



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





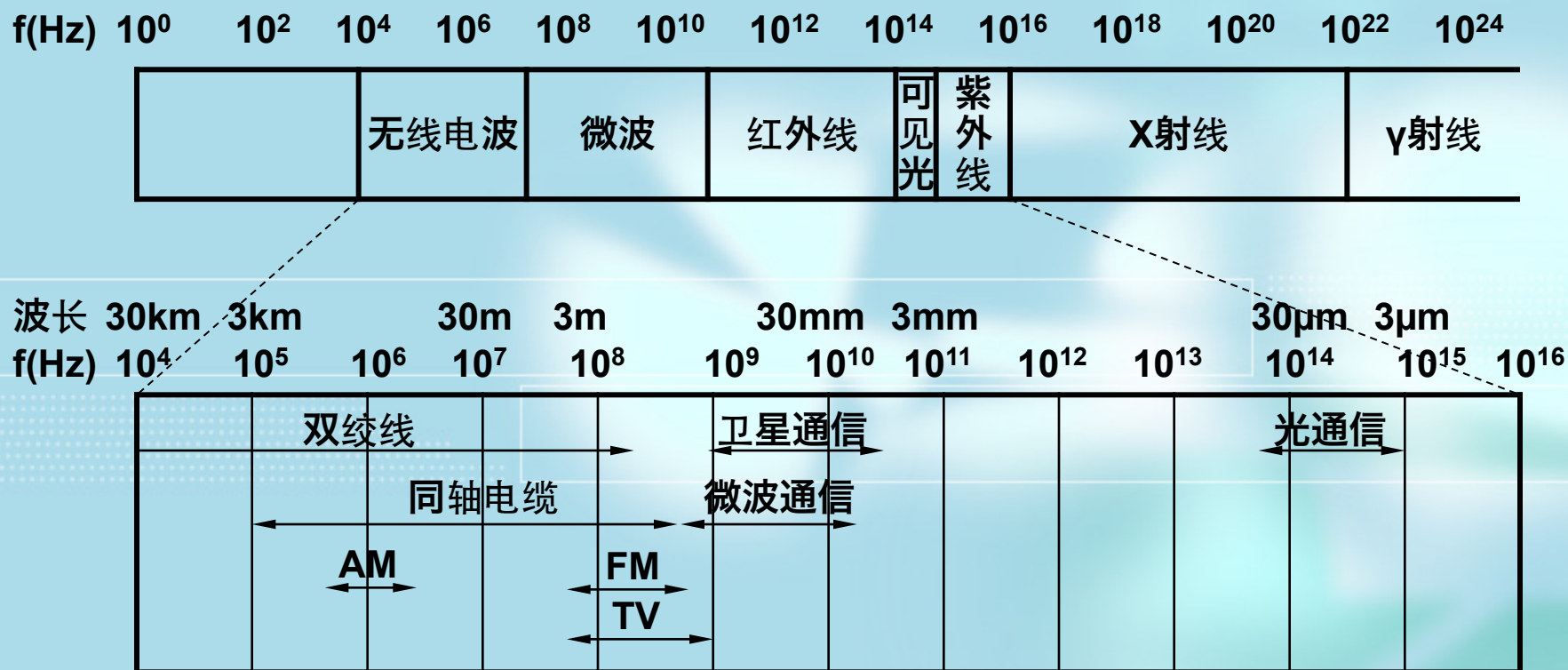
无线传输

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

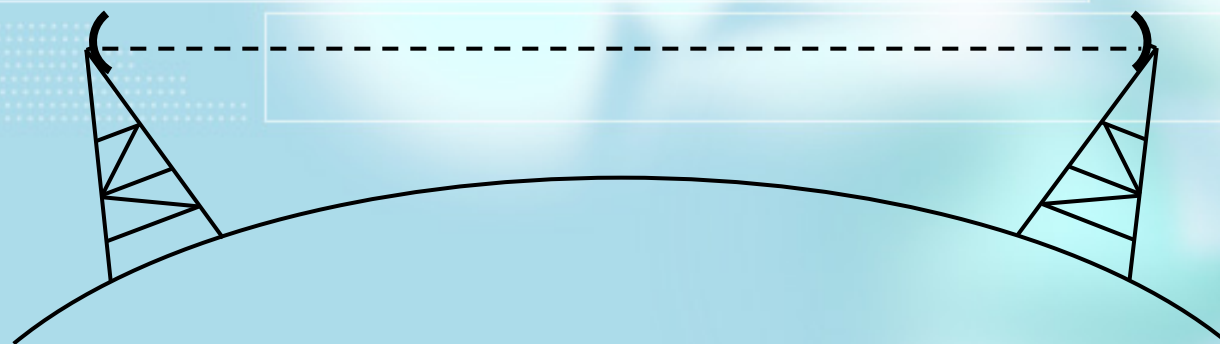


Tnbm P101 Fig.2-11 用于通信的电磁波频段



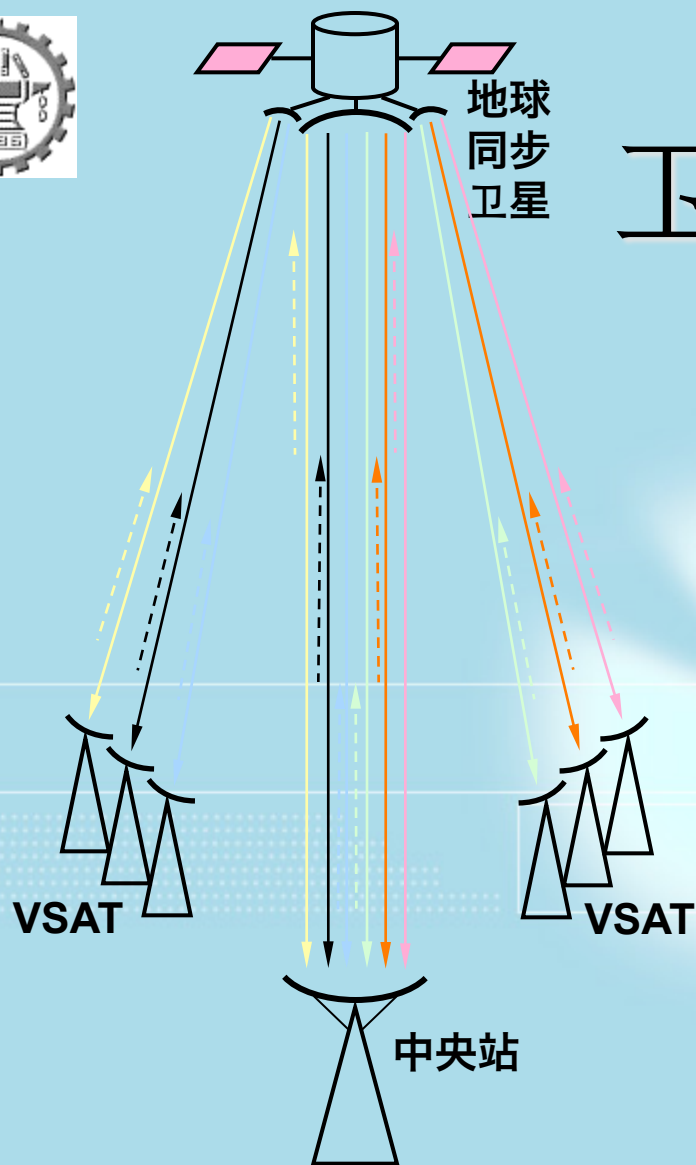
地面无线通信模型

