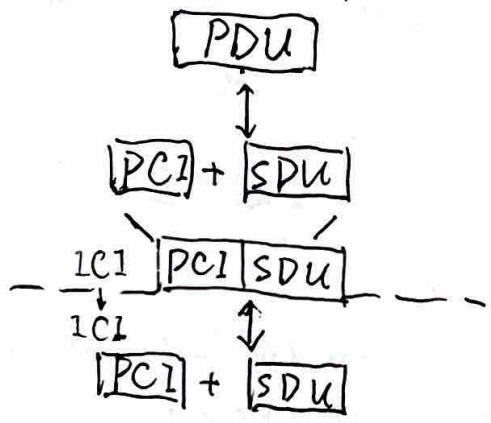


# 第一讲 绪论 Computer Networks

计算机、信息资源、人 —— 构成现代网络世界三个重要元素，网络的整合。  
 通用性 —— 现代网络最主要特征，连通、经济、扩展、可靠、适应 —— 基本问题。  
 电话网：交换、复用、结构化编址。（电路交换、时分复用），树状拓扑。  
 电报网：分组交换，存储转发，报文交换。  
 计算机网络：分组交换，统计时分复用，无连接，扁平拓扑和路由，异质异构的网络。

## 第二讲 网络体系结构设计

### 1. 分层模型中服务和协议的概念



服务：层间的接口关系  
 协议：同层的通信实体之间的接口关系

### 2. OSI 七层协议中物理层、数据链路层、网络层、传输层的服务区分

- 物理层：处理直连结点间的比特传输
- 数据链路层：直连结点间的中位传输，处理差错问题，共享介质时的多路访问问题。
- 网络层：间接连接结点间的数据传输，分组交换。
- 传输层：提供端到端通信，并提供一定的服务质量。

## 第三讲 点对点上的可靠通信

### 1. 物理层的服务抽象

- NRZ: 0低1高 基线漂移，时钟恢复，连1连0
- NRZI: 0不变1变 时钟恢复，连1连0
- 曼~: 0右1左 比特率 = 波特率，占用带宽比 4B/5B 宽
- 4B/5B: 5b 编码 4b 连0不起，无时钟恢复问题（连1连0多会积累误差导致时钟漂移）

- 奇偶校验 → 二维奇偶校验
- 循环冗余校验 (CRC): 异或，按多项式最高次幂补位。

## 2. 各种组帧技术 - 优缺点和适用范围

① 时间间隔法: 帧间空闲

空闲状态的不确定性.

② 字符计数法: 帧头插入帧长, 帧分隔符 (STX, ETX).

正文中出现帧分隔符会混淆.

③ 字符填充的分界符法: 标志符或转义符在帧中则前置转义符.

帧长必须是字符长度的整数倍.

④ 位填充的分界符法: 01111110 为帧边界标识符, 5 连/6 连在帧中则添 0.

错误帧可借错误检测和制识别.  $Total\ bits = M + \lfloor M/K_{max} \rfloor V$

## 3. 停等式、回退 N、选择性重传 ARQ 的工作原理以及序列号空间大小的选择 (LLC 层)

### ① 停等式 ARQ

接收窗口  $0, 1$ . 发送窗口  $0, 1$ .  $Efficient = D_{TP} / (D_{TP} + D_{TA} + 2D_p)$ ,  $RTT = 2D_p$ .

序列号空间:  $SN = i\ or\ i+1$   $RN = i\ or\ i+1$ . 效率可通过并行停等 ARQ 提高.

### ② 回退 N ARQ

接收窗 = 1, 发送窗  $SN_{max} - SN_{min}$ .

序列号空间:  $m \geq 1 + SN_{max} - SN_{min}$ .

### ③ 选择性重传 ARQ

接收窗 = 发送窗 =  $SN_{max} - SN_{min} = RN_{max} - RN_{min} + 1$

序列号空间:  $m \geq 2(SN_{max} - SN_{min})$  改进: 增大窗口值, 多次重传

## 第五、六讲 共享介质网络.

### 1. 介质访问控制算法的基本分类

- 随机访问: 使用资源, 检测冲突, 冲突恢复
- 预约: 有序地计划请求资源, 时隙分配, 无冲突
- 轮询: 排定资源访问的顺序, 无冲突.

## 2. 随机访问、预约访问和轮询访问算法的基本原理和性能分析.

### ① 随机访问.

#### 1) ALOHA.

发, 等  $2D_p$ , 冲突随机重发

冲突危险期:  $2 \times$  帧传输时间  $S = G e^{-2G} \leq 0.184$

#### 2) Slotted ALOHA

分时段 (可以同步)

冲突危险期: 帧传输时间  $S = G e^{-G} \leq 0.368$

#### 3) CSMA

P-

P-

non-

侦听信道, 空闲则以 P 发送, 冲突随机等待, 忙则持续侦听/随机等待.

冲突危险期:  $D_{p, \max}$

#### 4) CSMA/CD.

随机等待

冲突则发干扰, 并 ~~进行新的数据~~, 其余同 CSMA.  $\rightarrow$  以太网协议 (MAC 子层).

冲突危险期:  $D_{p, \max}$ . 避免漏检、误检, 最长帧长  $2D_{p, \max}$ .

### ② 预约访问 (有时间同步).

#### 1) 基本预留:

$M$  用户,  $M$  时段, 时分复用, 侦听预订区内 信令 确定是否发送  
少用户时时段浪费. 信道利用率  $k d / (N + k d)$ ,  $k \in [1, N]$ .

#### 2) 前导式预留 ~~+ 二进制计数~~

$M$  用户,  $< M$  时段, 时分复用, 每一时段 信令 竞争 ( $= 0$  idle,  $= 1$  占用,  $> 1$  冲突).

CSMA-CD 即时隙为 1 的前导式预留.

