

# 计算机网络

---



# 第二章 物理层

---

- 数字通信理论基础
- 数字调制与多路复用
- 物理层传输介质
- 交换技术
- 典型通信系统
  - ✓ 公共电话网络
  - ✓ 移动电话系统
  - ✓ 有线电视
  - ✓ 卫星通信

# 数字通信理论基础

---

- 基本概念与术语
- 数字信号与模拟信号
- 数字通信的优点
- 数字通信系统模型
- 信道容量与通频带宽之间的关系
- 三个数据传输速率

# 通信、消息、信息、数据、信号

---

■**通信**---是在源点与终点之间传递消息或者信息，但信息和消息有着不同的概念

■**消息**---是指能向人们表达客观物质运动和主观思维活动的文字、符号、数据、语音和图像等

消息两个特点：

①能被通信双方所理解

②可以相互传递

■**信息**---是指包含在消息中对通信者有意义的那部分内容；消息是信息的载体，消息中可能含有信息

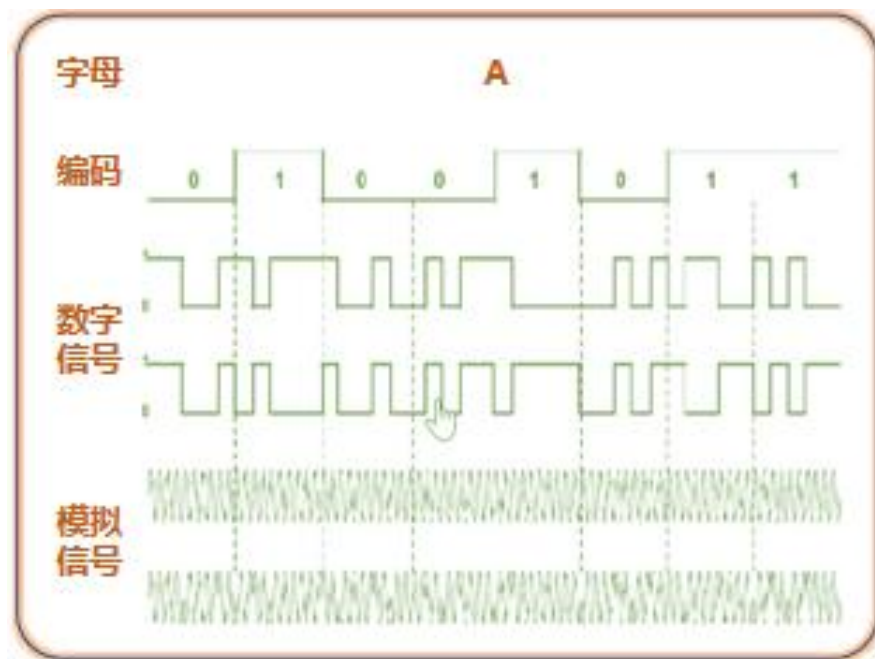
# 通信、消息、信息、数据、信号

■**数据**——是对某一事实的不经解释并赋予一定含义的数字、字母、文字等符号及其组合的原始表达。

①数据是消息的一种表示形式，是传达某种意义或信息的实体。

②在通信系统中，消息是通过电信号来传递的。

■**信号**——是消息的载体（比如电信号、光信号等）



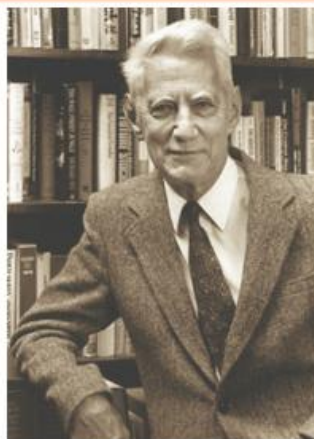
# 信息的度量

## 信息的定义

人类世界赖以生存的三大资源之  
物质、能量、信息

- 消息和信息这两个词极易混淆
- 消息中包含信息量与接收者在收到此消息前对某事件存在的不确定性是有关的

1948年，香农在《通信的数学理论》论文中给出了关于信息的度量公式，他把**信息定义为熵的减少，即把信息定义为“用来消除随机不确定性的东西。**



克劳德·艾尔伍德·香农 (Claude Elwood Shannon, 1916年4月30日—2001年2月24日) 是美国数学家、信息论的创始人。1936年获得密歇根大学学士学位，1940年在麻省理工学院获得硕士和博士学位，1941年进入贝尔实验室工作。香农提出了信息熵的概念，为信息论和数字通信奠定了基础

# 信息的度量

## ■信息量

根据香农理论，一条消息包含信息的多少称为信息量。

信息量的大小与消息所描述事件的出现概率有关

■一条消息所荷载的信息量等于它所表示的事件发生的概率 $P$ 的倒数的对数

$$I = \log_a \frac{1}{p} = -\log_a p$$

■通常用比特作为信息量的单位

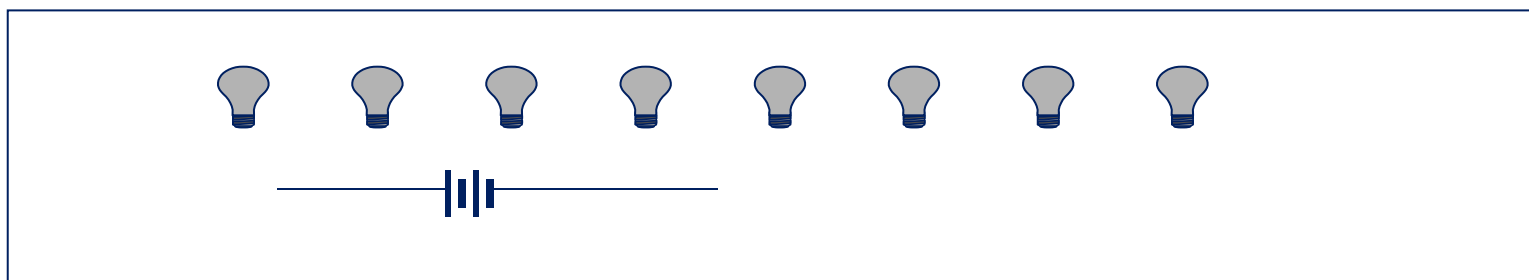
- 1) 得到信息的过程就是获得新知识的过程
- 2) 概率信息是指一个随机事件发生之后，它所带给人们的新知识，或者说是原来该事件不定度的解除量；是指事物运动状态和状态变化方式的客观反映

- 1) 如消息表示的事件是必然事件(概率为1)，则该消息不含有任何信息量
- 2) 如消息表示的事件根本不可能发生(概率为0)，则该消息含有无穷的信息量

# 信息的度量

## 举例：二元判断信息量

有8只灯泡，只知其中有1只灯丝已断，用1节电池来测，问只需测几次就可接除其不定度



每1次判断后我们可得到一个是否信息，亦称二元信息。由于它是解除不定度的最小单位，由此定义出信息量的最小单位比特(bit=Binary Digits)。

对于8只中任意一只灯泡都有可能断丝，因此这是一个等概率随机事件，故其概率为：

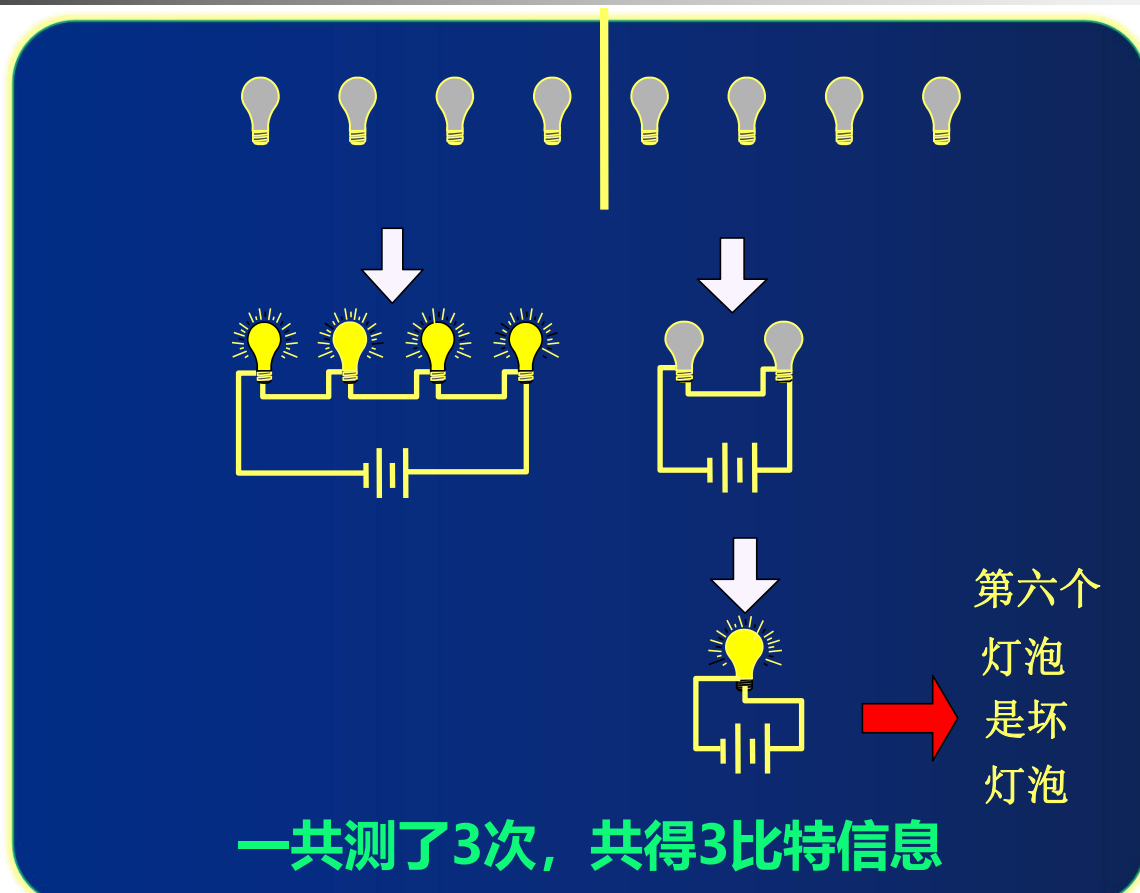
$$p(x) = \frac{1}{8}$$

该事件不确定度的大小为：

$$-\log_2 p(x) = \log_2 8 = 3 \text{ bit}$$



# 信息的度量



【思考】有27个大小形状相同小球，知其中有1重球。问若用无砝码天平来判断，最多称几次可找出此重球？当完全解除不确定度后所得信息量是否要比上述例子大？

# 信息的度量

## ■ 平均信息量

整条消息所具有的信息量是所有这样的信息量在不同的  $i$  值时之总和

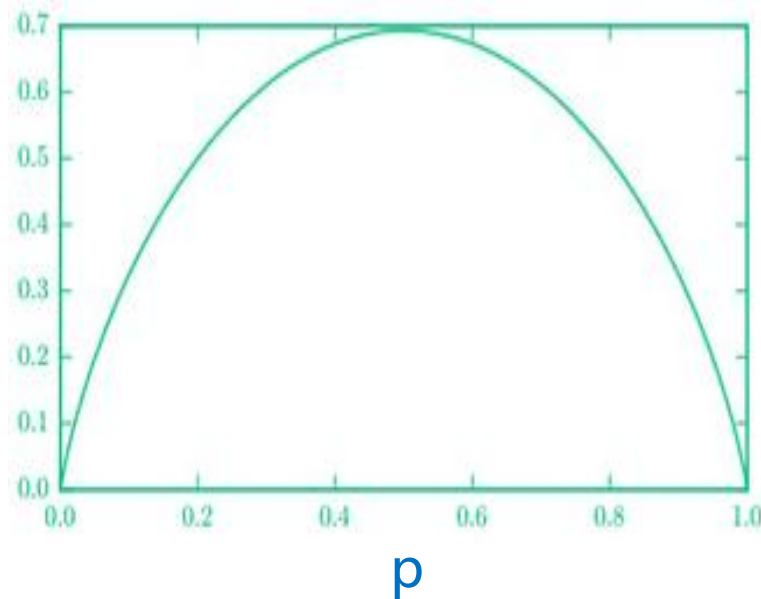
$$I = \sum_{i=0}^{m-1} -n p_i \log p_i = -n \sum_{i=0}^{m-1} p_i \log p_i$$

每个符号包含的平均信息量是

$$H = \sum_{i=0}^{m-1} -n p_i \log p_i / n = - \sum_{i=0}^{m-1} p_i \log p_i$$

平均信息量是每个符号所含信息量的统计平均值，其单位为比特/符号

平均信息量又称为熵

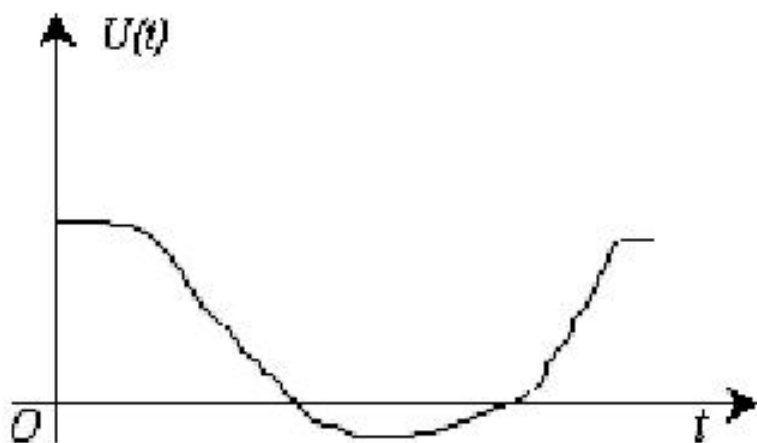


### 二值随机变量的香农熵

- 当  $p$  接近于 0 (或 1) 时, 分布确定, 信息熵最小
- 当  $p = 0.5$ , 信息熵最大
- 接近均匀分布, 信息熵最大

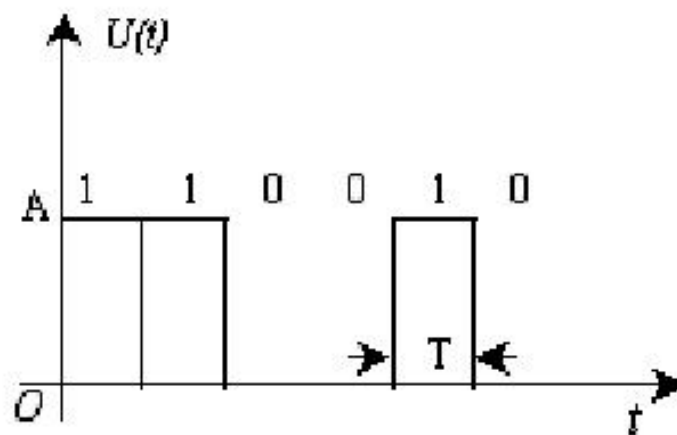
# 数字信号与模拟信号

- 模拟通信——传输模拟信号
- 数字通信——传输数字信号



时间、幅度连续的信号

特点是幅度连续。如：语音、传真和电视节目信号等。



数字信号

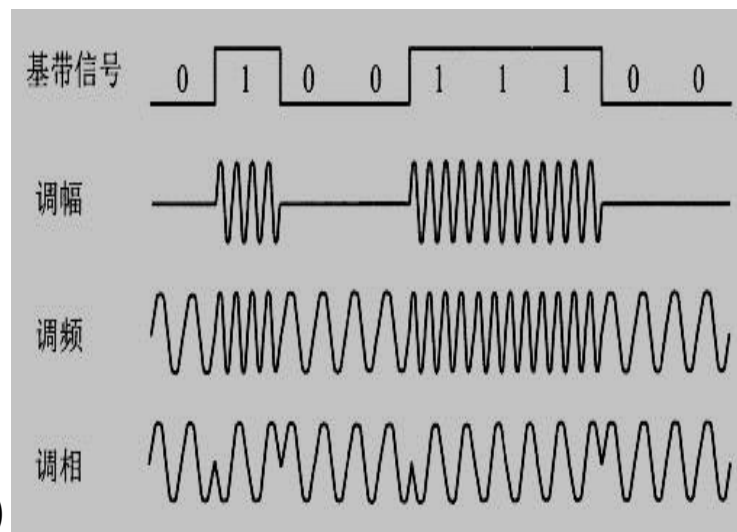
幅度被限制在有限个数值之内，是离散的。

# 数字信号与模拟信号

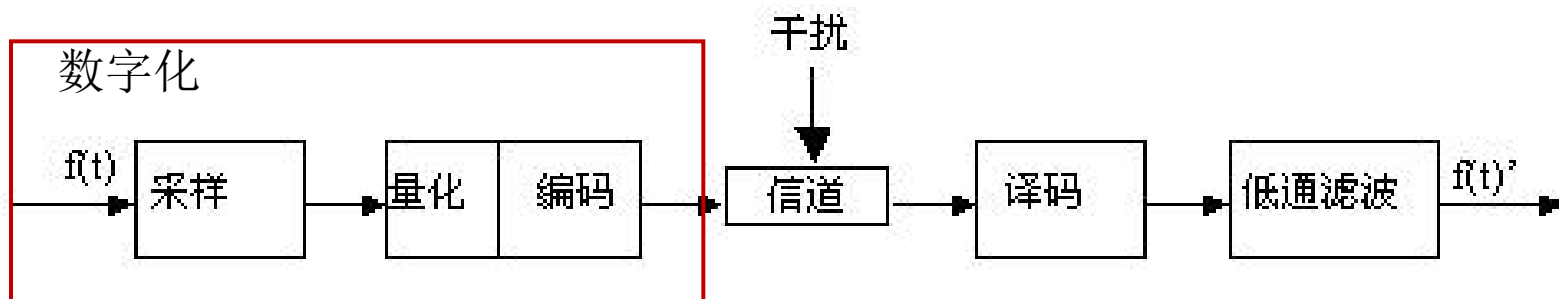
- 通信系统中的电信号有模拟信号和数字信号，而数据又有模拟数据和数字数据
- 无论是模拟数据还是数字数据都能编码成模拟信号或数字信号

数据和信号的四种组合：

- (1) 数字数据，数字信号(如0/1表示负电平/正电平，一串离散的、非连续的电压脉冲序列)
- (2) 数字数据，模拟信号(如ASK、FSK和PSK)
- (3) 模拟数据，数字信号(如话音信号的PCM调制)
- (4) 模拟数据，模拟信号(如AM、FM和PM)



# 从模拟到数字



➤ **采样定理:** 若以  $T_s \leq 1/2f_s$  的时间间隔对频带限于  $(0, f_m)$  内的时间连续信号  $f(t)$  进行等间隔采样, 则  $f(t)$  将由所得到的采样值  $f(kT_s)$  完全确定。

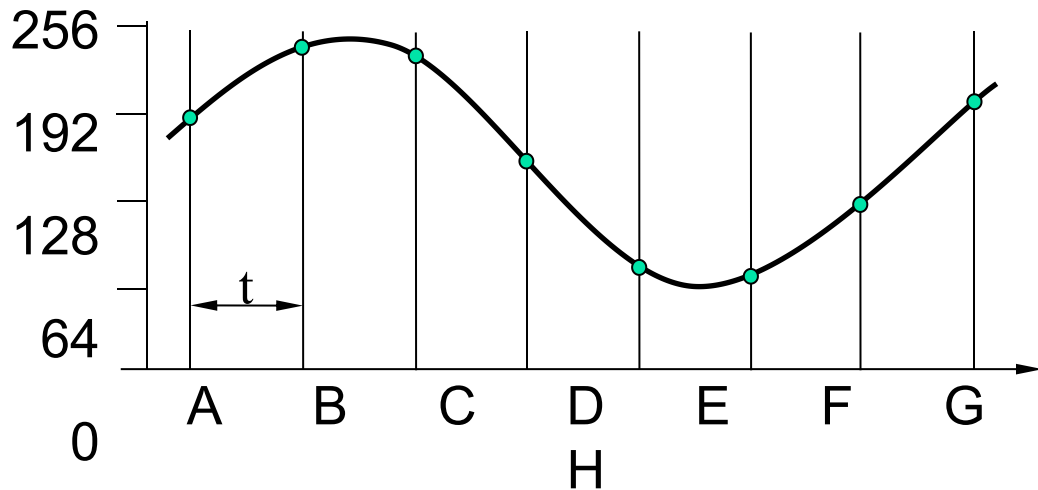
**采样频率大于等于信号最高频率的两倍**时,  $f(t)$  的全部信息都包含在所有采样值中而不会丢失, 并保证不产生信号的混叠。无失真。

➤ **量化:** 将采样后一个范围内变化的无限个样值 (离散信号), 用不连续变化的有限个值来替代的过程。其作用是将时间域上幅值连续的样值序列变换为时间域上幅度离散的样值序列信号。

➤ **编码:** 将量化后的所有量化级, 按其量化电平的大小次序排列, 列出各自对应的码字, 用二进制 (或多进制) 代码表示, 这就是编码。

举例: PCM编码

# 脉冲编码调制PCM：采样和量化



➤  $t$  -- 采样间隔，125微秒

话音数据的最高频率通常为3400Hz。以8000Hz的采样频率对话音信号进行采样

➤ 量化-- 用8位二进制

A	B	C	D	E	F	G	H
188	244	240	144	80	72	122	200
10111100	11110100	11110000	10010000	01010000	01001000	01111100	11001000

# 数字通信的优势

## ■ 为什么现代远距离传输采用数字传输？

远距离传输，无噪声累积

Figure 2-1  
A simple example of  
an analog waveform

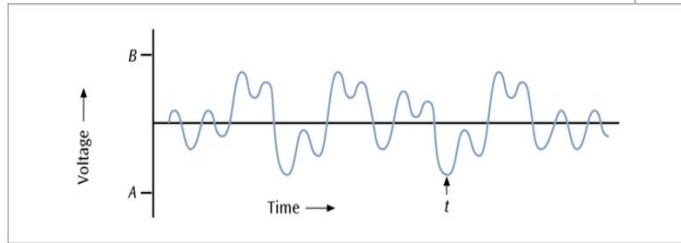
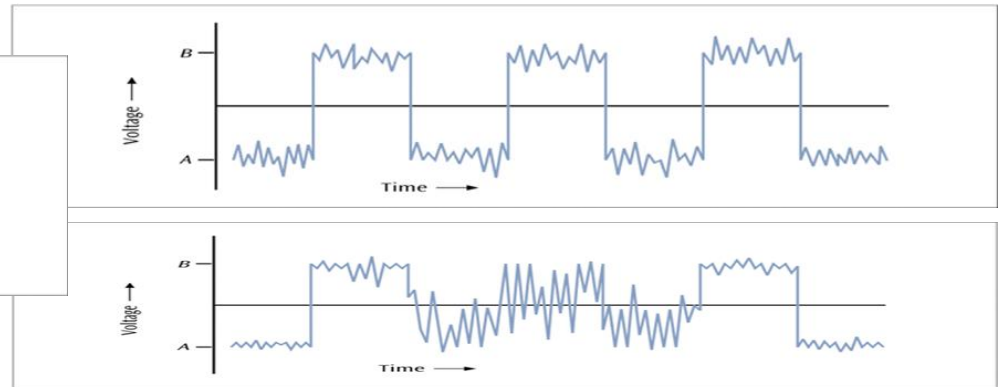


Figure 2-4  
A digital signal with  
some noise introduced



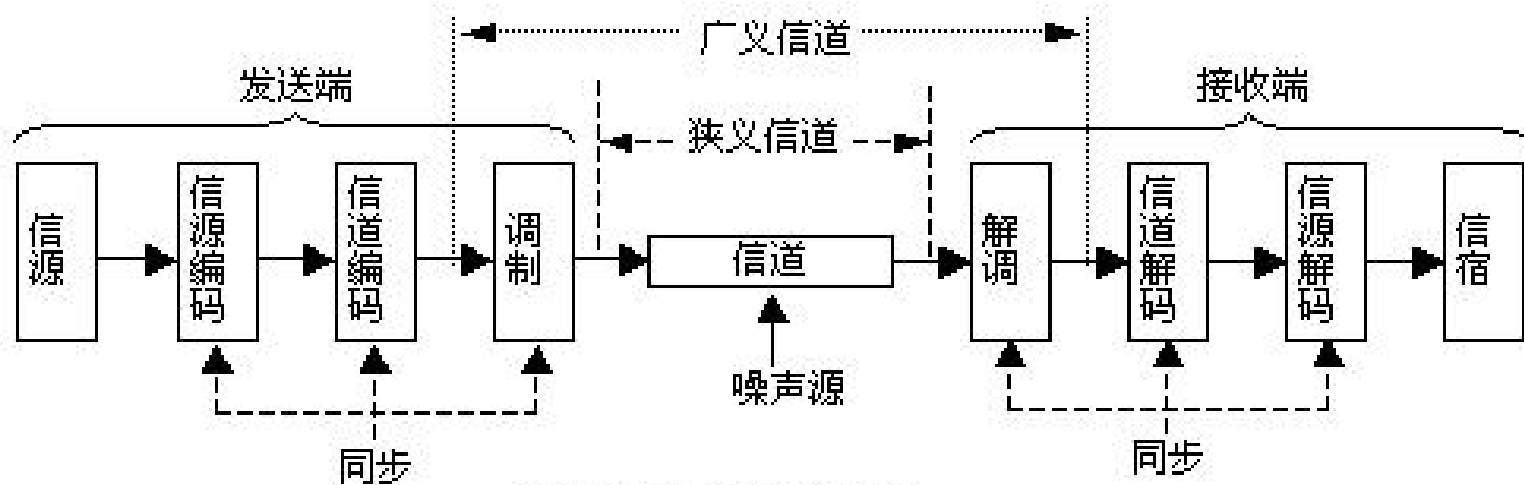
### 模拟传输

中途去噪放大（**滤波器+放大器**），无法彻底去除的噪声会同时放大，并在后继传输途中产生噪声累积

### 数字传输

中途去噪再生（**再生器**），恢复**0**或者**1**原形，无噪声累积。除非变形严重，再生出错。

# 数字通信系统的模型



数字通信系统的模型

◆ **信源：** 把原始信息变换成原始电信号。

◆ **信源编码：** ①A/D变化②提高信号传输的有效性。

在保证一定传输质量的情况下，用尽可能少的数字脉冲来表示信源产生的信息。  
频带压缩编码或数据压缩编码。

◆ **信道编码：** 解决数字通信的可靠性问题。

对传输的信息码元按一定的规则加入一些冗余码（监督码），形成新的码字，接收端按照约定好的规律进行检错甚至纠错。差错控制编码、抗干扰编码、纠错编码

◆ **数字调制：** 提高信号在信道上传输的效率，达到信号远距离传输的目的。

把数字基带信号的频谱搬移到高频处，形成适合在信道中传输的频带信号。振幅键控ASK、频移键控FSK、相移键控PSK。



# 信道容量与通频带之间的关系

---

- 信道容量（信道带宽）

信号的时域与频域对应关系

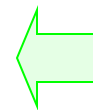
为什么会有信道容量限制

- 两个定量公式

奈奎斯特定理

香农信道容量公式

# 傅立叶分析



任何正常的周期为 $T$ 的函数 $g(t)$ ，都可以由（无限个）正弦和余弦函数合成：

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

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \sin(2\pi nft) dt \quad b_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \cos(2\pi nft) dt \quad c_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) dt$$

$f=1/T$  基频，

$a_n$ 和 $b_n$ 都是正弦和余弦函数的 $n$ 次谐波的振幅。

# 信道带宽 ( bandwidth )

---

- 电气工程师 传输过程中振幅不会明显减弱的这一段频率范围 ( HZ ) . 带宽或通频带
- 计算机科学家 一个信道的最大数据速率, 每秒多少比特 ( bps ) 信道容量

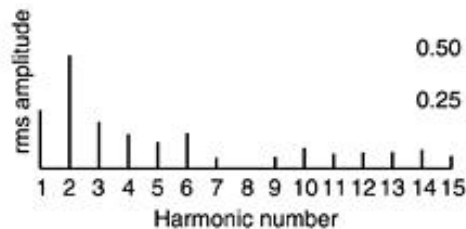
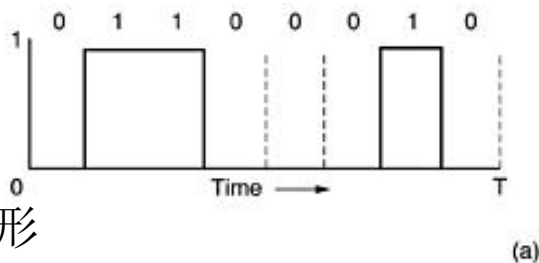
问题:

信道为什么会有信道带宽或信道容量的限制?

