

## 2计算机网络第二章物理层

### • 2.2奈式准则与香农定理

#### • 影响失真程度的因素

- 码元传输速率
- 信号传输距离
- 噪声干扰
- 传输媒体质量

#### • 码间串扰：加手段收到的信号波形失去了码元之间清晰界限的现象

#### • 奈式准则：

- 在理想的低通（无噪声、带宽受限）条件下，为了避免码间串扰，
- 极限码元传输速率是  $2W$  Baud， $W$ 是信道带宽，单位是Hz；
- 极限数据传输率： $2W\log_2 V$ (b/s)
- 在任何信道中，码元传输的速率是有上限的，传输速率超过此上限，就会出现严重的码间串扰的问题，使接收端对码元的识别成为不可能
- 信道的频道带宽越多，（即能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。
- 奈式准则给出了码元传输速率的限制，但没有对信息传输给出限制
- 由于码元的传输速率受奈式准则的制约，所以要提高数据传输速率，就必须设法使每个码元能够携带更多个比特的信息量，这就需要采取多元制的调制方法
- 

例. 在无噪声的情况下，若某通信链路的带宽为3kHz，采用4个相位，每个相位具有4种振幅的QAM调制技术，则该通信链路的最大数据传输率是多少？

信号有  $4 \times 4 = 16$  种变化

最大数据传输率  $= 2 \times 3k \times 4 = 24kb/s$

#### • 香农定理：

##### • 噪声：

- 噪声存在于所有的电子设备和通信信道中。由于噪声随机产生，他的瞬间值有时会很大，因此噪声会使接收端对马原的判决产生错误。
- 但是噪声的影响是相对的，若信号较强，那么噪声影响相对较小；
- 因此，信噪比就很重要

##### • 信噪比

- 信噪比=信号的平均功率/噪声的平均功率，常记为S/N，单位dB 分贝
- 信噪比(dB)  $= 10\log_{10}(S/N)$

- 香农定理：在带宽受限且有噪声的信道中，为了不产生误差，信息的传输速率有上限

- 信道的极限信息传输速率  $C = W \log_2(1 + S/N)$

$$\text{信道的极限数据传输速率} = W \log_2(1 + S/N) \quad (\text{b/s})$$

带宽(Hz)

信噪比

S是信道所传信号的平均功率  
N是信道内的高斯噪声功率

- 香农公式表明：

- 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
- 对一定的传输带宽和一定的信噪比，信息传输速率的上限就确定了
- 只要信息的传输速率低于信道的极限传输速率。就一定能找到某种方法来实现无差错的传输

“Nice” 和 “香浓”

