

《计算机网络》

一、概述

ISP 互联网服务供应商

IXP 互联网交换点

C/S 方式 Client Server

P2P方式 Peer-to-Peer

电路交换 报文交换 分组交换

速率

带宽 最高数据率 bit/s

吞吐量 实际数据量

时延 delay/latency

发送时延 数据发送时间

$$\text{发送时延} = \frac{\text{数据帧长度 (bit)}}{\text{发送速率 (bit/s)}}$$

传播时延 数据传播时间

$$\text{传播时延} = \frac{\text{信道长度(m)}}{\text{电磁波在信道上的传播速率(m/s)}}$$

处理时延

排队时延

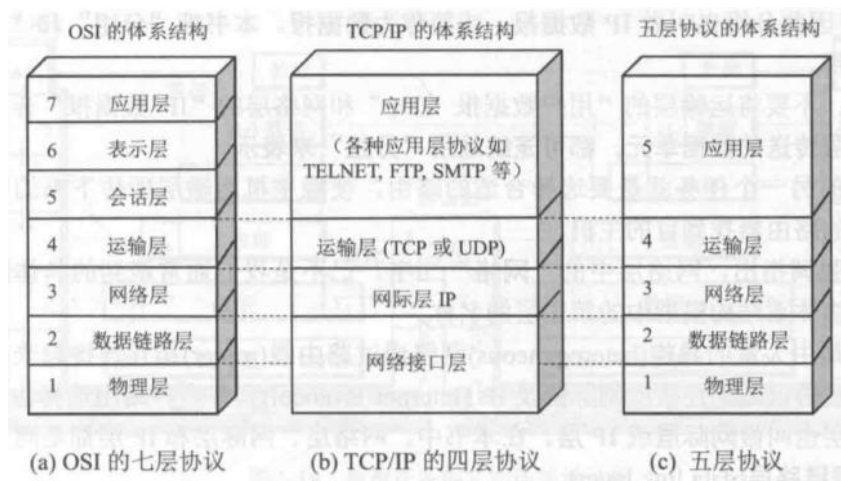
加起来就是总时延

时延带宽积 以bit为单位我的链路长度

往返时间 RTT

利用率

1. 协议体系结构



应用层 应用进程间通信和交互的规则 DNS HTTP SMTP 报文message

运输层 提供数据传输服务 UDP TCP

网络层 不同主机间通信服务 IP

链路层 组装成帧 控制信息（同步信息，地址信息，差错控制）

物理层 比特 01

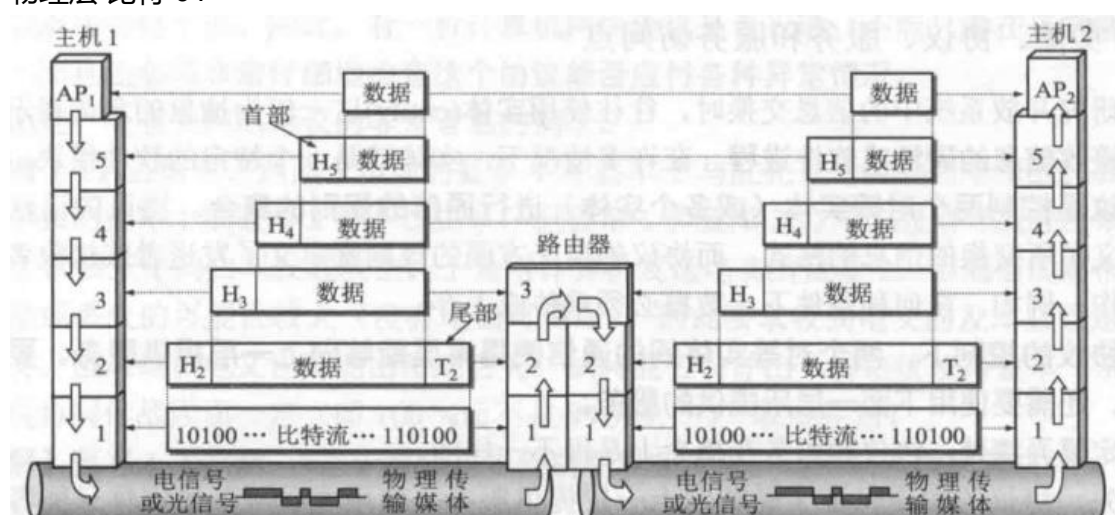


图 1-19 数据在各层之间的传递过程

协议水平，服务竖直

二、物理层

1. 物理层协议 物理层规程procedure

串行传输

2. 数据通信系统

源系统/发送端 传输系统 目的系统/接收方

源系统：源点 发送器 接收器 终点

3. 单向通信/单工通道 双向交替通信/半双工通道 双向同时通信/全双工通道

基带信号 调制 基带调制 编码

载波 带通信号 带通调制

4. 编码方式

