



江苏师范大学
JIANGSU NORMAL UNIVERSITY

电气工程及自动化学院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING & AUTOMATION

计算机网络技术

授课教师：李灿

联系方式：57862787

lic@jsnu.edu.cn

课程网站：sslic.cn/cnet

教研室：12#-407A（轨道交通系）



第2章 数据通信的基础知识



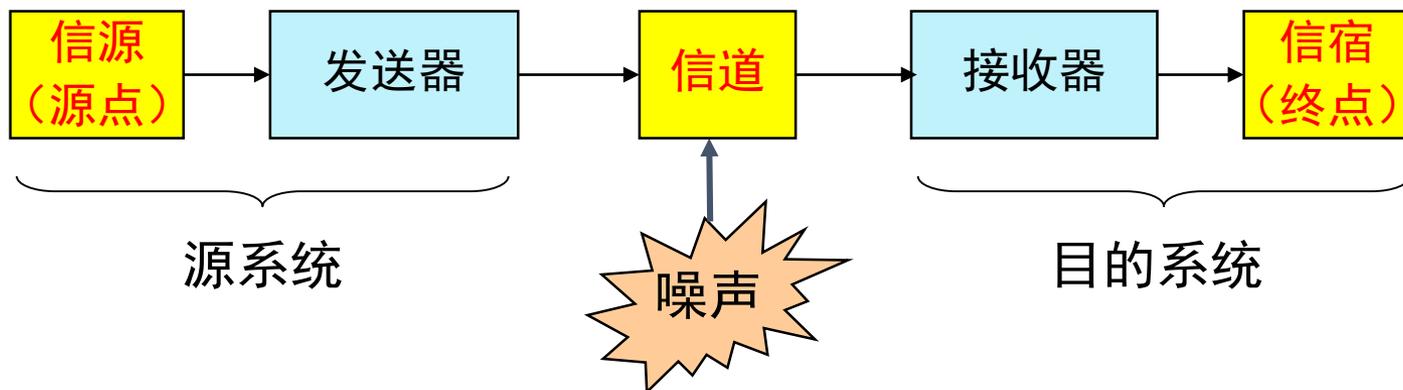
本章内容

- 数据通信系统
- 基本概念
- 传输介质
- 数据编码
- 多路复用技术
- 数据交换技术
- 差错控制
- 数据通信性能指标



- **数据通信技术**是**计算机技术与通信技术**结合的产物，主要研究计算机中数字数据的传输与交换、存储、处理的理论、方法和**技术**。是**计算机网络技术**的基础。
- 随着技术的不断进步，可以认为**计算机通信与数据通信**是能够互换的名词。
- 在许多情况下，**数据通信网**往往是指计算机网络中的**分组交换网**；网络核心部分最重要的功能是**分组转发**

2.1 数据通信系统



□ 数据通信系统大致分3部分（三要素：信源、信宿、信道）

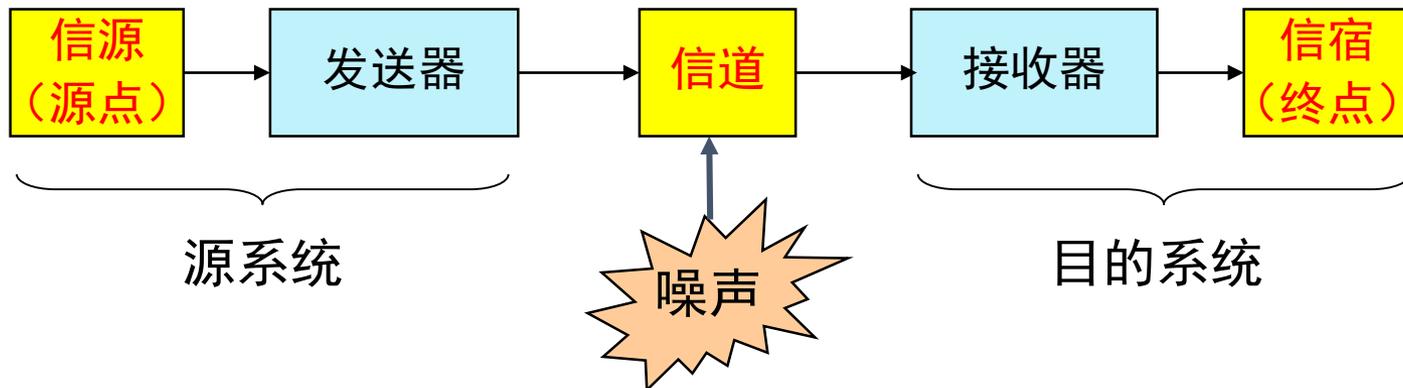
□ 源系统：

- 源点：源点设备产生通信网络要传输的数据。
- 发送器：通常源点生成的数据要通过发送器编码后才能够能够在传输系统中进行传输。如，调制解调器

□ 目的系统

□ 传输系统

2.1 数据通信系统



- 通信的三个要素：**信源**、**信宿**和**信道**
- 源系统（源点+发送器）
- 目的系统
 - **接收器**：**接收**传输系统传送过来的**信号**，并将其**转换**为能够被目的设备处理的信息
 - **终点**：终点设备从接收器**获取**传送来的**信息**
- 传输系统
 - 可以是简单的**物理通信线路**
 - 也可以是**连接源系统和目的系统**之间的**复杂网络设备**



数据通信的基本过程

□ 包含两项内容：**传输数据**和**通信控制**

□ 5个阶段

过程	与打电话比较
• 建立物理连接	拨号拨通对方
• 建立数据传输链路（ 建立逻辑连接 ）	互相确认身份
• 传送通信控制信号和数据	互相通话
• 数据传输结束（ 断开逻辑连接 ）	互相确认要结束通话
• 断开物理连接	双方挂机

注意：并不是所有的数据通信都需要全部5个阶段。



2.2 数据通信的一些基本概念

- 数据与信号
- 信道
- 通信方式
- 传输方式
- 同步方式



2.2.1 数据与信号

□ 信息 (Information) —— 人看得懂

- 数据所表示的**内涵**。例如：现在外面的天气
- **通信的目的**：交换信息

□ 数据 (Data) —— 计算机看得懂

- 数据是**信息**的数学载体，是通过**信号**进行传输的
- 例如：**01000001**

□ 信号 (Signal) —— 物理上可实现

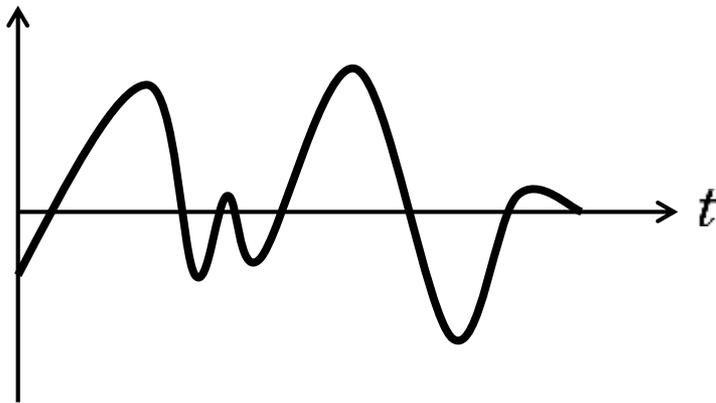
- 数据的**物理量编码**（通常为电编码），数据以信号的形式在介质中传播，信号是传输数据的载体。例如：用高、低电平分别代表1、0
- **信号分类**：可以分为**模拟信号**和**数字信号**

□ 模拟信号

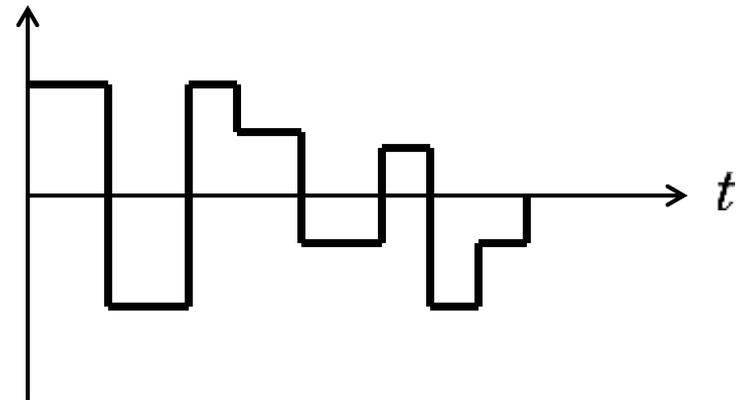
- 时间上连续，包含无穷多个信号值。

□ 数字信号

- 时间上离散，且仅包含有限数目的信号值。最常见的是二值信号。



模拟信号



数字信号



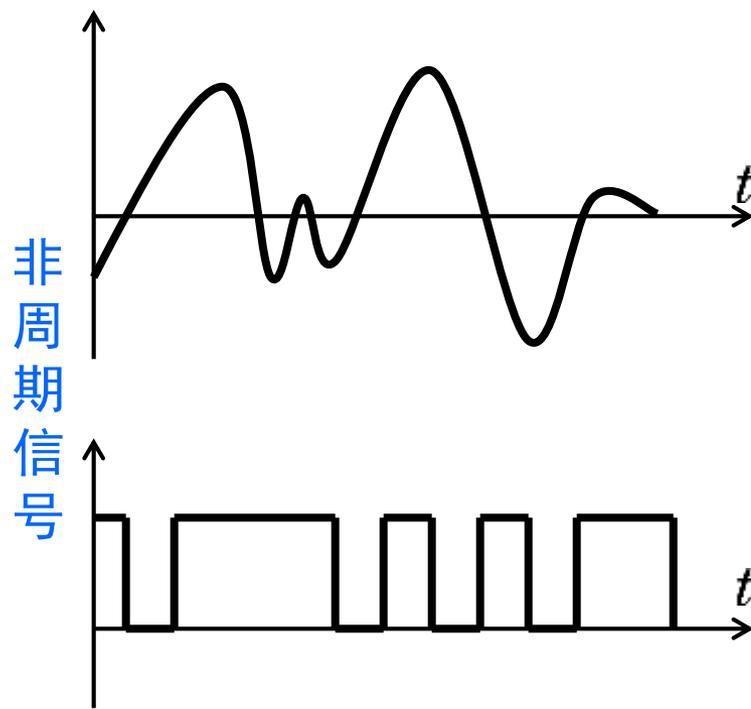
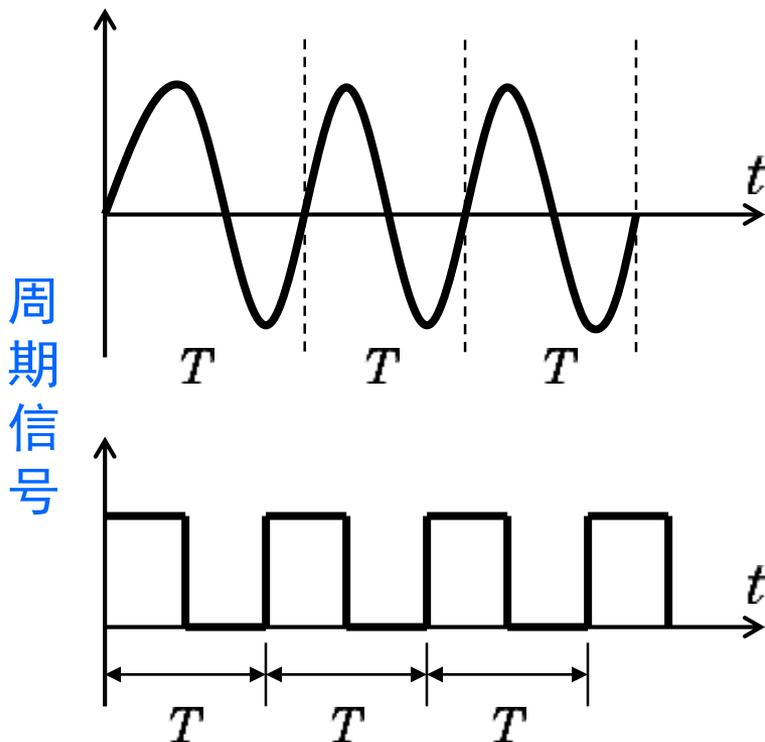
信号分类

□ 周期信号

- 信号由不断重复的固定模式组成（如正弦波）

□ 非周期信号

- 信号没有固定的模式和波形循环（如语音的音波信号）



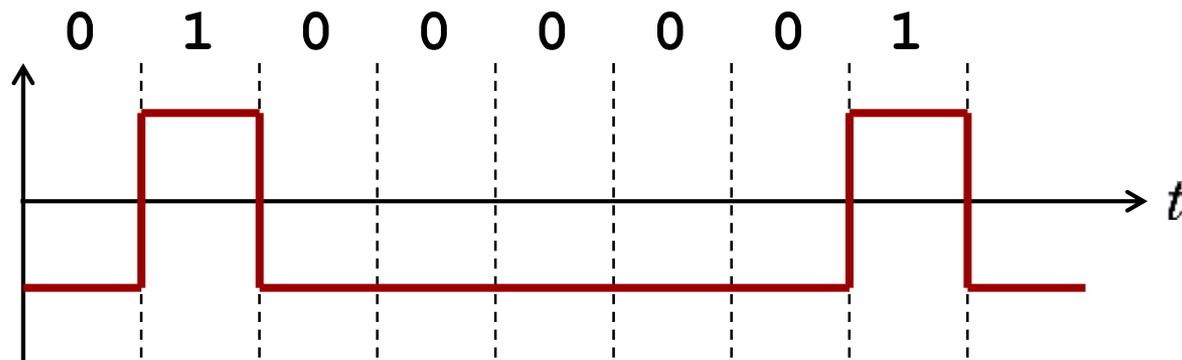


□ **信息编码**：将信息用二进制数表示的方法 → → → **数据**

- 例：ASCII编码、BCD编码等

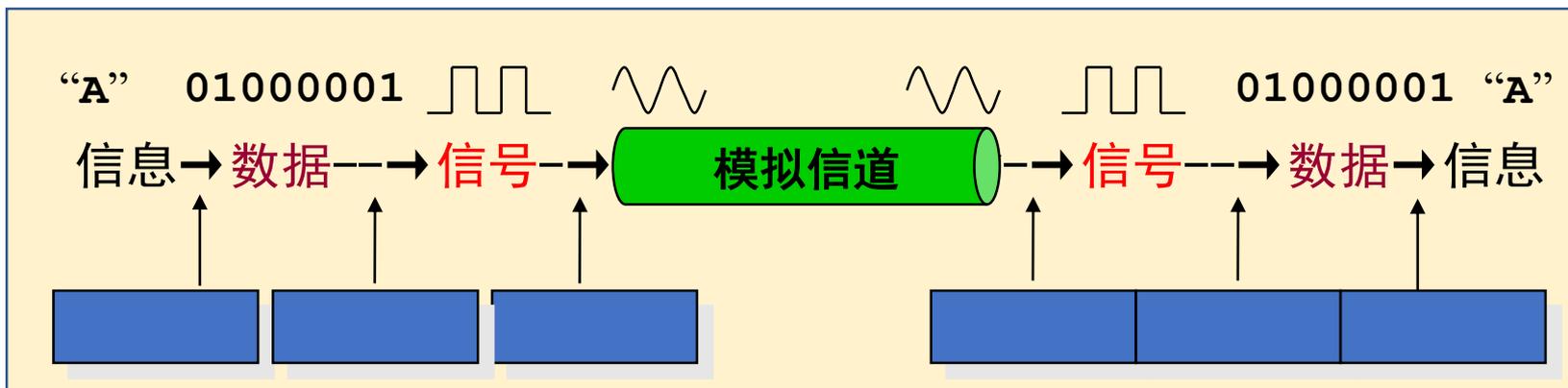
□ **数据编码**：将数据用物理量表示的方法 → → → **信号**

- 例：字符“A”的ASCII编码01000001，其数据编码可能为



□ 信息通过数据通信系统进行传输的过程

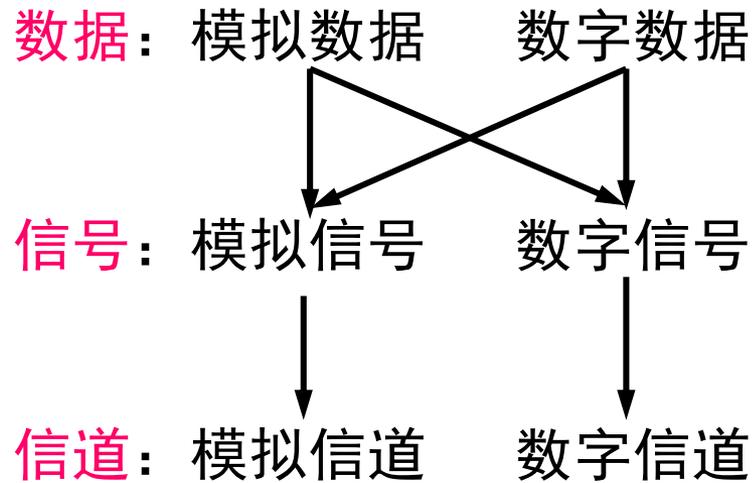
- 把携带**信息**的**数据**用物理**信号**形式通过信道传送到目的地
- 信息和数据（二进制位）不能直接在信道上传输



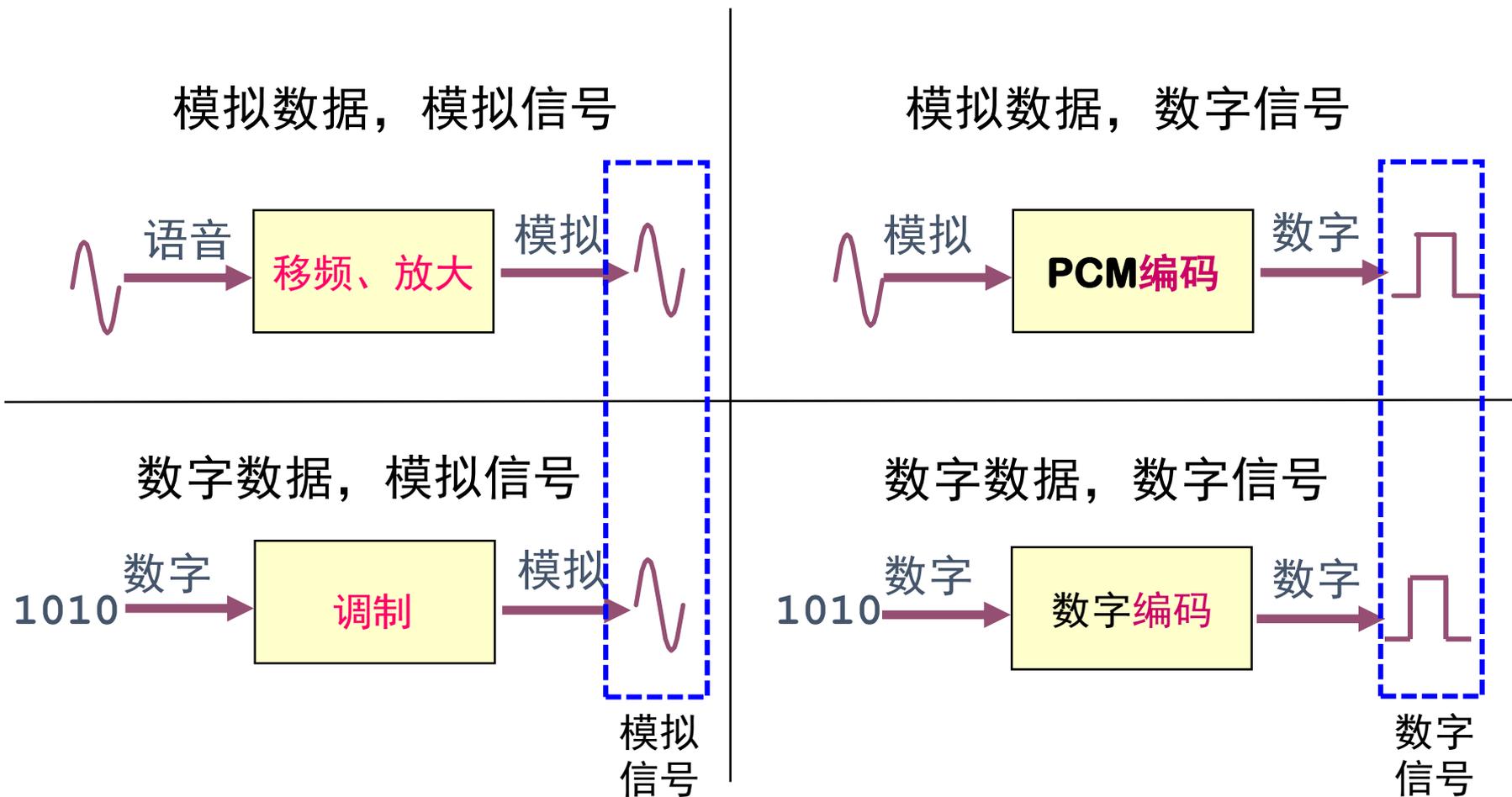
- 编码：**数据**→适合传输的**数字信号**——便于同步、识别、纠错
- 调制：**数字信号**转换为**模拟信号**的过程——按**频率**、**幅度**、**相位**
- 解调：接收波形→数字信号
- 解码：数字信号→原始数据



