计算机网络基础

第 6 章　数据通信基础

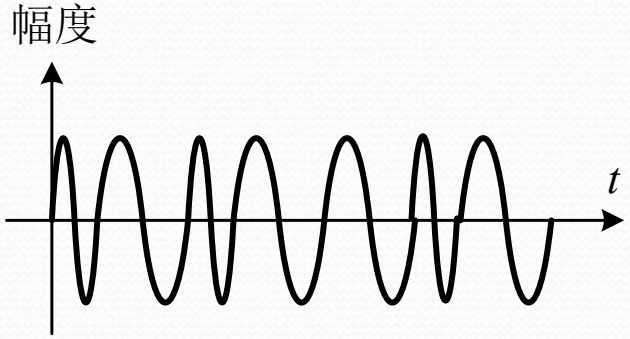
本章内容

- 6.1 数据通信基本概念
- 6.2 数据通信方式
- 6.3 数据传输介质
- 6.4 数据编码技术
- 6.5 信道复用技术
- 6.6 数据交换技术
- 6.7 差错检测与控制

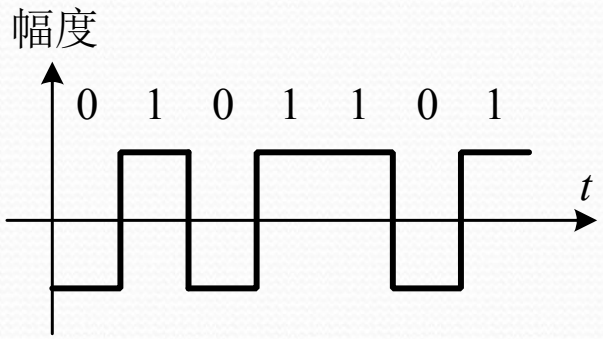
6.1 数据通信基本概念

- **6.1.1 信息、数据与信号**
- 信息（Information）是客观事物属性和相互联系特性的表征，它反映了客观事物的存在形式和运动状态。
- 通信系统中表示信息的形式可以是数值、文字、图形、声音、图像或动画等。
- 数据（Data）一般可以理解为“信息的数字化形式”或“数字化的信息形式”。
- 信号（Signal）是数据的物理表示，具有确定的物理描述，如电压、磁场强度等。在电路中，信号就具体表示数据的电编码或电磁编码。

- 模拟信号是随时间连续变化的信号，这种信号的某种参量（如幅度、相位、频率等）可以表示要传送的信息。电话机送话器输出的语音信号，电视摄像机产生的图像信号等都是模拟信号。
- 数字信号只取有限离散值，而且数字信号之间的转换几乎是瞬时的。数字信号以其某一瞬间的状态表示它们传送的信息。

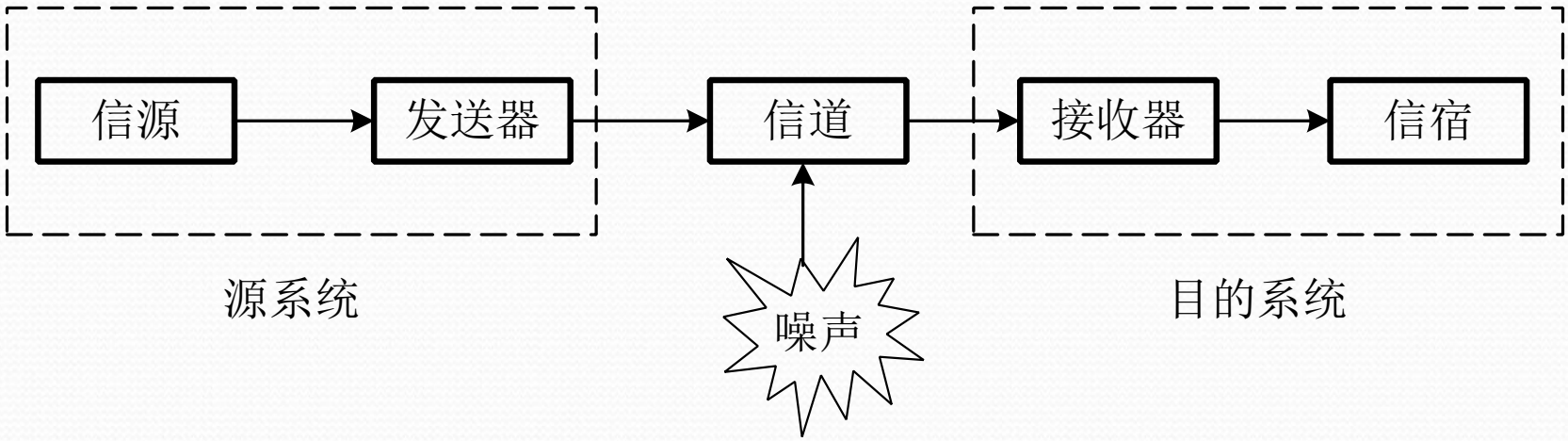


(a) 模拟信号波形



(b) 数字信号波形

- **6.1.2　数据通信模型**
- 通信的目的就是传递信息，其一般模型如图所示。一次通信中产生和发送信息的一端叫信源，接收信息的一端叫信宿。信源和信宿之间通过信道进行信息的交互。通信信道是以通信线路为物质基础的。

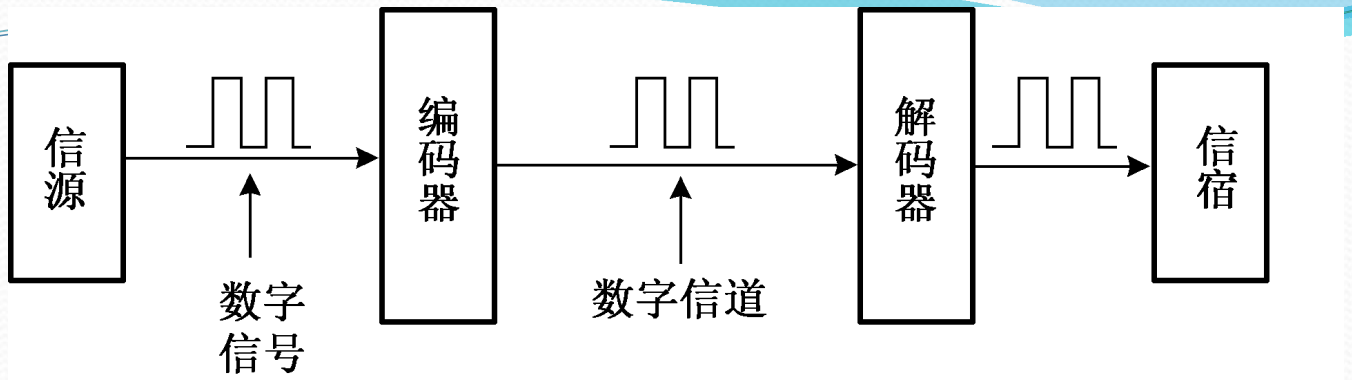


- **1．信源和信宿**
- 信源就是信息的发送端，是指发送信息一端的人或设备。信宿就是信息的接收端，是指接收信息一端的人或设备。
- **2．信道**
- 信道是传输信息的通道，是由通信线路及其通信设备（如收 / 发设备）组成的。

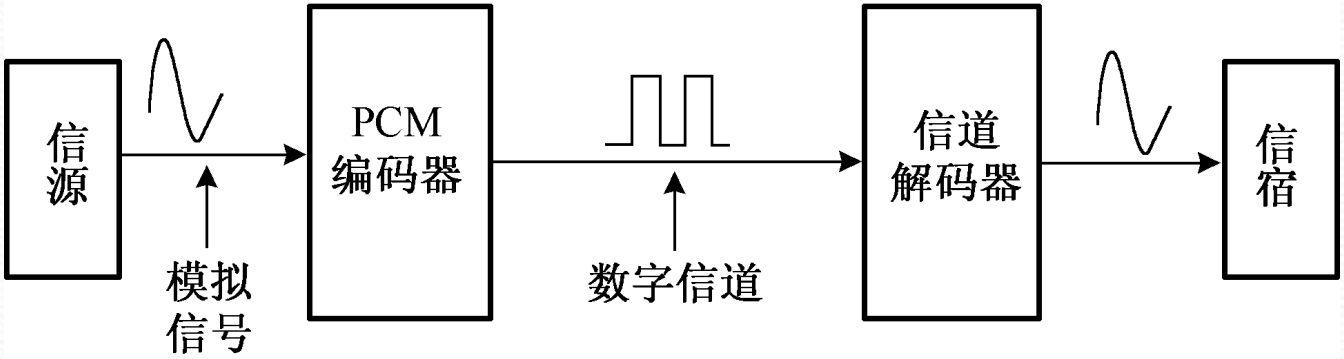
- **3．信号发送器与接收器**
- 信号发送器的作用是将信源发出的信息变换成适合在信道上传输的信号，根据不同的信源和信道信号，发送器有不同的组成和变换功能。
- 发送端的信号发送器可以是编码器或者是调制器，接收端的信号接收器相对应的就是解码器或是解调器。
- 编码器的功能是把输入的二进制数字序列作相应的变换，变换成能够在接收端正确识别的信号形式；解码器是在接收端完成解码的过程。

- 由于网络中绝大多数信息都是双向传输的，所以在大多数情况下，信源也作为信宿，信宿也作为信源；编码器与解码器合并，通称为编码 / 解码器；调制器与解调器合并，通称为调制 / 解调器。