#### 奈氏准则 内忧

带宽受限无噪声条件下，为了避免码间串扰，码元传输速率的上限  $2W$  Baud。

理想低通信道下的极限数据传输率  $= 2W \log_2 V$

要想提高数据率，就要提高带宽/采用更好的编码技术。

#### 香农定理 外患

带宽受限有噪声条件下的信息传输速率。

信道的极限数据传输率  $= W \log_2(1 + S/N)$

要想提高数据率，就要提高带宽/信噪比。

题目：二进制信号在信噪比为127：1的4kHz信道上传输，最大的数据速率可达到多少？

Nice：  $2 \times 4000 \times \log_2 2 = 8000 \text{ b/s}$

香浓：  $4000 \times \log_2(1 + 127) = 28000 \text{ b/s}$



## 2.3 编码与调制

- 信道：

- 一般用来表示某一个方向传送信息的媒体，因此一条通信电路往往包含一条发送信道和一条接收信道

- 分类

- 按传输的信号分

- 模拟信道：传送模拟信号
- 数字信道：传送数字信号

- 按传输介质分

- 无线信道
- 有线信道

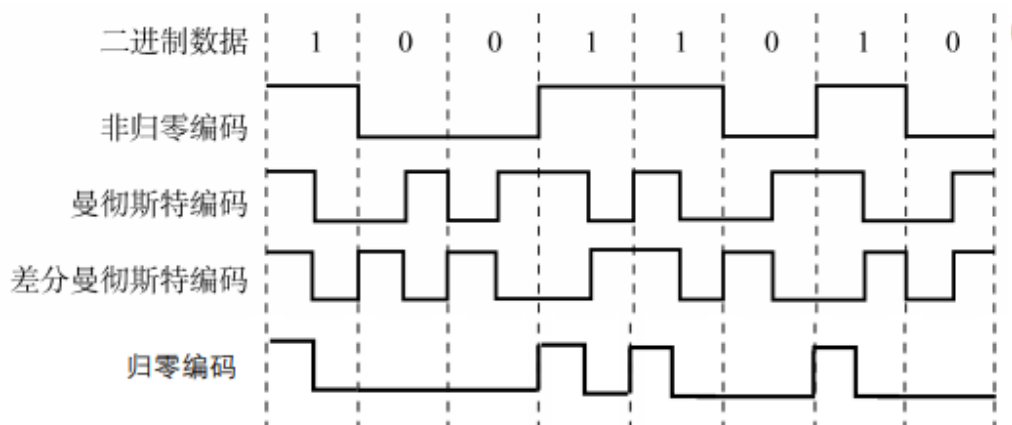
- 信道上传送的信号：

- 基带信号：

- 将数字0, 1用两种不同的电压表示, 再送到数字信道上去传输 (基带传输)。
- 宽带信号:
  - 把基带信号进行调制后形成的频分复用模拟信号, 再传送到模拟信道上去传输 (宽带传输)
- 传输距离较近: 使用基带传输方式 (近距离衰减小, 从而信号内容不易发生变化)
- 传输距离较远: 使用宽带传输方式 (远距离衰减大, 即使信号变化大也能最后过滤出来基带信号)
- 编码与调制:
  - 数字信号
    - 也叫离散信号, 取值是离散的
    - 代表不同离散数值的基本波形就称为码元, 一小横杠
  - 模拟信号
    - 也叫连续信号



- 常用编码方式: 数字数据->数字信号

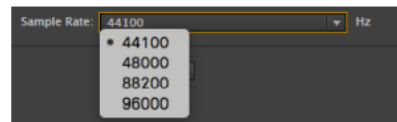
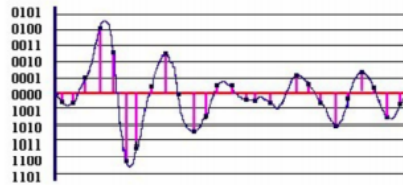


## 模拟数据编码为数字信号

计算机内部处理的是二进制数据，处理的都是**数字音频**，所以需要将模拟音频通过采样、量化转换成有限个数字表示的离散序列（即实现**音频数字化**）。

最典型的例子就是对音频信号进行编码的脉码调制（PCM），在计算机应用中，能够达到**最高保真水平**的就是PCM编码，被广泛用于素材保存及音乐欣赏，CD、DVD以及我们常见的WAV文件中均有应用。它主要包括三步：抽样、量化、编码。

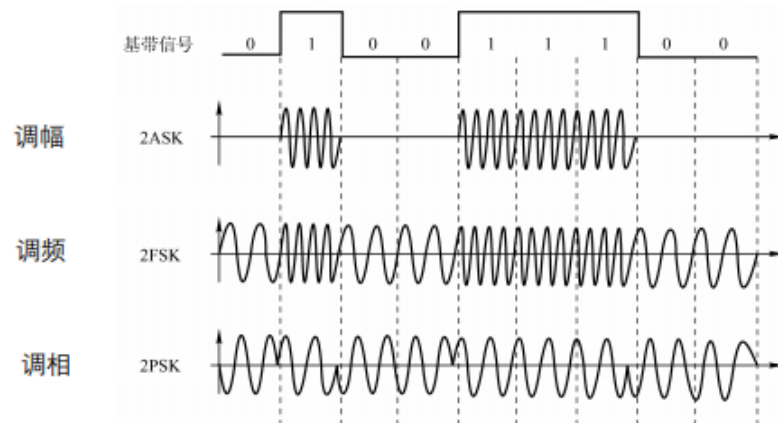
- 1. 抽样**：对模拟信号周期性扫描，把时间上连续的信号变成时间上离散的信号。  
为了使所得的离散信号能无失真地代表被抽样的模拟数据，要使用采样定理进行采样： $f_{\text{采样频率}} \geq 2f_{\text{信号最高频率}}$
- 2. 量化**：把抽样取得的电平幅值按照一定的分级标度转化为对应的数字值，并取整数，这就把连续的电平幅值转换为离散的数字量。
- 3. 编码**：把量化的结果转换为与之对应的二进制编码。



