

8

远距离数字连接

理论课程

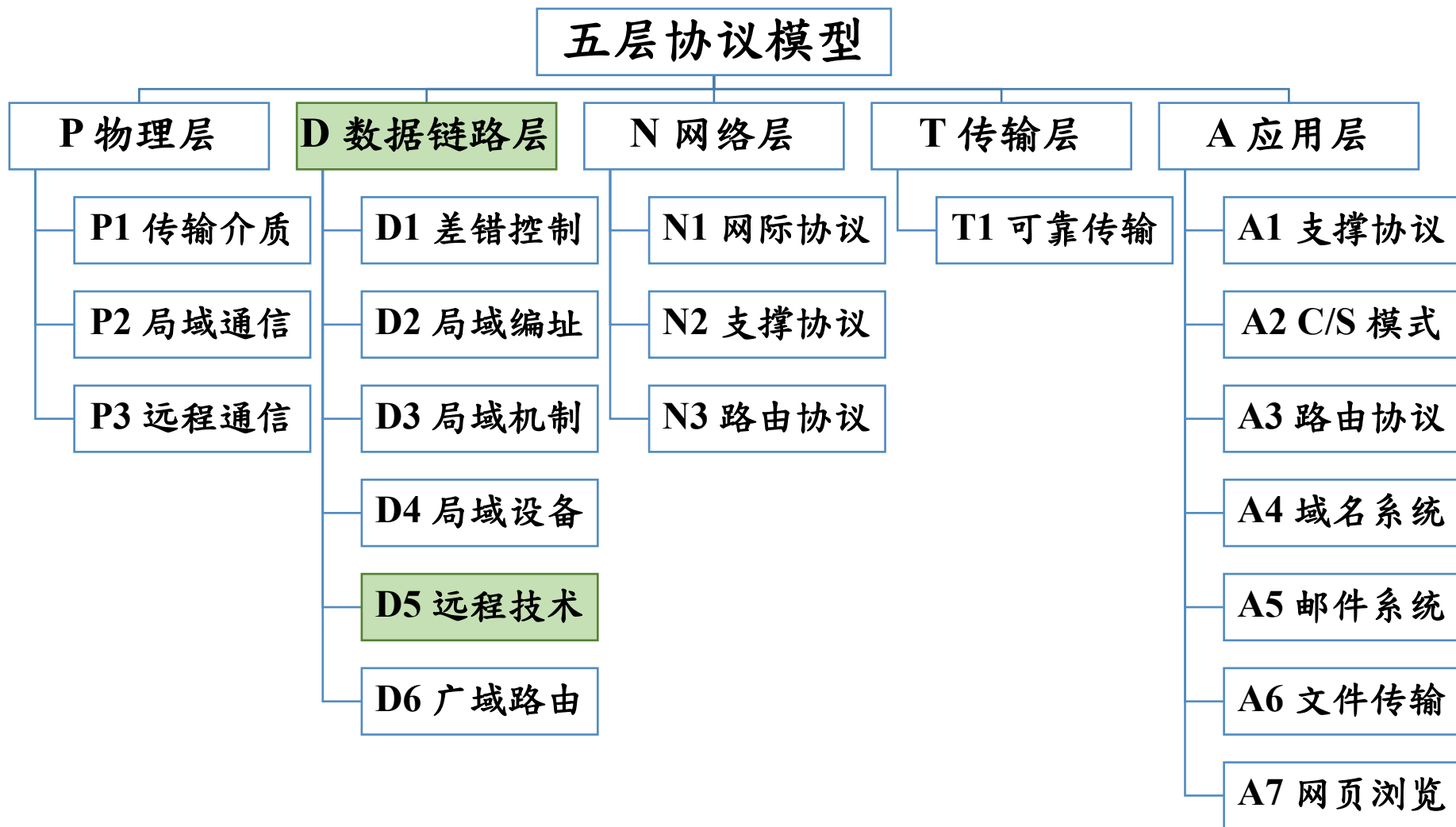


廈門大學
XIAMEN UNIVERSITY



信息学院 黃 煒
(国家示范性软件学院) 博士, 副教授
School of Informatics 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