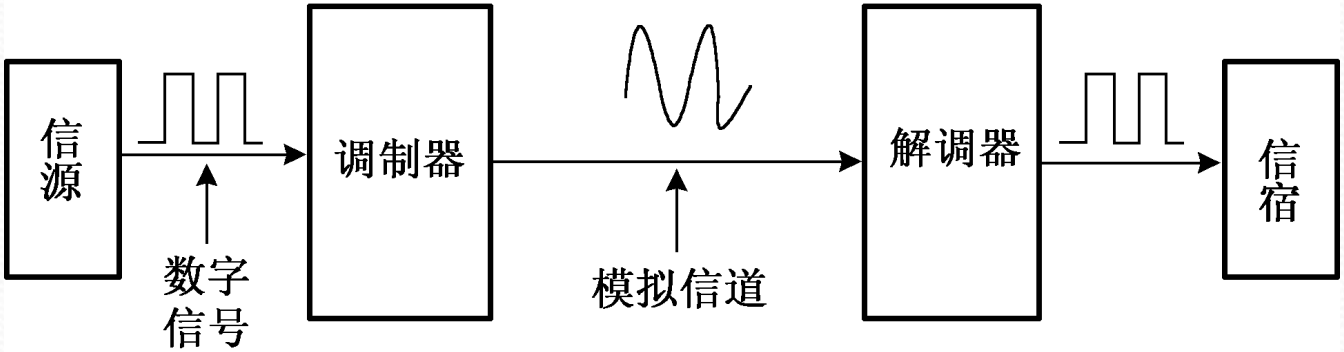
- 6.1.3　数字通信和模拟通信
- 根据信道中传输信号的类型，通信通常分为模拟通信系统和数字通信系统两类。前者在信道中传输模拟信号，而后者在信道中传输数字信号。


信源
数字信号
编码器
数字信道
解码器
信宿

(a)


信源
模拟信号
PCM编码器
数字信道
信道解码器
信宿

(b)


信源
数字信号
调制器
模拟信道
解调器
信宿

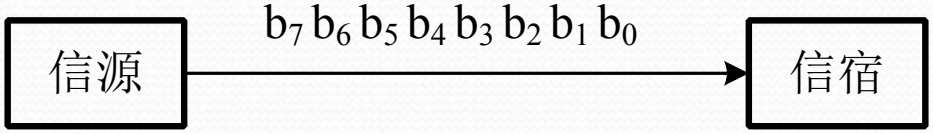
(c)

- 6.1.4　数据通信的主要技术指标
- 1．信道带宽和信道容量
- （1）尼奎斯特定理（Nyquist）
- （2）香农定理（Shannon）
- **2．数据传输速率**
- $R_b = R_s \cdot \log_2 M$（bit/s）或 $R_s = R_b / \log_2 M$（Baud）
- 3．误码率
- 指二进制码元在传输过程中被传错的概率。

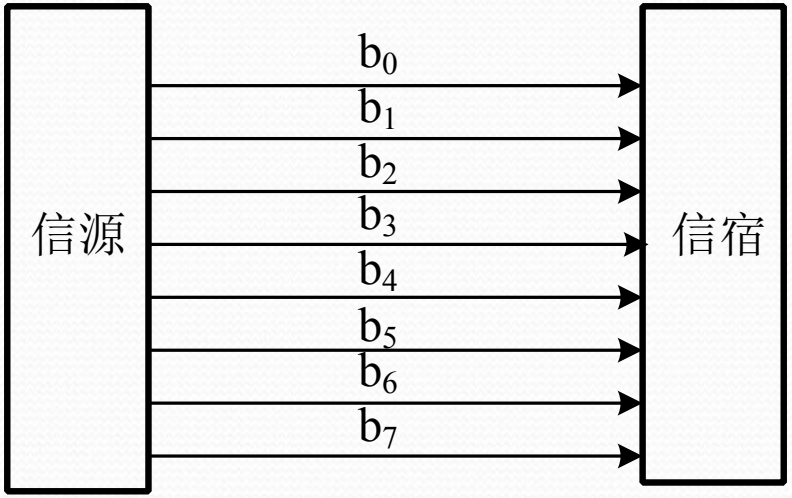
$$P_e = \frac{N_e}{N}$$

6.2 数据通信方式

- 6.2.1 并行传输与串行传输



(a) 串行传输



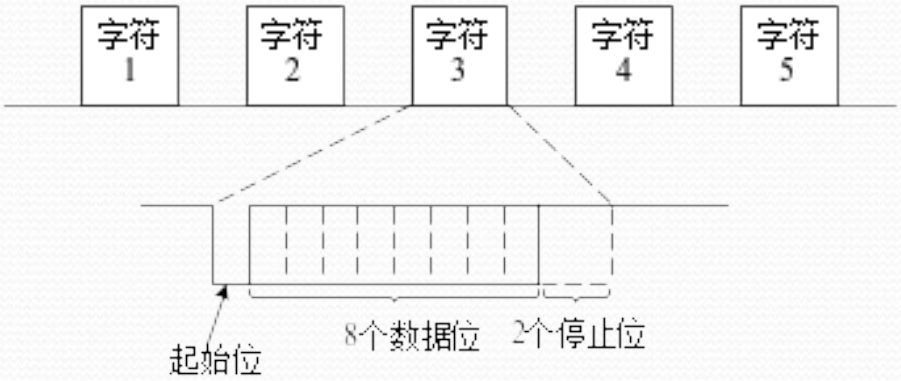
(b) 并行传输

- 6.2.2　单工、半双工和全双工传输
- （1）单工通信
- 使用单工通信，数据信号仅可从一个站点传送到另一个站点，　即信息流仅沿单方向流动，发送站和接收站是固定的。
- （2）半双工通信
- 使用半双工通信，数据信号既可从 A 传到 B，　也可由 B 传到 A，但不能在两个方向上同时传输。
- （3）全双工通信
- 使用全双工通信，同一时刻能在两站间双向传输数据信息

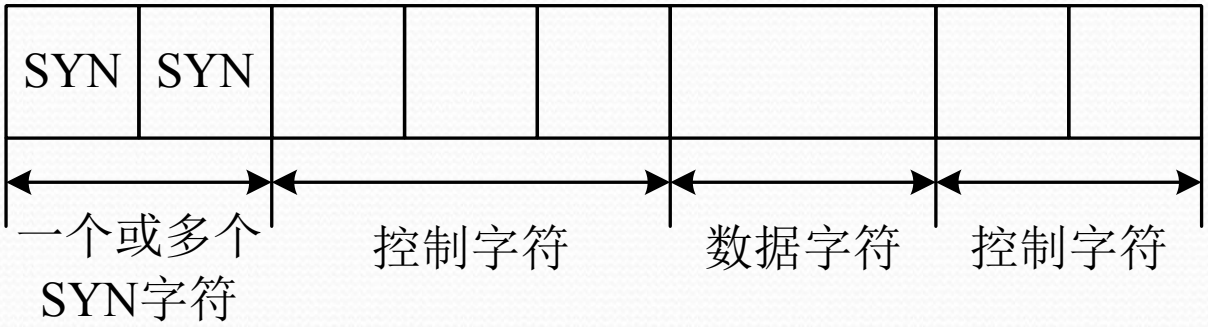
- **6.2.3 数据同步**
- 所谓“同步”，就是要求通信的收发双方在时间基准上必须取得一致。
- 接收端不仅要知道一组二进制位的开始与结束，还要知道每位的持续时间，这样才能用合适的取样频率对所接收数据进行取样。

- （1）位同步
- 位同步就是使接收端接收的每一位数据信息都要和发送端准确地保持同步。
- ① 外同步法：这种同步方法是在发送端发送数据信号的同时，另外发送一路同步时钟信号。
- ② 自同步法：自同步法是从数据信息波形的本身提取同步信号的方法。
- 曼彻斯特码和差分曼彻斯特码都是自含时钟的编码方法

- （2）字符同步
- 仅仅识别各数据位是不够的，还需要将各个字符正确地识别出来，保证收发双方正确传输字符的过程称为字符同步。字符同步有异步式和同步式。
- ① 异步式：每个字符都按照一个独立的单元进行发送。为了识别字符或进行字符同步，在每个发送的字符前后各加入一位或多位信息以表示一个字符的开始和结束



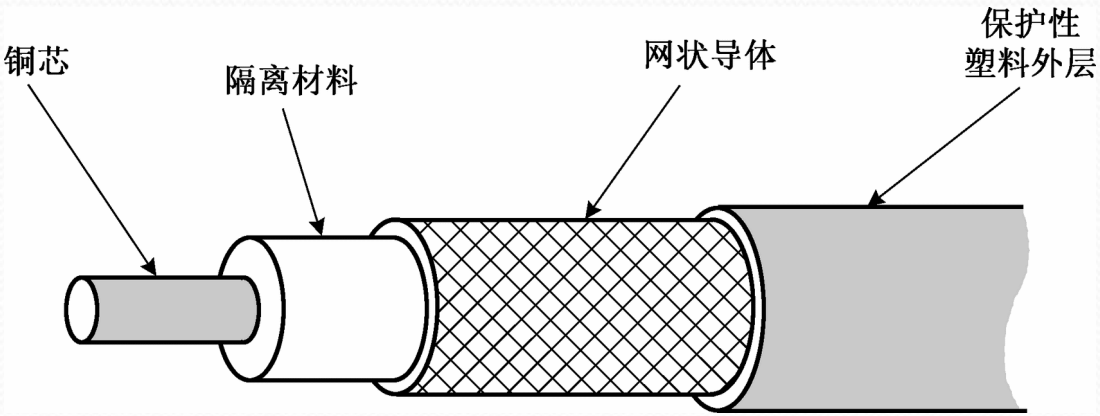
- ② 同步式：和异步式不同，同步式不是对每个字符单独同步，而是将字符组织成组，以组为单位进行同步。字符没有任何附加位而连续地发送。每组字符必须由一个或多个确定的同步字符 SYN 作为划分字符组的边界



- **6.2.4 基带传输和频带传输**
- **1．基带传输**
- 基带传输是指不经频谱搬移，数字数据以原来的“0”或“1”的形式原封不动地在信道上传送。
- **2．频带传输**
- 频带传输是把二进制信号进行调制变换，变换成为能在公用电话网中传输的模拟信号，将模拟信号在传输介质中传输到接收端后，再由调制解调器将该模拟信号解调变换成原来的二进制信号。

