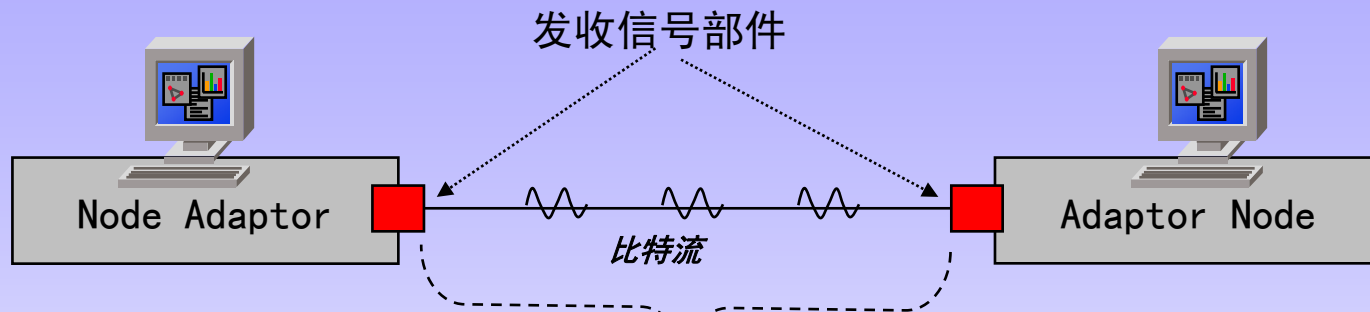


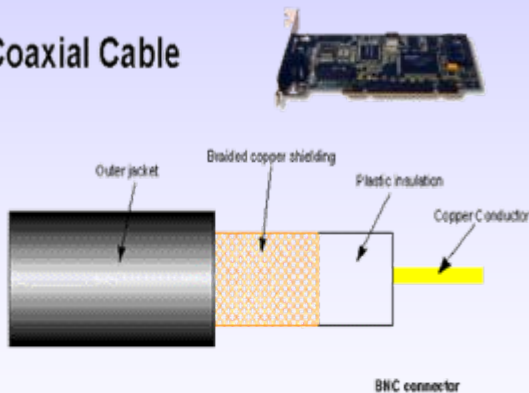
# 1.2 传输网络的基本理论与技术

- ◆ 直接链路互连
- ◆ 编码与成帧
- ◆ 信道共享
- ◆ 数据交换
- ◆ 差错控制

# 点到点直接链路技术



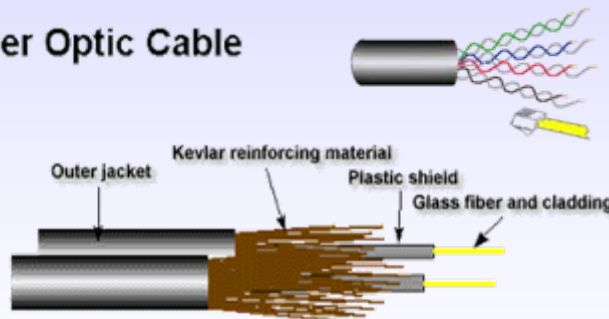
## Coaxial Cable



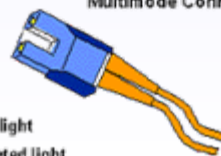
Speed and throughput: 10 - 100Mbps  
 Average \$ per node: Inexpensive  
 Media and connector size: Medium  
 Maximum cable length: 500 m (medium)



## Fiber Optic Cable



Speed and throughput: 100+ Mbps  
 Average \$ per node: Most Expensive  
 Media and connector size: Small  
 Maximum cable length: up to 2 Km  
 Single mode: One stream of laser-generated light  
 Multimode: Multiple streams of LED-generated light



Use this graphic to answer questions 5, 6, and 7



Coaxial



Fiber-optic

Unshielded Twisted Pair



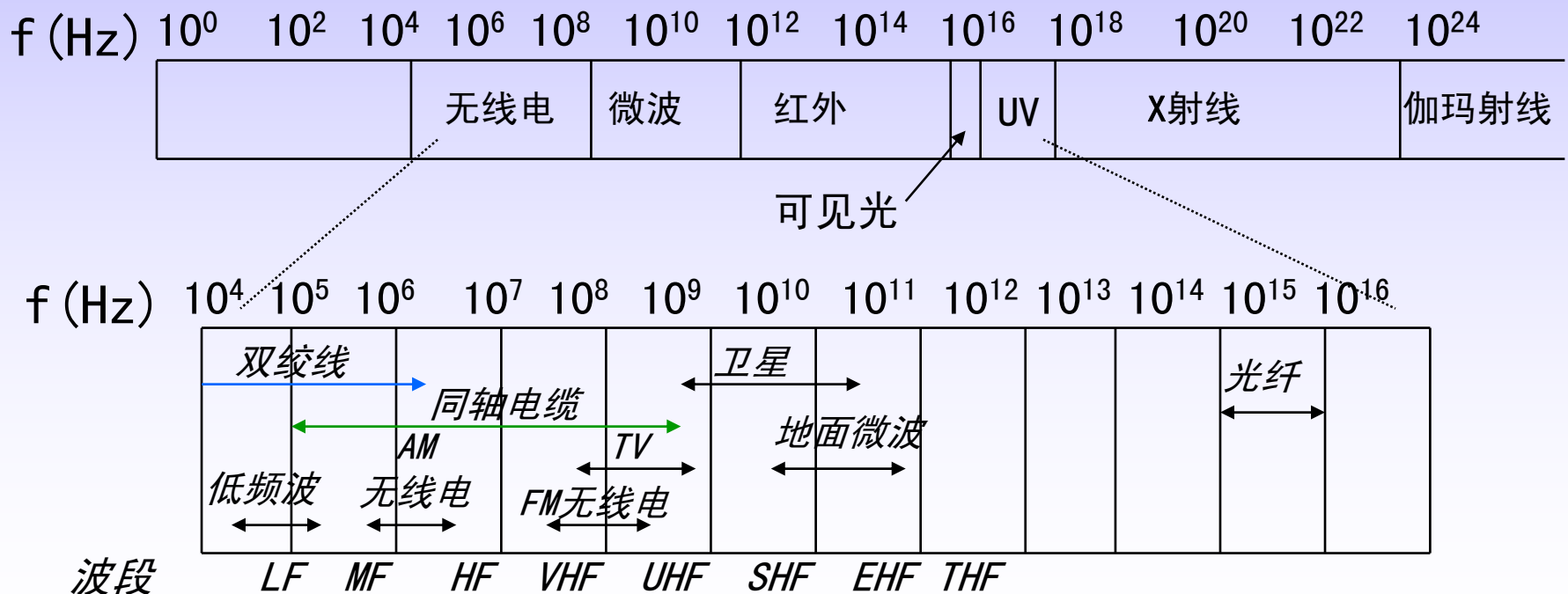
Various types of network media.

# 电磁波谱与媒介

## ◆ 传输媒介:

- 导向媒介: 电磁波被固体媒体导向传播 (金属线或光纤)
- 非导向媒体: 自由空间球面传播, 常称为无线传输

◆ 微分  $\lambda f = c \rightarrow df/d\lambda = -c/\lambda^2 \rightarrow \Delta f = -c \Delta \lambda / \lambda^2$   
( $c=3 \times 10^8 \text{m/s}$ )



# 电信提供的公用带宽

线路速率 Mbps	SONET 符号	ITU-T SDH 符号	速率 近似值
51.840	OC-1/STS-1	STM-0	
155.520	OC-3/STS-3	STM-1	155Mbps
466.560	OC-9/STS-9	STM-3	
622.080	OC-12/STS-12	STM-4	622Mbps
933.120	OC-18/STS-18	STM-6	
1244.160	OC-24/STS-24	STM-8	
1866.240	OC-36/STS-36	STM-12	
2488.320	OC-48/STS-48	STM-16	2.5Gbps
4876.460	OC-96/STS-96	STM-32	
9953.280	OC-192/STS-192	STM-64	10Gbps

*OC: Optical Carrier; SDH: Synchronous Digital Hierarchy*  
*STS: Synchronous Transport Signal*

# 连接到家庭的可用服务

服 务	带 宽
POST	28.8—56kbps
ISDN	64—128kbps
xDSL	16k—52.2Mbps
CATV	20—40Mbps

# 点到多点无线链路

## ◆ 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：
  - ☞ 无需物理有线连接，适用于长距离或不便布线场合
  - ☞ 易受干扰，反射，为障碍物所阻隔
- 主要类型：
  - ☞ 红外线、无线电、短波
  - ☞ 地面微波
  - ☞ 通信卫星

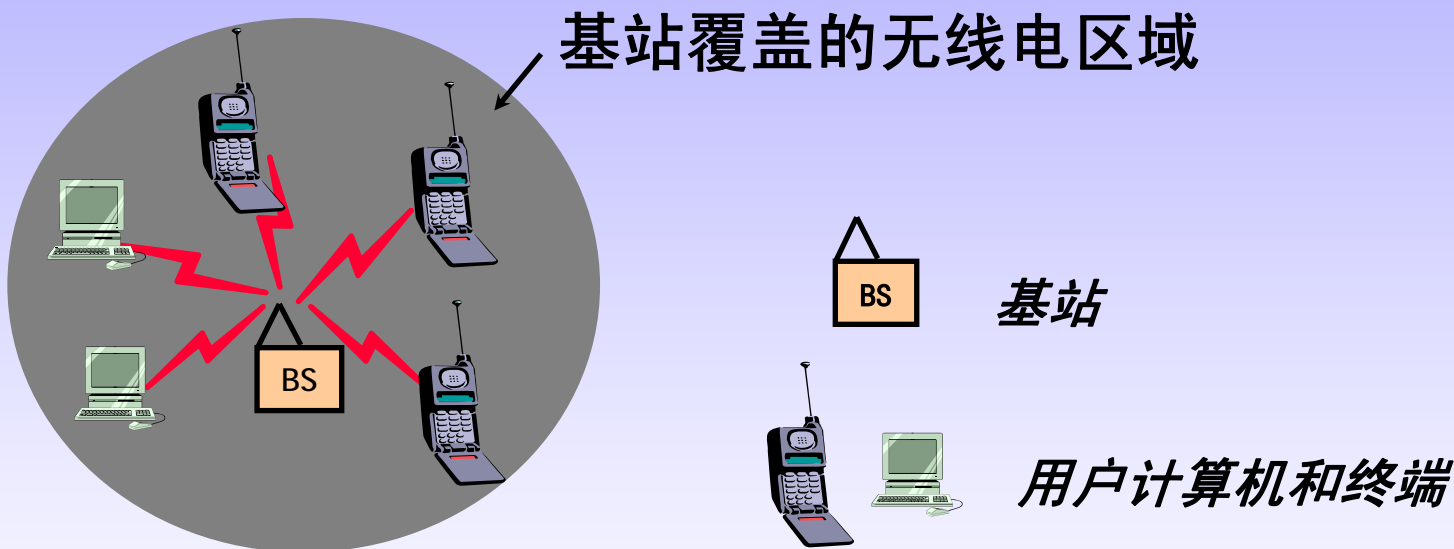
◆ 无线短波  $f \leq 100\text{MHz}$  靠电离层反射质量差，数传率低  $\times 10^1 - \times 10^3 \text{bps}$

◆ 无线微波  $300\text{M} \leq f \leq 300\text{GHz}$ ，主要2-40G直线转播，主要有地面接力和卫星通信，一般50Km, 100m天线塔时可达100Km

◆ 卫星通信：用36000Km高空同步卫星作中继转发，跨度18000Km覆盖1/3地表，数传率50Mbps, 上行5.925--6.425GHz, 下行3.7--4.2GHz，频宽500M。

# ◆ 无线电

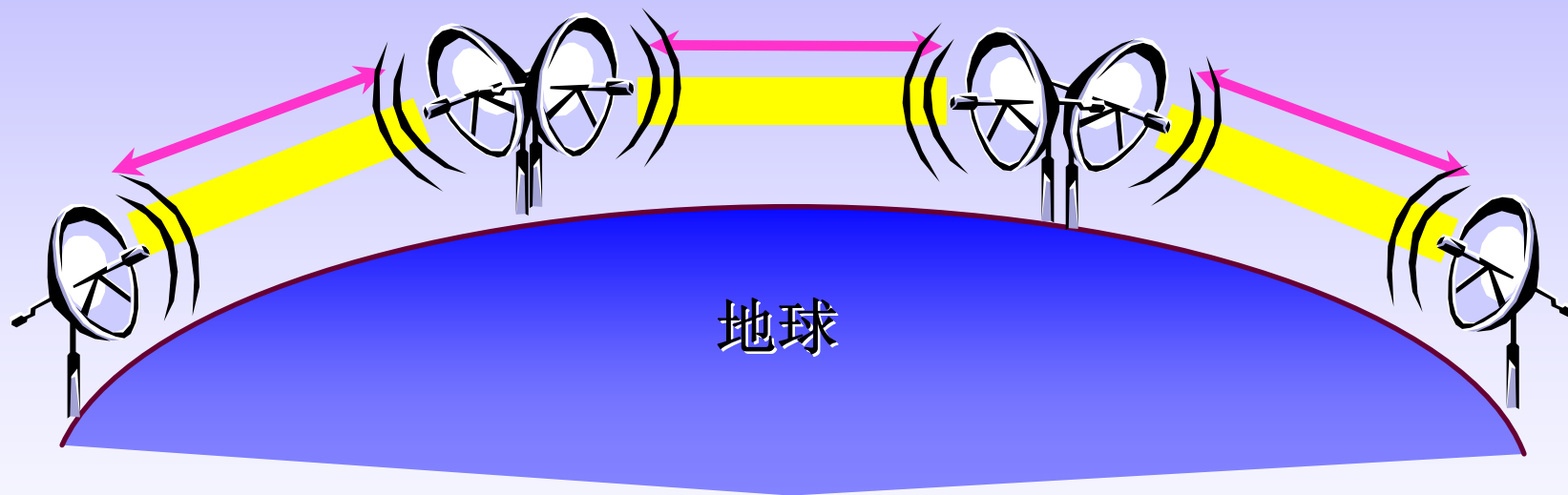
- 基站与终端之间通信采用无线链路
- 应用领域：移动通信、无线局域网（WLAN）



