

用 TCP/IP 协议原理与技术:

数据包结构: 以太网头部 | IP 头部 | TCP 头部 | 应用层数据

版本	首部长度	服务类型	总长度
标识		标志 片偏移	
生存时间	协议	首部校验和	
源 IP 地址		目的 IP 地址	
选项			

源端口号 ☆ 目的端口号 ☆
 32位序列号
 32位确认号
 头部长度 保留标志 窗口大小
 TCP 校验和 紧急指针
 选项

源、目的 IP 地址: 通常是识别电脑的不同; 端口号: 识别程序, 例如 QQ 或者微信 / 邮件

TCP 协议类似在两台电脑建立网络连接之前要先发数据包进行沟通, 沟通建立连接后, 才能继续

UDP 类似校园广播站, 能不能听到跟站与广播站无关了。

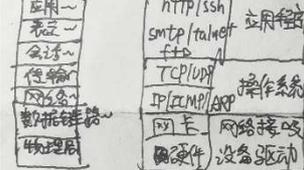
DHCP 协议: 启用了 DHCP 协议的电脑启用后, 便会发送广播数据包寻找 DHCP 服务器, DHCP 服务器收到后为该电脑分配 IP 地址, 关机后回收。

ARP 协议: (Address Resolution Protocol) 地址解析协议: 发送 ARP 请求广播到所有主机, 并且除需要主机外, 其他主机也会将 IP 与 MAC 关系记入本机的 ARP 缓存。

premise: 驻地, 建筑, 电话网, 互联网, 有线电视网, 现在三网合一, 之前业务专用网。

ATM: (信息复用和交换技术): 将信息分成信元 (全长: 53 字节, 头 5 字节) 发送 (用 VPI/VCI 标识一个路径信息)。

OSI 七层模型



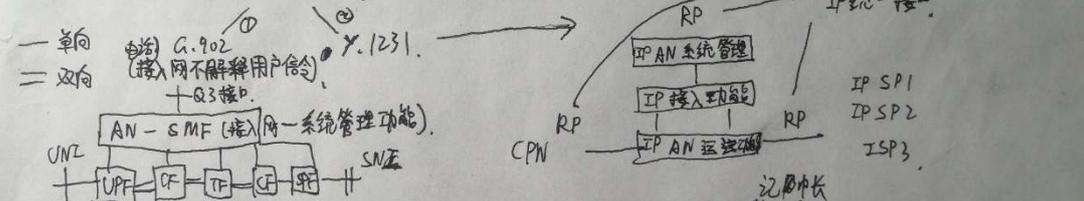
ICMP: IP 数据包在发送途中一旦发生异常, 导致无法到达对端目标时, 需给发送端一个异常通知 (ping 基于 ICMP)。

ARP: 从分组数据中解析出 IP 地址。

交换技术: 电路交换; (面向连接, 存储-转发, 交换)

报文交换 (以消息为单位, 逐路传输) 分组交换 (虚电路, 数据报, 面向连接, 无连接)

NGN: Next Generation Network. (分组有 QoS, 多业务, 移动性) 接入网领域重要标准: ITU-T 建议 (电信界国际标准), IEEE 802 标准 (局域网与城域网), IETF RFC (类 Internet)



AAA: (Authentication, Authorization, Accounting) 认证, 授权, 计费
 地址转换 NAT (Network Address Translation): 内部私有网络地址与合法网络地址转换
 DSN: 分布式业务网络 (Distributed), (核心网体系和功能架构)

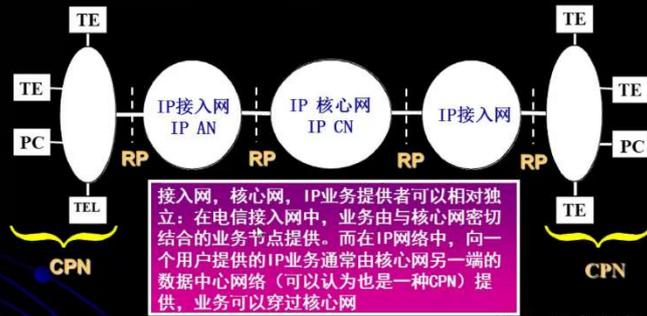
RADIUS (半径) Remote Access Dial In User Services (协议) 对应 AAA 实现
 CHAP: Challenge Handshake Authentication Protocol
 PAP: Password Authentication - 停 - 给密码 - 验证 - 等
 在 PAP 上加随机数 (防黑客)
 IP 接入功能: 对用户接入的控制功能
 SNMP: (RP 接口的协议) (简单网络管理协议) 该协议支持网络管理系统, 用以监视连接到网络上的设备是否有任何引起关注的情况。被管理系统上运行着一个叫代理者 (agent) 的软件元件。

DA: 目的地址, SA: 源地址
 三平面结构: 传送平面, 管理平面, 控制平面 (三平面形成了层面清晰的网络系统级模型) (9.8080)
 (网络系统架构)
 三大功能: 传送功能, 系统管理功能, 接入功能
 (IP 接入功能) TF SMF
 三模型: IP 接入网参考模型, 三平面相互独立, 从不不同层面认知系统, 三功能与三平面: 一一对应
 三模型: 在不同层面上的功能模型, 简洁而清晰。

Y.1231术语

- **CPN**: 用户驻地网
 - Customer Premises Network
- **CPE**: 用户驻地设备
 - Customer Premises Network
- **AAA**: 认证、授权和记帐
 - Authentication, Authorization and Accounting
- **RADIUS**: 远程接入拨号用户服务
 - Remote Access Dial In User Services
- **CHAP**: 交互质询认证协议
 - Challenge Handshake Authentication Protocol
- **PAP**: 口令认证协议
 - Password Authentication Protocol

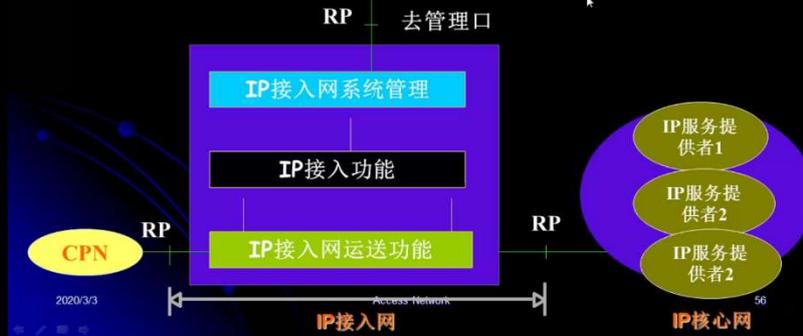
IP接入网的总体结构



- **CPN**: 用户驻地网、驻地网；
- **RP**: 参考点；
- **TE**: 终端设备；
- **PC**: PC机；
- **TEL**: 电话机

IP接入网的参考模型

- 模型描述了IP接入网的三大功能
 - 运送功能、接入功能、系统管理功能
- 模型还描述了IP接入网的统一接口RP



IP接入网功能模型

- IP接入网由3个功能模块组成
 - 接入网传送功能、IP接入功能、IP接入网系统管理
- 运送功能：为承载业务提供传送能力
 - 运送功能与IP业务无关
 - 多种方式：电路交换PSTN / ISDN, xDSL、HFC、ATM(155 / 622 Mb / s)
 - G.902中有相当定义
- 接入（控制）功能
 - 控制用户接入
 - G.902中没有相当定义
- 系统管理功能
 - 用户管理、安全管理、计费管理和业务管理

IP接入网—接入控制功能

- IP接入功能是对**用户接入**进行控制的功能
 - 认证（通过口令和用户名实施身份认证，即鉴权）
 - 授权（认证通过，准许使用网络资源进行访问）
 - 记账（记录用户使用的资源及通信流量，进行记账）
- 电信接入网只为用户接入提供承载业务的传送能力，而IP接入网为用户接入提供**传送能力**和**控制能力**
- AF使AN走向可管理、可运营的网络

2020/3/3

Access Network

59

IP接入网的接入类型

- 用户接入的可能传输机制包括
 - ISDN
 - 基本速率接入 (B/2B/D通道)
 - 基群速率接入 (1544 kb/s, 2048 kb/s)
 - B-ISDN接入 (155 Mb/s~622Mb/s)
 - xDSL
 - 无线和卫星
 - PON, SDH, HFC 及其其它**光系统**
 - CATV接入
 - LAN/WAN

2020/3/3

Access Network

62

以太直接承载IP

- 以太帧封装IP分组的演变
 - Ethernet II封装, 802.3封装 (85版)
 - 当前: 802.3封装 (98版及以后)
- 以太网与IP的天然匹配: 802.3当前版封装
 - 以太帧格式变化的一小步, IP优化匹配的一大步!



基本概念

- 网络系统的三平面架构



背景

- IP接入网三大功能的特性差异颇大
 - TF
 - IP协议、无连接通信、IP之上的多业务
 - 端到端全程连通：用户、AN、CN、ISP
 - AF
 - 仅AAA就涉及多种协议和协议的协同
 - 协议实体涉及：用户、接入服务器、后台服务器
 - SMF
 - SNMP/CMIP协议：协议族分属IP/OSI
 - 协议连通NMS（网络运维）和Agent（被管设备）
 - 统一模型相当复杂、难于理解

2020/2/27

Access Network

79

IP接入：TF与AF比较

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">● TF<ul style="list-style-type: none">● 无连接的IP协议<ul style="list-style-type: none">● 比特传输● 链路封装● 下三层协议栈● 协议实体<ul style="list-style-type: none">● 用户与CN（IP实体）● 实现端到端的IP连通<ul style="list-style-type: none">● IP用户与IP服务者● 参考模型<ul style="list-style-type: none">● 通常的IP互连模型 | <ul style="list-style-type: none">● AF<ul style="list-style-type: none">● 面向连接的接入认证<ul style="list-style-type: none">● 前台协议● 后台协议● 协议实体<ul style="list-style-type: none">● 用户、前后台服务器● 准入的连接特征<ul style="list-style-type: none">● 建立：接入认证● 用户登录上网● 释放：注销接入● 参考模型：RSA |
|---|---|

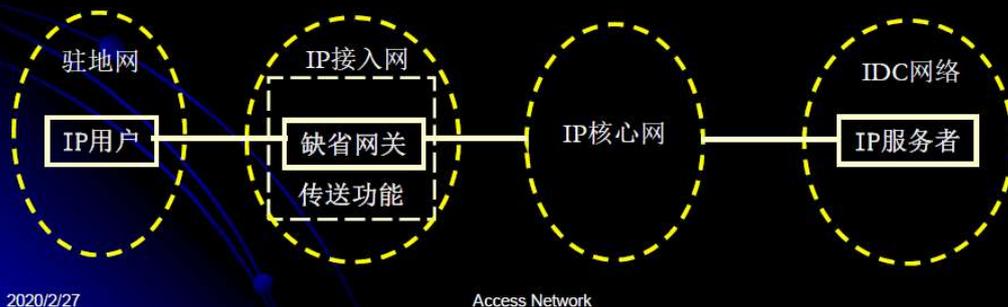
2020/2/27

Access Network

87

IP接入三平面——传送功能

- 传送功能 (IP-TF)
 - 传送功能位于传送平面
 - 执行用户接入的业务承载传送功能
 - 参考模型：类似IP协议的通常模型
 - 建立端系统的IP连通，工作于通常环境 (Fig. 1a/Y.1231)



IP接入三平面——管理功能

- 系统管理功能
 - 位于管理平面，执行系统级管理
 - 管理：系统总体、传送平面、控制平面
 - 协调：所有平面
 - 参考模型：典型的SNMP协议模型
 - 协议实体：位于网管工作站和被管设备中



IP接入三平面——控制功能

- 接入功能
 - 位于控制平面，执行接入控制功能
 - 主要功能：AAA，地址分配与地址转换
- 参考模型：RSA模型
 - NAR/ NAS/ NAA
 - 三系统：申请者/服务者/授权者
 - Requestor/Server/Authority
 - 用户面对的前后台服务模式
 - 前台服务器NAS、后台服务器NAA



2020/2/27

Access Network

90

IP接入三平面——控制功能

- 用户接入控制是接入功能的核心
 - 基本功能：AAA
 - 认证、授权和记账
 - Authentication, Authorization and Accounting
- G.902中的用户接入控制
 - UNI关联到SNI：静态指配
 - 用户接入由SN指配，用户无法动态选择
- Y.1231中的用户接入控制
 - AAA功能：可由AN或CN提供
 - IP接入网具有交换功能

2020/2/27

Access Network

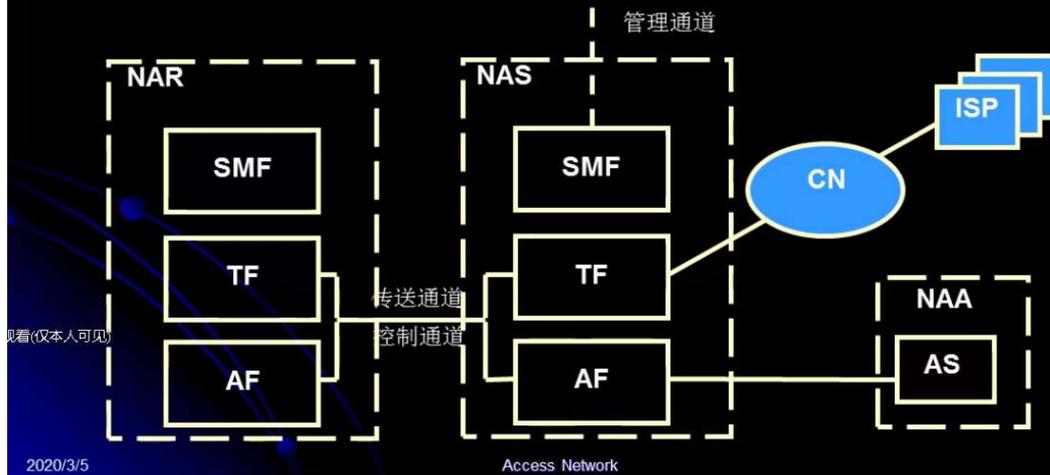
91

IP接入三平面——综合模型

腾讯课堂

● IP接入的综合模型

- 综合三平面模型而得
- IP接入网总体功能的全面呈现
- 通常用于分析三大功能的关联，如信道的独立性



宽带接入技术分类

腾讯课堂

● 双绞线接入

- 典型的是以太网接入
 - 采用UTP5类及以上介质
 - 接入速率可为10/100/1000Mb/s

● 电话铜线接入

- 典型技术
 - xDSL接入
 - 话带Modem接入
 - ISDN接入
- 使用用户环路（用户线）
- 分别采用不同的频段，多种接入技术可共存

- 同轴电缆接入

- 典型的是**Cable Modem**接入

- 接入到用户的部分采用同轴电缆介质
- 保留原**CATV**节目
- 采用剩余频段传输数据

- 光纤接入技术

- 典型技术

- **ATM**无源光网络**APON**
- **Ethernet**无源光网络**EPON**

- 无线局域网**WLAN**

- 数据用户小范围移动

- 固定无线接入

- 用户位置固定不变的无线接入，典型的如**LMDS**

- 移动无线接入

- 用户位置大范围移动的接入
- 利用公众移动网络（如利用**GSM**，**CDMA**网络）
- 典型的如**GPRS**、**CDMA1x**

- 卫星接入

- 用户位置大范围移动
- 利用卫星作为中继

接入控制—PPPoE环境。
 前台协议: EAP over PPPoE; 后台协议 Radius.
 BRAS (宽带接入服务器)
 ↓ 还可以是 PPPse

802.1x 环境. 前台协议: EAP over 802.1x
 新运营商. 后台协议: Radius.

