

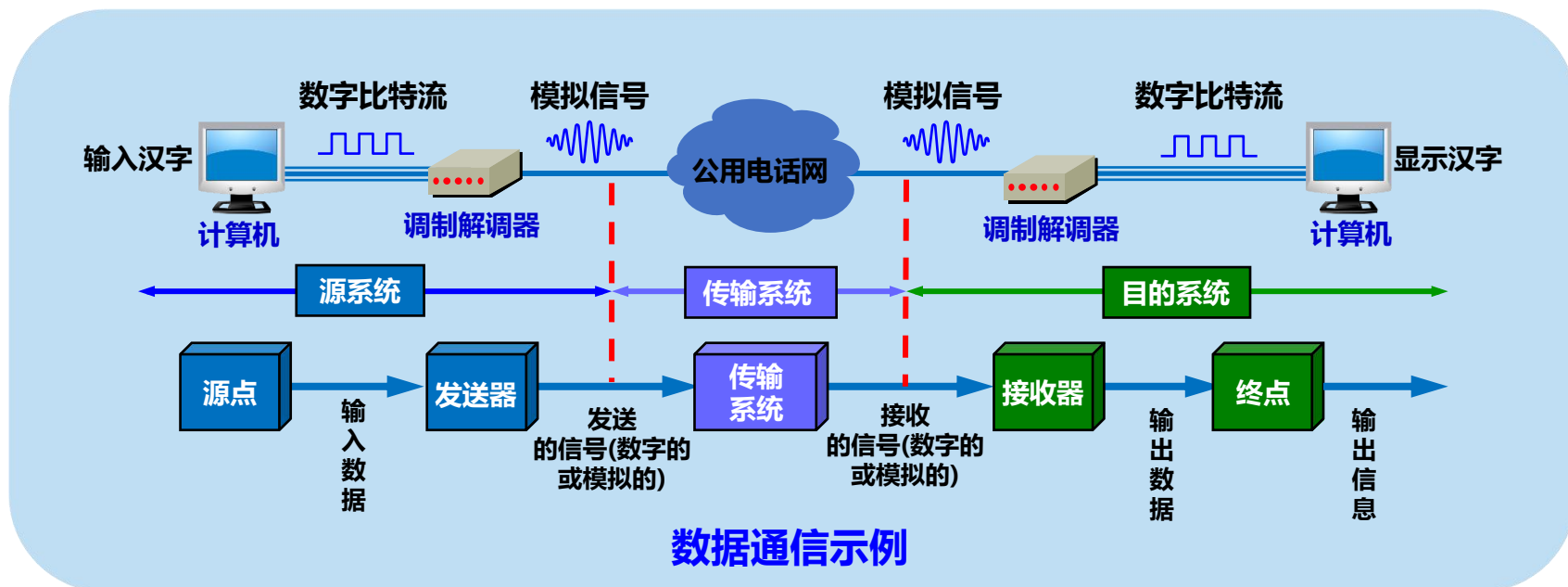


计算机与通信工程学院
School of Computer & Communication Engineering

第2章 数据通信基础知识



2.1	数据通信的几个重要概念及理论
2.2	传输媒介
2.3	数据编码与传输
2.4	信道复用技术
2.5	数据交换技术



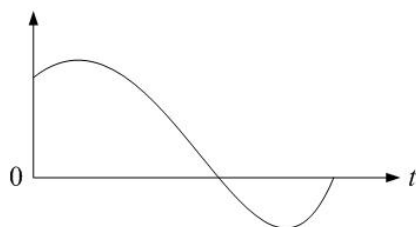
消息

信号

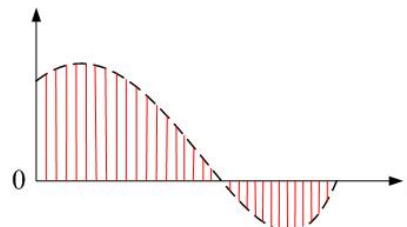


消息、信息、信号与数据

- **消息**：数据通信系统要传输的对象。
 - **连续消息**：声音、温度
 - **离散消息**：文字、数据、符号，等等
- **信号**：消息的电/光表示形式，消息的物质/传输载体。
 - **模拟信号**：承载消息的信号参量的取值是连续的。
 - **数字信号**：承载消息的信号参量的取值是离散的。

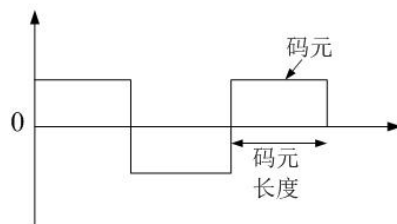


(a) 温度信号

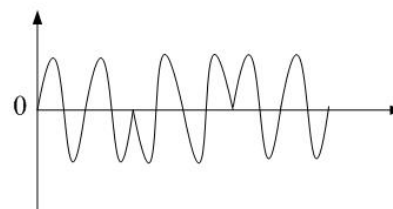


(b) 抽样信号

模拟信号



(c) 二电平信号



(d) 二相位信号

数字信号

消息、信息、信号与数据

- **信息**：消息中蕴含的有价值的内容。

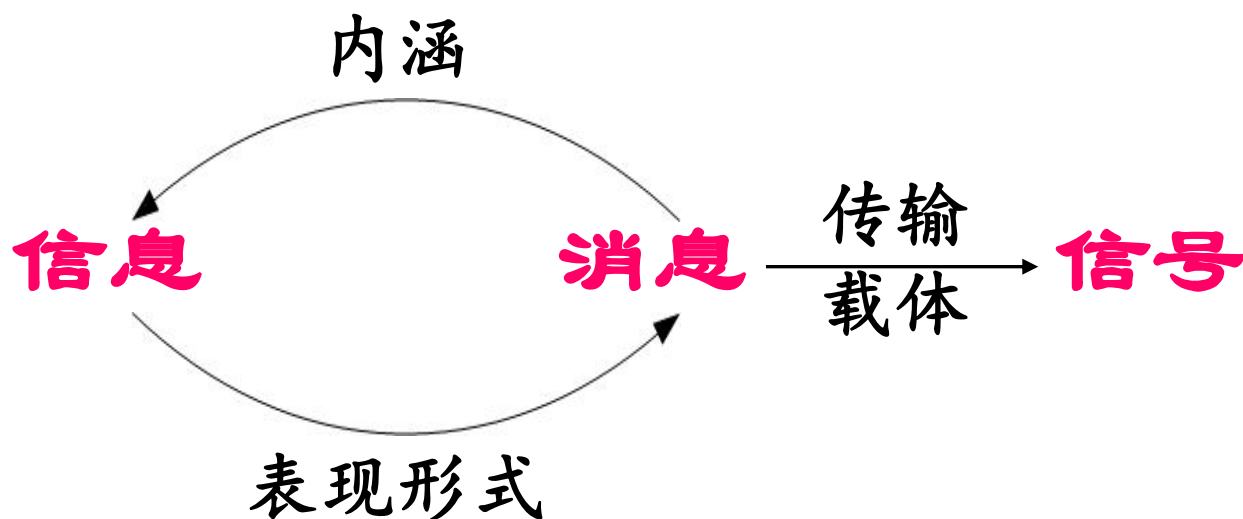
信息的量值与消息所代表事件的随机性或事件发生的概率有关。把度量信息大小的物理量称为**信息量**。

假设信源发出的消息 (m_k) 所代表的事件出现的概率为 P_k ，则消息所含有的信息量 $I(m_k)$ 为

$$I(m_k) = \log_a \left(\frac{1}{P_k} \right) = -\log_a P_k$$

- ◆ $a=2$ ，信息量的单位叫比特 (bit)。
- ◆ $a=e$ ，信息量的单位叫奈特 (nat)。
- ◆ $a=10$ ，信息量的单位叫哈特莱 (Hartley)。

