

1.2 传输网络的基本理论与技术

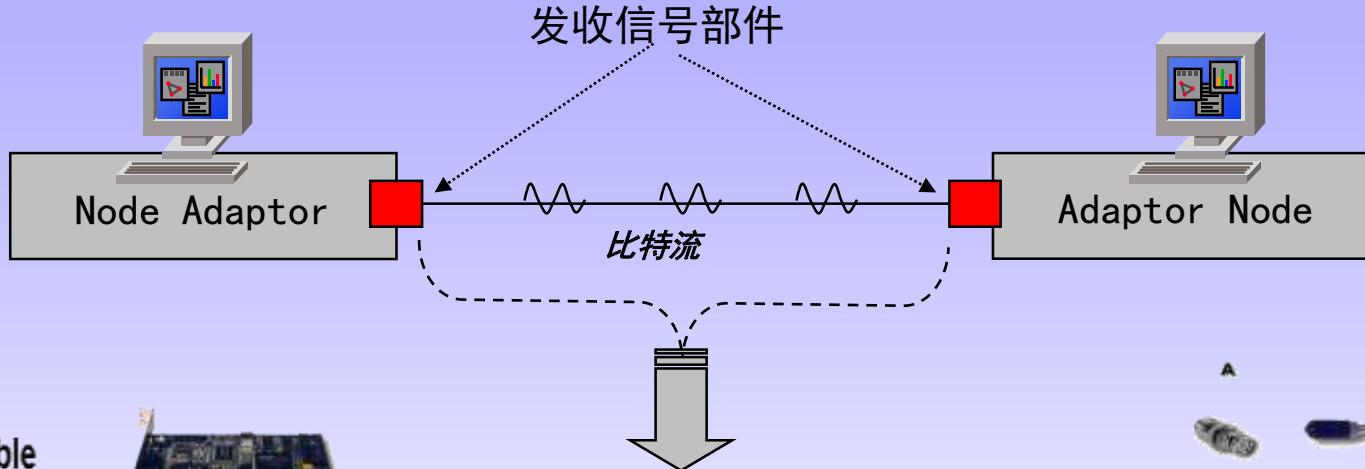
传输网这里指直连网络

1. 2. 1 直接链路互连

1. 2. 2 编码与成帧

- ◆ 信道共享
- ◆ 数据交换
- ◆ 差错控制

1.2.1 点到点直接链路技术

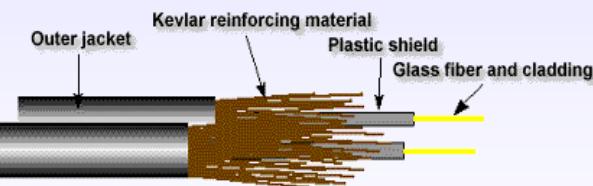


Coaxial Cable



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.

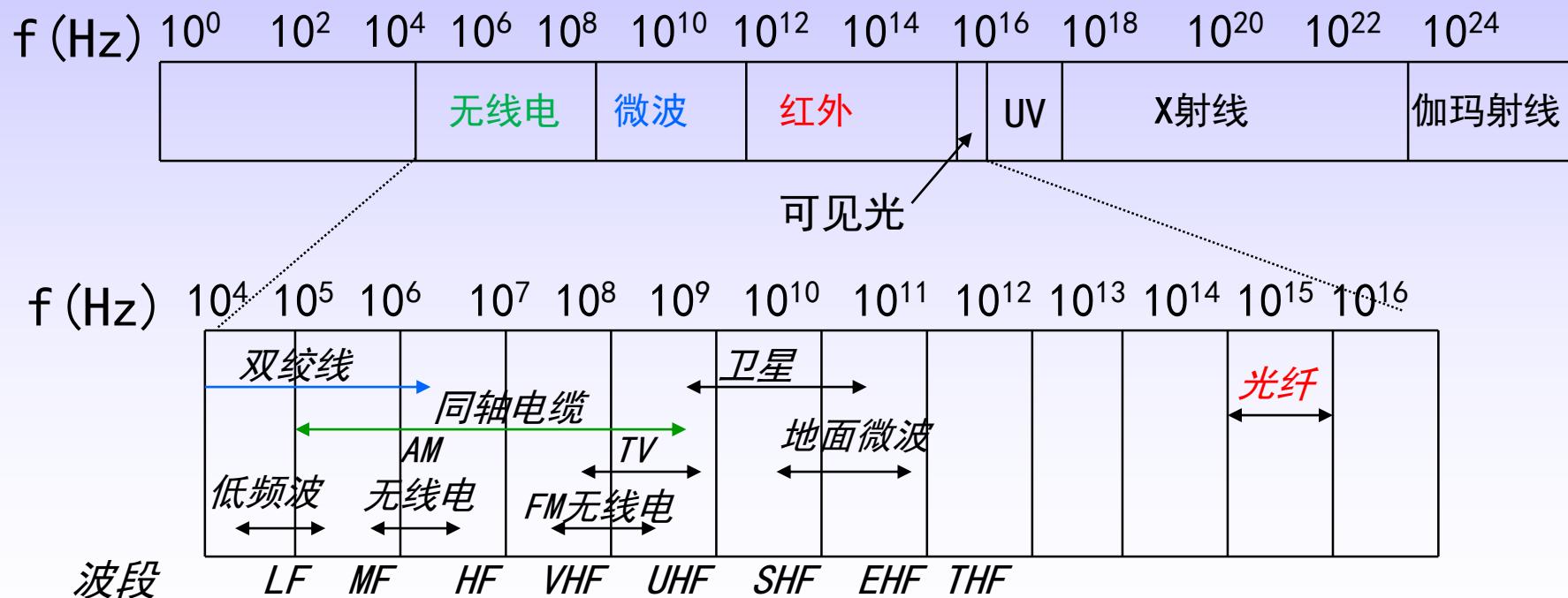


Various types of network media.

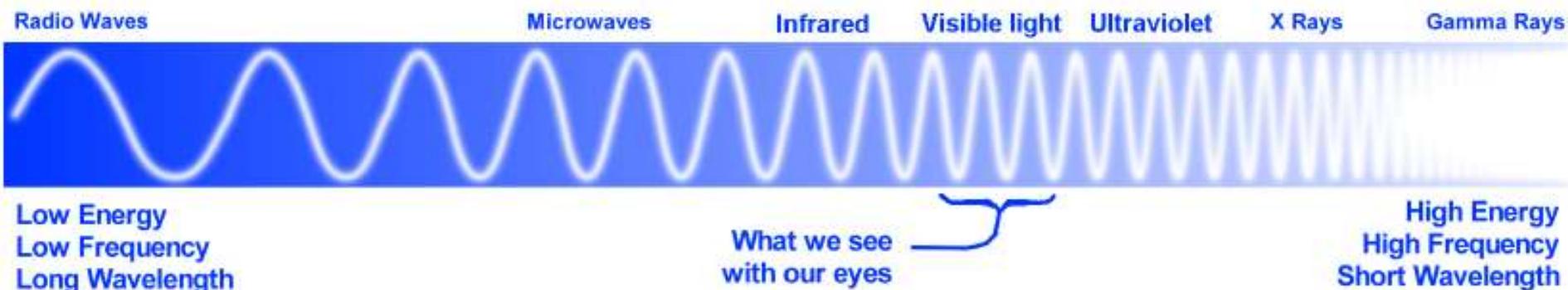
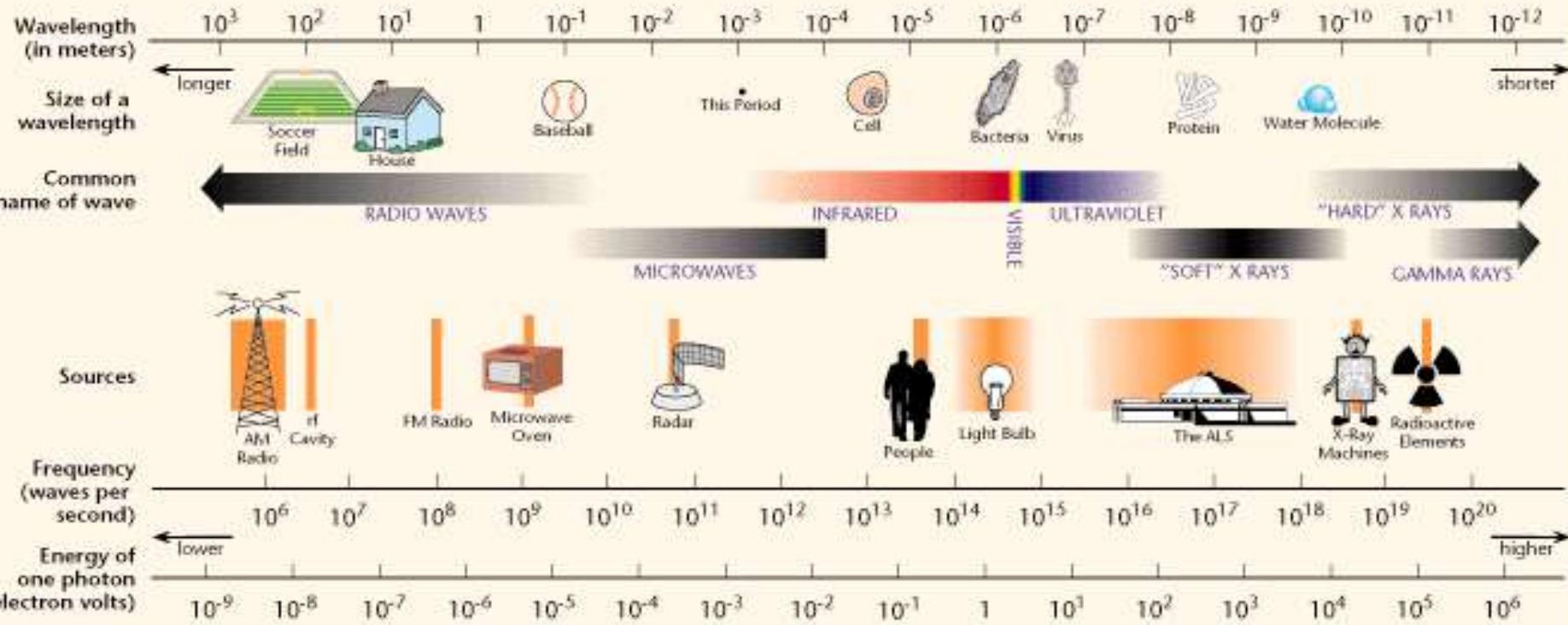
电磁波谱与媒介

◆ 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

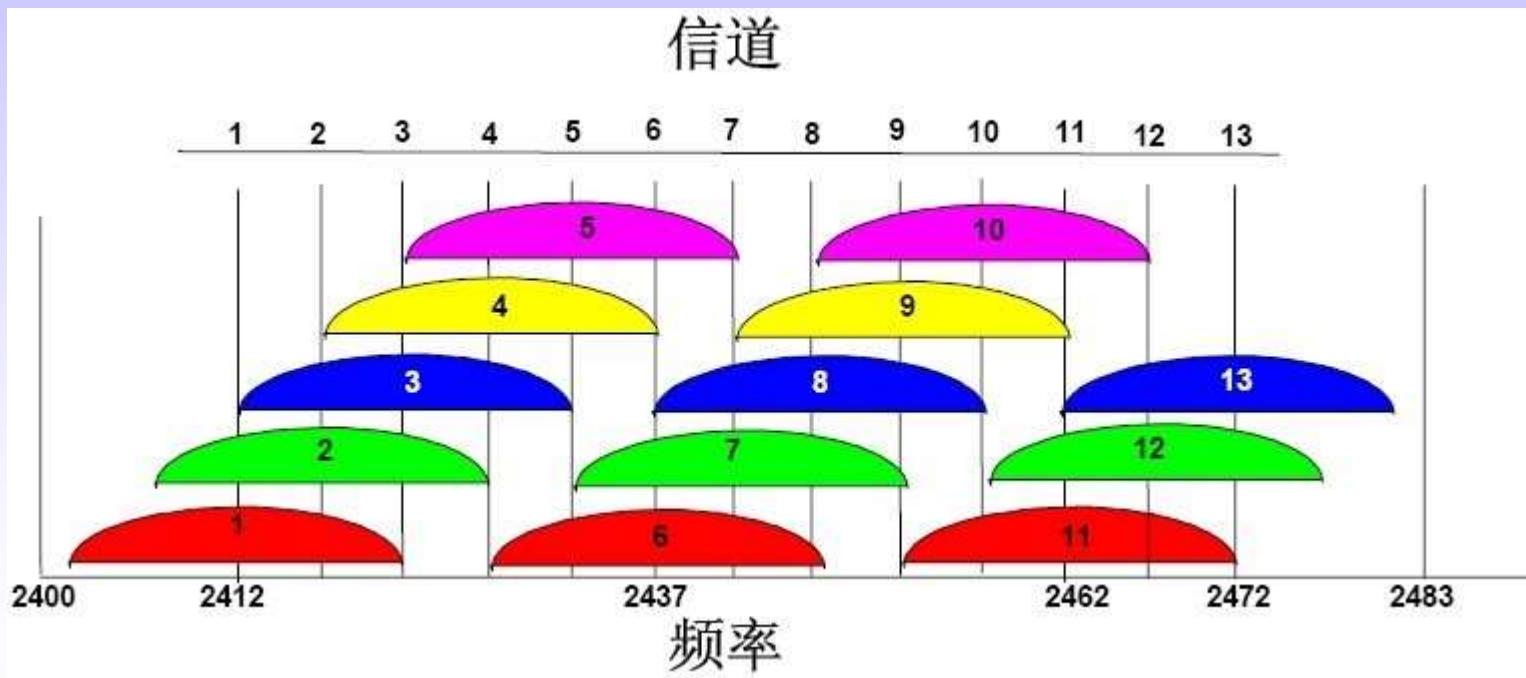


THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM



WiFi频率

- ◆ WiFi 技术被 IEEE 802.11b/g/n 定义被操作在2.4 GHz 的频率中，在其中这个2.4 GHz 频谱被划分为14个交叠的、错列的20 MHz 无线载波信道，它们的中心频率分别为5 MHz。802.11a/n 被操作在有更多信道的5.0GHz 频谱中。
- ◆ 一些微波炉也同在2.4G频段内，其功率有在千瓦以上，这已经是WiFi的万倍数量级了



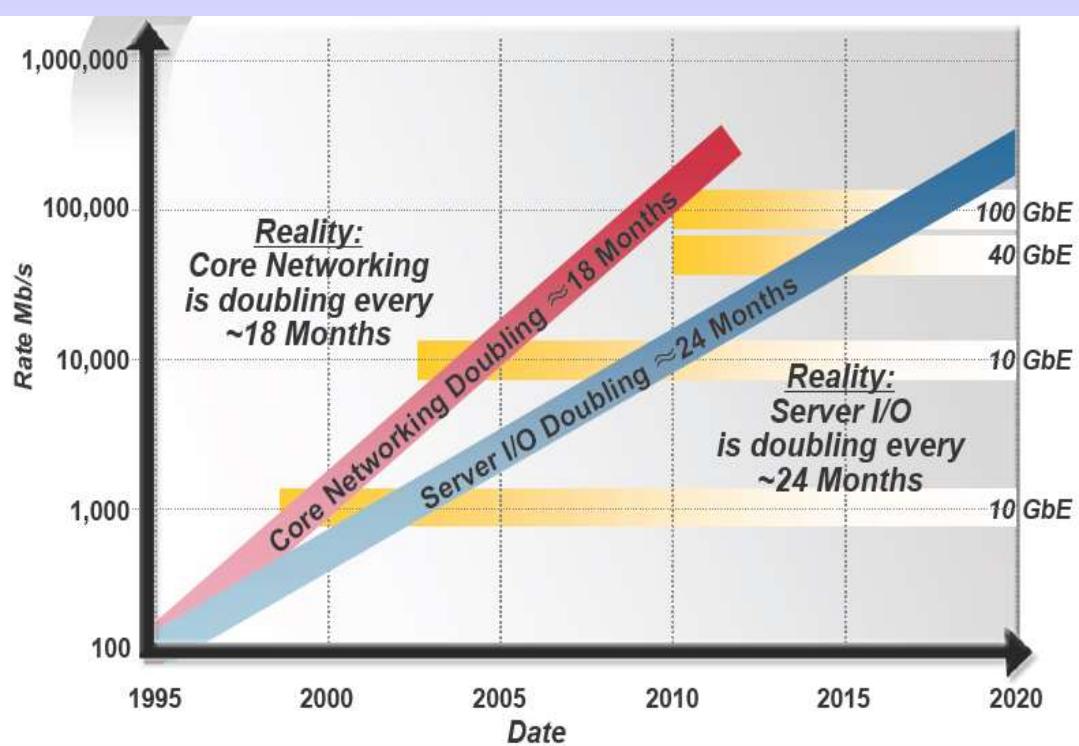
WiFi频率

- ◆ 太阳光功率密度约是1.3千瓦/平方米，GSM手机，最大发射功率为2瓦，而平均发射功率仅为125毫瓦。当周围信号较好时，手机能够比较轻易的获得信号，所以发射功率就会减小，此时辐射也比较小。当周围信号不好时，手机就会加强辐射强度，以便接受更多的信号，辐射强度也就随之增强。
- ◆ WiFi等效全向辐射功率（EIRP）在欧盟被限制为20 dBm的（100mW）

主干线路 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
	DWDM		40 Gbps
	DWDM		100 Gbps

