特间隙中间引入跃迁来代表不同比特和同步信息：
 - 负电平到正电平的跳变代表比特 **1**；正电平到负电平的跳变则代表比特 **0**；相反也是可以的。
 - 差分曼彻斯特编码技术（令牌环网）：比特间隙中间的跃迁用于携带同步信息，但是在比特间隙开始位置有一个附加的跃迁用来表示不同比特；
 - 即：开始位置有跃迁代表比特 **0**，没有则代表比特 **1**

❖ 曼彻斯特编码:

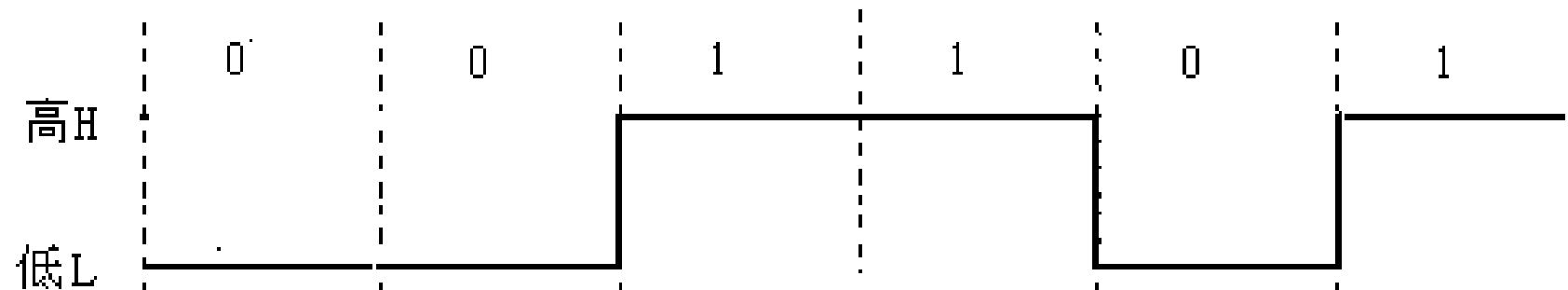
- 0: 正到负;
- 1: 负到正;
- 相反也是可以的

❖ 差分曼彻斯特编码:

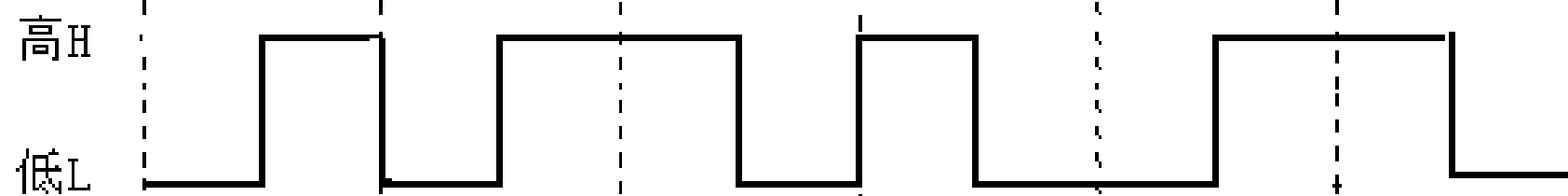
- 0: 比特之间有跳变;
- 1: 比特之间没有跳变;



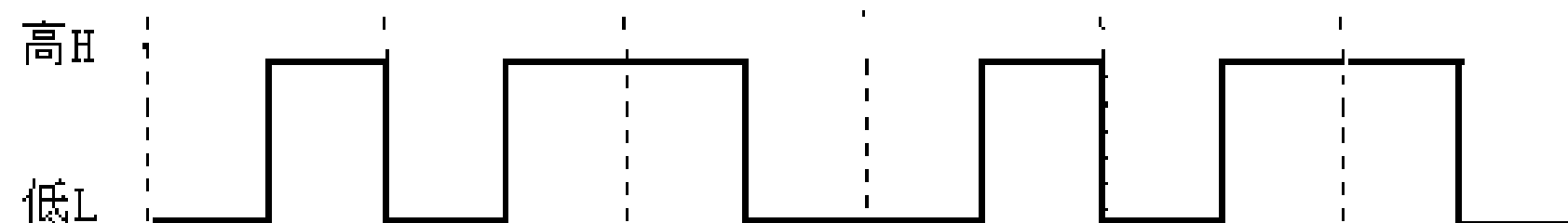
曼彻斯特编码和差分曼彻斯特编码方式的缺点是在每比特的持续时间内将可能出现多达两次跳变, 意味着若要达到 10Mbps 的数据速率会使线路上信号状态每秒变化 20M 次, 故这种编码技术的编码效率只有 (?)



(a) 原始数字信号



(b) 曼彻斯特编码



(c) 差分曼彻斯特编码

数字数据到模拟信号编码

❖ 基本知识:

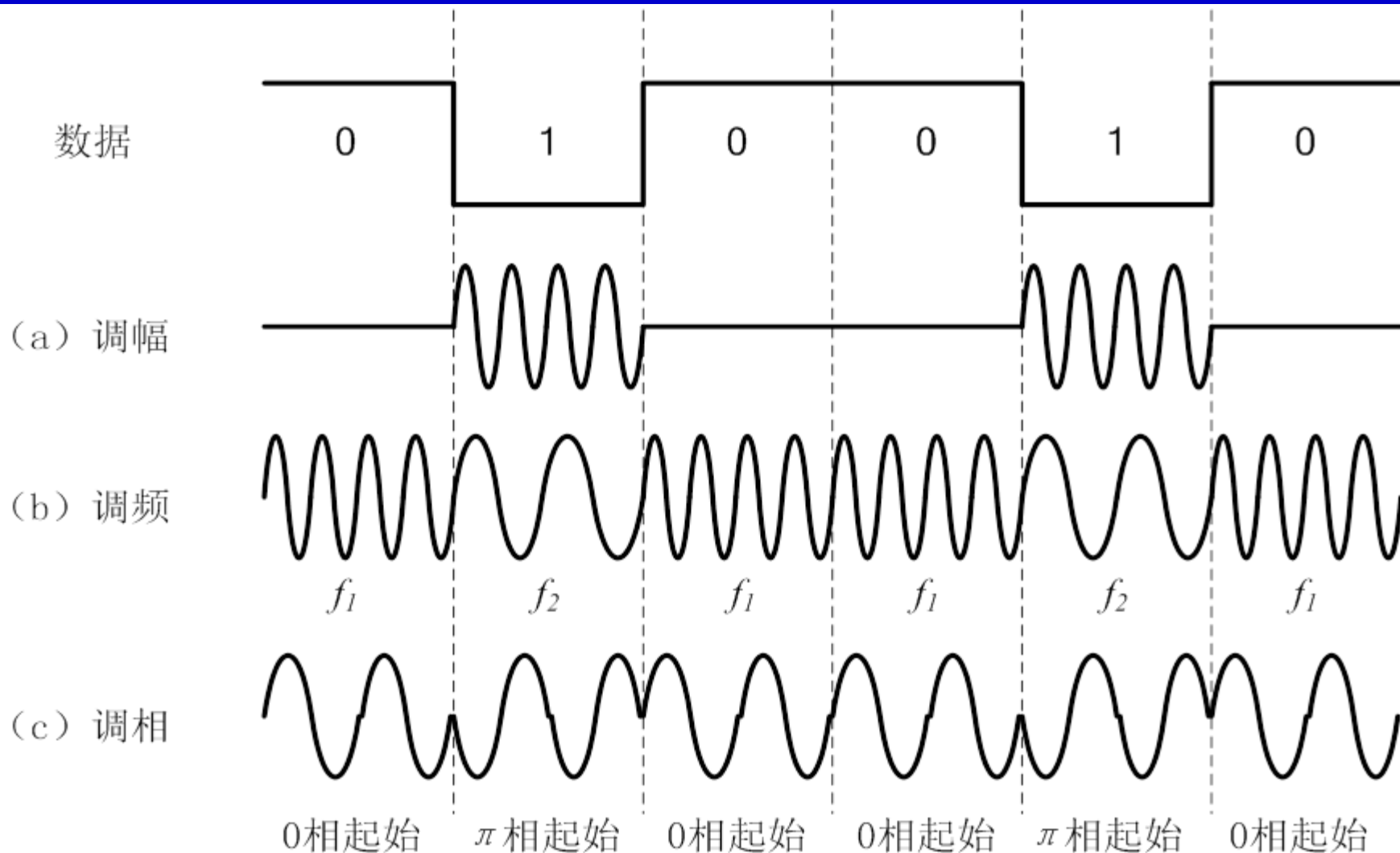
数字 / 模拟信号的转换是通过**调制 / 解调技术**实现的;