- ❖ 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

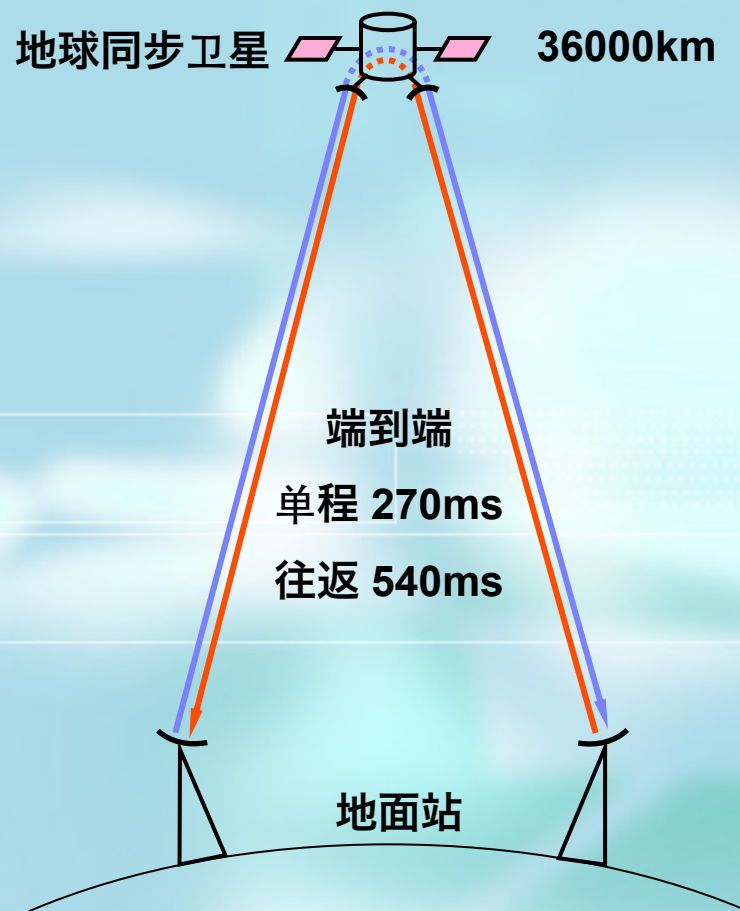




卫星通信模型



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

综合比较，相差11个数量级



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**母**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

