

## 概述

### 网络的几个性能标准

速率

带宽

吞吐量

时延

发送时延

传播时延

处理时延

排队时延

总时延

时延带宽积

利用率

信道利用率

网络利用率

时延与网络利用率的关系

解释

### 分层

OSI七层协议

五层协议体系结构

传输过程

## 物理层

### 通信概念

单向通信

半双工通信

全双工通信

### 信道复用技术

频分复用FDM (Frequency Division Multiplexing)

时分复用TDM (Time Division Multiplexing)

统计时分复用STDM (Statistic TDM)

波分复用WDM(Wavelength Division Multiplexing)

码分复用

## 数据链路层

### 三个基本问题

封装成帧

首部尾部

透明传输

解决方法：

字节填充

字符填充

差错控制

CRC校验

PPP协议 (Point-to-Point Protocol)

PPP协议帧格式

### 局域网

常见的拓扑结构

10BASE-T

CSMA/CD协议

解释

传数据过程

争用期长度

MAC地址

以太网的MAC帧格式

帧间最小间隔

扩展的局域网

物理层上的扩展

转发器/中继器/集线器

优点

缺点

链路层的扩展

网桥

功能

缺点

网桥和集线器的不同

转发表建立过程

转发表的信息

以太网交换机

## 网络层

网络的划分

ABCDE类网络

ABC类网络IP范围

特殊的IP地址

广播地址

组播地址

私有地址

环回地址

路由器

分组转发流程

产生原因

特定主机路由

默认路由

分组转发流程

ARP协议

ARP高速缓存

RARP

IPv4数据报

IPv4数据报格式

版本

首部长度

区分服务

总长度

标识

标志

MF (More Fragment)

DF (Don't Fragment)

片偏移

生存时间

协议

首部检验和

源地址/目的地址

可变部分

IPv6

写法

0压缩

子网划分

子网掩码

ICMP

ICMP 差错报告报文

5种差错报告

ICMP差错报告数据报内容

ICMP 询问报文

2种询问报文

应用举例

	ping
	traceroute
	工作流程
路由选择协议	
内部网关协议	
RIP	
基于距离向量算法	
特点	
OSPF	
基于dijkstra最短路的算法	
传播方式	
运输层	
知名端口号	
TCP	
报文段格式	
可靠传输的实现	
滑动窗口	
流量控制	
拥塞控制	
拥塞	
慢开始和拥塞避免	
快重传和快恢复	
连接建立	
应用层	
DNS	
域名分类	
根域名	
顶级域名	
国家级	
通用顶级域名	
反向域名	
二级域名，三级域名.....	
域名服务器	
查询方式	
递归查询	
迭代查询	
FTP	
工作流程	
两个连接	
两个端口号	
使用两个端口号的好处	
WWW (World Wide Web)	
URL	
一般形式	
http	
无线网	

# 概述

## 网络的几个性能标准

### 速率

b/s

kb/s

## 带宽

b/s

最高数据率

## 吞吐量

单位时间内通过某个网络（信道，接口）的数据量

受带宽和网络额定速率限制

## 时延

### 发送时延

发送开始到发送结束的时间

### 传播时延

信道长度 /  $2 * 10^8 m/s$

### 处理时延

交换结点为存储转发而进行一些必要的处理所花费的时间

### 排队时延

结点缓存队列中分组排队所经历的时延。

取决于网络当时的通信量

### 总时延

发送时延+传播时延+处理时延+排队时延

## 时延带宽积

传播时延×带宽

链路的时延带宽积又称为以比特为单位的链路长度。

## 利用率

### 信道利用率

指出某信道有百分之几的时间是被利用的（有数据通过）。

完全空闲的信道的利用率是零。

### 网络利用率

全网络的信道利用率的加权平均值。

## 时延与网络利用率的关系

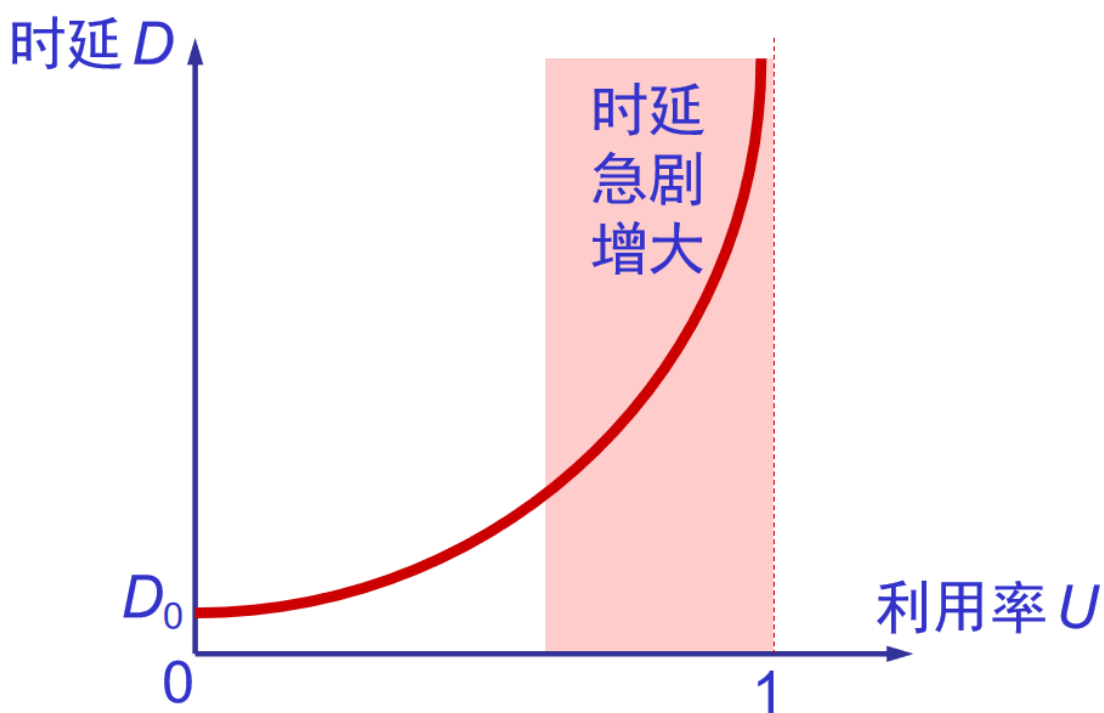
若令  $D_0$  表示网络空闲时的时延， $D$  表示网络当前的时延

$$D = \frac{D_0}{1-U}$$

$U$ 是网络利用率,0-1之间

### 解释

网络利用率越高，**当前网络**的时延越长



## 分层

### OSI七层协议

应用层

表示层

会话层

运输层

网络层

数据链路层

物理层

### 五层协议体系结构

应用层

运输层

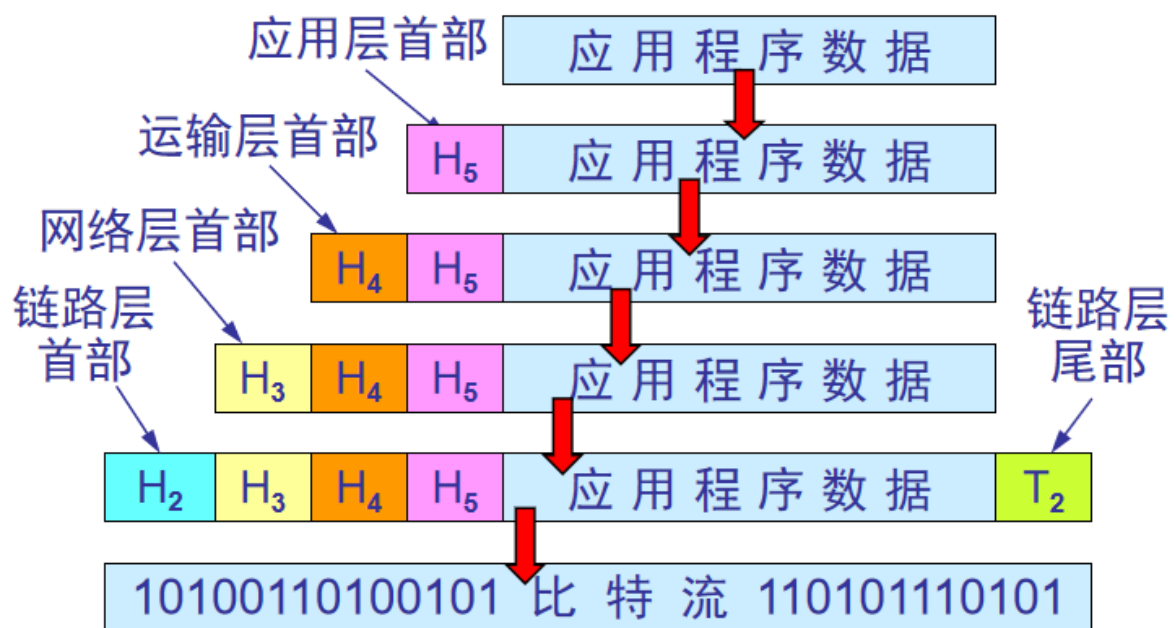
网络层

数据链路层

物理层

## 传输过程

应用数据加上**应用层头**，传给运输层，加上**运输层头**，变成**UDP/TCP数据报**传给网络层，加上**网络层头**，变成**IP数据报（或者分组）**，传给链路层，加上**链路层首尾部**，变成**链路层帧**，传给物理层