- 调制: 将数字信号转换为模拟信号的过程;
- 解调: 将从模拟信道获得的载波信号还原为数字信息;
- 调制器: 以位串为输入, 以调制后的载波为输出的硬件线路;
- 解调器: 以载波为输入, 以重建的二进制位串为输出的硬件线路;
- 调制解调器 (**modem**) : 调制器和解调器的组合; 支持双工通信。

数字数据一 > 模拟信号的编码

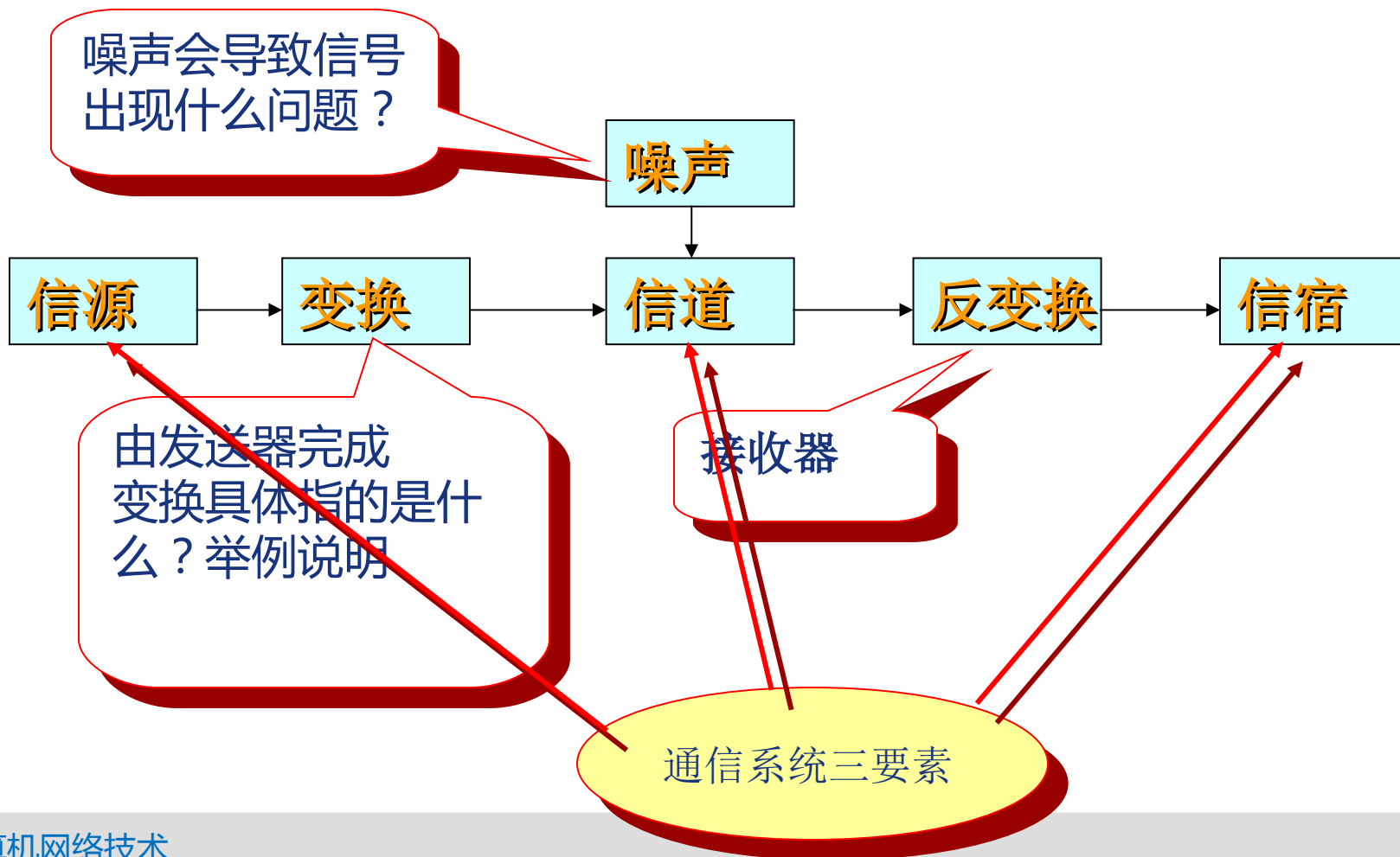
- ❖ 数字信号是通过调制**振幅、频率和相位**等载波特性和或者这些特性的组合转换成模拟信号。
- ❖ 最基本的调制方式有三种：**ASK**、**FSK**、**PSK**；
 - 调幅（**ASK**）：载波振幅随基带数字信号而变化；
 - “0”对应于无载波输出；“1”对应于有载波输出；
 - 调频（**FSK**）：载波频率随基带数字信号而变化；
 - “0”：频率较低的信号；“1”：频率较高的信号；
 - 调相（**PSK**）：载波初始相位随基带数字信号而变化。
 - “0”：相位 0° ；“1”：相位 180° ；

数字数据一 > 模拟信号的编码



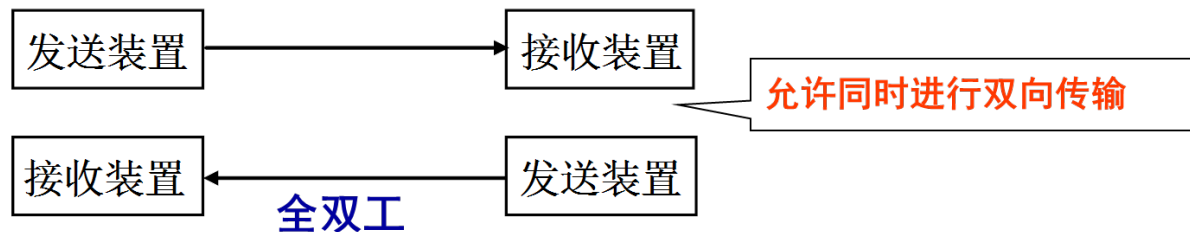
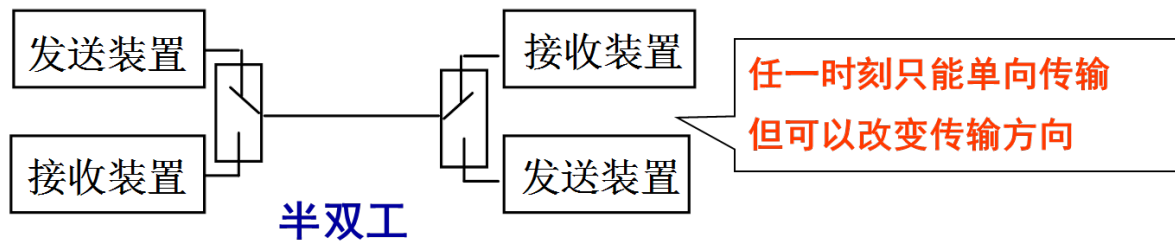
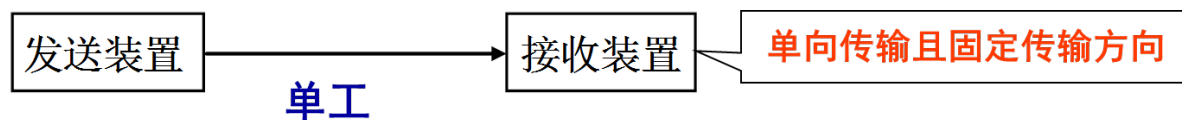
2.1.3 数据通信的传输过程