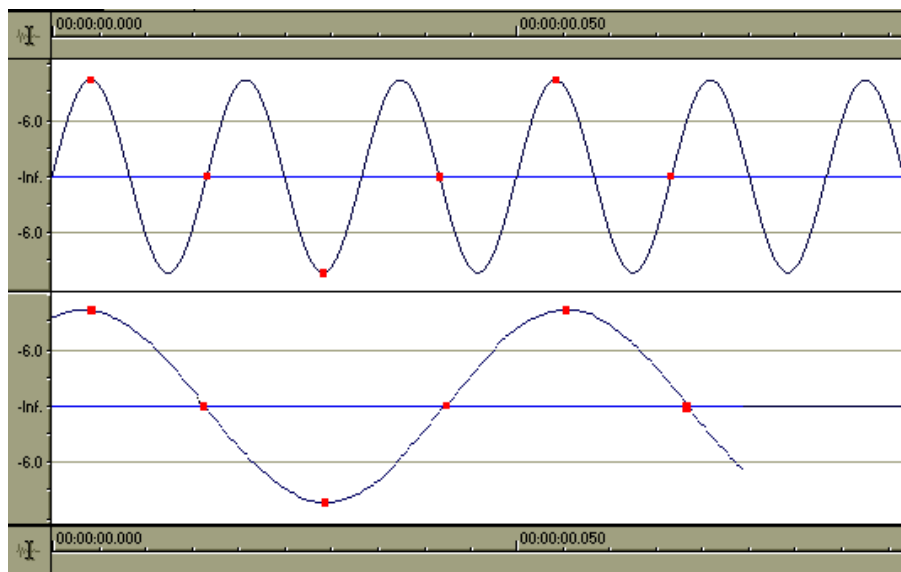
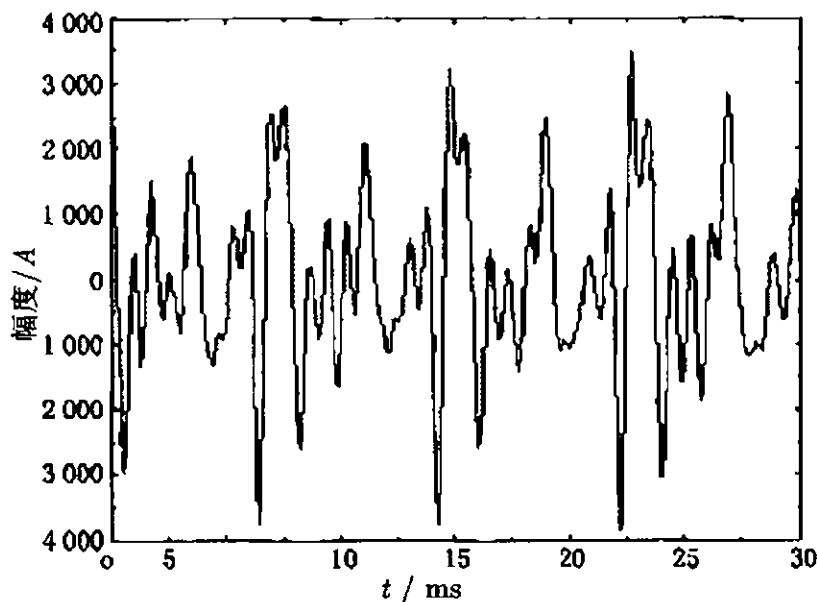
- **PART III Packet Switching And Network Technologies**
 - Chapter 19 Networking Technologies Past And Present
 - Chapter 30 Network Security
 - 30.17 Virtual Private Networks (VPNs)
 - 30.18 The Use of VPN Technology For Telecommuting
- **PART V Other Networking Concepts & Technologies**
 - Chapter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

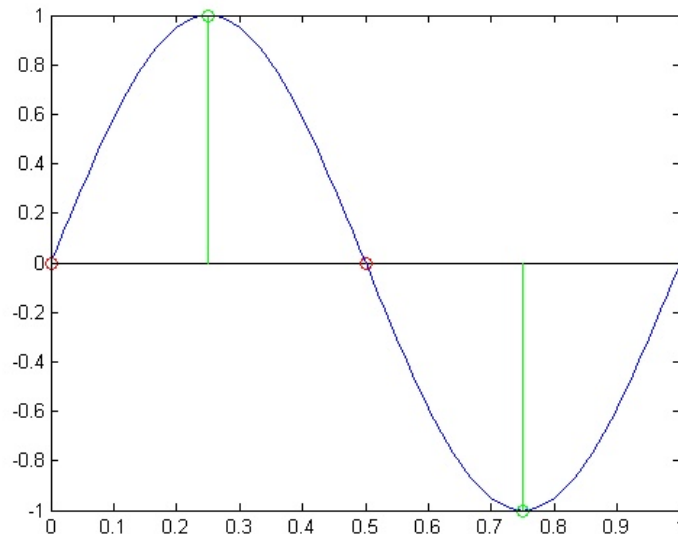
数字电话 (Digital Telephony)

- 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。

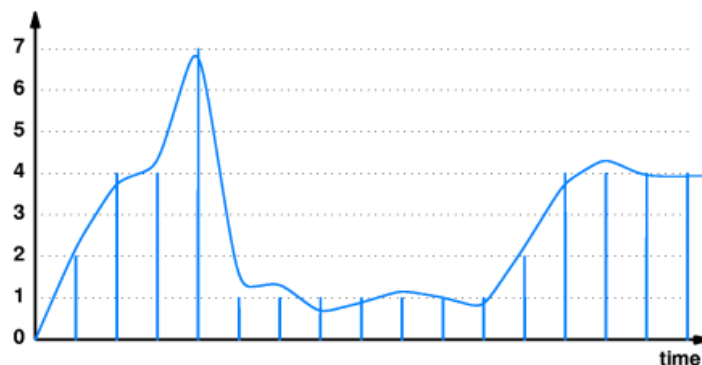


Figure 12.1 An illustration of digitization using eight values. Each vertical line represents an integer value chosen for one sample.

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)

