

&&2.1 基本概念

2.1.1 物理层的功能&作用

- 物理层解决的问题：物理层考虑的是怎样才能在连接各台计算机的传输媒体上传输数据的比特流，而不是连接计算机的具体物理设备或者具体的传输媒体。
- 物理层的作用：物理层的作用是实现相邻计算机节点之间比特流的透明传送，尽可能屏蔽掉具体传输介质和物理设备的差异，使其上面的数据链路层不必考虑网络的具体传输介质是什么。
- 在物理层上所传送的是比特流，单位是比特（bit）。

注：“透明传送比特流”表示经实际电路传送后的比特流没有发生变化，对传送的比特流来说，这个电路好像是看不见的。

2.1.2 数据和信号的概念

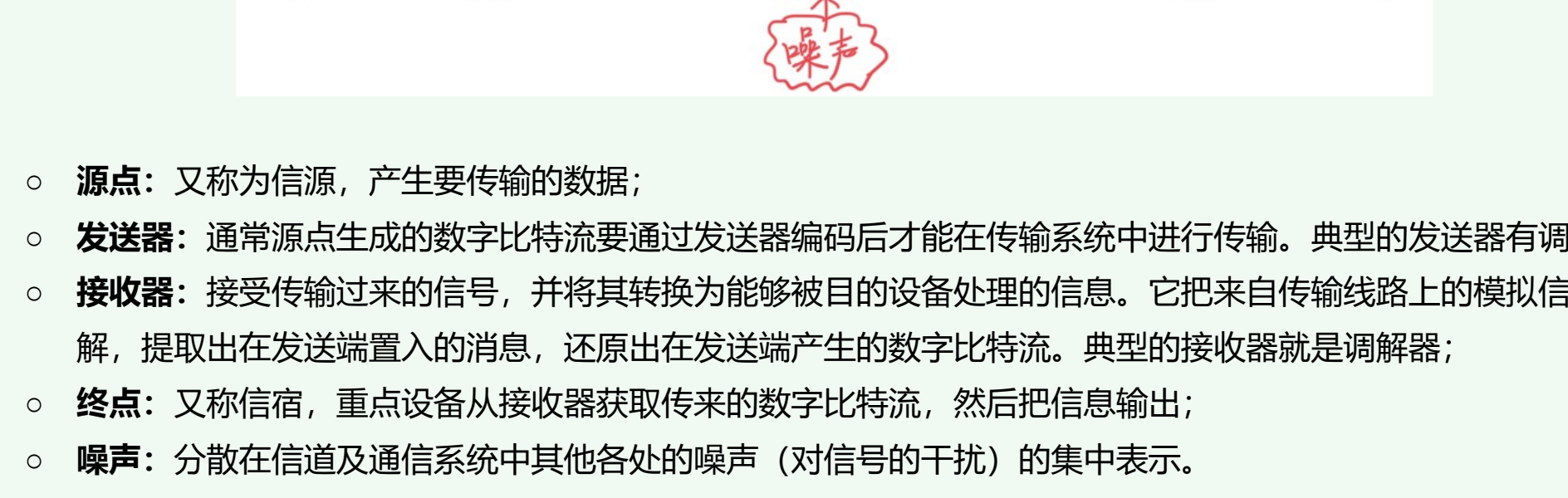
- 概念：数据是指运送信息的实体，信号是指数据的电气或电磁表现。
- 模拟和数字之分：①模拟量：连续变化的数据（或信号）称为模拟数据（或信号）；②数字量：取值仅允许为有限的几个离散数值的数据（或信号）称为数字数据（或信号）。
- 数据的传输方式分为：①串行传输：每个比特按照时间顺序逐个传输，适用于远距离传输，多用于数据在线路上传输。②并行传输：多个比特通过多条信号同时传输，多用于计算机内部。