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

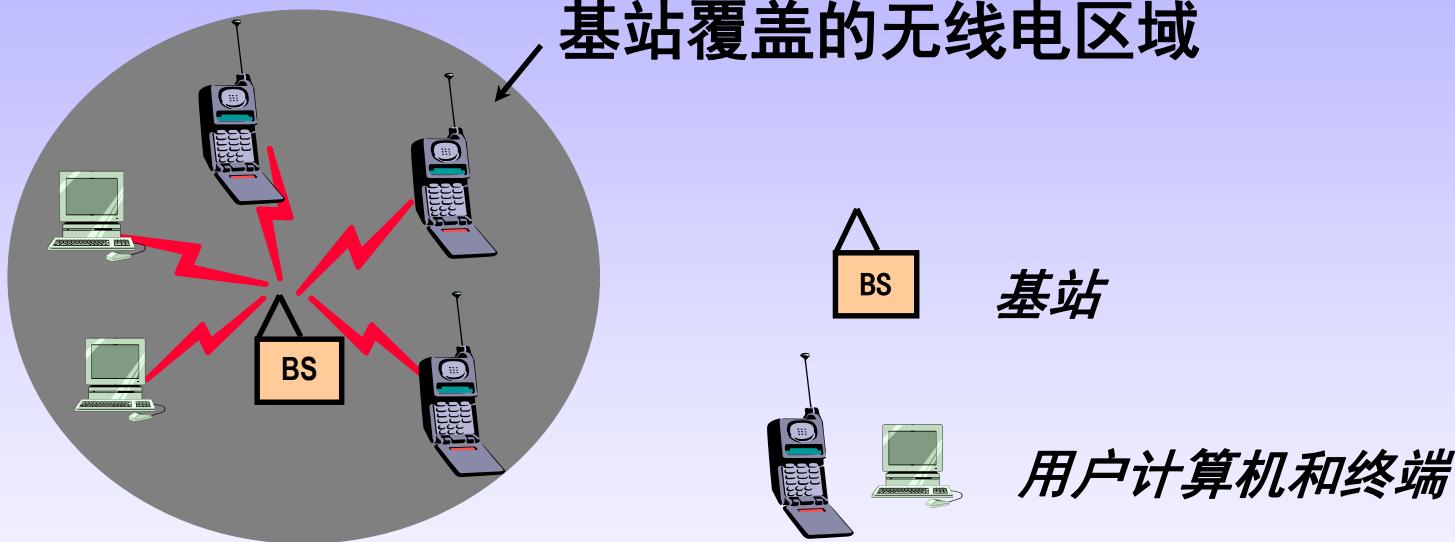


点到多点无线链路

- ◆ **无线介质**（信号在大气或外层空间自由传播）
 - 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 $x10--x100\text{bps}$
- ◆ 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 $3. 7--4. 2\text{GHz}$ ，频宽 500M 。

◆ 无线电

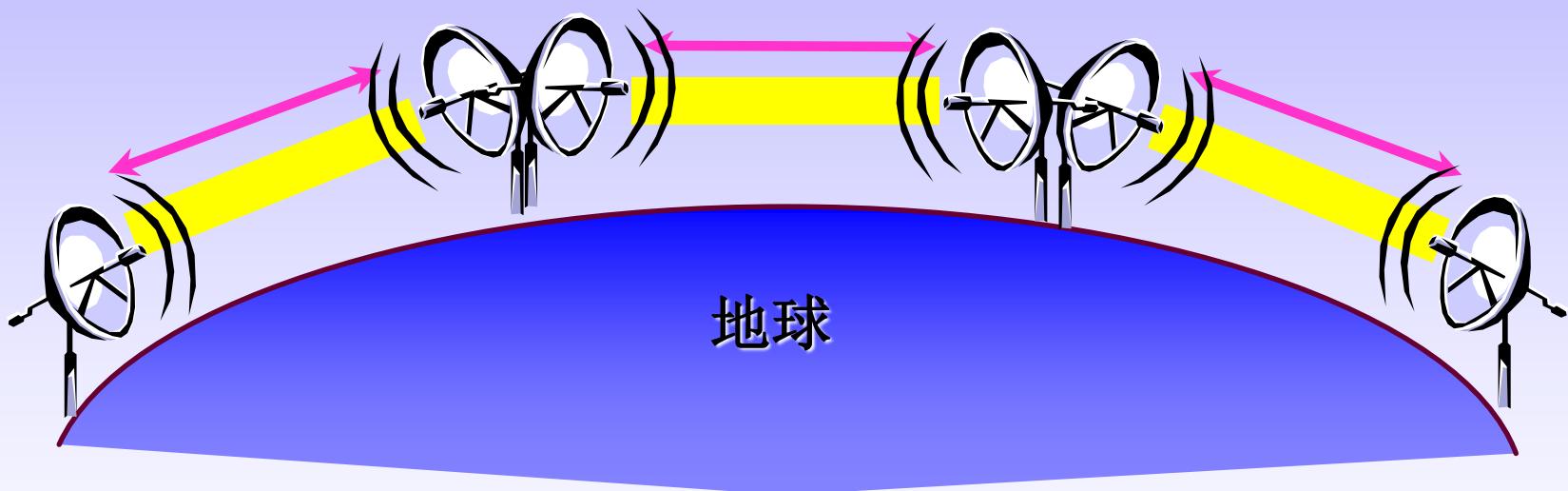
- 基站与终端之间通信采用无线链路
- 应用领域：移动通信、无线局域网（WLAN）



- 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**



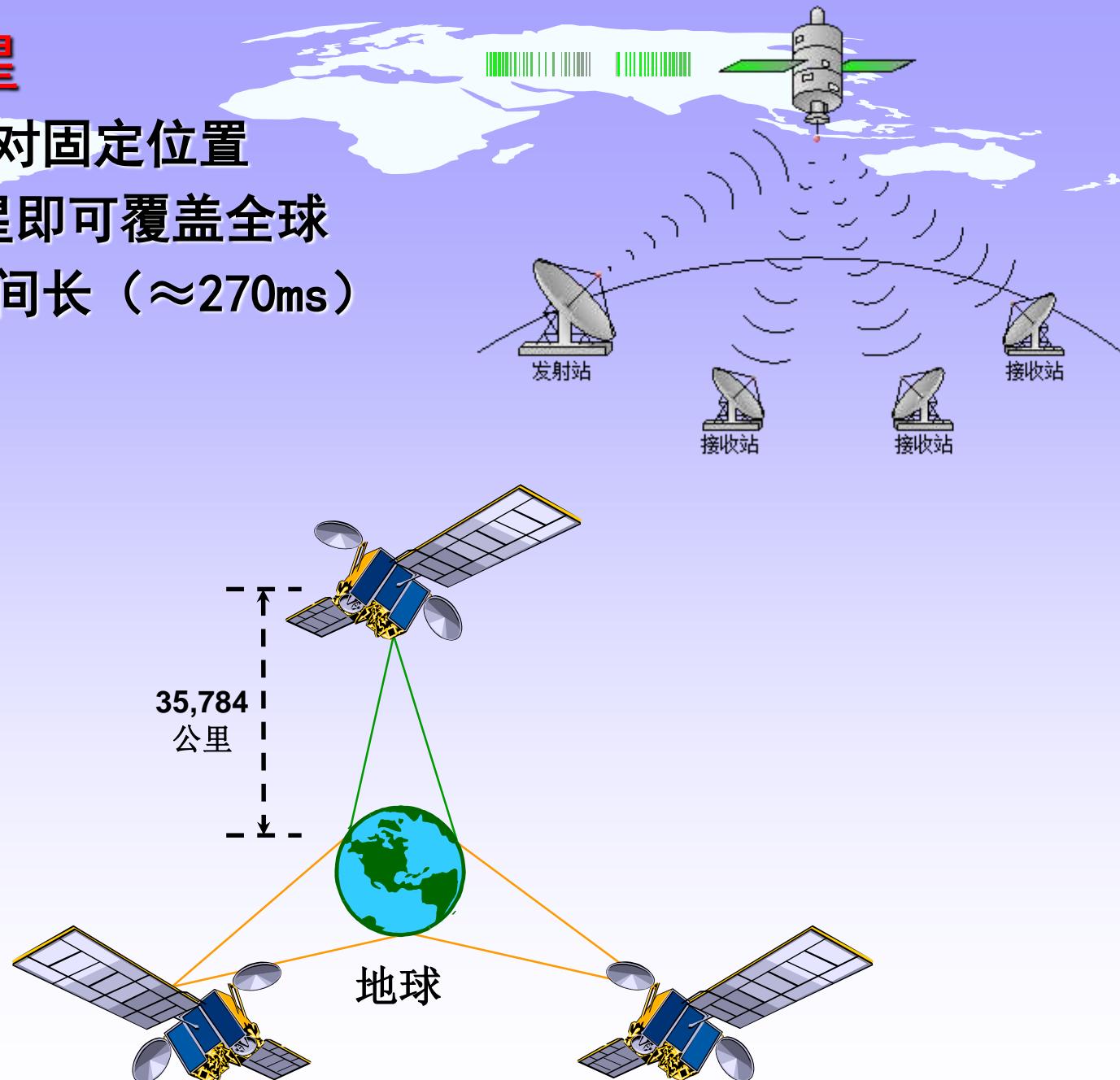
地面站之间的直视线路



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



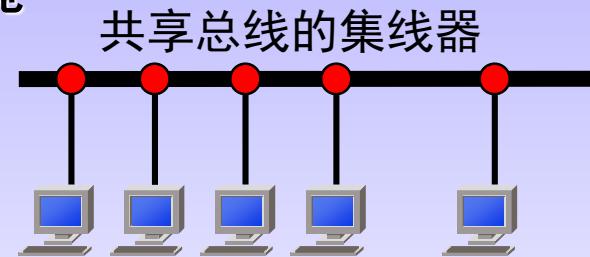
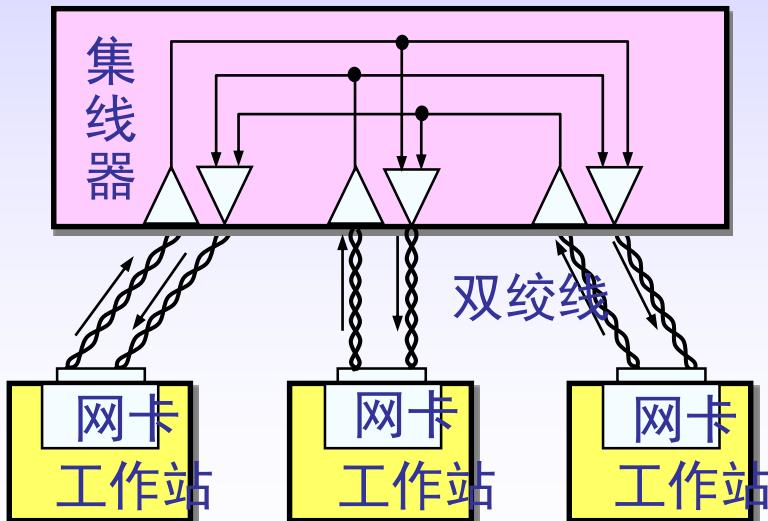
点到多点以太总线

◆ 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。



1.2.2 编码与成帧技术

◆ 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、携带信息量少、不能有效高效接收识别等问题

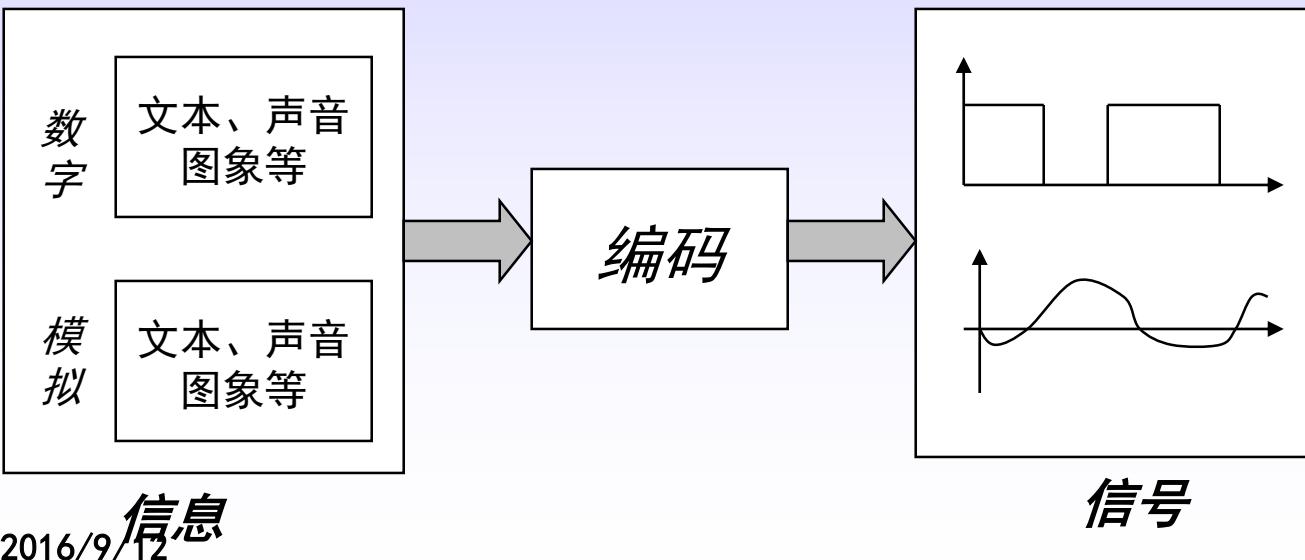
◆ 信号的物理层编码

- 模拟→模拟；（调制）
- 模拟→数字；（编码）
- 数字→数字；（编码）
- 数字→模拟。（调制）

◆ 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 $g(t)$ 都可写成傅里叶级数：

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

即已知 T 、振幅 a_n 和 b_n 可得时间函数 $g(t)$ ；

- 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

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

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

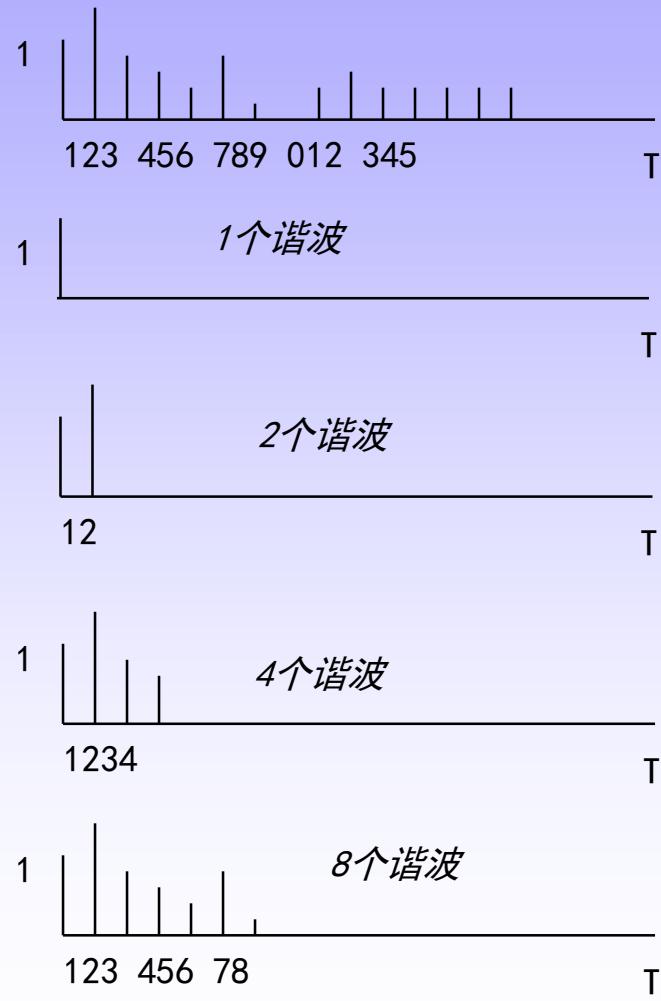
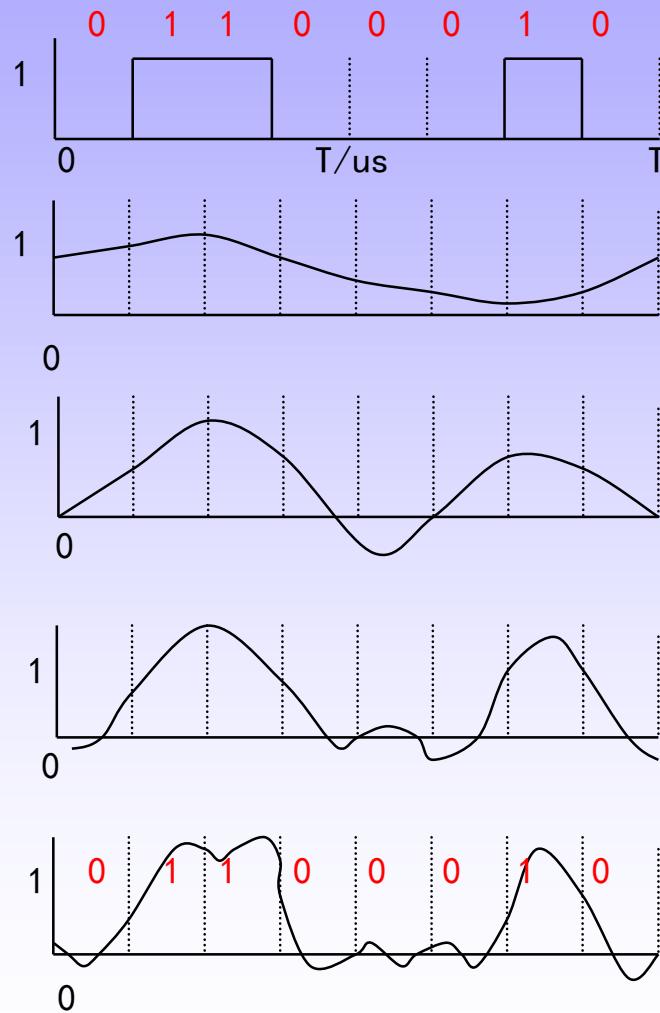
$$c = 2/T \int_0^T g(t) dt$$

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

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

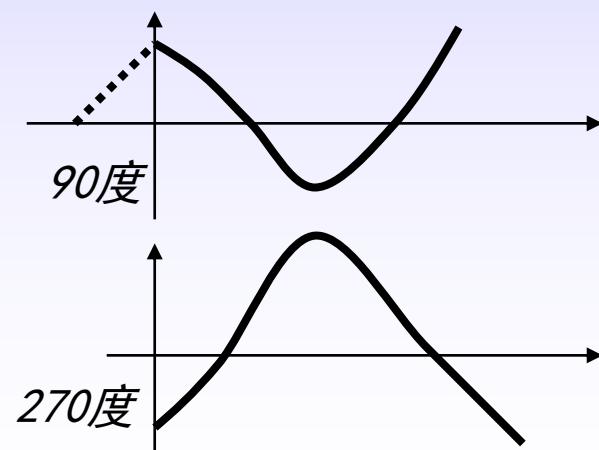
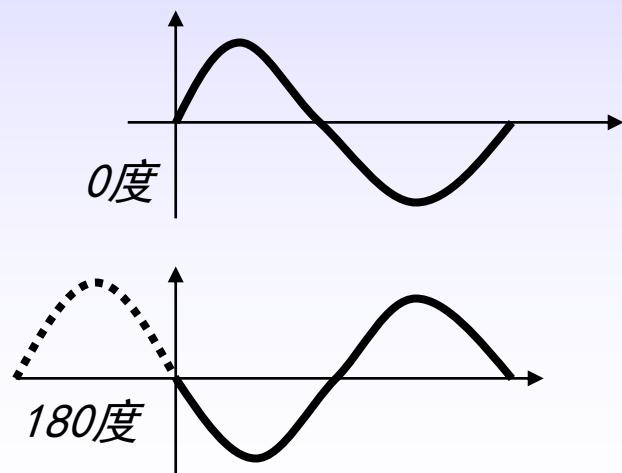
$$c = \frac{3}{8}$$

