

# 1 概述

## 1.1 基本概念

**三大类网络, 三网融合** 电信网络, 有线电视网络, 计算机网络

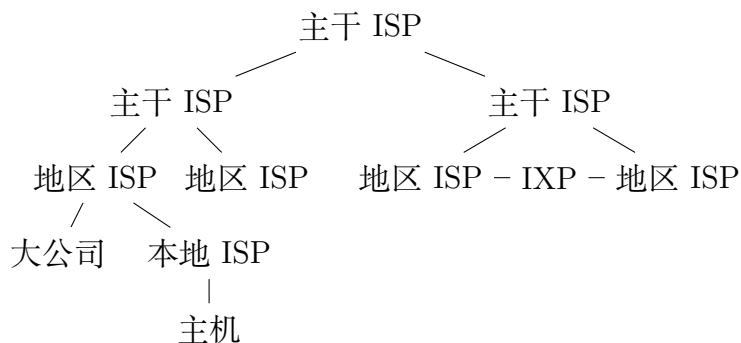
**互连网** 网络的网络

**互联网 (Internet)** 采用 TCP/IP 协议族的特定互连网

**互联网向用户提供的基本功能** 连通性, 共享, 增强可靠性

## 1.2 互联网发展的三个阶段

1. 单个网络 ARPANET 向互连网发展
2. 三级结构网络: 主干网, 地区网, 校园网 (企业网)
3. 多层次 ISP 结构的互联网



## 1.3 互联网标准化

? P8

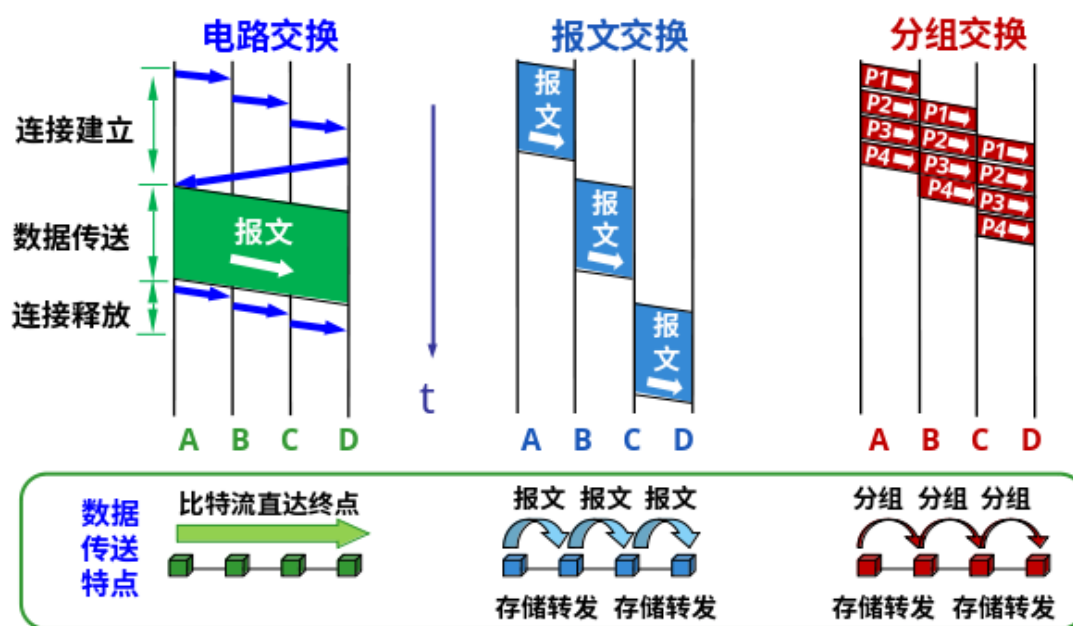
## 1.4 互联网的组成

边缘部分, 核心部分



边缘系统通信方式 C/S(客户-服务器方式), P2P(对等方式)

