

8

远距离数字连接

理论课程



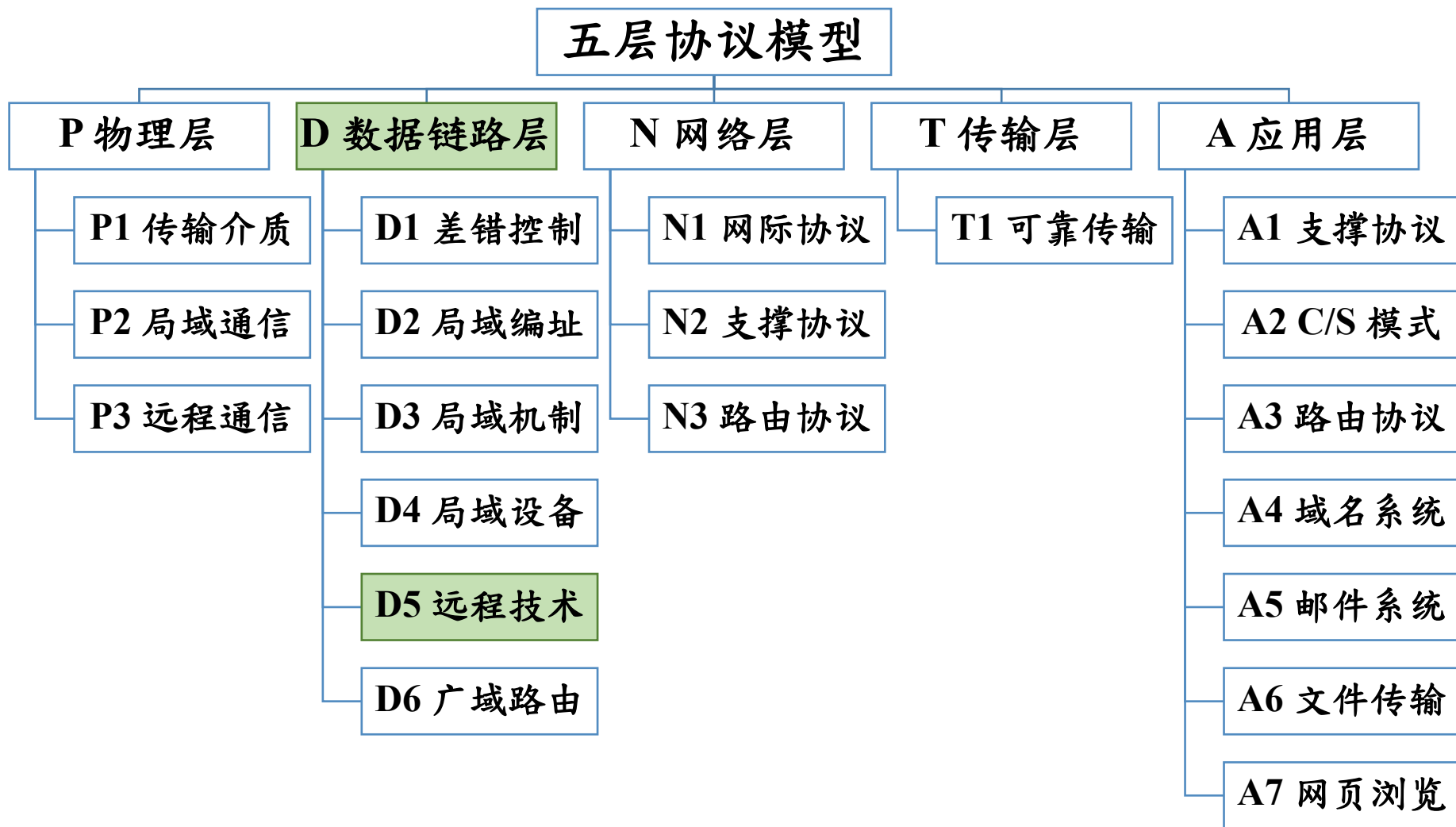
廈門大學
XIAMEN UNIVERSITY



信息学院
(国家示范性软件学院)
School of Informatics

黃 煒
博士, 副教授
Dr. Wei Huang

知识框架



主要内容

- 远程数字连接的技术

- 通过DSU/CSU连接到数字电路
- 上行和下行，非对称模式
- 窄带和宽带
- ISDN、ADSL、CATV、光纤到户、SONET的原理和速率
- 高容量电路标准（E、T、C等）的速率等级

主要内容

- 网络技术的过去与未来
 - 广域网结构：虚电路、数据报
 - ARPANET、PSTN、X.25、帧中继、SMDS的基本原理
- 网络所有权、服务模式和性能
 - VPN
 - 网络性能度量：延迟、吞吐率、抖动、服务质量（QoS）

对应课本章节

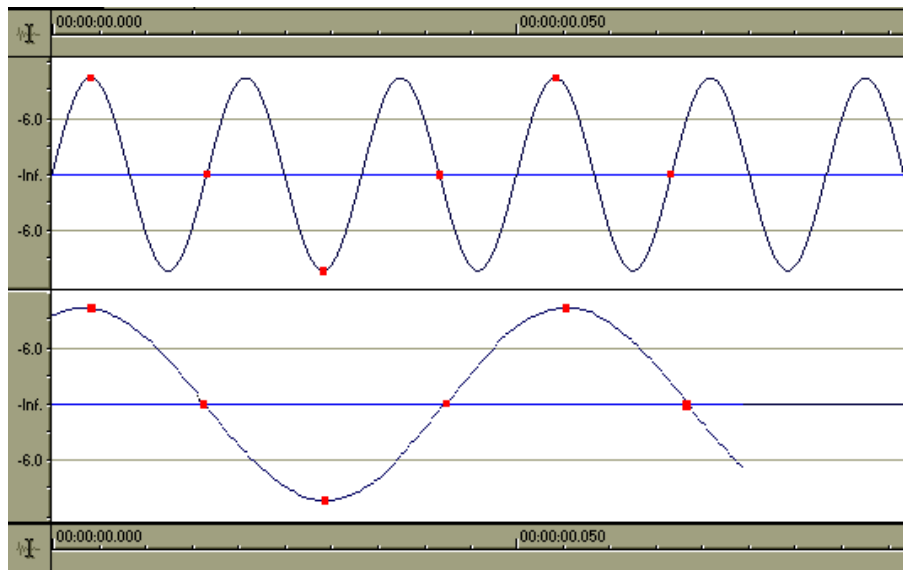
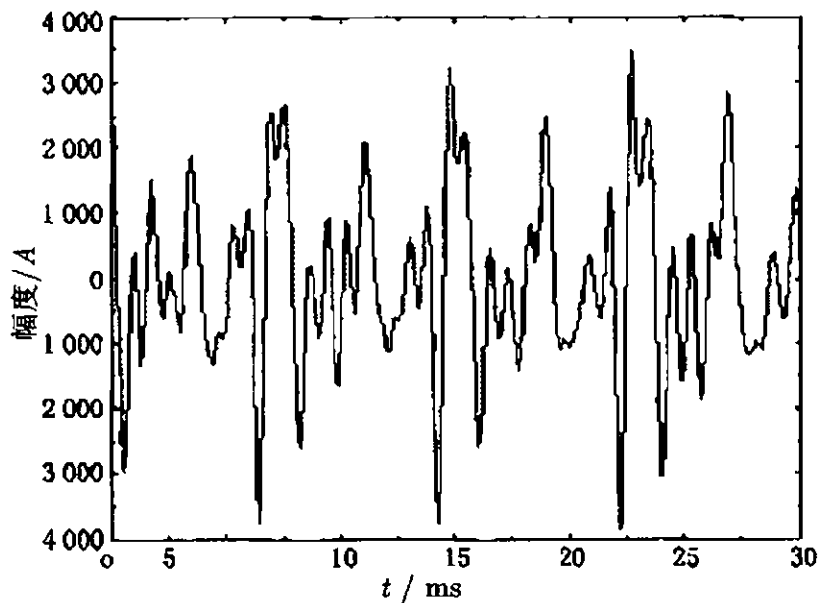
- **PART III Packet Switching And Network Technologies**
 - Chapter 19 Networking Technologies Past And Present
 - Chapter 30 Network Security
 - 30.17 Virtual Private Networks (VPNs)
 - 30.18 The Use of VPN Technology For Telecommuting
- **PART V Other Networking Concepts & Technologies**
 - Chapter 28 Network Performance (QoS and DiffServ)