低次谐波幅度的 $\sqrt{a_n + b_n}$

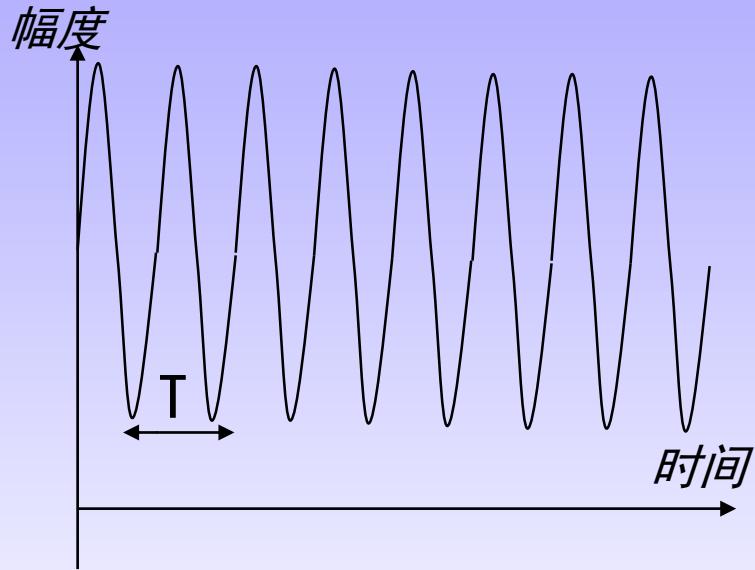


模拟信号的周期、频率和相位

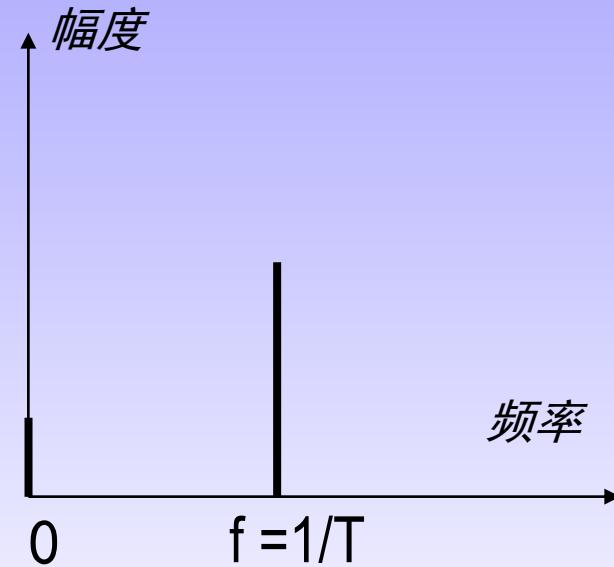
频率		周期	
单位	值	单位	值
Hertz(Hz)	1Hz	秒	1s
Kilohertz(KHz)	10^3 Hz	毫秒	10^{-3} s
Megahertz(MHz)	10^6 Hz	微秒	10^{-6} s
Gigahertz(GHz)	10^9 Hz	纳秒	10^{-9} s
Terahertz(THz)	10^{12} Hz	皮秒	10^{-12} s



时域和频域



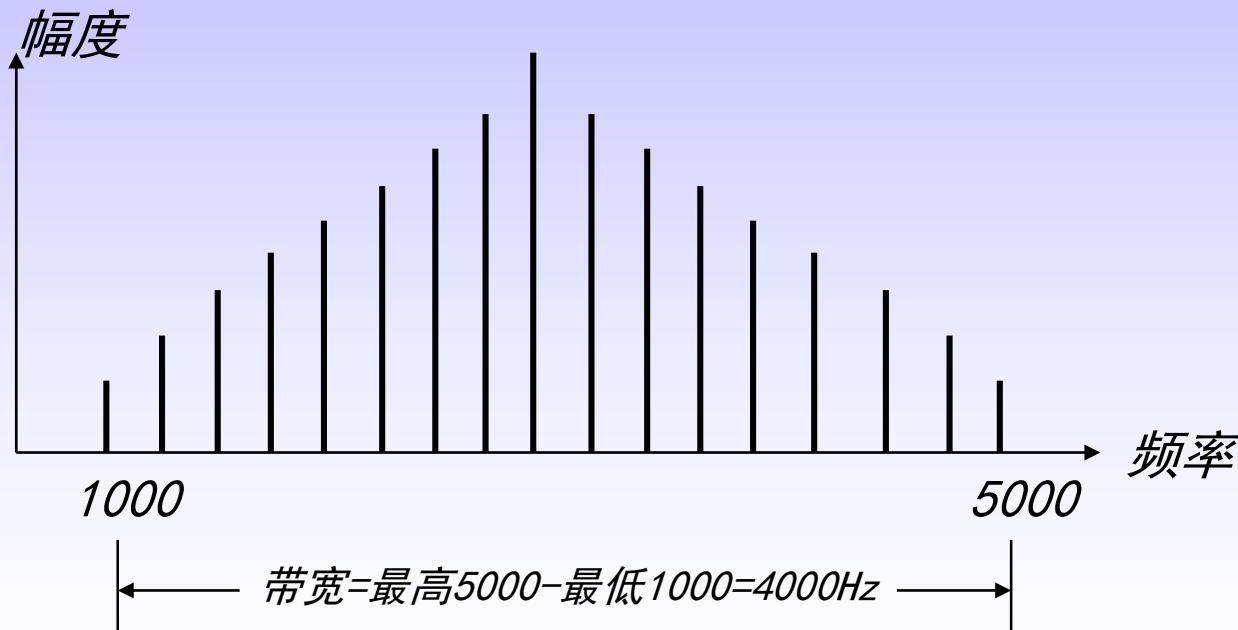
时域



频域

频谱和带宽

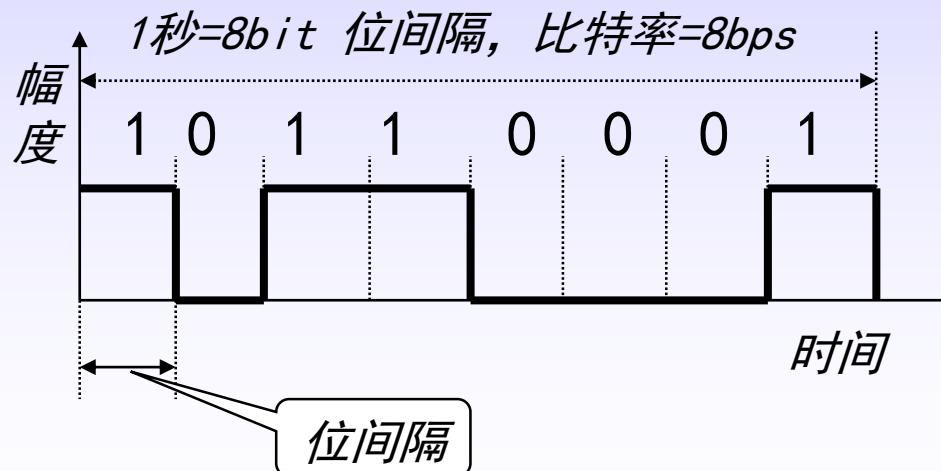
- ◆ 信号频谱：信号的频域图中包含的正弦频率集
- ◆ 信号带宽：信号频谱的宽度或频率构成的范围



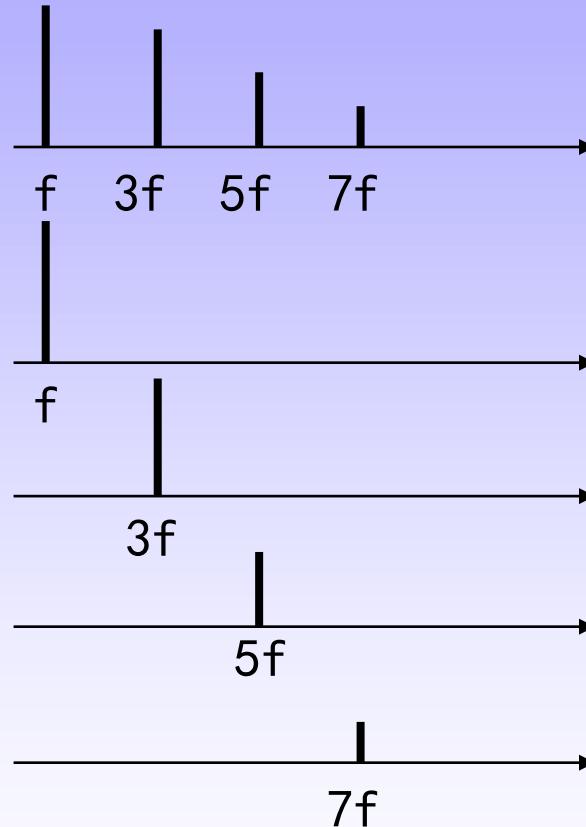
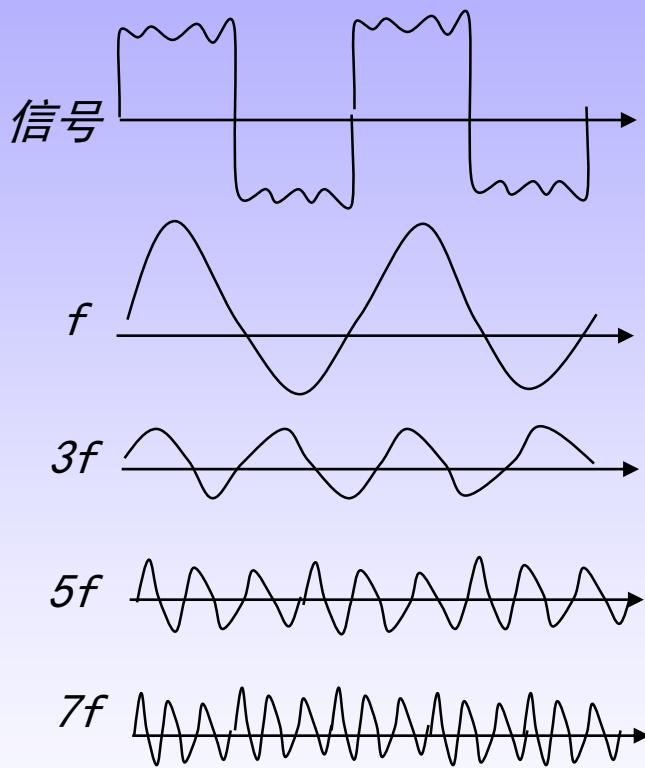
数字信号的周期、频率和相位

◆位间隔和比特率

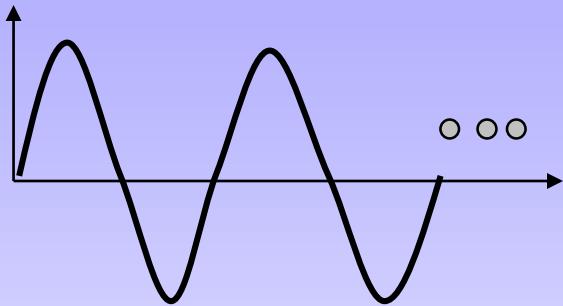
- 位间隔：发送1比特信号所需要的时间或数字信号的周期
- 比特率：每秒的位间隔数或每秒比特数



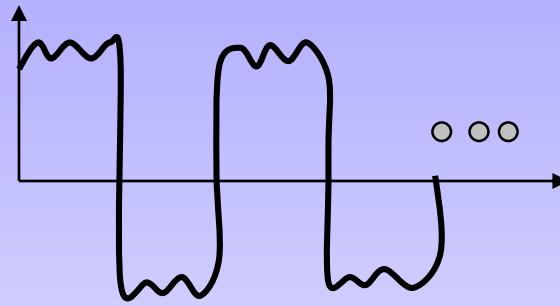
时域和频域



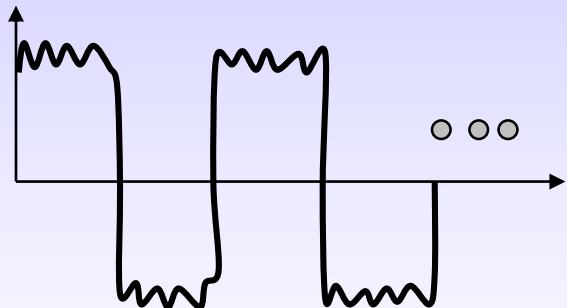
数字信号的频谱



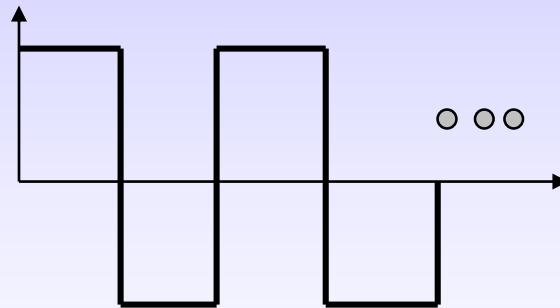
仅有1次谐波



有1、3、5次谐波

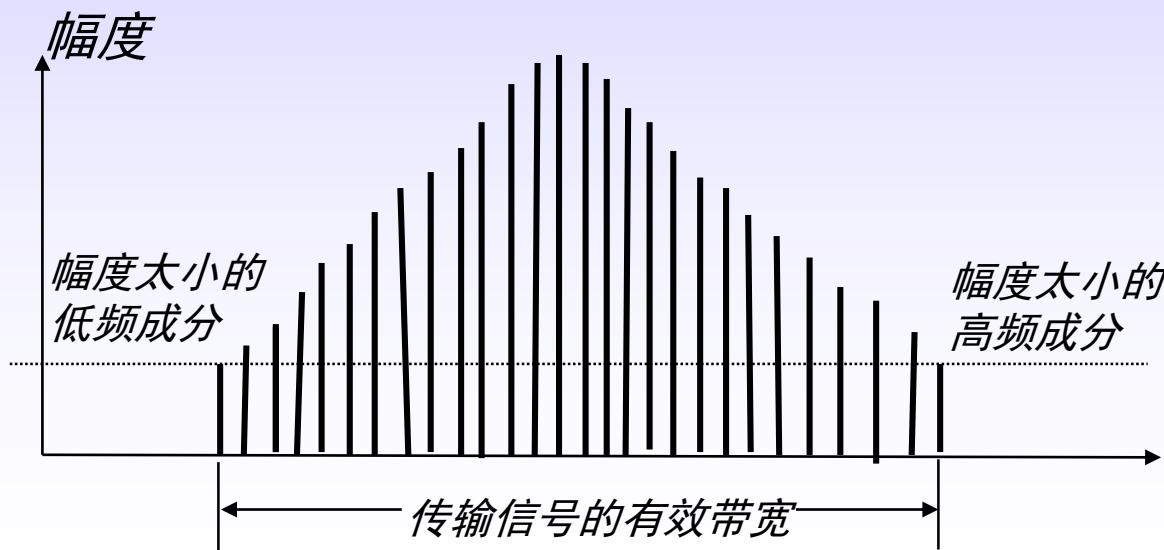
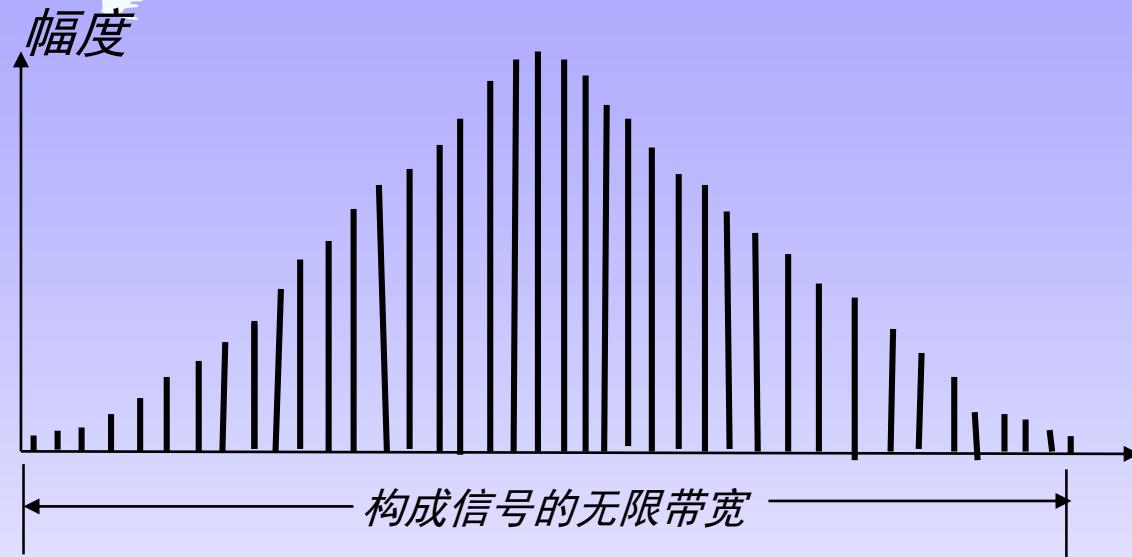


