



链路层

| | |
|--|-------------------------------------|
| Courses | 计算机网络 |
| <input checked="" type="checkbox"/> Done | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Status | Done |

链路层的主体部分是**网络适配器**，有时也被称为**网络接口卡**

链路层服务

成帧

分割数据包—MTU（46到1500）

添加头部字段—Frame Header

添加尾部字段—CRC校验序列

媒介访问控制MAC

协调多个节点的帧传输

差错检测和纠正

因特网检验和：16比特求和成反码

循环冗余检测CRC：

- 给定一个数据**D**(d比特)
- 生成多项式**G**（r+1比特），G的最高位为1
- 发送方选择r个附加比特R加到D上。
- 如何计算R？
 - $R = \frac{D \times 2^r}{G}$ 的余数

局域网

局域网的构成

拓扑结构、传输媒介（令牌环）

网桥

- 作用：连接多个局域网、使用相同的协议。过滤和转发数据包
- 工作原理：
 - 维护一个MAC地址表，跟踪网络中各个设备的物理地址（MAC地址）
 - 如果目的MAC地址不在表中，会将帧广播到所有端口（除了接收端口）
- 广播风暴形成的原因：广播流量在网络中循环不止，最终占用大量带宽，导致网络性能下降甚至瘫痪。——存在环路
- 生成树协议（STP）：
 - 输入：网络拓扑
 - 算法的步骤：
 - 选择一个根节点，identifier小者为根，（MAC地址等）
 - 数据结构 (Y, d, X) 。表示节点X认为Y是root，自己到root的最短距离为d
 - 初始时，所有节点状态均为 $(X, 0, X)$
 - 当收到其他节点的message时，更新自己的根
 - 计算自己到新的根的距离d
- 地址学习
 - source address — port X
 - timeout机制
 - 格式：<MAC addr, port, Timestamp>

连接局域网的设备

- Hubs：物理复读机
- Bridges：forwarding+address learning

- **Layer 2 switches**: 转发、过滤、自学习、即插即用、消除碰撞
 - **最大聚合带宽**是所有接口速率之和
- **Layer 3 switches**: IP转发逻辑，连接不同的子网

比较:

交换机和路由器:

- 都是存储转发分组交换机，根本不同：交换机根据MAC地址转发帧
- 交换机的优缺点：即插即用，但限制网络的拓扑结构为一棵树，ARP表数据大，对广播风暴并不提供保护措施.
- 路由器的优缺点：没有生成树限制，拓扑结构丰富。对广播风暴提供防火墙保护

令牌环

基本工作原理：令牌环网络中的所有设备连接成一个逻辑环形拓扑，数据只沿一个方向传输。只有持有令牌的设备才能发送数据。一个节点收到令牌时，仅当它有数据要发送时，才吃有这个令牌，否则立即向下一个节点转发该令牌。

以太网

媒体接入控制：CSMA的基本思想

1. 载波侦听
2. 发送数据：如果信道空闲，设备开始发送数据。同时，它继续监听信道以检测是否有其他设备也在发送数据
3. 碰撞检测（存在信道传播时延）
4. 退避：发生冲突后，设备会等待一个随机的退避时间，再次尝试发送数据。

CSMA/CD的工作原理

冲突检测的方式

碰撞产生的信号电压远高于正常信号，如果电缆信号大于单站信号，则检测到碰撞。

冲突检测与传播/传输时延的关系

信道传播时延越长，载波侦听节点不能侦听到网络中另一个节点已经开始传输的机会就越大。

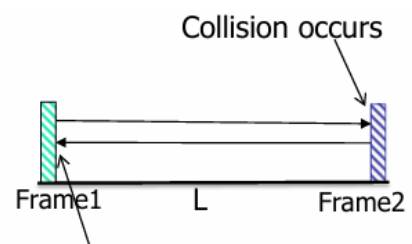
二进制指数退避算法

当一个帧连续经历了一连串 n 次碰撞后，节点随机的从 $\{0, 1, 2, \dots, 2^n - 1\}$ 中随机选择一个值 K ，实际等待的时间为 $K \times 512$ 比特时间

最小帧长和最大范围

- 最小帧长：为了确保冲突能够被检测到所规定的。

- B: bandwidth
- L: length of the link
- V: propagation speed
- Size: size of a frame