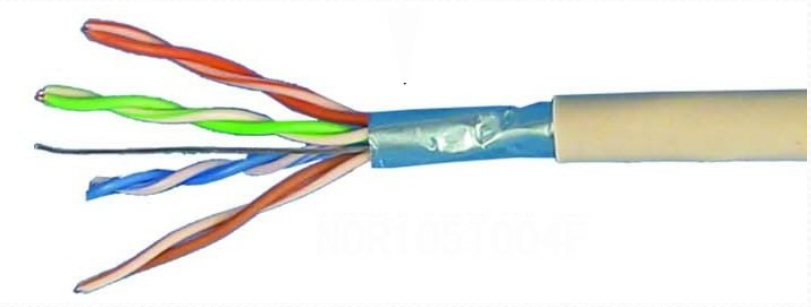
6.3 数据传输介质

- 6.3.1 同轴电缆
- 同轴电缆分为两类：基带同轴电缆和宽带同轴电缆。
- 基带同轴电缆又可分为细缆和粗缆两种。



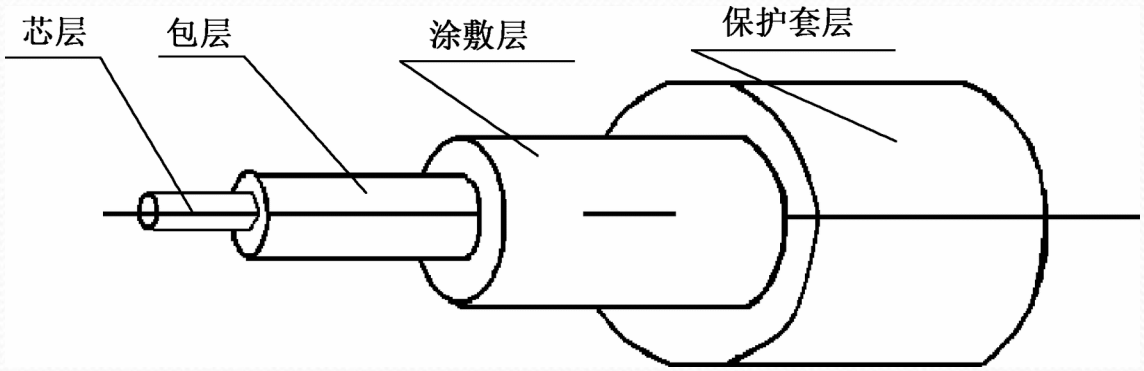
- 6.3.2　双绞线
- 双绞线是由按照规则螺旋结构排列的两根、四根或八根绝缘导线组成。各个线对螺旋排列的目的是为了使各线对之间的电磁干扰最小。
- 双绞线分为屏蔽双绞线 STP 和非屏蔽双绞线 UTP 两大类

非屏蔽双绞线（ UTP ）

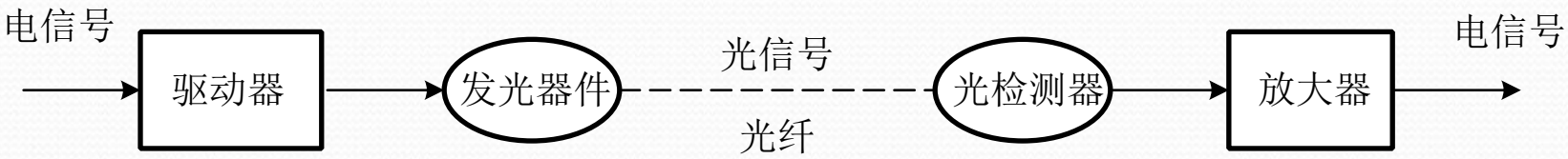


屏蔽双绞线（ STP ）

- 6.3.3 光纤
- 低损耗、高带宽和高抗干扰性是光纤的最主要的优点。在网络传输介质中，光纤的发展是最为迅速的，也是应用最广泛的网络传输介质。

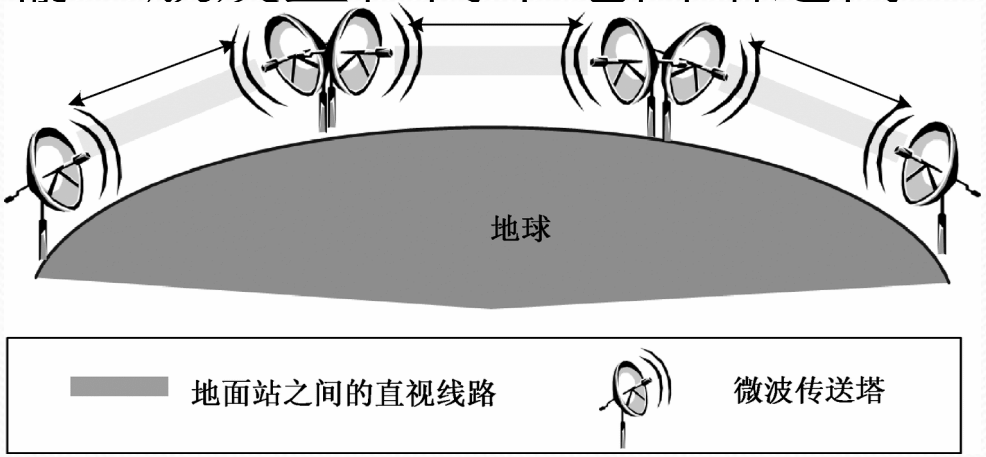


- 光纤分为单模光纤（Single Mode Fiber， SMF）和多模光纤（Multi-Mode Fiber， MMF）两种类型。光信号在单模光纤中以径向直线方式传播；而在多模光纤中发散为多路光波，以反射方式传播。因此，单模光纤的衰减非常小，从而具有更大的容量。

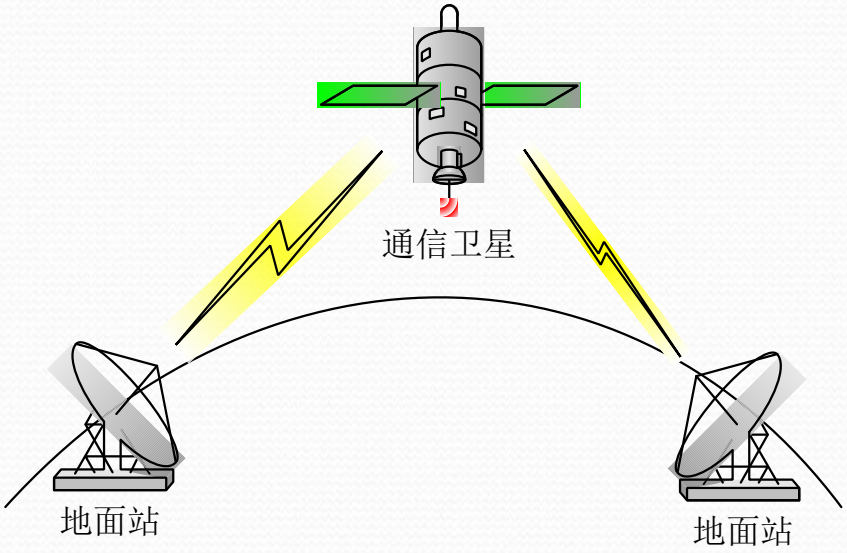


通过光纤传输数据的过程

- **6.3.4 无线介质**
- 无线介质是指可以传输无线电波和光波的自由空间或大气，是构建无线通道的基础。
- 无线传输有两种基本方法：定向和全向。
- **1．微波通信**
- 微波传输一般发生在两个地面站之间。



- 2．卫星通信

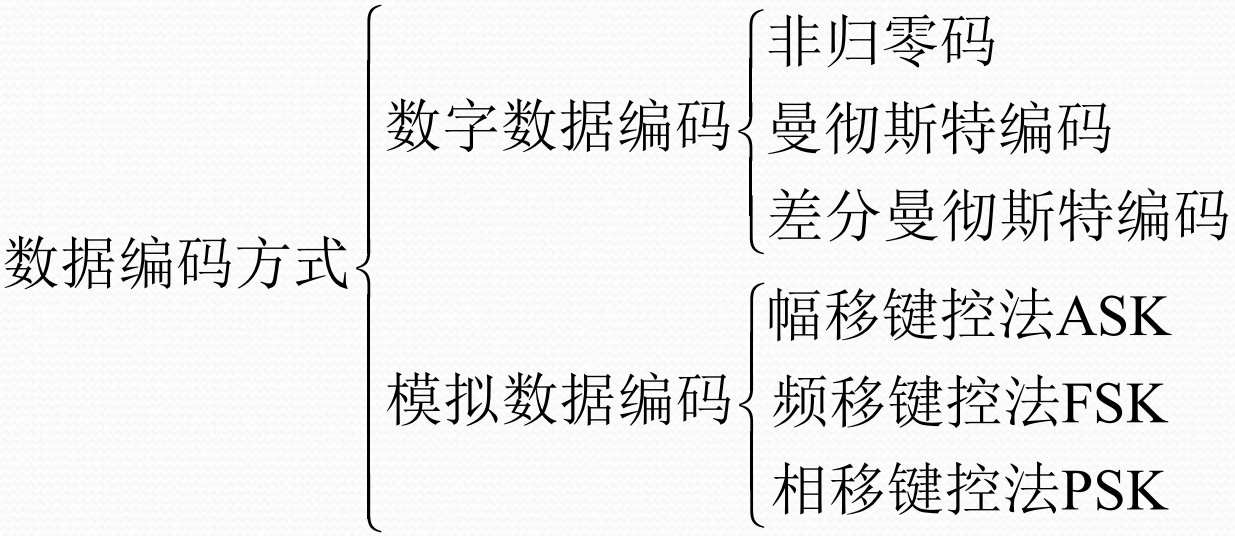


- 3．蜂窝无线通信
- 4．红外线和激光通信
- 5．无线电短波通信

6.4 数据编码技术

- 编码是将模拟数据或数字数据变换成数字信号，以便通过数字通信介质传输出去，简而言之，就是把数据转换成适合在介质上传输的信号。解码就是指在接收端收到数字信号后，再反变换恢复成原来的模拟或数字信号。
- 数据与信号之间一般有四种可能的组合来满足各种数据传输方式的需要，分别为：数字数据→数字信号；数字数据→模拟信号；模拟数据→数字信号；模拟数据→模拟信号。