考试是: 填图.

PPP协议: (数据链路层): 拨号接入服务器 (PPP Sever) Point to Point Sever.
 包括两个子协议 LCP、NCP (链路控制协议、网络控制协议) (Link, Network).

PPP帧:

地址	协议	数据	FCS
----	----	----	-----

 校验位. 先链路建立 → 认证, 否则无法认证.
 固定. (指定NCP对应的子协议)

PPPoE 协议 (PPP over Ethernet). 以太网的点对点协议.
 可用于多点链路.

Bridge Access Device 桥接接入设备, 不宜叫 NAR (主机NAR)
 一个以太网上的不同主机都要与 ISP (接入集中器, Access Concentrator) 建立链路才能通信, 不能借助其他主机来通信.

PPPoE 帧:

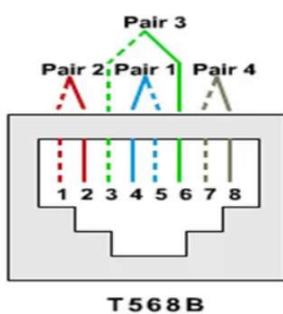
6	6	2	4
MAC	源 MAC	类型	FCS

 会话标识 → 与 MAC 地址 面洽 协商.
 发现阶段; 会话阶段.

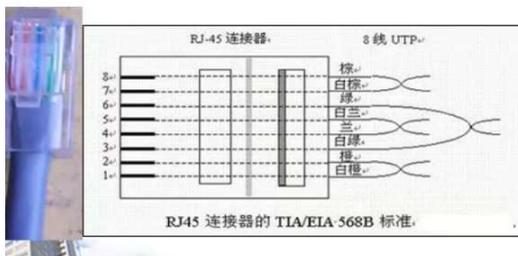
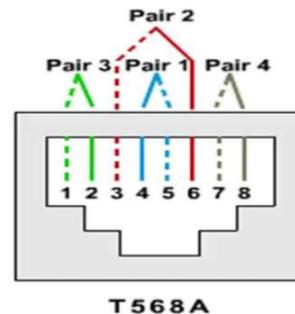
隧道可以理解一个专用封装.
 口令认证协议: (明文传输, 容易被窃取)
 Password Authentication Protocol.

集线器不分割冲突域; 网桥/交换机: 分割冲突域 (独占资源) (竞争资源).

5.1.2 以太网介质—双绞线线序



线序	TIA-568-B	TIA-568-A
1	橙白	绿白
2	橙	绿
3	绿白	橙白
4	蓝	蓝
5	蓝白	蓝白
6	绿	橙
7	棕白	棕白
8	棕	棕



两者无本质区别, 仅线序颜色不同

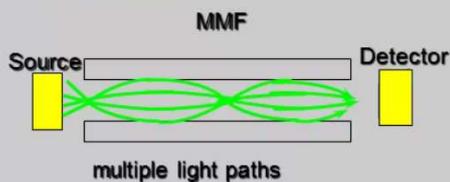
- 本质问题是保持绕对
- 1和2、3和6、4和5、7和8
- 通常1、2绕对发送, 3、6绕对接收
- 多使用TIA-568-B标准的线序

- ◆ 接以太网局域网中通常只用2对双绞线
 - ◆ 发送：1、2发送
 - ◆ 接收：3、6接收
- ◆ 以太网双绞线分为两种：直连线和交叉线
 - ◆ 直连线用于：PC与交换机之间互连
 - ◆ 交叉线用于：同类设备互联：PC机之间、交换机之间

直连线连接
1-1, 2-2... 8-8

交叉线连接
1-3, 2-6, 3-1, 6-2, 其他直连

- ◆ 多模光纤
 - ◆ MMF: Multiple Mode Fiber
 - ◆ 光在光纤中以多条路径、或多模式传播



- ◆ 多模光纤系统特点
 - ◆ 传输距离短：300m~5km
 - ◆ 容量不太高
 - ◆ 通常为100~1000Mb/s, 10G系统需用特殊的万兆光纤

- ◆ 单模光纤
 - ◆ SMF: Single Mode Fiber
 - ◆ 光在光纤中以单一路径、或单模式传播



- ◆ 单模光纤系统特点
 - ◆ 传输距离长
 - ◆ 10~40km, 300km
 - ◆ 传输容量高
 - ◆ 单波可达40Gb/s, 使用DWDM技术可达几十Tb/s
 - ◆ 价格比多模光纤贵

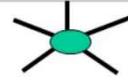
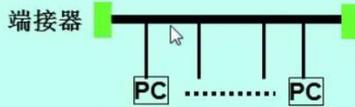
5.1.3 早期以太网拓扑结构



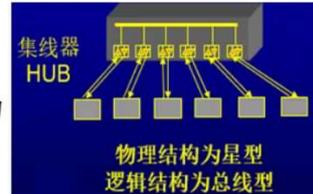
◆ 总线型

- ◆ 共享信道，无需中继
- ◆ 传输无方向性
- ◆ 广播通信方式
- ◆ 信道上任何时候2个或以上站点发送就会产生冲突
- ◆ 必须采用信道访问控制技术：即MAC技术

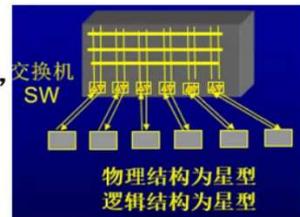
（文字本人可见）



若HUB组网，
则逻辑拓扑为
总线结构



若交换机组网，
则逻辑拓扑为
星型结构



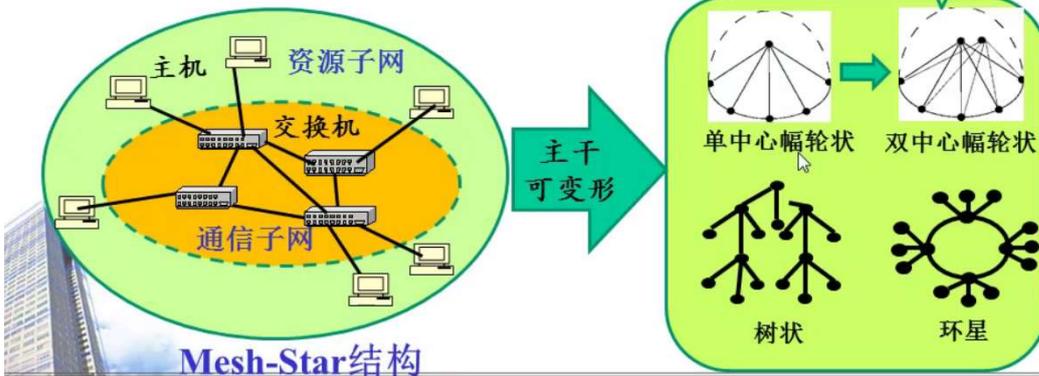
5.1.3 当今以太网拓扑结构



◆ 交换设备的大量使用显著改变了网络拓扑

- ◆ 联网设备：L2/L3以太网交换机
- ◆ 当前交换式网络主要拓扑形式：mesh-star
 - ◆ 接入层：主机以星型（Star）结构接入交换机，构成资源子网
 - ◆ 核心（主干）层：交换机以点对点全双工链路、部分或全连通成网状拓扑（Mesh），构成通信子网（基础设施）

- ◆ 大型园区网的主要结构
- ◆ 双中心互备可靠
- ◆ 环形提供冗余链路，健壮



Mesh-Star结构

- ◆ 当今版本以太网参考模型中
 - ◆ 意味MAC控制子层主要用于流控(可选项),讨论是先忽略
 - ◆ MAC之上由LLC变为MAC客户(可为LLC,也可为IP等)
 - ◆ 即: MAC可以直接封装IP!!



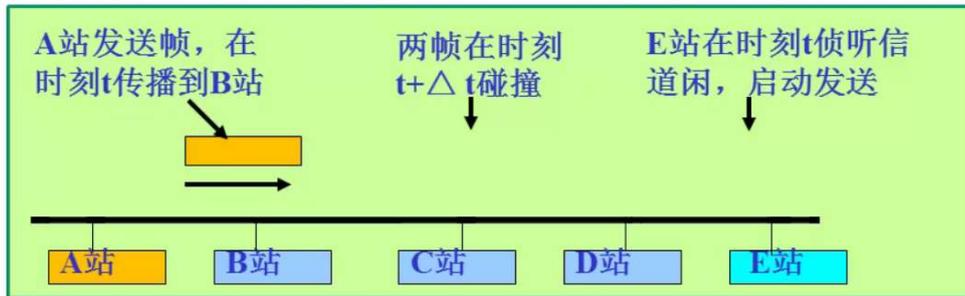
- ◆ 注意: 以太网MAC层不具有差错控制功能
 - ◆ 对接收到的MAC, 进行差错校验
 - ◆ 对于有错的MAC帧, 直接丢弃, 而不会进行重传等操作!

1、基础协议CSMA

- ◆ **CSMA: carrier sense multiple access** 载波侦听多路访问
- ◆ 基本思路: 先听后发
 - ◆ 站点发送前对信道进行侦听
 - ◆ 如果信道空闲: 可以发送
 - ◆ 否则, 信道忙: 等待
- ◆ 1坚持, 轻载是效率高, 重载时冲突严重
- ◆ 0坚持, 重载性能相对好, 轻载时效率低
- ◆ P坚持根据负载大小调整发送概率, 但负载大小难测, P值难选
- ◆ 当信道忙时, 等待过程的后续处理分为三种情况
 - ◆ 1坚持: 信道空闲后立即启动发送(以1的概率发送)
 - ◆ 0坚持: 信道空闲后, 随机等待一个时间段后再侦听信道(以0的概率发送)
 - ◆ P坚持: 信道空闲后, 以P的概率发送, 以1-P的概率随机等待(P值介于0~1之间)

◆ 注意1: 采用CSMA存在冲突!!

- ◆ 站点侦听的是本站网络接口的信道状况
- ◆ 因传播延时, 站点侦听的不一定反映共享信道的客观情况



◆ 注意2: 若发送冲突, CSMA后续不做任何处理!!

- ◆ 冲突后的发送完全是无效发送, 严重浪费信道资源!

◆ 1坚持的CSMA/CD——共享式以太网MAC协议!!

- ◆ CSMA/CD () 带冲突检测的CSMA

◆ 1坚持CSMA/CD协议基本思路

- ◆ (1) 拟发送的站点侦听信道
- ◆ (2) 若信道闲, 立即发送, 并在发送过程中检测信道
 - ◆ 若未检测到冲突, 则持续本帧发送;
 - ◆ 若检测到冲突, 则终止本次发送, 并发送一个加强信号通告冲突的发生, 随后进入随机退避阶段, 等待下一个发送机会
- ◆ (3) 若信道忙, 则一直侦听信道, 直到信道空闲, 立即启动发送, 并按 (2) 进行冲突检测和处理

CSMA/CD冲突检测多长时间?



◆ 考虑共享以太网最远的两站 (如图 A \longleftrightarrow E)

◆ 假设: A \longrightarrow E之间的传播时间为 τ

◆ A、E站发送的时间

◆ A: t_0 时刻发送: 则到达E: $t_0 + \tau$ 时刻

◆ E: $t_0 + \tau - \epsilon$ 时发现信道闲, 发送

◆ A、E发送后检测到冲突的时间

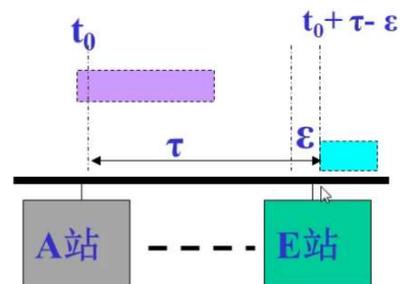
◆ E: ϵ

◆ A: $\tau + (\tau - \epsilon)$

$$= 2\tau - \epsilon \rightarrow 2\tau$$



可见: 冲突检测时间不小于 2τ !!



◆ 什么是可靠检测?