2.1.3 码元速率和波特速率、带宽

- 码元：指用一个固定市场的信号波形（数字脉冲）表示一位k进制数字，代表不同离散数值的基本波形，是数字通信中数字信号的计量单位，这个时长内信号称为k进制码元，该时长称为码元宽度。
- 码元传输速率：又称码元速率，它表示单位时间内数字通信系统所传输的码元个数，单位是波特 Baud，表示每秒传输的码元个数，这里的码元可以是多进制制的，但码元速率与进制数无关；注：一码元可以有多个比特，例如，使用十六进制编码时，一码元中携带四个比特。
- 信息传输速率：又称比特率，它表示单位时间内数字通信系统传输的二进制码元个数，即比特数，单位是比特/秒（bit/s）注：若一个码元携带n比特信息量，则M比率的码元传输速率对应Mn bit/s比特率。
- 带宽在计算机网络中指传输速率（比特率），单位：b/s。

&&2.2 通信基础

2.2.1 通信系统模型及信道

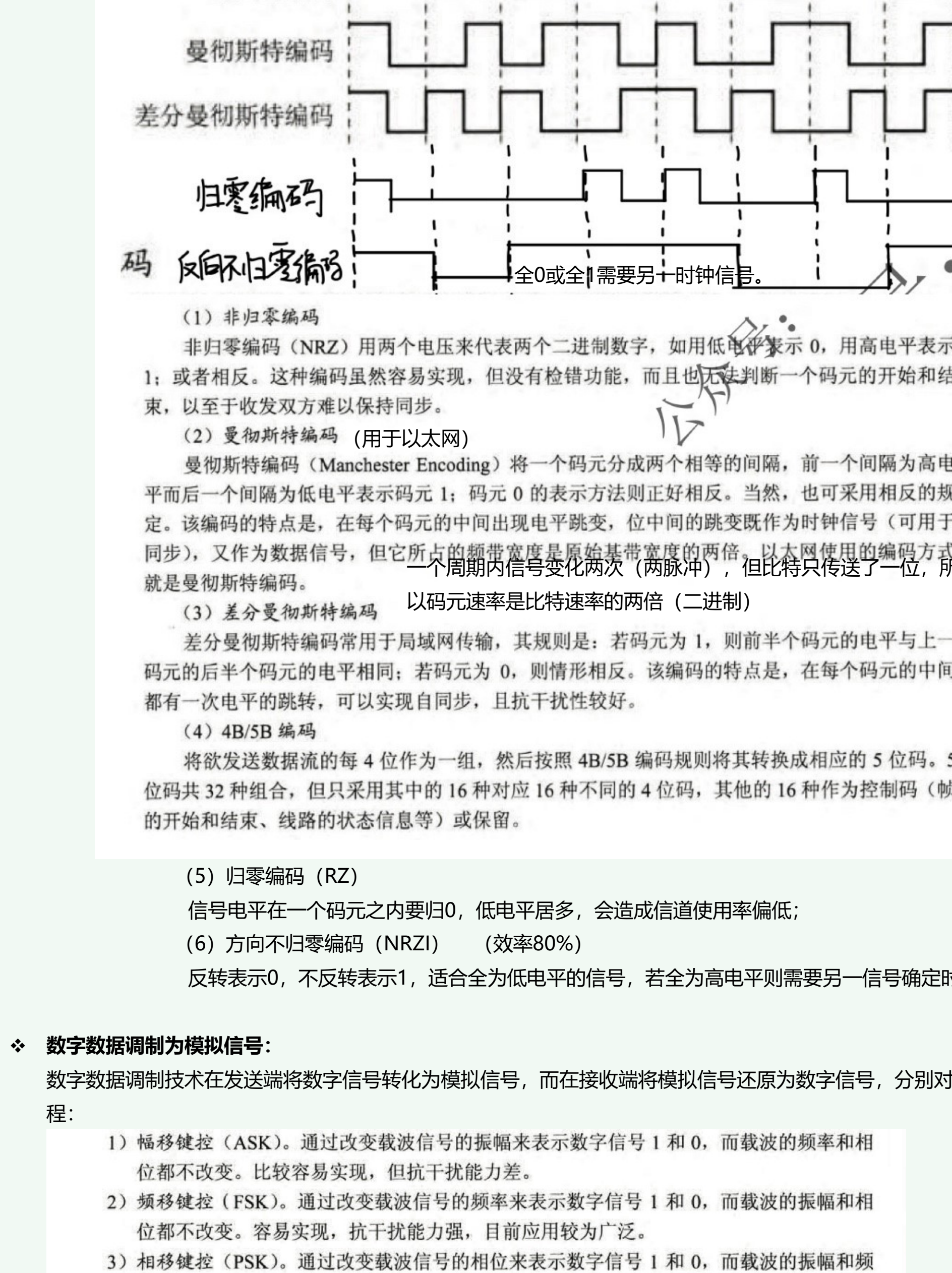


- 源点：又称为信源，产生要传输的数据；
 - 发送器：通常源点生成的数字比特流要通过发送器编码后才能在传输系统中进行传输。典型的发送器有调制器。
 - 接收器：接受传输过来的信号，并将其转换为能够被目的设备处理的信息。它把来自传输线路上的模拟信号进行调解，提取出在发送端置入的消息，还原出在发送端产生的数字比特流。典型的接收器就是调制解器；