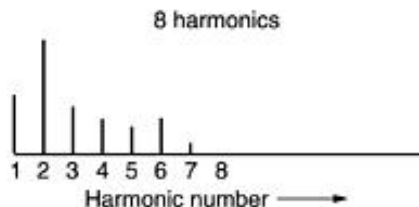
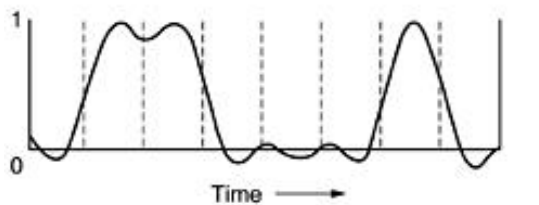
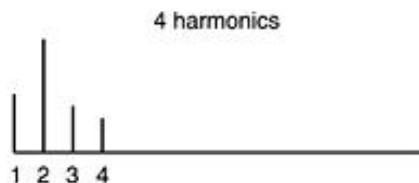
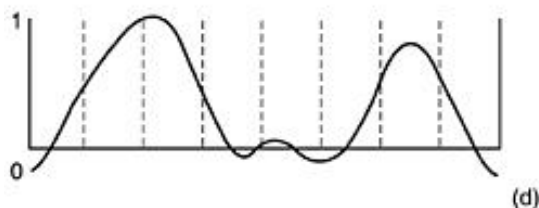
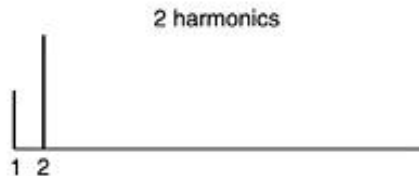
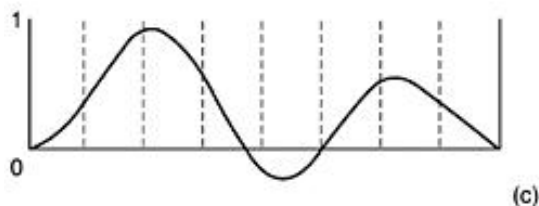
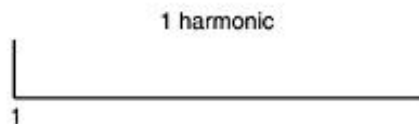
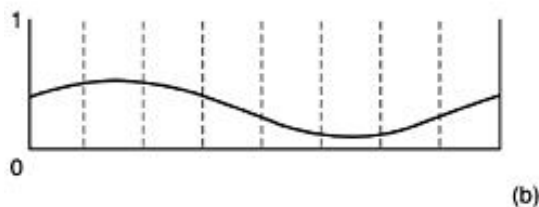
受制于信道自身物理材料特性, 通常对高频信道的阻碍要大些

信道容量和通频带之间的关系?

# 时域 时域 波形



## 频域 通过谐波数



**观察：**  
信道能通过谐波数目对信道输出信号质量的影响

**傅里叶变换：**  
基频 $f=1/T$   
意味着信号发送速度越高，周期越短，谐波基频就高。

## 电话线路上数据传输率和可通过谐波的关系

Bps	T (msec)	First harmonic (Hz)	# Harmonics sent
300	26.67	37.5	80
600	13.33	75	40
1200	6.67	150	20
2400	3.33	300	10
4800	1.67	600	5
9600	0.83	1200	2
19200	0.42	2400	1
38400	0.21	4800	0

电话线路1MHZ，电话公司加滤波器 限制带宽3100Hz

**观察：**

当发送速率是2400Bps时，基频是300HZ，在电话线中可以通过10个谐波

当发送速率是9600Bps时，基频是1200HZ，在电话线中可以通过2个谐波

当发送速率是38400Bps时，基频是4800HZ，电话线无法通过谐波，接收端什么都收不到

# 信道容量C与通频带H之间定量关系 (两个公式)

---

## 奈奎斯特定理 (1924年)

最大数据速率  $C=2H\log_2 V$  (比特/秒), (两级信号  $C=2H$ )  
信号包含  $V$  个等级

无噪声 3KHZ 信道不可能以超过 6000bps 的速率传输二进制(两级) 信号

## 香农信道容量公式 (1948年)

若信道带宽为  $H$  (HZ), 信道输出的信号功率为  $S$ , 输出加性高斯噪声功率为  $N$ , 则该信道的信道容量  $C$  是:

$$C=H\log_2(1+S/N)$$

# 区分三个速率

## ■信道容量C

信道传输信息的最大极限速率，表征了一个信道传输数字信号的极限能力。由信道本身的特征（带宽和信噪比）决定。

## ■信息传输速率（波特率和比特率）

实际的数据传输速率

**波特率B**—单位时间传输的符号数（波形数）

**比特率b**—单位时间所传输的信息量，若已知每个符号的平均信息K, ( $K=\log_2 V$ )

$$b=B \cdot K = B \log_2 V \text{ 比特/秒。}$$

## ■信号传播速度

在有线介质中速度是光速的2/3，即为 $2 \times 10^8 \text{ m/s}$

# 数字调制与多路复用

---

- 数字调制的概念
- 传输方式
- 性能度量
- 频分复用
- 时分复用
- 码分复用



# 数字调制的概念

---

## 数字调制

有线和无线信道运载模拟信号，模拟信号可表示成连续变化的电压、光照强度或声音强度。为了发送数字信号，首先需将数字信号转换成模拟信号。

## 基带传输 (baseband transmission)

信号的传输占有传输介质从零到最大值之间的全部频率。

## 通带传输 (passband transmission)

通过调节载波信号的幅值、相位或频率来运载比特。信号占据了以载波信号频率为中心的一段频带。

## 多路复用技术 (multiplex)

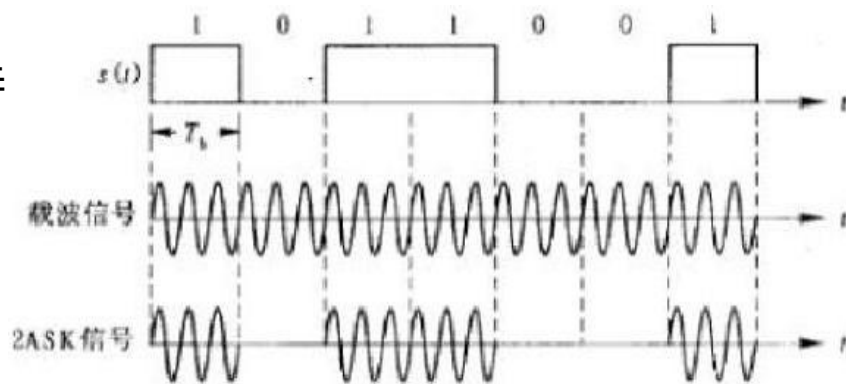
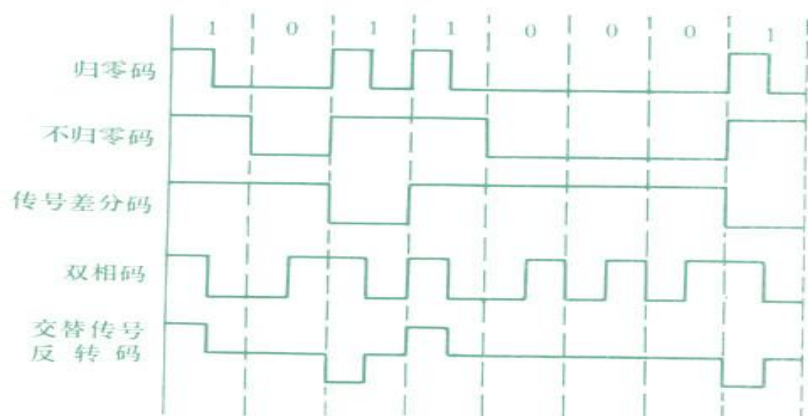
信道被多个信号共享

# 传输方式

## 基带传输和通带传输

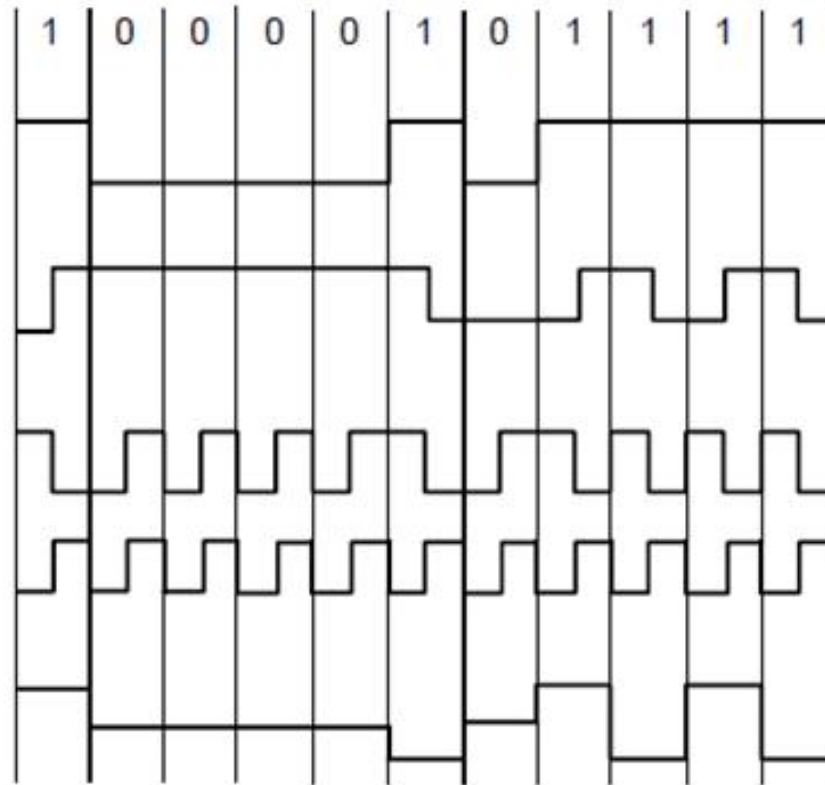
按照传输系统在传输数据信号过程中是否搬其频谱，传输方式可分两类：

- **基带传输** 指不搬移信号频谱的传输体制
- **通带传输** 指利用调制解调器搬移信号频谱的传输体制
- 搬移频谱的目的是为了适应信道的频率特性



# 基带传输

(a) Bit stream



(b) Non-Return to Zero (NRZ)

(c) NRZ Invert (NRZI)

(d) Manchester

(Clock that is XORed with bits)

(e) Bipolar encoding  
(also Alternate Mark  
Inversion, AMI)

# 比特编码到符号的方案

---

- 接收器必须知道何时一个符号结束和开始。
- 格外的时钟线— 浪费的方法
- 数据信号和时钟信号一起

曼彻斯特编码--- 需两倍于**NRZ**编码的带宽

不归零逆转 --**1**信号有跳变 **0**信号无跳变

**4B/5B** -- 解决多个**0**无法识别时钟的问题 映射保证不出现连续3个**0**

## 4B/5B映射

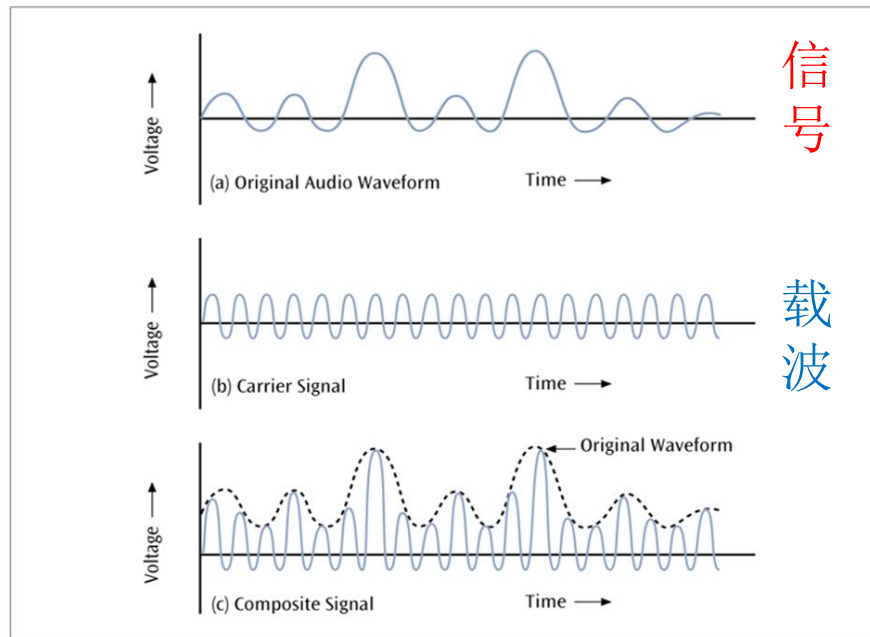
---

Data (4B)	Codeword (5B)	Data (4B)	Codeword (5B)
0000	11110	1000	10010
0001	01001	1001	10011
0010	10100	1010	10110
0011	10101	1011	10111
0100	01010	1100	11010
0101	01011	1101	11011
0110	01110	1110	11100
0111	01111	1111	11101

# 通带传输



Figure 2-11  
An audio waveform  
modulated onto a  
carrier frequency  
using amplitude modulation



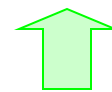
## 数字调制

### 根据调制参量的不同

- 振幅键控ASK
- 移频键控FSK
- 移相键控PSK

## 模拟信号的调制

# 数字振幅键控ASK



利用数字信号的值对载波的幅度进行控制，使载波的幅度随数字信号的值而改变，从而达到调制的目的。

当数字信号为“1”时，传输载波；当数字信号为“0”时，不传输载波。

# 移频键控FSK



- 利用载波的频率变化来传输数字信息，使载波的频率随数字信号的值而改变，从而达到传输信息的目的。当数字信号为“1”时，载波频率为 $f_1$ ，当数字信号为“0”时，载波频率为 $f_2$ 。

移频键控方法较振幅键控方法有更高的抗干扰性，是目前数字通信中用得较广的方法。



# 移相键控PSK和DPSK

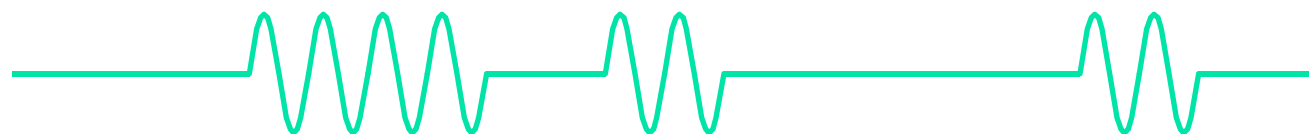
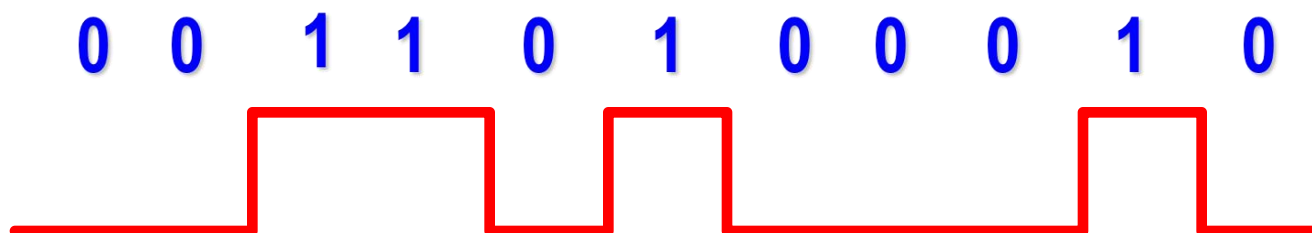
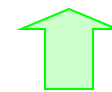


移相键控是载波相位随数字信号改变而改变的数字调制方式。

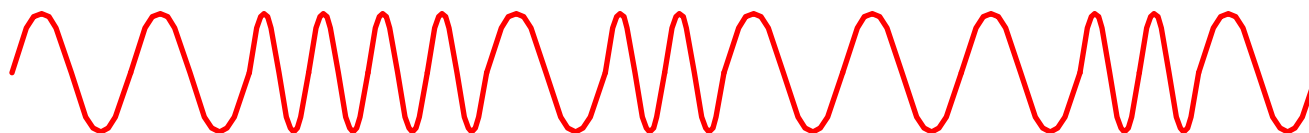
绝对调相是用固定载波的不同相位分别代表数字信号“1”和“0”，例如用初相0度表示“0”，用初相180度表示“1”。

相对（差分）调相采用相对前一码元相位的变化来代表数字信号，如相位无变化代表“1”，有变化代表“0”。

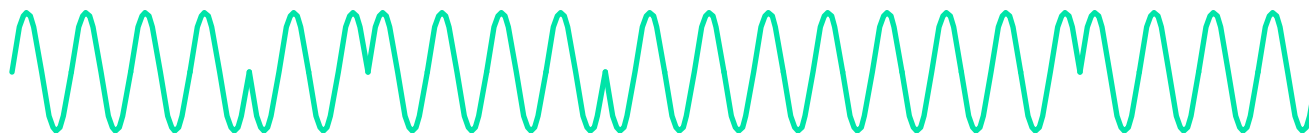
# 数字调制示意图



ASK



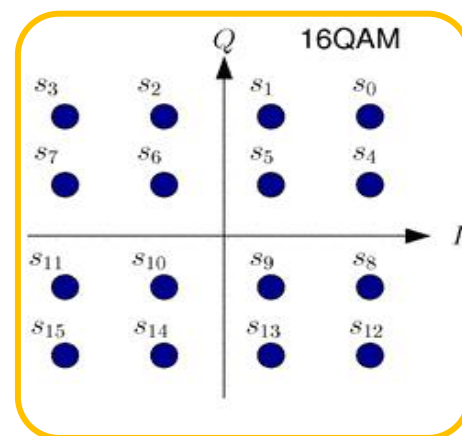
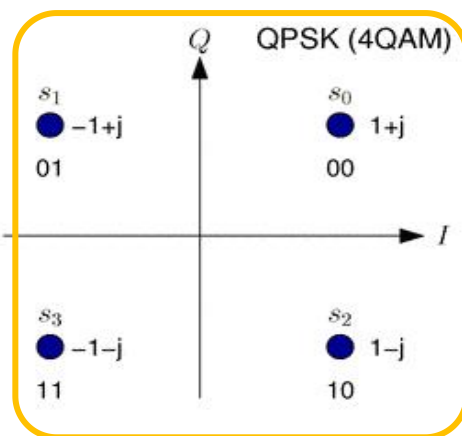
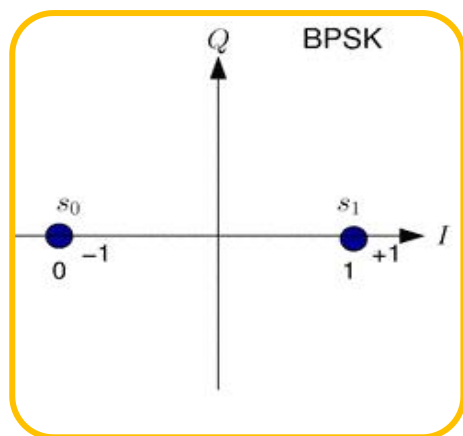
FSK



DPSK

# 调制的星座图

## 将多种键控方式结合



BPSK使用了基准的正弦波和相位反转的波浪，使一方为0，另一方为1，从而可以同时传送接受2值(1比特)的信息

QPSK是一种四进制相位调，制采用移相方式QPSK，每个点2比特信息，具有良好的抗噪特性和频带利用率通信业务

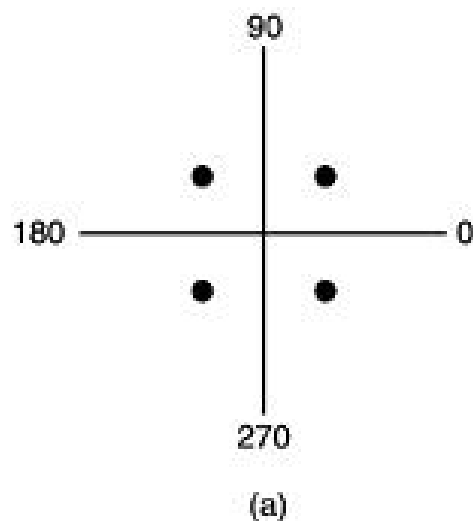
QAM全称正交幅度调制是是一种数字调制方式，产生的方法有正交调幅法和复合相移，16QAM是指包含16种符号的QAM调制方式

# 调制的星座图

将多种键控方式结合

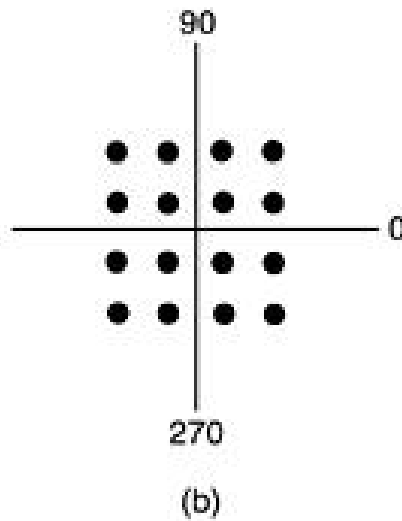
相同条件下，进制越大，比特速率越高，但码元差错率也大

QPSK正交相移键控



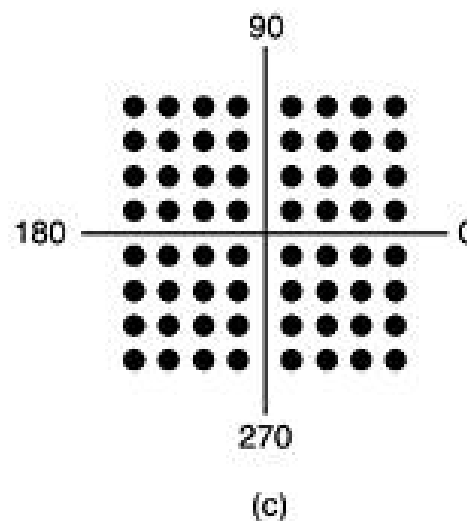
4种状态,一个波形可以表示2位

QAM-16正交振幅调制



16种状态,一个波形可以表示4位

QAM-64 (每个符号6位)

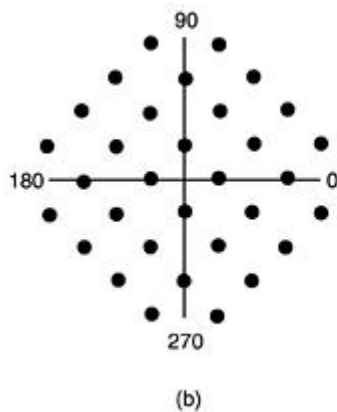


64种状态,一个波形可以表示6位

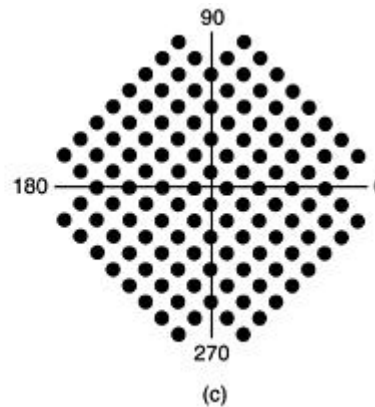
---

高速调制解调有纠错机制，每个采样中增加一些额外的位。**TCM** 格子架编码调制

V.32 9600bps



V.32 bis 14400bps



# 传输方式

## 串行传输和并行传输

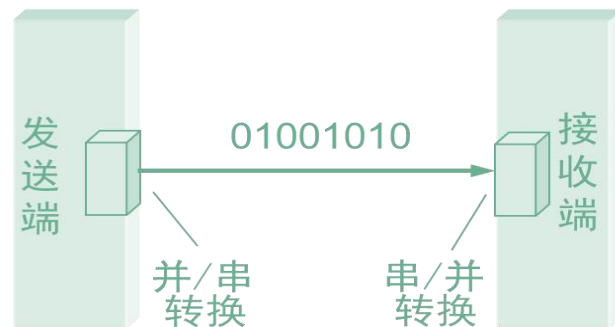
按照传输数据的时空顺序，传输方式可分为两类：

**串行传输** 指数据在一个信道上按位依次传输的方式，其特点是：

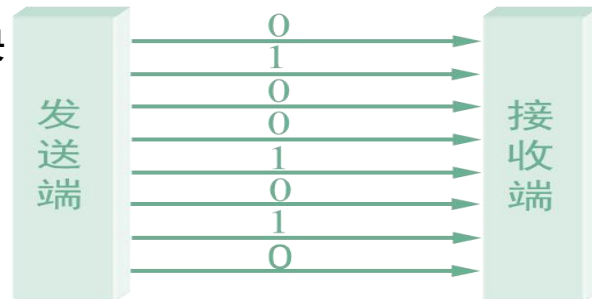
- ① 所需线路数少，投资省，线路利用率高；
- ② 在发送和接收端需要分别进行并/串和串/并转换；
- ③ 收发之间必须实施同步。适用于远距离数据传输。