◆ 必须在发送的过程中检测到冲突

◆ 一帧数据发完将停止检测

◆ 如果冲突发生在发送结束后, 则检测失效

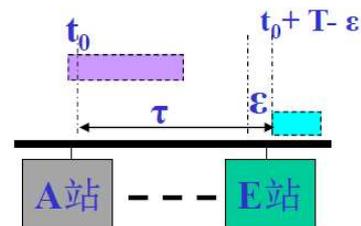
◆ 哪怕是极少数位的冲突也必须检测到

◆ 保证可靠检测的两个措施

◆ 措施1: 规定最短帧长, 保证最短帧的发送时间不小于 2τ

$$tf = L/B \text{ (帧长/信道速率)} \geq 2\tau$$

◆ 措施2: 检测到冲突后, 发送加强冲突信号, 使冲突信号能量足够



◆ 冲突后采用截断的二进制指数机制退避

◆ 基本思路

- ◆ 如果首发冲突，重发时等待一个随机长的时间
- ◆ 再重发时仍冲突，则等待的随机时间加倍

◆ 实现方法

- ◆ 第1次碰撞后，随机延迟【0-1】个时隙再试
- ◆ 第2次碰撞后，随机延迟【0-3】个时隙再试
- ◆ 第i次碰撞后，随机延迟【0、1...2^j-1】个时隙再试
(i≤10, j=i; i>10, j=10, i最大为16)
- ◆ 第16次重试仍碰撞，放弃本次发送，宣告失败

可见：共享Ethernet很难保证时延业务的质量

- ◆ 以太网分组：在物理介质上传输的PDU
- ◆ 以太网MAC帧：MAC层交互的PDU

7个10101010
用于物理层
接收端同步

1个10101011
MAC帧起始
定界符

三种MAC帧类型
基本帧：64-1518 八位组
Q加标帧：64-1522, VLAN帧
套封帧：64-2000, 用于城域网

载波延伸，仅用于保障
1000Mbps半双工通信时
CSMA/CD可靠检测
实际中几乎没实现过！
1000Mbps采用共享信道通信
已毫无意义！

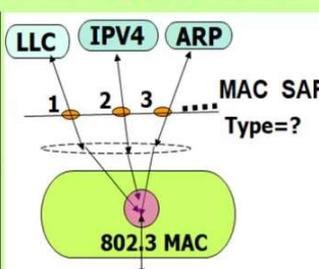


- ◆ **DA: 目的MAC地址**
 - ◆ 可为单播/组播/广播地址
- ◆ **SA:源MAC地址**
 - ◆ 只能是单播地址
- ◆ **MAC客户数据**
 - ◆ **MAC封装的高层数据**
- ◆ **填充: MAC客户数据过短时填充至46八位组**
- ◆ **FCS:CRC-32校验码, 计算除FCS外所有字段**

- ◆ **Len/Type**
 - ◆ 小于**1500 (16进制05DC)** 为长度字段, 表示MAC客户为LLC
 - ◆ 大于**1536 (16进制0600)** 时为类型字段, MAC客户为非LLC的高层其他协议

Len/Type (16 进制)

1. 0~5DC: LLC
2. 0X0800: IPv4
3. 0X0806: ARP
4. 0X814C: SNMP
5. 0X8100: 802.1
6. 0X86DD: IPv6
7. 0X880B: PPP
-

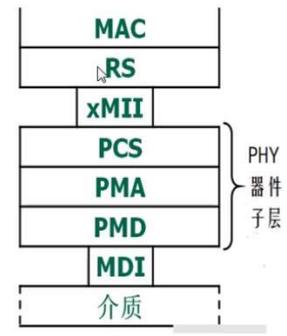



- ◆ **以太网分组间间隔是分组传输的最小间隔**
 - ◆ **规定分组间最小间隔是为了保证可靠同步**
 - ◆ **IEEE 802.3标准规定分组间间隔为96bit, 即**
 - ◆ **9.6μs@10Mbps, 0.96 μs@100Mbps,**

当前的主流结构: 适用于: $\geq 100\text{Mb/s}$

物理层

- ◆ **RS (Reconciliation Sublayer) 协调子层**
 - ◆ 偏重于逻辑功能: 协议、服务、原语, 代表物理层向MAC提供服务
- ◆ **物理器件子层 (Physical Layer Device)**
 - ◆ 偏重于物理实现: 电路、引脚、信号
 - ◆ 组成:
 - PCS: 物理编码子层
 - PMA: 物理介质接驳
 - PMD: 物理介质相关



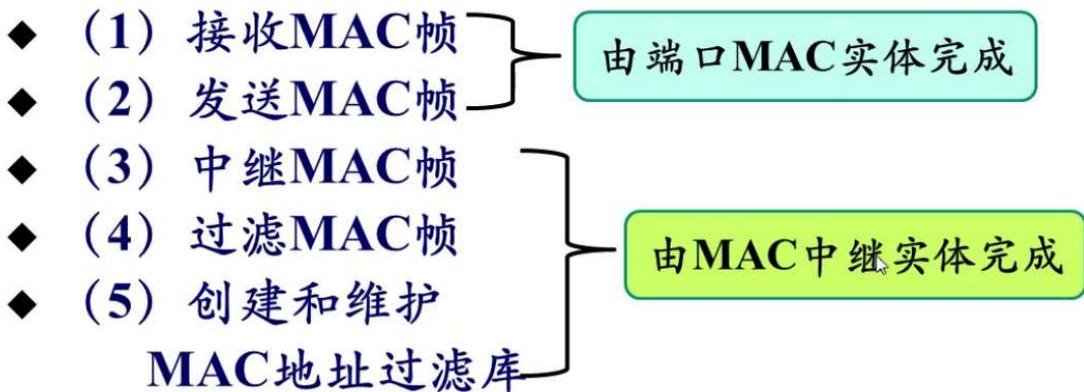
- ◆ **xMII: 介质无关接口**
 - ◆ xMII是一个系列: MII、GMII、XGMII
- ◆ **MDI: 介质相关接口**

◆ 双绞线以太网接口的速率自适应：“即插即用”

◆ 速率和工作模式自动协商执行，协商顺序如下：

10Gbps全双工→1Gbps全双工→1Gbps半双工→100Mbps全双工→100Mbps半双工→10Mbps全双工→10Mbps半双工

◆ 网桥运行涉及到的主要工作



☑ 帧的接收与发送：由端口MAC实体完成

☑ 转发过程与学习过程：由MAC中继实体完成

➢ 转发过程：实现MAC帧的过滤或中继

➢ 学习过程：实现MAC地址动态过滤数据库（简称MAC地址动态表）建立与维护

帧接收由MAC端口实体完成

◆ MAC端口实体接收MAC帧，进行有效性和差错判定，若错误则丢弃，否则：

☑ 若目的地址非本网桥地址，则生成原语通过ISS递交MAC中继实体的转发过程

◆ M_UNITDATA.indications，原语参数含DA、SA、Type等

☑ 若收到帧的目的地址为本网桥（单播，桥组播，广播），则生成原语M_UNITDATA.indications通过MSAP递交网桥高层协议处理

◆ 将收到帧的源地址通知MAC中继实体的学习过程

MAC地址动态表建立与维护：由中继实体完成

◆ 建立方法：逆向学习法（或称源地址学习法）

- ☑ 将收到帧的源地址和端口号记录到过滤库中，下次作为帧的目的地址时，直接查表转发。

MAC地址	端口映射	控制元素（如计时值，老化时间，默认5分钟）
-------	------	-----------------------

◆ 具体过程：

- ☑ 若源地址不在MAC过滤库中，则添加表项
- ☑ 若源地址在表中，且端口号相符，则更新时间T
- ☑ 若源地址在表中，但端口改变，更改端口号，更新T



网桥MAC地址与网桥标识

- ☑ 每个网桥都有一个48位唯一地址作为网桥地址
 - 可以用网桥某个端口的MAC地址作为网桥地址
 - 建议使用最低编号端口(Port 1)的MAC地址
- ☑ 网桥唯一标识：网桥地址+可配置优先级（用于生成树协议）

trunk 链路同属于两个 VLAN（实现方式用一个交换机，在 IP 层交换）

cable modem（同轴电缆） 电缆调制解调器

MAC 技术：介质访问控制技术 Media access control technology

若集线器（HUB）组网，则物理拓扑为星型，逻辑拓扑为总线结构；若交换机组网，则物理拓扑、逻辑拓扑为星型结构。

当前交换式网络主要拓扑形式：mesh-star，拓扑（Mesh），核心网状，外围星状。

LLC：Logical Link Control，逻辑链路控制。

LAN 是局域网缩写，WAN 是广域网缩写，WLAN 是路由无线局域网。

市面上常见的就是 LAN、WAN、WLAN 集一体的路由器，LAN 负责对内，WAN 负责对外，WLAN 负责无线传输将数据包分配。

注意：以太网 MAC 层不具有差错控制功能

对接收到的 MAC，进行差错校验

对于有错的 MAC 帧，直接丢弃，而不会进行重传等操作！

CSMA：carrier sense multiple access 载波侦听多路访问

注意 1：采用 CSMA 存在冲突！！

站点侦听的是本站网络接口的信道状况

注意 2：若发送冲突，CSMA 后续不做任何处理！！

冲突后的发送完全是无效发送，严重浪费信道资源！

CSMA/CD Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect

假设：A——E 之间的传播时间为 τ

可见：冲突检测时间不小于 2τ ！！

什么是可靠检测？

必须在发送的过程中检测到冲突

一帧数据发完将停止检测

如果冲突发生在发送结束后，则检测失效

最短帧长限制： $L \geq B \times 2\tau$!!

发送站检测到冲突后发送加强冲突信号!!

共享 Ethernet 很难保证时延业务的质量：因为 CSMA/CD 冲突后采用截断的二进制指数机制退避，退避时间不固定。

采用指数随机后退法：有失公平性（可能先争用后发出去（如果一个节点一直设置不后退，则一直会优先发送））!!

进入每个子层未被处理（可能只封装，不是解封）的数据称为服务数据单元(SDU Service Data Unit)，经过子层处理后形成特定格式的数据被称为协议数据单元(PDU Protocol Data Unit)。

以太网分组：在物理介质上传输的 PDU

以太网 MAC 帧：MAC 层交互的 PDU

所以，以太网分组比 MAC 帧大；以太网 MAC 帧相当于数据链路层的 SDU。

填充：MAC 客户数据过短时填充至 46 八位组

FCS:CRC-32 校验码（），计算除 FCS 外所有字段。

Len/Type 小于 1500（16 进制 05DC）为长度字段，表示 MAC 客户为 LLC；大于 1536（16 进制 0600）时为类型字段，MAC 客户为非 LLC 的高层其他协议。

物理层包括两个子层，两个接口（RS（Reconciliation Sublayer），物理器件子层（包括 PCS：物理编码子层；PMA：物理介质接驳；PMD：物理介质相关）（Physical Layer Device）xMII：介质无关接口；MDI：介质相关接口）

RS（Reconciliation Sublayer）协调子层

xMII（Medium Independent Interface）x 表一个系列：MII、GMII、XGMII

MDI：介质相关接口（Medium Dependent Interface）

PCS：物理编码子层 Physical Coding Sublayer；PMA：物理介质接驳，Physical Medium Attachment sublayer（PMA）：物理介质连接子层。执行并串/串并转换

Physical Medium Dependent sublayer（PMD）：物理介质相关子层。信号转换到特定介质上或反向转换。

双绞线以太网接口的速率自适应：“即插即用”

速率和工作模式自动协商执行，协商顺序如下：（从高到低）

10Gbps 全双工 → 1Gbps 全双工 → 1Gbps 半双工 → 100Mbps 全

双工 → 100Mbps 半双工 → 10Mbps 全双工 → 10Mbps 半双工

网桥基于软件处理，性能不高，接口也不多；高性能需求，产生了硬件化的网桥——以太网交换机，以太网网桥的所有标准完全适用以太网交换机。

ISS（ISS: Interior sublayer service）内部子层服务；为端口 MAC 与 MAC 中继实体之间通信提供服务（通过原语）

每个网桥必有一个 MAC 中继实体和至少 2 个端口 MAC 实体

中继实体完成 MAC 数据帧转发，同时维护 MAC 地址过滤库（转发表）

端口 MAC 实体实现 MAC 帧的有效性判别，收发 MAC 帧

帧的源地址通知 MAC 中继实体学习。

MSTP:Multi-Service Transfer Platform；MSAP：多业务接入平台

MAC 中继实体：帧过滤的情况：收到的帧的目的地址与源地址在同一端口。

MAC 地址动态表建立与维护：由中继实体完成：

若源地址不在 MAC 过滤库中，则添加表项

若源地址在表中，且端口号相符，则更新时间 T

若源地址在表中，但端口改变，更改端口号，更新 T

网桥唯一标识：网桥地址 + 可配置优先级（用于生成树协议）

目的地址是目的站的 MAC 地址，而不使用网桥的 MAC 地址

环路问题：两个交换机间有环路时，在传递广播时，会形成广播风波，使得网络瘫痪。

生成树协议 STP (RSTP) Spanning Tree Protocol：交换式以太网的逻辑拓扑通常是树型结构!! 自动去除环路——阻塞多余通路，形成一个无环但连通所有节点的树型拓扑——生成树。

流控问题：MAC 控制子层发送 PAUSE 帧，接收端向快的发送端发 PAUSE 帧，通知发送端暂停发送。使用 PAUSE 帧前需要双方的初始化协商，通常采用互控方式。

通信瓶颈问题：STP 将冗余的链路阻塞，某些主干链路形成通信瓶颈。

解决措施——链路聚合协议（捆绑多条物理链路成一个逻辑链路）

生成树协议认为一条聚合链路是一条数据通路，聚合的链路数通常最大为 4，链路聚合可以跨插卡。

广播风暴问题：多种帧都会在全网扩散，可能形成广播风暴。

解决方法：缩小广播域

- 在 L3 划分子网

- 在 L2 划分 VLAN

默认 VID 值为 1，用户不能指派他用，通常作为管理 VLAN 使用!!