 - 终点：又称信宿，重点设备从接收器获取传来的数字比特流，然后把信息输出；
 - 噪声：分散在信道及通信系统中其他各处的噪声（对信号的干扰）的集中表示。
- 信道：信道是信号传输的媒介，但信道不一定等同于传输电路，一个信道可视为一条线路的逻辑部件，用来表示向某个方向上传送信息的介质，因此通常一条通信线路包含一条发送信号和一条接受信道；
- 信道的划分：①按信号形式不同，可分为模拟信号和数字信道；②按照传输介质不同，可分为有线信道和无线信道；
 - 信道上传输的信号有基带信号和宽带信号之分：①基带信号：来自信源的信号被称为基带信号，例如文字、图像等数据信号，往往包含较多低频直至直流成分，基带信号指将数字1和0直接用两种不同的电平表示，然后送到数字信号上传输，称为基带传输；②宽带信号：将基带信号进行调制后形成频分复用模拟信号，然后送到模拟信道上传输，称为宽带传输。
 - 通信双方有三种信息交互方式：①单工通信：即只能从一个方向通信而没有反方向（单行道），例如：无线电台广播和有线电台广播及电视广播；②半双工通信：通信的双方都可以发送消息，但不能同时发送，也成为双向交替通信，需要两条信道；③全双工通信：通信双方可同时发送消息，也需要两条信道；