内容纲要

1	远程数字连接的技术
2	网络技术过去与现在
3	网络所有权、服务模式和性能

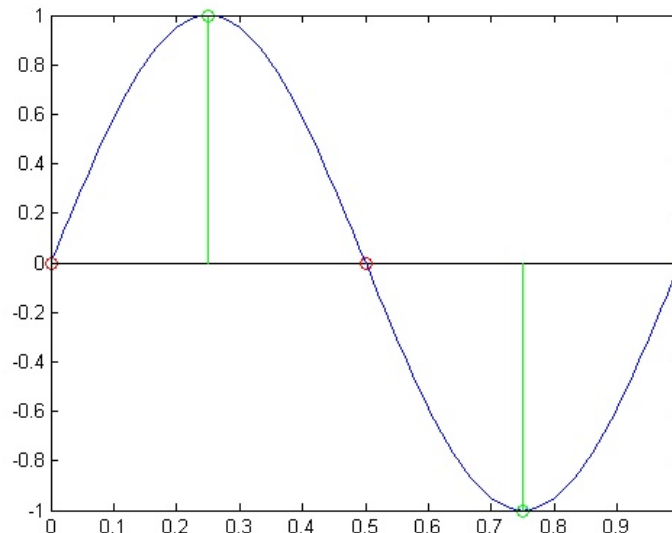
数字电话 (Digital Telephony)

- 研究数字通信的动机：数字通信避免了噪声问题。
- 数字音频：模拟音频信号的数字版本。
- 将模拟信号转换成数字形式的过程称为数字化。



Nyquist 采样定理

- 恢复一个正（余）弦信号的曲线，只需两个点
 - 相邻两个零点位置（红）或者相邻波峰和波谷的位置（绿）
 - 只要按照正（余）弦信号的规则，就能够根据这些特殊点还原出正（余）弦信号
 - 一定是特殊点才能恢复
- 不管信号多复杂，总可以分解为若干个正（余）弦信号的和，对应信号的频率分量。



脉冲编码调制 (PCM)

- Nyquist采样定理

- 如果一个连续信号用大于两倍的最高有效频率采样，信号可以从样本重建。

- 脉冲编码调制 (Pulse Code Modulation , PCM)

- PCM采样信号间隔 $125\mu\text{s}$ ，并将每个样本分为0~255的整数

- 时间上的采样，数量上的编号

- PCM最初是为了在电话局之间的中继线上传送多路电话。

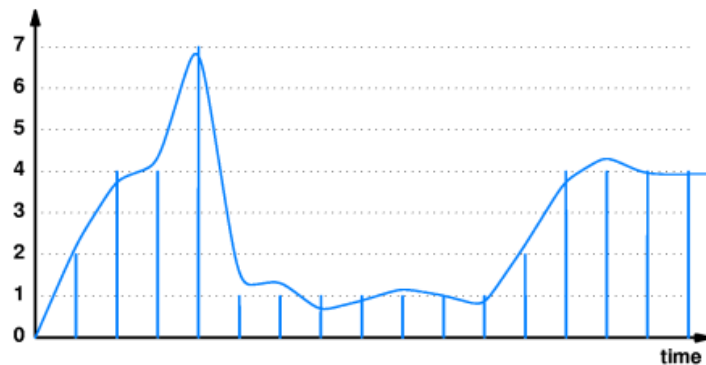


Figure 12.1 An illustration of digitization using eight values. Each vertical line represents an integer value chosen for one sample.

同步通信 (Synchronous Communication)

- 在数字化语音系统中传输数据
 - 语音系统采用同步或时钟技术，数据网络采用异步技术。
 - 以精确速率移动数据
- 电话系统精心设计以传输额外的信息
 - 数据随着数字化语音，确保连续传输。
- 接收设备使用附加信息来同步时钟，确保数据以相同的速率离开网络。

DSU/CSU和NIU

- 数字电路租用公用载波

- 数据服务单元 (DSU)

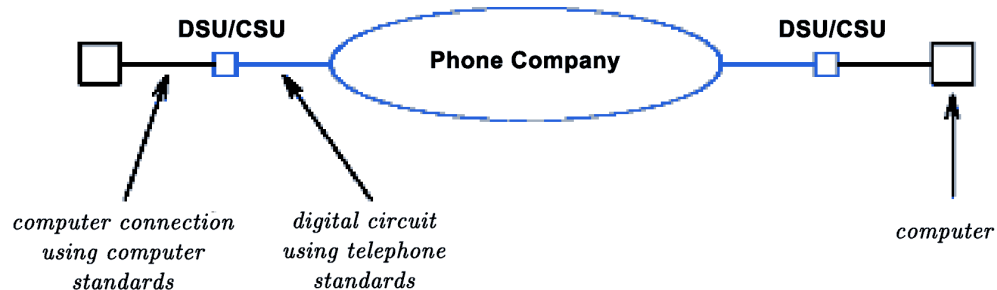
- 能够把局域网通信系统的数据帧转化成适合广域网使用的数据帧，或反向转化。

- 信道服务单元 (CSU)

- 能够对电信线路进行保护与故障诊断。

- 网络接口单元 (NIU)

- 控制计算机与通信网络进行交互的一种接口设备。



互联网接入技术：上行和下行

- 互联网接入技术是指连接到ISP的数据通信系统
- 多数互联网用户遵循非对称模式：
 - 接收数据比发送多
 - 下行（downstream）是指从互联网ISP传取数据到用户
 - 上行（upstream）是指从用户传输数据到ISP

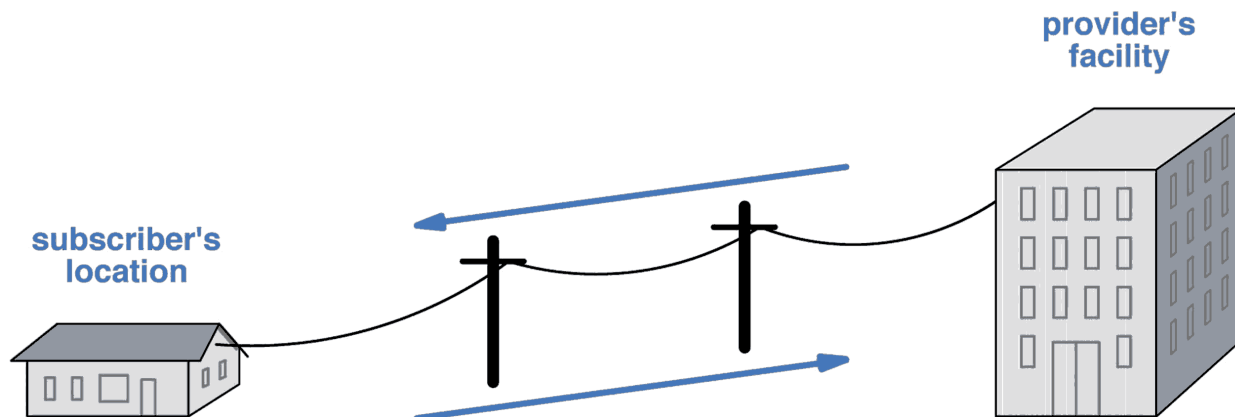


Figure 12.1 Definition of upstream and downstream directions as used in access technologies.