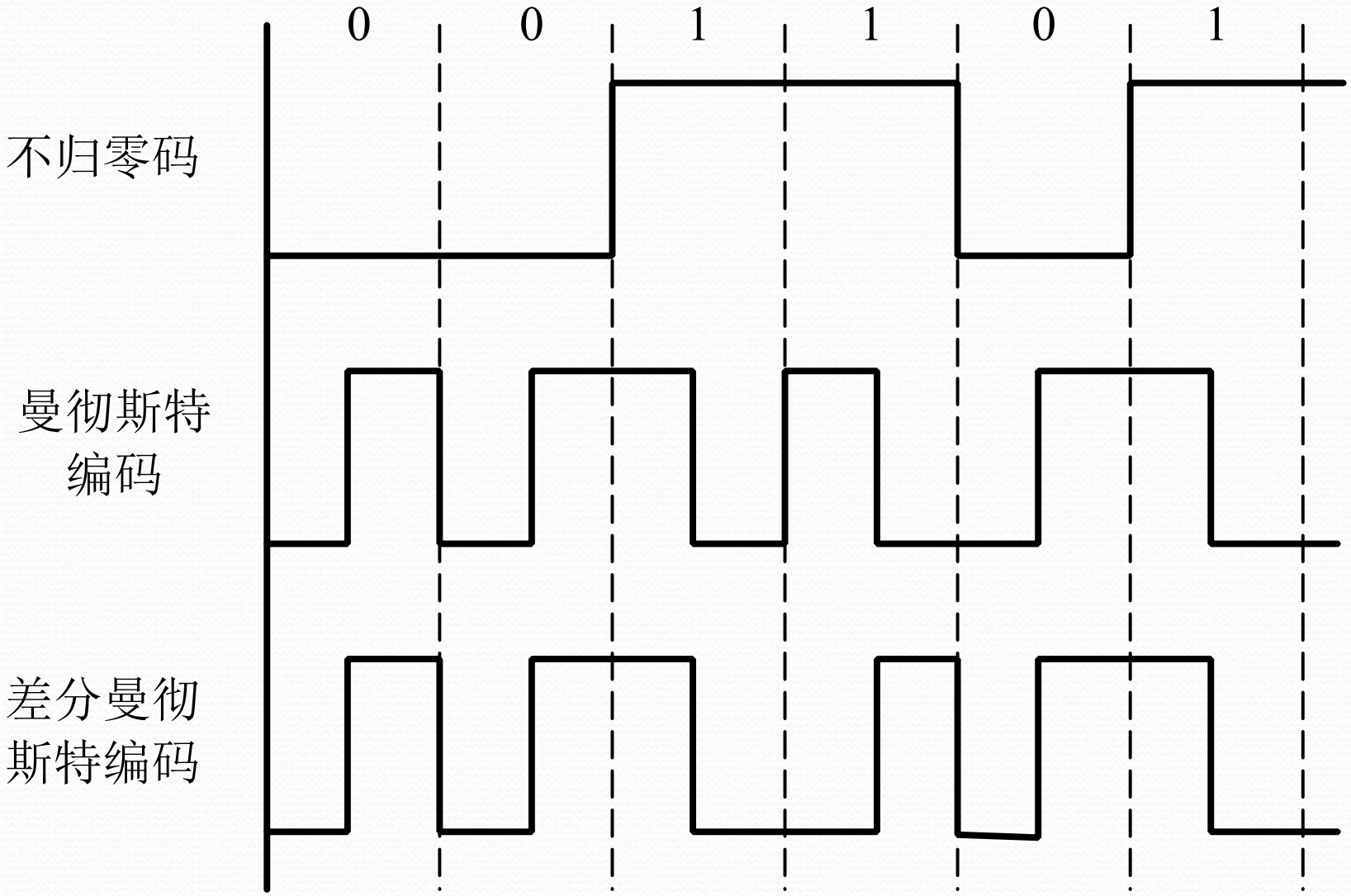
- **6.4.1 数据编码类型**
- 除了用模拟信号传输模拟数据不需要编码外，数字数据在数字信道上传输需数字信号编码、数字数据在模拟信道上传输需调制编码，模拟数据在数字信道上传递都需要进行编码。



- **6.4.2 数字数据编码**
- **1．不归零码**
- 用两个电压电平来表示两个二进制数字。
- 它传送一个“0”时使用高电平，而传送一个“1”时则使用低电平。这样，通过在高低电平之间作相应的变换来传送“0”和“1”的任何序列。
- 不归零码 NRZ 传输有一些缺点，例如，它难以决定一位的结束和另一位的开始，需要有某种方法来使发送器和接收器进行定时或同步；如果传输“1”或“0”占多数，那么在每位时间内将有累积的直流分量。这样，就不能使用变压器进行远距离传输。

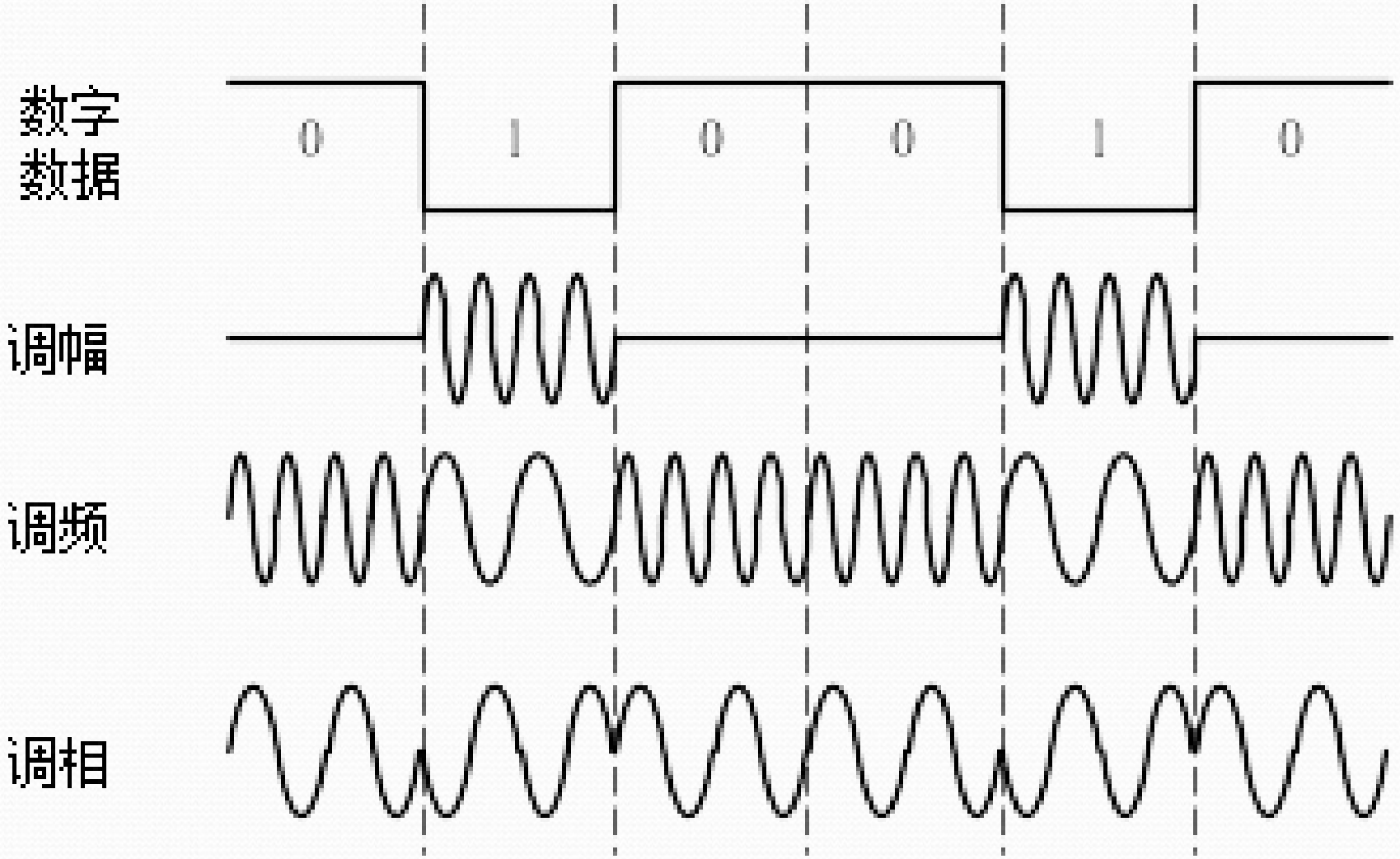
- 2．曼彻斯特编码
- 曼彻斯特编码用信号的变化来保持发送设备和接收设备之间的同步。这种编码通常用于局部网络传输。在曼彻斯特编码方式中，每一位的中间有一个跳变。位中间的跳变既作为时钟，又作为数据；从高电平到低电平的跳变代表“0”，而从低电平到高电平的跳变代表“1”。
- 曼彻斯特编码的一个缺点是需要双倍的带宽。也就是说，信号跳变的频率是 NRZ 编码的两倍。

- 3．差分曼彻斯特编码
- 和曼彻斯特编码一样，每一位的中间有一个跳变。区别在于其取值由每位开始的边界是否存在跳变而定，一位的开始边界有跳变代表“0”，无跳变代表“1”。