王道考研/CSKAQYAN.COM

- 不归零：正电平代表1，负电平代表0；没有自同步能力-不能从信号波形本身中提取信号时钟的频率
- 归零：正脉冲代表1，负脉冲代表0
- 曼彻斯特：位周期中心向上跳变代表0，位周期向下跳变代表为1，也可以反过来定义；每一个码元都被调成两个电平，所以数据传输速率只有调制速率的1/2
- 差分曼彻斯特：在每一位的中心处始终都有跳变，为开始边界跳变代表0，位开始边界没有跳变代表1；
- 调制：数字数据->模拟信号
  - 数字数据调制技术在发送端将数字信号转换为模拟信号。而在接收端将模拟信号还原为数字信号；分别对应调制解调器的调制和解调过程

0 1 0 0 1 1 1 0 0



调幅+调相 (QAM)

某通信链路的波特率是1200Baud，采用4个相位，每个相位有4种振幅的QAM调制技术，则该链路的信息传输速率是多少？

## 2.4 电路交换、报文交换、分组交换

### • 电路交换

- 整个报文的比特流连续的从源点直达终点，好像再一个管道中传送

- 必须经过 建立连接（占用通信资源）--> 通话（一直占用通信资源）--> 释放连接（归还通信资源）这三个步骤的交换方式称为电路交换
- 面向连接 两两连接  $n(n-1)/2$  后来用交换机
- 从通信资源分配来讲，交换就是按照某种方式动态地分配传输线路的资源。
- 其重要特点是，在通话的全部时间内，通话的两个用户始终占用端到端的通信资源。
- 线路的传输效率往往很低。
- 

电路交换的优缺点

电路交换优点	电路交换缺点
传输时延小	建立连接时间长
数据顺序传送，无失序问题	线路独占，即使通信线路空闲，也不能供其他用户使用，信道使用效率低。
实时性强，双方一旦建立物理通路，便可以实时通信，适用于交互式会话类通信。	灵活性差，双方连接通路中的任何一点出了故障，必须重新拨号建立新连接，不适应突发性通信。
全双工通信，没有冲突，通信双方有不同的信道，不会争用物理信道	无数据存储能力，难以平滑通信量。
适用于模拟信号和数字信号	电路交换时，数据直达，不同类型、不同规格、不同速率的终端很难相互进行通信
控制简单，电路的交换设备及控制较简单	无法发现与纠正传输差错，难以在通信过程中进行差错控制。

### ● 报文交换

- 整个报文先传送到相邻节点，全部存储下来后查找转发表，转发到下一个结点。
- 原理：无需再两个站点之间建立一条专用通路，其数据传输的单位是报文，传送过程采用存储转发方式

报文交换的优缺点

报文交换优点	报文交换缺点
无需建立连接，无建立连接时延，用户可随时发送报文。	实时性差，不适合传送实时或交互式业务的数据。数据进入交换结点后要经历存储转发过程，从而引起转发时延。
动态分配线路，动态选择报文通过的最佳路径，可以平滑通信量。	只适用于数字信号。
提高线路可靠性，某条传输路径发生故障，可重新选择另一条路径传输。	由于报文长度没有限制，而每个中间结点都要完整地接收传来的整个报文，当输出线路不空闲时，还可能要存储几个完整报文等待转发，要求网络中每个结点有较大的缓冲区。为了降低成本，减少结点的缓冲存储器的容量，有时要把等待转发的报文存在磁盘上，进一步增加了传送时延。
提高线路利用率，通信双方在不同的时间一段一段地部分占有这条物理通道，多个报文可共享信道。	
提供多目标服务：一个报文可同时发往多个目的地址。	
在存储转发中容易实现代码转换和速率匹配，甚至收发双方可以不同时处于可用状态。这样就便于类型、规格和速度不同的计算机之间进行通信。	