## 物理层

### 通信概念

#### 单向通信

只能一个方向发送消息，一个只能发，一个只能收，是**单行道**

#### 半双工通信

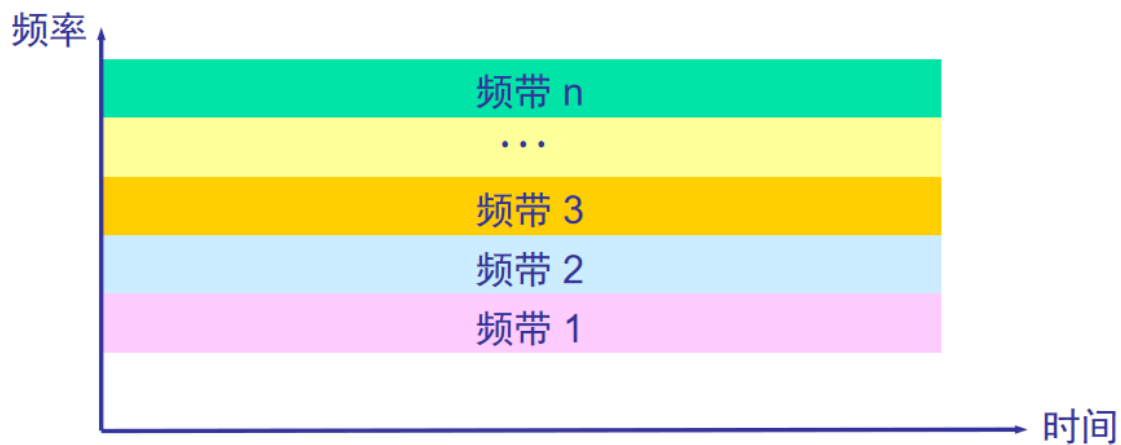
既可以发，也可以收，但是不能同时发消息，是**只能容得下一辆车走的小路**

#### 全双工通信

可以同时收发消息，是**双向车道**

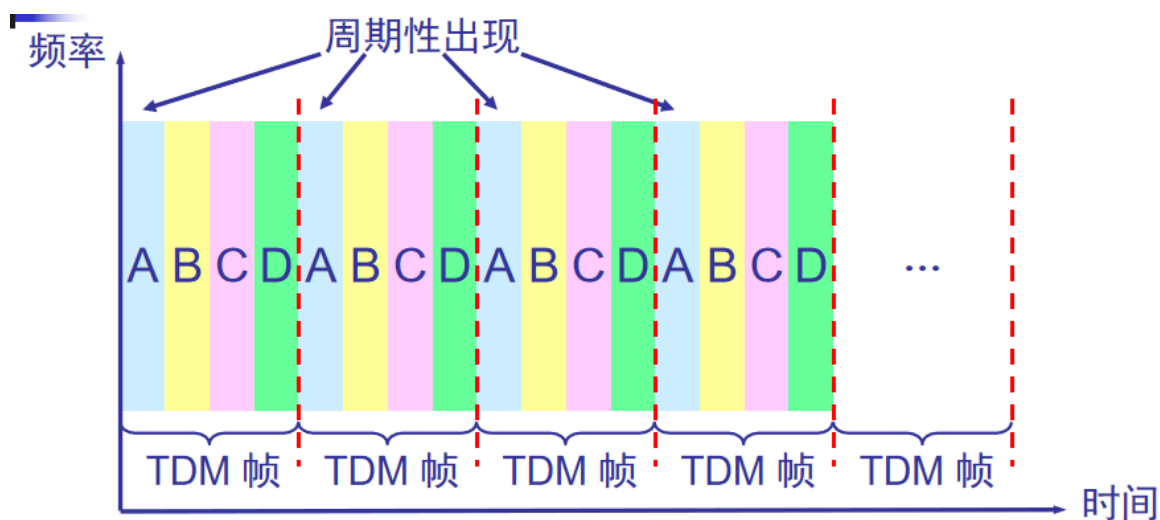
### 信道复用技术

#### 频分复用FDM (Frequency Division Multiplexing)



## 时分复用TDM (Time Division Multiplexing)

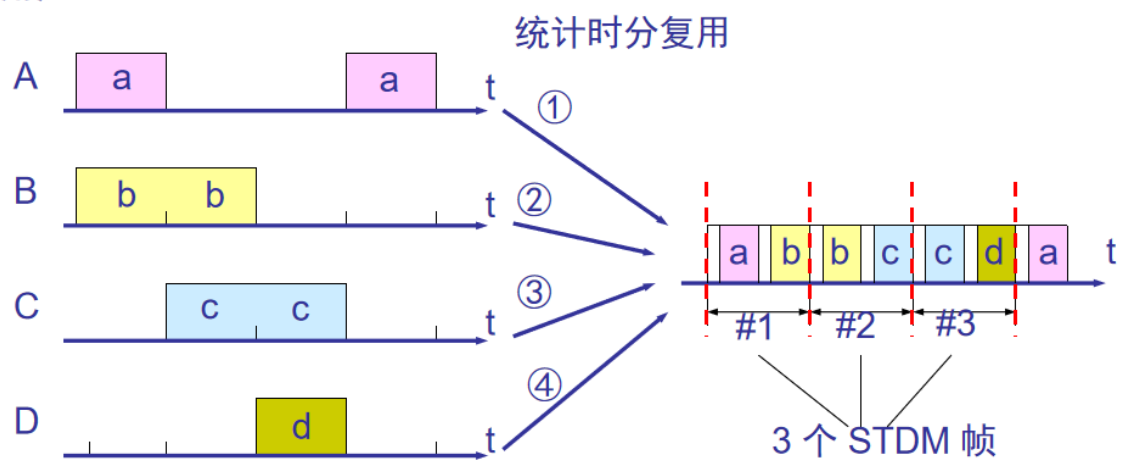
每个用户在一个周期内交替使用信道



## 统计时分复用STDM (Statistic TDM)

加强了时分复用的利用率

用户



## 波分复用WDM(Wavelength Division Multiplexing)

就是光的频分复用

每个用户占用一个光波频率

## 码分复用

每个基站都有一个唯一的正交芯片，如  $p = (-1, -1, 1, 1, -1, 1, 1, 1)$

每次发送0时，就发送 $p'$ ，即 $p$ 的反码，发送1时，就发送 $p$

## 数据链路层

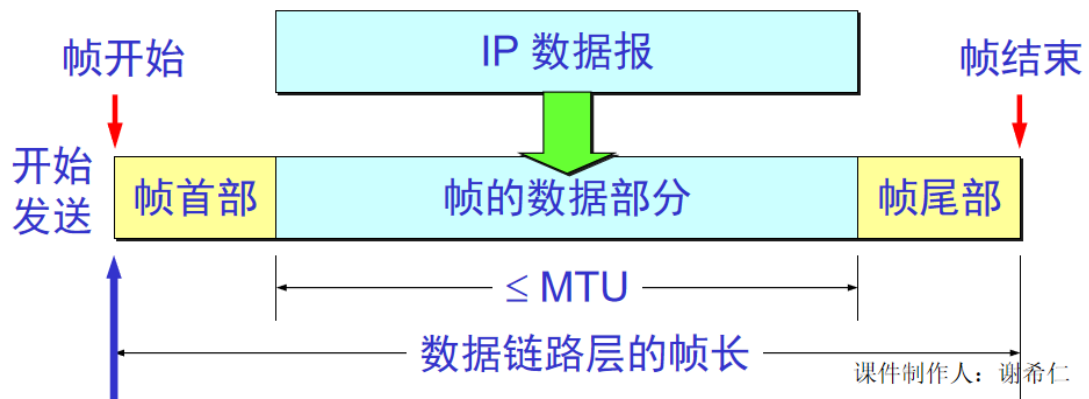
### 三个基本问题

#### 封装成帧

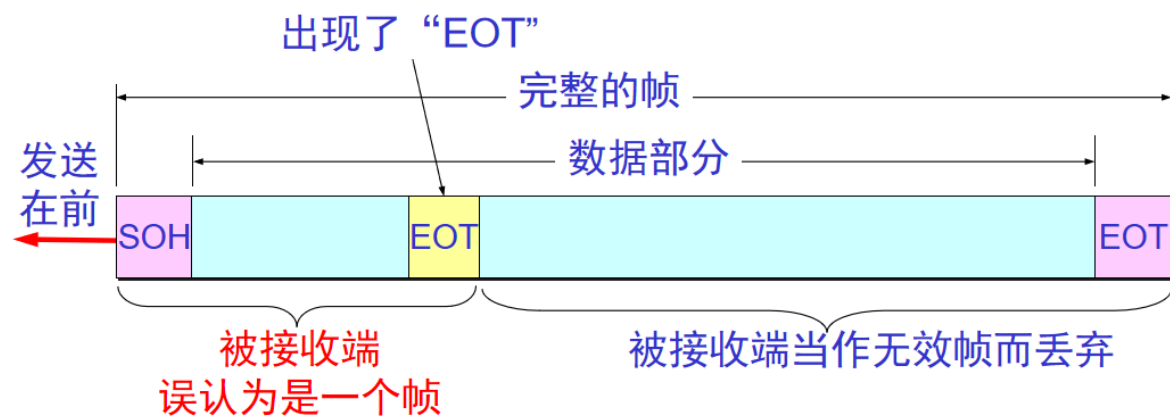
在数据前后添加**首部**和**尾部**，就构成了一个**帧**

#### 首部尾部

作用是：**帧定界**



#### 透明传输



#### 解决方法：

##### 字节填充

在出现SOH，EOT时候在前面加一个ESC字符

##### 字符填充

每出现5个1，加上一个0

#### 差错控制



## CRC校验

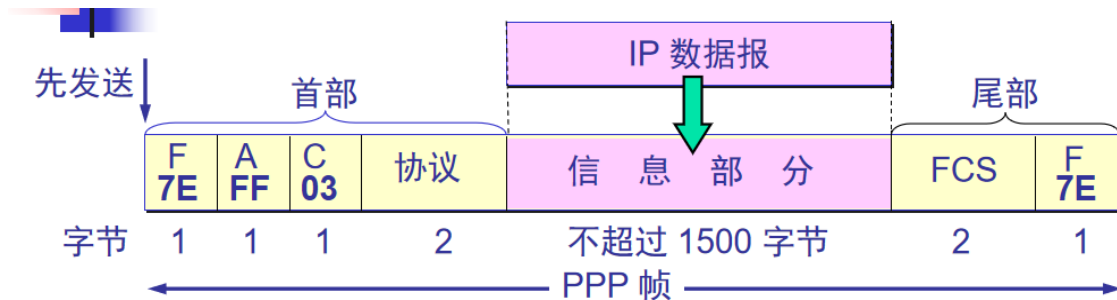
例如 1101

二进制除法，得到三位的余数作为**帧检验序列 FCS (Frame Check Sequence)**

## PPP协议 (Point-to-Point Protocol)

点对点的

### PPP协议帧格式



7E FF 03 \_\_ **IP数据报** FCS 7E

**标志字段** F = 7E (01111110)

**地址字段** A = FF (事实上不起作用)

**控制字段** C = 03

**协议字段:**

当协议字段为 **0x0021** 时，PPP 帧的信息字段就是**IP 数据报**。

若为 **0xC021**，则信息字段是 **PPP 链路控制数据**。

若为 **0x8021**，则表示这是**网络控制数据**。

将信息字段中出现的每一个 0x7E 字节转变成为 2 字节序列(0x7D, 0x5E)。

若信息字段中出现一个 0x7D 的字节, 则将其转变成为 2 字节序列(0x7D, 0x5D)。

若信息字段中出现 ASCII 码的控制字符 (即数值小于 0x20 的字符) , 则在该字符前面要加入一个 0x7D 字节, 同时将该字符的编码加以改变。

## 局域网

### 常见的拓扑结构

1. 星型
2. 环形
3. 总线型
4. 网状结构
5. 树形

### 10BASE-T

使用集线器

**物理上的星型，逻辑上总线型**，使用CSMA/CD协议

# CSMA/CD协议

## 解释

1. 载波监听 (Carrier Sense) : 开始发数据前检测线路是否空闲, 发数据时继续监听, 实质是**收数据**, 就是用电子技术检测总线上有没有其他计算机发送的数据信号