- Bluetooth: 2.45GHz, 10m距离1Mbps, 可用于工作站、打印机、手机、便携和投影仪等的近距离连接

## ◆地面微波

- 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



地面站之间的直视线路

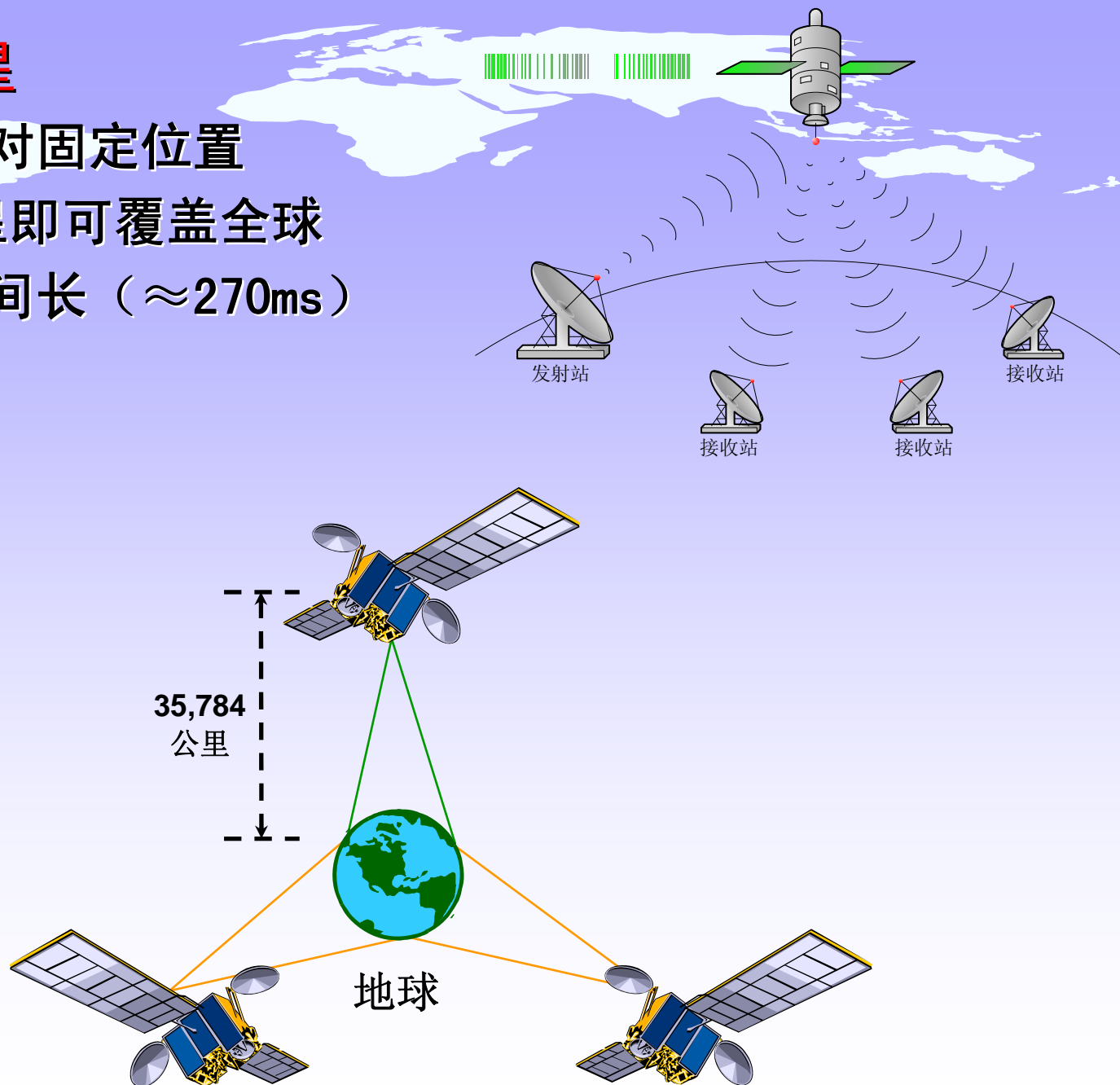


微波传送塔



# ◆ 地球同步卫星

- 与地面站相对固定位置
- 使用3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



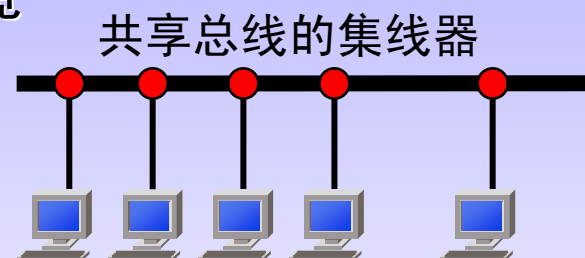
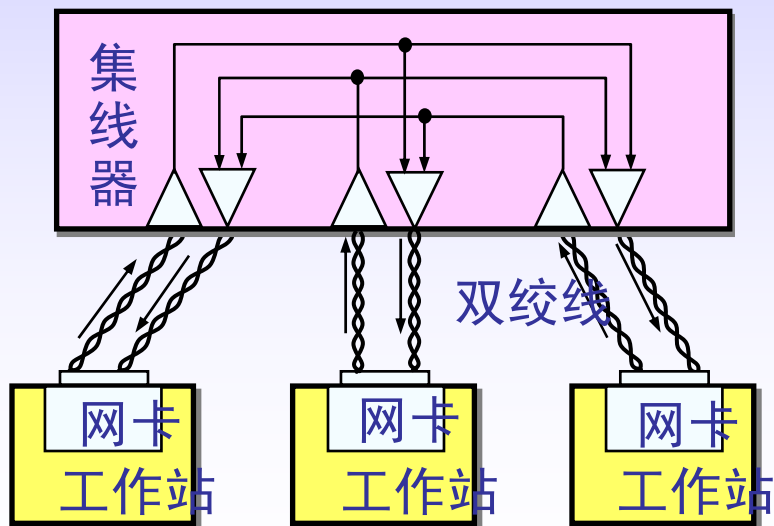
# 点到多点以太总线

## ◆ 集线器（HUB）

- 总线共享，线障隔离，使用方便
- 带宽受限，广播风暴，单工传输，通信效率低

## ◆ 交换机（Switch）

- 目的：减少冲突；隔离广播；构成VLAN；独立带宽
- 实现方法
  - ☞ 直接交换方式
  - ☞ 存储转发方式
  - ☞ 改进直接交换方式。



# 信号与编码技术

## ◆ 信号：表示信息的物理量

- 模拟信号：一组特别的数据点之间及所有可能点之间都是连续的信号
- 数字信号：离散点构成的信号

## ◆ 为什么要编码？

- 克服信号传输中遇到的能量损耗、变形、携带信息量、有效高效接收识别等问题

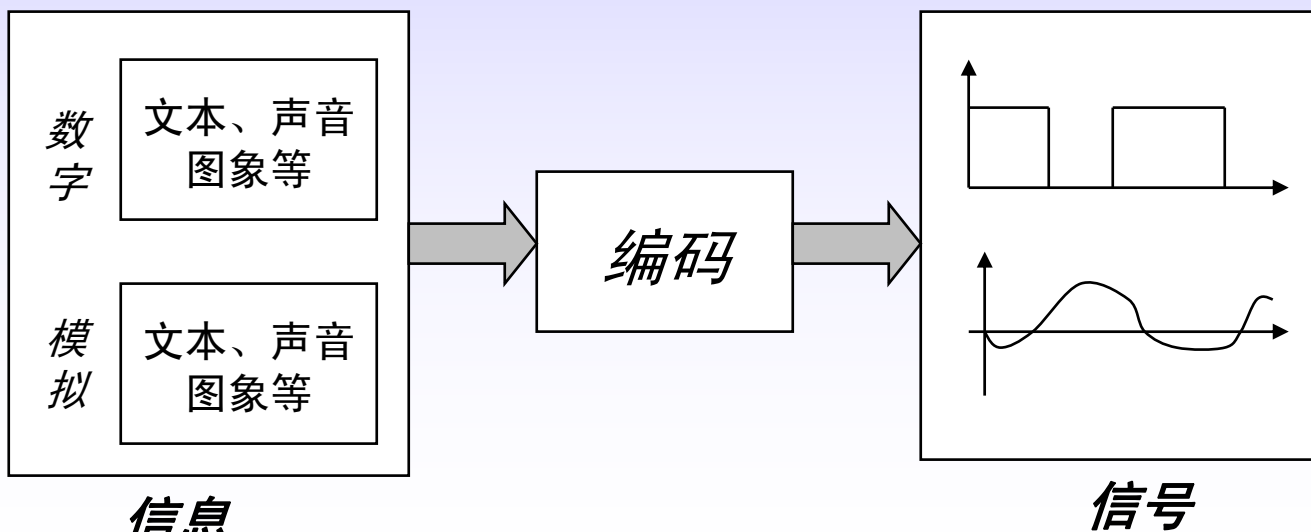
## ◆ 信号的物理层编码

- 模拟→模拟；
- 模拟→数字；
- 数字→数字；
- 数字→模拟。

## ◆ 比特的逻辑层编码

- 4B/5B
- 8B/10B
- 64B/66B

◆ **调制：**用各种电量（幅度、频率和相位）及其组合形式来标示和携带数据信息的过程



# 信号的理论基础

## ◆ 傅立叶变换

- 任何正常周期为  $T = 1/f$  的函数  $g(t)$  都可写成

$$g(t) = c/2 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin 2\pi nft + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos 2\pi nft$$

即已知  $T$ 、振幅  $a_n$  和  $b_n$  可得时间函数  $g(t)$ ； $f=1/T$

- 可把持续时间有限的0到T的数据信号（所有信号都如此）**想象成重复该模式**， $0-T=T-2T$ 任何  $g(t)$ ，对上式两边同乘  $\sin(2\pi nft)$ ，或  $\cos(2\pi nft)$  后从  $0-T$  积分可得振幅  $a_n$  或  $b_n$
- 传输字符“b”的8bit **01100010** 的电压信号，此信号的Fourier系数为

$$a_n = 2/T \int_0^T g(t) \sin(2\pi nft) dt$$

$$a_n = \frac{1}{n\pi} \left\{ \cos \frac{n\pi}{4} - \cos \frac{3n\pi}{4} + \cos \frac{6n\pi}{4} - \cos \frac{7n\pi}{4} \right\}$$

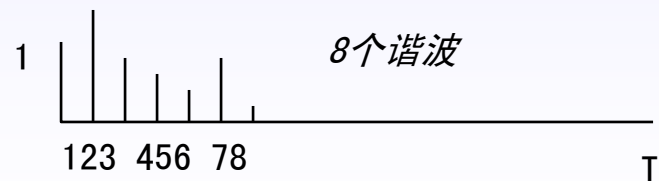
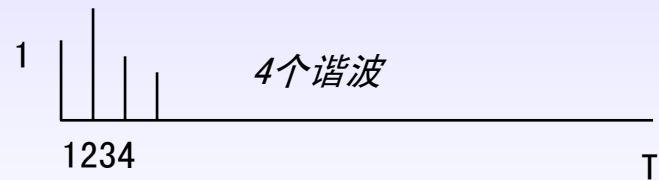
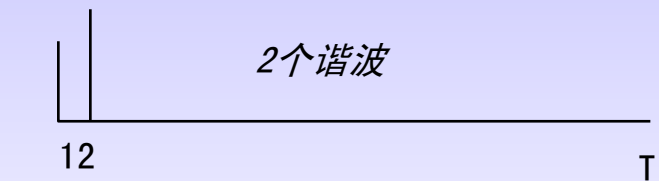
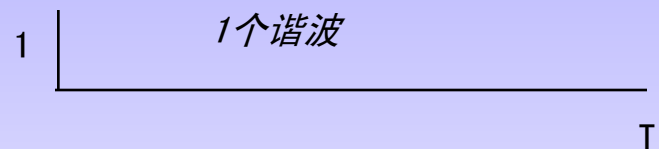
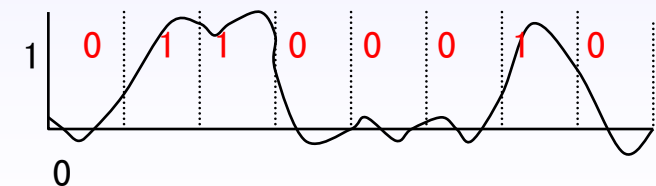
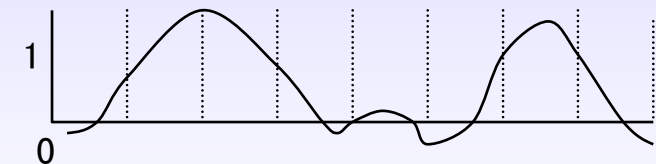
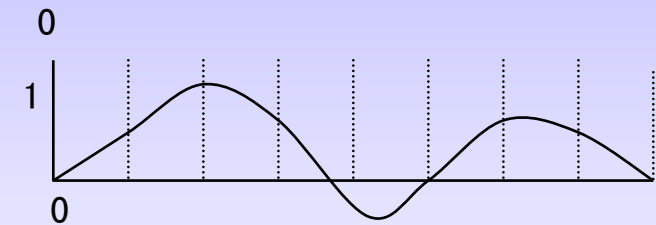
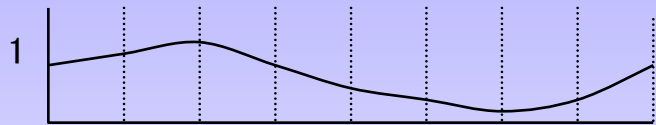
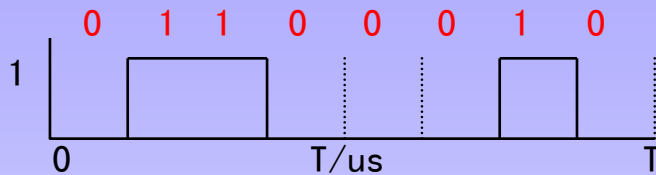
$$b_n = 2/T \int_0^T g(t) \cos(2\pi nft) dt$$

$$b_n = \frac{1}{n\pi} \left\{ \sin \frac{3n\pi}{4} - \sin \frac{n\pi}{4} + \sin \frac{7n\pi}{4} - \cos \frac{6n\pi}{4} \right\}$$

$$c = 2/T \int_0^T g(t) dt$$

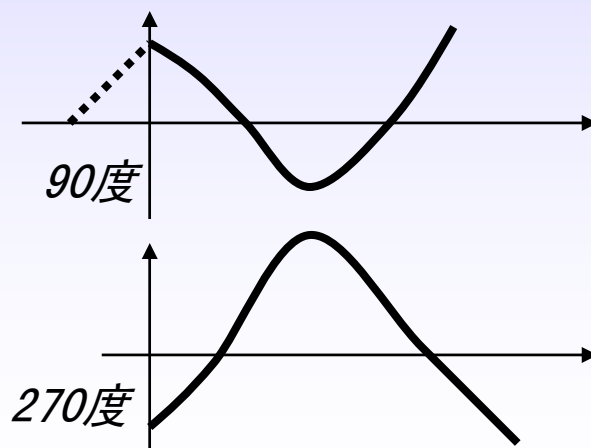
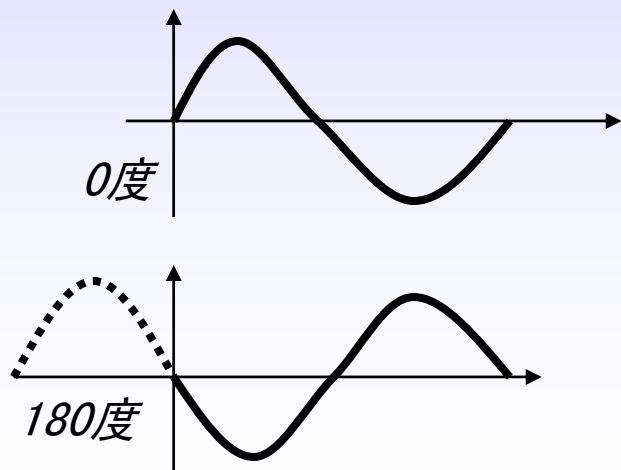
$$c = \frac{3}{8}$$

# 低次谐波幅度的 $\sqrt{a_n^2 + b_n^2}$

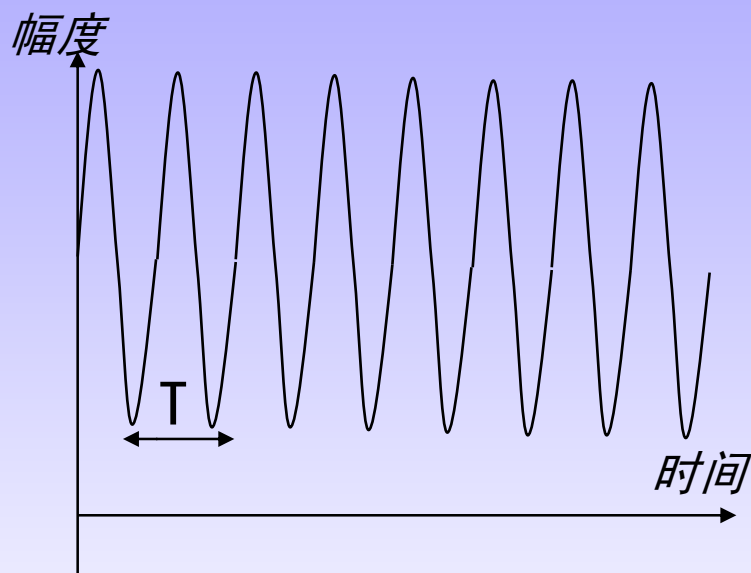


# 模拟信号的周期、频率和相位

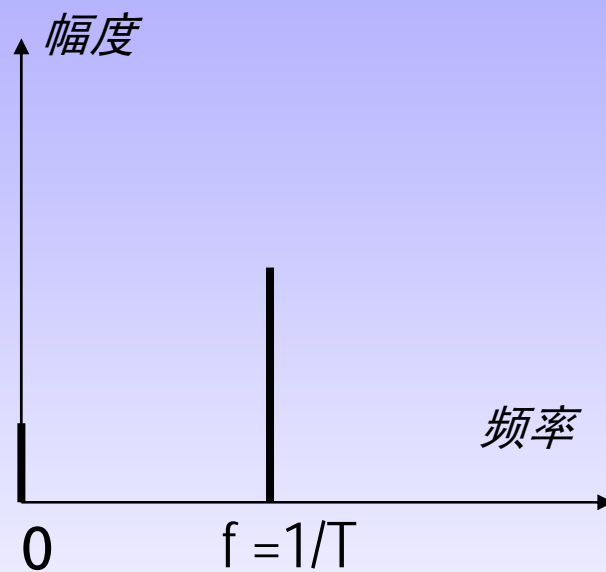
频率		周期	
单位	值	单位	值
<b>Hertz(Hz)</b>	1Hz	秒	1s
<b>Kilohertz(KHz)</b>	$10^3\text{Hz}$	毫秒	$10^{-3}\text{s}$
<b>Megahertz(MHz)</b>	$10^6\text{Hz}$	微秒	$10^{-6}\text{s}$
<b>Gigahertz(GHz)</b>	$10^9\text{Hz}$	纳秒	$10^{-9}\text{s}$
<b>Terahertz(THz)</b>	$10^{12}\text{Hz}$	皮秒	$10^{-12}\text{s}$