#### 3) 二进制计数 + 预订时段压缩. (忽略延时)

预订阶段比 地址 + 地址号轮转,

信道利用率  $d / (d + (\log_2 N) \cdot k)$

$k = \lceil \log_2 N \rceil$  个时段完成预订 (用户数 = 1);  $N/k = N / \lceil \log_2 N \rceil$  个时段... (用户数 =  $N$ ).

### ③ 轮询访问 (无时间同步).

### 1) 中心控制式

中心维护轮询次序 0101020102030

总漫游时间 =  $2(3D_1 + 2D_2 + D_3)$  (轮询次序 0102030, 每站点都发)

### 2) 中继式

引入中继节点, 形成层状结构. 012121310

总漫游时间 =  $2(D_1 + 2D_2 + D_3)$  (轮询次序 0121310, 每站点都发)

### 3) 环形 (逻辑上环形, 物理上不闭环)

无中心, 各节点维护轮询下游. 0123210

总漫游时间 =  $2(D_1 + D_2 + D_3)$  (轮询次序 01230, 每站点都发)

## 3. ~~以太网的原理与实现~~ 令牌环网的设计与实现 (物理上成环)

帧边界符

$\begin{cases} 01111110 & \text{闲令牌} \\ 01111111 & \text{忙令牌} \end{cases}$

令牌环游捎带确认:

$\begin{cases} A=0 & C=0 & \text{目标不存在} \\ A=1 & C=0 & \text{错帧, 收方NAK.} \\ A=1 & C=1 & \text{ACK.} \end{cases}$

环路延迟 = 环路全长  $\times$  比特率 / 信号速率 + 节点数  $\times$  节点处理延迟 (bit)

令牌环游时间 = 活动用户数  $\times$  令牌持有时间 + 环路延迟

超时间隔 = 总用户数  $\times$  令牌持有时间 + 环路延迟

吞吐率 = 帧长 / (比特率  $\times$  (帧长 + 环路延迟 + 闲令牌传递延迟))

## 4. 以太网的原理与实现 (MAC子层)

CSMA-CD + 二进制指数后退 (将冲突发生后的时间划分为长度为  $2^i T$  的时槽)

# 12讲 共享介质网络的扩展

## 1. 介质访问控制算法的扩展性问题.

帧结构: 6B 目的地址 6B 源地址 2B 长度/类型 46~1500B 数据 4B 校验.

传输方式: 广播发送 + 选择性接收

物理层 → 信号衰减

MAC层 → 传播延时.

## 2. 中继器、集线器、以太网网桥、以太网交换机的区分

- 中继器: 物理层, 放大
- 集线器: 物理层, 多端口中继, 不隔离冲突域. 共享式    交换式
- 网桥: MAC层, MAC帧过滤隔离, 存储转发, 隔离冲突域 (以太网 → 以太网)
- 交换机: MAC层, 微分段网桥, 冲突域只含一个节点, 全双工, 无冲突 (总式式交换机内部冲突)

## 3. 以太网网桥的工作原理 (扩展以太网中冲突域的数目)

### ① 自学习

~~帧地址转发~~ 源地址学习, 目的地址转发, 未知地址它端口广播 ⇒ 转发表 (地址, 端口)

### ② 生成树

BPDV 网桥协议数据单元 (根ID, 源ID, 费用).

1) 假定自己是根网桥, 将自己ID填入根ID和源ID, 置费用为0.

2) 广播并接收BPDV, 选出最优BPDV (根ID最小 || 根ID等 & ~~源ID~~ <sup>费用</sup>最小 || 根ID等 & ~~源ID~~ <sup>费用</sup>与源ID最小)

3) 重置BPDV (根ID = 最优根ID, 源ID = 自己ID, 费用 = 最优根ID对应的最小费用 + 1)

根端口: 到根节点费用最低的端口.

转发端口: 重置BPDV中的费用比该端口的费用低 (该端口根ID为重置BPDV的根ID).

禁用端口: 重置BPDV中的费用比该端口的费用大1或相等 (该端口根ID为重置BPDV...)

### 4) 回第2)步.

结果: 构造生成树, 到根网桥费用最少, 到其他网桥则不一定.

影响: 转发表规模限制终端数: 自学习时的广播限制网络规模.

## 第八讲 IP地址结构

1. IP地址的演进简史 ABC类 → 子网 → CIDR.

2. CIDR的基本原理及其优点 (缺点: ✓ 以块为单位的配地址, 可能造成地址浪费).

无类域间路由: 网络号 + 前缀长度. → 在路由器上进行, ✓ 减小路由表, 最长前缀匹配

3. 如何简单网络进行地址规划和IP分配.

主机数 + 2 ≤ 2<sup>主机数</sup>, 网关、服务器等IP分配无约束.

## 第九讲 间接连接网络中的路由算法 (为每个路由器计算一棵生成树).

1. 距离向量法计算最短路径的基本原理及其优缺点分析.

① 路由表列出当前路由器已知的每个目标的最佳距离和所用的路径 (端口).

② 通过和邻结点交换路由表更新自己的路由表.

✓ 链路中断时出现收敛性问题! 优点: ✓ 只进行局部信息交互, 信息压缩, 内存 ✓, 带宽 ✓, 计算量 ✓

2. 链路状态法计算最短路径的基本原理.

链路状态包 (LSP): 邻居节点的名字和到达的费用.

Dijkstra → 单源最短路径.

3. 链路状态法中 LSP 数据的扩散机制.

① LSP 洪泛, 逐跳转发, 在 LSP 上加递减的 TTL 和 32 位递增的序列号 (圆形 → 线形)

② 如果序列号更新, 替换持有的 LSP, 向邻居转发, 否则不作任何处理.

## 第十讲 异质网络互连.

1. 面向连接与无连接数据转发的基本过程.