2.2.2调制与编码

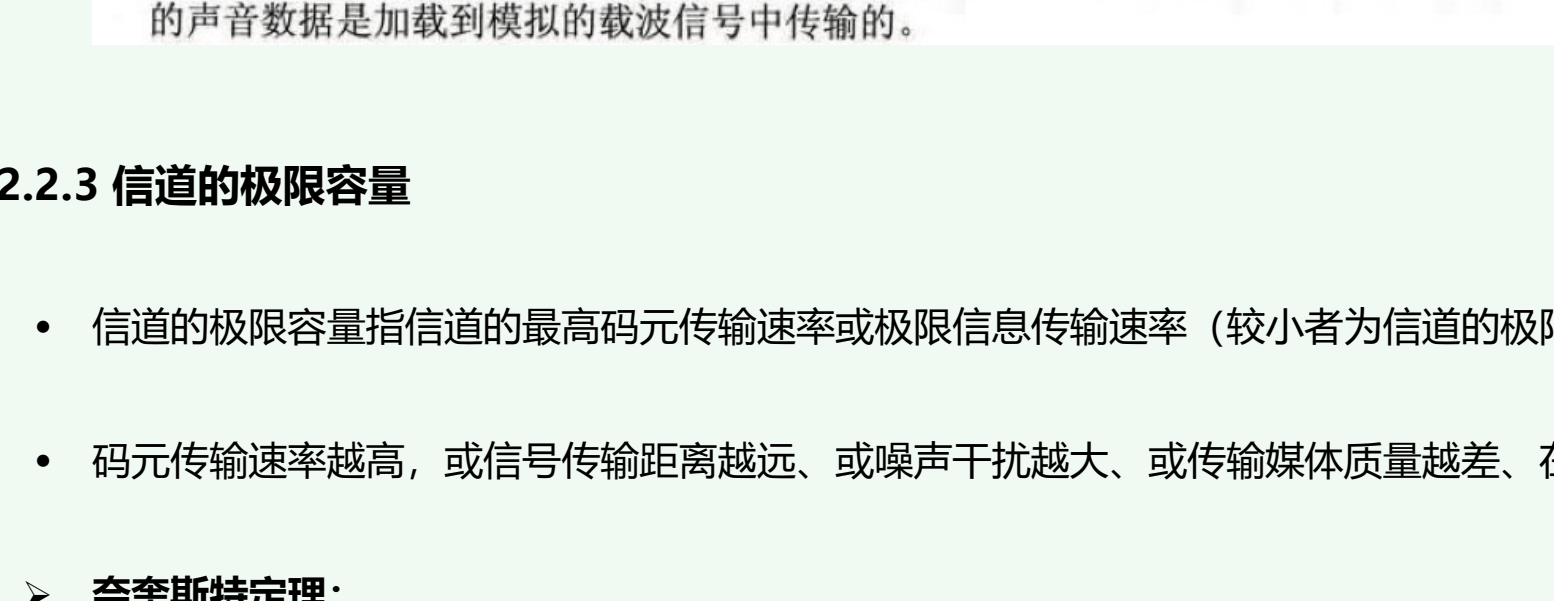
- 基本概念：将数据变为模拟信号的过程称为调制，将数据变为数字信号的过程称为编码。
- 数字数据可以通过数字发送器转换为数字信号传输，也可以通过调制器转换成模拟信号传输；同样，模拟数据可以通过PCM编码器转换成数字信号传输，也可以通过放大器调制器转换成模拟信号传输。
- 调制分为两类：基带调制和宽带调制：①基带调制：仅仅对基带信号的波形进行变换，使其能够与信道特性相适应，变换后仍未基带信号。由于这种调制是把数字信号转换成另一种形式的数字信号，所以也称为编码。②带通调制：这种调制需要用到载波进行调制，把基带中的信号频率范围搬移到较高的频段，并转换为模拟信号，从而更好的在模拟信道中传输，经过载波调制后的信号称为带通信号，而使用载波的调制称为带通调制。