□ 不同类型的信号在不同类型的信道上传输有4种情况：



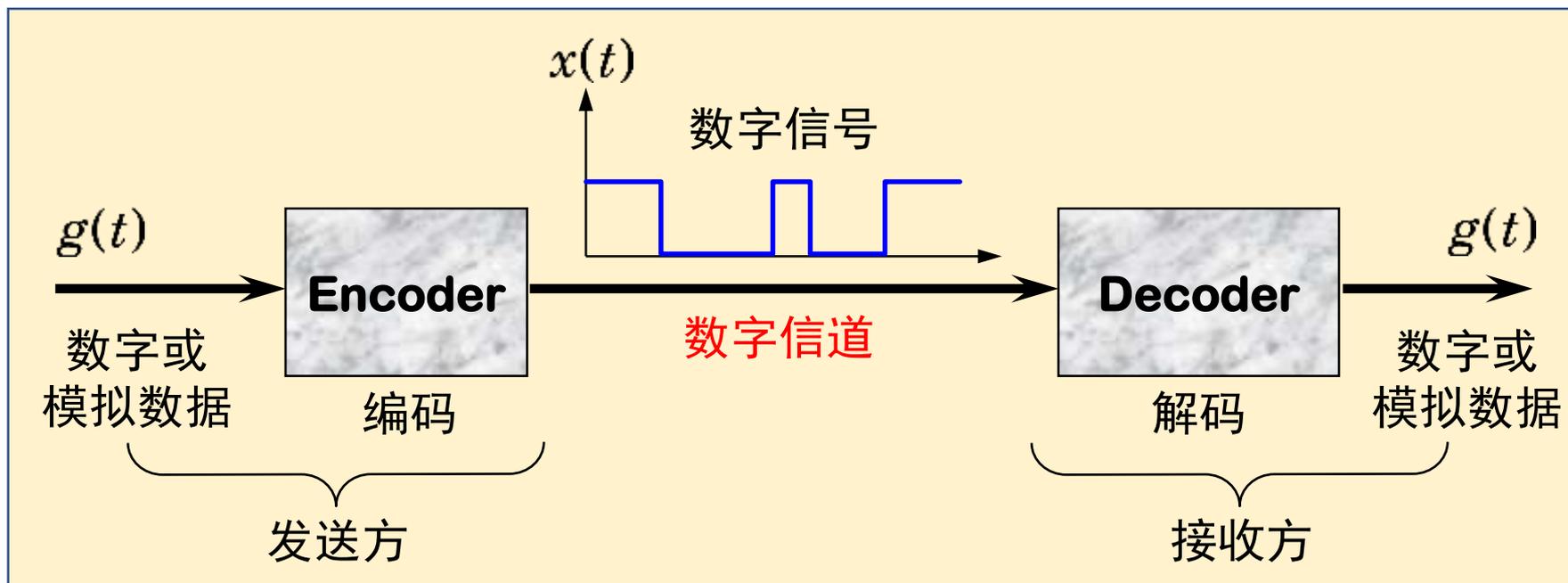
模拟传输和数字传输所使用的技术



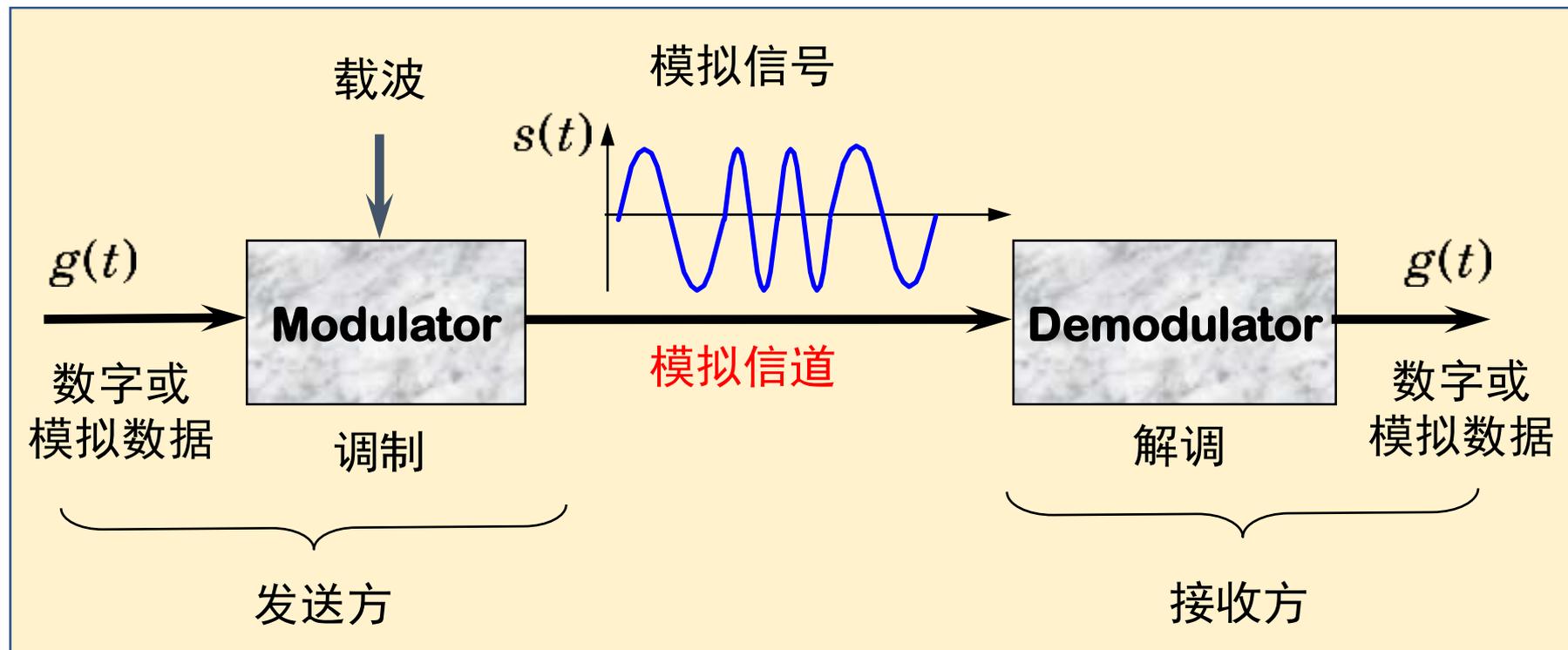
□ 编码与调制的区别

- **编码**：用数字信号承载数字或模拟数据
- **调制**：用模拟信号承载数字或模拟数据

□ 编码与解码



□ 调制与解调





2.2.2 信道

- **信道 (Channel)**：信号是在信道上**传输**的，信道是**信号传输的通道**。信道一般用来表示往某一方向传送信息的**介质**。
- **数字信道**：使用**数字信号传输**数据的信道，**基带传输**
计算机网络中主要采用数字信道进行数据传输
ADSL、ISDN、DDN、ATM、局域网
- **模拟信道**：使用**模拟信号传输**数据的信道，**频带传输**
CATV、无线电广播、电话拨号线路



□ 数字通信与模拟通信

• 数字通信

- 在**数字信道**上实现模拟信息或数字信息的传输

• 模拟通信

- 在**模拟信道**上实现模拟信息或数字信息的传输

□ 数字通信的**优点**

- **抗噪声**（干扰）能力强
- 可以**控制差错**，提高了传输质量
- 便于用计算机进行处理
- 易于**加密**、**保密性强**
- 可以传输语音、数据、影像，**通用、灵活**

计算机通信仅在不得已的情况下，才会采用模拟通信，如通过电话线拨号上网。



2.2.3 通信方式

□ 单工——单向通信

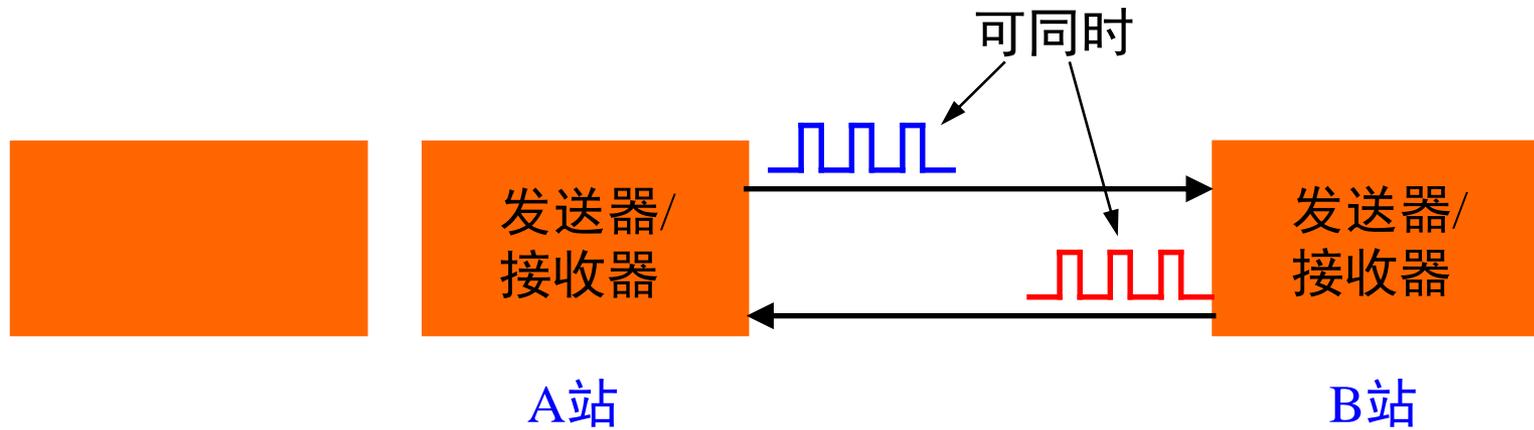
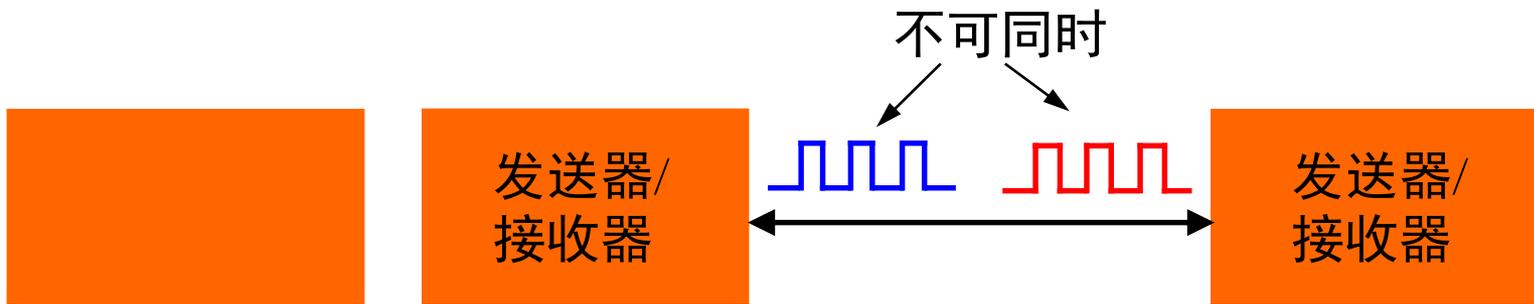
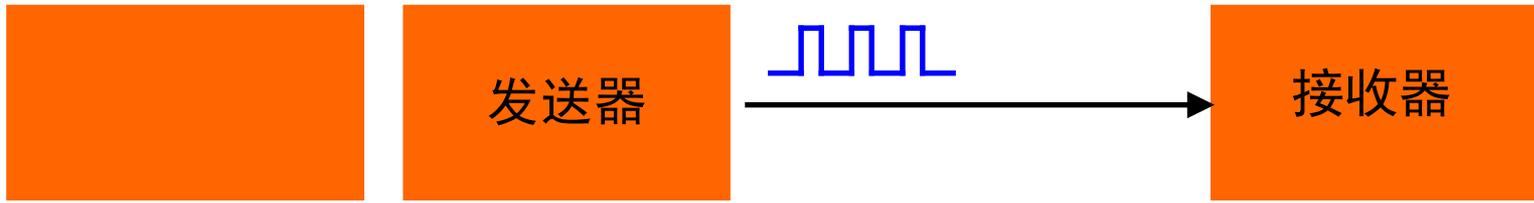
- 数据**单向**传输
例：无线电广播

□ 半双工——双向交替通信

- 数据可以**双向交替**传输，但不能在同一时刻双向传输
例：对讲机

□ 全双工——双向同时通信

- 数据可以**双向同时**传输
例：电话
- 需要具有两条物理上独立的传输线路；
- 或者需要具有一条物理线路上的两个信道，分别用于不同方向的信号传输。





2.2.4 传输方式

- **基带传输**：不需调制，编码后的**数字脉冲信号**直接在信道上传送。
例：以太网（局域网）
缺点：基带信号容易畸变，传输距离受限
- **频带传输**：**数字信号**调制成音频**模拟信号**后再传送，接收方需要解调。
例：通过电话网络传输数据
- **宽带传输**：把信号调制成频带为几十 **MHz**到几百 **MHz**的模拟信号后再以**频分复用方式**传送，接收方需要解调
例：闭路电视的信号传输
频带传输的扩充（频分复用）



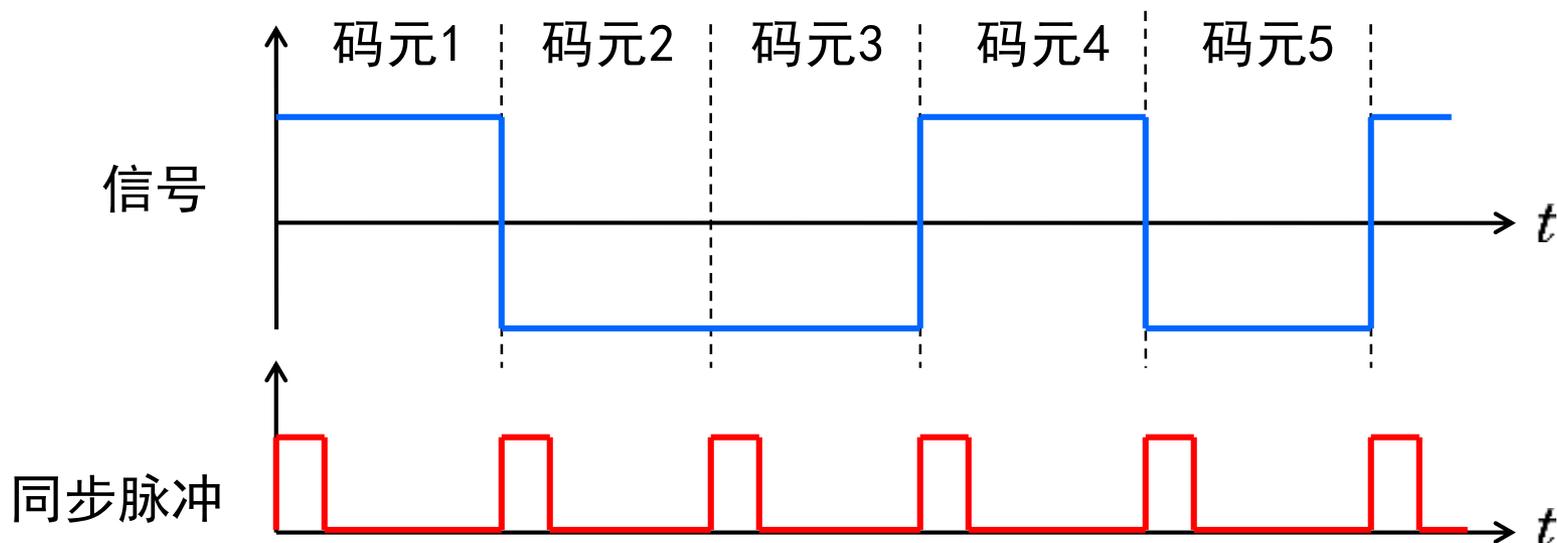
2.2.5 同步方式

□ 同步的因素

- 同步脉冲频率（时钟频率）
- 数据从什么时候开始，什么时候结束
- 位边界
- 数据块边界

□ 数据通信中需要在三个层次上实现同步：

- 位——位同步
- 字符——字符同步
- 帧(Frame)——帧同步



□ **码元 (Code Cell)**：时间轴上一个信号编码单元 (二进制为1bit: 0和1)