① 面向连接数据转发 - 虚电路

连接建立 (需路由选择) → 数据传输 (路由器中存出入口端口和对应的整条路径上无重复的连接标识) → 连接拆除.

② 无连接数据转发 - 数据报.

发送分组 → 存端转发, 独立路由 (用目标地址作为转发依据) → 接收、重组.

## 2. 面向连接与无连接的优缺点比较.

	面向连接	无连接
管理粒度	属于同一连接的顺序分组	有相同目标地址的分组.
维护状态	由连接构成的转发表	由地址构成的转发表.
状态更新频率	连接的建立、撤消	网络结构变化.
状态关联	连接前后的结点	无关联.
	↓ 资源预留	↓ 支持异质: IP over everything. everything over IP.

## 3. 完整的IP寻址过程, IP地址与MAC地址关系.

### ① 网络内的寻址 (源IP & mask = 目的IP & mask)

- 1) ARP (Address Resolution Protocol) 动态构建 IP → MAC 映射表.
- 2) 目标IP不在ARP表中, 广播ARP包 (自己IP, 自己MAC, 目标IP).
- 3) 同一子网内的目标IP应答, 缓存此信息到其ARP表中, 其它主机也由之更新ARP表.

### ② 网络间的寻址.

- 1) 缺省网关 (邻接路由器) MAC不在ARP表中, 广播ARP包取得其MAC (网络内寻址).
- 2) 将分组送至缺省网关, 路由器根据目的地址转发 (其间不断修改源MAC为目的MAC).
- 3) 到达目标所处网络的邻接路由器, 按网络内的寻址将数据转送给目标.

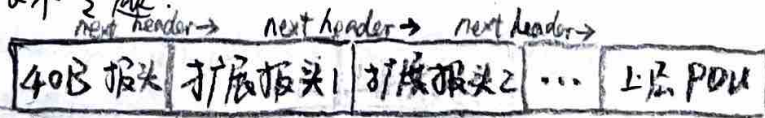
路由器: 隔离广播域.

### ③ DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol

广播 DHCP Discover 消息与 DHCP 服务器取得联系, 由MAC获得自己IP.

## 第十一讲 若干IP技术专题

### 1. IPv6 基本原理



取消校验和: (数据链路层和传输层都检错).

路由器不分组: 数据包长 > MTU. 同送数据包过长警告, 丢弃数据

扩展报头: 服务质量、移动性、安全性.

128b 地址: 网络地址 (64b) + 接口地址 (64b); 无状态的地址自动分配.

TLA + NA: ISP + SLA

MAC → IP

# 移动IP的基本原理

## ① IPv4

- 1) 移动节点检查连接在家乡链路或外地链路。在外地链路则从外地代理获得转发地址，通过外地代理向家乡代理注册转发地址。
  - 2) 发往家乡地址的数据由家乡代理通过隧道技术(在原数据外封装新包头)送往转发地址(外地代理或移动节点)。
  - 3) 移动节点发出的数据直接转发，无隧道。源地址是家乡地址，目的地址是对端IP。
- 注：移动节点向与家乡地址在同一网络的目的发送分组时，分组有可能被外地代理网络的网关所截掉，因此原IP与目的IP属同一网段，无需路由器转发。

## ② IPv6

- 1) 在外地链路则自动配置转发地址。
- 2) 连接请求由移动节点发出，移动节点的回应消息中含自己当前的转发地址(使用扩展包头)，通信对端利用回应绑定家乡地址与转发地址。
- 3) 直接通信，无代理。源地址用转发地址(对移动节点)，路由扩展包头；目标地址用扩展包头。

## 3. MPLS: 多协议标签交换

△ MPLS 头在 IP 头和下层头之间

△ 给路由表的每一项都加标记，由标记分发协议告知相邻路由器 → 提高转发效率。

△ 转发：由查表变索引；路由方式：不变。(标记及转发表的形成以路由为基础，与连接建立过程无关)。

△ 标记交换路由是根据标志进行转发，也是标志路由器的进行最长前缀匹配。

	MPLS	ATM
转发	标记	标记
路由	标准的路由算法	建立虚电路
标记建立	在路由表基础上用标记分发协议	建立虚电路时分配
边缘	前置	标记

优点：最长前缀匹配的计算结果被中间的所有标记路由器共享；

复杂性被推向网络边缘；

使不具备 IP 路由功能的老旧设备支持 IP；

更灵活的转发聚集方式。

# 第十二讲 传输层和拥塞控制

## 1. 传输层提供的基本服务及其实现方式

- ① 多路复用与解复用: 用(源 port, 源 IP, 目的 port, 目的 IP)标识连接.
- ② 服务变换: 选择性重传 ARQ, 通过测量每次 RTT 对 RTT 进行估计.
- ③ 拥塞控制: AIMD.

## 2. TCP 可靠传输和数据链路层 ARQ 的异同

	TCP	LLC
可靠传输范围	整个网络	冲突域
协议	选择性重传	选择性重传
RTT	估计	$2D_{pmax}$
丢包	路由缓存溢出	链路层误码冲突

## 3. 传输层拥塞控制的目标

决定合适的用户速率发送数据, 避免超载引起的拥塞.  
使网络尽可能工作在拥塞前的满负荷运行状态.  $SR = W \times MSS / RTT$

## 4. TCP Tahoe 和 TCP Reno 的窗口调节过程

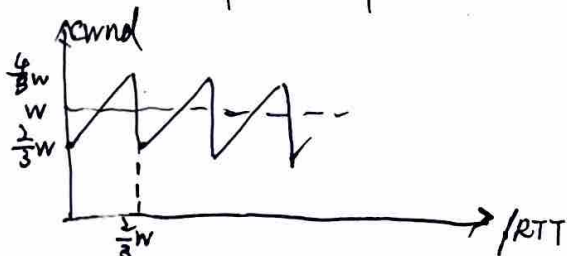
### ① TCP Tahoe

- 1) 传输启动或刚从拥塞状态退出时启用慢启动,  $cwnd = 1$ ,  $cwnd = cwnd \times 2 (RTT)$
- 2) 从  $cwnd = ssthresh$  开始启用拥塞避免,  $cwnd = cwnd + 1 (RTT)$
- 3) 丢包时回到 1),  $ssthresh = cwnd / 2$ .