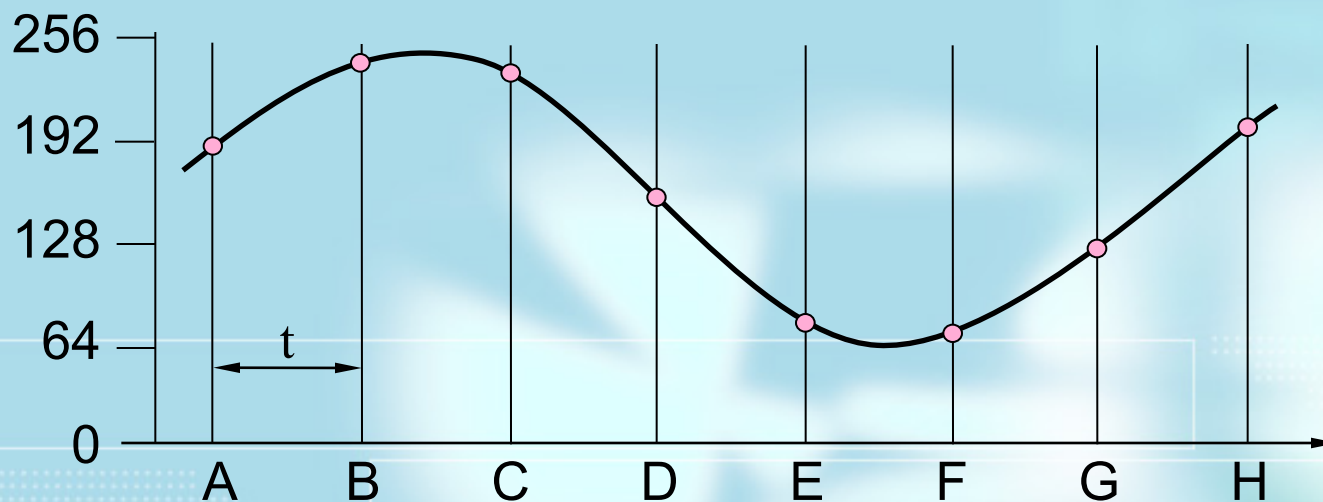
根据人的听觉功能，电话系统中每个信道的频宽为4000 Hz，根据Nyquist定理，对于4000 Hz的信号，多于8000次/秒的采样是无意义的

❖ 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	10010000	01010000	01001000	01111100	11001000



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 μ 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 



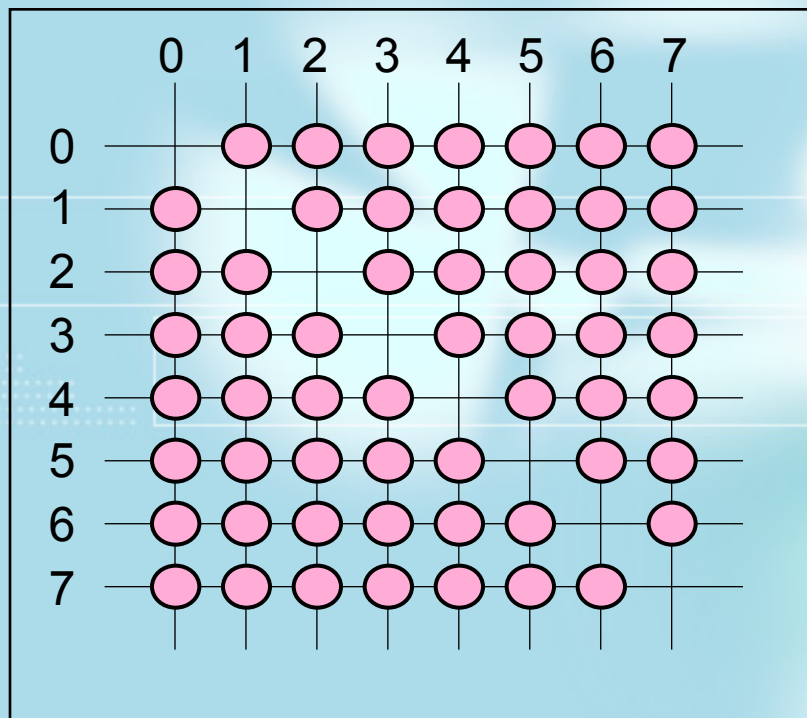
交换设备

- ❖ 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)