2. 多点接入 (Multiple Assess) :

总线型网络, 多个用户接入

**PPP: 只有两个点接入**

3. 碰撞检测 (Collision Detection) :

一旦听到**电压变化**就说明发生碰撞, **边发送数据边检测**信道上的信号电压大小

当几个站同时在总线上发送数据时, 总线上的信号电压摆动值将会增大 (互相叠加)。

当一个站检测到的信号电压摆动值超过一定的门限值时, 就认为总线上至少有两个站同时在发送数据, 表明产生了碰撞。

所谓“碰撞”就是发生了冲突。因此“碰撞检测”也称为“冲突检测”。

## 传数据过程

检测线路是否空闲, 如果空闲就发送, 然后**持续监听**

一旦检测到发生了碰撞, 立即停止发送

当过了**争用期** ( $2\tau$ ) 时间后, 就说明这次传送已经**不会产生碰撞**了

在开始发送数据后, **每次检测到碰撞就停止一段时间**, 遵循下面规则

- **基本退避时间取为争用期  $2\tau$ 。**
- **从整数集合  $[0, 1, \dots, (2^k - 1)]$  中随机地取出一个数, 记为  $r$ 。重传所需的时延就是  $r$  倍的基本退避时间。**
- **参数  $k$  按下面的公式计算:**  
$$k = \text{Min}[\text{重传次数}, 10]$$
- **当  $k \leq 10$  时, 参数  $k$  等于重传次数。**
- **当重传达 16 次仍不能成功时即丢弃该帧, 并向高层报告。**

**重传16次**还没成功就抛弃

## 争用期长度

以太网取  $51.2\mu s$  为争用期的长度。

对于  $10Mb/s$  以太网, 在争用期内可发送  $512bit$ , 即 64 字节。

以太网在发送数据时, **若前 64 字节没有发生冲突, 则后续的数据就不会发生冲突。**

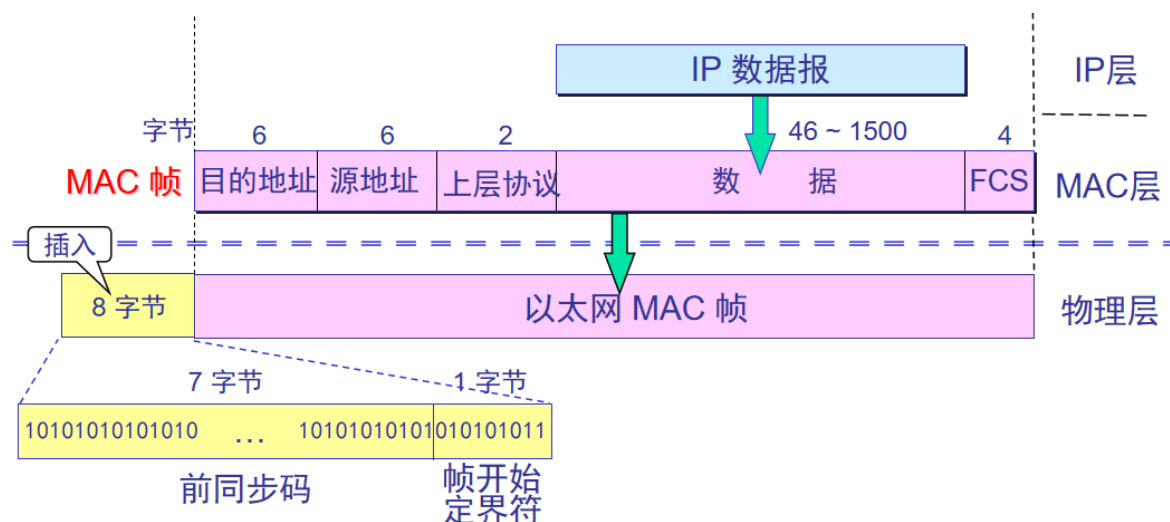
以太网规定了**最短有效帧长为 64 字节**, 凡长度小于 64 字节的帧都是由于冲突而异常中止的无效帧。