❖ 1. 通信系统模型



2. 数据通信方式

- ❖ 数据通信中，按信号在传输介质中的传输方向，可分三种方式：单工（电视、广播）、半双工（对讲机）、全双工（固话、手机）。



3. 异步与同步通信

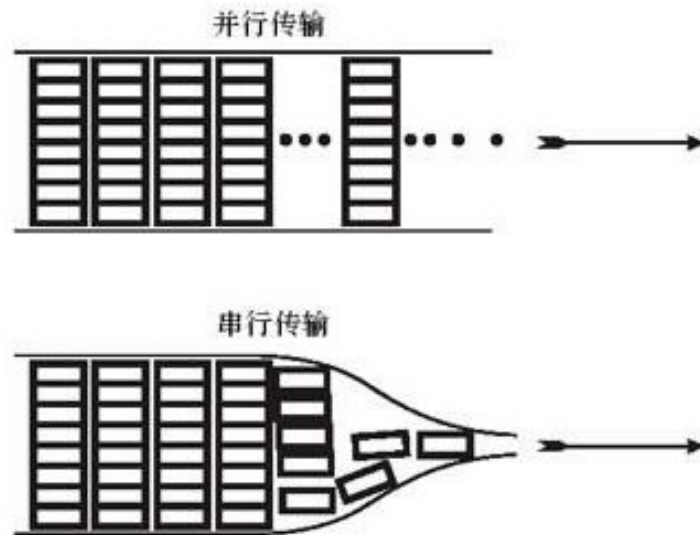
❖ 数据通信的工作方式分为**并行通信**和**串行通信**两种。

- 并行通信：

- 利用**多条数据传输线**将一个数据的各位**同时**传送；
- 特点：速度快，适用短距离通信；

- 串行通信：

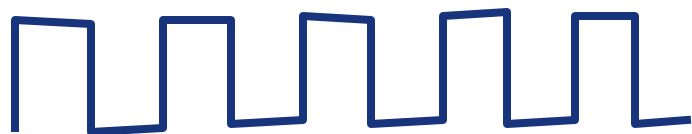
- 利用一条传输线将数据**一位一位**地顺序传送；
- 特点：线路简单（电话或电报线路），降低成本，远距离通信，传输速度慢；



异步与同步通信

- ✱ 串行通信方式:

- ✱ 在曼彻斯特和差分曼彻斯特编码中，我们已经了解如何识别信息流中每一位的方法，但是有一个假定的前提条件，就是我们知道整个信息流的起始位置，例如，下图所示是接收端收到的曼彻斯特编码后的信号，如何识别是一串 0 还是一串 1 呢？



- ❖ 数据通信的一个基本要求是接收方必须知道它所接收的每一位或每个字符的起始时间。数据通信的同步方式分为两种：异步传输和同步传输。

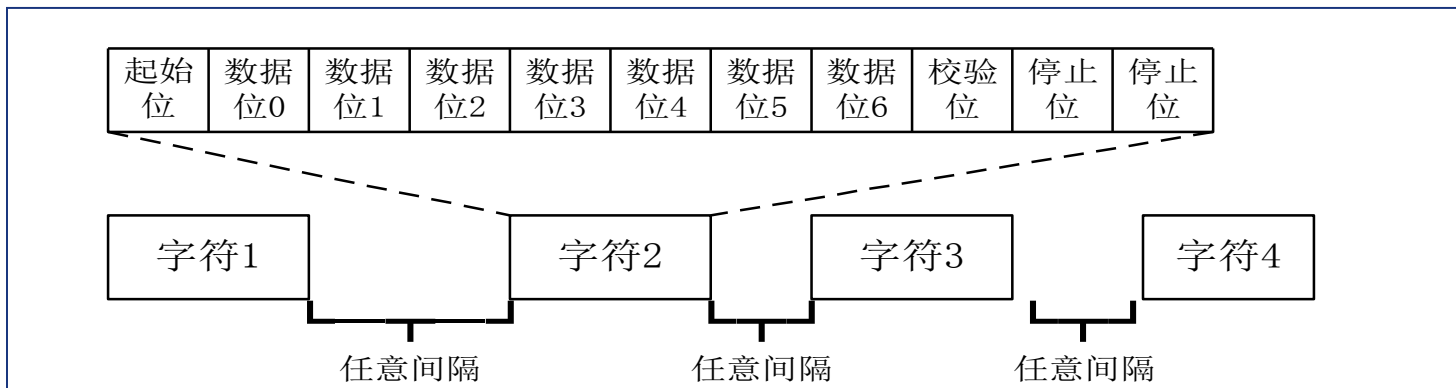
这里的“字符”指异步传输的数据单元，不同于“字节”，一般略大于一个字节。

❖ 同步：

- 接收端按发送端发送地每个码元的*起止时间*及*重复频率*来接收数据，并且校对自己的时间，以便与发送端的发送取得一致，实现同步接收。

❖ 异步传输：

- 每个字节作为一个单元独立传输，字节之间的传输间隔任意；为了标志字节的开始和结尾，在每个字节的开始加一位起始位，结尾加 1 位或 2 位停止位，构成一个个的“字符”。



$1\text{kbit}=10^3\text{bit}$

$1\text{Mbit}=10^3\text{kbit} \quad (10^6\text{bit})$

$1\text{Gbit}=10^3\text{Mbit} \quad (10^9\text{bit})$

$1\text{Byte} \text{ (字节)} = 8\text{bit} \text{ (位)}$

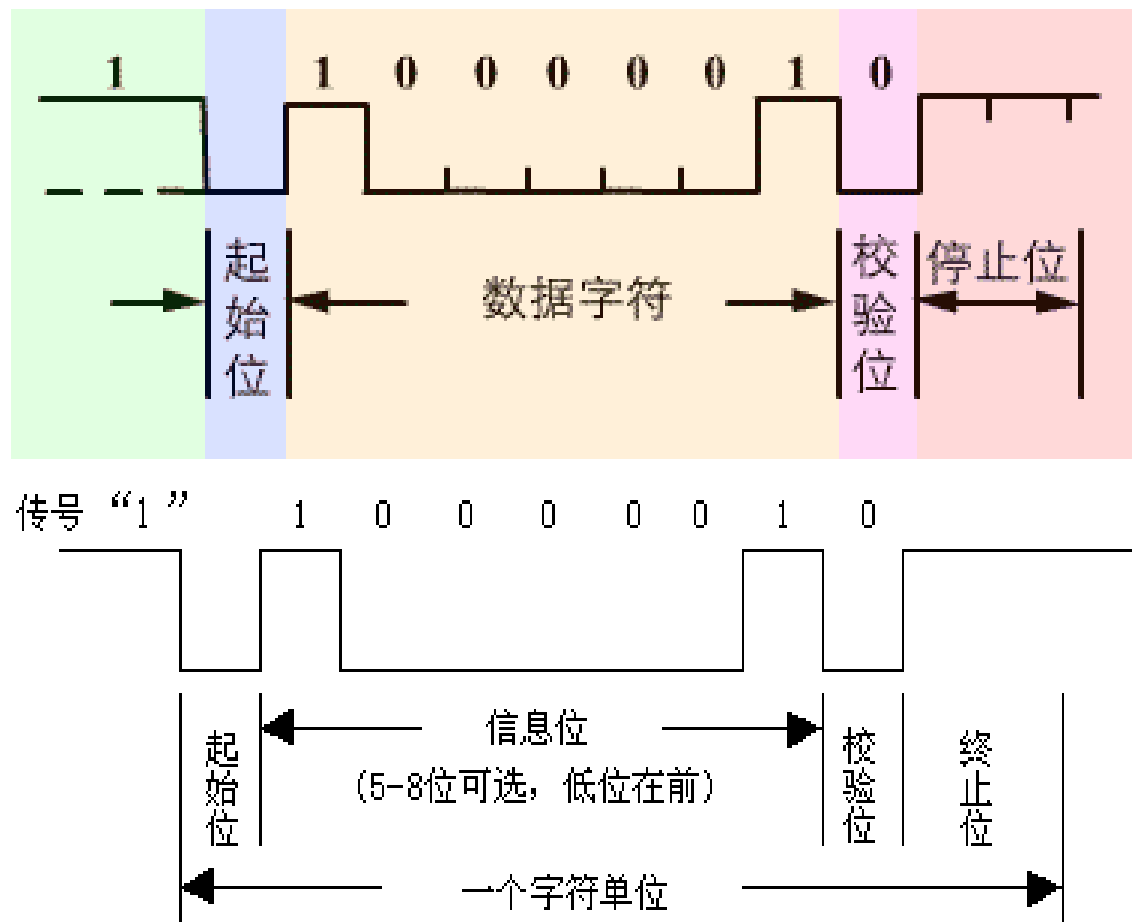
$1\text{KB}=1024\text{B}=2^{10}\text{B}$

$1\text{MB}=1024\text{KB}=2^{20}\text{B}$

$1\text{GB}=1024\text{MB}=2^{30}\text{B}$

异步传输

❖ 下图为字母 **A** 的代码（**1000001**）在异步方式时的传输结构



Bin	Oct	Dec	Hex	缩写/字符	解释
01011011	133	91	5B	[	开方括号
01011100	134	92	5C	\	反斜杠
01011101	135	93	5D	]	闭方括号
01011110	136	94	5E	^	脱字符
01011111	137	95	5F	_	下划线
01100000	140	96	60	`	开单引号
01100001	141	97	61	a	小写字母 a
01100010	142	98	62	b	小写字母 b
01100011	143	99	63	c	小写字母 c