# 时域和频域



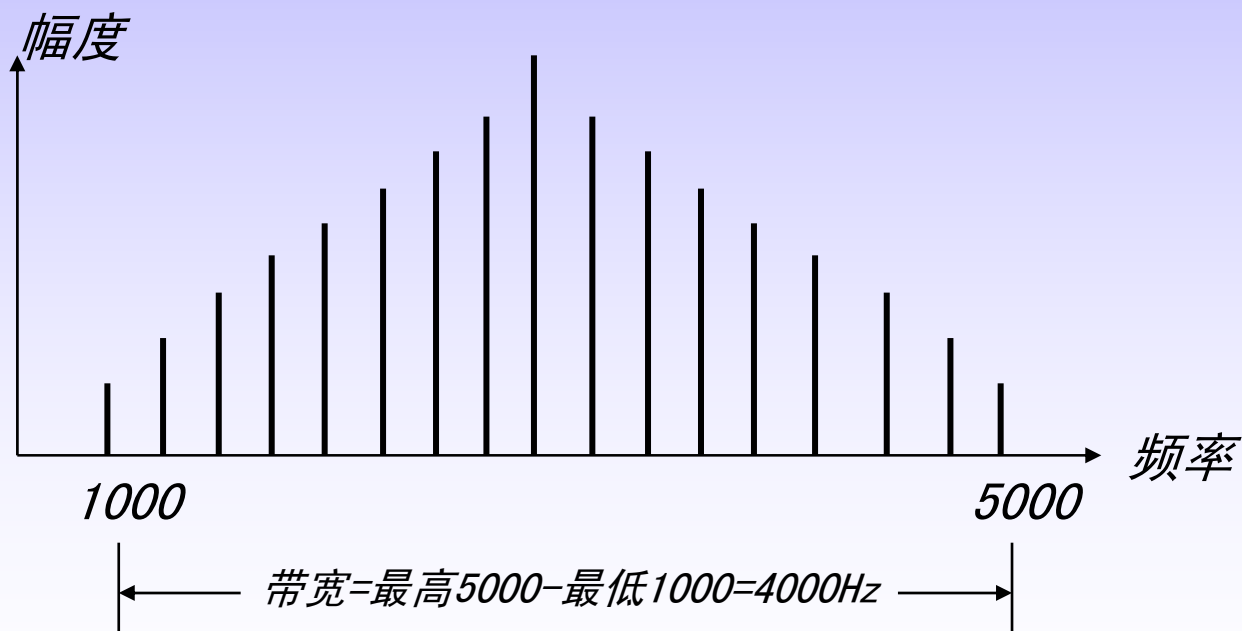
时域



频域

# 频谱和带宽

- ◆ 信号频谱：信号的频域图中包含的正旋频率集
- ◆ 信号带宽：信号频谱的宽度或频率构成的范围

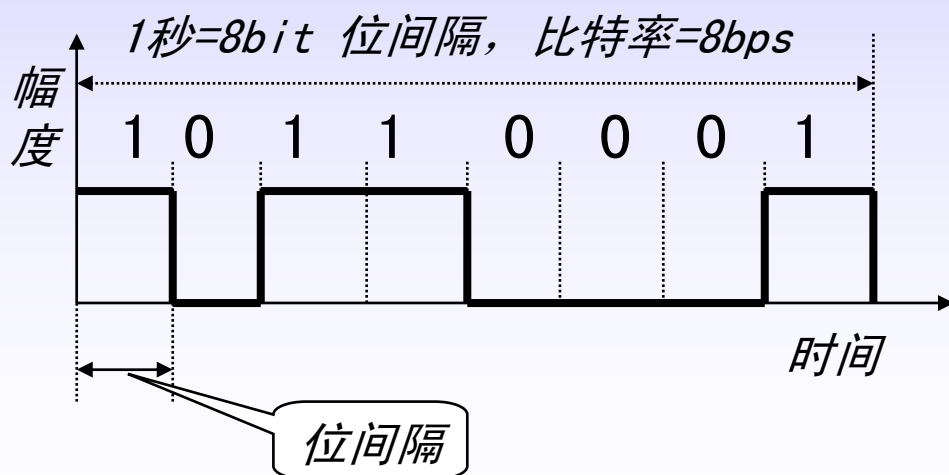




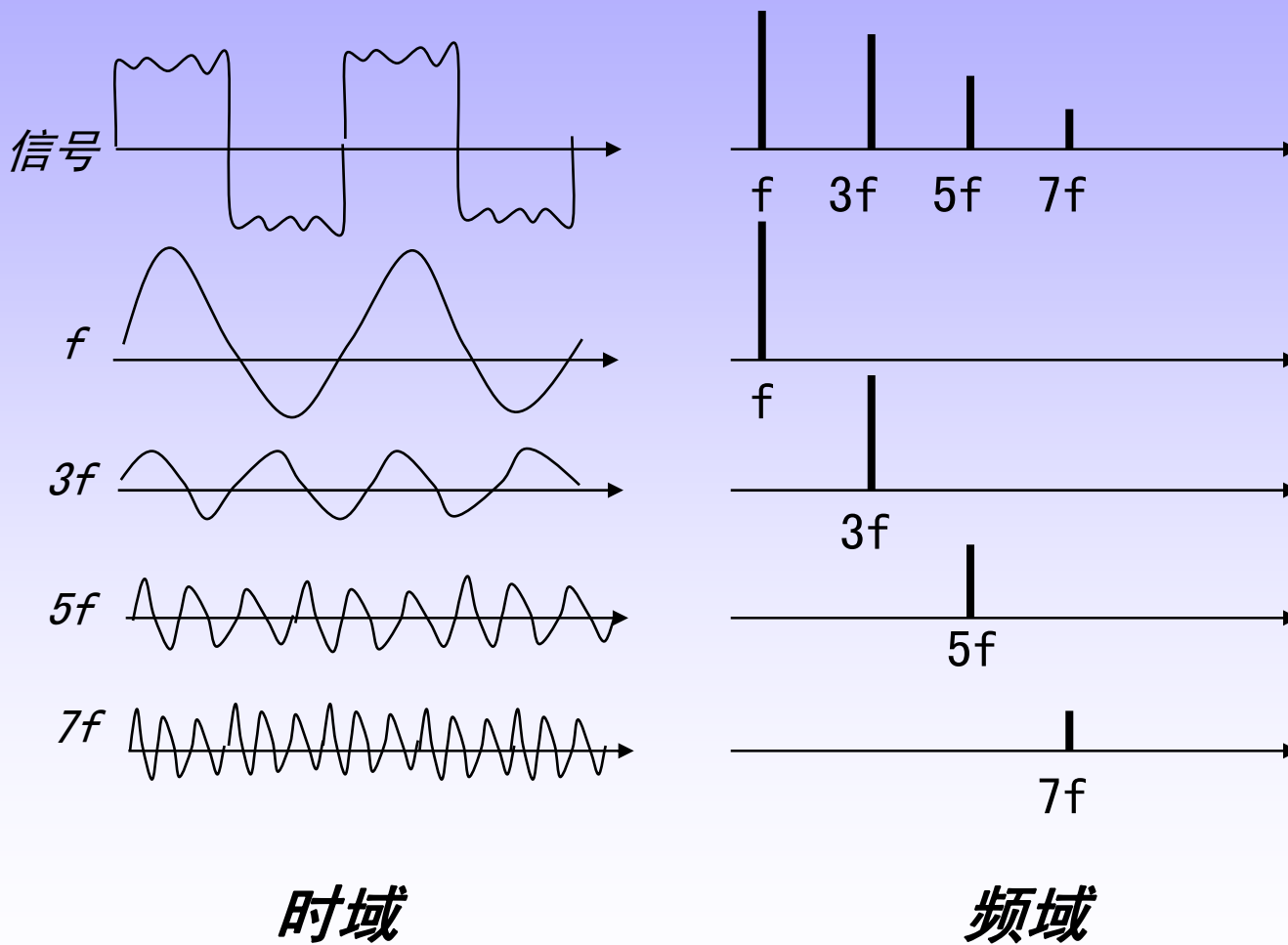
# 数字信号的周期、频率和相位

## ◆位间隔和比特率

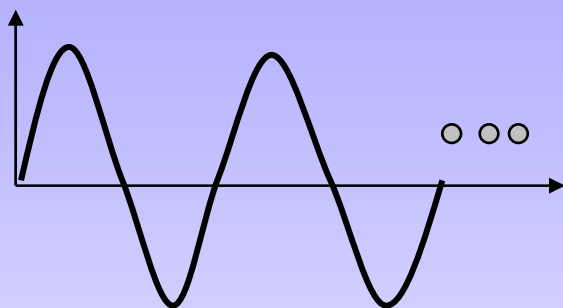
- 位间隔：发送1比特信号所需要的时间或数字信号的周期
- 比特率：每秒的位间隔数或每秒比特数



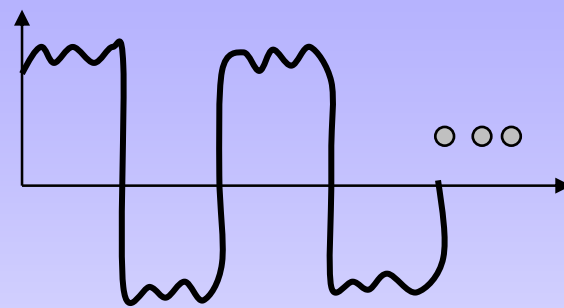
# 时域和频域



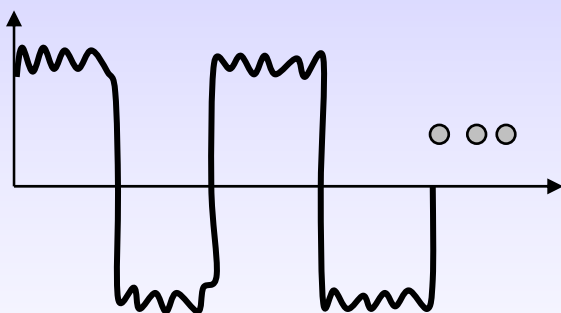
# 数字信号的频谱



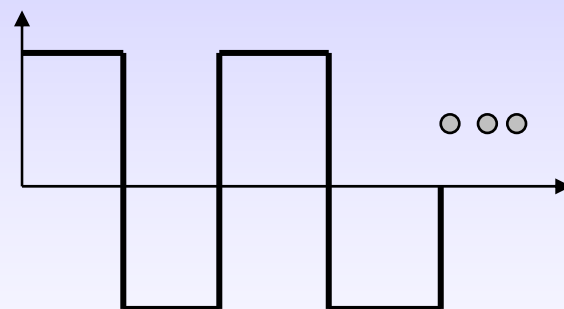
仅有1次谐波



有1、3、5次谐波

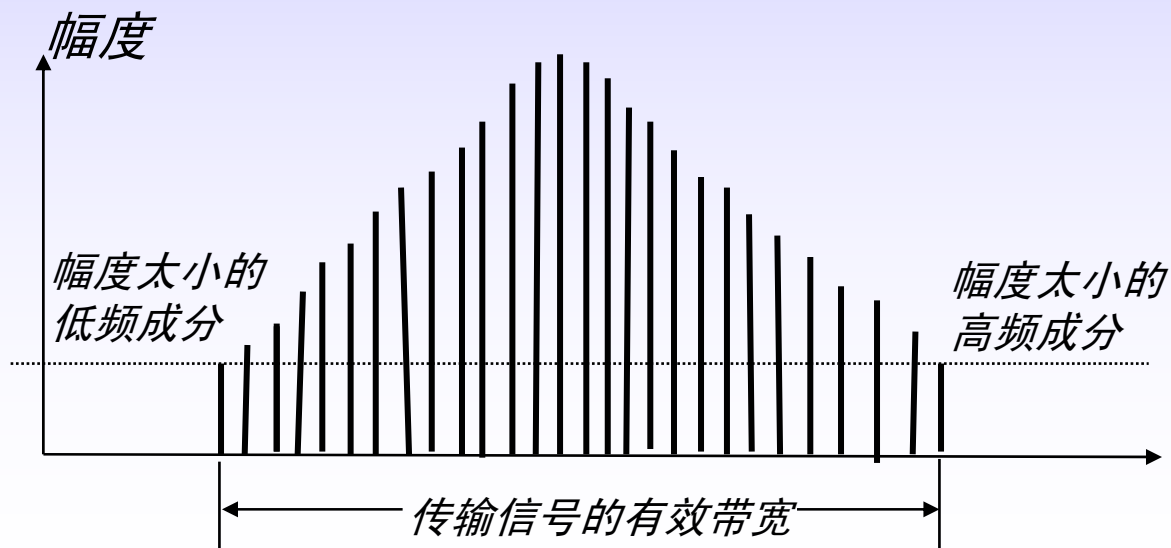
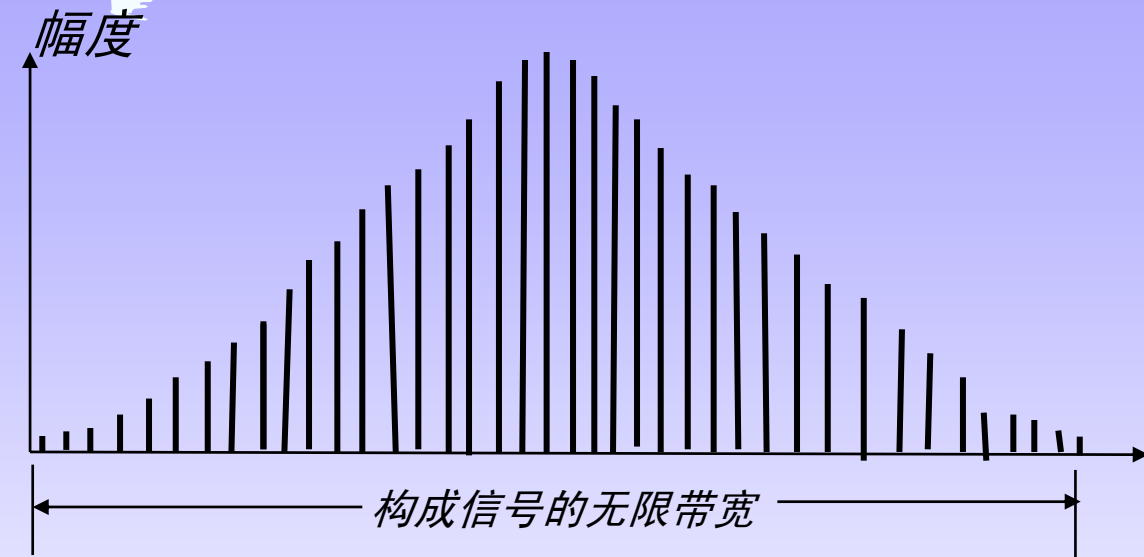


有1、3、5、7次谐波



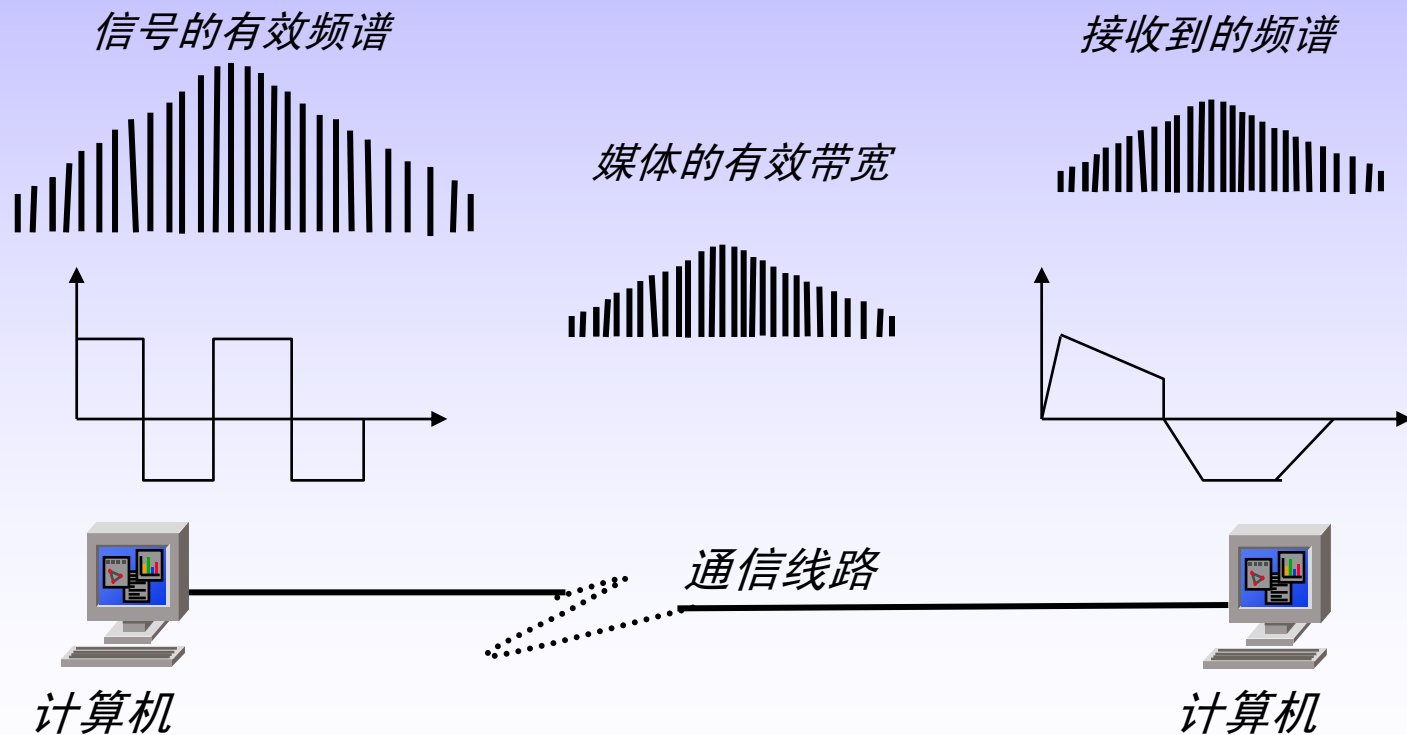
有无限次谐波

# 无限带宽和有效带宽



# 媒体带宽和信号带宽

- ◆ 传输媒体有一个有限带宽，即仅能传输某一范围内的频率



# 载体带宽和数据率：信道容量

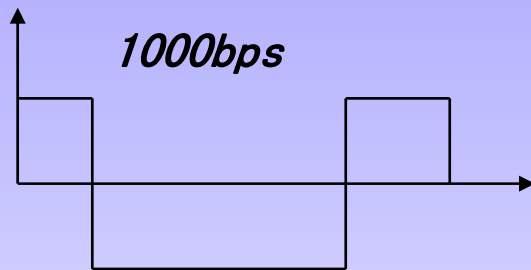
## ◆ 比特率与信号带宽的关系

- 信号的有效带宽随比特率的增加而增加。即当比特率增加时，信号要有更宽的带宽，同时需要传输载体也有更宽的带宽。故媒体的带宽成了比特率的限制
- 若1000bps对应 200Hz；则2000bps对应400Hz