消息、信息、信号与数据



- **数据**：一般认为是预先约定的具有某种含义的数字信号的组合，如数字、字母和符号等。用数据表示信息的内容是十分广泛的，如电子邮件、文本文件、电子表格、数据库文件、图形和二进制可执行程序等。数据是消息的一种表现形式，是传递某种信息的实体。

信道的极限容量

● 传输

➤ 任何实际的信道都不是理想的，在传输信号时会产生各种失真，而且在信道中也会存在各种干扰和噪声。

- 随机噪声  随机差错

热噪声、传输媒介引起的噪声等。

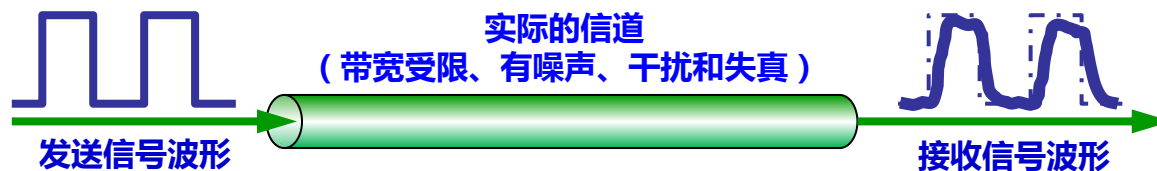
- 脉冲噪声  突发差错

突然发生的噪声，包括雷电或开关引起的瞬态电信号变化等。

信道的极限容量

● 传输

- 任何实际的信道都不是理想的，在传输信号时会产生各种**失真**，而且在信道中也会存在各种**干扰**和**噪声**。
- 信号传输的**速率越高**，或信号传输的**距离越远**，或传输媒体**质量越差**，在信道的输出端的波形的**失真就越严重**。

有失真，但**可识别**失真大，**无法识别**

码间串扰：接收端收到的信号波形失去了码元之间的清晰界限的现象。

信道的极限容量

- 信道带宽越宽（能通过的高频分量越多），可用更高的速率进行码元的传输而不出现码间串扰。
- 码元速率是有上限的，传输速率过限，会出现码间串扰。
- 奈奎斯特给出了码元传输速率的限制

1924年，奈奎斯特准则：在假定的理想低通信道条件（无噪声，带宽受限）下，为了避免码间串扰，码元传输速率的上限值（即理想条件下信道的极限容量）为

$$R_{\max} = 2W \text{ (码元/s 或 Baud)}$$

若码元状态数是 M ，则信道极限速率（信道容量）为

$$R_b = 2W \log_2 M \text{ (bit/s)}$$

对于理想带通信道，码元传输速率上限值为

$$R_{\max} = W$$

若码元状态数是 M ，则信道极限速率（信道容量）为

$$R_b = W \log_2 M \text{ (bit/s)}$$

其中： W 为信道带宽（单位是Hz）。

信道的极限容量

- 1948年，香农 (Shannon) 用信息论的理论推导出了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（香农公式）

$$C = W \log_2(1+S/N) \quad (\text{bit/s})$$

其中： W 为信道带宽（单位是 Hz）； S 为信道内所传信号的平均功率； N 为信道内部的高斯噪声功率。

- 信道的带宽或信道中的信噪比越大，则信息的极限传输速率就越高。
- 只要信息传输速率低于信道的极限信息传输速率，就一定可以找到某种办法来实现无差错的传输。
- 若信道带宽 W 和信噪比 S/N 没有上限，则信道的极限信息传输速率 C 也就没有上限。
- 实际信道上能够达到的信息传输速率要比香农的极限传输速率低不少。

提高信息传输速率的方法

- **前提**：对于频带宽度已确定的信道，如果信噪比不能再提高了，并且码元传输速率也达到了上限值
- **方法**：用编码的方法让每一个码元携带更多信息量。

例：

基带信号 $M = 101011000110111010\dots$ -----> 1 bit/码元

将信号中的每 3 个比特编为 1 组：

101 011 000 110 111 010

$M1 = \varphi_5 \ \varphi_3 \ \varphi_0 \ \varphi_6 \ \varphi_7 \ \varphi_2$ -----> 3 bit/码元

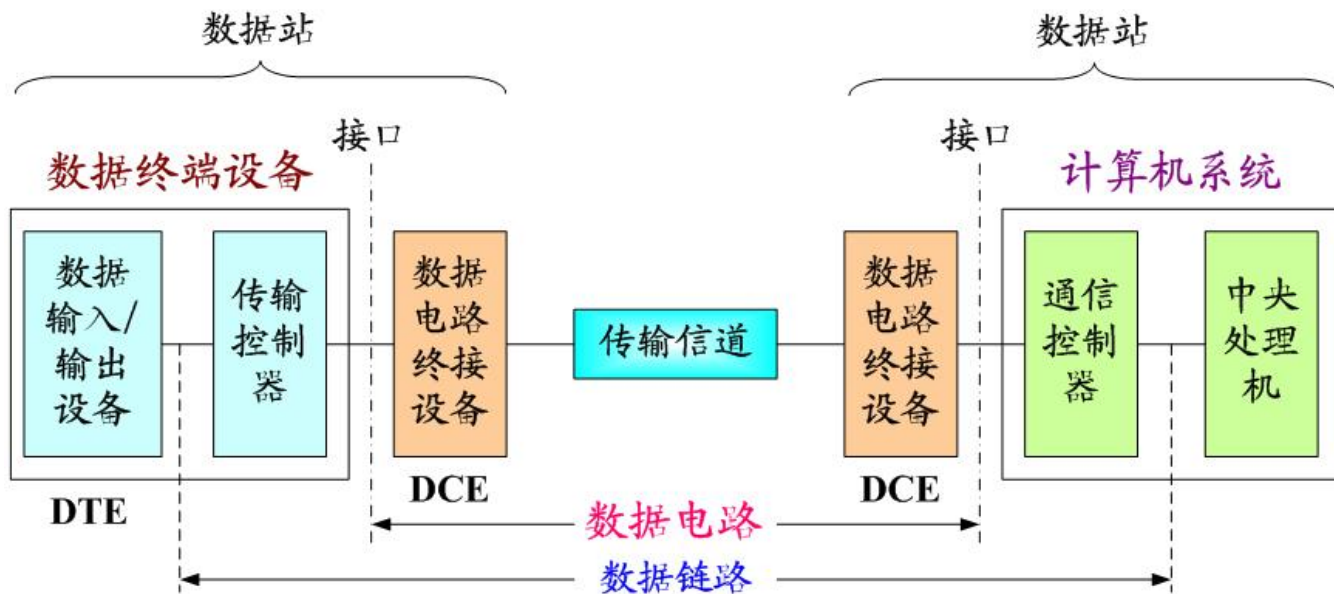
若以同样的速率发送码元，则同样时间所传送的信息量就提高到了 3 倍。

奈氏准则与香农公式的意义不同



- **奈氏准则**：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。
- **香农公式**：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。

数据通信系统模型



• 数据终端设备(DTE)