窄带和宽带接入技术

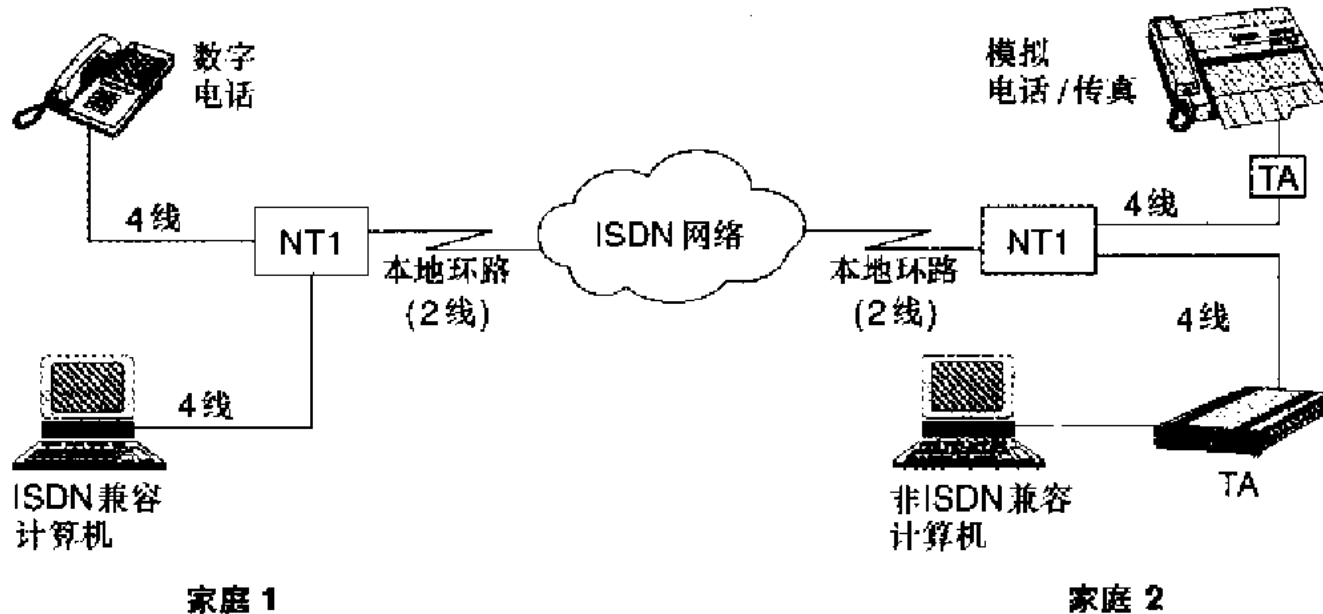
- 在网络方面，网络带宽指的是数据速率
- 宽带和窄带之间的确切边界是模糊的
 - 窄带技术（Narrowband）：在< 128 kbps的数据传输
 - 如，嘈杂的电话线拨号的最大数据速率56 kbps是窄带
 - 宽带技术（Broadband）：提供高数据速率
 - 许多人认为，宽带技术提供> 1 Mbps这并非总是如此

窄带	宽带
拨号电话连接	DSL技术
使用调制解调器的租用电路	电缆调制解调器技术
部分T1数据电路	无线接入技术
ISDN和其他电信公司的数据服务	在T1速度或更高的数据传输电路

本地环路和 ISDN

- 本地环路 (Local loop)

- 电话公司中心局和用户之间的物理连接



综合业务数字网 (ISDN)

- 综合业务数字网 (Integrated Services Digital Network , ISDN)
 - B信道：64 kbps，实现数字化的语音、数据和视频压缩
 - D通道：16 Kbps，信令，分组数据，其它，作为控制信道

名称	捆绑通道	速率	图示
基本速率接口 (BRI)	2B+D	64kbps	<div>ISDN 设备</div> <div>B通道 64kbps B通道 64kbps D通道 16kbps 系统开销 48bit</div>
初等速率接口 (PRI)	23B+D	北美DS-1 1.544Mbps	<div>ISDN 设备</div> <div>B通道 64kbps B通道 64kbps B通道 64kbps D通道 16kbps</div>
	30B+2D	欧洲E-1 2.048Mbps	

数字用户线路技术

- 非对称数字用户线路 (Asymmetric Digital Subscriber Line , ADSL) 采用频分复用 (频分多路复用)
 - 将本地环路带宽为三个区域其中一个对应于传统的模拟电话服务被称为普通旧电话服务 (POTS) 和两个区域提供数据通信

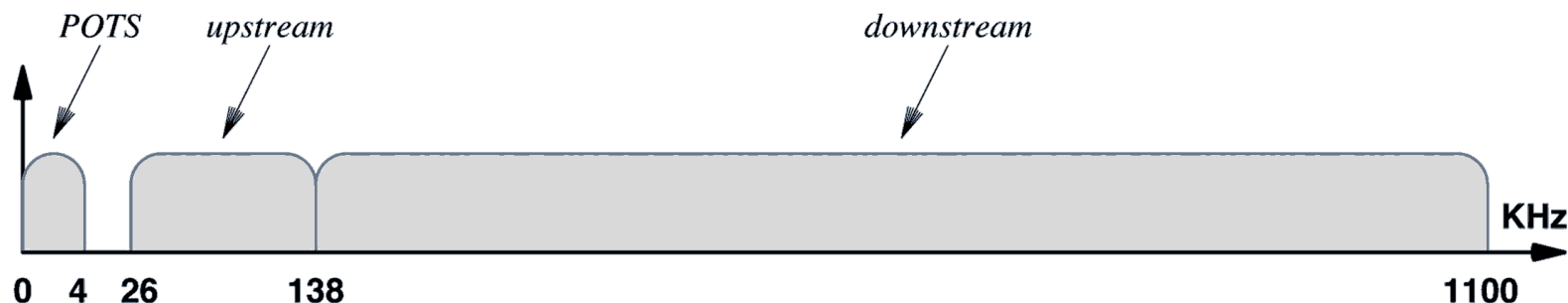


Figure 12.5 An illustration of how ADSL divides the available bandwidth of the local loop.

数字用户线路技术

- ADSL 技术就是用数字技术对现有的模拟电话用户线进行改造，使它能够承载宽带业务。
- 标准模拟电话信号的频带被限制在 300~3400 Hz 的范围内，但用户线本身实际可通过的信号频率仍然超过 1 MHz。
- ADSL 技术就把 0~4 kHz 低端频谱留给传统电话使用，而把原来没有被利用的高端频谱留给用户上网使用。
- DSL 就是数字用户线(Digital Subscriber Line)的缩写。

数字用户线路技术

- **DSL : ISDN 用户线。**
 - **ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) : 非对称数字用户线**
 - **HDSL (High speed DSL) : 高速数字用户线**
 - **SDSL (Single-line DSL) : 1 对线的数字用户线**
 - **VDSL (Very high speed DSL) : 甚高速数字用户线**
 - **RADSL (Rate-Adaptive DSL) : 速率自适应 DSL**
 - ADSL 的一个子集，可自动调节线路速率

ADSL 的极限传输距离

- ADSL极限传输距离及数据率与用户线的线径有关
 - 用户线越细，信号传输时的衰减就越大
 - 最高数据传输速率与实际用户线上的信噪比密切相关。
- 举例
 - 0.5 毫米线径的用户线，传输速率为 1.5~2.0 Mb/s 时可传送 5.5 公里；速率提高到 6.1 Mb/s，传输距离缩短为 3.7 公里。
 - 如果把用户线的线径减小到0.4毫米，那么在6.1 Mb/s的传输速率下就只能传送2.7公里

ADSL 的特点

- 上行和下行带宽做成不对称的
- 在用户线（铜线）两端各安装一个 ADSL 调制解调器。
- 我国目前采用的方案是离散多音调 DMT (Discrete Multi-Tone)调制技术。
 - 这里的“多音调”就是“多载波”或“多子信道”的意思。