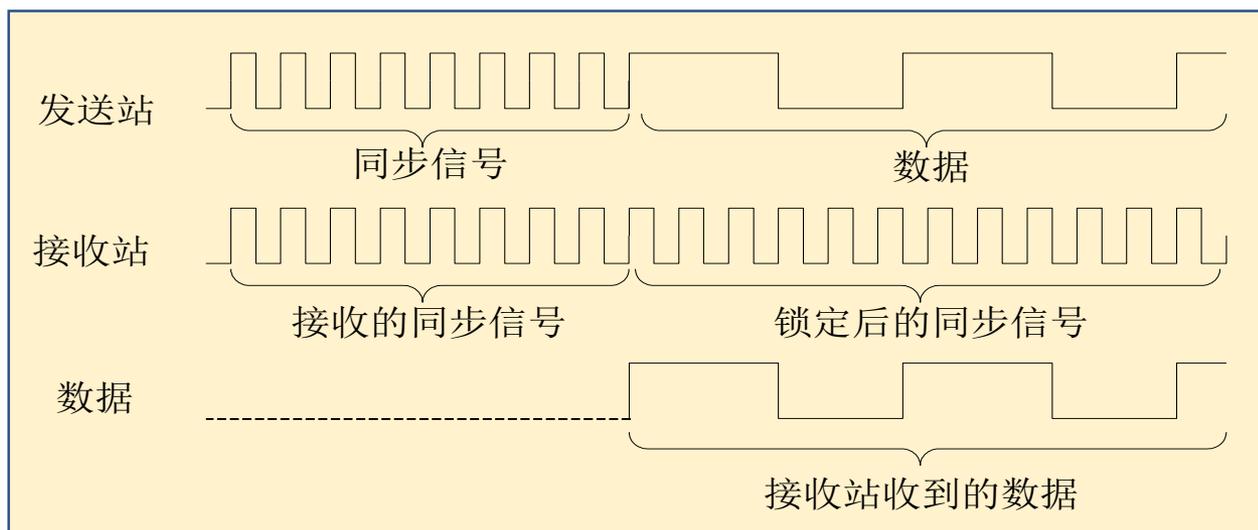
□ **同步脉冲**：用于码元的同步定时，识别码元从何时开始

- 同步脉冲也可位于码元的**中部**
- 一个码元也可有**多个**同步脉冲相对应

位同步

□ 目的：使接收端与发送端在**时间基准上一致**

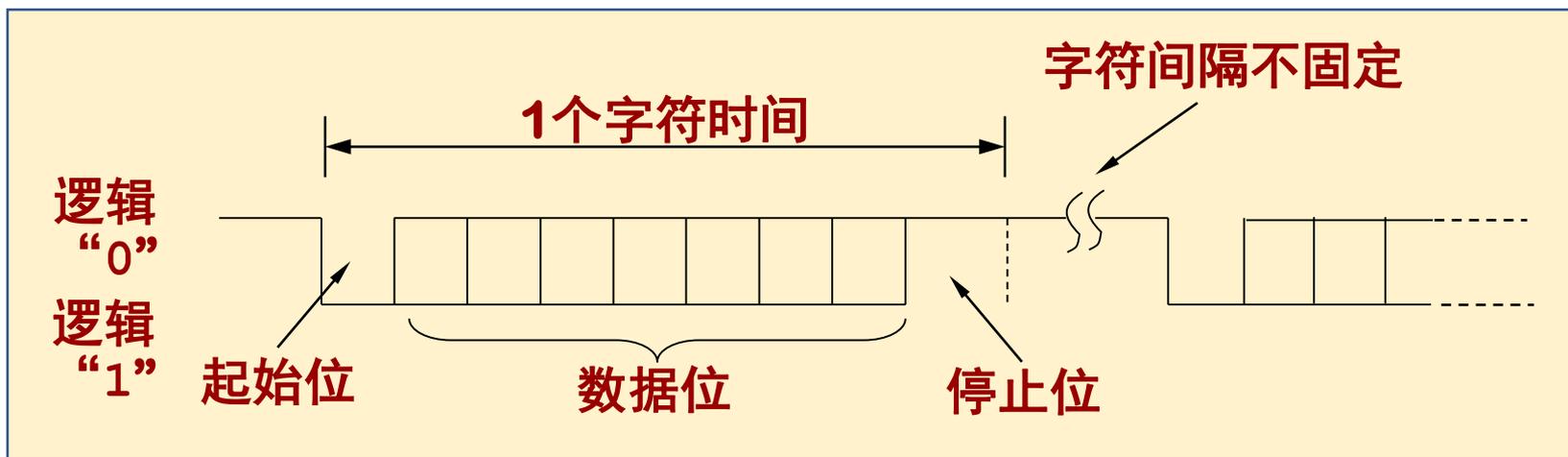
- **外同步法**——发送端发送数据之前发送**同步脉冲信号**，接收方用接收到的同步信号来锁定自己的时钟脉冲频率。**先对时钟频率！**



- **自同步法**——通过特殊编码（如曼彻斯特编码），使**数据编码信号中包含同步信号**，接收方从数据编码信号提取同步信号来锁定自己的时钟脉冲频率。

字符同步

- **目的**：找到正确的字符边界（例：P26→图2.6）
- 常用的为**异步制（起止式）**和**同步制**
- 在异步制方式中，每个字符的传输需要：
 - 1个起始位、8个数据位、2个停止位
- 采用这种同步方式的通信也称“**异步通信**”



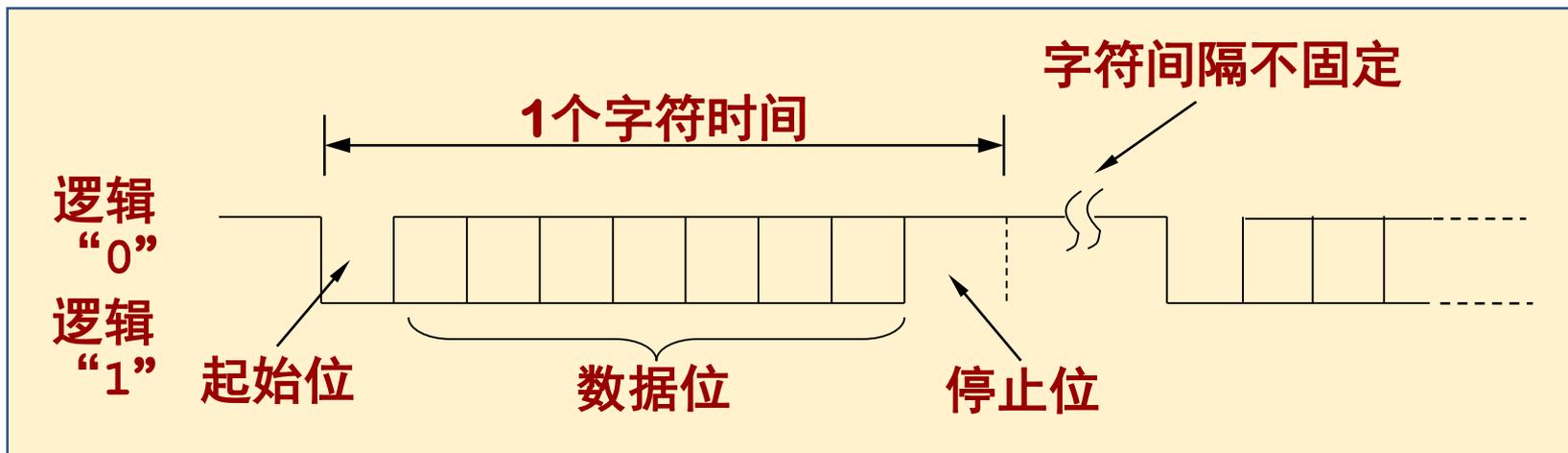
字符同步

□ **目的**：找到正确的字符边界

□ 常用的为**异步制（起止式）**和**同步制**。

□ 异步制的**优缺点**：

- 实现**简单易行**
- 频率的**漂移不会积累**，每个字符开始时都会**重新获得同步**
- 每两个字符之间的**间隔时间不固定**
- 增加了辅助位，所以传输**效率低**，一般适用于**低速通信**
- **例**：采用**1个起始位、8个数据位、2个停止位**时，传输效率 $8/11 \approx 73\%$





字符同步

□ 目的：找到正确的字符边界

□ 常用的为异步制（起止式）和同步制。

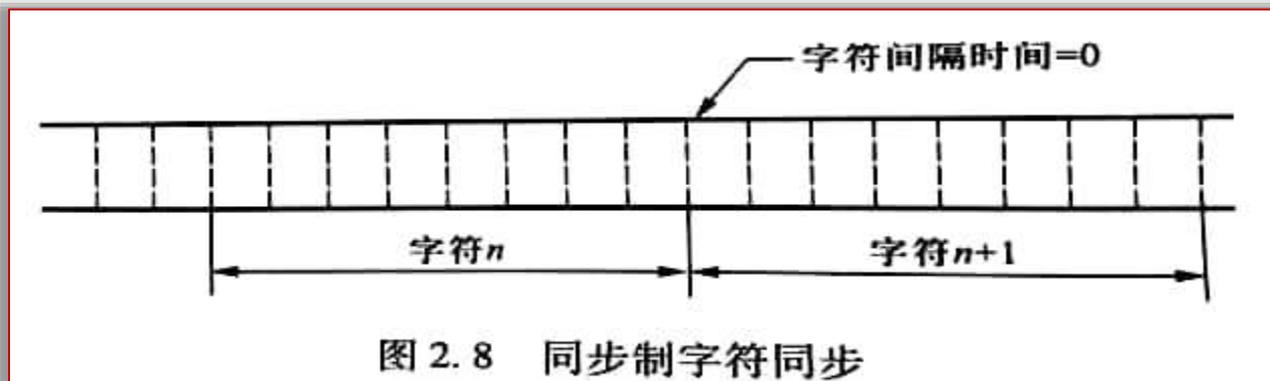
□ **同步制字符同步**：字符**无须任何附加位**，可以**连续发送**。

- 为成组数据的传输提供了较高的线路利用率，但要求**每组字符**必须由一个或多个预先确定的**同步字符**（如**SYN**）**开始**。接收端检测同步字符的模式获得同步，只要接收端能用自己的时钟信号准确收到发送端的同步字符**SYN**，则说明接收端达到了同步。

□ 采用这种同步方式的通信也称“**同步通信**”

字符同步

- 目的：找到正确的字符边界
- 常用的为异步制（起止式）和同步制。
- 在同步制字符同步中的字符无须任何附加位，可以连续发送。
- 采用这种同步方式的通信也称“同步通信”
- 同步制的优缺点：
 - 传输效率有所提高
 - 对串行通信链路两端都要有更高的要求：发送端必须按照规定的速率匀速发送字符，接收端按此速率从线路接收字符，字符间的任意停顿都使接收端随后接收的字符失去同步。



帧同步

- 目的：识别一个帧的起始和结束
- 帧（Frame）：数据链路中的传输单位——包含数据和控制信息的数据块
 - 面向字符的——以同步字符（SYN, 16H）来标识一个帧的开始，适用于数据为字符类型的帧
 - 面向比特的——以特殊位序列（7EH, 即 01111110）来标识一个帧的开始或结束，适用于任意数据类型帧

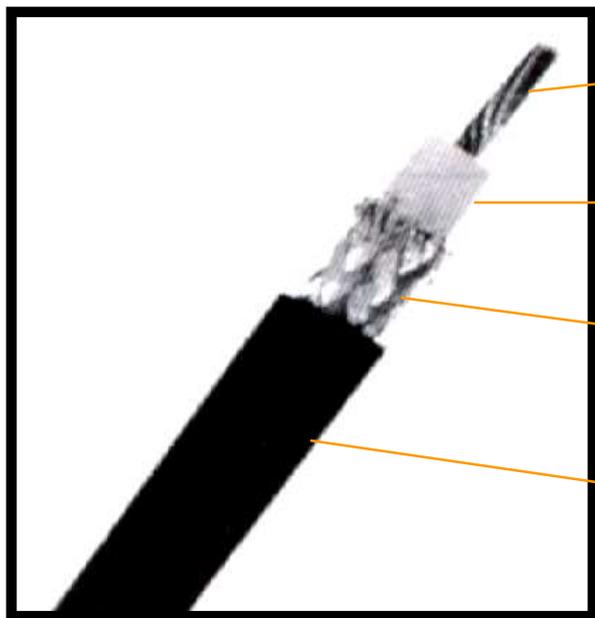




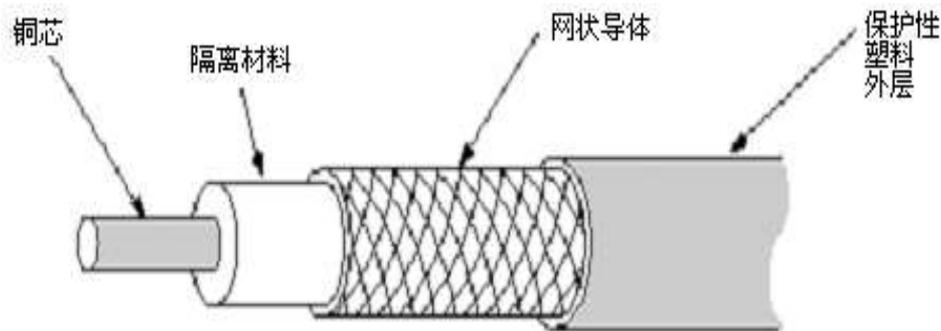
2.3 传输介质

- **传输介质**又被称作**传输媒体**或**传输媒介**，它是计算机网络中连接发送器和接收器的**物理通道**
- 传输介质可以分为两大类，即**导向传输介质**和**非导向传输介质**
 - 在**导向传输介质**中，**电磁波**被导向沿着**固体介质**传播，习惯上被称为**有线传输**
 - **非导向传输介质**就是指**自由空间**，在非导向传输介质中**电磁波**的传输通常被称为**无线传输**
- 常见的传输介质
 - 导向传输介质：**金属导体**：双绞线、同轴电缆(粗、细)、**光纤**
 - 非导向传输介质：**无线介质**：无线电、微波、卫星、红外线

1. 同轴电缆 (Coaxial Cable, CC)



铜芯
绝缘层
外导体屏蔽层
保护套



□ 计算机网络中使用基带同轴电缆

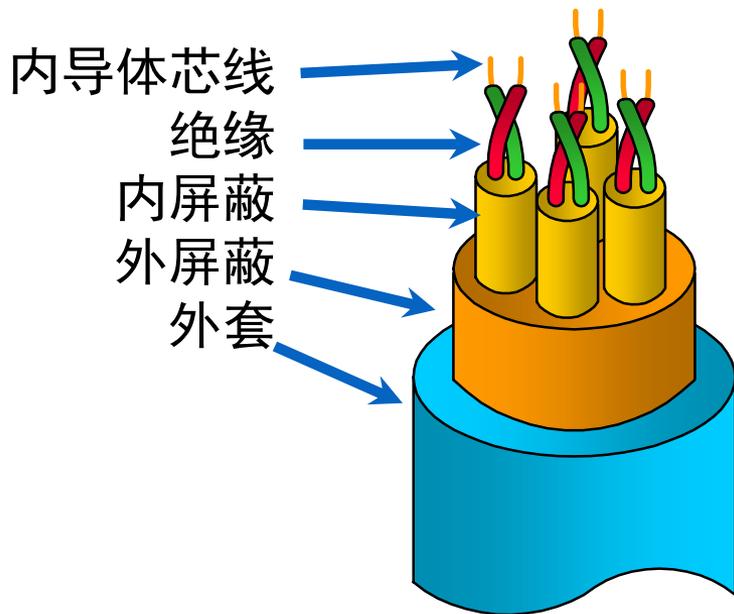
- 阻抗 50Ω
- 应用：总线局域网（以太网）
- 性能：10Mb/s, 500m/185m

□ 有线电视使用的是宽带同轴电缆

- 阻抗 75Ω ; 500MHz, 100KM

2. 双绞线 (Twist Pair, TP)

□ 应用领域：电话网络(模拟)、计算机局域网(数字)



- 螺旋绞合的双导线
- 每根4对、25对、1800对
- 典型连接距离100m (LAN)
- RJ45插座、插头
- **优缺点：**

- 成本低
- 组装密度高、节省空间
- 安装容易 (综合布线系统)
- 平衡传输 (高速率)
- 抗干扰性一般
- 连接距离短 (放大器、中继器)

3 类线



5 类线

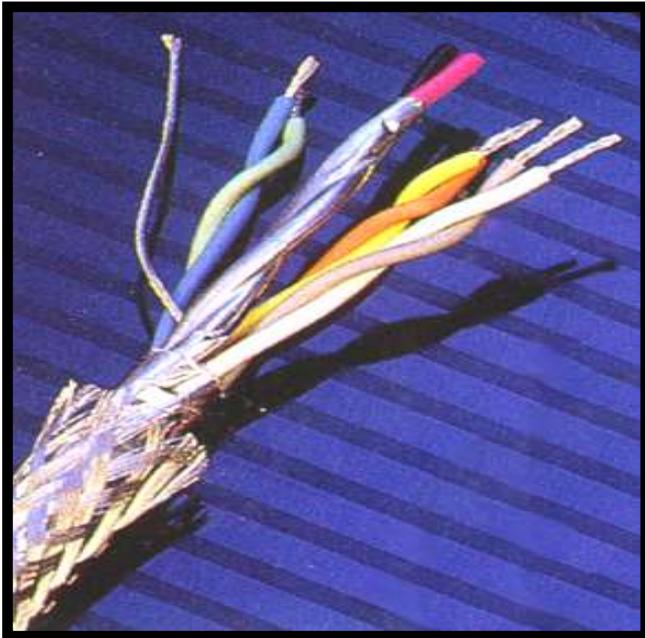


可用传输
速率高

不同的绞合度的双绞线

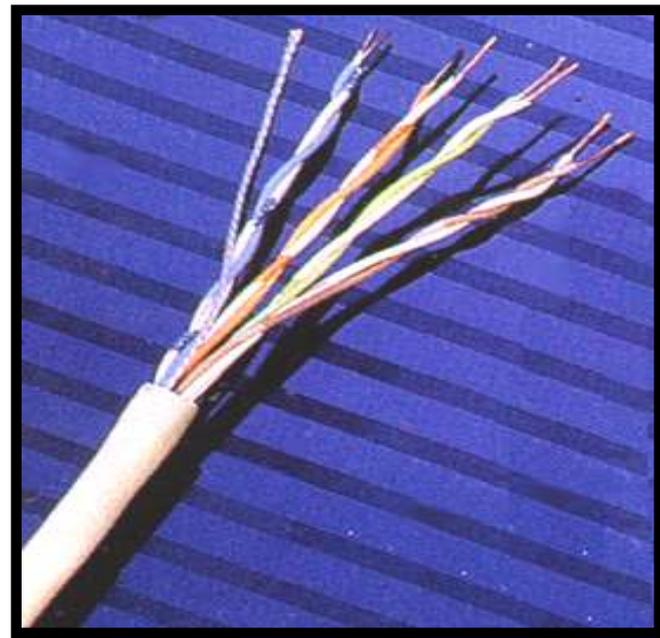
屏蔽双绞线(STP)

以铝箔屏蔽以减少干扰和串音，应用较少



非屏蔽双绞线(UTP)

双绞线外无任何屏蔽层，应用广泛





绞合线类别	带宽	线缆特点	典型应用
3	16 MHz	2对4芯双绞线	模拟电话；传统以太网（10 Mbit/s）
5	100 MHz	比3类增加绞合度	传输速率 100 Mbit/s（距离 100 m）
5E(超5类)	125 MHz	比5类衰减更小	传输速率 1 Gbit/s（距离 100 m）
6	250 MHz	改善了串扰等性能 可使用屏蔽双绞线	传输速率 10 Gbit/s（距离 35 ~ 55 m）
6A	500 MHz	改善了串扰等性能 可使用屏蔽双绞线	传输速率 10 Gbit/s（距离100 m）
7	600 MHz	必须用屏蔽双绞线	传输速率超过 10 Gbit/s，距离 100 m
8	2000 MHz	必须用屏蔽双绞线	传输速率 25 Gbit/s 或 40 Gbit/s，距离 30 m



3. 光纤 (Optical Fiber, OF)