传播时间: $T_a = L/V$

传输时间: $T_b = \text{Size}/B$

最坏情况下需要 $2T_a$ 的时间检测到碰撞，碰撞需要在传输完成前检测到，即：

$$T_b \geq 2T_a$$

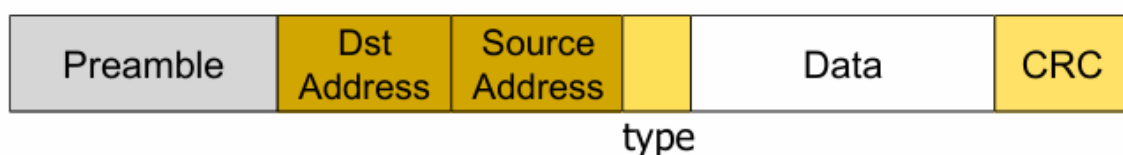
- 最大范围：由于信号随距离衰减，所以Jam信号是必需的。作用是加强冲突，使其他设备易于检测。最大长度为500m (10Base5) 和200m (10Base2)

IEEE 802.3以太网规约

以太网媒介

同轴电缆—集线器hub—交换机switch

以太网帧格式



无线局域网

无线局域网的概念和应用

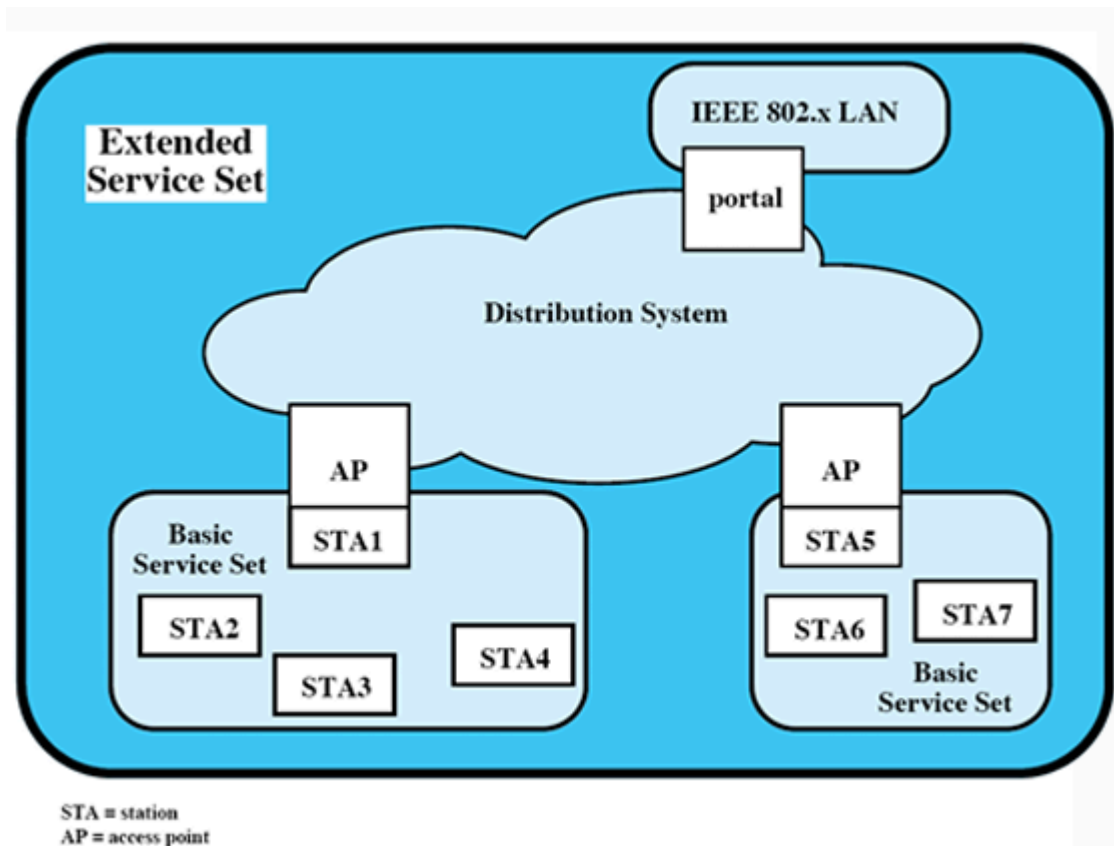
无线局域网是指在一定区域内利用无线通信技术（如Wi-Fi）实现设备之间的互联和通信的网络系统。WLAN通常由接入点（Access Point, AP）和无线客户端设备（如笔记本电脑、智能手机、平板电脑等）组成