有1、3、5、7次谐波



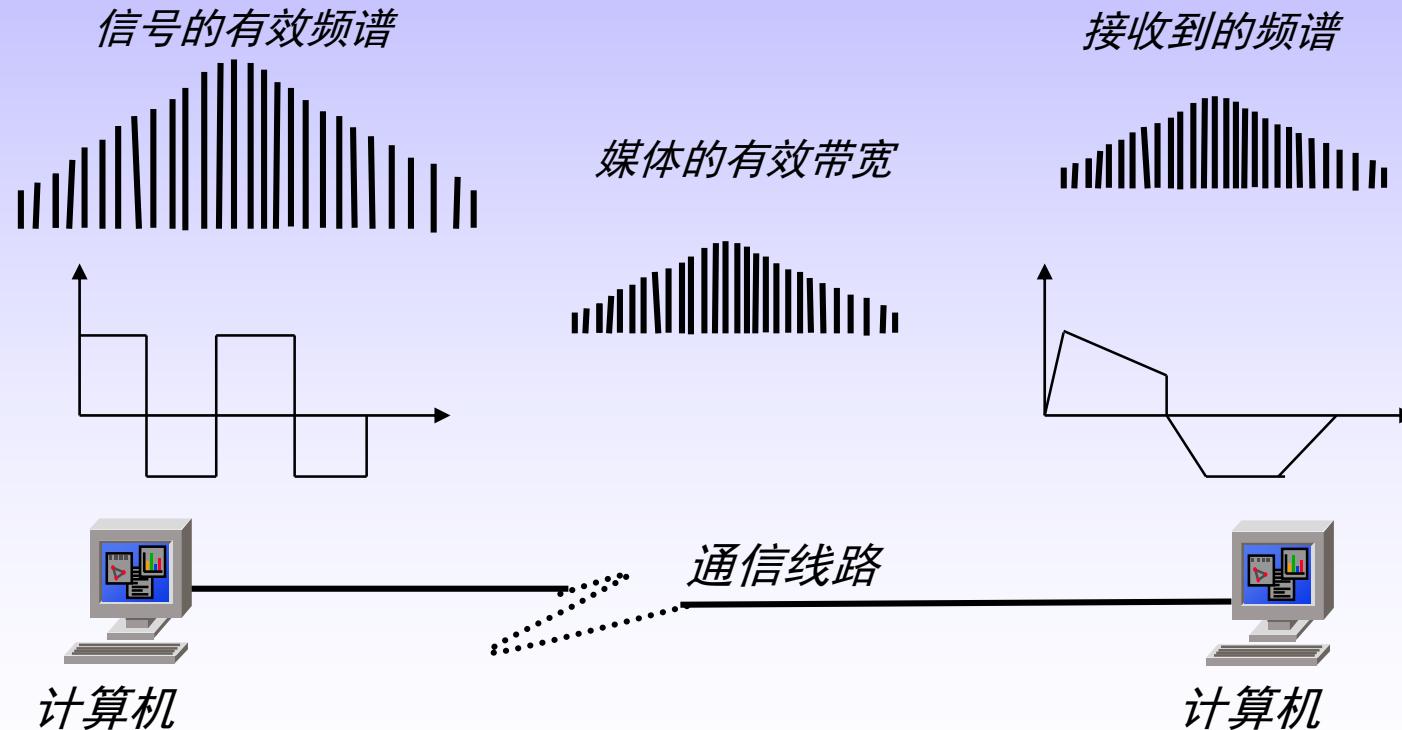
有无限次谐波

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

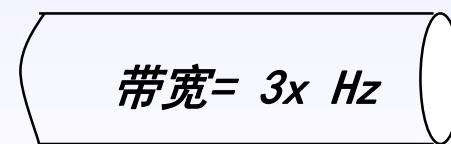
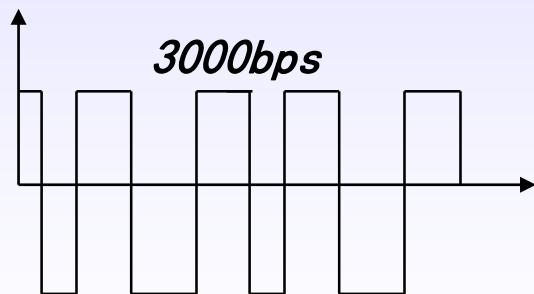
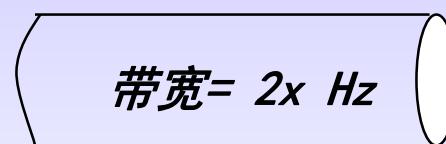
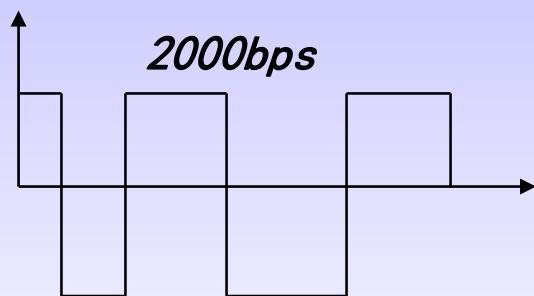
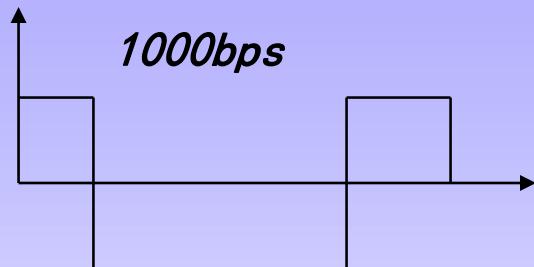
◆ 比特率与信号带宽的关系

- 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



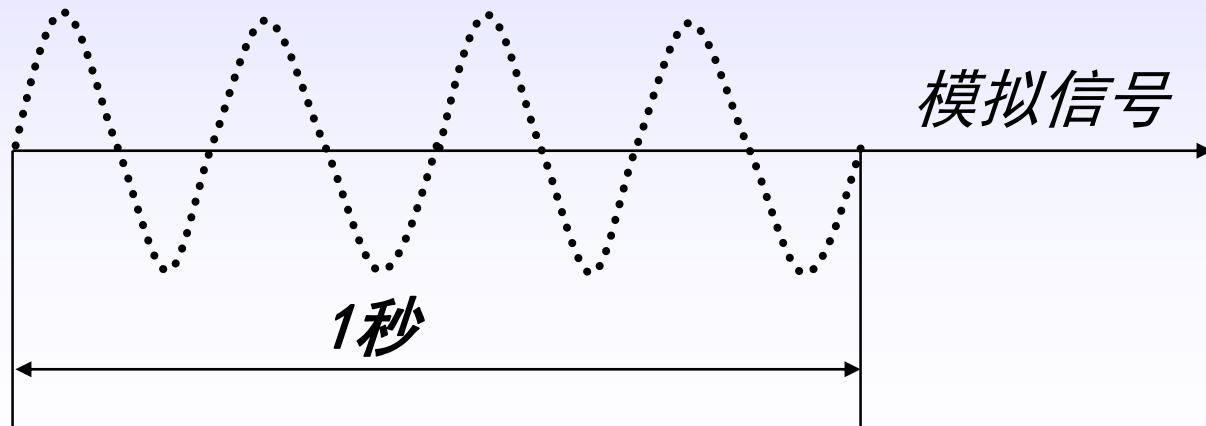
用模拟信号传输数字数据

- ◆ 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 = 4 Hz



比特率与带宽之例

- ◆ 每幅图由25个象素构成，并设象素是黑白交替每个象素用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 $525\text{行} \times 700\text{列}=367500\text{象素}$ ， 30屏/s
 - 解： $30\text{屏} \times 367500\text{象素/屏}=11,025,000\text{象素}$
 - 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:

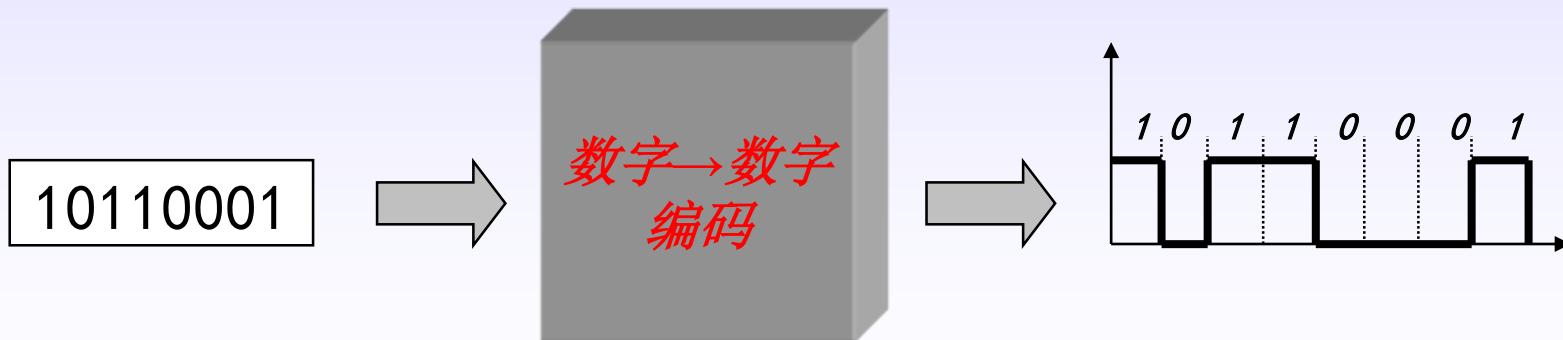
- 有直流，功耗大
- 无接收同步信号

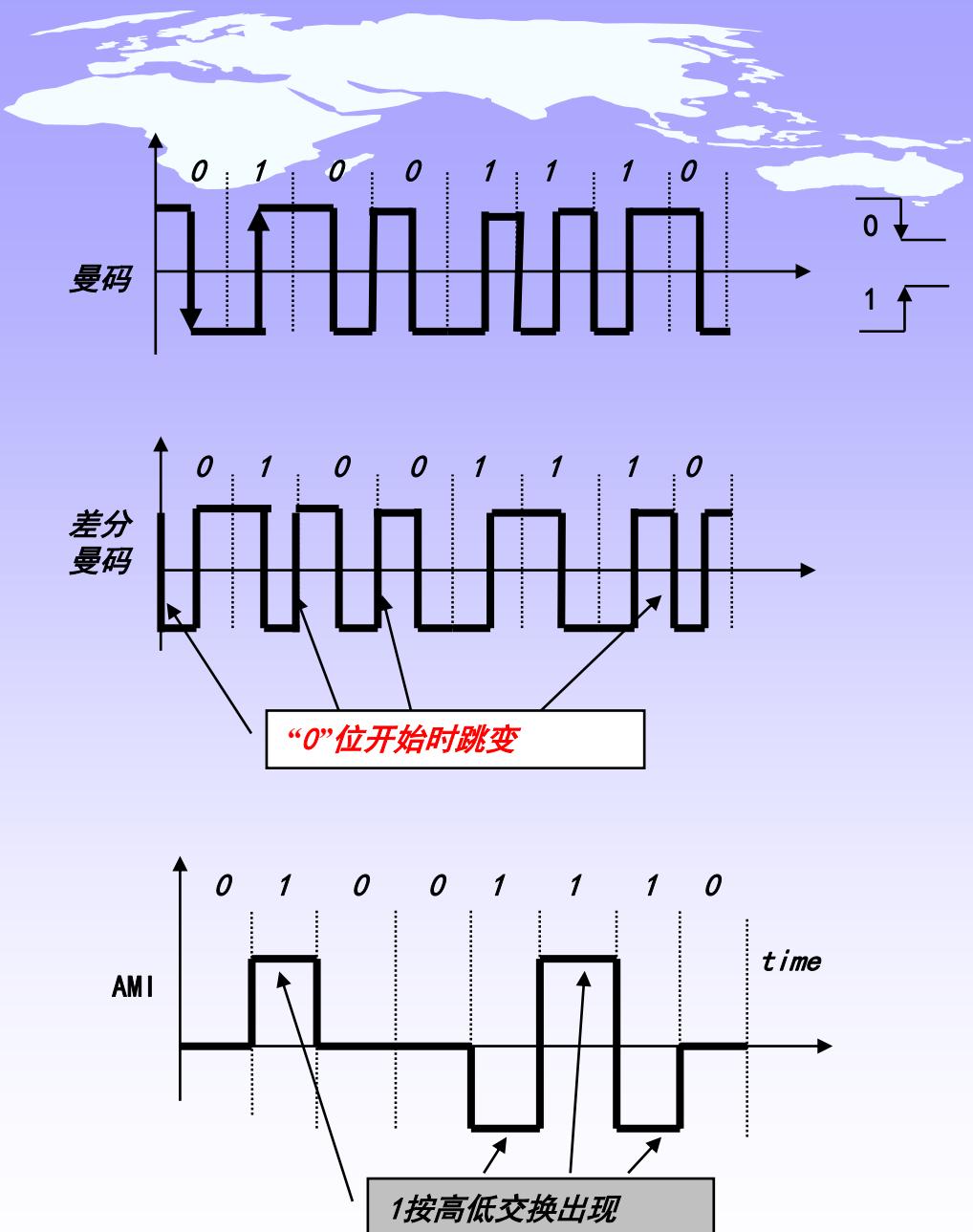
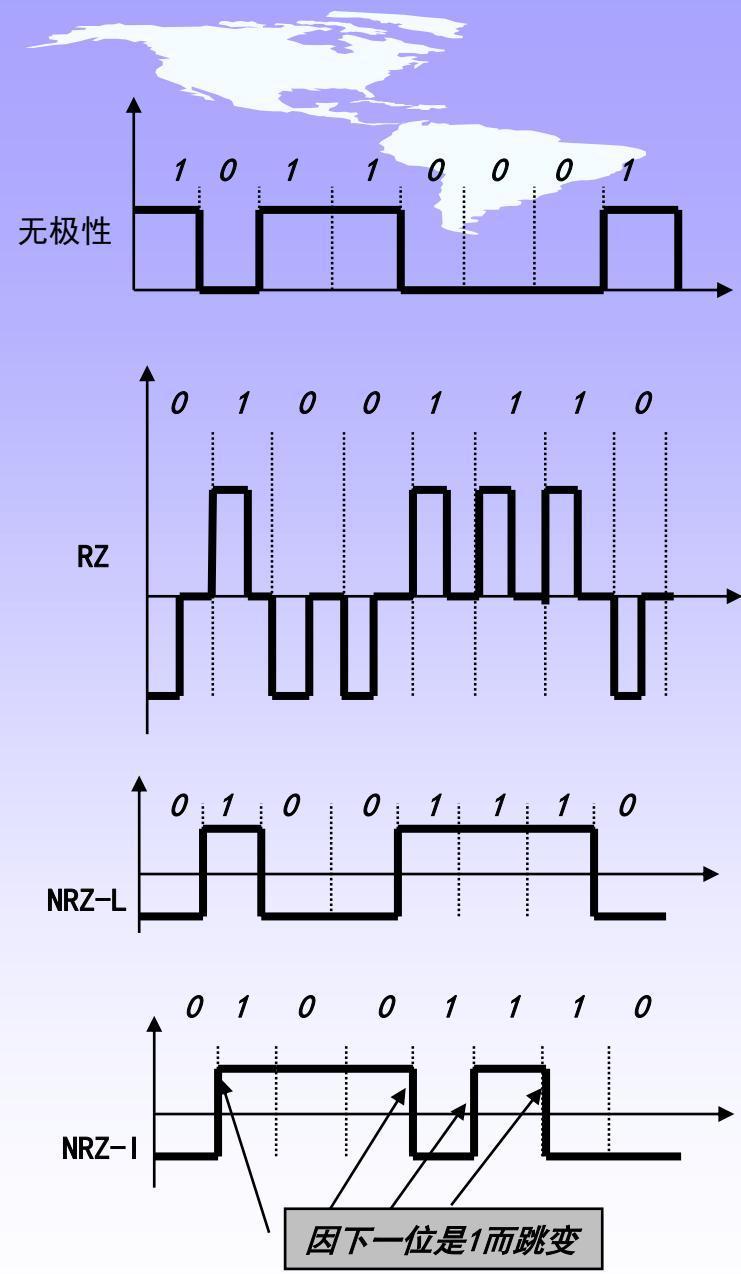
◆ 单极性

- 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: Biphasic

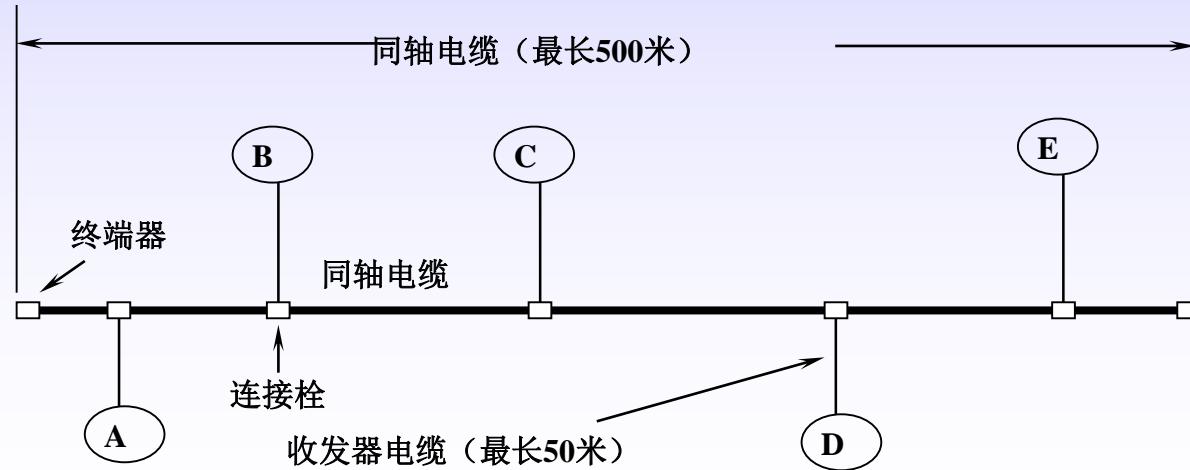
- Manchester
- Differential Manchester
- 其它
 - AMI:Alternate Mark Inversion
 - B8ZS:Bipolar 8-Zero Substitution:略
 - HDB3:High Density Bipolar 3
 - B8ZS和HDB3在北美使用较多



