



# 第2章 物理层

- ❖ 传输介质
- ❖ 电话系统 (PSTN)
- ❖ Internet 的本地接入





# 传输介质

- ❖ 双绞线 
- ❖ 同轴电缆 
- ❖ 光缆 
- ❖ 无线传输 



# 双绞线 (twisted pair)

- ❖ 线间干扰较小、价格便宜、易于安装
- ❖ 可传输模拟信号，也可传输数字信号
  - 在电话系统的最后一公里，用于传输模拟信号
  - 在计算机网络中，用于传输数字信号，常用8芯无屏蔽双绞线 (UTP) 通常的传输距离为100 m 如Cat3 (10 Mbps) 和Cat5 (100 Mbps)



# 传输介质

❖ 双绞线



❖ 同轴电缆



❖ 光缆



❖ 无线传输





# 同轴电缆

常用的同轴电缆有两种：

## ❖ 50Ω同轴电缆

- 50Ω同轴电缆用于数字信号传输，目前基本已被双绞线所替代

## ❖ 75Ω同轴电缆

- 75Ω同轴电缆用于模拟信号传输，目前主要用于电视信号的传输
- 由于75Ω同轴电缆的带宽极宽，所以，也被用于城域网，如有线通



# 传输介质

- ❖ 双绞线 
- ❖ 同轴电缆 
- ❖ 光缆 
- ❖ 无线传输 



# 光缆

❖ **多模光缆：信号通过光的折射在光纤中传输，距离2 km**

❖ **单模光缆：直线传输，距离10 km**

**光传输系统包括：**

**光源、传输介质（光纤）、光检测器**



# 光缆相对铜缆的特性

❖ **带宽高 距离远 损耗低 重量轻**

**无电磁干扰 防窃听**

❖ **端口设备价格高**





# 传输介质

❖ 双绞线



❖ 同轴电缆



❖ 光缆



❖ 无线传输





# 无线传输

根据波长分成不同的波段，依次为无线电、微波、红外、可见光、紫外等

- ❖ 无线电传输
- ❖ 微波传输
- ❖ 红外线和毫米波
- ❖ 光波传输



# 用于通信的电磁波频段

f(Hz)  $10^0$   $10^2$   $10^4$   $10^6$   $10^8$   $10^{10}$   $10^{12}$   $10^{14}$   $10^{16}$   $10^{18}$   $10^{20}$   $10^{22}$   $10^{24}$

	无线电波	微波	红外线	可见光	紫外线	X射线	γ射线
--	------	----	-----	-----	-----	-----	-----

波长 30km 3km 30m 3m 30mm 3mm 30μm 3μm  
 f(Hz)  $10^4$   $10^5$   $10^6$   $10^7$   $10^8$   $10^9$   $10^{10}$   $10^{11}$   $10^{12}$   $10^{13}$   $10^{14}$   $10^{15}$   $10^{16}$

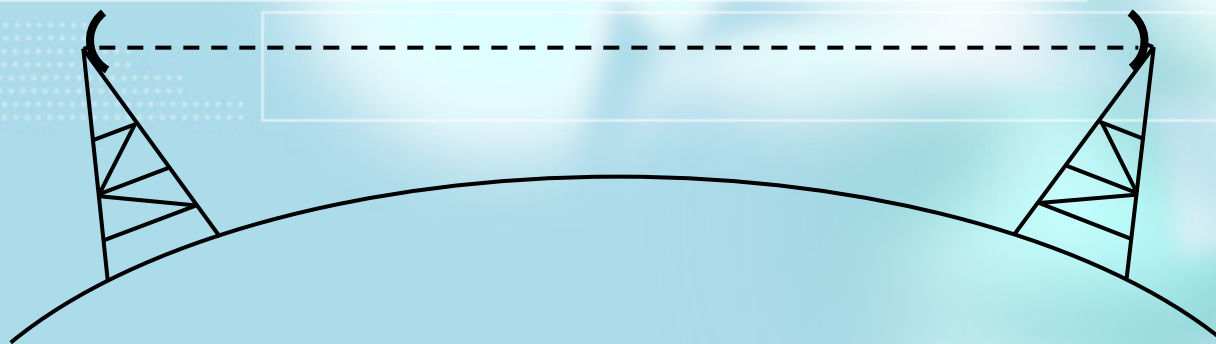
	双绞线			卫星通信				光通信
	同轴电缆		微波通信					
	AM		FM					
			TV					

Tnbm P101 Fig.2-11 用于通信的电磁波频段



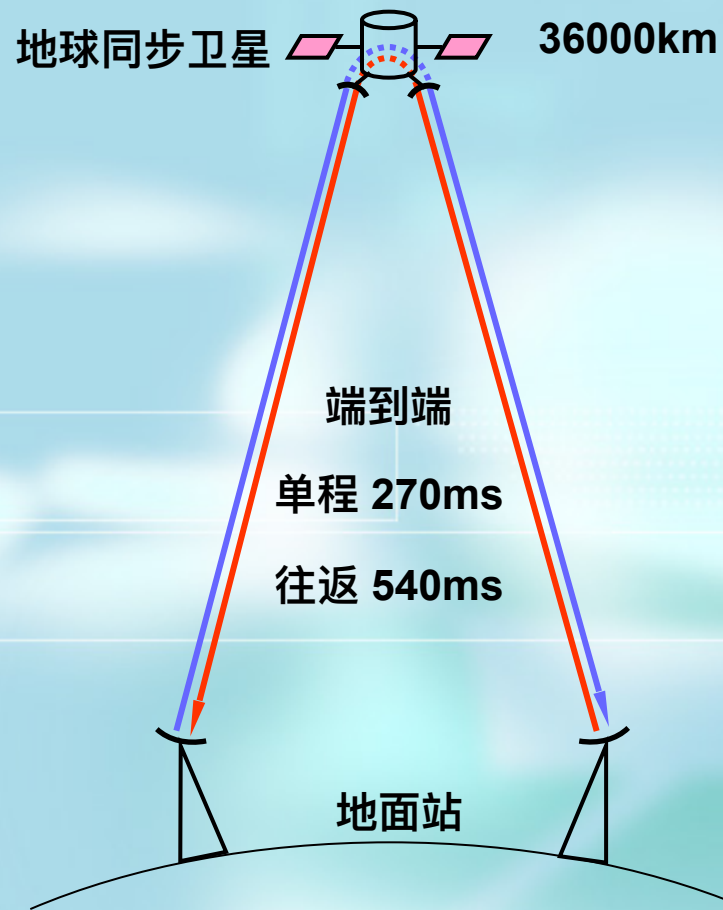
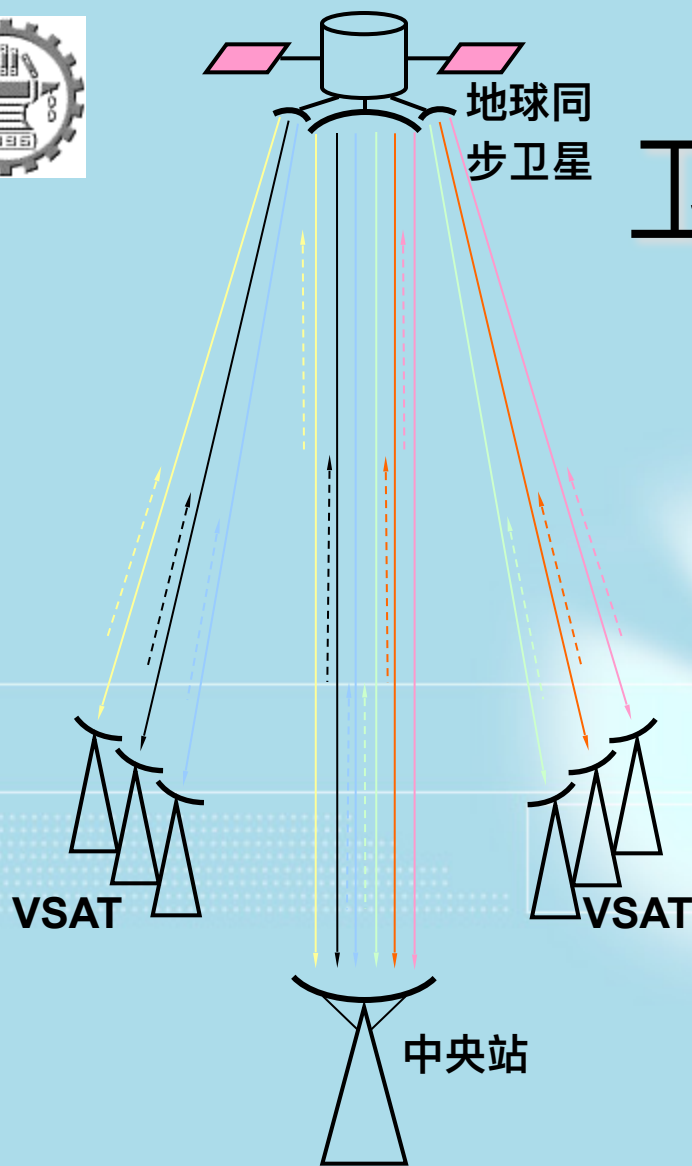
# 地面无线通信模型