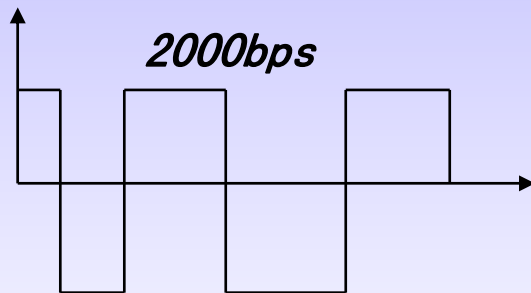
## ◆ 载体的（信道）容量：

- 媒体能够传输的最大比特率
- 容量取决于编码技术和信/噪比（载体的物理特性）

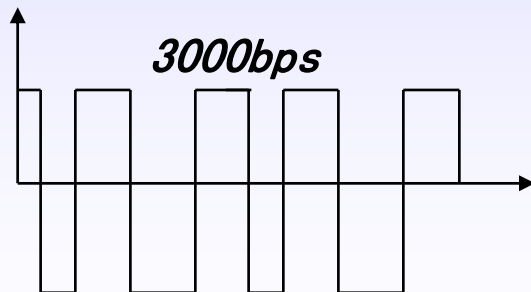
# 比特率与带宽的关系



带宽=  $x$  Hz



带宽=  $2x$  Hz



带宽=  $3x$  Hz

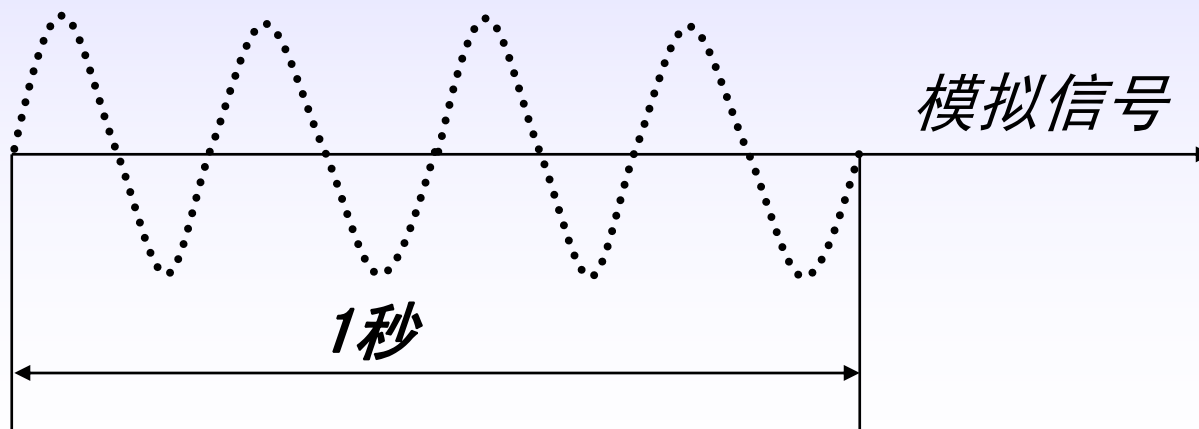
# 用模拟信号传输数字数据

- ◆ 在最坏情况下，数据由交替的0和1组成，这时需要最大的带宽

比特率 = 8 bps

1 0 1 0 1 0 1 0 数字数据

频率 = 8 Hz





# 比特率与带宽之例

- ◆ 每幅图由25个像素构成，并设像素是黑白交替每个像素用1比特发送，若每秒10幅图。
  - 解：则要发送250bit/s 的相应带宽= $250/2=125\text{Hz}$
- ◆ 电视每屏由525行 $\times$ 700列=367500像素，30屏/s
  - 解： 30屏 $\times$ 367500像素/屏=11,025,000像素
  - 所需相应带宽= $11025000/2=5,512,500\text{Hz}\approx 6\text{MHz}$
  - 商用电视TV是每个信道Channel为6MHz

# 数字→数字的编码

## ◆ 无极性:

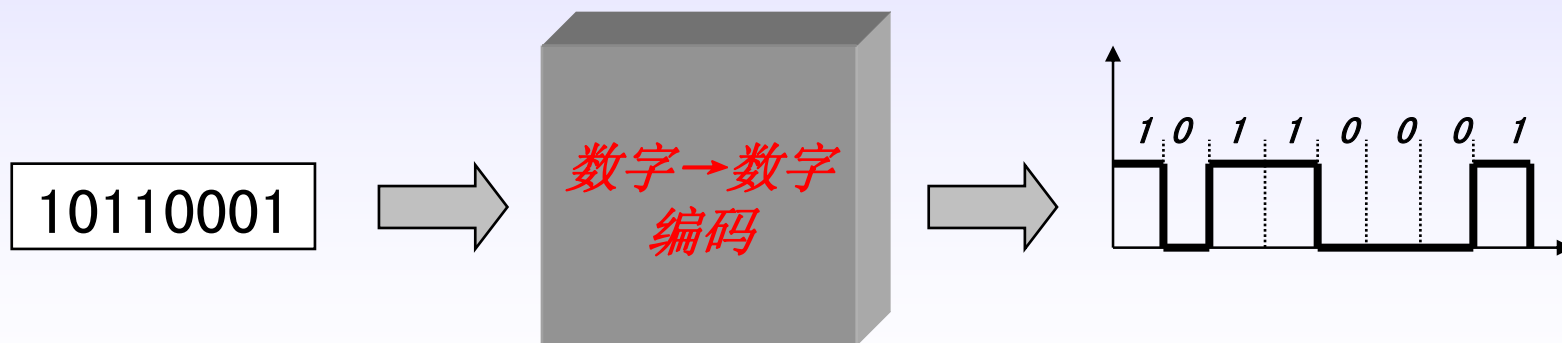
- 有直流, 功耗大
- 无接收同步信号

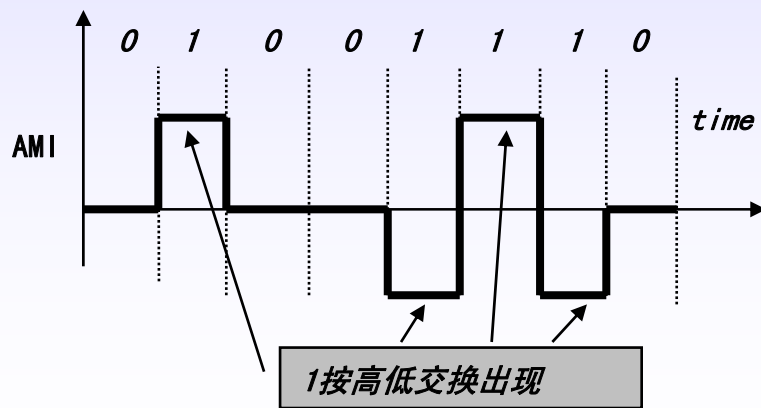
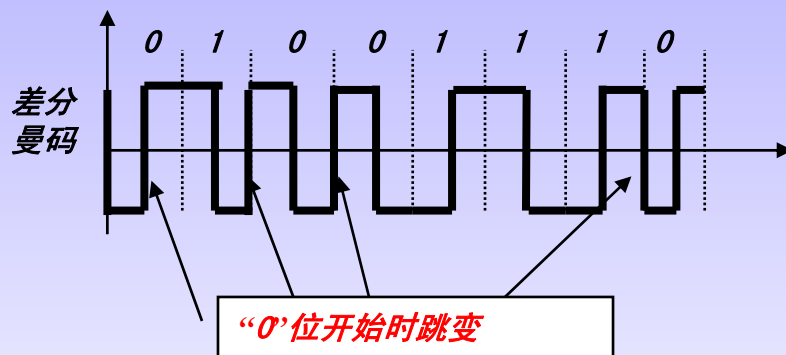
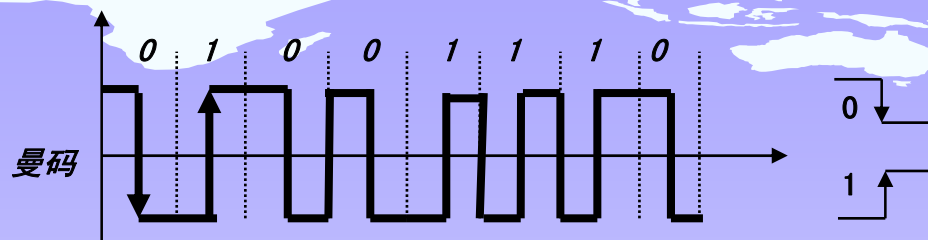
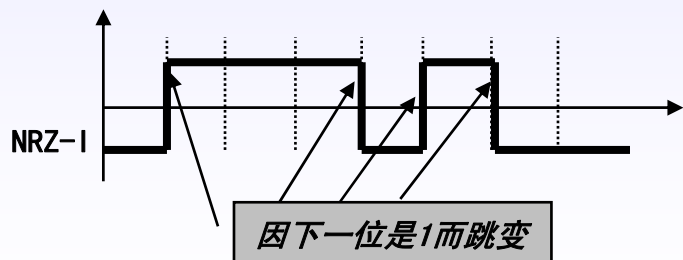
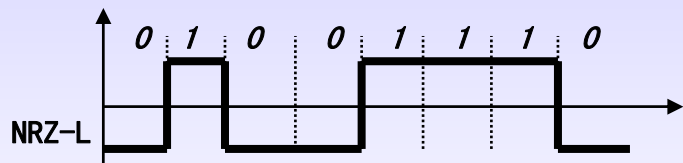
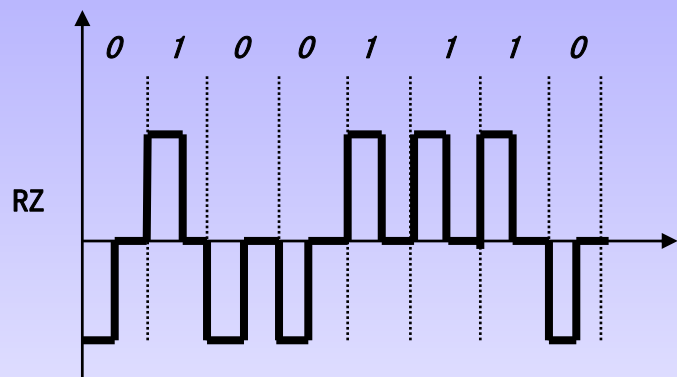
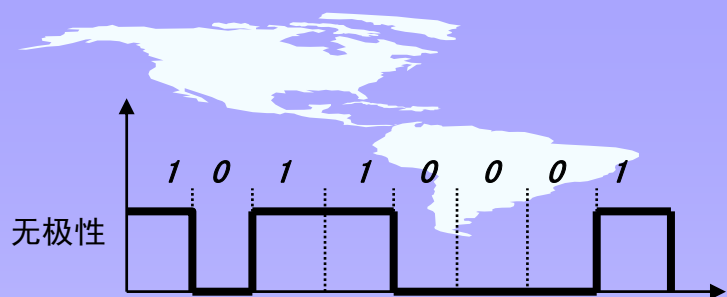
## ◆ 单极性

- RZ
- NRZ: 非正即负
  - NRZ-L: 信号电平取决于比特的状态1:高
  - NRZ-I: 碰到1信号就反向

## ◆ 双极性: Biphase

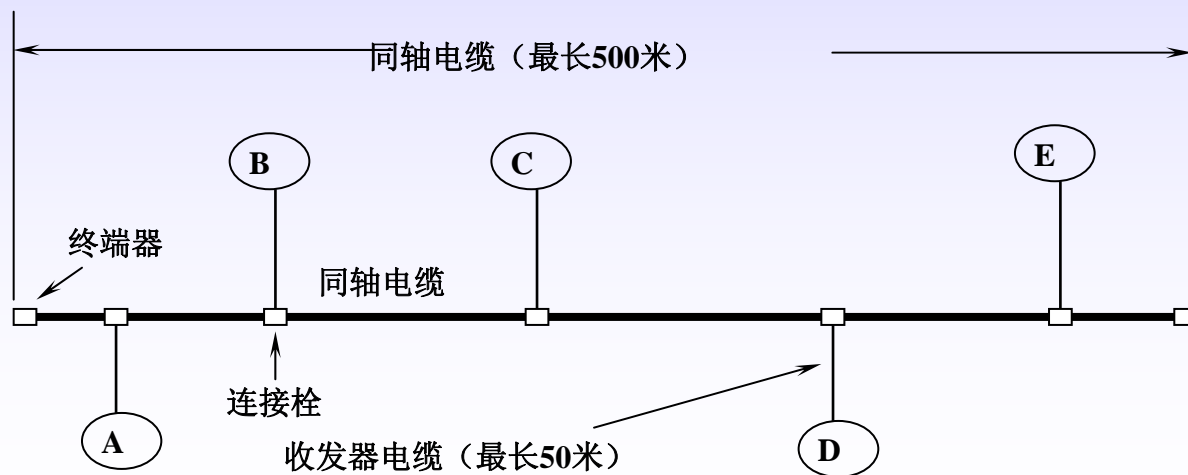
- Manchester
- Differential Manchester
- 其它
  - ☞ AMI: Alternate Mark Inversion
  - ☞ B8ZS: Bipolar 8-Zero Substitution: 略
  - ☞ HDB3: High Density Bipolar 3
  - ☞ B8ZS和HDB3在北美使用较多



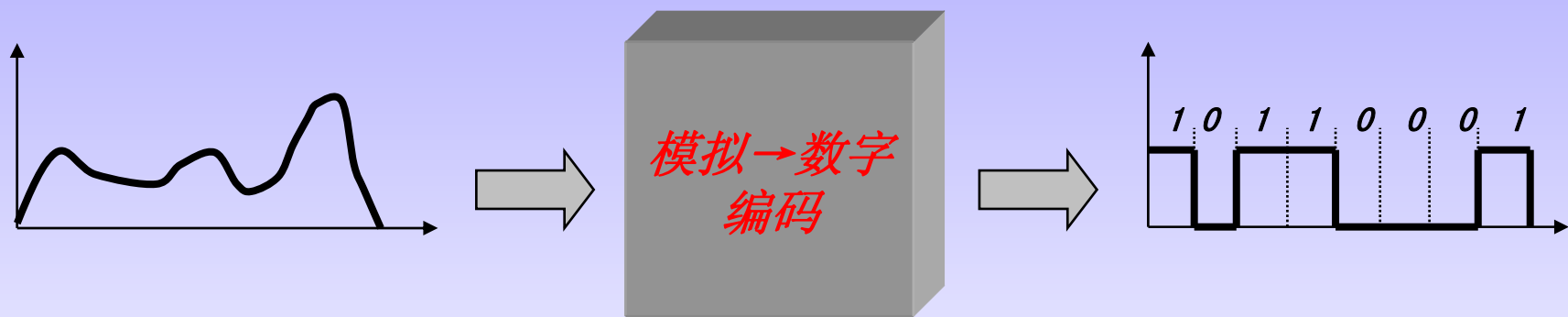


# 基带传输常用数字到数字编码

- ◆ 未经调制的电脉冲信号呈方波形式，所占频宽从直流和低频开始。
- ◆ 近距离内，基带的功率衰减不大
- ◆ RS-232/Ethernet/Token Ring

