

链路层和局域网

WAN：网络形式采用点到点链路。实现简单

LAN：一般采用多点连接方式，实现复杂

链路层服务

- 成帧和链路接入：
 - 封装数据报成帧, 添加头部, 尾部
 - 共享介质的访问
- 相邻节点的可靠交付
- 流控
- 差错纠正
- 半双工和全双工

差错检测

汉明距离：编码中，相差最小的两个编码的不同的位数个数

- 差错编码
 - 检错码
 - 汉明距离 $d_s = r + 1$ 则可以检测 r 位错误
 - 纠错码
 - 汉明距离 $d_s = 2r + 1$ 则可以纠正 r 位错误

奇偶校验

校验和

发送端：将segment内容作为顺序的16bit整数相加得到checksum

接收端：计算checksum，检测是否出错

CRC冗余检测

有效数据D，后附加R得到d+r模式（选择r+1比特模式作为生成多项式）

- 能够检测少于r+1位错误
- 出现长度为r+1的突发错误，检查不出的概率为 $\frac{1}{2^{r-1}}$
- 出现长度大于r+1的突发错误，检查不出的概率为 $\frac{1}{2^r}$

计算

D：有效数据

R: CRC (r bit)

G: 生成多项式 (规定)

$$D * 2^r \text{ XOR } R = n * G$$

因此R为(%为取余运算)

$$R = D * 2^r \% G$$

多路访问协议

是一种节点共享信道的分布式算法

两种类型链路:

- 点对点
 - 拨号网络PPP
- 广播链路
 - 共享式以太网

冲突: 节点同时接到多个帧

MAC协议

信道划分协议

把信道分成小片

各节点分配片后的信道

TDMA

每个站点在每个周期中使用固定的时隙

FDMA

每个站点分配一个固定的频段

CDMA

采用编码原理进行区分, 完全没有冲突

随机接入协议

信道不分片, 允许冲突

能从冲突中恢复

时隙ALOHA

假设

- 所有帧是等长的
- 时间被划分成相等的时隙，每个时隙可发送一帧
- 节点只在时隙开始时发送帧
- 节点在时钟上是同步的
- 如果两个或多个节点在一个时隙传输，所有的站点都能检测到冲突

运行

- 当节点获取新的帧，在下一个时隙传输
- 传输时没有检测到冲突，成功
 - 节点能够在下一个时隙发送新帧
- 检测时如果检测到冲突，失败
 - 节点在每一个随后的时隙以概率 p 重传直至成功

效率

$$Np(1-p)^{N-1}$$

优点

- 节点可以以信道带宽全速连续传输
- 高度分布：仅需要节点之间在时隙上的同步
- 简单

缺点

- 存在冲突，浪费时隙
- 即使有帧要发送，仍然有可能存在空闲的时隙
- 节点检测冲突的时间帧传输的时间
 - 必须传完
- 需要时钟上同步

纯ALOHA

效率

最大效率为时隙ALOHA的一半

$$p(1-p)^{2N-2}$$

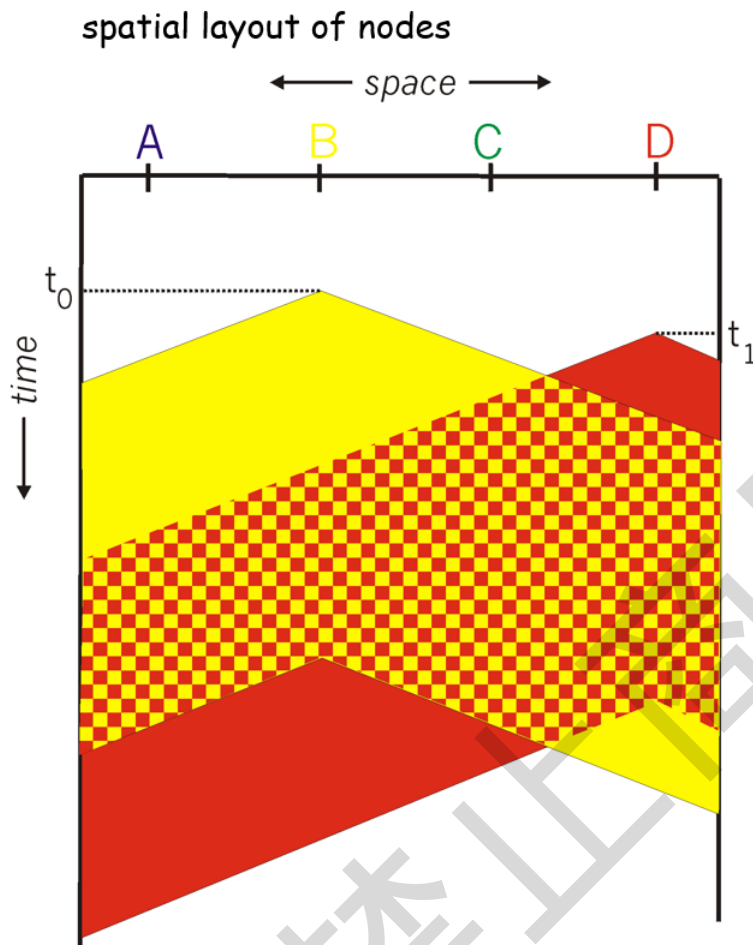
CSMA (载波监听多路访问)