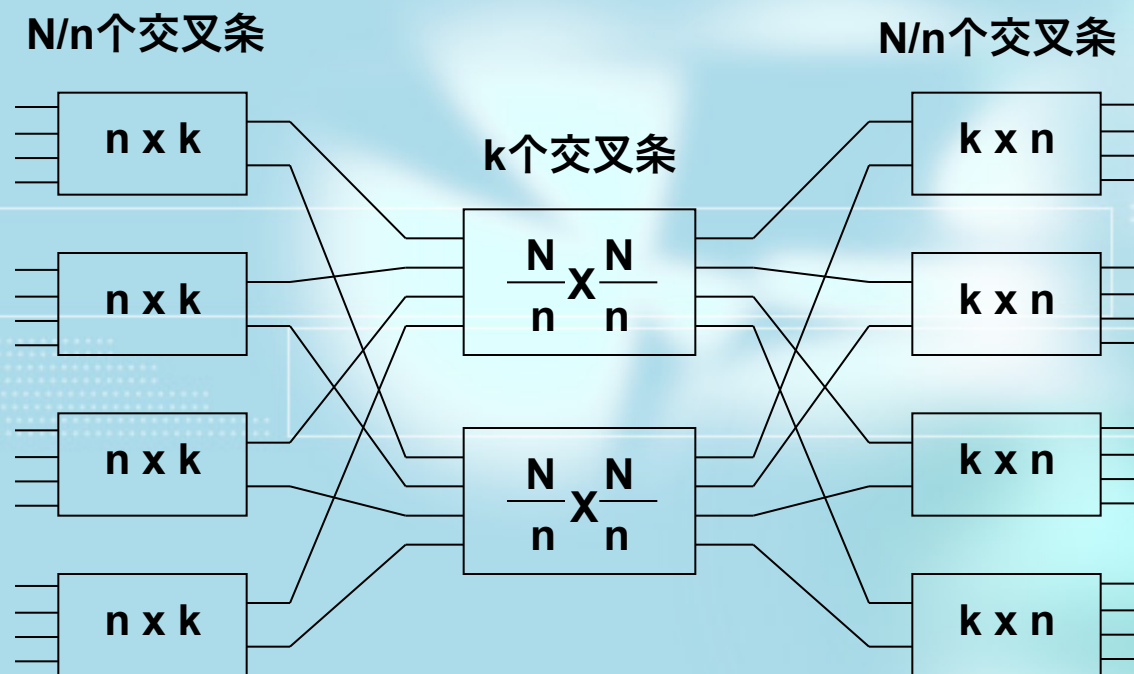
交换设备

- ❖ 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





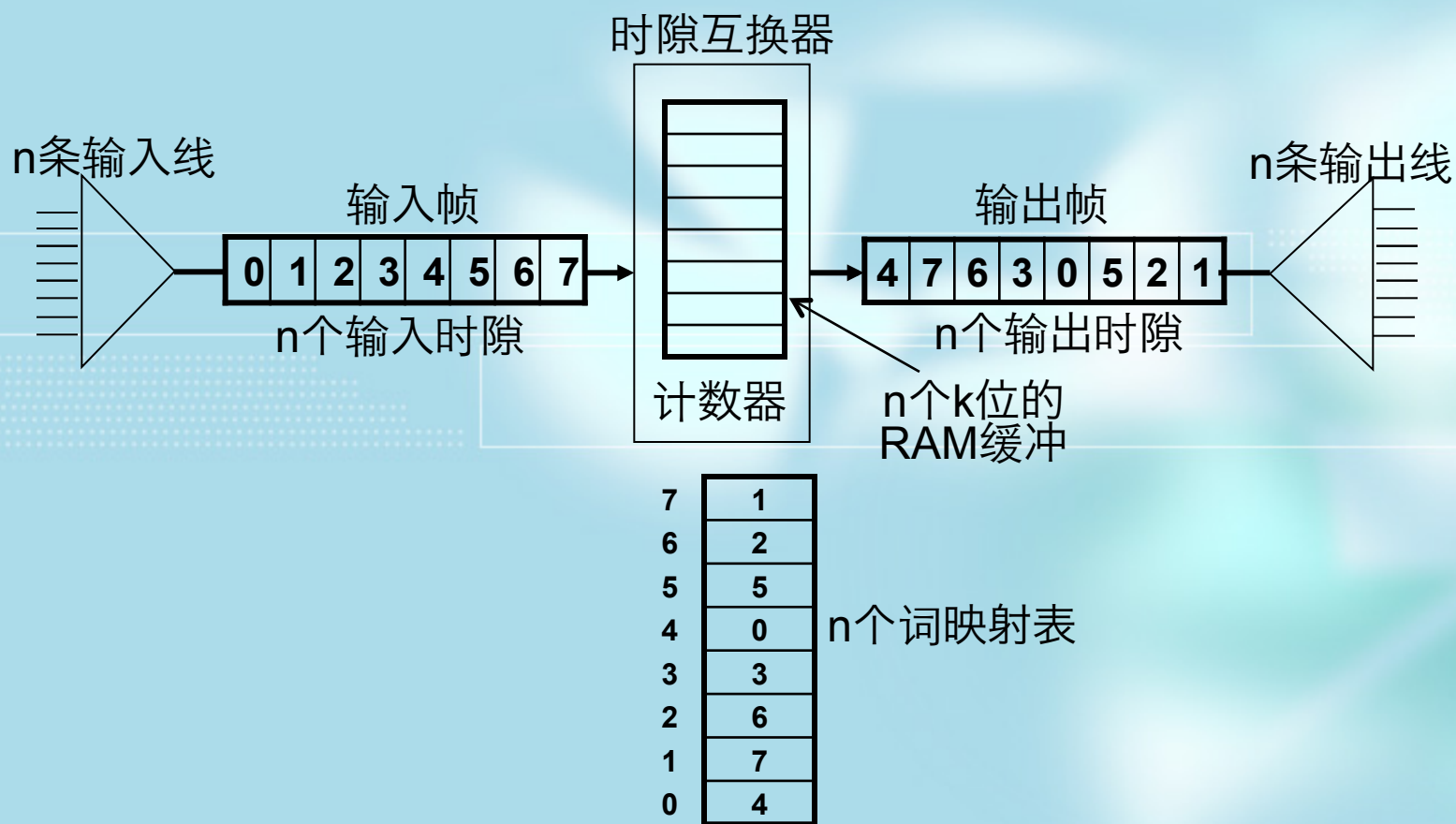
交换设备

