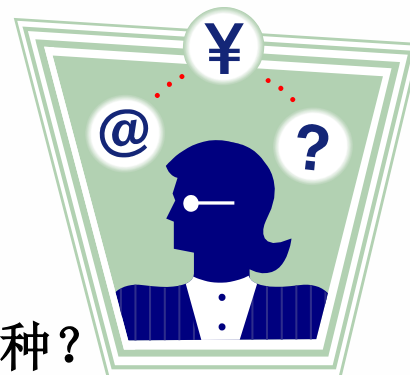




第三章 数据通信基础与物理层

课前思考

- 数据通信系统的基本模型？
- 信道的基本参数有哪些？
- 最大数据率如何确定？
- 什么叫模拟通信、数字通信？
- 模拟信号和数字信号如何相互转化？
- 什么叫同步传输和异步传输？
- 何谓多路复用技术？常用的多路复用技术有哪几种？
- 物理层协议涉及那些内容？





本章内容

3.1 数据通信基础

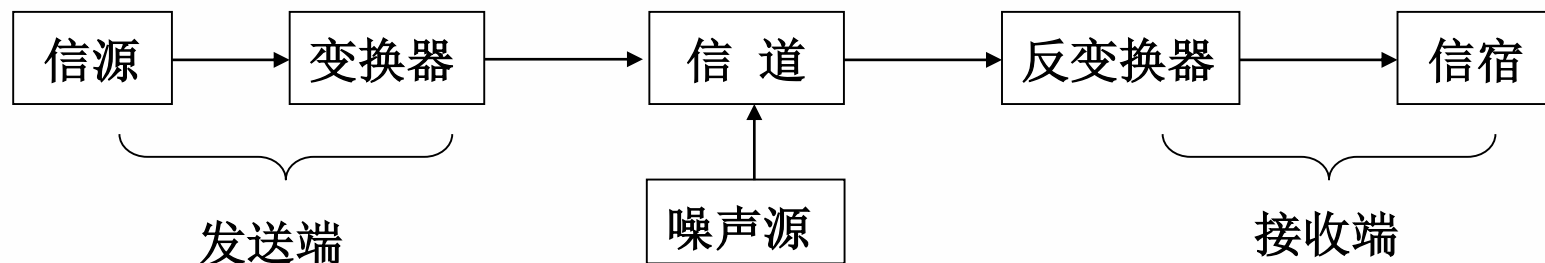
3.2 物理层协议

3.3 物理层协议举例



3.1 数据通信基础

3.1.1 通信系统模型



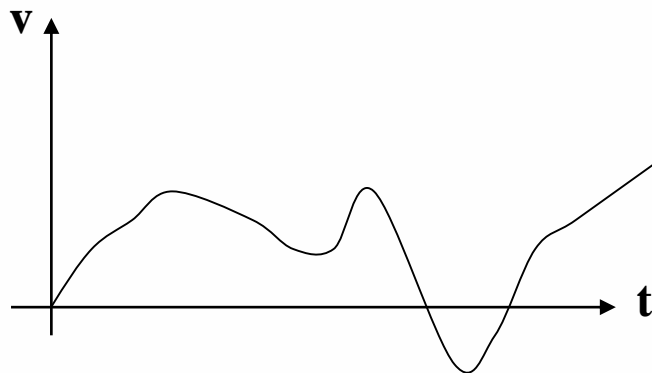
- 信源：将各种信息转换成原始物理信号，如计算机，手机，电话机等。
- 变换器/反变换器：对原始物理信号进行变换/反变换，以便适合在给定的信道上传输，如MODEM，TA(终端适配器)，光/电转换器等。
- 信道：传输信号的一条通路。一条物理线路可构成一个或多个信道。
- 噪声源：信道自身的噪声以及周围环境对信道的干扰。如热噪声，闪电，电磁场干扰等。
- 信宿：将物理信号转换为信息，如计算机，手机，电话机等。



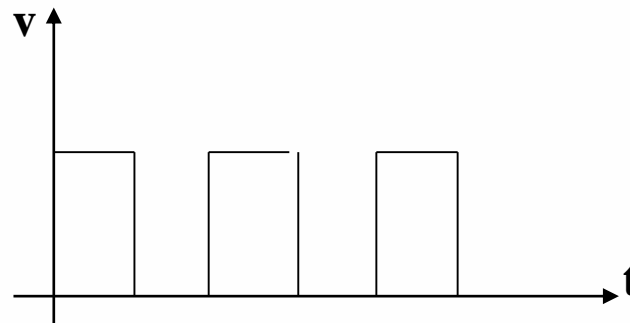
3.1 数据通信基础

3.1.2 模拟通信与数字通信

- 模拟信号：信号在传输过程中连续变化。
- 数字信号：信号在传输过程中离散变化。



模拟信号



数字信号

- 模拟通信：通过模拟信号来传输数据。
- 数字通信：通过数字信号来传输数据。



3.1 数据通信基础

● 数字通信的优点

- 抗干扰能力强。
- 适合远距离传输。
- 有利于安全性。
- 适合多媒体信息传输。

3.1.3 信号带宽

- 信号带宽: 信号能量所集中的频率范围 (频谱)。

例如: 语音信号占用的频率谱为 **300-3400Hz**, 那么带宽为 **3400-300=3100Hz**

- 对数字信号, 带宽 H 可近似表示为:

$$H = 1/\tau$$

τ 为脉冲宽度; 数据率越高, 脉宽越窄, 数字信号的带宽越大。



3.1 数据通信基础

3.1.4 信道

● 信道

- 信道：传输信号的一条通路。
- 信道通常由物理传输介质和通信设备（如MODEM，中继器，均衡器）组成。
- 一条物理线路可同时复用多个信道。

● 衡量信道质量的两个重要参数

- 信道的带宽。
- 信道的误码率。

● 信道带宽

- 信道带宽：信道允许传输信号的频率范围，单位为Hz。
如普通电话线的带宽是4000Hz。
- 对数字通信，通常用数据率来表示带宽。
数据率：信道每秒最多传输的二进制位数，单位为bps。