□ 依靠光波承载数据，光脉冲在玻璃纤维中传播

□ 纤芯材料：

- 塑料、二氧化硅（高纯玻璃）

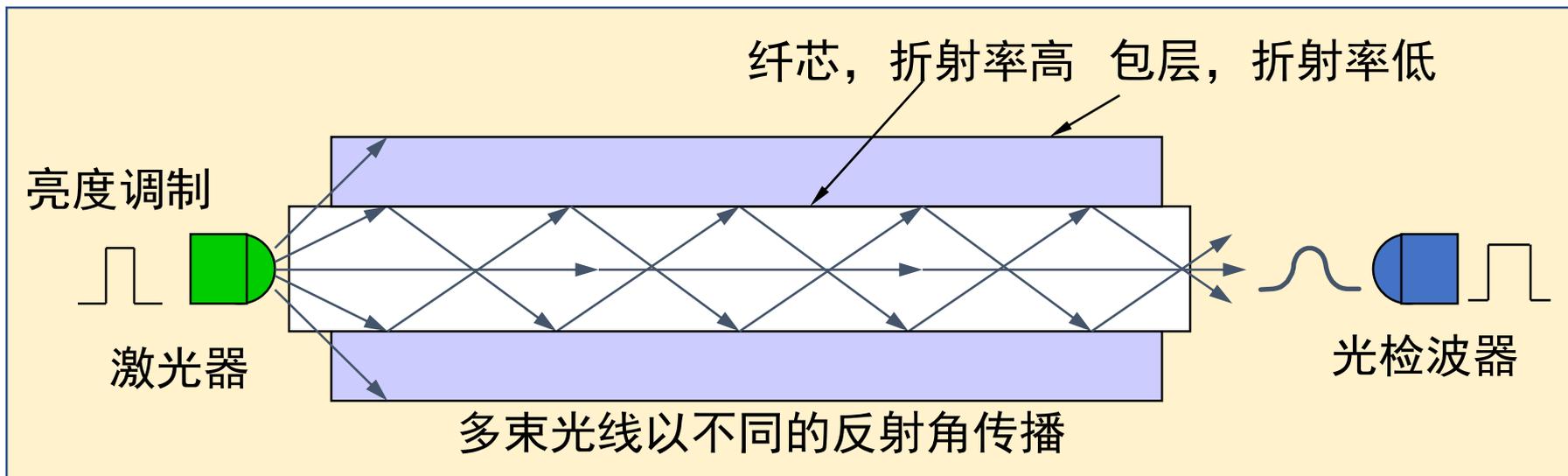
□ 优缺点：

- 传输带宽高：仅受光电转换器件的限制 ($> 100\text{Gb/s}$)
- 传输损耗小，中继距离长，适合远距离传输
- 抗雷电和电磁干扰性能极好（无金属）
- 无串音干扰，保密性好，不易被窃听或截取数据
- 体积小，重量轻
- 价格较高
- 需要光电转换

光纤传输原理——光的反射

□ 多模光纤（MMF）

- 光从折射率高的介质入射到折射率低的介质时会产生折射。折射量取决于两种介质的折射率。当入射角 \geq 临界值时产生全反射，不会泄漏。
- 光脉冲在传输时会逐渐展宽（色散现象），造成失真，因此多模光纤只适合近距离传输。



□ 单模光纤(SMF): 光纤的直径接近一个光波波长 (波导)



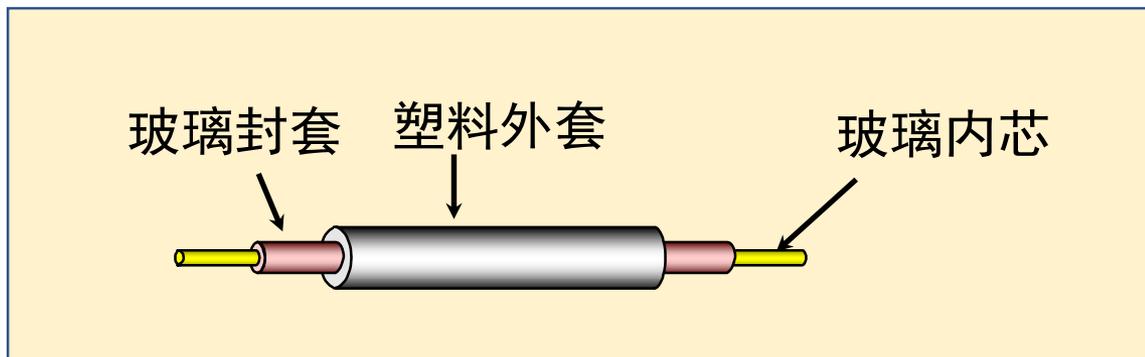
□ 特点: 光纤是单向传输, 双向需两根光纤

□ 应用领域: 局域网主干、电信网络、服务器连接

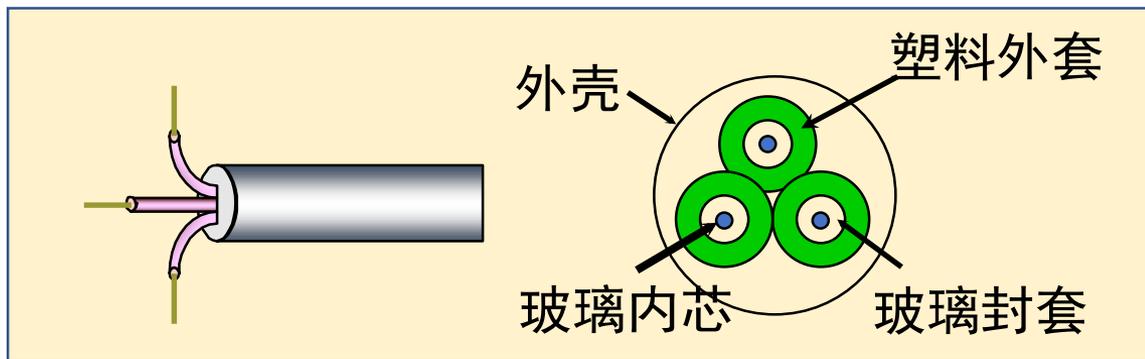
□ 光缆

□ 典型的光缆

单芯光缆



多芯光缆



常见规格:

纤芯——50 μm

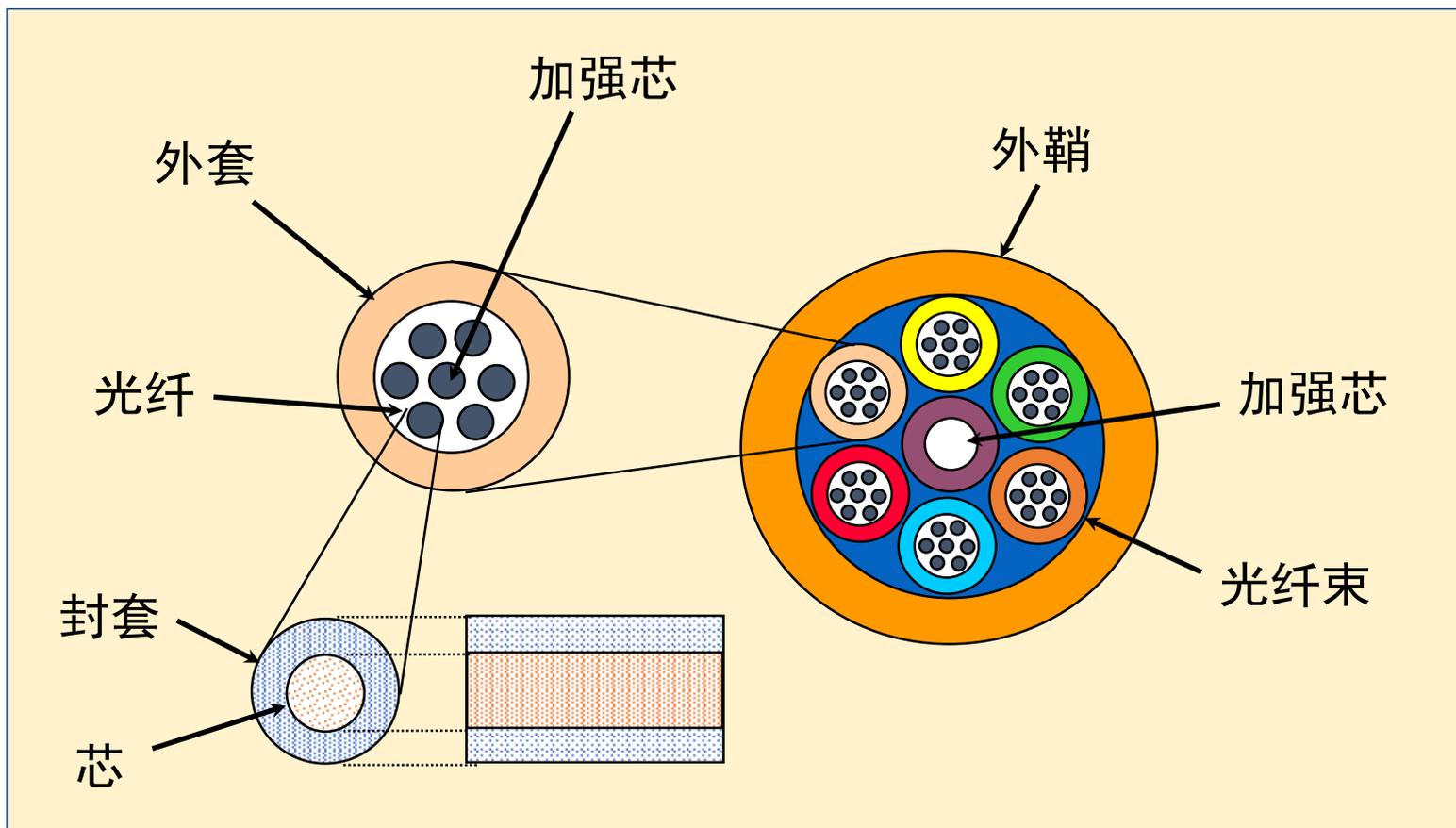
缓变型——MMF62.5 μm

缓变型/增强型——MMF8.3 μm

突变型——SMF

包层——125 μm

□ 高密度多芯光缆剖面结构





4. 无线介质

- **无线传输**：**大气和外层空间**是提供电磁信号传播的无线型介质，它们**不为信号提供导向**
- 无线传输两种基本方法：**定向**和**全向**
- 信号**频率越高**，越有可能将其聚集成**定向**的**电磁波束**
- 使用**较低频率**传输的信号是**全向**的，传送的信号呈**球状**扩散，很多天线都能收到
- 使用**定向**方法时，天线发射出聚集的有方向性的高频电磁波束，因此**传送和接收的天线必须仔细对齐**



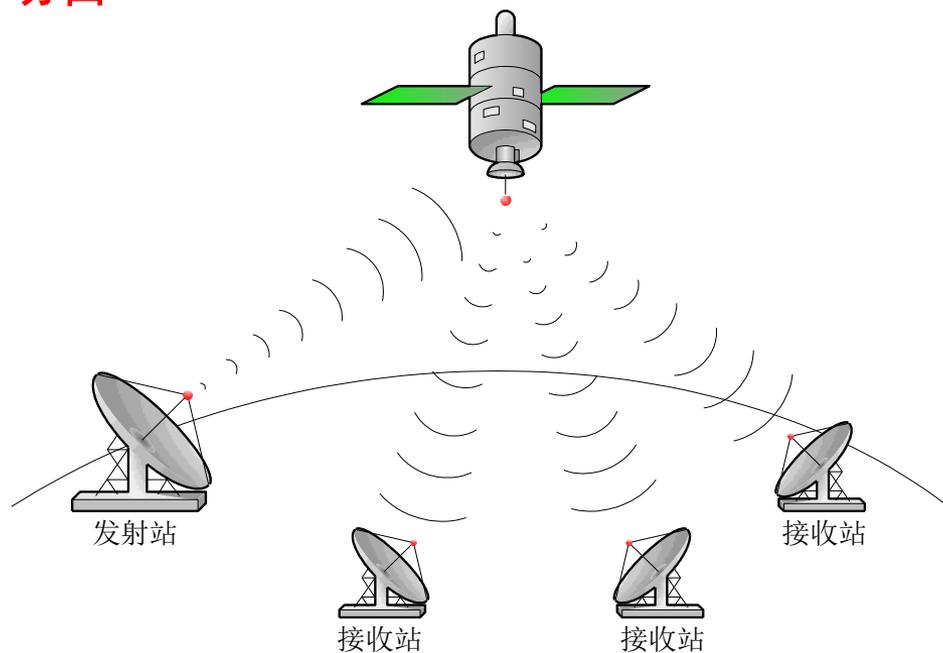
4. 无线介质（信号在大气或外层空间自由传播）

□ 使用电磁波或光波携带信息 **优缺点:**

- 无需物理连接
- 适用于长距离或不便布线的场合
- 易受干扰
- 反射，为障碍物所阻隔

□ 主要类型:

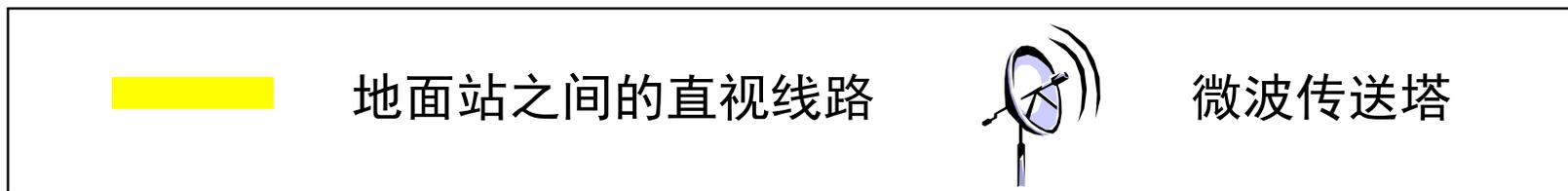
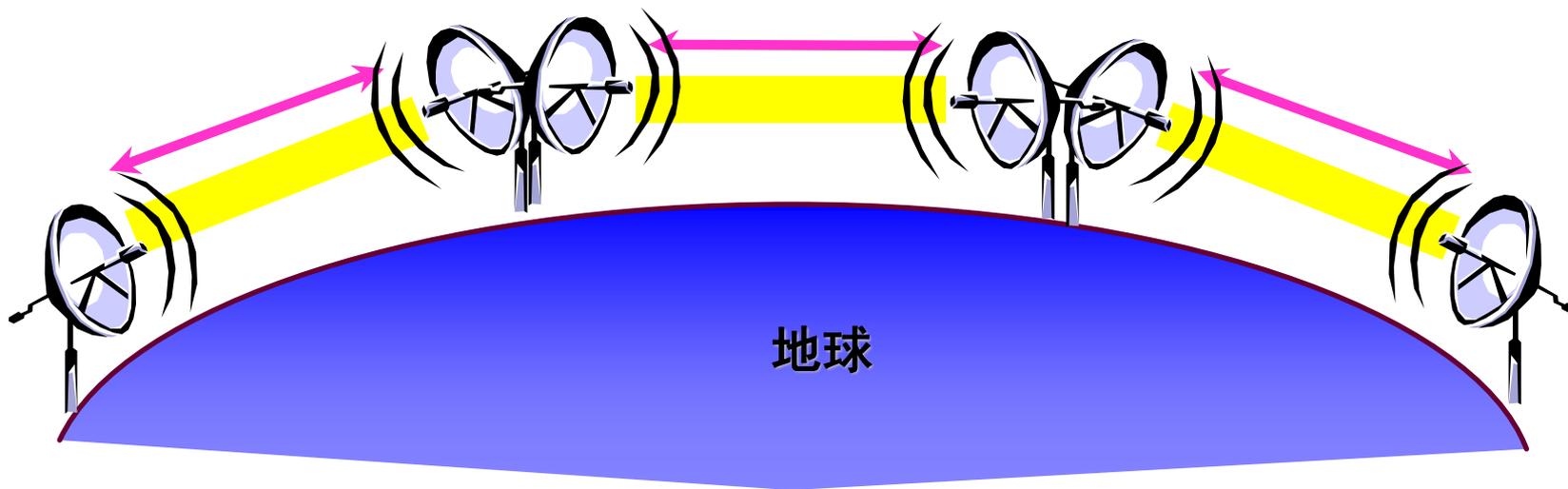
- 无线电、地面微波
- 通信卫星
- 红外线





□ 微波通信

- 通过地面站之间**接力**传送
- 接力站之间距离：**50 ~ 100 km**
- 速率：每信道 45 Mb/s





□ 微波通信

- 微波接力通信可传输电话、电报、图像、数据等信息

□ 优点：

- 通信信道的容量很大；
- 微波通信质量较高；
- 与相同容量和长度的电缆载波通信比较，微波接力通信建设投资少，见效快。

□ 缺点：

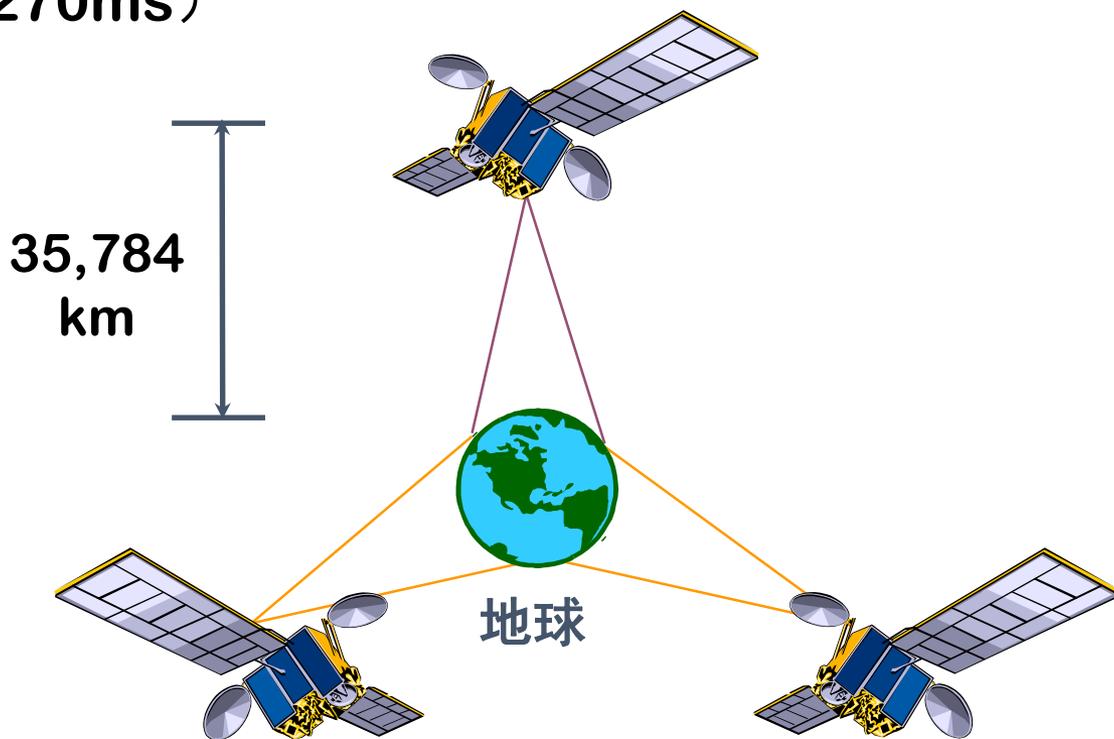
- 相邻站之间必须直视，不能有障碍物，可能会有信号畸变；
- 有时会受到恶劣气候的影响；
- 对大量中继站的使用和维护要耗费一定的人力和物力。