**并行传输** 指数据在多个信道上同时传输的方式，其特点是：

- ① 在终端装置和线路之间不需要对传输代码作时序变换
- ② 需要 $n$ 条信道的传输设施，故其成本较高，适用于要求传输速率高的短距离数据传输。



串行传输



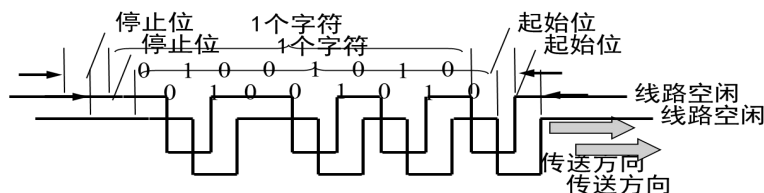
并行传输

# 传输方式

## 异步传输和同步传输

按照发/收两端实现同步的方法，传输方式可分为两类：

**异步传输** 被传送的每一个字符一般都附加有1个起始位和1个停止位，起始位与停止位的极性不同，为了保证正确接收，利用一个频率为传输比特率的 $n$  ( $n=16$ )倍的时钟，在每一个比特周期的中心采样。



**同步传输** 每一个字符使用起止位按位进行传送，数据块以帧作为整体传输，并做到：

- ①发/收之间的位同步；
- ②每一帧建立同步标志，建立帧同步



区别：异步传输的发送器的接收器的时钟是不同步的，而同步传输两者的时钟是同步的。

# 传输方式

---

## 异步传输和同步传输

- 异步传输是面向字符的传输，而同步传输是面向比特的传输。
- 异步传输的单位是字符而同步传输的单位是帧。
- 异步传输通过字符起止的开始和停止码抓住再同步的机会，而同步传输则是以数据中抽取同步信息。
- 异步传输对时序的要求较低，同步传输往往通过特定的时钟线路协调时序。
- 异步传输相对于同步传输效率较低。



# 传输方式

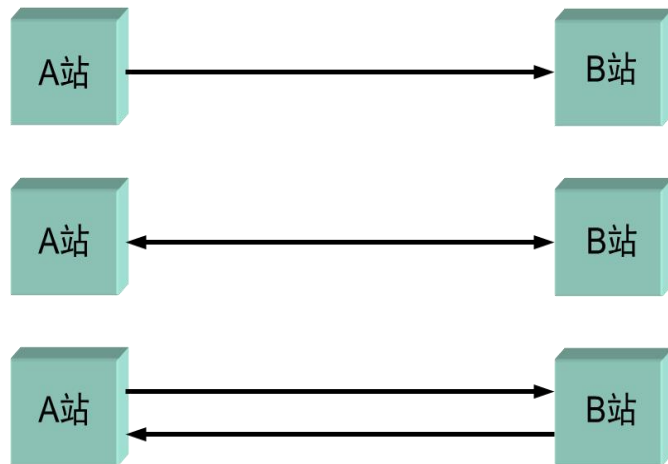
## 单工、半双工和全双工

按照数据信号在信道上的传送方向与时间的关系，传输方式可分为三类：

**单工** 指两个站之间只能沿一个指定的方向传送数据信号

**半双工** 指两个站之间可以在两个方向上传送数据信号，但不能同时进行，又称“双向交替”模式，发/收之间的转向时间为20 ~ 50ms

**全双工** 指两个站之间可以在两个方向上同时传送数据信号



# 性能度量

## 传输速率

**传输速率** 指单位时间内传送的信息量，是衡量数据通信系统传输能力的一个重要指标。常用的传输速率有两种：

**调制速率**(或波特率、码元速率) 指单位时间内调制信号波形的变换次数，其单位是波特：

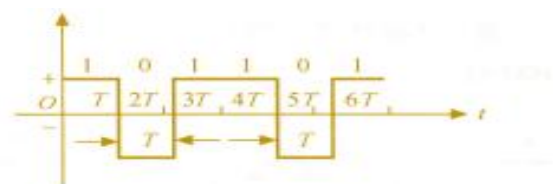
$$R_B = 1/T(s) \text{ (Baud)}$$

**数据信号速率**(或传信率、比特率) 指单位时间内通过信道的信息量，其单位是比特/秒：

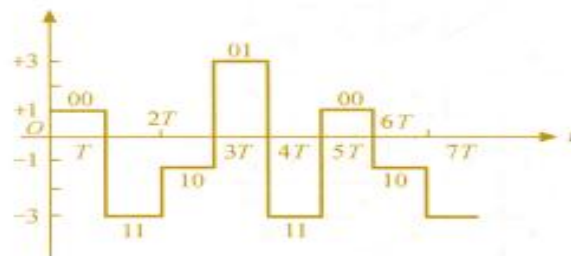
$$R_b = \sum_{i=1}^n \frac{1}{T_i} \log_2 M_i \text{ (b/s)}$$

➤ **调制速率与数据信号速率的关系：**

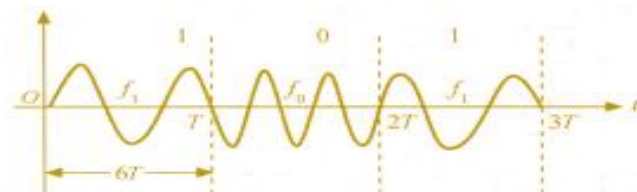
$$R_b = R_B \log_2 M$$



(a) 二电平信号



(b) 四电平信号



(c) 二状态调频波

# 性能度量

---

## 带宽(bandwidth)

带宽有两种不同的意义：

- 在通信领域（模拟传输），带宽指某个信号具有的频带宽度。单位是赫(或千赫、兆赫、吉赫、太赫等)。如话音信号的带宽是3.1kHz (300Hz~ 3400Hz)。
- 在计算机领域（数字传输），带宽指计算机网络的通信线路所能传送数据的能力，即在单位时间内从网络中的某一点到另一点所能达到的“最高数据速率”。单位是b/s (bit/s)。

## 数字通信与模拟通信相比较

- 优点：抗干扰性强，保密性好，设备易于集成，便于计算机处理等。
- 缺点：占用较多的带宽，信道利用率低。

# 性能度量

## 模拟信道的容量

- 香农定律指出：在信号平均功率受限的高斯白噪声信道中，计算信道容量的理论公式为

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

- 式中 $B$ 是信道带宽(单位为Hz)， $S/N$ 是平均信号噪声功率比， $S$ 为接收信号功率， $N$ 为噪声功率(指正态分布的加性高斯白噪声)
- 高斯白噪声在整个频域具有均匀分布的功率谱密度及噪声的概率密度函数服从高斯分布(正态分布)
- 提升模拟信道容量方式：增加系统带宽、提升源端信号发射功率、降低噪声等

# 性能度量

---

## 数字信道的容量

- 奈奎斯特认为，即使是理想信道(无噪声、无码间干扰)，它的传输能力也是有限的。对于一条有限带宽、无噪声的理想信道信道容量的计算公式(简称奈奎斯特公式)

$$C = 2B \log_2 V$$

- 此式表明，对于给定的带宽可以通过增加信号取值的状态数来提高信道容量。但这将会加重接收器的负担。意即在每个信号码元时间内，必须从 $M$ 个可能的状态中区分出一个来。同时，传输线上的噪声和其他损伤也将会限制 $M$ 的实际取值。

# 性能度量

---

## 频带利用率

- 指单位传输带宽所能实现的传输速率。

$$\eta = \frac{R_B}{B} \quad (\text{Bd/Hz}) \quad \text{或} \quad \eta = \frac{R_b}{B} \quad (\text{bps/Hz})$$

- 频带利用率是描述数据传输速率与带宽之间关系的一个指标
- 在衡量数据通信系统的效率时，既要考虑到传输速率，又要考虑到传输信号所占用频带宽度
- 真正衡量数据传输系统信息传输效率的是频带利用率
- 频带利用率通常与采用的调制及编码方式有关

# 传输质量

**信噪比SNR** 指信号通路某一点上的信号功率 $P_S$ 与混在信号中的噪声功率 $P_N$ 之比值（常用对数表示）。SNR用来描述信号在传输过程中受到噪声影响的度量

$$SNR = 10 \lg \frac{P_S}{P_N} \quad (\text{dB})$$

信噪比一般是在接收端测量

- **平均误码率** 指单位时间内接收到的出错码元数占总

码元数的比例

$$P_e = \frac{n_e}{n}$$

平均误码率与所选择的测量时间的分布和长短有关。在日常维护测试中，

ITU规定测试时间为15min

对于二进制传输而言，因码元与比特等价，所以误码率又称误比特率，但多进制传输时，两者不等

# 信道复用技术

---

复用的目的就是将多路信号合并在同一信道上而互不影响，同时能在接收端彼此分离开来。

- 频分多路复用技术

FDMA      OFDM

- 时分多路复用技术TDMA

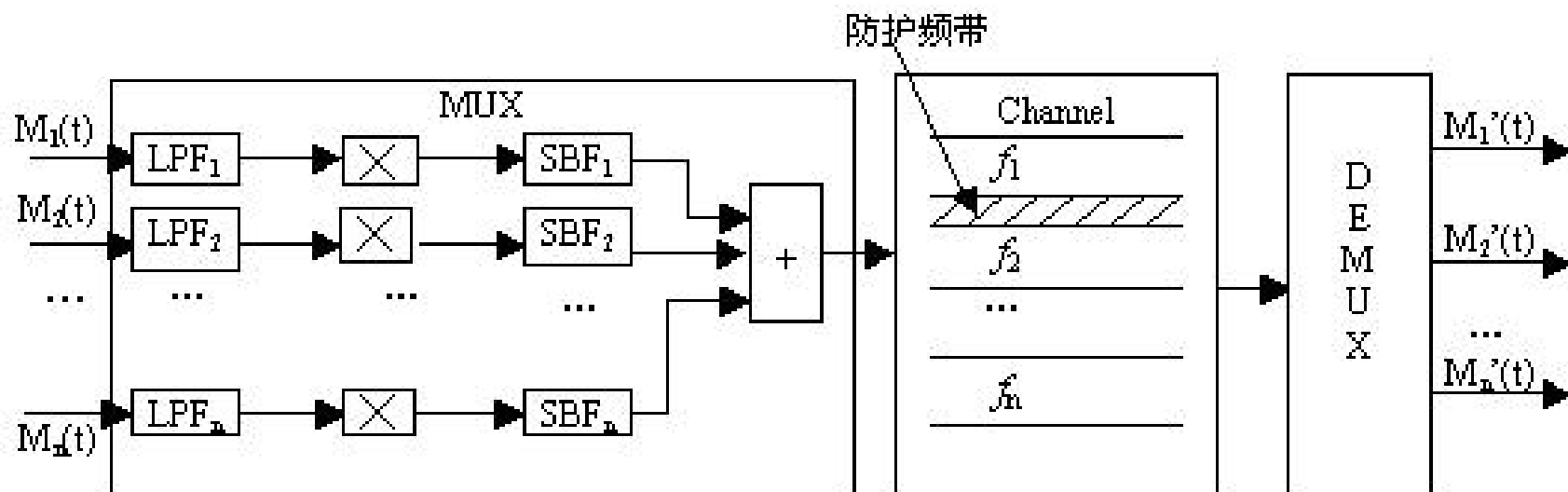
同步时分复用    统计时分复用

- 码分多路复用技术CDMA

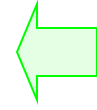


# 频分多路复用FDMA

- 介质带宽，比传送一路信号所需的带宽要宽得多
- **频分多路复用技术**：如何充分利用信道带宽，同时传输多路信号

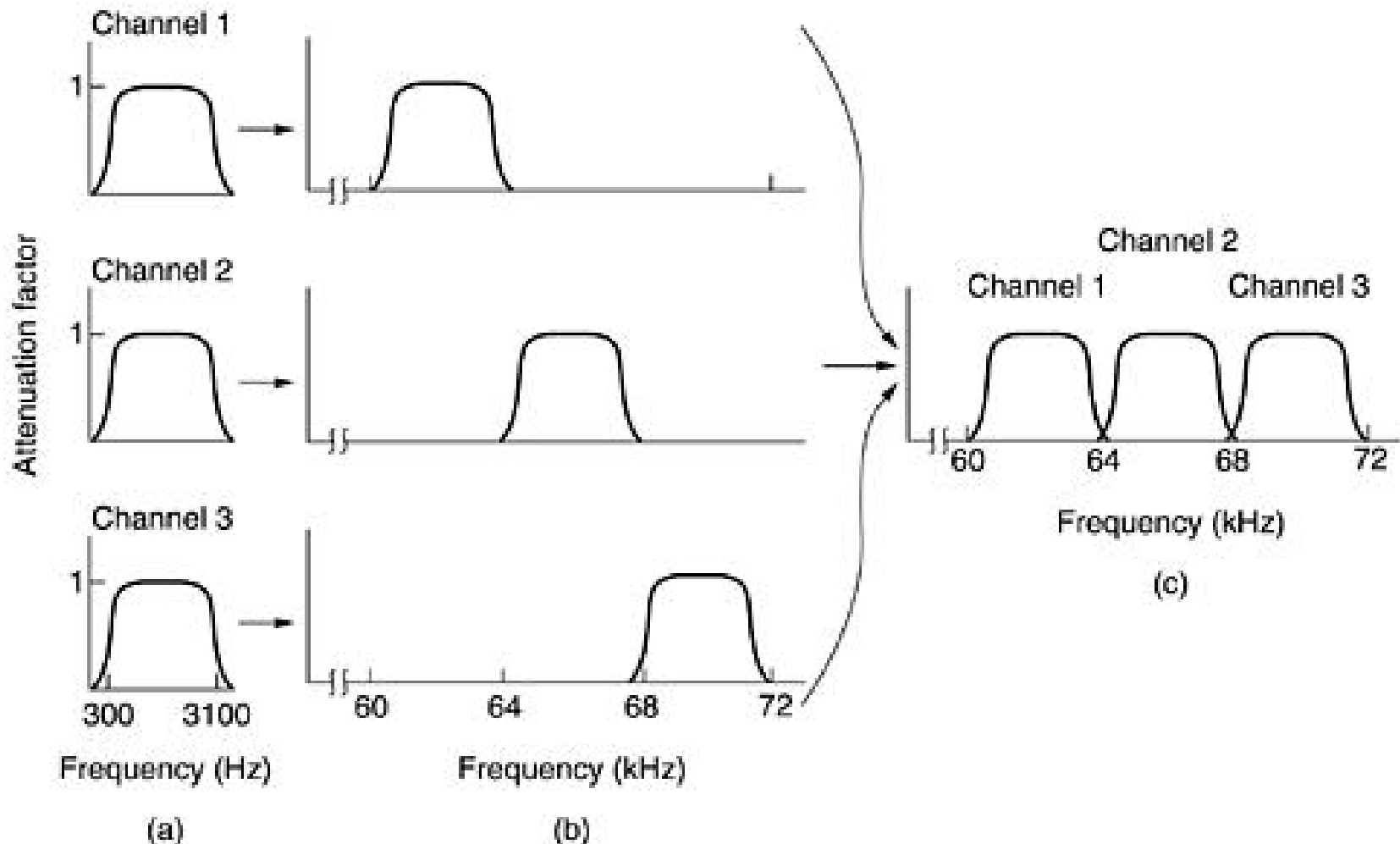


# 频分多路复用FDMA



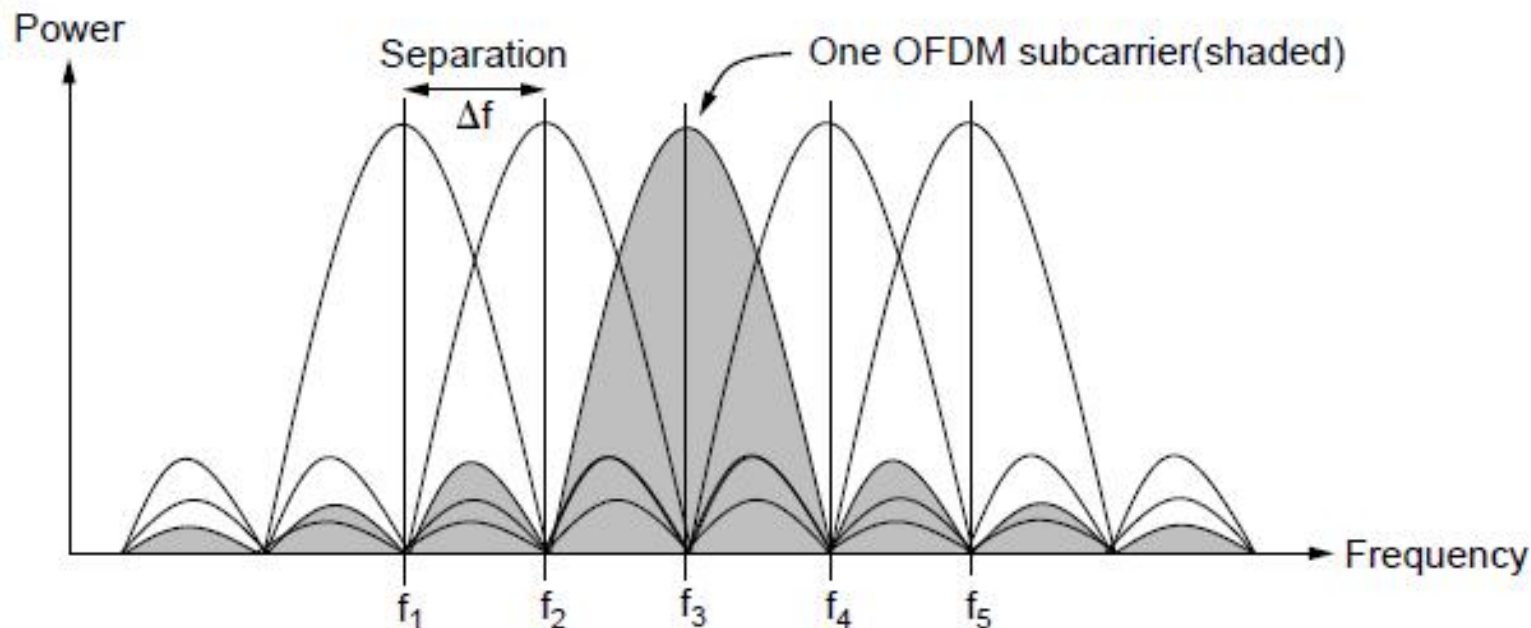
- 信道逻辑划分为 $n$ 个较小带宽的**子信道**
- **频谱搬移**：选择 $n$ 路信号，利用频率不同的载波进行调制。
- 每路子信道传输一路调制后的信号。  
**防护频带**——为了使 $n$ 路信号各不相干扰覆盖，在每路信号的频段之间增加格外的频带。
- 接收端，利用不同频段的接收滤波器，将各路信号恢复。

**举例--**标准化FDM方案（曾被电话系统用来复用电话使用许多年，现已被其他技术取代，蜂窝电话、地面无线和卫星网络仍在使用更高层粒度的FDM）



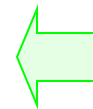
12路4000Hz语音信道复用到60-108 KHz,群; 5个群 超级群; 主群 5个超级群 (CCITT) 10个超级群（贝尔）。

# OFDM正交频分复用



- ◆ 被广泛应用于802.11、有线电视网络和电力线网络，在4G LTE技术中已得到使用
- ◆ 没有保护带，每个子载波发出的信号能扩展到相邻子载波，每个子载波的频率相应被设计成在相邻子载波的中心为零。更有效率地应用了频谱资源。

# 时分多路复用TDMA

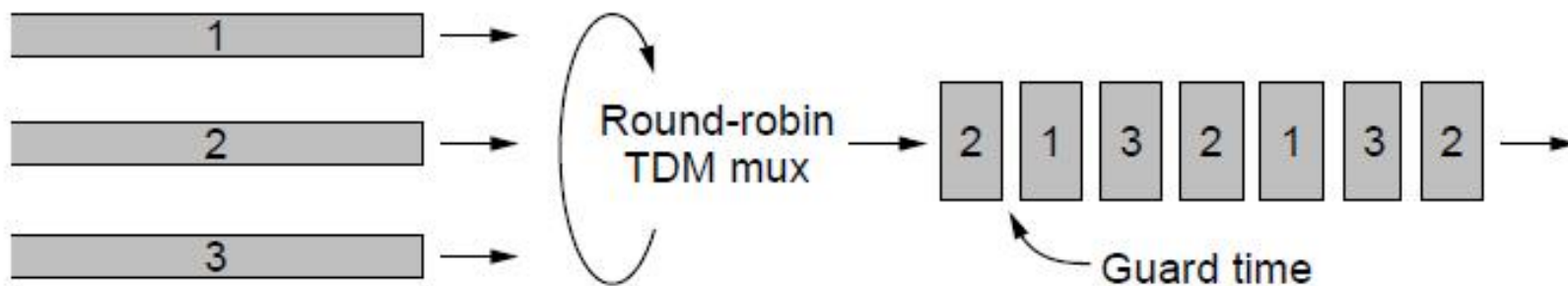


- ✓ 能完全用数字电路实现，广泛地使用。
- ✓ 把时间帧划分成若干时隙，各路信号占用各自时隙
- ✓ 一个信道可以有多少路信号复用主要取决于信道的带宽和每路信号的需求。

同步时分多路复用（TDM）和异步时分多路复用（统计时分复用，STDM）。

# 同步时分多路复用 (TDM)

指分配给每个终端的时间片是固定的，不管终端是否有数据发送，该终端的时间片都不能被其他终端占用。



# 统计时分多路复用 (STDM)

---

允许动态的按需分配时间片，需要发送数据的终端必须提出申请才能获得所需的时间片，否则时间片可以被其他终端占用。

优缺点：充分利用信道，控制较为复杂。

异步时分多路复用的输出数据速率比输入数据速率要小，当输入超过容量高峰时，需在复用器上加设缓冲器以容纳临时超出的输入数据。

。

# CDMA (Code Division Multiple Access)

## 码分多路复用

---

- 允许所有站在同一时间使用整个信道进行数据传送, 采用码型来区分各路信号。

特点: 不再有冲突假设, 信号可以线性叠加.

- 在CDMA中, 每个比特时间再分成 $m$ 个码片, 每个站分配一个唯一的 $M$ 比特码序列。

当某个站发送“1”时, 在信道中发送它的码序列;

当发送“0”时, 就发送它的码序列的补码(非值)。

这种编码方式使得发送信息量为原来的 $m$ 倍.



# 时间片序列的特性

- 任何两个不同的时间片序列的归一化内积为0

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

即在S和T的分量中,对应分量相等和不等的数目是一样的.

同样  $S \cdot \bar{T} = 0$

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

$$S \cdot \bar{S} = -1$$

当两个或多个移动站同时传输时,双极性信号是线性叠加的.

# 站点位流的恢复

---

- 接收器计算接收到的序列和该站的时间片序列的内积
- 由于正交特性,除了与自身(或自身的反)的内积可以是1或-1,与其他站点的序列内积都是0
- 问题: 时间片的同步  
假设接收器知道发送方是谁
- 运行在1.25MHz的频段上,支持用户数比前两者更多,在实际中每个用户带宽通常比GSM多

## CDMA传输举例

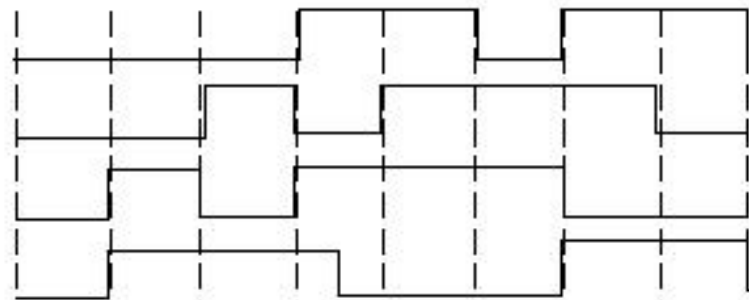
$$A = (-1 \ -1 \ -1 \ +1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1)$$

$$B = (-1 \ -1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1 \ +1 \ -1)$$

$$C = (-1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1 \ +1 \ -1 \ -1)$$

$$D = (-1 \ +1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ +1 \ -1)$$

(a)



(b)

$$S_1 = C = (-1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1 \ +1 \ -1 \ -1)$$

$$S_2 = B + C = (-2 \ 0 \ 0 \ 0 \ +2 \ +2 \ 0 \ -2)$$

$$S_3 = A + \overline{B} = (0 \ 0 \ -2 \ +2 \ 0 \ -2 \ 0 \ +2)$$

$$S_4 = A + \overline{B} + C = (-1 \ +1 \ -3 \ +3 \ +1 \ -1 \ -1 \ +1)$$

$$S_5 = A + B + C + D = (-4 \ 0 \ -2 \ 0 \ +2 \ 0 \ +2 \ -2)$$

$$S_6 = A + B + \overline{C} + D = (-2 \ -2 \ 0 \ -2 \ 0 \ -2 \ +4 \ 0)$$

(c)

$$S_1 \bullet C = [1+1-1+1+1+1-1-1]/8 = 1$$

$$S_2 \bullet C = [2+0+0+0+2+2+0-2]/8 = 1$$

$$S_3 \bullet C = [0+0+2+2+0-2+0-2]/8 = 0$$

$$S_4 \bullet C = [1+1+3+3+1-1+1-1]/8 = 1$$

$$S_5 \bullet C = [4+0+2+0+2+0-2+2]/8 = 1$$

$$S_6 \bullet C = [2-2+0-2+0-2-4+0]/8 = -1$$

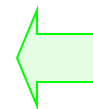
(d)

接收方从6个信号s1-s6中提取出C发送的信号

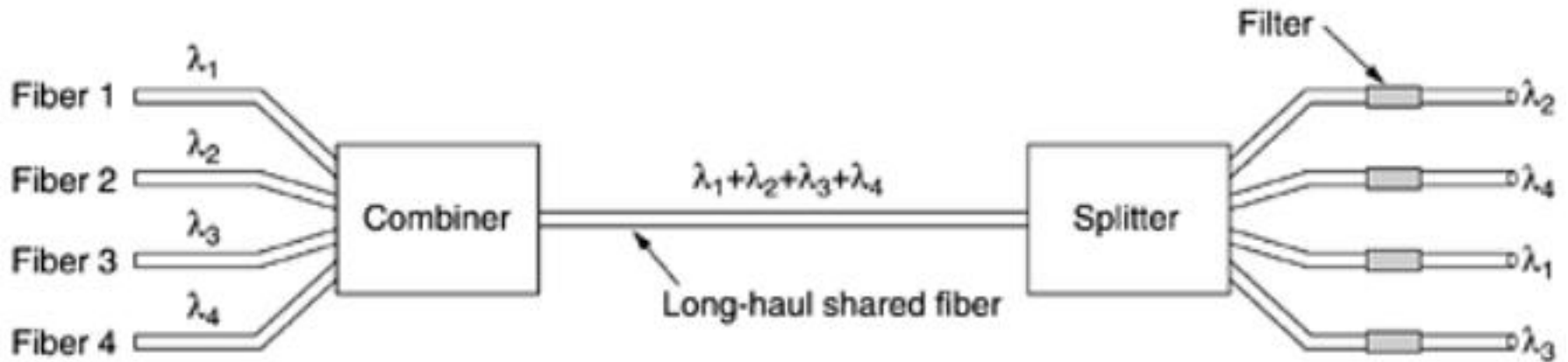
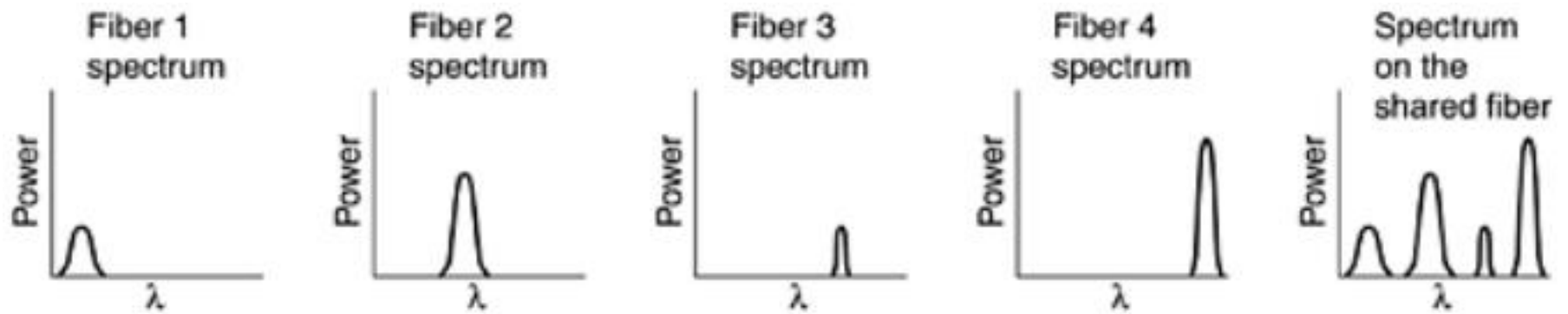
限制—假设了所有码片在接收方是同步的，这种同步在某些应用中不可能成立（蜂窝网），新的设计异步CDMA