核心部分负责连接边缘部分, 连接方式 电路交换, 报文交换, 分组交换



### 1.4.1 电路交换

面向连接

建立连接 → 通信 → 释放连接

优点 实时性强, 时延小, 交换成本较低

**缺点** 线路利用低, 电路接续时间长, 通信效率低, 不同类型终端用户之间不能通信等  
缺点

电路交换比较适用于信息量大, 长报文, 经常使用的固定用户之间的通信

### 1.4.2 报文交换

**优点** 中继电路利用率高, 可以多个用户同时在一条线路上传送, 可实现不同速率, 不同规程的终端间互通

**缺点** 以报文为单位进行存储转发, 网络传输时延大, 且占用大量的交换机内存和外存, 不能满足对实时性要求高的客户

报文交换适用于传输的报文较短, 实时性要求较低的网络用户之间的通信, 如公用电报网

### 1.4.3 分组交换

**优点** 高效, 灵活, 迅速, 可靠

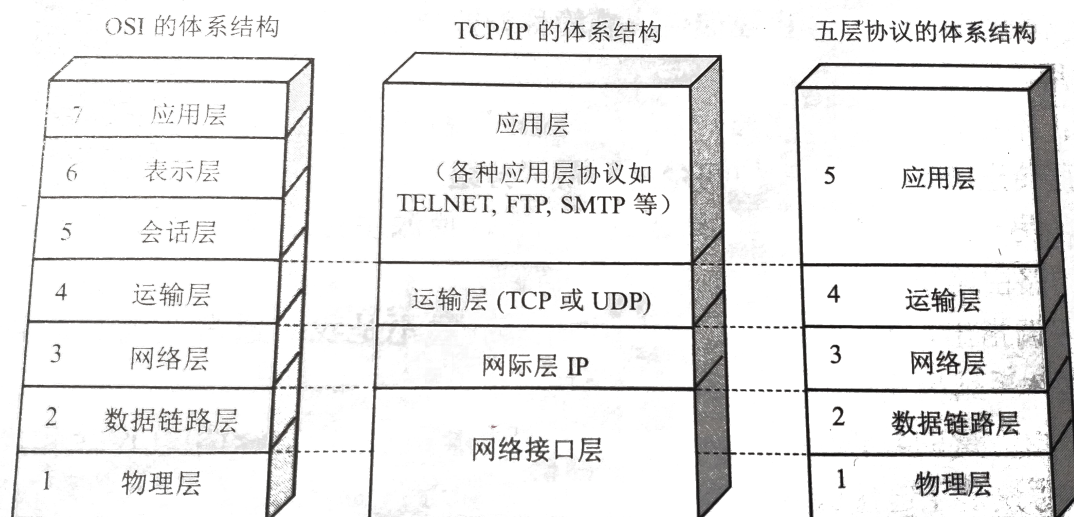
**缺点** 分组在各结点储存转发要排队, 造成延迟. 分组携带首部, 造成开销