# MAC地址

网卡的全球唯一的编号

48位, 6字节

## 以太网的MAC帧格式



由上面CSMA/CD的最短帧得到，帧最短长度为64B，去掉首尾18字节，数据部分最短46Byte

所以有效MAC帧长度为64 ~ 1518 B

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。

## 帧间最小间隔

帧间最小间隔为  $9.6\mu s$ ，相当于 96 bit 的发送时间。

一个站在检测到总线开始空闲后，还要等待  $9.6\mu s$  才能再次发送数据。

这样做是为了**使刚刚收到数据帧的站的接收缓存来得及清理**，做好接收下一帧的准备。

# 扩展的局域网

## 物理层上的扩展

### 转发器/中继器/集线器

物理上的把线连起来，对信号不做任何处理

### 优点

使原来属于不同碰撞域的局域网上的计算机能够进行**跨碰撞域的通信**。

扩大了局域网覆盖的地理范围。

### 缺点

碰撞域增大了，但总的**吞吐量并未提高**。

如果**不同的碰撞域使用不同的数据率**，那么就不能用集线器将它们互连起来。

## 链路层的扩展

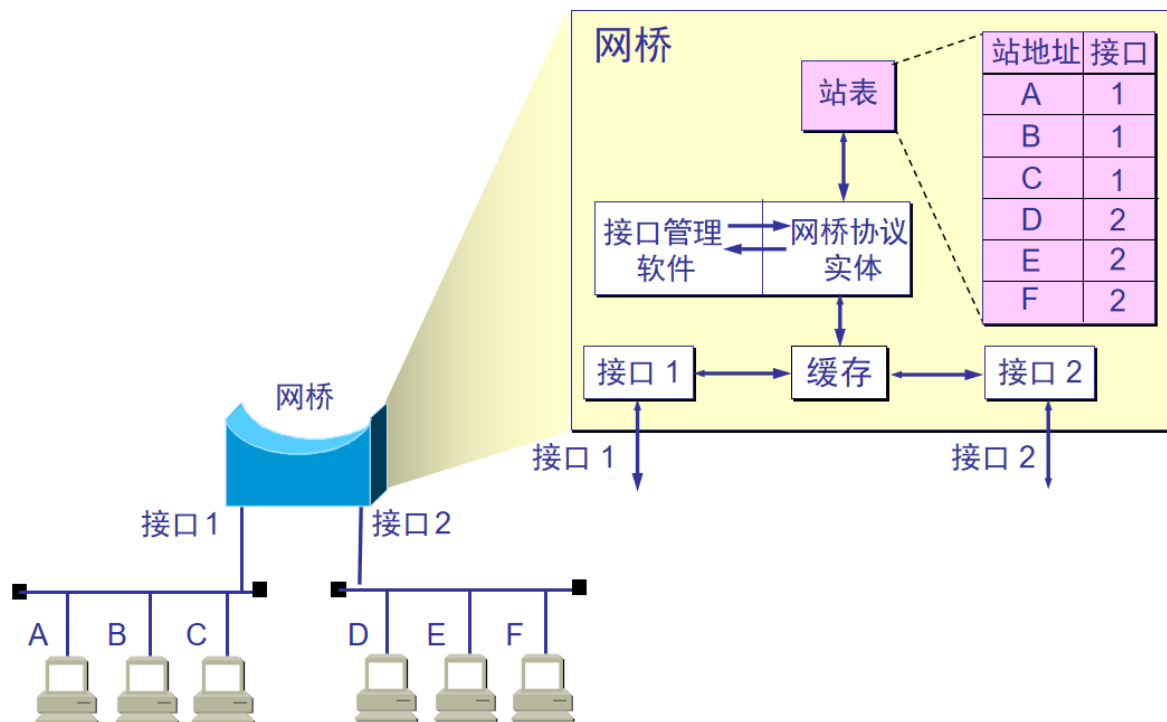
### 网桥

#### 功能

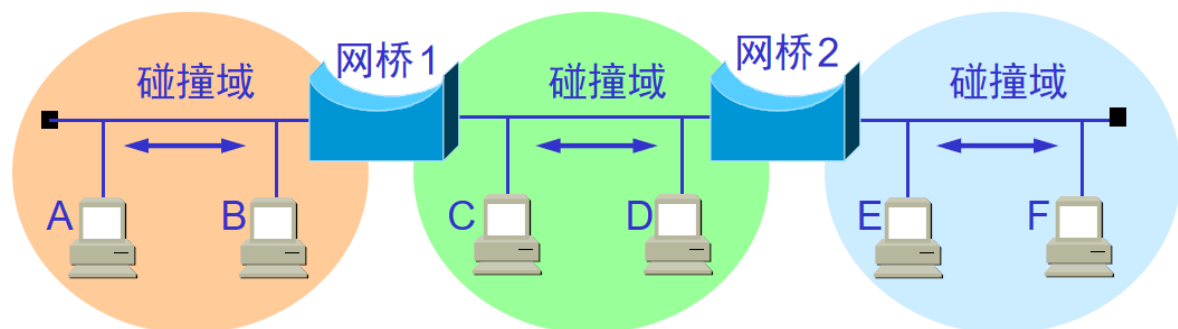
它根据 **MAC 帧的目的地址** 对收到的帧进行转发

具有**过滤帧**的功能，当网桥收到一个帧时，并不是向所有的接口转发此帧，而是先**检查此帧的目的 MAC 地址**，然后再**确定将该帧转发到哪一个接口**

## 网桥的内部结构



网桥使各网段成为隔离开的碰撞域



#### 缺点

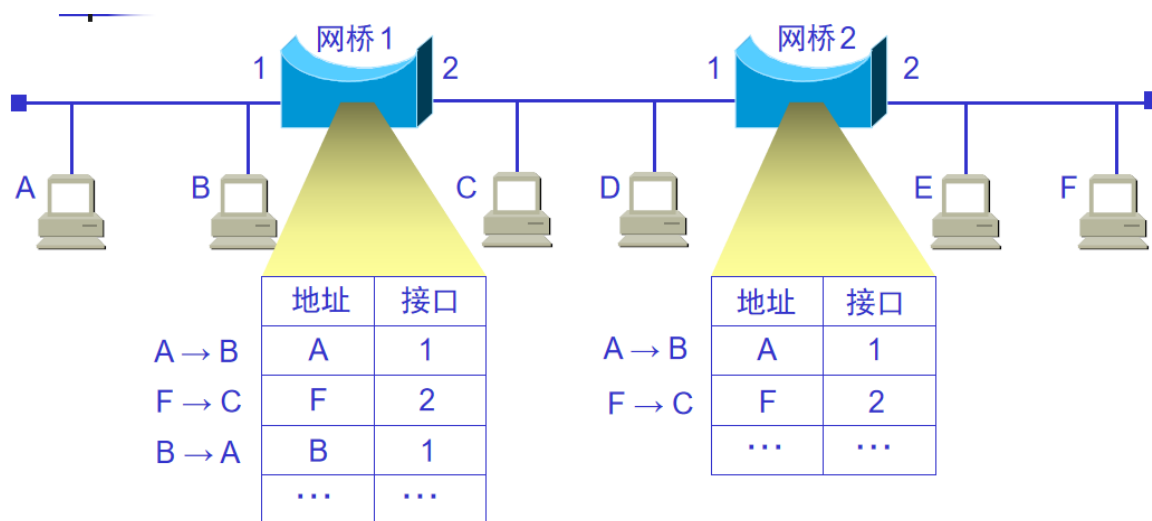
1. 存储转发增加了时延。
2. 在MAC 子层并没有流量控制功能。
3. 具有不同 MAC 子层的网段桥接在一起时时延更大。
4. 网桥只适合于用户数不太多(不超过几百个)和通信量不太大的局域网，否则有时还会因传播过多的广播信息而产生网络拥塞。这就是所谓的**广播风暴**。

## 网桥和集线器的不同

网桥在转发帧之前必须执行 CSMA/CD 算法，若在发送过程中出现碰撞，就必须停止发送和进行退避。

集线器不做任何处理

## 转发表建立过程



- 如没有，则通过所有其他接口（但进入网桥的接口除外）按进行转发。
- 如有，则按转发表中给出的接口进行转发。
- 若转发表中给出的接口就是该帧进入网桥的接口，则应丢弃这个帧（因为这时不需要经过网桥进行转发）。

## 转发表的信息

地址

接口

该帧进入网桥的时间

## 以太网交换机

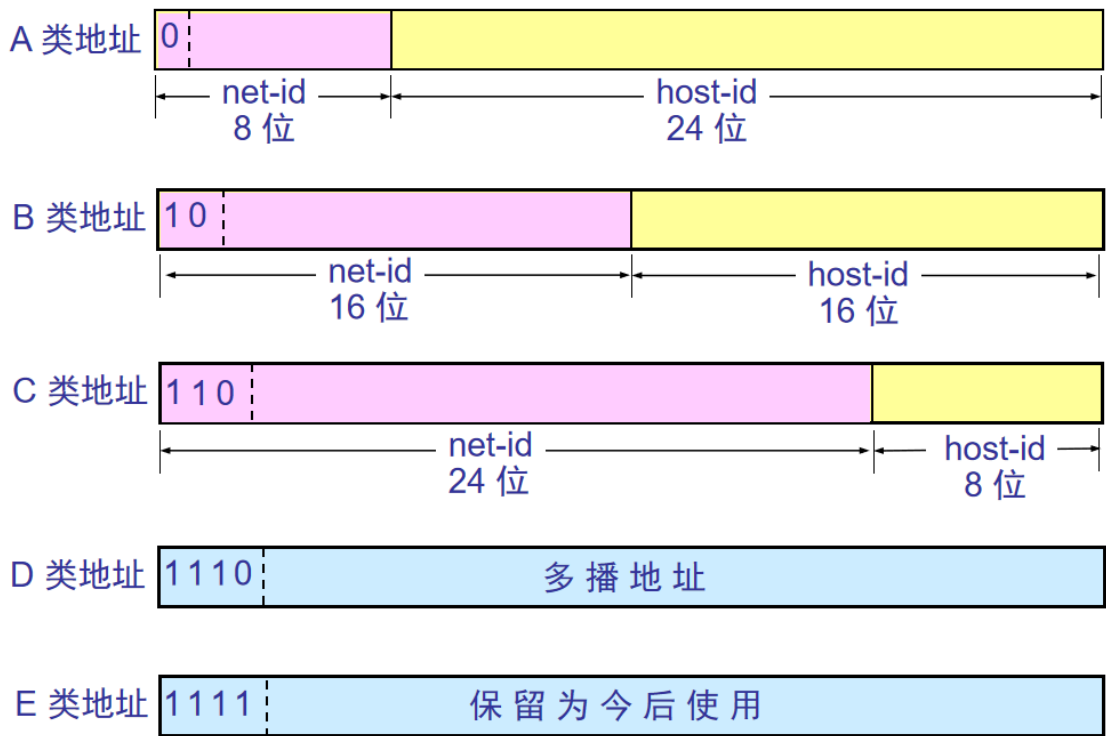
即多接口的网桥

各个层的转发器有一个连通就行，如网桥，路由器等选择一个

# 网络层

## 网络的划分

## ABCDE类网络



ABC类网络号分别为 1,2,3个字节，主机号分别为3,2,1个字节

ABC类网络IP范围

IP 地址的使用范围				
网络类别	最大网络数	第一个可用的网络号	最后一个可用的网络号	每个网络中最大的主机数
A	126 ( $2^7 - 2$ )	1	126	16,777,214
B	16,383( $2^{14} - 1$ )	128.1	191.255	65,534
C	2,097,151 ( $2^{21} - 1$ )	192.0.1	223.255.255	254

特殊的IP地址

广播地址

主机地址全为 1

组播地址

就是D类地址

224.0.0.0/8到239.255.255.255/8

1110 0000.0.0.0

1110 1111.255.255.255

224.0.0.1特指所有主机

224.0.0.2特指所有路由器

私有地址

- 10.x.x.x (A类)
- 172.16.x.x-172.31.x.x (B类)
- 192.168.x.x (C类)

环回地址

127.0.0.1  
即 localhost

对一台网络上的主机来说，它可以正常接收的合法目的网络地址有三种：

- 1. 本机的IP地址
- 2. 广播地址
- 3. 组播地址

路由器

分组转发流程

产生原因

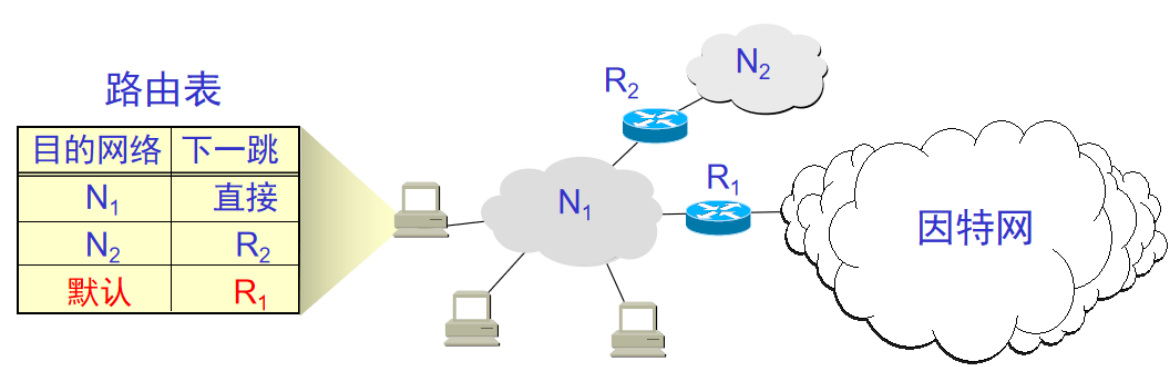
若按**目的主机号**来制作路由表，则所得出的路由表就会**过于庞大**。  
但若按**主机所在的网络地址**来制作路由表，那么每一个路由器中的路由表就只包含少量项目，这样就可使路由表大大简化。

特定主机路由

为特定的主机指明一个路由  
采用特定主机路由可使网络管理人员能**更方便地控制网络和测试网络**，同时也可在**需要考虑某种安全问题时**采用这种特定主机路由。

默认路由

如果**路由表里没有**就交给**默认路由**转发，让默认路由器再转发给下一个路由器



## 分组转发流程

- (1) 从数据报的首部提取目的主机的 IP 地址 D, 得出目的网络地址为 N。
- (2) 若网络 N 与此路由器直接相连, 则把数据报直接交付目的主机 D; (到了目的网络)  
否则是间接交付, 执行(3)。
- (3) 若路由表中有目的地址为 D 的特定主机路由, 则把数据报送到主机 D 的的下一跳  
否则, 执行(4)。
- (4) 若路由表中有到达网络 N 的路由, 则把数据报送到网络 N 的下一跳  
否则, 执行(5)。
- (5) 若路由表中有一个默认路由, 则把数据报送到默认路由  
否则, 执行(6)。
- (6) 报告转发分组出错。