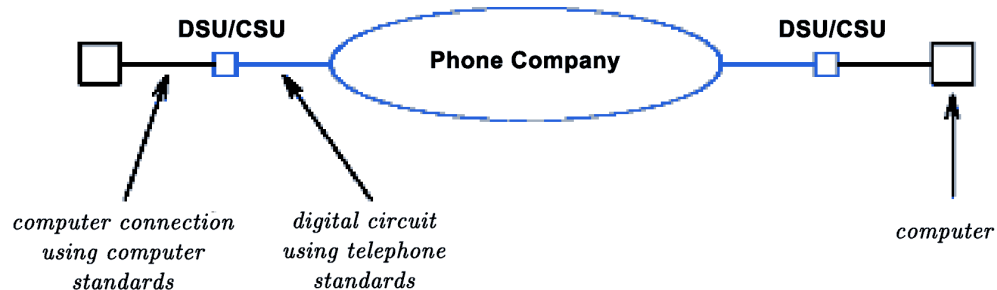
- 能够把局域网通信系统的数据帧转化成适合广域网使用的数据帧，或反向转化。

- 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

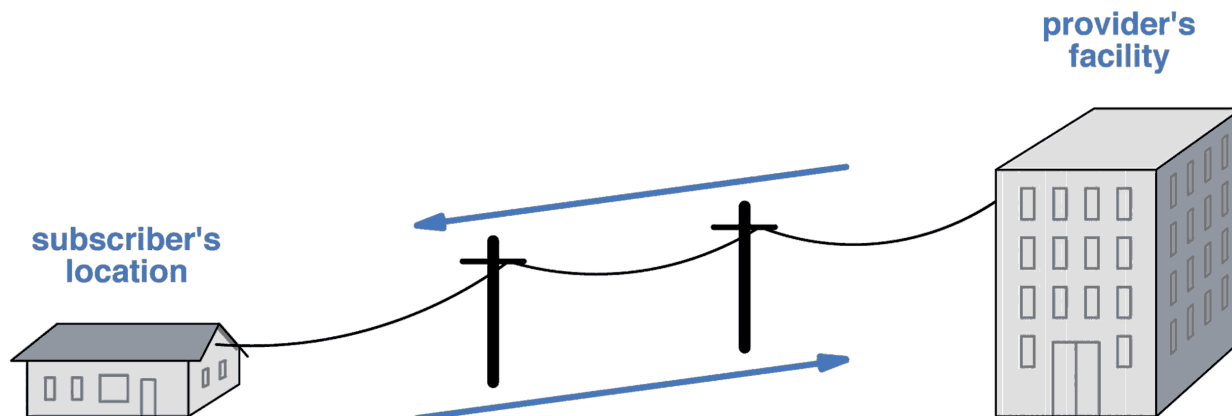


Figure 12.1 Definition of upstream and downstream directions as used in access technologies.

窄带和宽带接入技术

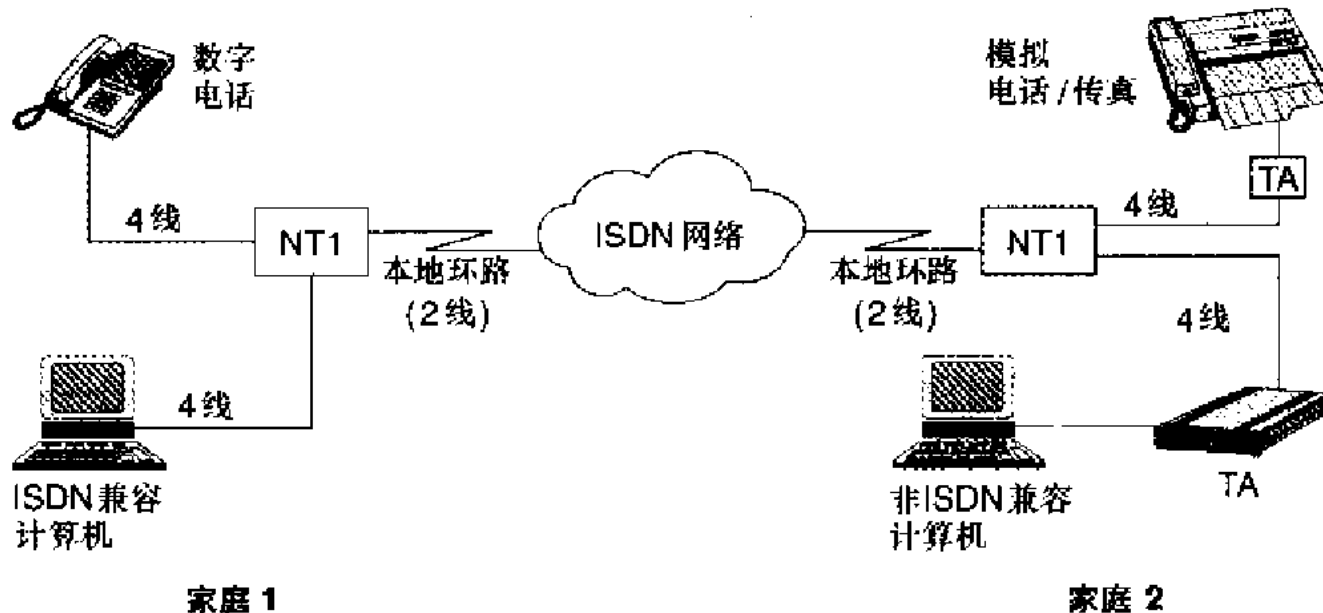
- 在网络方面，网络带宽指的是数据速率
- 宽带和窄带之间的确切边界是模糊的
 - 窄带技术（Narrowband）：在< 128 kbps的数据传输
 - 如，嘈杂的电话线拨号的最大数据速率56 kbps是窄带
 - 宽带技术（Broadband）：提供高数据速率
 - 许多人认为，宽带技术提供> 1 Mbps这并非总是如此

| 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

- 英文：Asymmetric Digital Subscriber Line，ADSL

- 采用频分复用（频分多路复用）：ADSL 调制解调器

- 上行和下行带宽不对称

- 将本地环路带宽为三个区域：

- 一个对应于传统的模拟电话服务，称为普通旧电话服务（POTS）

- 两个提供数据通信的区域

- 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。

DMT 技术

- DMT 调制技术采用频分复用的方法
 - 把 0 ~ 4 kHz 低端频谱留给传统电话使用
 - 把 40 kHz ~ 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 4.3125 kHz 带宽，用不同载波数字调制。
 - 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。

