

# 局域网与介质访问子层

## MAC子层概述

Data Link Layer { LLC sublayer 逻辑链路控制  
MAC sublayer: Media Access Control 介质访问子层.

数据通信 { 单播  
广播  
组播  
→ 出错率低, 短距离, 高传输率

局域网: 共享传输介质以降低成本 (广播)

广播网络面临的问题: 共享信道

- 怎样分配信道 (MAC)?
- ① 静态分配: 预先分配.   
→ FDM, TDM 复用技术.   
(资源浪费, 不合理)   
(延迟 + 增大 N 倍).
  - ② 动态分配: 按需分配. (多路访问协议).
- 静态分配适合: 用户固定且少; 通信量大, 流量稳定; 不适合有突发业务的.

## 多路访问协议

随机访问协议 { ALOHA 协议.  
CSMA ~  
CSMA/CD ~ (以太网).

## 受控访问协议

{ 点到点连接: 广域网.  
广播信道: 局域网.

ALOHA 协议 { 纯 ALOHA  
分隙 ALOHA.

2

## 纯 ALOHA 协议

工作原理. (1) 生成帧即刻发送.  
(2) 检测信道是否发送成功.

## 性能分析.

**吞吐率  $S$** : 在发送时间  $T$  (一个帧时) 内发送成功的平均帧数. ( $0 < S < 1$ ).

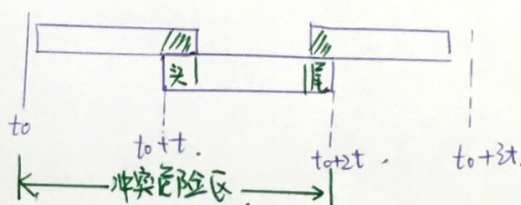
**运载负载  $G$  (网络负载)**: 一个帧时  $T$  内所有通信站发出去的帧平均值 (原发、重发).

$G \geq S$ , {  $G = S$ : 无冲突  
 $G > S$ : 有冲突.  
 $G > 1$ : 冲突频繁 (大量重传).

**$P_0$** : 一帧发送成功的概率.  $S = P_0 G$ .

**冲突危险期** ① 时间长度  $2\tau$   
② 生成帧均值  $2G$ .

③ 生成  $k$  帧的概率 ~ 泊松分布.



$$P_k = G^k e^{-G} / k!$$

泊松分布:  $P(x=k) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}$  ( $\lambda$  为均值和方差).

生成 0 帧的概率  $P_r[0] = G^0 e^{-G} / 0! = e^{-G}$ .

在  $2\tau$  内, 发送成功  $\Leftrightarrow 2\tau$  内不产生新帧.  $P_0 = P_r[0] * P_r[0] = e^{-2G}$ .

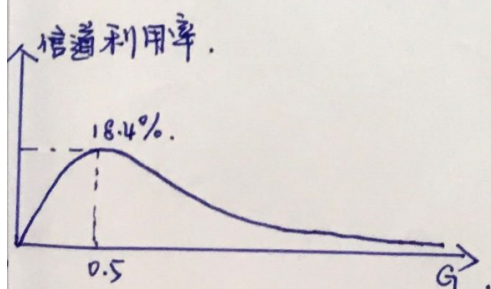
**ALOHA 协议性能**  $S = P_0 G$ .

$$P_0 = e^{-2G}$$

$$S = G e^{-2G}$$

吞吐率极大值  $S' = e^{-2G} + (-2G^2) e^{-2G} = (1 - 2G^2) e^{-2G}$ .

当  $G = 0.5$  时,  $S$  取极大值,  $S \cong 0.184$ .





## 分隙 ALOHA 协议.

3

### 1) 工作原理.

- 时间分片.
- 时隙 = 帧时  $T$ .
- 发送帧必须在时隙起点, 冲突只发生在 时隙起点.
- 冲突危险期:  $T$ .
- 一旦某个站占用某个时隙并发送成功, 该时隙内无冲突.