不归零制 归零制 曼彻斯特编码（自同步能力） 差分曼彻斯特编码

5. 奈奎斯特准则，信道传输频率上限

$$f_s > 2 * f_N$$

信噪比

$$\text{信噪比(dB)} = 10 \log_{10}(S/N) \text{ (dB)}$$

香农公式

在 1948 年，信息论的创始人香农(Shannon)推导出了著名的香农公式。香农公式指出：信道的极限信息传输速率 C 是

$$C = W \log_2(1+S/N) \text{ (bit/s)} \quad (2-2)$$

式中， W 为信道的带宽（以 Hz 为单位）； S 为信道内所传信号的平均功率； N 为信道内部的高斯噪声功率。香农公式的推导可在通信原理教科书中找到。这里只给出其结果。

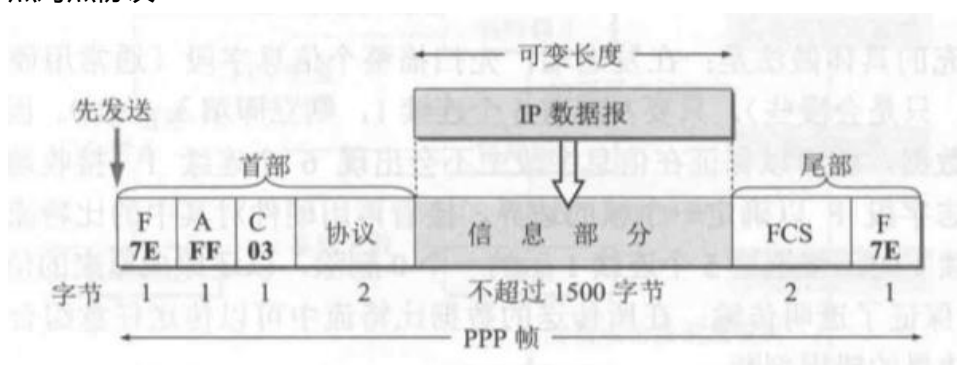
信道的带宽或者信噪比越大，信息的极限传输速率就越高

6. 传输媒介 双绞线 同轴电缆 光缆

7. 信道复用技术
 - 频分复用 FDM
 - 时分复用 TDM 等时信号
 - 统计时分复用 STDM 异步时分复用
 - 波分复用 光的频分复用
 - 码分复用 CDM 码分多址 CDMA 码片序列正交 伪随机码序列

三、链路层

1. 点对点信道
 - 广播信道
2. 帧 网络层交下来的数据构成帧
 - 封装成帧 framing 最大传送单元MTU 控制字符 SOH EOT
 - 透明传输 传输帧中 SOH EOT 进行转义操作
 - 差错检测 误码率 Bit Error Rate 循环冗余检验 CRC 帧检测序列FCS Frame Check Sequence
 - 无差错接收! =可靠传输
 - 帧丢失 帧重复 帧失序 通过上层, 例如运输层的TCP协议完成
3. 点对点协议 PPP