- 常见的编码方式（数字数据-数字信号）：用于基带传输中，即在不改变数字信号频率的情况下直接传输数字信号，主要目的就是为区分1和0：



- (1) 非归零编码：非归零编码（NRZ）用两个电压来代表两个二进制数字，如用低电平表示0，用高电平表示1；或者相反。这种编码虽然容易实现，但没有检错功能，而且也无法判断一个码元的开始和结束，以至于收发双方难以保持同步。
- (2) 曼彻斯特编码（用于以太网）：曼彻斯特编码（Manchester Encoding）将一个码元分成两个相等的间隔，前一个间隔为高电平而下一个间隔为低电平表示码元1；码元0的表示方法则正好相反。当然，也可采用相反的规定。该编码的特点是，在每个码元的中间出现电平跳变，位中间的跳变既作为时钟信号（可用于同步），又作为数据信号，但它所占用的线路宽度是原始基带宽度的两倍。以太网使用的编码方式一个周期内信号变化两次（两脉冲），但比特只传送了一位，所以就是曼彻斯特编码。
- (3) 差分曼彻斯特编码：以码元速率是比特速率的两倍（二进制制）
- 差分曼彻斯特编码常用于局域网传输，其规则是：若码元为1，则前半半个码元的电平与上一码元的后半半个码元的电平相同；若码元为0，则情形相反。该编码的特点是，在每个码元的中间都有一次电平的跳转，可以实现自同步，且抗干扰性较好。
- (4) 4B/5B 编码：将欲发送数据流的每4位作为一组，然后按照4B/5B编码规则将其转换成相应的5位码。5位码共32种组合，但只采用其中的16种对应16种不同的4位码，其他的16种作为控制码（帧的开始和结束、线路的状态信息等）或保留。
- (5) 归零编码（RZ）：信号电平在一个码元之内要归0，低电平居多，会造成信道使用率偏低；
- (6) 方向不归零编码（NRZI）（效率80%）：反转表示0，不反转表示1，适合全为低电平的信号，若全为高电平则需要另一信号确定时钟。

- 数字数据调制为模拟信号：数字数据调制技术在发送端将数字信号转化为模拟信号，而在接收端将模拟信号还原为数字信号，分别对应于调制解调器和解调过程：
- 1) 幅移键控（ASK）。通过改变载波信号的振幅来表示数字信号1和0，而载波的频率和相位都不改变。比较容易实现，但抗干扰能力差。
- 2) 频移键控（FSK）。通过改变载波信号的频率来表示数字信号1和0，而载波的振幅和相位都不改变。容易实现，抗干扰能力强。目前应用较为广泛。
- 3) 相移键控（PSK）。通过改变载波信号的相位来表示数字信号1和0，而载波的振幅和频率都不改变。它又分为绝对调相和相对调相。
- 4) 正交振幅调制（QAM）。在频率相同的前提下，将ASK与PSK结合起来，形成叠加信号。设波特率为B，采用m个相位，每个相位有n种振幅，则该QAM技术的数据传输率R为： $R = B \log_2(mn)$ （单位为b/s）



- 模拟数据编码为数字信号：这种编码方式最典型的例子是常用于对音频信号进行编码的脉码调制PCM，包括主要三个步骤：采样（采样定理）、量化、编码。
- 1) 采样是指对模拟信号进行周期性扫描，把时间上连续的信号变成时间上离散的数字。根据采样定理，当采样的频率大于等于模拟数据的频率带宽（最高变化频率）的两倍时，所得的离散信号可以无失真地代表被采样的模拟数据。
- 2) 量化是把采样取得的电平幅值按照一定的分档标准转化为对应的数字值并取整数，这样就把连续的电平幅值转换为离散的数字量。采样和量化的实质就是分割和转换。
- 3) 编码是把量化的结果转换为与之对应的二进制编码。

- 模拟数据调制为模拟信号：为了实现传输的有效性，可能需要较高的频率。这种调制方式还可以使用频分复用（FDM）技术，充分利用带宽资源。电话机和本地局交换机采用模拟信号传输模拟数据的编码方式；模拟的声音数据是加载到模拟的载波信号中传输的。

