



---

# 计算机通信与网络

Computer Communications & Networks

---

## 第2章 数据通信技术基础

南京邮电大学通信与信息工程学院

张喆

[zhezhang@njupt.edu.cn](mailto:zhezhang@njupt.edu.cn)

“计算机通信与网络” 国家精品课程组

# 大纲要求

## Requirements



**01** 掌握数据通信的基本概念；  
掌握通信速率、时延等性能指标的  
计算

**02** 了解各种数据传输方式

**03** 理解模拟传输和数字传输技术  
及信道复用技术

**04** 理解各种数据交换方式的工作  
原理

# 大纲要求

## Requirements



**05** 理解差错控制的基本原理和方法

**06** 理解和掌握通信接口的各种特性

**07** 了解常用的物理层标准，以及常见的接口标准之间的区别和相互联系

# 内容纲要

Contents Page



- 01** 数据通信的基本概念
- 02** 数据传输方式
- 03** 数据传送技术
- 04** 多路复用技术
- 05** 数据交换技术
- 06** 数据通信接口特性

# 过渡页

Transition Page



**01** 数据通信的基本概念

**02** 数据传输方式

**03** 数据传送技术

**04** 多路复用技术

**05** 数据交换技术

**06** 数据通信接口特性



信息、数据和信号



数据通信系统



传输媒体



数据通信系统的性能指标



# 基本概念



**数据(data)**——通常是指预先约定的具有某种含义的数字、符号和字母的组合。

**信号(signal)**——数据在传输过程中的电磁波的表示形式。

**“模拟的”(analogous)**——连续变化的。

**“数字的”(digital)**——取值是离散的。

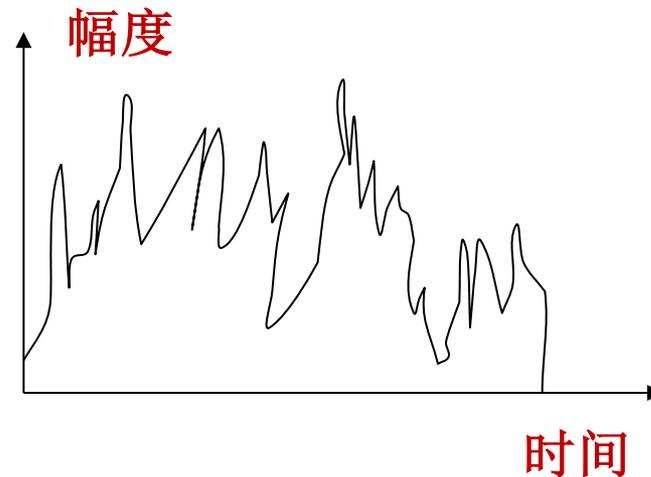
# 模拟传输



**模拟信号：**时间和幅度取值连续变化的信号量。

**模拟信道：**适于模拟信号传输的信道

**模拟传输系统：**传输模拟信号的通信系统



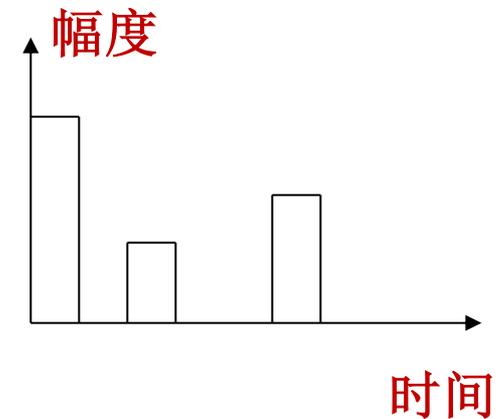
# 数字传输



**数字信号：**时间和幅度取值离散（不连续变化）的信号量。

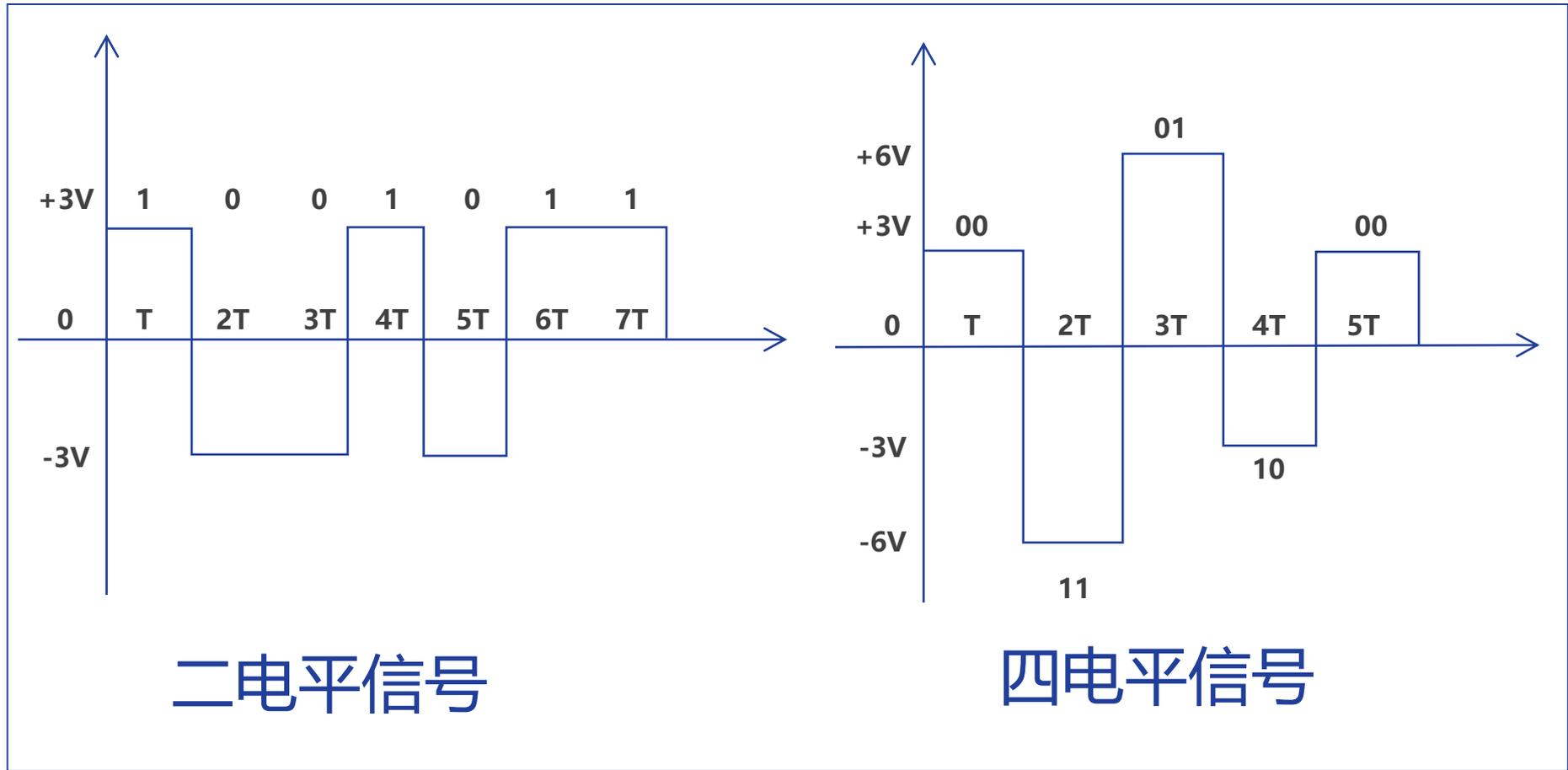
**数字信道：**适于数字信号传输的信道

**数字传输系统：**传输数字信号的通信系统



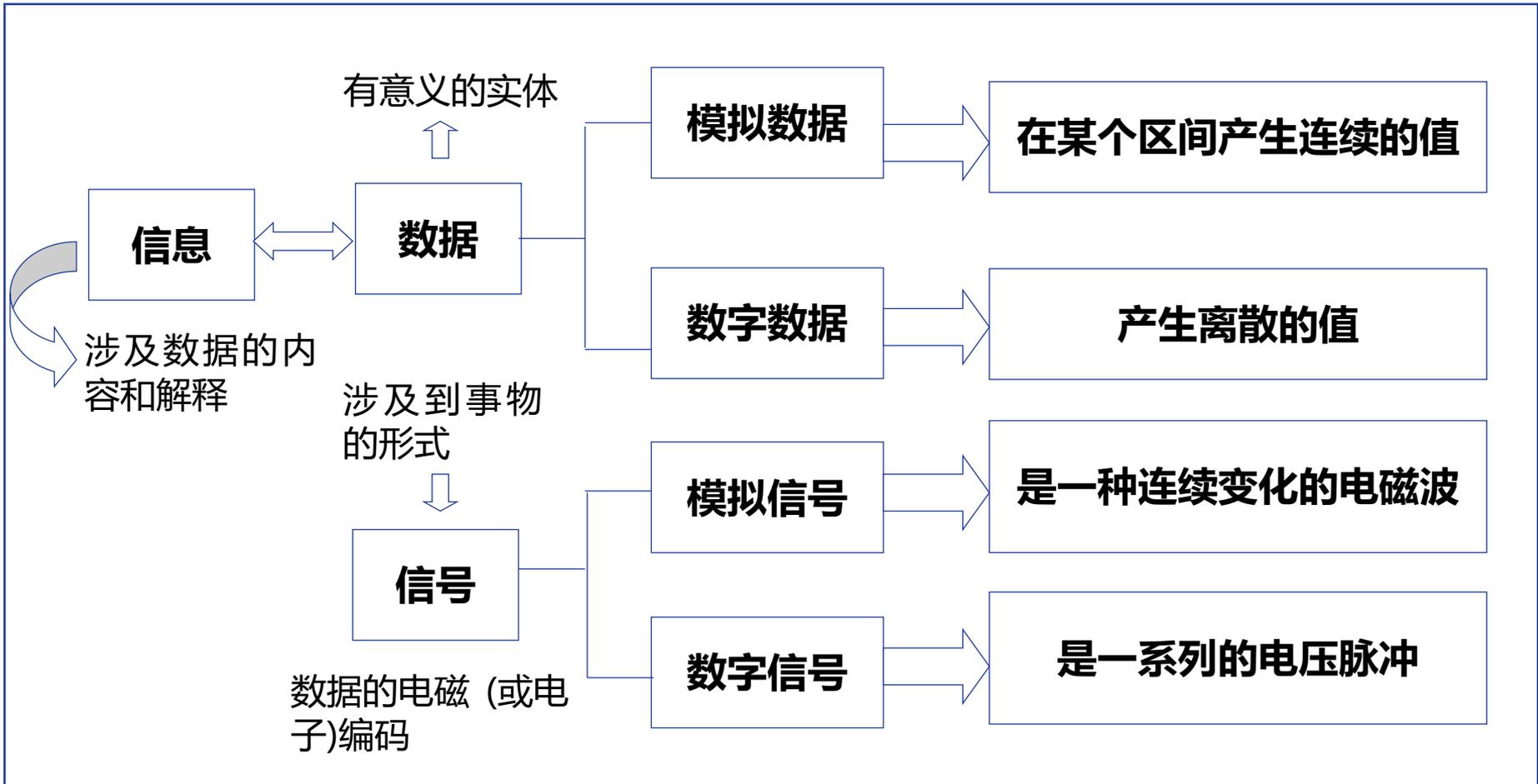


# 数据和信号



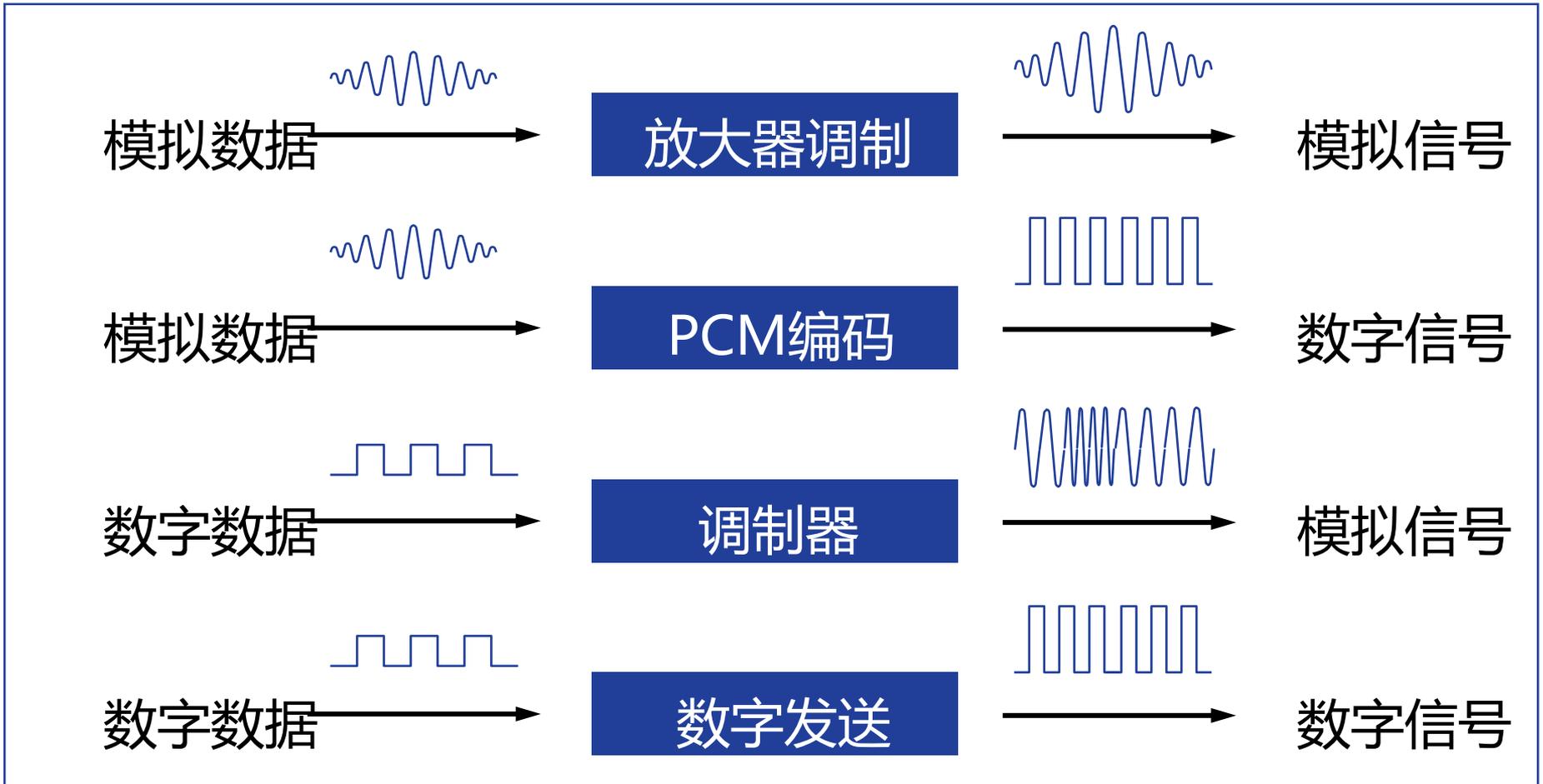


# 数据和信号





# 数据和信号





# 数据传输速率



**传码速率：**传码速率又称为调制速率、波特率，记作  $N_{Bd}$ ，是指在数据通信系统中，每秒钟传输信号码元的个数，单位是波特（Baud）。

**传信速率：**又称为比特率，记作  $R_b$ ，是指在数据通信系统中，每秒钟传输二进制码元的个数，单位是比特/秒（bit/s,或kbit/s或Mbit/s）。



# 数据传输速率



**[例2-1]**若信号码元持续时间为 $1 \times 10^{-4}$ 秒，试问传送8电平信号，则传码速率和传信速率各是多少？

解：由于 $T=1 \times 10^{-4}$ 秒，所以传码速率

$$N_{Bd} = 1/T = 10000 \text{ 波特}$$

由于传送的信号是8电平，所以， $M=8$ 。

则传信速率 $R_b = N_{Bd} \log_2 M = 30000 \text{ bit/s}$ 。



# 信道带宽



**信号带宽：**(bandwidth)是指信号具有的频带宽度，单位是赫兹（或千赫、兆赫、吉赫等）。

**模拟信道的带宽：**表示通信线路允许通过的信号频带范围就称为线路带宽(通频带)。

**数字信道的带宽：**“带宽”是所能传送的“最高数据率”同义语，单位是“比特每秒”。



# 信道带宽



常用的带宽单位是

千比每秒, 即 kb/s ( $10^3$  b/s)

兆比每秒, 即 Mb/s ( $10^6$  b/s)

吉比每秒, 即 Gb/s ( $10^9$  b/s)

太比每秒, 即 Tb/s ( $10^{12}$  b/s)