### ② TCP Reno. 注: 慢启动 $cwnd = cwnd + 1 (ACK)$ ; 拥塞避免 $cwnd = cwnd + \frac{1}{2} cwnd (ACK)$

- 1) 传输启动或超时, 启用慢启动,  $cwnd = 1$ ,  $cwnd = cwnd \times 2 (RTT)$
- 2) 同 ① 的 2).
- 3) 发现重复 ACK (三个), 立即重传,  $cwnd = cwnd / 2$ , 重新拥塞避免
- 4) 连续丢包导致超时, 回到 1),  $ssthresh = cwnd / 2$ .

## 5. TCP 发送速率与丢包率的关系



丢包率  $p$ , 故每周期传  $1/p$  包丢 1 包.

$$\frac{1}{3}W = \frac{1}{p} - 1 \Rightarrow W \approx \sqrt{\frac{3}{2p}}$$

## 6. ALMD算法和向量图示分析.

两用户场景: 单瓶颈: 带宽  $C$ ; 系统状态:  $x_1$  bps,  $x_2$  bps.

效率线:  $x_1 + x_2 = C$ .

公平线:  $x_1 = x_2$

ALMD: 收敛于效率、公平最优处.  $\rightarrow$  TCP Reno.

## 第十三讲 P2P系统及其应用.

### 1. P2P技术的特点及其典型应用.

特点: 去中心的资源利用和自组织管理.

应用: 文件共享、信息管理、P2P计算...

### 2. 非结构化P2P系统的查询原理 (Gnutella网络)

洪泛查询; 层叠网络 (应用层以虚拟网络).

### 3. 非结构化P2P查询效率与层叠网络拓扑结构的关系

$$N \times N \rightarrow O(\log N).$$

### 4. 结构化P2P系统的查询原理 (DHT和Chord算法).

DHT: Distributing Hash Table  $\rightarrow O(\log N)$ .

#### ① 信息的散布方式

环形命名空间  $0 \sim N-1$ ;  $Hash_1$  (节点);  $Hash_2$  (资源) 存于最近的后续节点.

#### ② 节点的互联方式

每节点保存指向下一顺序节点的路由指针.

#### ③ 信息查找方式.

顺序遍历环路上的节点, 找到资源索引所在节点, 用其给出的目标IP查找到资源.

## 第二章: 计算机网络体系结构

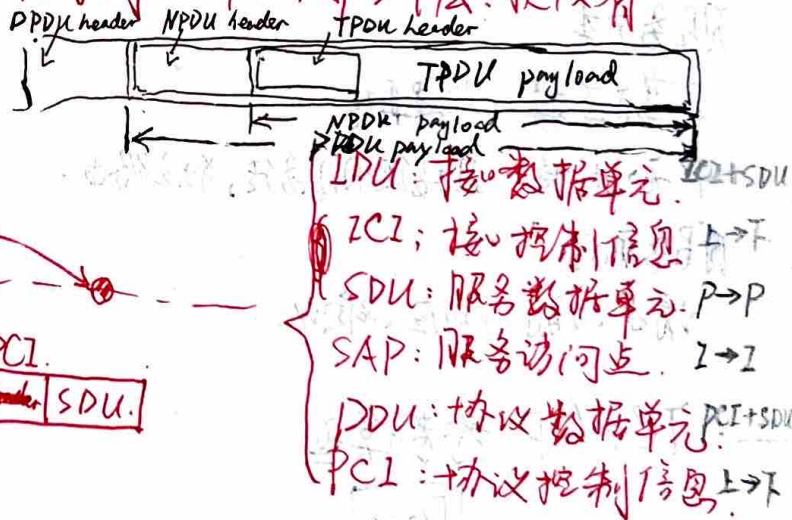
### ~~计算机网络体系结构~~

#### 1. 计算机网络体系结构

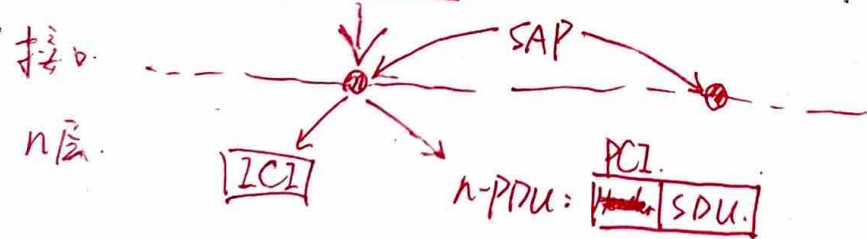
##### ① 协议与服务的关系

协议: 层内 对等实体信息交换守则  
 服务: 层间 层间信息交换守则 上层: 用户; 下层: 提供者

##### ② SAP, IDU, SDU, PCI, PDU



n+1层 IDU: [ICI | SDU]



- IDU: 接口数据单元
- ICI: 接口控制信息
- SDU: 服务数据单元
- SAP: 服务访问点
- PDU: 协议数据单元
- PCI: 协议控制信息