- 一种具有一定数据处理和转发能力的设备
- 可以是数据的源点或终点

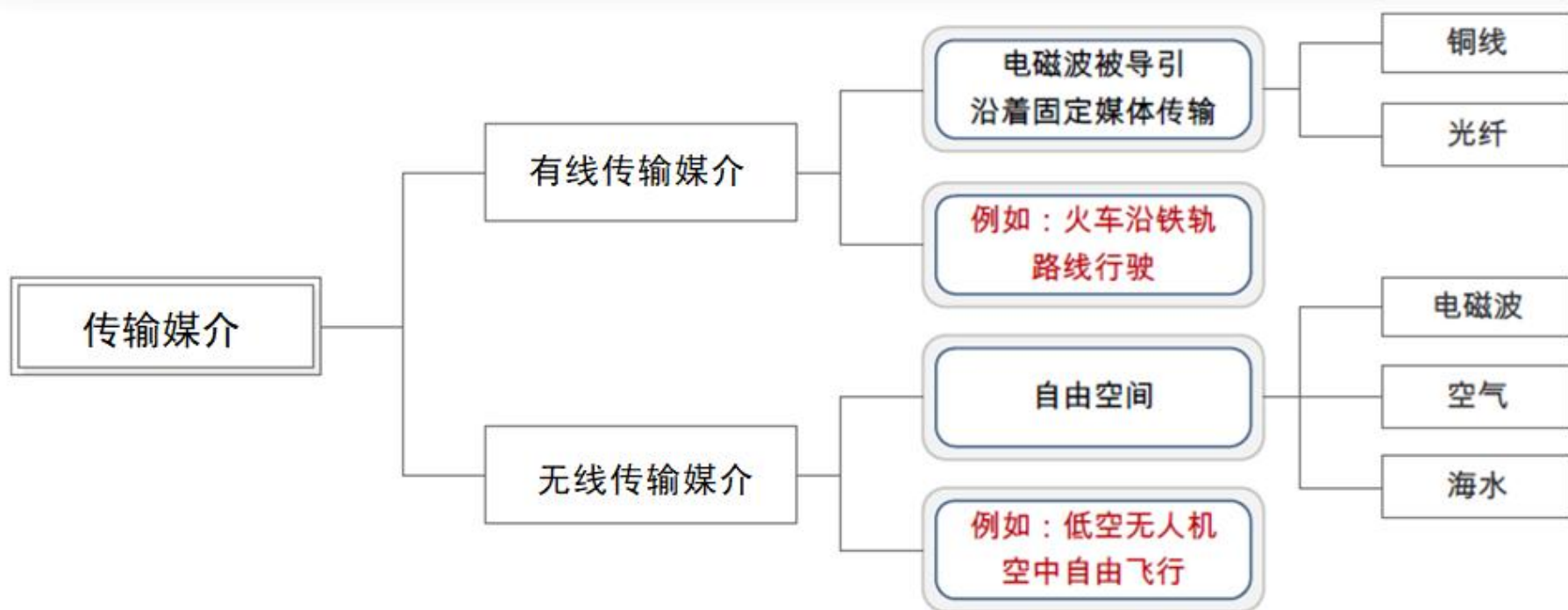
• 数据电路终结设备(DCE)

- 在DTE和传输信道之间的接口设备
- 提供信号变换功能

- ✓ **模拟信道**：调制解调器→D/A转换或A/D转换
- ✓ **数字信道**：数字接口适配器→信号码型与电平转换、定时、信号再生、同步、信道均衡等

传输媒介

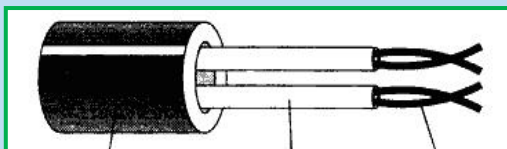
- **传输媒介也称为传输媒体或传输介质**，是网络中连接收发双方的物理通路，也是通信中实际传输信息的载体。



有线传输媒介

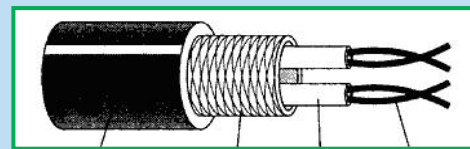
● 双绞线

- 把两根互相绝缘的铜导线并排放在一起，然后用规则的方法**绞合**起来就构成了双绞线。
- **绞合度越高，可用的数据传输率越高。**
- 两大类：屏蔽双绞线 STP 和 无屏蔽双绞线 UTP。
- 模拟传输和数字传输都可以使用双绞线。



聚氯乙烯套层 绝缘层 铜线

(a) 无屏蔽双绞线



聚氯乙烯套层 屏蔽层 绝缘层 铜线

(b) 屏蔽双绞线

3 类线



5 类线



(c) 不同的绞合度的双绞线

有线传输媒介

● 双绞线

- 把两根互相绝缘的铜导线并排放在一起，然后用规则的方法**绞合**起来就构成了双绞线。
- **绞合度越高，可用的数据传输率越高。**
- 两大类：屏蔽双绞线 STP 和无屏蔽双绞线 UTP。
- 模拟传输和数字传输都可以使用双绞线。

常用的绞合线的类别、带宽和典型应用

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；曾用于传统以太网 (10 Mbit/s)
5	100 MHz	与 3 类相比增加了绞合度	传输速率不超过 100 Mbit/s 的应用
5E (超 5 类)	100 MHz	与 5 类相比增加了绞合度	传输速率不超过 100 Mbit/s 的应用
6	250 MHz	与 5 类相比改善了串扰等性能	传输速率高于 1 Gbit/s 的应用
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	使用屏蔽双绞线	传输速率高于 10 Gbit/s 的应用
8	2000 MHz	必须使用屏蔽双绞线	传输速率 25 Gbit/s 或 40 Gbit/s , 距离 30 m

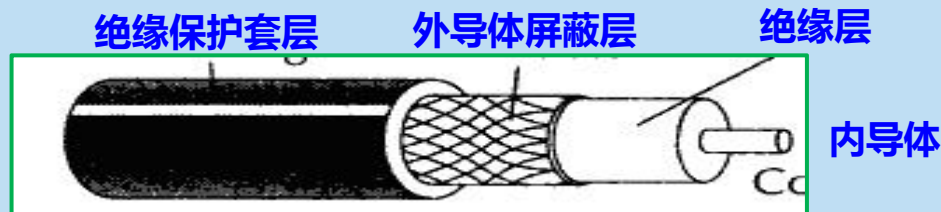
无论是哪种类别的双绞线，衰减都随频率的升高而增大。

有线传输媒介

● 同轴电缆

- 由内导体铜质芯线（单股实心线或多股绞合线）、绝缘层、网状编织的外导体屏蔽层（也可以是单股的）以及保护塑料外层所组成。
- 具有很好的抗干扰特性，被广泛用于传输较高速率的数据。
- 同轴电缆的带宽取决于电缆的质量。
- 50 Ω 同轴电缆 —— LAN / 数字传输常用
- 75 Ω 同轴电缆 —— 有线电视 / 模拟传输常用

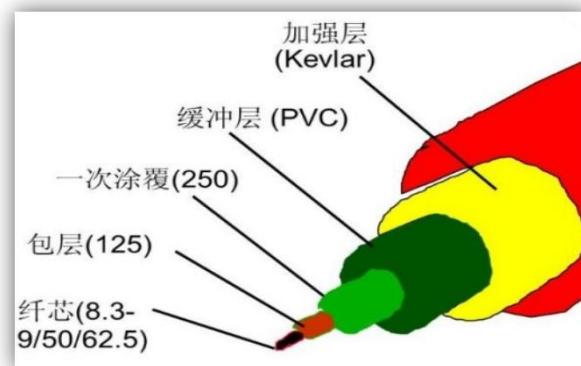
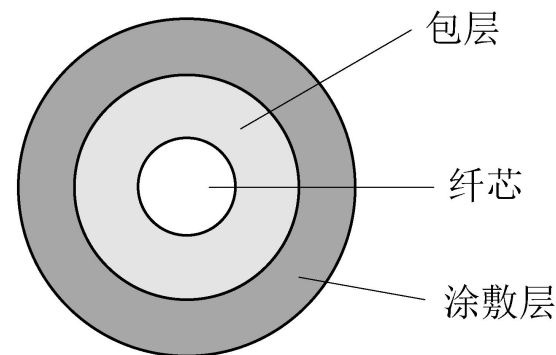
同轴电缆的结构