分组交换比电路交换的电路利用率高, 比报文交换的传输时延小, 交互性好

## 1.5 计算机网络的性能

## 1.6 计算机网络的体系结构

网络协议三个要素 语法, 语义, 同步



(a) OSI 的七层协议

(b) TCP/IP 的四层协议

(c) 五层协议

## 2 物理层

**功能** 屏蔽传输介质差异, 提供 bit 流的传输服务

**设备** 中继器 (放大), HUB(集中, 广播, 半双工)

### 2.1 信道极限容量

**奈氏准则**  $C = 2w \log_2 M$

**香农公式**  $C = w \log_2 1 + S/N$

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

**例 2.1.1** 在无噪声情况下, 若某通信链路的带宽为 3kHz, 采用 4 个相位, 每个相位具有 4 种振幅的 QAM 调制技术, 则该通信链路的最大数据传输速率是

**解**  $C = 2 \times 3k \times \log_2(4 \times 4) = 24kbit/s$

### 2.2 信道复用

1. 频分复用
2. 时分复用
3. 波分复用 (光纤)
4. 码分复用: 序列  $\times$  码片, 1 为 1, 0 为无效, -1 为 0



## 3 数据链路层

**功能** 相邻结点无差错传输

**设备** 网卡 (NIC 卡), 交换机 (全双工, MAC 学习), 网桥 (一对接口)

**物理链路** 一个结点到相邻结点的一段物理线路

**逻辑链路 (数据链路)** 物理链路 + 通讯协议

**帧** 数据链路层的协议数据单元

### 3.1 三个基本问题

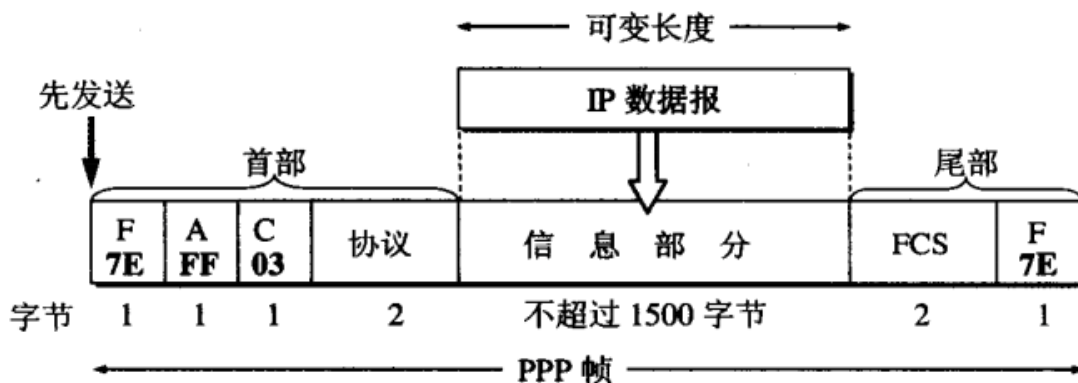
**封装成帧** 数据前后加 SOH 和 EOT

**透明传输** 转移字符 ESC, 字节填充

**差错校验** 冗余循环校验 (CRC) (P74-75)

注意无差错接收不等于可靠传输, 只保证接收的帧均无差错

### 3.2 点对点 (PPP)



**需求** 简单, 封装成帧, 透明层, 多种网络协议, 多种连接链路 (串行/并行), 差错校验, 检测连接状态, 最大传送单元, 网络层地址协商, 数据压缩协商

**不需要的功能** 纠错, 流量控制 (传输速率), 序号, 多点线路, 半双工或单共链路 (仅支持全双工)

### 3.2.1 字节填充

实现异步透明传输

- $0x7E \rightarrow 0x7D\ 0x5E$
- $0x7D \rightarrow 0x7D\ 0x5D$
- $< 0x20 \rightarrow 0x7D\ (< 0x20 + 0x20)$