# 误码率



**误码率**：在一定时间内接收到出错的比特数 $e_1$ 与总的传输比特数 $e_2$ 之比。

$$P_e = (e_1/e_2) \times 100\%$$

由于实际的传输信道及通信设备存在随机差错与突发差错，而数据通信常采用数据块或帧为单位进行传输，使用**误组率或误帧率**则可以更好反映传输效率。

**误组率**：在一定时间内接收出错的组数 $b_1$ 与总的传输组数 $b_2$ 之比。

$$P_b = (b_1/b_2) \times 100\%$$



信息、数据和信号



数据通信系统



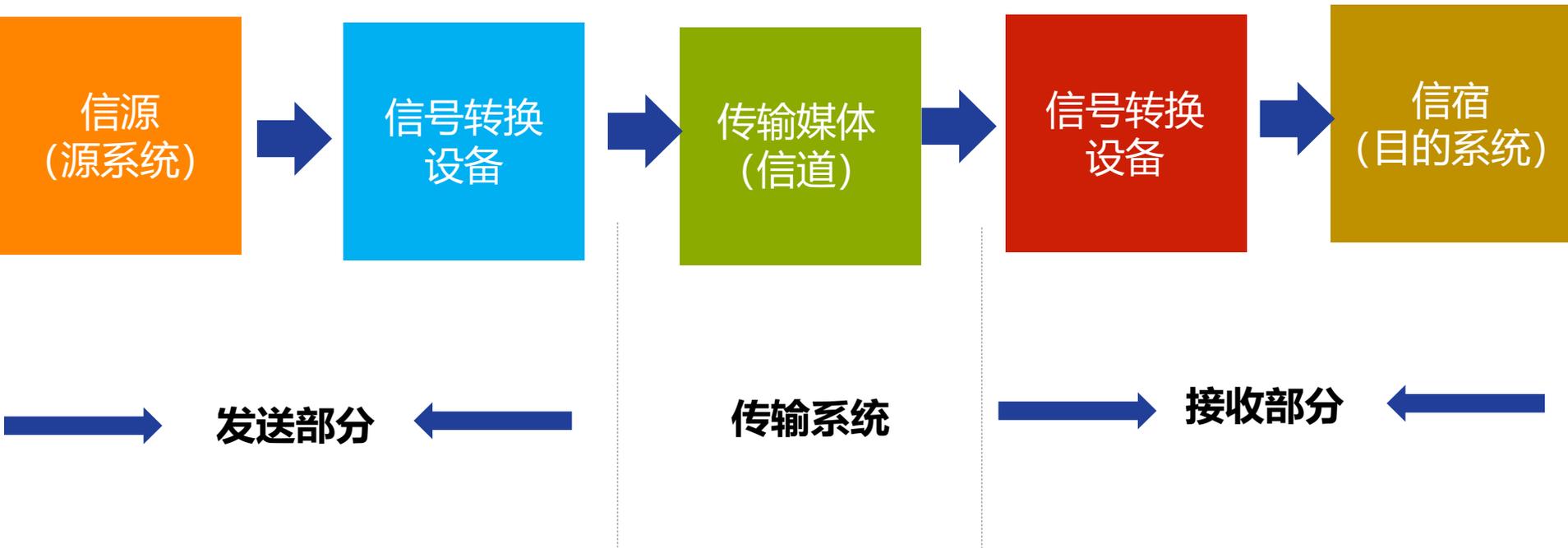
传输媒体



数据通信系统的性能指标



# 基本模型

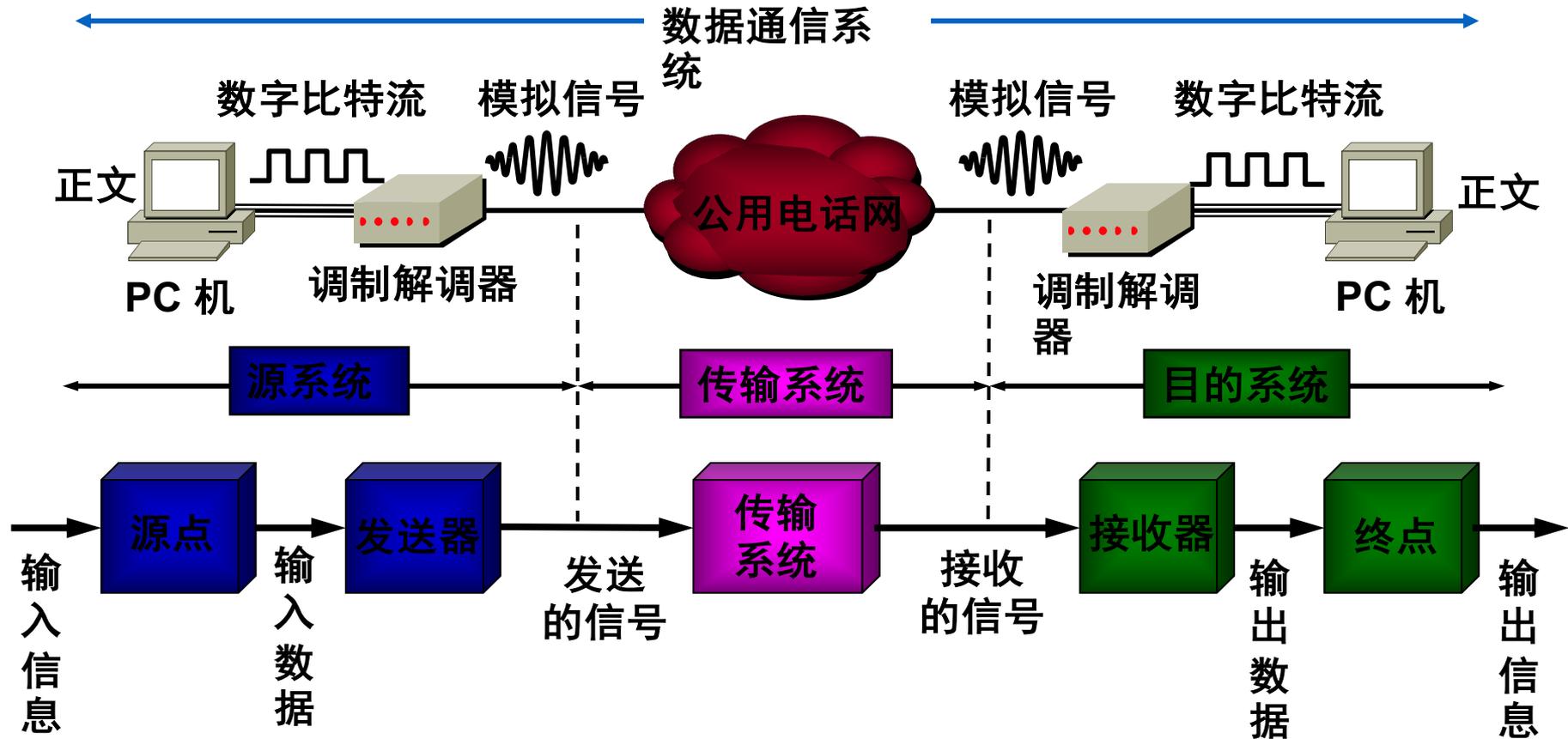




**信源和信宿：**信源就是信息的发送端，是发出待传送信息的设备；信宿就是信息的接收端，是接收所传送信息的设备。

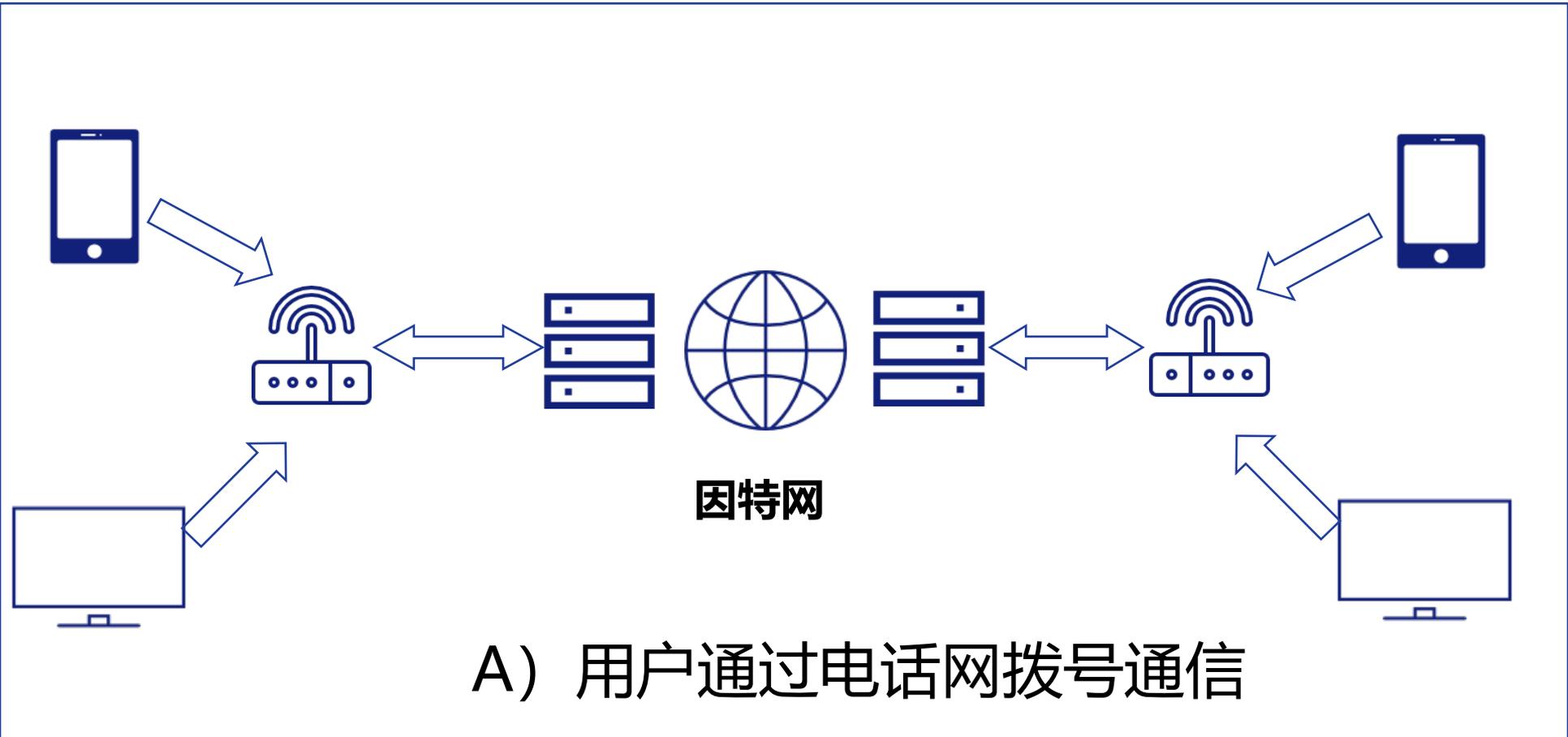
**信号转换设备：**是将信源发出的信息转换成适合于在信道上传输的信号的装置。

# 数据通信系统举例



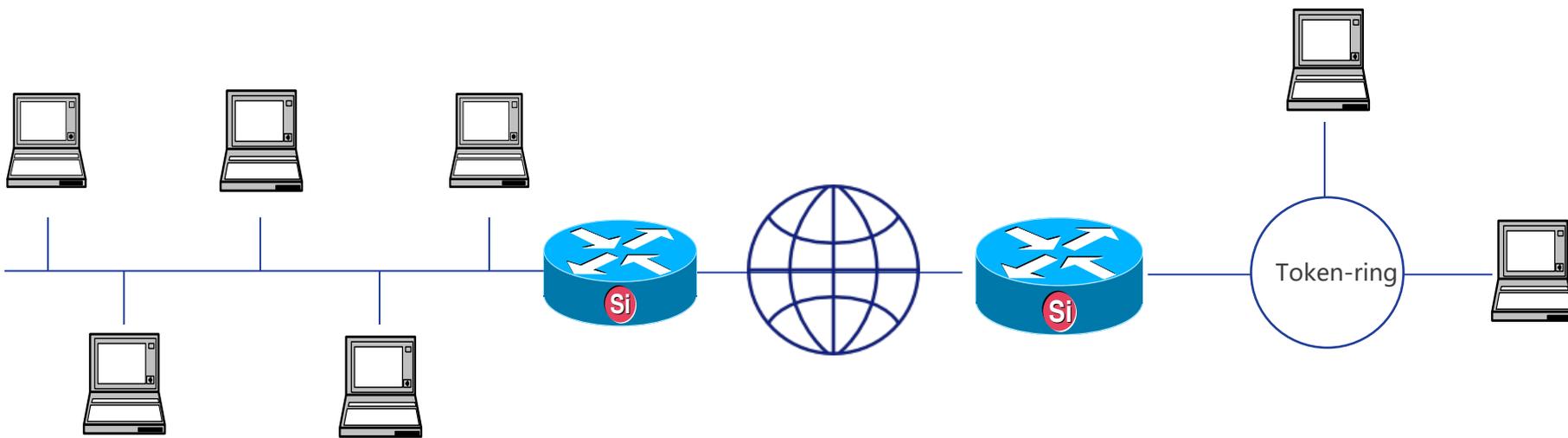


# 数据通信系统举例





# 数据通信系统举例



B) 局域网用户通过Internet上网通信



信息、数据和信号



数据通信系统

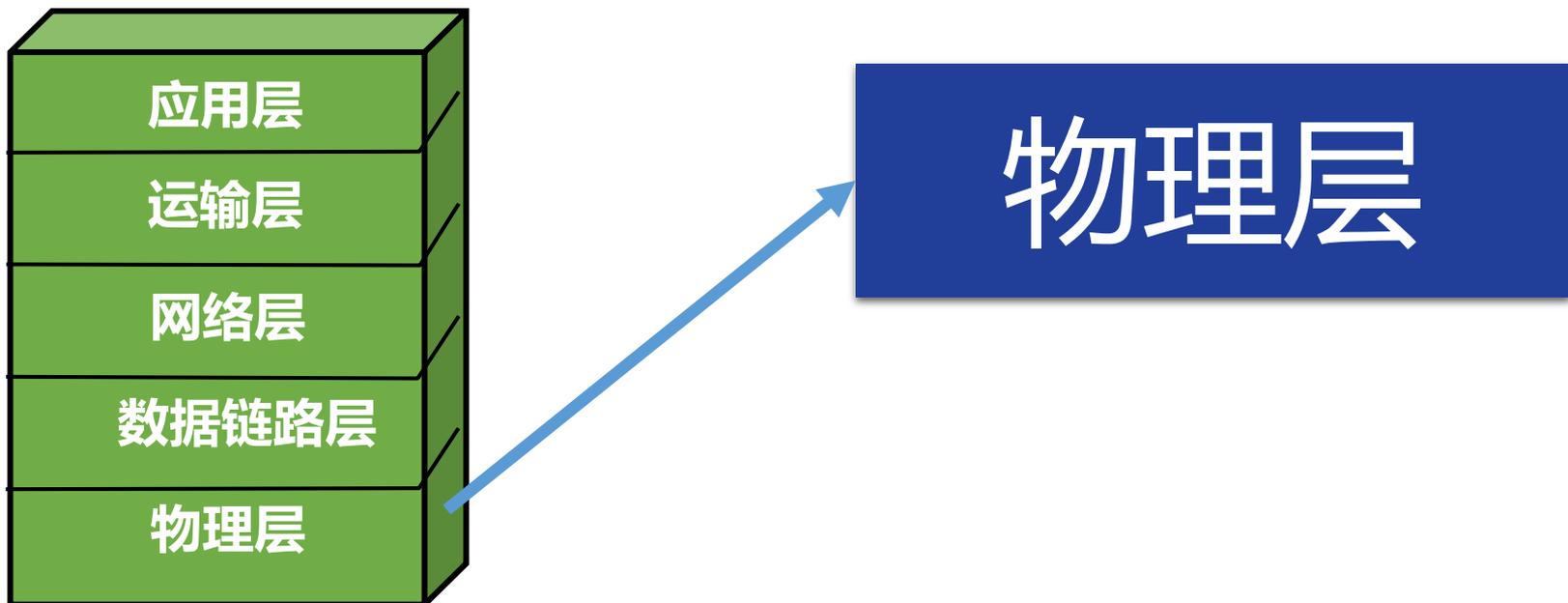


传输媒体



数据通信系统的性能指标

## 5层的体系结构





## 2.1.3 传输媒体

双绞线

同轴电缆

光缆

地面微波

卫星微波

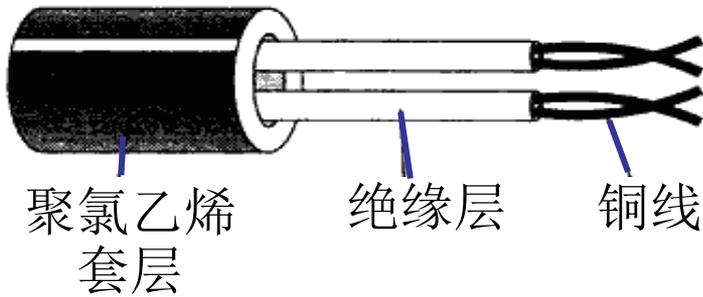
无线电波

红外线技术

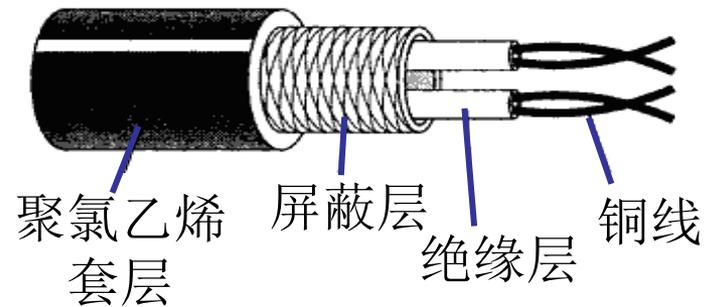
# 双绞线

## 2.1.3 传输媒体

### 无屏蔽双绞线 UTP



### 屏蔽双绞线 STP





# 双绞线

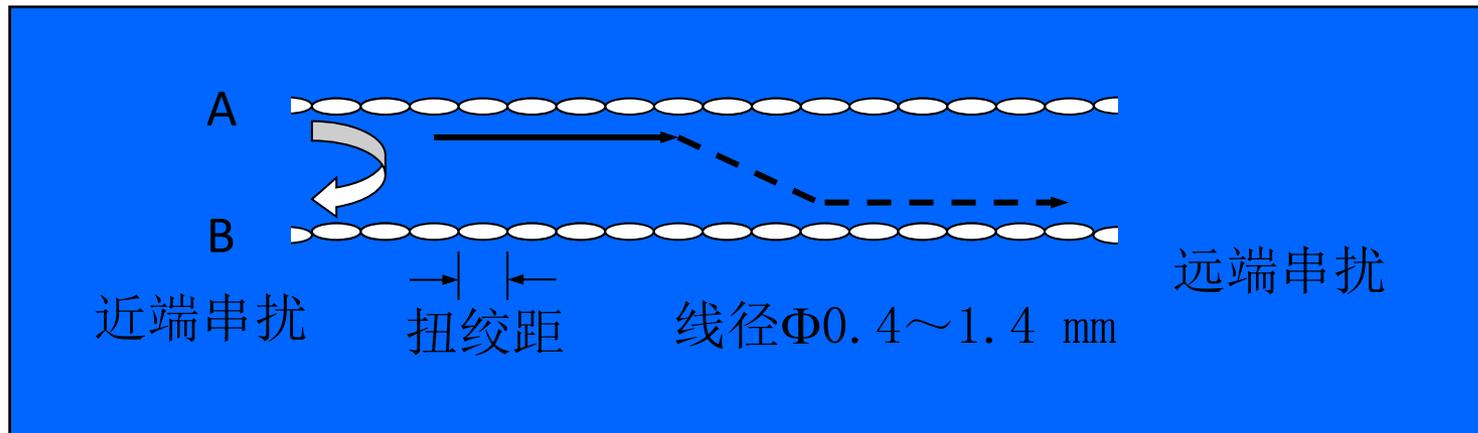
## 2.1.3 传输媒体

- 把两根互相绝缘的铜导线并排放置，再用规则的方法绞合起来。绞合的导线可以减少相邻线对的相互干扰。多对绞合导线构成了双绞线电缆。
- 双绞线可用于模拟传输和数字传输。
- 价格低，安装方便，但带宽窄，抗干扰性能较差。

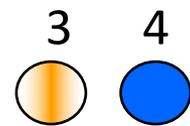
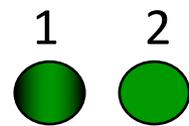


# 双绞线

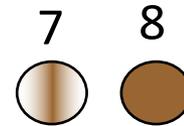
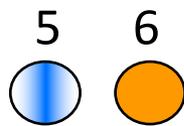
## 2.1.3 传输媒体



白绿 绿



白蓝 橙



白橙 蓝

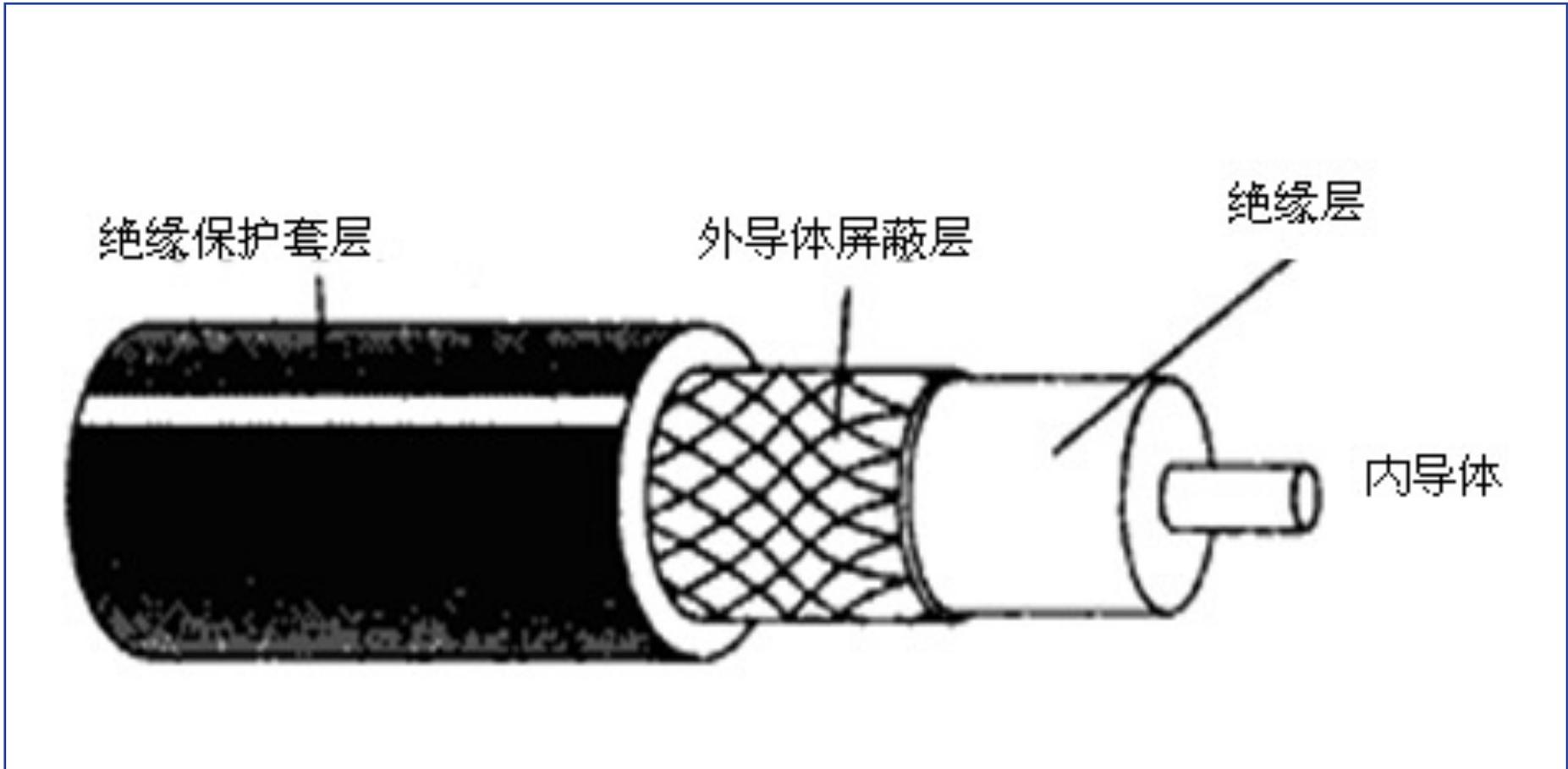
白棕 棕

### 局域网 EIA/TIA 568A UTP内4对8线的编号与线色



# 同轴电缆

## 2.1.3 传输媒体



# 同轴电缆

## 2.1.3 传输媒体

**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以及保护塑料外层组成。

由于外导体屏蔽层的作用，同轴电缆具有较好的抗干扰特性（特别是高频段），适合高速数据传输。

**通常按特性阻抗数值不同**，可分为两类：

**50  $\Omega$ 同轴电缆**：数据通信中传输基带信号

**75  $\Omega$ 同轴电缆**：模拟传输系统（CATV）



# 光缆

## 2.1.3 传输媒体

**光纤**通常由非常透明的石英玻璃拉成细丝，主要由纤芯和包层构成。纤芯很细，直径为8 - 100um，且折射率较高，包层相对折射率较低。**多根光纤构成光缆。**

**工作原理：**光波利用光的全反射原理通过纤芯传导。通过传递光脉冲进行通信。

光纤通信衰耗小，距离长，抗干扰能力强，传输容量大，保密性好。

# 光缆

## 2.1.3 传输媒体

远供电源

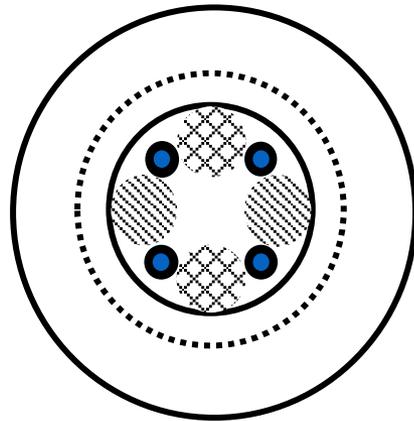
外护套

光纤及包层

包带层

包层

填充物



纤芯

(a) 光缆结构剖面图

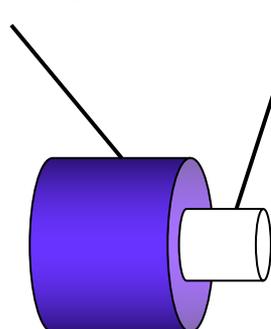
(b) 光波在纤芯中传播

# 光缆

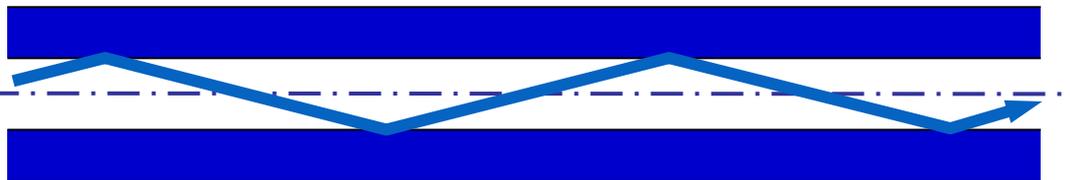
## 2.1.3 传输媒体

低折射率  
(包层)

高折射率  
(纤芯)



光线在纤芯中传输的方式是不断地全反射



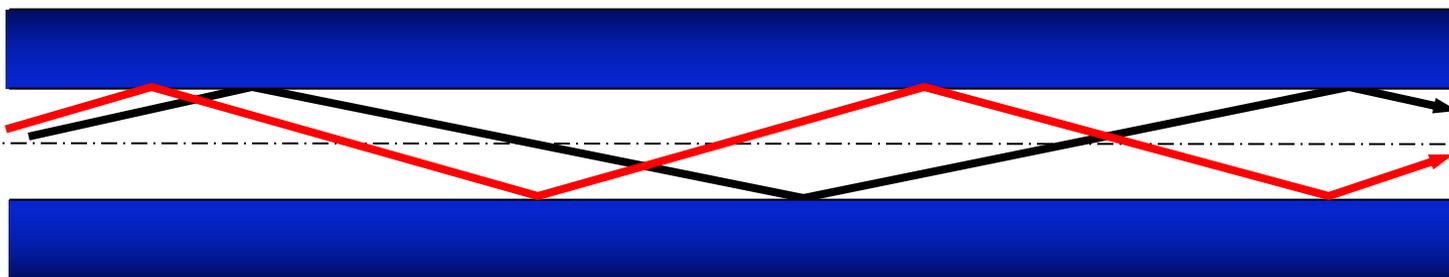
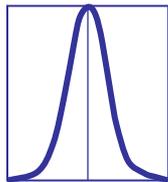


# 光缆

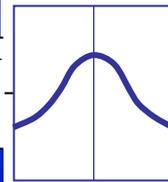
## 2.1.3 传输媒体

### 多模光纤

输入脉冲

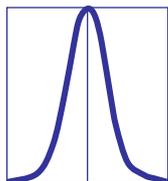


输出脉冲

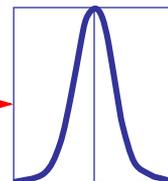


### 单模光纤

输入脉冲



输出脉冲





# 无线电波

## 2.1.3 传输媒体

**无线电波**是一个广义的概念，从含义上讲，无线电波是全向传播，而**微波**是定向传播。

无线电波不同频段用于不同通信方式

3 ~30 MHz, 用于短波通信;

30~300MHz, 用于数据通信;