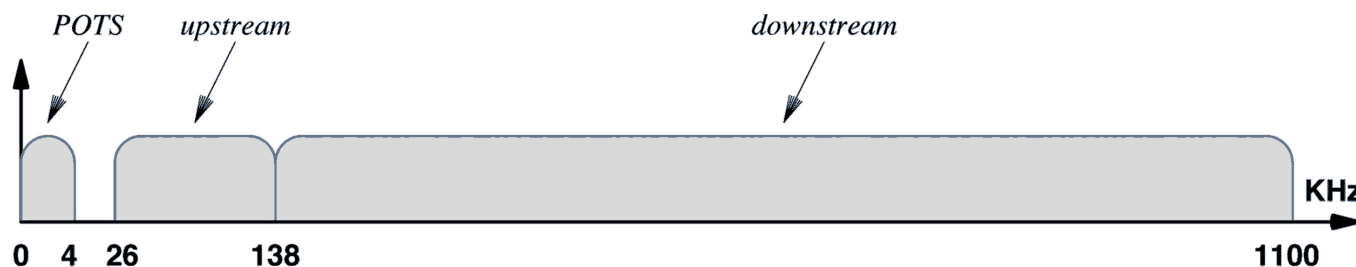


Figure 12.5 An illustration of how ADSL divides the available bandwidth of the local loop.

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

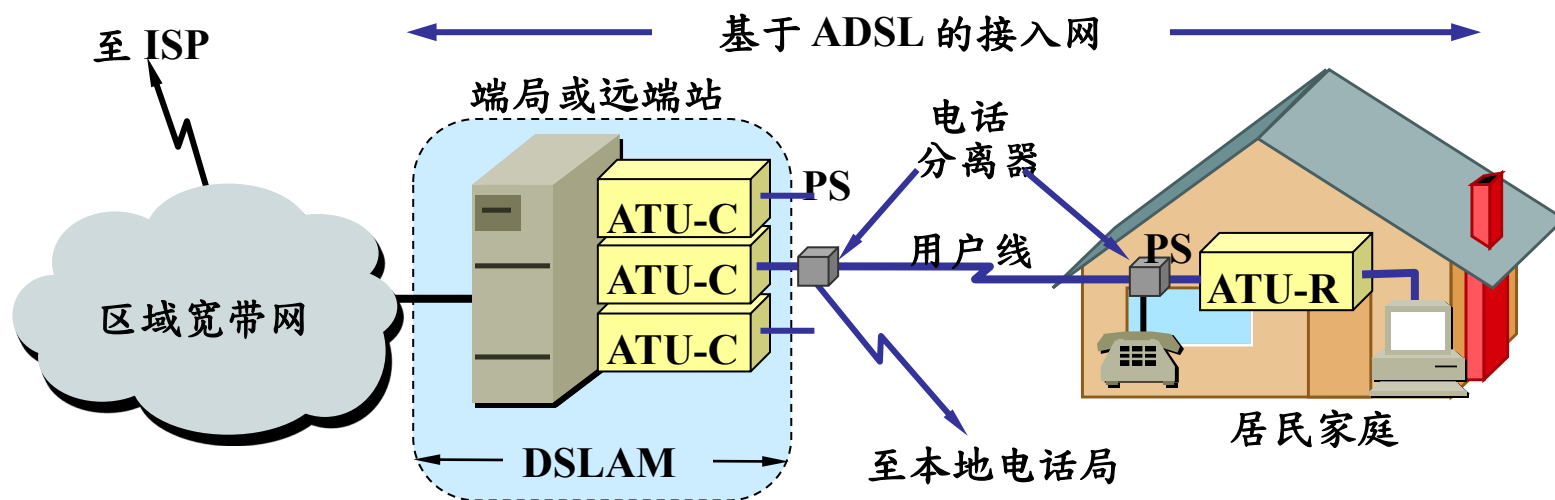
- 通过提高调制效率得到了更高的数据率。
 - ADSL2 要求至少应支持下行 8 Mb/s、上行 800 kb/s。
 - ADSL2+ 则将频谱范围从 1.1 MHz 扩展至 2.2 MHz
 - 下行速率可达 16 Mbps (最大传输速率可达 25 Mbps)
 - 上行速率可达 800 kbps

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

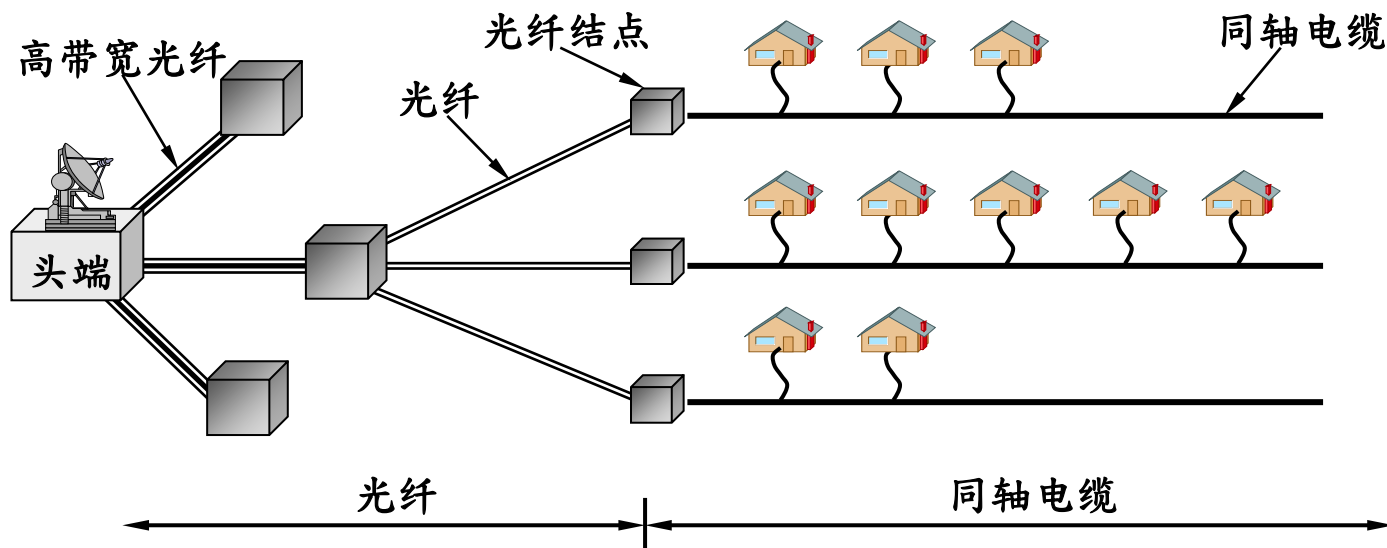
- 社区天线电视 (CATV)
- 采用频分复用在同轴电缆传输电视信号
- 同轴电缆比双绞线高带宽，不易受到电磁干扰
- 理论上，电缆系统支持52 Mbps下行和512 kbps上行
 - 在实践中，速率少得多
- 缺点：与其他用户共享带宽