- 如果侦听到信道空闲，传送整个帧

- 如果侦听到信道忙，推迟传送

冲突

传播的延迟意味着双方都不能完全检测到冲突，产生冲突会导致整个数据帧的传输时间被浪费



CSMA/CD (冲突检测)

通过比较传输的数据和发送的数据是否相同来检测冲突，检测到冲突后立刻停止发送

冲突发生时立刻终止，减少信道被浪费

冲突发生时除了放弃之外发送一个Jam信号

如果放弃发送，适配器进入退避状态，第 m 次失败后，适配器随机选一个 $0 \sim 2^{m-1}$ 中的 K ，等待 $K \times 512$ 位后开始监听和发送

拥有比ALOHA更好的性能

效率

LAN上2个节点的最大传播时延 T_{prop}

传输最大帧的时间 T_{trans}

$$efficient = \frac{1}{1 + 5T_{prop}/T_{tran}}$$

CSMA/CA

无限局域网中的CSMA

没有冲突检测

发送方：如果站点检测到信道空闲持续DIFS（分布式帧间间隙）长，则传输整个帧；如果忙碌则随机选择一个随机回退值

接收方：如果帧正确，则在SIFS后发送ACK

每个帧都需要确认

无法完全避免冲突，两个站点相互隐藏；选择了非常靠近的随机回退值

预约分组

允许发送方"预约"信道，而不是随机访问该信道

- 发送方首先使用CSMA向BS发送一个小的RTS分组
- BS广播CTS作为RTS的回应，可以被所有涉及到的节点听到
- 采用小的预约分组，可以完全避免数据帧的冲突

轮流协议

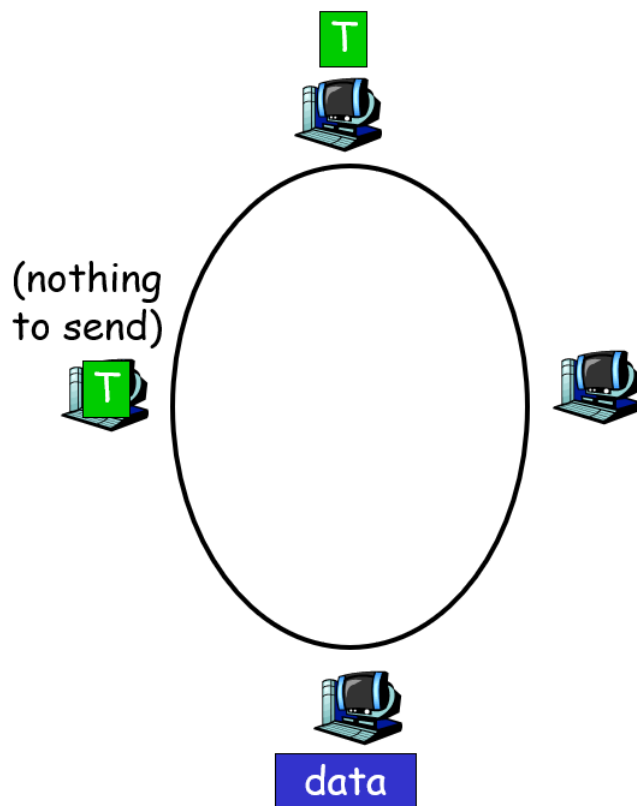
节点轮流使用信道

轮询(Polling)

- 主节点：
 - 主节点询问从节点是否发送数据
 - 用于工业控制网络
- 存在的问题：
 - 轮询的开销
 - 单点错误(master)

令牌传递协议

控制令牌在节点中顺序传递



- 存在的问题:
 - 令牌开销
 - 延迟
 - 单点错误(token)

ARP协议

地址解析协议

网络地址和MAC的区别:

- IP地址是分层的
- MAC地址是平面的

分离的好处:

- 更换网卡不影响IP地址
- 物理网络还可以除了IP之外满足其他协议

LAN 上每块接口卡都有一个全球唯一 LAN 地址

过程

A 希望发送数据报给 B,但B的 MAC 地址没有在 A的 ARP 表中.