有线传输媒介

● 光纤

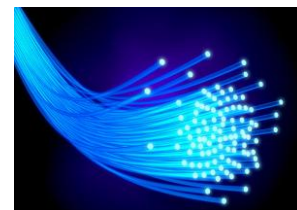
- 是圆截面介质波导，由纤芯、包层和涂敷层（或称保护层、防护层）构成。
- 纤芯由高度透明的材料构成。
- 包层的折射率 **低于** 纤芯，从而可以形成 **全反射** 效应，使大部分的光被束缚在纤芯中传输。
- 涂敷层的作用是增强光纤的柔韧性。
- 为了进一步保护光纤，提高光纤的机械强度，一般在带有涂敷层的光纤外面再套一层热塑性材料构成套塑层（或称二次涂敷层）；在涂敷层和套塑层之间还需填充一些缓冲材料构成缓冲层（或称垫层）。



有线传输媒介

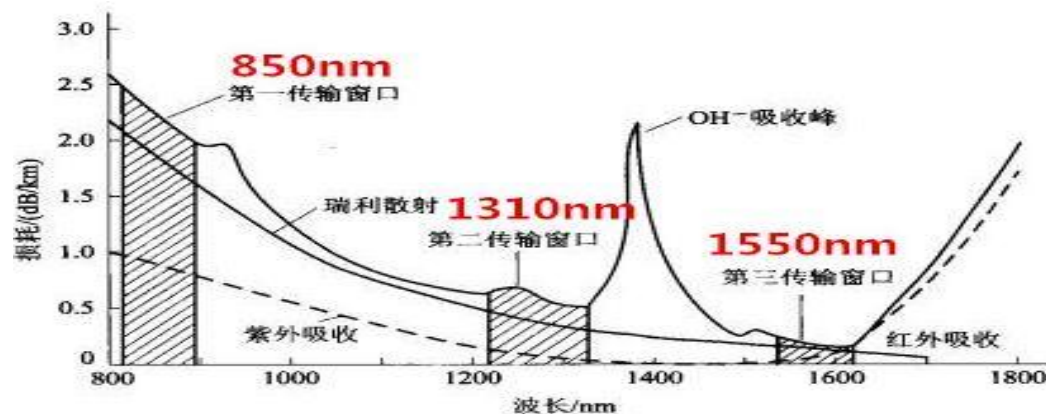
● 光纤

- 是光纤通信的传输媒体，通过传递光脉冲来进行通信。
- 光波是一种电磁波，其波长在微米级，频率为 10^{12} - 10^{16} Hz数量级。紫外线、可见光、红外线都属于光波范畴。