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 | 说明 |
|------|-----------------------|----------------|
| 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

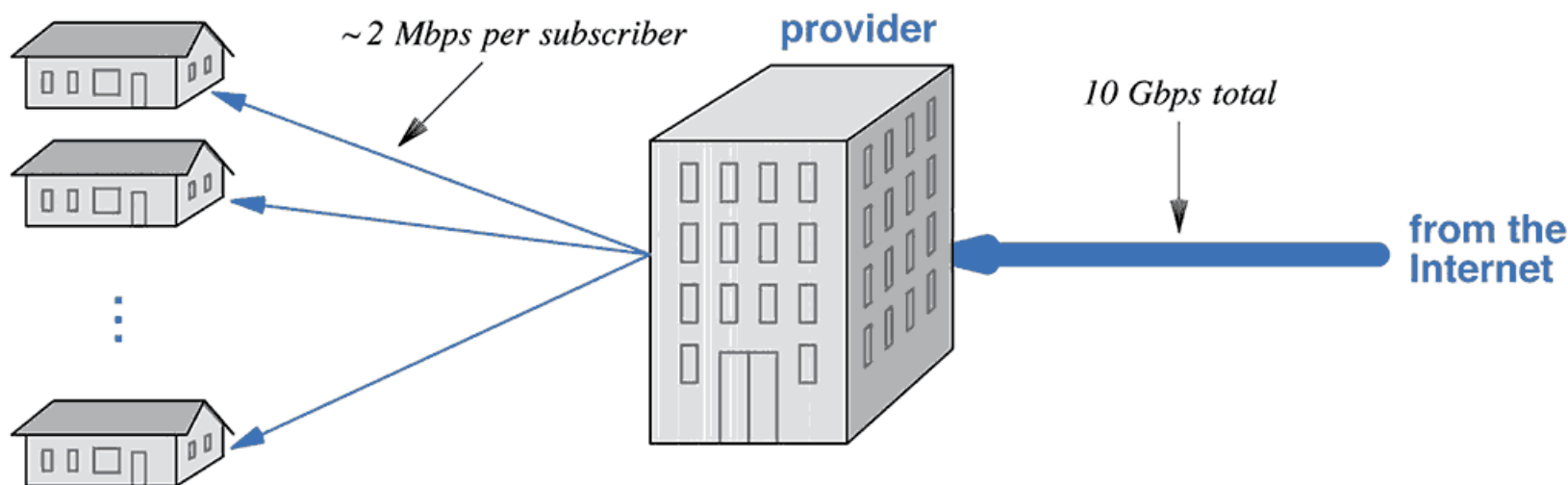


Figure 12.10 Aggregate traffic from the Internet to a provider assuming the provider has 5,000 customers each downloading 2 Mbps.

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 |

大容量电路（STS标准）

- 电话公司使用干线（trunk）来表示大容量电路，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电气信号
 - OC（Optical Carrier）标准指光信号在光纤中传播
 - C后缀表示级联（concatenated）

| 铜线名 | 光纤名 | 比特率 | 语音电路 |
|---------|--------|----------------|--------|
| 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 |

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)

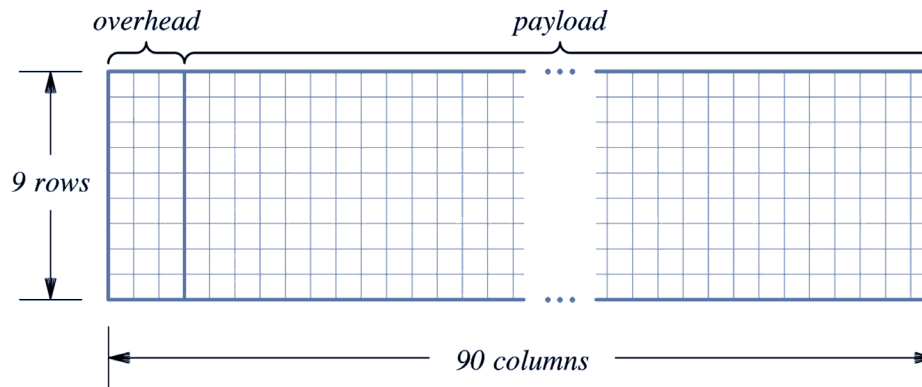


Figure 12.13 Illustration of a SONET frame when used over an STS-1 circuit.