2.2.3 信道的极限容量

- 信道的极限容量指信道的最高码元传输速率或极限信息传输速率（较小者为信道的极限速率）
- 码元传输速率越高，或信号传输距离越远、或噪声干扰越大、或传输媒体质量越差、在接收端就越容易失真。
- 奈奎斯特定理：奈奎斯特（Nyquist）定理又称奈氏准则，它指出在理想低通（没有噪声、带宽有限）的信道中，极限码元传输率为2W波特，其中W是理想低通信道的带宽，单位为Hz。若用V表示每个码元离散电平的数目（码元的离散电平数目是指有多少种不同的码元，比如有16种不同的码元，则需要4位二进制数），因此数据传输率是码元传输率的4倍），则极限数据率为： $\text{理想低通信道下的极限数据传输率} = 2W \log_2 V$ （单位为b/s）
- 对于奈氏准则，可以得出以下结论：1) 在任何信道中，码元传输的速率是有上限的。若传输速率超过此上限，就会出现严重的码间串扰问题（指在接收端收到的信号波形失去了码元之间的清晰界限，使得接收端不可能完全正确识别码元）。2) 信道的频带越宽（即通过的信号高频分量越多），就可以用更高的速率进行码元的有效传输。3) 奈氏准则给出了码元传输速率的限制，但并未对信息传输速率给出限制，即未对一个码元可以对应多少个二进制位给出限制。
- 由于码元的传输速率受奈氏准则的制约，所以要提高数据的有效传输速率，就必须设法使每个码元携带更多个比特的信息量，此时就需要采用多元制的调制方法。

- 香农定理：香农（Shannon）定理给出了带宽受限且有高电平噪声干扰的信道的极限数据传输率，当用此速率进行传输时，可以做到不产生误差。香农定理定义为： $\text{信道的极限数据传输率} = W \log_2(1 + S/N)$ （单位为b/s）
- 式中，W为信道的带宽，S为信道所传输信号的平均功率，N为信道内部的高斯噪声功率，S/N为信噪比，即信号的平均功率与噪声的平均功率之比，信噪比 = $10 \log_{10}(S/N)$ （单位为dB），例如当S/N = 10时，信噪比为10dB，而当S/N = 1000时，信噪比为30dB。
- 对于香农定理，可以得出以下结论：1) 信道的带宽或信道中的信噪比越大，信息的极限传输速率越高。2) 对一定的传输带宽和一定的信噪比，信息传输速率的上限是确定的。3) 只要信息的传输速率低于信道的极限传输速率，就能找到某种方法来实现无差错传输。4) 香农定理给出的是极限信息传输速率，实际信道能达到的传输速率要比它低不少。
- 从香农定理可以看出，若信道带宽W或信噪比S/N没有上限（实际信道当然不可能这样），则信道的极限信息传输速率也没有上限。
- 奈氏准则只考虑了带宽与极限码元传输速率的关系，而香农定理不仅考虑到了带宽，也考虑到了信噪比。这从另一个侧面表明，一个码元对应的二进制位数是有限的。

- 奈奎斯特定理说明了一个信道传输码元的最高速率，香农定理限定了一个码元携带比特的数量，两者共同决定极限速率。

&&2.3传输介质

2.3.1 有线介质

- 介质也称传输媒体，它是发送设备和接受设备之间的物理通路。可分为导向传输介质和非导向传输介质。导向传输介质中，电磁波被导向沿着固体媒介传播，非导向传输介质可以是空气、真空、水等。
- 双绞线：最古老，最常用，最便宜，普遍用于局域网和传统电话网。通信距离一般为几千米到数十千米，模拟传输和数字传输都可以使用。距离过远时，对于模拟传输要用放大器放大衰弱的信号，对于数字传输要用中继器将失真信号整形。
- 同轴电缆：通常分为50Ω和75Ω两类，50Ω主要用于传送基带信号，又称基带同轴电缆；75Ω主要用于传送宽带信号，主要用于有线电视系统，又称宽频同轴电缆。因为具有外导体屏蔽层的作用，同轴电缆有良好的抗干扰能力，广泛用于传输较高数据率的数据和远距离传送，但价格较贵；
- 光纤：可见光的频率约为 $10^{14}Hz$ ，因此光纤通信系统的带宽范围很大；多模光纤利用光线的全反射，使多条光线在同一光纤中传播，但光线冲在多模光纤中会逐渐展宽，造成失真，因此多模光纤只适用于近距离；单模光纤将光纤的直径减小到仅一个光波长长度时，光线就可以向直线一样传播而不反射。多模光纤的光源为发光二极管；多模光纤的光源为定向性很好的激光二极管。