此外，**蜂窝无线电移动通信系统**也得到了广泛的应用。



# 微波通信

## 2.1.3 传输媒体

### 微波通信 (2 - 40GHz, 直线传播)

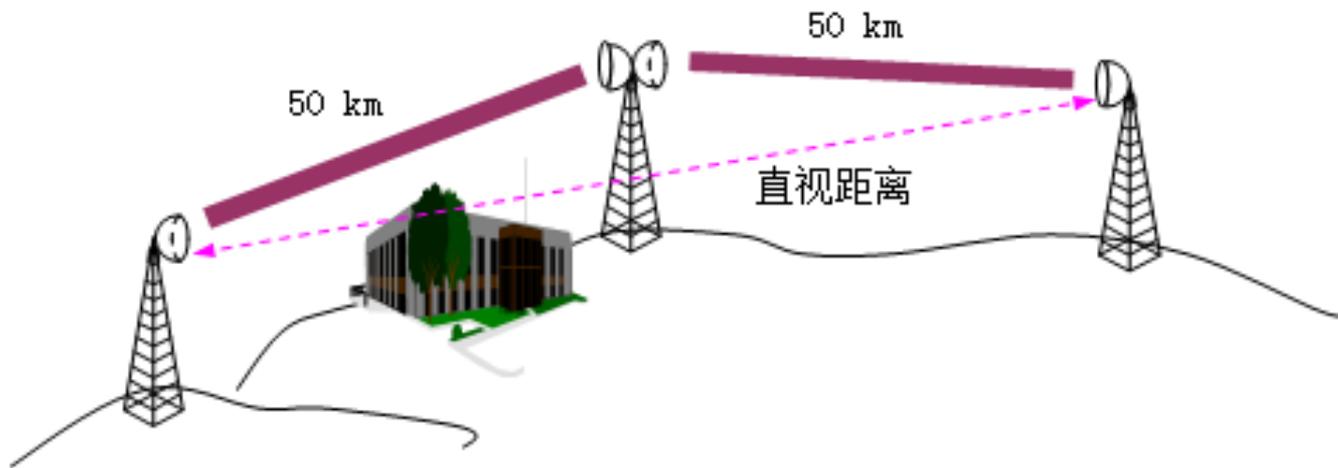
**地面接力微波：**在地面建立若干微波中继站，中继站将前一站信号接收，放大后转发到下一站，实现“接力”式传输。

**卫星通信：**将微波中继站放在卫星上实现。通信建立远，覆盖面积大。

# 地面微波

## 2.1.3 传输媒体

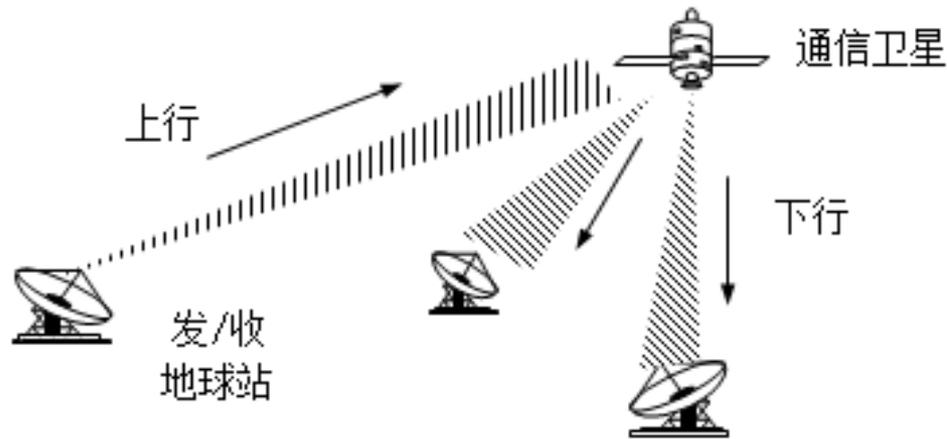
**地面微波**的工作频率范围一般为1 ~ 20 GHz，其特点是直线传播，因此只能在视距范围内进行传输。由于受到地形和天线高度的限制，两微波站间的通信距离一般为30 ~ 50 km。



# 卫星微波

## 2.1.3 传输媒体

**卫星通信**的最大特点是通信距离远，且通信费用与通信距离无关。同步卫星发射出的电磁波能辐射到地球上的通信覆盖区的跨度达18000多公里。只要地球赤道上空的同步轨道上，等距离地放置**3颗相隔120度**的卫星，就能基本上实现全球的通信。





# 卫星微波

## 2.1.3 传输媒体

波段	频率(GHz)	下行(GHz)	上行(GHz)	问题
C	4/6	3.7~4.2	5.925~6.425	地面上的干扰
Ku	11/14	11.7~12.2	14.0~14.5	降雨
Ka	20/30	17.7~21.7	27.5~30.5	降雨，设备价格高



# 红外线

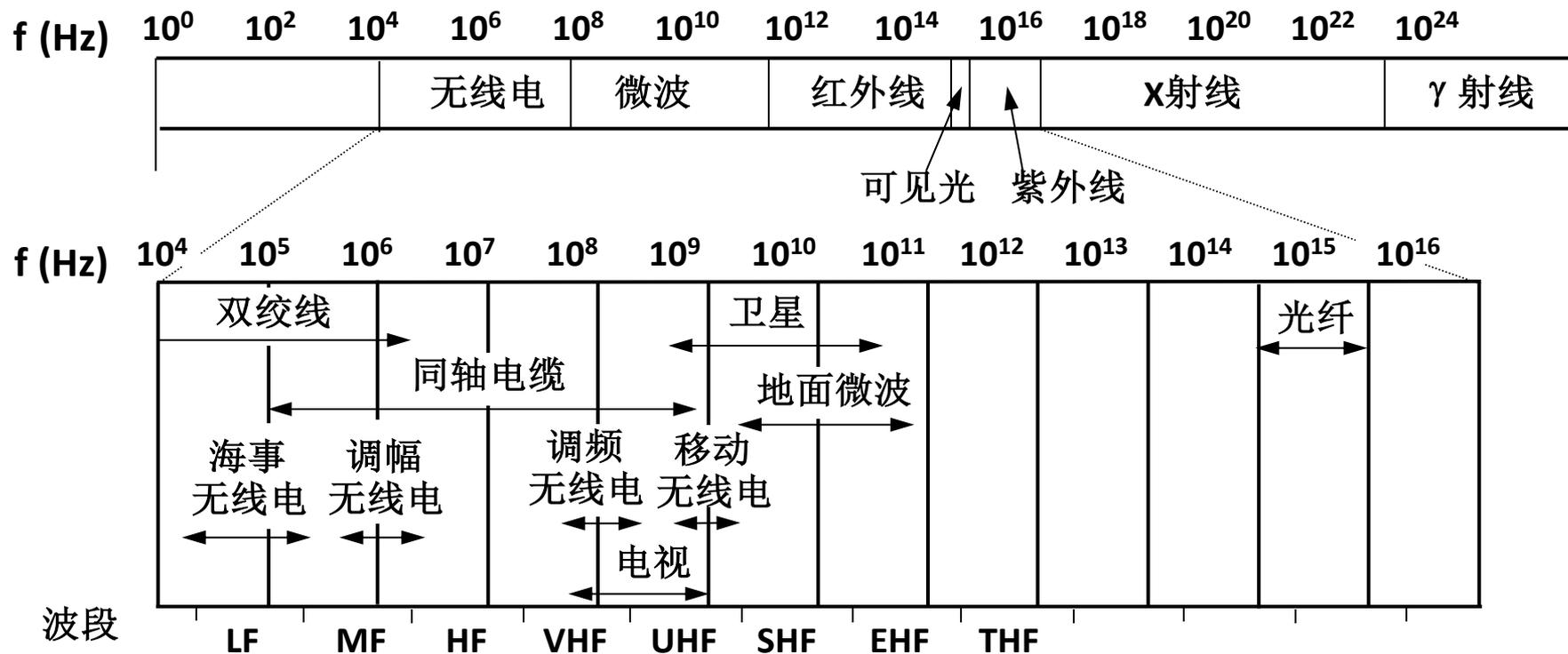
## 2.1.3 传输媒体

**红外线技术**已经在计算机通信中得到了应用，例如两台笔记本电脑对着红外接口，可传输文件。

红外线链路只需**一对收发器**，可调制不相干的红外光，在视线距离的范围内传输，**具有很强的方向性**。



# 电信领域使用的电磁波的频谱





信息、数据和信号



数据通信系统

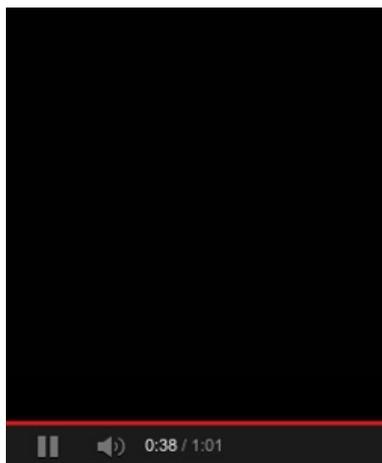


传输媒体



数据通信系统的性能指标

# 直击灵魂的拷问： 网络时延的直接感受



人民电竞

人民电竞 V 微博 哔哩哔哩 抖音

今天 01:49 来自 微博 weibo.com

【#EDG夺冠#】#英雄联盟S11# 恭喜@EDG电子竞技俱乐部 夺得2021英雄联盟全球总决赛冠军，成就荣誉大满贯！欢迎大家私信投稿你们的庆祝视频！#7号的EDG#



# 如何解决呢？

- 5G: 1 ms

知乎

首页 会员 发现 等你来答

爱优腾十年烧光 1000 亿元



第五代移动通信 (5G)

王者荣耀

5G 手机

关注者

9

被浏览

17,492

## 为什么我打王者荣耀用的5g还卡？



王者荣耀 53% 知友推荐 · 30.4 万人评价

多人联机在线竞技游戏 (MOBA) / 2015-11-26 发布 / IOS · Android /...



5g卡，有基站，数据，对面有一个职业卡啥玩意的玩家，举报没有用，到底是我的手机问题还是王者荣耀的问题？[显示全部](#)

关注问题

写回答

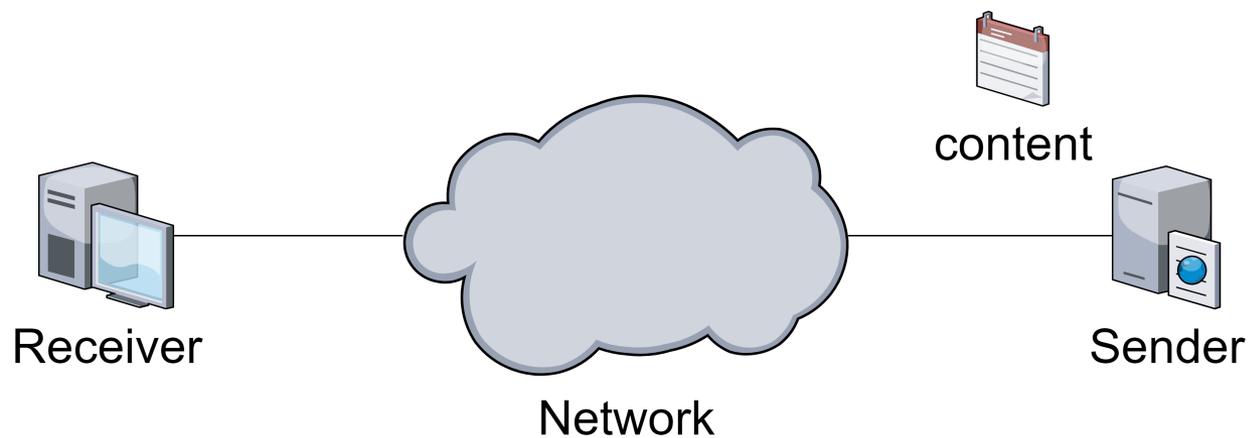
邀请回答

好问题

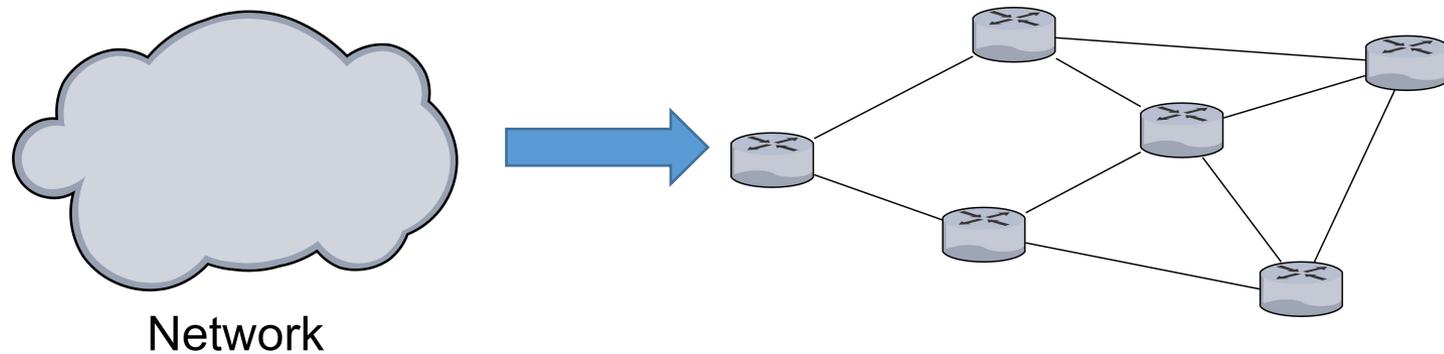
添加评论

分享 ...

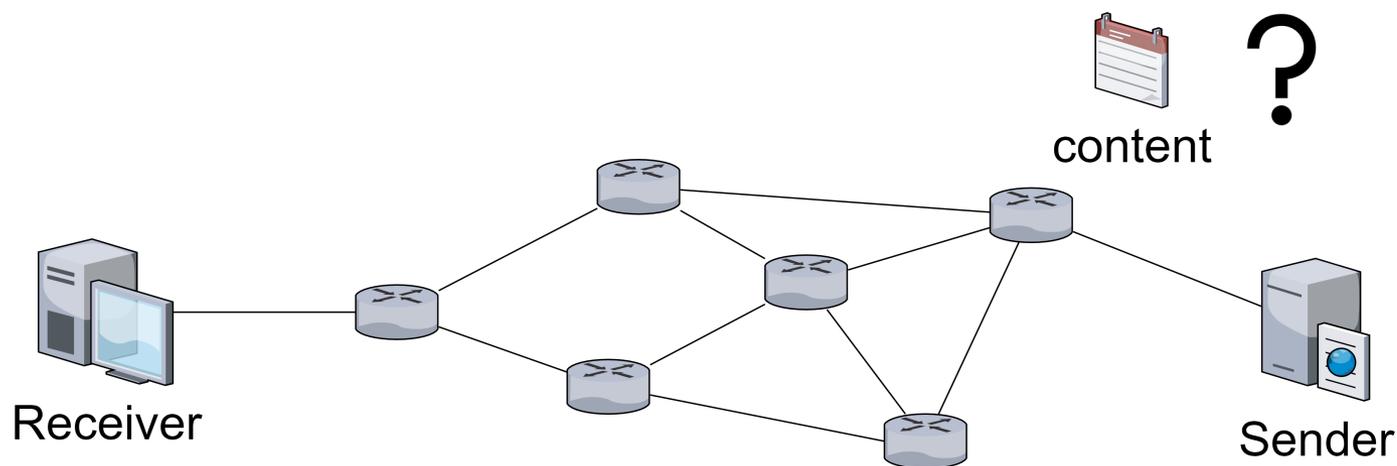
# 在网络中如何传输内容？



# 然而实际的网络是这样的



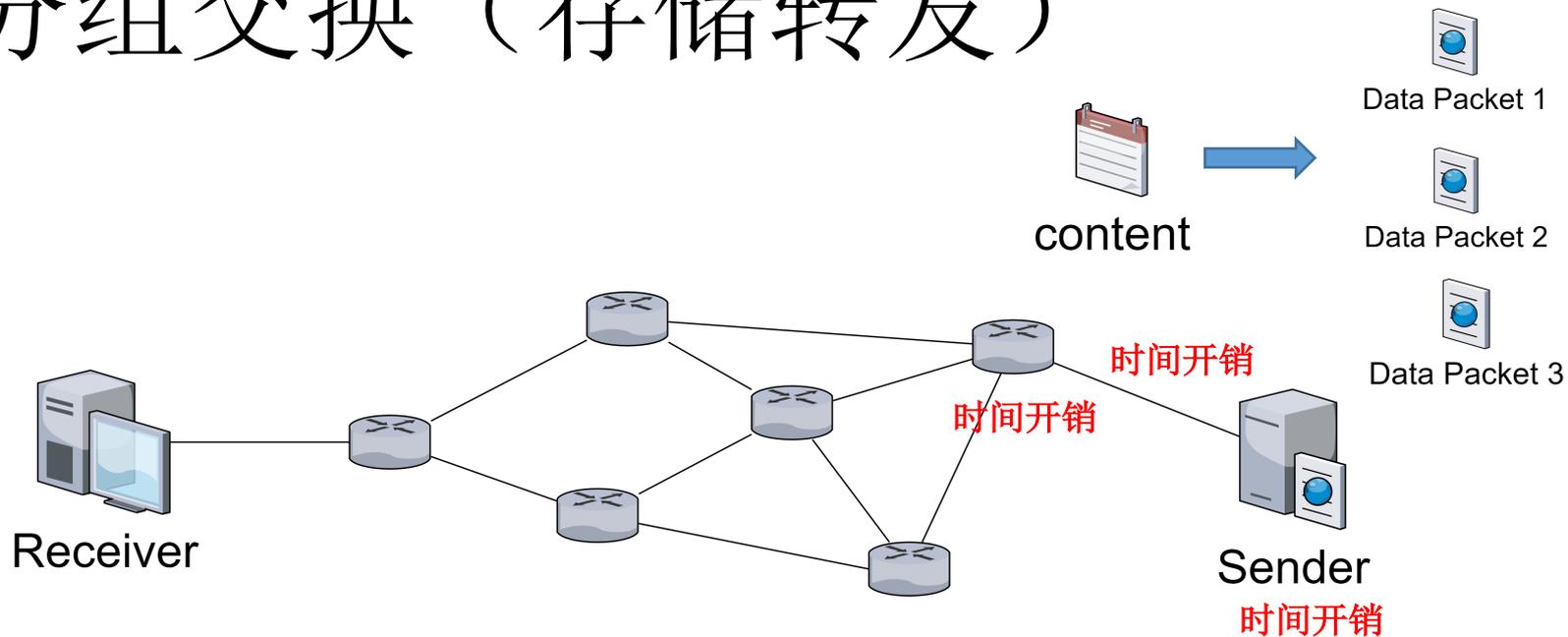
# 在网络中如何传输内容？



在接收者与发送者之间存在多种路径选择，应该如何选路呢？

交换+路由技术

# 分组交换（存储转发）



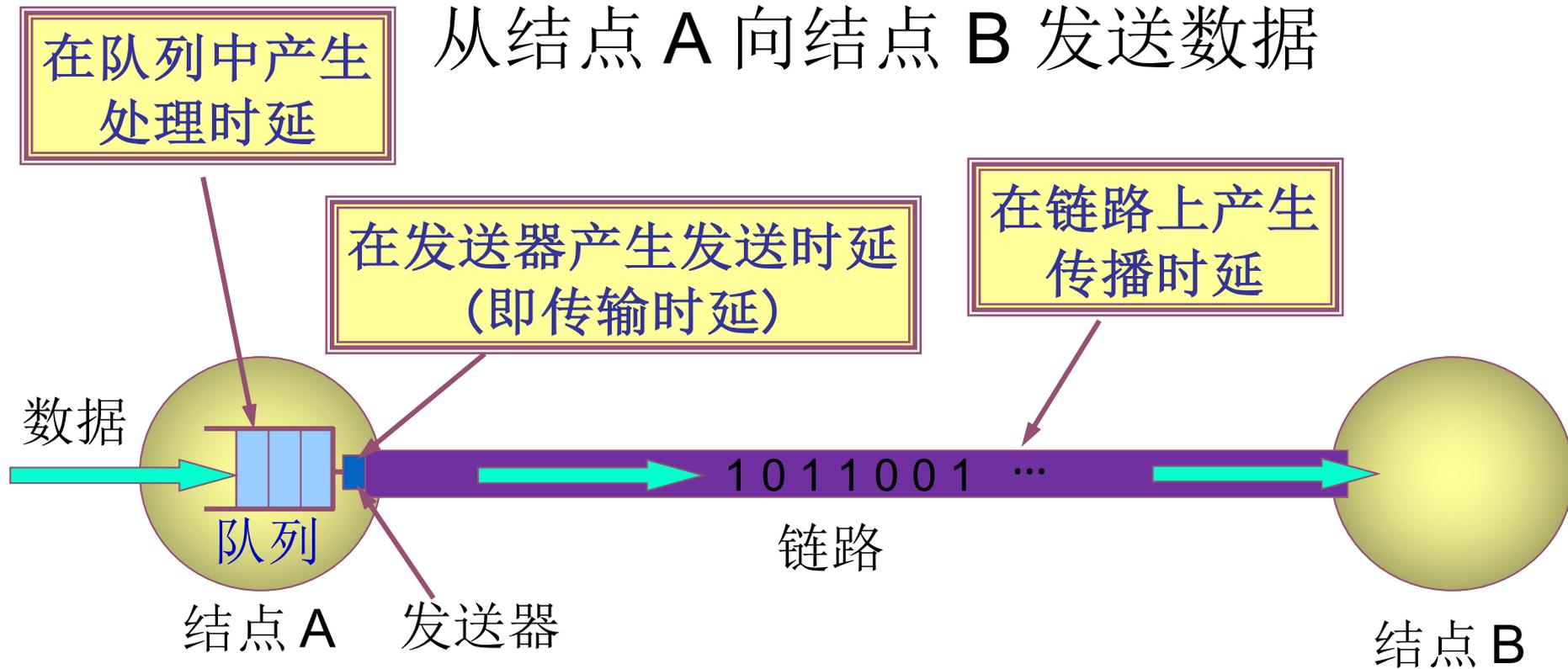
# 什么是端到端时延?

- **端到端 (End-to-end) 时延** 指数据包从数据源通过网络传输到目的地所消耗的时间。
  - **传输时延/发送时延 (Transmission delay)** : 传输时延是指结点在发送数据时使数据块从结点进入到传输媒体所需的时间 (与带宽相关)
  - **传播时延 (Propagation delay)** : 传播时延是指电磁信号或光信号在传输介质中传播一定的距离所花费的时间 (与物理距离相关)
  - **队列时延 (Queueing delay)** : 是指数据包在所排队列中等待的时间 (与用户请求分布、设备队列长度等相关)
  - **处理时延 (Processing delay)** : 是指设备处理数据包所需要的时间 (与设备性能相关)

# 时延



从结点 A 向结点 B 发送数据



# 如何计算端到端时延？

- 传输时延 ( **transmission delay**,  $D_{trans}$  )

- $D_{trans} = \frac{P}{B}$

- Example: 1000bytes的数据包, 通过10Mbps的链路传输, 求传输时延是多少?