3.1 数据通信基础

- 信道带宽与数据率的关系

- 奈奎斯特定理（无噪声信道）

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

其中， C 为信道的数据率（即容量）； H 为信道带宽； L 为数字信号的离散取值数目。

- 香农定理（有噪声信道， L 不受限）

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

其中， S 为信号功率， N 为噪音功率， S/N 为信噪比。

- 例： $H=4000\text{Hz}$ ， $S/N=1023$ ， $L=8$ ；求 C 。

解：（1）由奈奎斯特定理：

$$C=2H \log_2 L=2 \times 4000 \log_2 8=24000 \quad (\text{bps})$$



3.1 数据通信基础

(2) 由香农定理:

$$\begin{aligned} C &= H \log_2(1+S/N) = 4000 \log_2(1+1023) \\ &= 40000 \text{bps} \end{aligned}$$

所以, 信道最大数据率为24000bps

- 波特率

- 波特率又称码元速率, 是指每秒传输码元的数目, 单位为波特 (*Baud*)。
- 若码元的离散取值数目为 L , 波特率为 B , 数据率为 C , 则:

$$C = B \log_2 L$$



3.1 数据通信基础

- 误码率

误码率：数字信号比特（二进制位）在传输过程中出错的概率。

$$P = Ne/N$$

其中， P 为误码率； Ne 为出错的比特数； N 为传输的总比特数。

- 信道的通信方向

- 单工信道

只允许数据信号在信道上的单向传输。如：无线电广播，电视。

- 半双工信道

数据信号可以在信道上双向传输，但同一时刻只允许单向传输。

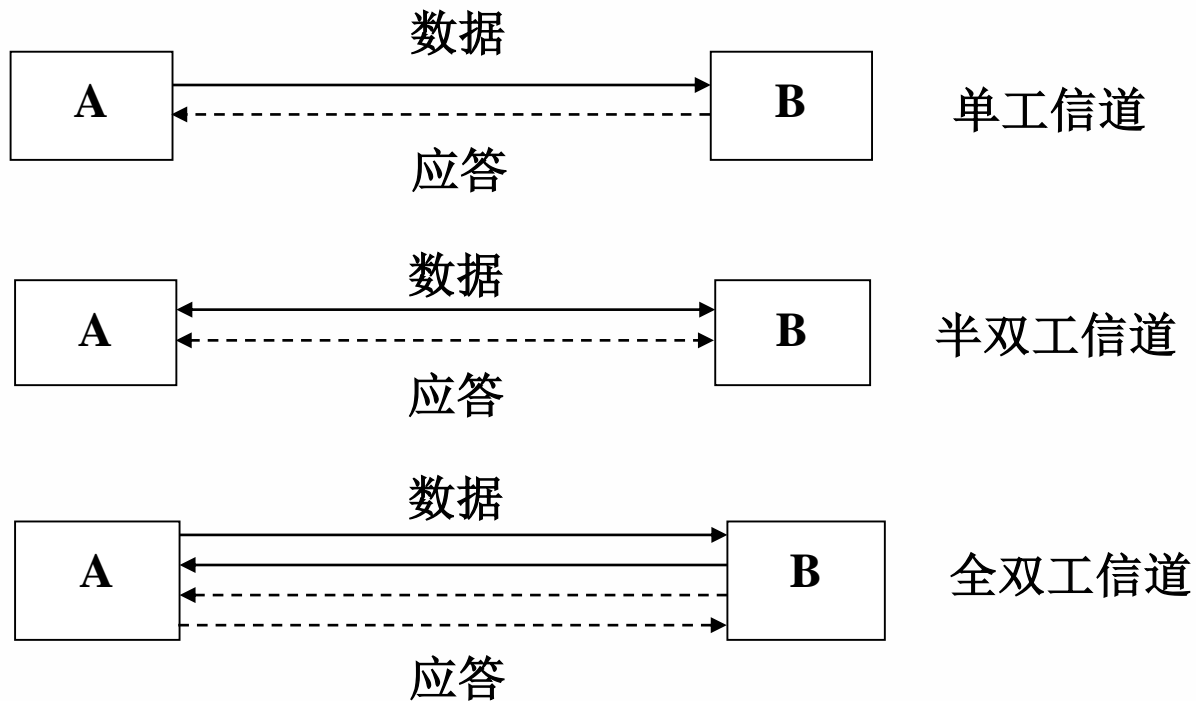
如：无线对讲机。

- 全双工信道

允许数据同时双向传输。如：计算机通信。



3.1 数据通信基础



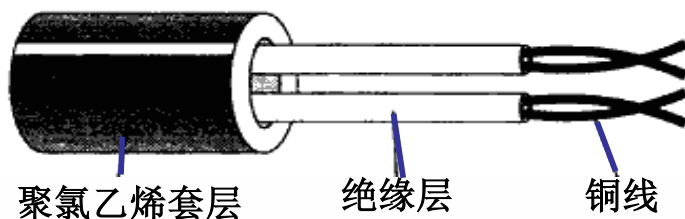


3.1 数据通信基础

3.1.5 物理传输媒体（通信介质）

- 双绞线

- 非屏蔽双绞线（UTP）



- 三类UTP

- 100 Ω , 100m, 10Mbps, 用于10BASE-T以太网。

- 五类UTP（目前常用）

- 100 Ω , 100m, 100Mbps, 用于100BASE-T以太网。

- 超五类UTP

- 100 Ω , 80m, 1000Mbps, 用于千兆以太网。

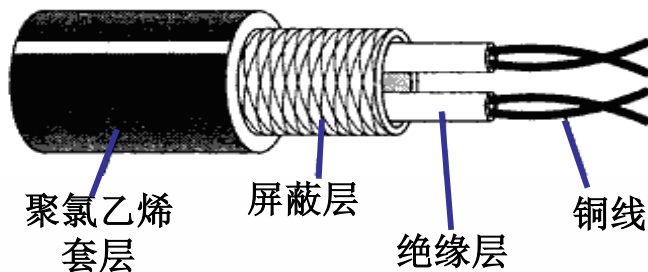
- 六类UTP