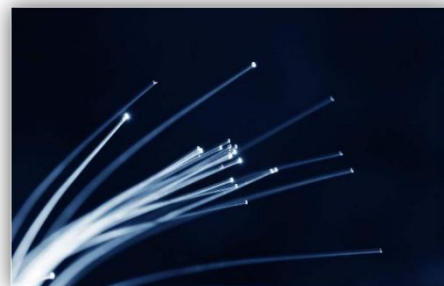


- 常用的三个波段的中心

- 0.85 μm
- 1.31 μm
- 1.55 μm

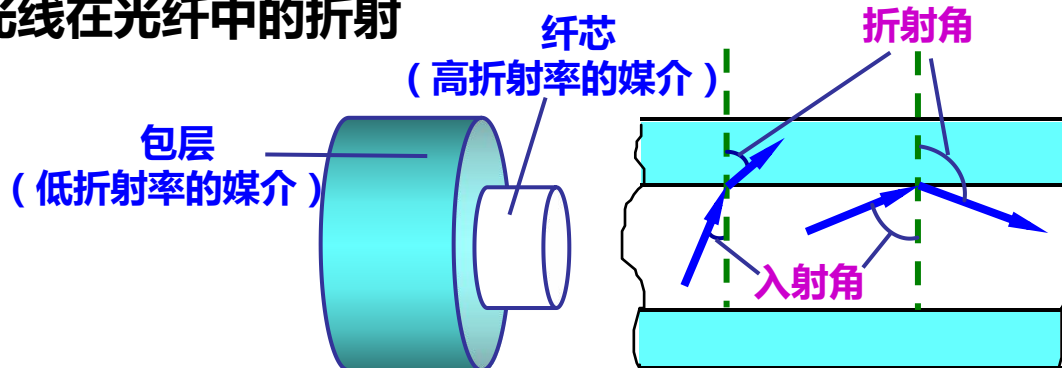


以上三个波段都具有 25000~30000 GHz 的带宽，通信容量非常大。



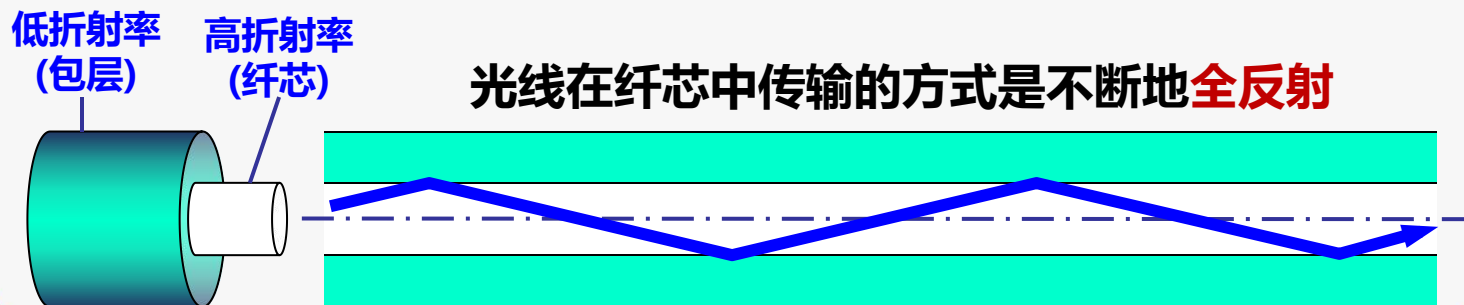
有线传输媒介

光线在光纤中的折射



2009年诺贝尔物理学奖
光纤之父高锟

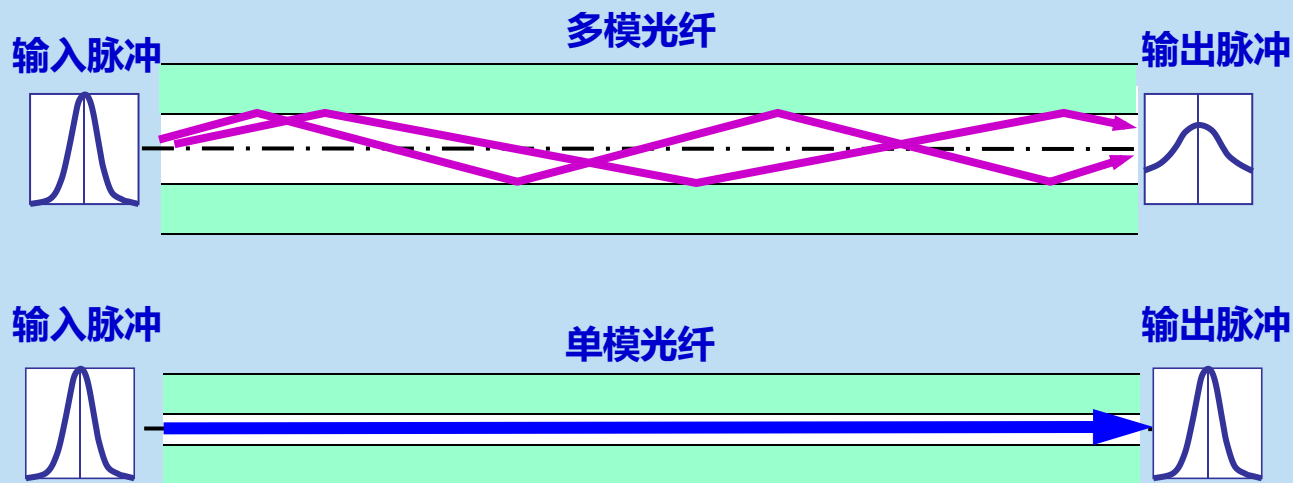
光波在纤芯中的传播



当光线从高折射率的媒介射向低折射率的媒介时，其折射角将大于入射角。因此，如果入射角足够大，就会出现全反射，光也就沿着光纤传输下去。

有线传输媒介

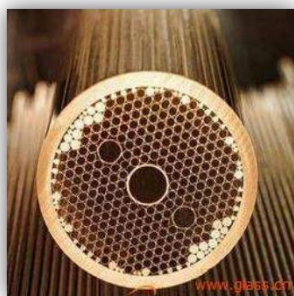
- 在光纤数据传输领域，术语“**模式**”用于描述光信号在光纤玻璃纤芯内的传播方式——即**模式**是光的**传播路径**。
- **单模光纤**：光沿着一条路径传播，若光纤的直径减小到只有一个光的波长（几个微米），则可使光线一直向前传播，而不会产生多次反射。
- **多模光纤**：光在多条路径中传播，光脉冲在多模光纤中传输时会逐渐展宽，造成失真，只适合于近距离传输。



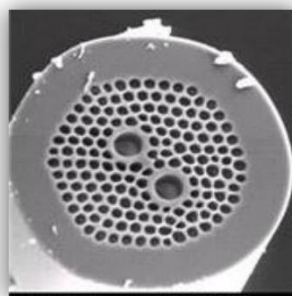
多模光纤和单模光纤的比较

有线传输媒介

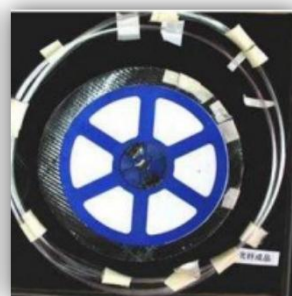
- 在光纤数据传输领域，术语“**模式**”用于描述光信号在光纤玻璃纤芯内的传播方式——即**模式**是光的**传播路径**。
- **单模光纤**：光沿着一条路径传播，若光纤的直径减小到只有一个光的波长（几个微米），则可使光线一直向前传播，而不会产生多次反射。
- **多模光纤**：光在多条路径中传播，光脉冲在多模光纤中传输时会逐渐展宽，造成失真，只适合于近距离传输。



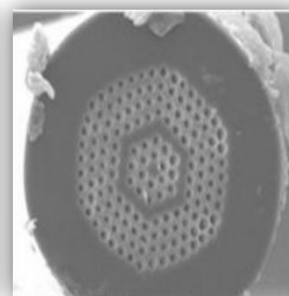
特种空心光纤



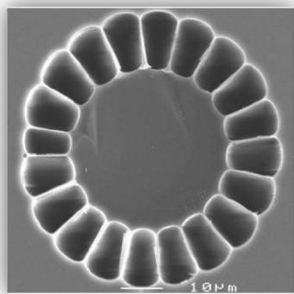
保偏光子晶体光纤



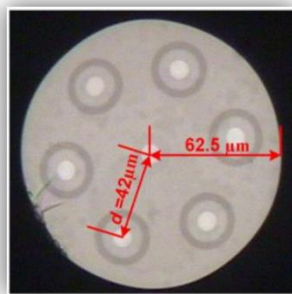
锥形光纤



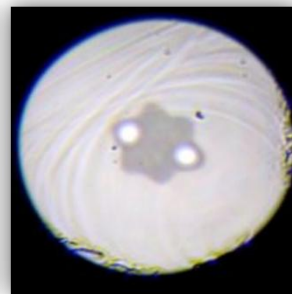
色散补偿光纤



瓣状光纤



7芯异质光纤



双芯轴对称光纤

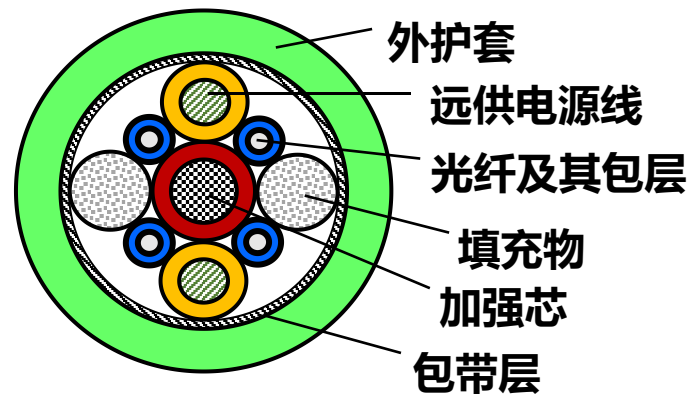


正方形分布光纤

有线传输媒介

● 光缆

- 数十至数百根光纤
 - 加强芯和填充物
 - 必要时还可放入远供电电源线
 - 最后加上包带层和外护套
- 使抗拉强度达到几公斤，完全可以满足工程施工的强度要求。



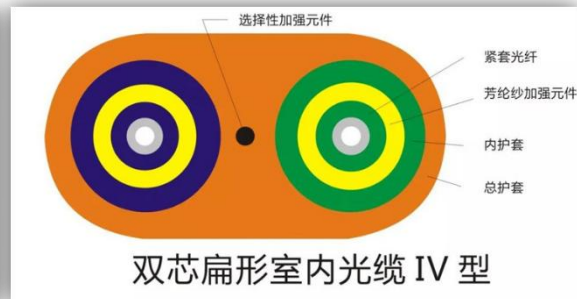
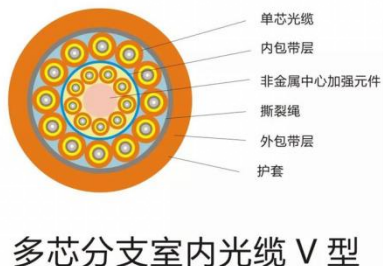
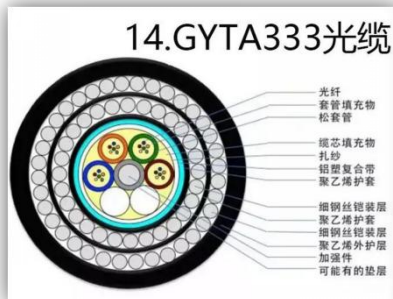
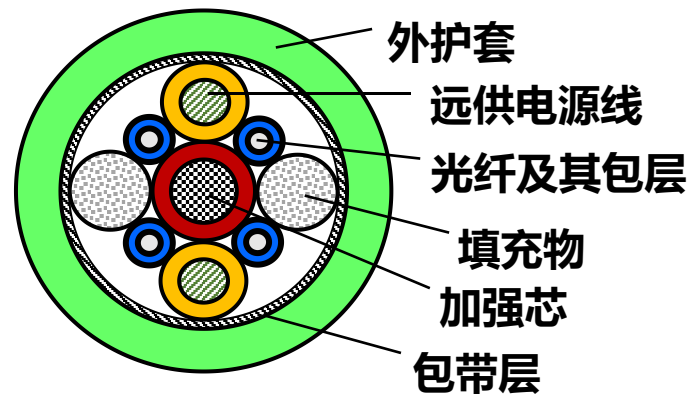
优点	通信容量大	传输损耗小 中继距离长	抗干扰性能好	体积小，重量轻	保密性好
缺点	质地脆，机械强度差	连接困难	光纤光缆的弯曲半径不能过小 (>20cm)	分路、耦合不灵活	怕水