- $$D_{trans} = \frac{1000 \text{ bytes}}{10 \text{ Mbps}}$$

- $$= \frac{1000 * 8 \text{ bits}}{10 \text{ Mbps}} = 0.0008s$$

- 传播时延 ( **propagation delay**,  $D_{prop}$  ) :

- $D_{prop} = \frac{l}{c}$

- 队列时延 ( **queueing delay**,  $D_{que}$  ) :

- $D_{que} = \frac{L}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$  (Little Theorem)

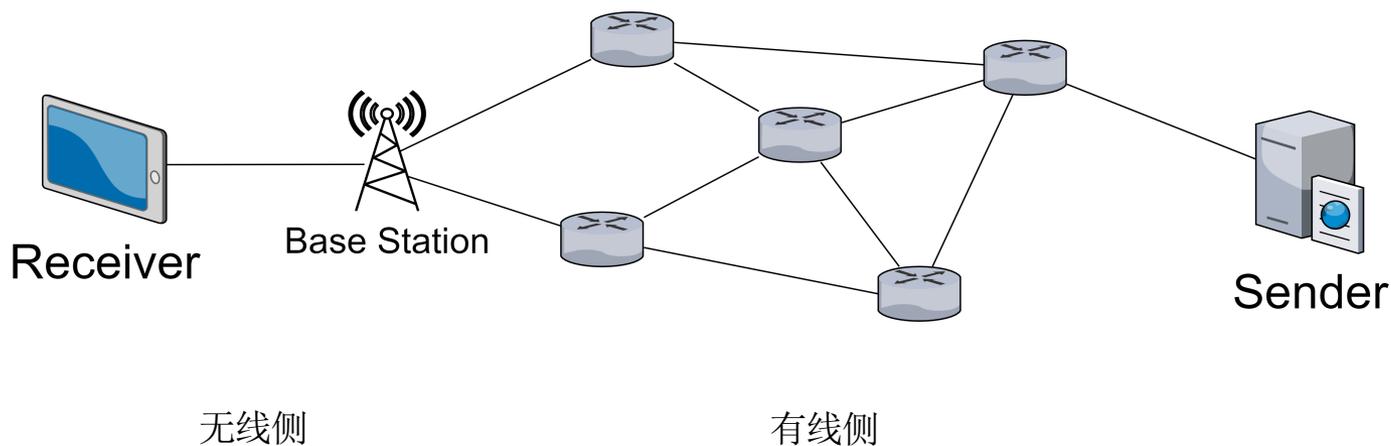
- 处理时延 ( **processing delay**,  $D_{proc}$  ) :

- 一般题目会给出

$$D_{end-to-end} = D_{trans} + D_{prop} + D_{que} + D_{proc}$$

# 回到最初的问题

——5G可以完全解决时延问题吗？





## 2.1.4 数据通信系统的技术指标

数据传输速率

信道带宽

误码率

时延

# 时延

## 2.1.4 数据通信系统的技术指标

所谓高速网络链路，我们提高的仅仅是数据的**发送速率（带宽）**而不是比特在链路上的**传播速率**。

提高链路带宽减小了数据的发送时延。

提高网络传输速率，减小网络传输时延，主要是减少发送时延和处理时延。

# 生活中有哪些应用呢？

- 提升网络性能：
  - **带宽方面：**
    - 光纤网络, 5G VS 4G
  - **物理距离方面：**
    - 边缘计算（Edge computing）
  - **设备方面：**
    - 性能更强大的网络设备



# 时延

## 2.1.4 数据通信系统的技术指标

**[例2-3]**若AB两台计算机之间的距离为1000km, 假定在电缆内信号的传播速度是 $2 \times 10^8 \text{m/s}$ , 试对下列类型的链路分别计算发送时延和传播时延。

(1) 数据块长度为 $10^8 \text{bit}$ , 数据发送速率为 $1 \text{Mb/s}$ ;

(2) 数据块长度为 $1000 \text{bit}$ , 数据发送速率为 $1 \text{Gbit/s}$



# 时延

## 2.1.4 数据通信系统的技术指标

**解：** 传播时延 = 信道长度 / 信号的传播速度  
=  $1000\text{km} / (2 \times 10^8\text{m/s})$   
=  $5\text{ms}$

1) 发送时延 = 数据块长度 / 信道带宽  
=  $10^8\text{bit} / (1\text{Mb/s}) = 100\text{s}$

2) 发送时延 = 数据块长度 / 信道带宽  
=  $1000\text{bit} / (1\text{Gb/s}) = 1\mu\text{s}$

# 过渡页

Transition Page



**01** 数据通信的基本概念

**02** 数据传输方式

**03** 数据传送技术

**04** 多路复用技术

**05** 数据交换技术

**06** 差错控制技术

**07** 数据通信接口特性



并行传输与串行传输



异步传输与同步传输



单工、半双工与全双工传输



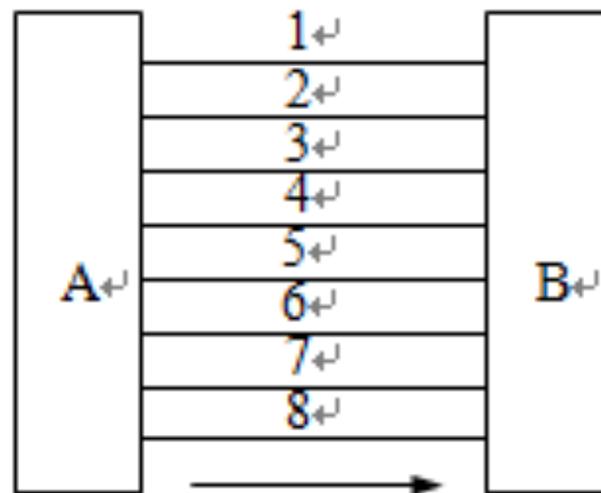
模拟传输与数字传输



# 并行传输

## 2.2.1 并行传输与串行传输

**并行传输**指的是数据以成组的方式，在多条并行信道上同时进行传输。

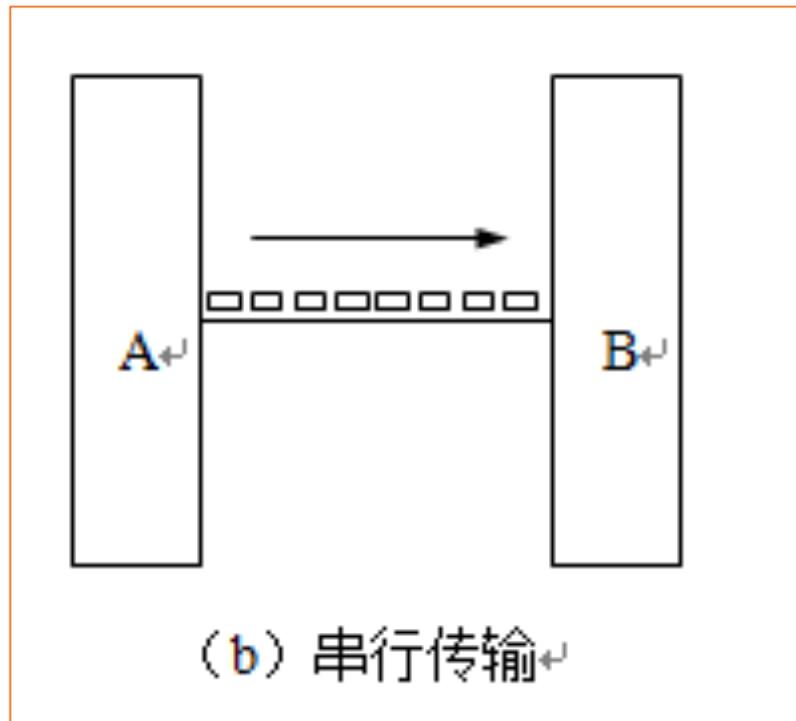


(a) 并行传输

# 串行传输

## 2.2.1 并行传输与串行传输

**串行传输**指的是组成字符的若干位二进制码排列成数据流在一条信道上逐位顺序传输。



# 异步传输

## 2.2.2 异步传输与同步传输

**异步传输**不论字符所采用的代码为多少位，在发送每一个字符代码（即字符的数据位）时，都要在前面加上一个起始位，表示一个字符的开始；后面加上一个停止位，表示一个字符的结束。





## 异步传输

## 2.2.2 异步传输与同步传输

**[例2-4]**在异步传输中，假设停止位为1位，并采用1位奇/偶校验位，字符的数据位为5位，求传输效率为多少？

解：传输效率=字符的数据位/字符的总长度  
则传输效率= $5 / (1 + 1 + 1 + 5) \times 100\% = 62.5\%$



## 同步传输

## 2.2.2 异步传输与同步传输

**同步传输**方式要比异步传输复杂，它是以固定的时钟节拍来发送数据信号的，因此在一个串行数据流中，各信号码元之间的相对位置是固定的（即同步）。

接收端为了从接收到的数据流中正确地区分一个个信号码元，必须具有**与发送端一致的时钟信号**。

## 同步传输

## 2.2.2 异步传输与同步传输

在**同步通信**方式中，发送的数据一般以帧为单位，通常一帧数据中包含多个字符，在一帧数据的前后分别加上若干个同步字符和校验字段传输结束字符来表示一帧的开始和结束。





## 2.2.3 单工、半双工与全双工传输

**单工传输**——只能有一个方向的通信而没有反方向的交互。

**半双工传输**——通信的双方都可以发送信息，但不能双方同时发送(当然也就不能同时接收)。

**全双工传输**——通信的双方可以同时发送和接收信息。

# 过渡页

Transition Page



- 01 数据通信的基本概念
- 02 数据传输方式
- 03 数据传送技术**
- 04 多路复用技术
- 05 数据交换技术
- 06 差错控制技术
- 07 数据通信接口特性



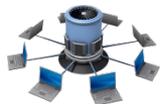
数据序列的电信号表示



信道容量的概念



基带传输



频带传输



数字数据传输



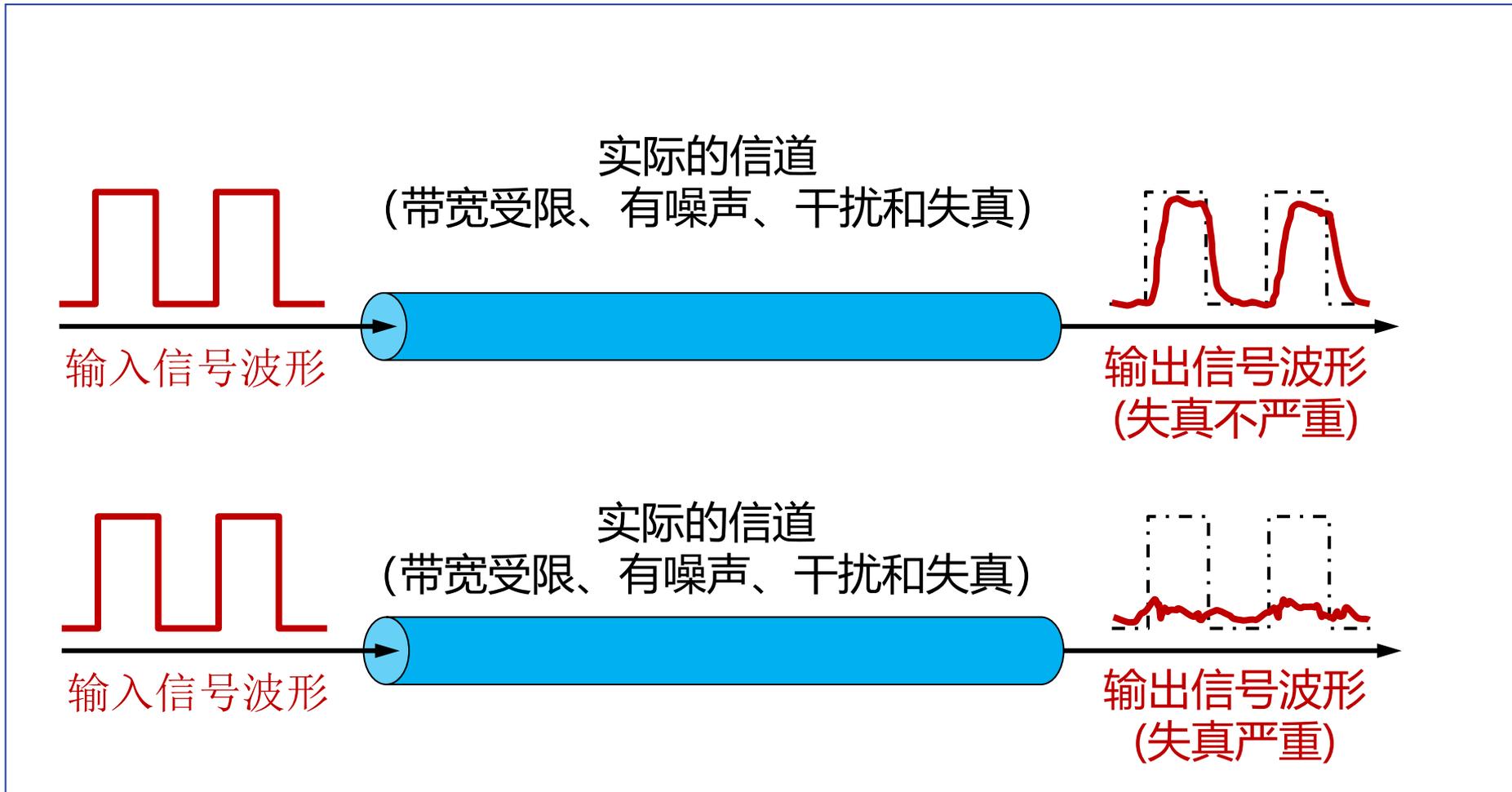
## 2.3.2 信道容量的概念

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以及带来多种干扰。  
码元传输的**速率越高**，或信号传输的**距离越远**，在信道的输出端的波形的**失真就越严重**。



# 数字信号通过实际的信道

## 2.3.2 信道容量的概念



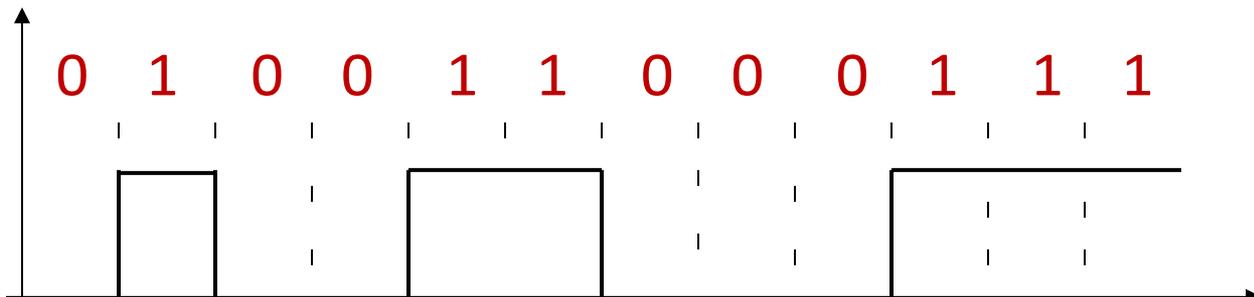


## 2.3.1 数据序列的电信号表示

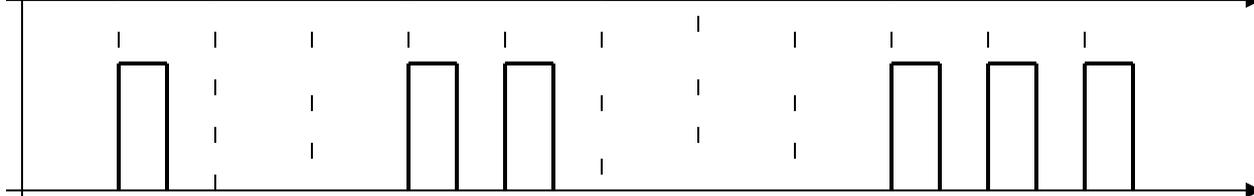
数据序列

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

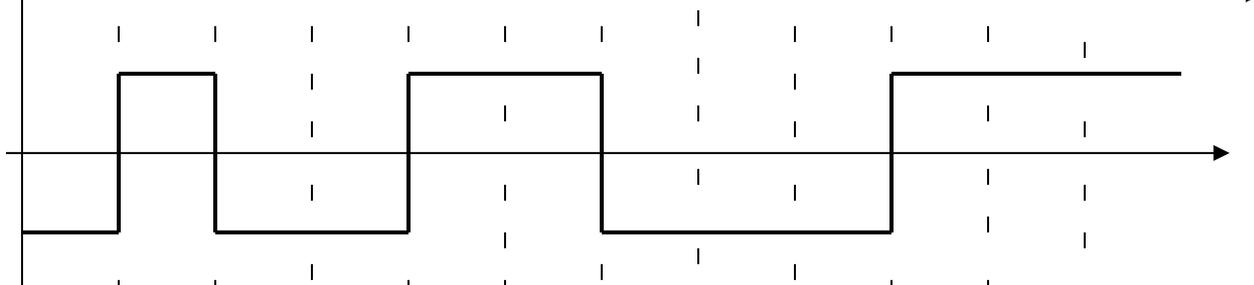
单极性不归零码



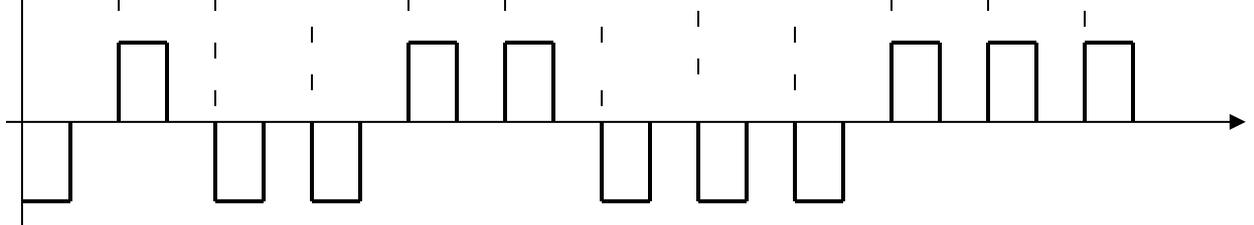
单极性归零码



双极性不归零码

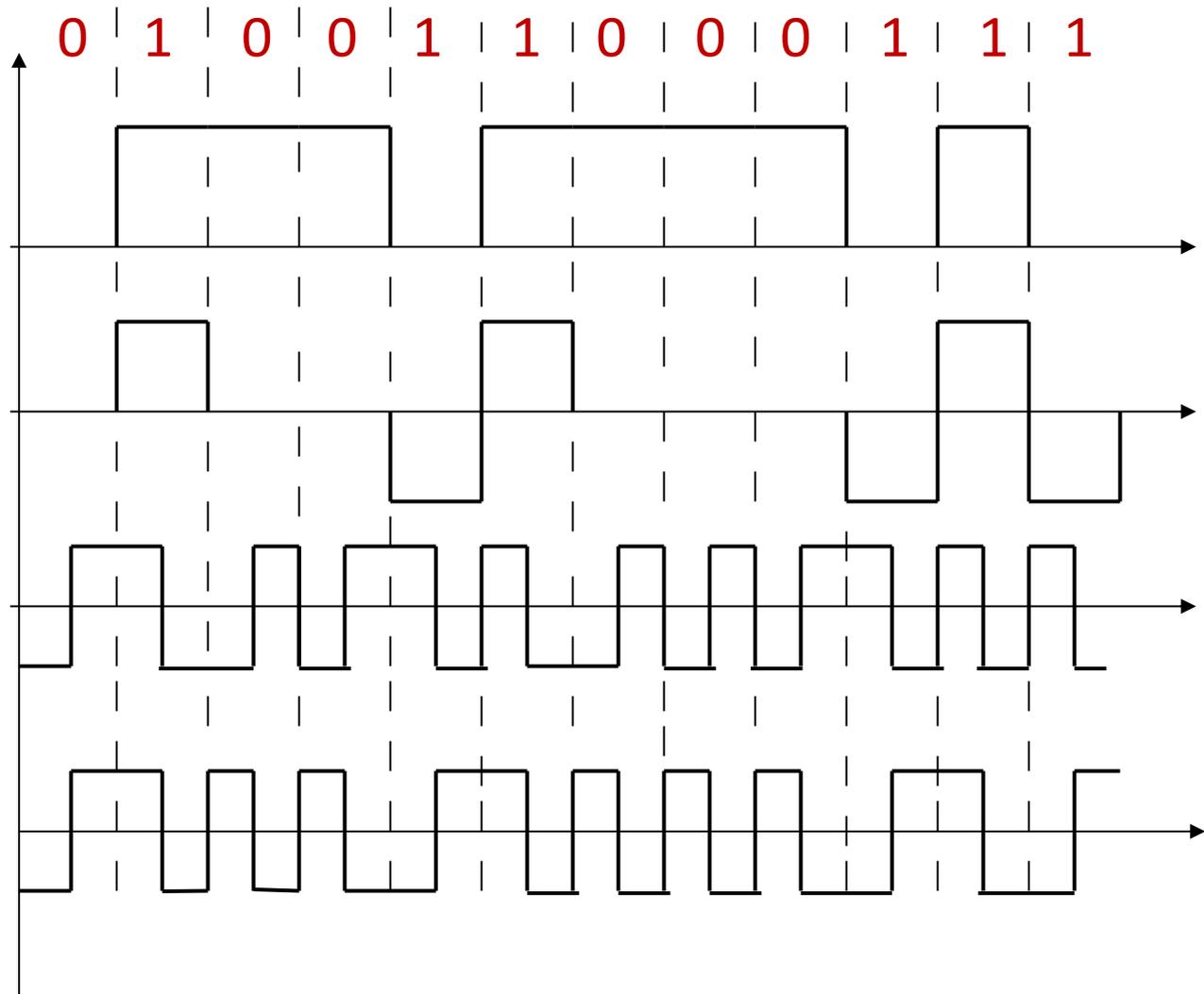


双极性归零码





## 2.3.1 数据序列的电信号表示



差分编码

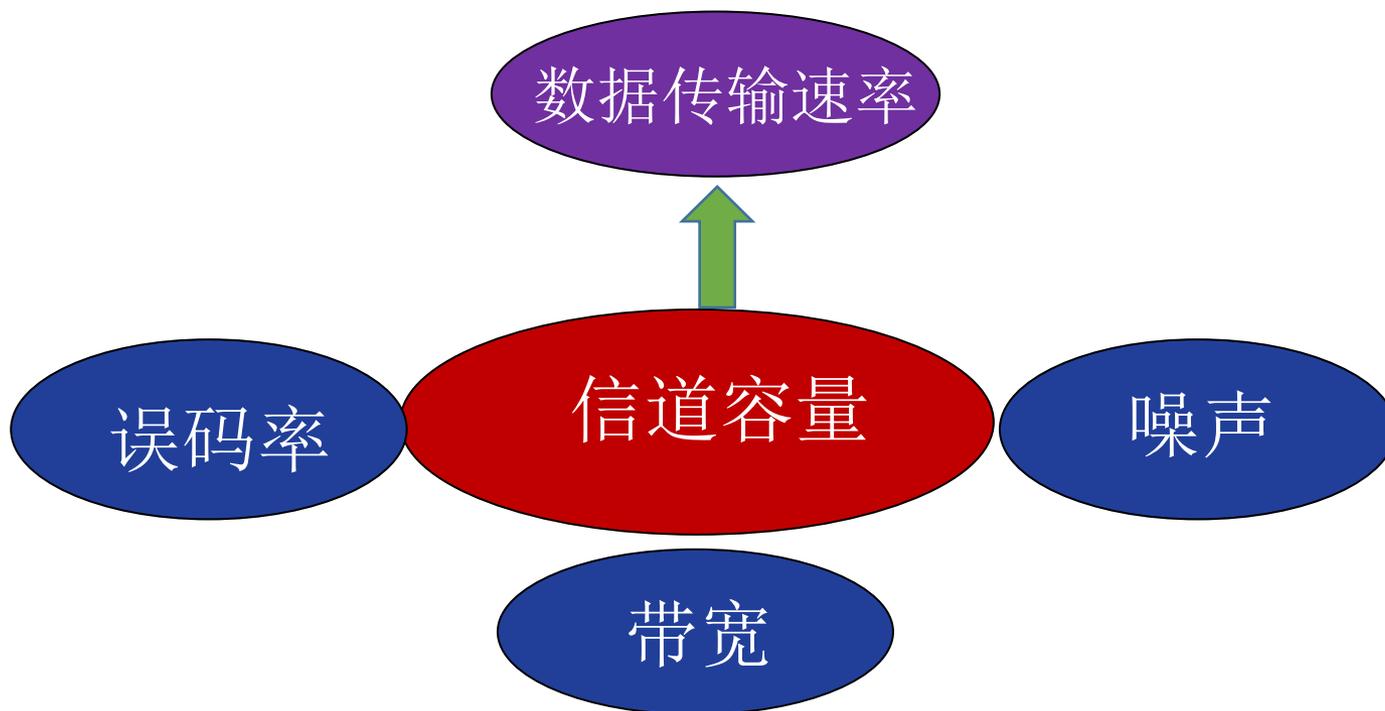
伪三元编码

曼彻斯特编码

差分曼彻斯特编码

## 2.3.2 信道容量的概念

- **信道容量**是指在一定的条件下，给定通信路径（信道）上所能达到的**最大数据传输速率**。





# 奈奎斯特定理

## 2.3.2 信道容量的概念

理想低通信道的最高码元传输速率

$$N = 2W \text{ Baud}$$

$W$  是理想低通信道的带宽，单位为赫(Hz)





