

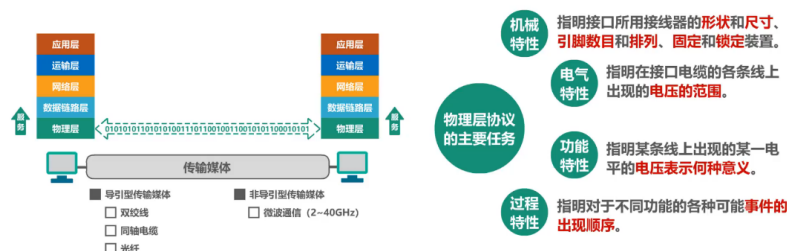
## 第2章 物理层

### • 物理层的基本概念

- 物理层考虑的是**怎样才能在连接各种计算机的传输媒体上传输数据比特流，而不是指具体的传输媒体**
- 物理层为数据链路层屏蔽了各种传输媒体和通信手段的差异，使数据链路层只需要考虑如何完成本层的协议和服务，而不必考虑网络具体的传输媒体和通信手段是什么
- 物理层协议的主要任务：确定与传输媒体的接口有关的一些特性
  - **机械特性**：指明接口所用接线器的形状和尺寸、引脚数目和排列、固定和锁定装置等；平时常见的各种规格的接插件都有严格的标准化的规定
  - **电气特性**：指明在接口电缆的各条线上出现的电压的范围
  - **功能特性**：指明某条线上出现的某一电平的电压的意义
  - **过程特性**：指明对于不同功能的各种可能事件的出现顺序

■ 物理层考虑的是怎样才能在连接各种计算机的传输媒体上传输数据比特流。

■ 物理层为数据链路层屏蔽了各种传输媒体的差异，使数据链路层只需要考虑如何完成本层的协议和服务，而不必考虑网络具体的传输媒体是什么。



### • 数据通信的基础知识

#### • 数据通信系统

- **源系统**（发送端，发送方）：包括**源点和发送器**
- **传输系统**（传输网络）
- **目的系统**（接收端，接收方）：包括**接收器和终点**

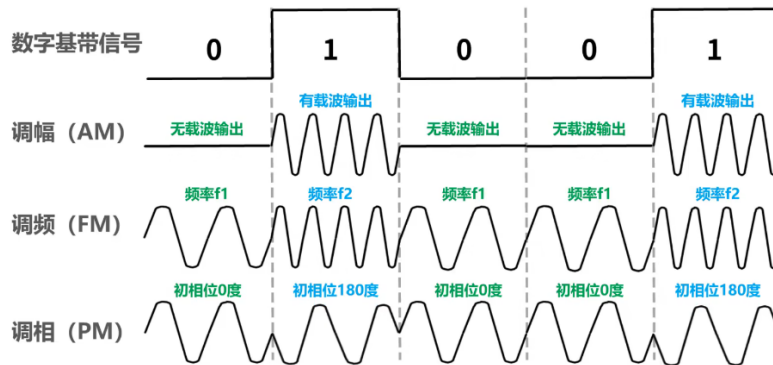
#### • 常用术语

- 通信的目的是传送消息
- **消息**（message）：**通信系统中传输的具体对象**（如话音、文字、图像、视频等都是消息）
- **数据**（data）：**是运送消息的实体**
- **信号**（signal）：**是数据的电气或电磁的表现**