- 100 Ω , 100m, 1000Mbps, 用于千兆以太网。



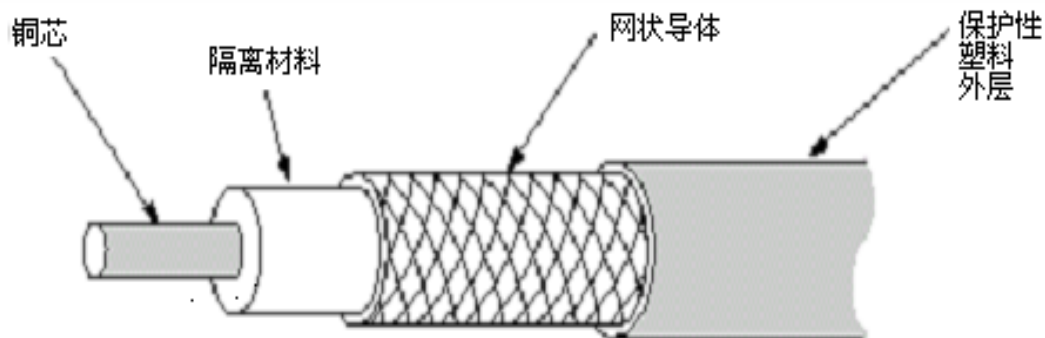
3.1 数据通信基础

- 屏蔽双绞线（STP）



- 抗干扰性能好。
- 价格昂贵、安装麻烦。

- 同轴电缆





3.1 数据通信基础

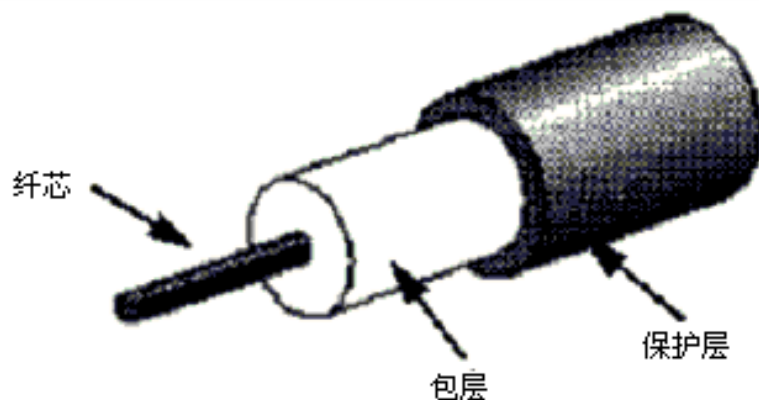
同轴电缆中央是一根铜导线，外包一层绝缘材料，这层绝缘材料又被第二层网状导体裹住，以屏蔽外界电磁干扰。

- 基带同轴电缆 (**50Ω**)
粗缆: 10BASE-5
细缆: 10BASE-2
- 宽带同轴电缆 (**75Ω**)
用于闭路电视。
- 与双绞线相比，同轴电缆传输距离长，抗干扰能力强，但价格贵，布线麻烦。



3.1 数据通信基础

● 光纤



光纤的中央是一根直径几十微米光导玻璃，外面用一层玻璃体包住，最外层是塑料保护层。多根光纤由外包层包裹在一起构成光缆。

光纤分为单模光纤和多模光纤两类。



3.1 数据通信基础

- 单模光纤

- 光线主要沿着光线的轴心向前传输
- 单模光纤传输距离较长，但对光源要求高。

- 多模光纤

- 光线沿着光纤以多种角度被包层反射向前传输。
- 多模光纤传输距离较短，但对光源要求不高。

- 光纤优点

- 容量大：可达几百Gbps。
- 距离远：100km（无需中继）。
- 抗干扰能力强：不受外部电磁场干扰。
- 化学性质稳定。



3.1 数据通信基础

● 无线传输媒体

无线传输以自由空间作为传输媒体，主要包括无线电波、微波、卫星通信、激光、红外线等。

● 无线电波划分

国际电信联盟将无线电波划分为：

- 低频：（LF）（30kHz — 300KHz）
- 中频：（MF）（300kHz — 3MHz）
- 高频：（HF）（3MHz — 30MHz）
- 甚高频：（VHF）（30MHz — 300MHz）
- 超高频：（UHF）（300MHz — 3GHz）
- 特高频：（SHF）（3GHz — 30GHz）
- 极高频：（EHF）（30GHz — 300GHz）



3.1 数据通信基础

- 无线电波的传播特性

- 低中频

- 能够绕过障碍物（绕射）；

- 能量随距离增加而急剧减少，传输距离有限。

- 高频和甚高频

- 能量会被地表吸收；

- 但能通过电离层反射。

- 超高频和特超高频（微波）

- 只能直线传播；

- 既不能绕射也不能反射。



3.1 数据通信基础

● 微波

- 微波频率大致为1GHz — 100GHz
- 用于无线局域网的微波频率范围为：
 - 2.4GHz — 2.484GHz
 - 5.725GHz — 5.825 GHz
 - 18.825GHz — 19.205GHz
- 微波通信必须要有微波中继站：100m高，相距小于80km。