### ● 分组交换

- 存储转发
- 单个分组传送到相邻结点，存储下来后查找转发表，转发到下一个结点

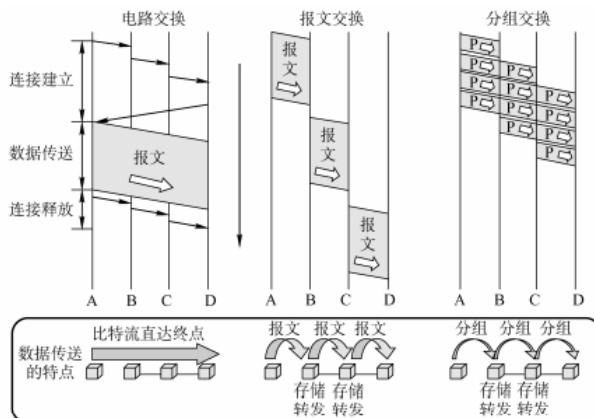
## 分组交换的优缺点

分组交换优点	分组交换缺点
无建立时延，无需为通信双方预先建立一条专用通信线路，用户可随时发送分组。	尽管分组交换比报文交换的传输时延少，但仍存在存储转发时延，而且其结点交换机必须具有更强的处理能力。
线路利用率高，通信双方在不同的时间一段一段地部分占有这条物理通道，多个分组可共享信道。	每个分组都要加控制信息，一定程度上降低了通信效率，增加了处理的时间。
简化了存储管理。因为分组的长度固定，相应的缓冲区的大小也固定，在交换结点中存储器的管理通常被简化为对缓冲区的管理，相对比较容易。	当分组交换采用数据报服务时，可能出现失序、丢失或重复分组，分组到达目的结点时，要对分组按编号进行排序等工作，增加了麻烦。若采用虚电路服务，虽无失序问题，但有呼叫建立、数据传输和虚电路释放三个过程。
加速传输，后一个分组的存储可以和前一个分组的转发并行操作；传输一个分组比一份报文所需缓冲区小，减少等待发送时间。	
减少出错几率和重发数据量，提高可靠性，减少传输时延。	
分组短小，适用于计算机之间突发式数据通信。	

王道考研/CSKAQYAN.COM

- 分为两类：
  - 数据报方式
  - 虚电路方式
- 若要连续的传送大量数据，且重传时事件远大于连接建立事件，则电路交换的传输速率较快。
- 报文交换和分组交换不需要预先分配传输带宽，在传送突发数据时可提高整个网络的信道利用率，由于一个分组的长度往往远远小于整个报文的长度，因此分组交换比报文交换的时延小，同时也具有良好的灵活性。

## 数据交换方式的选择



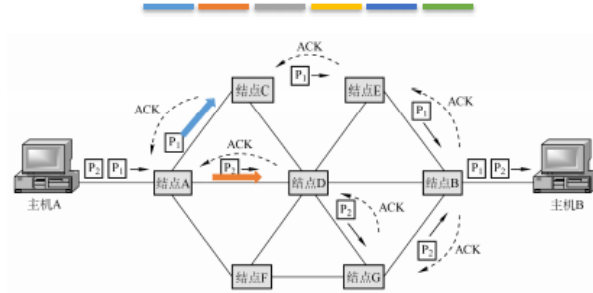
1. 传送数据量大，且传送时间远大于呼叫时，选择**电路交换**。电路交换传输时延最小。
2. 当端到端的通路有很多段的链路组成时，采用**分组交换**传送数据较为合适。
3. 从信道利用率上看，**报文交换**和**分组交换**优于电路交换，其中**分组交换**比报文交换的时延小，尤其适合于计算机之间的突发式的数据通信。