总结下来就是, 先得到主机IP地址, 得到对应的网络号, 看是不是此网络的主机, 再看是不是特定主机路由, 再检查有没有到此网络的记录, 再经过默认路由, 否则出错

## ARP协议

---

把IP地址转化为MAC地址

### ARP高速缓存

每一个主机都设有一个 ARP 高速缓存

有所在的局域网上的各主机和路由器的 IP 地址到硬件地址的映射表。

### RARP

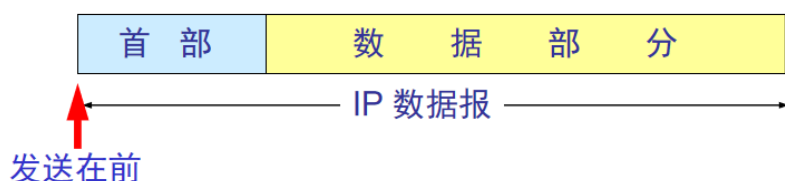
反向ARP

## IPv4数据报

---

### IPv4数据报格式





## 版本

占 4 位，指 IP 协议的版本，目前的 IP 协议版本号为 4 (即 IPv4)

## 首部长度

占 4 位，最大 15，单位为 4 字节，最大长度为 60B

## 区分服务

占 8 位，用来获得更好的服务

不过一般没用

## 总长度

占 16 位，首部和数据之和的长度，单位字节

总长度必须不超过最大传送单元 MTU

## 标识

16 位，它是一个计数器，用来产生数据报的标识。

## 标志

占 3 位，目前只有前两位有意义。

MF DF Unused

MF (More Fragment)

MF = 1 表示后面“还有分片”。MF = 0 表示最后一个分片。

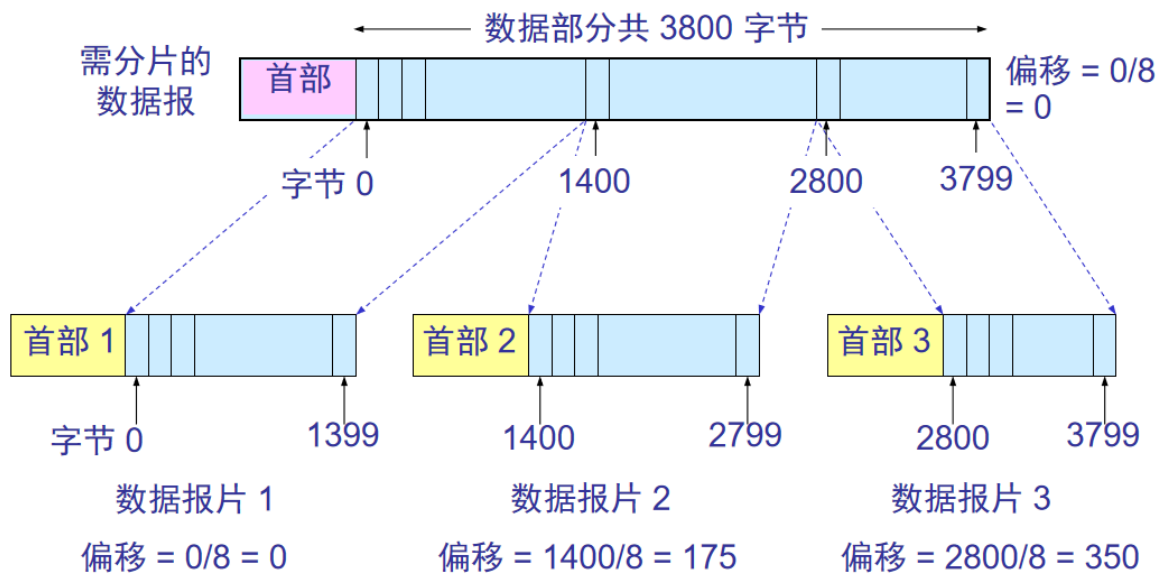
DF (Don't Fragment)

只有当 DF = 0 时才允许分片。

## 片偏移

**13位**，在原分组的相对位置，**单位为8字节**

分片例子：



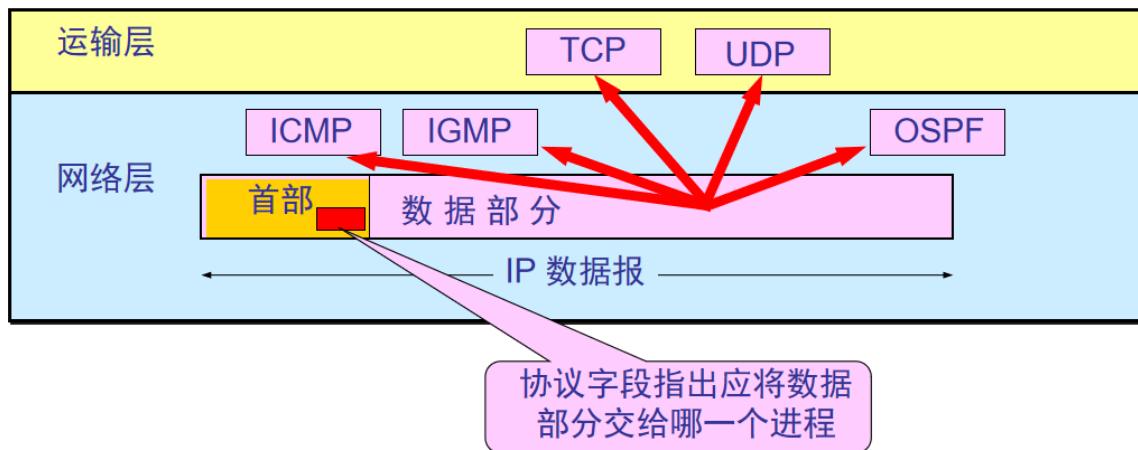
## 生存时间

**8位**，可通过的路由器数的最大值

## 协议

**8位**

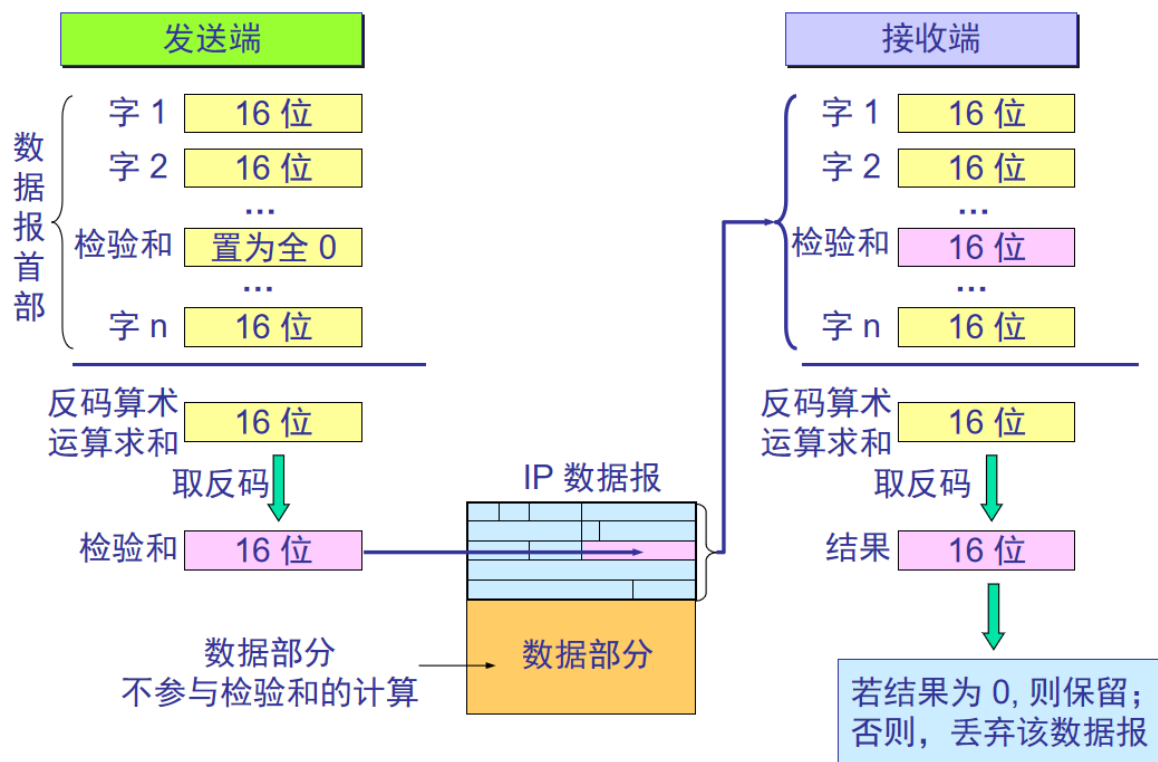
上层的协议类型，用来确定把数据交给谁，如TCP, UDP, ICMP, IGMP, OSPF等



## 首部检验和

**16位**

只检验数据报首部



就是把首部**每16位做二进制加法**，结果**取反**放入首部校验和字段

验证时候只需要将**每个16位按二进制加法加起来**，然后**取反**，如果**等于0**就说明正确，否则出错，丢弃该数据报

## 源地址/目的地址

每个**32位**，即**4字节**的IP地址

## 可变部分

很少使用，暂时不记录

## IPv6

长度 16字节

## 写法

用16进制数写，每16位（2字节）加一个冒号

## 0压缩

如果中间有很多0的话，可以用一个0代替，**只能用一次**

## 子网划分

IP地址 ::= {<网络号>, <子网号>, <主机号>} (4-2)