01111010	172	122	7A	z	小写字母 z
01111011	173	123	7B	{	开花括号
01111100	174	124	7C		垂线
01111101	175	125	7D	}	闭花括号
01111110	176	126	7E	~	波浪号
01111111	177	127	7F	DEL (delete)	删除

同步传输

- 同步传输不是对每个字符单独进行同步，而是对一个数据块进行同步；
- 同步的方法不是加一位起始 / 停止位，而是在数据块前面加特殊模式的位组合 (如 **01111110**，称为位同步) 或同步字符 (**SYN,synchronous**，代码为 **0010110**，称为字符同步)，并且通过位填充或字符填充技术保证数据块中的数据不会与同步字符混淆。

01111110	01111110	A	B		X	01111110
----------	----------	---	---	--------	---	----------

同步位模式 (一个或多个)

可变长度的位数据块

SYN	SYN	A	B		X	SYN
-----	-----	---	---	--------	---	-----

同步字符 (一个或多个)

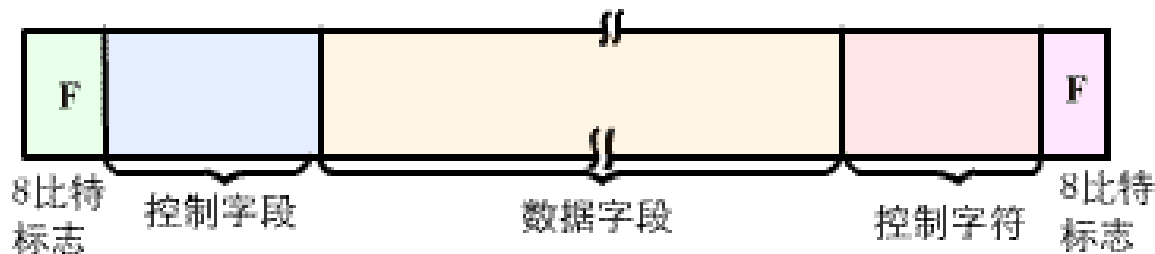
可变长度的字符数据块

同步传输

同步通信规程有以下两种：

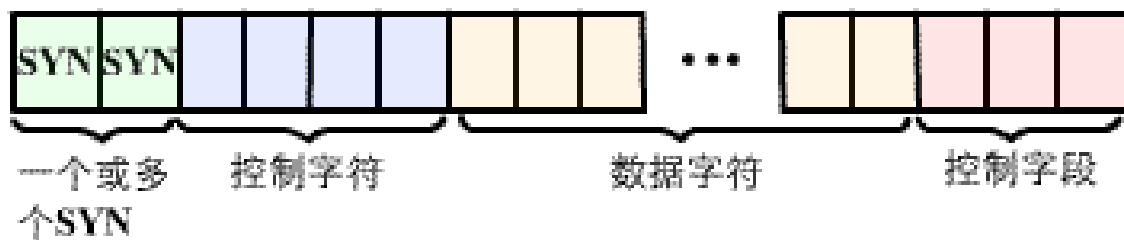
- ❖ 面向比特规程：以二进制位作为信息单位，现代计算机网络大多采用此类型规程，最典型的是高级数据链路控制规程 **HDLC**

面向比特（bit）型规程
（HDLC）



以二进制作作为信息单位，以 8 位的标志 F 开始，也以标志 F 作后同

同步传输



面向字符型
规程（BS
C）

❖ 面向字符型规程：

- 以字符作为信息单位。字符是 **EBCD** 码或 **ASCII** 码，典型代表是 **IBM** 公司的二进制同步控制规程 **BSC** 规程。
- ❖ 在使用面向比特的同步规程时，若在数字位串中出现了 **01111110** 时将使用比特填充的方法予以识别，例如要发送的数据位串是 **01101111110010111110100**，进行位填充后为 **011011111 1001011111 0100**

同步传输

- ✱ 同步通信的优缺点：
 - ✱ 优点：取消了每个字符的同步位，提高了效率，实现与大型机的通信；
 - ✱ 缺点：软硬件费用太高；

2.2 数据通信的性能指标

❖ 调制速率与信息传输速率：

■ 调制速率（信号传输速率或者波特率）：

- 定义：数字信号经过调制以后的传输速率，或者说是信号在调制过程中每秒钟其状态变化的次数，即单位时间内传输的波形数（或称每秒钟发送的码元数），单位为 **baud**。
- **$B=1/T$** 其中 **T** 表示单位脉冲宽度。
- 我们可假定一个波形持续时间为 $833 \times 10^{-6} \text{ s}$ ，则 1 秒钟可输出的波形数为 $1 / 833 \times 10^{-6} = 1200$ 个

■ 信息传输速率:

- 又称比特率，指每秒能传输多少构成数据的位数；
- $S=(\log_2 N)/T$ ，以位 / 秒为单位，简称 **bps**，**N** 表示码元有效状态个数；
- 若码元状态数 =2（状态 0 和 1），即 1 码元 =1bit，比特率 **S= 波特率 B**（仅值相等）；
- 若码元状态数 =4（00、01、10、11），即 1 码元 =2bit，则比特率 = **2× 波特率**；
- 例子：一台四相调制解调器，单位脉冲 $T=833*10^{-6}S$ ，求调制速率和数据传输速率；

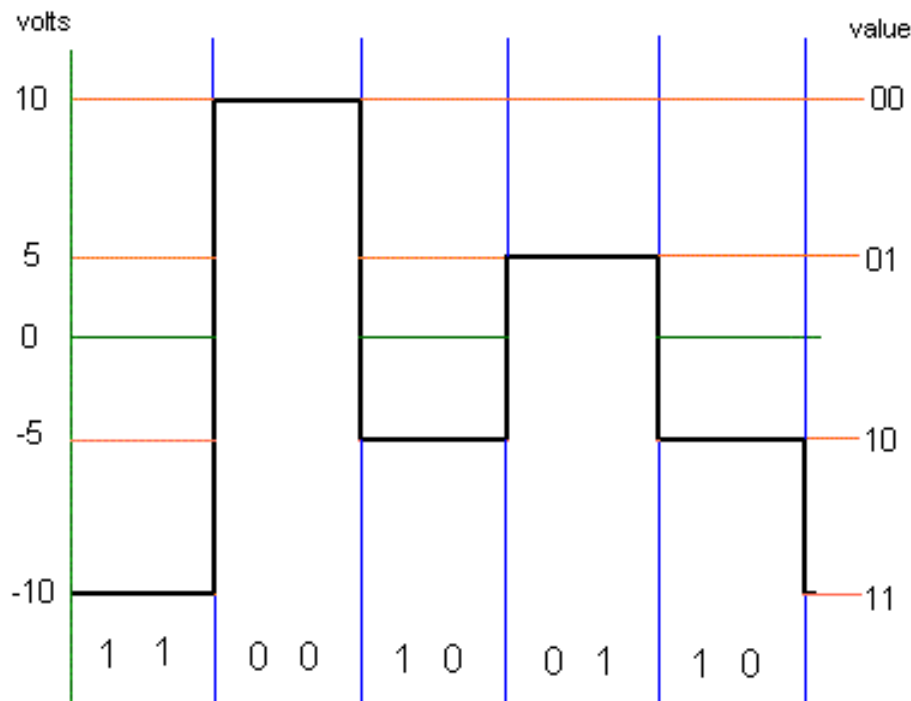
✱ 调制速率 $B=1/T=1/833*10^{-6} s=1200\text{Baud}$

✱ 数据传输速率 $S=1/T(\log_2 N)=1200*\log_2 4=2400\text{bps}$

主要技术指标

❖ 码元与信息量:

- 数字信号由码元组成，码元是承载信息的基本信号单位。比如用脉冲信号表示数据时，一个单位脉冲就是一码元。
- 一码元的信息量是由码元所能表示的数据有效状态值个数决定的，若一码元有 00、01、10、11 四个有效状态值，则一码元能携带 2bit 的信息。如图：



带宽和信道容量

❖ 带宽和信道容量:

- 带宽是指任何实际的模拟信道所能传输的信号范围。信道容量即最大数据速率是受信道带宽制约的。例如一路电话话频线路的带宽常为 **4kHz**。
- 对于这个问题，奈奎斯特和香农先后展开了研究，并从不同角度在不同情况下分别给出了两个著名公式：奈奎斯特公式和香农公式。
- **奈奎斯特**公式给出了无热噪声（由分子热运动引起的噪声）时信道带宽对最大数据速率的限制，具体为

最大数据传输速率

$$C=2H\log_2 L(\text{bps})$$

- H 为信道带宽，单位 **Hz**， L 表示某给定时刻数字信号可能取的离散值的个数。例如某信道带宽为 **4kHz** 任何时刻数字信号可取 **0、1、2、3** 四种电平之一，其最大数据速率是多少？

带宽和信道容量

- ❖ 香农则进一步研究了受噪声干扰的信道情况，热噪声以信号功率与噪声功率之比来度量，这个比值叫作信噪比。如果用 S 表示信号功率， N 表示噪声功率，则信噪比为 S/N 。通常人们并不使用信噪比本身，而是使用 $10\log_{10} (S/N)$ ，其单位为分贝（dB）。
- ❖ 香农关于噪声信道的主要结论是：任何带宽为 H （Hz），信噪比为 S/N 的信道，其最大数据传输率为：

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

例如：信噪比为 **30dB**，带宽为 **4000Hz** 的信道最大数据速率是多少？

误码率和误比特率

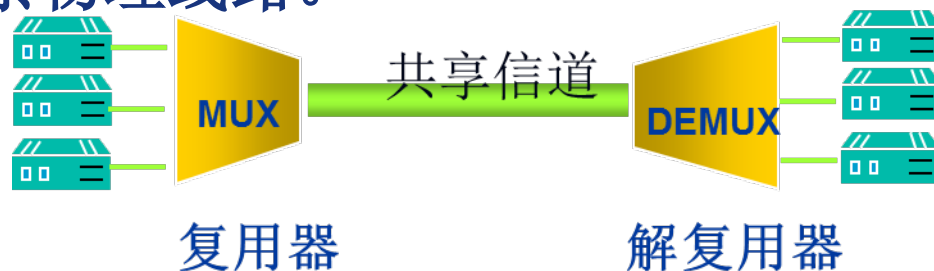
- ❖ 误码率：误码率是在通信系统中衡量系统传输可靠性的指标，它的定义是二进制码元在传输系统中被传错的概率。从统计的理论讲，当所传送的数字序列无限长时，误码率为：

$P_e = N_e / N$ 其中 N 表示传输的二进制码元总数； N_e 表示被传错的码元数。

- ❖ 误比特率： $P_b = \text{错误的比特数} / \text{传输的总比特数}$

2.2.2 信道复用技术

引入：由于一条传输线路的**某方面的能力**远远超过传输一个用户信号所需的能力，为了提高线路利用率，经常让多个信号同时共用一条物理线路。



常用的有三种方法：

- 时分复用 **TDM**
- 频分复用 **FDM**
- 波分复用 **WDM**
- 码分复用 **CDM**

时分多路复用技术 TDM

1. 定义：

当传输介质的**位传输率**大于单个信号的要求时，为有效的利用传输系统将多个信号同时在一条传输线路上传输的技术叫时分多路复用。

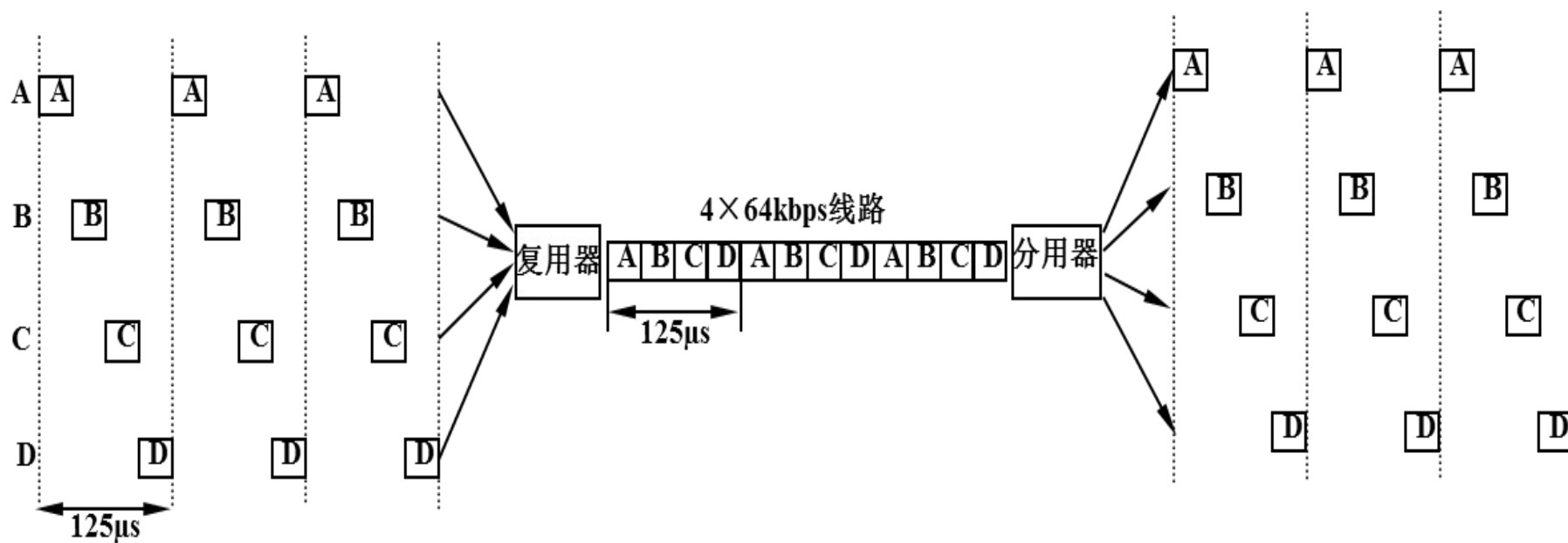
2. TDM 的实现

- 传输时将时间分成等长的时间片；
- 通过时间片轮转方式将时间片依次分配给指定的信号；
- 在接收方也通过时间片轮转方式在指定的时间片依次接收指定的信号。

多用于电话系统的 T1 网络。数字网络

时分复用举例

❖ 4 路 64kbps 信号共用传输速率为 256kbps 的信道



频分多路复用技术 FDM

1. 定义：

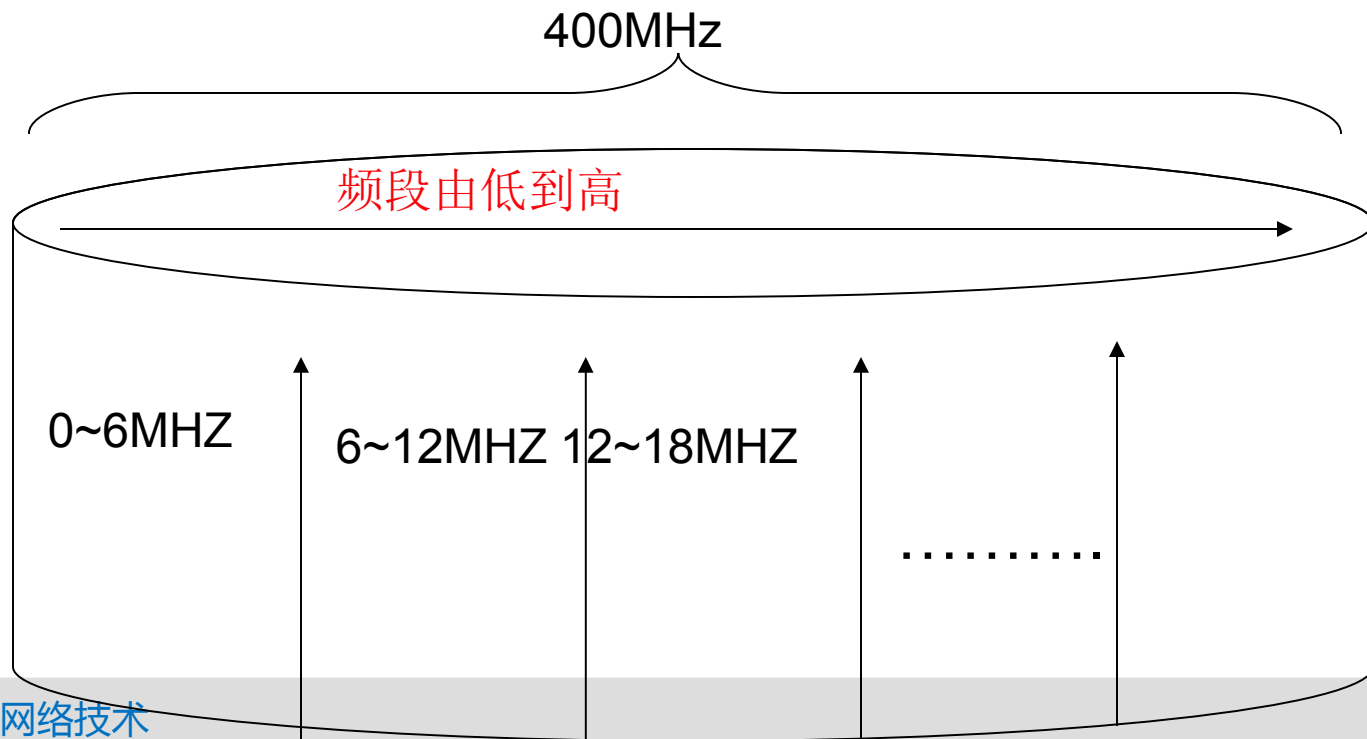
当传输介质的**带宽**大于单个信号的要求时，为有效的利用传输系统将多个信号同时在一条传输线路上传输的技术可以采用频分多路复用。