## 2.5 数据报与虚电路

- 分组交换
  - 虚电路
  - 数据报
- 数据报：



## 数据报方式



- 1.源主机（A）将报文分成多个分组，依次发送到直接相连的结点（A）。
- 2.结点A收到分组后，对每个分组差错检测和路由选择，不同分组的下一跳结点可能不同。
- 3.结点C收到分组P1后，对分组P1进行差错检测，若正确则向A发送确认信息，A收到C确认后则丢弃分组P1副本。
- 4.所有分组到家辽（主机B）！

## 数据报方式的特点

- 1.数据报方式为网络层提供**无连接服务**。发送方可随时发送分组，网络中的结点可随时接收分组。
- 2.同一报文的不同分组达到目的结点时可能发生乱序、重复与丢失。



无连接服务：不事先为分组的传输确定传输路径，每个分组独立确定传输路径，不同分组传输路径可能不同。

- 3.每个分组在传输过程中都必须携带源地址和目的地址，以及分组号。
- 4.分组在交换结点存储转发时，需要排队等候处理，这会带来一定的时延。当通过交换结点的通信量较大或网络发生拥塞时，这种时延会大大增加，交换结点还可根据情况丢弃部分分组。
- 5.网络具有冗余路径，当某一交换结点或一段链路出现故障时，可相应地更新转发表，寻找另一条路径转发分组，对故障的适应能力强，适用于突发性通信，不适于长报文、会话式通信。

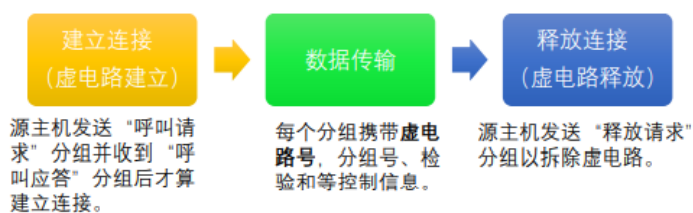
## 虚电路：

## 虚电路方式

虚电路将数据报方式和电路交换方式结合，以发挥两者优点。



虚电路：一条源主机到目的主机类似于电路的**逻辑连接**，路径上所有结点都要维持这条虚电路的建立，都维持一张虚电路表，每一项记录了一个打开的虚电路的信息。



## 虚电路方式的特点

1. 虚电路方式为网络层提供**连接服务**。源节点与目的结点之间建立一条逻辑连接，而非实际物理连接。

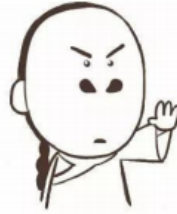
2. 一次通信的所有分组都通过虚电路顺序传送，分组不需携带源地址、目的地址等信息，包含**虚电路号**，相对数据报方式开销小，同一报文的不同分组到达目的结点时不会乱序、重复或丢失。

连接服务：首先为分组的传输确定传输路径（建立连接），然后沿该路径（连接）传输一系列分组，系列分组传输路径相同，传输结束后拆除连接。



3. 分组通过虚电路上的每个节点时

4. 每个节点可能与多个节点之间建两个数据端点的流量进行控制，两



由选择。

与两个端系统之间的数据传输，可以对不同的进程服务。

5. 致命弱点：当网络中的某个结点或某条链路出现故障而彻底失效时，则所有经过该结点或该链路的虚电路将遭到破坏

## 数据报&虚电路

	数据报服务	虚电路服务
连接的建立	不要	必须有
目的地址	每个分组都有完整的目的地址	仅在建立连接阶段使用，之后每个分组使用长度较短的虚电路号
路由选择	每个分组独立地进行路由选择和转发	属于同一条虚电路的分组按照同一路由转发
分组顺序	不保证分组的有序到达	保证分组的有序到达
可靠性	不保证可靠通信，可靠性由用户主机来保证	可靠性由网络保证
对网络故障的适应性	出故障的结点丢失分组，其他分组路径选择发生变化，可正常传输	所有经过故障结点的虚电路均不能正常工作
差错处理和流量控制	由用户主机进行流量控制，不保证数据报的可靠性	可由分组交换网负责，也可由用户主机负责