Trunk Link（主干链路）

- 通常用于互连 VLAN 知晓设备

- 主干链路的端口可以同时属于多个 VLAN

Trunk 端口收发 VLAN 加标帧（tagged frame）

TCI：Tag Control Information，

CFI (Canonical Format Indicator)：规范格式标识符，确定此帧是否以规范格式封装，0 表示以规范格式封装，1 表示未按规范格式封装，缺省值为 0；

优先级加标帧: priority-tagged frame

- 802.1Q 在基本 MAC 头部增加 4 个八位组

- 增加头部中，仅含优先级，无有效 VID 的 802.1Q 帧

路由器相当于 L3 层的交换机。

每个 VLAN 必须对应设置一个独立的 IP 子网

- 这完全是因为路由的需要!

- 一个 VLAN 并非就是一个 IP 子网!

以太网没有用户接入与控制功能!!

- 直接作为接入，很难运营管理!!

- 必须增加接入控制功能

采用 PPPOE 控制，无法隔离以太网内部用户之间的通信，如要隔离，可以结合 VLAN 划分来实现

ADSL: (~~Asymmetric~~ ^{Asymmetric} Digital Subscriber Line) 非对称数字用户线路是数字用户线路(DSL)服务中最流行的一种。
 N-ISDN (Narrowband Integrated Services Digital Network) 窄带综合业务数字网。
 B-ISDN ... (Broadband ...) 宽带综合业务数字网。
 DDN: 数字数据网. (Digital Data Network)
 PSTN: (Public Switched Telephone Network) 公共交换电话网络。
 HFC: Hybrid Fiber Coaxial) 混合光纤同轴电缆网。
 通常由光纤干线、同轴电缆支线和用户配线组成, 是一种经济实用的综合数字服务宽带接入技术。
 ATM: Asynchronous Transfer Mode 异步传输模式
 CATV (Community Antenna Television) 社区公共电视天线系统, 国内一般指有线电视系统。
 WAN (Wide Area Network) 广域网。
 PON: 无源光网络; SDH: (Synchronous Digital Hierarchy) 同步数字体系
 G.8080 中管理平面五大功能域: "性 故 配 记 安", 性能, 故障配置, 记录, 安全
 SNMP: 简单网络管理协议; CMIP: (Common Management Information Protocol) 通用管理信息协议。
 ISP (Internet Service Provider)

光纤除了线缆较贵外, 还要专业切割刀, 剥线钳, 熔接器, 热缩管, 它们也比较贵。设备也要供电, 也许解决供电问题。

- **FTTx: 光纤到..... (根据ONU位置, 即光纤深入用户的位置)**
 - **FTTCurb或FTTCab: 光纤到路边配线箱**
 - **FTTB: 光纤到大楼**
 - **FTTH/FTTO: 光纤到家、光纤入户、光纤到办公室**

ONU: 完成光/电转换和分接等功能

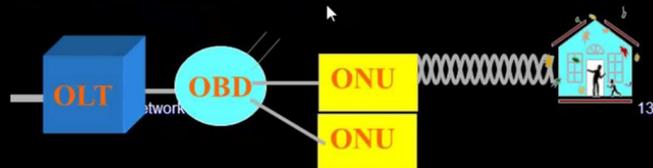
ONU: 光网络单元 optical network unit

FTTx: 光纤到...

FTTC

- FTTC: Fiber To The Curb/Cab
- ONU设在路边交接箱处
- 用户到ONU之间仍用双绞铜线或同轴缆连接
- 通常为P2P(点到点)和P2MP(点到多点)结构
- 一个ONU可为一个或多个用户提供接入
- 是一种介质混合结构
 - 通常采用FTTC+xDSL技术或FTTC+Cable Modem技术

2020/3/31



OAN: 光纤接入网 optical access network

- 多模光纤: 用于计算机网络的短距离传输
 - MMF: Multi-Mode Fiber
- 单模光纤: 用于通信系统和高要求计算机网络
 - SMF: Single-Mode Fiber

光纤的传输窗口

- 光纤可用工作波长区有三个:
 - 850nm窗口 (780nm~850nm)
 - 1310nm窗口 (1260nm~1360nm)
 - 1550nm窗口 (1480nm~1580nm)
- 三个工作区的使用情况
 - 850nm波长通常用于多模光纤通信
 - 1310nm波长, 主要用于提供2Mb/s及以下的业务
 - 1550nm波长用于异波长双工的下行通信, 以及宽带的新业务

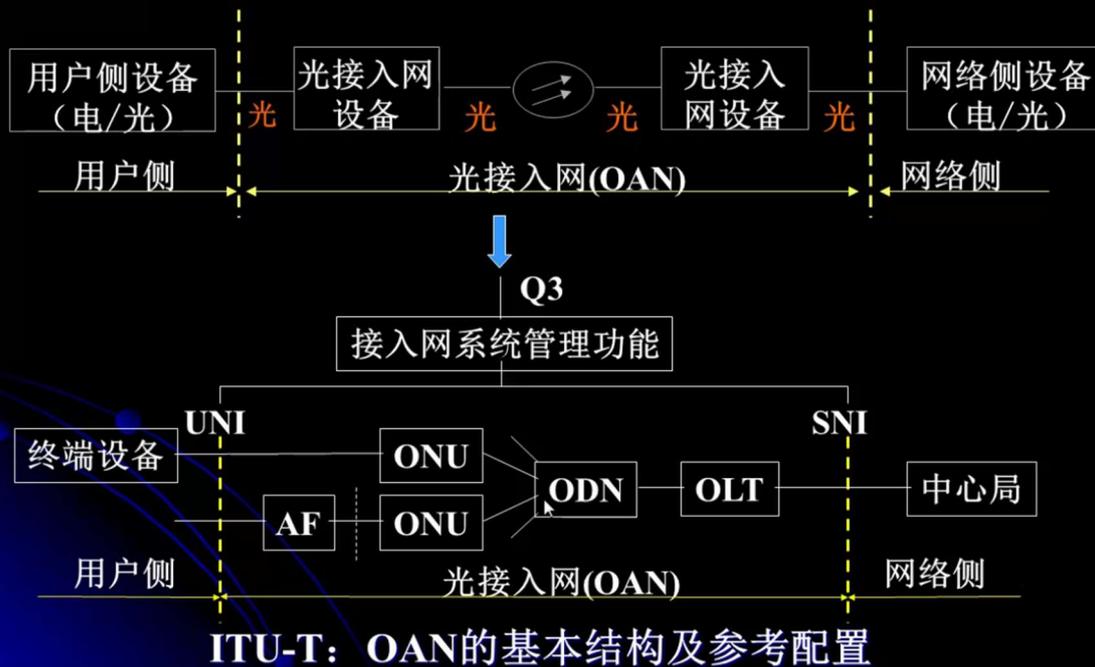
现已打开了第四个
工作窗口：1625nm

接入网中部分或全部使用光纤作为传输介质来实现信息传输的网络形式

根据光配线网是否采用有源或无源设备，**OAN**可分为无源光接入网**PON**和有源光接入网**AON**

- **PON: Passive Optical Network**
- **AON: Active Optical Network**

OAN的基本结构及参考配置



光接入网一般是一个点到多点的结构

光网络单元**ONU** (Optical Network Unit)

- 提供用户到接入网的接口 (光电转换、物理接口)
- 提供用户业务适配功能 (速率适配、信令转换)
- 用户业务的复用、传输功能

光分配网络 **ODN** (Optical Distribution Network)

- 为**OLT**和**ONU**之间提供光传输技术
- 由光连接器和光分路器**OBD** (Optical Branching device) 组成
- 完成光信号功率的分配及光信号的分、复接功能

光线路终端**OLT** (Optical Line Terminal)

- 提供与中心局设备的接口 (光电转换、物理接口)
- 提供与**ODN**的光接口
- 对众多的**ONU**进行管理和指配
- 分离不同的业务, 传递给不同的**ONU**
- 分离交换和非交换业务, 管理来自**ONU**的信令和监控信息



● 光接入网通信的特点

- 一般属于**P2MP传输系统, 介质共享**
- **双向传输**
 - 下行: **OLT**向各个**ONU**采用**广播通信**方式
 - 上行: **ONU**向**OLT**通信时需要某种**分配信道**的策略

● 传输技术

- 需解决**OLT**和多个**ONU**之间上、下行信号的**双向传输**
- 下行传输——**复用 (Multiplexing) 技术**
 - **OLT**将信息**时分复用**成为时隙流, **广播**到各个**ONU**, 各**ONU**在**规定时隙**接收自己的信息
- 上行传输——**多路访问 (Multiple Access) 技术**
 - 多个**ONU**共享一根光纤, 且每个**ONU**突发产生上行数据→解决上行信道的占用问题是关键——一个时刻只有一个**ONU**上传
 - 各种多路访问技术 (时分、波分等)

2020/3/31

Access Network

30

下行: 广播通信也是要带地址的, 谁的地址谁收, 其他丢弃; 若采用单播还需区分 ONU。

● 时分多路访问**TDMA**

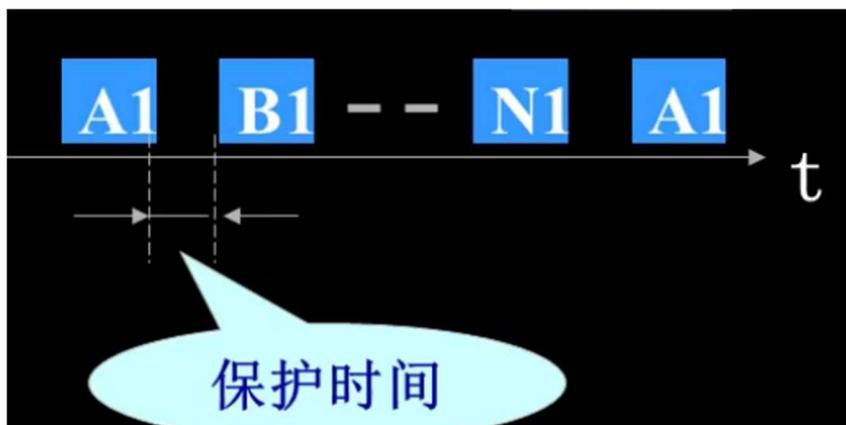
- 将时间分成周期性的帧, 每一个帧由若干时隙组成
- **每个ONU**动态或固定分配一个时隙
- 每个**ONU**在分配的时隙内**上传数据**

- 固有问题
 - 每个ONU与OLT距离不等
 - 传输时延不同
 - 到达OLT的相位不同

对OLT要求

- 完善的测距技术，实现定时**调整**和**同步**
- 快速的同步技术
- 快速、动态的门限判决技术

1154413416



为什么要测距

腾讯课堂

- 各个ONU与OLT之间的距离不同而导致的传输时延差异
- 上行若采用TDMA，要避免在OLT处不同ONU的时隙碰撞
- 测距——补偿传输时延

● 波分多路访问WDM

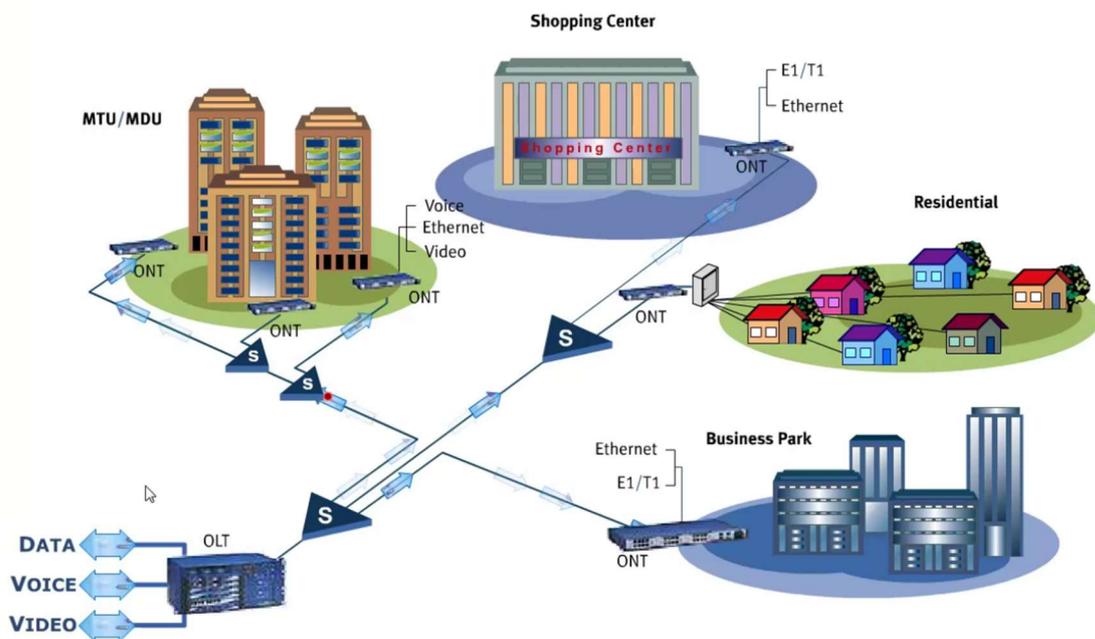
- 不同波长的信号共享一根光纤传输，彼此不干扰
- 要求每个ONU在指定波长上发射
- 对激光二极管要求高（温度、环境影响大）
- OLT设备复杂，成本高（每个波长都需光发射器和检测器）