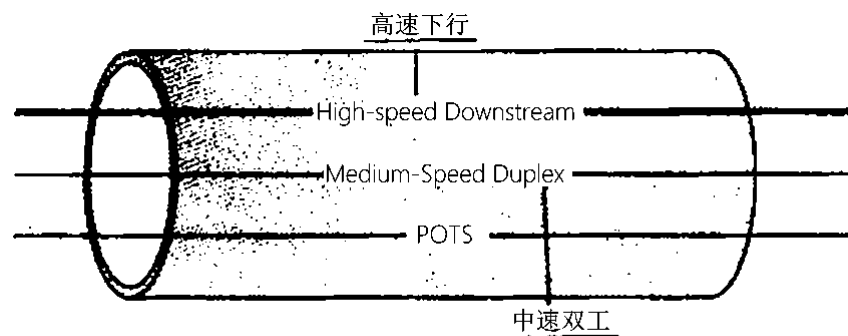


图 14.2 一个ADSL三信道管

DMT 技术

- DMT 调制技术采用频分复用的方法，把 40 kHz 以上一直到 1.1 MHz 的高端频谱划分为许多的子信道，其中 25 个子信道用于上行信道，而 249 个子信道用于下行信道。
- 每个子信道占据 4 kHz 带宽（严格讲是 4.3125 kHz），并使用不同的载波（即不同的音调）进行数字调制。这种做法相当于在一对用户线上使用许多小的调制解调器并行地传送数据。

ADSL 的数据率

- 由于用户线的具体条件相差很大，因此 ADSL 采用自适应调制技术使用户线能够传送尽可能高的数据率。
 - 距离、线径、受到相邻用户线的干扰程度等都不同
 - ADSL 启动时，用户线两端 ADSL 调制解调器即测试可用频率、各子信道受干扰情况，及在每个频率上的传输质量。
- 不能保证固定的数据率，质量很差的线甚至无法开通
- 通常下行数据率在 32 kb/s 到 6.4 Mb/s 之间，而上行数据率在 32 kb/s 到 640 kb/s 之间。

ADSL 的数据率

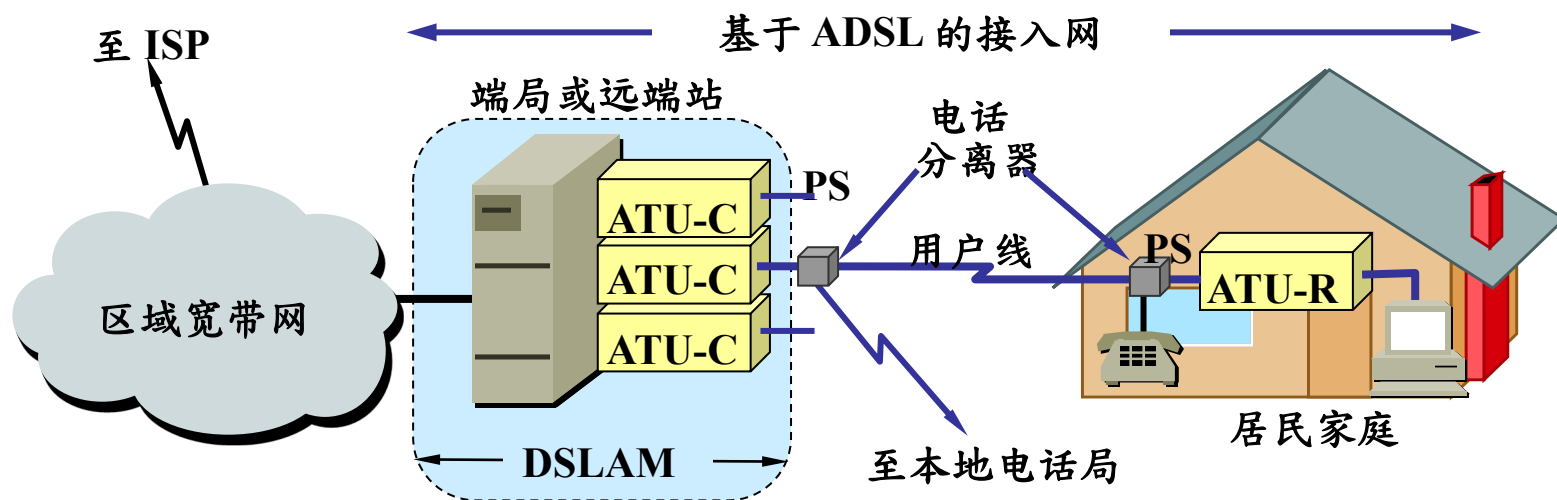
- 通过提高调制效率得到了更高的数据率。
 - ADSL2 要求至少应支持下行 8 Mb/s、上行 800 kb/s。
 - ADSL2+ 则将频谱范围从 1.1 MHz 扩展至 2.2 MHz
 - 下行速率可达 16 Mbps (最大传输速率可达 25 Mbps)
 - 上行速率可达 800 kbps

表 14.4 DSL 交叉参考

名称	描述	速率	模式
DSL	数字用户线	192Kbps	双工
HDSL	高数据/位速率 DSL	1.544Mbps 2.048Mbps	双工
SDSL	单数据线 DSL	1.544Mbps 2.048Mbps	双工
ADSL	非对称 DSL	1.5 到 9Mbps 16 到 640Kbps	顺流 逆流
VDSL	超高速 DSL	1.3 到 52Mbps 1.5 到 23Mbps	顺流 逆流

ADSL 的组成

- 数字用户线接入复用器 (DSL Access Multiplexer)
- 接入端接单元 ATU (Access Termination Unit)
 - C 代表端局 Central Office, R 代表远端 Remote
- 电话分离器 PS (POTS Splitter)



电缆调制解调器技术

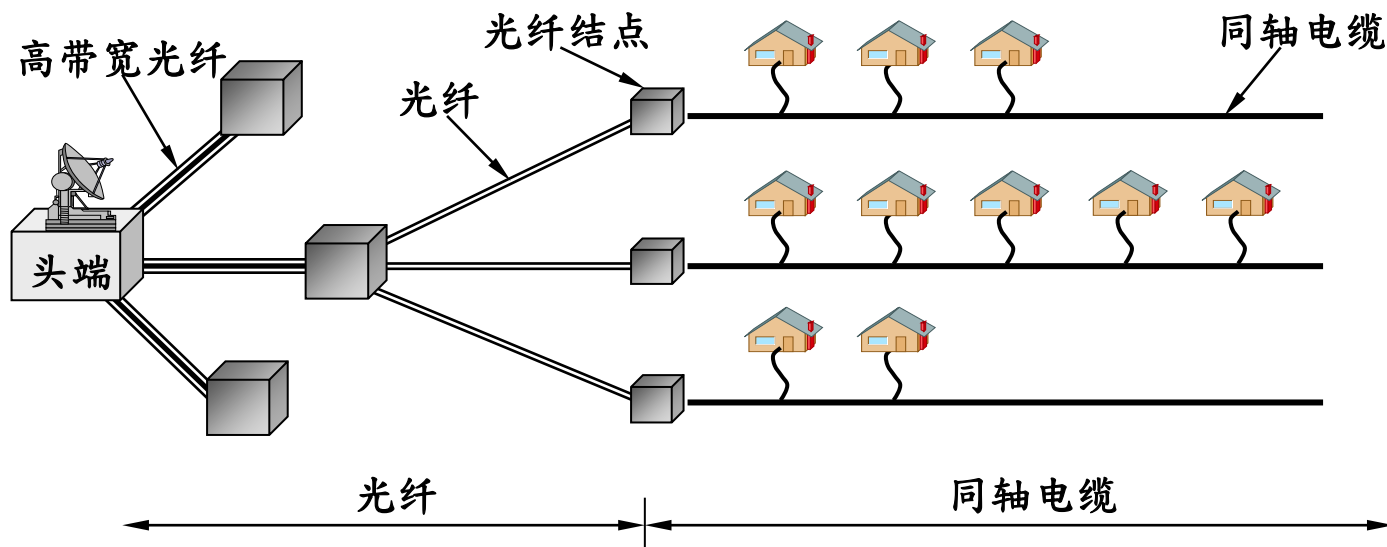
- 社区天线电视 (CATV)
- 采用频分复用在同轴电缆传输电视信号
- 同轴电缆比双绞线高带宽，不易受到电磁干扰
- 理论上，电缆系统支持52 Mbps下行和512 kbps上行
 - 在实践中，速率少得多
- 与其他用户共享带宽可能是一个缺点