- ❖ 传输距离：天线的高度、类型和信号强度
- ❖ 传输可靠性：障碍物
- ❖ 传输正确性：气象条件





# 卫星通信模型



**VSAT: 甚小孔径卫星终端**  
**very small aperture satellite terminals**



## 第2章 物理层

- ❖ 传输介质
- ❖ 电话系统 (PSTN)
- ❖ Internet 的本地接入





# 电话系统 (PSTN)

公用电话交换网，简称：PSTN

**Public Switched Telephone Network**

通常的计算机通过MODEM拨号上网，就是通过电话系统进行数据传输

计算机系统的误码率为 $10^{-12}$ ，而电话系统的误码率为 $10^{-5}$ ，是计算机系统的 $10^7$ 倍



# 电话系统的树状结构

每部电话完全互联是不可能的，所以  
一般为树状结构

一级中心：国家级中心

二级中心：省、直辖市中心

三级中心：区、县级中心

四级中心：区内（本地）交换局





# 电话系统的数字化趋势

- ❖ 与模拟传输相比，数字传输具有明显的优势，所以电话系统数字化是发展趋势

电话系统由三部分组成：

本地回路：双绞线，模拟传输，1 km ~ 10 km

主干线：交换局间的光缆，数字传输

交换局：交换设备，交换技术





# 本地回路

- ❖ 电话系统中的电话局间都已采用光缆连接，并大多已实现数字传输
- ❖ 本地回路要实现光纤到户成本太高且无必要，因为家庭电话无需复用，也不允许复用
- ❖ Internet 是 **OVER** 在电话系统上的，所以必须实现远距离数字数据的传输，并且应用对带宽的需求必将对本地回路的信道复用提出要求
- ❖ Internet 可通过本地回路的接入方法接入



# 电话系统的数字化趋势

- ❖ 与模拟传输相比，数字传输具有明显的优势，所以电话系统数字化是发展趋势

电话系统由三部分组成：

本地回路：双绞线，模拟传输，1 km ~ 10 km

主干线：交换局间的光缆，数字传输

交换局：交换设备，交换技术



# 主干线

主干线常采用多路复用技术以提高线路的利用率

❖ PCM



❖ 采样和量化



❖ T1线路



❖ E1线路



❖ SONET和SDH





# PCM (Pulse Code Modulation)

## ❖ 脉冲编码调制PCM

由于数字传输的明显优势, 所以, 主干线都采用数字传输, 于是终端用户 (如电话的语音信号) 的模拟数据到达本地局后, 都必须转换成数字数据, 以适合主干线的传输

## ❖ PCM以采样定理为基础

采样定理: 如果在规定的时间内, 以有效信号 $f(t)$ 最高频率的二倍或二倍以上的速率对该信号进行采样, 则这些采样值中包含了全部原始信号信息



# 主干线

主干线常采用时分多路复用技术以提高线路的利用率

❖ PCM



❖ 采样和量化



❖ T1线路



❖ E1线路



❖ SONET和SDH





# 采样和量化

## ❖ 采样速率：8000次/秒

电话系统的历史及其对整个世界的覆盖决定了计算机网络必须OVER在电话系统的承载网上

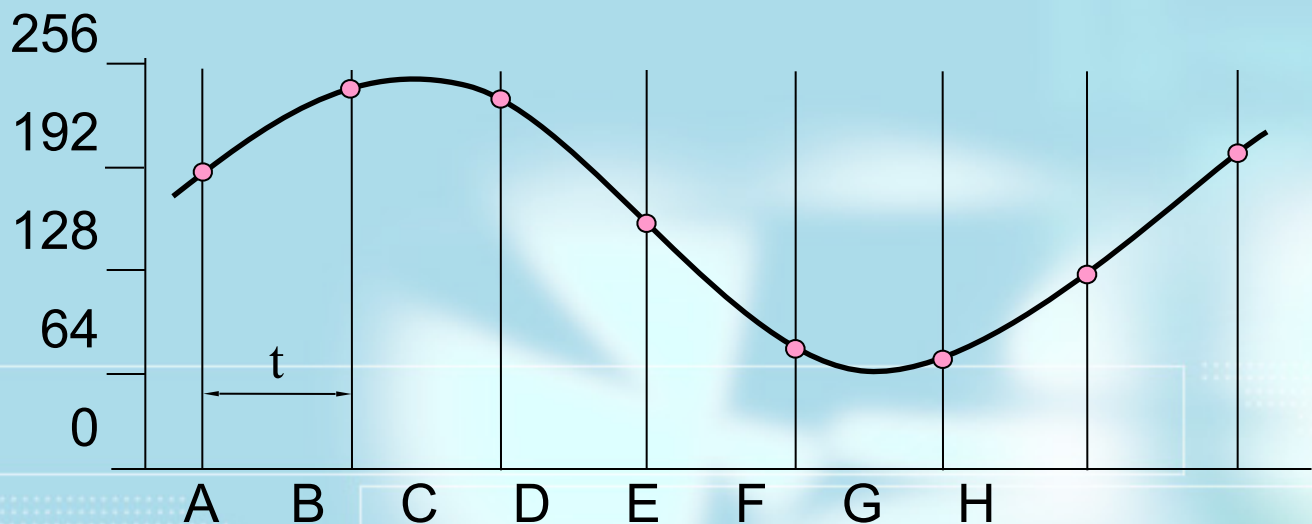
根据人的听觉功能，电话系统中每个信道的频宽为4000 Hz，根据Nyquist定理，对于4000 Hz的信号，多于8000次/秒的采样是无意义的