□ 地球同步卫星

- 与地面站相对固定位置
- 使用三颗卫星即可覆盖全球
- 传输延迟时间长 ($\approx 270\text{ms}$)
- 广播式传输

□ 应用领域：

- 电视传输
- 长途电话
- 专用网络
- 广域网





□ 激光传输

- 将**激光束**调制**成光脉冲**传输数据

□ 特点：

- 激光的频率更高，可获得更高的带宽
- 激光束的方向性好，不受电磁干扰的影响，不怕偷听
- 受天气影响
- 只能在短距离通信中使用



□ 红外线通信

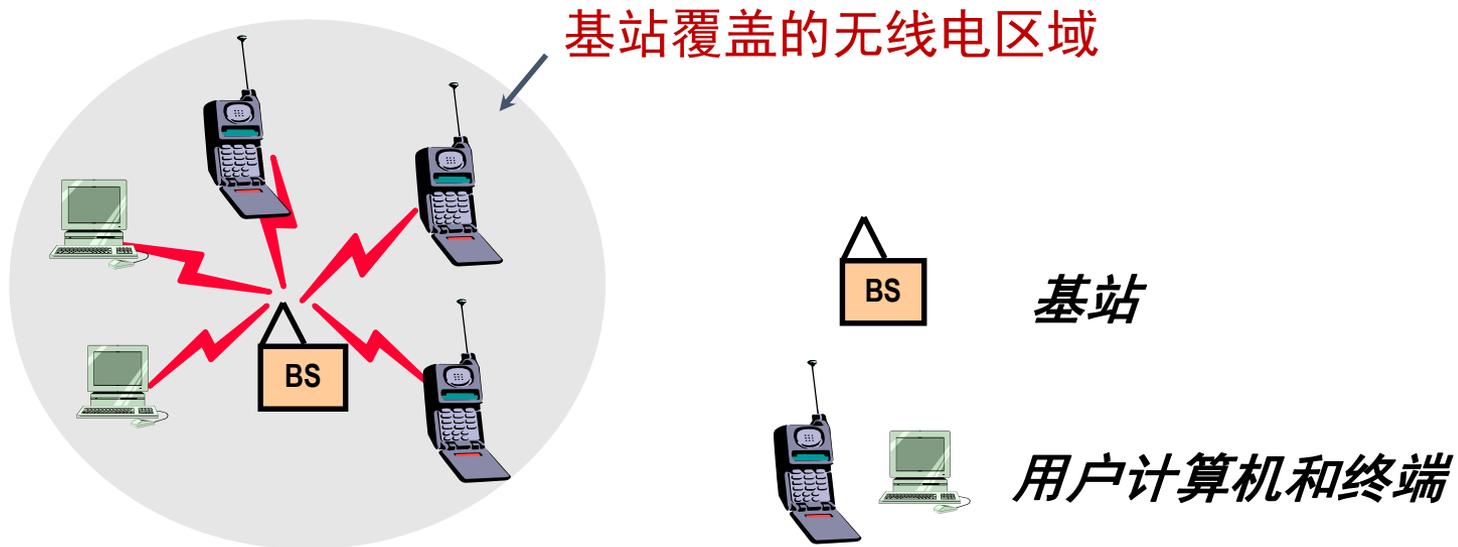
- 红外传输系统利用墙壁或屋顶反射红外线从而形成整个房间内的广播通信系统

□ 特点：

- 红外通信的设备相对便宜，可获得较高的带宽
- 传输距离有限，且易受室内空气状态（例如有烟雾等）的影响

□ 短波通信

- 基站与终端之间通信采用无线链路
- 应用领域：移动通信、无线局域网（WLAN）





传输介质	传输方式	速率/ 工作频带	传输距离	性能	价格	应用
双绞线	宽带 基带	$\leq 1\text{Gb/s}$	模拟: 10Km 数字: 500m	较好	低	模拟/数字 信号传输
50Ω 同轴电缆	基带	10Mb/s	<3Km	较好	较低	基带数字信号
75Ω 同轴电缆	宽带	$\leq 450\text{MHz}$	100Km	较好	较低	模拟电视、数 据及音频
光纤	基带	40Gb/s	20Km以上	很好	较高	远距离高速数 据传输
微波	宽带	4~6GHz	几百Km	好	中等	远程通信
卫星	宽带	1~10GHz	18000Km	很好	高	远程通信



2.4 数据编码

□ 数字数据的数字信号编码

- 使数字数据能在数字信道上传输

□ 数字数据的调制编码

- 使数字数据能在模拟信道上传输

□ 模拟数据的数字信号编码

- 使模拟数据能在数字信道上传输



1. 数字数据的数字信号编码

□ 不归零码 (Non-Return to Zero, NRZ) [举例](#)

- 二进制数字0和1分别用两种电平来表示

常用-5V表示1，+5V表示0

□ 缺点：

- 存在直流分量，传输中不能有变压器或电容；
- 不具备自同步机制，传输时必须使用外同步。



1. 数字数据的数字信号编码

□ 不归零码（Non-Return to Zero, NRZ）

□ 曼彻斯特编码（Manchester Coding）[举例](#)

- 用电压的变化表示0和1
- 规定在**每个码元的中间发生跳变**
- **高→低的跳变代表0**，**低→高的跳变代表1**
- **高→低的跳变代表1**，**低→高的跳变代表0**
- **每个码元中间都要发生跳变**，接收端可将此变化提取出来作为同步信号。这种编码也称为**自同步码**（Self-Synchronizing Code）

□ 缺点：需要**双倍**的传输**带宽**（信号速率是数据速率的**2倍**）



1. 数字数据的数字信号编码

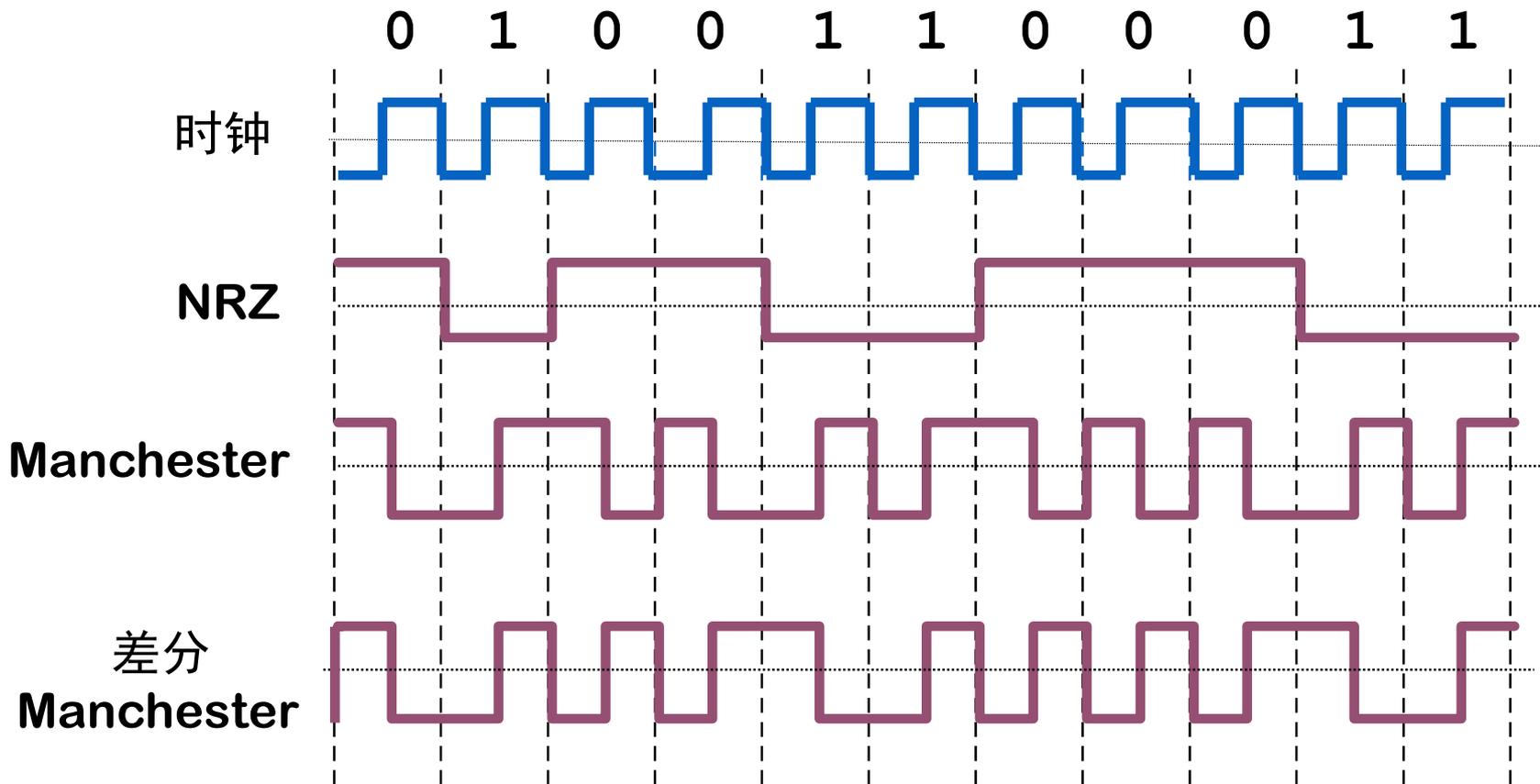
- 不归零码（Non-Return to Zero, NRZ）
- 曼彻斯特编码（Manchester Coding）
- 差分曼彻斯特编码（Differential Manchester Coding, DMC）

举例

- 每个码元的中间仍要发生跳变
- 用码元开始处有无跳变来表示0和1
- 有跳变代表0，无跳变代表1



□ 三种数字编码的波形图



BACK1

BACK2

BACK3



2. 数字数据的调制

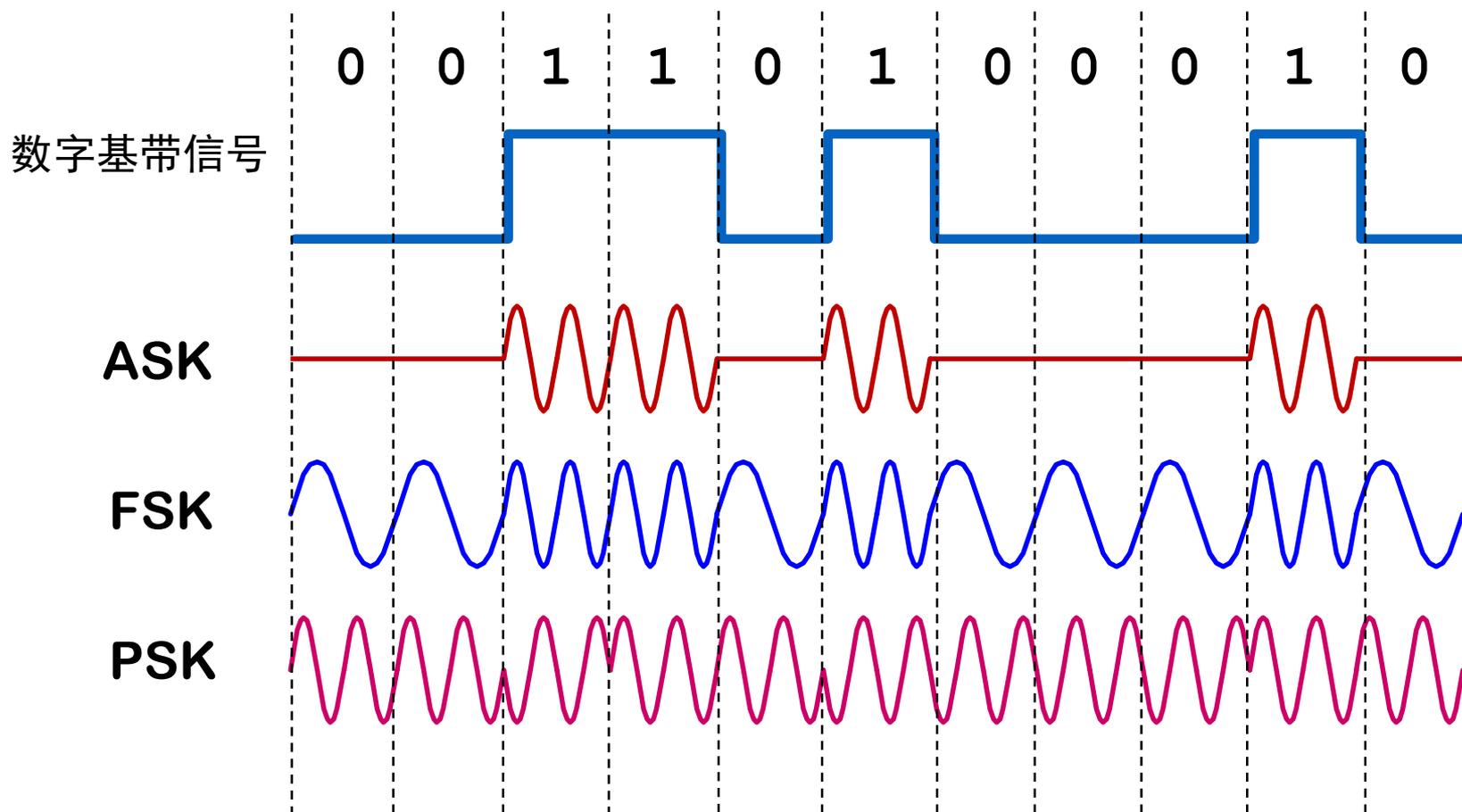
□ 三种常用的调制技术：

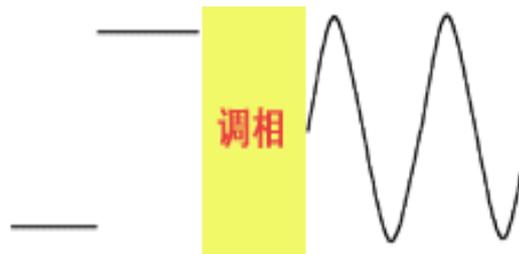
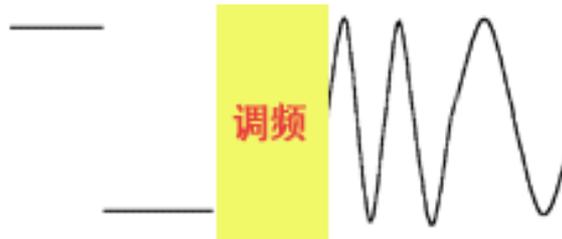
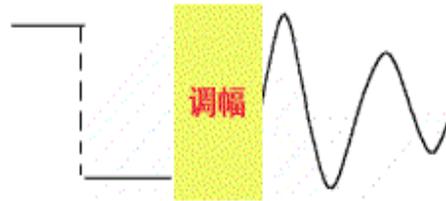
- 幅移键控 **ASK** (Amplitude Shift Keying)
- 频移键控 **FSK** (Frequency Shift Keying)
- 相移键控 **PSK** (Phase Shift Keying)

□ 原理：用数字信号对载波的不同参量进行调制

- 载波信号 $S(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$
- $S(t)$ 的参量包括：幅度 A 、频率 ω 、初相位 φ
- 调制就是要使 A 、 ω 或 φ 随数字基带信号的变化而变化

- **ASK**: 用载波的两个不同**振幅**表示**0**和**1**
- **FSK**: 用载波的两个不同**频率**表示**0**和**1**
- **PSK**: 用载波的起始**相位**的变化表示**0**和**1**







3. 模拟数据的数字信号编码

□ 模拟数据要在数字线路上传输，如电话语音信号

□ PCM编码：

- 采样：按一定间隔对语音信号进行采样
- 量化：把每个样本舍入到最接近的量化级别上
- 编码：对每个舍入后的样本进行编码

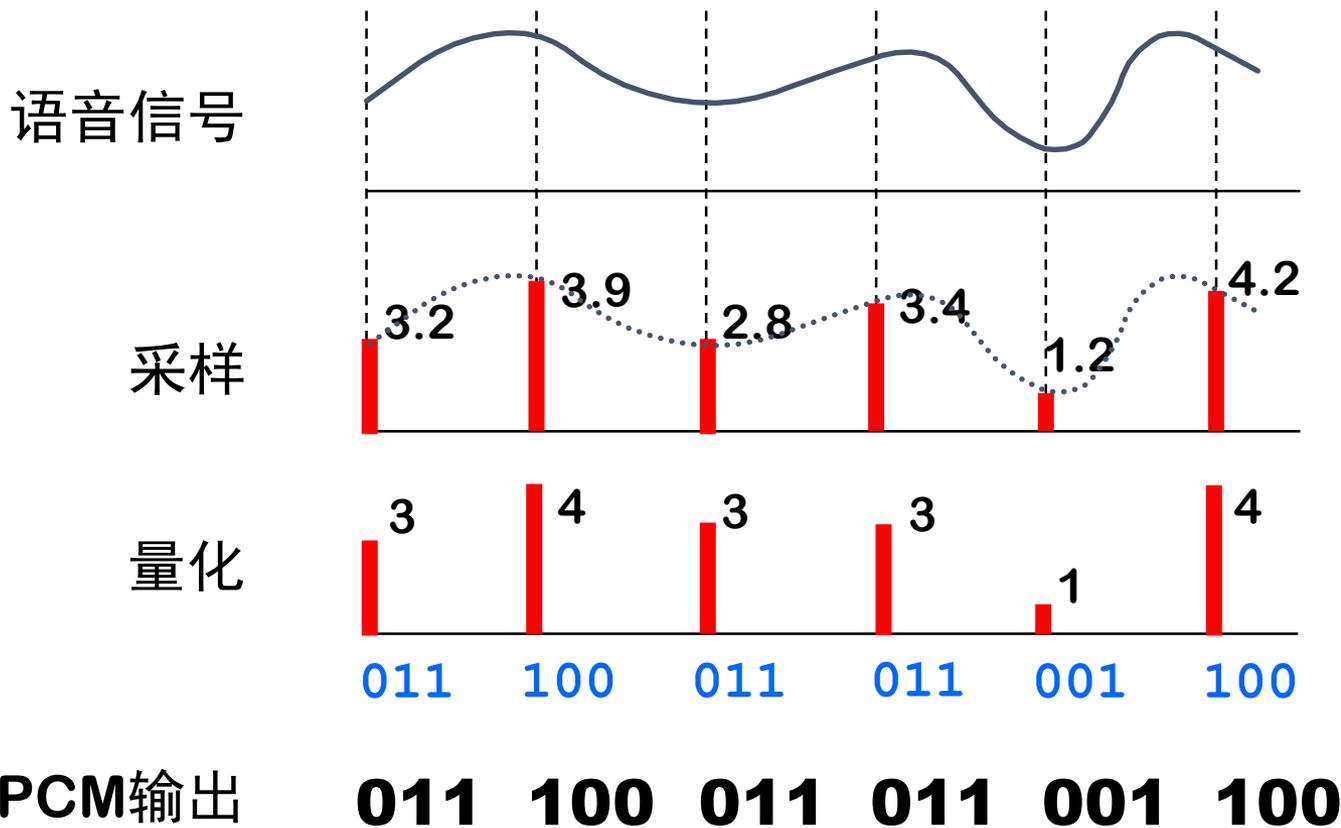
□ 编码后的信号称为PCM信号（Pulse Coded Modulation，脉冲调制）