#### • 信道的基本概念

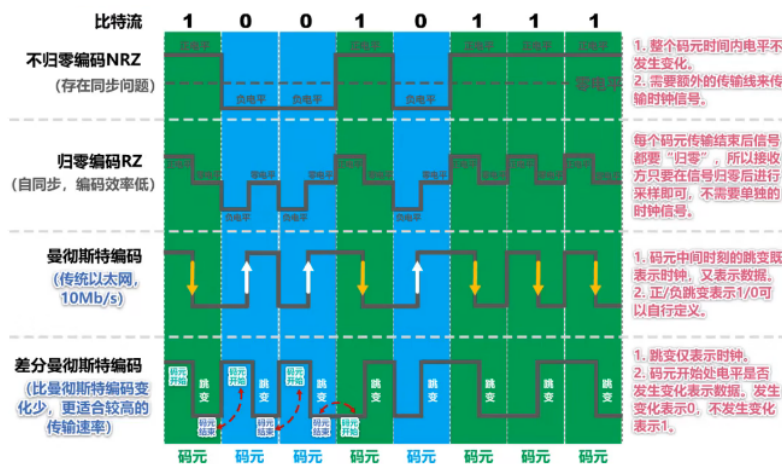
- 信道的交互方式
  - **单向通信**（单工通信）
  - **双向交替通信**（半双工通信）

- 双向同时通信（全双工通信）
- 调制：将基带信号（来自信源的信号）转换为模拟信号
  - 基本调制方法



- 调幅 (AM)：载波的振幅随基带数字信号而变化
- 调频 (FM)：载波的频率随基带数字信号而变化
- 调相 (PM)：载波的初始相位随基带数字信号而变化
- 混合调制方法：正交振幅调制QAM
- 编码：将基带信号转换为数字信号

- 常用编码方法



- 码元：代表数字信号不同离散数值的基本波形；一个M进制（M种振幅）码元携带 $\log_2(M)$ 个比特；传统以太网的波特率为20M Baud（两个码元携带一个比特）
- 信道的极限容量
  - 信道所能通过的频率范围
  - 奈氏准则

| 奈氏准则  | 在假定的理想条件下，为了避免码间串扰，码元传输速率是有上限的。 |
|---|---------------------------------|
| 理想低通信道的最高码元传输速率 = $2W$ Baud = $2W$ 码元/秒   |                                 |
| 理想带通信道的最高码元传输速率 = $W$ Baud = $W$ 码元/秒   |                                 |
| W: 信道带宽 (单位为Hz)   |                                 |
| Baud: 波特，即码元/秒  |                                 |
| 码元传输速率又称为波特率、调制速率、波形速率或符号速率。它与比特率有一定关系： <ul style="list-style-type: none"> <li>□ 当1个码元只携带1比特的信息量时，则波特率（码元/秒）与比特率（比特/秒）在数值上是相等的；</li> <li>□ 当1个码元携带n比特的信息量时，则波特率转换成比特率时，数值要乘以n。</li> </ul> |                                 |
| 要提高信息传输速率（比特率），就必须设法使每一个码元能携带更多个比特的信息量。这需要采用多元制。  |                                 |
| 实际的信道所能传输的最高码元速率，要明显低于奈氏准则给出的这个上限数值。  |                                 |

- 信噪比 (S/N)

- 香农公式

|  |   |
|--|---|
| 香农公式   | 带宽受限且有高斯白噪声干扰的信道的极限信息传输速率。  |
| $C = W \times \log_2(1 + \frac{S}{N})$                   |   |
| C: 信道的极限信息传输速率 (单位: b/s)                                 | 信道带宽或信道中信噪比越大, 信息的极限传输速率越高。   |
| W: 信道带宽 (单位: Hz)   | 在实际信道上能够达到的信息传输速率要比该公式的极限传输速率低不少。这是因为在实际信道中, 信号还要受到其他一些损伤, 如各种脉冲干扰、信号在传输中的衰减和失真等, 这些因素在香农公式中并未考虑。 |
| S: 信道内所传信号的平均功率  |   |
| N: 信道内的高斯噪声功率  |   |
| S/N: 信噪比, 使用分贝 (dB) 作为度量单位                               |   |
| 信噪比 (dB) = 10 × log <sub>10</sub> ( $\frac{S}{N}$ ) (dB) |   |