- ❖ 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

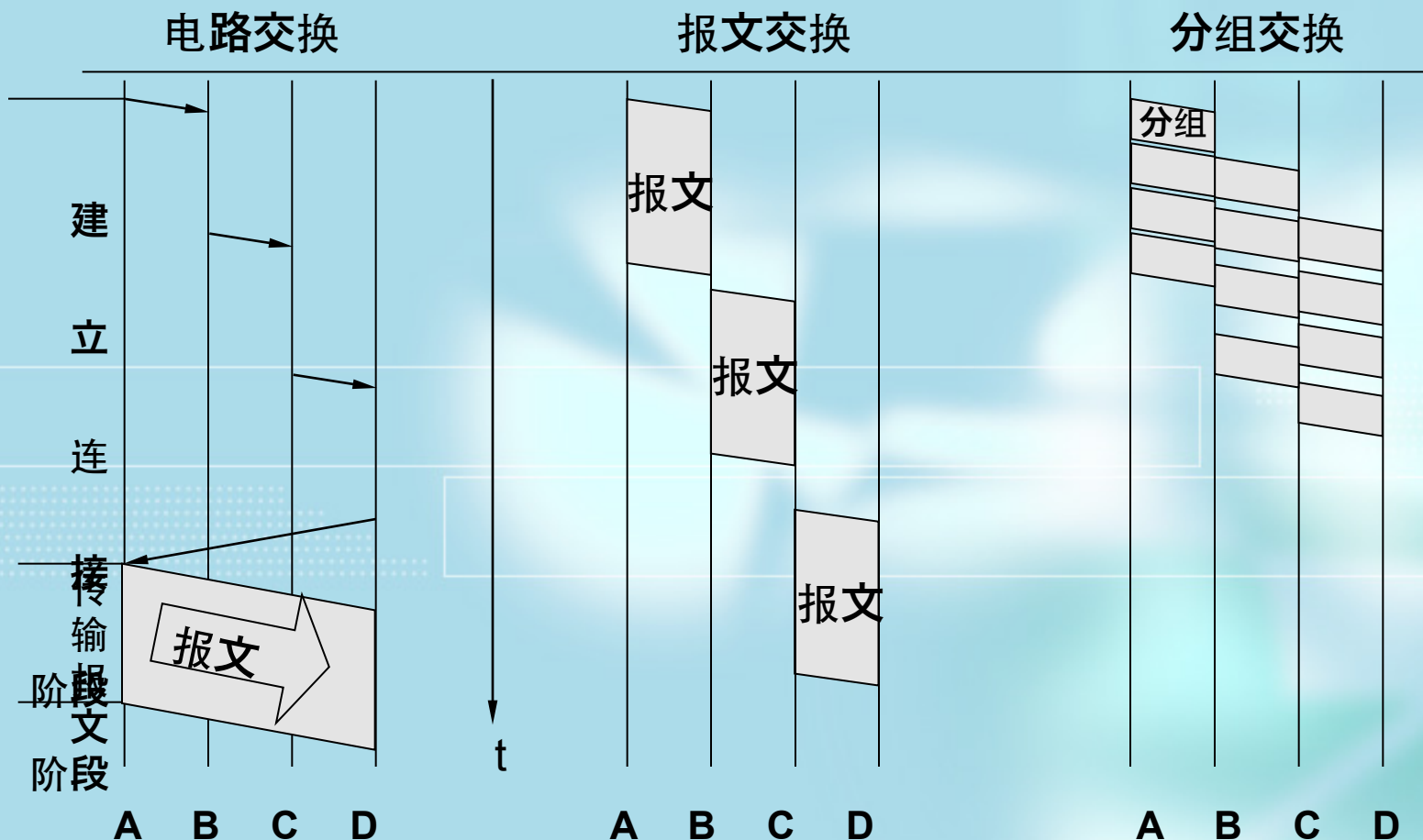
❖ 电路交换

❖ 报文交换

❖ 分组交换



交换技术图示





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