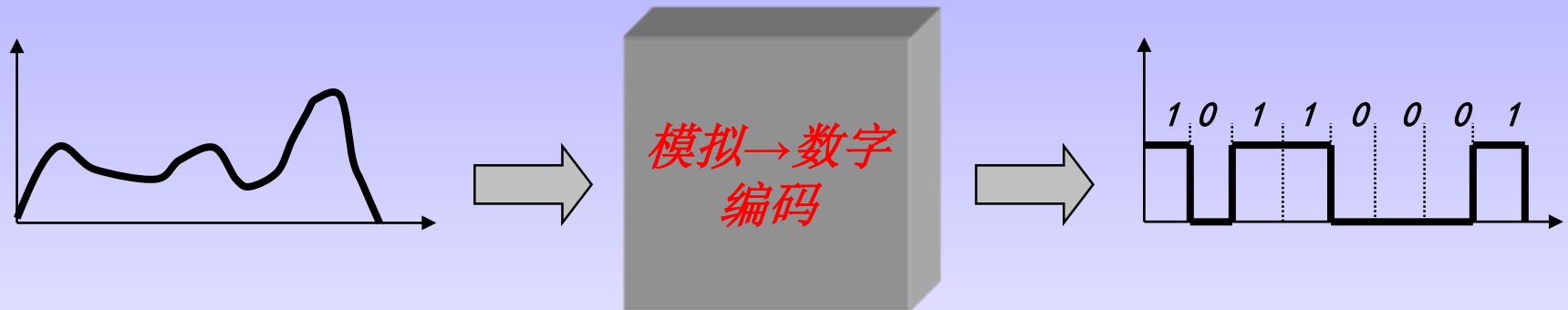


基带传输常用数字到数字编码

- ◆ 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

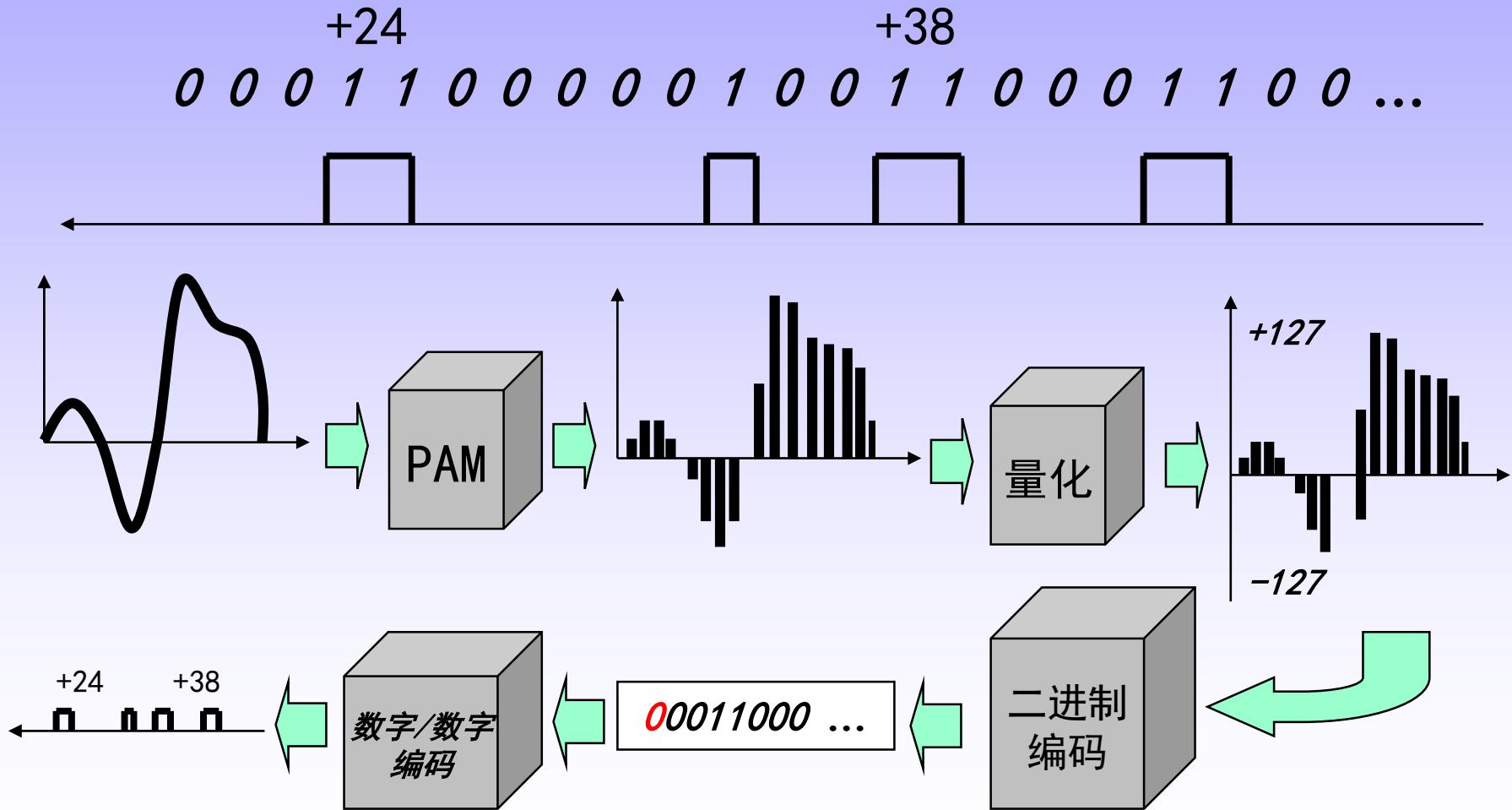


模拟→数字编码

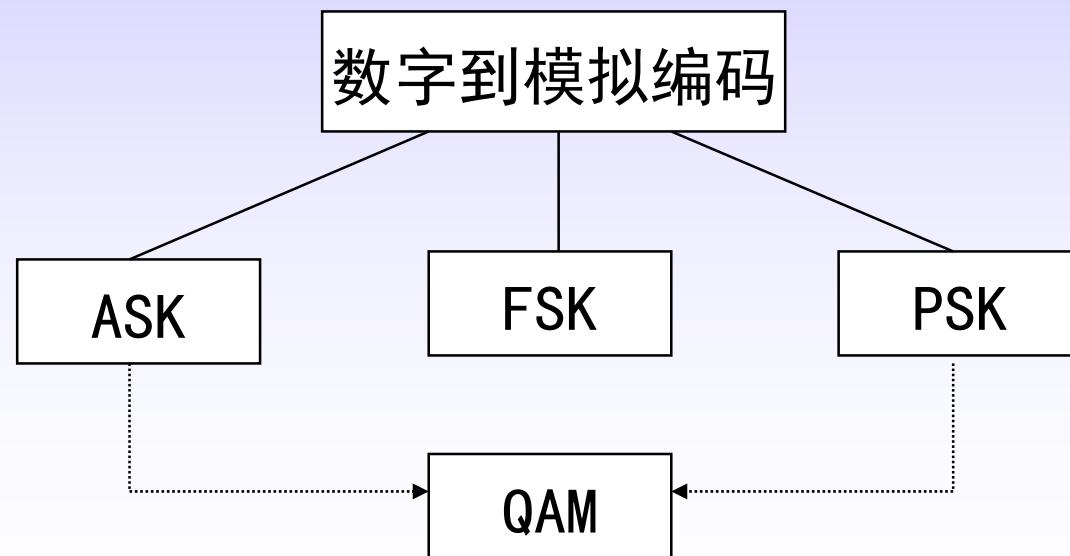
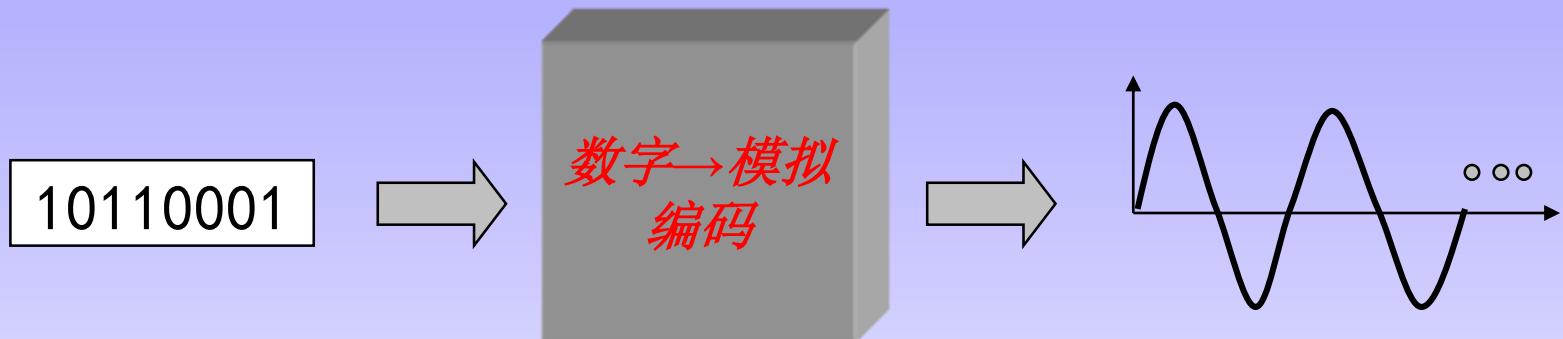


- ◆ PAM: Pulse Amplitude Modulation
- ◆ PCM: Pulse Code Modulation 是一个重要的模拟到数字的转换方法

从模拟到数字(PCM)

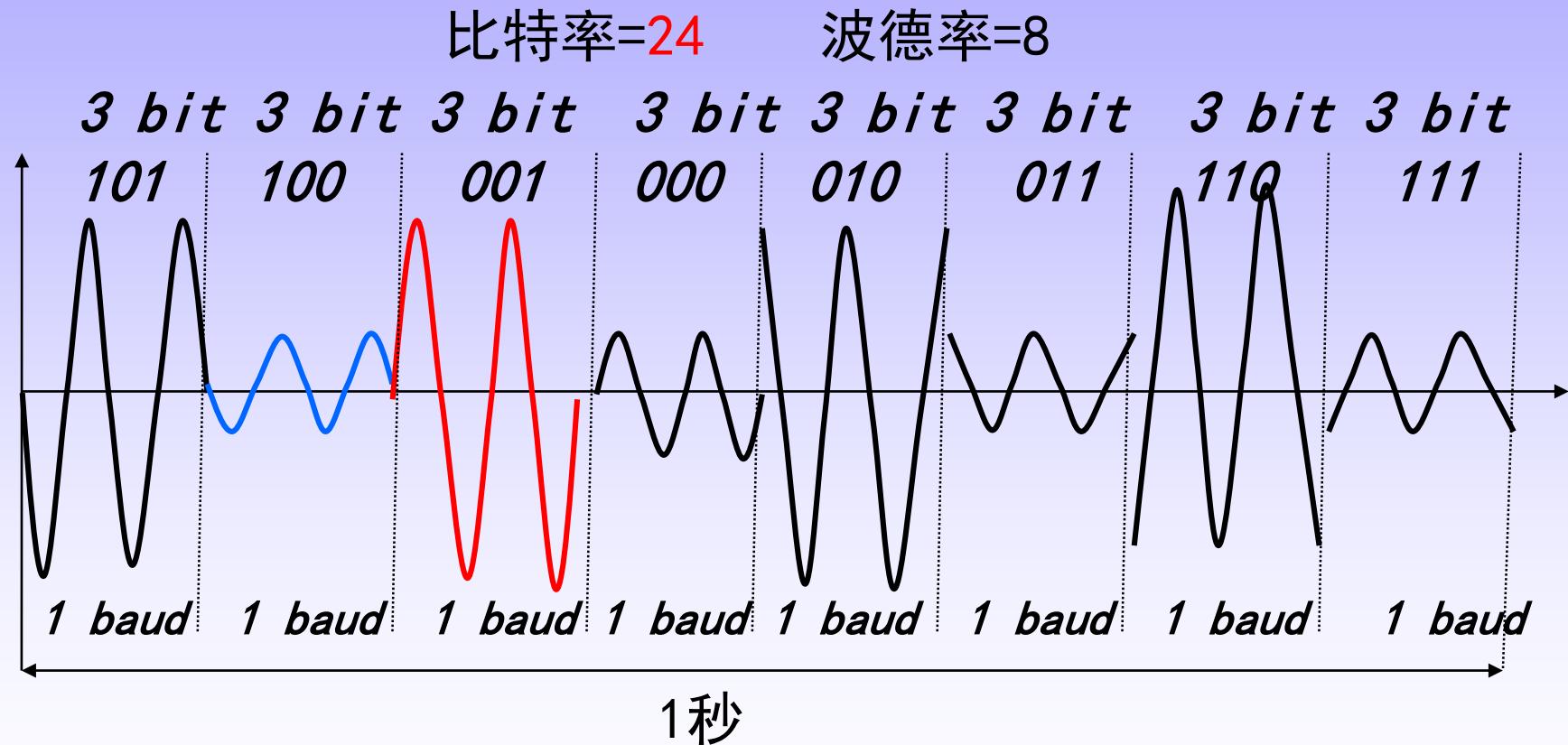


数字→模拟编码



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

8(2^3) (2^2 相位* 2^1 幅度) — QAM

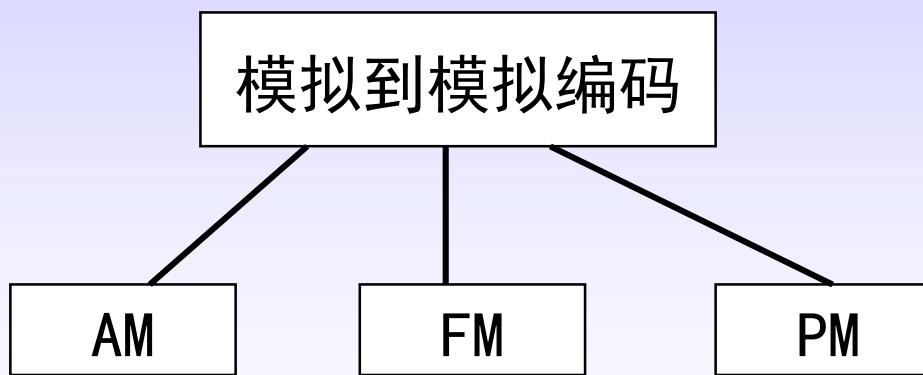
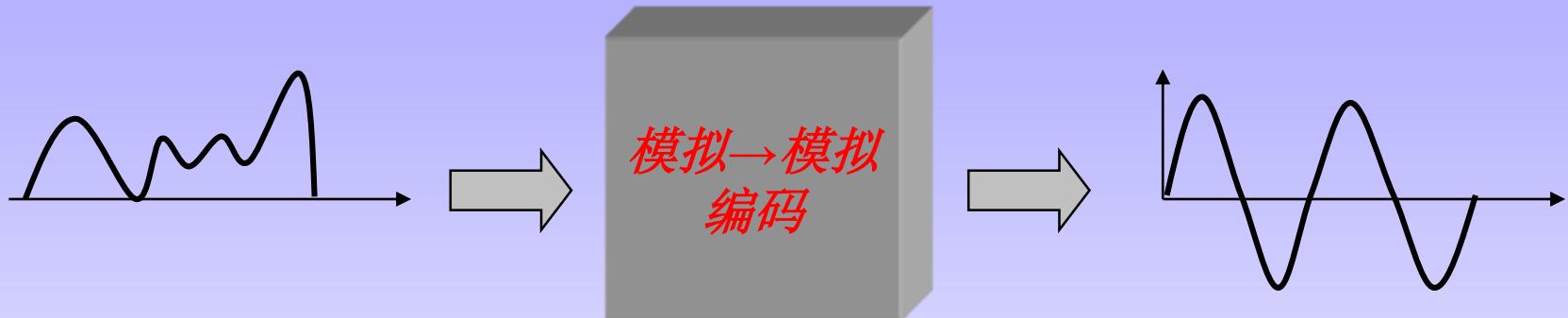


比特率与波德率

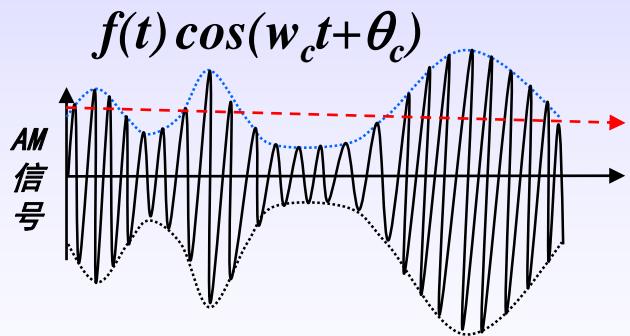
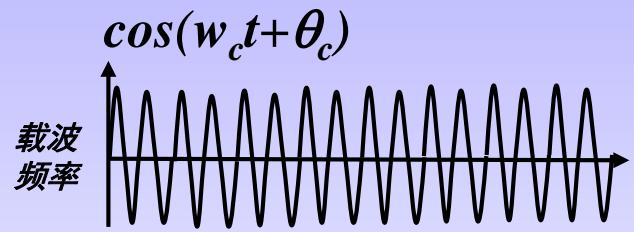
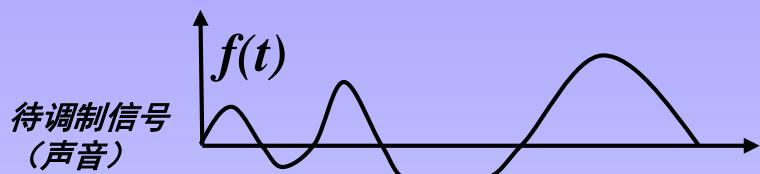
- ◆ 比特率Bit Rate: bps = bit/s
 - 每秒内传输的比特数。
- ◆ 波德率Baud Rate: Baud
 - 每秒内为表示某些比特而需要的信号单元数（或码元数）
- ◆ 当仅当一个信号单元表示一比特时，比特率才等于波德率。
- ◆ Bit Rate = $\log_2(\text{Bit Units}) \times \text{Baud Rate}$

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>

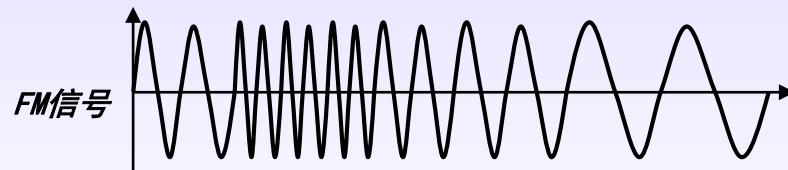
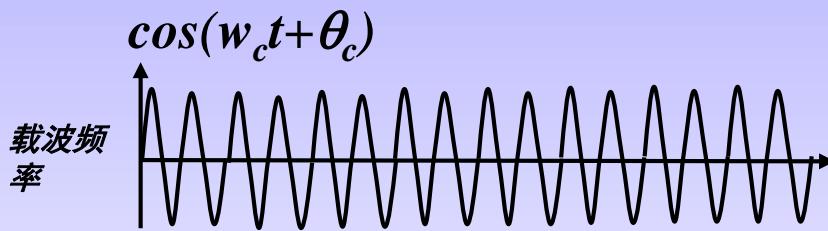
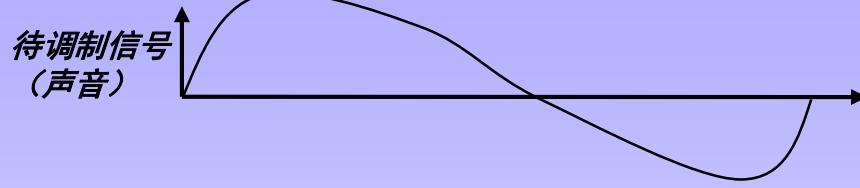
模拟→模拟编码