- 奈氏准则和香农公式的意义

|      |  |
|------|--|
| 奈氏准则 | 理想低通信道的最高码元传输速率 = 2W Baud = 2W (单位: 码元/秒)<br>理想带通信道的最高码元传输速率 = W Baud = W (单位: 码元/秒) |
|------|--|

|      |  |
|------|--|
| 香农公式 | $C = W \times \log_2(1 + \frac{S}{N})$ (单位: bit/s) |
|------|--|

- 在信道带宽一定的情况下, 根据奈氏准则和香农公式, 要想提高信息的传输速率就必须采用多元制 (更好的调制方法) 和努力提高信道中的信噪比。
- 自从香农公式发表后, 各种新的信号处理和调制方法就不断出现, 其目的都是为了尽可能地接近香农公式给出的传输速率极限。

- 物理层下面的传输媒体

- 导引型传输媒体

- 双绞线: 绞合可减少相邻导线的电磁干扰; 分为无屏蔽双绞线UTP和屏蔽双绞线STP; 传统以太网使用双绞线
    - 同轴电缆: 抗干扰特性好, 广泛用于传输较高速率的数据; 但价格较贵且布线不够灵活方便; 在局域网领域基本都采用双绞线作为传输媒体

- 光纤

- 多模光纤: 存在多条不同角度入射的光线在一条光纤中传输; 只适合近距离传输
    - 多模光纤: 使光线一直向前传播, 而不会产生多次反射; 信号衰耗小
    - 优点
      - 通信容量大 (25000~30000 GHz的带宽)
      - 传输损耗小, 中继距离长, 对远距离传输特别经济
      - 抗雷电和电子干扰性能好, 这在有大电流脉冲干扰的环境下尤为重要
      - 无串音干扰, 保密性好, 不易被窃听和截取数据
      - 体积小, 重量轻

- 非导引型传输媒体

- 无线电波

- 中低频: 采用地面波直线传播
      - 高频 (短波): 主要靠电离层的反射

- 微波

- 微波接力：为实现远距离通信必须在一条微波通信信道的两个终端之间建立若干个中继站，中继站把前一站送来的信号经过放大后再送到下一站
- 卫星通信：在地球站之间利用位于约3万6千公里高空的热闹同步地球卫星作为中继器的一种微波接力通信；最大特点是通信距离远；传播时延较大
- 特点：频带宽、通信容量大、信号所受干扰较小

- 红外通信、激光通信

- 信道复用技术

- 频分复用FDM：各路信号在相同的时间占用不同的带宽资源
  - 频分多址FDMA：让多个用户各使用一个频带，或让更多的用户轮流使用多个频带
- 时分复用TDM（同步时分复用）：所有用户在不同的时间占用相同的频带宽度
  - 时分多址TDMA：让多个用户各使用一个时隙，或让更多的用户轮流使用这几个时隙
- 统计时分复用STDM（异步时分复用）
- 波分复用WDM：就是光的分频复用
- 密集波分复用DWDM：把多路的光载波信号复用到一根光纤中来传输
- 码分复用CDM：每一个用户可以在相同的时间使用相同的频带进行通信；各用户经过特殊挑选的不同码型，因此个用户之间不会造成干扰；抗干扰能力强
  - 码分多址CDMA：码分复用信道为多个不同地址的用户所共享