## ❖ 采样值的量化

一次采样值分成多少个等级，将决定量化后的数据量，如等分成256个等级，则必须用8 bit表示



# 采样和量化举例



A	B	C	D	E	F	G	H
188	244	240	144	80	72	122	200
10111100	11110100	11110000	1001000	0101000	0100100	01111100	1100100
			0	0	0		0





# 主干线

主干线常采用时分多路复用技术以提高线路的利用率

❖ PCM



❖ 采样和量化



❖ T1线路



❖ E1线路



❖ SONET和SDH





# T1线路 1.544M b/s

## ❖ T1线路由24个多路复用信道组成

每个信道采样8000次/秒，每次采样量化为7 bit

每个信道每次采样生成7bit数据位加1 bit控制位，即7b + 1b

即每个信道每秒生成56K + 8K的传输速率

24个多路复用信道的每次采样组成一个帧，即每帧为：

$8 \text{ bit} \times 24 = 192 \text{ bit}$ ，每帧间加一个bit，所以每帧为193 bit

$193 \text{ bit} \times 8000 \text{次采样/秒} = 1544000 \text{ bit/s} = 1.544 \text{M b/s}$

北美、日本使用T1线路



# 主干线

主干线常采用时分多路复用技术以提高线路的利用率

❖ PCM



❖ 采样和量化



❖ T1线路



❖ E1线路



❖ SONET和SDH





# E1线路 2.048M b/s

## ❖ E1线路由32个多路复用信道组成

每个信道采样8000次/秒，每次采样量化为8 bit，其中包括用于信令的bit

32个多路复用信道的每次采样组成一个帧，即每帧为：

$$8 \text{ bit} \times 32 \text{ 个信道} = 256 \text{ bit}$$

$$256 \text{ bit} \times 8000 \text{ 次采样/秒} = 2.048 \text{ M b/s}$$

欧洲、中国使用E1线路



# 多个T1或E1线路的复用

- ❖ 一次群： $T1 = 1.544\text{M b/s}$   
 $E1 = 2.048\text{M b/s}$
- ❖ 二次群： $T2 = T1 \times 4 + \dots = 6.312\text{M b/s}$   
 $E2 = E1 \times 4 + \dots = 8.848\text{M b/s}$
- ❖ 三次群： $T3 = T2 \times 6 + \dots = 44.736\text{M b/s}$   
 $E3 = E2 \times 4 + \dots = 34.304\text{M b/s}$
- ❖ 四次群： $T4 = T3 \times 7 + \dots = 274.176\text{M b/s}$   
 $E4 = E3 \times 4 + \dots = 139.264\text{M b/s}$



# 主干线

主干线常采用时分多路复用技术以提高线路的利用率

❖ **PCM**



❖ **采样和量化**



❖ **T1线路**



❖ **E1线路**



❖ **SONET和SDH**





# SONET/SDH

## ❖ SONET (Synchronous Optical Network)

同步光纤网      美国标准ANSI T1.105 ~ 106

- STS-1 (Synchronous Transport Signal) 同步传送信号 (电信号)
- OC-1 (Optical Carrier) 光载波 (光信号)

采用每125  $\mu$ s送出一帧，每帧810 B，即810路电话。因此基本速率为  
 $8\text{b} \times 810\text{B} \times 8000\text{次采样/秒} = 51.84\text{M b/s}$

## ❖ SDH (Synchronous Digital Hierarchy)

同步数字体系      CCITT推荐的标准

- STM-1 (Synchronous Transport Module) 同步传送模块  
基本速率为155.52M b/s



# SONET的OC级和STS级与SDH的STM级的比较

在40M b/s以下，北美的T1 ~ T3和欧洲的E1 ~ E3不同  
在更高速率的标准上，SONET和SDH基本相同

线路速率(Mb/s)	SONET (美)		SDH (欧)
	OC级	STS级	STM级
51.84	OC-1	STS-1	
155.52	OC-3	STS-3	STM-1
466.56	OC-9	STS-9	STM-3
622.08	OC-12	STS-12	STM-4
933.12	OC-18	STS-18	STM-6
1244.16	OC-24	STS-24	STM-8
1866.24	OC-36	STS-36	STM-12
2488.32	OC-48	STS-48	STM-16
9953.28	OC-192	STS-192	STM-64