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。

◆ 4Bit/5Bit：FDDI 中使用

◆ 具体编码方案：4bit 变为 5bit

- 不能超过一个0开头，两个0结尾
- 字符连接在一起不超过3个0
- 只用了5bit中16个
- 剩下16个可以作为特殊组合

4-Bit Data Symbol	5-Bit Code
0000	11110
0001	01001
0010	10100
0011	10101
0100	01010
0101	01011

◆ 特点：

- 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
- 所以4B/5B+NRZ-I解决了连续0和连续1的问题，相比曼码效率更高

逻辑层：mBnB编码方式

- ◆ 8Bit/10Bit: 1G光传输
- ◆ 64Bit/66Bit: 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 (WDM LAN) , **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 $3.125/2.5G=1/0.8$
 - 10GBASE—R (SONET LAN) **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。

帧头

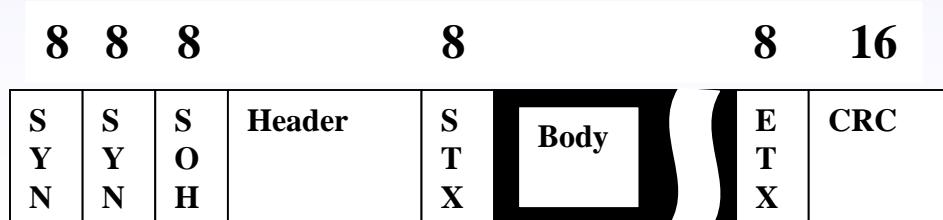
帧尾

SOH	帧的内容	EOT
-----	------	-----

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

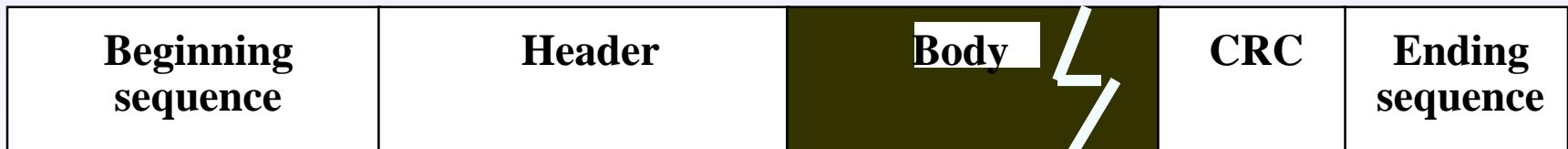


面向比特协议 (HDLC)

- ◆ 不关心字节的边界
- ◆ 把帧看着比特的集合
 - 可能是ASCII码、图像的象素值、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 $\underline{0111} \ 1111 = \underline{0111} \ 11\textcolor{red}{0}11$
 - 接收时删除 $\underline{0111} \ 11\textcolor{red}{0}11 = \underline{}_{16} \ 1111_8$



HDLC帧格式

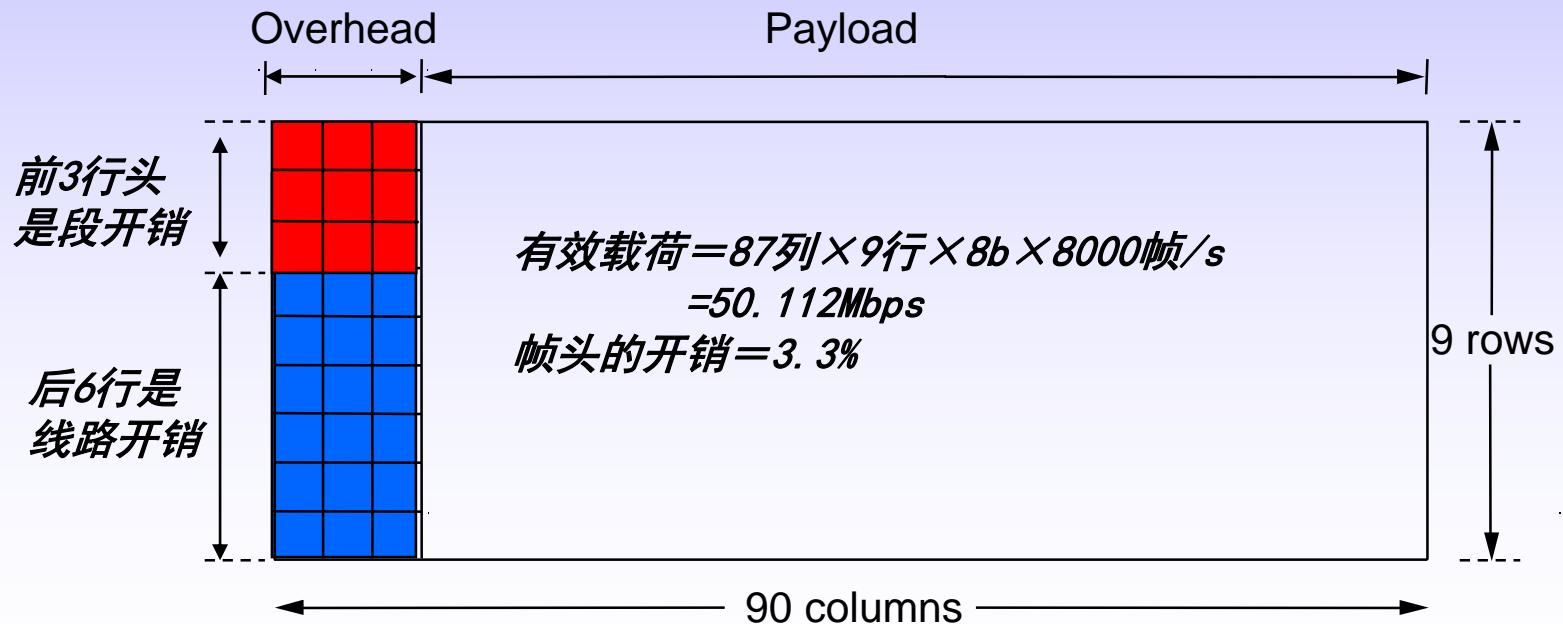
基于时钟的帧 (SONET)

◆ Synchronous Optic Network 标准

- 1984年前各公司都有自己专用光纤的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
 - 1995 Proposed 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125us产生810字节，有无数据都同步发送，故每秒8000帧
- ◆ $9 \times 90 = 810 \text{ Bytes/s} \times 8000 = 51.84 \text{ Mbps}$, 构成基本SONET信道
- ◆ 每帧前3列留作系统管理信息
- ◆ 当段开销的头两个字节A1, A2出现时，接收方就认为这是同步状态，并能正确解释帧





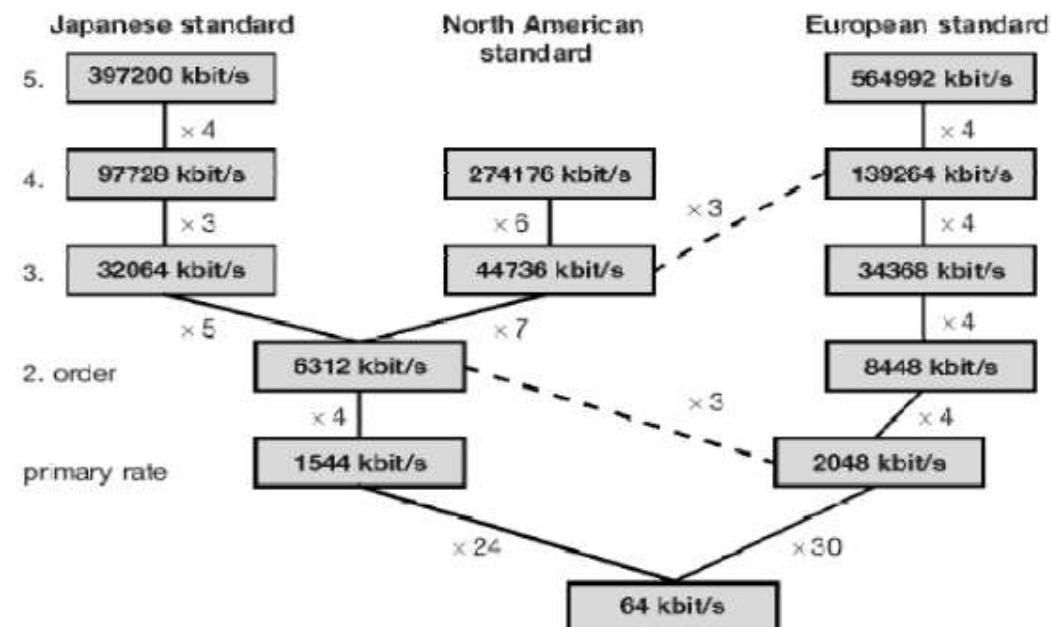
PDH: 准同步数字传输系统; SDH: 同步数字传输系统; MSTP: 多业务传送平台
 DWDM: 密集波分复用系统; ASON: 自动交换光网络 (智能光网络)

◆ PDH解决的问题

- 实现了光传输
- 实现接口标准

◆ PDH存在的瓶颈

- 未实现全球统一
- 时分机制复杂
- 维护管理能力差

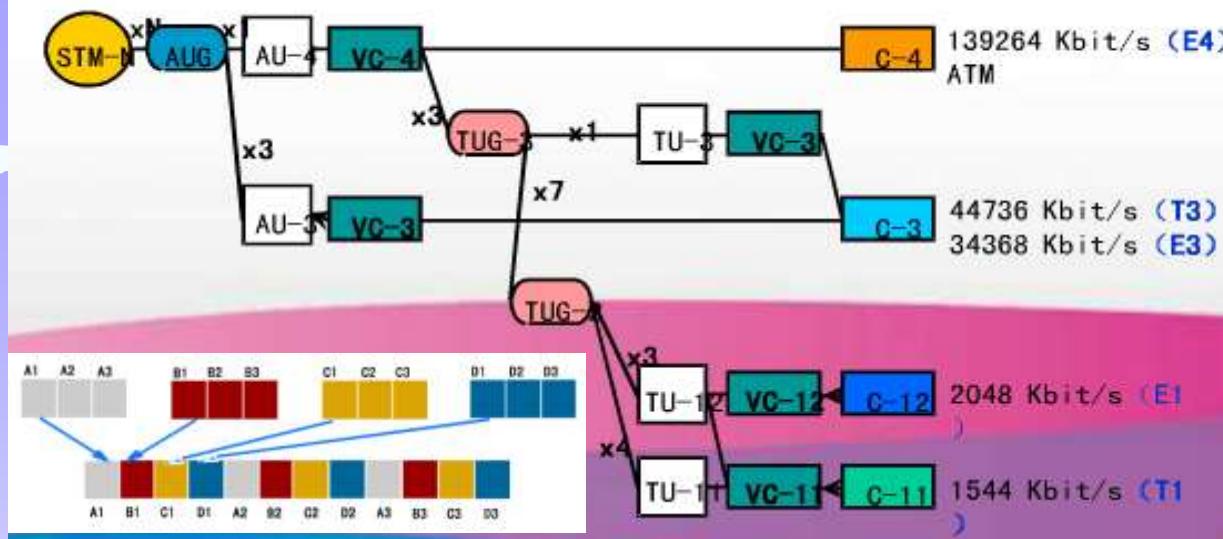


◆ SDH解决的问题

- 统一标准和帧结构
- 同步复用和兼容PDH
- 强大的保护机制
- 很大的管理能力

◆ SDH存在的瓶颈

- 最高传输速率受限
- 智能化保护机制受限
- 多业务接口受限

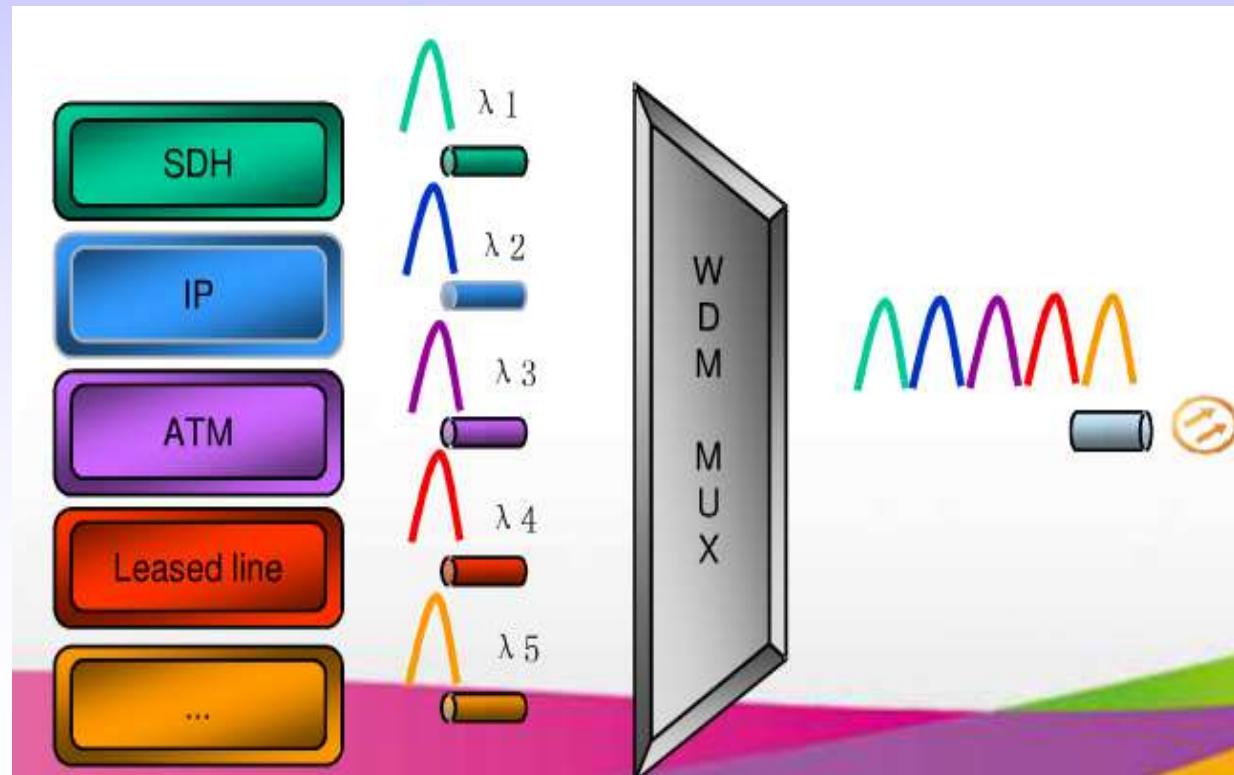


◆ WDM解决的问题

- ☞ 大容量传送
- ☞ 带宽按光波透明复用
- ☞ 平滑扩容
- ☞ 兼容多业务接入

◆ WDM存在的瓶颈

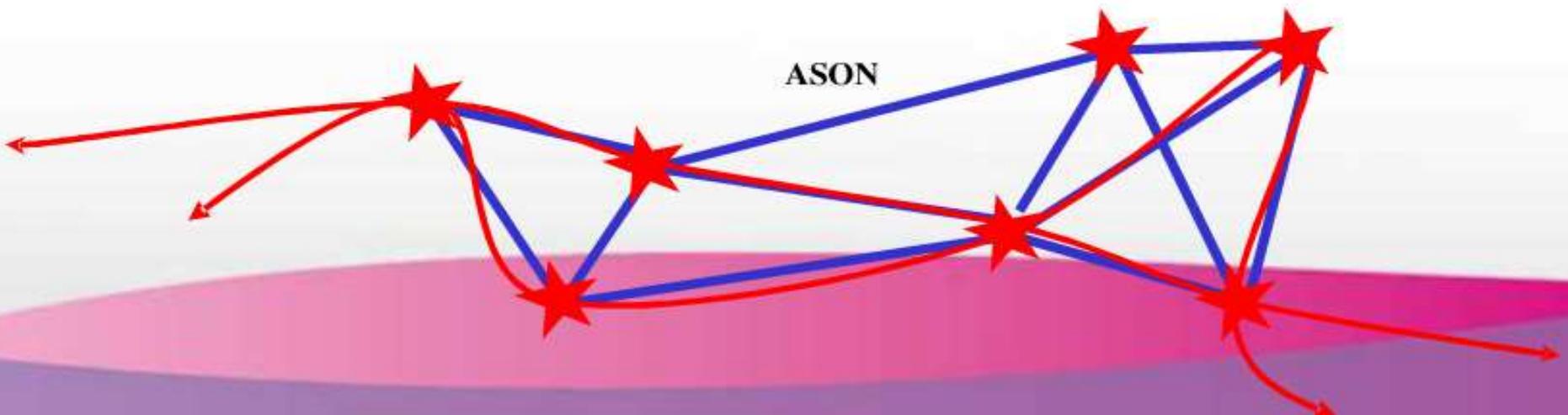
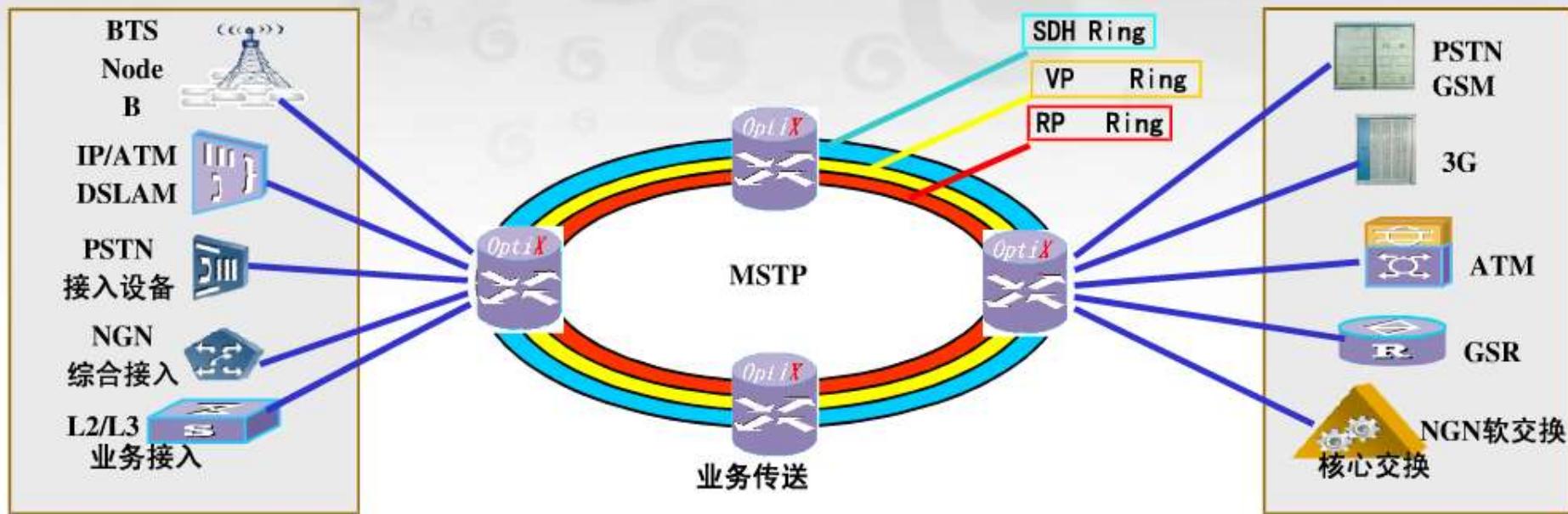
- ☞ 保护机制简单
- ☞ 业务调度能力差
- ☞ 监控能力较差