•

## 2.6 传输介质

• 也称传输媒体/传输媒介，是数据传输系统在发送设备和接收设备之间的物理通路。

• 传输媒体不是物理层，在物理层下面

• 分为两类：

• 导向型传输介质：

• 电磁波被引导沿着固体媒介（铜线/光纤）传播

• 双绞线：

• 古老 常用

• 两根相互绝缘的铜导线并排放到一起，然后使用规则的方法绞合到一起；绞合可减少相邻导线的电磁干扰

• 对于模拟传输：距离太长要用放大器将衰减的信号放大到合适的数值

• 对于数字传输：要用中继器对是真的数字信号进行整形

• 为进一步提高抗电磁干扰能力，可以在双绞线的外面再加上一个由金属丝编织成的屏蔽层，这就是屏蔽双绞线



- 同轴电缆
  - 由导体铜质芯线，绝缘层、网状编织的外导体屏蔽层以及保护塑料外层所组成。
  - 由于外导体屏蔽层的作用，同轴电缆具有良好的抗干扰性，被广泛用于传输速率较高的数据

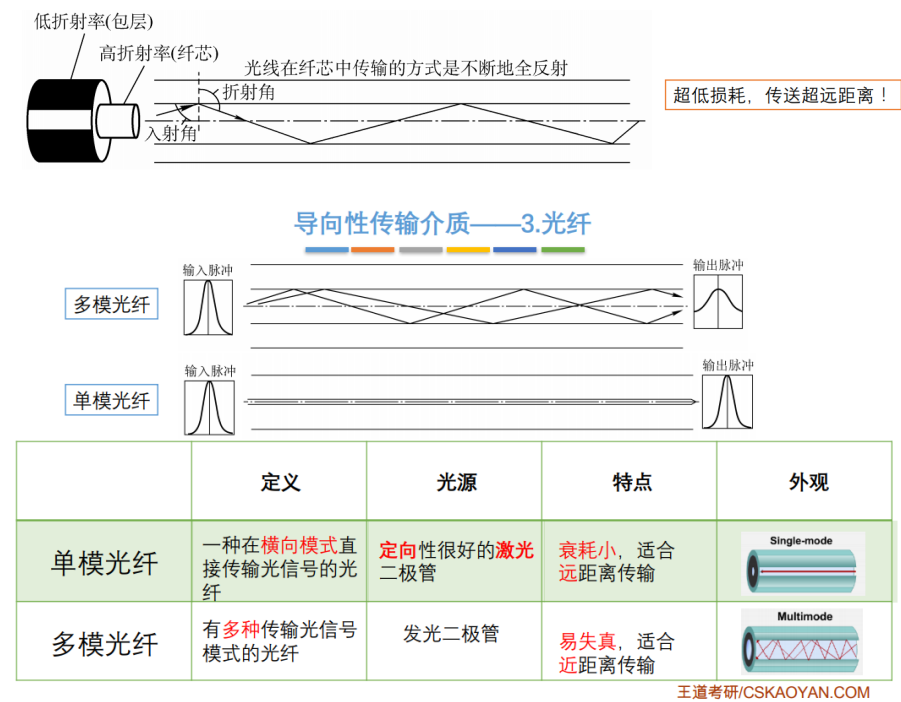
- 光纤

- 特点

光纤通信就是利用光导纤维（简称光纤）传递**光脉冲**来进行通信。有光脉冲表示1，无光脉冲表示0。而可见光的频率大约是 $10^{14}$ MHz，因此光纤通信系统的**带宽远远大于**目前其他各种传输媒体的带宽。