### 3.2.2 零比特填充

实现同步透明传输, 连续 5 个 1 插入 1 个 0

$111111 \rightarrow 1111101$

## 3.3 广播

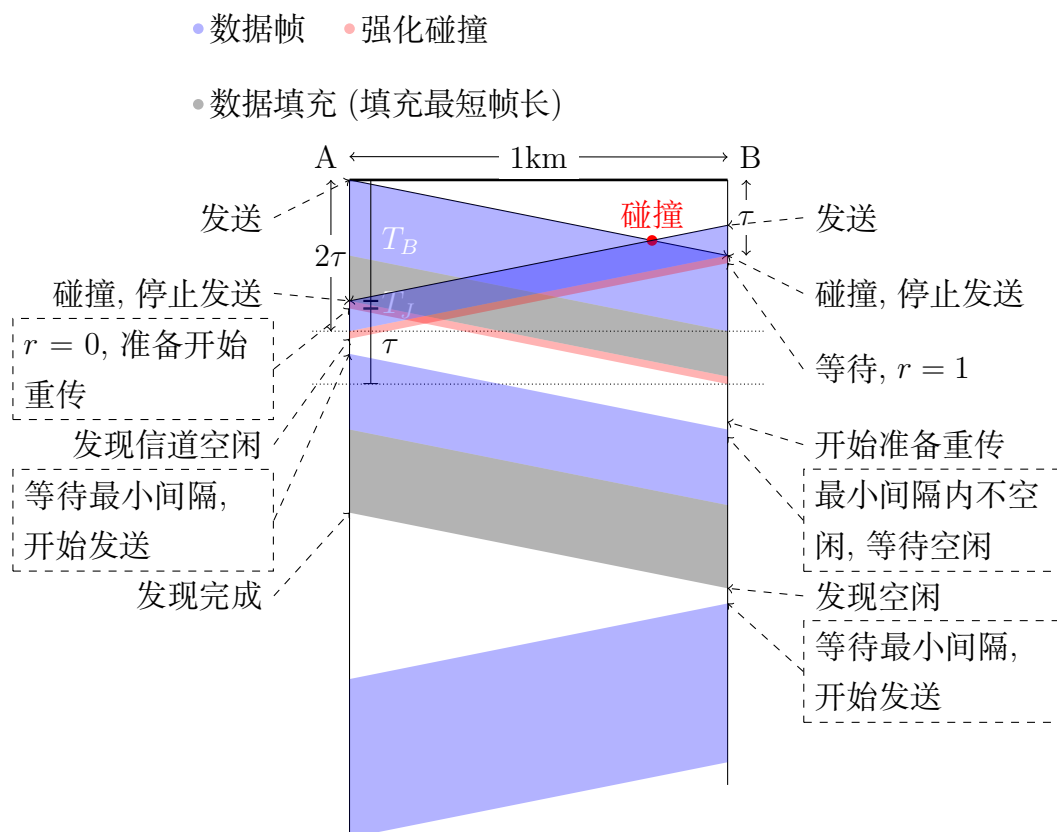
**主要解决的问题** 寻址, 信道使用权

**共享信道** 静态划分信道 (多路复用), 动态媒体接入控制 (随机接入: **以太网**, 受控接入)

### 3.3.1 CSMA/CD 协议

载波监听多点接入/碰撞检测 Carrier-sense multiple access with collision detection, 即先听后说, 一旦冲突, 立即停说





**多点接入** 总线型网络

**载波监听** 用电子计算检测有没有计算机占用信道

**碰撞检测 (CD, 边发送边监听)**  $\tau$ : 单程端到端传播时延

碰撞检测最大时延长为  $2\tau$ , 将  $2\tau$  定义为**争用期**, 又称**碰撞窗口**, (实际中  $2\tau \leq$  争用期)

10Mbps 以太网中争用期定义为 512 比特时间

**碰撞后重传 退避**

以太网使用**截断二进制指数退避**

截断二进制指数退避 (缺乏公平性):  $t = rand([0..(2^k-1)]) \times \tau, k = min(\text{重传次数}, 10)$

**最短帧长**  $t \geq 2\tau$ , 10Mbps 争用期为 512 比特时间的以太网中最短帧长为  $64B$ , 小于将短帧长的帧为无效帧

**强化碰撞**  $T_J$  让所有用户知道发生碰撞

10Mbps 以太网中为 32b 或 48b 的人为干扰信号

**最小间隔** 以太网规定帧间最小间隔为 96 比特时间

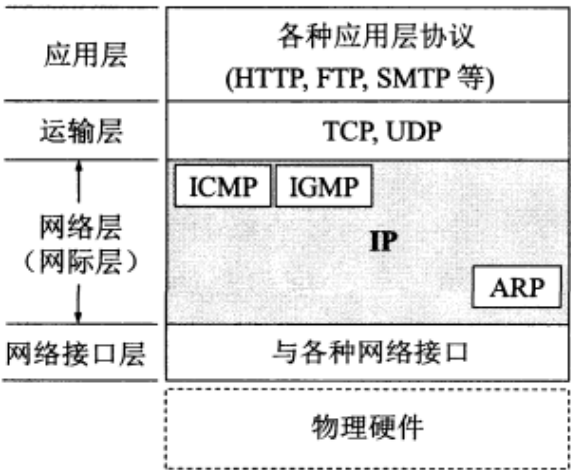
### 3.3.2 MAC 帧

前导码	帧开始符	MAC 目标地址	MAC 源地址	802.1Q 标签 (可选)	以太类型	负载	冗余校验
10101010 7个octet	10101011 1个octet	6 octets	6 octets	(4 octets)	2 octets	46-1500 octets	4 octets