- 码片序列

■ 在CDMA中，每一个比特时间再划分为m个短的间隔，称为码片（Chip）。通常m的值是64或128。为了简单起见，在后续的举例中，我们假设m为8。

■ 使用CDMA的每一个站被指派一个唯一的m bit码片序列（Chip Sequence）。直接序列扩频 DSSS

□ 一个站如果要发送比特1，则发送它自己的m bit码片序列；

□ 一个站如果要发送比特0，则发送它自己的m bit码片序列的二进制反码；

■ 码片序列的挑选原则如下：

1. 分配给每个站的码片序列必须各不相同，实际常采用伪随机码序列。

2. 分配给每个站的码片序列必须相互正交（规格化内积为0）。

令向量S表示站S的码片序列，令向量T表示其他任何站的码片序列。

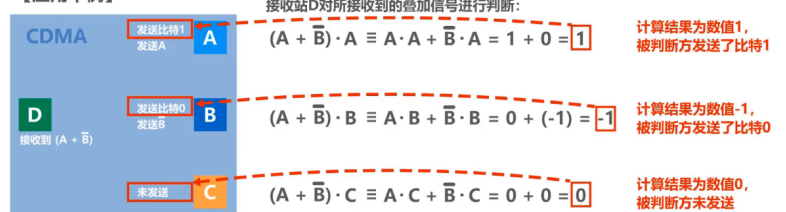
两个不同站S和T的码片序列正交，就是向量S和T的规格化内积为0：

$$S \cdot T \equiv \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i T_i = 0 \quad S \cdot \bar{T} \equiv 0$$

$$S \cdot S \equiv \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i S_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i^2 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\pm 1)^2 = 1 \quad S \cdot \bar{S} \equiv -1$$

- 用收到的码片序列分别与各站的码片序列进行求内积运算；若计算结果为数值1，则被判断的站发送了比特1；若计算结果为数值-1，则被判断的站发送了比特0；若计算结果为数值0，则被判断的站未发送数据

【应用举例】



参考公式  $S \cdot T \equiv 0 \quad S \cdot \bar{T} \equiv 0$   
 $S \cdot S \equiv 1 \quad S \cdot \bar{S} \equiv -1$

- 码分复用CDM是另一种共享信道的方法。实际上，由于该技术主要用于多址接入，人们更常用的名词是码分多址CDMA(Code Division Multiple Access)。
- 同理，频分复用FDM和时分复用TDM同样可用于多址接入，相应的名词是频分多址FDMA(Frequency Division Multiple Access)和时分多址TDMA(Time Division Multiple Access)。
- 在本课程中，我们不严格区分复用与多址的概念。可简单理解如下：
  - 复用是将单一媒体的频带资源划分成很多子信道，这些子信道之间相互独立，互不干扰。从媒体的整体频带资源上看，每个子信道只占用该媒体频带资源的一部分。
  - 多址（更确切地应该称为多点接入）处理的是动态分配信道给用户。这在用户仅仅暂时性地占用信道的应用中是必须的，而所有的移动通信系统基本上都属于这种情况。相反，在信道永久性地分配给用户的应用中，多址是不需要的（对于无线广播或电视广播就是这样）。

## • 数字传输系统

- 脉冲编码调制PCM：最初在数字传输系统中使用的传输标准
- 同步光纤网SONET（美国标准）：第1级同步传送信号STS-1；第1级光载波OC-1
- 同步数字系列SDH（国际标准）：第1级同步传递模块STM-1

## • 宽带接入技术

- 非对称数字用户线ADSL技术：用数字技术对现有的模拟电话用户线进行改造；我国采用离散多音调DMT调制技术
  - 优点：利用现有电话网中的用户线，不需要重新布线
  - 缺点：对用户线的质量有较高的要求
- 光纤同轴混合网HCF：在有线网的基础上开发的
  - 优点：覆盖面广，带宽高
  - 缺点：必须对现有单向传输的有线电视进行改造，使其变为可双向通信的电缆
- FTTx技术：光纤到x，x代表不同的光纤接入地点
  - 是解决宽带接入最理想的方案；光纤可传送的数据率很高，且通信质量最好，价格便宜
  - 无源光网络PON
    - 以太网无源光网络EPON：在链路层使用以太网协议，利用PON的拓扑结构实现以太网的接入；与现有以太网的兼容性好，并且成本低，扩展性强，管理方便
    - 吉比特无源光网络GPON：采用通用封装方法GEM；可承载多业务，对各种业务类型都能提供服务质量保证，是很有潜力的宽带光纤接入技术

以上内容整理于 [幕布文档](#)