0
0
1
1
0
1
不归零码
曼彻斯特编码
差分曼彻斯特编码

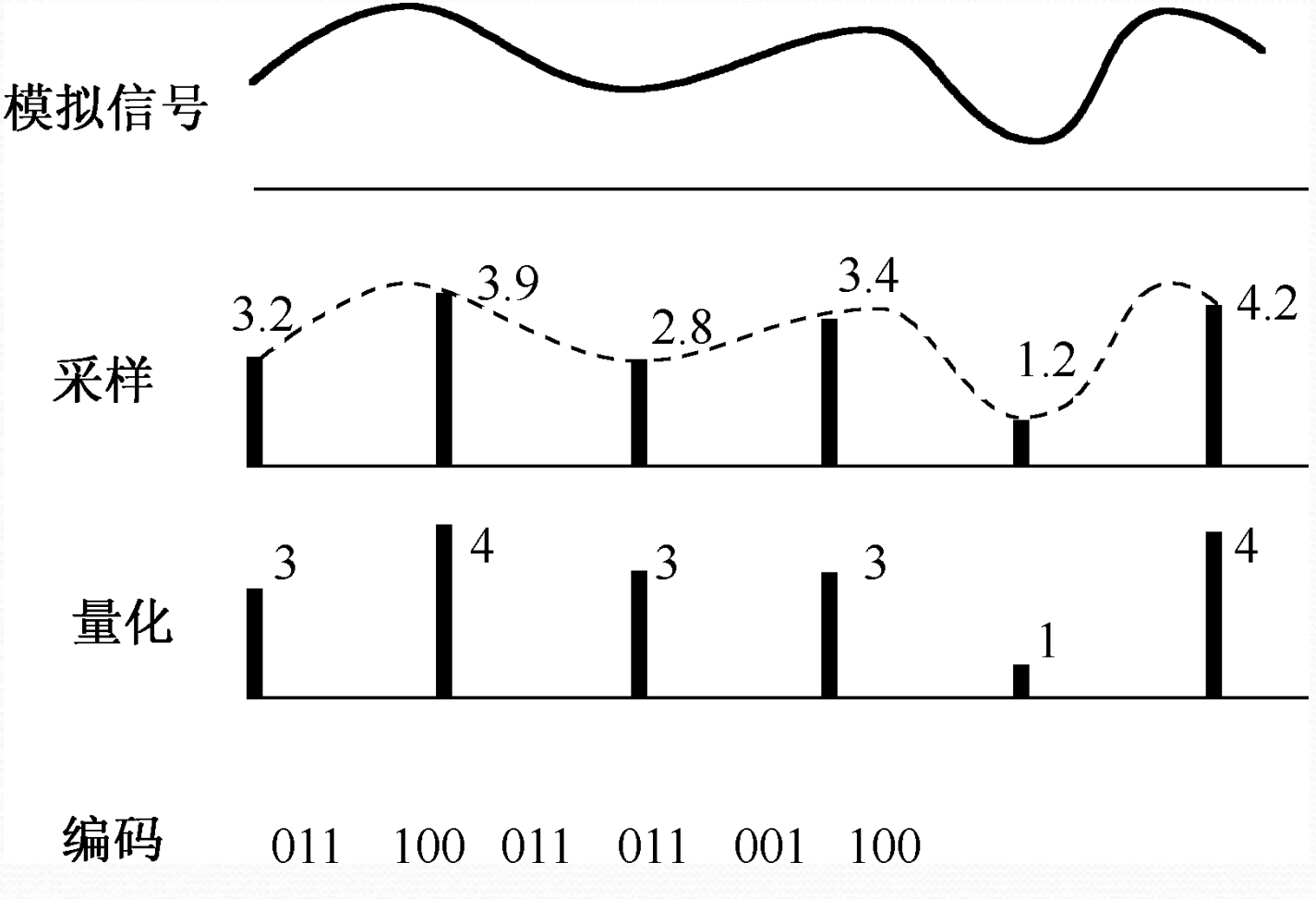
- **6.4.3 模拟数据编码**
- 数字信号不能直接在模拟信道上传输，必须在模拟信道两端各加上一个调制解调器，通过调制解调器把数字信号转换成模拟信号后传输，再通过解调技术把模拟信号还原成数字信号后接收。
- （1）幅移键控法 ASK （Amplitude-shift Keying）
- 也称调幅，在幅移键控法 ASK 方式下，用载波频率的两个不同的振幅来表示两个二进制数字。

- （2）频移键控法 FSK （Frequency-shift Keying）
- 也称调频 图 2.24 三种调制方法的调制波形
- ，在频移键控法 FSK 方式下，用载波频率附近的两个不同频率来表示两个二进制值。
- （3）相移键控法 PSK （Phase-shift Keying）
- 也称调相，在相移键控法 PSK 方式下，利用载波信号的相位移动来表示数据。用相同的相位表示二进制“0”，用反相的相位表示二进制“1”。


数字
数据
0
1
0
0
1
0
调幅
调频
调相

- 6.4.4　脉冲编码调制
- 模拟信号不能直接在数字信道中传输，必须先转换成数字信号，模拟数据的数字信号编码最典型的方法是脉冲编码调制 PCM 编码。
- PCM 编码过程包括三个步骤：采样、量化和编码。

- ① 采样：每隔一定的时间对连续模拟信号采样，连续模拟信号就成为“离散”的模拟信号。根据采样定理，采样频率 F 必须满足 $F \geqslant 2F_{max}$。
- ② 量化：把采样所得到的脉冲信号根据幅度按标准量级取值（四舍五入取整），这样脉冲序列就成为数字信号了。
- ③ 编码：用一定位数的二进制数来表示采样序列量化后的量化幅度。例如，在语音数字化脉冲调制系统中，通常分为 256 个量级，即用 8 位二进制数表示，采样频率为 8000 次 / 秒，因此 PCM 的码率为 64kb/s 。