Tnbm P146 Fig. 2-37 SONET和SDH

复用率





# 电话系统的数字化趋势

- ❖ 与模拟传输相比，数字传输具有明显的优势，所以电话系统数字化是发展趋势

电话系统由三部分组成：

本地回路：双绞线，模拟传输，1 km ~ 10 km

主干线：交换局间的光缆，数字传输

交换局：交换设备，交换技术



# 交换设备

❖ 交叉点交换机



❖ 空间分隔交换机



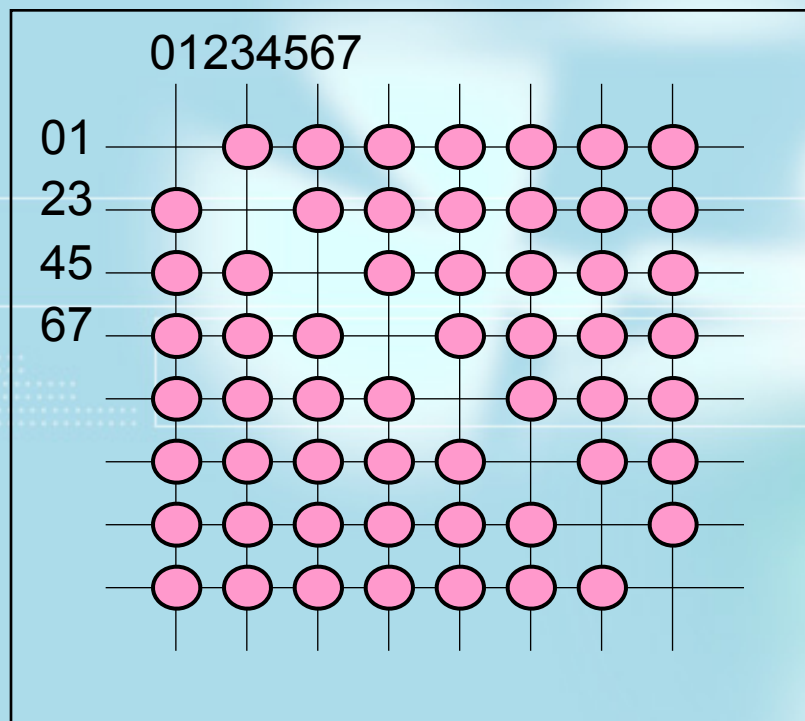
❖ 时分交换机





# 交叉点交换机

## ❖ 纵横制交换机 (crossbar)





# 交换设备

❖ 交叉点交换机



❖ 空间分隔交换机



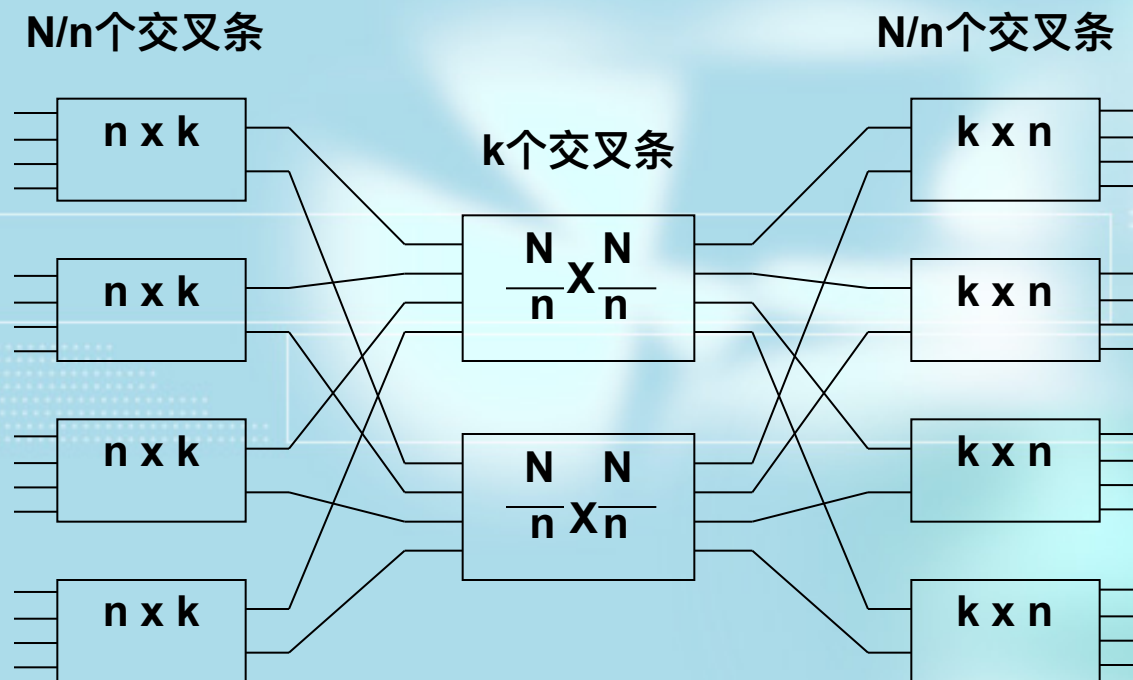
❖ 时分交换机





# 空间分隔交换机

❖ 可以理解为组交换





# 交换设备

❖ 交叉点交换机



❖ 空间分隔交换机



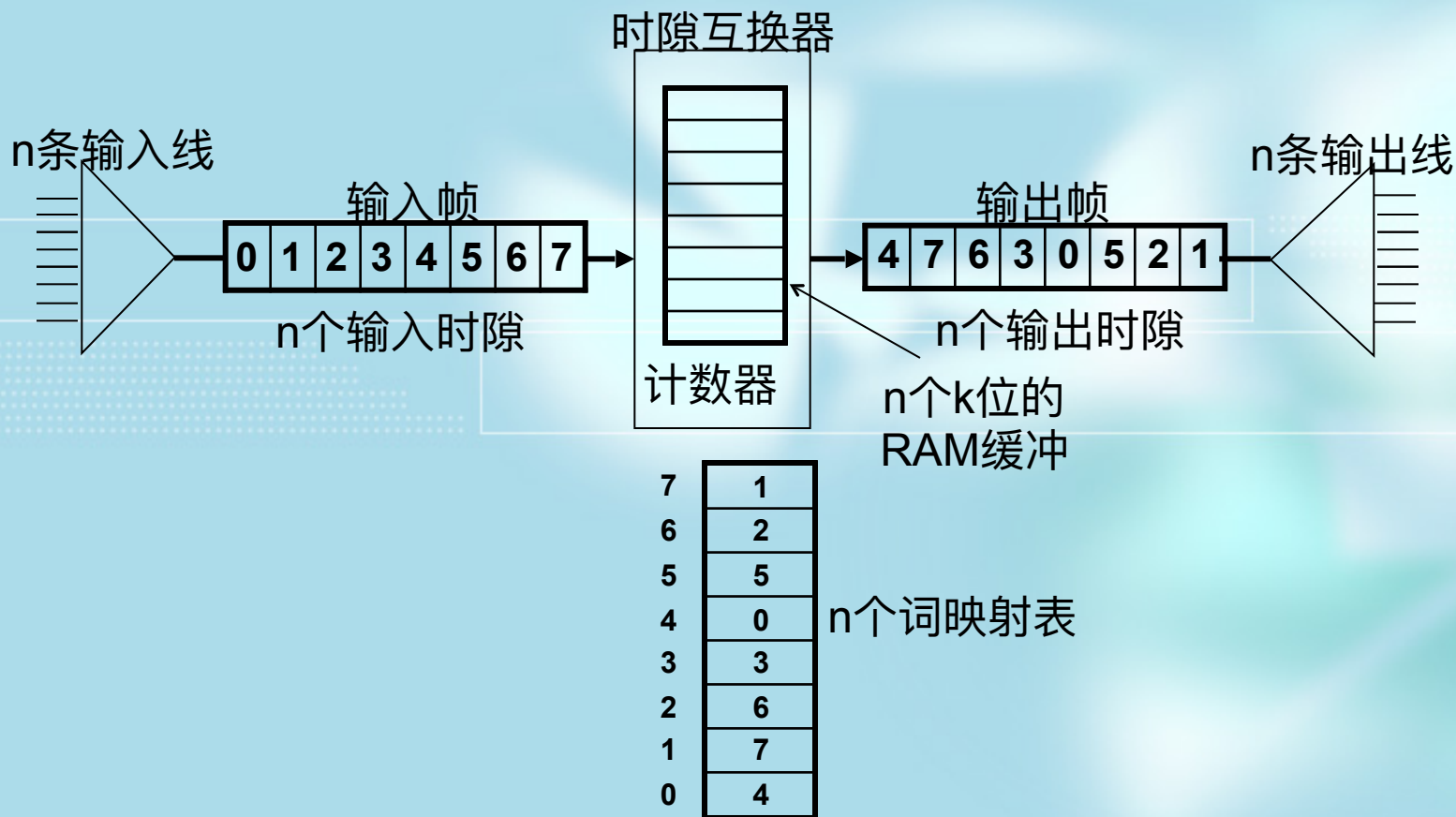
❖ 时分交换机





# 时分交换机

❖ 核心是时隙互换器 (time slot interchanger)