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

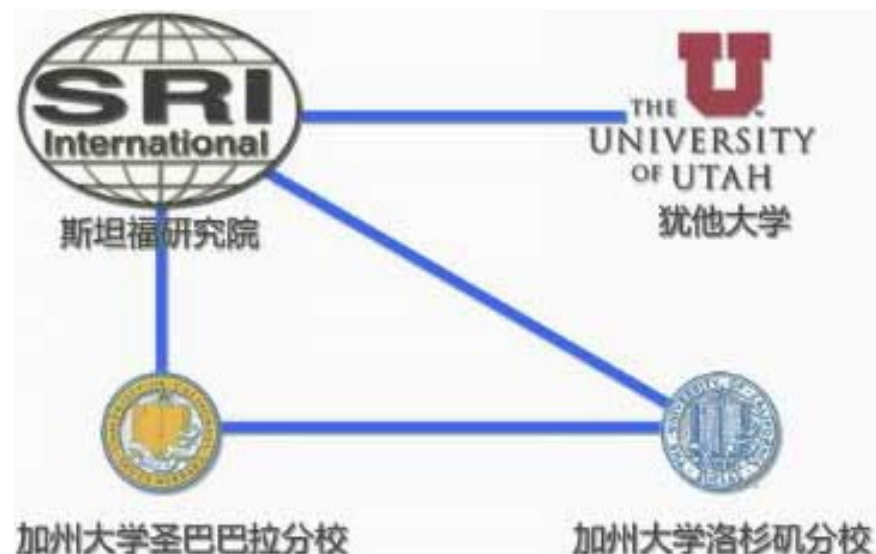
- 从广域网内部来看

- 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

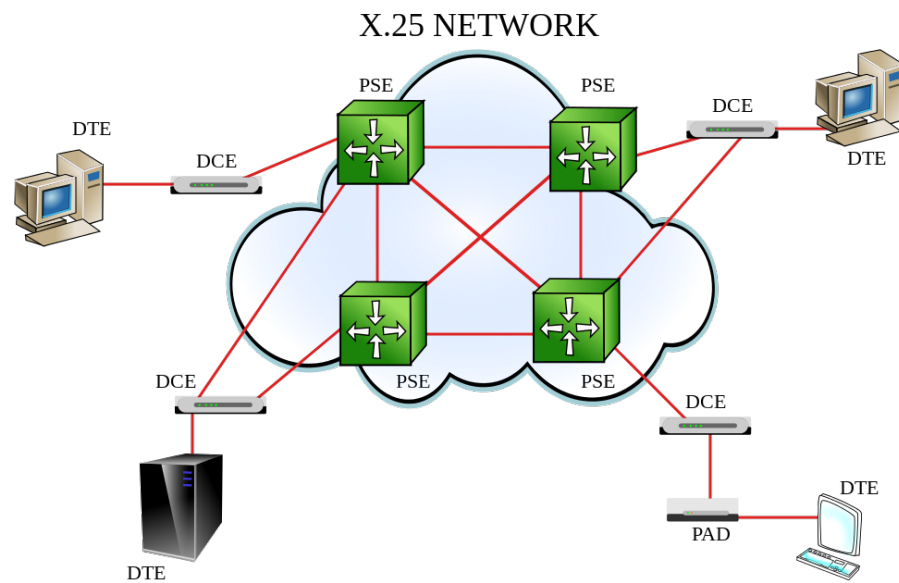
- CCITT X.25 (1976-Now)

- 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

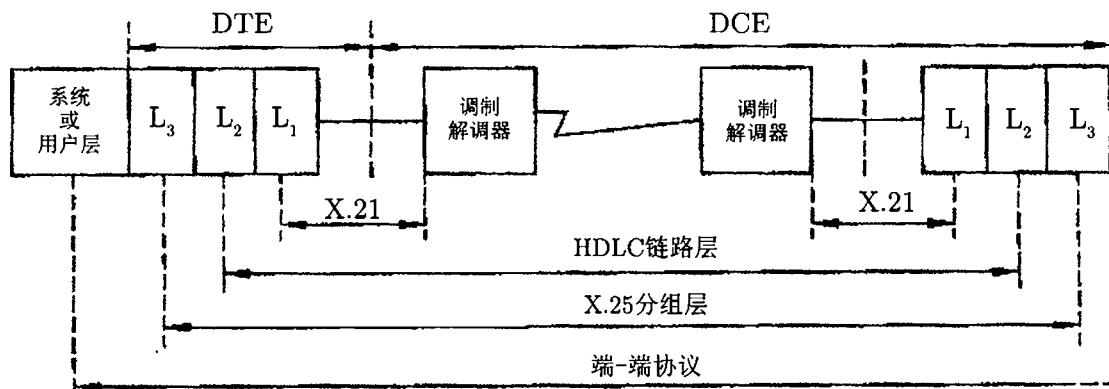


图 15.13 DTE / DCE 接口的协议层次

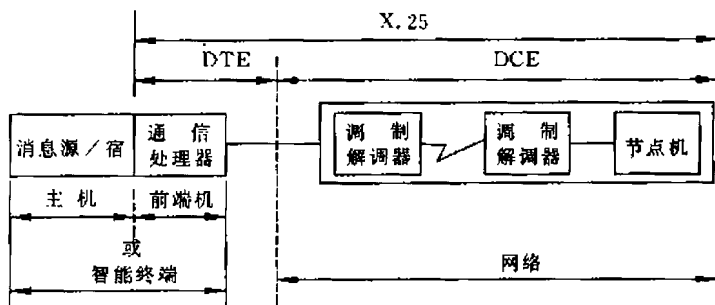
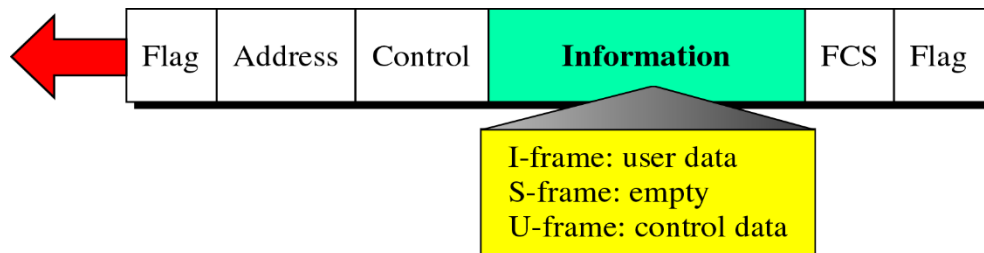