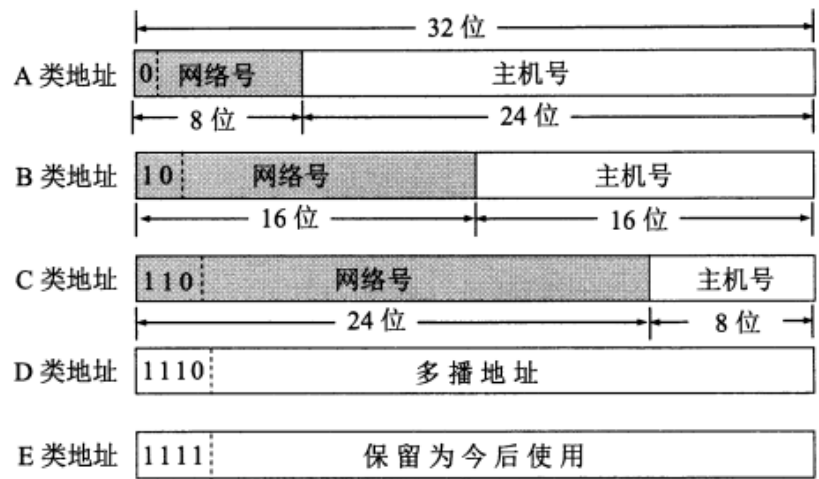
# 4 网络层

**功能** 网络层向上只提供简单灵活的，无连接的，尽最大履历史交互的数据报服务（分组，IP 数据报）。不提供服务质量的承诺

**设备** 路由器，L3-switch



## 4.1 IP 地址分类



类别	最大网络数 (全 0 本网络)	最大主机数 (全 0 本主机, 全 1 所有)
A	$2^7 - 2$ 全 1(127)	$2^{24} - 2$
B	$2^{14} - 1$	$2^{16} - 2$
C	$2^{21} - 1$	$2^8 - 2$

子网, 构成超网 CIDR

## 4.2 IP 数据报

位偏移	0-3	4-7	8-13	14-15	16-18	19-31
0	版本	首部长度(4字节单位)	区分服务	显式拥塞通告	全长	
32	标识符				标志	分片偏移(8字节单位)
64	存活时间		协议		首部检验和	
96	源IP地址					
128	目的IP地址					
160	选项（如首部长度>5）					
160 or 192+	数据					

标识 标识数据报分片重装

全长 单位字节, 最大 MTU=1500

标志 MF(还有分片), DF(不能分片)

## 4.3 地址解析 (ARP)

P124

## 4.4 路由 (内部网关协议 RIP)

P153, 注意 +1

# 5 运输层

运输层为应用进程提供端到端的通信服务, 可以提供面向连接的数据流支持, 可靠性, 流量控制, 拥塞避免, 多路复用服务

## 5.1 多路复用 (端口)

0 – 1023 熟知端口号/系统端口号

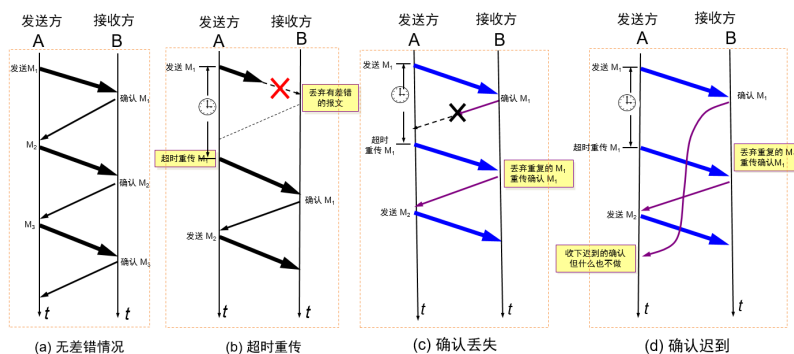
1024 – 49141 登记端口号

49152 – 65535 短暂端口号

应用	服务	应用	服务
FTP	21	TELNET	23
SMTP	25	DNS	53
HTTP	80	HTTPS	443

## 5.2 可靠性实现

### 5.2.1 停止等待协议



### 5.2.2 连续 ARQ 协议

- 选择重传
- 累计确认 + 回退 N

5.2.3 滑动窗口协议

见 TCP

5.3 UDP (用户数据包协议)

位	0 - 7	8 - 15	16 - 23	24 - 31
0	来源地址			
32	目的地址			
64	全零	协议名	UDP报文长度	
96	来源连接端口		目的连接端口	
128	报文长度		检验和	
160+	数据			