2.3.2 无线介质

- 无线通信已广泛应用于移动电话领域，构成蜂窝式无线电话网。随着便携式计算机的出现，以及在军事、野外等特殊场合下移动通信联网的需要，促进了数字化移动通信的发展，现在无线局域网的应用已非常普遍。
- (1) 无线电波：无线电波具有较强的穿透能力，可以传输很远的距离，所以它被广泛应用于通信领域，如无线手机通信、计算机网络中的无线局域网（WLAN）等。因为无线电波使信号向所有方向散开，因此有效距离范围内的接收设备无须对准某个方向，就可与无线电波发射者进行通信连接，大大简化了通信连接。这也是无线电传输的最重要优点之一。
- (2) 微波、红外线和激光：目前高带宽的无线通信主要使用三种技术：微波、红外线和激光。它们都需靠发送方和接收方之间存在一条视线（Line-of-sight）通路，有很强的方向性，都沿直线传播，有时统称这三者为视线介质。不同的是，红外通信和激光通信把要传输的信号分别转换成红外光和激光信号，再直接在空中传播。
- 微波通信的频率较高，频段范围也很宽，载波频率通常介于30GHz，因而通信信道的容量大。例如，一个带宽为2MHz的频段可容纳500条语音线路，用来传输数字信号，数据率可达数兆比特/秒。与通常的无线电波不同，微波通信的信号是沿直线传播的，故在地面的传播距离有限，超过一定距离后就要用中继站来接力。
- 卫星通信利用地球同步卫星作为中继来转发微波信号，可以克服地面微波通信距离的限制。三颗相隔120°的同步卫星几乎能覆盖整个地球表面，因而基本能实现全球通信。卫星通信的优点是通信容量大、距离远、覆盖广，缺点是端到端传播时延长，一般为250~270ms。

&&2.4 物理层设备

2.4.1物理层接口的特性

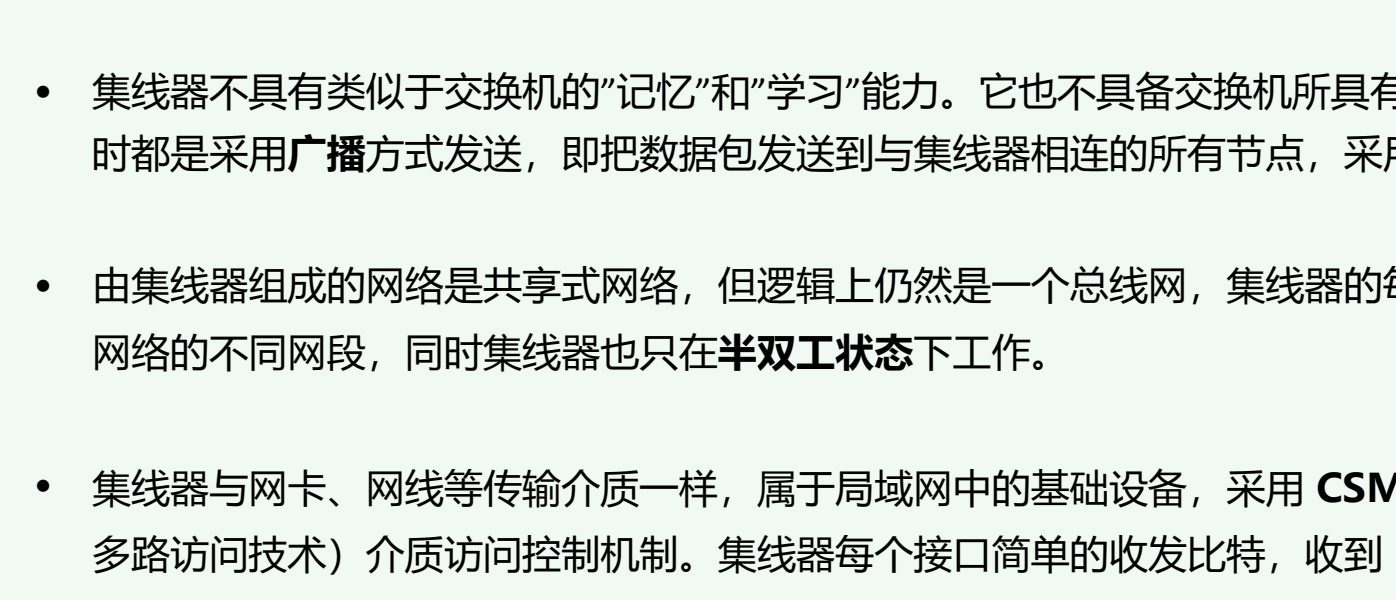
- 物理层应尽可能屏蔽各种物理设备的差异，使数据链路层只需要考虑本层的协议和服务，物理层的主要任务可以表述为确定与传输媒体接口有关的一些特性：(1) 机械特性：指明接口所用接线器的形状和尺寸、引脚数目和排列、固定和锁定装置，等。平时常见的各种规格的接插件都有严格的标准化的规定。(2) 电气特性：指明在接口电缆的各条线上出现的电压的范围。(3) 功能特性：指明某条线上出现的某一电平的电压的意义。(4) 过程特性：指明对于不同功能的各种可能事件的出现顺序。