IEEE 802.11体系结构

基本概念

- Station:具有符合 IEEE 802.11 标准的 MAC 和物理层的设备
- AP(接入点): 通过无线介质提供对分布式系统的访问
- BSS (基本服务集) : BSS是由一个接入点 (AP) 和它所覆盖的所有无线设备组成的网络单元
- ESS (拓展服务集) : 由多个BSS组成的网络, 通过DS连接到一起。
- DS (分布系统) : DS是连接多个BSS的系统, 通常由有线网络组成

体系结构



媒体接入控制

—用于协调无线设备在共享信道上的访问

三种优先级

- SIFS: 最短帧间隔, 用于一些需要快速响应的操作
- PIFS: 用于点协调功能PCF, 确保AP的协调操作。
- DIFS: 主要用于分布协调功能DCF, 确保公平性

点协调功能PCF

- 轮询机制: 接入点 (AP) 作为点协调器 (Point Coordinator, PC) 在PCF周期开始时发送轮询帧, 轮询特定的站点进行数据传输。被轮询的站点在接收到轮询帧后, 使用最短的帧间隔 (SIFS) 立即进行数据传输。
- 超级帧: 点协调器不断发布轮询, 会封锁所有异步通信量。为了避免这种情况, 在超级帧时间的前一部分, 由点协调器轮询, 在超帧时间的后一部分, 允许异步通信量争用接入

分布式协调功能DCF

- CSMA/CA：设备在发送数据前会监听信道。如果信道空闲长达DIFS，则发送数据；如果信道忙碌，就等待一个随机退避时间后重新尝试。
- 无法实现冲突检测
- receiver：如果成功接收，则经过SIFS返回一个ACK

与以太网的CSMA/CD比较

802.11使用碰撞避免而不是碰撞检测

由于无线信道相对较高的误比特率，802.11使用链路层确认/重传（ARQ）方案

ARQ：发送方在发送数据后等待接收方的确认（ACK，Acknowledgement），如果没有收到确认，发送方会重传数据。

802.11b/g频段及传输速率

802.11b—2.4GHz频段，传输速率11Mbps

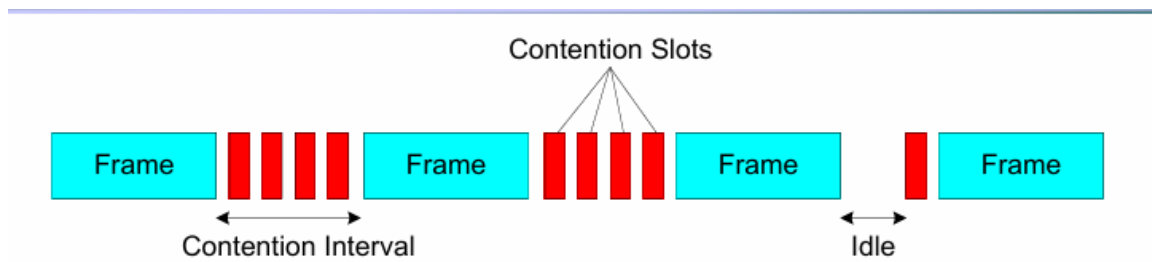
网络传输媒介利用率分析

$$\text{利用率 } U = \frac{\text{time for frame transmission}}{\text{total time for a frame}}$$

假设传输时间为1，传播时间为a

- p2p: $U = 1/(1 + a)$
- Slotted-ALOHA:
 - N个节点，在每个时隙发送的概率均为p
 - 利用率 $A = N \times p(1 - p)^{N-1}$
 - 对A求导，求出A最大时， $p=1/N$
 - 成功发送时利用率A最大为0.37 (1/e)
- ALOHA:
 - $A = N \times p(1 - p)^{2N-1}$
- 令牌环:
 - 令牌何时被释放？数据全部发送 **and** 开始接收到第一个bit
 - 当 $a < 1$ 时，token在1被释放，经过 a/N 传递到下一个节点，总的利用率 $U = \frac{1}{1 + \frac{a}{N}}$

- 当 $a > 1$ 时, token在 a 被释放, 利用率 $U = 1/(a + a/N)$
- CSMA/CD—p-persistent



假设contention长度为 j , 那么前 j 为冲突, 第 $j+1$ 个为成功发送, 每个contention interval长度为 $2a$

A 的概念与ALOHA的利用率相同

prob of j slots : $(1 - A)^j A$

average length of slots : $\sum_{j=1}^{\infty} j A (1 - A)^j = \frac{1-A}{A}$

$U = 1/(1 + a + 2a * contention_interval)$

$$U = \frac{1}{1+4.44a}$$