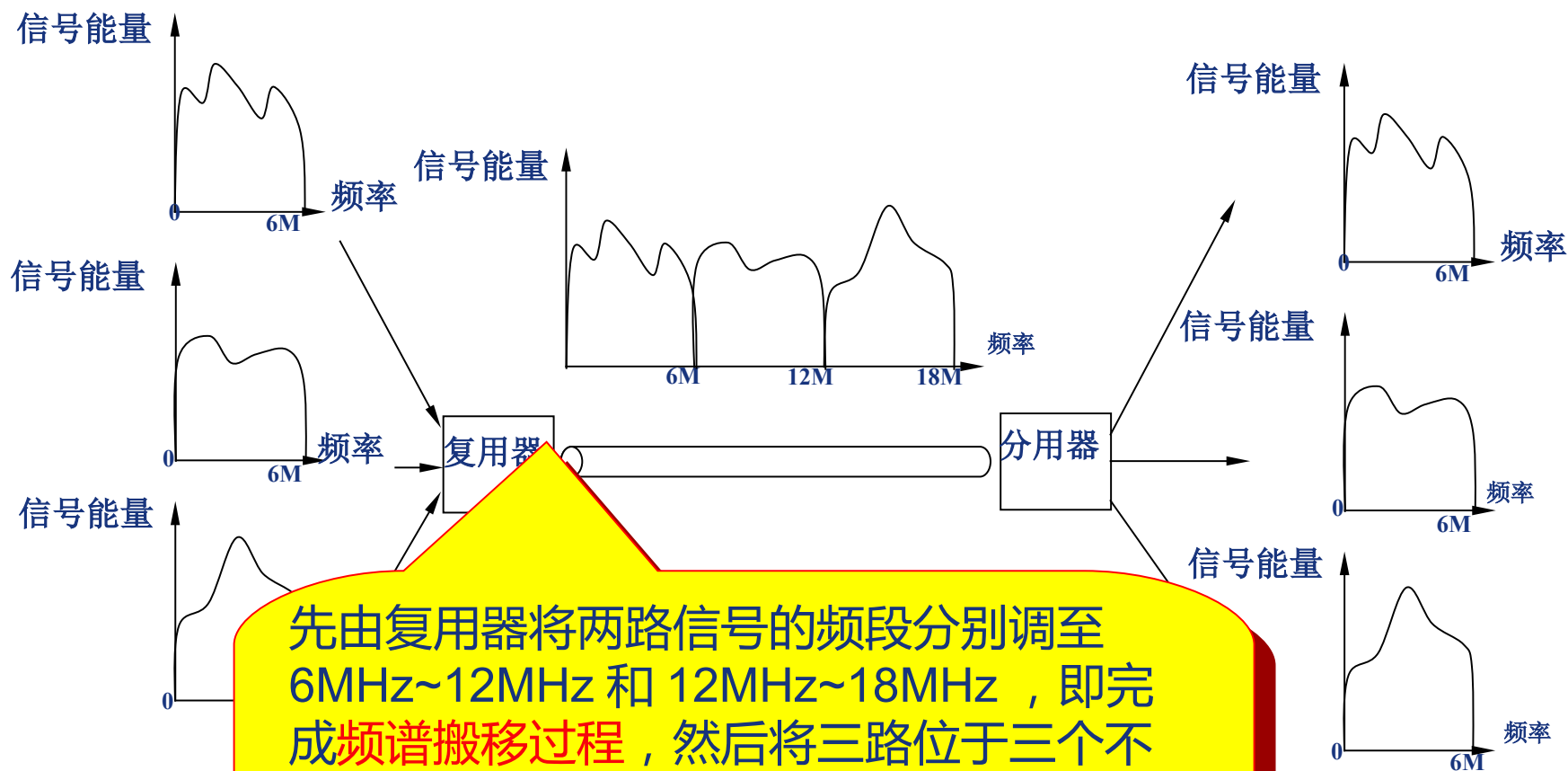
2. FDM 的实现

- 通过调制将不同信号的频率调制到不同的频率范围；
 - 将多路信号合成为一路频率范围更大的信号进行发送；
 - 在接收方再通过解调将信号重新还原成多路信号。
- 多用于广播、电视系统。

频分复用举例

- ❖ 举例：一路模拟电视信号需要带宽 6MHz（该带宽并不是完全被信号所占用，其中会包含保护带——保证各路信号的频带间不发生重叠，不会相互干扰），一根 75Ω 同轴电缆提供的带宽在 400MHz 左右