现在已经非常广泛地应用在计算机网络、电信网络和有线电视网络的主干网络中。

有线传输媒介

● 光缆

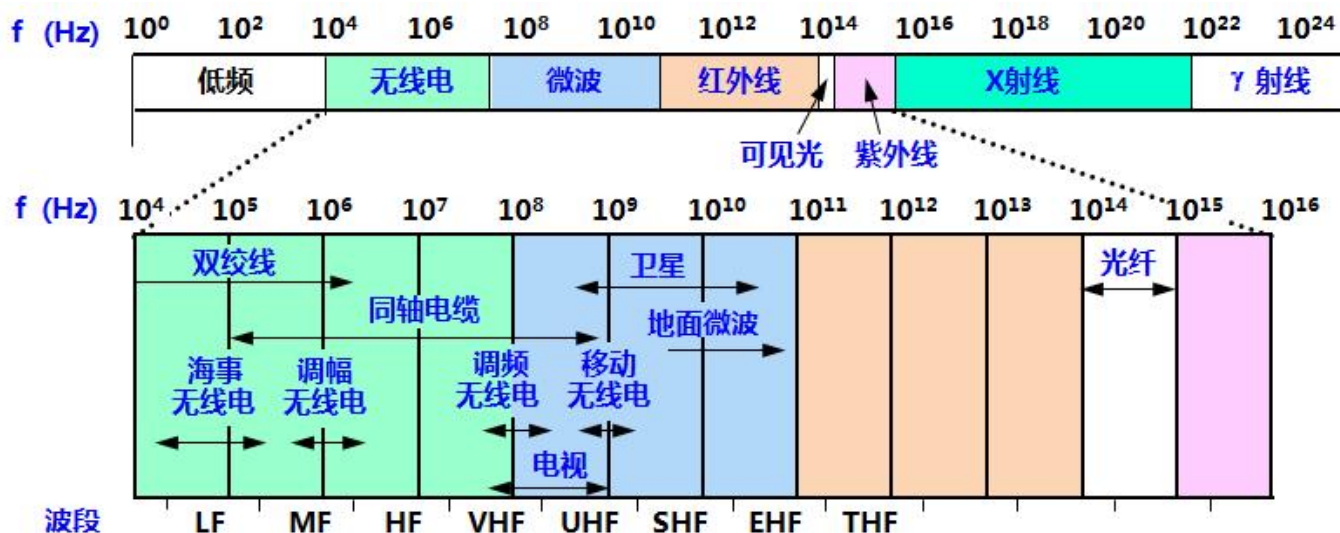
- 数十至数百根光纤
 - 加强芯和填充物
 - 必要时还可放入远供电电源线
 - 最后加上包带层和外护套
- 使抗拉强度达到几公斤，完全可以满足工程施工的强度要求。



现在已经非常广泛地应用在计算机网络、电信网络和有线电视网络的主干网络中。

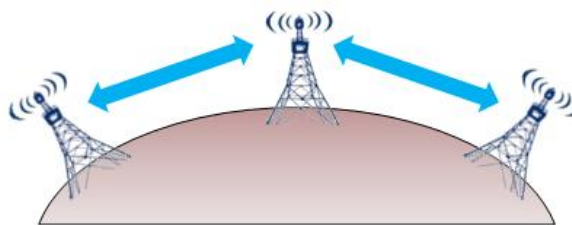
无线传输媒介

- 利用无线电波在自由空间的传播可较快地实现多种通信。
- 无线传输所使用的频段很广：LF ~ THF (30 kHz ~ 3000 GHz)
 - 短波通信（即高频通信）主要是靠**电离层的反射**，但短波信道的通信质量较差，传输速率低。
 - 微波占有特殊重要的地位，在空间主要是**直线传播**。

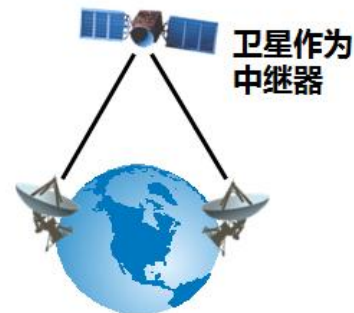


无线传输媒介

- 利用无线电波在自由空间的传播可较快地实现多种通信。
- 无线传输所使用的频段很广：LF ~ THF (30 kHz ~ 3000 GHz)
 - **短波通信** (即高频通信) 主要是靠**电离层的反射**，但短波信道的通信质量较差，传输速率低。
 - **微波**占有特殊重要的地位，在空间主要是**直线传播**。
- 微波频率范围
 - 300 MHz~300 GHz (波长1 m ~ 1 mm) 。
 - 主要使用：2 ~ 40 GHz。
- 传统微波通信有两种方式
 - 地面微波接力通信
 - 卫星通信



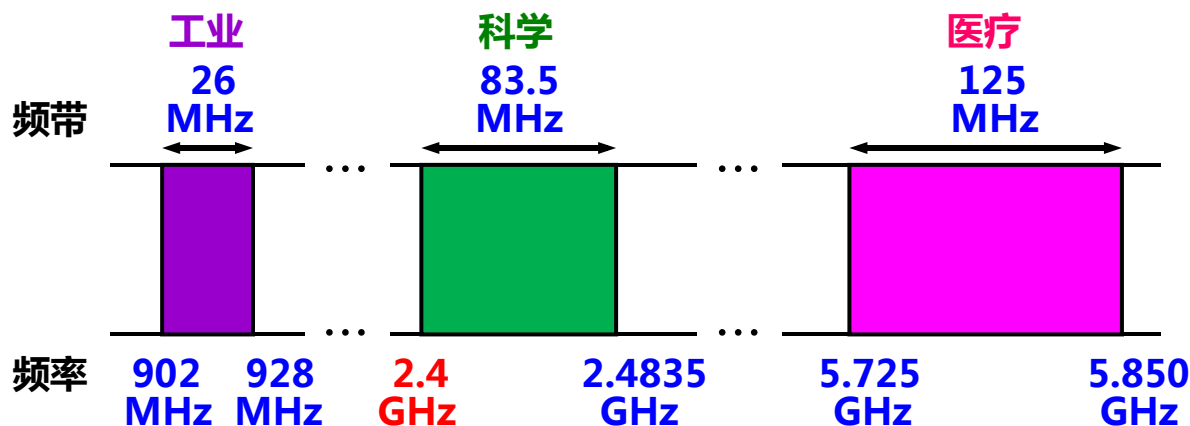
100 m 高的天线塔可使传播距离增大到 100 公里



同步地球卫星通信覆盖区的跨度达 18000 多公里

无线传输媒介

- 无线电频谱的使用必须得到本国政府有关无线电频谱管理机构的许可证。
- 可以自由使用的频段：ISM频段。
- 各国的ISM标准有可能略有差别。
- 2.4GHz频段为各国共同的ISM频段，因此无线局域网、蓝牙、ZigBee等无线网络，均可工作在2.4GHz频段上。



数据传输技术

● 基带传输和频带传输

➤ **基带传输**：数字信号**不做任何改变**直接在信道中进行传输的过程。

- 基带信号没有经过调制，它所占据的频带一般是从直流或低频开始的。
- 发送端在进行基带传输前，需要对信源发送的数字信号进行编码；在接收端，对接收到的数字信号进行解码，以恢复原始数据。
- 基带传输实现简单、成本低，得到了广泛应用。