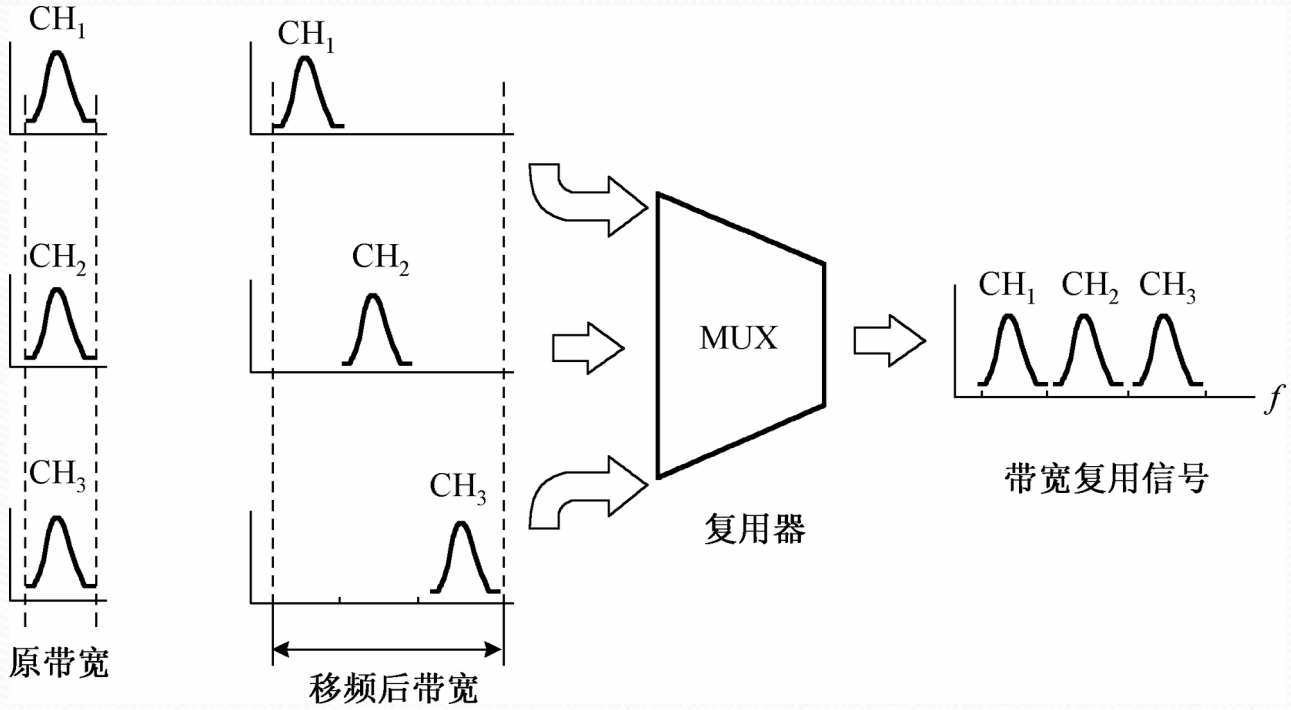

模拟信号
采样
3.2
3.9
2.8
3.4
1.2
4.2
量化
3
4
3
3
1
4
编码
011 100 011 011 001 100

6.5 信道复用技术

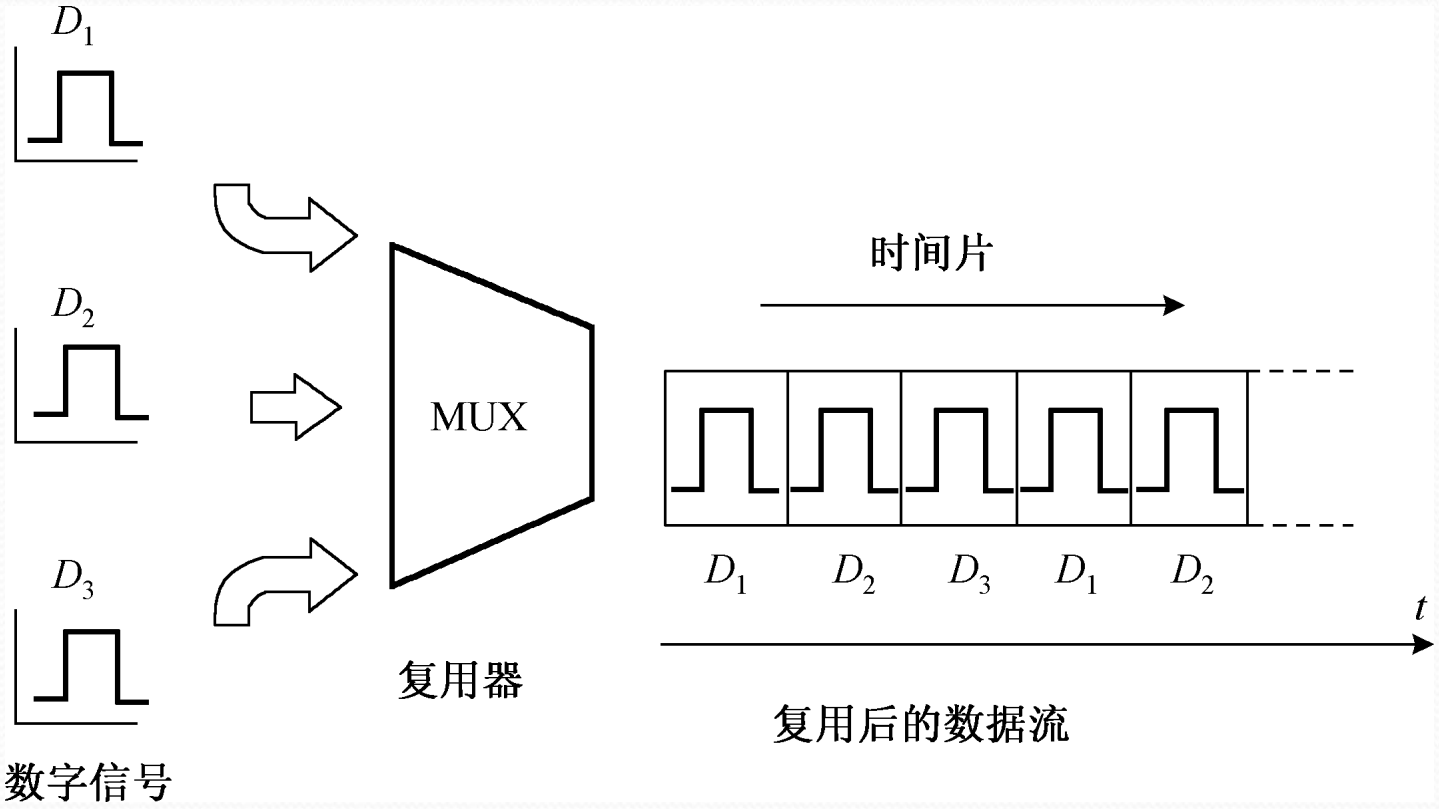
- 多路复用技术是把多路用户信息用单一的传输设备在单一的传输线路上传输的技术。多路复用系统将来自若干信息源的信息进行合并，然后将这一合成的信息群经单一的线路和传输设备进行传输。在接收方，使用能将信息群分离成各个单独信息的设备对信号群进行分离。这样极大地节省了传输线路，从而提高了线路利用率。
- 常用的多路复用技术有：频分多路复用（FDM），时分多路复用（TDM），波分多路复用（WDM）。

- **6.5.1 频分多路复用**
- 频分多路复用（Frequency-Division Multiplexing， FDM）技术用于模拟信号。
- 频分多路复用就是将信道的可用带宽按照频率分割成若干个子频带信道，并把它们分配给每一个通信装置，为防止相邻两个信号频率覆盖造成串扰，在相邻两个信号频率段之间留有一个频率保护带来隔离相邻信号。

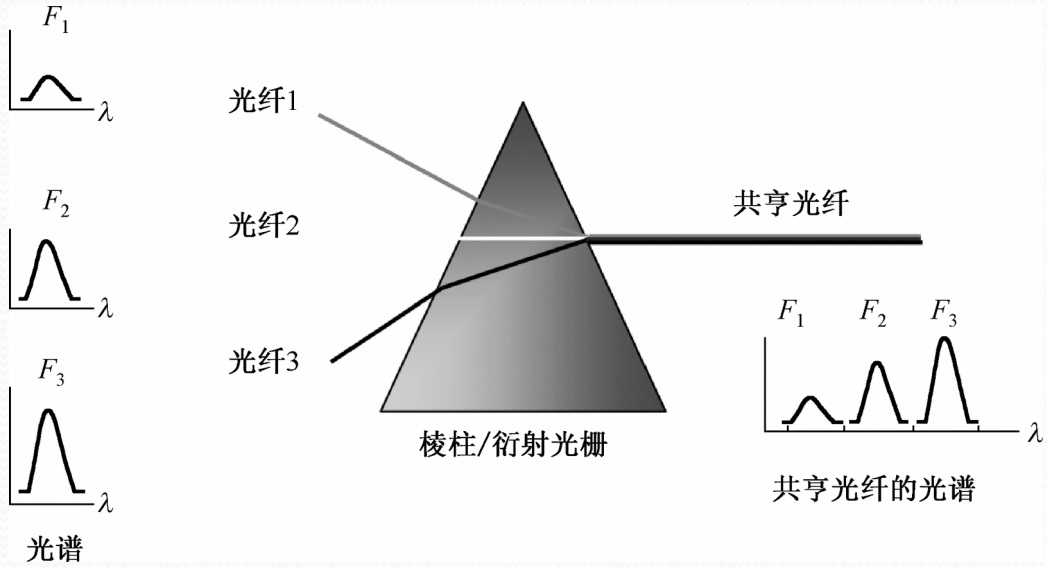
- 频分多路复用应用的特点是：
- ①　各路信号独占信道，共享时间。
- ②　其信道类型是模拟信道，传输模拟信号。



- 6.5.2 时分多路复用
- 时分多路复用方法，其信号分割的参量是信号占用的时间，故要使复用的各路信号在时间上互不重叠。在传输时把时间分成小的时间片，每一时间片由复用的一个信号占用，每一瞬时只有一个信号占用信道，而不像频分多路复用那样，在同一时间发送各路信号。从性质上说，频分多路复用较适合于模拟信号，而时分多路复用较适用于数字信号。


D_1
D_2
D_3
MUX
时间片
D_1 D_2 D_3 D_1 D_2
t
数字信号
复用器
复用后的数据流

- **6.5.3 波分多路复用**
- 波分多路复用（WDM）是一种光纤传送技术。它在一定的带宽上将输入的光信号调制在特定的频率上，然后将调制后的信号复用在一根光纤上，完成此调制的关键是波长复用器的应用。



- **6.5.4 码分多路复用**
- 码分多路复用（Coding Division Multiplexing Access，CDMA）技术是一种用于移动通信系统的新技术。CDMA 的复用原理是基于码型分割信道的，每个用户分配有一个地址码，而这些码型互不重叠，其特点是频率和时间资源均为共享。

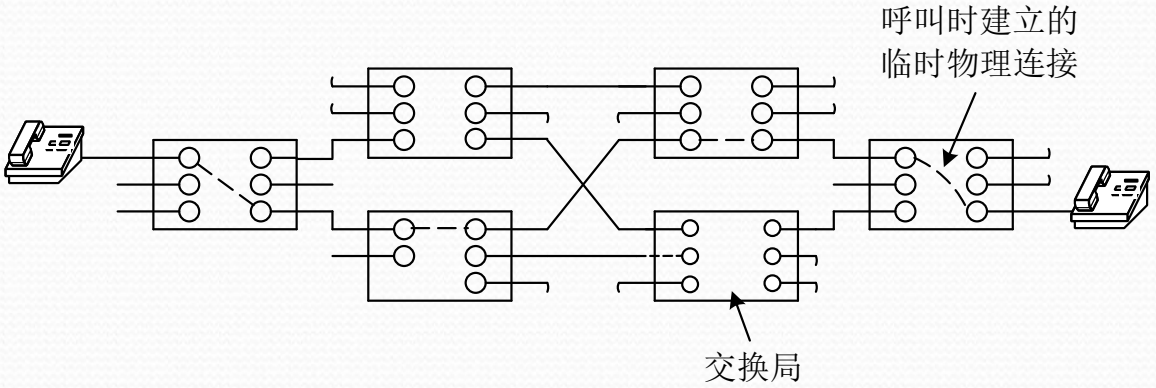
- CDMA 对不同用户传输信息所用的信号不是靠频率不同或时隙不同来区分，而是用各自不同的编码序列来区分，或者说，是靠信号的不同波形来区分。每个用户可在同一时间使用同样的频带进行通信，但使用的是基于码型的分割信道的方法，即给每个用户分配一个地址码，且各个码型互不重叠，通信各方之间不会互相干扰。 CDMA 在移动通信网络、移动 Internet 及移动 IP 网中具有广泛的用途。

6.6 数据交换技术

- 数据经编码后在通信线路上进行传输的最简单形式，是在两个互连的设备之间直接进行数据通信。但是网络中所有设备都直接两两相连是不现实的，通常要经过中间节点将数据从信源逐点传送到信宿，从而实现两个互连设备之间的通信。中间节点又称为交换节点，当交换节点转接的终端数很多时，则称该节点为转接中心（或交换中心）。当网络规模很大时，多个转接中心又可互连成交换网络。这些中间节点并不关心数据内容，它的目的只是提供一个交换设备，把数据从一个节点传送到另一个节点，直至到达目的地。这样，终端间的通信不必使用点到点的专线，而是由交换网络提供一条临时的通信路径，既节省了线路建设投资，又提高了线路利用率。通常将数据在各节点间的数据传输过程称为数据交换。

- 网络中常用的数据交换技术可分为两大类：线路交换和存储转发交换，其中存储转发交换技术又可分为报文交换和分组交换。
- **6.6.1 线路交换**
- 线路交换（Circuit Exchanging， CE）也称为电路交换。在线路交换中，通信双方通过通信子网进行数据交换之前，首先要在通信子网中建立一个临时的专用物理线路连接，用户通信时独占这条线路，不与其他用户共享，直到通信一方释放这条专用线路。

- 线路交换的特点如下：
- ①　线路建立后，所有数据直接传输。因此数据传输可靠、迅速、有序。
- ②　线路接通后即为专用信道，线路利用率低。
- ③　线路建立时间较长，造成有效时间的浪费。
- 线路交换适用于高负荷的持续通信和实时性要求较强的场合（如会话式通信），不适合突发性通信。



- **6.6.2 报文交换**
- 与线路交换不同，发送双方不需要通信前建立线路连接，而是由发送方直接发送信息，中转节点可先把收到的信息存储起来，等待信道空闲时再把信息转发给下一节点，这样经过多个中转节点存储转发，最后到达目标节点。这种交换方式就称为存储交换或存储转发（ Store and Forward ）。