#### 2. Iso/OSI参考模型

##### ① 分层结构的优缺点

优: 模块化、独立性、复杂性、标准化  
 缺: 低效

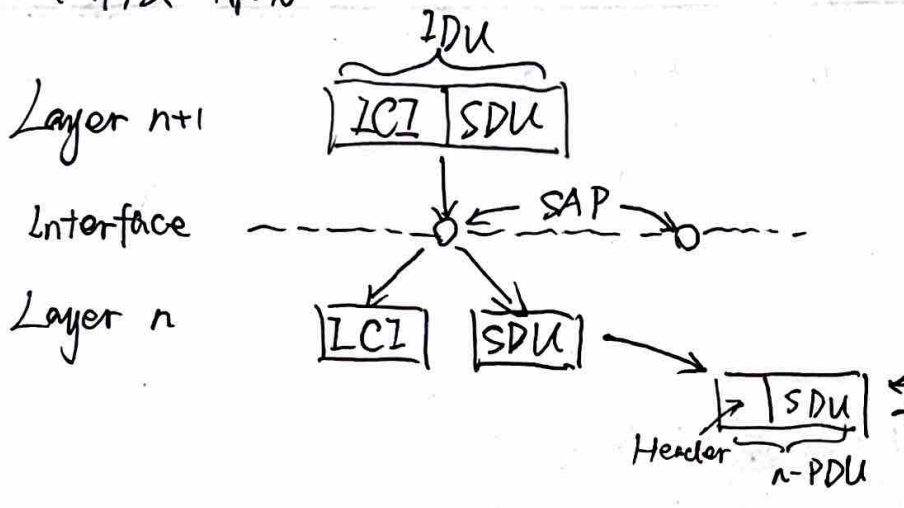
#### 3. TCP/IP参考模型

##### ① TCP/IP的体系结构

- 主机至网络层: 无明确定义, 利用媒质进行数据传输, 并完成比特传输
- 网络层: 定址和寻址
- 传输层: 实现端到端的数据传输
- 应用层: 支持网络应用程序, 为应用程序提供网络接口

# 一. 计算机网络体系结构

{ 同层: 协议  
 { 异层: 服务



SAP: 服务访问点  
 IDU: 接口数据单元  
 SDU: 服务数据单元  
 PDU: 协议数据单元  
 ICI: 接口控制信息  
 Layer n entities exchange n-PDUs in their layer n protocol.

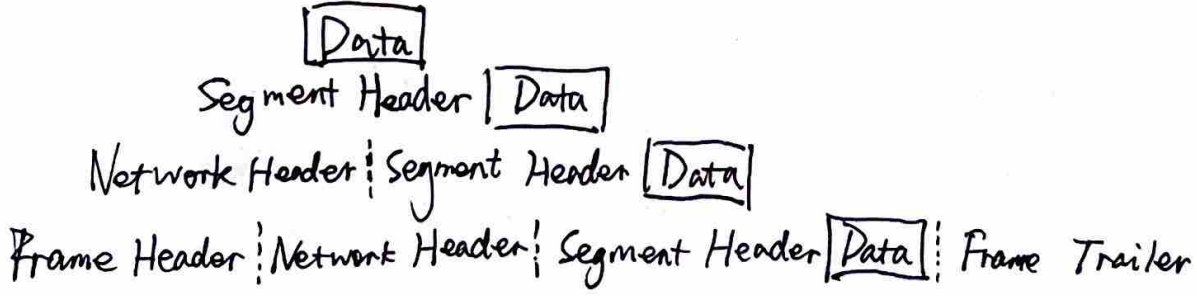
## 服务分类

{ 基于连接: 先建再传  
 { 无连接: 直接使用服务传, 独立路由.

## 服务原语

请求、指示、响应、确认.

# 二. TCP/IP 参考模型.



# 三. 物理层接口及协议

{ 连接方式 (点对点, 点到多点)  
 { 通信方式 (单工, 半双工, 全双工)  
 { 传输方式 (串行, 并行)  
 { 波特率: 调制速率, 每秒变化次数  
 { 比特率: 每秒传递的二进制位数.

### 第三章: 物理层技术

#### 1. 数据通信的理论基础:

~~机械的、电气的、光学的、机械的、~~

波特率 (baud): 每秒信号变化次数

比特率 (bit): 每秒传送的二进制位数

#### 2. 数据通信技术:

##### ① 编码技术

NRZ: 逻辑一位的结束和开始, 须同步, 直流分量累加

曼彻斯特: 0右1左

差分: 位前有跳则0/1, 无跳则1/0 } 中有时钟

逢1 NRZ:

逢0 NRZ:

##### ② 复用技术

TDM FDM WDM

##### ③ 交换技术:

###### 1) 报文交换

以报文为单位在端转发

###### 2) 电路交换

建立、传输、拆除

###### 3) 分组交换

源节点分组, 中间节点存储转发, 各分组独立路由, 目的节点结合重组

带宽:  $2H \log_2 V$  (电平分V级) bps.

随机噪声:  $H \log_2(1+S/N)$  (信噪比S/N)

数字数据的数字传输: 基带传输

不归零制码(NRZ)、曼彻斯特码、差分曼彻斯特码

数字数据的模拟传输: 频带传输

ASK, FSK, PSK.

模拟数据数字传输

(PCM)脉冲代码调制、差分脉冲代码调制、 $\Delta$ 调制

- TDM
- FDM
- WDM

- 电路交换: 建立电路, 传输数据, 拆除电路; 时分复用
- 报文交换: 以报文为单位存储转发. { 数据报: 分组带源及目的, 可走不同路径
- 分组交换: 以分组为单位存储转发. { 虚电路: 分组走预先建立路径: 建、传、拆.

#### 四. 数据链路层的定义和功能

功能: 为网络层提供数据传输服务; 成帧; 差错控制; 流量控制.

##### 1. 为网络层提供服务

- 无确认无连接: 大部分局域网
- 有确认无连接: 无线网
- 有确认有连接: 电话网.