## 子网掩码

不说了

## ICMP

允许主机或路由器报告差错情况和提供有关异常情况的报告。

### ICMP 差错报告报文

#### 5种差错报告

终点不可达

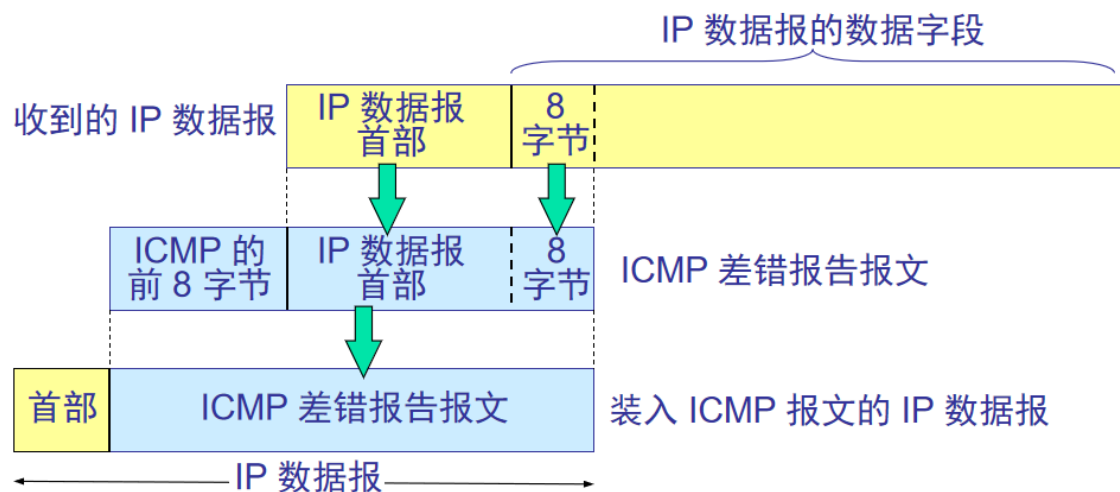
源点抑制(Source quench)

时间超过

参数问题

改变路由（重定向）(Redirect)

#### ICMP差错报告数据报内容



### ICMP 询问报文

#### 2种询问报文

回送请求和回答报文

时间戳请求和回答报文

### 应用举例

#### ping

回送请求和回答报文

#### traceroute

##### 工作流程

先发送TTL=1的数据报，遇到第一个路由器，发送一个错误报告，知道了那个路由器

然后发送TTL=2的数据报，等等

# 路由选择协议

---

## 内部网关协议

### RIP

#### 基于距离向量算法

1. 仅和**相邻路由器**交换信息。
2. **交换的信息**是当前本路由器所知道的**全部信息**，即自己的路由表。
3. 按**固定的时间间隔**交换路由信息，例如，每隔 30 秒。
4. **超过16跳**就判定为不可达

#### 特点

好消息传的快，坏消息传的慢

### OSPF

(Open Shortest Path First)

#### 基于dijkstra最短路的算法

1. 向**本自治系统中所有路由器**发送信息，这里使用的方法是**洪泛法**。
2. 发送的信息就是**与本路由器相邻**的所有路由器的**链路状态**，但这只是路由器所知道的部分信息。
3. “链路状态”就是说明本路由器都和哪些路由器相邻，以及该链路的“度量”(metric)。
4. 只有当**链路状态发生变化时**，路由器才用**洪泛法**向**所有路由器**发送此信息。

#### 传播方式

直接使用**IP数据报**传播

# 运输层

---

## 端到端的通信

### 知名端口号

DNS端口号： 53

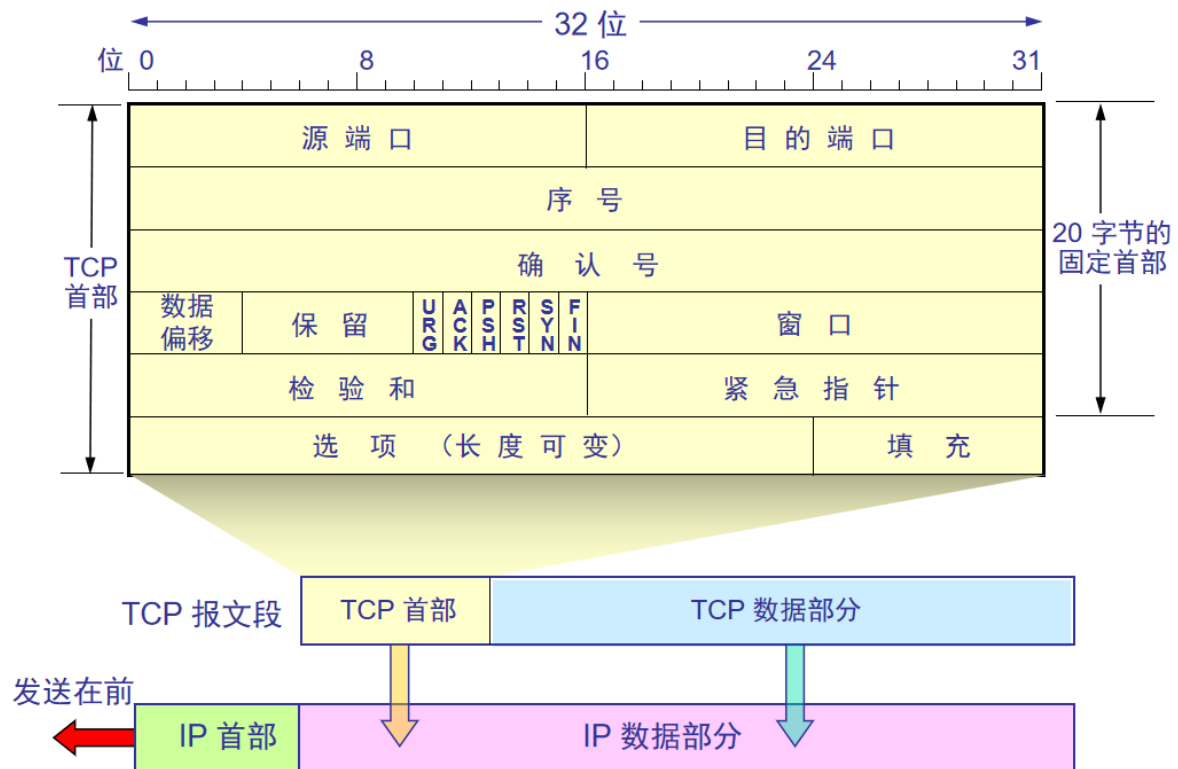
HTTP协议代理服务器常用端口号： 80/8080/3128/8081/9080