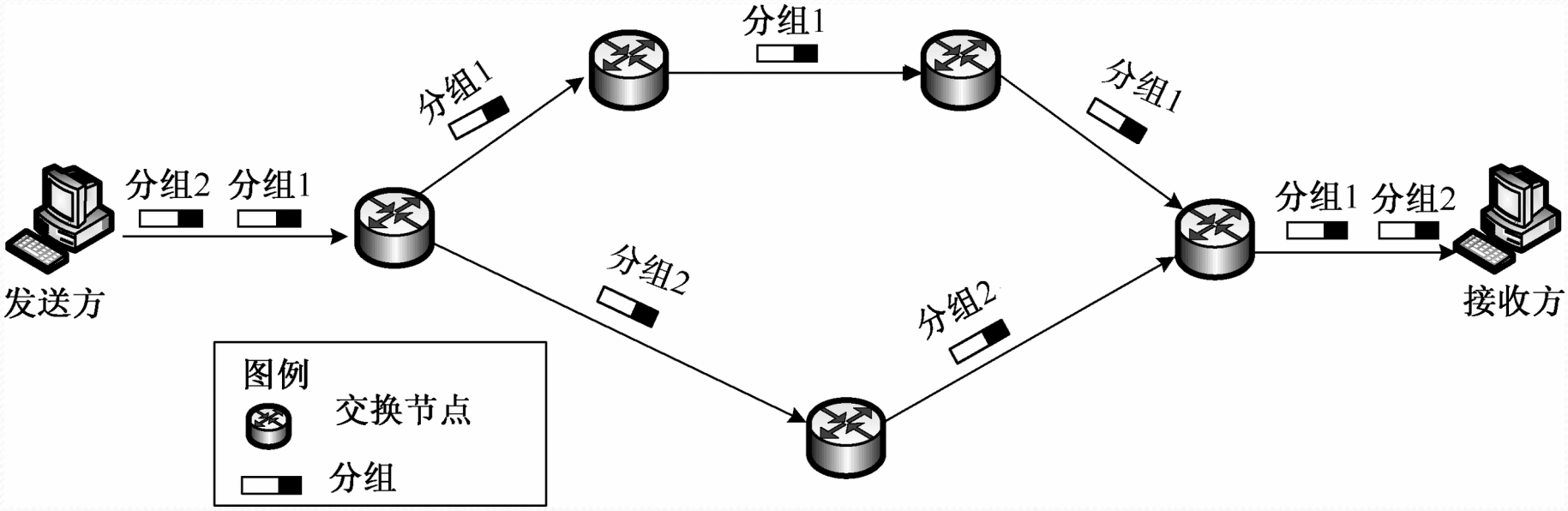
- 报文交换是以报文为单位进行存储交换的技术。所谓报文，就是需要发送的整个数据块，而不是数据的一部分。发送端将一个目的地址附加在报文上发送出去；每个中间节点先接收整个报文，检查无误后暂存这个报文（存储），然后根据报文的目的地址，选择一条合适的空闲输出线路将整个报文传送给下一节点（转发），直至目的节点。

- 报文交换的优点是：
- ① 与线路交换相比，报文交换不要求交换网络为通信双方预先建立一个传输通道，因此不存在建立连接和拆除连接的过程，也就没有建立和拆除连接所需的等待时间。
- ② 线路利用率高，通信过程中不必要独占线路资源，不同的报文可共享节点间的同一条线路。
- ③ 传输可靠性高，表现在两个方面：一是能够对报文进行差错检查，若有错，可以让发送方重新发送；二是如果中间节点发现某条线路有故障，它可以选择其他转发路径。

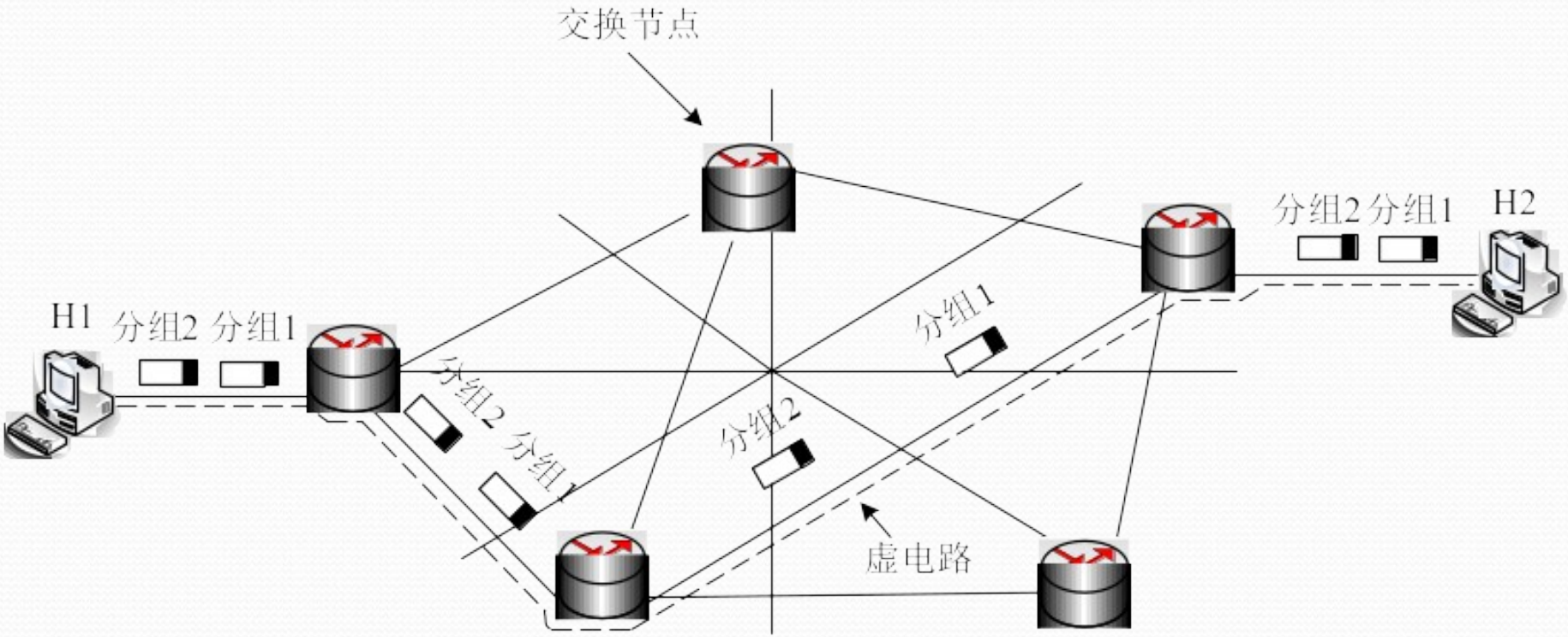
- 报文交换的缺点是：
- ① 节点存储转发的时延较大，并且有时延抖动现象（时延与报文长度和转发路径有关）。
- ② 实际应用中报文的大小变化很大，对中间节点的要求高，例如：存储能力或处理能力等。
- ③ 对于长报文，一旦出错就需要从头全部重发，因此会影响传输效率，并且带来更大的时延。

- **6.6.3 分组交换**
- 分组交换方式吸取了报文交换方式的优点，仍然采用“存储—转发”的方式，但不像报文交换方式那样以报文为交换单位，而是把报文“裁成”若干比较短的、规格化的数据块，称为分组（ Packet ），然后以分组为单位按照与报文交换同样的方法进行传输。
- 分组交换有两类：数据报（ Datagram ）方式和虚电路（ Virtual Circuit ）方式。

- **1．数据报方式**
- 在数据报方式中，节点间不需要建立从源主机到目的主机的连接。源主机所发送的每一个分组都独立地选择一条传输路径。每个分组在通信子网中可以通过不同传输路径，从源主机到达目的主机。因此，每个分组中都必须包含目的站点的地址。交换节点根据每个数据分组中的目的地址独立地为其临时确定路由，这样，不同的分组在网络中可能会经过不同的路径到达目的站点。由于交换节点为每个分组独立地寻找路径，使得各个分组到达目的站点的顺序也有可能与发出时的顺序不同，因此，目的主机需要对到达的分组按编号重新排序和组装。


分组1
分组1
分组1
分组2 分组1
分组1 分组2
发送方
分组2
分组2
接收方
图例
交换节点
分组

- **2．虚电路方式**
- 虚电路方式试图将数据报方式和线路交换方式结合起来，发挥两种方式的优点，以达到最佳的数据交换效果。数据报方式在分组发送之前，发送方与接收方之间不需要预先建立连接。而虚电路方式在分组发送前，需要在发送方与接收方之间建立一条逻辑通路，即虚电路。虚电路不是实际的物理连接，而是在交换网络各个节点中预先申请的资源，这些资源的链构成了一条虚拟的电路连接。每个分组除了包含数据之外还包含一个虚电路标识符。报文的所有分组都将在这条虚电路上传输，不用再进行路由选择。通信结束时，同样需要有拆除虚电路的操作。

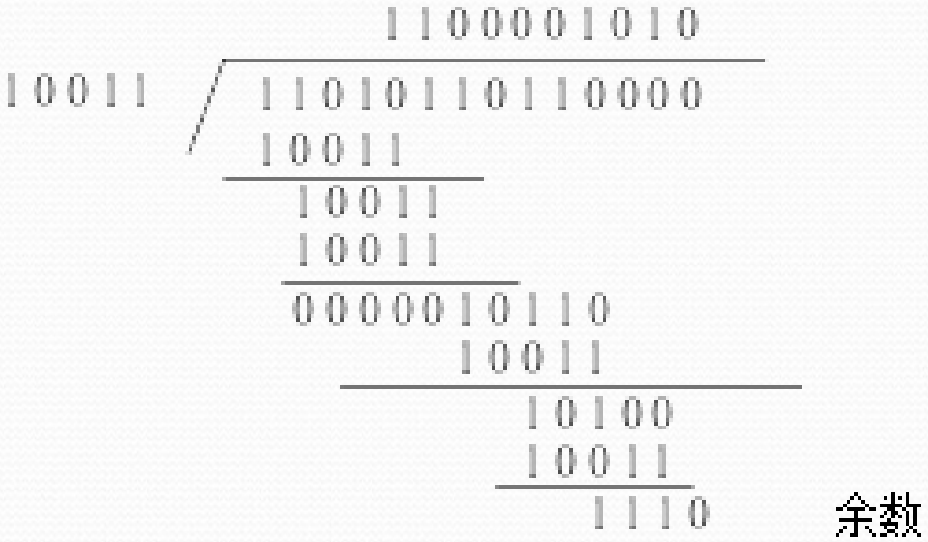

交换节点
H1
分组2 分组1
分组2 分组1
分组1
分组2
分组2 分组1
H2
虚电路

- 虚电路对大数据量的传输效率较高，这是因为虚电路一旦建立，每个分组传输时不再需要进行路由选择操作，同时，交换机在建立虚电路时已经为其预留了一定数量的缓存和其他资源，不需要再临时申请，因而不会发生网络拥塞现象。
- 虚电路方式的优点是能保证分组按序、按时到达以及保证分组不丢失。即它能够提供通信服务质量的保证。