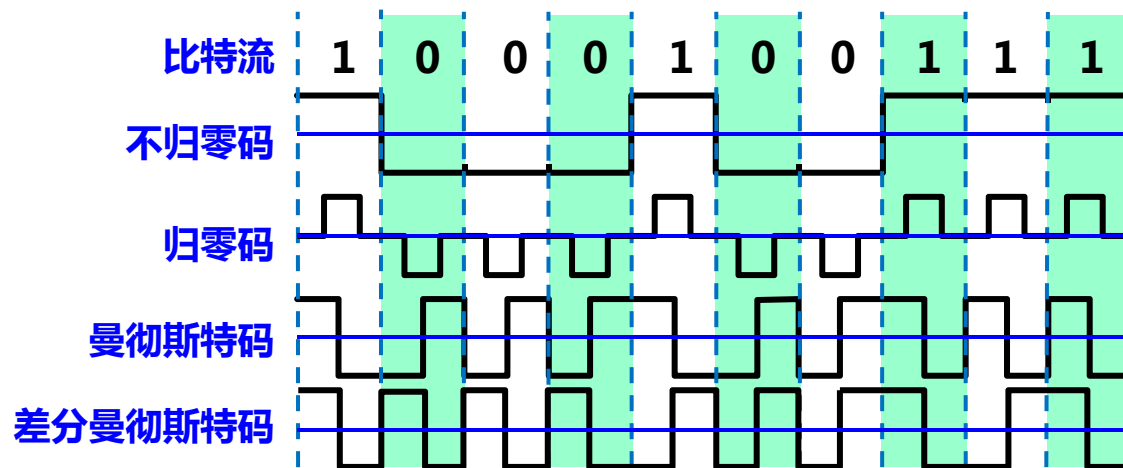
➤ **频带传输**：数字信号**经过调制**后在信道中传输的过程。

- 调制的目的是使信号能更好地适应传输信道的频率特性，以减少信号失真。
- 数字信号经过调制处理后能够克服基带信号占用频带过宽的问题，从而提高线路的利用率。

数字数据的数字传输

- 在进行基带传输时，需要对基带信号的波形进行变换，使它能够与数字信道特性相适应，这种过程也称为**编码** (coding)。
 - 数字信号的编码是指用两个电平分别表示二进制数据0和1的过程，每位二进制数据和一个电平相对应。
 - 常用的数字数据脉冲编码方案
 - 单极性码
 - 双极性码
 - 曼彻斯特码
 - 差分曼彻斯特码
- 归零码，不归零码

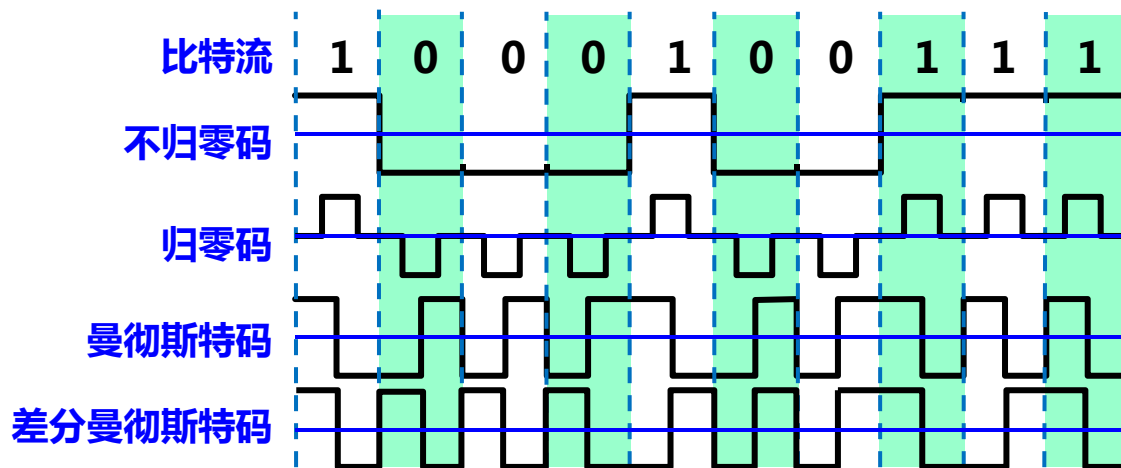
数字数据的数字传输



脉冲是指电压升高（或降低）后又降低（或升高）这一周期过程，相应称为正脉冲或负脉冲。

- **不归零码**：正电平代表 1，负电平代表 0。
- **归零码**：正脉冲代表 1，负脉冲代表 0。
- **曼彻斯特码**：位周期中心的向上跳变代表 0，位周期中心的向下跳变代表 1。但也可反过来定义。
- **差分曼彻斯特码**：在每一位的中心处始终都有跳变。位开始边界有跳变代表 0，而位开始边界没有跳变代表 1。

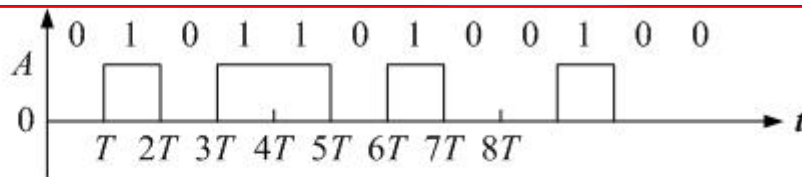
数字数据的数字传输



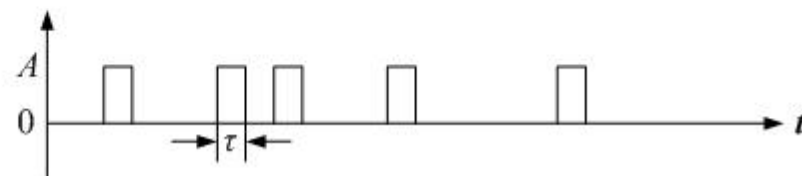
- 曼彻斯特码和差分曼彻斯特码产生的信号频率比不归零码高。
- 曼彻斯特码和差分曼彻斯特码具有自同步能力。

- **不归零码**：正电平代表 1，负电平代表 0。
- **归零码**：正脉冲代表 1，负脉冲代表 0。
- **曼彻斯特码**：位周期中心的向上跳变代表 0，位周期中心的向下跳变代表 1。但也可反过来定义。
- **差分曼彻斯特码**：在每一位的中心处始终都有跳变。位开始边界有跳变代表 0，而位开始边界没有跳变代表 1。

(a) 单极性不归零信号



(b) 单极性归零信号



不归零码

归零码

曼彻斯特码

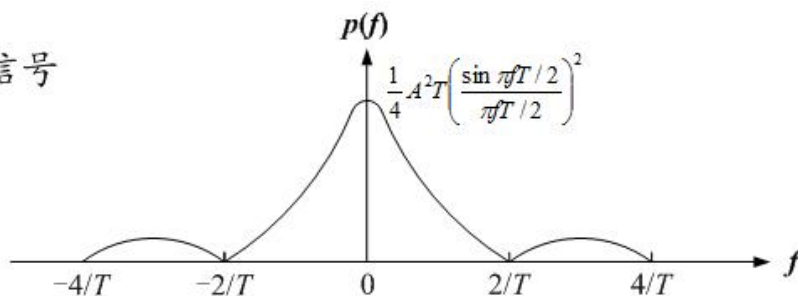
差分曼彻斯特码

- 曼彻斯特码和差分曼彻斯特码产生的信号频率比不归零码高。
- 曼彻斯特码和差分曼彻斯特码具有自同步能力。

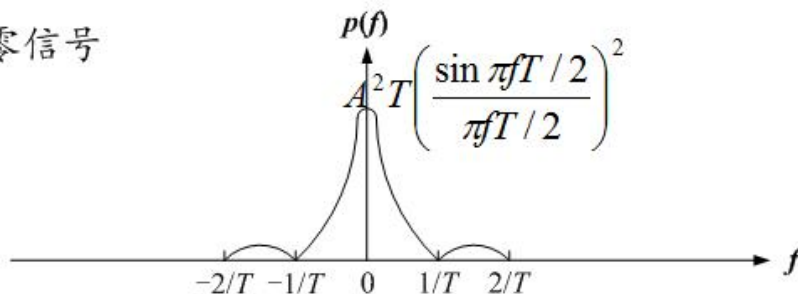
- **不归零码**：正电平代表 1，负电平代表 0。
- **归零码**：正脉冲代表 1，负脉冲代表 0。
- **曼彻斯特码**：位周期中心的向上跳变代表 0，位周期中心的向下跳变代表 1。但也可反过来定义。
- **差分曼彻斯特码**：在每一位的中心处始终都有跳变。位开始边界有跳变代表 0，而位开始边界没有跳变代表 1。