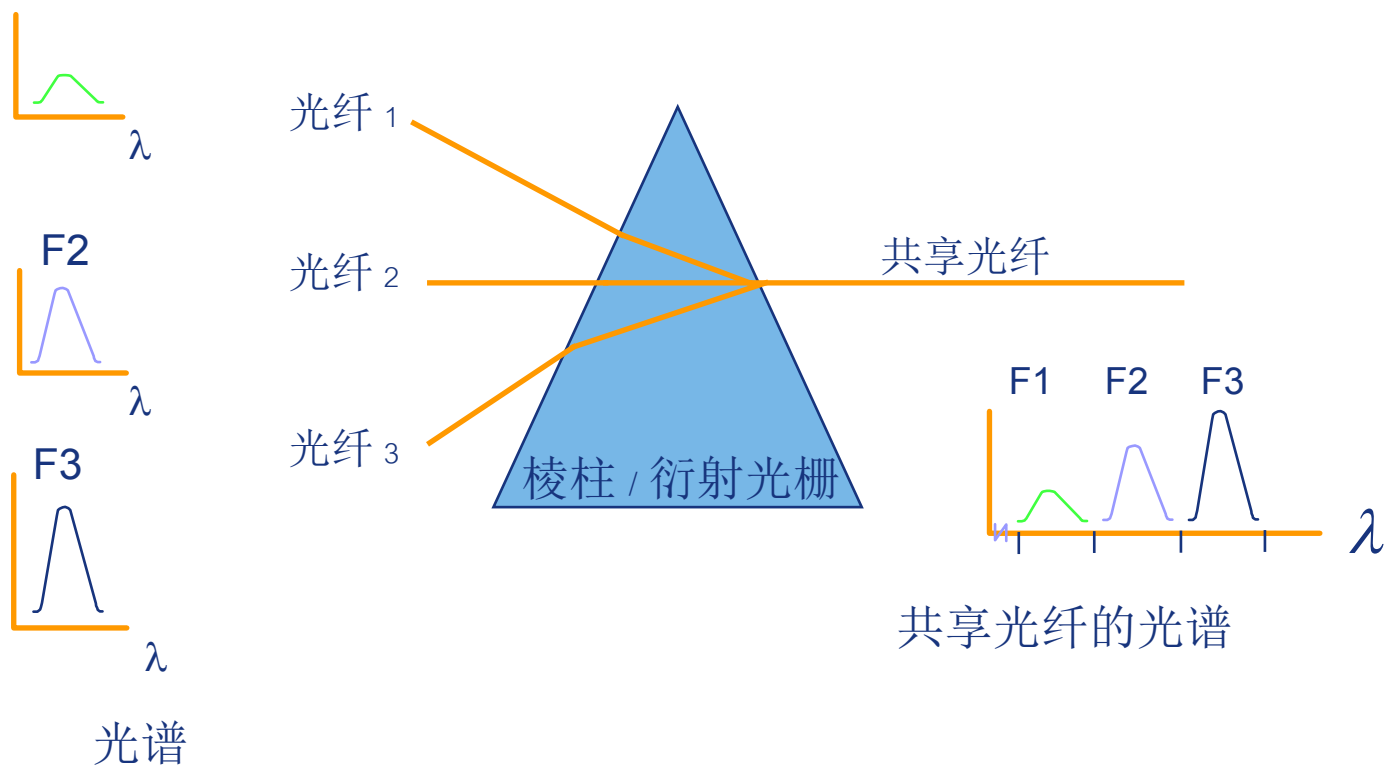




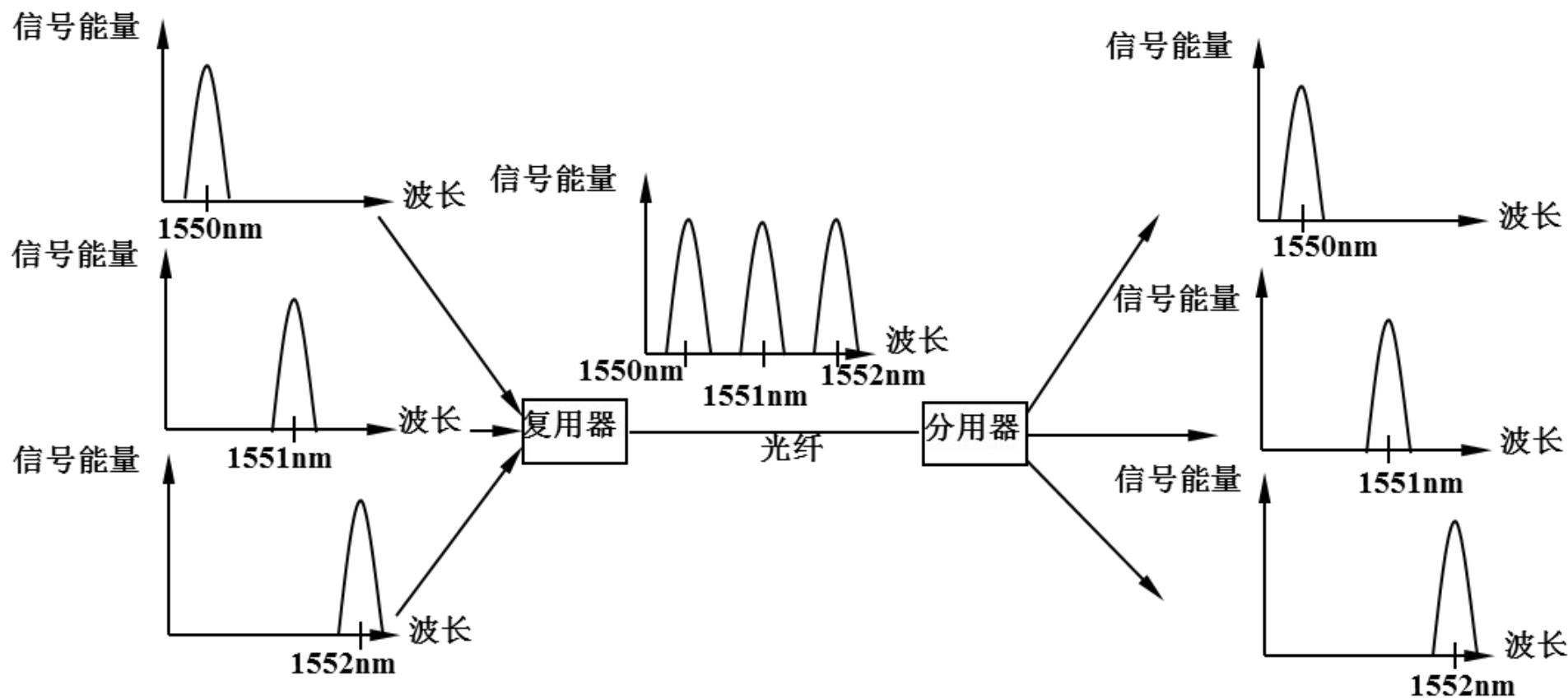
先由复用器将两路信号的频段分别调至 6MHz~12MHz 和 12MHz~18MHz，即完成**频谱搬移过程**，然后将三路位于三个不同频段的信号复合在一起进行传输，在接收端由分用器将信号还原为 0~6MHz，并根据**信号和频段间的固定对应关系**确定每一路信号

波分复用 WDM

整个波长频带被划分为若干个波长范围，每个用户占用一个波长范围来进行传输。



波分复用举例



码分复用 CDM

- ❖ 内涵等同于 **CDMA**
- ❖ 允许多个用户在同一时刻使用相同频带进行通信；
- ❖ 各用户使用经过特殊挑选的不同码型；
- ❖ 抗干扰能力强；
- ❖ 有效增大系统的通信容量
- ❖ 最初是用于军事通信，随着 **CDMA** 设备的价格和体积大幅度下降，现已广泛使用在民用移动通信中，特别是在无线局域网中。

2.2.3 差错控制技术

✂ 数据传送中的差错控制

传输中的差错都是由噪声引起的。噪声有两大类，一类是信道固有的、持续存在的随机热噪声；另一类是由外界特定的短暂原因所造成的冲击噪声。

热噪声引起的差错称为随机差错，它所引起的某位码元的差错是孤立的，与前后码元没有关系。它导致的随机错通常较少。

冲击噪声呈突发状，由其引起的差错称为突发错。冲击噪声幅度可能相当大，无法靠提高幅度来避免冲击噪声造成的差错，它是传输中产生差错的主要原因。冲击噪声虽然持续时间较短，但在一定的数据速率条件下，仍然会影响到一串码元。

差错控制技术

为保证数据传送的高效率和准确性，必须进行差错控制和处理，所以如何自动并及时检测传输中的差错并且能进一步自动校正成为一个非常关键的问题。

差错控制编码是在发送端被传输的信息码元中，以一定的编码规则附加一些冗余位即校验码元，接收端利用该规则进行相应的译码，译码的结果有可能发现差错或纠正差错。

在数据通信中利用抗干扰编码进行差错控制的方法有两种：
一、接收端发现错误后通过反馈信息要求发送端重发那一部分错误的信息，从而达到纠错的目的，称为检错重发 ARQ；
二、接收端发现错误后能自动纠正错误，称为前向纠错法 FEC。

差错控制技术

❖ 前向纠错方式:

- 特别适合于只提供单向信道的场合，同时也适合点到多点的广播方式。由于能自动纠错，不要求重发，故接收信号的时延小，但纠错能力越强，编码设备越复杂。

❖ 检错重发

- 接收端在收到信息后进行检验，并将结果反馈给发送方，发送端收到后进行分析，若接收方认为有错，发送端就将缓冲器中的数据再发送一次，直到接收端认为已收到正确的信息为止

差错控制技术

❖ 编码效率：

- 编码效率 R 是衡量编码性能好坏的一个重要指标，它是码字中信息位所占的比例， R 越大，编码效率越高。计算公式为：

$$R=k/n=k/(k+r)$$

- k 为码字中的信息位位数
- r 为编码时外加冗余位位数
- n 为编码后的码字长度

检错纠错技术举例

- ❖ 三位二进制的 8 种组合：000、001、010、011、100、101、110、111。
- ❖ 若是都用于传递信息，则传输过程中若出现一个误码，能否发现呢？
- ❖ 若是只选取其中四种 000、011、101、110 用于传递信息，则任何一组中若出现 1 位或 3 位错误都可检测出来，但能否纠正呢？其实这种情况相当于只传递 00、01、10、11 共 4 中信息，而第三位是保证码组中的 1 的个数是偶数个。
- ❖ 若进一步将许用码组限制为两种：000 和 111，则可以发现所有两位以下的错误，若是只有一位出错，还可以纠正。

1. 奇偶校验

奇偶校验码是一种最简单也是最基本的检错码，一维奇偶校验码的编码规则是把信息码元先分组，在每组最后加一位校验码元，使该码中 1 的数目为奇数或偶数，奇数时称为奇校验码，偶数时称为偶校验码。奇偶校验码的编码方式又分为垂直奇偶校验、水平奇偶校验和水平垂直奇偶校验