# 交换技术

- ❖ 电路交换
- ❖ 报文交换
- ❖ 分组交换



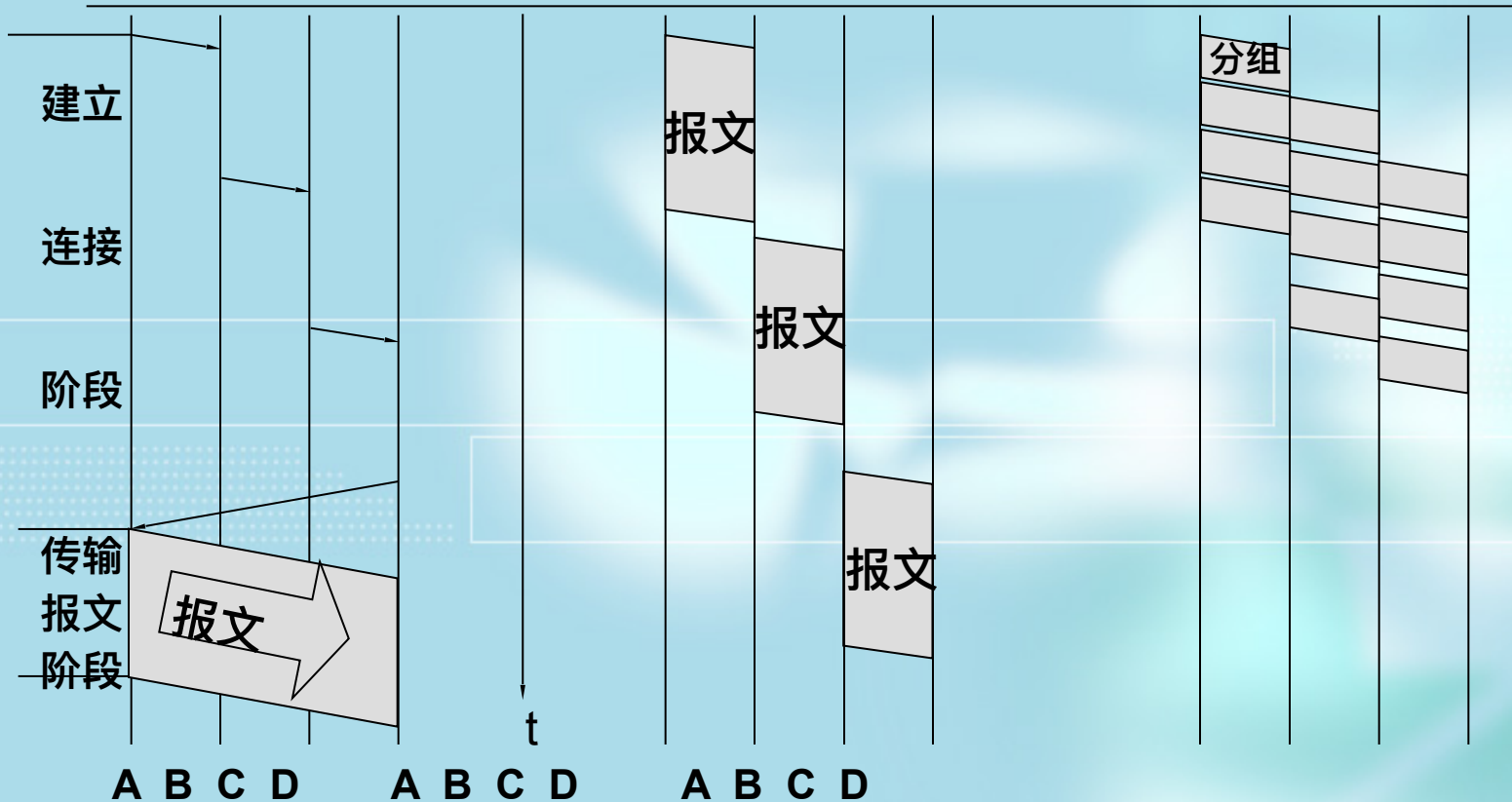


# 交换技术图示

电路交换

报文交换

分组交换





## 第2章 物理层

- ❖ 传输介质
- ❖ 电话系统 (PSTN)
- ❖ Internet 的本地接入





# Internet 的本地接入

❖ 拨号接入



❖ ADSL接入



❖ Internet over Cable





# 拨号接入

- 通过电话线路访问远程服务器
- 使用调制解调器将数字信号转换成模拟信号
- 必须在某ISP注册成为合法用户
- 服务器端采用DHCP协议，为接入者分配一个临时的IP地址

❖ 家庭主机拨号上网示意图



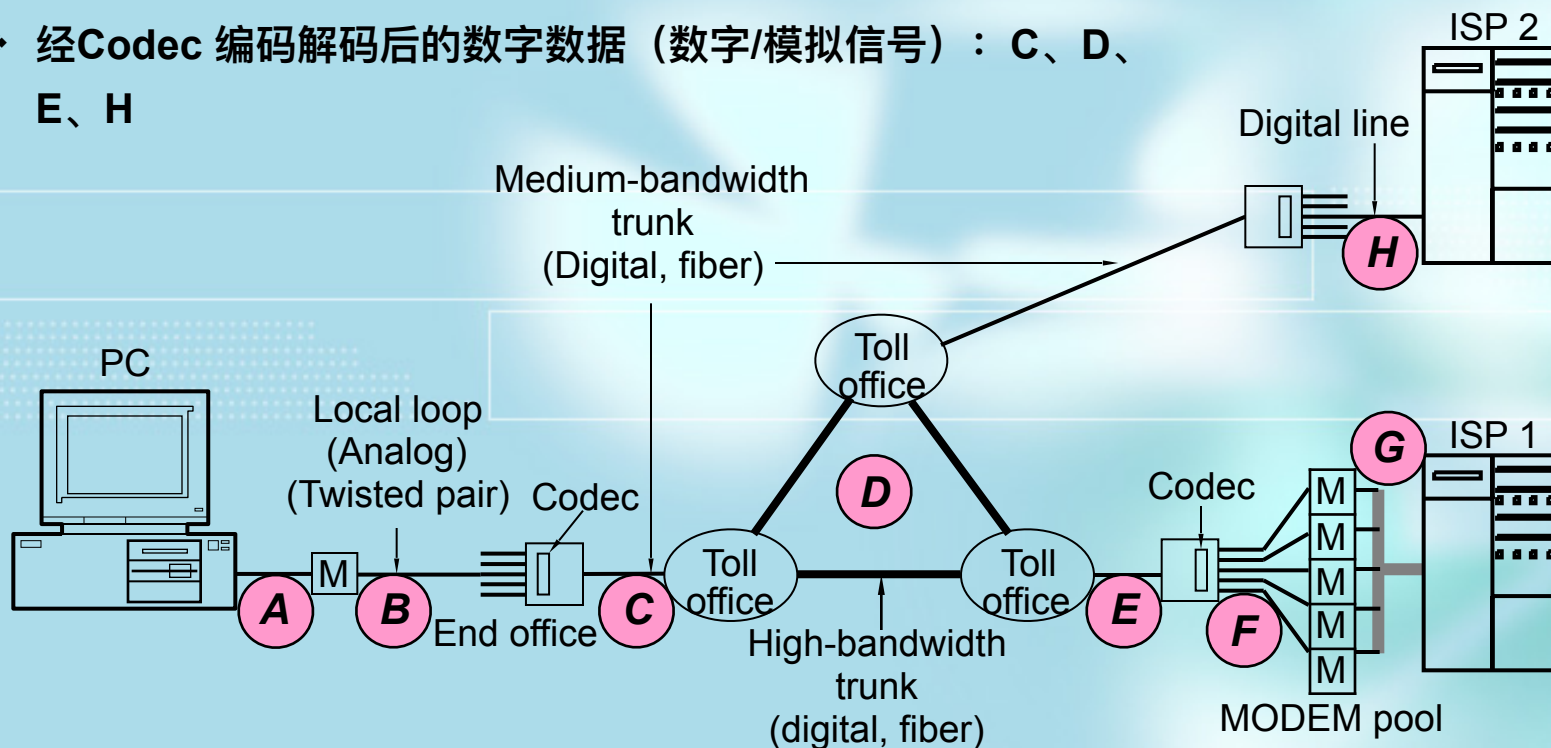
❖ MODEM 调制解调器





# 家庭主机拨号上网示意图

- ❖ 家庭主机通过拨号对远程服务器的访问
- ❖ 不归零制编码的数字数据（数字信号）：A、G
- ❖ 经MODEM调制后的数字数据（模拟信号）：B、F
- ❖ 经Codec 编码解码后的数字数据（数字/模拟信号）：C、D、E、H