支持一对一, 一对多, 多对一, 多对多交互通信, 面向报文

伪首部 前 12 字节

协议名 17

校验和 伪首部 + 整个 UDP 报文, 可选 (校验和为 0)

校验和计算方式 校验和段取 0, 按照 16 位为单位, 二进制反码相加后取反

5.4 TCP (传输控制协议)

偏移	字节	0							1							2							3										
字节	比特	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
0	0	来源通信端口															目的通信端口																
4	32	序列号码																															
8	64	确认号码（当ACK设置）																															
12	96	数据偏移				保留 0 0 0			N S	C W R	E C R	U R C	A C K	P S H	R S S	F I N	窗口大小																
16	128	校验和															紧急指针（当URG设置）																
20	160	选项（如果数据偏移 > 5。需要在结尾添加0。																															
...	...	...																															

面向连接, 一对一, 可靠交付, 全双工, 面向字节流

MSS 最大分段大小 (不包括 TCP 头)

序列号 按字节编号

确认号 期望序列号

数据偏移 实际 TCP 头大小, 以 32bit 为单位

5.4.1 可靠交付

P221 5.6

5.4.2 流量控制

P227

rwnd 接受窗口

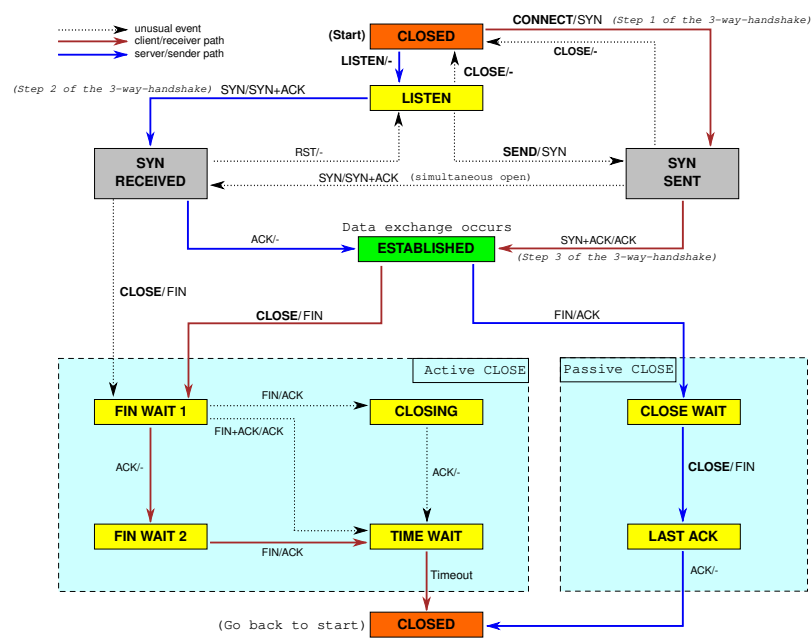
5.4.3 拥塞控制

P232 5.8.2

cwnd 拥塞窗口

ssthresh 慢开始门限

5.4.4 连接管理







# 索引

$\tau$ , 9

ARPANET, 1

报文交换, 2, 3

边缘部分, 1

C/S, 2

CSMA/CD, 8

$T_B$ , 9

$T_J$ , 9

多点接入, 9

截断二进制指数退避, 9

强化碰撞, 9

人为干扰信号, 9

载波监听, 9

争用期, 9

最短帧长, 9

最小间隔, 9

电路交换, 2

电信网络, 1

对等方式, 2

分组交换, 2, 3

核心部分, 1

互联网, 1

互连网, 1

ISP, 1

IXP, 1

计算机网络, 1

客户-服务器方式, 2

面向连接, 2

OSI, 3

P2P, 2

三网融合, 1

数据链路层, 7

TCP/IP, 3

退避, 9

五层协议, 3

有线电视网络, 1