● PON: 无源光网络

- Passive Optical Network
- 接入网内不含有源器件

重点

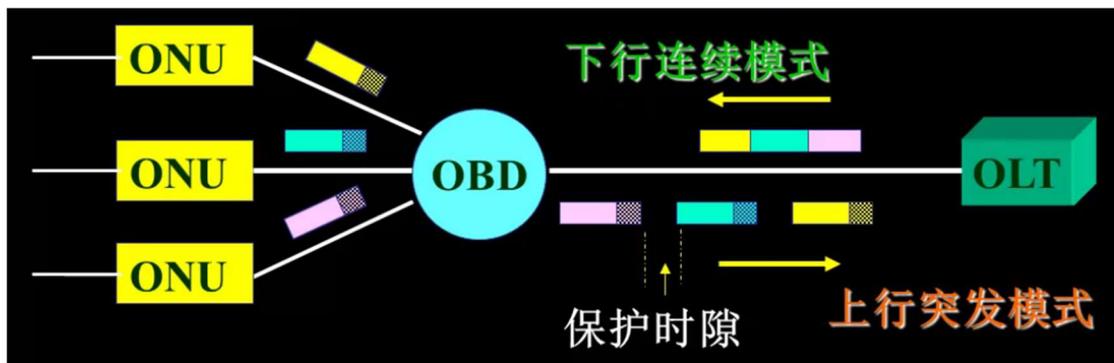
● 包括: APON、EPON



PON的基本概念

- **ODN**全部由**无源器件**组成（无源光分路器等）
- 信号在传输过程中无再生放大
- 信号由**光分路器**、**无源光功率分配器**等传至用户
- 实现透明传输，信号处理全由局端和用户端设备完成

- 下行：**OLT**向各**ONU**采用广播通信方式，传输连续时隙流（下行帧）
 - 局端数据 → **OLT** → 封装成连续时隙流下行帧
 - 以广播方式传送 → 各**ONU**收到信元流，取出属于自己的数据 → 用户终端
- 上行：采用**TDMA**技术（静态/动态分配），**突发传送**时隙流（上行帧）
 - 各**ONU**共享**ODN**，且数据突发性强 → **动态TDMA**
 - 各**ONU**向**OLT**申请带宽 → **OLT**授权**ONU**发送（上行的发送时隙、带宽分配等） → 获得授权的**ONU**在指定时隙发送



PON的帧都是定时长帧，分上行帧和下行帧

为了实现**TDMA**接入，在上行时隙中传输的数据要求附加开销。上行时隙格式如下：

附加开销 **ATM信元/OAM信元/以太帧**

OAM 信元：管理信元，发类似控制功能（初始化）的信元

测距技术

原因

- 采用**TDMA**，必须保证每个时隙的数据彼此独立，互不干扰
- **PON**结构中，各**ONU**到**OLT**物理距离不等，则各**ONU**到**OLT**的传输时延不同，如不进行时延补偿，会出现**时隙重叠**，造成数据干扰
- 为确保多个**ONU**到**OLT**之间的正确传输，必须引入测距机制，精确测量**OLT**到**ONU**的端到端时延，使各**ONU**到**OLT**的逻辑距离相等，使**ONU**发出的帧准确落在所分配的上行帧时隙之内

基本策略：静态测距 + 动态测距相结合

- 静态测距在**ONU**初装联网时进行
- 动态测距在数据传输过程中进行

为什么还要动态测距：原因温度，压强等条件导致距离变化。

测距的基本原理

1154413416正在观看(仅本人可见)

OLT向**ONU**发送测距允许消息，消息中指明**ONU**的上行应答的时隙

ONU在指定的上行时隙中用测距**PLOAM**信元应答

OLT计算往返时延，并与理想时延比较，计算出差值，发送一个测距时间给**ONU**

ONU根据测距时间调整均衡时延值

快速比特传送技术

测距精度有限，各ONU到OLT的上行比特流存在相位差异（**相位漂移**）

OLT需要采用某种技术实现快速同步，使其接收时钟快速**同步**到**当前接收的ONU比特流**

基本策略**先实现位同步、再进行信元同步**

- 同步图案——**bit同步**
- 定界图案——**信元同步**

普通的滑动技术不能满足快速同步要求，需采用其他技术

在上行帧中，

- 每个时隙的保护时隙开销——防止微小的相位漂移损害信号
- 前导比特开销——OLT在接收上行帧时，搜索前导比特图案，并以此快速获取码流的相应信息，达到比特同步
- 定界符开销——根据定界图案确定ATM信元的边界，完成字节同步



前导图案进行比特同步；定界符 ATM 信元同步。

扰码技术

- 也称为：搅码技术
- 为了保证下行广播传输的**安全性**和**保密性**，引入搅码技术
- 在发送端：通过一个随机码对信息进行异或运算后传送
- 在接收端：采用相同的随机码再进行一次异或运算，得到原始数据

MAC技术

信元的**时隙**分配

接入请求/允许——预约机制

带宽的动态分配

- 带宽管理由**OLT**完成
- 为**不同的业务**提供**优先级**和**带宽**
- 上行带宽的占用由媒质接入控制**MAC**协议实现

MRU (Maximum - Receive - Unit) 最大接收单元

MTU (Maximum - Transfer - Unit) 最大传输单元

EAP 是支持多种认证机制的通用协议; 可承载多种认证算法而非一个具体的认证协议。

EAP 将 NAR、NAS 分别称之为: 对等端、认证器, (peer, authenticator)

EAP 协议运行 — RFC 3748: 定义了对等端和认证器之间的协议交互。

IEEE 802 网络中的 EAP 应用定义在 IEEE 802.1X

IEEE 802.1X: 基于端口的接入控制协议

802.1X 与 RSA 模型的等同性。

NAR ↔ 客户系统; NAS ↔ 认证器系统; NAA ↔ 认证服务器系统

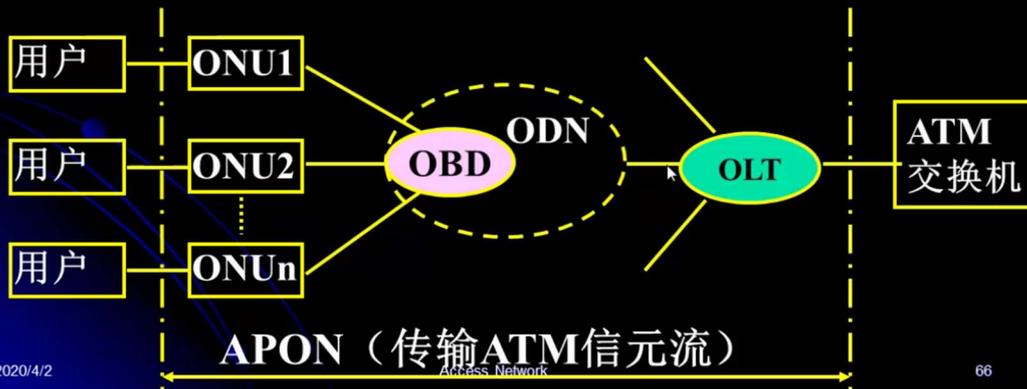
EAP 协议 (Extensible Authentication Protocol)

PAE 在 802.1X 中也指 Port Access Entity 端口接入设备 (双向的) 公共交换电话网络

PSTN: Public Switched Telephone Network

APON的系统结构

- 接入的主干网为**ATM网**
- 传输的数据流为**ATM信元流**
- 拓扑：无源双星结构
- 一个**ODN**（即**1个OBD**）最多支持**32个ONU**
- 当**ONU大于32**时，要求一个**OLT**提供多个**ODN**接口



APON的帧格式

- **定时长**帧，一个帧中包含的**信元数**随**数据率**不同而不同
- 下行速率为**155.52Mb/s**时，每帧**56**个信元

上下行速率为155.520Mb/s的帧结构

下行帧格式 1帧=56个信元，每信元53字节



上行帧格式 1帧=53个信元，每信元56字节



3字节头部

GPON 是 APON 的延伸。

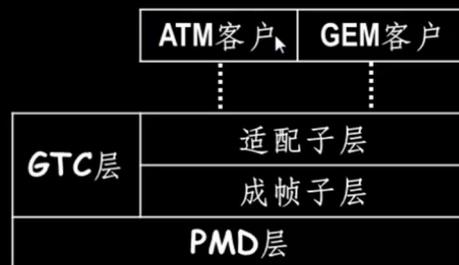
APON与GPON协议参考模型

APON协议参考模型

- Ch8/G.983.1-1998
- TC: 传输汇聚
 - Transmission Convergence

GPON协议栈

- Fig.7-1/G.984.1-2004
- GTC: GPON汇聚
- GEM
 - GPON封装方法
 - 可承载以太帧



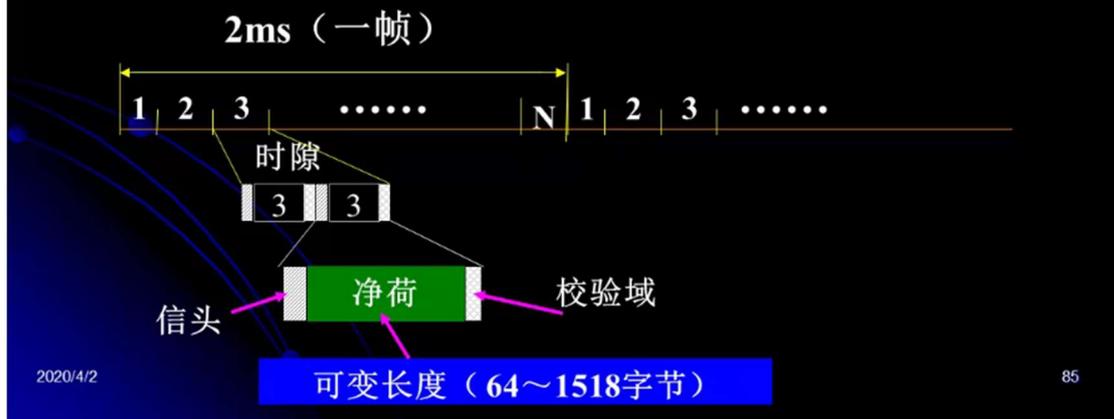
EPON的系统结构

- 网络结构与APON相似，但：
 - 接入的主干网为以太网
 - 传输的数据流为以太帧流



EPON的数据传输

- 上行：
 - 采用TDMA技术，每个ONU在授权给定的时隙内发送数据帧，不会发生碰撞（注：申请带宽时可能发生碰撞）。帧长度也为2ms



注意!! 申请带宽时可能会发生碰撞。碰撞时，就当没收到，随后再申请。
EPON 的帧是变长的，因为以太帧是变长的。

EPON与APON的比较

- EPON和APON最主要的区别：
 - 帧结构和分组大小
- EPON和APON的帧格式
 - 帧周期长度
 - 封装方式
 - EPON承载的数据单元长度可变
 - 64~1518 Byte
 - APON承载的数据单元长度固定
 - 53 Byte

电话铜线上的技术演进

- 表现在两个方面：**频段**的开发利用以及接入**技术**的演进
- 最初只提供**POTS业务**，带宽**0~4kHz**
- 话带**Modem**技术，在电话铜线上传输**数据**
 - 将数据调成**话带频段**内的**模拟**信号
 - 速率从最初的**300b/s**到现在的**56Kb/s**
 - 不能**数话同传**
- **ISDN**技术，采用**时分复用**实现**数话同传**
 - 在本地回路上传输**数字**信号
 - **2B+D**信道将速率提高到**144Kb/s**
- **xDSL**技术——充分开发电话铜线的带宽资源
 - 工作频段大多在**话带频带之外**，**可数话同传**
 - **HDSL**: **1.544Mb/s**、**2.048Mb/s**
 - **ADSL**: 最大下行速率**8Mb/s**，带宽**25KHz~1.104MHz**
 - **VDSL**: 下行速率提高到**52Mb/s**，理论带宽高达**30MHz**

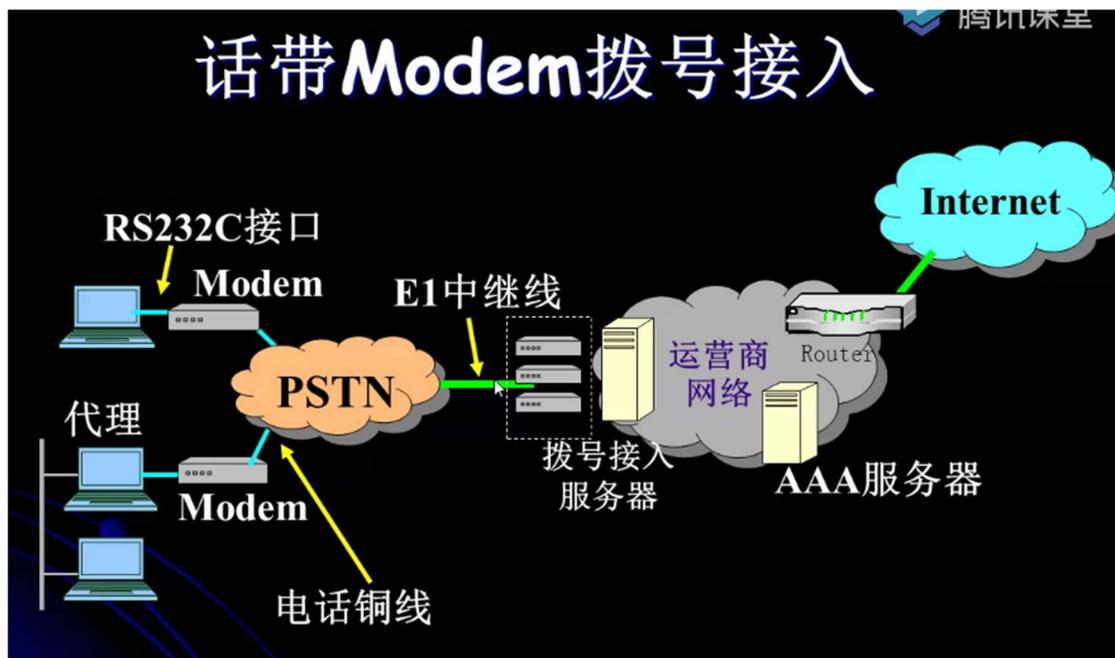
ISDN: 综合服务数字网: 分配两个通道, 分工。

POTS 业务: plain old telephone service 传统电话业务

HDSL: 高速数字用户线路 S: Subscriber

VDSL: 超高速数字用户线路

话带Modem拨号接入



PSTN: 程控交换网 public switched telephone network 公共电话交换网络

话带Modem拨号接入工作原理

- 前提：
 - PC机装有TCP/IP和PPP协议，
 - 拨号接入服务器具有一定数量的IP地址（IP地址池）
- 用户需事先从Internet Service Provider处得到拨叫的特服号、登陆用户名和口令
- PC机通过拨号上网时，会动态得到一个IP地址，成为Internet上的一台主机
- PC机下网时，IP地址被释放，以备分配