□ 采样定理：

- 如果模拟信号的最高频率为 F ，若以 $\geq 2F$ 的采样频率对其采样，则从采样得到的离散信号序列就能完整地恢复出原始信号

□ 量化有量化误差

PCM编码过程举例



2.5 多路复用技术



□ **多路复用**：多个信息源共享一个公共信道

□ 为何要复用？——**提高线路利用率**

• 适用场合：当信道的传输能力大于每个信源的平均传输需求时

□ **类比**：公共运输系统（铁路、海运、航空）



□ 复用的基本思想：

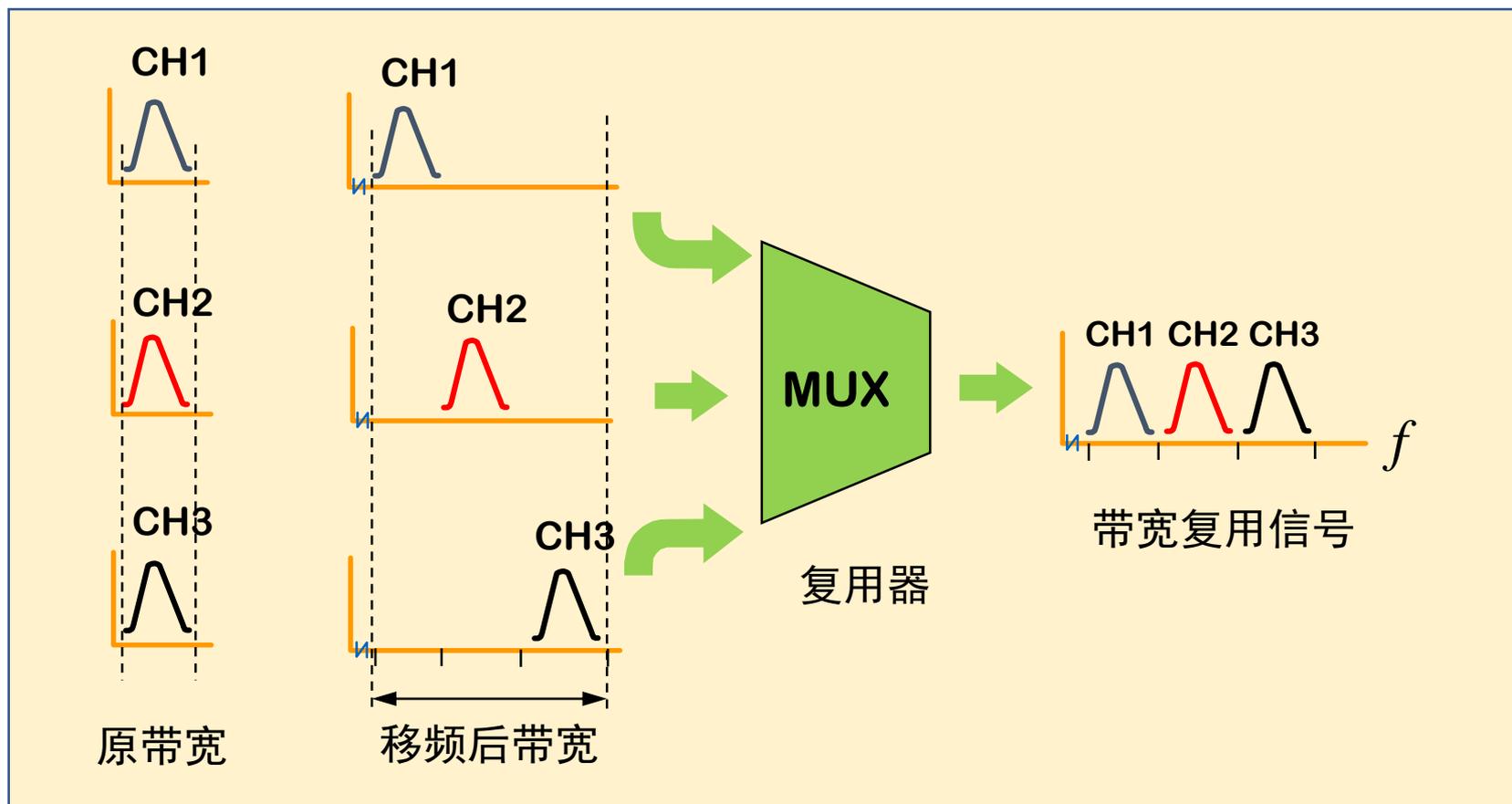
- 把公共共享信道用某种方法划分成多个子信道，每个子信道传输一路数据

□ 复用方法

- 频分复用**FDM**（Frequency Division Multiplexing）
按频率划分不同的信道，如CATV系统
- 时分复用**TDM**（Time Division Multiplexing）
按时间划分不同的信道，目前应用最广泛
- 波分复用**WDM**（Wave Division Multiplexing）
按波长划分不同的信道，用于光纤传输
- 码分复用**CDM**（Code Division Multiplexing）
按地址码划分不同的信道，非常有发展前途

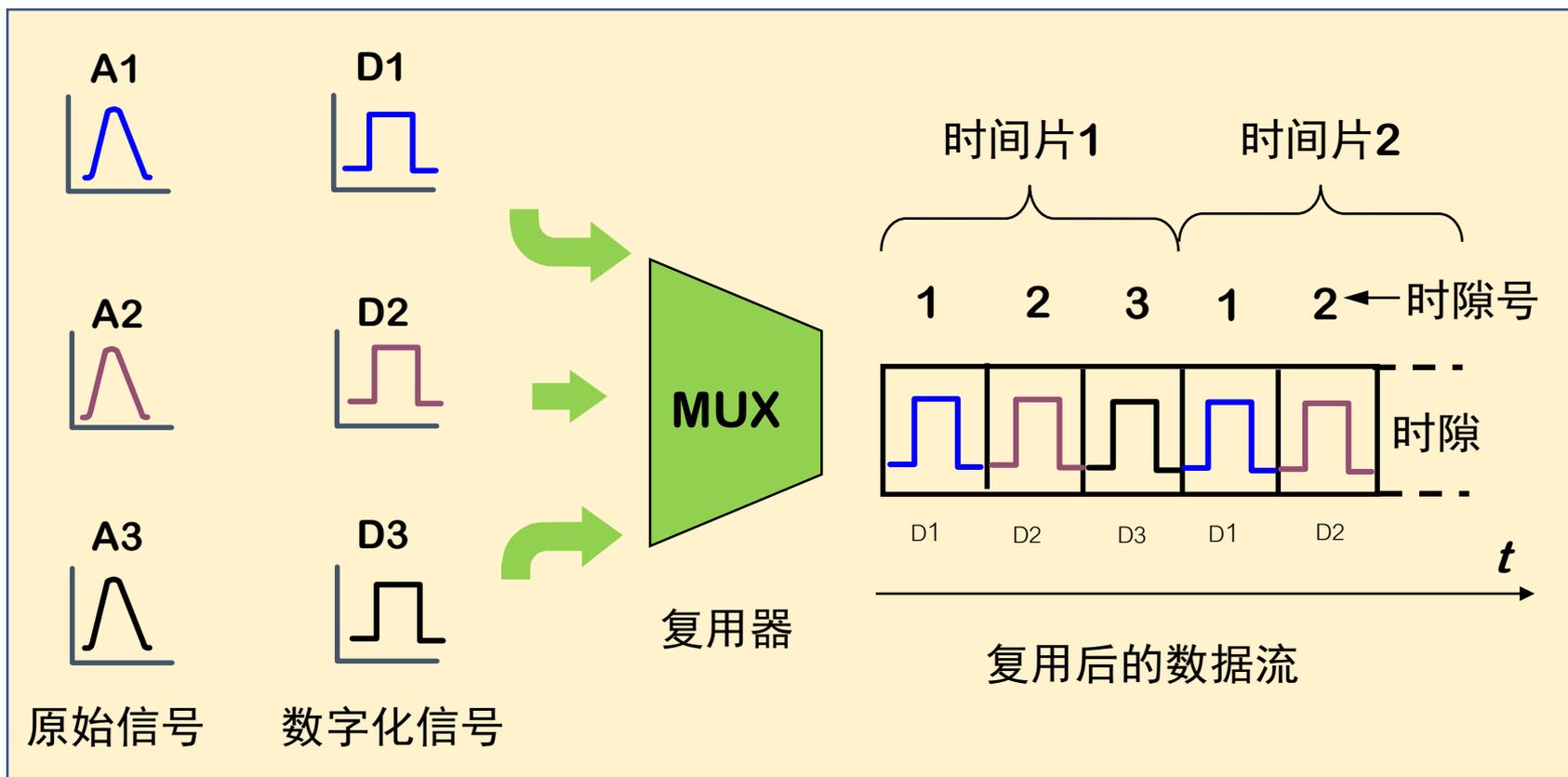
2.5.1 频分复用FDM

- 原理：整个传输频带被划分为若干个频率通道，每路信号占用一个频率通道进行传输。频率通道之间留有防护频带以防相互干扰



2.5.2 时分复用TDM

- 原理：把时间分割成小的时间片，每个时间片分为若干个时隙，每路数据占用一个时隙进行传输。在通信网络中应用极为广泛



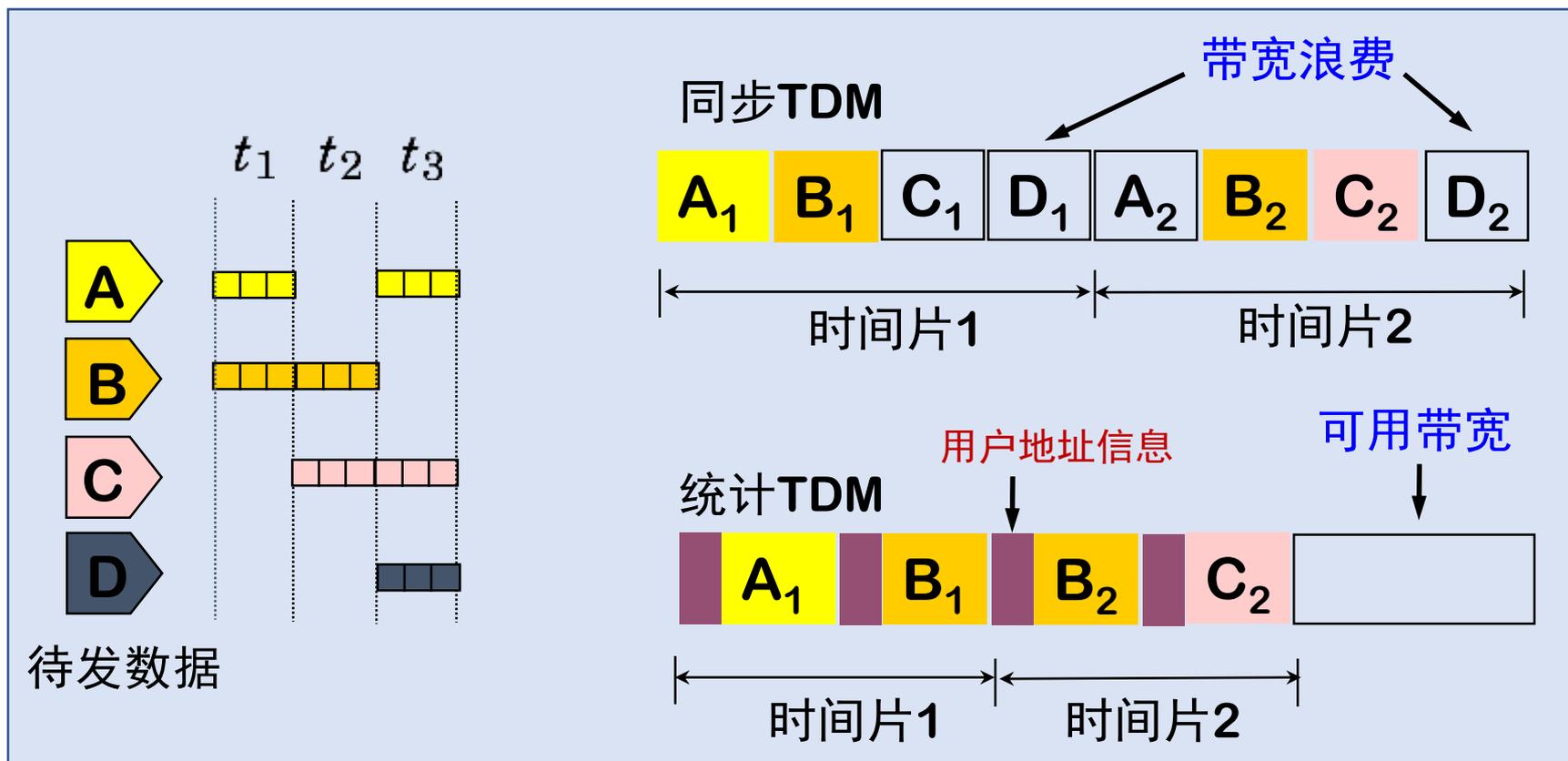


□ TDM也称同步时分复用

- 因为每路数据总是使用每个时间片的固定时隙
- 一个时间片内传输的多路数据称为**帧**
- 时分复用的典型例子：**PCM**信号的传输

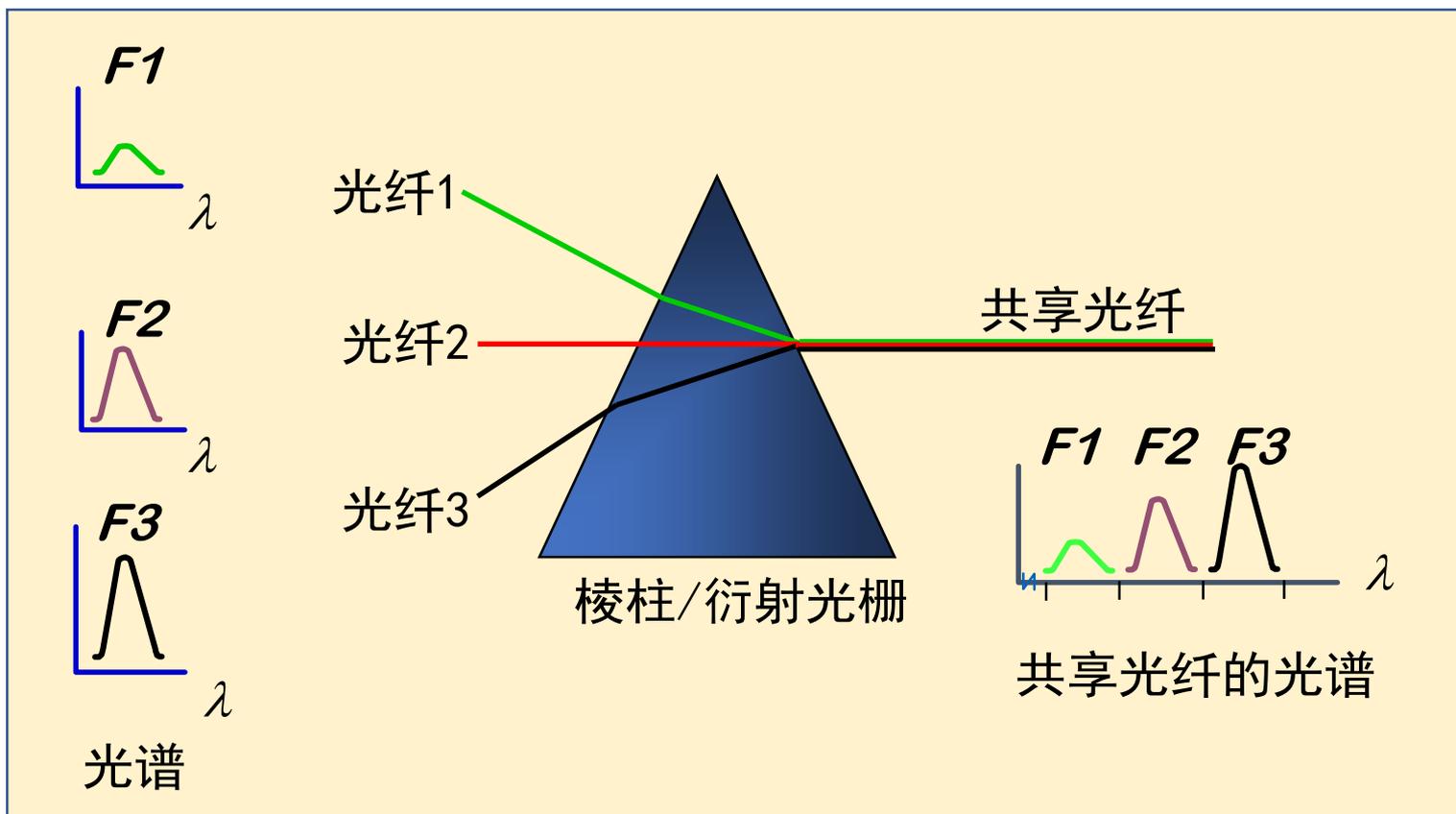
2.5.3 统计（异步）TDM——STDM

- **同步TDM**的缺点：某用户无数据发送，其他用户也不能占用该时隙，将会造成带宽浪费
- **STDM**：用户不固定占用某个时隙，有空时隙就将数据放入



2.5.4* 波分复用——光的频分复用

- 原理：整个**波长频带**被划分为**若干个波长范围**，每路信号占用一个波长范围来进行传输





2.5.5* 码分复用CDM

□ 原理：每个用户把发送信号用接收方的地址码序列进行编码

（任意两个地址码序列相互正交）

不同用户发送的信号在接收端被迭加，然后接收者用同样的地址码序列解码。由于地址码的正交性，只有与自己地址码相关的信号才能被检出，由此恢复出原始数据。

□ 地址码序列必须两两相互正交：

- 码序列A、B，应满足

- $A \cdot B = 0$, $A \cdot B' = 0$, $A \cdot A = 1$, $A \cdot A' = -1$

- 其中 \cdot 为内积运算($A \cdot B = |A| \times |B| \times \cos\theta$)

□ 在无线移动通信中应用广泛

抗干扰能力很强



2.6 数据交换技术

□ 什么是交换？

- 由**中间节点**进行**转接**的通信方式称为**交换**，按某种方式动态地分配传输线路资源
- **例如：电话交换机在用户呼叫时为用户选择一条可用的线路进行接续。用户挂机后则断开该线路，该线路又可分配给其他用户。**
- **最初的交换：人工转接交换**

□ 为什么要采用交换技术？

- 节省线路投资，提高线路利用率
- 远距离通信（原始动机）

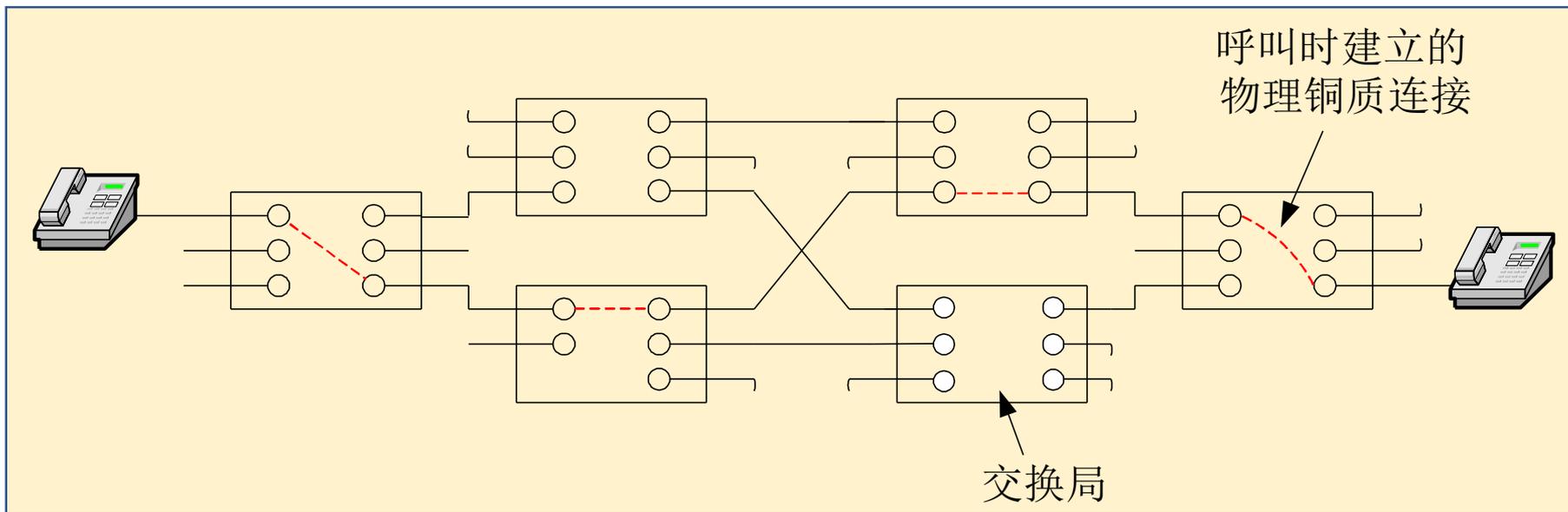
□ 实现交换的方法主要有：**电路交换、报文交换和分组交换**



2.6.1 电路交换

- 定义：在通信双方之间建立一条**临时专用线路**的过程
 - 可以是**真正的物理线路**，也可以是一个复用信道
- 特点：数据传输前需要建立一条**端到端的通路**
 - 称为“**面向连接的**”（典型例子：电话）
- 过程：**建立连接**→**数据传输**→**拆除电路**