##### 2. 成帧

- 字符计数法
- 带字符填充的首尾字符定界法
- 带位填充的首尾标记定界法
- 物理层编码违例法

### 3. 物理层接口及协议.

#### ① 物理层定义和功能.

定义: 启动、维护和关闭数据链路实体之间进行比特传输的物理连接.

功能: 在两个网络设备之间提供透明的比特流传输.

#### ② 物理层特性.

电气、功能、规程、机械.

#### ③ 典型的物理层标准接口. RS-232C → RS-485 串口.

#### ④ 传输介质

磁介质、双绞线、同轴电缆、光纤.

## 第四章 数据链路层技术

### 1. 数据链路层的定义和功能.

定义: 在有差错的线路上进行无差错传输

功能: 为网络层提供数据传输服务, 成帧, 差错控制, (流量控制).

### 2. 错误的检测和纠正.

#### ① 纠错: 海明码.

在2的幂次位插入校验位, 等于和合该位的所有位的异或值. 纠正一位错.

#### ② 检错: CRC校验码

纠错码效率低, 适用于不可能重传的情况, 多数用检错加重传输. CRC码的位数在待发数据后加同样位数的0, 模2除, 模2减(异或)得出余数, 加在待发数据后.

### 3. 差错控制

计时器 + 序号.

差错特点: 随机, 连续突发.

{ 纠错码: 海明码 (检  $d$  错: 海明距  $d+1$ ; 纠  $d$  错: 海明距  $\geq d+1$ )

{ 检错码 + 重传: CRC. 模 2 除

### 4. 流量控制 —— 多在传输层完成.

① 无约束单工协议

② 单工停等协议: 有 ARQ

③ 有噪声信息的单工协议: 帧序号 + ARQ.

④ 一比特滑动窗协议: 帧  $Win=1$ , 捎带, 收/发帧序号 + ARQ

⑤ 后退  $n$  帧协议: 收  $Win=1$ , 发  $Win>1$ , 捎带, 收/发帧序号 + ARQ.

⑥ 选择重传协议: 收/发  $Win>1$ , 只重传坏帧, 捎带, 收/发帧序号 + ARQ.

### 五. 局域网技术 —— 介质访问控制协议 MAC.

① 静态信道分配: TDM, FDM, WDM.

② 动态信道分配:

1) 纯ALOHA: 发完检冲突, 冲突则等随机时间再重发. 冲突危险区:  $2L$

2) 分槽ALOHA: 有时槽, 其它同上. 冲突危险区:  $L$ .

3) CSMA: 载波监听: 闲发忙等, 冲突则等随机时间再重发. 1 — persistent  
 闲发忙随机等, 其它同上. Nonpersistent.  
 闲P发忙等, 其它同上. (分槽) P-persistent.

4) CSMA/CD: 冲突则停发, 并发干扰信号, 其它同CSMA. 误检、漏检:  $2D_{max}$ .

{ 1) 基本组网:  $N_{host}, N_{slot}$ , 轻负载效率  $d/(d+1)$ , 重负载效率  $d/(d+1)$ .

{ 2) 二进制下数: 数  $N$  则占: 效率  $d/(d+\log_2 N)$ .

{ 1) 适应树搜索: 站点组成二叉树.

### 3. 基本的数据链路层协议

无约束单工、单工停等、有噪声信道的单工。

### 4. 滑动窗口协议

单工  $\rightarrow$  全双工; 捎带: 减少“帧到达”中断。

#### ① 比特滑动窗口

$Win=1$ , 发送序号/接收序号:  $0, 1$

#### ② 退后几帧

$RWin=1$ , 接收方发送方重传设缓冲

#### ③ 选择重传

发送窗口:  $MaxSeq$  接收窗口:  $(MaxSeq+1)/2$ ; 接收窗口前后不重叠。

### 5. 常用的数据链路层协议

帧结构: 定界符、地址域、控制域、数据域、校验和。

帧类型: 信息帧、监控帧、无序号帧。

### 6. 局域网技术

#### ① 竞争系统的数据链路层协议

##### 1) 纯ALOHA、分槽ALOHA

冲突随机重发 (冲突危险区:  $2D/D$ ): 有侧发

##### 2) CSMA: 1-P, P-P, n-P

冲突随机重发, 闲则(发/P发/发), 忙则(等闲/等闲/随机等)

##### 3) CSMA/CD

冲突随机重发并发碰撞干扰, 其余同CSMA。

MAC子层: 无确认机制和流量控制

LLC子层: 有确认机制和流量控制  $\Rightarrow$  HDLC协议.

## 六. 以太网技术、网桥技术和令牌环网技术.

802.3:

物理层: 曼彻斯特编码; 中继器; 电缆标准, 集线器. (速率 =  $2 \times$  比特率)

MAC子层: 7前导 | 1始标志 | 6目的 | 6源 | 2长 | 0~1500 Data | 0~46填充 | 4校验和.

CSMA/CD + 二进制指数后退

网桥: 扩展局域网段; 隔离冲突域: 在互连的LAN间存储转发.

{ 源地址学习  
目的地址转发  $\Rightarrow$  转发表 (目的地址与网桥接口的映射表)  
未知地址洪泛

生成树算法: 广播BPDU, 最小者为根网桥, 以之生成最小生成树

{ 根交换机(网桥)广播自己的BPDU  
比较各端口收到BPDU的代价  
比较自己的收发代价  
闭代价较大端口.

令牌环网: 3Byte令牌环游, 有信息发时站得令牌. 到站后游回站释放令牌.

## 七. 网络层技术

功能: 选择路由, 为传输层提供服务; 分隔自治系统, 广播域.

{ 面向连接服务.  
无连接服务.

{ 虚电路  
数据报.

### ② 以太网技术

中继器、集线器: 曼~编码;

Mac 子层帧格式: 7B 前导 | 1B 开始标志 | 6B 目的 MAC | 6B 源 MAC | 2B 长度

0~1500B 数据 | 0~4B 填充 | 4B 帧检验和

最短帧长 (漏检、误检): 20.