● 卫星通信

- 卫星通信是一种特殊的微波通信，同步通信卫星作为微波中继站
- 与地面中继站相比，卫星的通信距离远，从理论上讲，三个同步卫星就能覆盖整个地球表面。
- 卫星通信的特点
 - (1) 传输延迟长达270ms。
 - (2) 通信费用与距离无关。
 - (3) 抗干扰能力差，甚至雨水也能吸收微波能量

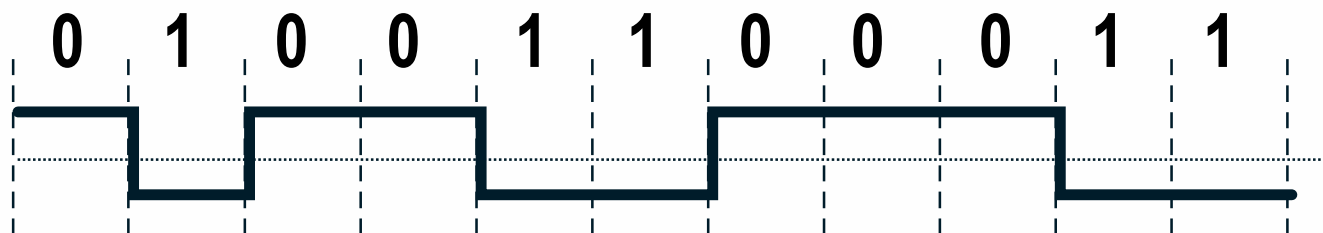


3.1 数据通信基础

3.1.6 数字信号的编码

数字信号的编码：用何种物理信号来表示“0”和“1”。

- 非归零编码（NRE: Non-Return to Zero）



以高电平表示“0”，低电平表示“1”，反之亦然。

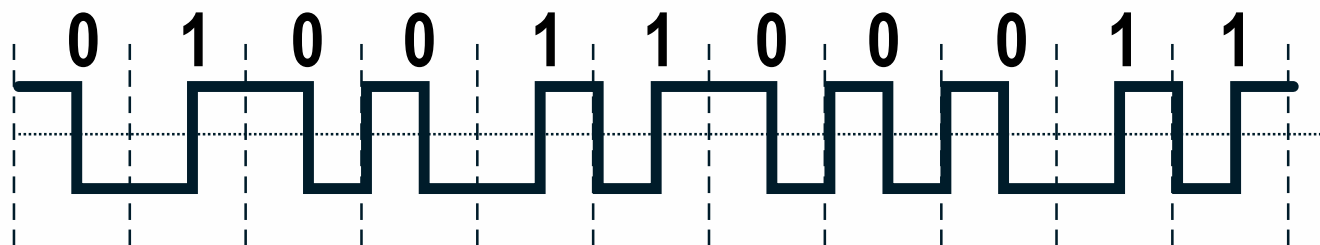
- 优点：编/译码简单。
- 缺点：内部不含时钟信号，收/发端同步困难。
- 用途：计算机内部，或低速数据通信。



3.1 数据通信基础

- 曼彻斯特编码 (Manchester Encoding)

每一位中间有一次跳变，既表示数据，又作为同步信号。从高电平跳变到低电平表示“0”，从低电平跳变到高电平表示“1”；反之亦然。



- 优点:

- 内部自含时钟，收/发端同步容易。
- 抗干扰能力强。

- 缺点:

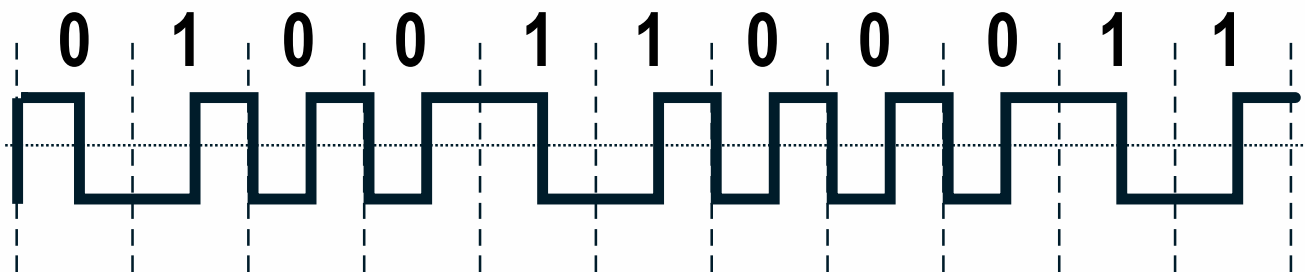
- 编/译码较复杂。
- 占用更多的信道带宽，在同样的波特率的情况下，要比非归零编码多占用一倍信道带宽。



3.1 数据通信基础

- 用途：802.3局域网（以太网）
- 差分曼彻斯特编码（Differential Manchester Encoding）

每一位中间也有一次跳变，但这种跳变仅作为同步信号，不表示数据。数据值通过每位开始时有无跳变来表示；有跳变表示“0”，无跳变表示“1”；反之亦然。



- 优点：
 - 内部自含时钟，收/发端同步容易。
 - 比曼彻斯特编码的抗干扰能力更强。



3.1 数据通信基础

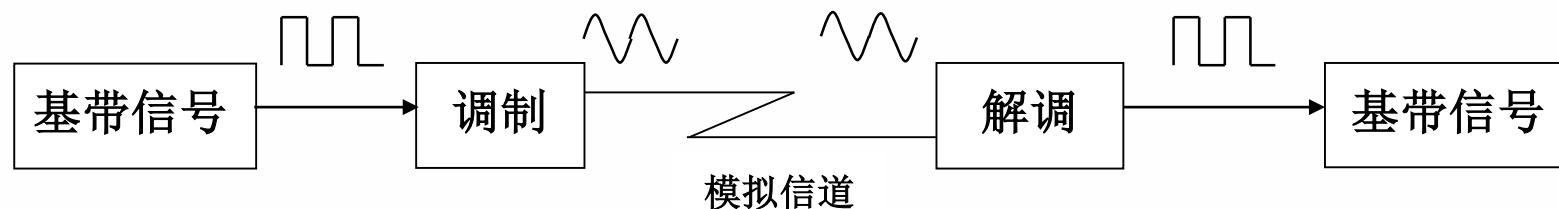
- 缺点：
 - 编/译码更复杂。
 - 同样需要多占用一倍信道带宽。
- 用途：802.5局域网（令牌环网）