□ 电话网络中的电路交换



电路交换也能在多路复用信道上实现：在物理线路的某个信道上建立连接



1. 电路交换（续）

□ 优缺点：

- 建立连接后，数据传输**可靠**，**传输延迟小**，**实时性强**，适用于**电信业务信息**的传输
- 建立连接的**时间长**
- 一旦建立连接就**独占线路**，**线路利用率低**
- **无纠错机制**
- **不适用于计算机通信**：因为计算机数据具有突发性的特点，真正传输数据的时间不到**10%**
- **例如：建立连接的时间为0.5s，计算机以1Mb/s的速率发送10KB。线路利用率=？**



*2.6.2 报文交换 (Message)

- 报文：需要发送的整个数据块，包括：报头、正文和报尾
- 定义：以报文为单位进行存储交换的技术
 - 在交换过程中，交换设备将接收到的报文先存储下来，待信道空闲时再转发出去，一级一级中转，直到目的地。这种数据传输技术称为存储—转发
- 特点：
 - 传输之前不需要建立端到端的连接，仅在相邻节点传输报文时建立节点间的连接
 - 称为“无连接的”
例：电报
 - 整个报文作为一个整体一起发送



*2.6.2 报文交换（续）

□ 优缺点：

- 没有建立和拆除连接所需的等待时间
- 线路利用率高
- 传输可靠性较高
- 控制简单，易于实现
- 报文大小不一，造成存储管理复杂
- 大报文造成存储转发的延时过长，且对存储容量要求较高
- 出错后整个报文全部重发
- 很少使用，被分组交换所取代

□ 类比：下载时若无断点续传功能，一旦出错你会怎样做？



2.6.3 分组交换（包交换）

□ 定义：

- 将报文分割成若干个大小相等的分组（Packet）进行存储转发

□ 特点：

- 数据传输前不需要建立一条端到端的通路——也是“无连接的”
- 有强大的纠错机制、流量控制、拥塞控制和路由选择功能

□ 分组交换有两种交换方式：

- 数据报方式和虚电路方式



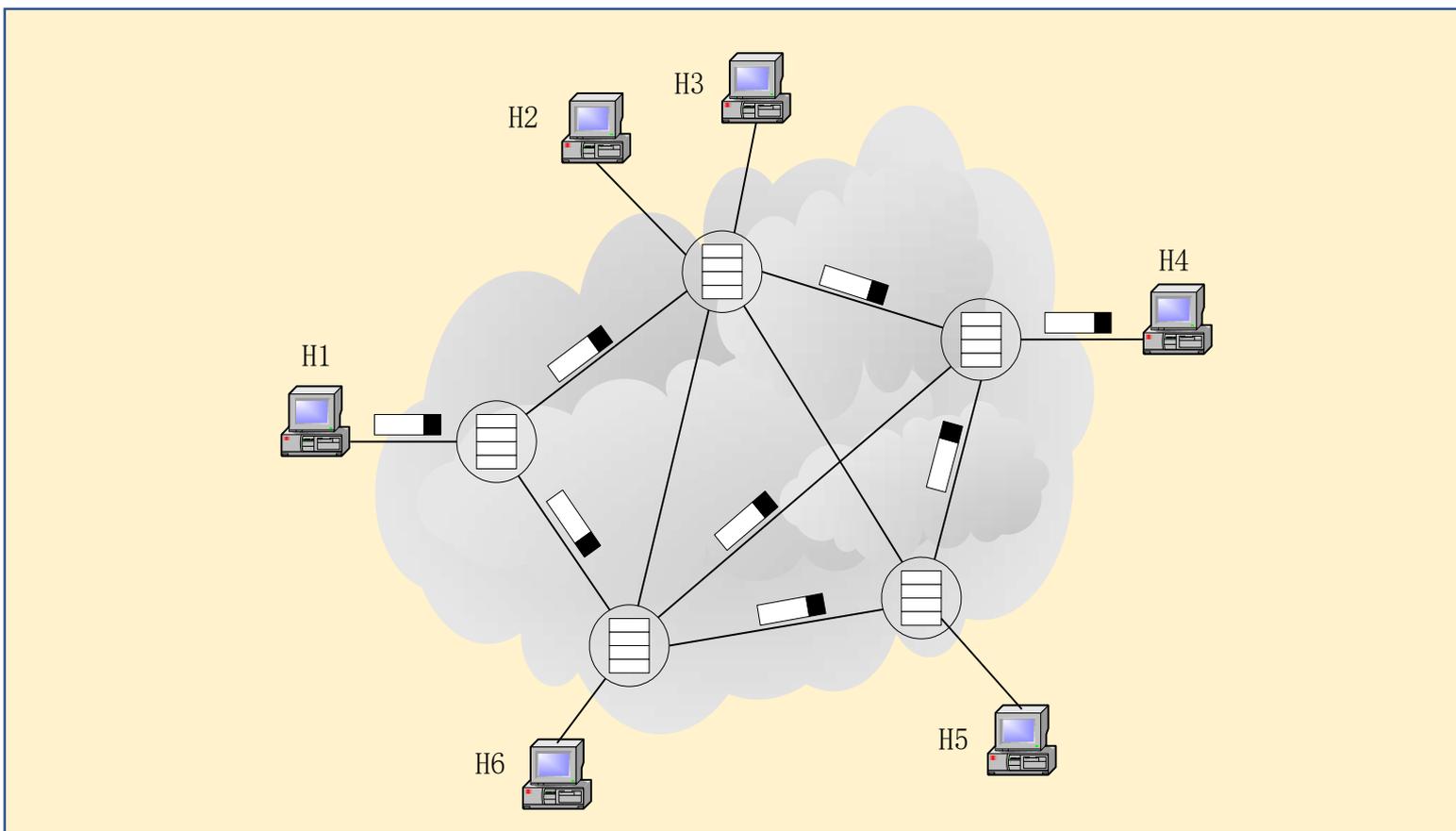
2.6.3 分组交换（续）

□ 优缺点：

- 对转发节点的存储要求较低，可以用内存来缓冲分组——速度快；
- 转发延时小——适用于交互式通信；
- 某个分组出错可以仅重发出错的分组——效率高；
- 各分组可通过不同路径传输，容错性好。
- 需要分割报文和重组报文，增加了端站点的负担。

□ 数据报方式 (Datagram)

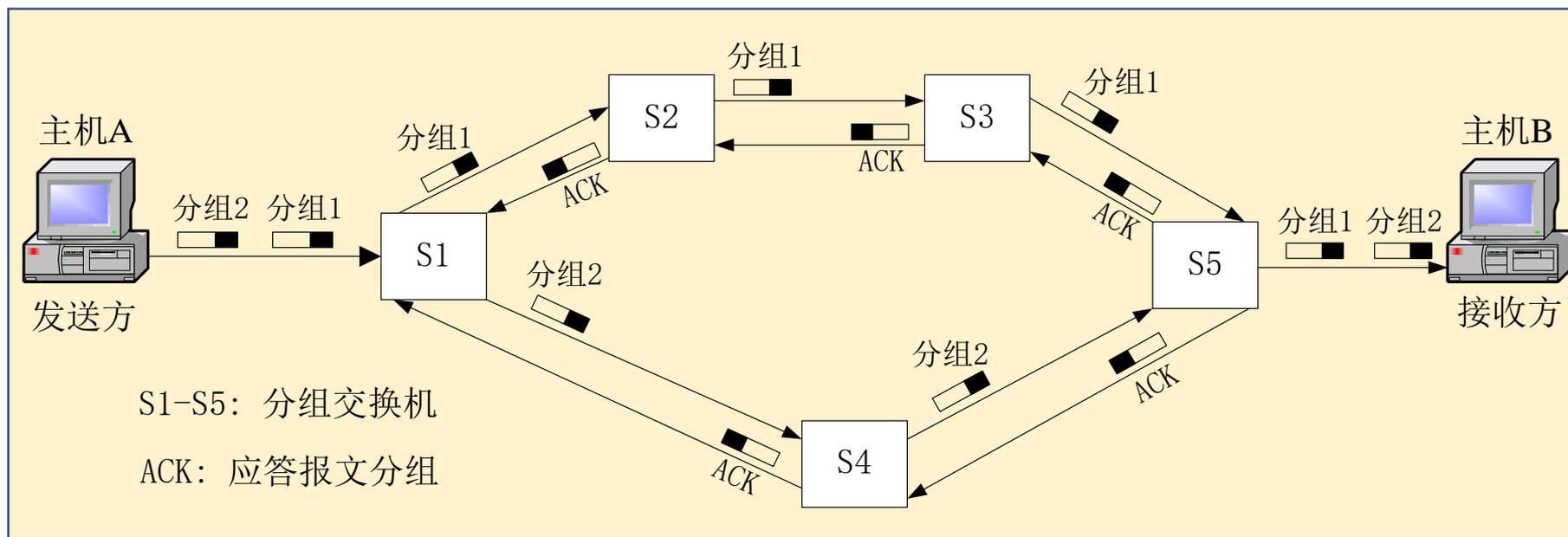
- 各分组**独立地确定路由** (传输路径)
- **不能保证分组按序到达**, 目的站点需要**按分组编号重新排序和组装**



分组可能通过多个路径穿越网络

□ 数据报方式 (Datagram)

- 各分组**独立地确定路由** (传输路径)
- **不能保证分组按序到达**, 目的站点需要**按分组编号重新排序和组装**



数据报方式不能保证分组按序到达



□ 虚电路方式 (Virtual Circuit)

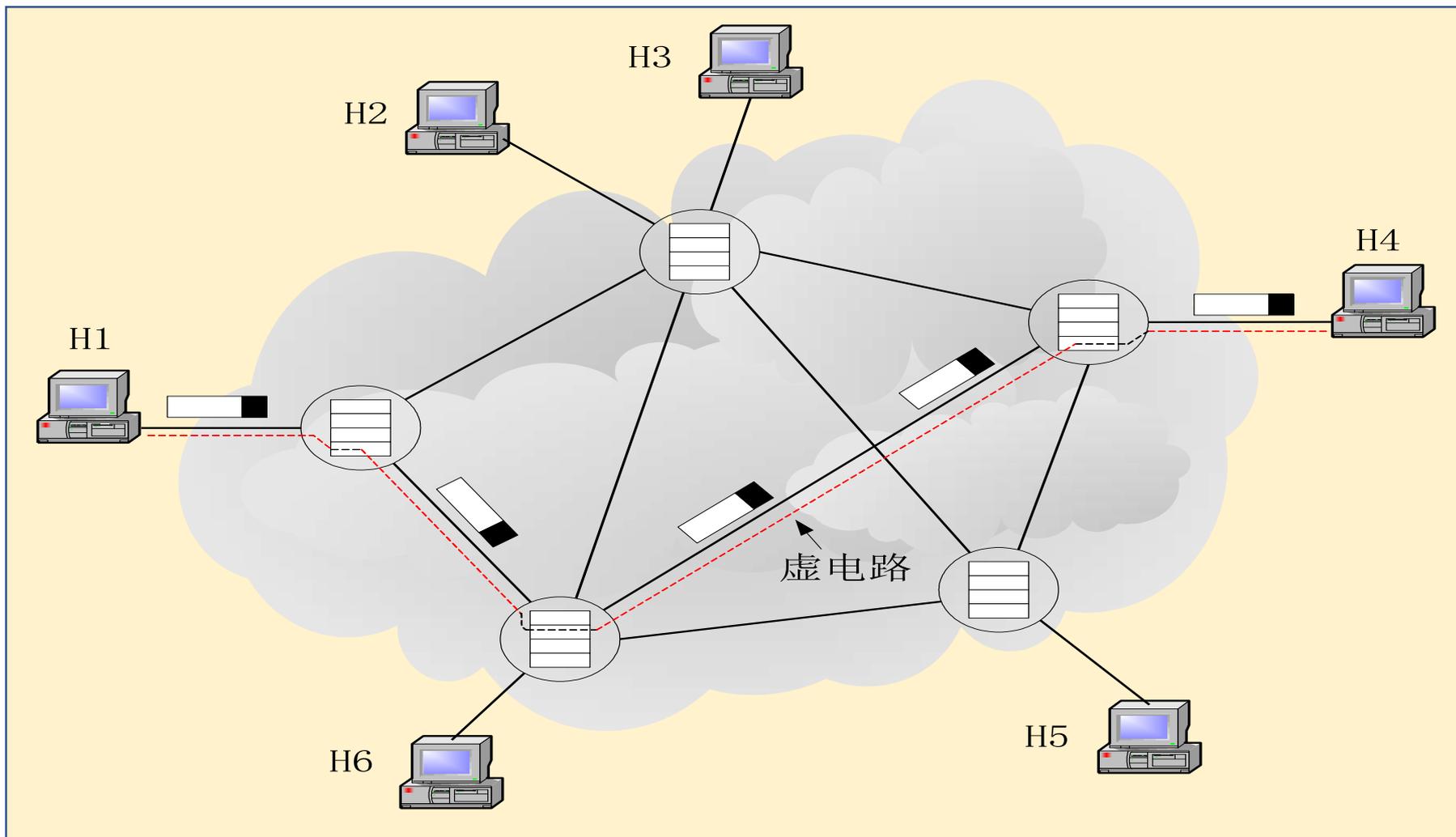
- 通信前预先建立一条逻辑连接——**虚电路** (可解决到达顺序问题)
- 虚电路是由其路径上的所有交换机中的路由表定义的逻辑连接
- 类比：铁路系统 (旅客/列车：分组，铁路网：网络，火车站：节点)
- “西安—北京” 这条线路可以看成是一条虚路径
- 也需要三个过程：**建立——数据传输——拆除**
- 建立虚电路时，交换机将预留传输时所需的所有资源



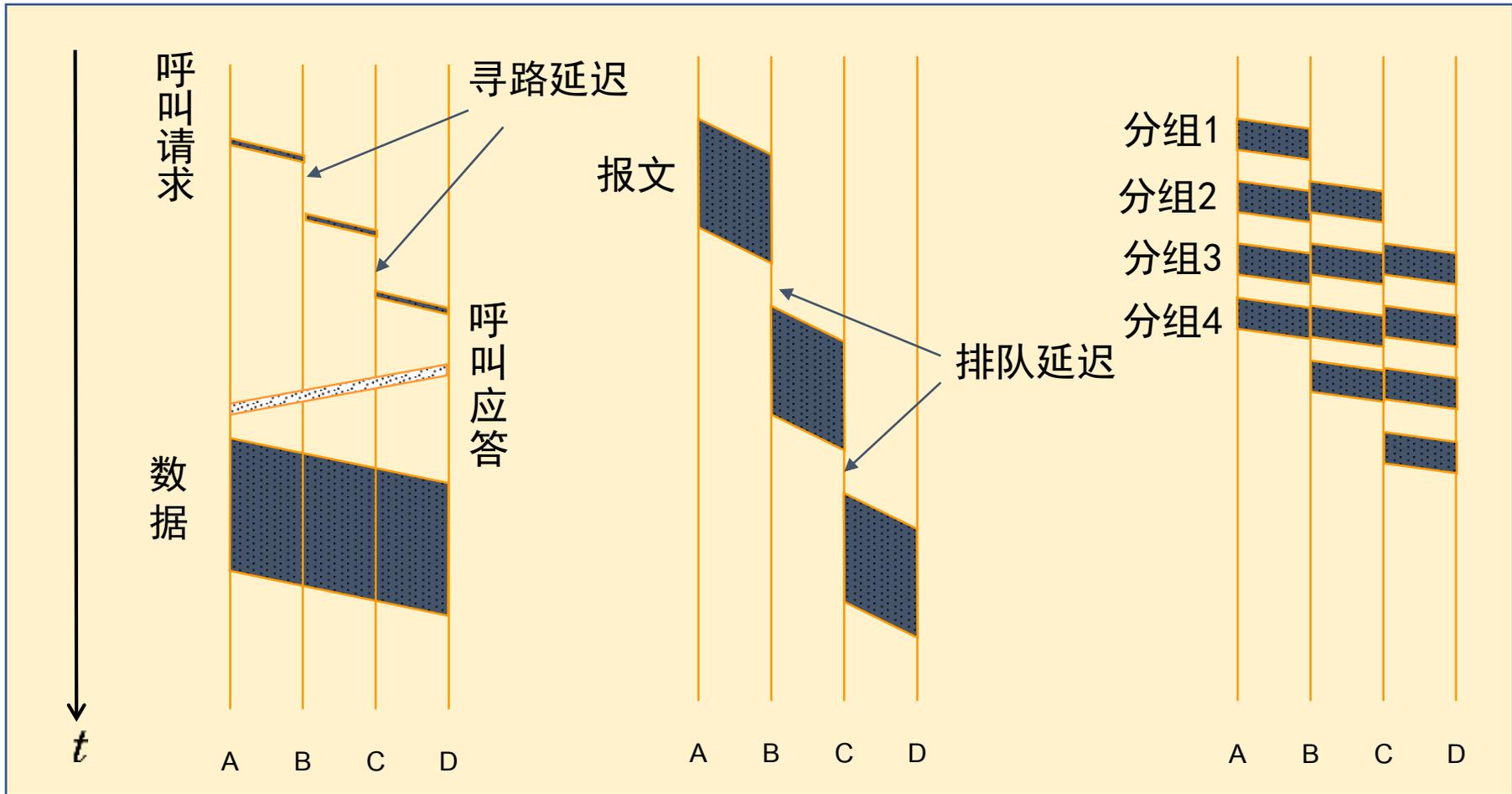
□ 虚电路方式（续）

- 特点：
 - 虚电路的路由**在建立时确定**，传输数据时则不再需要
 - 数据传输时只需指定虚电路号，分组即可按虚电路的路由穿越网络——“数字管道”
 - 提供的是“**面向连接**”的服务
- 但却没有像电路交换那样始终占用一条端到端的物理通道，只是**断续地依次占用传输路径上各个链路段**——与铁路系统类比！
- 可以看成是采用了**电路交换思想的分组交换**
- 能够保证**分组按序到达**
- 分类：**永久虚电路PVC**和**交换虚电路SVC**