光纤在发送端有光源，可以采用发光二极管或半导体激光器，它们在电脉冲作用下能产生出光脉冲；在接收端用光电二极管做成光检测器，在检测到光脉冲时可还原出电脉冲。

光纤主要由**纤芯(实心的！)**和**包层**构成，光波通过纤芯进行传导，包层较纤芯有较低的折射率。当光线从高折射率的介质射向低折射率的介质时，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**，即光线碰到包层时候就会折射回纤芯、这个过程不断重复，光也就沿着光纤传输下去。



- 1传输损耗小，中继距离长，对远距离传输特别经济
    - 2抗雷电和电磁干扰性能好
    - 无串音干扰，保密性好，也不易被窃听或截取数据
    - 体积小，重量轻
- 非导向型传输介质：
  - 自由空间、介质可以是空气，真空，海水
  - 无线电波、微波、红外通信、激光通信



## 2.7 物理层接口的特性

- 物理层解决如何在连接各种计算机的传输媒体上传输数据比特率，而不是指具体的传输媒体
- 物理层的主要任务，确定与传输媒体接口相关的一些特性，即定义标准
- 机械特性：
  - 规定物理连接时所采用的规格、接口形状、引线数目、引脚数量和排列情况
- 电气特性：
  - 线路上信号的电压范围、抗阻匹配、传输速率和距离限制等
- 功能特性：
  - 指明某条线上穿线的某一电平表示何种意义
- 过程特性
  - 指明对于不同功能的各种可能事件的出现顺序

## 2.8 中继器 再生数字信号

- 功能：对信号进行再生和还原，对衰减的信号进行放大，保持与原数据相同，以增加信号传输的距离，延长网络的长度

**诞生原因：**由于存在损耗，在线路上传输的信号功率会逐渐衰减，衰减到一定程度时将造成信号失真，因此会导致接收错误。

**中继器的功能：**对信号进行**再生和还原**，对衰减的信号进行放大，保持与原数据相同，以增加信号传输的距离，延长网络的长度。



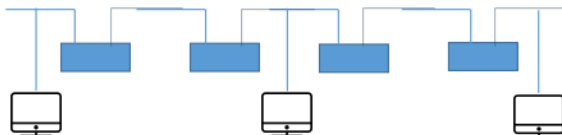
## 再生数字信号

**中继器的两端：**两端的网络部分是网段，而不是子网，适用于完全相同的**两类**网络的互连，且两个网段速率要相同。中继器只将任何电缆段上的数据发送到另一段电缆上，它仅作用于信号的电气部分，并不管数据中是否有错误数据或不适于网段的数据。

两端可连相同媒体，也可连不同媒体。

中继器两端的网段一定要是同一个协议。（中继器不会存储转发，傻）

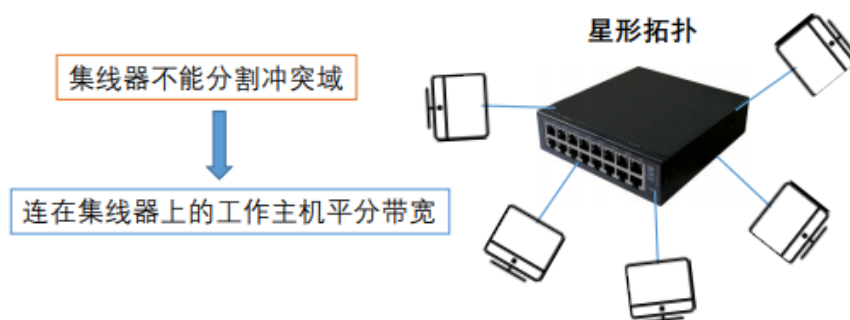
**5-4-3规则：**网络标准中都对信号的延迟范围作了具体的规定，因而中继器只能在规定的范围内进行，否则会网络故障。



王道考研/CSKAOYAN.COM

## 2.9集线器 再生放大信号

- 功能：对信号进行再生放大转发，对衰减的信号进行放大，接着转发到其他所有处于工作状态的端口上，以增加信号传输的距离，延长网络的长度。不具备信号的定向传送能力，是一个共享式设备



以上内容整理于 [幕布文档](#)