光纤同轴混合网（HFC）

- 光纤同轴混合网（Hybrid Fiber Coax）
 - 在目前覆盖面很广的有线电视网 CATV 的基础上开发的一种居民宽带接入网。
 - 可传送 CATV，还提供电话、数据和其他宽带交互型业务。
- CATV 网
 - 树形拓扑结构的同轴电缆网络
 - 采用模拟技术的频分复用对电视节目进行单向传输
 - HFC 网需要对 CATV 网进行改造

光纤同轴混合网 (HFC)

- 用户接口盒 UIB (User Interface Box) 要提供三种连接
 - 使用同轴电缆连接到机顶盒，然后再连接到用户的电视机。
 - 使用双绞线连接到用户的电话机。
 - 使用电缆调制解调器连接到用户的计算机。



采用光纤的接入技术

- **FTTx** 是一种实现宽带居民接入网的方案。
 - **FTTH**：光纤一直铺到家庭可能是居民接入网最终解决方法
 - **FTTB**：光纤进入大楼后就转换为电信号，然后用电缆或双绞线分配到各用户。
 - **FTTC**：从路边到用户可用星形结构双绞线作为传输媒体。

名称	全称	
FTTC	Fiber To The Curb	到小区边界外
FTTB	Fiber To The Building	允许高上行
FTTH	Fiber To The Home	光纤到户，更高上行，视频信道
FTTP	Fiber To The Premises	FTTB和FTTH的通称

在互联网核心的大容量连接

- 接入技术处理最后一英里问题
 - 最后一英里被定义为到一个典型住宅用户或小企业的连接
- 核心是指互联网骨干的连接，核心技术是指高速技术

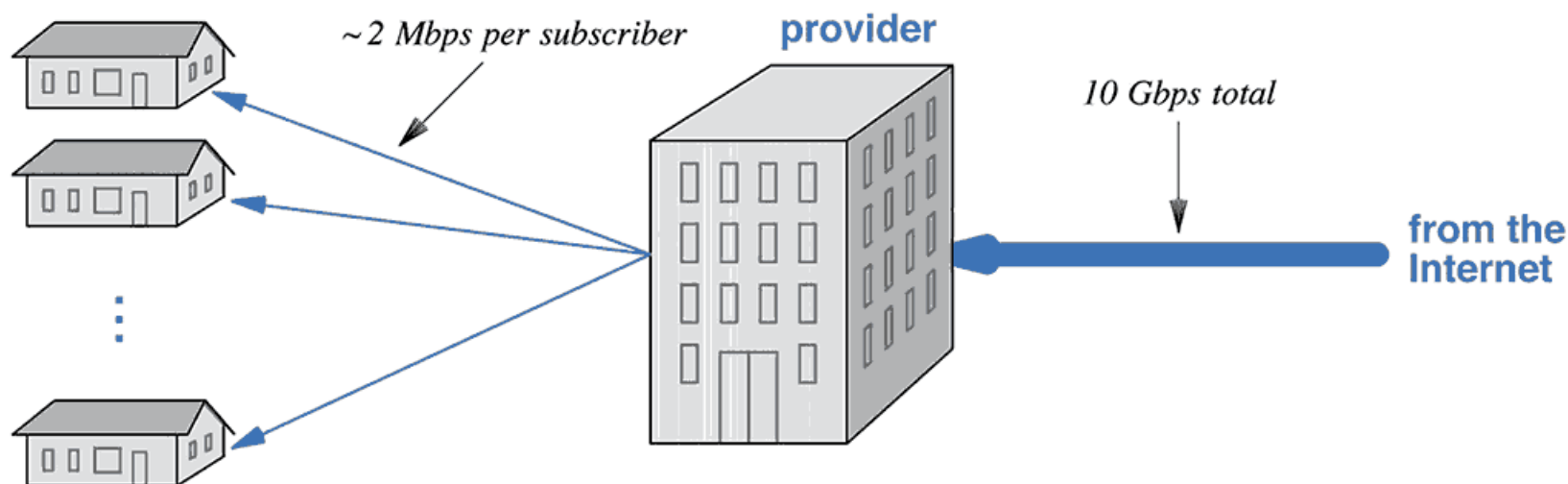


Figure 12.10 Aggregate traffic from the Internet to a provider assuming the provider has 5,000 customers each downloading 2 Mbps.

在互联网核心的大容量连接

- 提供速度在10 Gbps的长距离移动数据，在于从电话公司租用的点对点数字电路高容量数字电路
- 每月付费，用于传输数据
 - 费用取决于电路的数据速率和跨越的距离
- 电话公司有权安装穿过市政街道的电线
- 一个电路可以两楼之间延伸，或从一个城市到另一个城市

数据线路的电话标准

- 由于历史原因，PCM 有两个互不兼容的国际标准
 - 北美的 24 路 PCM（简称为 T1），1.544 Mb/s
 - 欧洲的 30 路 PCM（简称为 E1），2.048 Mb/s
 - 我国采用的是欧洲的 E1 标准。
- DS-n表示一个标准，而 T-n表示符合标准的电路
- 当需要有更高的数据率时，可采用复用的方法。

名称	比特率	语音线路	地区
基本速率	0.064 Mbps	1	
T1	1.544 Mbps	24	北美
T2	6.312 Mbps	96	北美
T3	44.736 Mbps	672	北美
E1	2.048 Mbps	30	欧洲
E2	8.448 Mbps	120	欧洲
E3	34.368 Mbps	480	欧洲

高容量电路（STS标准）

- 电话公司使用干线（trunk）来表示高容量电路，并为数字中继电路创造了一系列标准
- 同步传输信号（Synchronous Transport Signal，STS）标准指定高速连接的细节

Copper Name	Optical Name	Bit Rate	Voice Circuits
STS-1	OC-1	51.840 Mbps	810
STS-3	OC-3	155.520 Mbps	2430
STS-12	OC-12	622.080 Mbps	9720
STS-24	OC-24	1,244.160 Mbps	19440
STS-48	OC-48	2,488.320 Mbps	38880
STS-192	OC-192	9,953.280 Mbps	155520

STS和OC标准

- STS标准指的是应用在数字电路接口的电气信号
 - 例如，铜
- OC (Optical Carrier) 标准指光信号在光纤中传播
- 其它C后缀表示级联 (concatenated)

同步光纤网 SONET

- 同步光纤网 SONET (Synchronous Optical Network) 的各级时钟都来自一个非常精确的主时钟。
- 第 1 级同步传送信号 STS-1 (Synchronous Transport Signal) 的传输速率是 51.84 Mb/s。
- 光信号则称为 OC-1 (Optical Carrier)

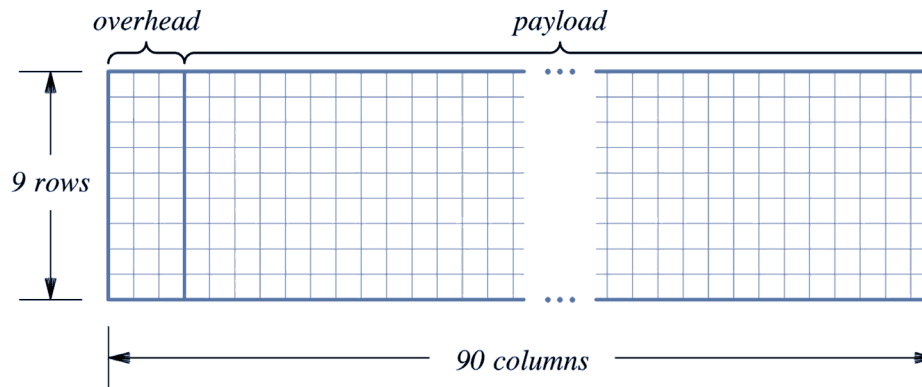


Figure 12.13 Illustration of a SONET frame when used over an STS-1 circuit.