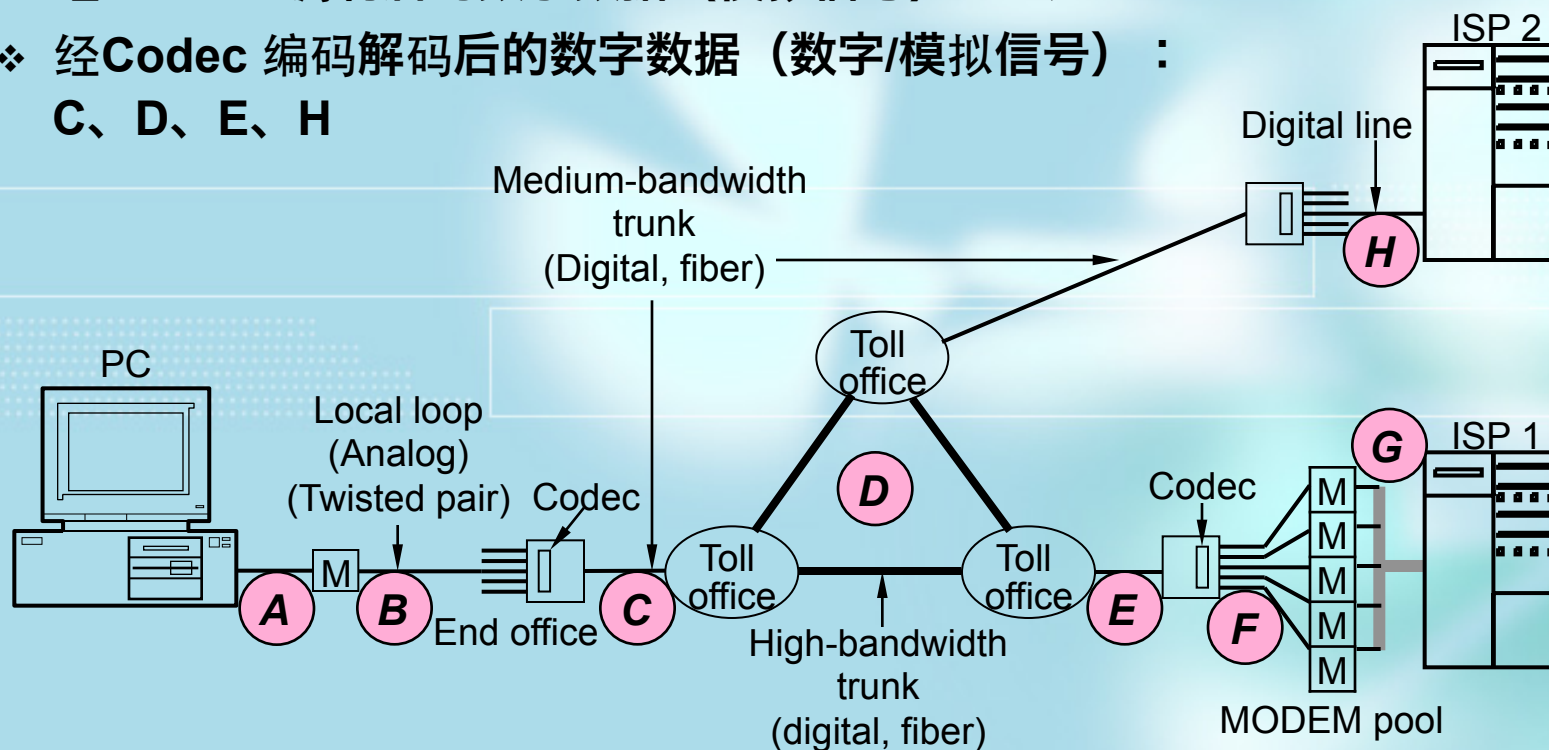
❖ MODEM 调制解调器





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作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