蜂窝网、卫星通信、有线电视

# 波分多路复用WDMA



- 类似于频分复用技术FDMA，将 FDMA应用于全光纤网组成的通信系统中的一种复用技术.
- 将信道的带宽划分为多个波段
- 在波分多路复用系统中，每个复用于信道分为两个通道  
控制通道---进行连接，  
数据通道---用于传送数据帧。



频分复用在极高频率上的应用，使用衍射光栅

**WDM技术发展：** 90年，8条信道，2.5GHz/信道； 98年，40条信道， 2.5GHz/信道； 01年，96条信道，10GHz/信道（每秒能传30部电影MPEG-2）； 实验室，200信道，波长间隔0.1nm (DWDM—Dense WDM)

# 传输介质



通信中实际传送信息的载体。

## ■ 介质性质

带宽、吞吐量、传输延迟、尺寸、可扩展性以及成本和安装维护费用

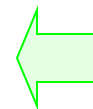
## ■ 介质选用

综合考虑传输介质的多种特性，将联网需求与介质特性进行匹配。

## ■ 有线介质

## ■ 无线介质

# 有线介质



- 约束类传输介质
- 传输信号性能较好
- 便宜
- 容易安装维护

适用于短距离通信和架设电缆比较容易的场合。

- 双绞线
- 同轴电缆
- 光纤光缆

# 有线介质--双绞线 (twisted pair)

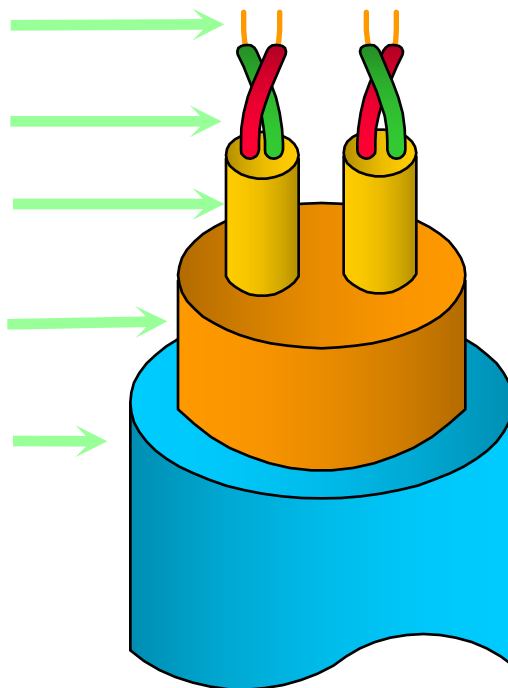
内导体芯线

绝缘

箔屏蔽

铜屏蔽

外套



- 由两条互相绝缘的铜线组成，其典型的粗细为直径1mm。
- 两条线像螺纹一样拧在一起，这样可以减少邻近线对电气的干扰。
- 在电话系统、局域网中常用。



# 双绞线



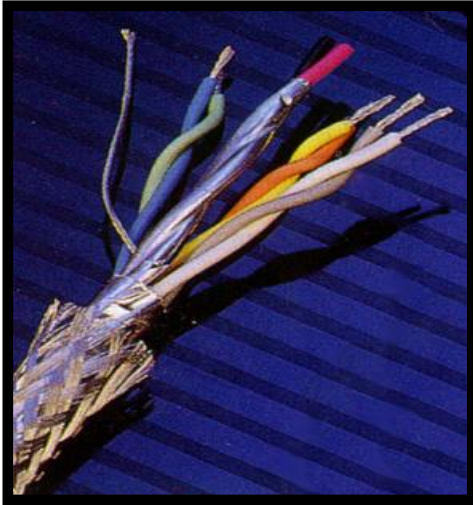
- 由不同颜色的4对8芯线组成，每两条按一定规则绞织在一起，成为一个芯线对。

屏蔽 (Shielded Twisted-Pair: STP)

非屏蔽 (Unshielded Twisted-Pair: UTP)

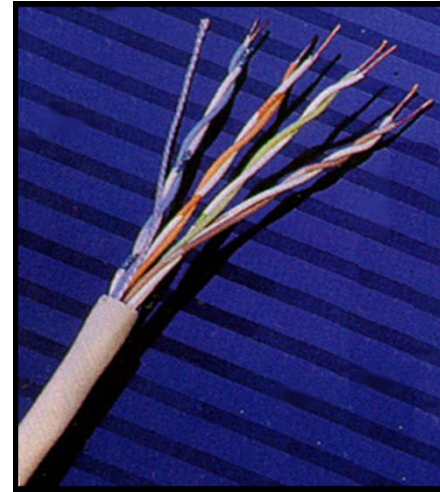
屏蔽的当然在电磁屏蔽性能方面比非屏蔽的要好些，但价格也要贵些（除了IBM设备上用，没有流行起来）。

## 屏蔽双绞线 (STP)



以箔屏蔽以减少  
干扰和串音

## 非屏蔽双绞线 (UTP)



双绞线外没有任何附加屏蔽

3类:  $\leq 16\text{MHz}$

速率  $\leq 10\text{Mbps}$

5类:  $100\text{MHz}$   $100\text{Mbps}$

超5类、6类 ( $250\text{MHz}$ )

、7类 ( $600\text{MHz}$ )

# 有线介质--同轴电缆(coaxial cable)

---

- 高带宽和较好的屏蔽作用，有较高的抗干扰能力和极好的噪声抑制特性。
- 现代电缆可达1GHz的带宽。广泛用于有线电视和城域网中。

按照特性阻抗数值分为：

## ■基带同轴电缆（50Ω电缆）

多用于基带传输，传输离散的基带数字信号，可将10Mbps的基带数字信号传送1~1.2Km，因此广泛应用于局域网中。

## ■宽带同轴电缆（75Ω电缆）

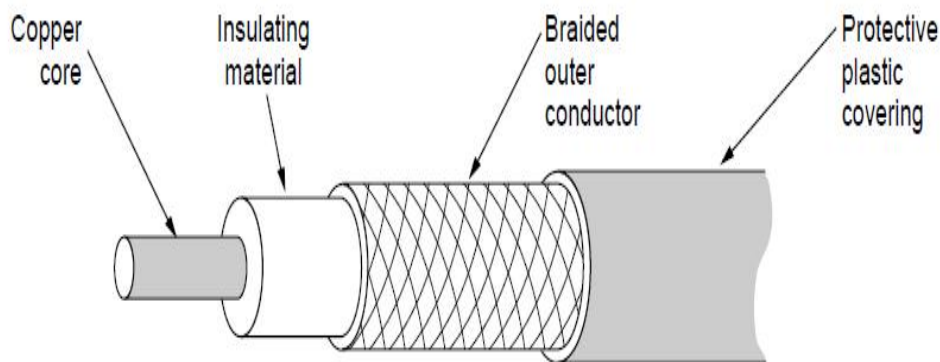
常用于模拟传输，是有线电视系统CATV进行模拟通信的标准传输电缆。20世纪90年代开始在有线电视上提供访问Internet服务

# 基带同轴电缆

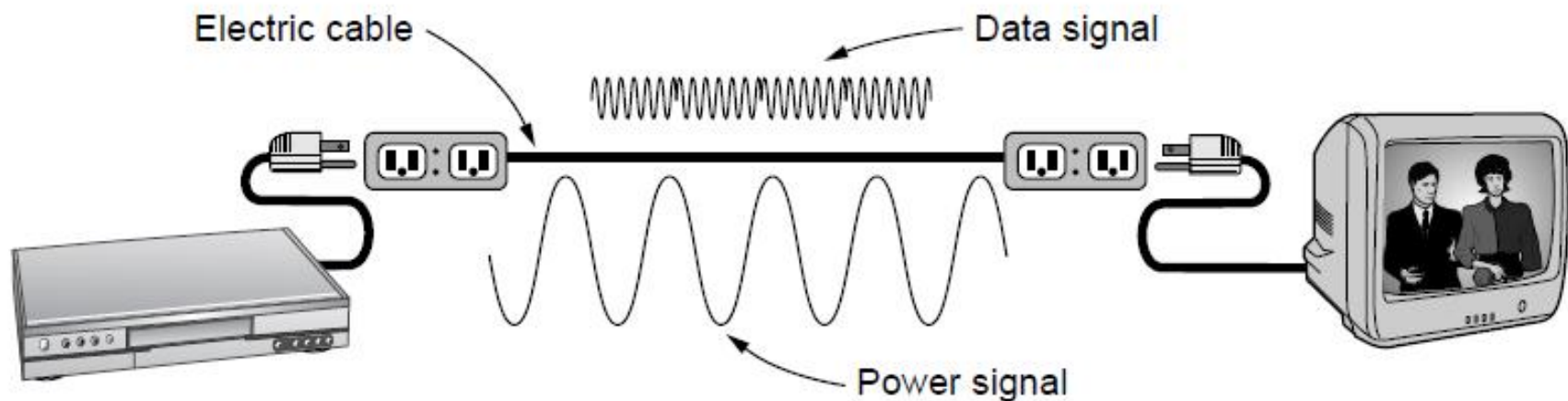


基带同轴电缆按其直径大小可分为：

- 粗缆：“粗同轴电缆”，简称为“AUI”，如下图左图所示。硬铜线为芯，外包密织的网状导体环绕的绝缘材料，网外覆盖一层保护性材料。
- 细缆：“细同轴电缆”，英文简称为“BNC”，细同轴电缆与粗同轴电缆结构类似，只是直径细些，如下图右图所示的一条剥了皮的细同轴电缆。



# 电力线

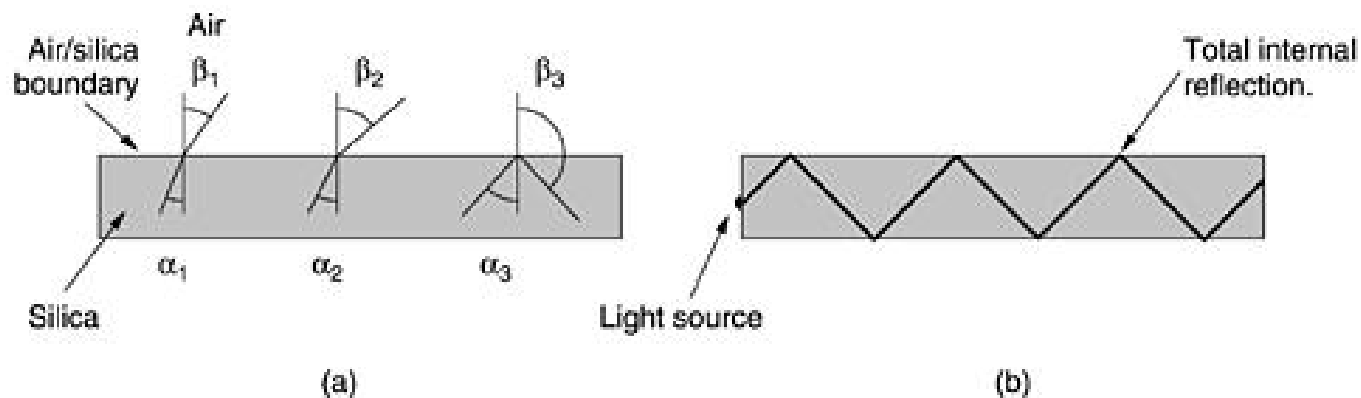


- 电力公司多年前就利用电力线进行较低速率的通信，如远程测量，智能家居用电力线对室内电子电器设备进行控制
- X10标准 国际通用智能家居电力载波协议
- 近年，用电力线进行高速传输，构建家庭内部局域网，访问 Internet
- 困难：电信号发送频率50-60HZ 高速率数据通信所需高频在电线上会严重衰减

# 光纤

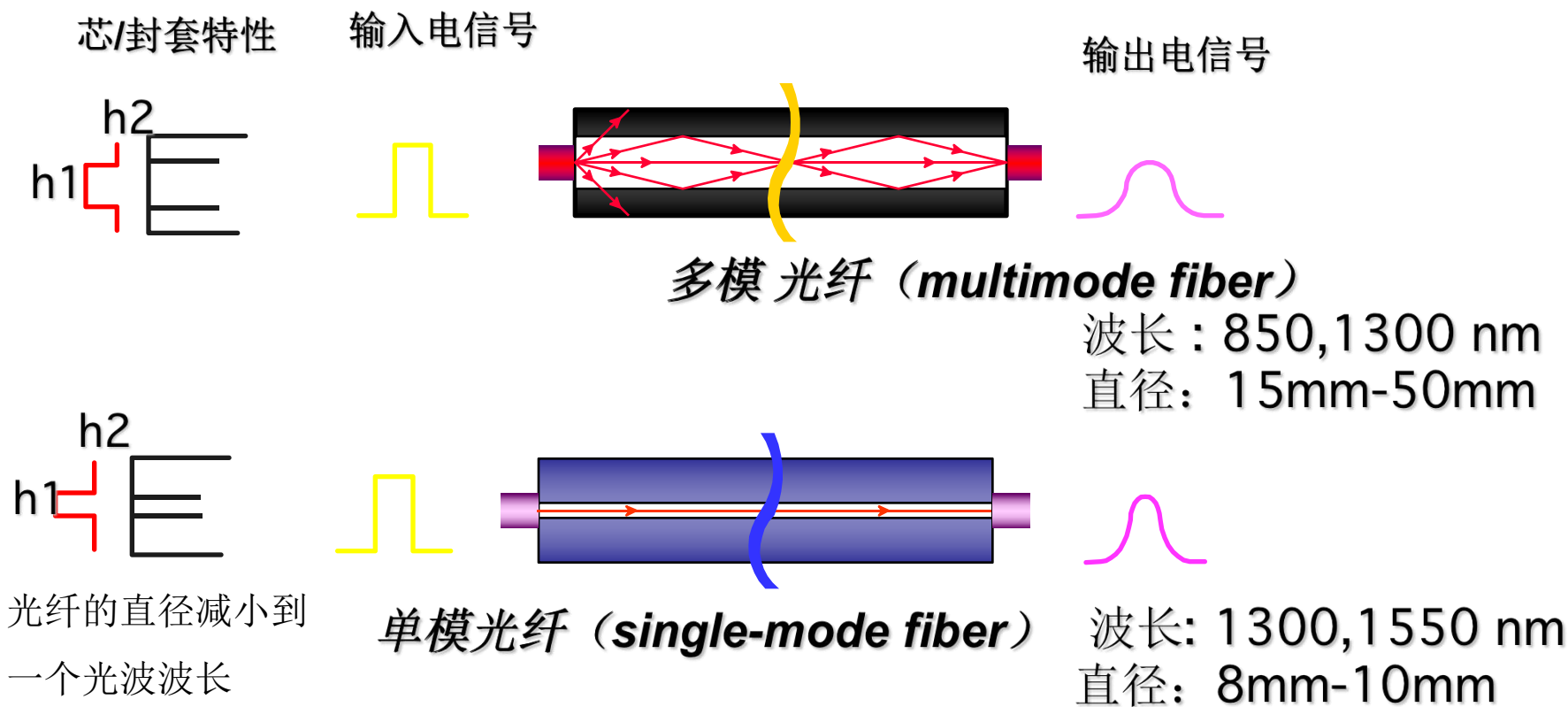


- 依靠光波承载信息，有光“1”，无光“0”
- 高传送速率，通信容量大
- 传输损耗小，适合长距离传输
- 抗干扰性能好，保密性好
- 抗腐蚀
- 轻便
- 单向传输
- 叉接困难

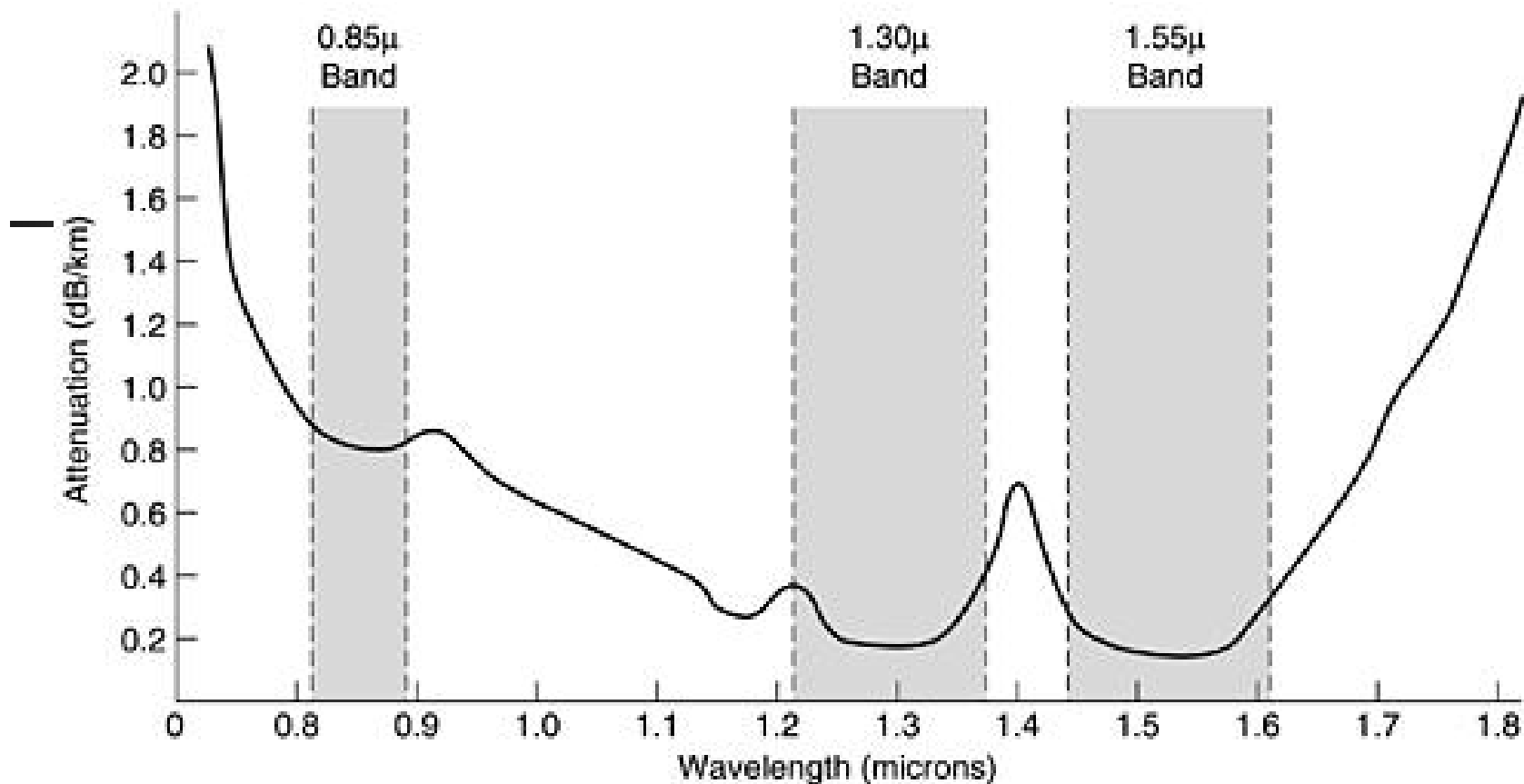


光纤主要用于网络骨干的长途传输、高速局域网以及高速Internet接入（光纤到户）。

# 光纤传送模式



100Gbps传输100km不需放大



红外区域的光通过光纤时的衰减

衰减的分贝数= $10\log(\text{传输的能量}/\text{接收的能量})$

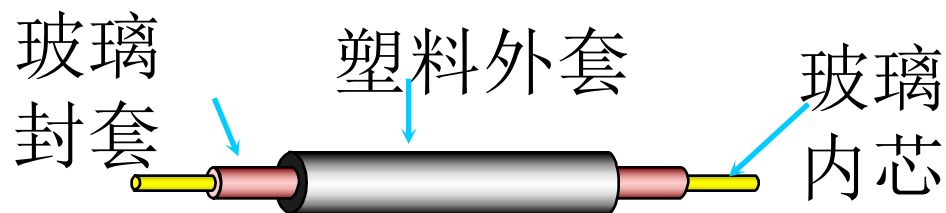
3个波段都有25 000-30 000GHz的带宽



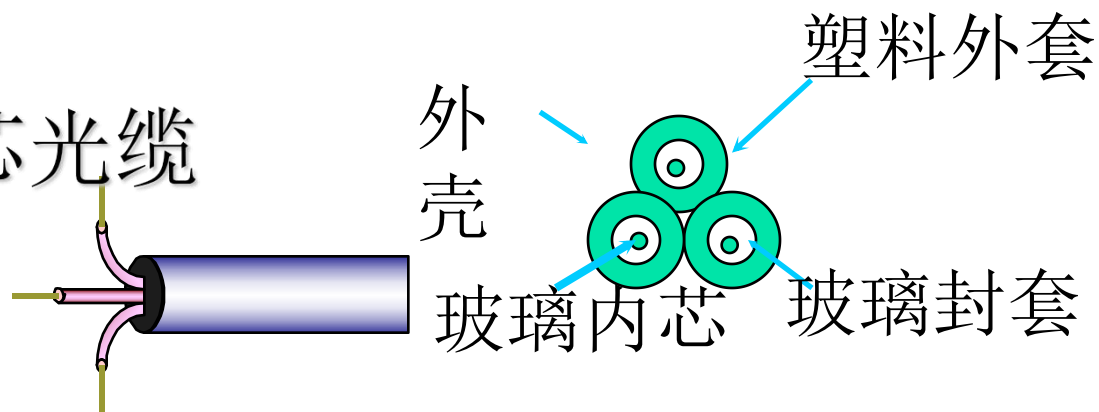
# 典型的光缆



## 单芯光缆

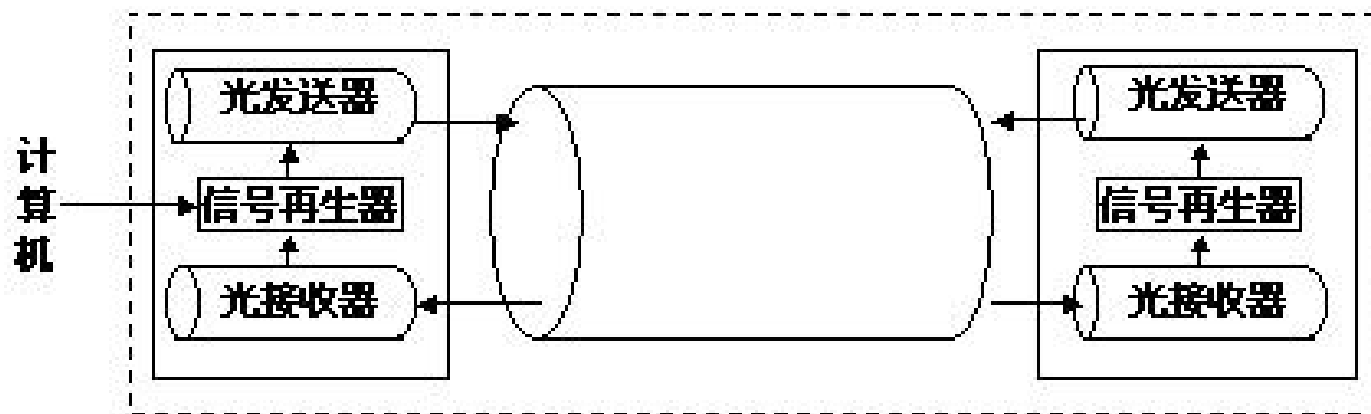
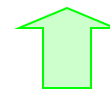


## 多芯光缆



光纤的连接方式：连接器 机械拼接 融合

# 光纤通信系统及其构成



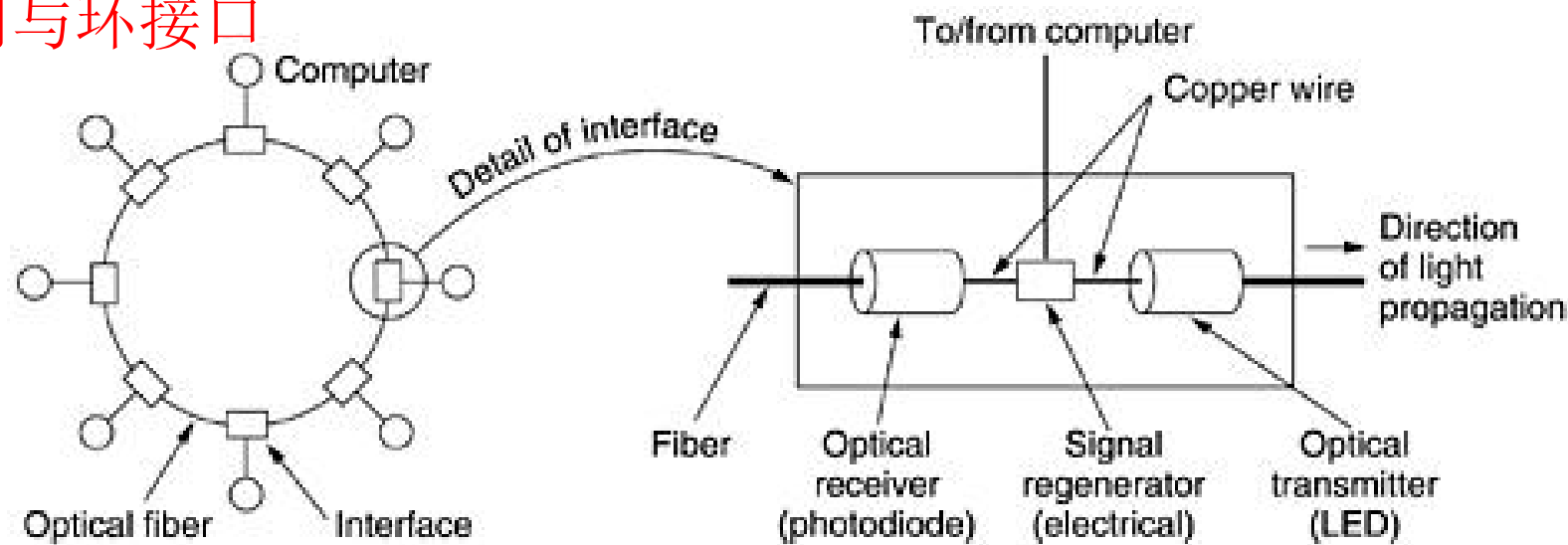
**光源：**发光二极管（LED） 半导体激光

**接收端：**光电二极管，受到光照发出电脉冲。响应时间限制了数据传输率在**100Gbps**

## 两种光源的差异性

Item	LED	Semiconductor laser
Data rate	Low	High
Fiber type	Multi-mode	Multi-mode or single-mode
Distance	Short	Long
Lifetime	Long life	Short life
Temperature sensitivity	Minor	Substantial
Cost	Low cost	Expensive