内容纲要

1	远程数字连接的技术
2	网络技术过去与现在
3	网络所有权、服务模式和性能

广域网技术实例

- ARPANET
- 公用电话交换网PSTN
- 公用分组交换网X.25
- Frame Relay (帧中继)
- SMDS (交换多兆位数据服务 Switched Multi-megabit Data Service)
- ATM异步传输模式 (Asynchronous Transfer Mode)

广域网结构

- 虚电路：面向连接，类似电话系统

- 原理

- 建立虚电路（填表）、数据转发（查表）、释放虚电路（删表）

- 特点

- 存在虚电路建立过程
 - 数据转发沿着同一条路径
 - 报文的投递可靠
 - 报文中不需要目的地址，只需要虚电路号
 - 虚电路必需进行释放

广域网结构

- 数据报：无连接，类似电报系统

- 原理

- 路由器为每个入站的报文单独选择一条输出线路

- 特点

- 不需要虚电路建立过程
 - 路由器必须为每个输入报文单独进行路由选择
 - 报文投递是不可靠的
 - 每个报文必须包含目的地址

两者比较

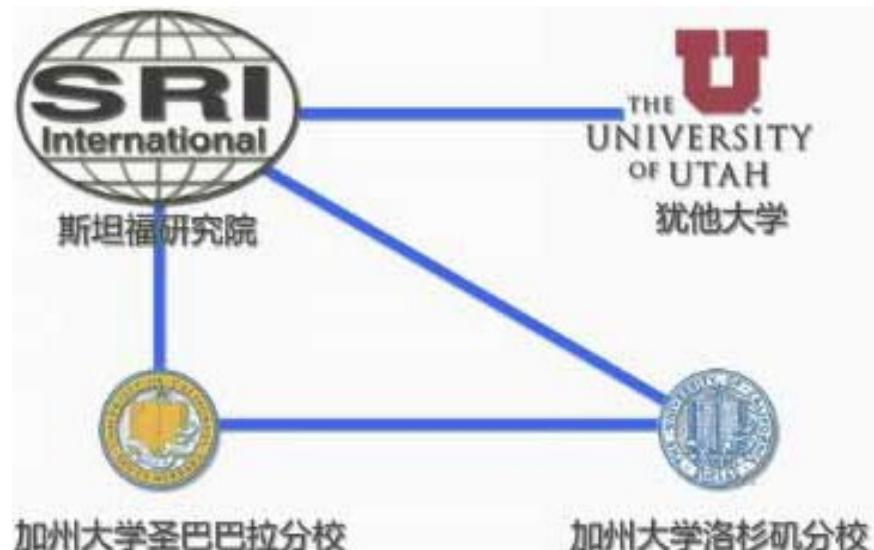
- 从广域网内部来看

- 交换机的内存空间与线路带宽的权衡
- 虚电路建立时间和路由选择时间的比较

项目	数据报	虚电路
电路建立	不需要	需要
地址	每个报文都必须有完整的源和目的地址	每个报文只需要一个虚电路号
状态信息	子网不存储状态信息	每条虚电路都占用子网的表空间
路由选择	每个报文单独进行	在建立虚电路时进行路由选择
路由器失效的影响	除在崩溃时丢失路由器中的报文，对其它的报文没有影响	所有经过失效路由器的虚电路都要被中止
拥塞控制	难	容易
用户服务	“端到端” (end-to-end) 控制	“跳到跳”(hop-by-hop) 控制

ARPANET

- 美国高级研究计划署网络 (ARPANET) (1969-1990)
 - 第一个分组交换广域网
 - 美国国防部高级研究计划署 (Advanced Research Projects Agency)
 - 最初：4 个站点
 - 租用串行数据线，56Kbps
 - Born: 1969; Obsolete: 1990



PSTN

- **PSTN (1876-Now)**

- **Public Switched Telephone Network**，公共交换电话网
- 目前世界上最大的网络，拥有用户数量大约是8亿
- 以电路交换技术为基础；传输模拟话音的通信网络。
- 组成
 - 本地回路：模拟线路；干线：数字化；电话交换机：数字化程控
- 两台计算机想通过PSTN进行通信时，必须引入Modem

X.25

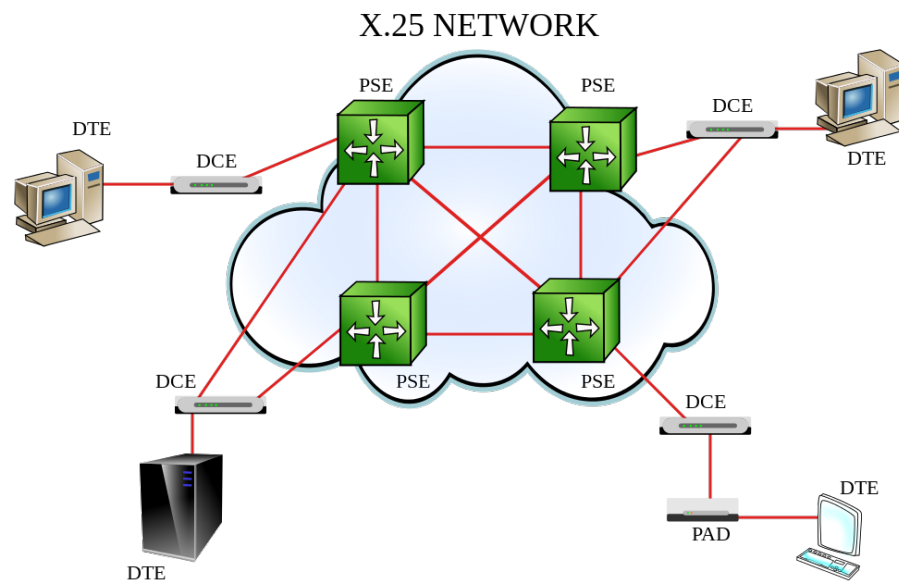
- CCITT X.25 (1976-Now)

- CCITT国际电话电报咨询委员会(Consultative Committee for International Telephone and Telegraph)