- 6.6.4　其他数据交换技术
- （1）利用数字语音插空技术 DSI
- （2）帧中继（Frame Relay）
- （3）异步传输模式 ATM （Asynchronous Transfer Mode）

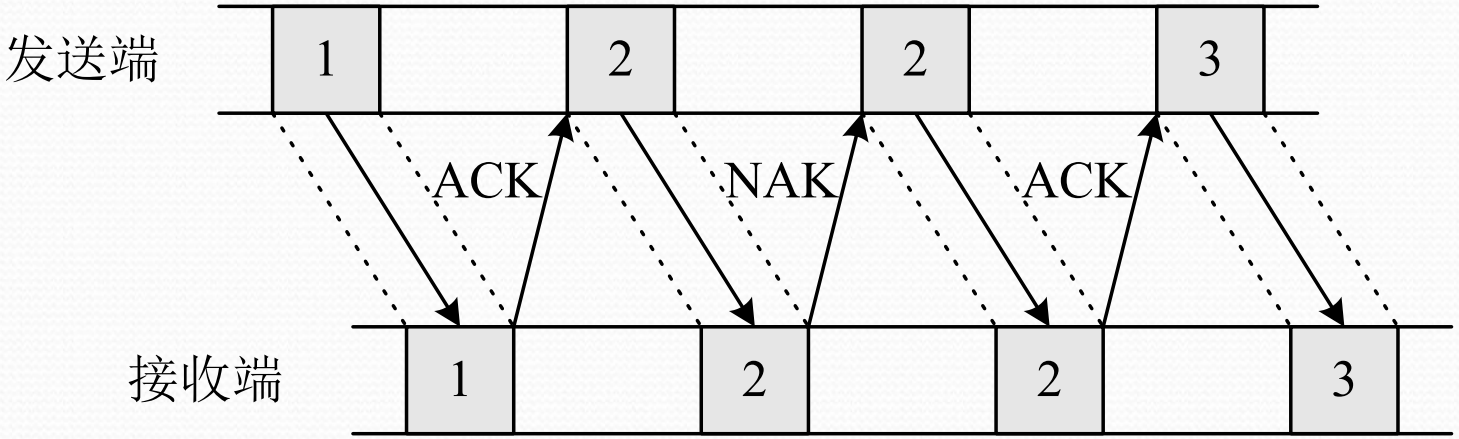
6.7 差错检测与控制

- 6.7.1 差错原因
- 数据传输中所产生的差错都是由噪声引起的。通信信道的噪声分为两类：热噪声和冲击噪声。
- 6.7.2 检错技术
- 1．奇偶校验
- 2．校验和
- **3．循环冗余校验**

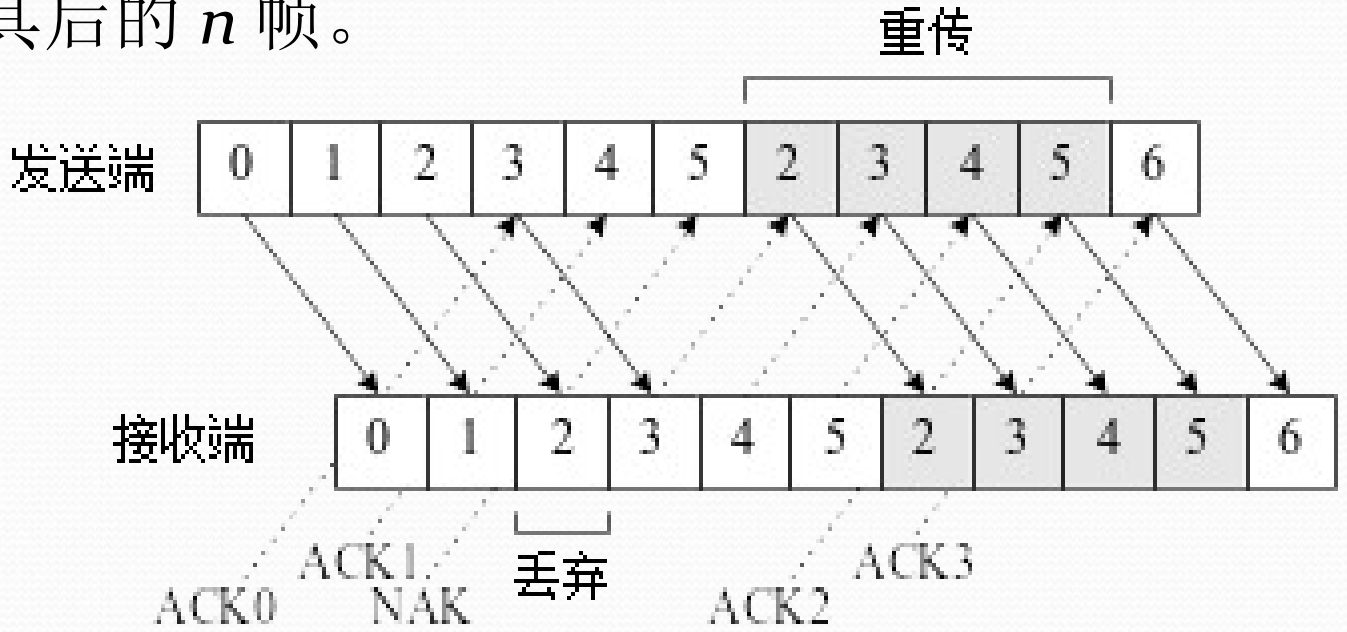


- 6.7.3 差错控制机制
- 差错控制方法主要有两类：自动请求重发（Automatic Repeat Request， ARQ）和前向纠错。
- 自动请求重发是利用编码的方法在数据接收端检测差错，当检测出差错后，设法通知发送数据端重新发送数据，直到无差错为止。
- 前向纠错是利用编码的方法，接收数据端不仅对接收的数据进行检测，当检测出差错后能自动纠正差错。

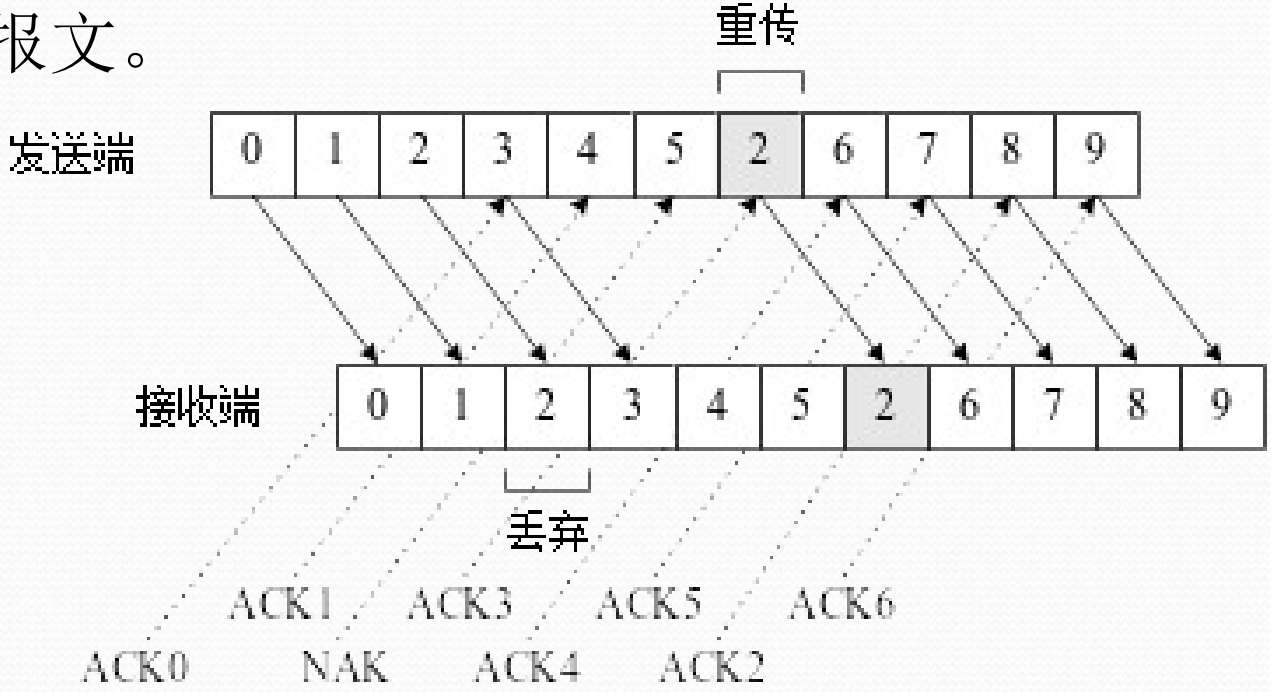
- **1．停等式 ARQ**
- 在停等式 ARQ 中，数据报文发送完成之后，发送方等待接收方的状态报告，如果状态报告报文发送成功，发送后续的数据报文，否则重传该报文。



- 2．回退 *n* 帧（Go-back-N）ARQ
- 在回退 *n* 帧 ARQ 中，允许发送方可以连续发送数据报文，但是，一旦某帧发生错误，必须重新发送该帧及其后的 *n* 帧。



- 3．选择重发式 ARQ
- 在选择重发式 ARQ 中，发送方可连续发送多个数据报文。若前面某个数据报文出错，只需重发该出错的数据报文。



习　　题