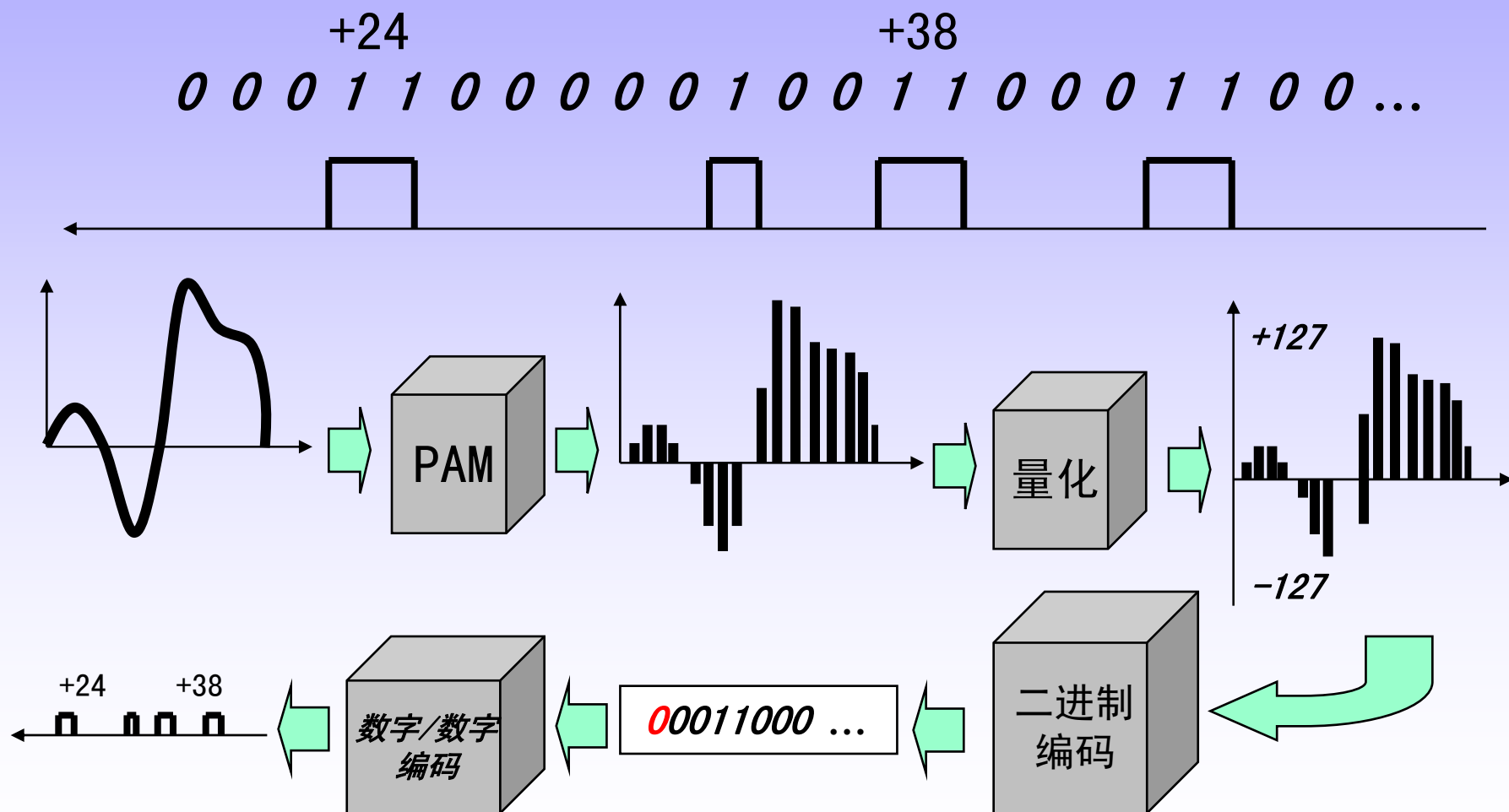


# 模拟→数字编码

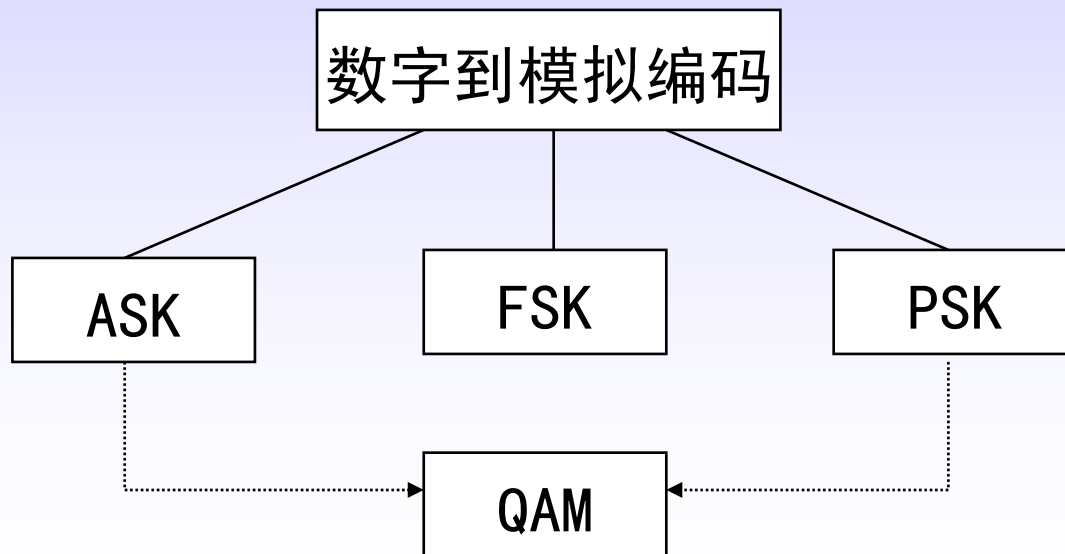
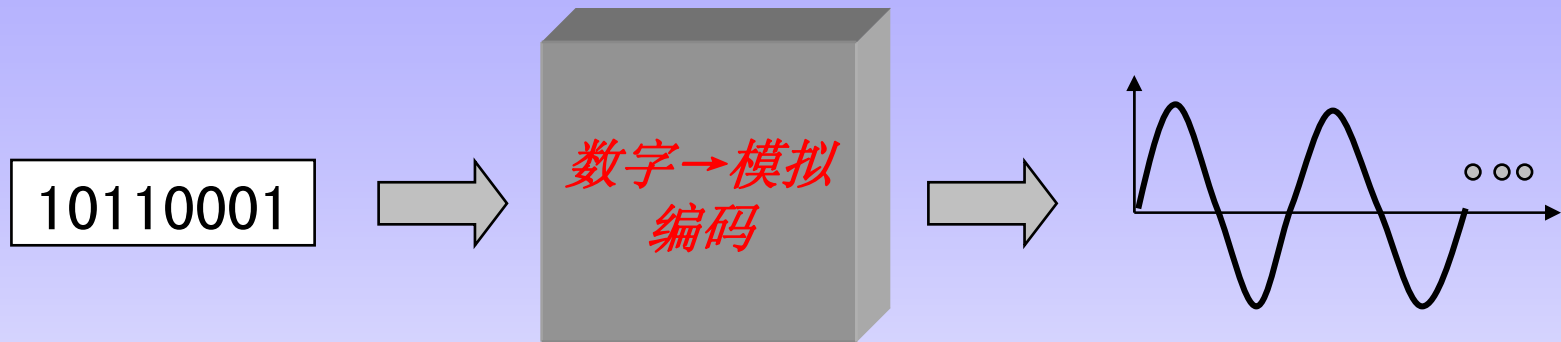


- ◆ PAM: Pulse Amplitude Modulation
- ◆ PCM: Pulse Code Modulation 是一个重要的模拟到数字的转换方法

# 从模拟到数字 (PCM)



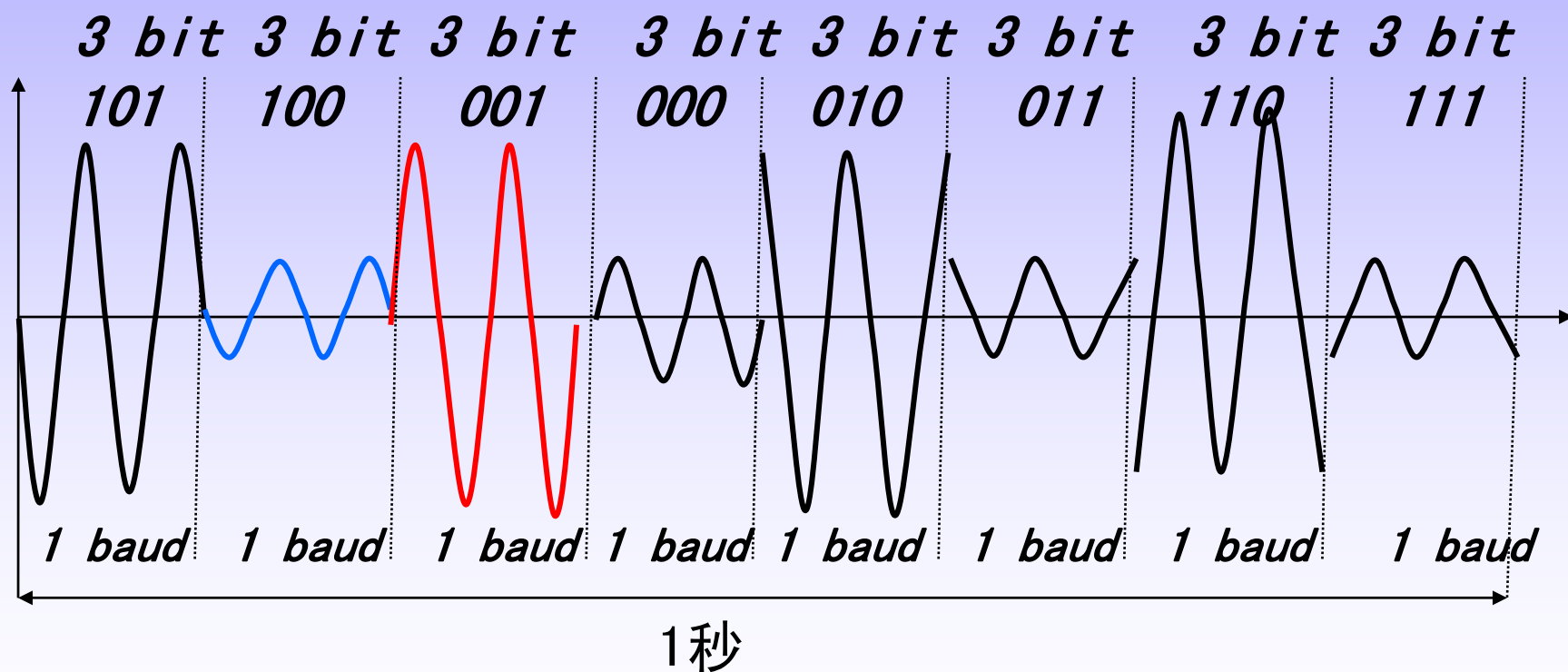
# 数字→模拟编码



*ASK: Amplitude Shift Keying*  
*FSK: Frequency Shift Keying*  
*PSK: Phase Shift Keying*  
*QAM: Quadrature Amplitude Modulation*

# 8 (2<sup>3</sup>) -- QAM

比特率=24      波特率=8





# 数字-模拟：GSM 手机的GMSK 调制

## ◆ 0.3GMSK（高斯最小频移键控）数字调制方式，不是由绝对相位调制携带信息

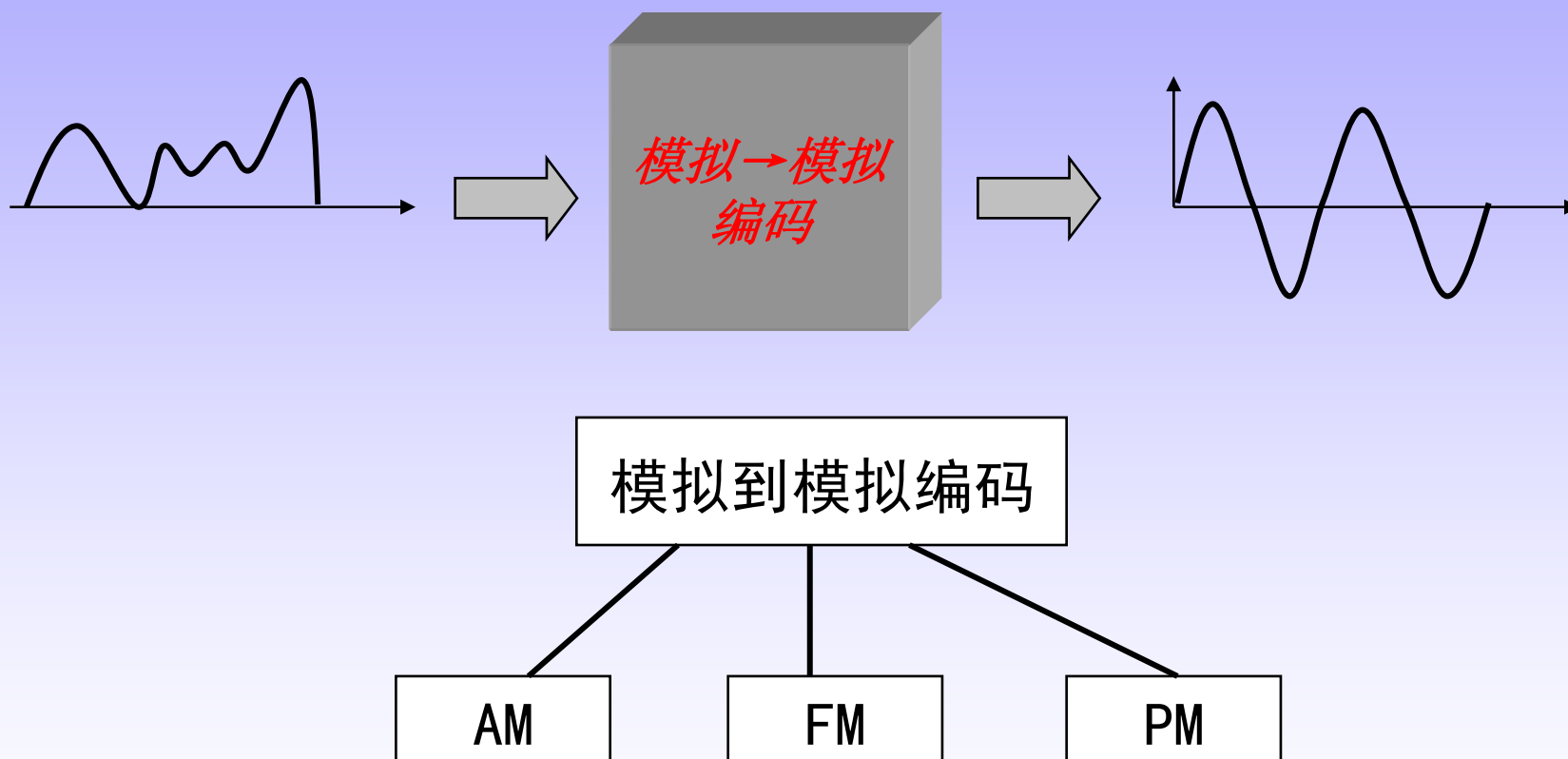
- 0.3 表示高斯滤波器带宽与比特率之比
- GMSK 是一种特殊的数字 FM 调制方式：
  - ☞ 给 RF 载波频率加上或者减去 67.708KHz 表示 1 和 0。使用两个频率表示 1 和 0 的调制技术记作 FSK（频移键控）。
  - ☞ 在 GSM 中，数据速率选为 270.833kbit/sec，正好是 RF 频率偏移的 4 倍，这样作可以把调制频谱降到最低并提高信道效率。比特率正好是频率偏移 4 倍的 FSK 调制称作 MSK（最小频移键控）
- 在 GSM 中，使用高斯预调制滤波器进一步减小调制频谱。它可以降低频率转换速度，否则快速的频率转换将导致向相邻信道辐射能量。

# 比特率与波德率

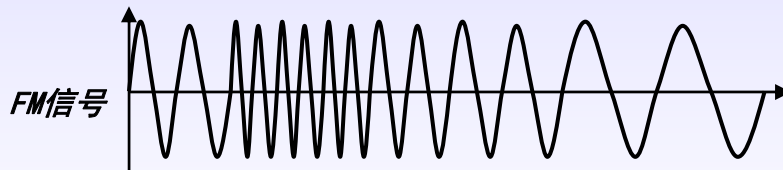
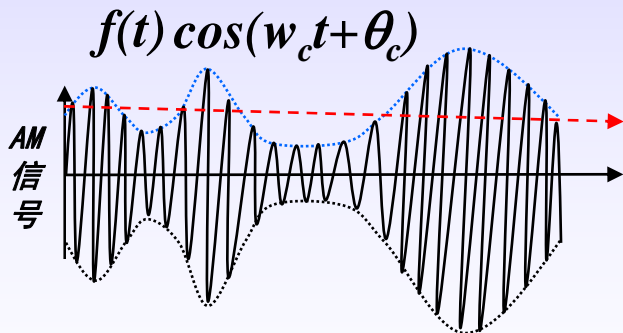
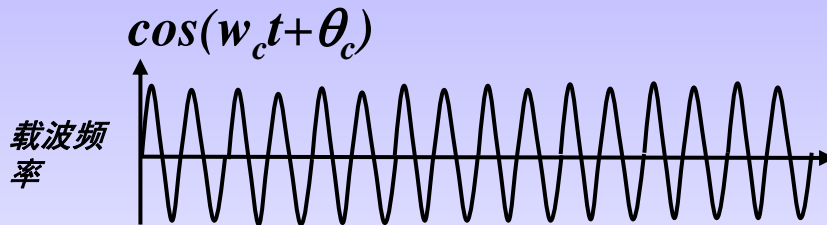
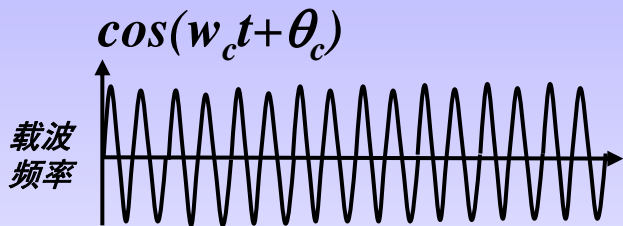
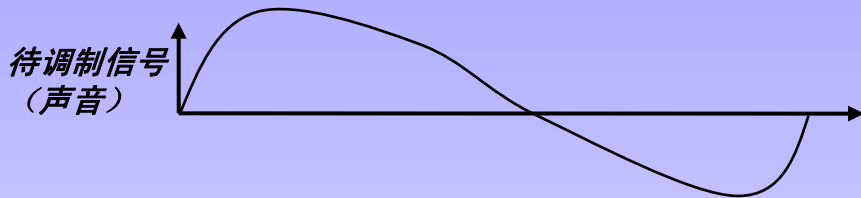
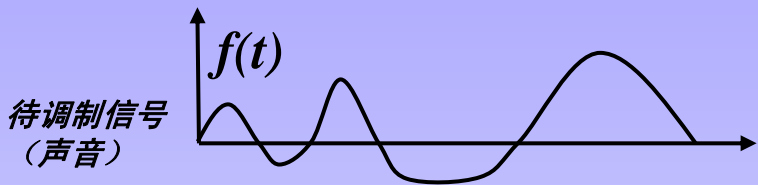
- ◆ 比特率Bit Rate: bps = bit/s
  - 每秒内传输的比特数。
- ◆ 波德率Baud Rate: Buad
  - 每秒内为表示某些比特而需要的信号单元数（或码元数）
- ◆ 当仅当一个信号单元表示一比特时，比特率才等于波德率。
- ◆  $\text{Bit Rate} = \log_2(\text{Bit Units}) \times \text{Baud Rate}$