◆ MSTP/ASON解决的问题

对SDH硬件设备升级实现多业务接入

智能保护



OTN帧结构

ODUk bit rate: $239/(239-k) * "STM-N"$



◆ OTN: Optical Transport Network

- 以波分复用为基础，在光层组织网络的传输网。

◆ OTN解决的问题

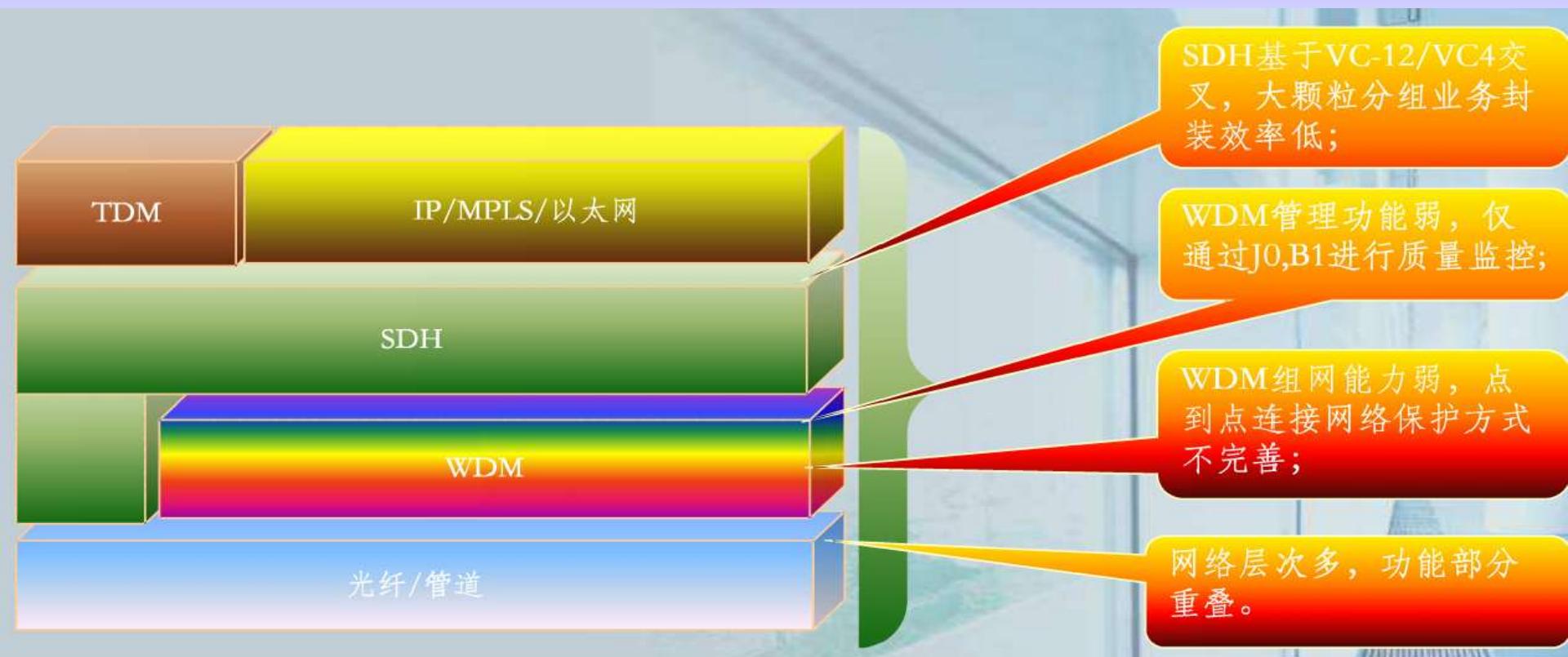
- 以波长/子波长为单位进行业务调度、组网，有很好的保护；
 - 传统SDH+WDM/DWDM人工跳纤来完成光波的调度

◆ OTN光传输网络现状

- 目前IPoverSDH/IPoverWDM不能适应大粒度IP分组业务传送

◆ OTN网络特点

- 光层组网
- 可管理性→类似SDH体系、帧结构及开销
- 面向未来、面向IP →基于DWDM的大颗粒业务
- 更加智能→基于ASON的智能协议
- 多业务接入和交换→类似MSTP多类接口、二层交换功能
- 大容量和高可靠性→基于DWDM的大容量、类似SDH的多种保护方式
- 多用于干线和本地城域网骨干层。

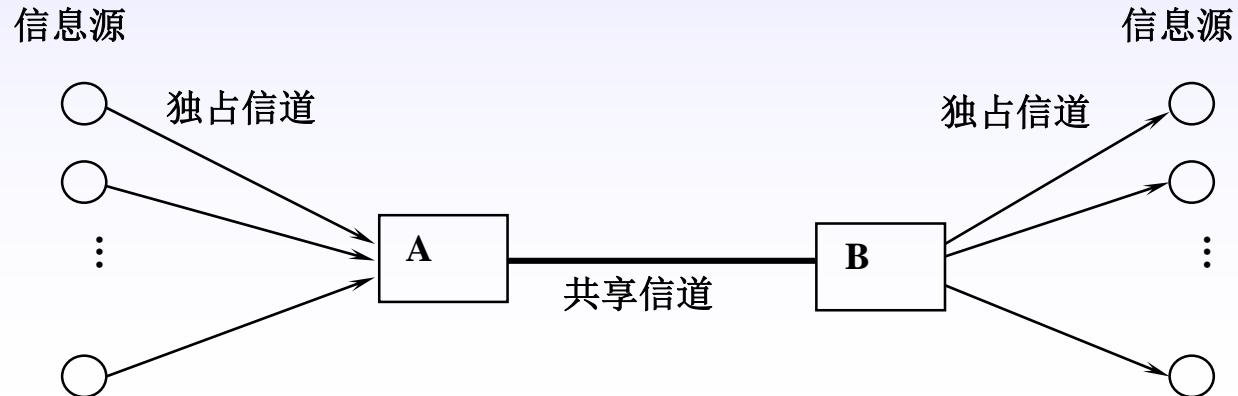
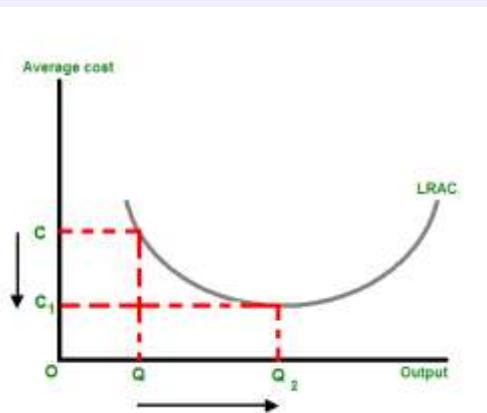


1.2.3 信道共享技术

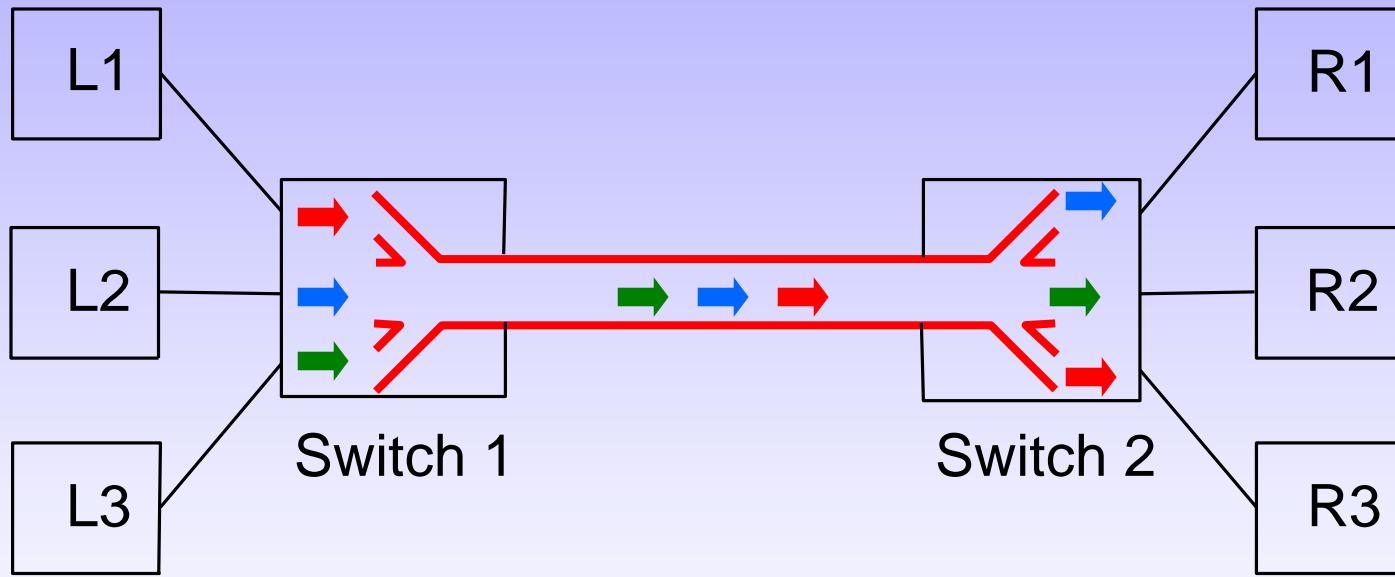
- ◆ 信道：Channel是通信中传递信息的通道，它由发送与接收信息的设备及传输介质组成。信道有**独占**或**共享**两种使用方式
- ◆ 资源共享的基本原理
 - **大数定理：**用户数n越大，其平均值就越趋近期望值。单用户需求分别突发随机产生，整体用户的资源要求变得相当平滑、较稳定和可预测。

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

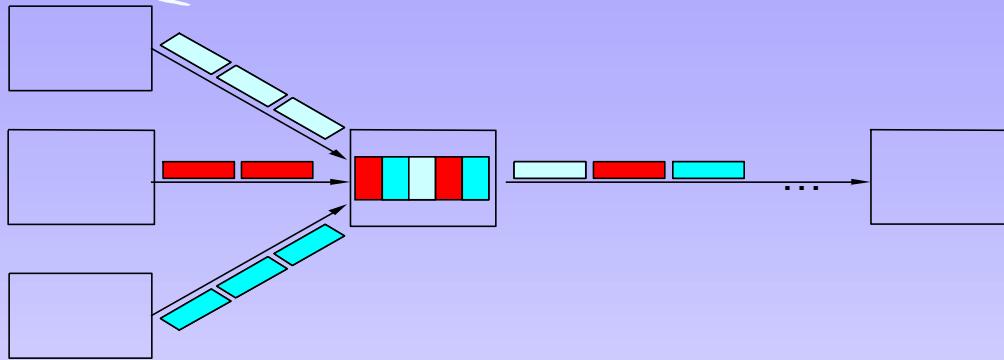
- **规模经济原理：**一定产量范围内，当产量或用户增加时，**平均成本**不断降低的事实。因定产内，固定成本基本不变，而新增产品就可分担更多固定成本，故总成本下降。



在一个单物理链路上复用多个逻辑流



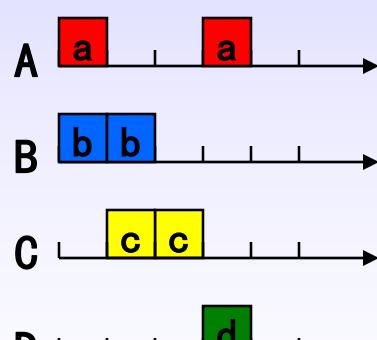
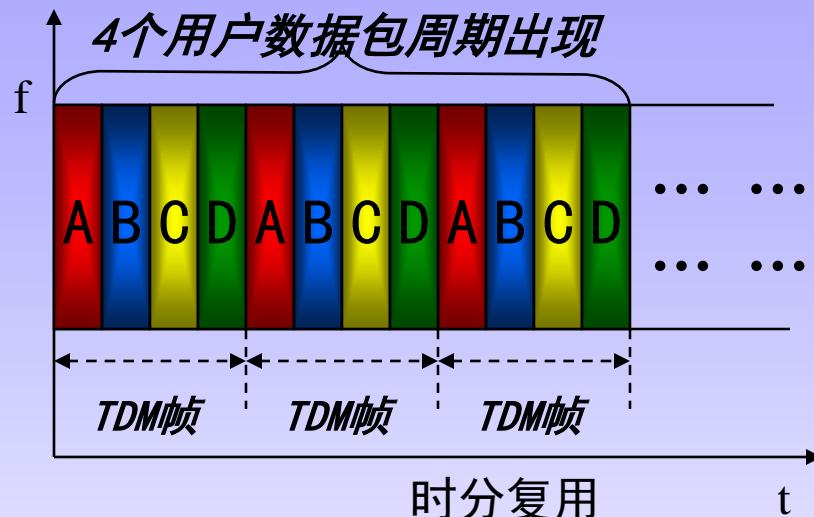
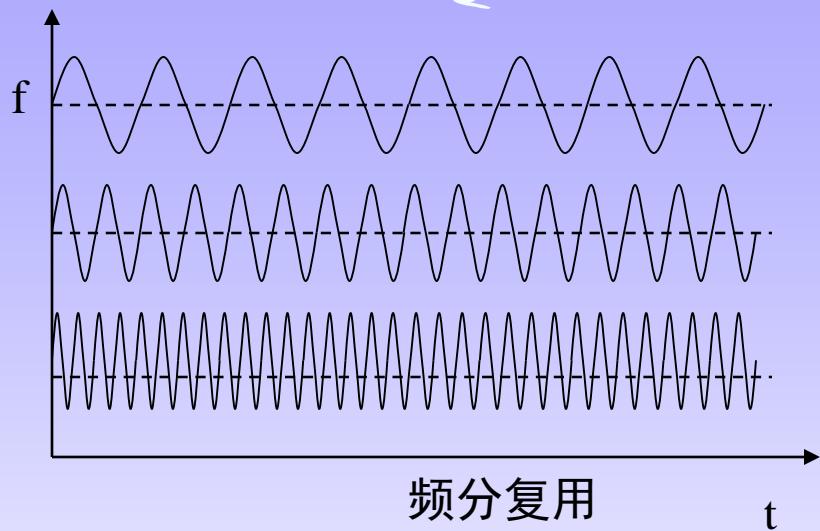
把多个源交换复用到一共享链路



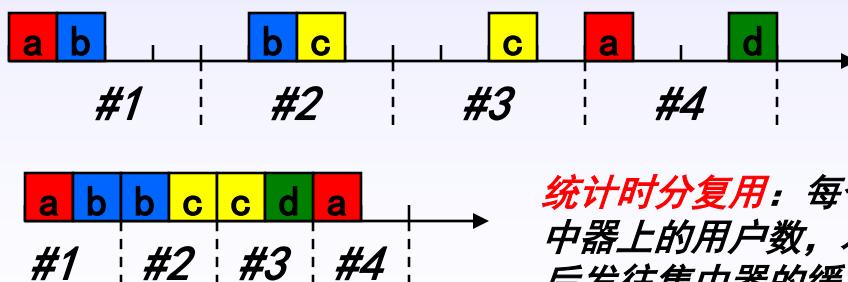
- **复用：把共享信道划分成多个子信道，每个子信道传输一路数据**
- **复用方法**

- **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



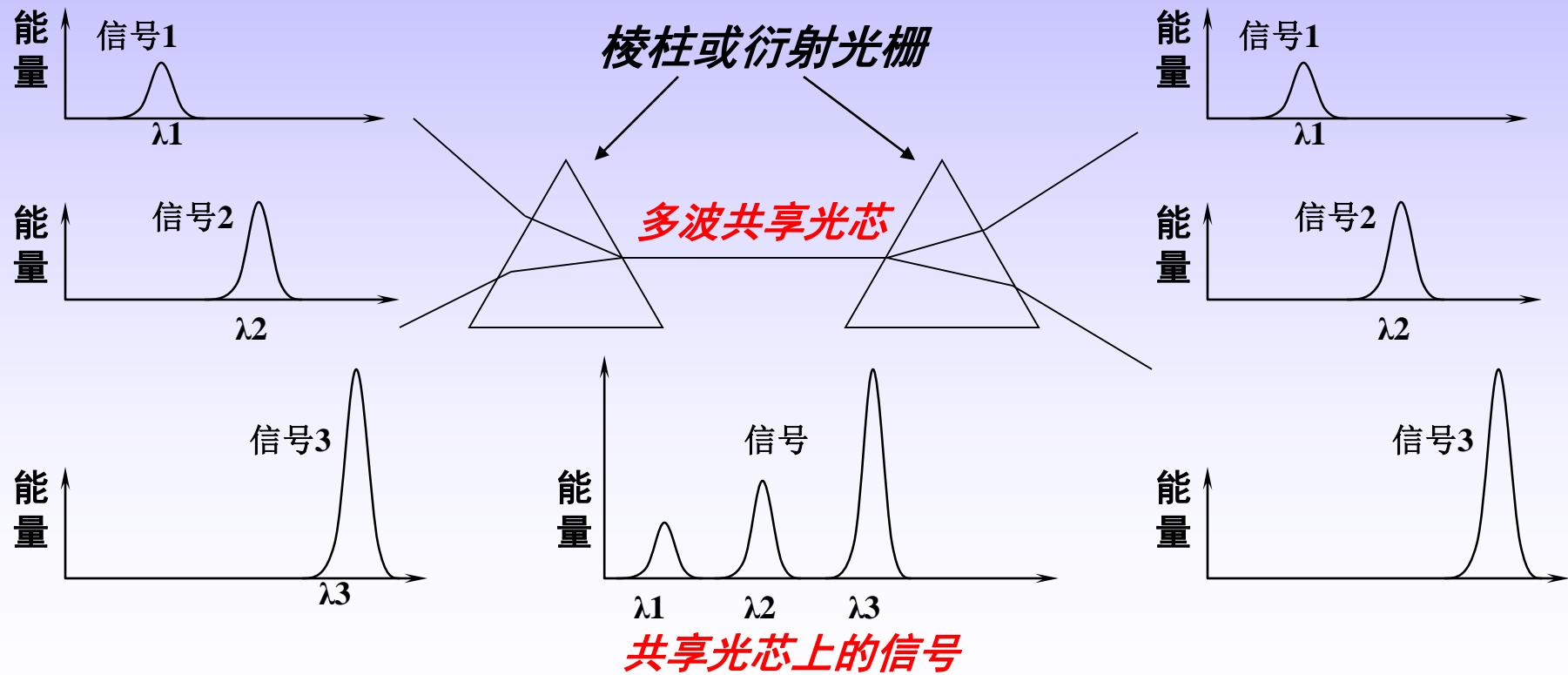
时分复用：复用器按ABCD顺序依次扫描，然后构成一个时分复用帧，每个帧有4个时隙，可见当某用户暂无数据时，会有空时隙