FTP（文件传输）协议代理服务器常用端口号： 21

### TCP

#### 报文段格式

## 5.5 TCP 报文段的首部格式

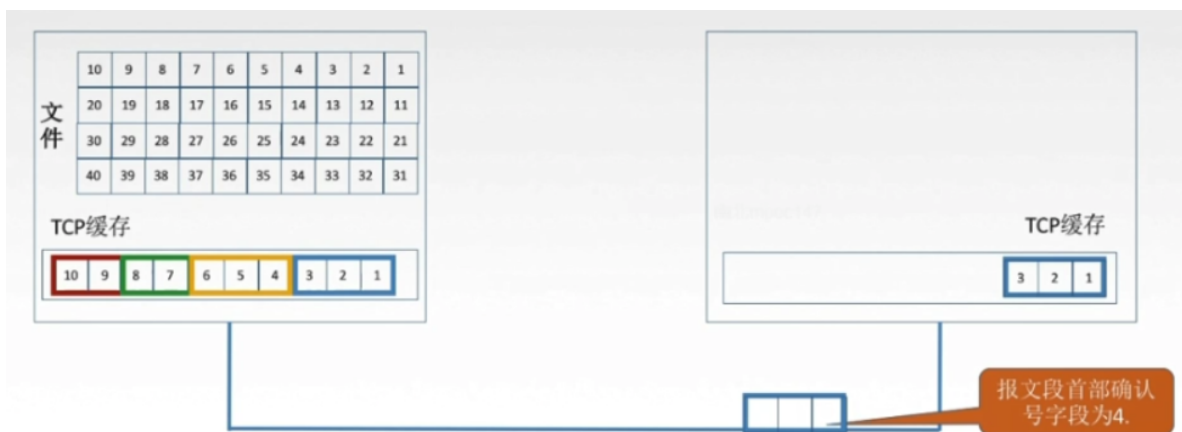


### 可靠传输的实现

#### 滑动窗口

#### 确认

按照**字节流**来发送，给每个字节编号，编号范围为 $2^{32}$ ，接受成功后发送一个确认报文段，确认报文段为最前面需要的字节编号



#### 重传

重传时间：加权平均往返时间

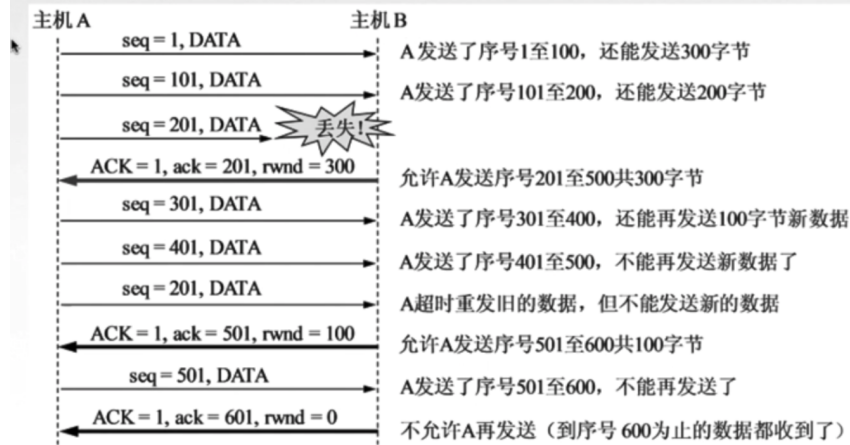
### 流量控制

目的：让发送的人慢点，要让接收方来得及接收

发送方的滑动窗口大小取决于接收方

#### 一个例子

A向B发送数据，连接建立时，B告诉A：“我的rwnd=400（字节）”，设每一个报文段100B，报文段序号初始值为1。



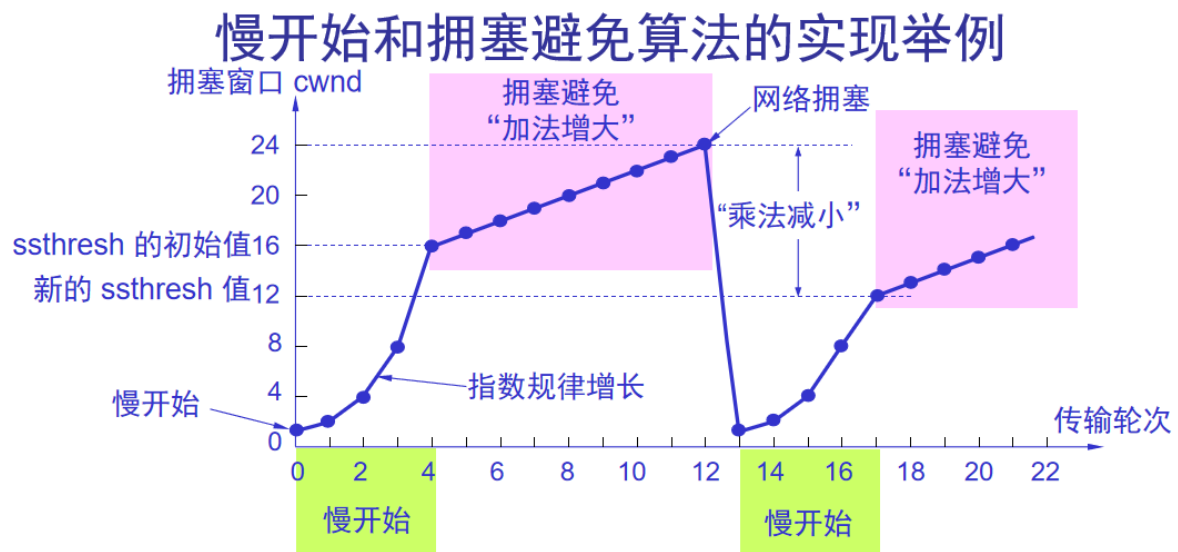
## 拥塞控制

### 拥塞

在网络中，带宽，缓存，CUP等都叫**资源**

对网络中对**某一资源的需求大于可用资源**，网络性能变坏，叫**拥塞**

### 慢开始和拥塞避免

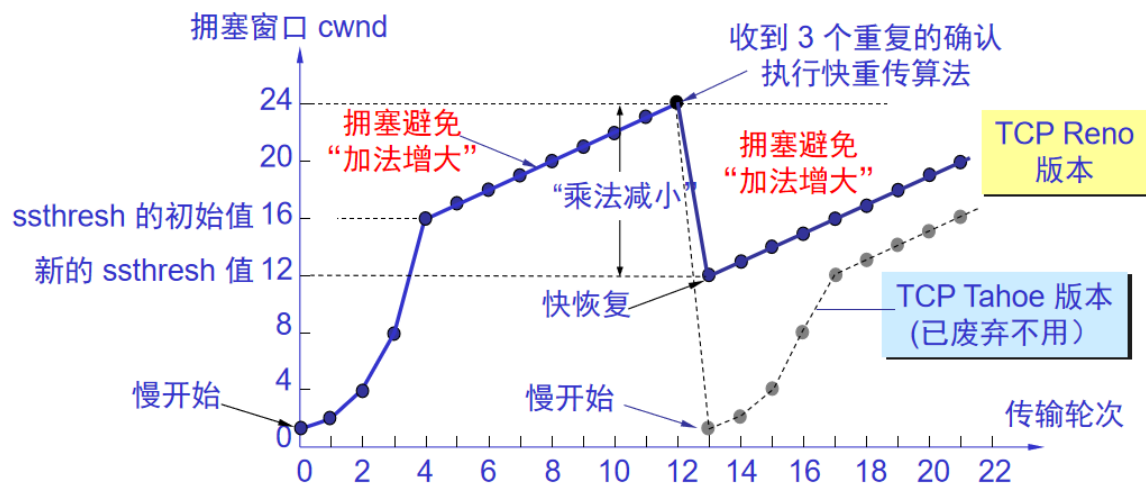


假定拥塞窗口的数值增长到 24 时，网络出现超时，表明网络拥塞了。

更新后的 sssthresh 值变为 12（即发送窗口数值 24 的一半），拥塞窗口再重新设置为 1，并执行慢开始算法。

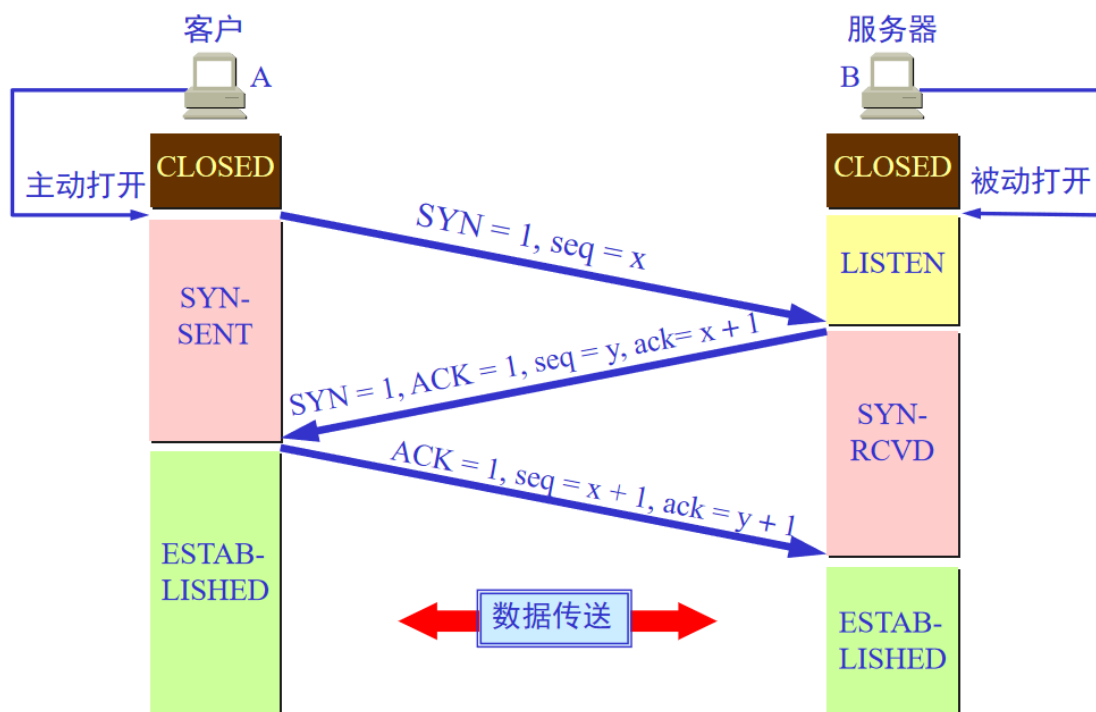
### 快重传和快恢复

快重传：收到三个连续的对某一字节的确认就立即重传接下来的那字节



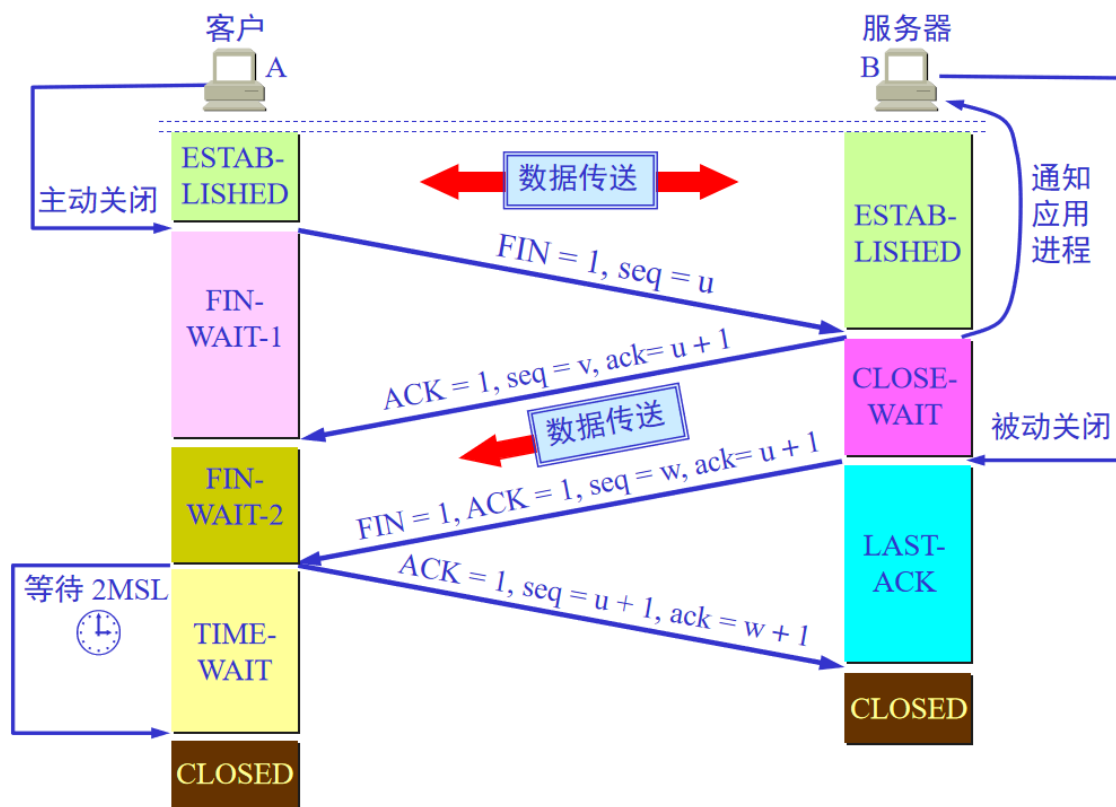
## 连接建立

### 三次握手



### 四次挥手





# 应用层

## DNS

### 域名分类

#### 根域名

所有顶级域名的父节点

#### 顶级域名

##### 国家级

.cn

.us

.uk

##### 通用顶级域名

.com

.org

.edu

.gov

.int

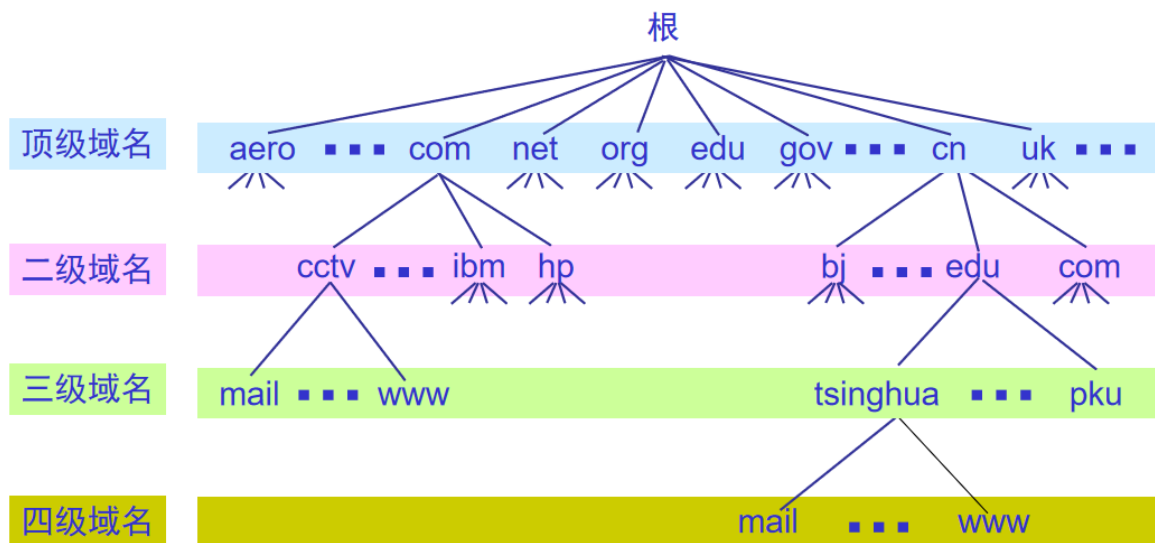
.info

.....