F 标志位 进制

A 规定为0xFF

C 规定为0x03

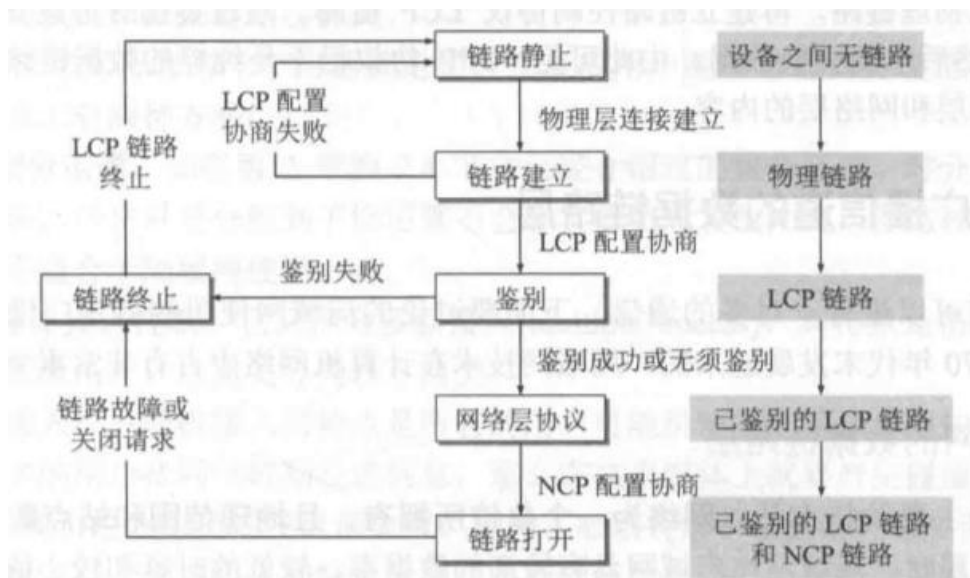
第四个 两个字节的协议字段

尾部的第一个字段 (2字节) 是使用CRC的FCS

字节填充 转义字符 信息字段修改出现的标志字段 异步传输

零比特填充 五个连续的1就加个0 转义

4. PPP协议状态图



鉴别 Authenticate

口令鉴别协议 PAP

口令握手鉴别协议 CHAP

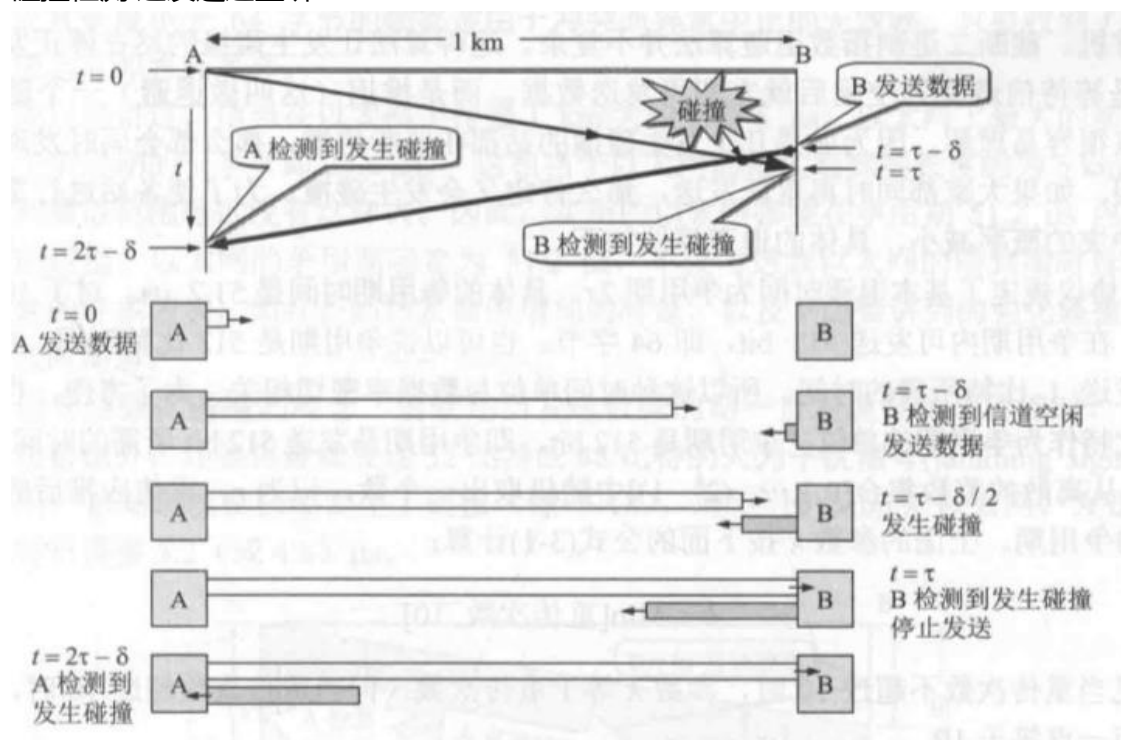
5. 广播信道的链路层

CSMA/CD协议 载波监听多点接入/碰撞检测

多点接入 总线型网络

载波监听 发送前发送中都在检测信道

碰撞检测 边发送边监听



不能同时发送或者接收，双向交替通信/半双工通信

截断而二进制指数退避

争用期为512bit

$$k = \text{Min}[\text{重传次数}, 10] \quad (3-1)$$

可见当重传次数不超过 10 时, 参数 k 等于重传次数; 但当重传次数超过 10 时, k 就不再增大而一直等于 10。

(3) 当重传达 16 次仍不能成功时 (这表明同时打算发送数据的站太多, 以致连续发生冲突), 则丢弃该帧, 并向高层报告。

使重传需要推迟的平均时间随着重传次数而增大 动态退避

人为干扰信号

根据以上所讨论的, 可以把 CSMA/CD 协议的要点归纳如下:

(1) 准备发送: 适配器从网络层获得一个分组, 加上以太网的首部和尾部 (见后面的 3.4.3 节), 组成以太网帧, 放入适配器的缓存中。但在发送之前, 必须先检测信道。

(2) 检测信道: 若检测到信道忙, 则应不停地检测, 一直等待信道转为空闲。若检测到信道空闲, 并在 96 比特时间内信道保持空闲 (保证了帧间最小间隔), 就发送这个帧。