3.1 数据通信基础

3.1.7 数字调制技术

- 数字信号的模拟传输



- 基带信号：由信源产生的原始电信号。
- 载波：频率较高的正弦波信号。
- 调制：将基带信号加载到载波上，即按基带信号的变化规律去改变载波的某些参数（振幅、频率、相位）。
- 解调：从载波中提取基带信号。



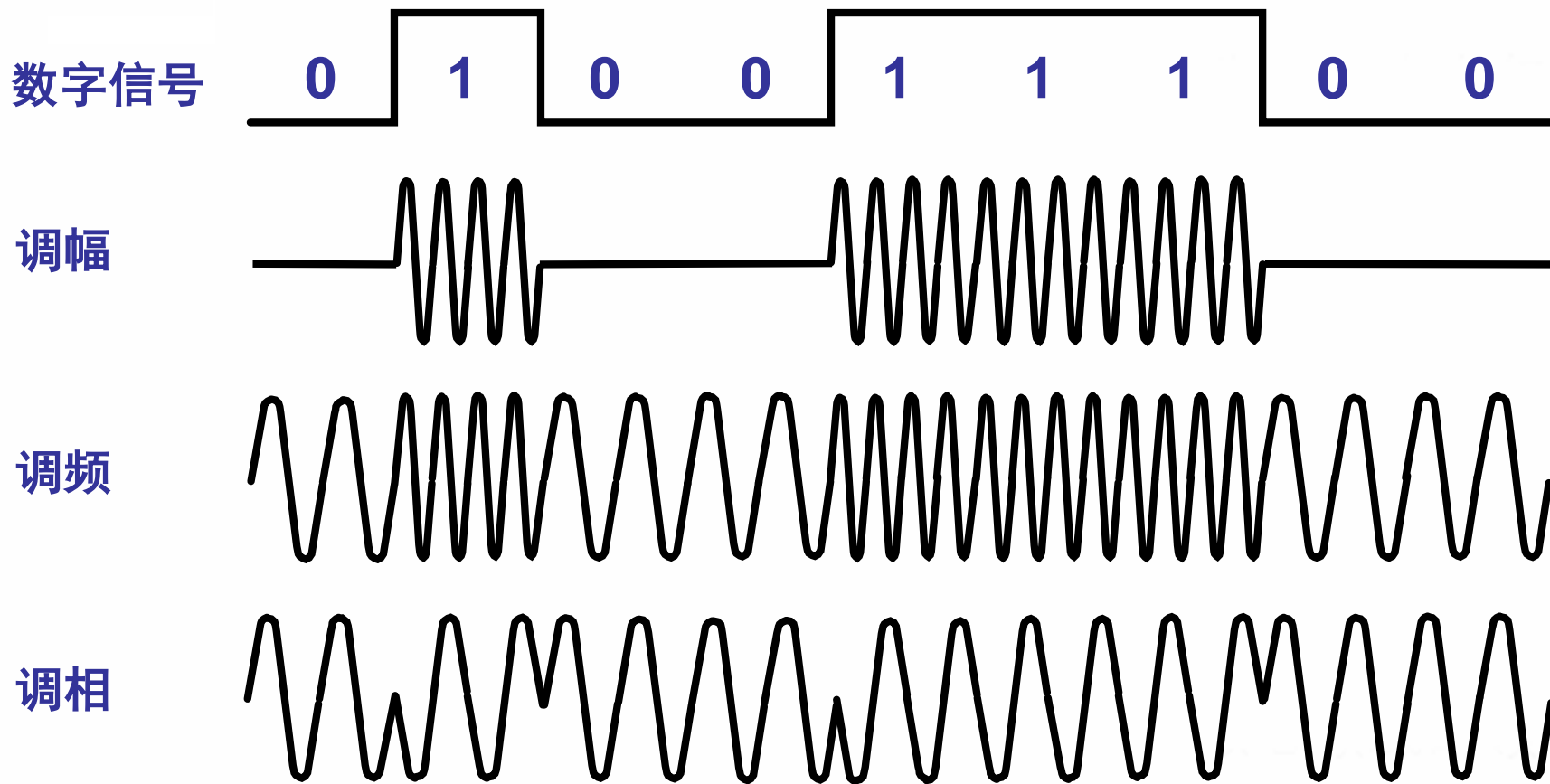
3.1 数据通信基础

● 调制技术

- 调幅：用载波信号不同振幅表示数据，， 又称幅移键控法**ASK**。
易受突发干扰， 适合低速数据传输， 典型为1200bps。
- 调频：用载波信号不同频率表示数据， 又称频移键控法**FSK**。
抗干扰优于调幅方式， 但频带利用率不高。
- 调相：用载波信号不同相位表示数据， 又称相移键控法**PSK**。
抗干扰能力强， 数据率高， 可达9600bps。