Tnbm P124 Fig. 2-23



# 数据传输需考虑的问题

- ❖ 任何传输介质在传输信号时都伴随着干扰（噪声）和衰减
- ❖ 噪声有热噪声和随机冲击噪声两种
- ❖ 衰减与信号的频率有关，频率越高衰减程度越大
- ❖ 由于数字信号中包含着大量的高次谐波，所以基带信号不适合长距离和高速的传输
- ❖ 尤其应关注在电话系统中使用的是频分多路复用，人为地限制了每个信道的带宽为4k Hz



# 拨号接入

- 通过电话线路访问远程服务器
- 使用调制解调器将数字信号转换成模拟信号
- 必须在某ISP注册成为合法用户
- 服务器端采用DHCP协议，为接入者分配一个临时的IP地址

❖ 家庭主机拨号上网示意图



❖ MODEM 调制解调器





# MODEM 调制解调器

调制解调器，简称：MODEM

MOdulation and DEModulation

- ❖ **MODEM包括调制和解调两个功能**
- ❖ **调制方式有：**
  - **调幅**    ➤ **调频**    ➤ **调相**
  - **或是上述的组合**
- ❖ **常用的调制解调器接口有RS-232、RS-449**





# MODEM 调制解调器 (续)

- ❖ 载波：1000 – 2000 Hz的正弦波
- ❖ 使用某种技术，让载波携带数字数据
- ❖ 调幅、调频、调相，或其组合
- ❖ 常用的协议
  - V.32:  $6(1)\text{b} \times 2400 = 14.4 \text{ kbps}$  P129 Fig. 2-26(b)
  - V.34:  $12 \times 2400 = 28.8 \text{ kbps}$   
 $14 \times 2400 = 33.6 \text{ kbps}$
  - V.90: 当ISP为数字接入时，终端用户上行速率为 33.6 kbps, ISP的下行速率为56 kbps



# Internet 的本地接入

❖ 拨号接入



❖ ADSL接入



❖ Internet over Cable





# ADSL接入

**ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line**

❖ **DSL 数字用户线路**



❖ **ADSL的接入模型**



❖ **DMT 离散多音调调制**





# DSL 数字用户线路

**DSL: digital subscriber line**

- 使用常规的电话线路，本地局端的滤波器将限制带宽为4 kHz，但本地回路通常采用的是3类UTP，其实际带宽远远大于4 kHz
- 如局端滤波器的限制策略为按需可调，则给定的带宽可增加
- 根据对上行、下行线路不同的带宽需求有多种不同的标准
- ❖ **对称线路:**
  - **HDSL: 1.544 ~ 2.048 Mbps, 2/4对双绞线, 3 ~ 4 km**
  - **SDSL: 1.544 ~ 2.048 Mbps, 1对双绞线, 3 km**
- ❖ **非对称线路:**
  - **VDSL: 上行13 ~ 52 Mbps, 下行1.5 ~ 2.3 Mbps**  
**1对双绞线, 0.xx km**
  - **ADSL: 上行64 k ~ 1 Mbps, 下行512 k ~ 8 Mbps**  
**1对双绞线, 3 ~5 km**



# ADSL接入

**ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line**

❖ **DSL 数字用户线路**



❖ **ADSL的接入模型**



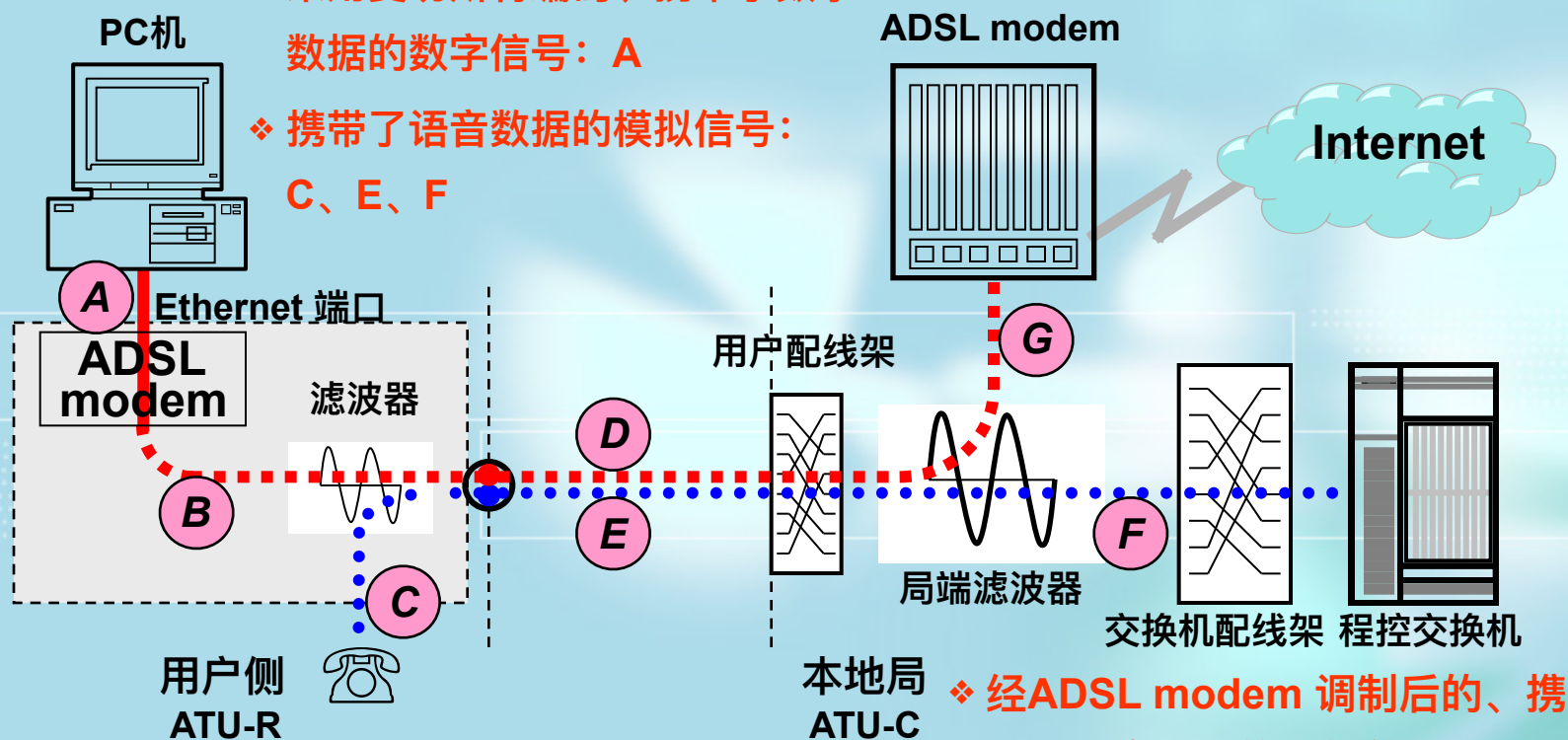
❖ **DMT 离散多音调调制**





# ADSL的接入模型

- ❖ 采用曼切斯特编码、携带了数字数据的数字信号：A
- ❖ 携带了语音数据的模拟信号：C、E、F



- ❖ 经ADSL modem 调制后的、携带了数字数据的模拟信号：B、D、G
- ❖ 多个信道，频分多路复用

ATU - C: ADSL Transmission Unit- Central  
ATU - R: ADSL Transmission Unit- Remote