2020/4/2

Access Network

14

ISDN拨号接入



- ISDN: Integrated Services Digital Network (综合业务数字网)
- TE1: 非ISDN终端
- TE2: ISDN终端
- TA: ISDN终端适配器
- NT: 网络终端
- 信道: 2B+D (BRI) 或30B+D (PRI)
 - B信道传输数字语音或数据，D信道传输信令

2020/4/2

Access Network

19

TE1 需要适配，TE2 不需要适配。

2B+D,30B+D 多个通道一起传，可实现数话同传。

ISDN拨号接入

特点

- 在模拟信道上采用**数字传输**技术
- 一线多能（数话同传）
- 高速接入（2个B信道可以捆绑使用，上网速率可达128Kbps）
- 提供标准网络用户接口，支持多个设备接入
 - 1条具有2B+D的用户线可连接8台终端
 - 最多可有3台同时工作（D信道也可传输低速数据）
- 可用于家庭用户拨号接入、商用专线接入
- 除欧洲外，其它地区用户很少

局限性

- 速率仍不够高，不能满足宽带业务需求
- 安装较Modem接入复杂

● xDSL

- 一系列数字用户线路技术
- 运行在现有模拟用户线路上
- 使用DSP技术进行数字传输
- 宽带接入技术，工作频段大大高于话带
- 实现电话接入铜线上的高速接入

● 分类：

- **速率对称型DSL技术**
 - HDSL、SDSL、IDSL
- **速率非对称型DSL技术：**
 - ADSL、VDSL、VADSL、RADSL、CDSL

不同DSL技术的差别

- 主要表现在**速率**、**传输距离**、编码技术、上下行速率的**对称性**等方面
- **HDSL:**
 - 上下行速率对称、**1.5/2Mb/s**，**2对线**（HDSL2支持**1对线**），与话带重叠，不可与话音业务同时进行
- **ADSL:**
 - 不对称，上行**640kb/s**，下行最高**6~8Mb/s**。**1对线**，工作频带高于话带，可同时支持话音业务
- **VDSL:**
 - 不对称上行最高**6.4Mb/s**，下行最高**52Mb/s**；
 - 对称上下行最高**26Mb/s**。**1对线**，工作频带高于话带，可同时支持话音业务

ADSL 好，VDSL 适应性较小，距离短。

xDSL的接入结构

- **xTU-R: DSL远端传输单元**，**xTU-C: DSL局端传输单元**



xTU-R: R: remote 远端的

分离器: 实现数话同传



分离器



话带 modem



局端设备

xDSL的转移模式

腾讯课堂

- 转移模式：用户端到局端之间在DSL链路上**承载并传送**的数据的基本方式
- DSL的三种转移模式：
 - STM: 11月19日正在观看(仅本人可见)同步转移模式——**没有流行起来**
 - 在DSL链路上承载并传送比特流（STM帧，固定速率的流式业务）

- 同步时分复用、仿真租用线路、适用于定速率流式业务
- **ATM: 异步转移模式——曾经的主要模式，现在仍在用**
 - 在DSL链路上承载并传送**ATM信元**
 - 曾经被认为是主要的模式
- **PTM: 分组转移模式——主要模式**
 - 在DSL链路上承载并传送**变长**分组（变长帧）
 - 新定义的转移模式，适用于**IP业务**

2020/4/2

STM/ATM/PTM over ADSL示例

同步传输模式不太好，同步太难；

ADSL基本特征 腾讯课堂

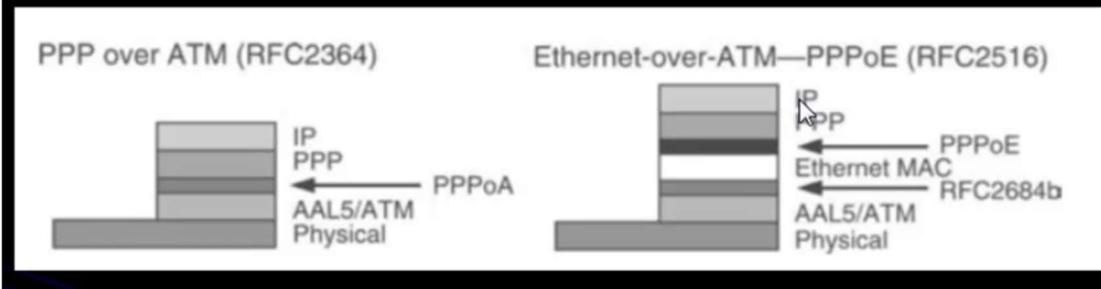
- 在现有的电话铜线上提供高速数字业务，不干扰**POTS**业务
- 与**POTS**业务共享同一电话线，采用**FDM**实现数话同传
- **ADSL**只使用**PSTN**的**用户接入段**，不进入程控交换机，直接进入数据网，**ADSL**业务不交电话费

ADSL接入结构 腾讯课堂

- **ATU-C: ADSL Transmission Unit-CO side, ADSL局端传输单元**
- **ATU-R: ADSL Transmission Unit-Remote side, ADSL远端传输单元**
- **ADSLAM: ADSL Access Multiplexing, ADSL接入复用器**

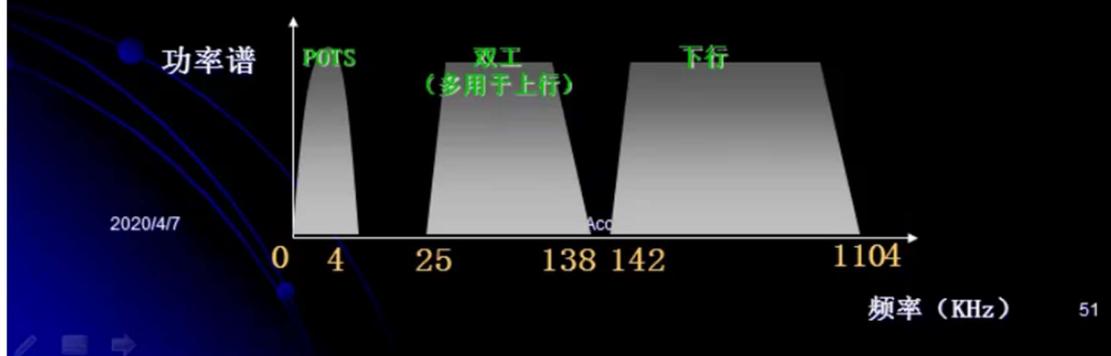
ADSL 关注点就是在那段用户线上。

PPP会话帧两类典型的封装方法

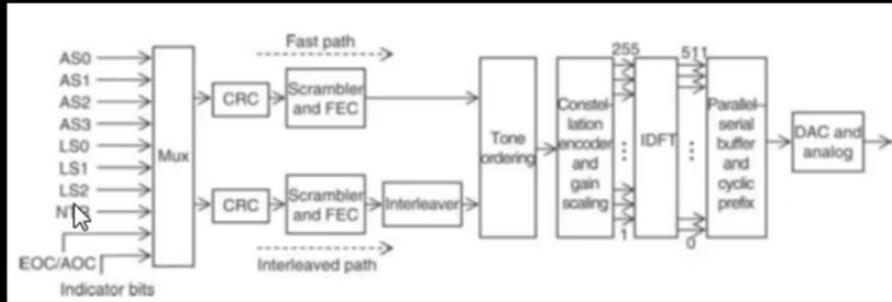


ADSL的频谱划分

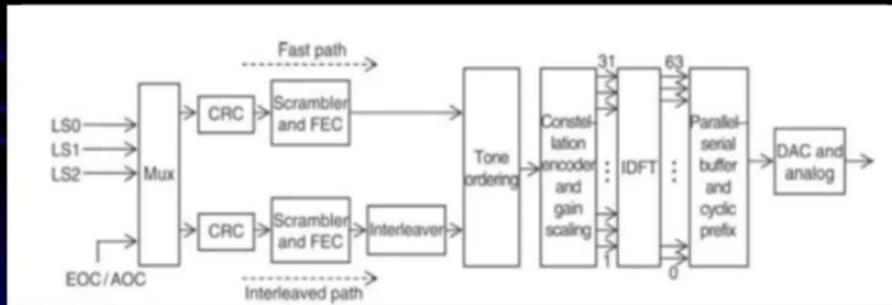
- ADSL信道带宽为0~1.104MHz，被划分为256个带宽为4.3125kHz的子信道（Subchannel），从0~255对其编号
- 0~4.3125kHz，POTS业务
- 25.875~138kHz，可配置成双工（但主要用于ADSL上行数据传输）
 - 6~31号子信道
- 142~1104kHz，用于ADSL下行数据传输
 - 33~255号子信道



ATU-C 发送器 参考模型



ATU-R 发送器 参考模型



L0,1,2 分在的双工信道，AS0,1,2,3 在下行信道。

Fast path: (少了一个交织模块 (不按 1, 2, 3, 4...发, 按 1, 3... 2, 4...; 一般错误会连续错, 因为干扰都是脉冲变化, 使错误不连续, 增加纠错的可能)) Interleaved path: 有交织, 解交织模块。

什么是承载信道 (bearer channel)?

- a **user data stream** of a specified data rate (具有特定数据率的用户数据流)
 - To be transported transparently by an ADSL system in ASx or LSx
 - And to carry a **bearer service** (承载服务)
 - **bearer services**: the transport of data at a certain rate without regard to its content, structure, or protocol
- 承载信道指具有特定速率的用户数据流, 该用户数据流承载着某种承载业务, 并在ADSL系统中“透明”传输 (即按比特传输, 而忽略承载业务的内容、结构和协议)
- 承载信道是一种逻辑信道, 通过利用物理层的多载波机制, 实现具有特定数据率要求的数据业务的传输

ADSL物理信道如何使用?

- 通过将ADSL物理信道划分成承载信道来使用
 - 所有的承载信道的速率都是32Kbps的整数倍, 并且都是**可以设置**的
 - 可双向配置的低速信道 (25.875 kHz~138 kHz)
 - 分成LS0、LS1、LS2三个子信息通道 (即双工承载信道)
 - 速率变化步长为32kb/s
 - 速率为16 kb/s以及32Kbps~640kb/s
 - 下行高速信道 (140kHz~1104 kHz)
 - 分为AS0、AS1、AS2、AS3四个子信息通道 (即单工承载信道)
 - 速率变化步长32kb/s
 - 速率为32kb/s~6.144Mb/s
- 在这7个承载信道中, **AS0和LS0是被强制支持的, 而其余承载信道是可选的**

ADSL的承载信道

Bearer Channels	Lowest Required Multiple	Largest Required Multiple	Corresponding Highest Required Data Rate
AS0	1	$n_0 = 192$	6144 kbps
AS1	1	$n_1 = 144$	4608 kbps
AS2	1	$n_2 = 96$	3072 kbps
AS3	1	$n_3 = 48$	1536 kbps
LS0	1	$m_0 = 20$	640 kbps
LS1	1	$m_1 = 20$	640 kbps
LS2	1	$m_2 = 20$	640 kbps

- ADSL通常采用三种基本的调制技术:
 - QAM: Quadrature Amplitude Modulation, 正交幅度调制
 - DMT: Discrete multi-Tone, 离散多音
 - CAP: Carrierless Amplitude-Phase Modulation, 无载波幅相调制

DMT调制技术



- **DMT基本思想:**
 - 是一种最简单的多载波调制技术
 - 将信道分成若干个互不重叠的子信道（离散）
 - 每个子信道分别单独进行调制(例如采用QAM)
 - 根据S/N自适应分配子信道承载的比特率
 - 每个子信道受损的情况可能不同
 - 受损大的子信道分配较少的比特（甚至放弃）
- **ADSL中的DMT:**
 - 将0—1.104MHz的频带分成256个子信道，每子信道带宽4.3kHz
 - 每个子信道单独进行QAM调制
 - 根据子信道受损情况采用不同的QAM技术——每个子信道分别采用具有不同星座点数的QAM调制
 - 不同的子信道，传送能力不同，分配的比特数也不同
 - 降低调制速率以提高抗干扰能力，特别适合抵抗RFI

1154413416正在观看(仅本人可见)