3.1 数据通信基础



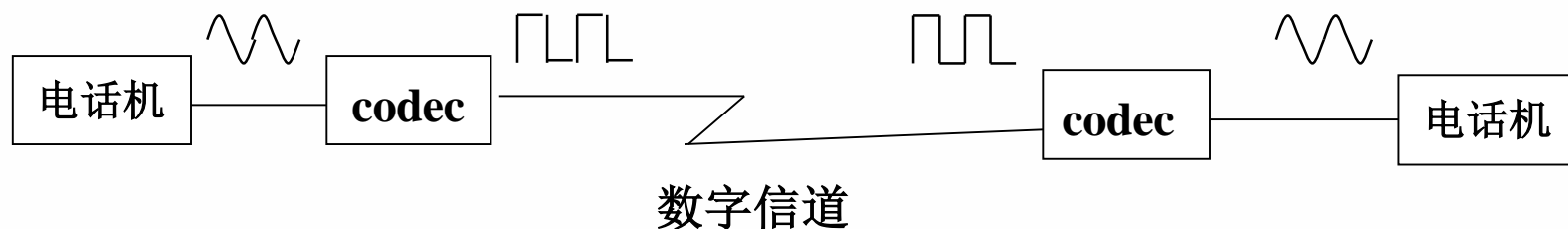
- 实际调制/解调器通常将调相技术和调幅技术相结合



3.1 数据通信基础

3.1.8 模拟信号的脉码调制

- 模拟信号的数字传输



codec: 编码/解码器

模拟信号的数字传输：模拟信号转化为数字信号，然后通过数字信道传输。

- 脉码调制（PCM, Pulse Code Modulation）

脉码调制（PCM）是最常用的数/模转化技术。

脉码调制步骤：采样、量化、编码。



3.1 数据通信基础

- 采样：按照一定的时间间隔测量模拟信号幅值。

采样定理：若模拟信号的带宽为 H ，则采用频率 B 只要大于或等于 $2H$ 就能够恢复原模拟信号。

即： $B \geq 2H$

例：电话语音信号带宽为 4000Hz ，则采样频率可取每秒 8000 次。
(或每 $125\mu\text{s}$ 采样一次)。

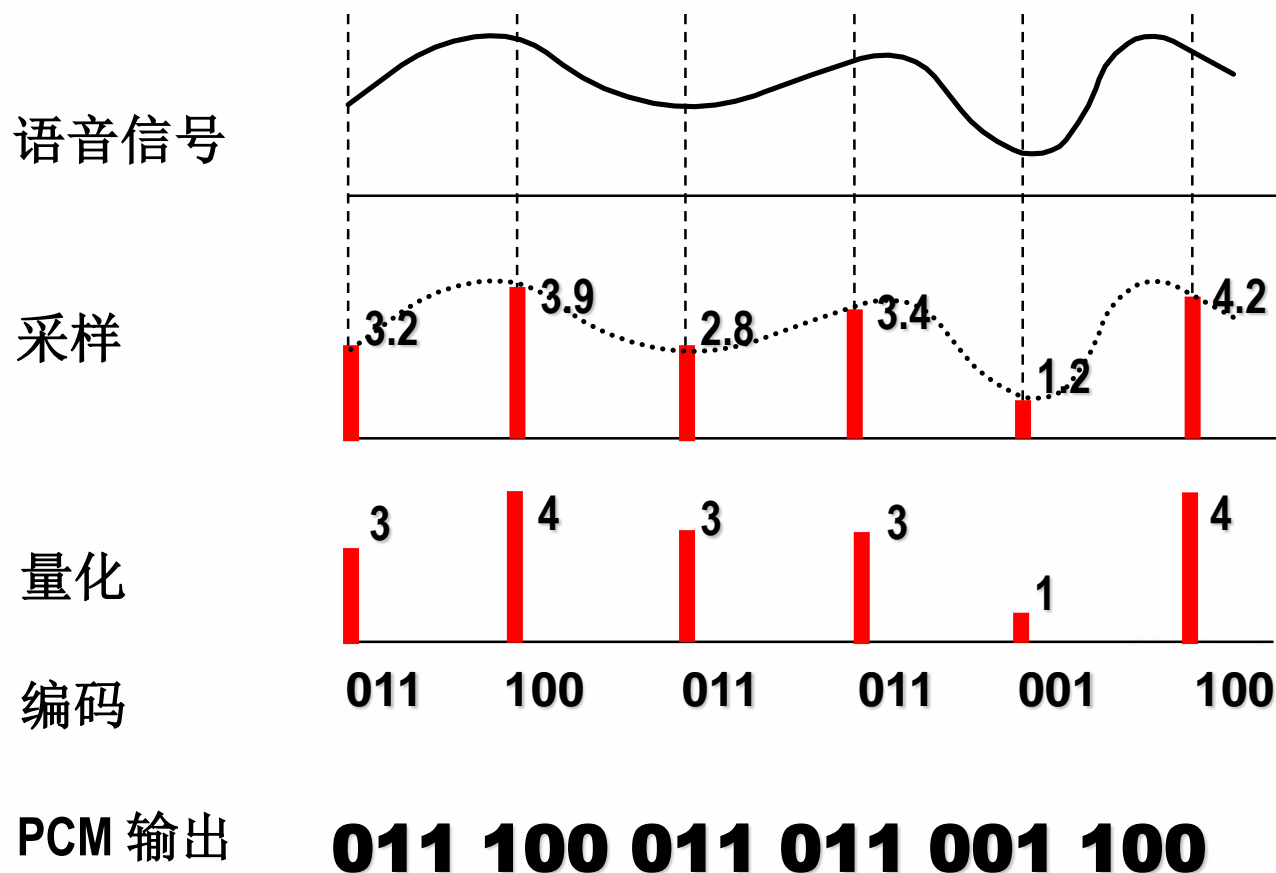
- 量化：将采样点测得的信号幅值分级取整。
 - 设数字信号的离散分级数目为 2^n ，则将采样值按 $0, 1, 2, \dots, 2^n-1$ 进行取整。
 - 量化误差：量化取整值与实际幅值之间的误差。
- 编码：将量化后的整数值用 n 位二进制数表示。



3.1 数据通信基础

● PCM编码举例

设数字信号的离散分级数目为 $2^3=8$ ，编码长度 $n=3$ 。





3.1 数据通信基础

- 若数字信号分级数为 2^n ，则量化值为0, 1, 2, ..., 2^n-1 ，每个采样值要用n位来编码。

例：

若数字信号分级数为128，量化值为0—127，则每个采样值要用7位来编码。

若数字信号分级数为64级，量化值为0—63，则每个采样值要用6位来编码。

.....