## 光纤环网与环接口



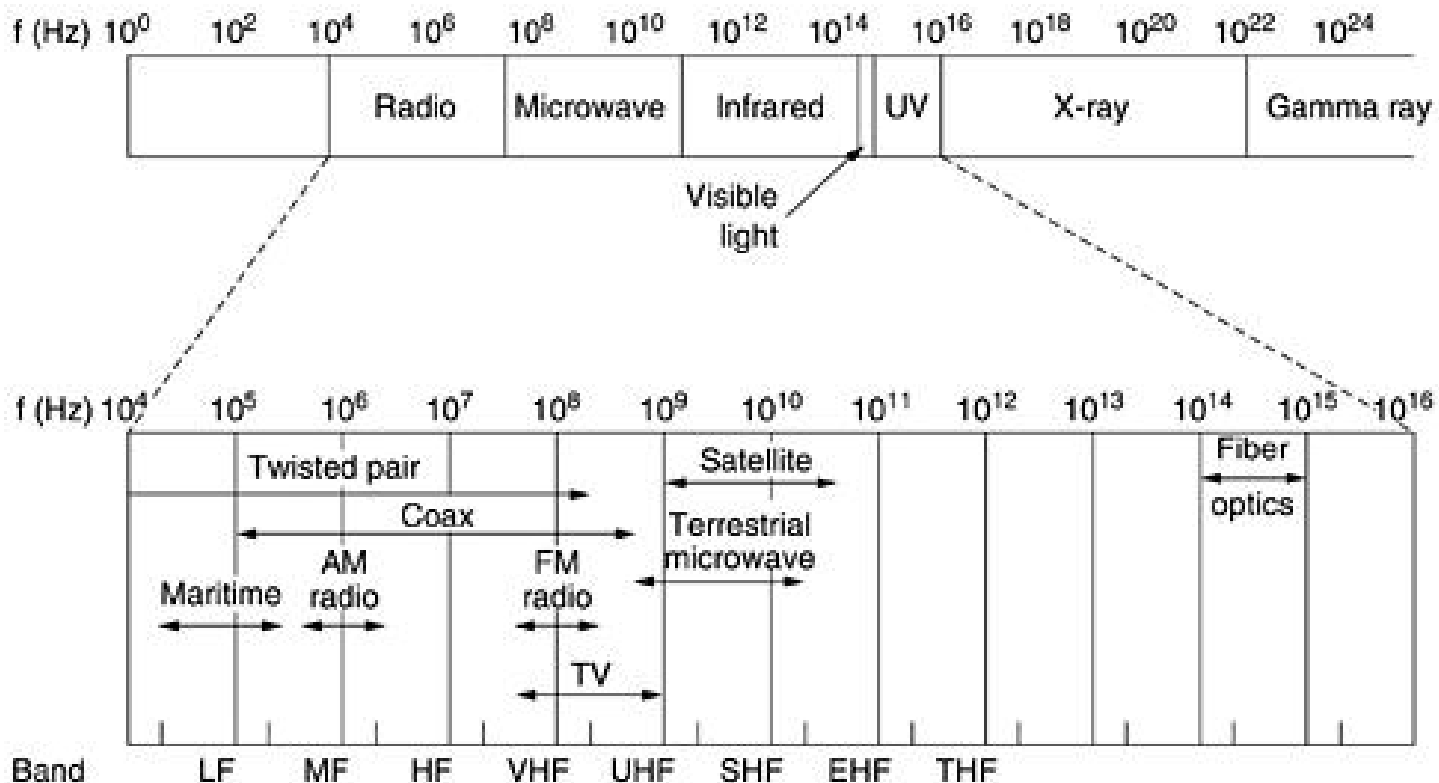
# 无线传输介质

- 电磁波谱

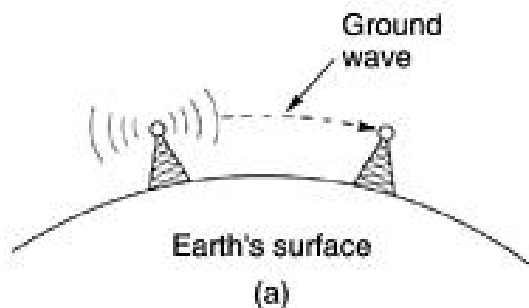
- 微波

- 红外线

- 可见光

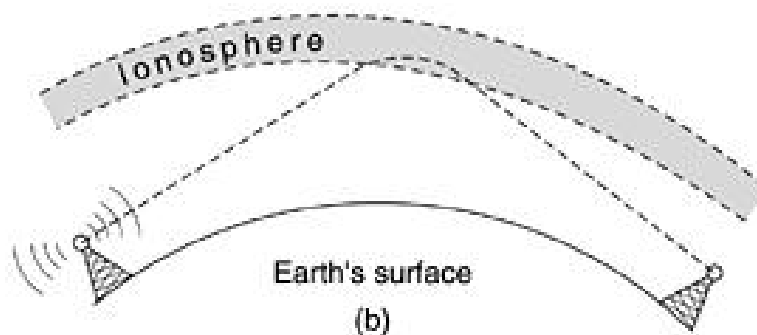


# 无线电传输



VLF LF MF 贴地面传送

低频段 1000公里内



HF VHF 经电离层反射

业余无线电爱好者 军队

**特点：** 容易产生；距离长；

低频衍射性好，任意方向 但衰减快， $1/r^2$

高频走直线，受雨影响 用户间存在干扰

**应用：** 广播（地面传输，电离层反射）；寻呼系统；无绳电话；

# 微波传输

## 特点

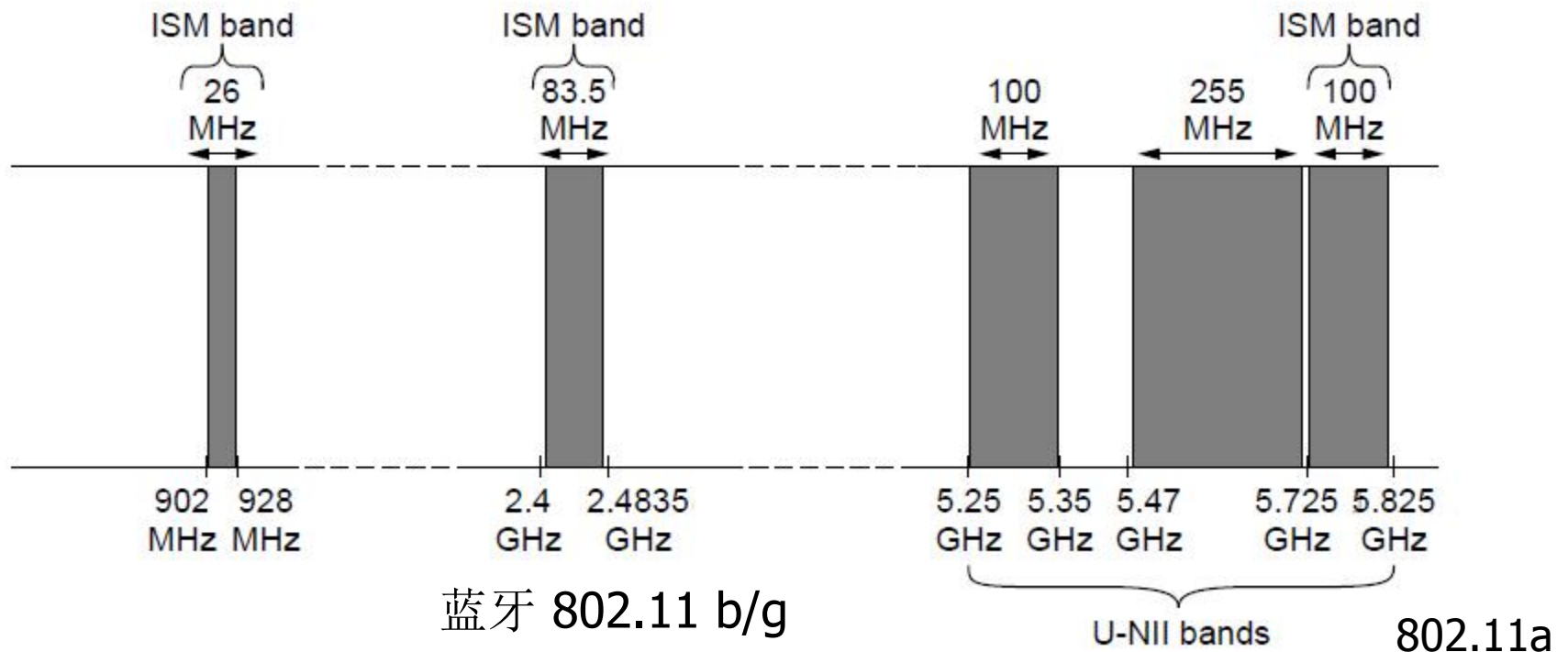
- 100 MHz以上的频段，沿直线传播，
- 通过抛物状天线把所有的能量集中于一小束，极高的信噪比，
- 发射天线和接收天线必须精确地对准，方向性要求高。
- 易被雨水吸收。
- 使用的频段扩展到了10GHZ，一般为4GHZ。带宽大
- 频率越高，可同时传送的信息量越大。

**微波接力通信：**由于微波是沿直线传播的，故在地面的传播距离有限，因此隔一段距离就需要一个中继站。中继站接收前一个中继站送来的信号，经放大后再发送到下一个站。

**应用：**光纤出现以前，微波是远距离电话传输系统的核心。  
移动电话  
电视转播      卫星是最大的微波中继

# 电磁频谱的政策

- 国家政府分配频段： AM和FM无线电台、电视、移动电话、 电话公司 警察 海军 航空 军队 政府等
- 负责部门： ITU-R 的一个代理（WARC）协调分配方案；美国 FCC 留出一些频段用于非授权用途，称为ISM(Industrial Scientific Medical) U-NII 非授权国家信息基础设施频段，没有完全被开发



# 红外线

---



用于短距离通信，如电视、录象机等遥控  
也可用于无线LAN 有方向性 便宜 易于制造 不需政府许可

缺点：不能穿透固体（防窃听性好）

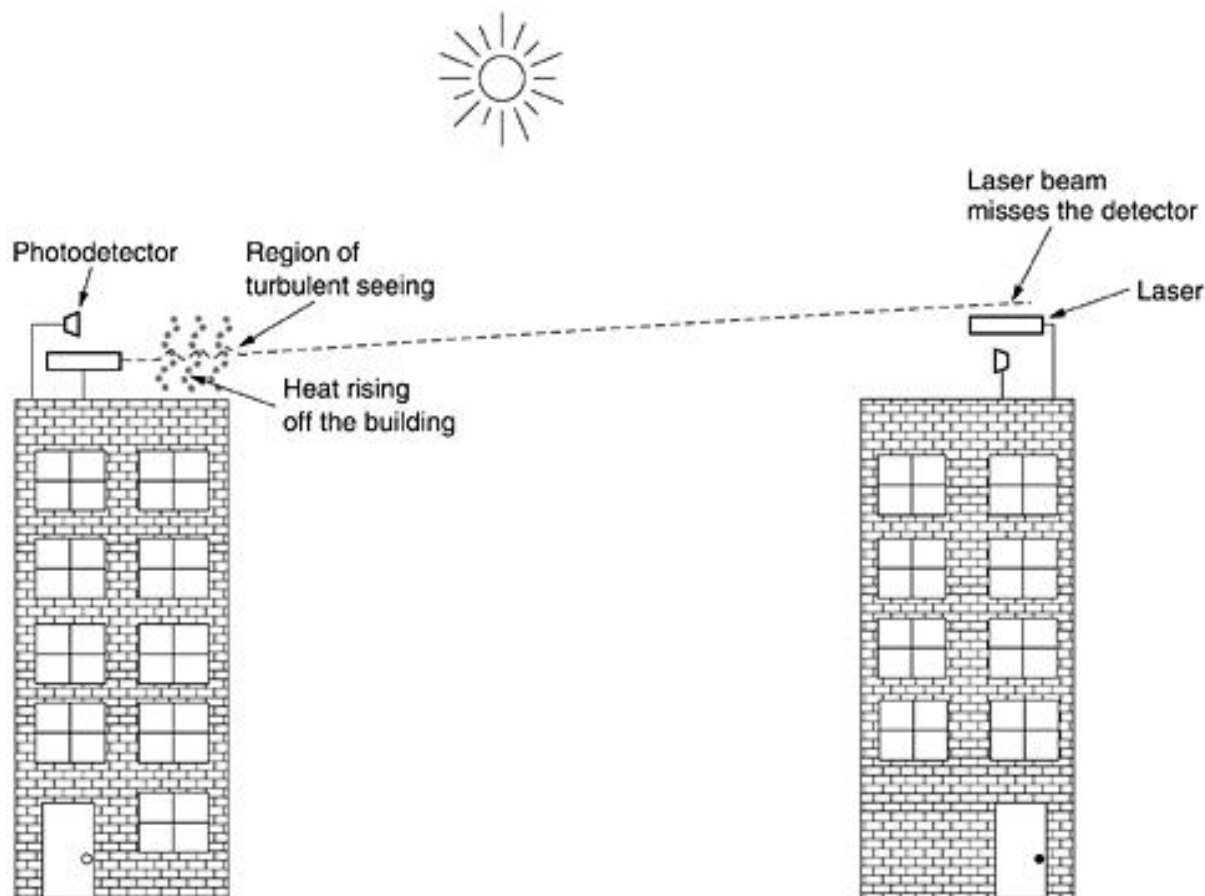


# 光波传输



应用：在屋顶用激光连接两个建筑物的LAN，要求严格对准

缺点：不能穿透雨和浓雾，易受天气影响



# 典型通信系统

---

## ■ 公共电话网络

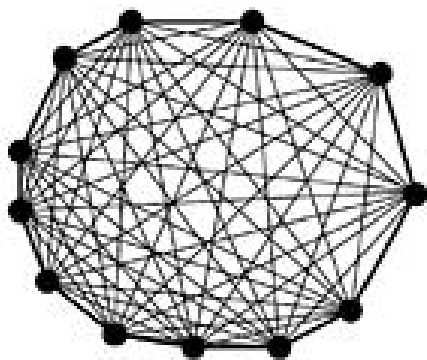
- 电话系统结构
- 本地回路的带宽（调制解调、ADSL、光纤到户）
- 中继线路的复用技术（T信道、E信道、）

## ■ 移动电话系统

## ■ 有线电视

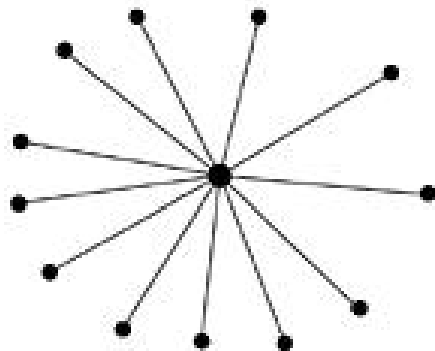
# 公共交换电话网络（PSTN）

## ■ 电话系统的结构



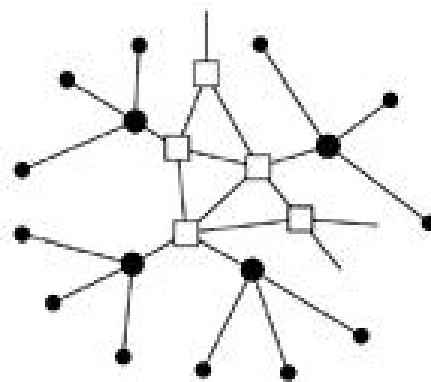
(a)

两两连接



(b)

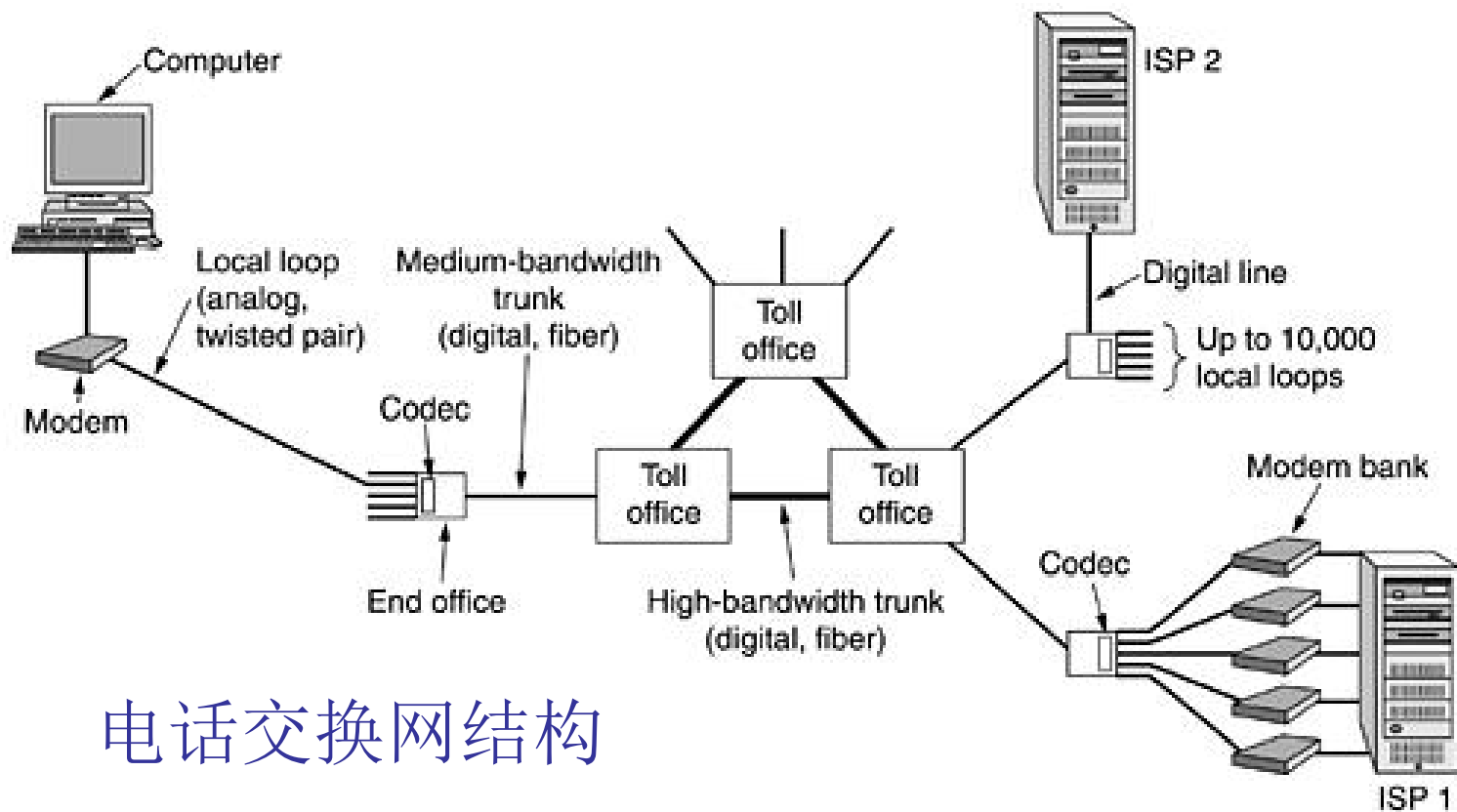
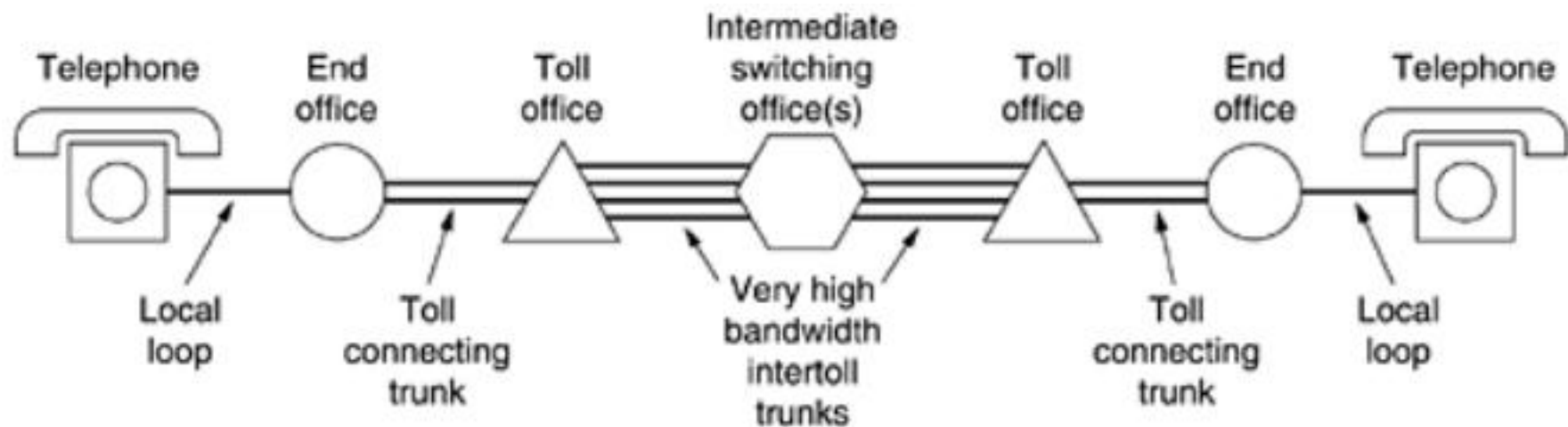
以电话交换局  
为中心



(c)

分区域电话交  
换

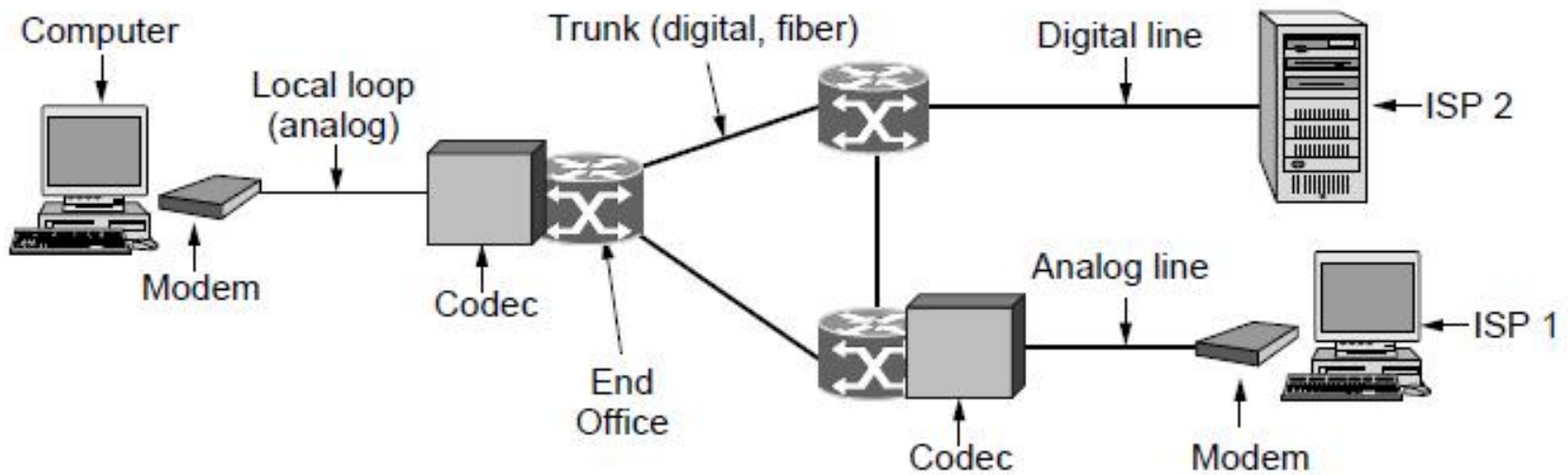
用电话网联网，制约因素在链接客户的“最后一英里”，本地回路，而不是电话网内部的中继线和内部交换机。



电话交换网结构

# 本地回路：调制解调器、ADSL

- 调制解调器---执行数字比特流和模拟信号流之间转换的设备
- 电话调制解调器、DSL调制解调器



# 电话调制解调器

---

- 利用了电话线路的3100HZ
- 大部分的发送速率是2400baud（符号/秒）
- 高级调制技术使得比特率得到了提高。

# 调制解调器的标准举例

---

- V.21: 300bps, FSK
- V.22: 1200bps, PSK, 全双工调制解调器标准
- V.22bis: 2400bps, QAM, 全双工调制解调器标准
- V.27: 4800bps, PSK
- V.28: 定义在RS 232接口的电路
- V.29: 9600bps, QAM, 原来是用于传真的一个通用标准
- V.32: 异步和同步, 4800 ~ 9600bps标准, 格子架编码
- V.32bis: 高于14400bps以上的异步和同步标准, 格子架编码, 使用在一个信号群 (signal constellation) 有128点的二维格式编码技术。

# 调制解调器的标准



- V.32terbo: 提供19.2Kbps传输率的临时标准，是V.32bis和V.34中间的过度性临时标准，使用在一个信号群（signal constellation）有256点到512点的两维格式编码技术。
- V.34: 33.6Kbps传输率的标准，正规名称为V.fast，格子架编码，使用在一个信号群（signal constellation）有768点的四维格式编码技术，常用于传真机。每个采样传输12个数据位，可达到33.6kbps。V.34 bis 14个数据位，可达到33.6kbps
- V.35: 定义组合线路上的高数据传输率
- V.42: 包含错误校正技术
- V.42bis: 使用Lempel-Ziv方法的调制解调器压缩技术
- V.43: 定义查错标准