数字数据的数字传输

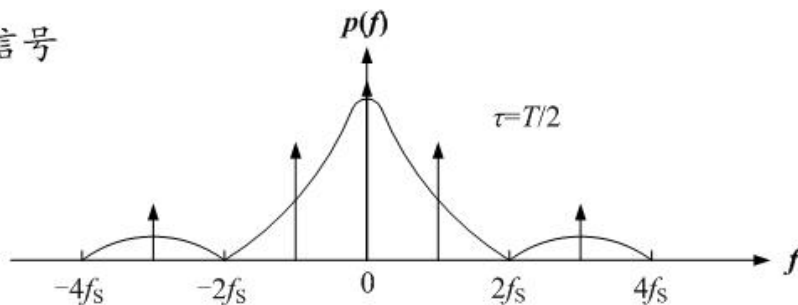
(a) 双极性归零信号



(b) 双极性不归零信号



(c) 单极性归零信号



对数据序列的频谱特性进行研究的目的找出数据序列的能量分布特性，以便决定信道的频带特性。

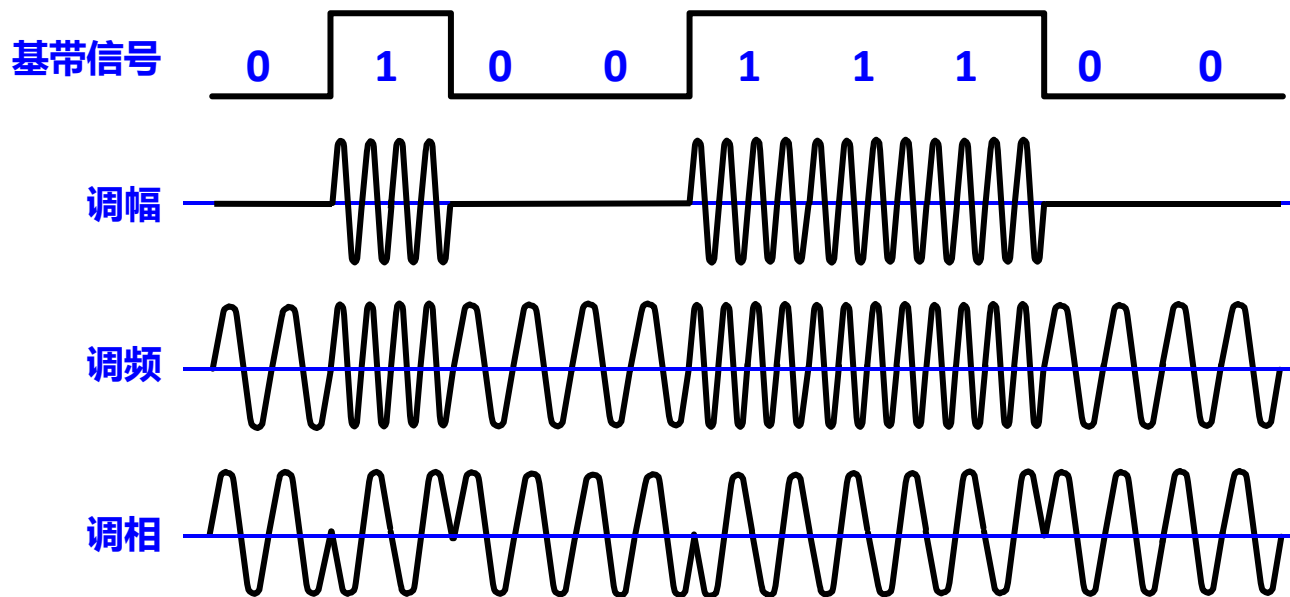
信号码元周期 T 可作为选择信道带宽的主要依据。

数字数据的模拟传输

- 在模拟信道中传输数字数据时，需要将数字数据转换成模拟信号传输，在接收端再还原为数字数据。
- 使用**载波** (carrier) 进行**调制**，把基带信号频率范围搬移到较高的频段，并**转换为模拟信号**，这样就能够更好地在模拟信道中传输（即仅在一段频率范围内能够通过信道），经过载波调制后的信号被称为**带通信号**。

载波是一种由振荡器产生并在通信信道上传输的特定频率的无线电波，在频率、幅度或相位方面被调制后用于传输话音、图像或其他信息。载波频率通常高于输入信号的频率，属于高频信号。

数字数据的模拟传输



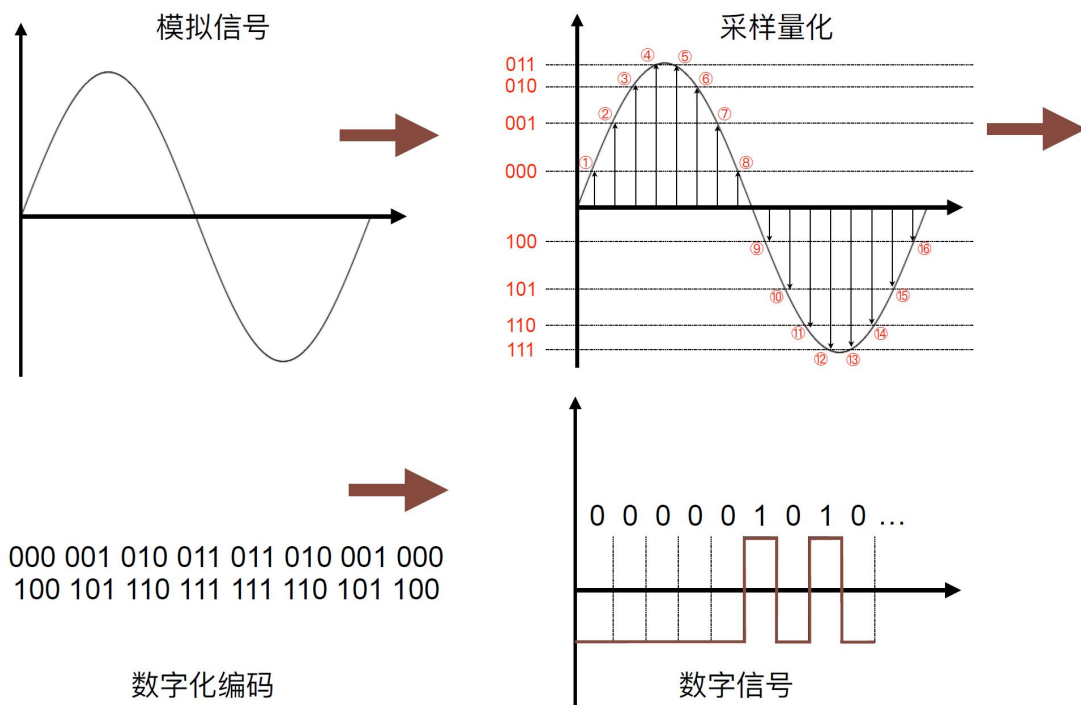
最基本的二元制调制方式

调制的载波：正弦波

- **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。

模拟数据的数字传输

- 模拟信号数字化的基本过程是，对模拟信号在时间域和幅度域上都进行离散化处理，然后再把离散化的幅度值变换为数字信号代码。
- 实现模拟信号数字化的一种常用方式是脉冲编码调制（PCM，Pulse Code Modulation）。



- **采样**是将时间上连续变化的模拟信号变换为时间上离散的信号的过程。
- **量化**是将信号在幅度域上的连续取值变换为幅度域上的离散取值的过程。
- **编码**是指按照一定的规律把量化后的值用二进制数字表示，然后转换成二值或多值的数字信息流。