### 性能分析.

$$P_0 = P[S] = e^{-G}.$$

$$S = G e^{-G}$$

在  $G=1$  时,  $S$  取大值,  $S_{\max} = \frac{1}{e} \approx \underline{\underline{0.368}}.$

(三) CSMA 协议

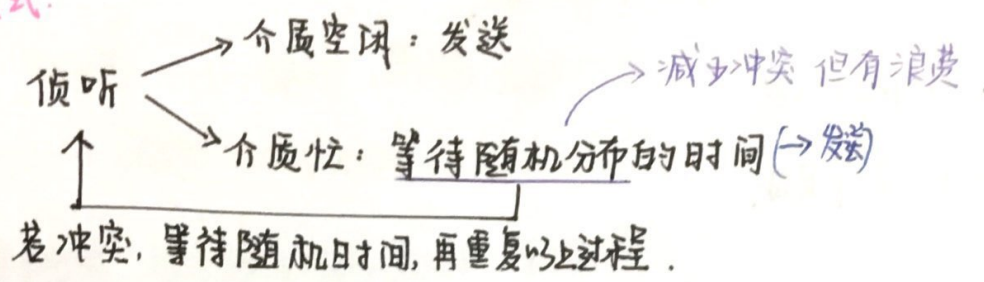
载波侦听多路访问协议. Carrier Sense Multiple Access.

改进的 ALOHA 协议

特点: 先听后发

非持续式

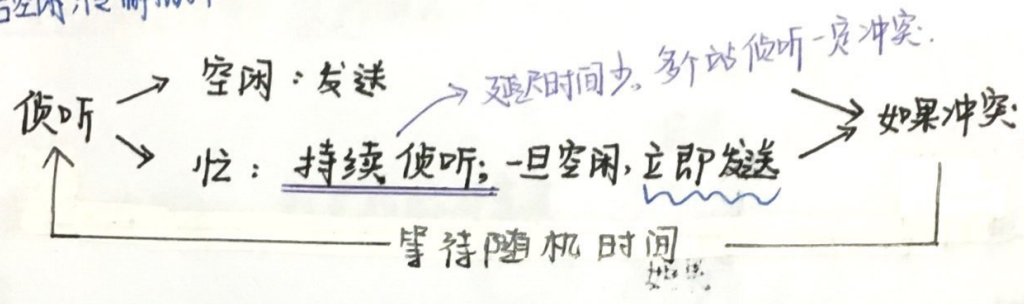
作过程



持续式

(若空闲, 传输概率为 1)

过程

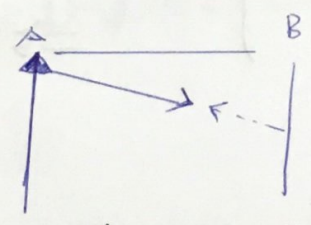


持续式. 侦听空闲: 以  $P$  的概率发送, 以  $1-P$  的概率延迟发送.

持续式:  $P=1$ .

冲突发生

- ① 同时发送
- ② 传播延迟.



A 发, 走到一半  
B 听, 无站点发送  
 $\Rightarrow$  B 发  $\Rightarrow$  冲突

冲突窗口

: 一个工作站能检测到冲突时间的上限.

两个帧时: RTT (Round Trip Time).

冲突窗口

传输速度  $V=200 \text{ m/us}$ .

网卡延迟  $t_{PHY}$ .

两工作站. 距离  $S$ .

$$\text{冲突窗口} = 2t + 2t_{PHY} = 2 \frac{S}{V} + 2t_{PHY}$$

$$(考虑中继器) = 2(\frac{S}{V} + t_{PHY} + N * t_{中继器})$$



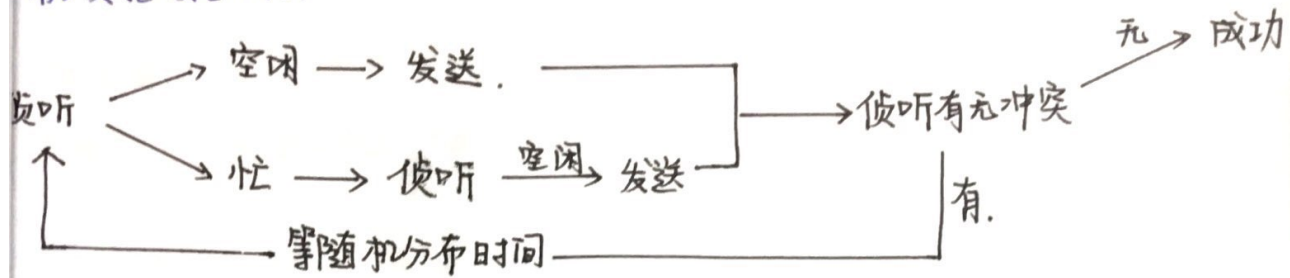
# CSMA/CD 协议 → 半双工以太网使用

CSMA with Collision Detection.