## 奈奎斯特定理

## 2.3.2 信道容量的概念

无噪声的情况下，在带宽为 $W$  赫兹的信道，其最大的数据传输速率 $C$ （信道容量）为

$$C=2W\log_2M$$

**[例2-6]** 一个无噪声的话音信道带宽为4000Hz，采用8相调制解调器传送信号，试问信道容量是多少？

# 香农定理

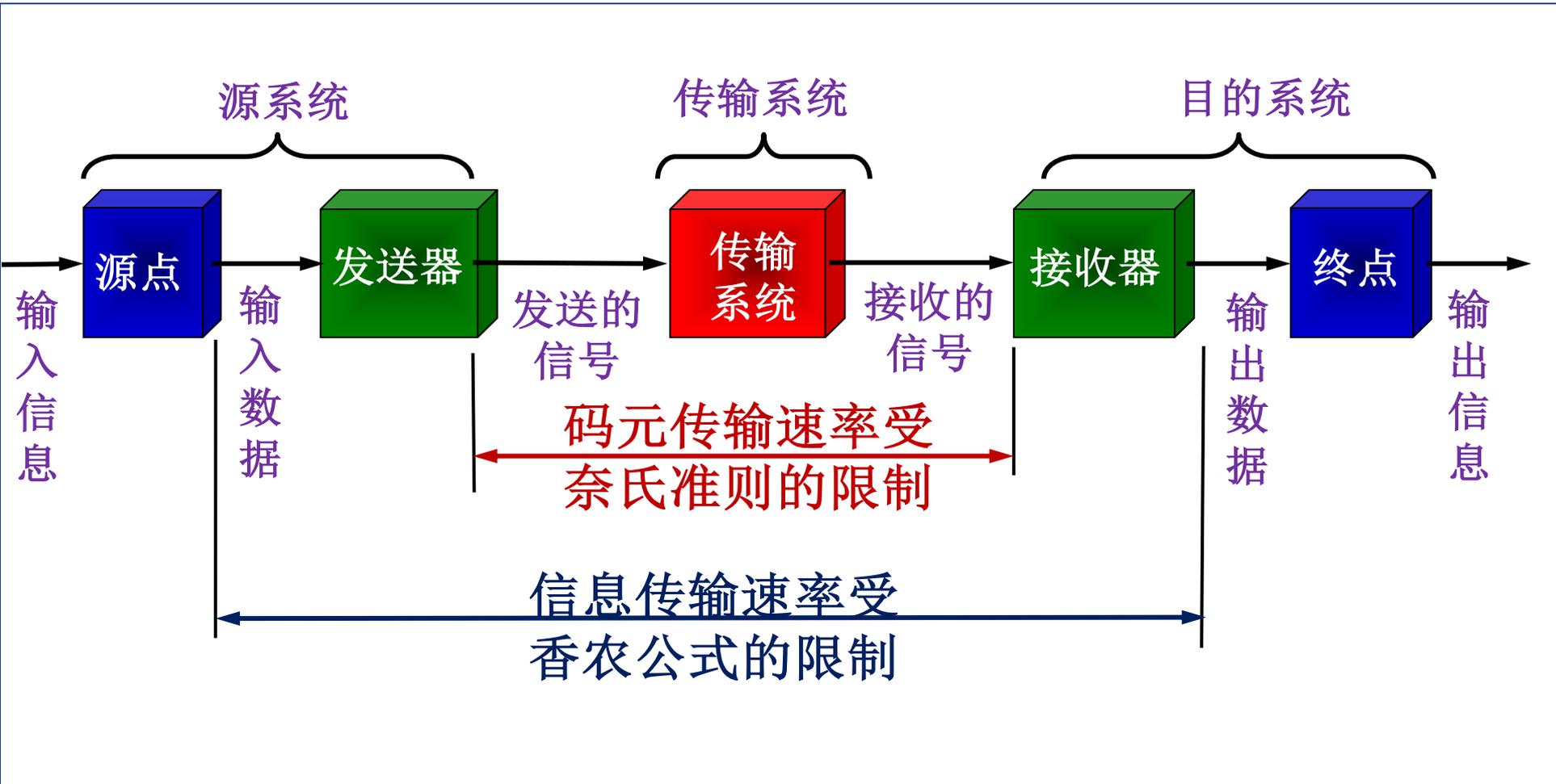
## 2.3.2 信道容量的概念

- 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、无差错的信息传输速率。
- 信道的极限信息传输速率  $C$  (信道容量) 可表达为
$$C = W \log_2(1 + S/N) \text{ b/s}$$
  - $W$  为信道的带宽 (以 Hz 为单位) ;
  - $S$  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。
  - 信噪比 (dB) =  $10 \log_{10} (S/N)$



# 两者的作用范围

## 2.3.2 信道容量的概念



## 应用举例

## 2.3.2 信道容量的概念

**[例2-7]** 若通过一个信噪比为20dB，带宽为3kHz的信道去传送数字数据，则其数据传信速率不会超过多少？

解：根据信噪比  $(\text{dB}) = 10 \log_{10} (S/N)$ ，

可以得到  $S/N = 100$

按照香农公式，该信道的最大传信速率为：

$$\begin{aligned} C &= W \log_2(1 + S/N) = 3000 \times \log_2(1 + 100) \\ &= 3000 \times 6.66 = 19.98 \text{ kbit/s} \end{aligned}$$

也就是说，该信道的数据传信速率不会超过19.98 kbit/s

在一个带宽为 **4KHz**、没有噪声的信道，采用**16**相调制技术传输信号时能够达到的极限数据传输速率为（      ） **Kbps**。

- A 4
- B 16
- C 32
- D 64

提交

假设一信道带宽为4kHz，信道要达到24kb/s的速率，按香农公式，信道的信噪比是（ ）倍。

- A 7
- B 15
- C 31
- D 63

提交



## 2.3.3 基带传输

在数据通信中，表示计算机中二进制比特序列的数字数据信号是典型的矩形脉冲信号。人们把矩形脉冲信号的固有频带称作**基本频带**（简称为**基带**），这种矩形脉冲信号就叫做**基带信号**。

在数字信道上，计算机中的数据是以矩形脉冲信号直接传送的，这种传送方法称为**基带传输**。



## 2.3.4 频带传输

- **频带传输**又称为**调制传输**，就是先将基带信号变换成便于在模拟信道中传输的、具有较高频率范围的信号（**频带信号**），再将这种频带信号在信道中传输。



## 数字数据，模拟传输

### 2.3.4 频带传输

- 有些传输媒体只适合于传输模拟信号，为充分利用现有的传输资源，必须将数字数据转换为模拟信号才能传输。
- 将数字数据转换为模拟信号的过程叫**调制**（实际上是用数字信号控制模拟信号的某些参数，使模拟信号携带信息）。
- 将携带信息的模拟信号转换成数字数据（或称从已调制的模拟信号中提取数字数据）的过程叫**解调**。

# 数字数据，模拟传输

## 2.3.4 频带传输

- 最常用的数字数据 - 模拟信号转换设备是调制解调器（MODEM），同时具有调制和解调的功能，在数据通信系统中，是一种典型的DCE设备。
- 常用的调制技术：
  - **载波**：一种便于发射和接收，及技术实现的高频简谐波或周期性脉冲信号。
  - 当载波为高频简谐波时，可用三个参数描述：**振幅、频率、相位**。控制这三个参数变化，可以实现调制功能。



## 数字数据，模拟传输

### 2.3.4 频带传输

- 以数字数据控制载波的幅度，称为**数字调幅**，又称**幅移键控**，简称**ASK**。
- 以数字数据控制载波的相位，称为**数字调相**，又称**相移键控**，简称**PSK**。
- 以数字数据控制载波的频率，称为**数字调频**，又称**频移键控**，简称**FSK**。



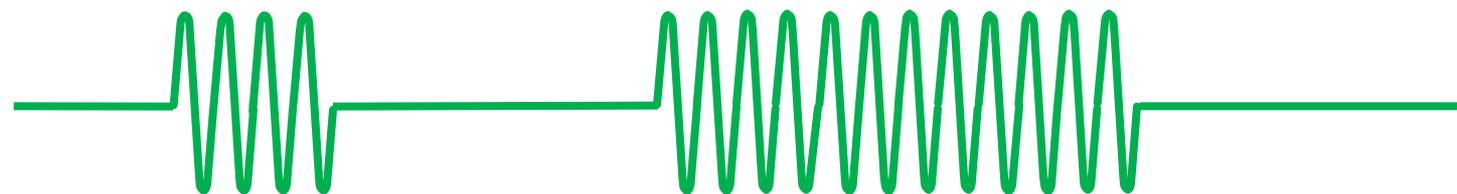
# 数字数据，模拟传输

## 2.3.4 频带传输

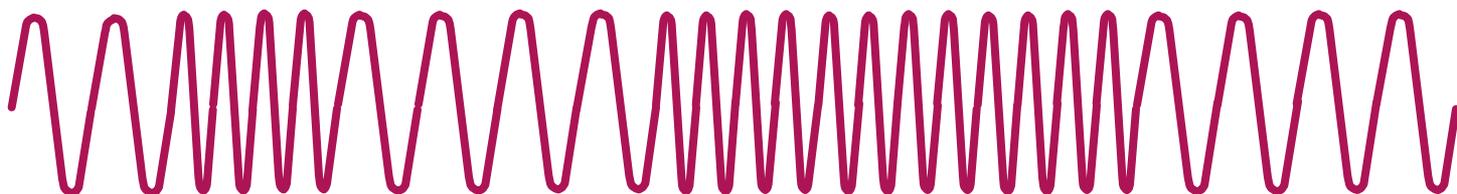
基带信号



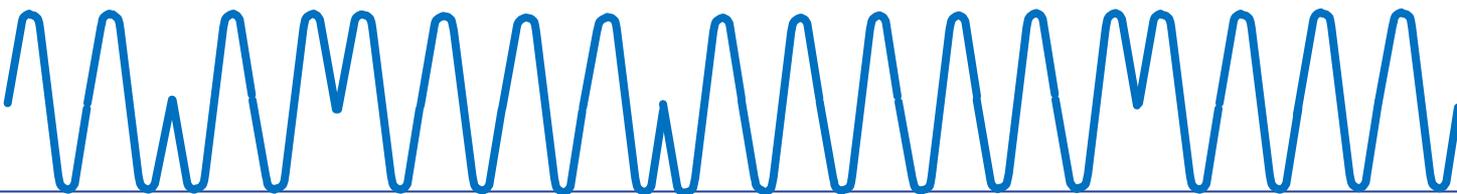
调幅



调频



调相



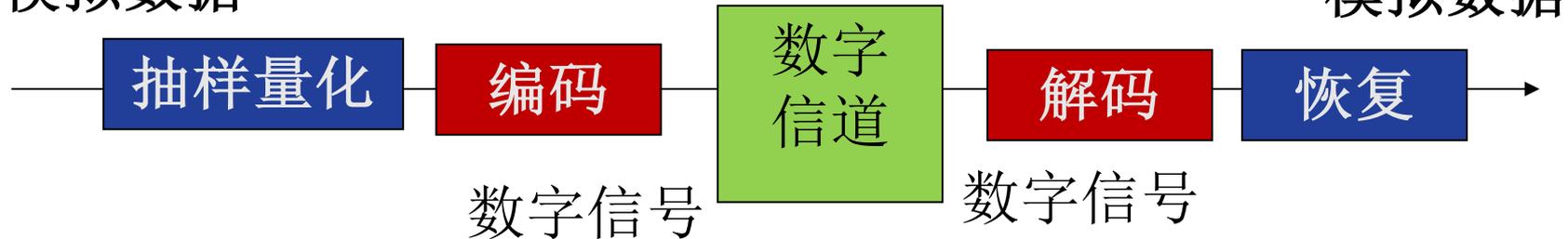


# 数字数据，模拟传输

## 2.3.5 数字数据传输

在数字信道中传输数据信号称为数据信号的数字传输，简称为**数字数据传输**。

模拟数据





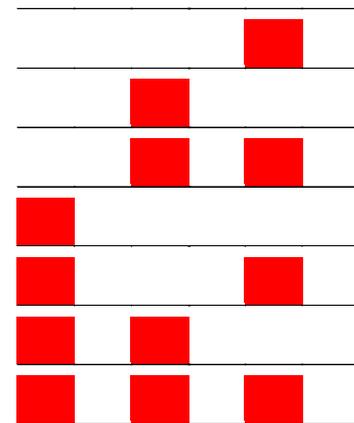
# 数字数据，模拟传输

## 2.3.5 数字数据传输



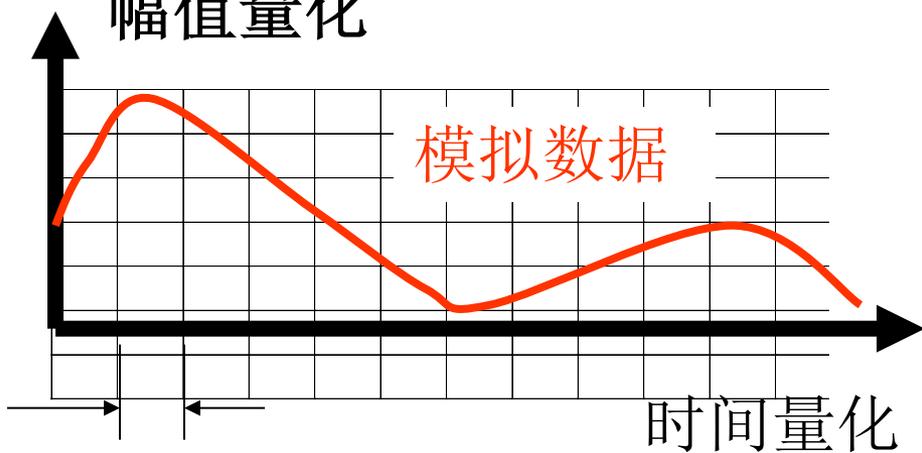
### 数字信号

- 000
- 001
- 010
- 011
- 100
- 101
- 110
- 111



### 幅值量化

模拟数据



采样间隔  $T_s \leq 2f_c$

# 过渡页

Transition Page



- 01 数据通信的基本概念
- 02 数据传输方式
- 03 数据传送技术
- 04 多路复用技术**
- 05 数据交换技术
- 06 差错控制技术
- 07 数据通信接口特性



- 随着电子技术和计算机技术的发展，通信终端和交换设备的性能不断提高，而价格却迅速降低。
- 传输媒体由于资源有限，制造成本增加，即使采用原料丰富的光纤线路，但铺设费用也在增长。其投资在整个通信网络占有的比重越来越大。
- **信道复用技术**是在一条传输信道中传输多路信号，以提高传输媒体的利用率。



频分复用



时分复用



码分复用



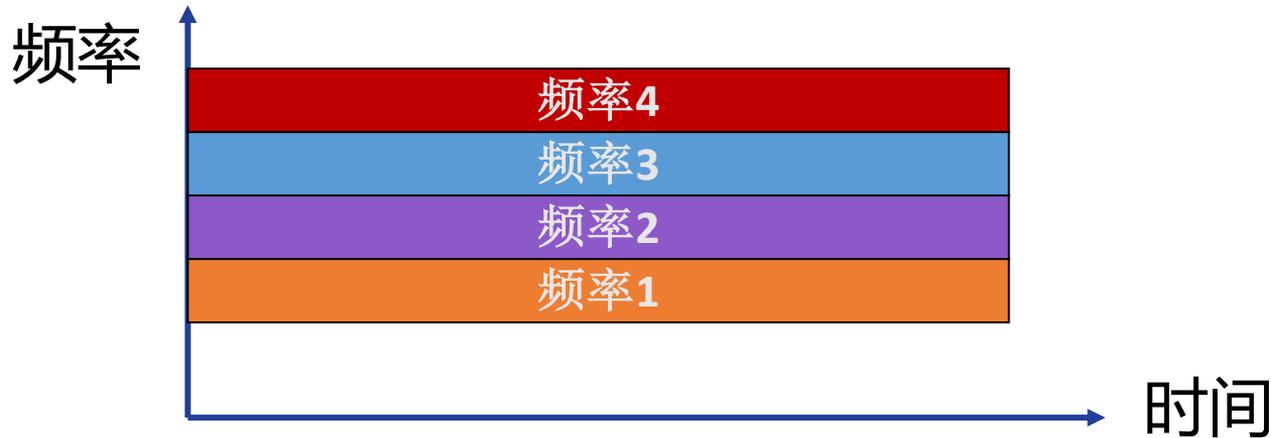
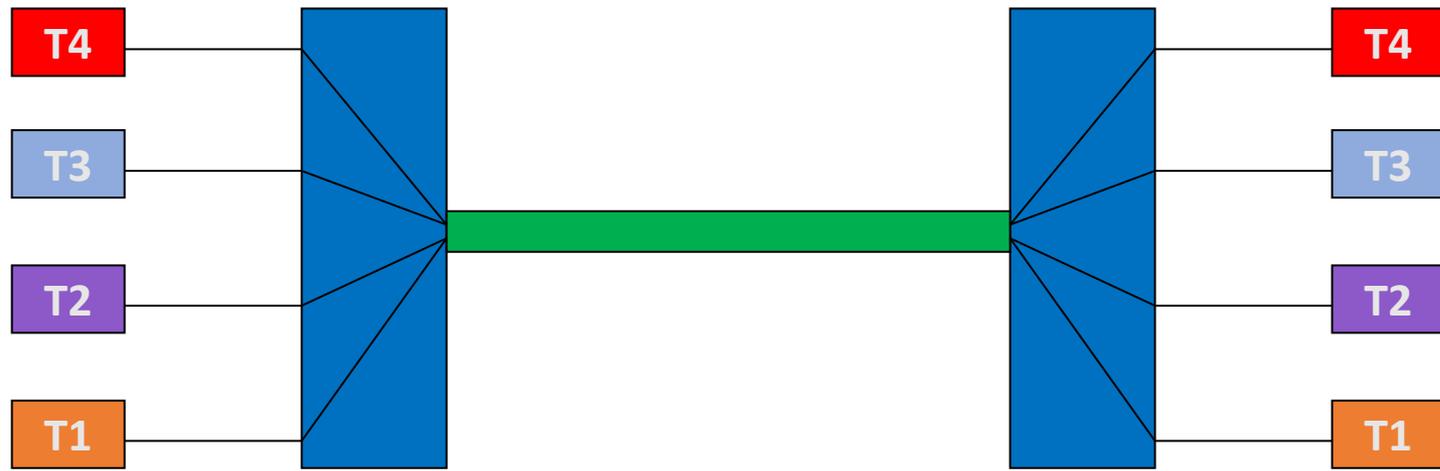
波分复用

## 3.4.1 频分复用

- 当传输信道的带宽较大，而所传输的信号只需部分带宽就可实现有效传送，则可以在信道中同时传输多路信号，每路信号占用部分带宽。
- 频分复用是按**频率划分不同的子信道**，每个子信道占用不同的频率范围。采用调制技术，将信号搬移到信道相应的频段上。
- 频分复用常用于载波电话系统、电视等。



# 3.4.1 频分复用



## 静态时分复用

## 3.4.2 时分复用

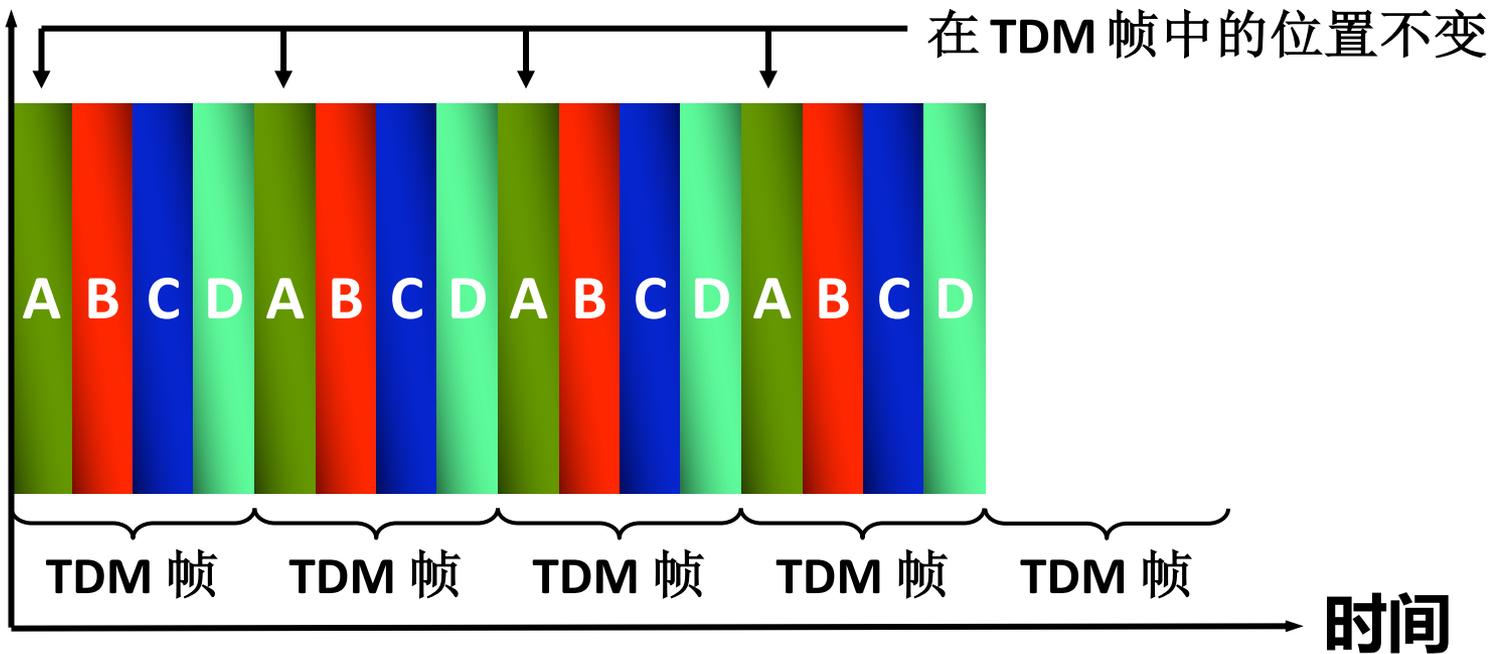
- 时分复用是采用时间分片方式来实现传输信道的多路复用，即每一路信号传输都使用信道的全部带宽，但只能使用其中某个时隙。
- **静态时分复用**中，多个数据终端的信号分别在预定的时隙内传输，其分配关系固定，周期性使用，收发双方保持同步，又称同步时分复用。若无数据传输时，对应时隙空闲。
- **静态时分复用时高速传输介质容量等于各个低速终端数据速率之和。**