# ADSL接入

**ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line**

❖ **DSL 数字用户线路**



❖ **ADSL的接入模型**



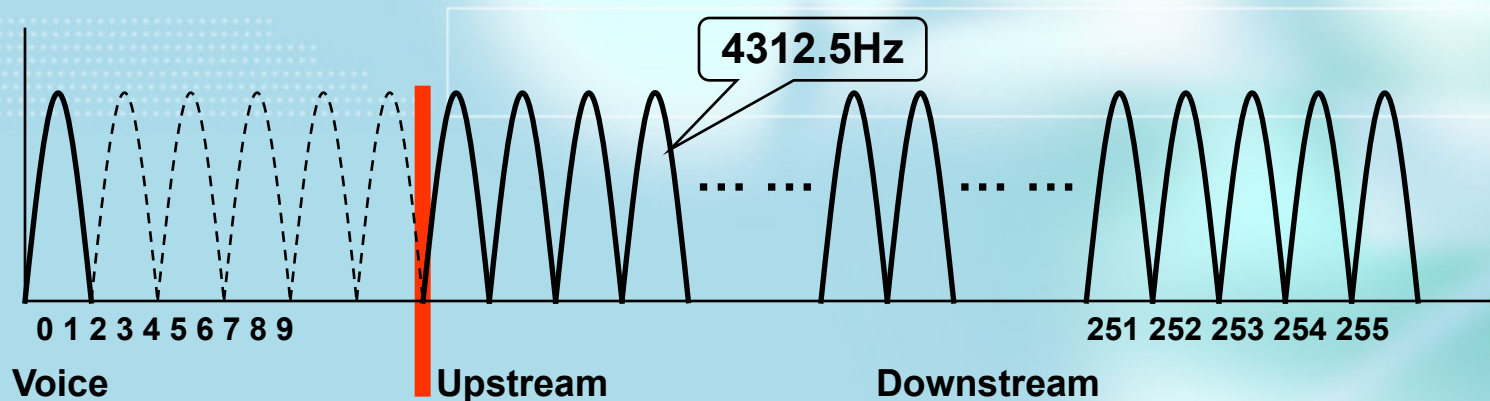
❖ **DMT 离散多音调调制**





# DMT 离散多音调调制

**DMT: Discrete MultiTone modulation** 将本地回路的可用带宽 (约1.1MHz)分成256个4312.5Hz的独立信道, 信道0 给传统的电话, 1~5保留, 剩下的250个信道中一个给上行控制, 一个给下行控制, 其余全部用于数据传输, 由提供者分配哪些给上行, 哪些给下行



Tnbm P132 Fig. 2-28 采用DMT调制的ADSL





# 常用的ADSL带宽分配

因为用户对Internet 的访问是不对称的，  
所以一般总是将80 – 90%的信道分配给下行，  
每个信道都是独立调制的

voice	4k	4k	...	4k
Upstream	64k	256k	...	1M
Downstream	512k	1M	...	8M



# Internet 的本地接入

❖ 拨号接入



❖ ADSL接入



❖ Internet over Cable





# Internet over Cable

## Internet over Cable 基于社区电视系统

- ❖ 社区电视系统
- ❖ HFC 混合光纤电缆系统
- ❖ HFC中的频谱分配
- ❖ Cable MODEM
- ❖ ADSL与HFC的比较





# 社区电视系统

## ❖ 社区电视系统的特点

- 覆盖面很大，系统之间用光缆连接
- 传播单向电视信号的一个共享系统
- 用同轴电缆作为传输介质，带宽可达750 MHz

## ❖ 作为Internet 接入的可能性

- 数据的双向传输
- 用户端的Cable MODEM



# Internet over Cable

## Internet over Cable 基于社区电视系统

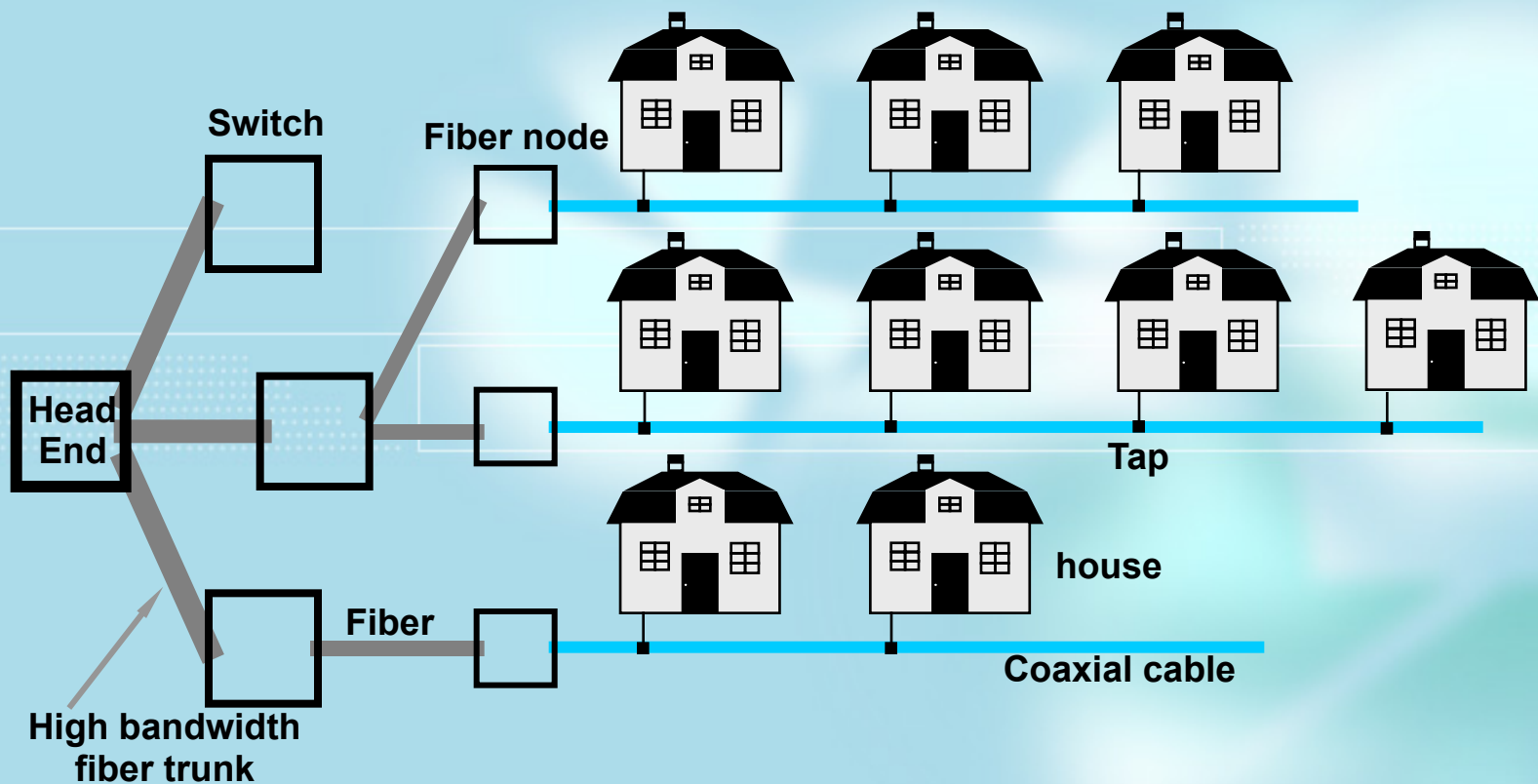
- ❖ 社区电视系统
- ❖ HFC 混合光纤电缆系统
- ❖ HFC中的频谱分配
- ❖ Cable MODEM
- ❖ ADSL与HFC的比较