- 分级越多，误差越小，但每个采样值编码所需的比特数就越多。



3.1 数据通信基础

● 差分脉码调制

- 其输出值不是量化值本身，而是当前值和上一个值之差。
- 具有压缩作用。

例：如果按128级量化，PCM需要7个比特编码。但对多数模拟信号来讲，相邻采样点的差值大于16的可能性非常小，所以只要4个比特编码就可以了，而不需要7个比特。



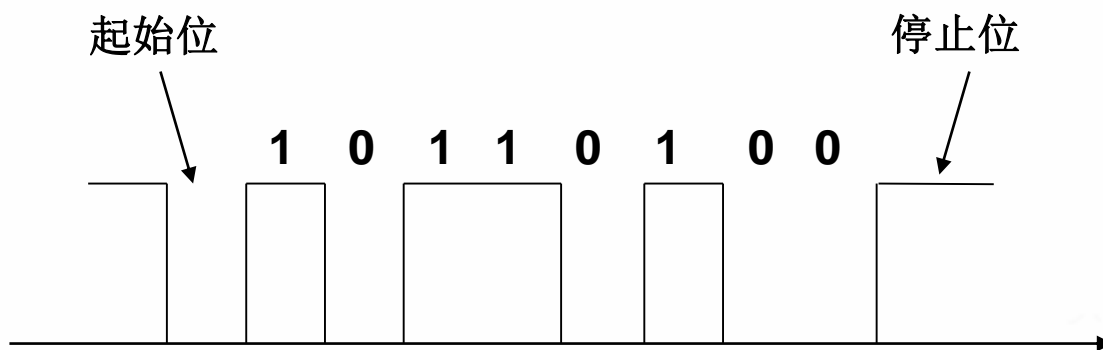
3.1 数据通信基础

3.1.9 数据同步方式

- 同步：接收端按发送端发送代码的频率和起止时间来接收数据。

数据同步方式主要有两种：字符同步和位同步。

- 字符同步方式（异步通信）：仅针对一个字符内所含的二进制位进行同步。



起始位为低电平（1位），标志一个字符的开始；停止位为高电平（1.5或2位），标志一个字符的结束。



3.1 数据通信基础

- 优点：时钟漂移被限制在一个字符内，不会产生太大的积累误差。因此对同步精度要求不高，同步容易。
 - 缺点：每个字符均有起始/停止位，因而传输效率较低。
 - 适用：低速通信。
-
- 位同步（同步通信）：针对一个数据块内所含的二进制位进行同步。
 - 同步位模式：通常为“01111110”，标志一个数据块的开始和结束。
 - 优点：每个数据块仅需要2个同步位模式的额外开销，因而传输效率高。
 - 缺点：由于一个数据块所含位数较多，易产生时钟漂移积累误差而导致数据出错，因此对同步精度求高，同步困难。例：设数据块为1K字节，则每次连续同步位数为 $1024 \times 8 = 8192$ 位。
 - 适用：高速通信。
 - 实现位同步的两种方法：
 - 外同步：为发送端和接收端提供专门的同步时钟信号。
 - 内同步：不单独发同步时钟信号，而是将同步信号嵌入数据编码内部，如曼彻斯特编码或差分曼彻斯特编码。



3.1 数据通信基础

3.1.10 多路复用技术

- 多路复用

- 多路复用：将多个信道复用在一條物理线路上，使一條物理线路能够同时传输多路数据信号。

- 多路复用技术分类

- 频分多路复用 (FDM)
- 时分多路复用 (TDM)
- 统计时分多路复用 (统计TDM)

- 频分多路复用：将一條物理线路的总带宽分割成若干个较小带宽的子信道，每个子信道传输一路信号。

- 子信道分割技术：将不同信号加载到不同载波上，实现信号频移。
- 频分多路复用的典型应用：电话中继线。



3.1 数据通信基础

- 时分多路复用: 将一条高速物理线路的传输时间划分成若干相等的时间片, 轮流地为多路信号使用。
- 数据不丢失条件
 $C_H \geq \sum C_i$, 其中 C_H 为高速线路容量 (数据率), C_i 为低速线路容量。
- 缺点: 没有数据传输的低速线路仍分配时间片, 可能出现空闲的时间片, 浪费信道带宽。
- 时分多路复用的典型应用: T1信道。
- 统计时分多路复用: 采用动态分配时间策略, 即有数据要传输的线路才分配时间片。
- 允许 $C_H < \sum C_i$
- 优点: 不会出现空闲的时间片, 信道利用率高。



3.2 物理层协议

- 物理层协议在通信系统中的地位



DTE: 数据终端设备

DCE: 数据通信设备

物理层协议实际上就是通信接口标准，其意义是：只要遵循相同的通信接口标准，任何DTE和DCE均能够衔接而无需关心对方的实现细节。

- 物理层协议涉及的内容



3.2 物理层协议

- 机械特性：规定接口的扦头（座）的规格，尺寸，扦脚数目等。
- 功能特性：对接口各信号线的功能和作用进行定义和说明。
- 规程特性：规定各信号线之间的相互关系，动作发生的先后次序。
- 电气特性：规定信号的传输速率，电平关系，负载要求和电缆长度等。