# 静态时分复用

## 3.4.2 时分复用

频率

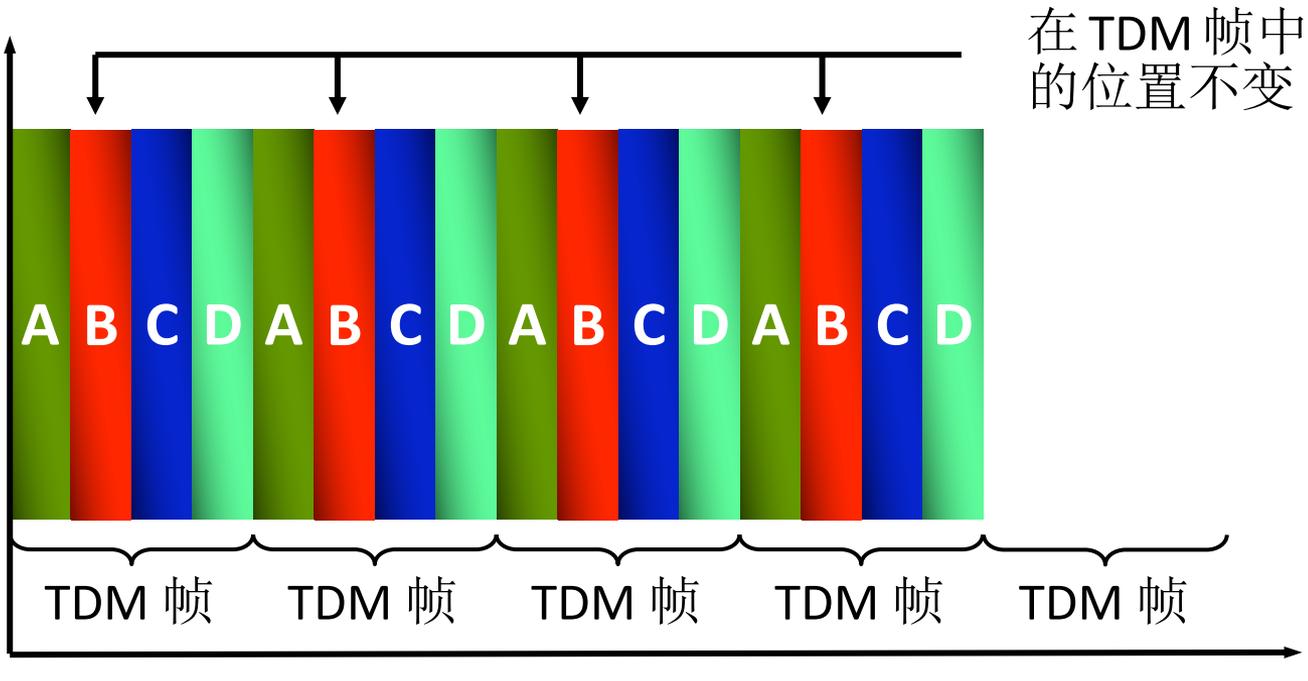




# 静态时分复用

## 3.4.2 时分复用

频率

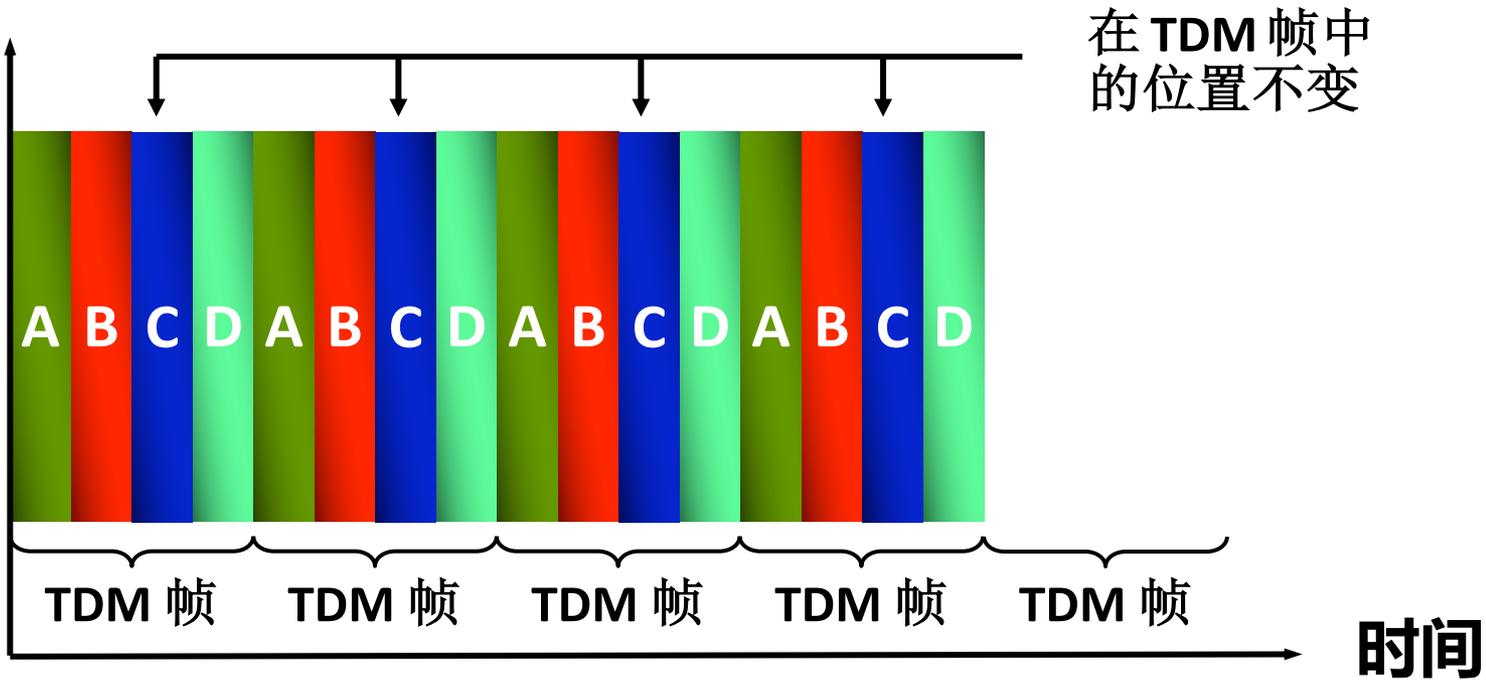




# 静态时分复用

## 3.4.2 时分复用

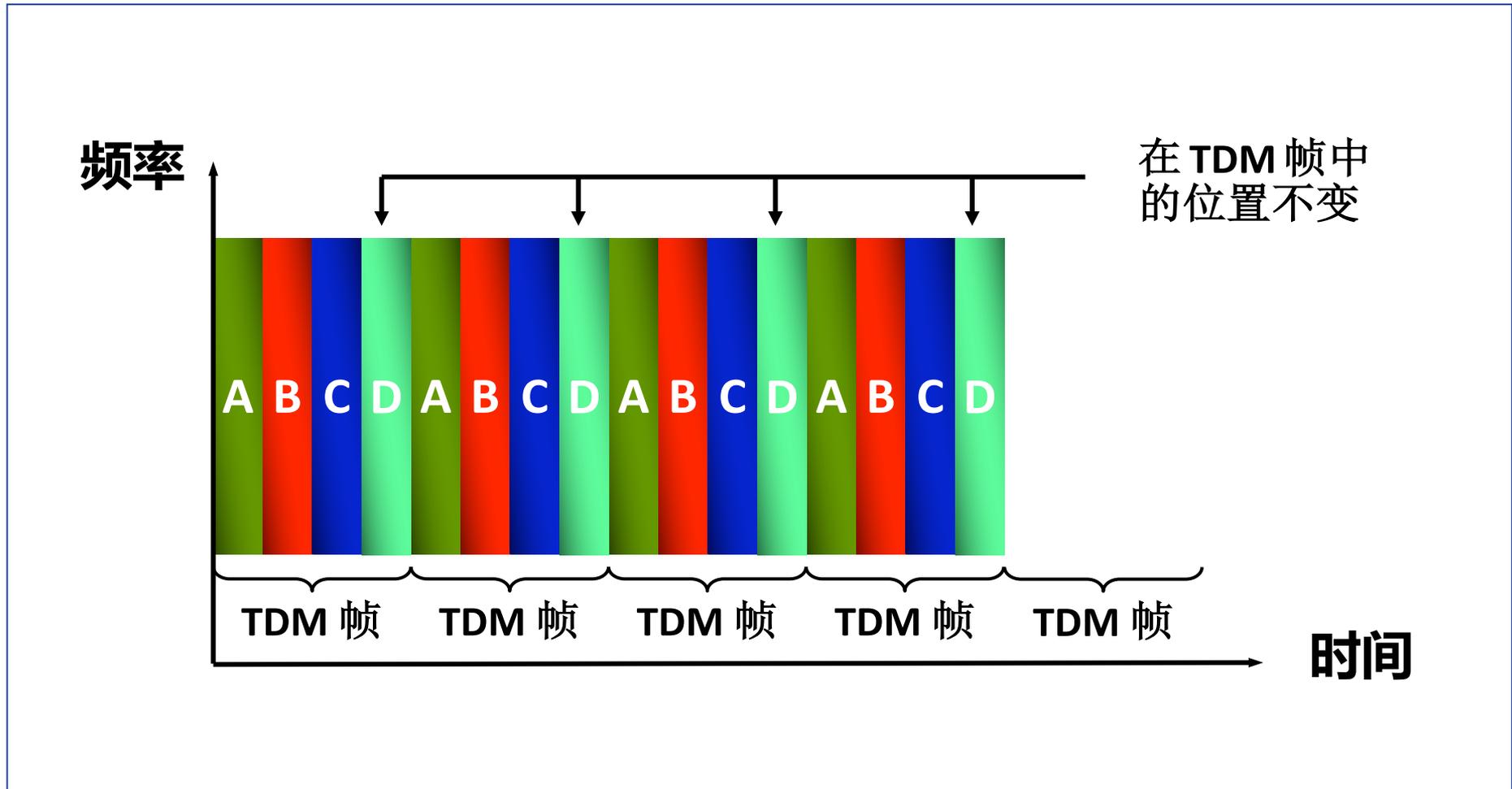
频率





# 静态时分复用

## 3.4.2 时分复用



## 动态时分复用

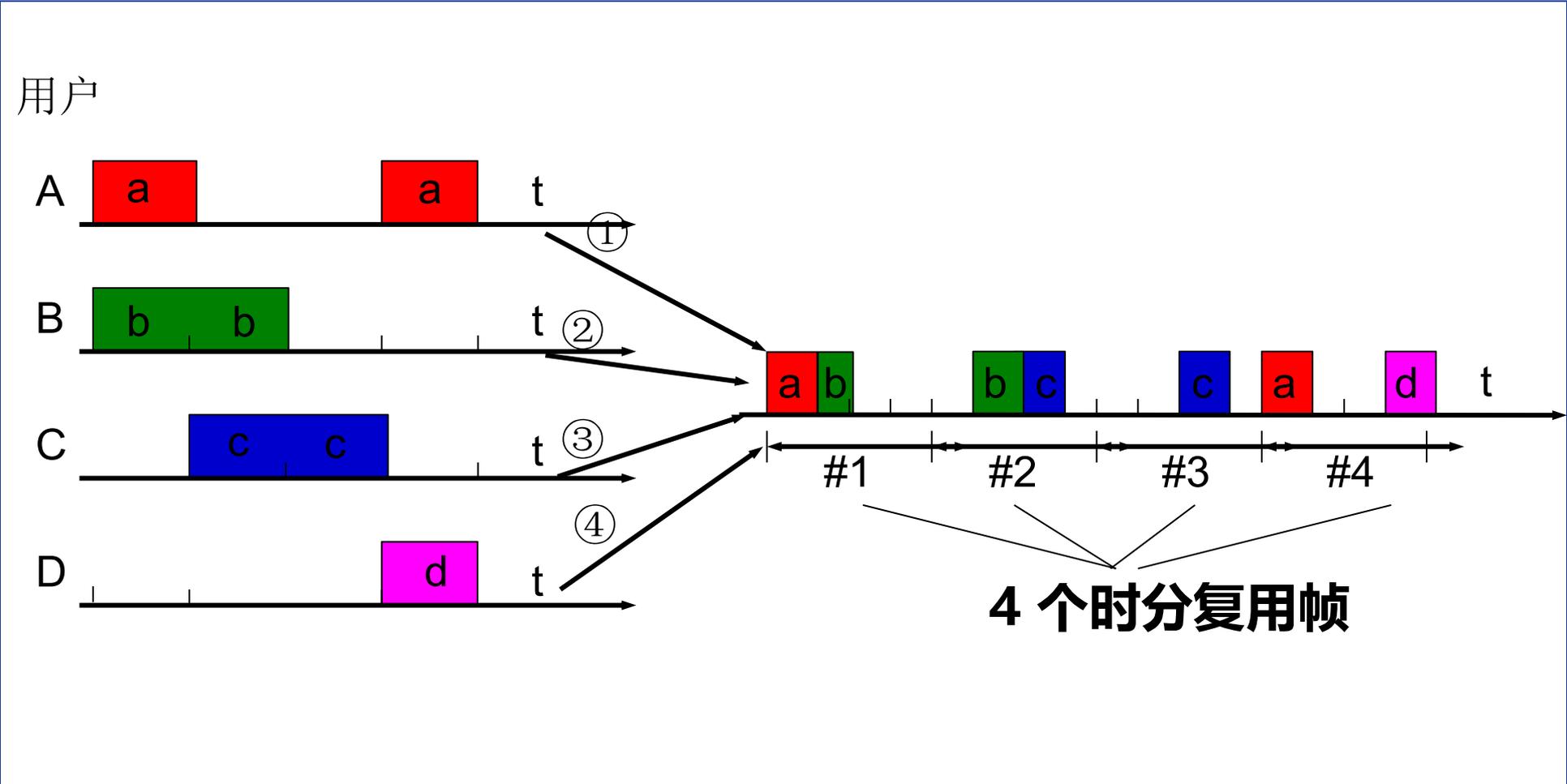
### 3.4.2 时分复用

- 静态时分复用中，每个数据终端的信号与传输时隙分配关系固定，无数据传输时，对应时隙空闲。因此效率较低。
- **动态时分复用**又称异步时分复用，或称**统计时分复用**（STDM），是按需分配媒体资源，提高了传输媒体的利用率。（本质：分组交换）
- 动态时分复用中，用户数据传输速率之和可以**大于**高速线路传输容量。
- 动态时分复用中需要使用缓冲存储和流量控制技术来保证数据正确传送。



# 静态时分复用

## 3.4.2 时分复用

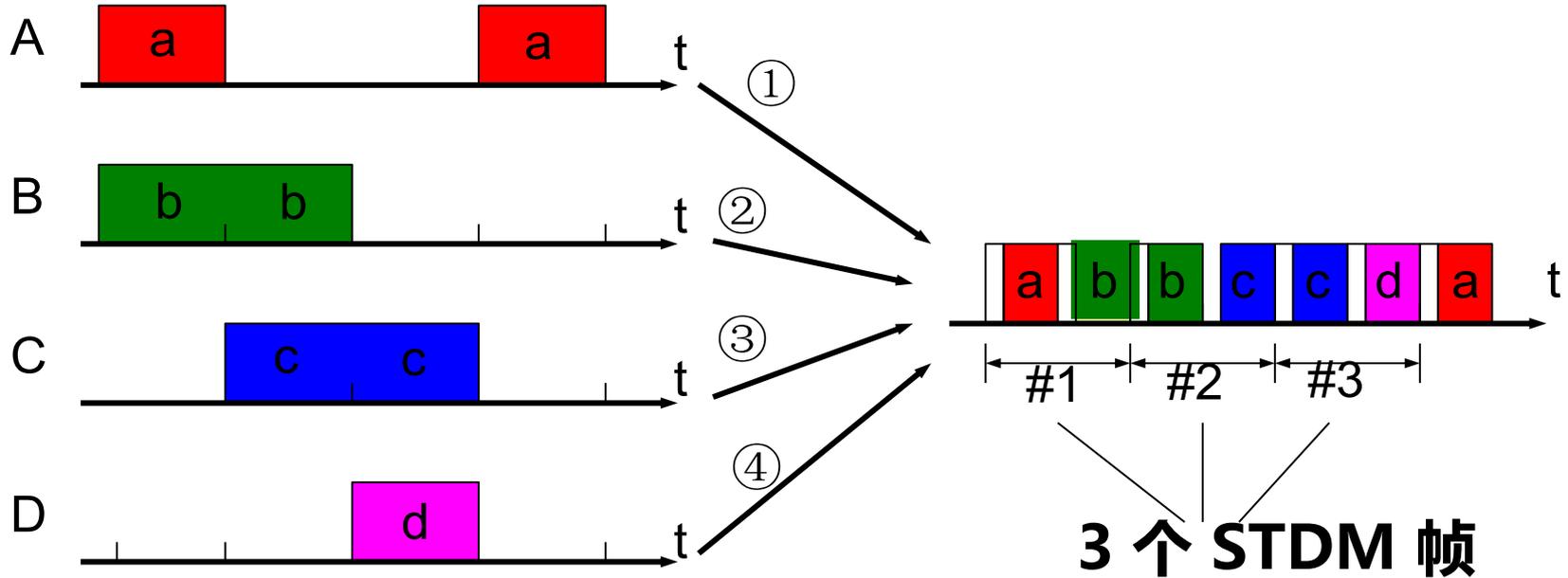




# 动态时分复用

## 3.4.2 时分复用

用户



## 3.4.3 码分复用

- 码分复用是蜂窝移动通信中迅速发展的一种信号处理方式。
- 常用的名词是码分多址 CDMA  
(Code Division Multiple Access)。
- 这种系统发送的信号有很强的抗干扰能力，其频谱类似于白噪声，不易被敌人发现。
- 每一个比特时间划分为  $m$  个短的间隔，称为**码片**(chip)。

## 3.4.3 码分复用

- 每个站被指派一个惟一的  $m$  bit 码片序列。
  - 如发送比特 1, 则发送自己的  $m$  bit 码片序列。
  - 如发送比特 0, 则发送该码片序列二进制反码。
- 例如, S 站的 8 bit 码片序列是 00011011。
  - 发送比特 1 时, 就发送序列 00011011,
  - 发送比特 0 时, 就发送序列 11100100。
- S 站的码片序列:  $(-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)$



### 3.4.3 码分复用

- 每个站分配的码片序列不仅必须各不相同，并且还必须互相**正交**(orthogonal)。
- 在实用的系统中是使用**伪随机码序列**。

### 3.4.3 码分复用

- 令向量  $S$  表示站  $S$  的码片向量，令  $T$  表示其他任何站的码片向量。
- 两个不同站的码片序列正交，就是向量  $S$  和  $T$  的规格化内积(inner product)都是 0:

$$S \bullet T \equiv \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i T_i = 0$$

## 3.4.3 码分复用

- 令向量  $S$  为  $(-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)$ ,  
向量  $T$  为  $(-1 -1 +1 -1 +1 +1 +1 -1)$ 。
- 把向量  $S$  和  $T$  的各分量值代入公式就可看出这两个码片序列是**正交**的。



### 3.4.3 码分复用

- 任何一个码片向量和该码片向量自己的规格化内积**都是1**。

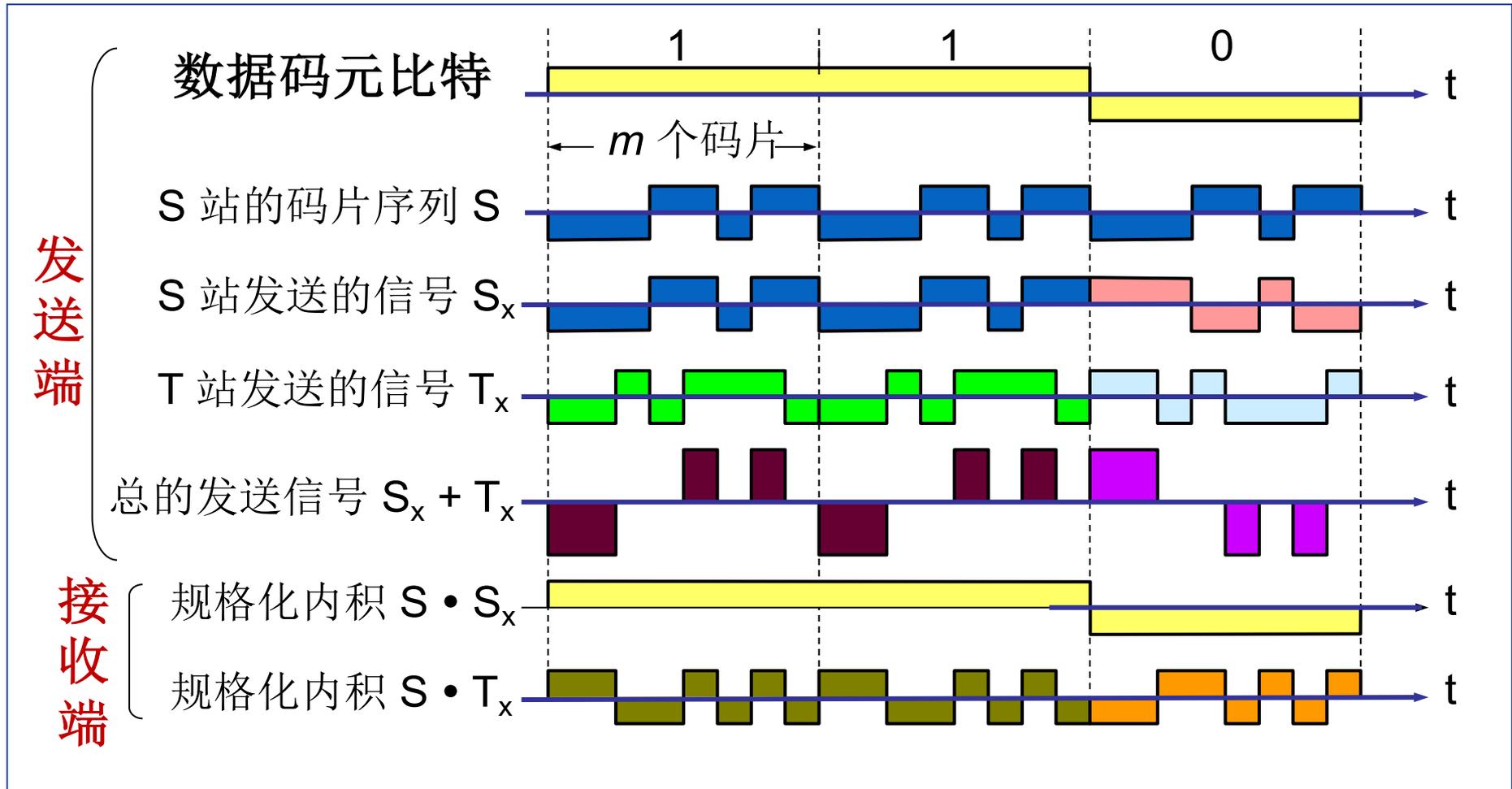
$$\mathbf{S} \cdot \mathbf{S} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i S_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i^2 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\pm 1)^2 = 1$$