2.4.2中继器

- 中继器又称转发器，工作在物理层，主要功能是将信号整形并放大后再转发出去（再生和还原）从而减少传输过程中的失真和衰减，保持与原数据相同，进而扩大网络传输距离。注：放大器是放大模拟信号，中继器是整形再生数字信号。
- 中继器两端的网络部分是网段，不是子网，适合完全相同的两类网络设备的互连，即中继电器两端的两个网段需要是相同的协议，且两个网段速率要相同。但中继器两端可以连向其他媒体也可以连不同媒体。
- 中继器只处理信号的电气部分，即中继器不对错误进行纠正。
- 5-4-3规则：在采用相同轴电缆的10BASE5以太网规范中，互相串联的中继器个数不能超过4个，而且用个中继器串联的5段通信介质中只有3段能挂接计算机，其余两段只能用作扩展通信范围的链路段。

注：如果某个网络设备具有存储转发功能，那么可以认为他能连接两个不同协议。如果该网络设备没有存储转发功能，那么认为不能连接两个不同协议。中继器不可存储转发，因此两端需要相同速度，相同协议。

2.4.3集线器（Hub）



- 集线器实质上是一个多端口中继器，工作在物理层，在网络中只起信号放大转发的作用，目的是扩大网络的传输范围，是一个标准的共享式设备。
- 集线器不具有类似于交换机的“记忆”和“学习”能力。它也不具备交换机所具有的MAC地址表，所以它发送数据时都是采用广播方式发送，即把数据包发送到与集线器相连的所有节点，采用星型拓扑结构。
- 由集线器组成的网络是共享式网络，但逻辑上仍然是一个总线网，集线器的每个端口连接的网络部分是同一个网络的不同网段。同时集线器也只在半双工状态下工作。
- 集线器与网卡、网线等传输介质一样，属于局域网中的基础设备，采用CSMA/CD（即带冲突检测的载波监听多路访问技术）介质访问控制机制。集线器每个接口简单的收发比特，收到1就转发1，收到0就转发0，不进行碰撞检测。

注意：集线器不能分割冲突域。所有集线器的端口都属于一个冲突域，即集线器在一个时钟周期只能传输一组消息（同时通信要分割带宽）

- (一)通信基础1.信道、信号、宽带、码元、波特、速率、信源与信宿等基本概念2.奈奎斯特定理与香农定理3.编码与调制4.电路交换、报文交换与分组交换5.数据报与虚电路
- (二)传输介质1.双绞线、同轴电缆、光纤与无线传输介质2.物理层接口的特性
- (三)物理层设备1.中继器2.集线器