CSMA/CD + 二进制指数后退 (将冲突发生后的时间划分为长度为 2<sup>k</sup> 的时槽).

1) 网桥工作原理 (局域网交换机: 多端口网桥): 扩展局域网段, 隔离冲突域

- 源地址学习  $\Rightarrow$  转发表
- 目的地址转发
- 未知地址洪泛

2) 生成树协议

BPDV: Bridge Protocol Data Unit

广播 BPDV, 号最小者为根, 根广播的 BPDV

比较各端口收到来自根的 BPDV 的代价

比较自己的收发代价, 确定收发端口

关闭收到 BPDV 但代价较大的端口

## 第三章、网络层技术

1. 网络层技术概述

网络层功能

routing, switching: 路由, 交换, 为传输层提供服务

# IP 协议.

bit:

4 Version	4 IP 包头长	8 服务类型	16 总长	16 标识	1 NULL
1 DF	1 MF	13 offset (偏移量/段)	8 TTL	8 Protocol	16 头校验和
32 源	32 目的	...			

IP 地址: 无类域间路由 CIDR: 最长匹配原则.

{ 全 0: 本网/主机  
 { 全 1: 广播

{ ICMP: Internet 控制消息协议: Ping; 封 IP 包.  
 { ARP: 地址解析协议. IP  $\Rightarrow$  MAC: ARP 表  
 { RARP: 反向地址解析协议 无盘工作站: MAC  $\Rightarrow$  IP.  
 ...

# 路由协议.

1. 静态路由: 人工操作; 缺省路由 (不匹配时自动转入) 而配置.
2. 动态路由.

1) 距离向量法: 每周期交互路由表 (地址 | 端口 | 代价)  $\Rightarrow$  收敛慢.  
 { 水平分割: 不把从邻点学来的路由信息发至邻点.  
 { 毒性反转: 将故障 IP 的开销设为  $\infty$ .  
 { 触发更新: 一旦网络状态有更新, 不等时钟到, 发出更新信息.

RIP: Hop 为代价 (max=15), 30s 更新, TTL=180s.

2) 链路状态法: 每节点交互 LSP (邻接链路 | 节点 | 代价 | 序列号 | TTL)  $\Rightarrow$  Dijkstra  
 OSPF: 区域内 LSP 触发更新, 区域间距离向量法. (AS 划分为各区域).

自治系统间 (AS) ...

分层路由降低了路由表规模, 减少了路由更新的流量.

① 虚电路与数据报.

Issue.	Datagram Subnet	VC Subnet.
电路建立	X	✓
寻址	源IP & 目的IP	短VC号
状态信息	X	✓
路由	各分组独立路由.	按VC路由.
拥塞控制	无传输层.	每VC预先设置缓冲.

2. 互联网上的网络层协议.

① IP.

- 4b 版本
- 4b 包头长
- 8b 服务类型
- 16b 总长度
- 16b 标识
- 1b Null
- 1b ? <= 576B
- 16b ? Last
- 13b 段偏移. (mod 8B = 0).
- 8b 生存期
- 8b 协议
- 16b 头校验和
- 32b 源地址
- 32b 目的地址.
- ≤ 40B 选项 (mod 4B = 0).

全0: 本网络/本主机; 全1: 广播地址.

CIDR: 无类别域间路由: 子网掩码, 最长匹配而已.

② ARP / RARP.

IP → MAC 子网内: 用目的IP在ARP表中找; 子网外: 问网关. 启动时在子网广播.

MAC → IP 无盘工作站的启动.

③ ICMP: Internet 控制消息协议.

报文封装在IP包中, Ping.

### 3) 边界网关协议 (BGP).

分层路由降低了路由表大小, 减小路由更新的流量.

城间路由: 着重策略.

通过TCP传递路由信息, 距离向量法.

### IPv6.

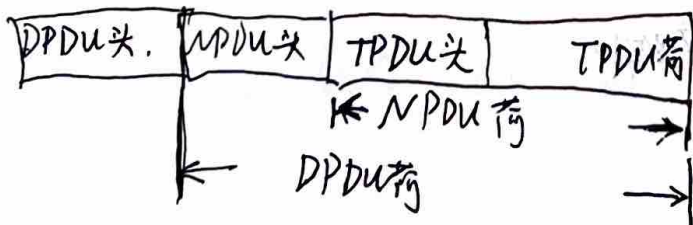
128位地址, 13→7域, 无IHL, Protocol, Checksum. 主机分段 路由器不分段.

IPv4→IPv6: 双栈; 翻译; 隧道 (作为IPv4载荷)

### 传输层技术.

功能: 消除网络层的不可靠性.

服务: { 面向连接: 服务原语: 访问传输服务.  
无连接: Berkeley Sockets.



寻址: 传输层服务访问点 TSAP (IP地址. 端口).

{ 预先约定的访问

{ 从名字服务器或目录服务器获取. ⇒ 初始连接协议.

### 建立连接的三次握手方案:

A发出序号为X的CR TPDU

B发出序号为Y的CC TPDU, 确认以A的序号为X的CR TPDU.

A发出序号为X+1的第二个数据TPDU, 确认以B的序号为Y的CR TPDU.

释放连接的三次握手+定时器方案.