编码	单位	比特/波德	波德率	比特率
<i>ASK,FSK,2-PSK</i>	<i>Bit</i>	<i>1</i>	<i>N</i>	<i>N</i>
<i>4-PSK,4-QAM</i>	<i>DiBit</i>	<i>2</i>	<i>N</i>	<i>2N</i>
<i>8-PSK,8-QAM</i>	<i>TriBit</i>	<i>3</i>	<i>N</i>	<i>3N</i>
<i>16-QAM</i>	<i>QuadBit</i>	<i>4</i>	<i>N</i>	<i>4N</i>
<i>32-QAM</i>	<i>PentBit</i>	<i>5</i>	<i>N</i>	<i>5N</i>
<i>64-QAM</i>	<i>HexBit</i>	<i>6</i>	<i>N</i>	<i>6N</i>
<i>128-QAM</i>	<i>SepBit</i>	<i>7</i>	<i>N</i>	<i>7N</i>
<i>256-QAM</i>	<i>OctBit</i>	<i>8</i>	<i>N</i>	<i>8N</i>

# 模拟→模拟编码



# 幅度调制AM-载波的F&P不变



幅度调制AM-载波的F&P不变

频率调制FM-载波的A&P不变

# 逻辑层：mBnB编码方式

## ◆ 目的

- 保障传输的交流特性，防止在基带数据中过多的0码流或1码流，**任何一方过多的码流均造成直流特性**。
- 将**m** bits的基带数据映射成**n** bits数据发送。当 **$n > m$** 时，在发送侧就产生了冗余性。

## ◆ 4B/5B：FDDI，每个5B码至少2个1，至少两次改变

- 先4位变成5位编码/再NRZI编码
- 数据率100Mbps-->125Mbps
- 若用曼码则100Mbps-->200Mbps

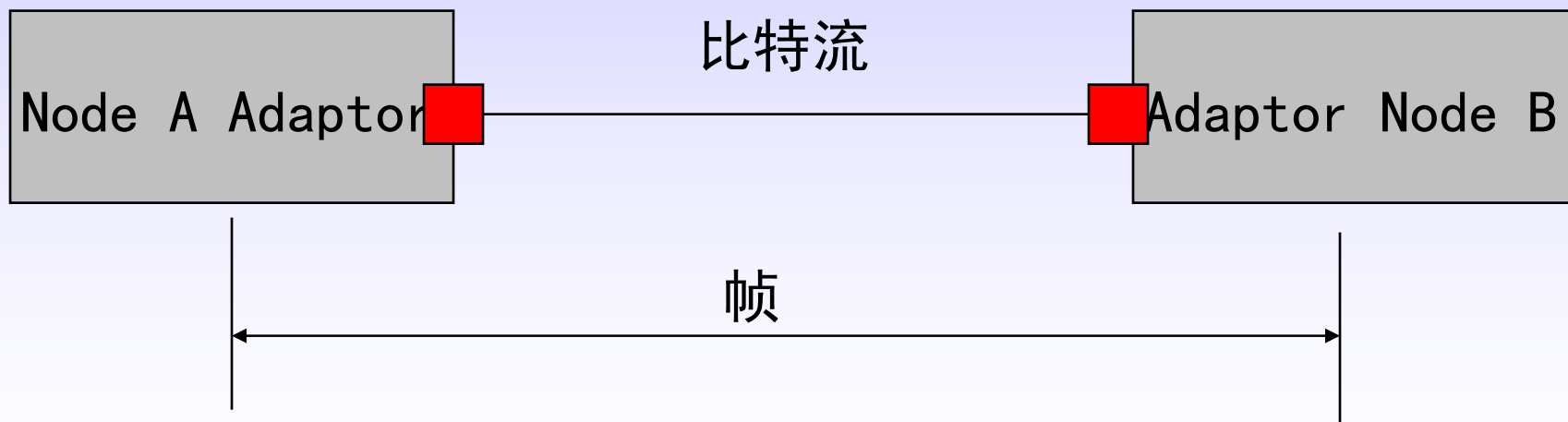
## ◆ 8B/10B：1G光传输

## ◆ 64B/66B：10G光传输，最长传输距离40公里。标准：10GBASE—X/R/W三种类型

- 10GBASE—X，**8B/10B**编码，特紧凑包装，4个接收器和4个在1300nm波长附近以大约25nm为间隔工作的激光器，每一对发送器/接收器在3.125Gbps速度（数据流速度为2.5Gbps）下工作。每端口应是 $3.125/2.5G=0.8$
- 10GBASE—R **64B/66B**编码，数据流为10Gbps，时钟速率为10.3Gbps。
- 10GBASE—W是广域网接口，与SONET OC-192兼容，其时钟为9.953Gbps，数据流为9.585Gbps。

# 帧的生成 (Framing)

- ◆点到点链路间的一块有界数据
- ◆问题： 帧的编址



# 什么是帧(Frame)?

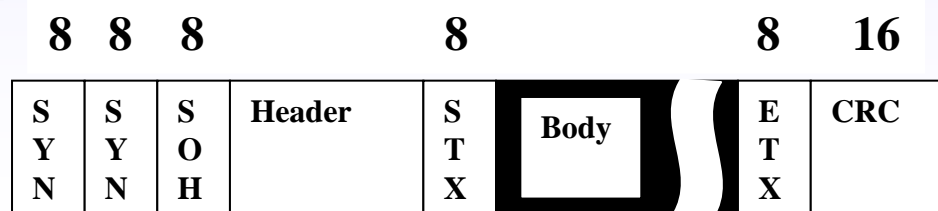
- Frame是一个在具体网络（与类型和厂家有关）第二层上实现的、与硬件有关的特殊分组。是网上传输的最小数据单元。
- Frame = 数据部分 + 发送和接收站点的物理地址 + 处理控制部分。



# 面向字节的协议

- ◆ 编帧最老的方法是字面向符终端协议
- ◆ **BISYNC**: Binary Synchronous Communication Message Protocol, 面向字节的协议由IBM开发
- ◆ **DDCMP**, Digital Data Communication Message Protocol, 用于DECNET
- ◆ 都支持ASCII, EBCDIC, IBM's 6位传输码
- ◆ 这两个协议是不同帧技术的例子
- ◆ **PPP/SLIP**

BISYNC帧格式





# 面向比特协议 (HDLC)

- ◆不关心字节的边界
- ◆把帧看着比特的集合
  - 可能是ASCII码、图像的像素值、指令、操作数或IP电话的声音值
- ◆SDLC: Synchronous Data Link Control Protocol
  - Developed By IBM , was later Standardized by OSI as HDLC

# HDLC帧格式

◆头尾标志是01111110

◆零比特插入技术，5个连续‘1’插‘0’

– 发送时插入  $\underline{01111111} = \underline{011111}011$

– 接收时删除  $\underline{011111}011 = \underline{01111111}$



HDLC帧格式

# 基于时钟的帧 (SONET)

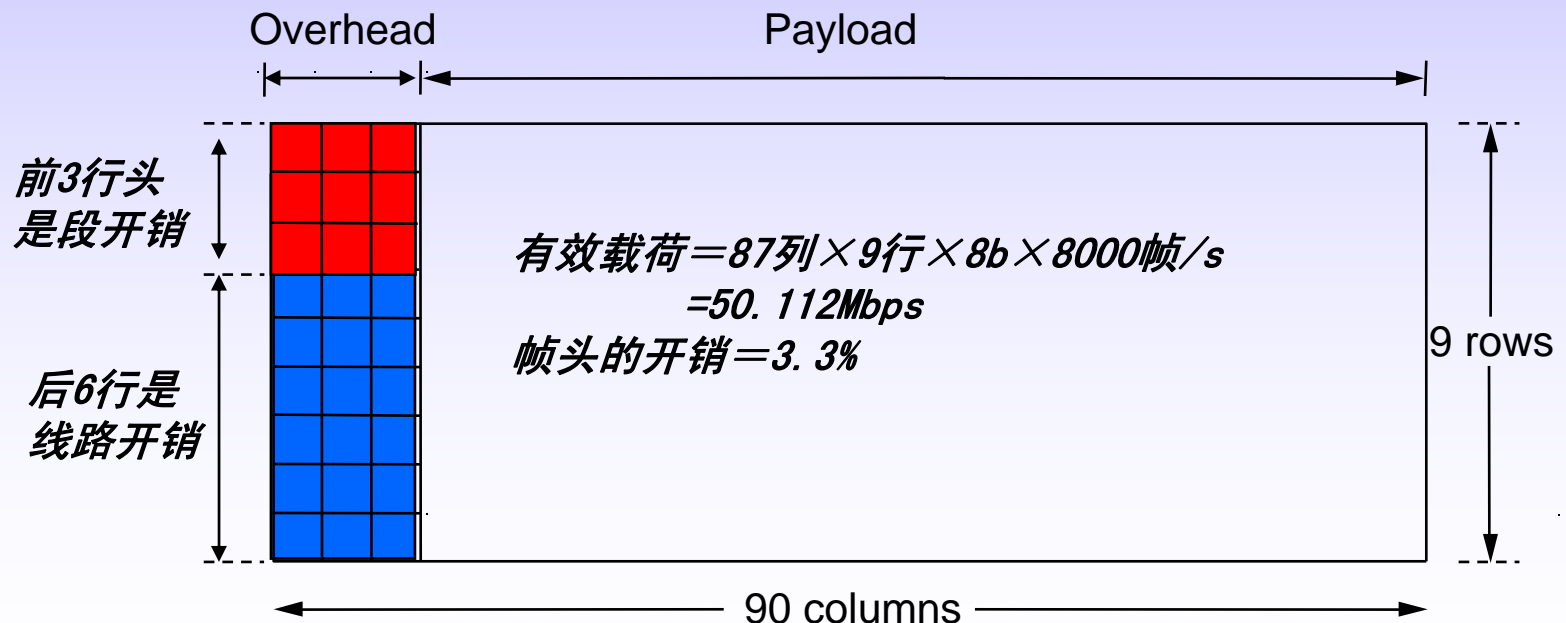
## ◆ Synchronous Optic Network 标准

- 1984年前各公司有自己专用光纤的TDM系统
- 1984年后AT&T分解，本地公司须与多个不同标准的长途公司连接
- 1995Proposed Bell Communications Research开始标准化，
- Developed by ANSI for digital trans. Fiber, Adapted & standardized by ITU-T, Clock-based framing
- 1989产生SONET和平行的CCITT的SDH，二者只有细微差别
- SDH: Synchronous Digital Hierarchy in China and Europe for SONET

## ◆ SONET所有级别都使用字节交叉的多路复用，线路速率都是STS-1=51.84Mbps的整数倍，帧头开销3.3%

# SONET STS-1帧同步

- ◆ 基本SONET帧每125 $\mu$ s产生810字节，有无数据都同步发送，故每秒8000帧
- ◆  $9 \times 90 = 810$  Bytes/s  $\times 8 = 51.84$  Mbps, 构成基本SONET信道
- ◆ 每帧前3列留作系统管理信息
- ◆ 当特别位模式正确重复出现足够多次时，接收方就认为这是同步状态，并能正确解释帧

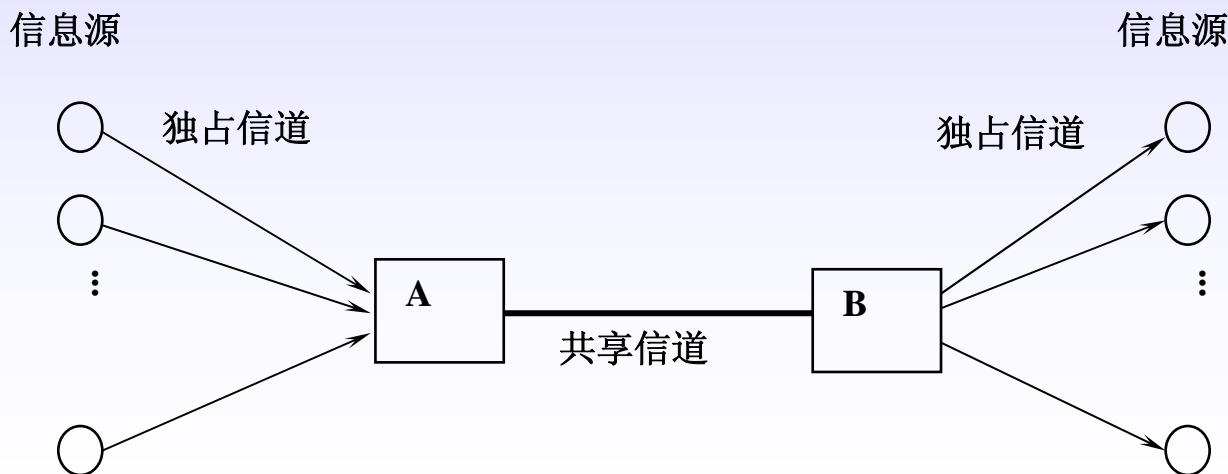


# 信道共享技术

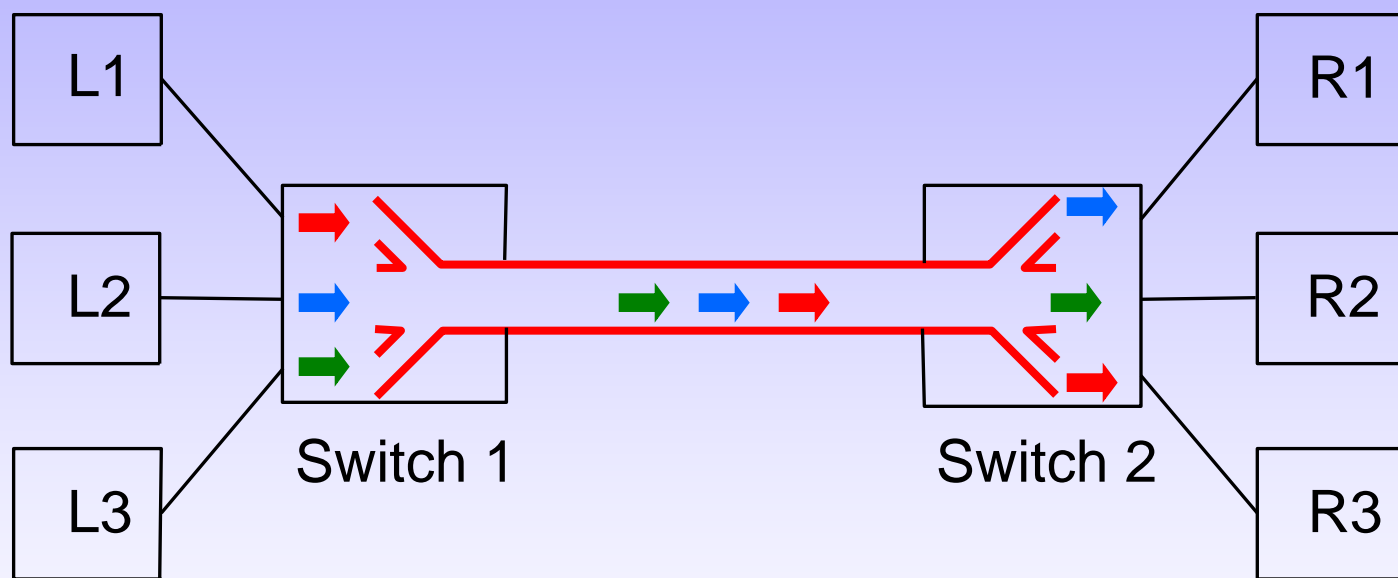
- ◆ 信道：Channel是通信中传递信息的通道，它由发送与接收信息的设备及传输介质组成。信道有**独占**或**共享**两种使用方式
- ◆ 资源共享的基本原理
  - 大数定理：用户数目n很大，单个用户使用要求都是突发式随机产生。那么整体用户对资源的使用要求变得相当平滑、较稳定和可预测。

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P\left\{\left|\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X_k - \mu\right| < \varepsilon\right\} = 1$$