- 一个码片向量和该码片反码的向量的规格化内积值是**-1**。



# 举例

## 3.4.3 码分复用

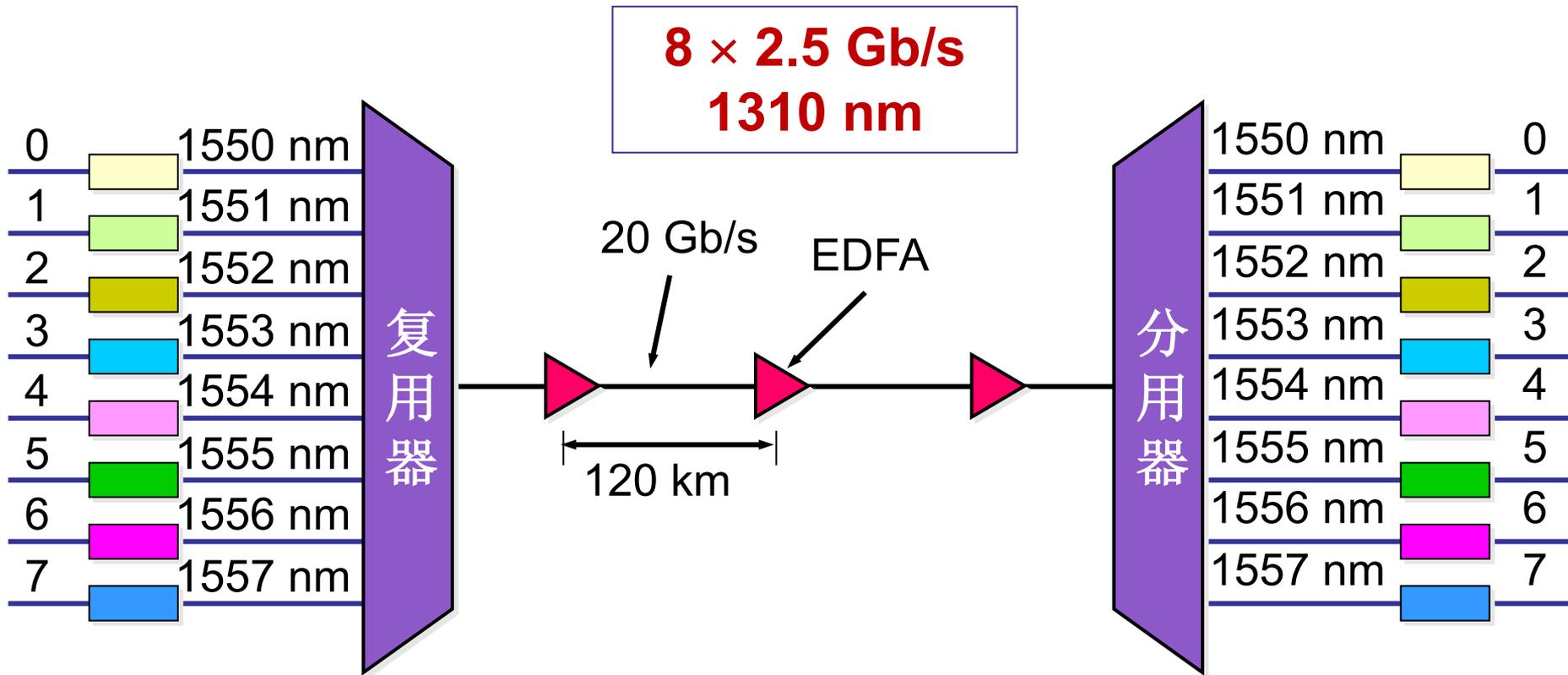




## 3.4.4 波分复用

- **波分复用就是光的频分复用**，即在一根光纤上传输多路光载波信号。
- 密集波分复用（DWDM）是一种支持巨大数量信道的系统。
- 波分复用技术可以进一步提高光纤的传输容量，满足通信需求量的迅速增长和多媒体通信。

## 3.4.4 波分复用



# 过渡页

Transition Page



- 01 数据通信的基本概念
- 02 数据传输方式
- 03 数据传送技术
- 04 多路复用技术
- 05 数据交换技术**
- 06 差错控制技术
- 07 数据通信接口特性



- 交换是一种**集中**和**转接**的概念。
- 如果网络的分布范围广，用户众多，网络拓扑结构复杂。多个用户之间的通信，如果采用点对点直接连接的方式，网络规模大，费用高，线路利用率低。
- 采用交换方式，利用集中和转接的概念，通过选择和复用技术，可以提高线路资源的利用率，简化网络拓扑结构，降低网络成本。



- 一个通信网络由许多交换节点组成，信息在网络中的传输要经过一系列的交换节点，从一条线路转换的另一条线路，最后到达目的地。交换节点转发信息的方式，就称为**交换方式**。



电路交换



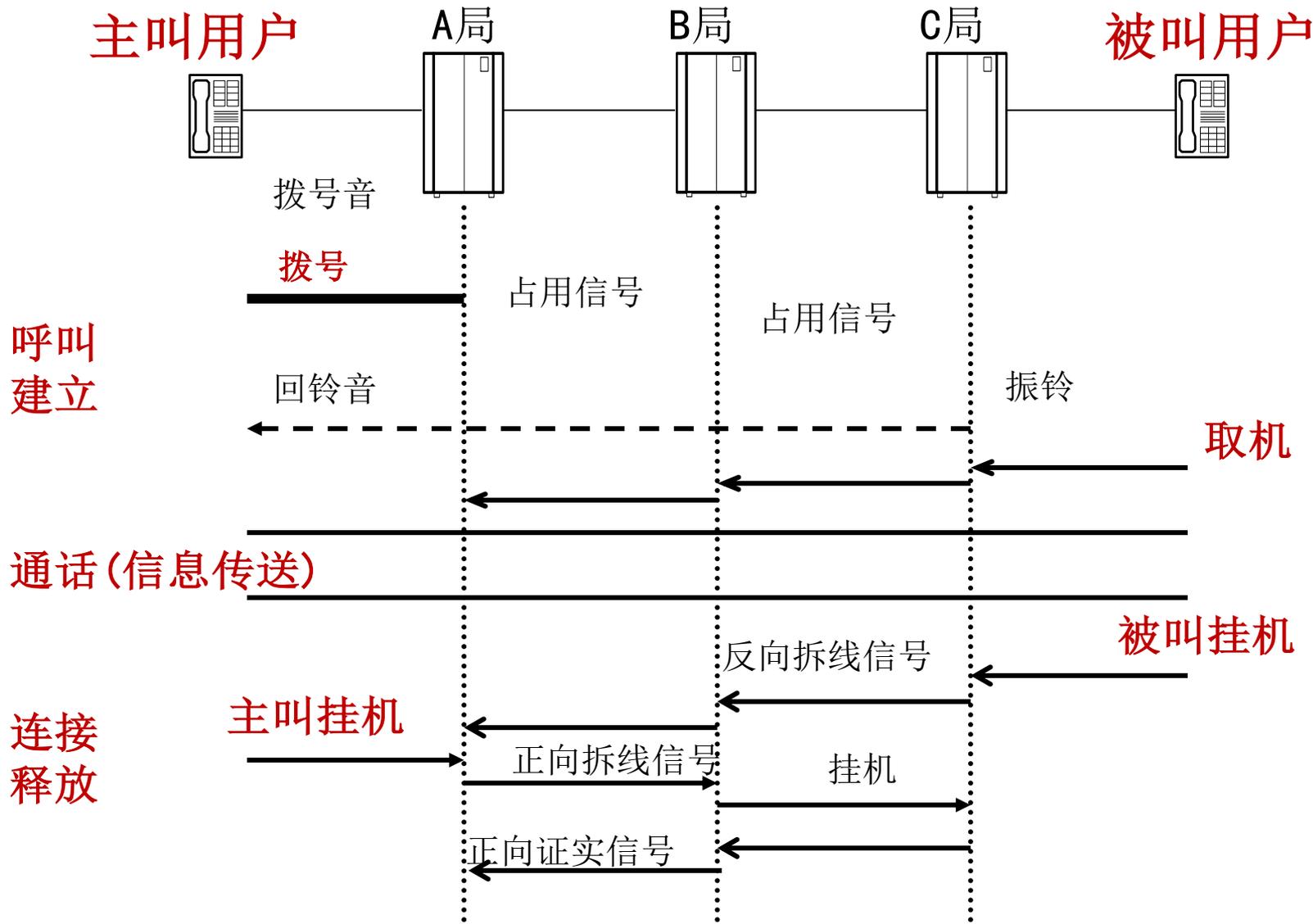
报文交换



分组交换

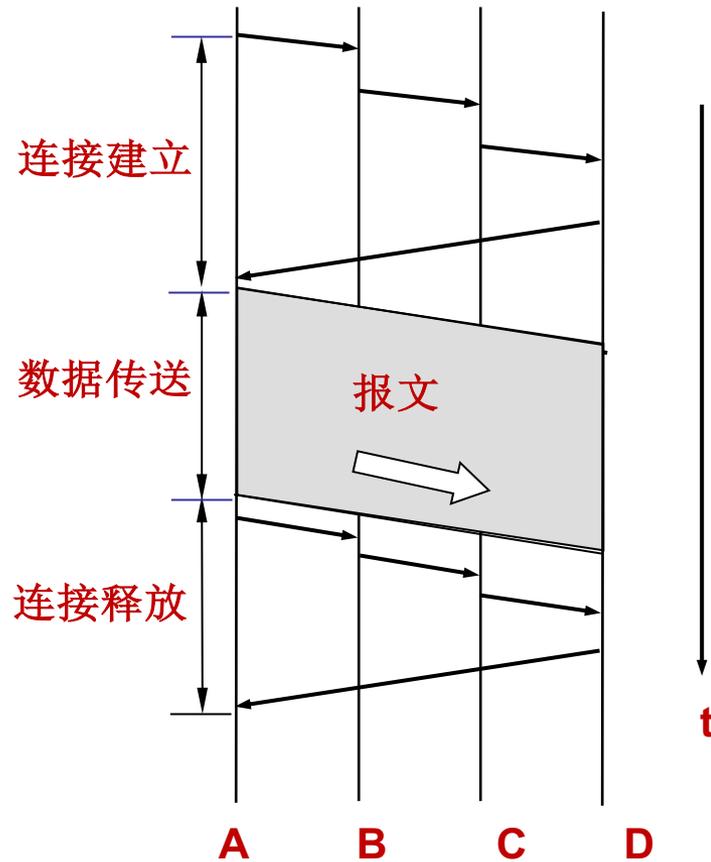


# 3.5.1 电路交换



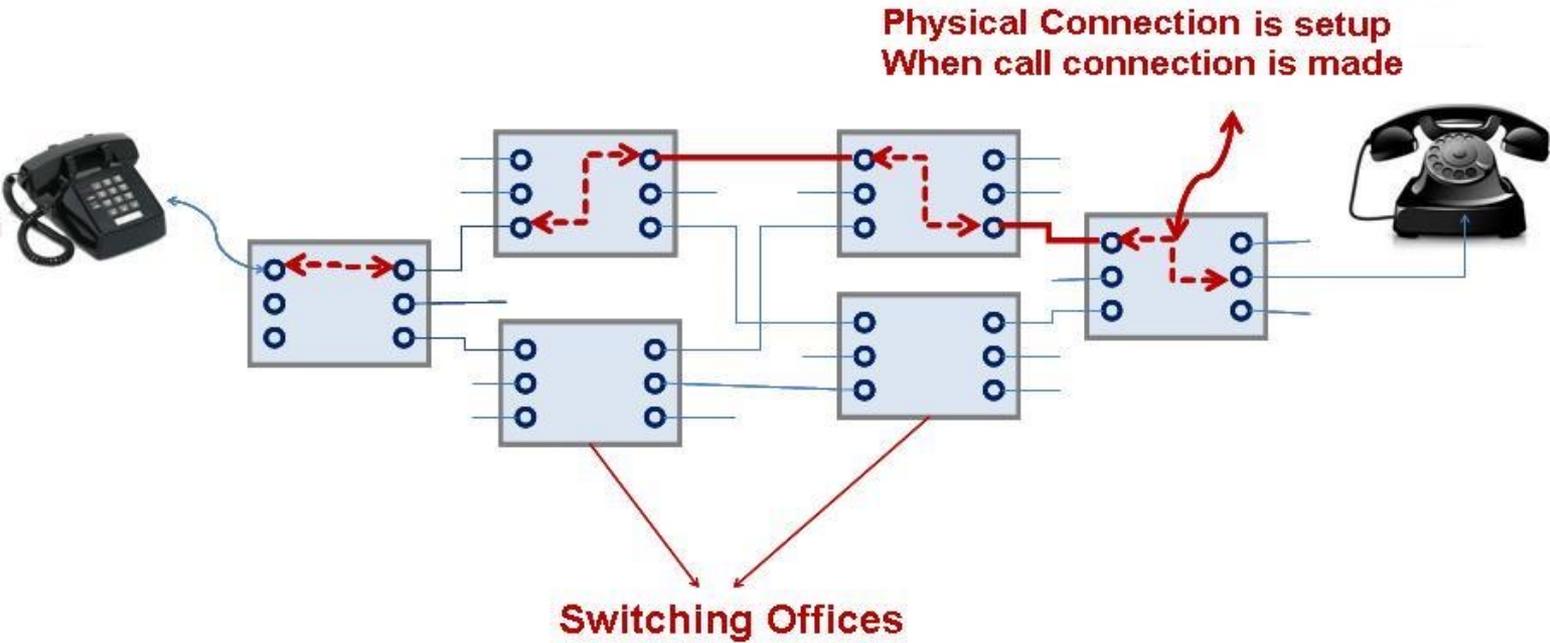


# 3.5.1 电路交换





# 3.5.1 电路交换



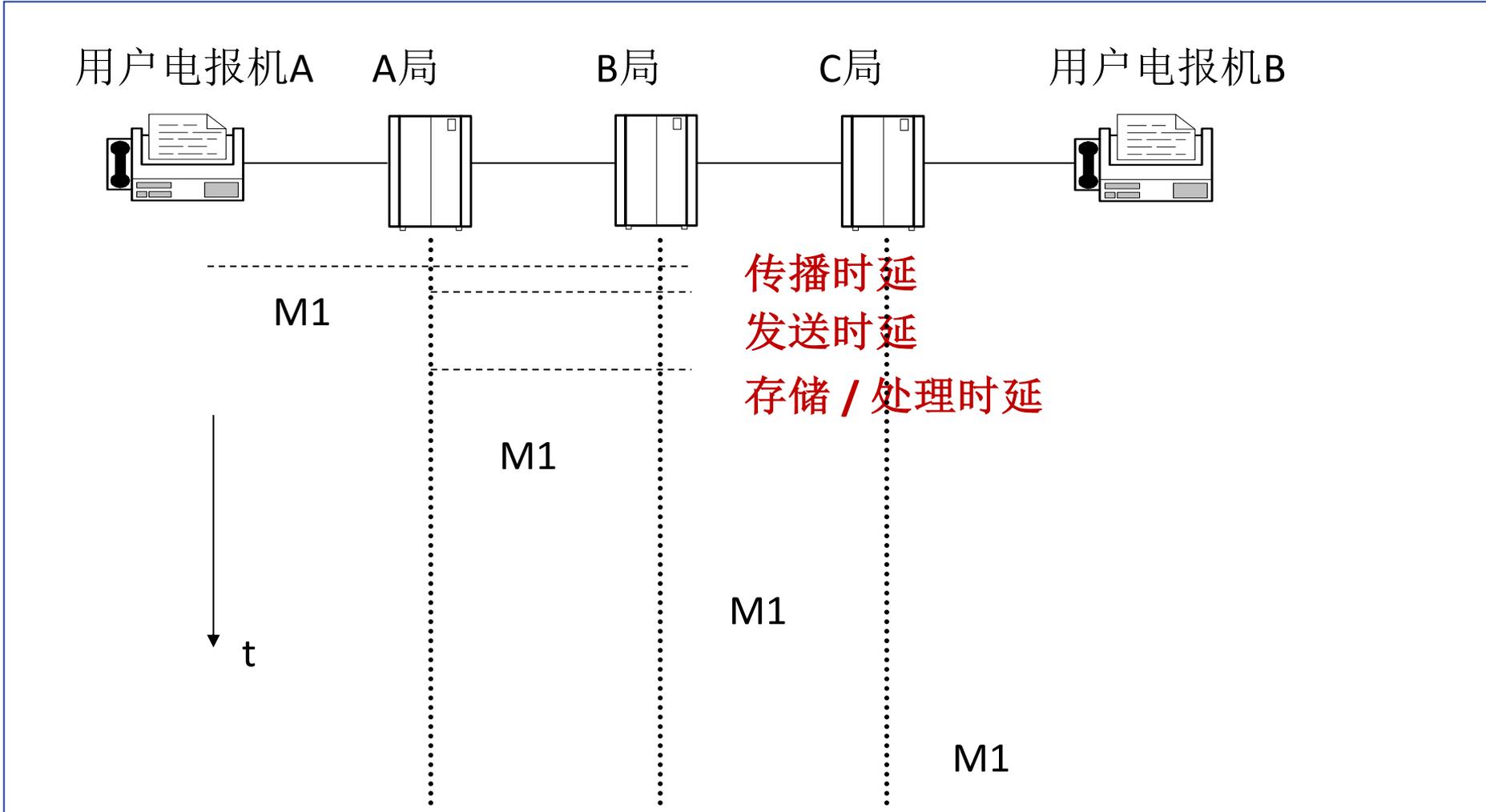
## 特点

### 3.5.1 电路交换

1. 电路交换是一种实时交换，适用于实时要求高的话音通信( 全程  $\leq 200$  ms )。
2. 在通信前要通过呼叫为主、被叫用户建立一条物理连接。如果呼叫请求数超过交换网的连接能力( 过负荷)，用户会听到忙音。衡量电话交换服务质量指标之一：呼叫损失率。
3. 电路交换是预分配带宽，话路接通后，即使无信息传送也白白占电路，据统计，传送话音时电路利用率仅为36%。
4. 在传送信息时，没有任何差错控制措施，不利于传输可靠性要求高的突发性数据业务。