(3) 在发送过程中仍不停地检测信道, 即网络适配器要边发送边监听。这里只有两种可能性:

①发送成功: 在争用期内一直未检测到碰撞。这个帧肯定能够发送成功。发送完毕后, 其他什么也不做。然后回到(1)。

②发送失败: 在争用期内检测到碰撞。这时立即停止发送数据, 并按规定发送人为干扰信号。适配器接着就执行指数退避算法, 等待 r 倍 512 比特时间后, 返回到步骤(2), 继续检测信道。但若重传达 16 次仍不能成功, 则停止重传而向上报错。

以太网每发送完一帧, 一定要把已发送的帧暂时保留一下。如果在争用期内检测出发生了碰撞, 那么还要在推迟一段时间后再把这个暂时保留的帧重传一次。

6. 集线器工作在物理层

从图 3-21 可看出, 要提高以太网的信道利用率, 就必须减小 τ 与 T_0 之比。在以太网中定义了参数 a , 它是以太网单程端到端时延 τ 与帧的发送时间 T_0 之比:

$$a = \frac{\tau}{T_0} \quad (3-2)$$

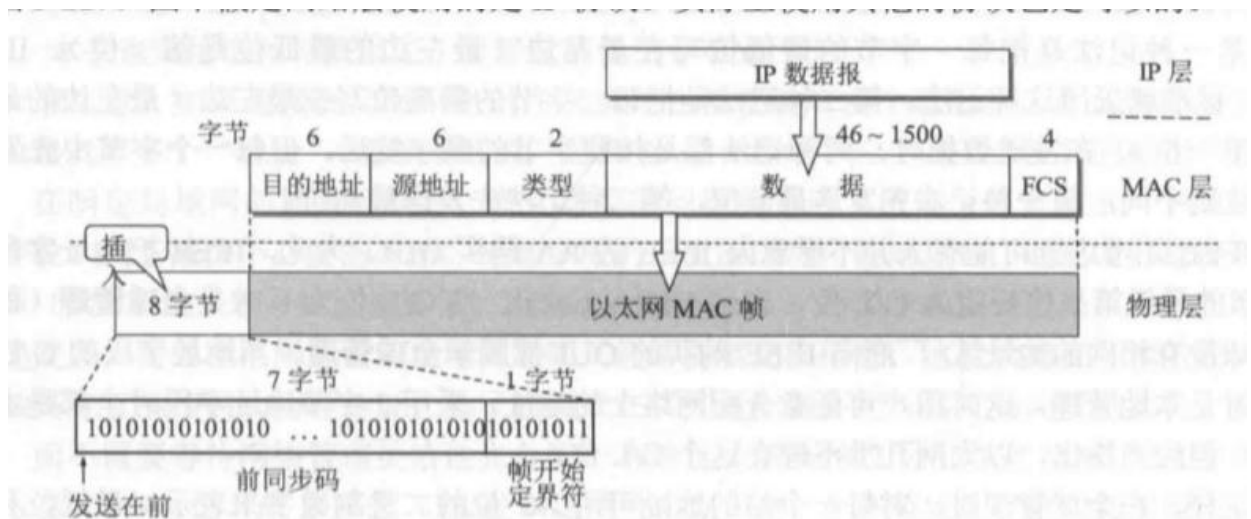
7. 当 $a \rightarrow 0$ 时, 表示只要一发生碰撞, 就立即可以检测出来, 并立即停止发送, 因而信道资源被浪费的时间非常非常少。反之, 参数 a 越大, 表明争用期所占的比例越大, 这就使得每发生一次碰撞就浪费了不少的信道资源, 使得信道利用率明显降低。因此, 以太网的参数

使得单程传播时间尽可能的短

极限信道利用率

$$S_{\max} = \frac{T_0}{T_0 + \tau} = \frac{1}{1 + a}$$

8. MAC层 硬件地址/物理地址



无效MAC帧

IEEE 802.3 标准规定凡出现下列情况之一的即为无效的 MAC 帧：

(1) 帧的长度不是整数个字节；

(2) 用收到的帧检验序列 FCS 查出有差错；

(3) 收到的帧的 MAC 客户数据字段的长度不在 46 ~ 1500 字节之间。考虑到 MAC 帧首部和尾部的长度共有 18 字节，可以得出有效的 MAC 帧长度为 64 ~ 1518 字节之间。

对于检查出的无效 MAC 帧就简单地丢弃。以太网不负责重传丢弃的帧。

9. 交换机工作在链路层

交换表 生成树协议 STP 记录MAC地址和端口

10. VLAN 虚拟局域网 利用VLAN标记 增加了四个字节

四、网络层