# HFC 混合光纤电缆系统

## ❖ HFC: Hybrid Fiber Coax



Tnbm P171 Fig. 2-47(a) 混合光纤电缆系统



# Internet over Cable

## Internet over Cable 基于社区电视系统

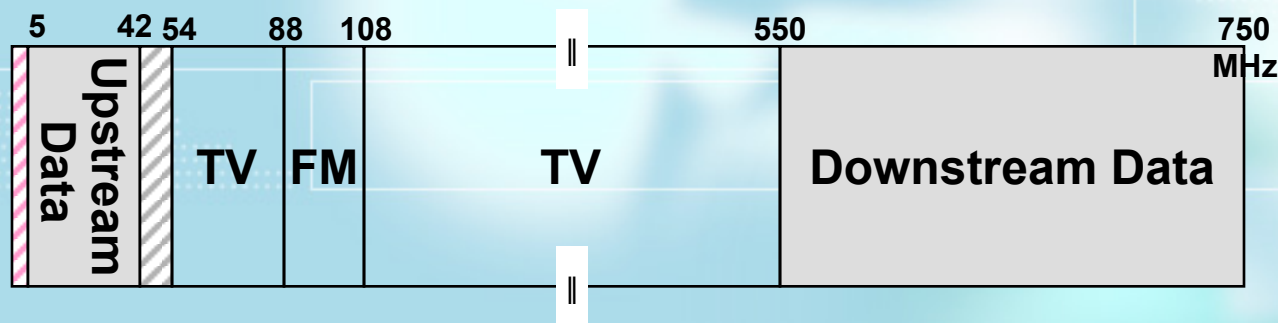
- ❖ 社区电视系统
- ❖ HFC 混合光纤电缆系统
- ❖ HFC中的频谱分配
- ❖ Cable MODEM
- ❖ ADSL与HFC的比较





# HFC中的频谱分配

- ❖ HFC保留了原有的TV及FM的广播功能
- ❖ 实现了数据的非对称双向传输，以作为Internet的接入



42 ~ 54M频段保留，凡高于此频段的都是下行信号，低于此段频的都是上行信号，其实，此频段是一隔离带





# HFC中的频谱分配

- ❖ 每个下行信道占用6 ~ 8 MHz
- ❖ 用模拟方式传输，常用的调制方法是QAM-64，对质量特别好的信道也可用QAM-256
- ❖ 对6MHz信道，可用的数据传输率为36Mbps，去掉一些额外开销，一般为27Mbps
- ❖ 上行信道质量较差，一般用QPSK携带2位信息



# Internet over Cable

## Internet over Cable 基于社区电视系统

- ❖ 社区电视系统
- ❖ HFC 混合光纤电缆系统
- ❖ HFC中的频谱分配
- ❖ Cable MODEM
- ❖ ADSL与HFC的比较





# Cable MODEM

- ❖ Cable MODEM与计算机的接口为Ethernet
- ❖ 在一个Headend管理下的、并由Cable连接的、所有计算机组成的是一个共享网络
- ❖ 共享站点的竞争发送不能采用CSMA/CD协议，因为站点无法对介质进行检测



# Cable MODEM的初始化

- ❖ Power On或Reset后，MODEM将监测下行数据流中由headend为新站点提供的系统参数，并通过某一上行信道宣布它的存在
- ❖ Headend 为新站点分配上行和下行信道（以后可能会调整）并通知（新站点的）MODEM
- ❖ MODEM发送一特殊的测距分组并等待应答，以测试自己到Headend的“距离”（此过程为ranging），以后将以此为依据，此距离以“时隙”（minislot）计，典型地，一个minislot 相当于8 bytes的传播延时
- ❖ Headend 除分配上行、下行信道外，还为每个MODEM分配一个请求上行带宽的时隙号，可能会有多个MODEM共享一个时隙号，如共享时隙号的站点同时请求上行带宽，将发生冲突



# 计算机的一次发送过程

- ❖ 计算机用上行信道经MODEM向Headend发送一个请求分组，其中包含所需的时隙数（minislot），然后等待应答（需等待的时隙数已知）
- ❖ Headend 通过下行信道应答（ACK），并通知计算机已为之保留的时隙号，计算机在上行信道为其保留的时隙号内发送数据分组
- ❖ 如在等待的时隙数过后还未收到Headend的ACK应答，这意味着已发生冲突，此时将采用二进制指数后退法，随机选择一个需等待的时隙数后再次请求，以避免再次冲突



# Internet over Cable

## Internet over Cable 基于社区电视系统

- ❖ 社区电视系统
- ❖ HFC 混合光纤电缆系统
- ❖ HFC中的频谱分配
- ❖ Cable MODEM
- ❖ ADSL与HFC的比较





# ADSL与HFC的比较

- ❖ **ADSL是基于电话系统**
- ❖ **每个用户直接与局端连接，属星型拓扑**
- ❖ **所承诺的速率是固定的，与当前的用户数无关**
- ❖ **允许用户选择自己的ISP**
- ❖ **如用户数增加或减少，操作简单，系统扩容投资相对较少**
- ❖ **数据安全性比较能得到保证**
- ❖ **由于ADSL（包括其它的xDSL都）与距离有关，所以有电话线的地方不一定都能提供ADSL服务**



# ADSL与HFC的比较 (续)

- ❖ HFC基于社区电视系统，属信道共享，但即使保留了原有的FM和TV频段，同轴电缆所提供用于数据传输的带宽还是很宽
- ❖ 并非每个用户都与Headend直接连接，属树型拓扑
- ❖ 标称的传输速率为10Mbps (Ethernet)，但属共享信道
- ❖ 所提供的服务必须与某个具体的ISP合作，使用DHCP协议
- ❖ 如用户数增加或减少，操作相对复杂，系统扩容投资相对较大
- ❖ 由于属共享信道，所以数据安全性必须采用密码技术才能得到保证
- ❖ 与距离基本无关，凡有HFC的地方一般都能提供Internet服务