(1-持续).

带冲突检测的载波多路访问协议.

听后发、边发边听).



一旦检测到冲突, 立即停止发送 [并发送一帧冲突信号, 所有站点都知道发生了冲突]

发送拥塞信号 (Jamming 信号), 广播出去

一个站点能发生冲突要花多少时间?

最坏 = 2倍传输时间

## 冲突检测方法

较发送的信号和收到的: 能量和脉冲宽度

## 检测要求

时隙宽度 = 冲突窗口.

发送有效帧时间  $\geq$  冲突窗口. (防止发生冲突时, 已完成短帧发送而  
无法知道实际上已发送失败).

## 以太网概述 (曼彻斯特编码)

网位于 OSI 参考模型的 physical layer 和 data Link Layer.

以太网 (3M ~ 10M, 不太常用).

快速以太网 (10M, 100M, 1G, 广泛使用的局域网).

规则: 10 Base 2.

↑ ↑ ↑  
10M 基带传输 传输距离 200m

10 Base - TX

↑  
铜制屏蔽双绞线

10 Base - F. 2000m.

↑  
光缆

## 二进制指数后退算法.

检测到冲突后, 需要等待多长时间?

- 冲突检测后, 时间被分为离散时隙
- 时隙长度 = 信号来回时间.
- 二次冲突后, 等待时间从  $(0 \sim 2^i - 1)$  个时隙中随机选择.

## 100M以太网.

- 与 10M 以太网兼容
- 保留原有帧格式、接口和过程规则
- 比特时间:  $100\text{ ns} \rightarrow 10\text{ ns}$ .
- 电缆长度:  $2500\text{ m} \rightarrow 250\text{ m}$ .
- 4B/5B 编码方式.

## 吉比特以太网

- 与 10M, 100M 兼容

• 全双工.

若在半双工工作, 要用 CSMA/CD 技术, 但 传输距离过短.

以太网

— 简单灵活

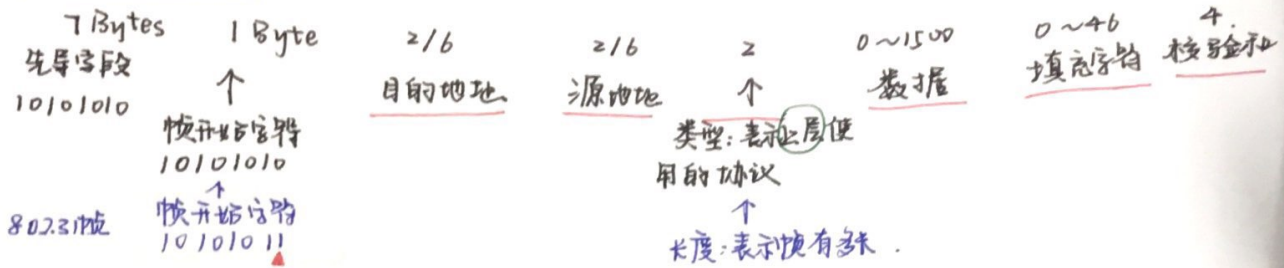
— 故障隔离

— 挂接方便.



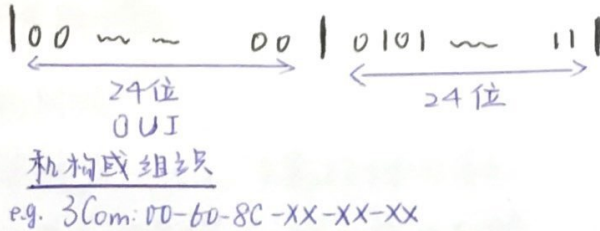
## 以太网帧格式

### 以太网帧结构



### 802.3帧 & 以太网

① 6 Bytes 目的/源地址: 物理地址 (MAC 地址) (大约 1 万亿个)



MAC 地址: IEEE 分配, 全球唯一性。

· 烧到网卡的 ROM 里面, 计算机启动时从 ROM 拷到 RAM 中。

② MAC 地址 3 种表示方法:

- 破折号 00-60-2F-3A-07-BC
- 冒号 00:60:2F:3A:07:BC
- 句点 00.60.2F.3A.07.BC (16 进制)

CSMA/CD 的要求:

最短帧发送时间 ≥ 争用时间 2t

③ 长度: 64 Bytes ≤ 帧长度 ≤ 1518 Bytes.