A 广播ARP 查询数据报, 包含B的 IP 地址

目标MAC 地址 = FF-FF-FF-FF-FF-FF

LAN 中**所有主机**都收到ARP 查询

接到 ARP查询数据报后, 用自己的 (B) MAC地址构造数据报响应 A

发送到A的帧以A 的MAC 地址为目标

A在ARP 表中**缓存**IP-to-MAC 地址对,直到该信息过时

A和B之间若没有数据传输在**一定时间后**删除该条目

ARP 是即插即用生成ARP 表不需要设置

以太网

开销为26B, 18B首部和尾部, 7B前同步码, 1B开始界定符

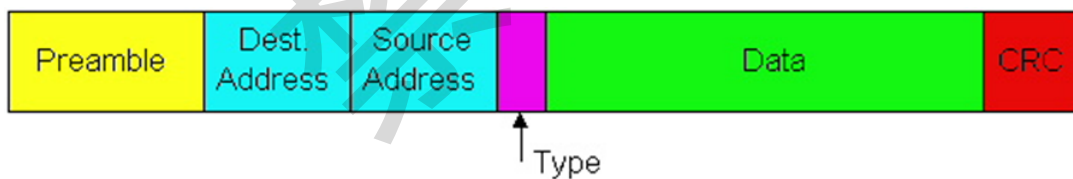
物理拓扑

总线: 每次只能一个节点发送

星形: 交换机在中心处理数据 (目前主流)

结构

发送数据的接口卡在 Ethernet 帧中封装 IP 数据报(或其他网络层协议)



前同步码Preamble:

- 7 个字节10101010 后面跟着一个字节10101011
- 用于同步receiver, sender 时钟频率(clock rates)

地址: 6字节

类型: 2字节

循环冗余检测 (CRC) : 4字节

以太网是无连接不可靠的服务

无连接：没有握手

不可靠：没有ACK回应

采用CDMA/CD介质访问控制形式

Hubs

本质上是物理层的中继器

从一个端口收，转发到所有其他端口

速率一致

没有帧的缓存

没有冲突检测，但是提供网络管理功能

Manchester 编码

在10BaseT中使用

每个bit的位中有一个信号跳变

允许接受方和发送方之间时钟同步

效率50%

4b5b编码

这种编码的特点是将欲发送的数据流每4bit作为一个组，然后按照4B/5B编码规则将其转换成相应5bit码。5bit码共有32种组合，但只采用其中的16种对应4bit码的16种，其他的16种或者未用或者用作控制码，以表示帧的开始和结束、光纤线路的状态（静止、空闲、暂停）等。

在100BaseT中使用

交换机

链路层设备：

- 对帧存储转发
- 当需要向某个网段进行转发，使用CDMA/CD的方式接入

交换机无需配置

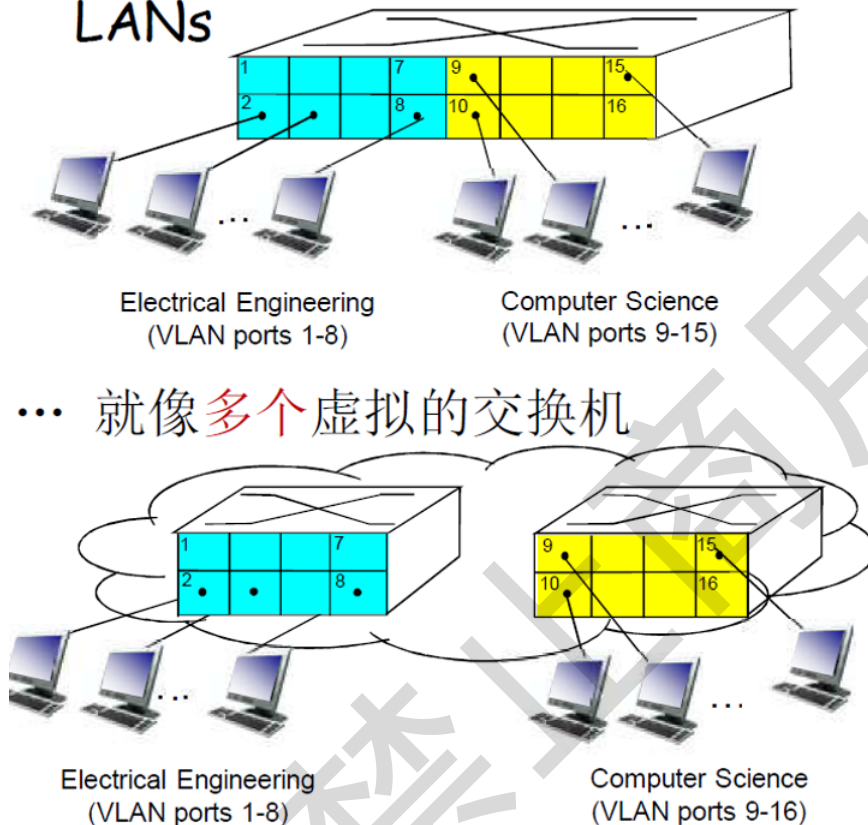
允许多个节点同时传输

VLANs

虚拟局域网

带有VLAN的交换机可以被配置成：一个物理LAN基础设施，虚拟成多个LANs

基于端口的VLAN: 交换机端口成组
(通过交换机管理软件), 以至于
单个的交换机可以分成若干虚拟
LANs



MPLS(多协议标签交换)

链路虚拟化

在MPLS中对分组按照标签进行交换，到出口路由器再拿掉标签

优点

- 路由弹性
- 充分利用已有的ATM，快速转发
- 支持流连工作，VPN
- 支持宽带资源的分配