# 调制解调的标准

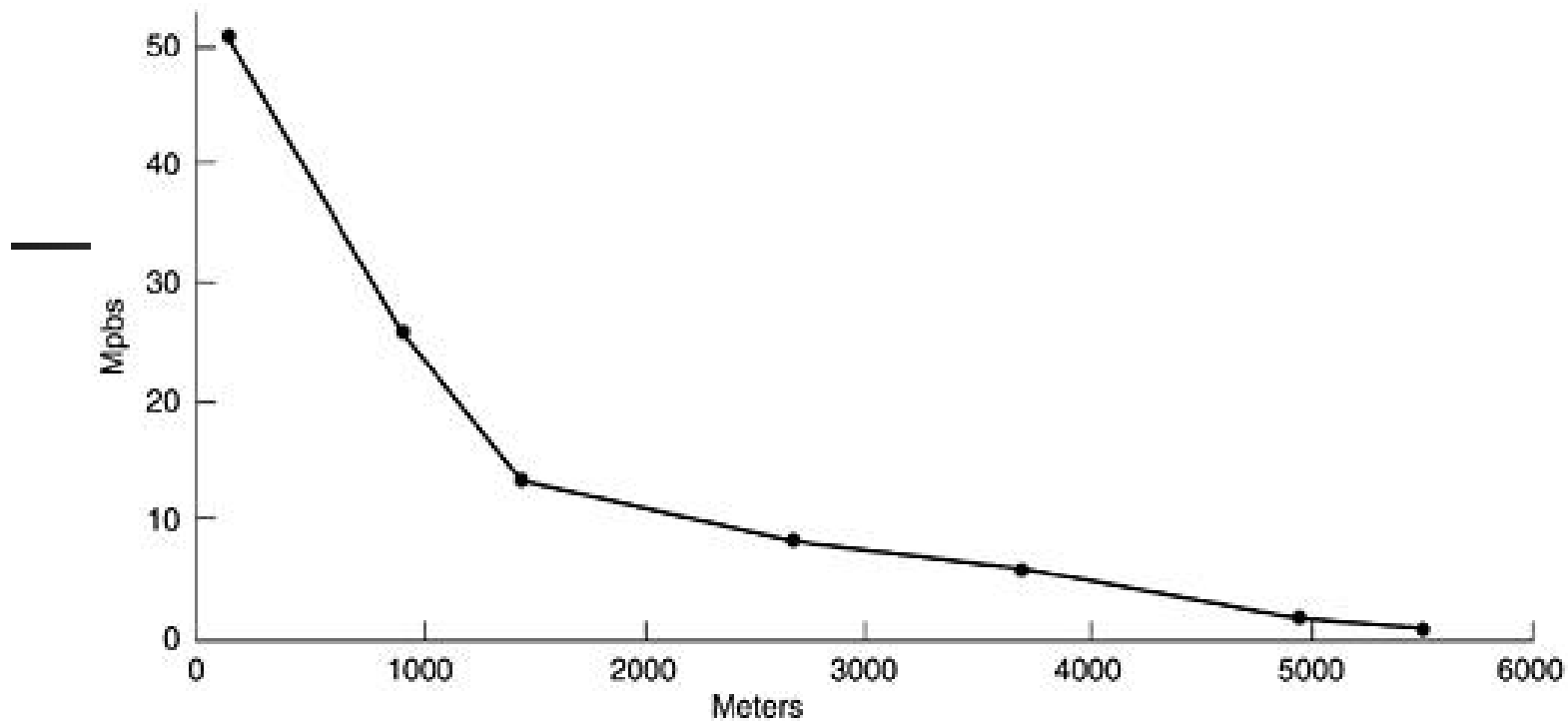
---

- V.90 提供33.6kbps的上行信道（用户-ISP）  
56kbps的下行信道（ISP-用户）
- V.92 上行信道48kbps

# 数字用户线路（Digital Subscriber Lines）

---

- 电话工业56kbps 有线电视10Mbps 卫星公司50Mbps
- 电话调制解调器慢的根本原因  
每条回路到了端局后被滤波限制在3100HZ之间，将300HZ以下、3400HZ以上频率滤除。
- 电话公司需要利用本地回路提供新的数字服务—宽带  
ADSL(Asymmetric DSL)非对称数字用户线路  
用户订了此项服务，进来线路被连接到不同的交换机上，没有过滤器，可以充分发挥本地回路的全部承载能力。



### 3类UTP用于DSL时带宽与距离的关系

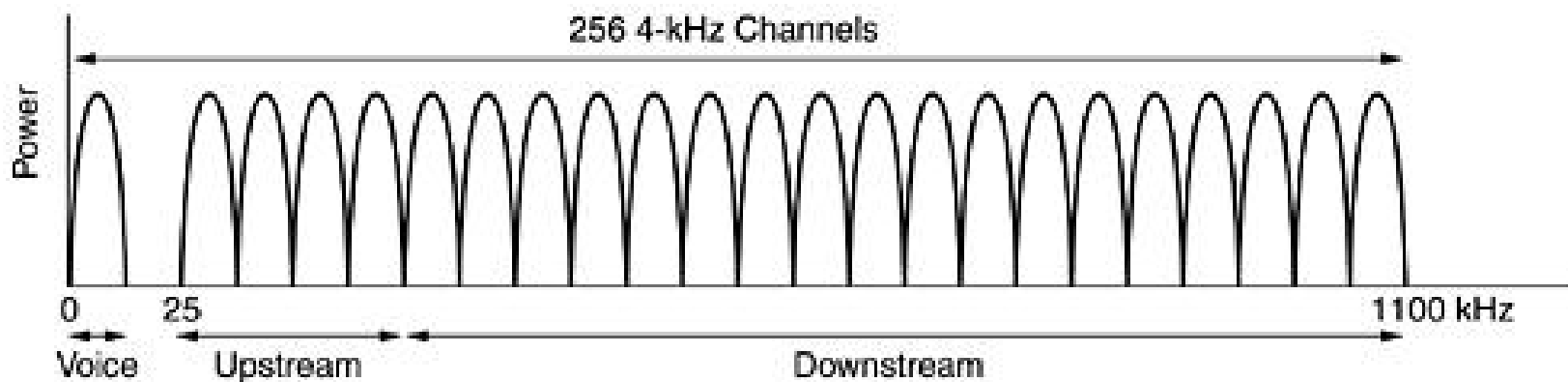
#### ADSL设计目标:

在现有3类UTP本地回路上工作

不影响顾客原来的电话机和传真机

必须比56Kbps快

# ADSL的频分多路复用技术



本地回路的1.1MHZ频谱被分为256条独立信道，每信道4312.5HZ

信道0用于POTS(Plain Old Telephone Service) 传统的简单电话服务；  
信道1-5空闲； 剩余250条信道用于传输数据

上行数据流-- 从用户到端局

下行数据流—从端局到用户

常见的分法： 32条用于上行； 其余用于下行

# ADSL标准

---

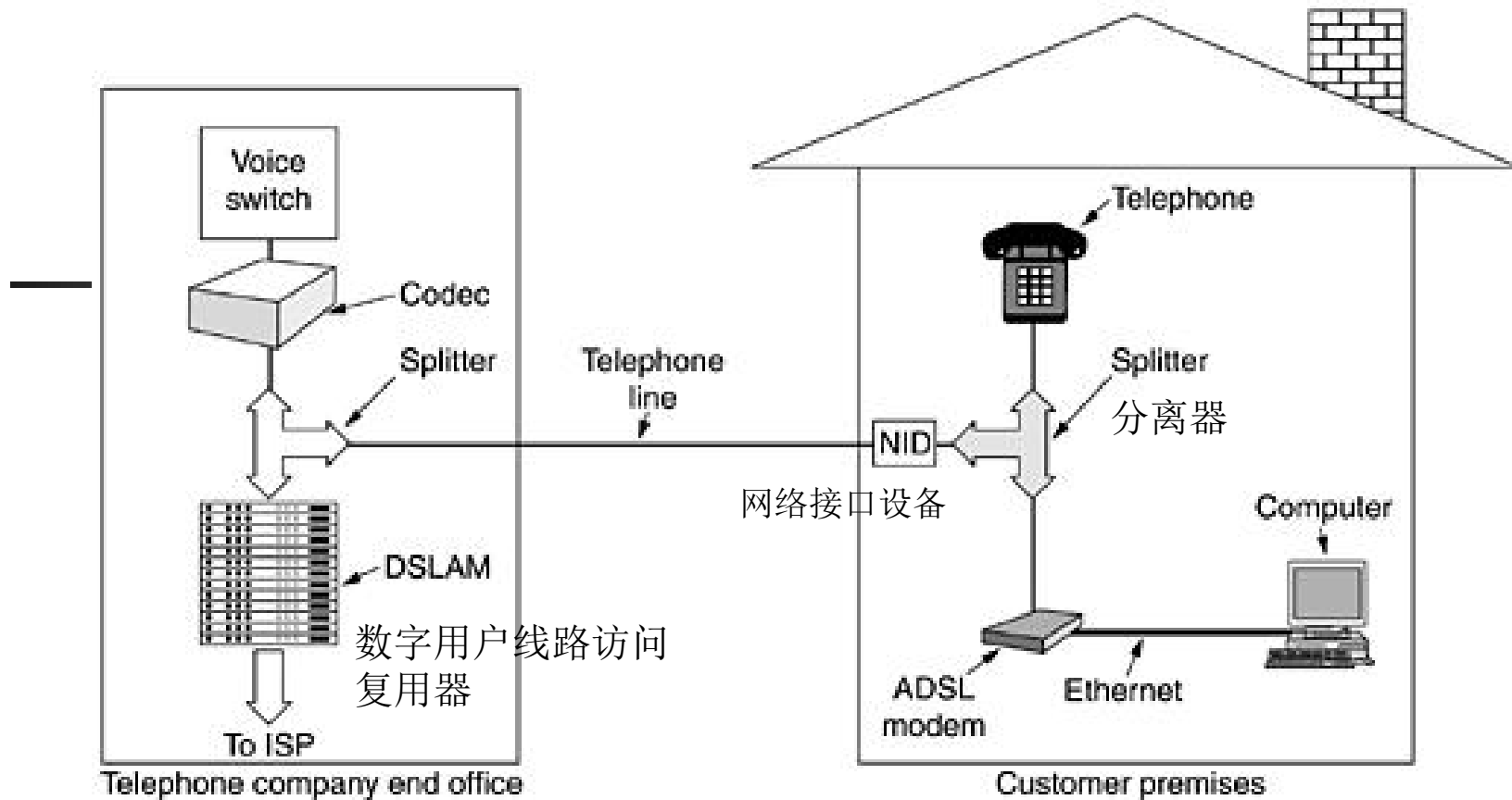
- **ANSI T1.413 ITU G.992.1**

允许的速度可达**8Mbps**下行 **1Mbps** 上行  
通常供应商提供

标准服务 **512Kbps**下行 **64kbps**上行

高级服务 **1Mbps**下行 **256Kbps**上行

每一条信道内部使用的调制方案**V.34（QAM）**，采样率**4000**波特



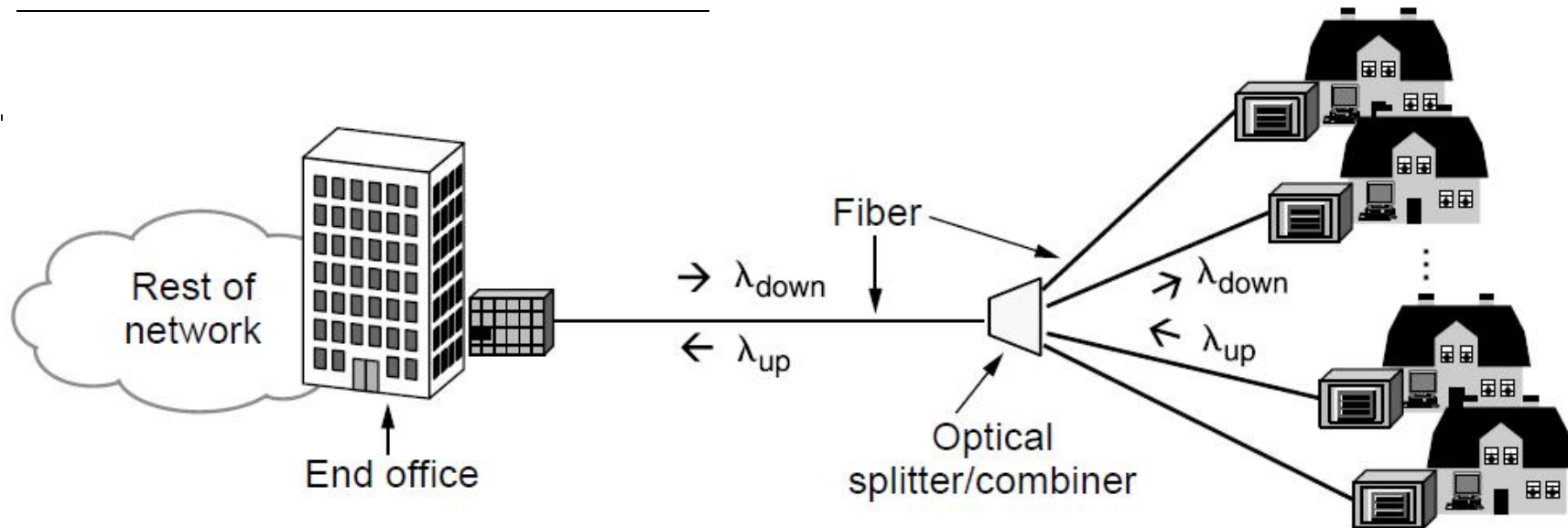
典型的ADSL设备配置图

分离器—模拟滤波器。电话部分，低通滤波器（消除3400HZ以上频率）。ADSL，高通滤波器（消除26HZ以下频率）

ADSL调制解调器—相当于一组250QAM调制解调器，在不同频率上并行工作。

电话公司的端局，频率高于26KHz的信号被路由到DSLAM

# 光纤到户



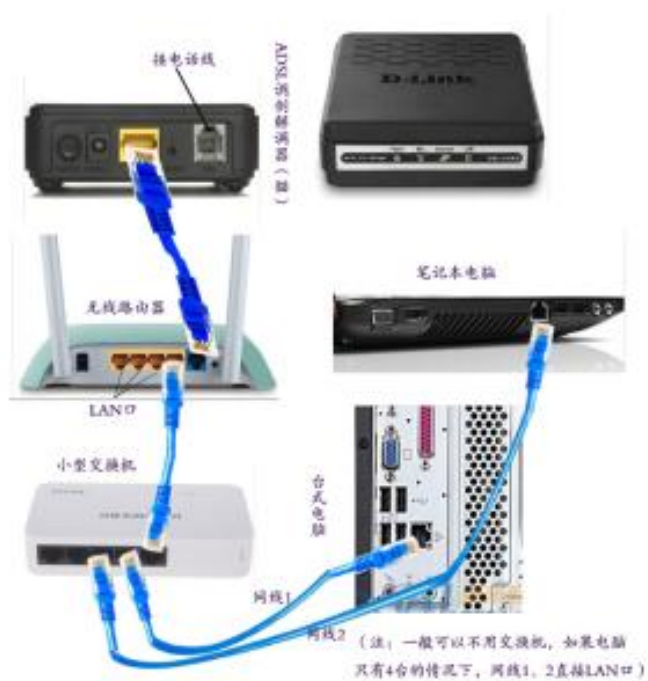
**下行流方向：**光分离器将端局传来的信号分离开，使到达所有的用户；

**上行流方向：**光合并器将用户信号合并成一个信号发送给端局

上行流和下行流分别采用不同的波长，用户间共享波长。上行采用分配时间槽方法，类似于有线电视调制解调器

**速率：百兆 千兆**

## 家庭或者小型单位完整组网图



DSL modem 连接



光modem 连接



# 电话网---中继线和多路复用

---

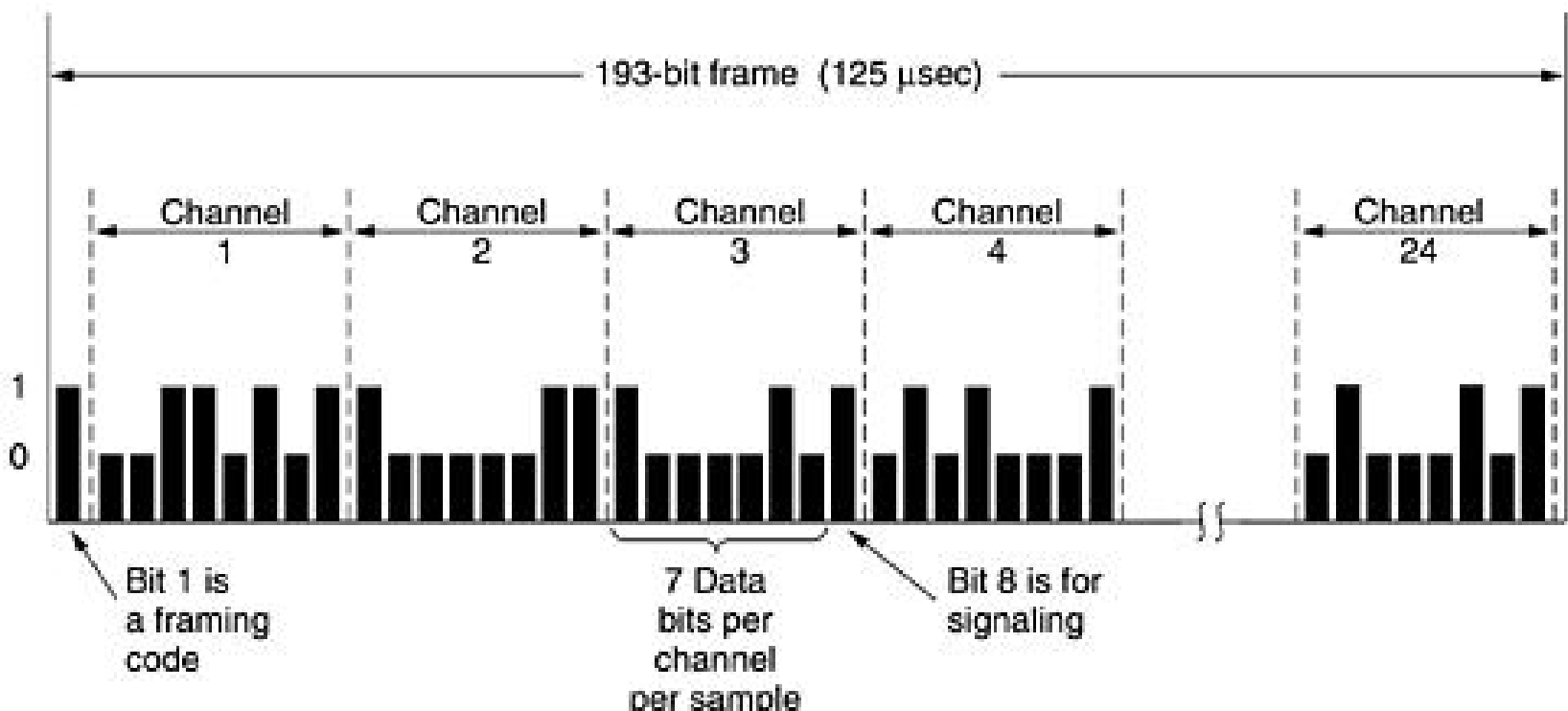
- 模拟信号数字化

PCM (Pulse Code Modulation) 脉冲编码调制

4000Hz信道, 编解码器, 每秒采样8000次, 产生8位数字序列 (64kbps)。

- 数字传输的时分复用标准没有达成统一的国际标准
  - 北美和日本采用T1线路 (T1 carrier)
  - 其他国家采用E1线路

# T1帧结构示意图（包含24条语音信道）



8位中7位用于数据，1位用于控制， $24 \times 8 + 1 = 193$ 位/帧

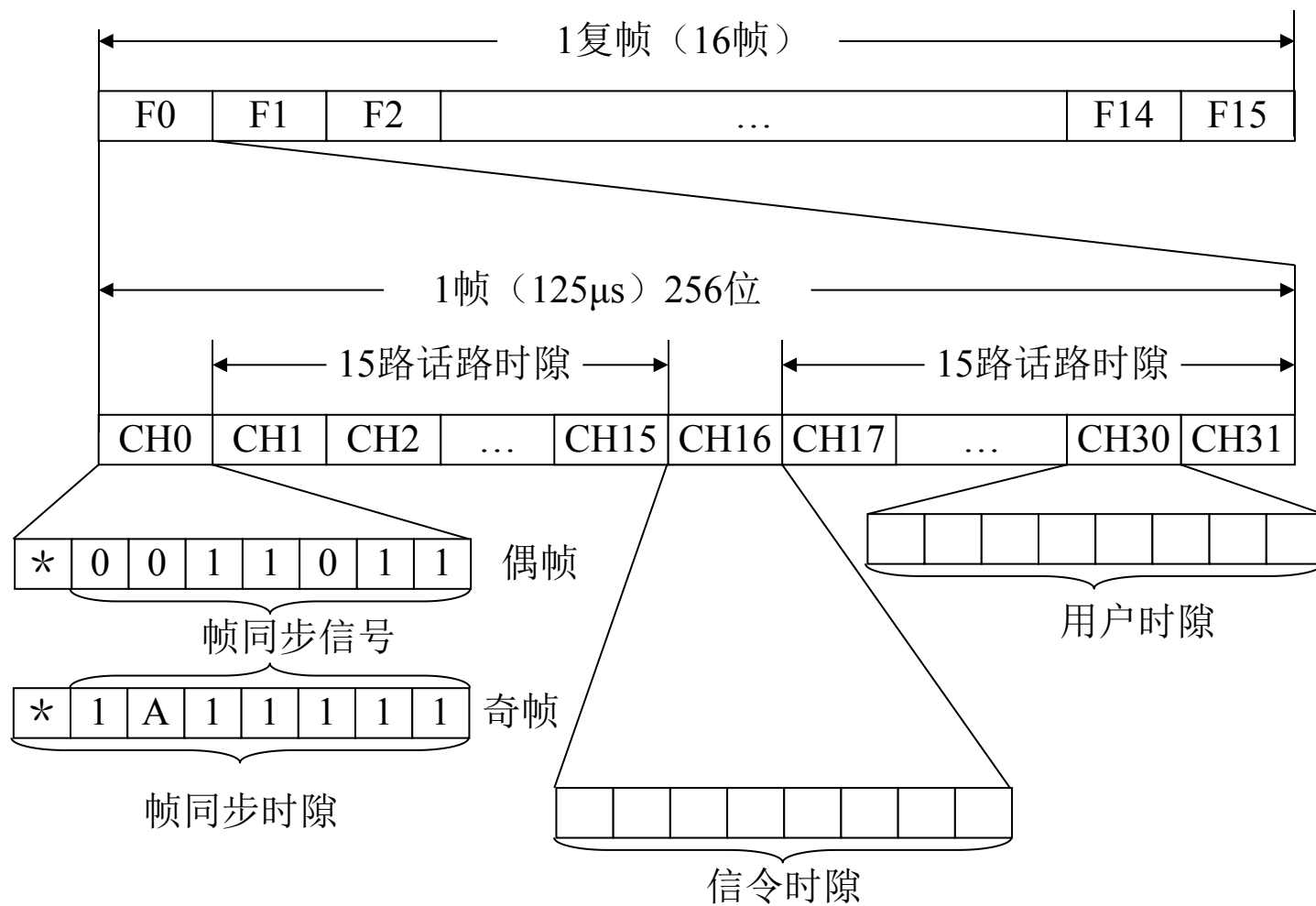
- T1信道速率  $193/125\mu s = 1.544\text{Mbps}$  ；
- 每路语音子信道的数据速率  $7/125\mu s = 56000\text{bps}$ ；
- 每路语音子信道的信令速率  $1/125\mu s = 8000\text{bps}$ 。
- 每帧只有23条信道真正用于数据，第24条信道用于特定的同步模式，使失去帧同步时快速恢复

# E1信道

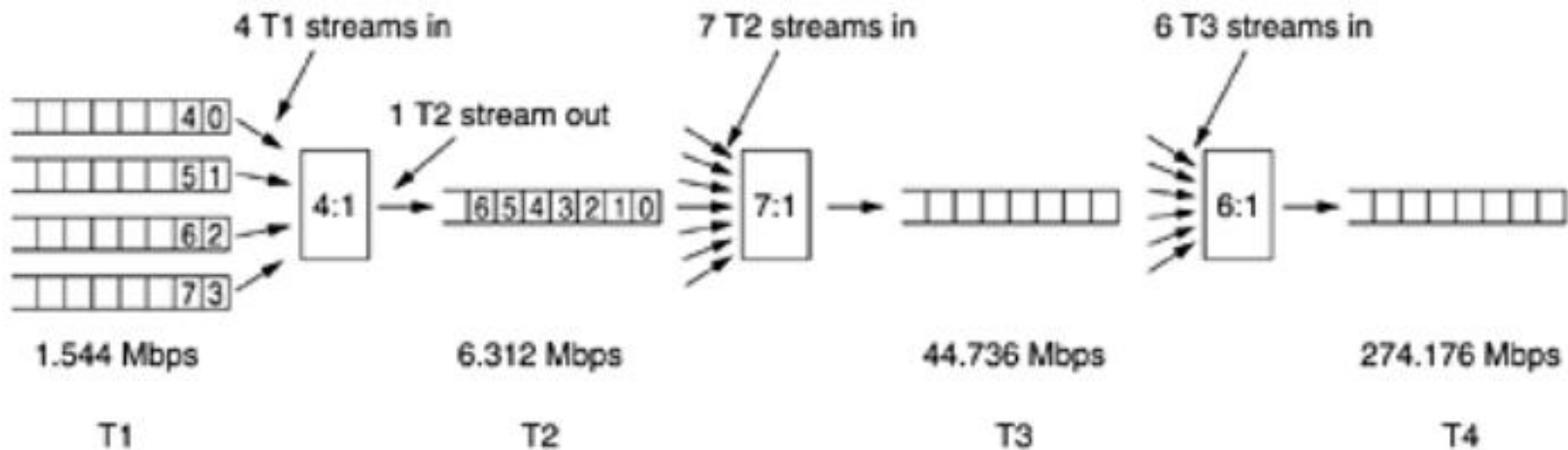
---

- ITU建议的PCM线路，速率2.048Mbps
- 每125us帧中32个8位数据采样，
- 30条用于数据，2条用于信令信息，4帧一组，共有64个信令位。一半用于与信道相关的信令，一半用于帧同步。

# E1帧和复帧结构示意图



# T1信道复用



## E1信道复用

每一步组合过程中，都有额外负荷加入，用于成帧，或者当发送方和接收方失去同步时用于恢复

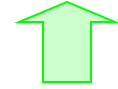
ITU针对32, 128, 512, 2048和8192信道的速度分别是2.048, 8.848, 34.304, 139.264和565.148Mbps

# 信道复用

---

欧洲标准				国际标准		
速率名称	对应 T 级别	信道数 (DS0)	速率 (Mbps)	对应 T 级别	信道数 (DS0)	速率 (Mbps)
DS1	T1	24	1.544	E1	30	2.048
DS1C	T1C	48	3.152	E2	120	8.448
DS2	T2	96	6.312	E3	480	34.368
DS3	T3	672	44.736	E4	1920	139.264
DS4	T4	4032	274.176	E5	7680	565.148