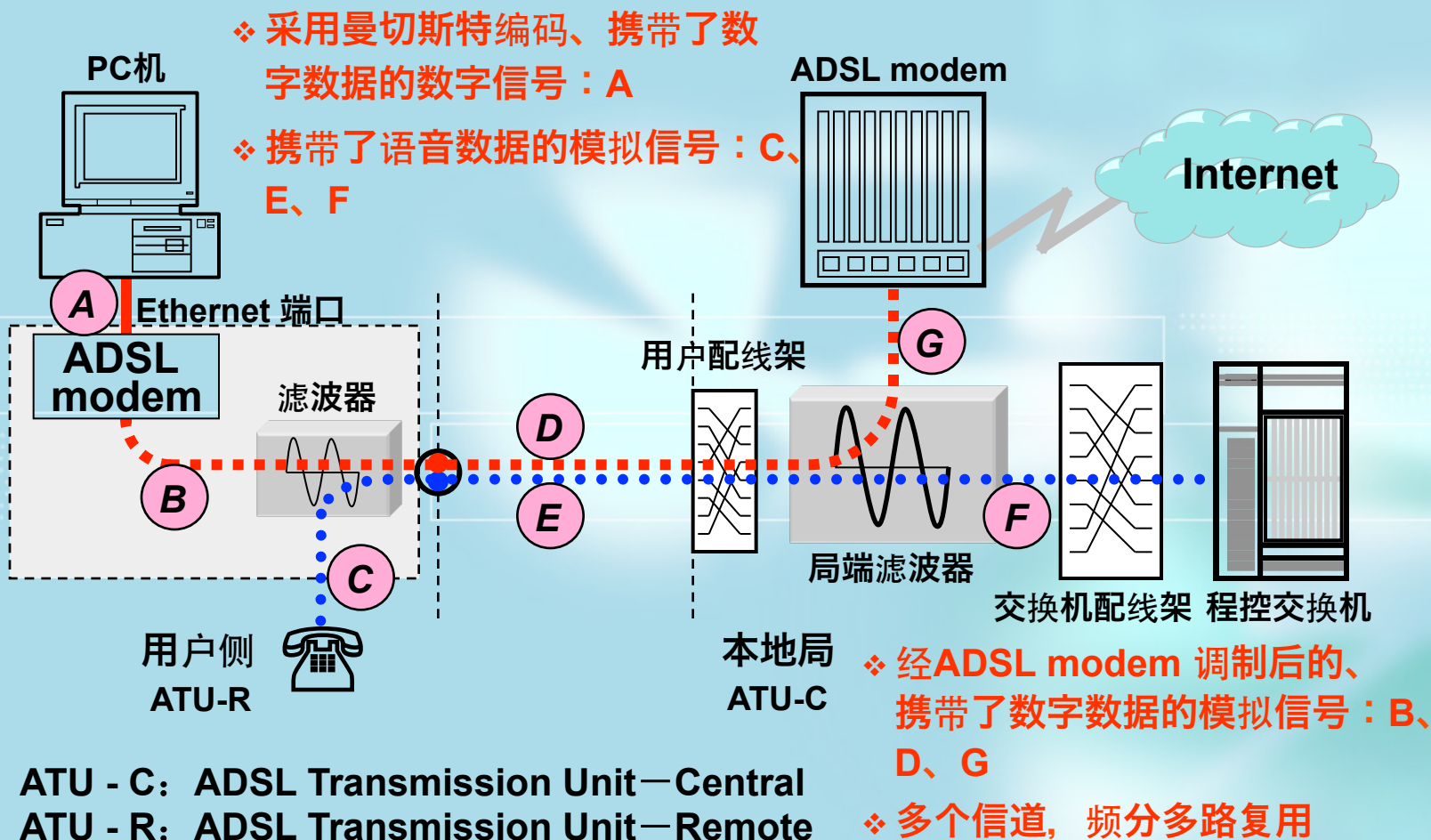
ADSL接入

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





ADSL接入

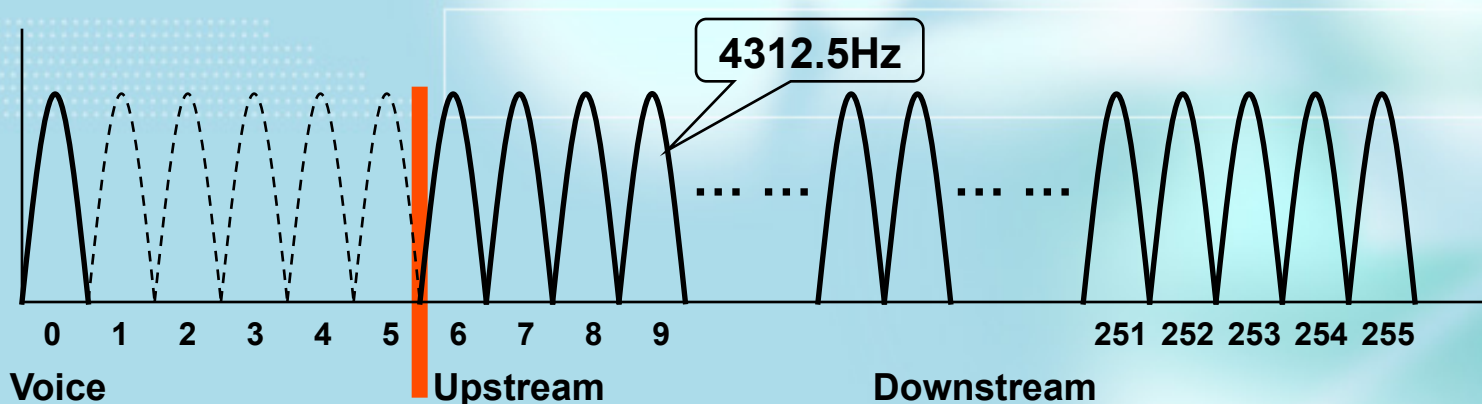
ADSL : Asymmetric Digital Subscriber Line