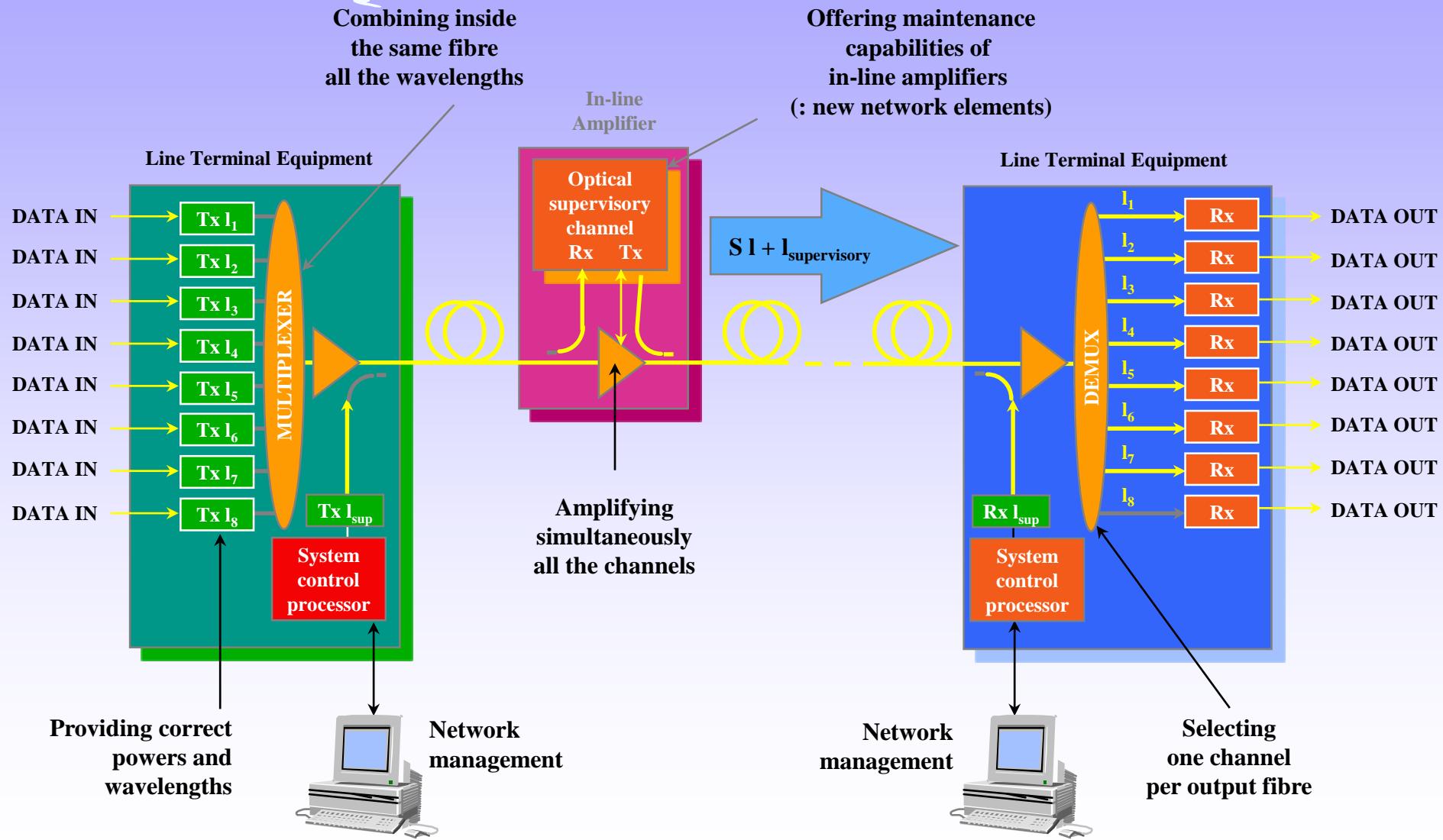
统计时分复用：每个STDM帧中的时隙小于集中器上的用户数，本例=2<4，各用户有数据后发往集中器的缓冲，顺序扫描装帧，没用就跳过。装满后发送出去

WDM——DWDM

- ◆ Dense Wavelength Division Multiplexing Access
- ◆ 1波长→channel. 分少波长→ CoarseWDM, 高密度→DenseWDM
 - ♣ 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CWDM→80路而称密集波分复用DWDM



波分传输网络



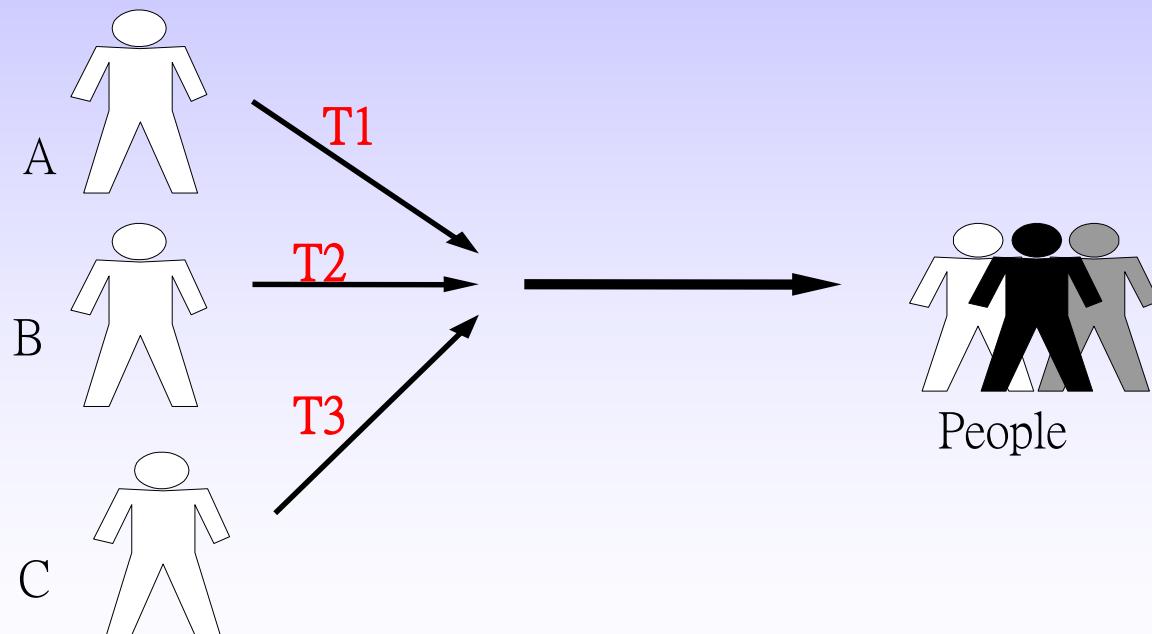
波分容量与协议

◆ 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–10G–**40G—100Gbps**/单波
- ## ◆ 波分协议
- * 每个WDM点**分配2个波信道**：窄→控制，宽→数据；
 - * 信道分多个时间片，**0时间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

几种共享技术的形象比喻—室内 一群参加宴会人们的交流

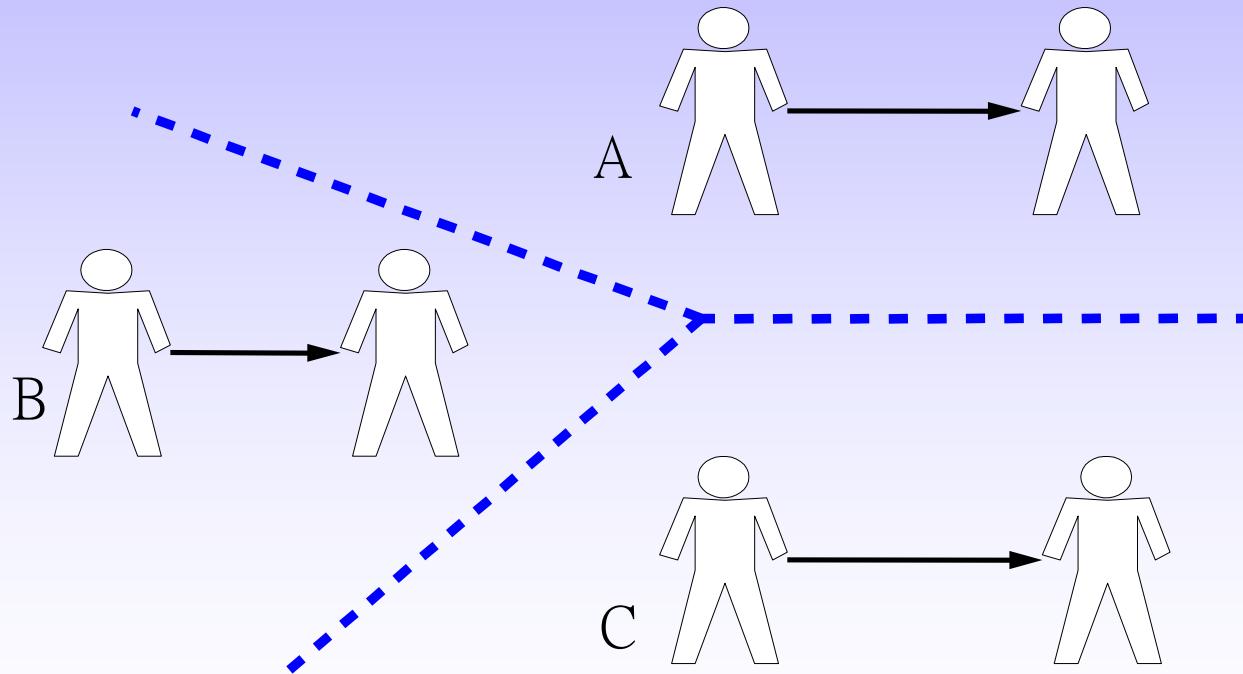
- ◆ TDMA：在同一空间、不同时间T1、T2、T3分别和一群人交流



TDMA 示意图

FDMA

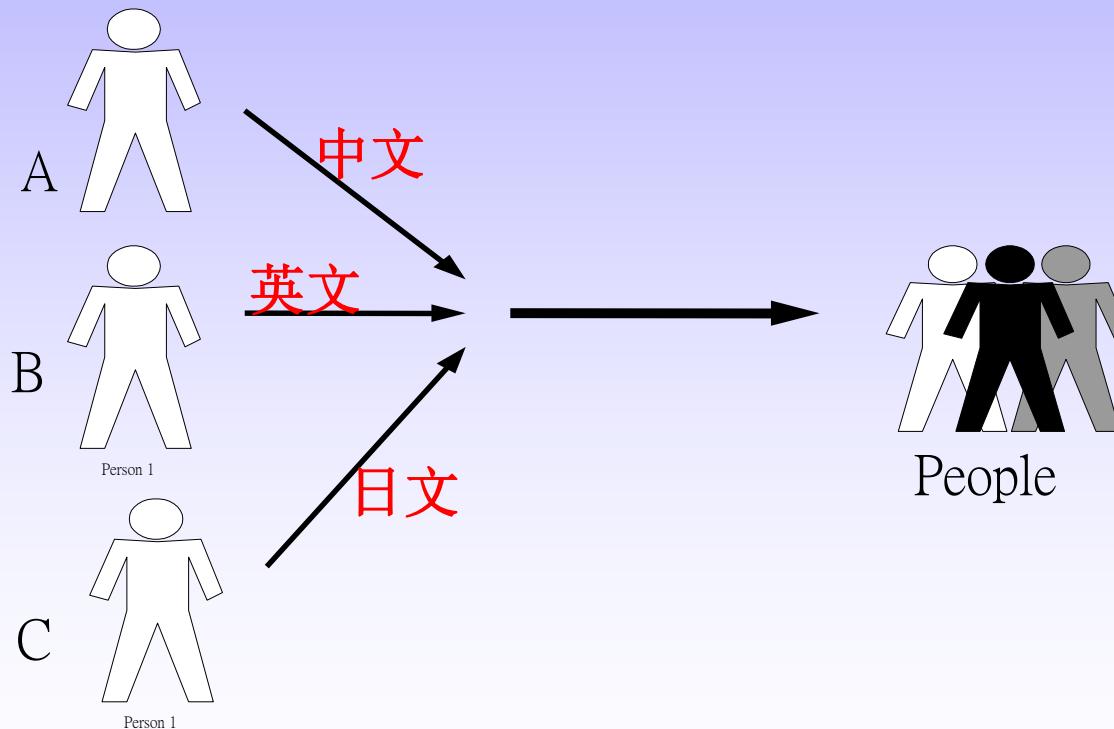
- ◆ 在分割后的不同空间、一对一分别同时交流



FDMA 示意图

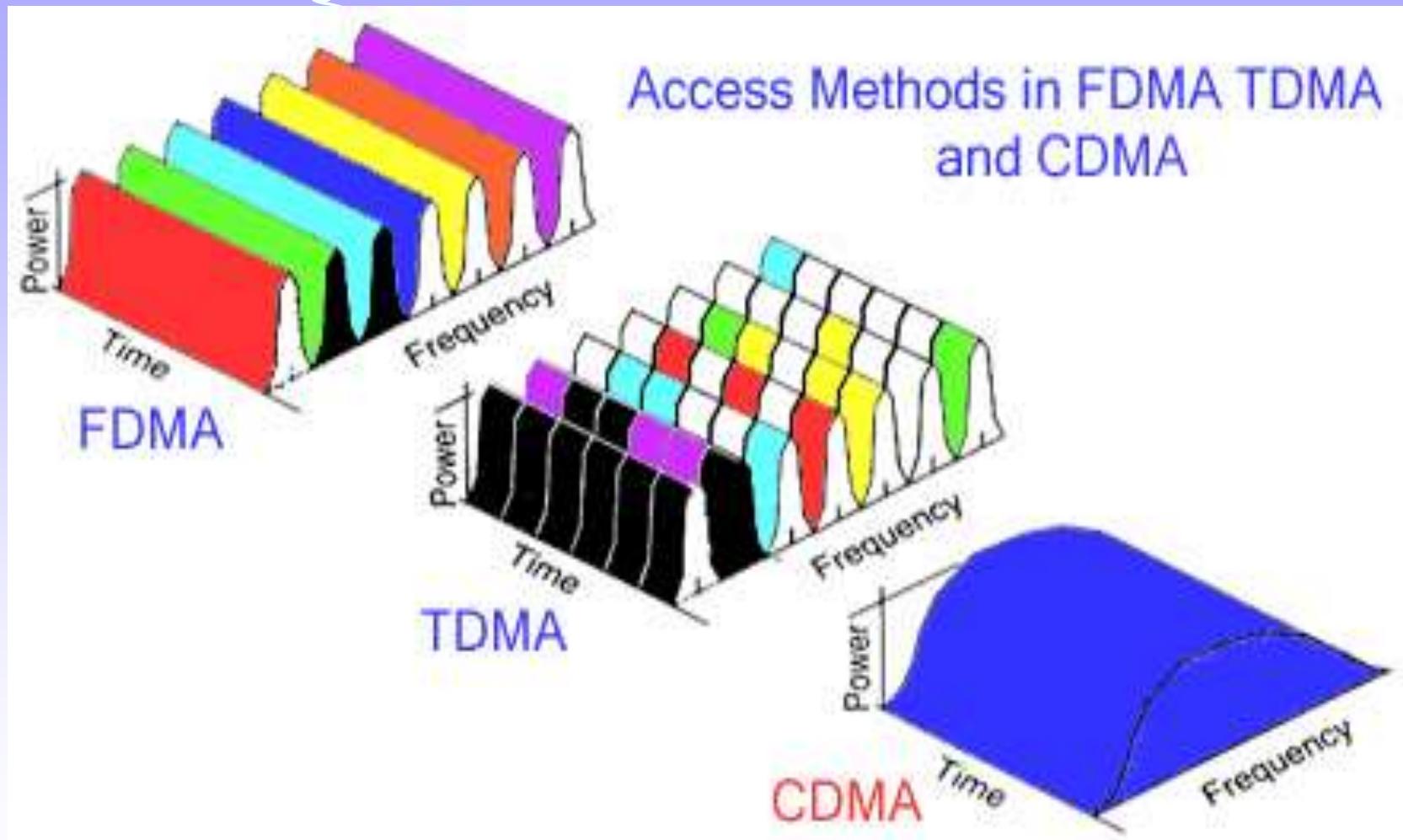
CDMA

◆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



1.2.5 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 $k < n$ 比特冗余，例如
12000 bits (1500 bytes) 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

◆英文版 (3rd)

◆第3题

- 3 Show the 4B/5B encoding, and the resulting NRZI signal, for the following bit sequence:

1101 1110 1010 1101 1011 1110 1110 1111

◆第7题 (HDLC)

- 7 Suppose the following sequence of bits arrive over a link:

0110101111010100111111011001111110

Show the resulting frame after any stuffed bits have been removed. Indicate any errors that might have been introduced into the frame.