# SONET/SDH



1985年Bellcore开始制定标准SONET(Synchronous Optical Network)同步光纤网

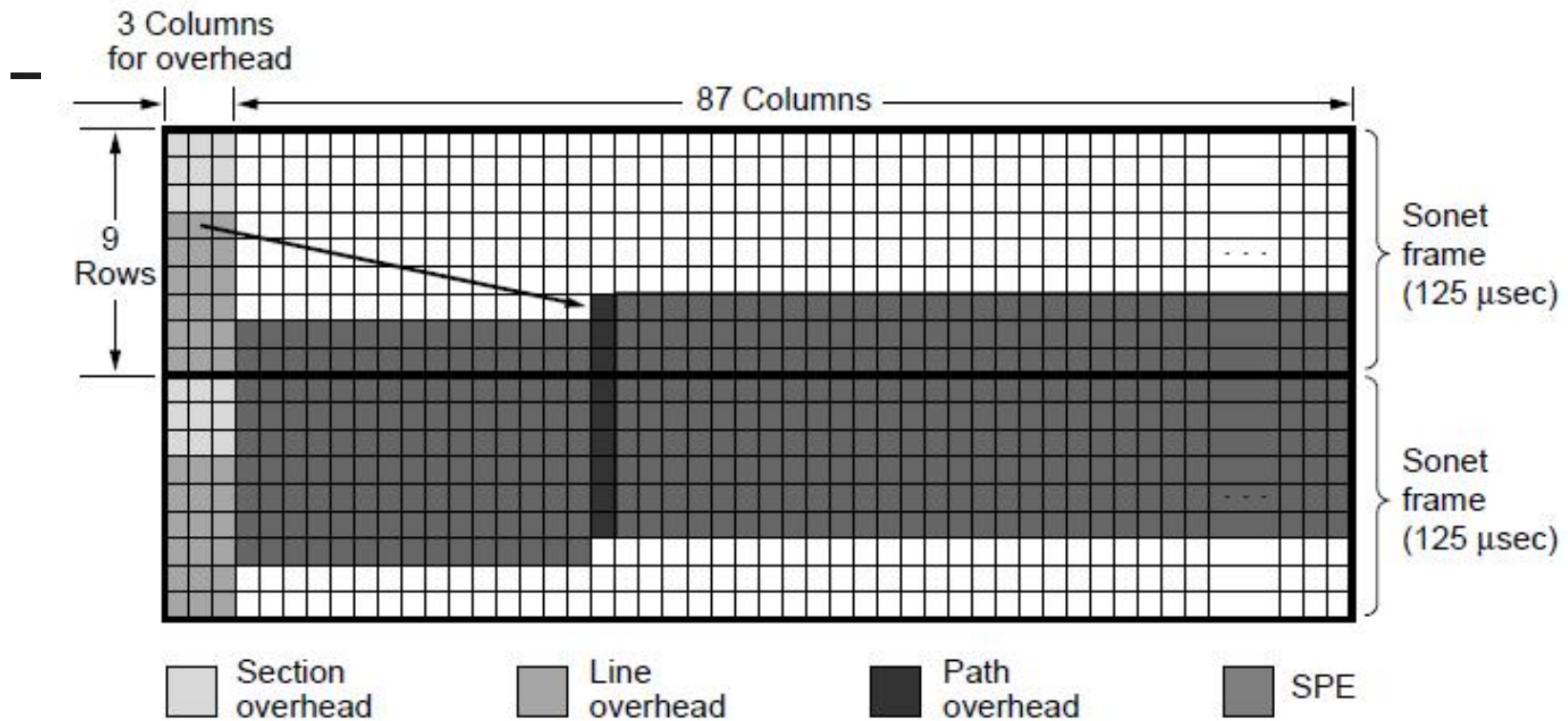
1989年ITU的建议SDH(Synchronous Digital Hierarchy)同步数字系列 (G.707,G.708,G.709)

美国几乎所有的长途电话中继线在物理层都运行SONET

## ■ SONET的四个设计目标:

- 使不同的承运商可以协同工作—定义公共的信令标准，波长，分时，帧结构等
- 统一美国、欧洲和日本的数字系统
- 提供一种方法复用多条数字信道。推进速度层次，达到Gbps甚至更高。
- 支持操作、管理和维护

# SONET帧 810字节/帧 每隔125微秒发送1帧



速率  $8 \times 810 / 125 \mu s = 51.84 \text{ Mbps}$  基本的信道 STS-1

前3列用于系统管理，3行段开销，6行线路开销。

承载用户数据的同步有效载荷信封（SPE）可从帧内的任何地方开始，可以跨越两帧，线路开销的第一行有个指针指向SPE的第一个字节。



# SONET复用率

---

SONET		SDH	Data rate (Mbps)		
Electrical	Optical	Optical	Gross	SPE	User
STS-1	OC-1		51.84	50.112	49.536
STS-3	OC-3	STM-1	155.52	150.336	148.608
STS-12	OC-12	STM-4	622.08	601.344	594.432
STS-48	OC-48	STM-16	2488.32	2405.376	2377.728
STS-192	OC-192	STM-64	9953.28	9621.504	9510.912
STS-768	OC-768	STM-256	39813.12	38486.016	38043.648

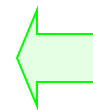
日本使用OC-18和OC-36, OC-9与日本使用的主要高速干线的线路很接近

# 交换技术

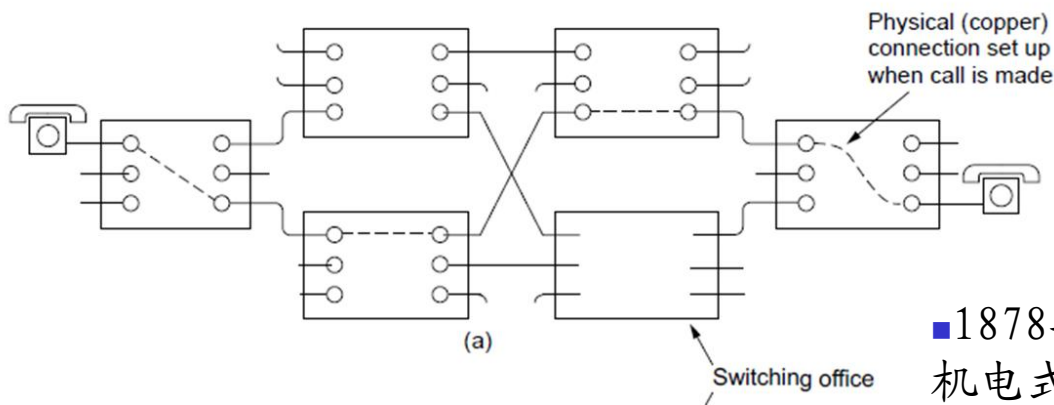
---

- 电路交换 (Circuit Switching)
- 报文交换 (Message Switching)
- 分组交换 (Packet Switching)
- 三种交换技术的比较

# 电路交换



两台计算机或数据终端在相互通信时使用一条**实际物理链路**，在通信过程中自始至终使用该链路进行信息传输，且**不允许**其他计算机或终端同时**共享**该链路的通信方式。



电话网

- 1878年就出现了第一个人工交换台；机电式步进制交换机；
- 1926年出现了第一台纵横制交换机；
- 1965年5月，美国贝尔系统的第一部程控电话交换机问世

# 电路交换通信过程

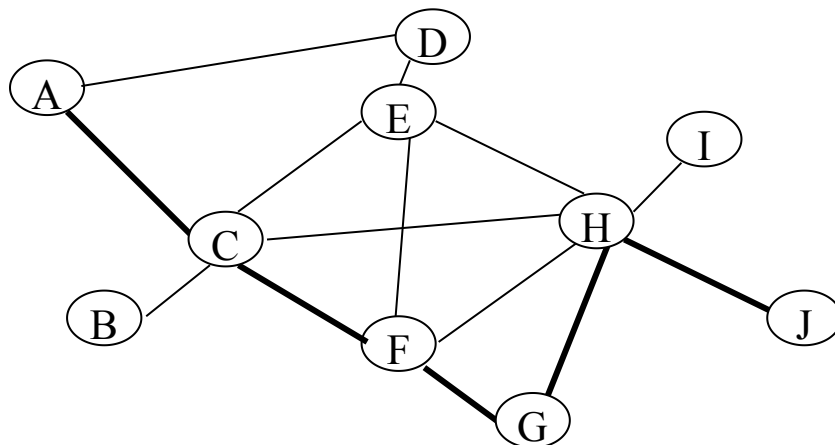
## ■ 建立电路连接:

一方发出连接请求，沿途经过的中间结点负责建立电路连接，信宿响应请求后沿原路返回一个应答，请求通信方接收到应答后就建立一个连接。

## ■ 传输数据

通信双方独占电路进行通信。

**延迟-在每个中间结点上没有停留**，直接向前传递，这种数据传输有最短的传输延迟，没有阻塞问题，等于电信号在电路上的传输延迟。



## ■ 电路拆除

通信的一方发出拆除电路的请求，拆除信号沿途经过的各个中间节点，依次拆除它所经过的电路连接，一直到目的站点。这样被拆除的信道空闲下来，可以被其他呼叫使用。

# 电路交换技术的优缺点



## 优点:

- 传输延迟小，唯一的延迟是物理信号的传播延迟；
- 一旦线路建立，便不会发生冲突。

## 缺点:

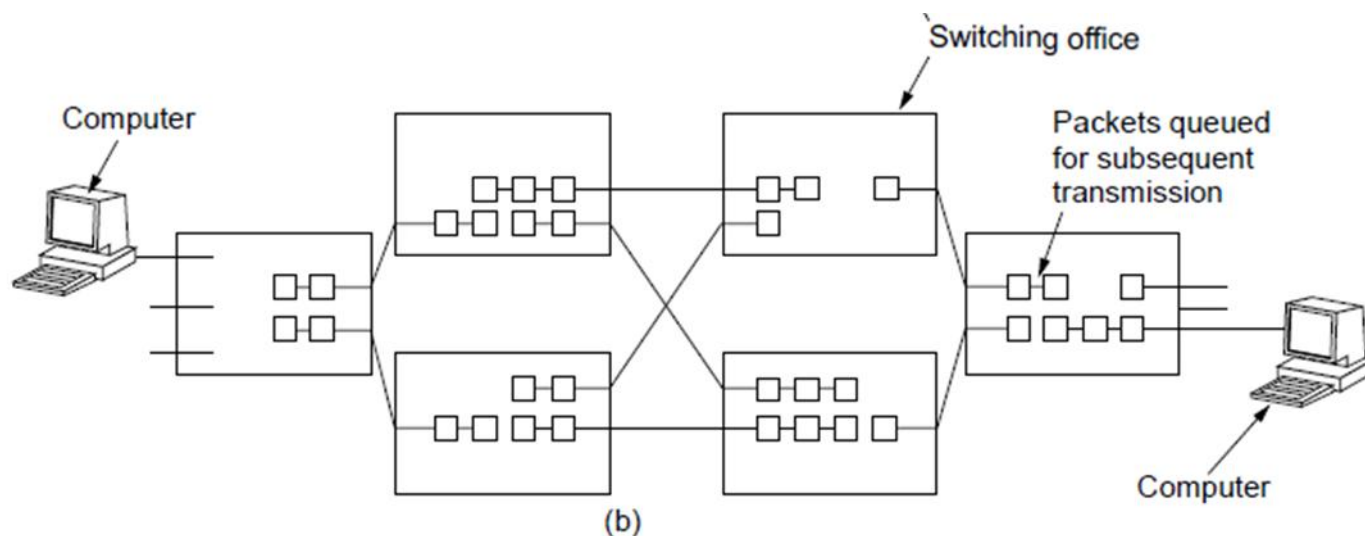
- 建立物理线路所需的时间比较长。
- 在电路交换系统中，物理线路的带宽是预先分配好的。对于已经预先分配好的线路，即使通信双方都没有数据要交换，线路带宽也不能为其他用户所使用，从而造成带宽的浪费。

注：电话系统按时间收费

# 报文交换与分组交换

**报文交换**又称为包交换。不事先建立物理电路，将发送数据作为整体交给中间交换设备，中间交换设备将报文进行存储，然后选择一条合适的空闲输出线将数据转发给下一个交换设备，如此循环往复直至将数据送到目的结点。

**分组交换技术**（Packet Switching）是报文交换的一种改进，将报文分成若干个分组，每个分组长度设置上限值。



# 报文交换和分组交换共同优点

---

- 电路利用率高。

由于报文或分组可以分时共享两个节点之间的通道。

- 在报文交换网中，通信量大时仍然可以接收报文或分组，但传输延迟会增加。
- 可以把一个报文或分组发送到多个目的地。
- 可以进行速度和代码的转换。

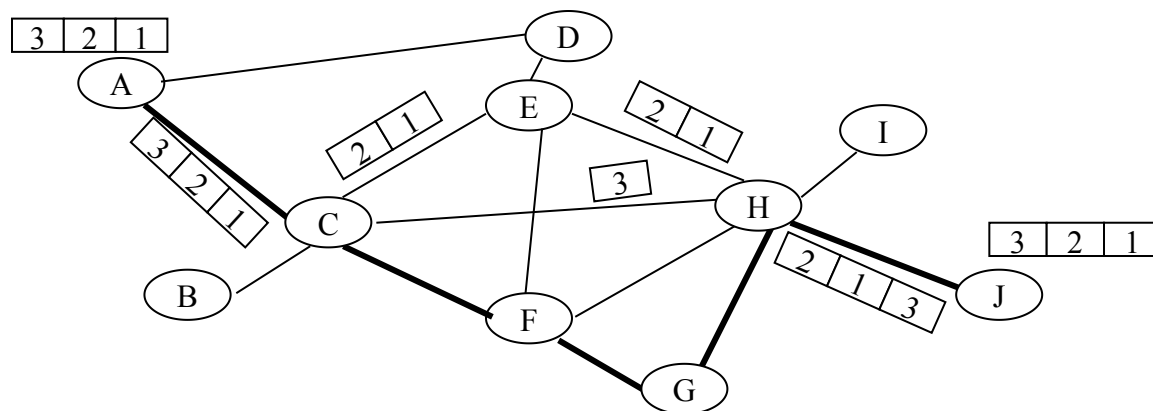
# 分组交换

有限长度的分组使每个节点所需的存储空间减少，同时分组可以存储到内存中，提高交换速度。

- 相同目的地址的分组选择不同路径结点

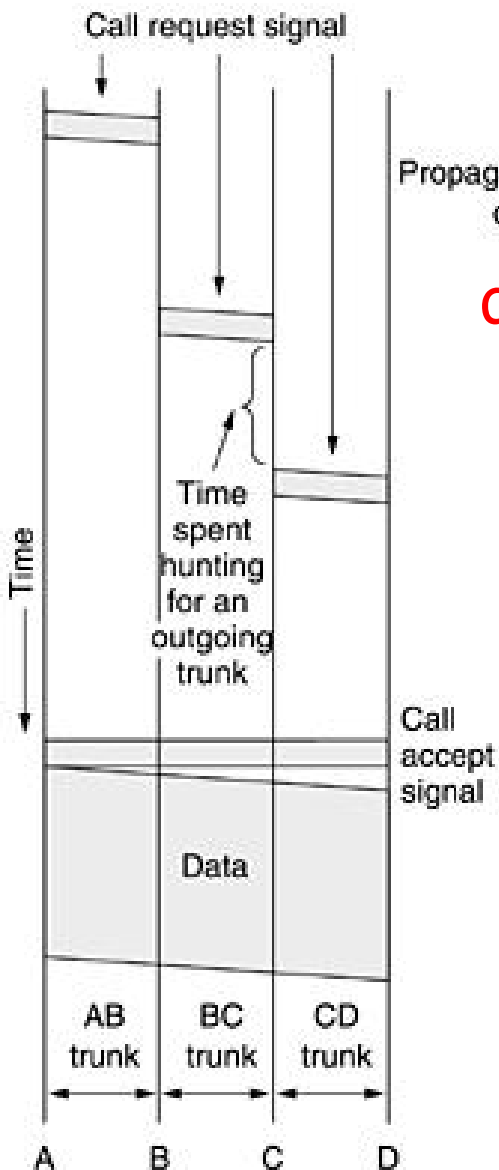
A有三段数据报发送到结点J，以1-2-3的顺序发送到C。在分组1和2到来时，C判断该数据包到E比到H和F的排队时间都更短，所以它将分组1和2排队在E上；分组3到来时，C判断到H的排队时间最短，于是将分组3排在H的队列上。

- 到达目的节点的顺序可能不同，因此分组到达J后要重新按分组序号排序，以保证报文的有序接收。



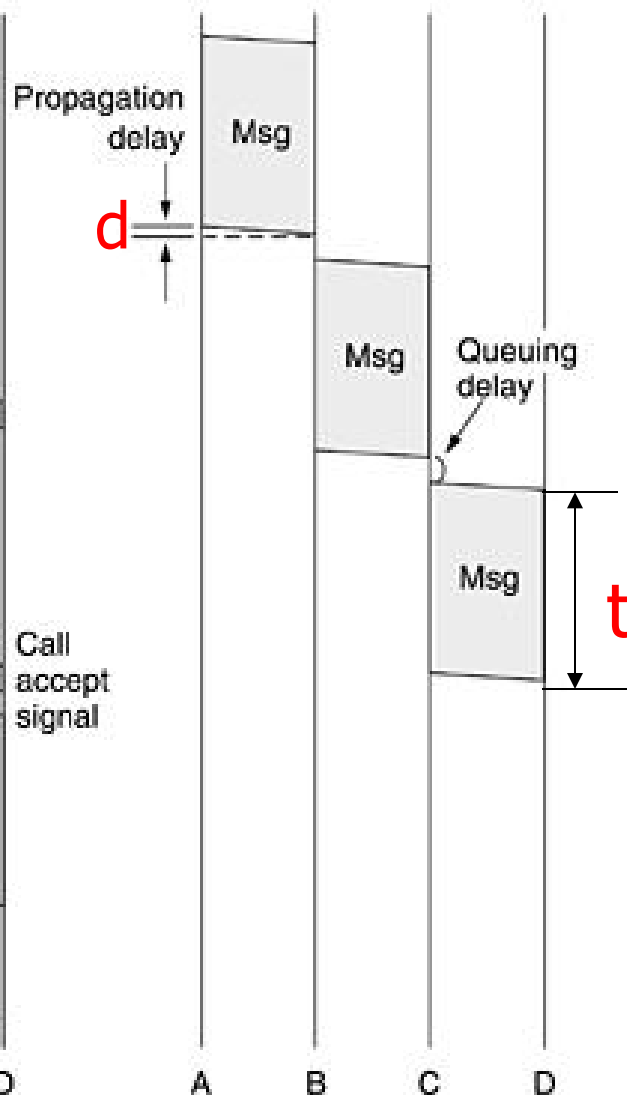


# 三种交换技术的时延比较



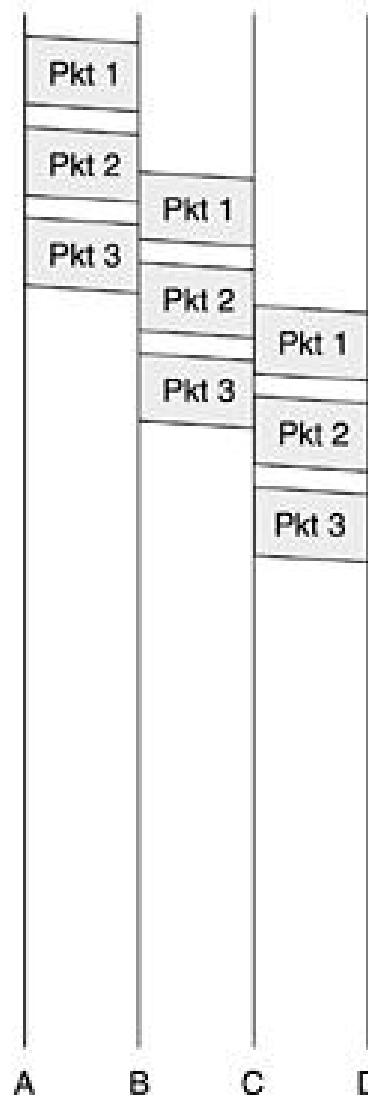
(a)

电路交换



(b)

报文交换



(c)

分组交换

$d$ =链路长度/传播速度

$t$ =包长度/发送速度

# 练习

---

- 1. 比较在一个电路交换网和在一个（负荷轻的）分组交换网上将 $x$ 比特报文沿 $k$ 段传输路径传输的延时。假定线路建立时间是 $s$ 秒，每段上的传输延迟为 $d$ 秒，分组大小为 $p$ 位，数据传输速率是 $b$  bps。在什么情况下，分组交换网的延迟更短。
- 2. 假定将 $x$ 比特用户数据装配成一系列的分组，沿一条 $k$ 段的路径在分组交换网中传输，每个分组含 $p$ 个数据位和 $h$ 个报文位， $x \geq p+h$ ，线路速率为 $b$  bps，传输延迟忽略不计。什么样的 $p$ 值使总的延迟最小？

# 三种交换技术的比较

	电路交换	报文交换	分组交换
能否进行实时通信	线路接通后可进行实时会话通信，但不能实时多功能通信	非实时、存储转发，不能进行会话式通信	可接近实时存储转发，可进行会话式通信
网络传输时延	小、当建立呼叫时有一定的时延	大、报文长短影响时延大小	小
线路利用率	当进行断续通信或短报文通信时线路利用率低	高	高
通信速率和码变换	不能进行通信速率和码变换	能	能
差错控制功能	不具有	可具有	具有
传输路由	每次通信过程中路由不变	每一报文传递过程中路由不变	可以有不同路由
网络过载的影响	随着网络负荷加大，受损率增加	随着网络负荷加大，传递时延加大，引起阻塞	可进行流量控制，可在一定传递时延条件下防止阻塞
计费方式	按距离和时间计费	按字节或按字节与连接时间计费	按字节或分组数及连接时间计费

# 移动电话系统

---

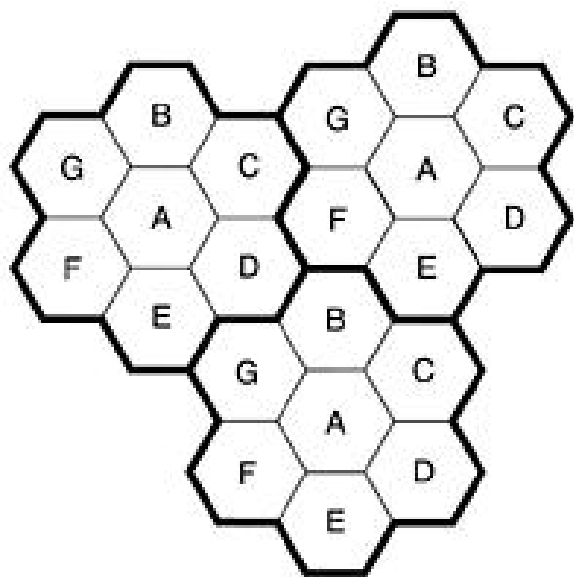
- 模拟语音
- 数字语音
- 数字语音和数据（Internet,E-mail）

# 第一代移动电话—模拟语音

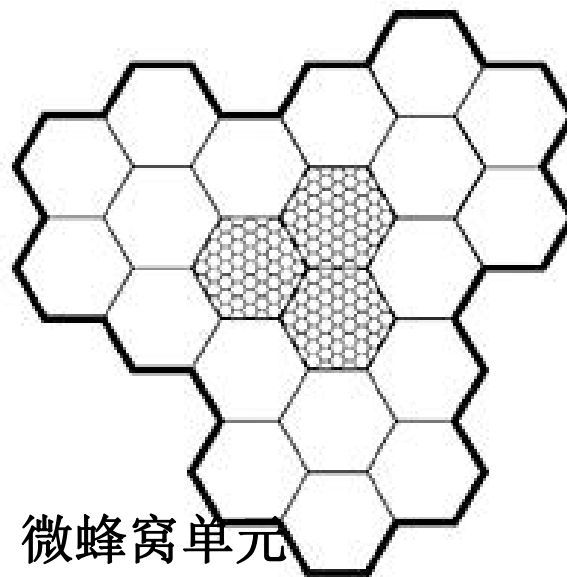
---

- 60年代，**IMTS**(改进的移动电话系统) 大功率发送器 两个频率 分别用于发送和接收  
支持**23**个信道 频率范围**150-450MHz** 信道少，需等待很长时间
- 高级移动电话系统**AMPS** 82年在美国安装，每个蜂窝单元**10-20**公里，每个使用一组频率，在较近的不相邻的蜂窝单元重复使用相同的频率

# 频率重用



(a)



微蜂窝单元

(b)

基站：一台计算机和发射器/接收器组成 连接到天线上

MTSO 移动电话交换局 所有基站都连接到MTSO上

移交（**handoff**）：软移交—原来基站挂断前，新基站获得信号（电话必须具备同时调节到两个频率的能力）；硬移交—新基站获得电话前，老基站就挂断电话

# AMPS系统的信道

- 信道：使用832个全双工信道，每个信道由两个单工信道（频宽30KHz）组成，发送信道频率范围824-849MHz,接收信道869-894MHz.使用FDM分隔信道
  - 信道分类：
    - 控制信道—基站到移动电话，用于管理系统
    - 寻呼信道--基站到移动电话,提醒有呼叫到来
    - 接入信道—双向， 呼叫建立和信道分配,
    - 数据-- 语音、传真和数据(双向)
- 21条信道被保留用于控制,固化在每部电话的PROM中.每个单元中的实际可用语音信道通常45个左右

# AMPS的呼叫管理

32位序列号 10位数字的电话号码

**电话号码:**区域号3个数字用10位表示,用户号7个数字用24位表示.34位电话号码

**开机:**

对预先设置的21条信道扫描,找到最强信号,广播自己的序列号和电话号,以数字形式多次被广播,且带有纠错码.(控制信号都是数字方式传输) 基站收到后,告诉MTSO,记录新顾客到来.移动电话每隔15分钟左右重新注册一次

**打电话:**

将呼叫号码和自己的标识通过访问信道发送,若碰撞,会试着重新发送,基站接到请求,通知MTSO, MTSO寻找空闲信道,找到,通过控制信道将信号发回去,移动电话自动切换到被选中的语音信道上,等待对方接听电话.