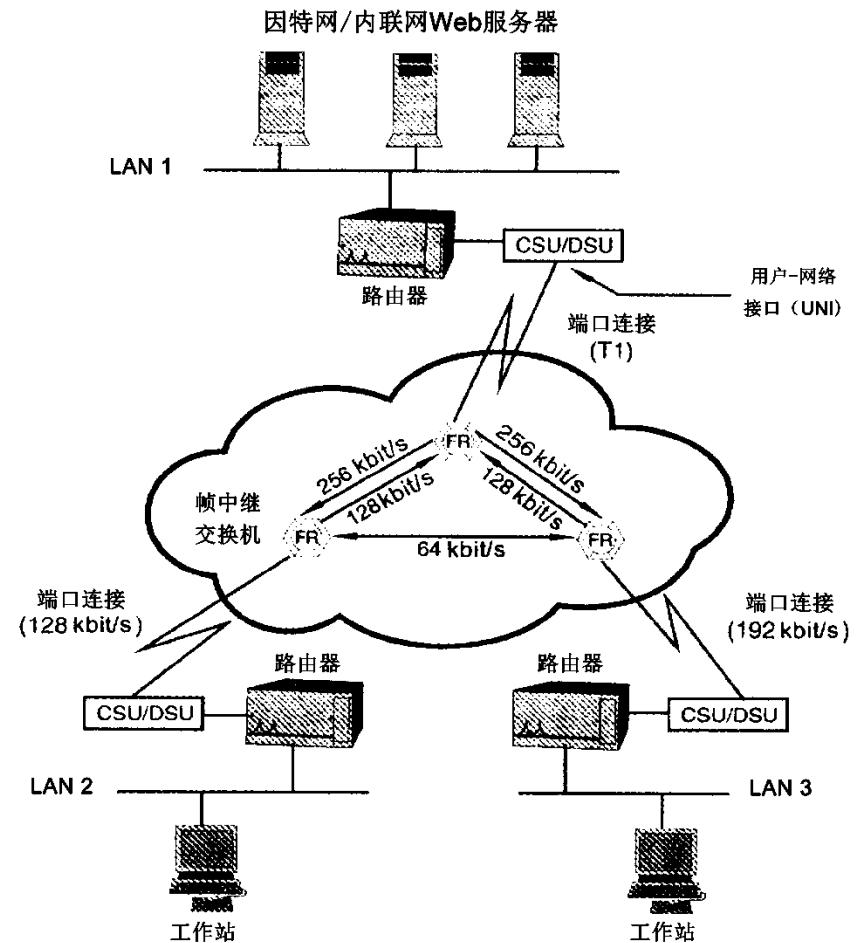
图 15.12 X.25 环境下的 DTE 与 DCE



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 ）。



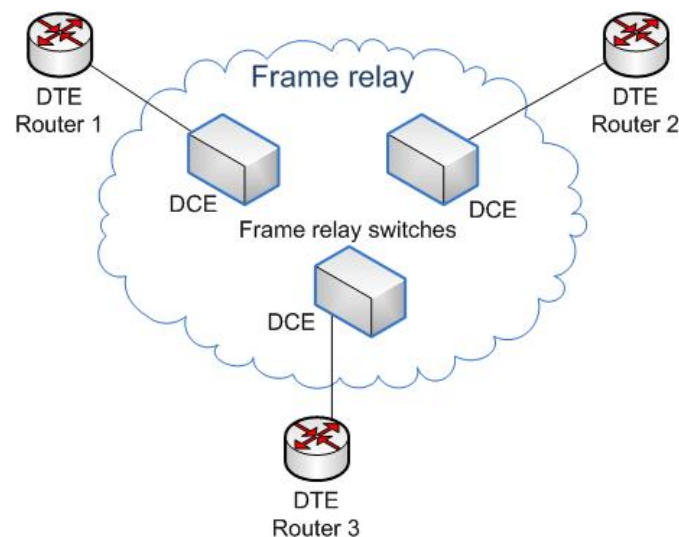
FR的特点

- 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

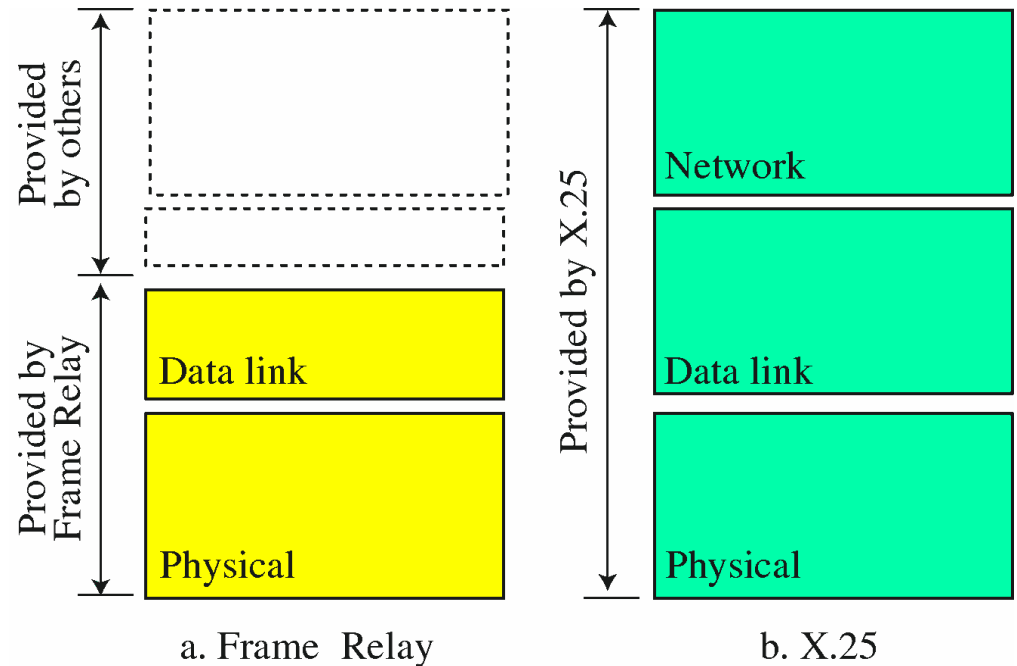


X.25与FR的比较

| | 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 |

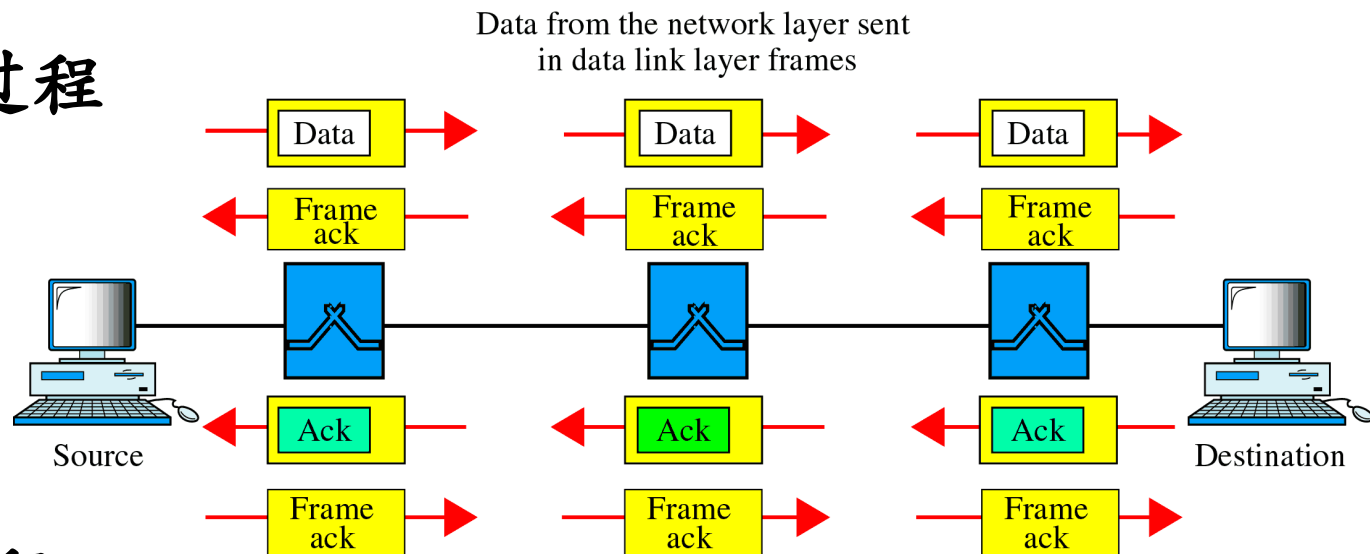
X.25与FR的比较