- ❖ 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

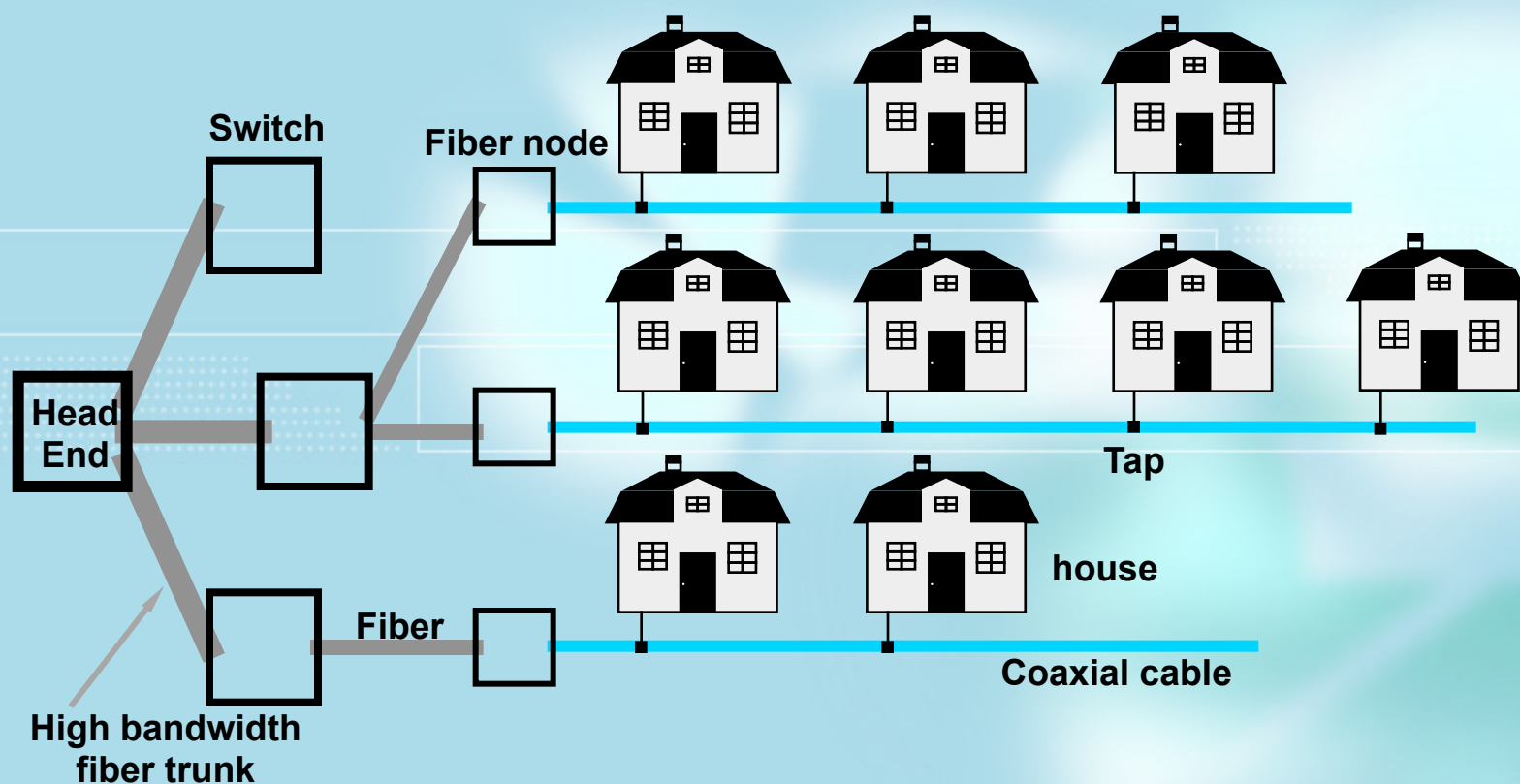
- ❖ 社区电视系统
- ❖ HFC 混合光纤电缆系统
- ❖ HFC中的频谱分配
- ❖ Cable MODEM
- ❖ ADSL与HFC的比较





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

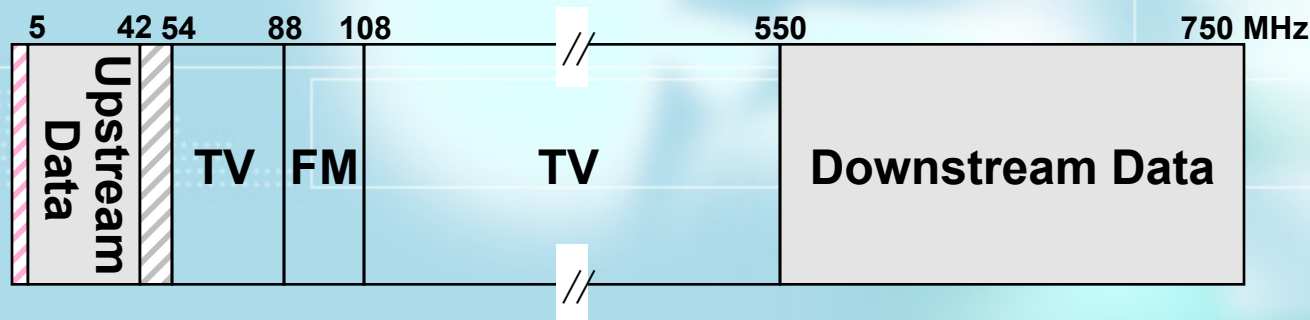
- ❖ 社区电视系统
- ❖ HFC 混合光纤电缆系统
- ❖ HFC中的频谱分配
- ❖ Cable MODEM
- ❖ ADSL与HFC的比较





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



Thanks

jdyu@cs.sjtu.edu.cn