- X.25是关于DTE和DCE之间的接口

- X.25建议：一个DTE如何连接到有关分组交换网上

- 每一个X.25网络由两个或两个以上的X.25分组交换机通过专线互联。



X.25的特点

- X.25是面向连接的，它支持交换虚电路服务
 - 交换虚电路SVC
 - 永久虚电路PVC
- X.25提供差错控制
- X.25提供流量控制

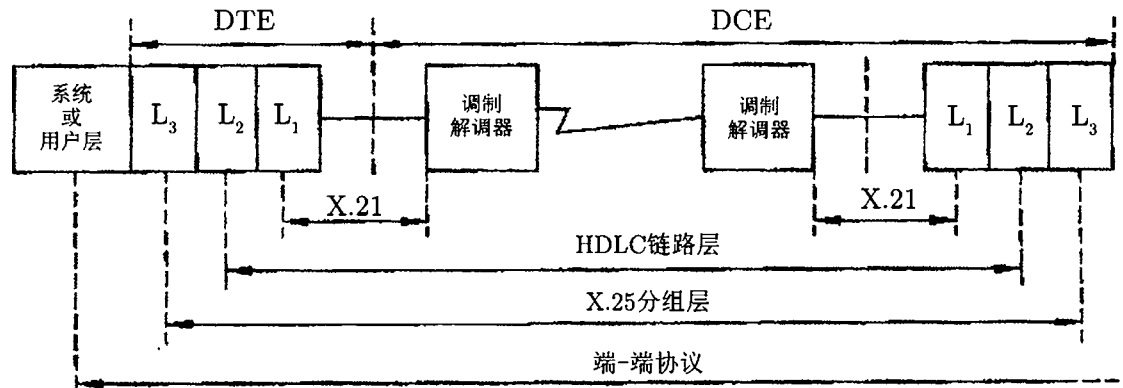


图 15.13 DTE / DCE 接口的协议层次

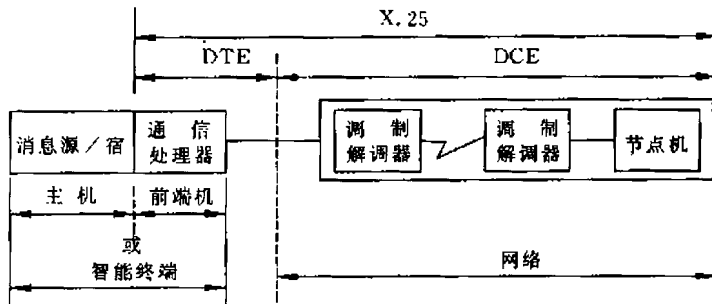
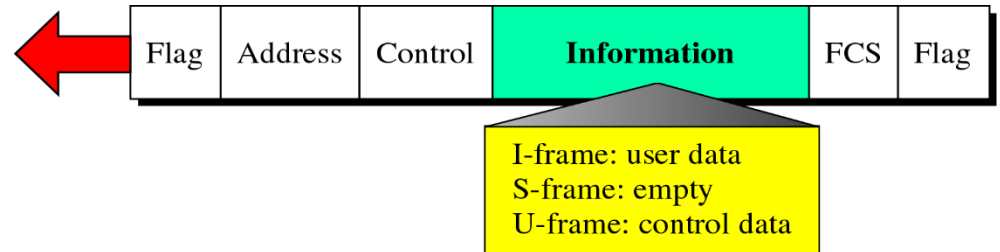


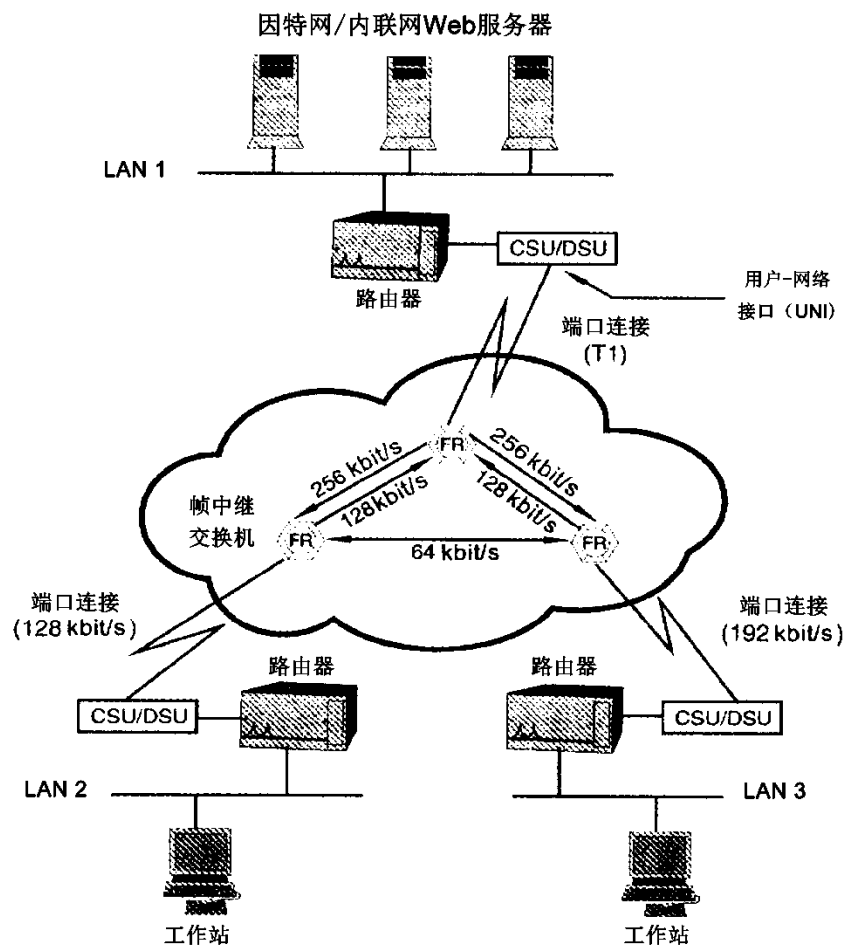
图 15.12 X.25 环境下的 DTE 与 DCE



帧中继 (Frame Relay)

- Frame Relay (1972-Now)

- 用于桥接LAN网段的FR服务
- 帧中继用于接收和传送数据块每块可包含8KB的数据。
- 为处理一个网段的数据，帧中继必须在高数据率操作（ 1.5Mbps或56kbps ）。



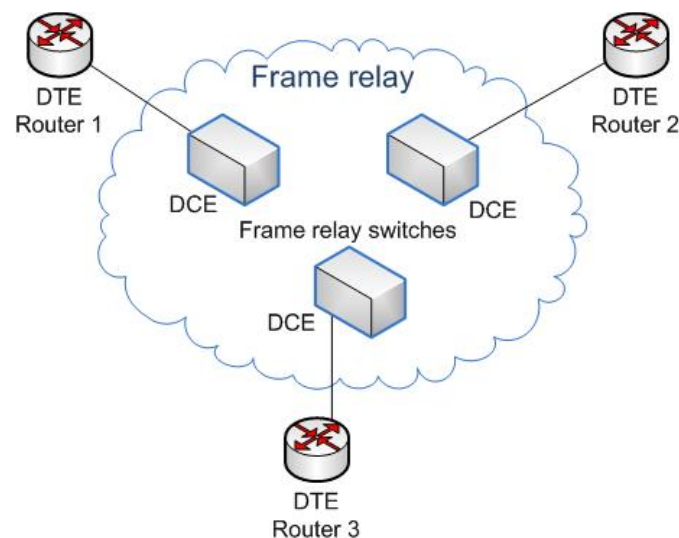
FR的特点

- 优点

- FR支持较高速率（T1或T3）
- FR只包含物理层和数据链路层，比X.25开销小
- FR允许支持突发数据，且帧长度可达9000字节

- 缺点

- 不提供差错控制功能
- 对多媒体数据传输的支持不够

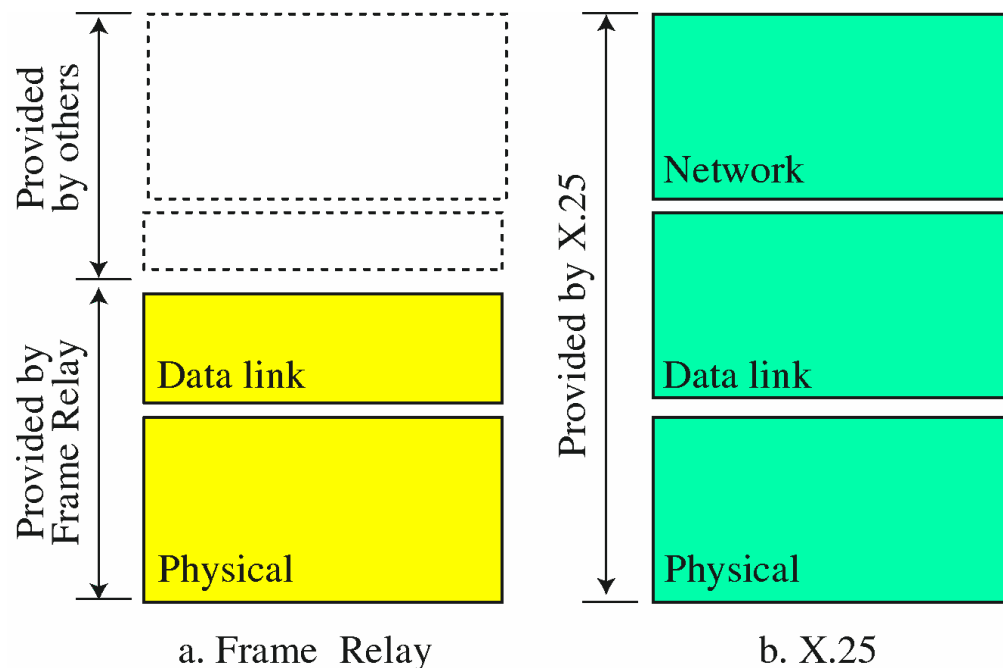


X.25与FR的比较

	X.25	FR
传输线路	缓慢，模拟，可靠	快速，数字，不可靠
计算机	缓慢，昂贵的	快速，廉价
协议简易度	复杂	比较简单
智能程度	网络保证数据传输的可靠性， 端用户对数据的处理相对简单	网络不保证数据传输的可靠性， 端用户对数据的处理相对复杂
分层	物理层、数据链路层、网络层	物理层、数据链路层
连接建立	在网络层	无
流量和差错控制	数据链路层：逐跳的 网络层：端到端的	无
数据传输率	固定	可变
多路复用	网络层	数据链路层
拥塞控制	不需要	需要