- 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

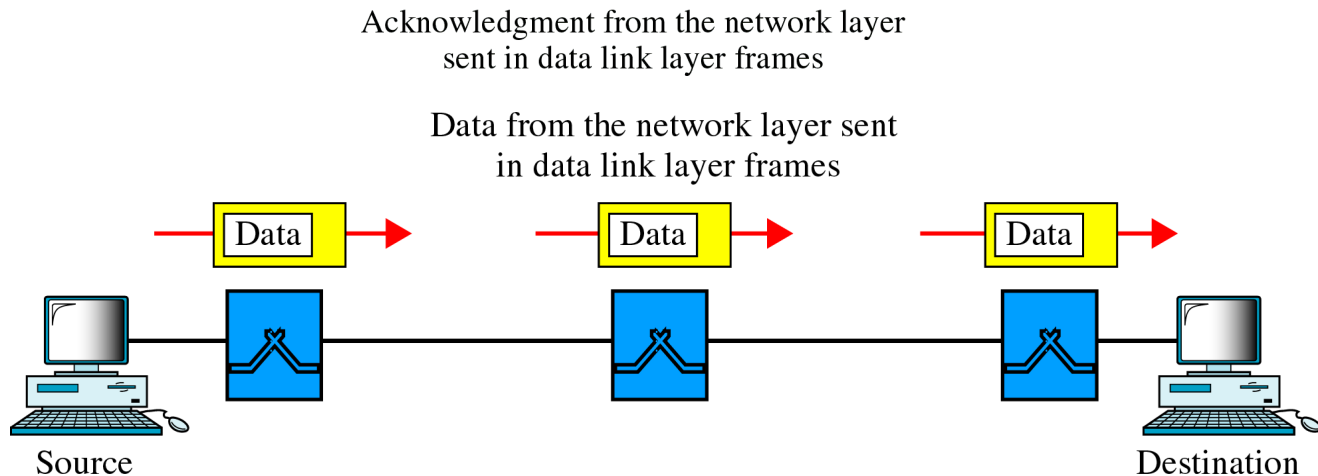


X.25和FR的比较：通信过程

• 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，像是使用公司内部的本地网络。
 - 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
 - 服务保障
 - 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

谢谢



廈門大學
XIAMEN UNIVERSITY



信息学院 黃 煒
(国家示范性软件学院) 博士, 副教授
School of Informatics Dr. Wei Huang