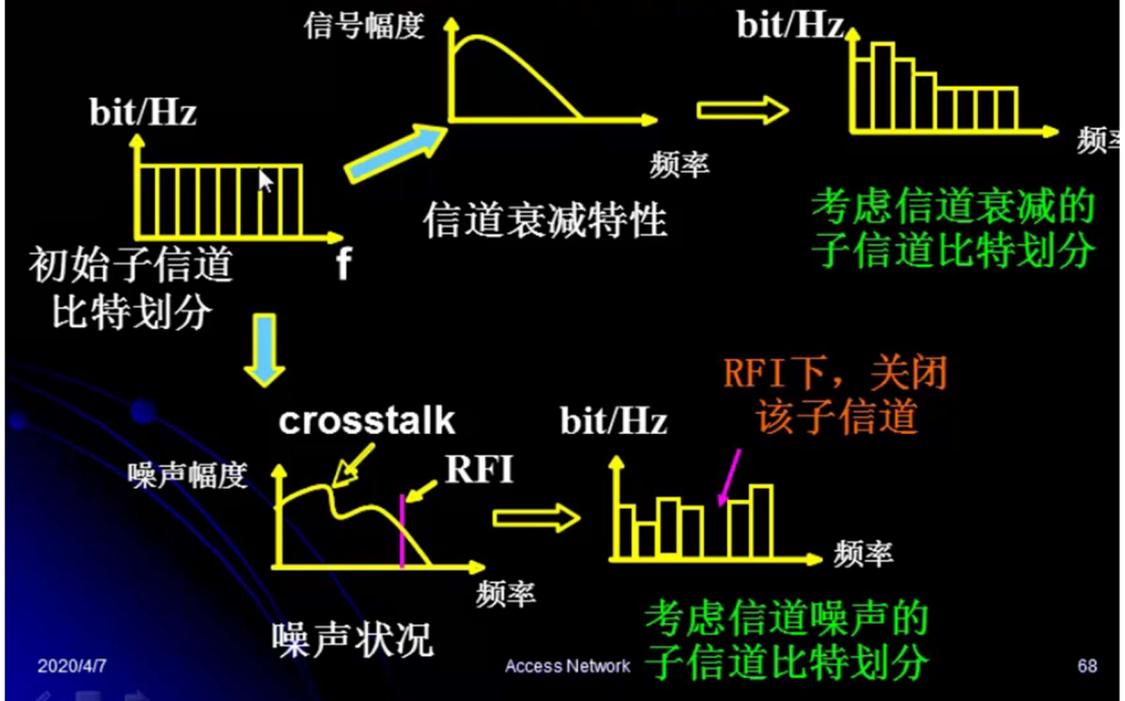
● DMT如何为各子信道动态分配比特率？

- 发送测试信号（训练序列）→接收端进行频谱估计，根据算法计算出各个子信道的信噪比→确定各子信道的比特分配
- 如果某个子信道质量太差，可以放弃使用此子信道

● DMT的特点

- 可根据信道质量自适应调整比特
- 可以避开强干扰的子信道，提高ADSL的抗干扰能力
- DMT在避开干扰的同时，也牺牲了有效带宽，不过就可靠性而言，是值得的

DMT调制技术

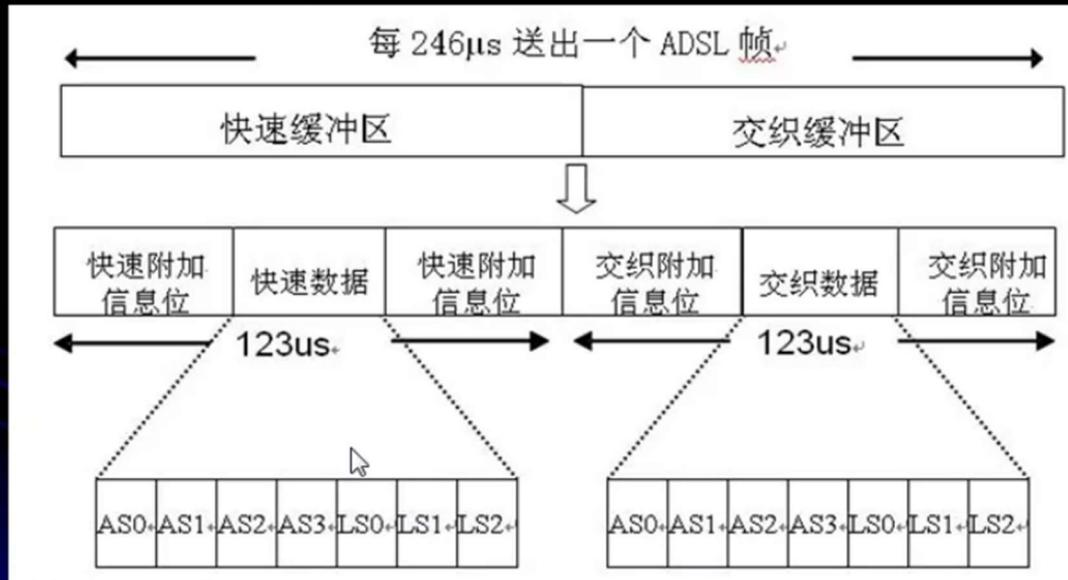


ADSL帧格式

- **ADSL数据帧**
 - 铜线信道被划分成若干子信道，数据被分别调制到子信道，这些子信道合起来形成一个DMT码元
 - 一个DMT码元对应一个ADSL数据帧，DMT波特率=4000 symbol/s → 每250us产生1个DMT码元
 - 每68数据帧后跟一同步帧 → ADSL超帧(69帧)
 - **ADSL超帧**
 - 两个同步帧之间的数据帧组成一个超帧
 - 68个数据帧+1个同步帧
 - ADSL超帧时长: $17\text{ms} = 68 \times 250\text{us}$
 - 同步帧不能影响超帧时长，每个帧长 = $17\text{ms} \div 69 = 246\text{us}$
 - **ADSL帧与超帧均是定时长帧**
 - 由于ADSL支持不同数据率，所以不能有固定比特长度
 - 只是以每246us的周期发出1个帧
- 2020/4/7 Access Network 79

ADSL帧格式

腾讯课堂



ADSL.Lite

腾讯课堂

标准ADSL需要在用户端安装无源分离器

- 增大了安装工作量、成本、时间

轻型ADSL: ADSL-lite

- G.992.2-1999, G.lite

● 特点:

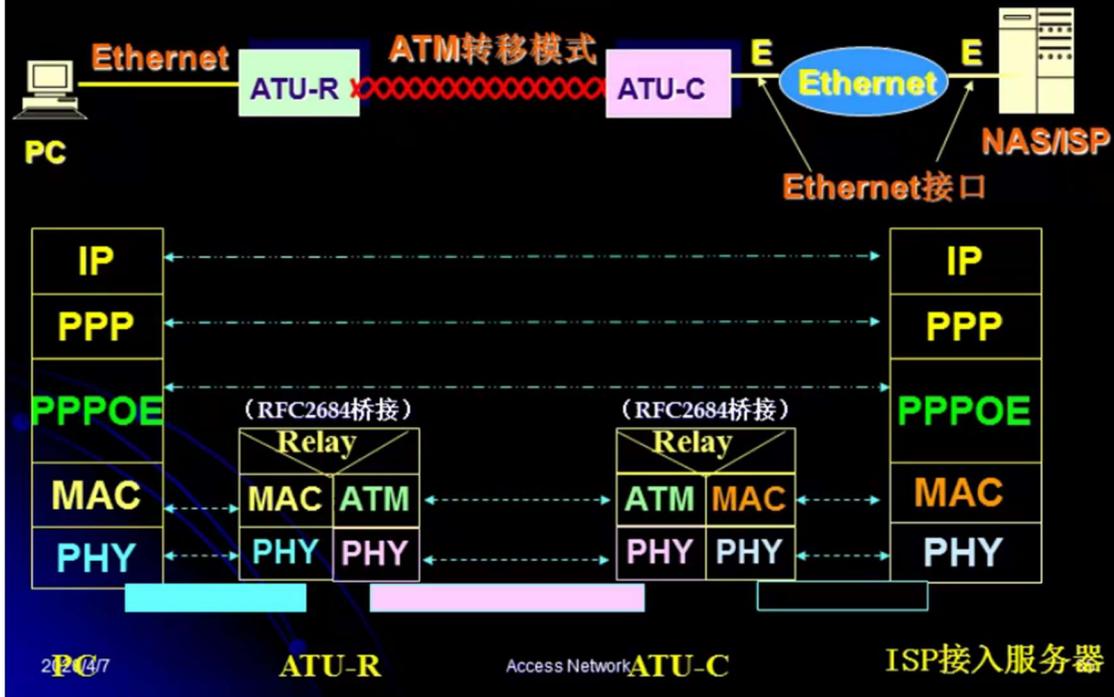
- 无需安装用户端分离器 (Splitterless)
- 实现较为简单, 可使用通用的DSP芯片
- 数据传输率较低: 1.5Mbps/512kbps
- 传输距离: 最长可至7km
- 因无分离器滤波器作用, POTS业务与ADSL业务之间相互干扰
- 适合大量推广于个人用户

数据传输率低: 语音会与数据产生较少干扰。

局端分离器还有。(局端的信息多, 分离复杂)

ADSL桥接应用

腾讯课堂



重点：年年考。下面那个叫协议栈

ADSL桥接应用实例

腾讯课堂

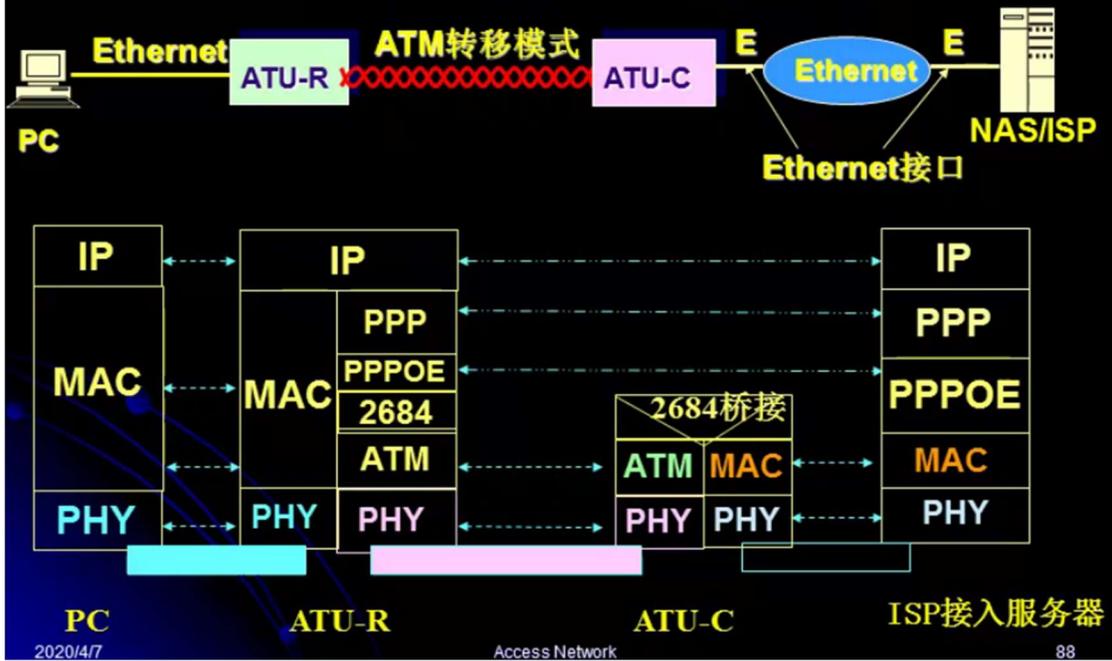


1. 主机与PPPoE Server建立1条PPP连接
2. 该连接所分配的IP是：10.10.10.38
3. 默认网关：10.10.10.38
4. DNS由手动设置

默认网关自己的原因：主机走的是PPP协

议，不需要区分网关，不存在网关概念，点到点通信。

ADSL路由器接入



路由器复杂。这是 ATU-R 是路由器。与桥接方式物理连接相同，但协议栈不同。

ADSL路由器接入应用实例



DSLAM: ADSL 接入复用器。

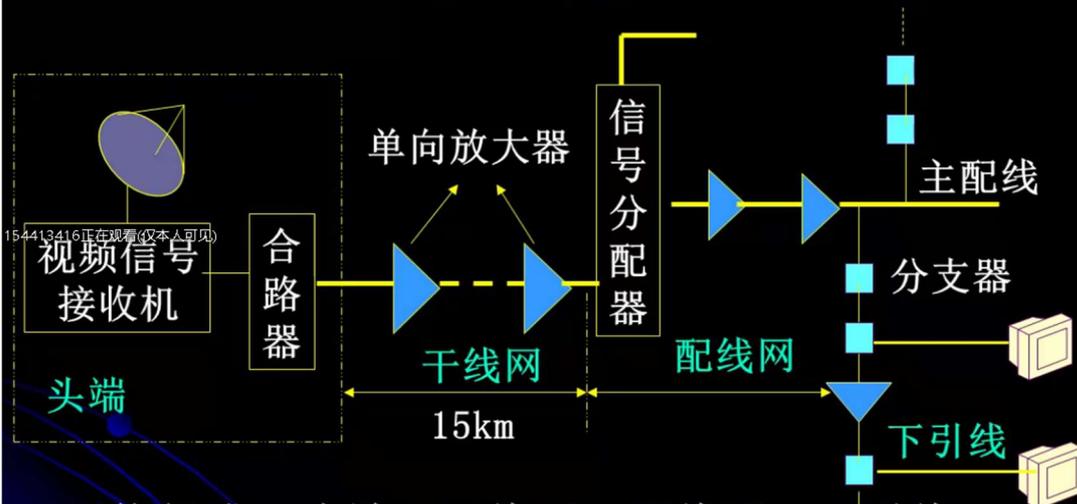
CATV网络

CATV——传统的有线电视网络

CATV的特点

- 为特定的业务设计
 - 将广播视频业务传送到家而优化设计
- 通信方式：**单向（下行）、广播式**
- 介质：**同轴电缆或以同轴电缆为基础**
- 广播业务使用频段：**50~550MHz**
- 复用技术：**FDM**
- **模拟**传输方式

CATV网络



- 网络组成：头端、干线网、配线网、下引线
- 设备组成：头端设备、放大器、分配器、分支器
- 拓扑结构：树状、鱼骨状结构（分支结构）

2020/4/9

Access Network

5

特点：全单向

CATV网络系统结构

- 头端
 - 信号的接收与处理中心
 - 接收来自各种信号源的电视信号（卫星、本地）
 - 将接收到的各路信号调制到一个6（8）MHz频道
 - 通过FDM合路器下载到干线，最终送到千家万户
 - 输出信号的频率范围在5MHz ~ 1GHz内
- 干线（网）
 - 连接头端和信号分配点之间的电缆与设备
 - 距离一般为15km
- 信号分配器：将干线信号分成几路，覆盖更大范围(将干线信号分配到楼群、单元)
- 配线：连接信号分配点与分支器，中间有放大器
- 分支器：用户的接入点
- 下引线（引入线）：用户接入线缆