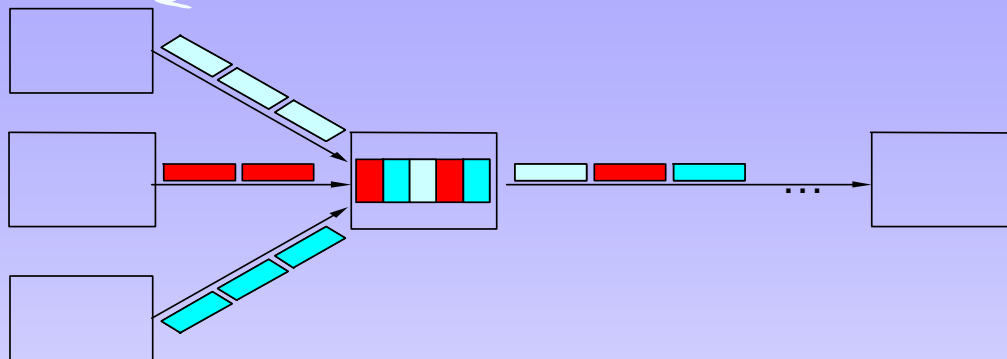
- 规模经济原理：资源与用户数同时按比例增加，一定范围内，规模越大，系统就越经济；所有线路容量和用户数（每用户数据量不变）加倍、则各节点平均延迟减半。



# 在一个单物理链路上复用多个逻辑流



# 把多个源交换复用到一共享链路



■ **复用**：把共享信道划分成多个子信道，每个子信道传输一路数据

■ **复用方法**

• **时分复用TDM** (Time Division Multiplexing) -统计时分复用**STDM**

■ 按时间划分不同的信道，目前应用最广泛

• **频分复用FDM** (Frequency Division Multiplexing)

■ 按频率划分不同的信道，如CATV系统

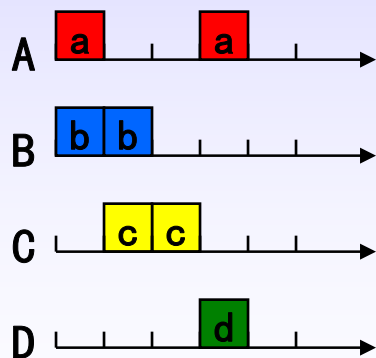
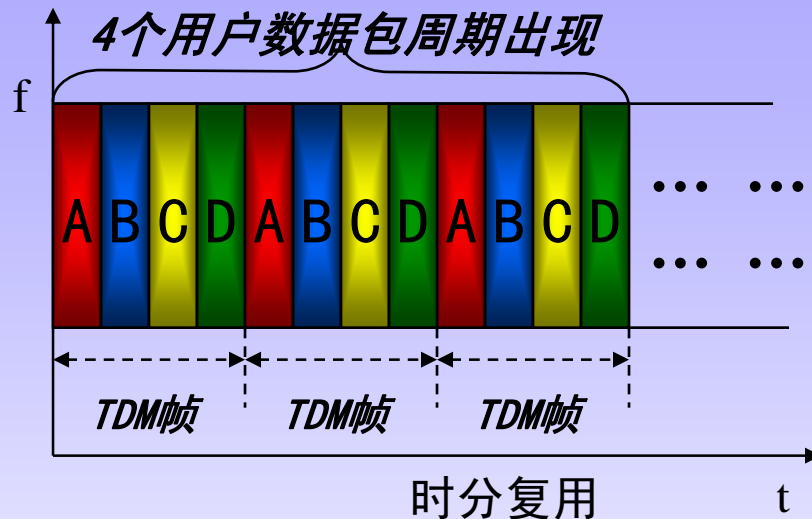
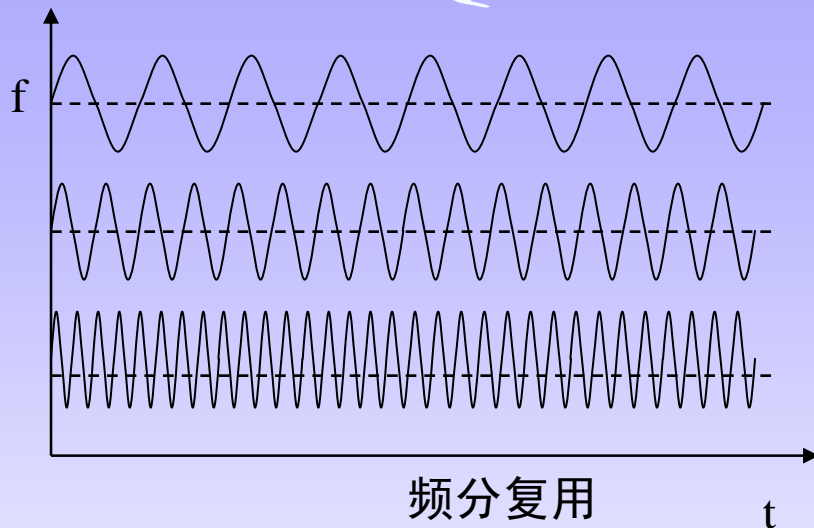
• **波分复用WDM** (Wave Division Multiplexing: DWDM/CWDM)

■ 按波长划分不同的信道，用于光纤传输

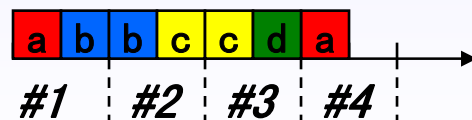
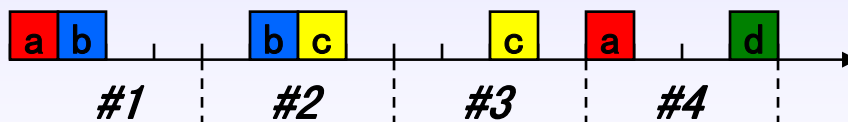
• **码分复用CDM** (Code Division Multiplexing)

■ 按地址码划分不同的信道，如手机

# FDM/TDM/STDM的比较



**时分复用:** 复用器按ABCD顺序依次扫描, 然后构成一个时分复用帧, 每个帧有4个时隙, 可见当某用户暂无数据时, 会有空时隙



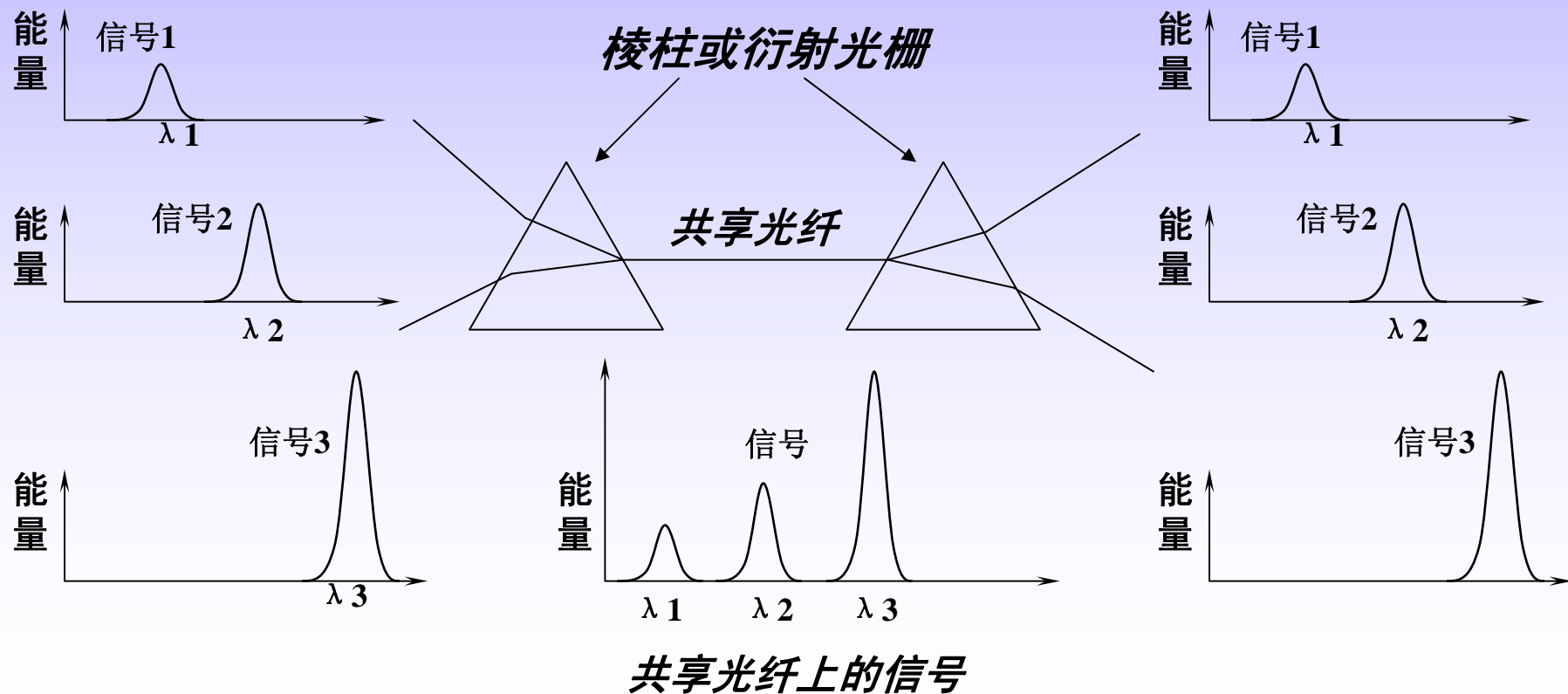
**统计时分复用:** 每个STDM帧中的时隙小于集中器上的用户数, 本例=2<4, 各用户有数据后发往集中器的缓冲, 顺序扫描装帧, 没用就跳过。装满后发送出去



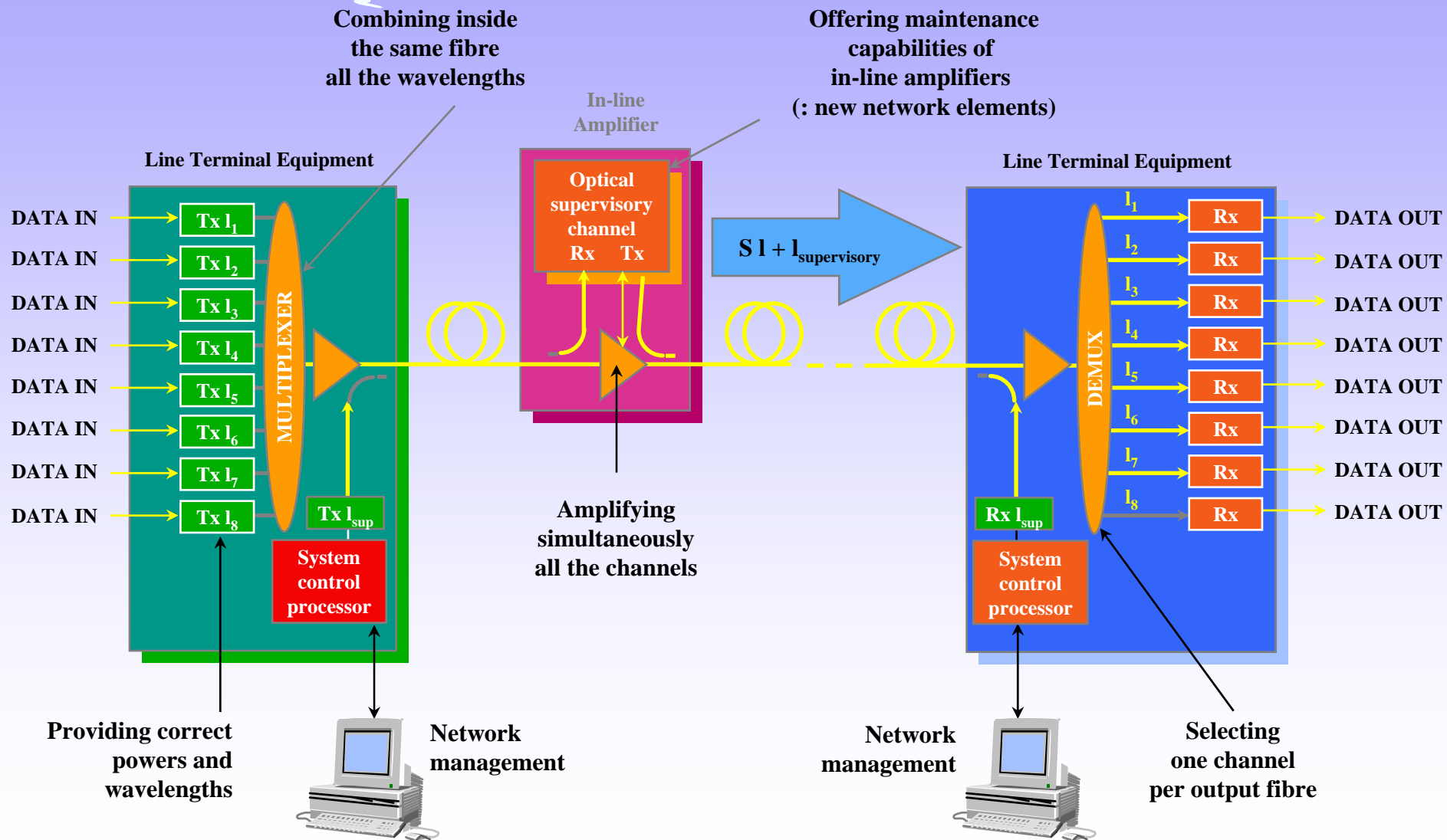
# WDM--DWDM

## ◆ Dense Wavelength Division Multiplexing Access

- ✧ 是FDMA在光纤上的一个变种。因频率很高而用波长表示
- ✧ 最初只能2路复用→80路而称密集波分复用



# 波分传输网络



# 波分容量与协议

## ◆ 历史与发展

- ✱ 1966英籍华人高锟博士发表“用石英玻璃光学纤维作为通信媒质”，开创光纤通信天地，77年开始在芝加哥使用
- ✱ 早期850-1310-1550nm三个窗口，波间隔约1nm；现在L波段，全光S波段：1280-1625nm
- ✱ 当前光复用：商业273波，研究1022，理论15000波；复用提高速率，放大增长距离；2. 5G-10-40Gbps/单波

## ✱ 波分协议

- ✱ 每个WDM点分配2个波信道：窄→控制，宽→数据；
- ✱ 信道分多个时片，0时片特殊标记以区别后继，全局时钟同步；
- ✱ 每站点2个发送端+2个接收端
  - ✱ 可调波选择发出控制帧；固定波接收控制帧
  - ✱ 固定波发出数据帧；可调波选择接收数据帧
- ✱ 方式：每站侦听自己的控制信道，看是否有请求发生，并将接收端的波长调整为发送端的波长，以收到数据

# 码分复用(CDMA)的原理

## ◆ Code Division Multiplexing。更多用码分多址名词 :Code Division Multiple Access

- 每个用户可在同样时间使用同样频带通信。因多个用户使用不同特殊码型，不会造成干扰
- 最早军用。频谱类似白噪声，不易被敌人发现，抗干扰能力很强，提高话音质量和数据传输的可靠性
- 容量是GSM (Group Special Mobile) 4—5倍

## ◆ CDMA的原理:

- 每个Bit 时间再划分为m个更短的间隔—码片Chip, m通常是64或128。若要发b比特, 则数据率提高到mb bps, 该站的频宽也提高到原来的m倍 (**本质是扩频: 有直接序列和跳频两种方式**)。
- 某站要发送1, 则发送自己的m比特码片序列, 若发送0, 则发送码片的**反码**。惯例: 1写成+1, 0写成-1, **反码= -S, 即+1的反码是-1, -1的反码是+1。**

# 码片向量间的正交性特点

- ◆ 给每站分配的码片序列必须**各不相同**，且**相互正交**，实际体系中是**伪随机**

码序列，即对S站和T站显然：

- S和T正交：
- 可以证明S和-T也正交：
- 任一码片向量自己规格化内积=1：
- 任一码片向量和自己反码向量的规格化内积= -1

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

$$S \bullet \bar{T} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i (-T_i) = -\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i T_i = 0$$

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

$$S \bullet \bar{S} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i (-S_i) = -\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i^2 = -\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\pm 1)^2 = -1$$