## 3. 动态路由协议

### ① 城内路由协议

IGP

1) 距离向量 和邻居节点交换全部路由信息 (路由表) RIP

2) 链路状态 和所有节点交换直连节点信息 (LSF) OSPF

慢收敛 → 水平分割 (不反哺)、毒性反转 (故障∞)、触发更新 (高于时钟)

大开销 → 划分区域分层路由, 在边界交互路由表

### ② 城间路由协议

边界网关. TCP连接; 路径向量法; 策略. BGP表 (目标, 下跳, 代价)

## 4. IPv6

128b 7+域:

4b 版本 4b 流控 24b 伪连接

16b 总长 8b 扩展包头 8b 生存时间

128b 源

128b 目的

## 第六章 传输层技术

### 1. 传输层服务

消除网络层的不可靠性。面向连接的服务, 无连接的服务

传输用户 (应用程序) 通过传输层原语访问传输服务, 即用套接字访问


### 2. 传输层协议

初识套接字协议: 进程服务器多端口监听 → 客户向TSAP (IP, port) 发请求

传输层实体 (transport entity) 为每个连接单独的缓冲区缓存 TPDUs.

~~流控: 可变滑动窗口协议, 接收方缓存使发送方发送窗口大小. 定期发送 TPDUs.~~

TCP: {

- 访问方式: 双方创建套接字 (IP地址, 主机端口).
- 每条连接: (套接字1, 套接字2): 点到点连接.
- 无组播、广播.
- 按字节分配序列号.
- 段的大小限于 IP 包的总长度限制和数据链路层 MTU 限制 (eg 1500).
- 可靠传输: 滑动窗口协议.
- 流控制和拥塞控制: 慢启动 + 拥塞避免 

按可变发送窗口和拥塞窗口的最小值发送. MSS: Max Segment Size.

TCP Reno: 快速重传 + 快速恢复.

UDP: 不需建立, 无拥塞控制: 用于 RLP, DNS, SNMP.

应用 RTP: 网络多媒体.

RTCP: 传输控制信息. RTP 流同步.

### 应用层协议:

应用程序的一部分, 利用底层协议提供的服务.

API: application programming interface.

客户/服务器模型. N 服务标识: 端口号.

有服务程序在此TSAP上 → 连接.

无服务程序在此TSAP上 → 进程服务器产生服务程序继承和服务的连接  
↓  
进程服务器返回继续监听.

· 三次握手方案建立连接

· 三次握手+定时器方案释放连接.

· 可变滑动窗口协议实现流控, 主机周期性发送 TPDU.

### 3. 互连网的传输层协议.

#### ① TCP: 传输控制

##### 1) 连接管理

建立连接: 服务器 Listen, accept; 客户 Connect, TCP: SYN=1, ACK=0.  
服务器 RST (无进程监听) 或 SYN=1, ACK=1 (有进程监听)  
客户 SYN=0, ACK=1.

释放连接: FIN=1, 启动定时器; 另一方 (FIN=1) ACK=1 启动定时器  
ACK=1 关闭连接 超时也关闭连接.

##### 2) 可靠传输

基于确认和可变窗口大小; URG (1 BYTE) 防死锁.

改进传输层性能:

{ 缓存出较大段再发  
无拥塞时迟发 ACK

传输实体发 1 B 被 ACK 后再发完剩下的.

收方有一半空缓存成最大段长缓存时更新窗口大小.

DNS服务器 UDP连接

UDP包向本地域名服务器发出请求

本地DNS服务器无法解析时，成为上级DNS服务器的客户

解析成功 → 向客户UDP资源记录(五元组)，本地DNS服务器也缓存之

电子邮件: SMTP协议 TCP连接

SMTP服务器进程: 25号端口

消息队列 ← 作为代理发送到目标SMTP服务器

登陆接收 → 邮箱

← 邮件服务器代理过程

发送邮件

POP3: 下载  
IMAP: 不下载

MIME: 对图像等的支持

WWW服务: HTTP协议 · TCP连接 · FTP TELNET

Web服务器进程: 80端口

URL 包括

{ 协议类型

网页所在机器的地址 (域名/IP)

包含网页的文档名称

3). 拥塞控制 RTT: round trip time Cwnd: Crowd Window.

MSS: Max Segment Size AIMD: Additive Increase/Multiplicative Decrease

TCP Reno: 快速重传 + 快速恢复 + 超时归零.

4). TCP段结构, 控制位.

16b 源 16b 目的

32b 序列号 (以字节为单位) 台紧急 不确认 双方 重置 连接 连接

32b 确认号 (以字节为单位) 数据 序列号 不缓存 连接 建立 释放.

4b 包头长 6b 标志 6b {URG, ACK, PSH, RST, SYN, FIN} 16b 窗口大小

16b 校验和. 16b 紧急指针 (和URG联合使用)

可选项域: MSS (eg 1460); WScale (Real Window Size = Win \* 2<sup>WScale</sup>), ...

② UDP: 用户数据报 (RIP, DNS, SNMP, RTP, RTCP, ...)

~~第七章 应用层技术~~

~~1. 应用层概述~~

16b 源 16b 目的

16b 总长 16b 校验和.

无连接, 不握手, 无拥塞控制, 丢失 & 乱序.

第七章 应用层技术.

1. 应用层概述.

进程通信: IPC (同主机), 应用层协议 (异主机).

用户代理: 用户和网络应用程序间的接口.

API: application programming interface: 定义应用程序和传输层之间的接口.

2. 客户/服务器模型.

### 3. 域名服务 (53 port)

客户 UDP 本地域名服务器 (调用 resolver) →

{ 解析 → UDP 响应 ↑ (缓存, 超时删除).  
Commit → UDP 上级域名服务器 }

资源记录五元组: Domain name, TTL, Type, Class, IP(Value).

### 4. 电子邮件 (25 port).

→ 客户 TCP SMTP 服务器, 发信 →

{ 地址在本服务器 → 存至邮箱 → POP3/IMAP: 下载/不下载.  
地址在其他 SMTP 服务器 → 送至消息队列 }

成文, 传输, 报告, 显示, 处理.

### 5. WWW 服务 (80 port).

URL: { 统一资源定位符: 协议 (HTTP, FTP, Telnet); IP/DN: 文件名. }