## 反向域名

只有一个 arpa

二级域名，三级域名.....



## 域名服务器

根域名服务器

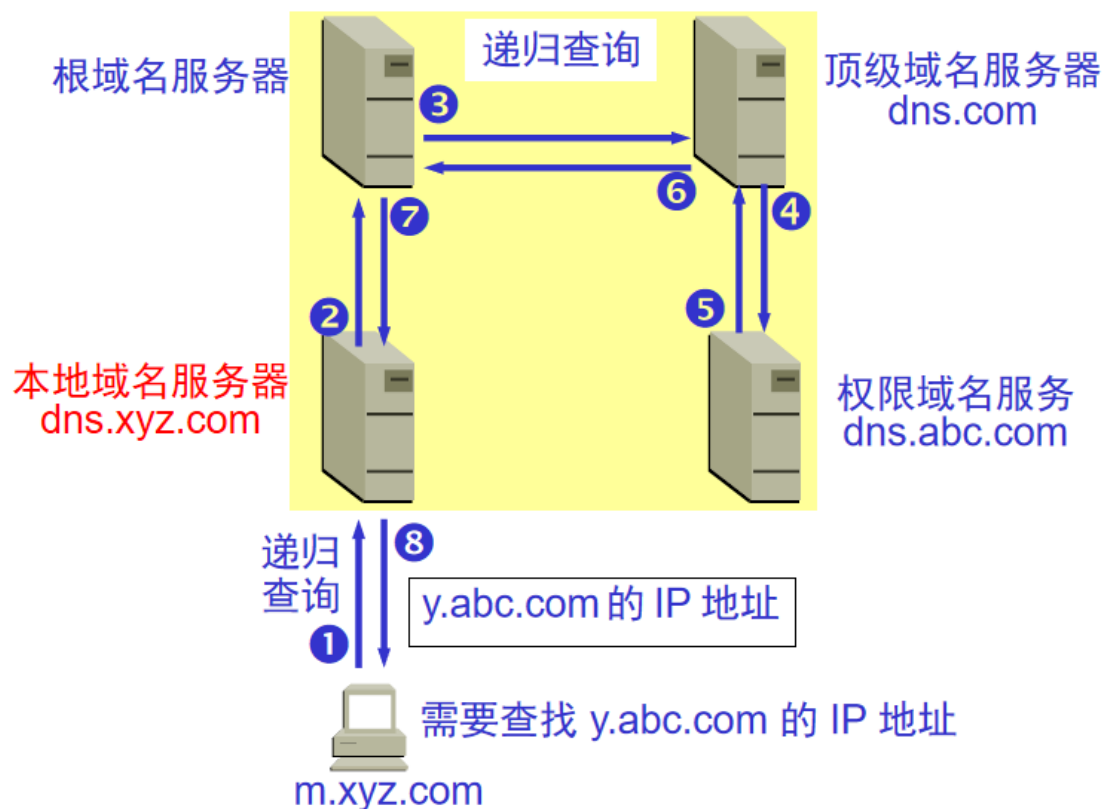
顶级域名服务器

权限域名服务器

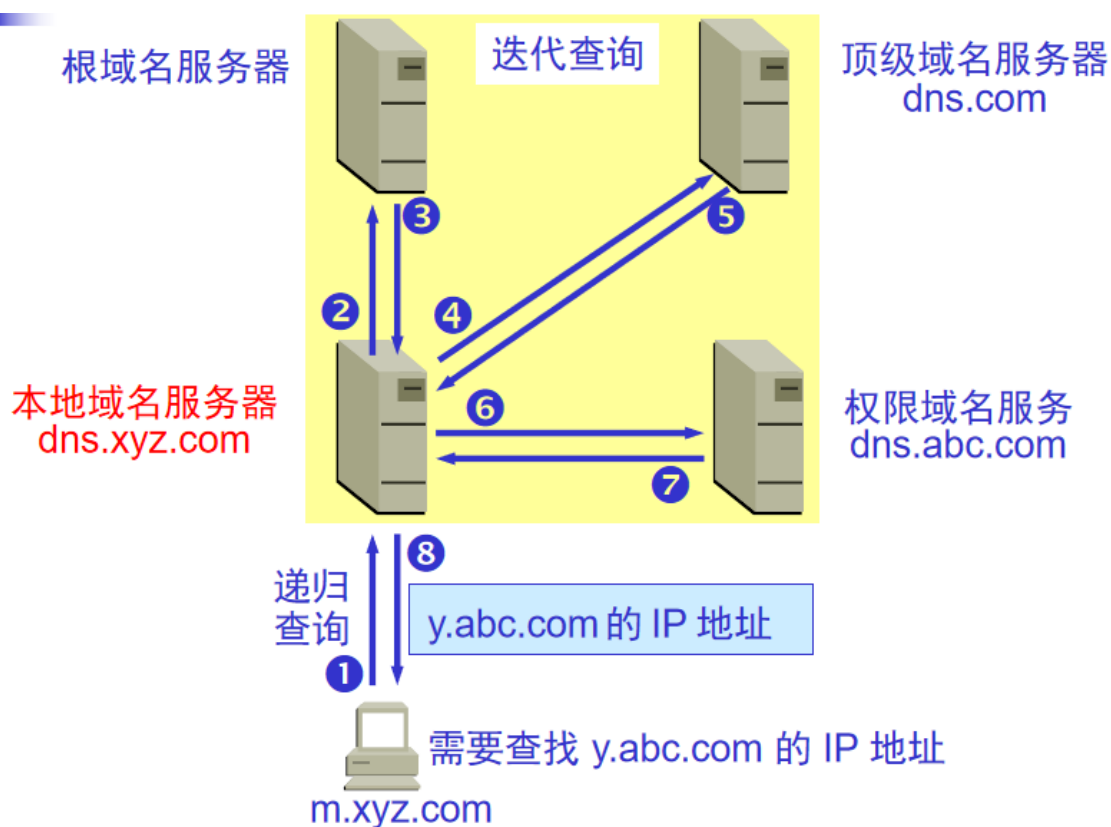
本地域名服务器

## 查询方式

递归查询



#### 迭代查询



主机向本地域名服务器的查询一般都是采用递归查询

本地域名服务器向根域名服务器的查询通常是采用迭代查询

## FTP

FTP 的主要功能是减少或消除在不同操作系统下处理文件的不兼容性。

一个 **FTP 服务器进程**可同时为**多个客户**进程提供服务，FTP 的服务器进程由**两大部分**组成：一个**主进程**，负责**接受新的请求**；另外有**若干个从属进程**，负责**处理单个请求**。

## 工作流程

打开熟知端口（端口号为 21），使客户进程能够连接上。

等待客户进程发出**连接请求**。

启动**从属进程**来处理客户进程发来的请求。**从属进程**对客户进程的请求**处理完毕后即终止**，但**从属进程**在运行期间根据需要**还可能创建其他一些子进程**。

回到等待状态，继续接受其他客户进程发来的请求。**主进程与从属进程的处理是并发地进行**。

## 两个连接

**控制连接**在整个会话期间**一直保持打开**，FTP 客户发出的传送请求通过控制连接发送给服务器端的控制进程，但控制连接**不用来传送文件**。

实际用于传输文件的是“**数据连接**”。服务器端的**控制进程**在**接收到 FTP 客户**发送来的**文件传输请求**后就**创建“数据传送进程”和“数据连接”**，用来**连接客户端和服务器端的数据传送进程**。

**数据传送进程**实际完成文件的传送，在**传送完毕后关闭“数据传送连接”**并结束运行。

## 两个端口号

当客户进程向服务器进程**发出建立连接请求**时，要**寻找**连接服务器进程的熟知端口(21)，同时还要**告诉服务器进程自己的另一个端口号码**，用于建立数据传送连接。

接着，**服务器进程**用自己**传送数据的熟知端口(20)**与**客户进程所提供的端口号码**建立**数据传送连接**。

由于 FTP 使用了两个不同的端口号，所以**数据连接与控制连接**不会发生混乱。

## 使用两个端口号的好处

使协议更加简单和更容易实现。

在传输文件时还可以利用控制连接（例如，客户发送请求终止传输）。

## WWW (World Wide Web)

---

万维网是**分布式超媒体(hypermedia)系统**，它是超文本(hypertext)系统的扩充。

## URL

**统一资源定位符 (Uniform Resource Locator)** 是对**可以从因特网上得到的资源的位置和访问方法**的一种简洁的表示。

### 一般形式

<协议>://<主机>[:<端口>]/<路径>

## http

(HyperText Transfer Protocol) **超文本传输协议**

利用TCP建立连接

## 无线网

---

也分为广域网，城域网，局域网，个人局域网

平常用的手机就是**无线广域网**

**无线城域网**：WiMAX

**无线广域网**：蜂窝无线通信网

**无线个人区域网**：蓝牙，ZigBee，超高速WPAN