0100 1101 0011 0

1101 1010 0110 1

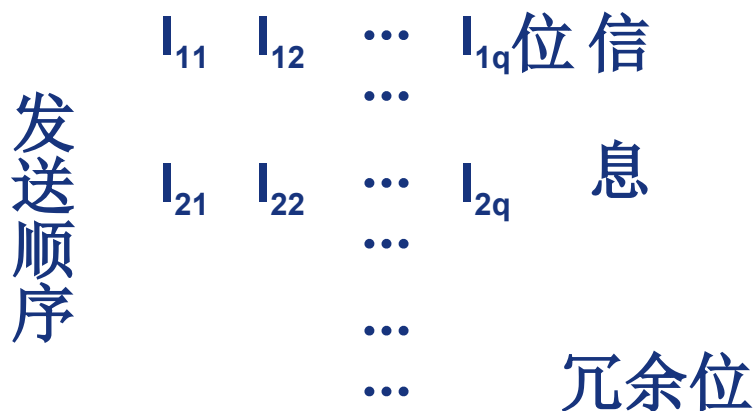
1011 0011 0101 1

0011 1010 1110 1

0001 1110 1110 1

(1) 垂直奇偶校验的特点及编码规则

❖ 垂直奇偶校验是将整个发送的信息块分成定长 **P** 位的若干段，每段后面添上相应的校验位。右图中，有 **pq** 位信息



其中 p 位构成一段，共 q 段，每段加上一位校验位

偶校验： $r_i = I_{1i} + I_{2i} + \cdots + I_{pi} \quad (i=1,2,\dots,q)$

奇校验： $r_i = I_{1i} + I_{2i} + \cdots + I_{pi} + 1 \quad (i=1,2,\dots,q)$

垂直奇偶校验的编码效率为 $R = p/(p+1)$

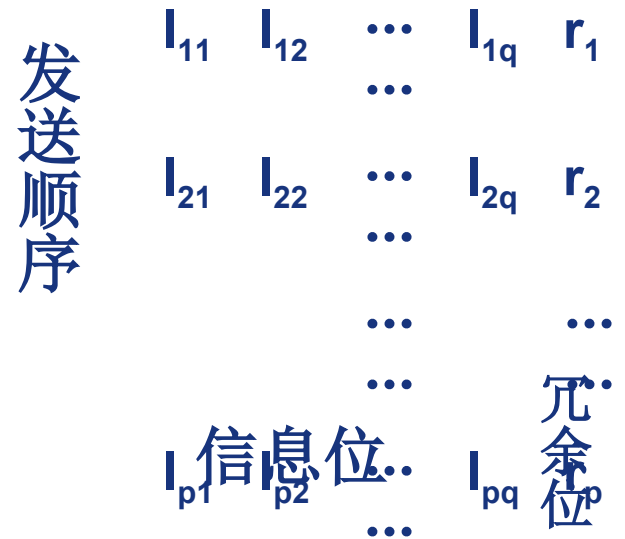
特点：垂直奇偶校验又称纵向奇偶校验，它能检测出每列中所有奇数个错，但检测不出偶数个错。因而对差错的漏检率接近 $1/2$ 。

举例说明

- ❖ 若存在要发送的位串如下：
- ❖ **1111 0101 1011 0001 0110 1100 1110
1010 1101 0111 0011 0010**
- ❖ 假设每 8 位作为一段，则按垂直偶校验编码后获得的校验位有几位，分别是什么？

（2）水平奇偶校验的特点及编码规则

- ❖ 考虑问题：在垂直奇偶校验中，对于突发错误检验效果如何？
- ❖ 为了降低对突发错误的漏检率，又引进了水平奇偶校验，它是对各个信息段的相应位横向进行编码，产生校验位。
- ❖ 右图中的信息位共分为 q 段，水平



奇偶校验不但可以检测各段同一位上的奇数位错误，而且可以检测出突发长度 $\leq p$ 的所有突发错误，但是实现水平奇偶校验时，不能在发送过程中边产生奇偶校验位边插入发送，而必须等要发送的完整信息块到齐后才能产生冗余位，因此必须使用记忆寄存器，实现起来要复杂些。编码效率为：

$$R = q / (q + 1)$$

举例说明

- ❖ 若存在要发送的位串如下：
- ❖ **1111 0101 1011 0001 0110 1100 1110
1010 1101 0111 0011 0010**
- ❖ 假设每 8 位作为一段，则按水平偶校验编码后获得的校验位有几位，分别是什么？

(3) 水平垂直奇偶校验

- ❖ 特点：能检测出所有 3 位或 3 位以下的错误、奇数个错、大部分偶数个错以及突发长度 $\leq p+1$ 的突发错误，还可用来纠正部分差错，有部分偶数个错不能检测出。

发送顺序

I_{11}	I_{12}		I_{1q}	$r_{1,q+1}$
I_{21}	I_{22}		I_{2q}	$r_{2,q+1}$
				
I_{p1}	I_{p2}		I_{pq}	$r_{p,q+1}$
$r_{p+1,1}$	$r_{p+1,2}$		$r_{p+1,q}$	$r_{p+1,q+1}$

若水平垂直都使用偶校验，则

$$r_{i,q+1} = I_{i1} + I_{i2} + \dots + I_{iq} \quad (i=1,2,\dots,p)$$

$$r_{p+1,j} = I_{1j} + I_{2j} + \dots + I_{pj} \quad (j=1,2,\dots,q)$$

$$r_{p+1,q+1} = r_{p+1,1} + r_{p+1,2} + \dots + r_{p+1,q} = r_{1,q+1} + r_{2,q+1} + \dots + r_{p,q+1}$$

举例说明

- ❖ 若存在要发送的位串如下：
- ❖ **1111 0101 1011 0001 0110 1100**
1110 1010 1101 0111 0011 0010
- ❖ 假设每 8 位作为一段，则按垂直水平偶校验编码后获得的校验位有几位，分别是什么？

2. 循环冗余码 CRC

循环冗余码（CRC，Cyclic Redundancy Code）校验（Check）是目前在计算机网络通信及存储器中应用最广泛的一种校验编码方法；

CRC 的工作过程是，在发送端要发送的信息位根据某个指定的生成多项式 $G(X)$ 左移若干位，然后按模 2 运算除以该生成多项式，所得到的余数作为循环冗余码（冗余的位数比生成多项式位数少 1 位），附加到信息位后面构成校验码，发送到接收端，接收端收到信息进行校验的方法是：让校验码按模 2 运算除以生成多项式（发送端所使用的），如果除得尽，表明所接收信息正确；如果除不尽，余数将指明出错位所在位置。

循环冗余码 CRC

多项式以 2 为模运算，即加法不进位，减法不借位。

使用该方法，需进行如下几个过程：

- ✂ 发送方在发送数据时要使用指定的生成多项式进行模 2 除法生成相应的冗余位；
- ✂ 接收方将收到的信息位用模 2 除法除以约定的生成多项式，以检查是否有错；

❖ 问题：

- ✂ 如有 K 位要发送的信息位，对应的多项式 $K(x)$ 为几次？
- ✂ 若要生成 r 位冗余位，需要的生成多项式 $G(x)$ 为几次？

循环冗余码举例

1. 若要发送的信息位串是 **1100**，指定的生成多项式 **$G(x)$** 是 **1011**，则求冗余校验码的方法如下：
 - 将信息码 **1100** 后填充 3 位冗余位 **000**，变成 **1100000**
 - 用 **1100000** 对 **1011** 进行模 2 除法运算，求得的余数（必须是 3 位）就是冗余码
 - 将冗余码附加在信息位 **1100** 后面就是循环冗余校验码
 - 假设传输无错，进行校验，观察结果
 - 假设某位出错，进行检验，观察结果
2. 若要发送的信息位串是 **1010001**，指定的生成多项式 **$G(x)$** 是 **1001**，求循环冗余校验码
3. 信息有效数据 **m** 是每个字符用 **7bit** 编码的 **ASCII** 码串 “**well**”，即 **m** 长 **28** 位，其中，**w=1110111**，**e=1100101**，**l=1101100**，取多项式 **$G=X^{12}+X^{11}+X^3+X^2+X+1$** 做循环冗余检验编码，求出冗余位 **r**（**011110001001**）

循环冗余码

	(7 , 4) 循环码		余数	出错位
	有效信息	校验位		
	A1A2A3A4A5A6A7			
正确	1100010		000	无
错误	1100011		001	7
	1100000		010	6
	1100110		100	5
	1101010		011	4
	1110010		110	3
	1000010		111	2
	0100010		101	1

Thank you!