- ◆ 通信假定：
  - 每站发送的是数据和其码片乘积序列
  - 所有站发送的码片序列是同步的，即在同一时刻开始。可利用GPS做到。

# 通信过程与实例

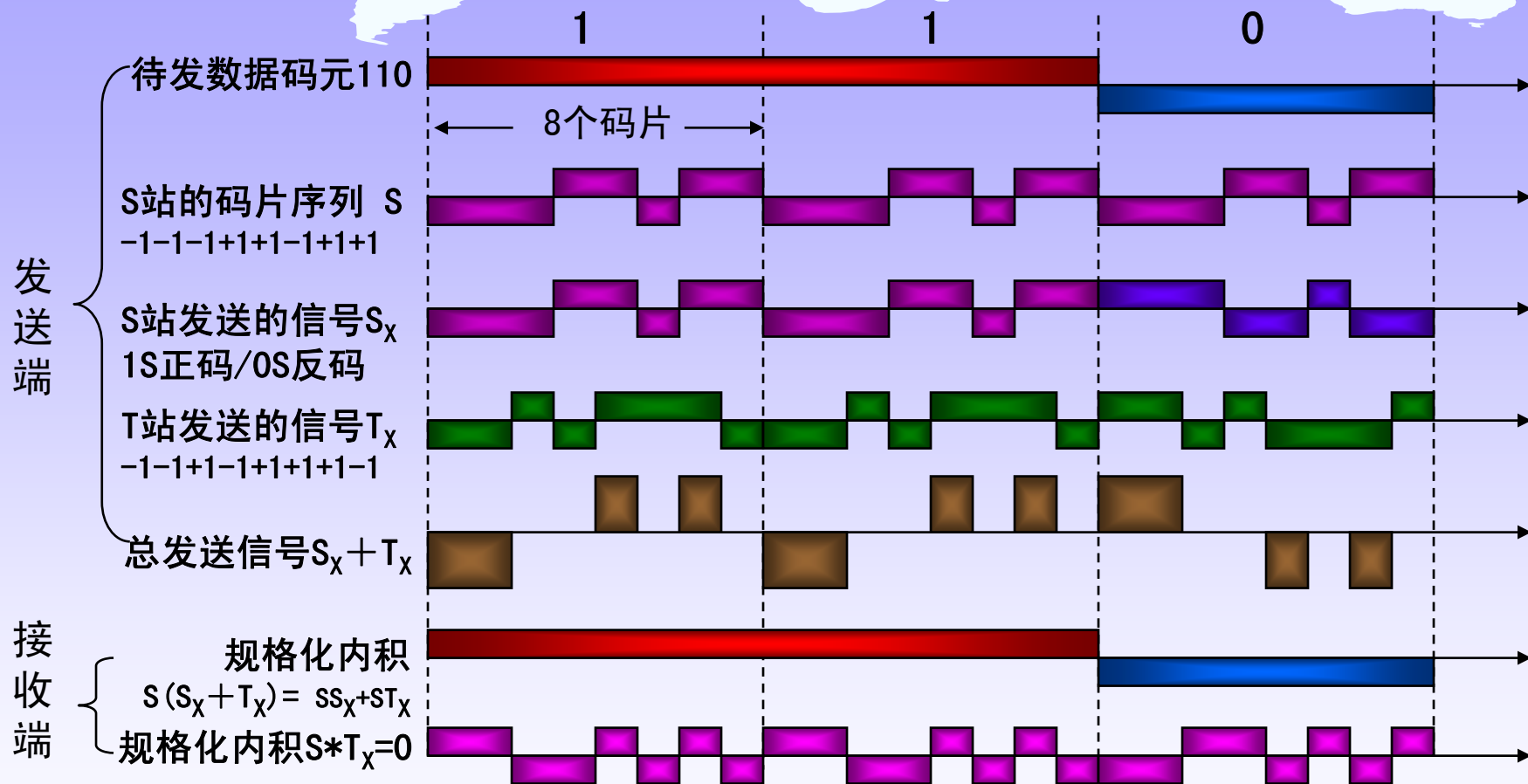
## ◆ 通信过程

- 若X站要接收S站的数据，X就必须**知道S的码片序列**
- X用S的码片向量与接收到的未知信号求内积
- X接收到的信号是各个站发送的码片序列叠加之和
- 内积结果是：和所有其他各站信号内积 $=0$ ，即被过滤，只剩下与S站发送的信号的內积，比特1时  $= +1$ ，比特0时  $= -1$

## ◆ 通信实例

- S站和T站均要发送码元110，S的码片序列 $(-1-1-1+1+1-1+1+1)$ ，T的码片序列 $(-1-1+1-1+1+1+1-1)$ 。
- $S_x$ 和 $T_x$ 分别是S和T的扩频信号
- 所有站都使用**相同频率**，故每个站能收到所有站发送的扩频信号，本例是叠加信号 $S_x+T_x$
- 若接收S站信号，就**用S码片与接收到的叠加信号求规格化内积**，这等价于分别计算 $S \times S_x$ 和 $S \times T_x$ ；然后求它们的和，**显然后者是零**，前者就是S站发送的数据比特110

# CDMA工作原理

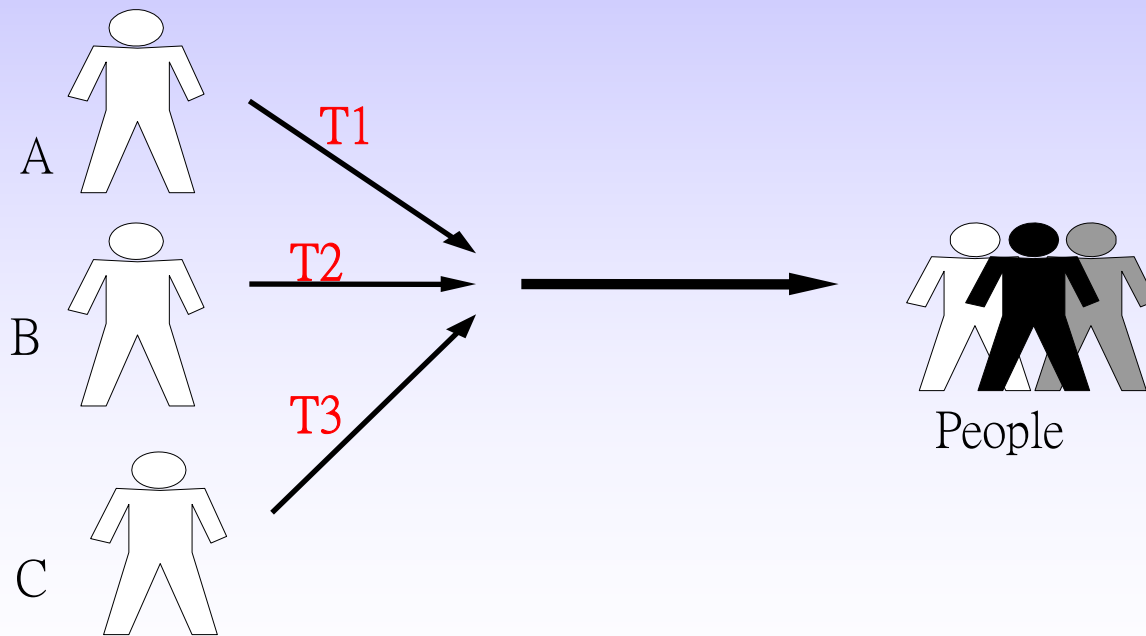


$$S(S_x + T_x) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m SS_x + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m ST_x = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m SS_x$$

$$= \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S(S + \bar{S}) = \frac{1}{m_1} \sum_{i \in 1} SS + \frac{1}{m_2} \sum_{i \in 0} S\bar{S} = (+1, \dots, -1)$$

# 几种共享技术的形象比喻—室内 一群参加宴会人们的交流

◆ TDMA: 在同一空间、不同时间T1、T2、T3  
分别和一群人交流

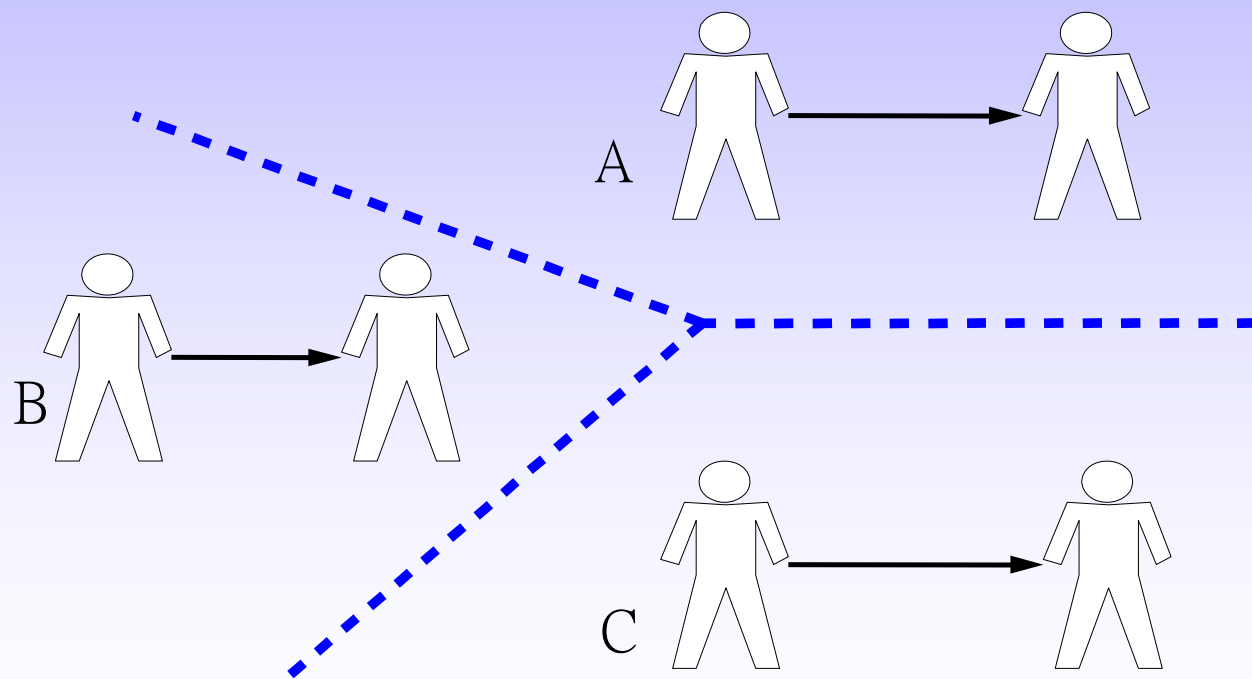


TDMA 示意图



# FDMA

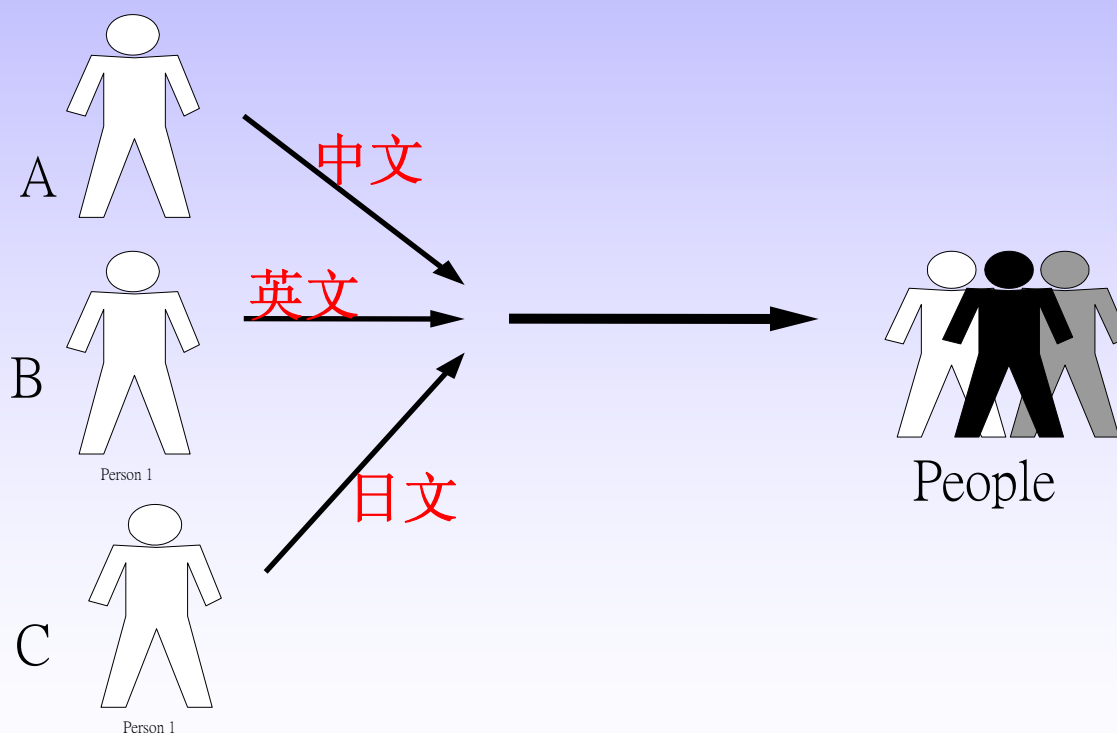
◆ 在分割后的不同空间、一对一分别同时交流



FDMA 示意图

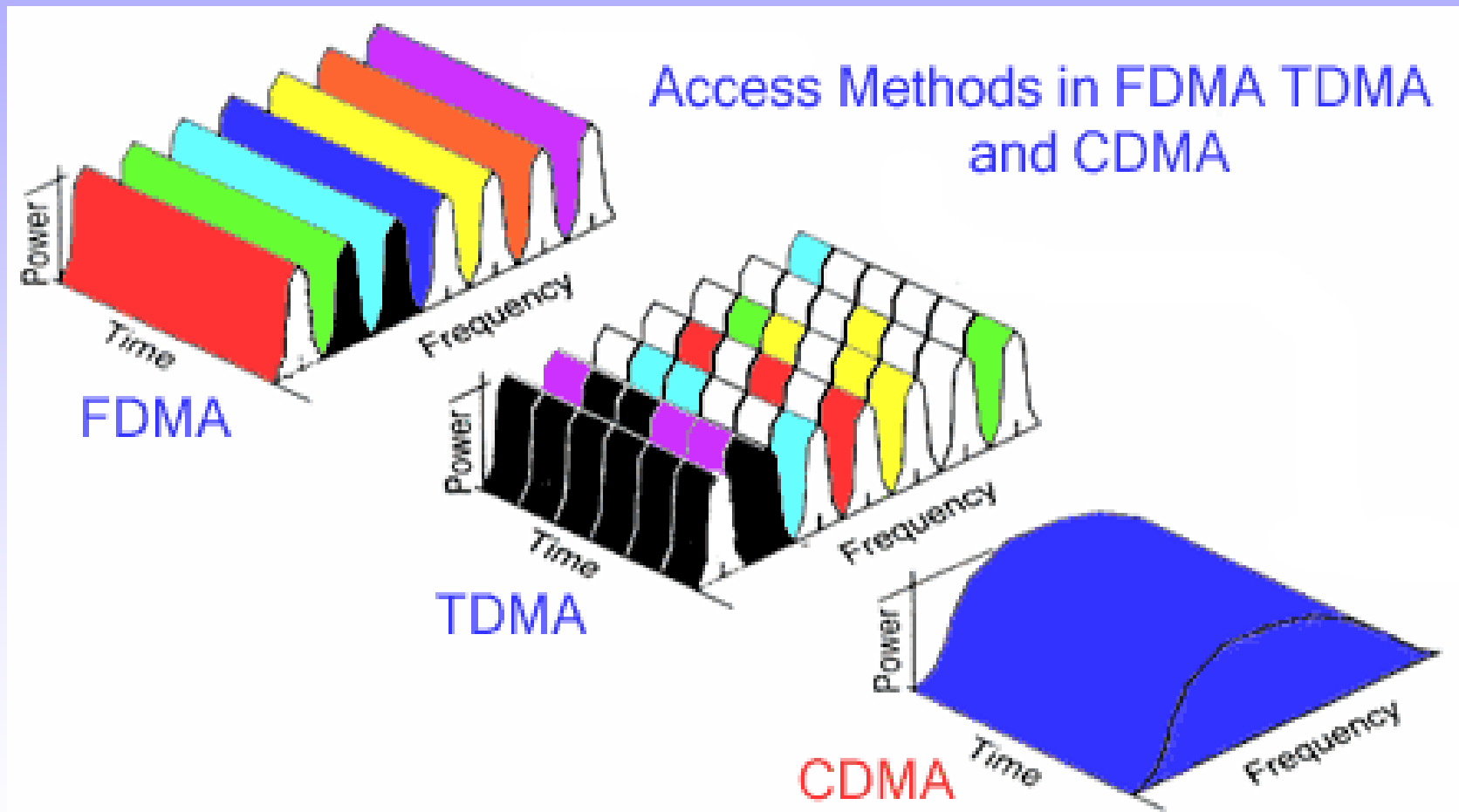
# CDMA

◆ 在同一空间用不同语言同时分别交流



CDMA 示意图

# TDMA FDMA CDMA 比较图



# 数据交换技术

- ◆把葱切得更细：多维空间→到一维空间的变换。报文到分组的变换。
- ◆获得柔软性、灵活性、高效性

# 差错控制技术

- ◆ 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。
- ◆ 产生差错的原因：
  - 信号衰减和热噪声
  - 信道的电气特性引起信号幅度、频率、相位的畸变；
  - 信号反射，串扰；
  - 冲击噪声，闪电、大功率电机的启停等。

- ◆ **基本思想：**发方编码、收方检错，能纠则纠，不能则重传
- ◆ **基本方法：**收方进行差错检测，并向发送方应答，告知是否正确接收。
- ◆ **差错控制技术：**自动请求重传ARQ:  
Automatic Repeat Request

☞ **停等 ARQ**

- 每发送一帧就需要一个应答帧
- 只重传刚才出错的帧

☞ **Go-back-N ARQ**

- 每发送N帧需要一个应答帧
- 需重传前面  $(N-i+1)$  帧  $(0 \leq i \leq N)$

☞ **选择重传 ARQ**

- 每发送N帧需要一个应答帧
- 只重传出错的帧

# 检纠错基本思想与方法

## ◆ 任何检纠错技术的基本思想

- 加入冗余信息到帧中去（极言：两份拷贝）
- 一般为 $n$ 位信息加入 $k \ll n$  比特冗余，例如12000bits(1500bytes)的包仅需要32比特CRC码
- **加入**的检纠错码、校验和都是由待发送的信息按一定算法产生

## ◆ 检错码主要有编码方法：

- 奇偶校验（Parity Checking）
- 循环冗余校验（CRC, Cyclic Redundancy Check）
- 校验和：Check sum



# 习题

◆为什么802.11不采用冲突检测？

◆为什么RTS/CTS不能解决暴露站问题？

◆P156

– 1; 2; 3

◆P157

– 4; 8; 15; 17; 19; 24; 28; 30; 36; 37;  
41; 42; 43; 45



*Thank you!*



Questions