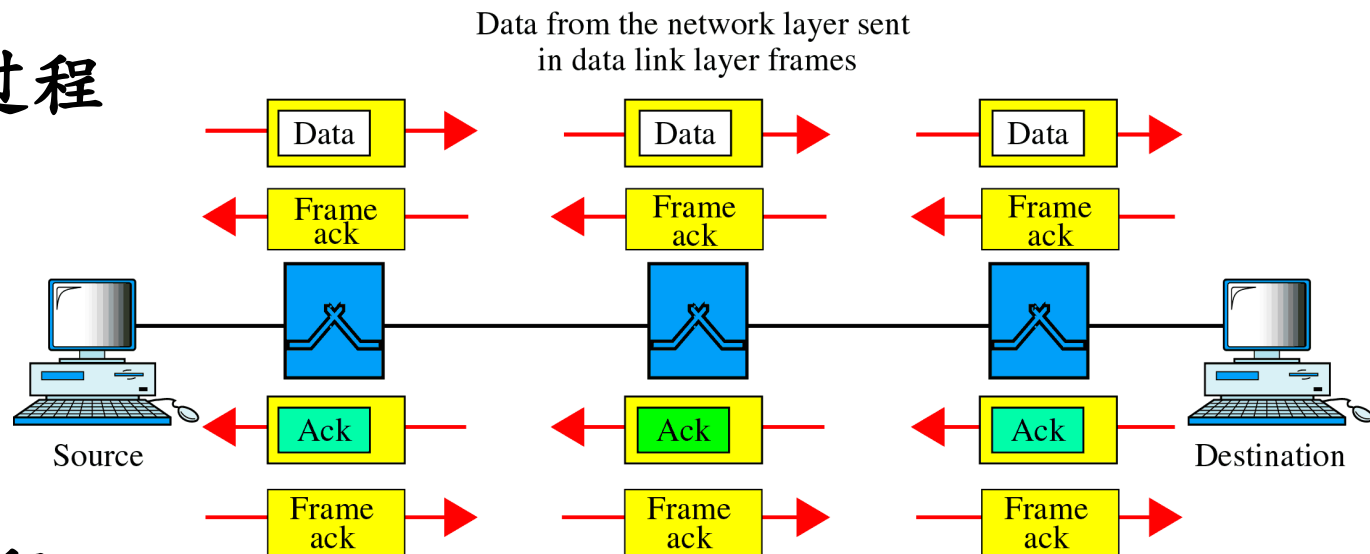
X.25与FR的比较

- FR是轻型化的X.25，与X.25相比
 - 保留了X.25的物理层功能
 - 保留了X.25部分数据链路层功能，并将多路复用功能放在第二层实现
 - 丢弃了X.25第三层

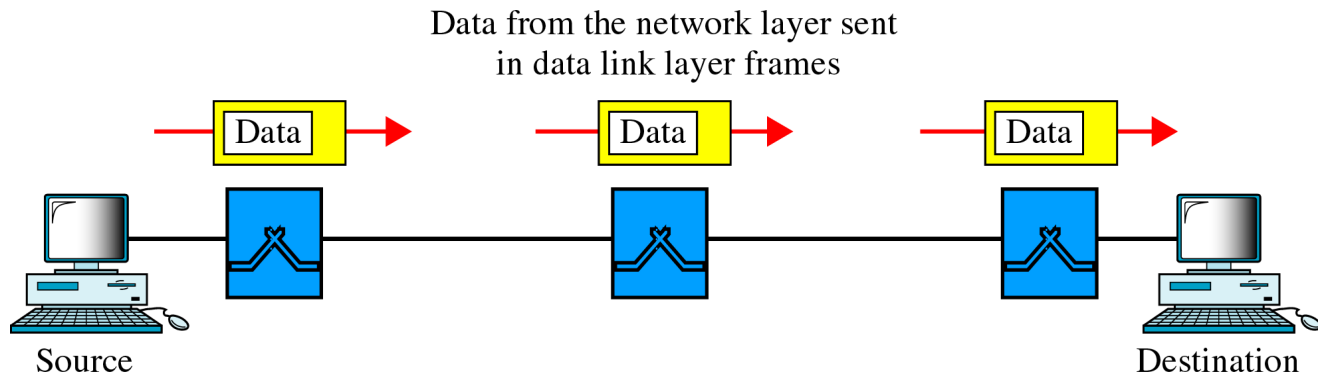


X.25和FR的比较：通信过程

• X.25的通信过程



• FR的通信过程



交换式多兆位数据服务 (SMDS)

- 交换式多兆位数据服务SMDS

- 用于连接多个局域网
- 其设计是针对突发数据通信的。
- 标准速率是45Mbps，也支持低于45Mbps的速率
- 提供无连接的数据传输服务
- 已被SONET取代

服务范例比较

- 各种技术的连接类型和使用场景

技术	面向连接	无连接	用于LAN	用于WAN
以太网		*	*	
令牌环		*	*	
FDDI		*	*	
帧中继	*			*
SMDS		*		*
ATM	*		*	
LocalTalk		*	*	

内容纲要

1	远程数字连接的技术
2	网络技术过去与现在
3	网络所有权、服务模式和性能

网络所有权

- 私有网络

- 网络的使用仅限于公司或个人拥有者
- 对技术决策和策略有完全的控制权，保证网络与组织外的计算机隔离，安装和维护昂贵

- 公有网络

- 由服务提供商拥有和运营，任何用户可以使用
- 灵活性和能够使用先进的网络，而不需维护技术专长。

- 大多数公共网络提供私人通信。

虚拟专用网（VPN）

- 虚拟专用网（Virtual Private Networks）
 - 在公用网络上建立专用网络，进行加密通讯。
 - 有的公司没有分布各地的部门，但有很多流动员工在外地工作。他们提供远程接入VPN和公司保持联系
 - 在外地工作的员工拨号接入因特网，而员工计算机中的VPN软件可在和公司的主机之间建立VPN隧道，通信的内容是保密的，像是使用公司内部本地网络。
 - VPN系统使用加密保证绝对隐私，即使局外人确实设法获得一个包的副本，外人将无法解释的内容。

性能度量

- 关键量度

- 延迟（时延）：传播时延、接入时延、交换时延、队列时延、服务器时延
- 吞吐率（容量）：网络可以支持的最大传输速率
 - 单位：bps, kbps, Mbps, Gbps；注意：bit per second
 - 传输延迟是信号在信道的持续时间，吞吐率是信号输入信道的速率
- 抖动（变化量）：评估时延的变化量
 - 处理方法：设计无抖动的等时网络；采用补偿抖动的协议（RTP）

服务质量 (QoS)

- 网络服务的等级
- 服务提供商与用户的契约
 - 层级服务：按服务等级计算金额
 - 例如：电信宽带分4Mbps，6Mbps等
 - 服务保证
 - 证券交易：时延不超过10ms
 - 公司需要备份数据中心：吞吐率不少于1Gbps
- 测量服务质量的工具
 - 简单工具：Ping，原理：Echo协议

8

谢谢

理论课程



廈門大學
XIAMEN UNIVERSITY



信息学院
(国家示范性软件学院)
School of Informatics

黃 煒
博士, 副教授
Dr. Wei Huang