(不包括前导码, 但包括帧头、帧尾信息的长度)

局域网中:

· 时隙:  $2t = 51.2 \mu s$

· 最短帧长度:  $10 \text{ Mbps} \times 2t / 8 = 64 \text{ Bytes}$

\* 如果区分字段是长度还是类型?

根据数值大小:  $\begin{cases} \leq 1536 (0 \times 600): \text{长度} \\ > 1536: \text{类型} \end{cases}$

④ 数据: 46 ~ 1500 Bytes, LLC 数据

若小于 46 Bytes, 要填充. (加上帧头帧尾 18 个字节, 能保证最小长度为 64 个字节)

⑤ 校验和

以太网: CRC 循环冗余校验, 校验除前导码外所有帧数据



## (五) 二层交换的基本格式.

LAN 网桥/交换机 LAN.

工作在 Data Link Layer 不会检查网络层.

802.X ——— 802.Y 的网桥.

- 不同帧格式 ——— 重新封装
- 不同的传输速度. ——— 缓存
- 不同最大帧长度 ——— 切割.
- 不同安全策略
- 不同服务要求

### 透明的网桥.

- (1) 连接多个 LAN, 无需软硬件变化.
- (2) 工作于混杂模式, 接收所有的帧.
- (3) 当一个帧到达网桥时, 须做出 丢弃 还是 转发 的决策.
- (4) 决策: 网桥内部地址表中查目的 MAC 地址作出的.

↳ 记录最新且活跃的工作站信息.

### 决策.

当帧到达交换机时: ① 广播.  
若查不到目的 MAC 地址或者 MAC 地址表为空,  
广播该帧.

### ② 逆向学习.

信息对: 源地址及其到达的端口; (学习源地址, 来的那个地址).  
写入到 MAC 地址表中.

适应拓扑变化. ① 表中加记录时, 打上时间戳.

② 如果到达帧的源地址已有记录, 更新时间戳.

③ 周期性扫描, 删除超时记录.

### 网桥工作原理

- ① 目的 端口 = 源 端口, 丢弃该帧. \* 源地址和目的地址在同一个 LAN, 丢弃.
- ② 目的 端口 ≠ 源 端口, 转发.
- ③ 目的 端口 未知, 广播.

网桥/交换机分割了冲突域, 提高了网络性能



## (六) 生成树协议 (STP).

- 冗余结构带来问题
- ① 多帧传送.
  - ② 广播风暴
  - ③ MAC地址库不稳定
- 形成回路.

解决方法: 生成无环路的树.

运作: 每个网路有个根网桥.  
 每个网桥有个根端口.  
 每个网段有个指定端口, 剩下的非指定端口不使用.

- 注意: (1) 在有物理回路的网路中, 生成逻辑无回路的生成树
- (2) 不能保证路径最优.
- 非指定端口 (1) 不参与数据帧转发, 但监听工作报文.
- (2) 树上某些端口失效; 重新启用, 形成新的生成树

## (七) 虚拟局域网 VLAN. (一个广播域).

VLAN的实现

- 基于 MAC 地址
- 基于三层协议
- 基于端口. (最多的).

→ 用二层交换机实现广播域的分割.

帧标记法: 让帧穿过交换机的干线.

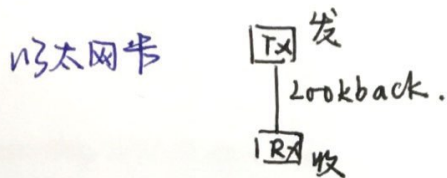


## (七) = 层设备

10

NIC网卡: Network Interface Card.

- 为主机提供介质的访问
- MAC地址烧在NIC的ROM中.
- LLC: 和上层通信
- Naming: 独特MAC地址标识符.
- Framing: 为传输比特流打包.
- MAC: 为访问共享介质提供访问策略.
- Signaling: 创建介质与信号的接口.
- 也完成第一层的功能.



Flooding, Forwarding, Filtering, Learning.

网桥

- ① 连接不同LAN段
- ② 改善网络性能: 减少冲突.
- ③ 基于MAC过滤.

交换机 ① 多端口网桥, 常用于以太网星形拓扑的中心.

- ② 交换模式
  - 存储转发 { 延迟大, 出错率小
  - 直通交换 (贯穿) { 延迟小, 出错率大.

- 无分片交换: 读到的Data length  $\geq 64$  Bytes时才转发, 防碎片帧.