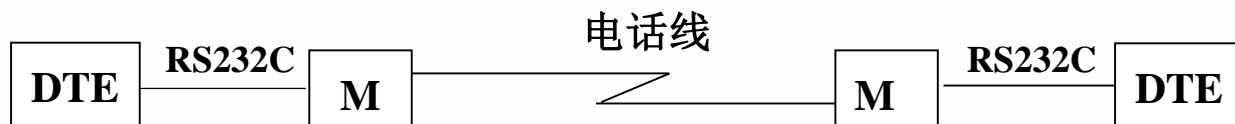
● 四类主要物理层协议

- 美国电子工业协会EIA制定的RS-232-C，RS-422A，RS-423A，RS-449，RS-485，RS-530等串行接口标准。
- CCITT(现改名为ITU)制定的X系列和V系列接口标准。
- V系列定义了数字设备与模拟信道的接口标准，适用于电话信道的数据通信。
- X系列定义了数据设备与数据信道的接口标准，适用于公用数据网的数据通信。
- ISO制定的ISO2110, ISO4902, ISO4903, ISO1177等接口标准。
- IEEE802物理层规范。



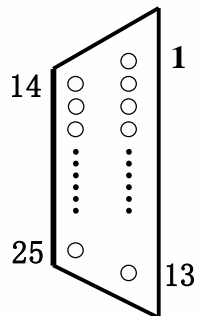
3.3 物理层协议举例

- EIA 于1969年制定 **RS-232C** 串行接口标准，该标准与 CCITT 的 **V.24** 兼容，是广泛使用的物理层协议。



DTE通常为PC机，M为调制/解调器。

- **RS-232C** 串行接口标准
 - 机械特性：采用 **DB-25(25脚)** 标准连接器。





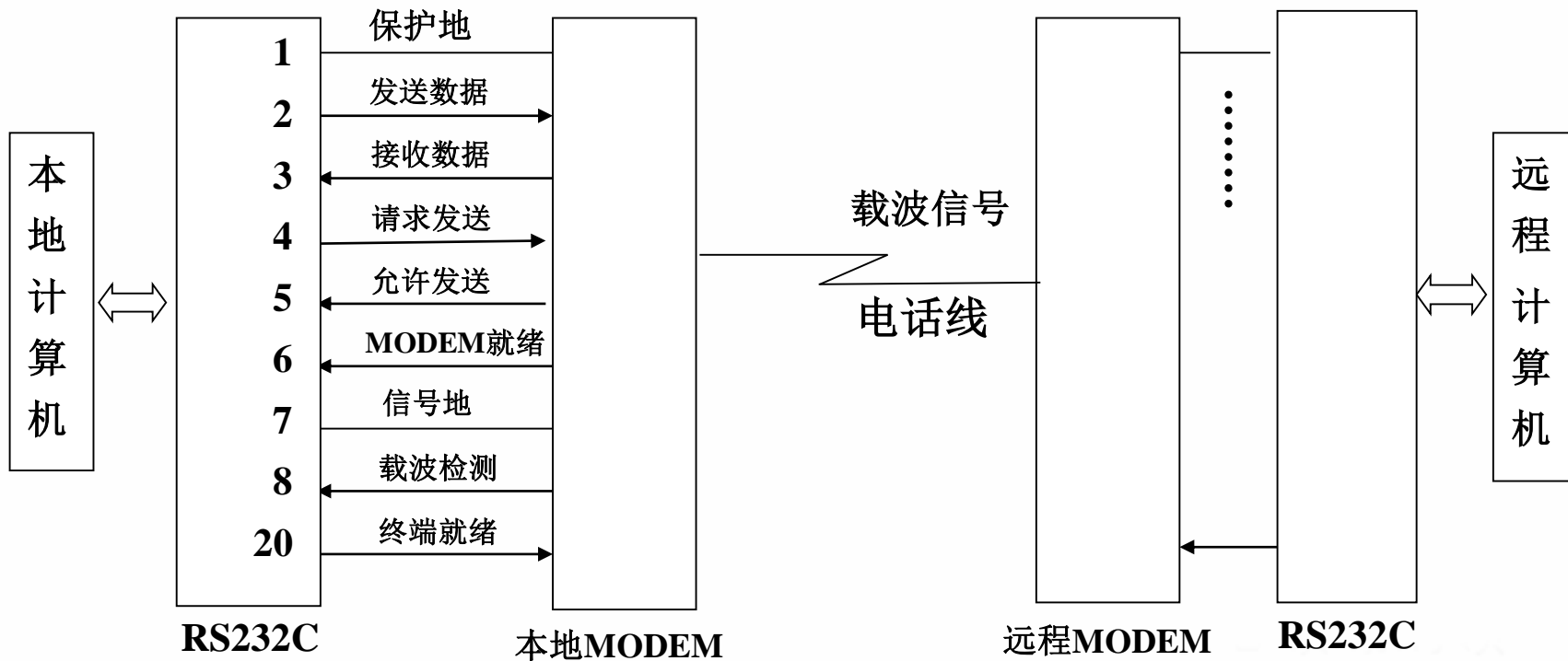
3.3 物理层协议举例

- 电气特性
 - 低电平 ($< -3V$) : “1”
 - 高电平 ($> +3V$) : “0”
 - 最高电平: $\pm 12V$
 - 电缆长度: 不超过15m
 - 通信速率: $< 20Kbps$
 - 标准速率: 19.2kbps, 9600bps, 4800bps, 2400bps, 1200bps...
- 功能特性



3.3 物理层协议举例

- 规程特性





本章小结

● 主要内容

- 物理层相关的数据通信领域的背景知识，包括数据通信基本概念、模拟通信与数字通信、传输介质、数据编码、数据同步、数字调制技术、脉码调制、数据传输方式、多路复用技术等。
- 物理层协议涉及的内容、RS-232C。

● 重点

- 信道带宽、数据编码、数据同步、数字调制技术、脉码调制。