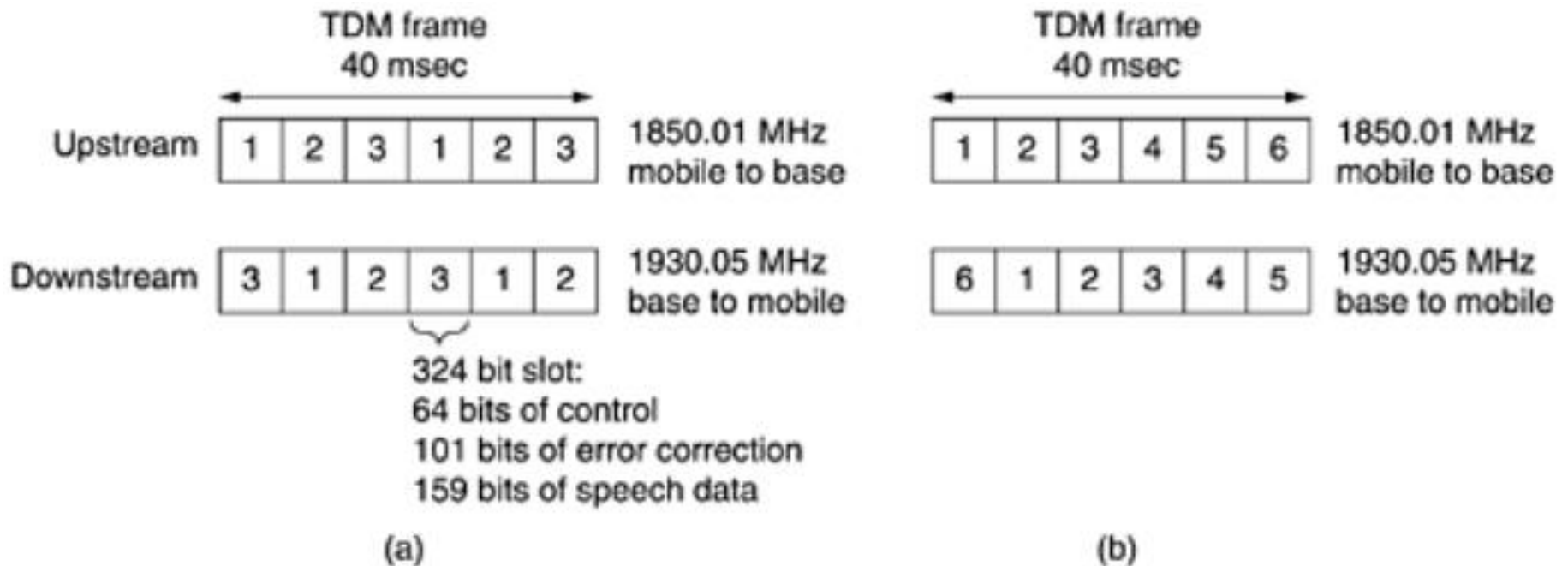
被呼叫方的主MTSO收到呼叫分组后,发分组到该电话所在基站,基站在呼叫信道上发送广播消息,告诉被叫电话切换到信道。



# 第二代移动电话2G—数字语音

---

- D-AMPS—数字的高级移动电话系统
- IS-54 IS-136 在同一蜂窝内，可以与AMPS共存。使用同样的30KHz信道，MTSO可以动态改变信道类型
- 新频段加入，处理增加的负荷.上行信道1850-1910MHz 下行信道1930-1990MHz
- 在移动电话端完成数字化和压缩.将带宽为56KbpsPCM编码降低为8Kbps, 声音编码器(vocoder) .
- 三个用户可以用时分复用技术共享同一对频率.每对频率可以支持25帧/秒,即每帧40ms,分为6个时间槽



每帧中三个用户轮流使用上行和下行数据流链路

每个时槽 324位,其中控制用64位,159位用于压缩后的语音数据,101位是纠错用.

对于用户速率为 $159 \times 2 / 40\text{ms} = 7.95\text{kbps}$

利用更好的压缩算法可以使语音数据的带宽小于4Kbps

一帧可以容纳6个用户

# D-AMPS的控制

---

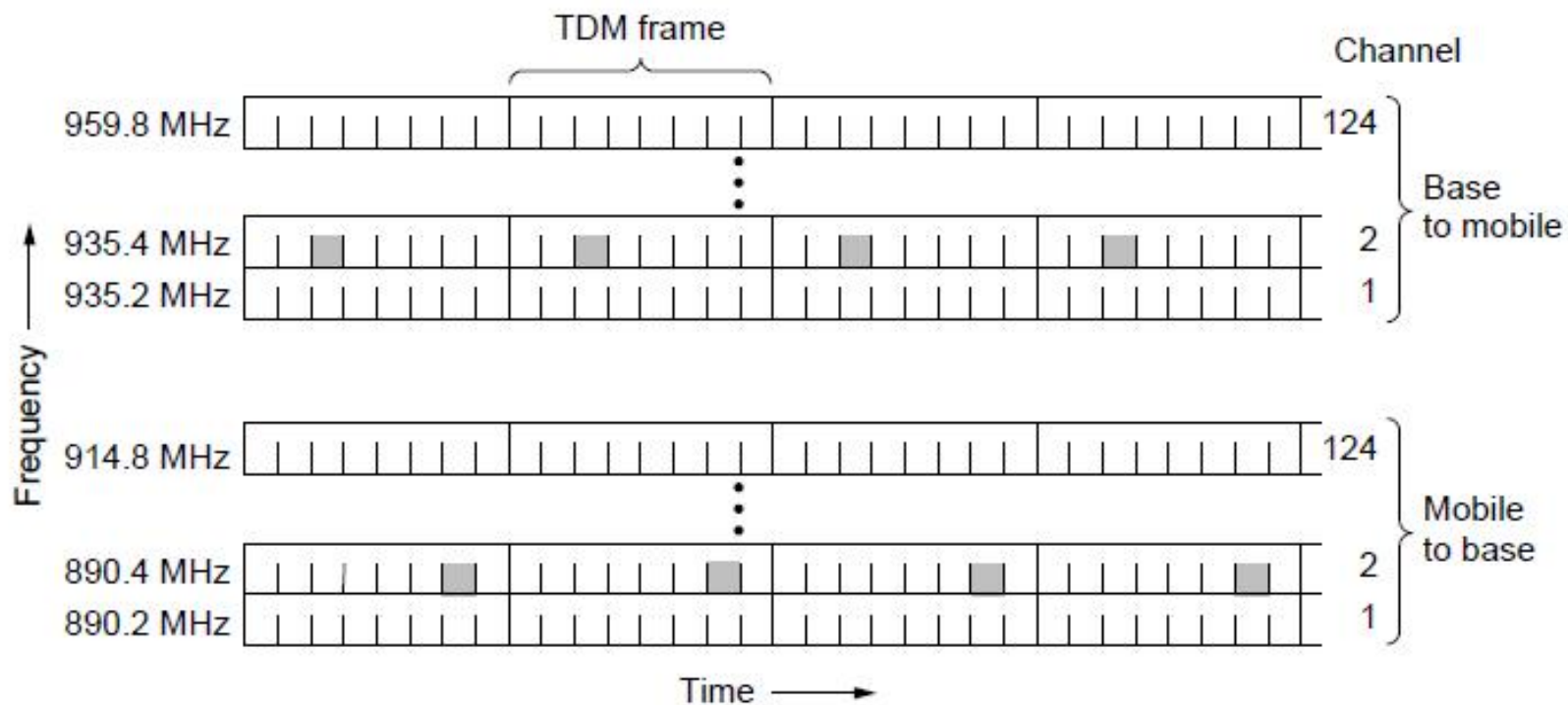
- 16帧为一个超级帧，某些信息会出现数次。有6个主要的控制信道：系统配置、实时和非实时控制、呼叫、访问应答和短消息。
- 工作方式与AMPS类似
- 移交方式—移动电话利用1/3的不发送也不接收的时间测试线路质量。当发现信号很弱时，就告诉MTSO,MTSO断开该连接，同时试图转到另一个信号更强的基站上。

# GSM-全球移动通信系统

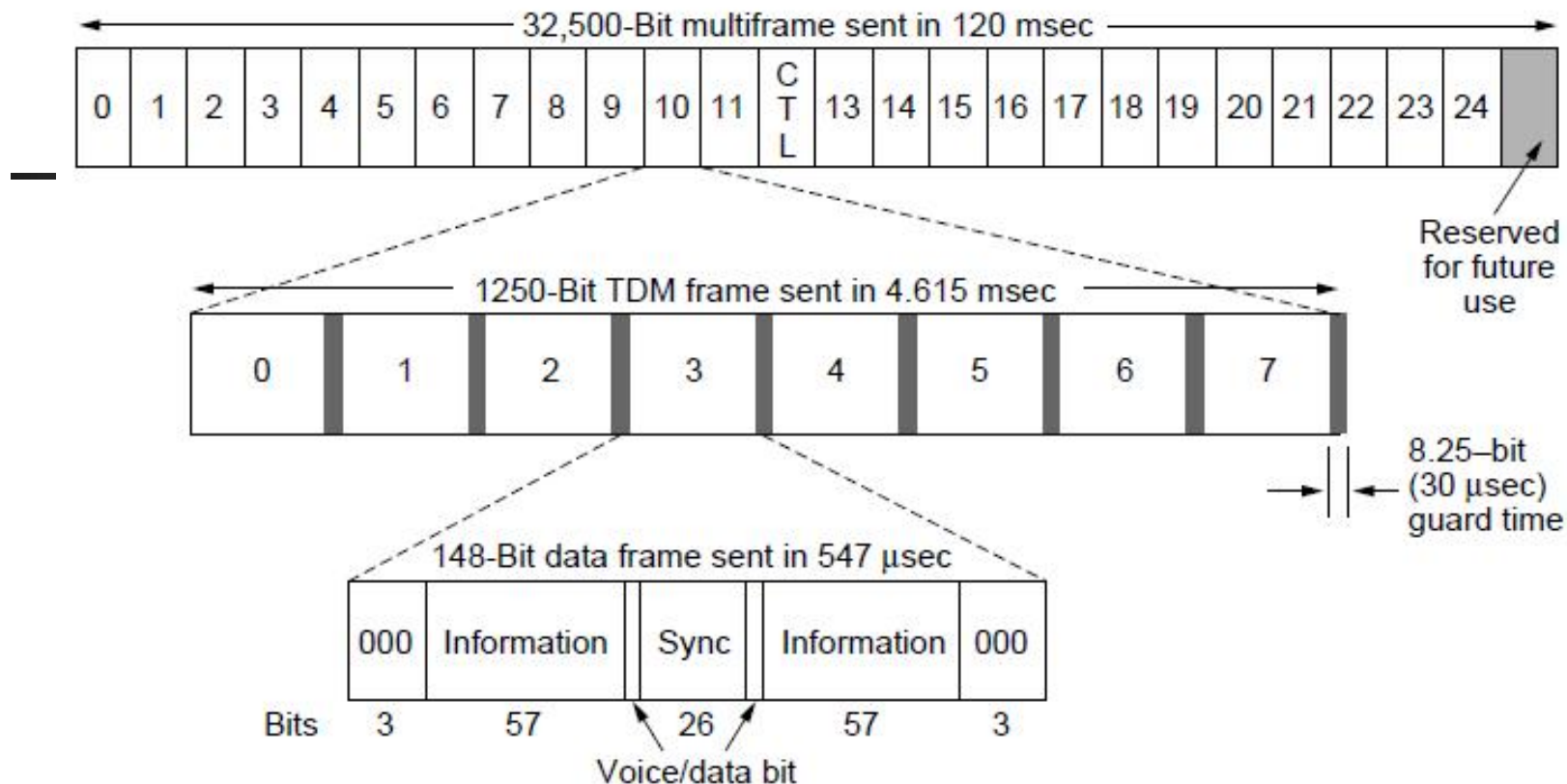
---

- D-AMPS应用于美国和日本。其他地区用GSM.
- 信道: 蜂窝状系统, 使用频分复用, 每部电话在一个频率上发送数据, 在另一个高一点(高45MHz)的频率上接收数据.
- 900MHZ频域有124对单工信道(200KHZ宽),使用时分复用技术支持8个独立的连接

# TDM帧格式



# 成帧层次结构



26帧形成一个多帧结构,其中一个用做保留,一个用做控制

每帧中8个信道,且信道间留有保护时间30 $\mu$ s 共4.615ms 速率  
 $1250/(120/26)=270\ 833\text{bps}$  每个信道为 33.854Kbps ,去掉额外开销,单  
用户只有24.7kbps( $33.854*547/577*114/148$ ) 用于纠错前的净荷,纠错  
后13kbps用于语音(质量好于D-AMPS)

148位的数据帧占用 $547+30=577\mu\text{s}$

# 控制信道

---

- 广播控制信道

从基站输出的连续流,包含了基站的标识和信道状态,所有移动站都能监视它们的信号强度,了解进入新的蜂窝单元.

- 专用控制信道

用于移动站的位置更新、注册和建立呼叫

- 公共控制信道

寻呼信道,基站用于呼叫移动站有呼叫进入;

随机访问信道,允许用户在专用控制信道上请求一个时间槽,建立电话呼叫;

接入授予信道,用于宣告在专用信道中被分配的时槽.

# 第三代移动电话3G—数字语音与数据

---

- 92年,ITU提出IMT-2000. 预期的目标:
  - 高质量的语音传输
  - 消息服务(代替电子邮件 传真 聊天等)
  - 多媒体(音乐 视频 电影 电视)
  - Internet访问(Web浏览 视频音频的页面)
- 技术提案
  - WCDMA 爱立信公司提出,使用直接序列扩频设计
  - 使用5MHz带宽,可以与GSM网络协同工作.欧盟将它称为UMTS(全球通用的移动通信系统)



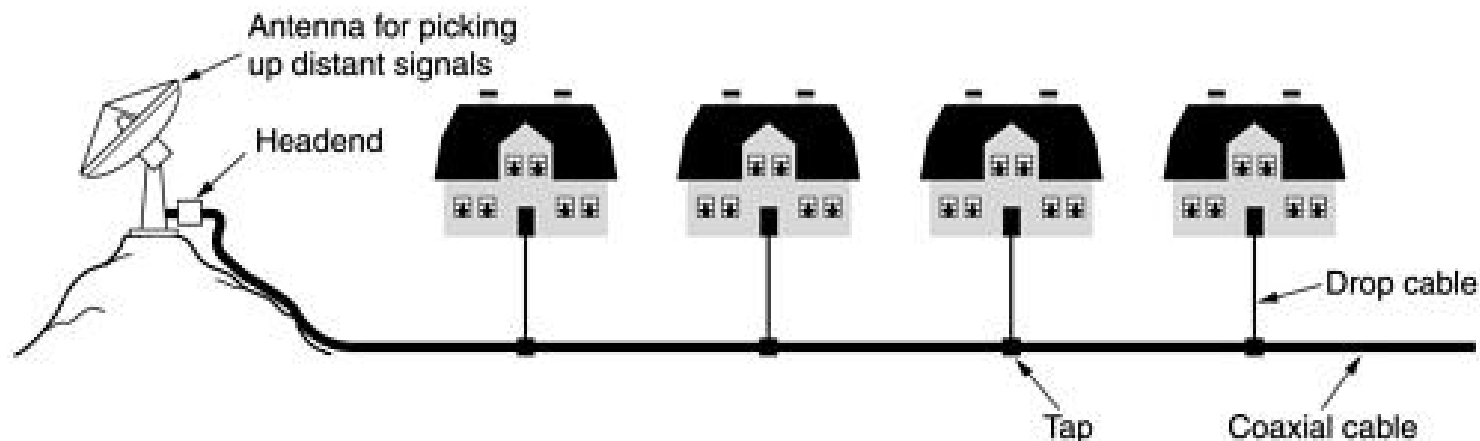
- 
- CDMA2000,由Qualcomm公司提出,是一种直接扩频设计方案,是IS-95的一个扩展,不能与GSM兼容.与WCDMA的区别是用了不同的时间片,不同帧时间,频率和时间同步机制.
  - 99年,两家公司同意遵守同一个3G标准.
  - 2.5G  
EDGE(enhanced data rates for GSM evolution)  
支持每波特更多位数的GSM系统  
GPRS(general packet radio service)  
位于D-AMPS或GSM之上的层叠分组网络,允许移动站在一个运行语音系统的蜂窝单元中发送或接收IP分组.

## 4G系统的研究

特点: 高带宽、普适性、与其他有线和无线IP网络的无缝集成(包括802.11接入点)、频率和资源的自适应管理及高品质的多媒体服务。  
与4G性能水平相当的无线网络 802.16 (WiMAX)

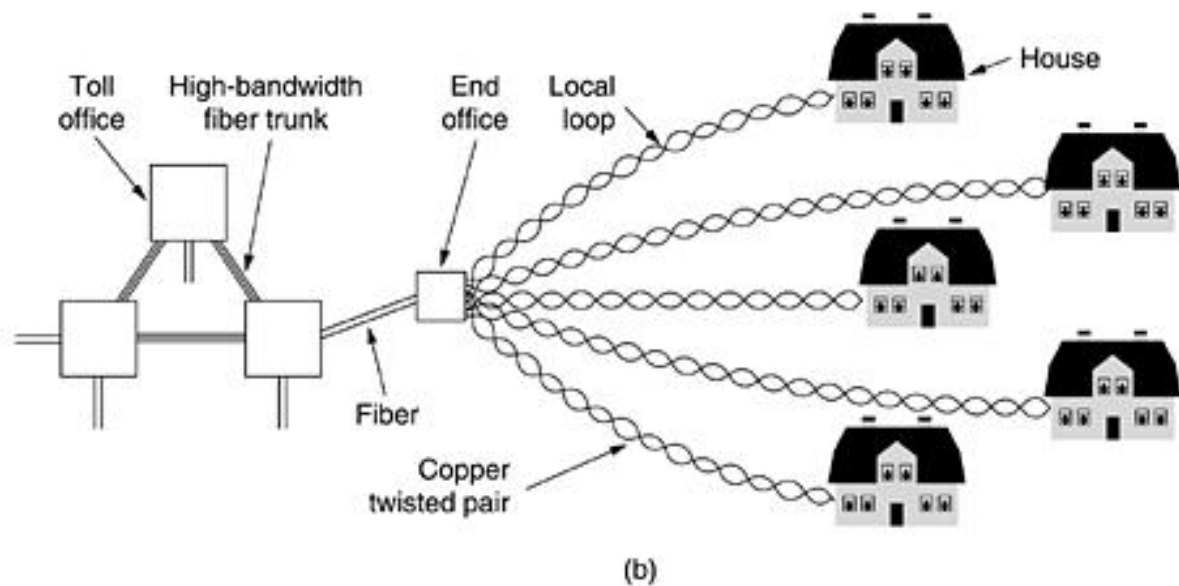
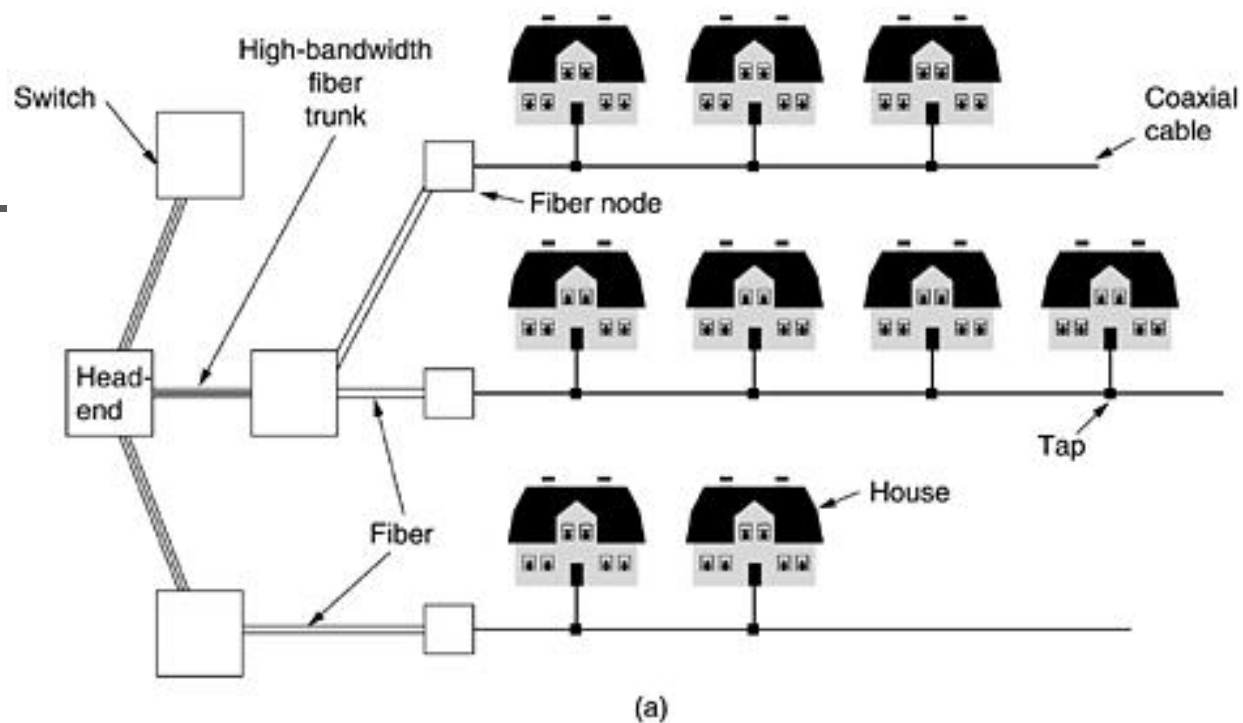
# 有线电视

## ■ 共天线电视

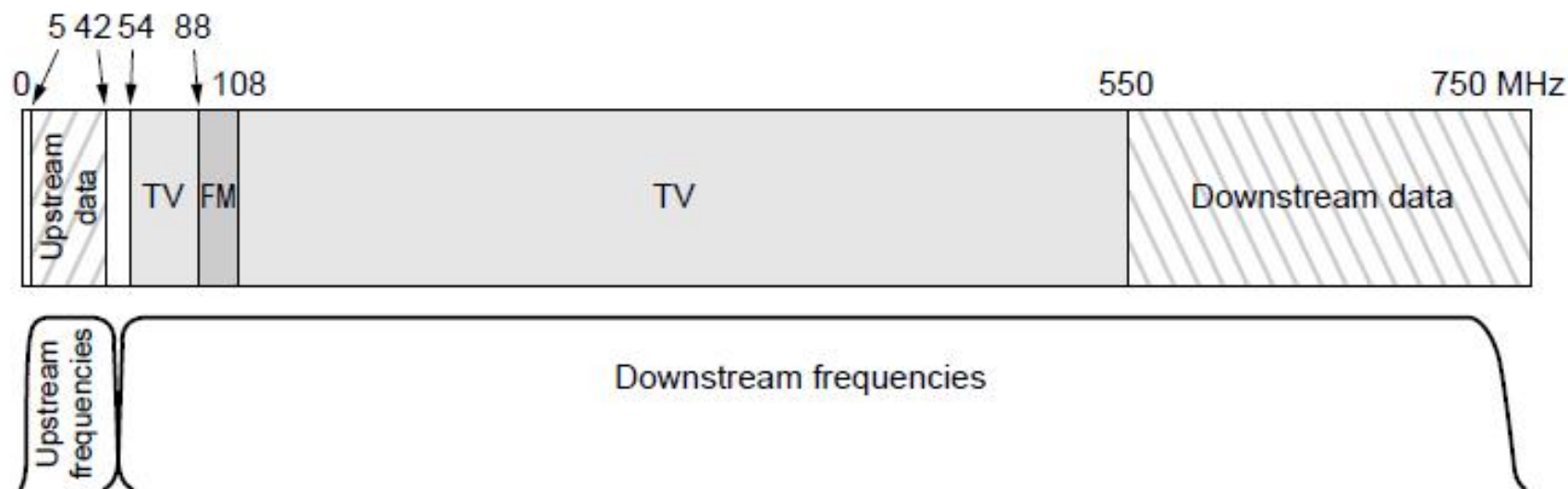


信号单向传输,从头端到用户

## ■ 基于有线电视网络的Internet

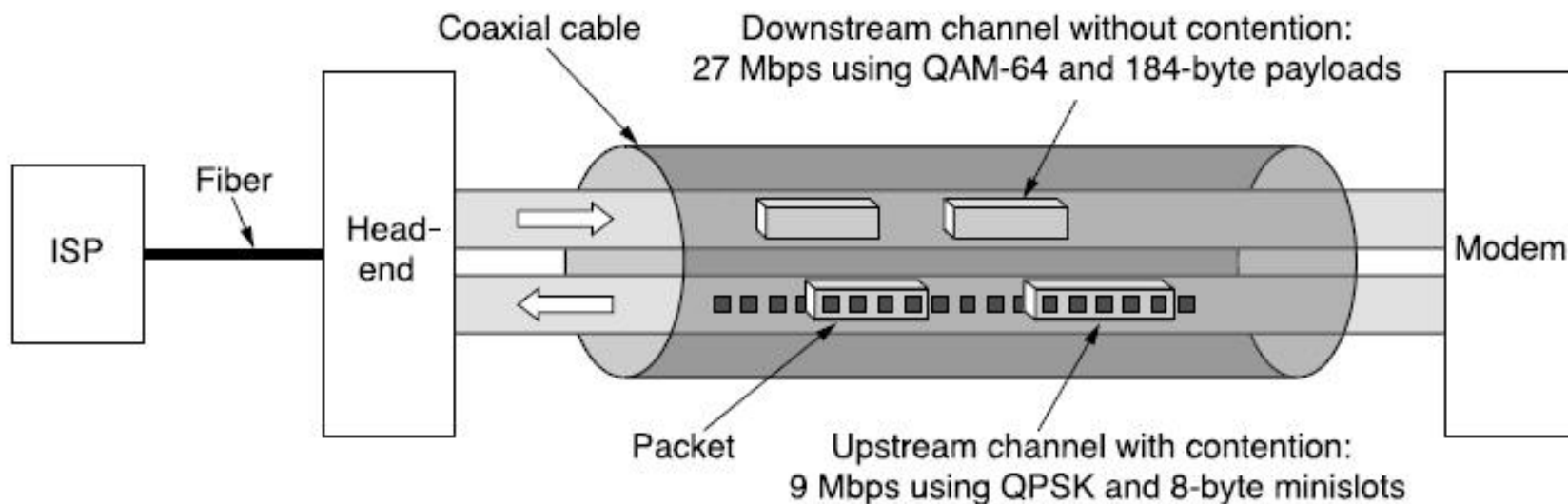


- 由于有线电视用户共享同一根电缆,解决办法使每一段电缆上没有太多的用户,典型的**500-2000**户,但随着用户越来越多的通过电缆连接到**Internet**,需要更加细粒度分解电缆,引入更多光纤节点
- 频谱分配:



# 调制方案

- 下行: 每6MHz或8MHz,用QAM-64进行调制,若电缆质量好,用QAM-256.
- 上行: 由于噪声影响,用更保守的调制QPSK,每波特2位
- 头端替换成一个智能数字计算机系统,通过高带宽的光纤接口连接到ISP上—CMTS(电缆调制解调终端系统)



# 电缆调制解调器

---

- 标准DOCSIS( Data over cable service internet specification)
- 与计算机接口:10M以太网 USB口
- 工作原理:

信道分配—通电后，扫描下行信道，寻找由头端定期产生的特殊分组（为才上线的调制解调器提供系统参数），调制解调器在某个上行信道宣布存在，头端为之分配上行和下行信道。

测距—调制解调器发送特殊分组，测多久有回应。可以调节上行信道的操作方式，保证正确控制时间

- 
- 上行信道分为多个微时槽（典型为净荷**8**字节），每个上行分组被装配在一个或多个微时槽中。头端定期宣布新一轮微时槽的开始，站点可按收到信息和距离算出第一个微时槽真正开始的时间。
  - **初始化过程**，头端为每个调制解调器分配一个微时槽，用于请求上行带宽。如果请求微时槽发生竞争，不能收到请求确认，采用**2**进制退避的分槽**ALOHA**。
  - 下行信道只有头端一个发送者，时分多路复用，使用**204**字节的固定分组长度，包含了纠错码和其他一些开销，净荷为**184**字节。与**MPEG-2**数字电视兼容。
  - **获取IP地址**—初始化完成后，发送第一个分组给**ISP**,请求一个IP地址，**ISP**利用**DHCP**协议动态分配一个**IP**地址。

# 第二章作业

---

- 计算机网络第5版， P147 -149  
3,4,18,23,26,37,38,39