CATV网络的局限性

- 业务单一：视频
- 单向通信：只能下行通信，不能双向交互
- 网络结构脆弱：鱼骨形结构，只要一个地方或设备故障，可能导致中断对众多用户的服务
- 传统的CATV已不能满足现代业务（交互式、综合业务）的要求，双向改造势在必行

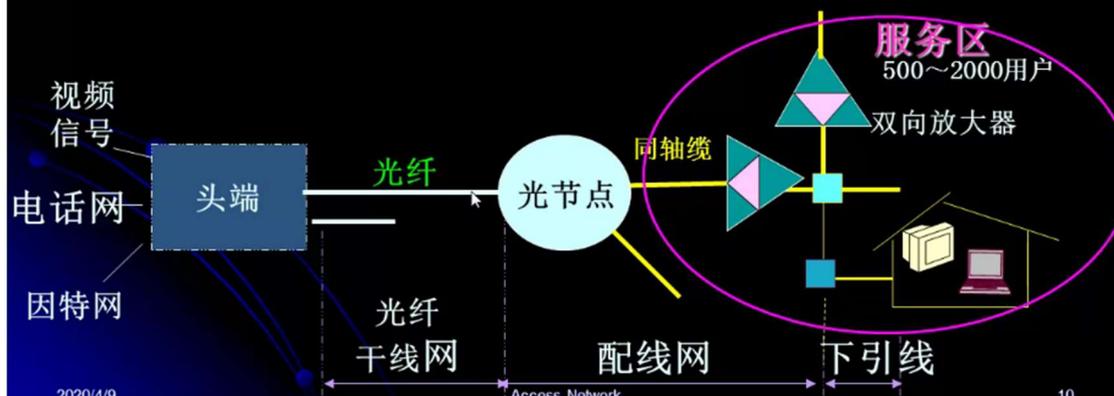
HFC网络

- **HFC**：光纤同轴混合网络
 - Hybrid Fiber Coax
- **干线部分**
 - 用光传输系统代替传统网络中的同轴电缆
- 用户分配网
 - 仍保留同轴电缆网络结构
- 可提供业务
 - 保留传统**CATV**单向电视广播业务
 - 利用加宽的频带提供宽带数据业务
- 便于在原有**CATV**网络基础上进行双向改造
 - 网络中的放大器等有源器件均需双向改造

重点：在干线部分引入光纤。

双向的HFC网络结构

- 光纤到**服务区**结构（**FSA**）
- 每个服务区物理上为一个独立的子网
 - 不同的服务区可采用相同的频谱，彼此不干扰



光节点：光到电转换。

HFC网络结构

- 头端
 - 信号的接收与处理中心
 - 接收来自各种信号源的电视信号（卫星、本地）
 - 接入到PSTN、Internet
- 光纤干线网
 - 头端到服务区光节点之间的部分（光纤）
 - 拓扑结构为星形
- 配线网和下引线
 - 完全同CATV（放大器除外）
 - 配线网的拓扑结构为树形

双向HFC的优势

1154413416正在观看(仅本人可见)

- **取消**主干上的放大器，提高信号质量和可靠性
- 在主干上采用光纤，提高了容量，为宽带接入奠定了基础
- 为双向交互式通信提供了网络条件
- 通过Cable Modem可实现全业务通信（数、话、图）

HFC网络特点及面临的问题

- 特点

- 共享介质、点到多点结构
- 上行信道多干扰环境

- 面临的问题

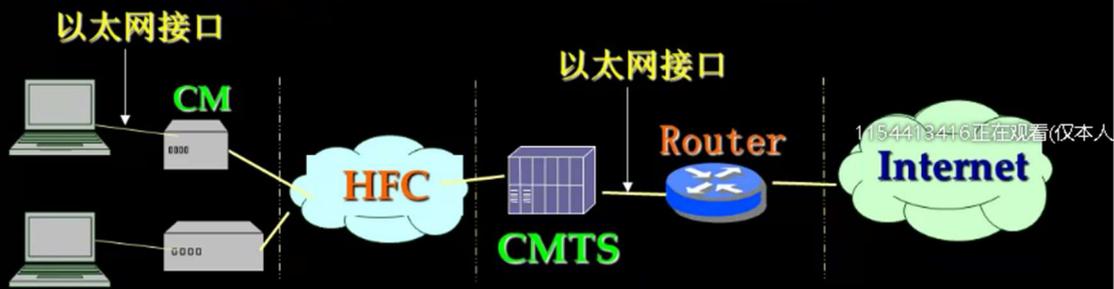
1154413416正在观看(仅本人可见)

- 上行信道的分配问题（需要MAC协议）
- 上行信道多干扰（各种噪声）
- 安全性问题
- 可靠性问题（单点故障）
- 供电问题（户外设备供电）

Cable Modem系统概述

- Cable Modem: 电缆调制解调器（简称CM）
- 基于双向HFC的宽带接入技术
- 频分复用，实现
 - 数据业务和传统CATV业务共存
 - CATV（典型频段）：50—550MHz
 - CM（典型频段）：5—42MHz, 550—750MHz
 - CM上、下行双向通信
 - 5—42MHz（上行） 550—750MHz（下行）
- 非对称速率方式
 - 下行 最高42Mbps
 - 上行 最高10M bps (QPSK 最高1.5Mbps)
- 两种标准
 - IEEE802.14, 基于ATM传输
 - DOCSIS, 基于IP传输

Cable Modem的系统结构



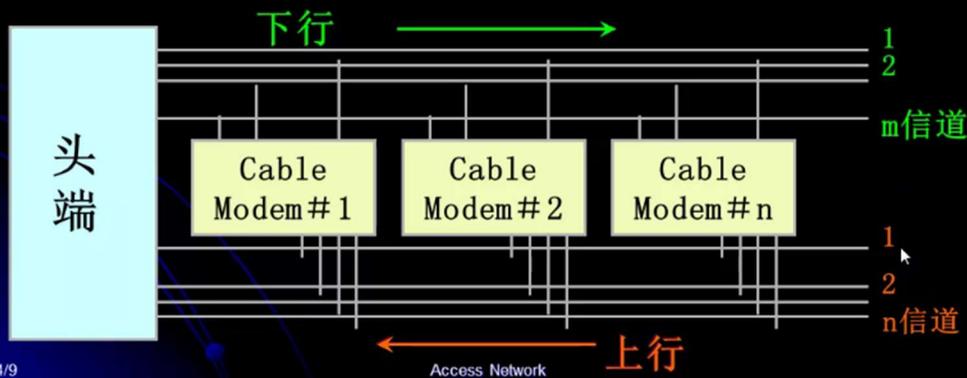
- **CMTS: Cable Modem Termination System** (电缆调制解调器端接系统)
- **CM: Cable Modem** (电缆调制解调器)

Cable Modem的系统结构

- **CM: 电缆调制解调器**
 - 连接用户的PC与HFC网络
 - 对网络和用户数据进行调制/解调，并传输
 - 实现网络与用户数据的双向交互
- **CMTS: 头端设备**
 - 连接数据网与HFC
 - 对数据的调制/解调与传输，对所有CM的接入进行控制（认证许可）
 - 给CM分配带宽并进行管理

工作原理

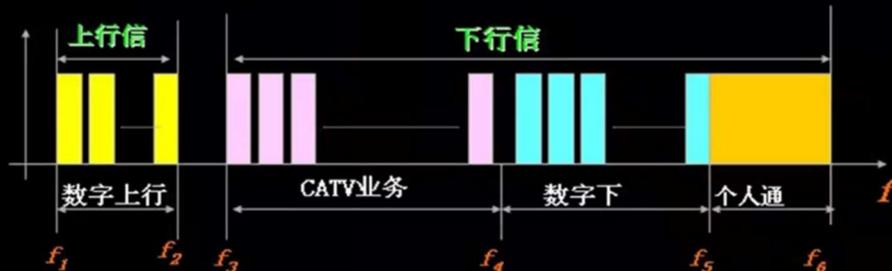
- 每个CM都有一个ID（48位，制造商）
- CM的接收器能调谐到所有m个下行信道的任何一个接收数据
- CM能在所有1~n个上行信道中的任何一个发送数据



2020/4/9

22

Cable Modem工作过程

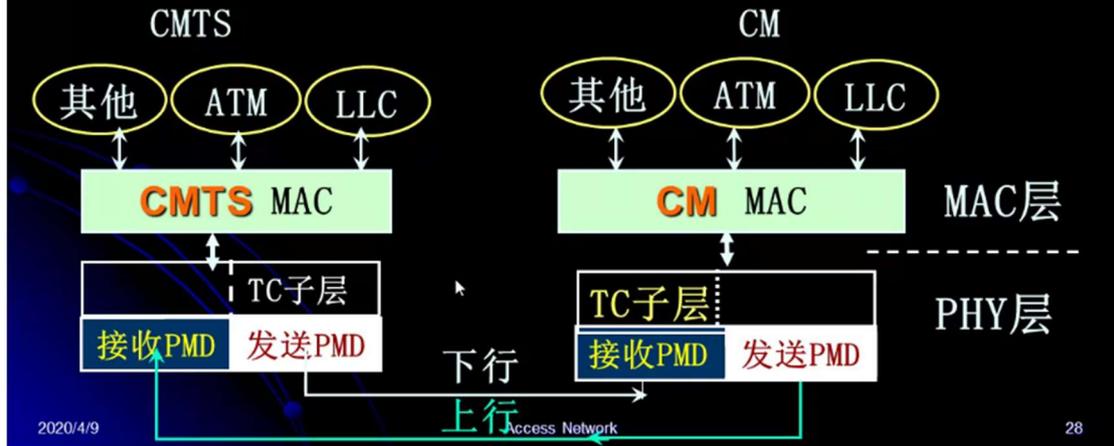


- CM首先需要确定下行信道→下行信道上有头端广播的上行信道频率分配信息→确定上行信道，并用这个指定的上行信道向头端发送注册请求→在收到头端的确认后，进行测距、认证、初始化等操作→建立起CM与CMTS之间的正常通信

测距：联想到时分，每个小信道还要时分（先频分再时分）

CM协议参考模型

- 模型包括：物理层和MAC层
- 承载的高层数据主要为两种
 - ATM信元（802.14标准）
 - LLC PDU（DOCSIS标准）



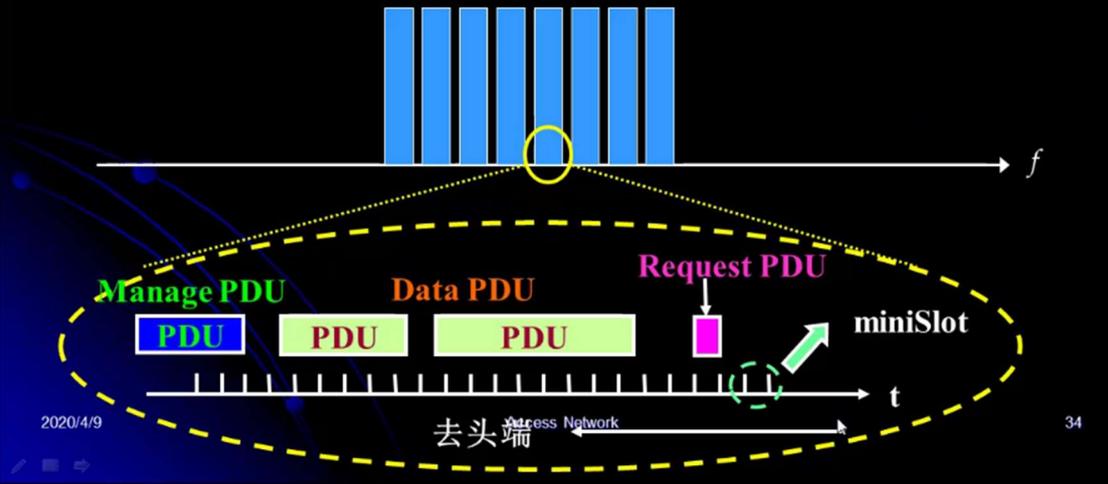
TC子层：传输适配子层，下行比较复杂。

CM物理层功能

- 组成：PMD子层、TC子层
 - PMD子层：物理介质相关子层
 - 分为上行PMD和下行PMD
 - 提供物理接口、信号的调制/解调、比特流同步等
 - TC子层：传输会聚子层（下行数字信道）
 - 目的：
 - 提高下行解调的鲁棒性
 - 方便使用通用的接收硬件来同时接收视频和数据
 - 为今后在下行PMD比特流上实现对视频信号和数据的多路复用预留下扩展空间
 - 提供与MAC的接口，对MAC帧进行分片与重组
 - 形成在信道上传输的格式
 - PDU的定界
 - 完成同步、测距和功率调整
- 11:57:41 2/16 正在观看(仅本人)

上行信道物理层

- 通过FDMA将HFC网络上行带宽划分成多个RF信道，CM在指定的某个上行RF信道传输
- TDMA技术将每个上行的RF信道进一步划分成若干时隙，共享某条RF信道的CM通过动态分配时隙实现突发的数据传输



上行信道物理层

上行信道可承载三种PDU（不同的PDU在头部由不同的类型表示）

- **Request PDU**
 - 用于CM请求上行带宽，含CM ID，所需时隙数等
- **Data PDU**
 - 承载数据，可以是定长信元或变长帧
- **Manage PDU**
 - 用于测距、功率调整等



请求时可能发生冲突，所以 Request PDU 较小。

MAC

- 下行信道只有一个发送者——**CMTS**，所有的**CM**侦听下行信道上传输的所有帧，并接收目的地址与自己匹配的帧
- 上行信道具有多个发送者——**CMs**，而只有一个接收者——**CMTS**
 - 上行信道是分时隙的，**CMTS**提供时钟参考信息，并且控制每一个时隙分配和使用，而**CM**通过预约或者竞争的方式获得上行时隙的使用

预约：捎带，发数据时顺带把下次发送就预约了。