□ 分组通过预先建立好的虚电路穿越网络



□ 三种交换方式的事件顺序



电路交换

报文交换

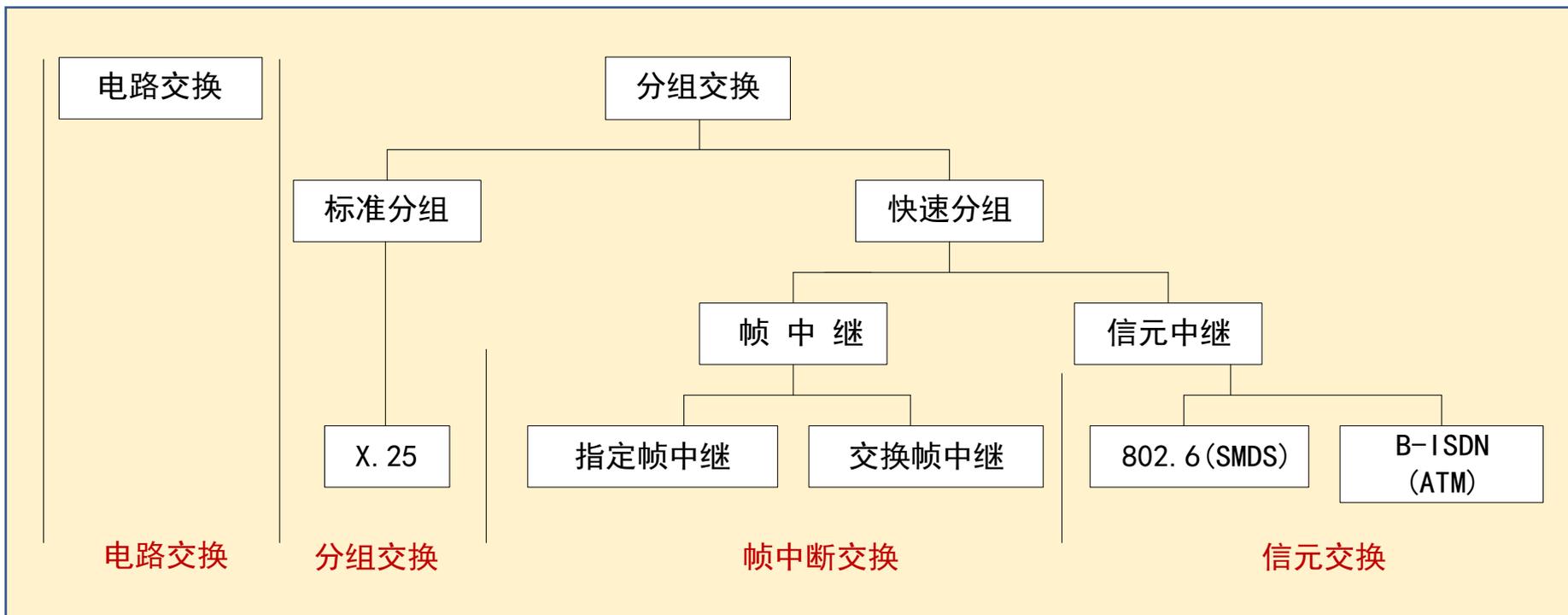
分组交换



*2.6.4 快速分组交换

- 快速分组交换包括**帧中继**和**异步传输模式**。
- **报文交换**是以**报文为单位**进行交换；在**网络层**
- **分组交换**是以**分组为单位**进行交换；在**网络层**
- **帧中继**是以**帧为单位**进行交换的；在**数据链路层**
- **异步传输模式**是以**信元为单位**进行交换的技术；运行在**数据链路层**
- **快速：**接收帧后即时转发

□ 各种交换方式





2.7 差错控制

□ 什么是差错控制？

- 在通信过程中，**发现**、**检测差错**并进行**纠正**

□ 为何要进行差错控制？

- 不存在理想的信道→传输**总会出错**
- 与语音、图像传输不同，计算机通信要求极低的差错率

□ 通信过程中产生的差错大致可以分为两类：**P52**

- 热噪声引起的**随机错误**
- 冲击噪声引起的**突发错误**



2.7.1 差错起因

□ 产生差错的原因：

- 热噪声时刻存在，具有很宽的频谱，但幅度较小，这种差错具有**随机性**：如信号衰减和热噪声；
- 冲击噪声，持续时间短，但幅度大，往往引起**一个位串出错**，称为**突发性差错**：如发动汽车时产生的火花，电焊机引起的电压波动，闪电等。
- **信道的电气特性**引起信号幅度、频率、相位的**畸变**，这些差错也具有**突发性特点**；
- 信号**反射**，**串扰**；



2.7.1 差错起因

□ 产生差错的原因：

- 热噪声时刻存在，具有很宽的频谱，但幅度较小，这种差错具有随机性；
- 冲击噪声，持续时间短，但幅度大，往往引起一个位串出错，称为突发性差错。
- 突发性差错影响局部，而随机性差错问题断续存在，影响全局。

□ 应对方法：

- 提高通信设备的信噪比，以满足符合要求的误码率
 - 提高线路和传输设备的性能和质量，这要依赖于更大的投资和技术进步
- 采用有效的差错控制方法，进一步提高传输质量
 - 采用某种手段发现并纠正传输错误



2.7.2 差错控制方法

□ 发现差错甚至能纠正差错的常用的方法：

对被传送的信息进行适当编码

- 给信息码元加上冗余码元，并使冗余码元与信息码元之间具备某种关联关系，然后将信息码元和冗余码元一起通过信道发出
- 接收方接收到这两种码元后，检验它们之间的关联关系是否符合发送方建立的关系，这样就可以校验传输差错，甚至可以纠正



纠错码：

纠正差错的编码，如海明码

实现复杂、造价高、费时间，在一般的通信场合不易采用

检错码：

检出差错的编码，如恒比码、奇偶校验码、循环冗余校验码、校验和……

要通过重传机制达到纠错，但原理简单，实现容易，编码与解码速度快，在网络中被广泛采用



□ 差错控制的基本过程：

- 接收方进行**差错检测**，并向发送方**应答**，告知是否正确接收

□ 实际采用的差错控制技术（数据链路层采用）

- **检错反馈重发**（Automatic Repeat Request, **ARQ**）又叫**自动请求重发**，接收方检测有无误码，如有误码利用**反向信道**要求发送方**重发出错的消息**，直到检测认为**无误**这止
- **自动纠错**（前向纠错）（FEC-Forward Error Control, **FEC**）接收方检测到有错后，**确定差错位**具体位置，并**自动加以纠正**

□ 混合方式（Hybrid FEC-ARQ）

- 接收方对**少量**的**差错自动纠正**，面对**超出纠正能力的差错**则通过**反馈重发**的方法加以纠正



如何进行自动请求重发 (Automatic Repeat Request, ARQ)

停-等 ARQ

发送方每发完一个数据报文必须等接收方确认后才能发下一个数据报文

全部重发 Go-back-N ARQ

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，从该数据报文后的所有数据报文都需重发

选择重传 ARQ

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，只需要重发该出错的数据报文

要求：发送方缓存所有未被确认的数据报文



2.7.3 常见的检错码

□ 奇偶校验 (Parity Checking)

➤ 可以在两个级别上实现

- 在原始数据字节的最高位（或最低位）增加一个奇偶校验位，使结果中1的个数为奇数（奇校验）或偶数（偶校验）

例：1100010增加偶校验位后为11100010

- 若接收方收到的字节奇偶校验结果不正确，就可以知道传输中发生了错误

例：11100010中有偶数个1（偶校验），收到时1的个数不是偶数则错，仍是偶数不一定对（如错2个1检不出）！

- 在通信过程中实现：在发送时增加奇偶校验位

➤ 特点

- 只能用于面向字符的通信协议中（面向比特为什么不行？）
- 只能检测出奇数个的数据位错误，偶数个的不能检出



□ 循环冗余编码 (Cyclic Redundancy Check, **CRC**)

- 在局域网和广域网的数据链路层通信中用得最多，也是最有效的检错方式
- 基本思想：在数据后面添加一组与数据相关的冗余码

□ 差错检测原理：

- 收发双方约定一个生成多项式 $G(x)$ ，发送方根据发送的数据和 $G(x)$ 计算出冗余码并把它加在数据的末尾
- 接收方则用 $G(x)$ 去除接收到的数据，若有余数，则传输有错。

□ 冗余码：16位或32位的二进制位串

□ CRC校验的关键是如何计算冗余码



□ 校验和 (Checksum)

- 因特网数据传输中常用的校验方式
- **IP、ICMP、TCP和UDP**等协议都使用了校验和来进行差错检测
- 发送方算法
- 接收方算法



2.8 数据通信性能指标

- 时延与时延带宽积
- 误码率与误比特率
- 信息传输速率与码元传输速率
- 信道的最大传输速率



2.8.1 时延与时延带宽积

□ **时延**：一个数据块（帧、分组、报文段等）从**链路或网络的一端**传送到**另一端所需要的时间**

□ **总时延=发送时延 + 传播时延 + 转发时延**

- **发送时延=数据块长度/信息传输速率**
- **传播时延=信道长度/电磁波在信道上的传播速率**
- **转发时延=排队时延+处理时延**



□ **带宽** (Band Width, BW) : 信道传输能力的度量

□ 在传统的通信工程中:

$$BW = f_{\max} - f_{\min} \text{ 单位: 赫兹 (Hz)}$$

□ 在计算机网络中:

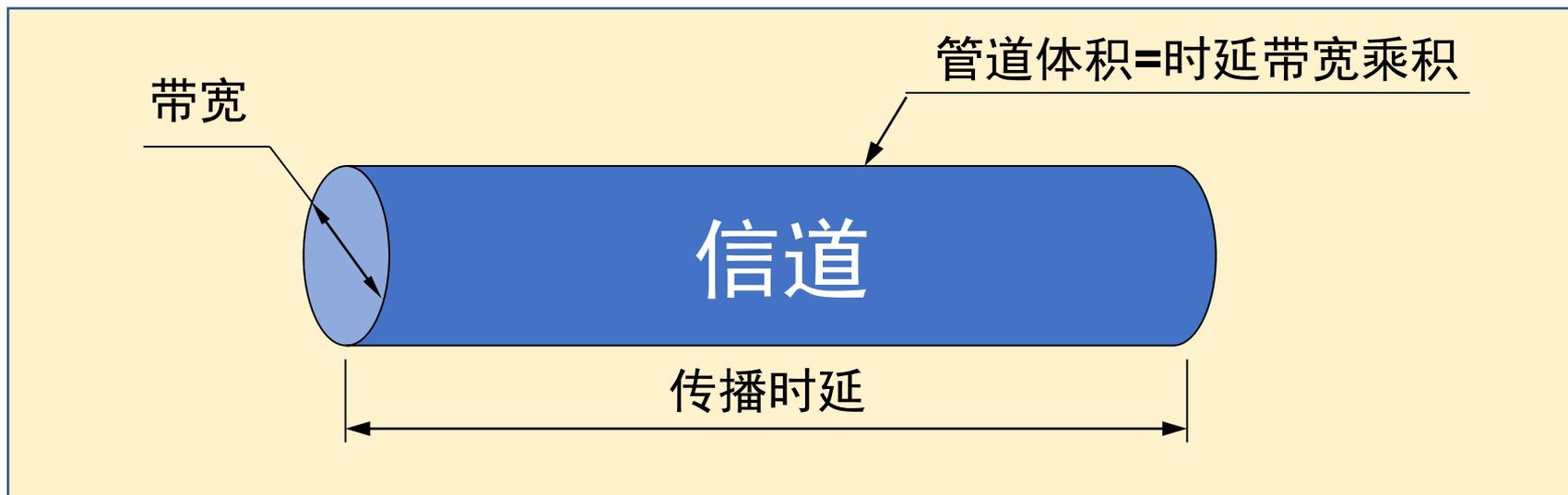
用每秒允许传输的二进制位数作为带宽的计量单位

主要单位: b/s、Kb/s、Mb/s、Gb/s

例: 传统以太网理论上每秒可以传输一千万比特, 它的带宽为10Mb/s

□ **时延带宽积**：某一信道所能容纳的**比特数**

- 时延带宽积=传播时延 × 带宽



例：某信道的时延带宽乘积为100万比特，这意味着第一个比特到达目的端时，源端已发送了100万比特



2.8.2 误码率与误比特率

□ **误码率**： P_c 指传输的**码元被传错**的概率

$$P_c = \frac{\text{传错的码元数}}{\text{传输的码元总数}}$$

□ **误比特率**： P_b 指传输的**比特被传错**的概率

$$P_b = \frac{\text{传错的比特数}}{\text{传输的比特总数}}$$



2.8.3 信息传输速率与码元传输速率

□ 信息传输速率

- **比特 (bit)**：即一个二进制位
- **信息传输速率**：是指每秒传输的**编码前**的数字数据的**二进制比特数**，又称**比特率C**

□ 码元传输速率

- **码元 (Code Cell)**：时间轴上的**一个信号编码单元**（二进制下为一个脉冲）
- **码元传输速率**：数字数据经线路**编码后**的传输信号在信道上的传输速率称为码元传输速率，是指**每秒**传输的**码元数**，称**波特率B**
- 又称为波特率、调制速率、波形速率或符号速率

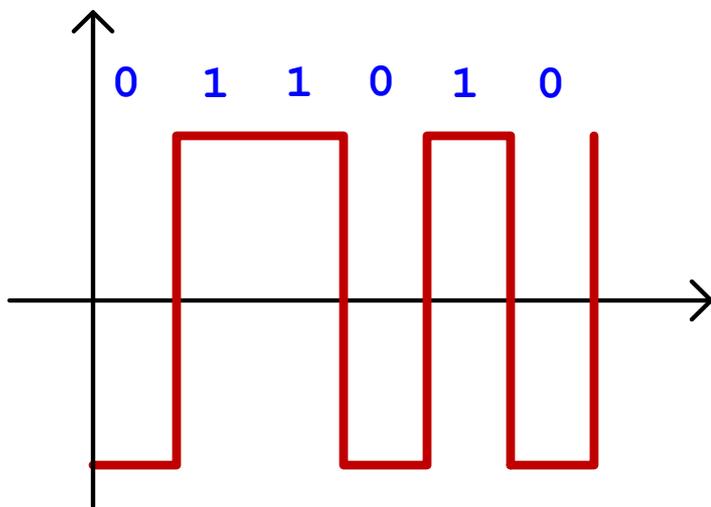
□ 吞吐量

- 单位时间发送的**比特数**、**字节数**或**帧数**

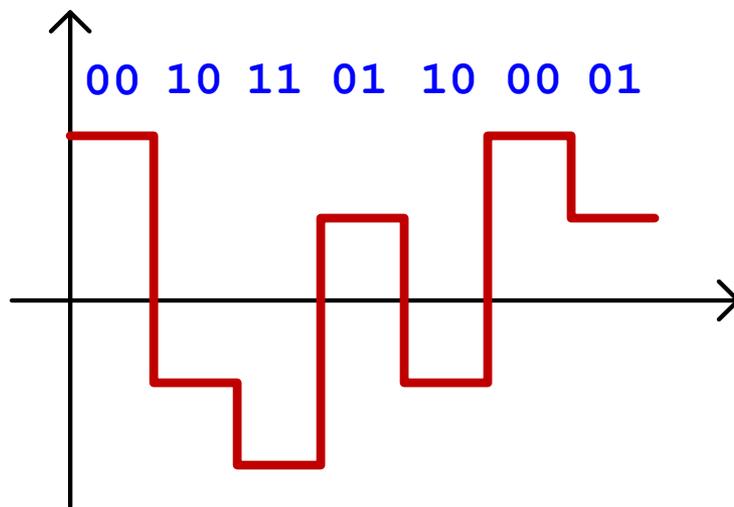


□ 比特率、波特率和信号编码级数的关系

- 二进制信号，每个码元含1个比特信息，**C**与**B**数值上相等。
- **M**进制信号，一个码元中可以传送 $\log_2 M$ 个比特
- $C = B \times \log_2 M$ (b/s)
- M ——信号的编码级数



二进制信号波形



四进制信号波形



串口通信的典型波特率之一



□ 例：当波特率**B**为9600baud时

$$C = B \times \log_2 M \text{ (b/s)}$$

- 若 $M = 2$ ，信息传输率为9.6 kb/s
- 若 $M = 16$ ，信息传输率为38.4 kb/s



带宽和宽带

带宽

- 计算机网络中，和**信息传输率**具有同样含义
- **信道带宽**的定义来自**通信领域**，原来的通信信道是模拟信道，**带宽是指信道上能够正常通过的模拟的物理信号的频率范围，即最大最小频率之差，单位为赫兹**
- 借用到**计算机网络**领域，表示**传输数字数据的能力**，即数字信道所能传输的**最大数据速率**，单位是 **bps**。此时，**带宽和信息传输速率有相同的含义**

宽带

- 即**宽的带宽**
- 计算机网络中，**带宽指信息传输率**，**宽带**则解释为**高的信息传输速率**
- 目前，接入网带宽达到**1.54 Mbps**的量级，就可以认为属于**宽带范畴**



2.8.4 信道的最大数据传输率

□ 奈奎斯特和香农定理给出了信道的极限传输能力，称为信道容量，用信道的最大信息传输速率来表示

□ Nyquist准则：对于一个带宽为 W Hz 的无噪低通信道，其最高的码元传输速率为

$$B_{MAX} = 2W \text{ (baud)}$$

- 这种限制是由信号内部的干扰，如延迟、变形造成的
- 适用于无噪声理想低通信道
- 信道总有噪声，故为理论上限
- 信息传输速率越高，要求信道的带宽越高



- 在多个信号电平条件下，信道的极限信息传输速率即信道容量定义为

$$C_{\max} = 2W \log_2 M$$

C ——数据传输率，单位 bps

W ——带宽，单位 Hz

M ——信号编码级数

- Nyquist公式为估算已知带宽信道的最高数据传输速率提供了依据

例如：话音级线路的带宽约为3.1kHz，根据上式计算的信道最大数据传输率如右表所示

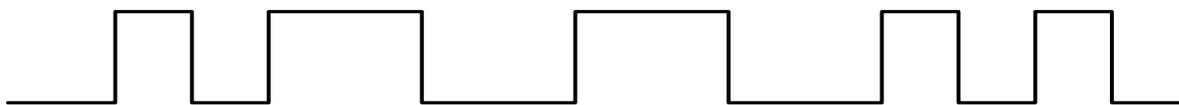
M	最大数据率
2	6200 bps
4	12400 bps
8	18600 bps
16	24800 bps
32	31000 bps



传输数据:

0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 0

信号:



噪声:



信号与
噪声叠加:



采样时序:

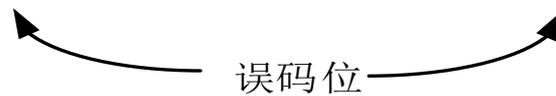


接收数据:

0 1 0 1 1 0 1 1 1 0 0 1 0 0 0

原始数据:

0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 0



噪声的存在可能破坏一个以上比特的信号



- 在给定噪声电平的情况下，**数据传输速率越高，出错率也就越高**
- 在给定噪声电平的情况下，**提高信号强度**将改善数据的正确接收情况
- 涉及此推论的关键的参数是 **S/N** ，即**信噪比**，这是指在传输的某个特定点上**信号能量与噪声能量之比**
- 信噪比一般用分贝（**dB**）形式表示：

$$(S/N)_{\text{dB}} = 10 \lg \frac{\text{信号能量}}{\text{噪声能量}}$$

- **信噪比值越高，意味着信号质量越高**

□ **Shannon定理**：有**高斯白噪声干扰**情况下的**信道容量**为

$$C_{\text{max}} = W \log_2(1 + S/N)$$

C ——数据传输率，单位 **bps**
 W ——带宽，单位 **Hz**



Nyquist和Shannon比较

□ $C_{MAX} = 2W \log_2 M$

- 用于理想信道（这样的信道存在吗？）
- 数据传输率随信号编码级数增加而增加

奈奎斯特激励工程人员：不断探索更加先进的编码技术，使每一个码元携带更多比特的信息量。

□ $C_{MAX} = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{N}\right)$

- 用于有噪声信道（实际的信道总是有噪声！）
- 无论信号编码级数增加到多少，有噪声信道可能达到的最大数据传输速率存在上限

香农告诫工程人员：在实际有噪声的信道上，不论采用多么复杂的编码技术，都不可能突破信息传输速率的绝对极限。



本章小结

- 信道
 - 信息/数据/信号，信道，调制/编码，带宽，最大传输能力，通信过程
- 传输媒体
 - 有线/无线，双绞线/光纤
- 编码与调制
 - 数字编码，幅度/频率/相位调制，脉码调制-PCM
- 多路复用
 - FDM, TDM, WDM, CDM
- 数据交换技术
 - 电路交换，报文交换，分组交换
- 差错控制
 - 差错检测，差错控制
- 通信性能指标
 - 时延，误码（比特）率，传输速率，奈奎斯特，香农



作业

■ 第62页：

6, 7, 11, 12, 13, 18

注：

第7题回答同步方式的特点时要简练

第12题仅回答前两小问