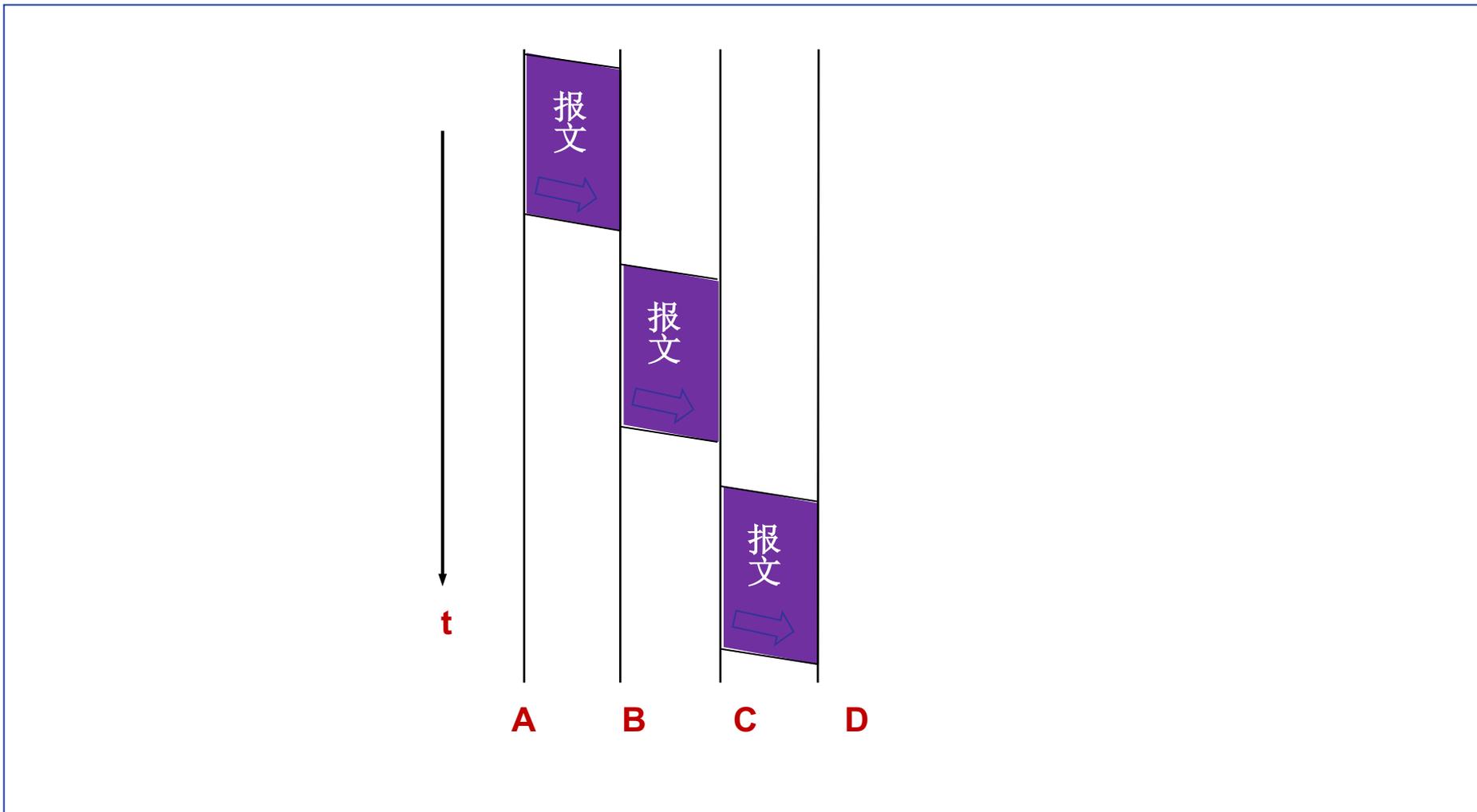


# 3.5.2 报文交换



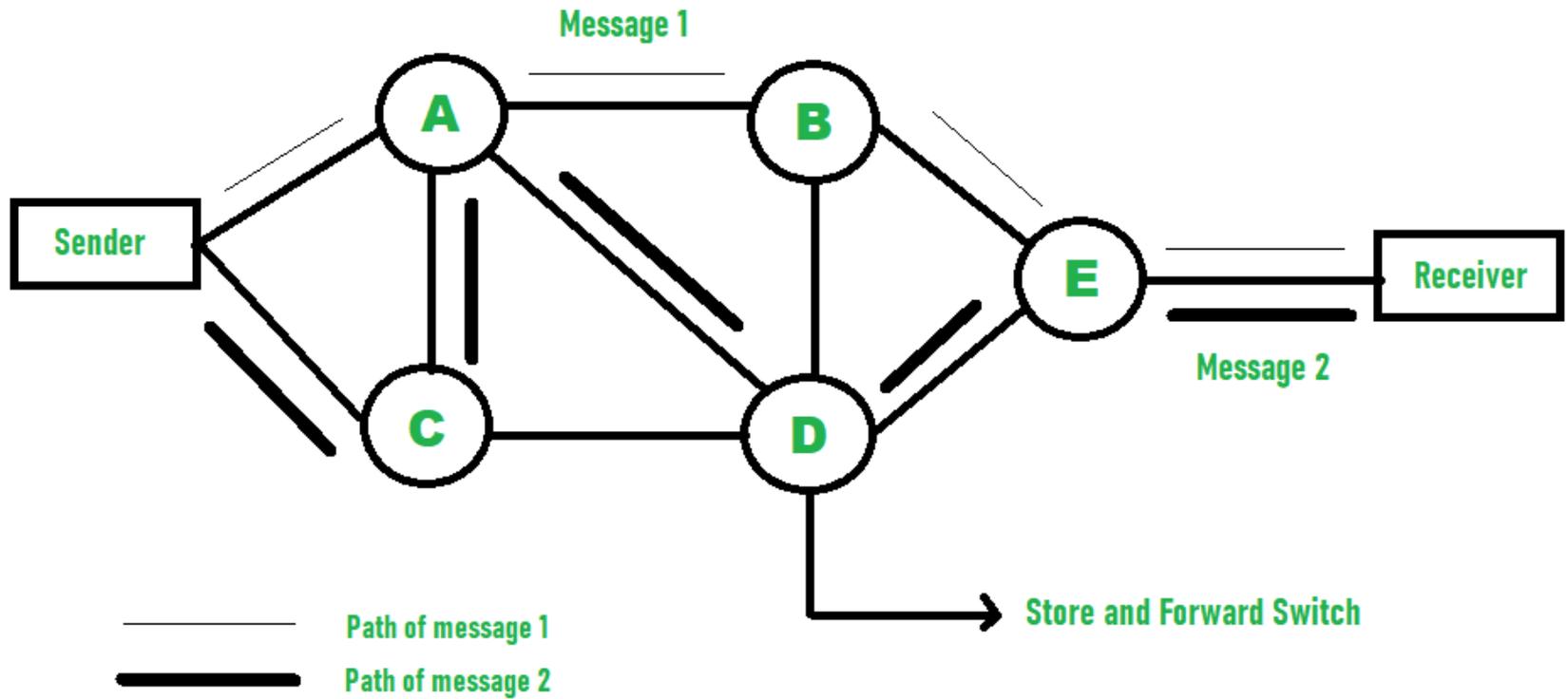


## 3.5.2 报文交换





# 3.5.2 报文交换



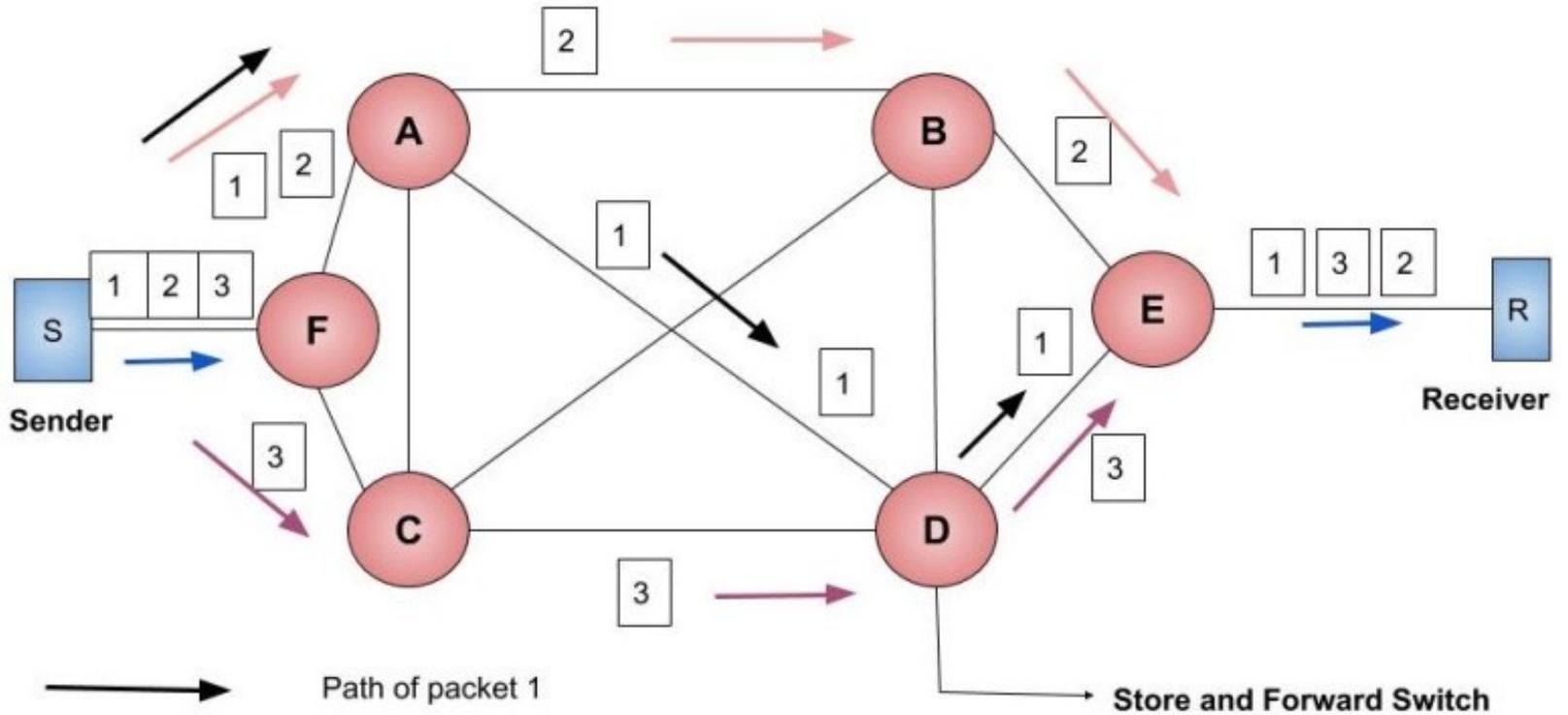
## 特点

## 3.5.2 报文交换

- (1) 交换节点采用**存储 - 转发方式**对每份报文**完整地**加以处理。
- (2) 每份报文中含有报头，包含收、发双方的地址，以便交换节点进行路由选择，可以一对多地传送报文。
- (3) 报文交换可进行速率、码型的变换，具有差错控制措施。
- (4) 存储 - 转发时延大，随机性也大，过负荷时将会导致报文延迟。



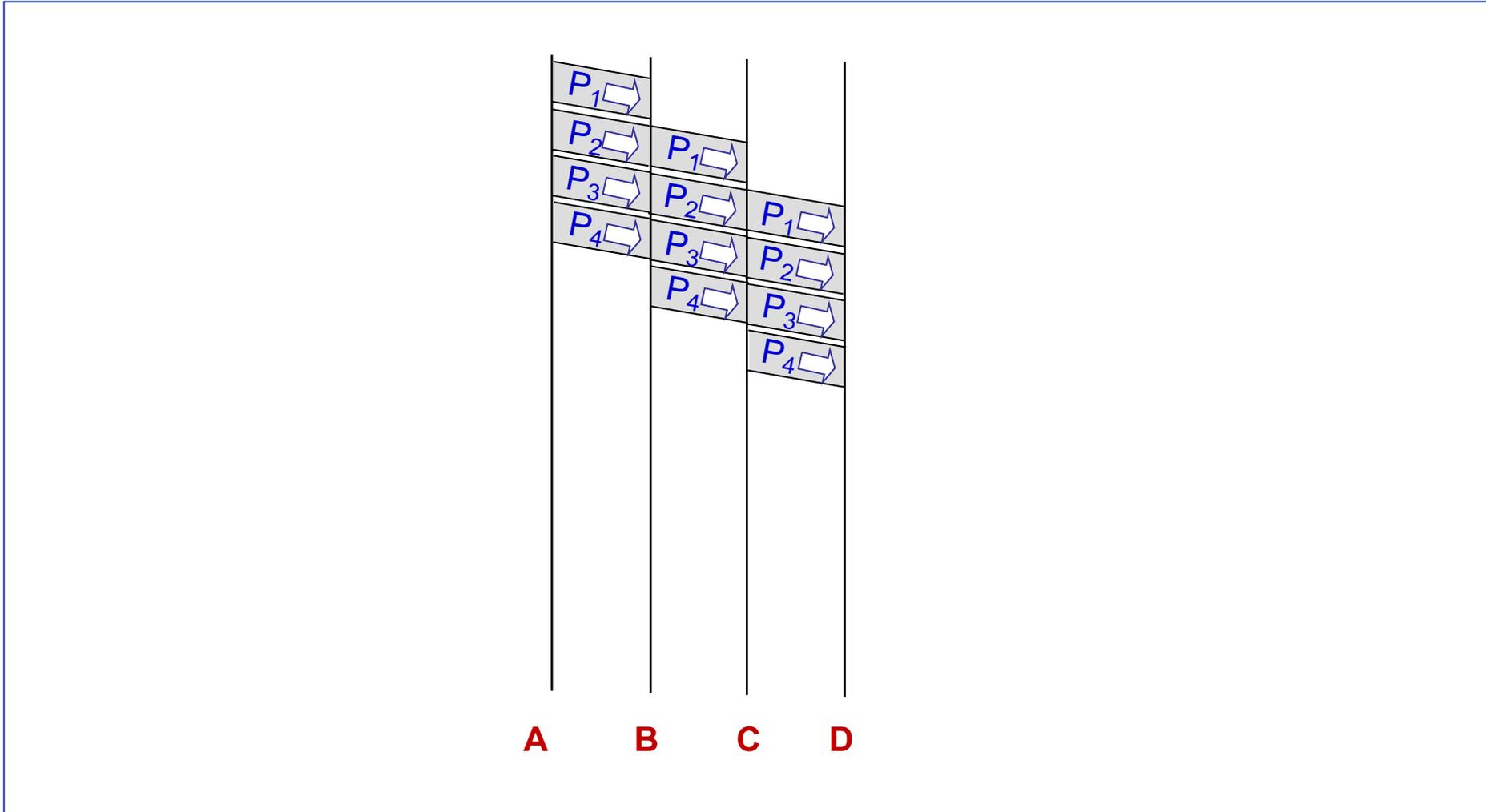
# 3.5.3 分组交换



Packet Switching



# 3.5.3 分组交换



## 特点

## 3.5.3 分组交换

- (1) 可实现**多路通信功能**。
- (2) 采用统计时分多路复用，提高了**线路利用率**。
- (3) 能够实现**不同类型**的数据终端设备（含有不同的传输速率、不同的编码、不同的通信控制规程等）之间的通信。
- (4) 数据传输质量高、可靠性高，可使用**优先级**。
- (5) 提高了链路利用率，经济性好。

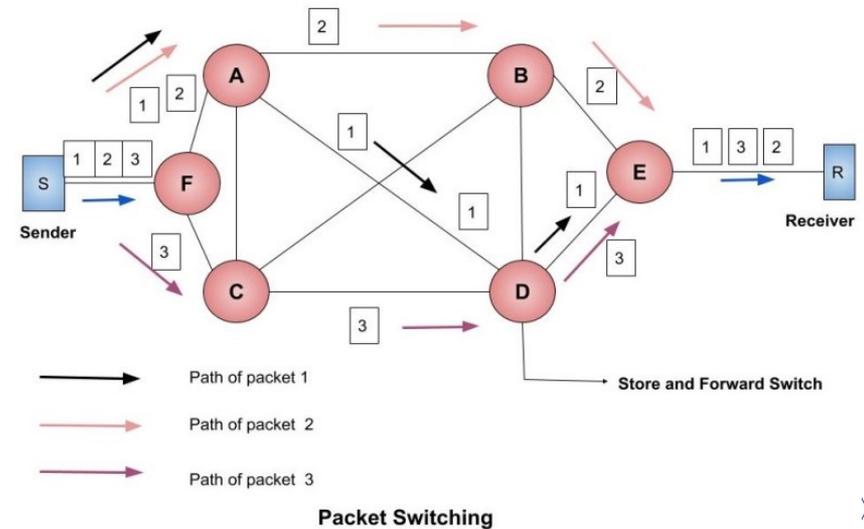
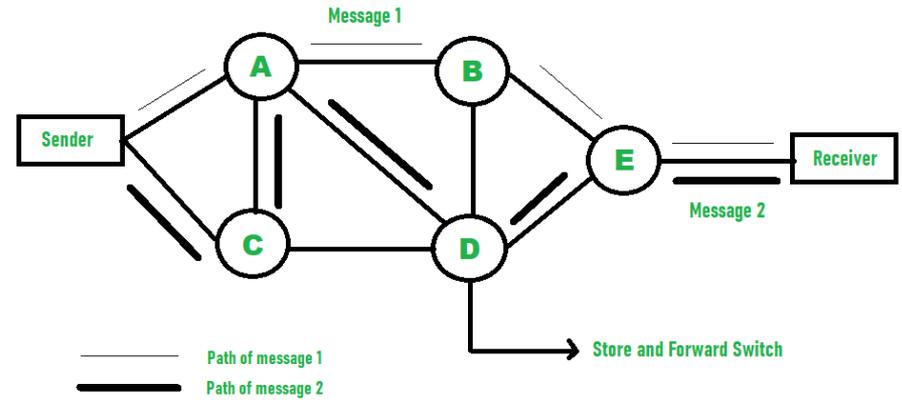
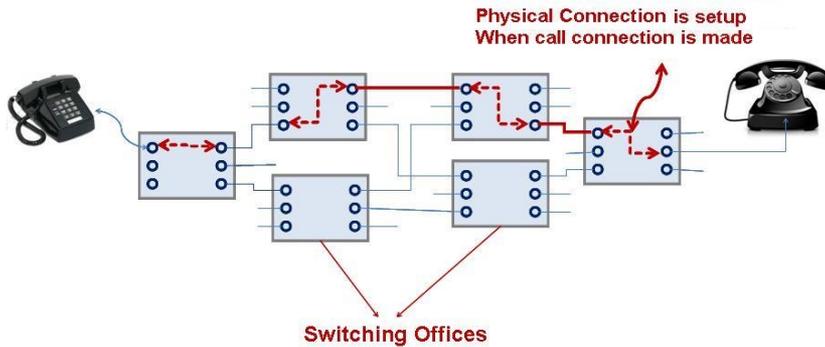
## 总结

## 3.5.3 分组交换

- 由于采用**存储—转发方式**处理分组，所以分组在网内的**平均时延**可达几百毫秒。
- 每个分组附加的分组标题，都会需要交换机分析处理，而**增加开销**，因此分组交换适宜于计算机通信的突发性或断续性业务的需求，而不适合于在实时性要求高、信息量大的环境中应用。
- 分组交换**技术比较复杂**，涉及到网络的流量控制、差错控制、编码、速率的变换方法和接口；网络的管理和控制的智能化等。



# 3.5.3 对比



# 电路交换 Vs 分组交换

对比的方面	电路交换	分组交换
时延	实时交换；时延及时延抖动小	存储转发，非实时交换。无法保障时延和时延抖动
带宽分配	固定分配带宽，利用率低	动态分配带宽，利用率高
可靠性	数据透明传输，可靠性不高	数据传输时有差错控制，可靠性高
抗毁性能	较差	较强
适合业务	电话业务，实时业务	突发业务、数据业务

# 过渡页

Transition Page



- 01** 数据通信的基本概念
- 02** 数据传输方式
- 03** 数据传送技术
- 04** 多路复用技术
- 05** 数据交换技术
- 06** 差错控制技术
- 07** 数据通信接口特性

# 物理层的基本概念



- 物理层是OSI参考模型中的最低一层，向下是与物理设备之间的接口，直接与传输介质相连接，使二进制数据位流通过该接口从一台设备传送给相邻的另一台设备；向上为数据链路层提供透明的比特流传输服务。
- 物理层接口不仅包括DTE - DCE之间的接口，也包括DCE - DCE之间的接口。



# 物理层协议



- 物理层通过执行建立物理连接和数据传输等功能向数据链路层提供服务。从物理链路的构成来看，物理层可处于多种环境之中，不同类型的和特性的物理链路由不同的物理层协议描述。
- 物理层协议与通信设备的接口特性密切相关，通信设备接口有**机械、电气、功能、规程**四个方面的特性。

# 通信接口特性



- 通信接口特性是指DTE（data terminal equipment）和DCE之间连接的物理特性。
- 这种连接特性与所选用的DCE类型、传输信道（模拟/数字）、通信方式（半双工/全双工）和通信速率有关。
- 物理层标准主要描述了通信接口的相关特性。包括**机械特性、电气特性、功能特性和规程特性**。

# 通信接口特性



- **机械特性**：指明接口所用接线器的形状和尺寸、引线数目和排列、固定和锁定装置等等。
- **电气特性**：指明在接口电缆的各条线上出现的电压的范围。
- **功能特性**：指明某条线上出现的某一电平的电压表示何种意义。
- **规程特性**：指明对于不同功能的各种可能事件的出现顺序和条件。

# 机械特性



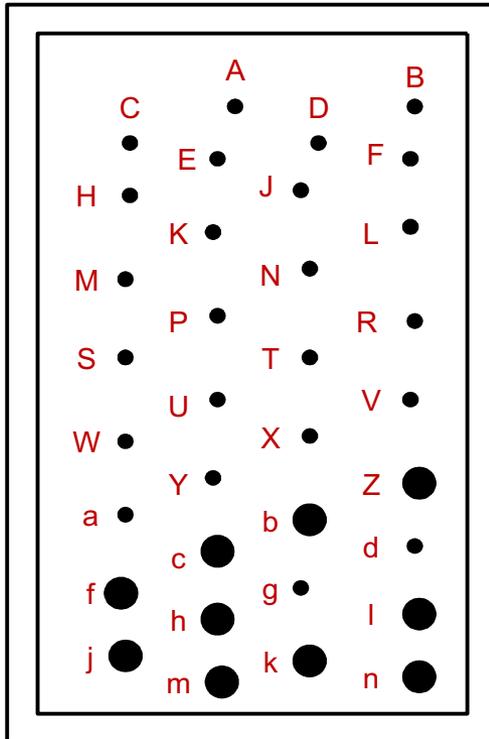
- **机械特性**描述接口接插件的插头、插座的规格、尺寸、几何形状，插针/插孔的数量与排列情况等。
- 机械特性主要使用ISO标准。

ISO 2110	25芯	(2排, 13/12)
ISO 2593	34芯	(4排, 9/8/9/8 )
ISO 4902	37芯	(2排, 19/18)
ISO 4903	15芯	(2排, 8/7)
	9 芯	(2排, 5/4)

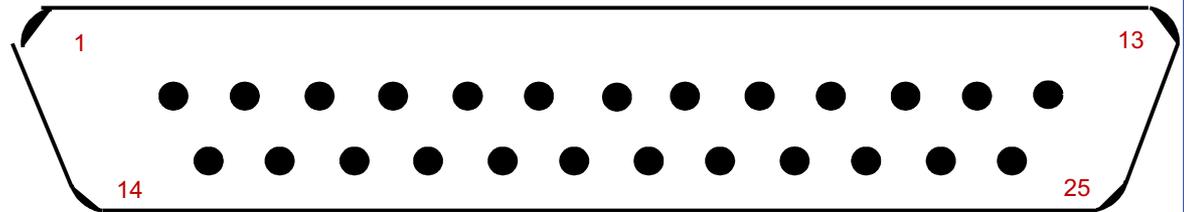
# 机械特性



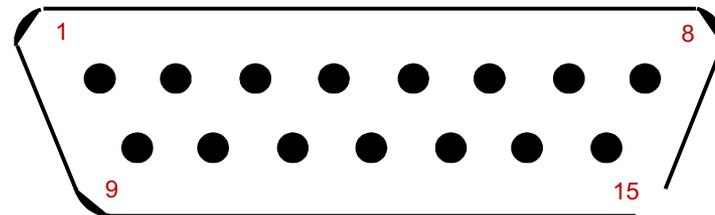
## V.35 接口 / ISO2593



## V.24接口 / RS-232 / ISO2110



## X.21接口 / ISO4903



# 电气特性



- **电气特性**描述通信接口的发信器（驱动器）和接收器的电气连接方法及其电气参数。
- 电气连接方法：不平衡型、半平衡型、平衡型
- 电气参数：电压（电流）值、单极性/双极性，等效电路和阻抗值、分布电容、信号上升时间等。

# 功能特性



- **功能特性**描述接口执行的功能，定义接插件的每一引脚的功能。
- 功能特性分为：**地线**（或公共回线），**数据**信号，**控制**信号，**定时**信号。
- 接口的功能名称是从DTE角度定义的，每个信号都有相应的流向。



# 功能特性



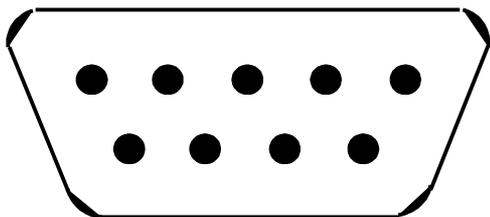
- 地线或公共回线
- 数据电路
  - 数据发送，数据接收
- 控制电路
  - 实现通信规程的控制和测试
- 定时电路
  - 发送定时，接收定时

# 功能特性

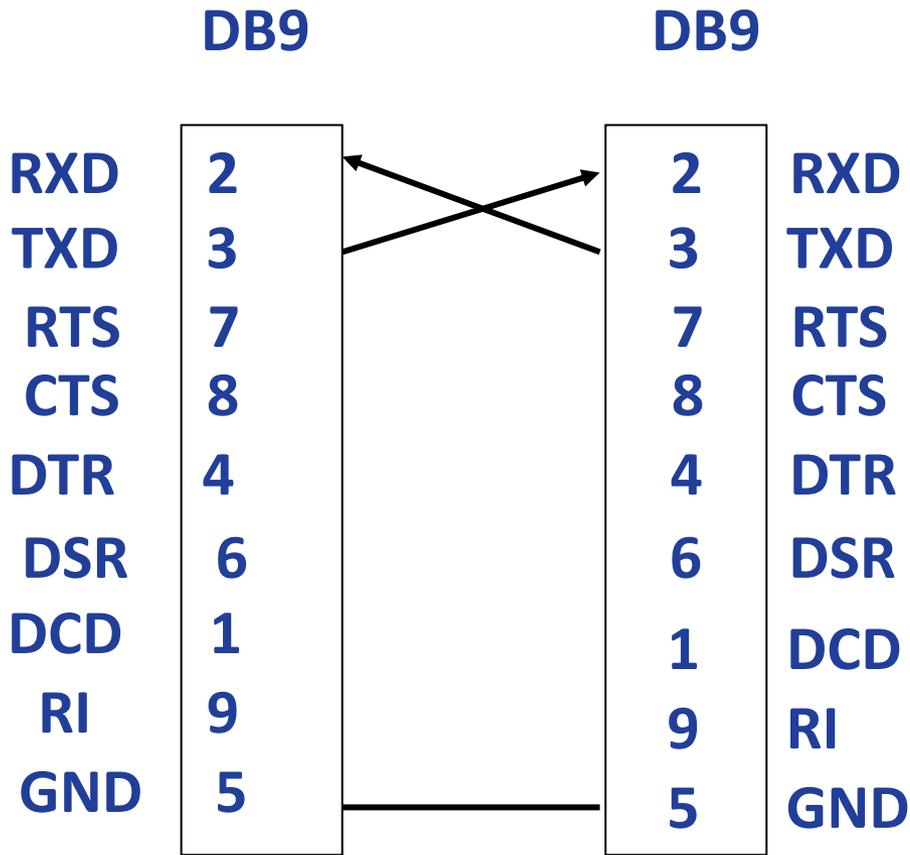


## 计算机常用接口

DB9



无联络线





# 规程特性



- **规程特性**描述接口上的传输事件与控制传输所需要执行的事件的顺序和条件。
- V系列接口由V.24建议描述其规程特性。
- X系列接口常使用X.20、X.21建议描述其规程特性，使用状态转移图说明通信过程。

# 其它通信接口标准



## EIA - RS - 232接口

- EIA - RS - 232：是美国电子工业协会制定的著名物理层通信接口标准。目前主要有C、D、E版本，但区别不大。
- RS - 232标准与 CCITT V.24/V.28建议的子集兼容，只是定义名称不同。
- 在 RS - 232标准中，DTE使用针型插头，DCE使用孔型插座。
- RS - 232使用 25芯或 9 芯连接器。

# 其它通信接口标准



## EIA - RS - 449接口

- EIA - RS - 449：为适应更高速率和性能而制定的接口标准。包括三个标准：
  - RS - 449：规定接口的机械特性、功能特性和规程特性，采用37引脚连接器。
  - RS - 423 - A：不平衡接口电气特性 (V.10)
  - RS - 422 - A：平衡接口电气特性 (V.11)

# Thank You

H a v e   A   N i c e   D a y

---

**南京邮电大学计算机学院**

“计算机通信与网络” 国家精品课程组

---