

# 《计算机网络》复习参考

(保留一切权利。仅用于本课程教学复习参考，禁止任何形式的复制和传播。)

## 第1章 概述

### 1.1 计算机网络概述

1. 计算机网络定义。
2. 计算机网络的功能。
3. 计算机网络的分类。从不同角度进行分类。
4. 计算机网络的组成
  - (1) 计算机网络的组成元素分成两大类：网络结点，通信链路。
  - (2) 从逻辑功能上：通信子网和资源子网。

### 1.2 Internet

1. 网络的网络：Internet 则把许多网络连接在一起。
2. 用路由器互连的网络的集合。
3. 组成
  - 主机（端系统）：运行网络应用程序；
  - 通信链路：光纤，铜线，卫星。传输速率 = 带宽；
  - 路由器：转发分组。
4. 从 Internet 的工作方式上看：边缘部分，核心部分。
  - (1) 在网络边缘的端系统中运行的程序之间的通信方式通常可划分为两大类：
    - 客户服务器方式，即 Client/Server 方式；
    - 对等方式，即 Peer-to-Peer 方式。
  - (2) 在网络核心部分起特殊作用的是路由器(router)。
    - 路由器是实现分组交换(packet switching)的关键构件，其任务是转发收到的分组，这是网络核心部分最重要的功能。
    - 交换：电路交换 vs 分组交换（虚电路，数据报）
5. 接入和物理介质
  - 各种接入网络：xDSL，HFC，FTTx，LAN，Wireless
  - 多种物理介质：双绞线（UTP/STP），同轴电缆，光纤，无线等

## 6. 传输技术与拓扑结构

- 广播
- 点-点
- 组播

## 7. Internet 结构。三个阶段：

- 第一阶段：从单个网络 ARPANET 向互联网发展的过程。
- 第二阶段：建成了三级结构的互联网。形成三级计算机网络：主干网、地区网和校园网（或企业网）。
- 第三阶段：逐渐形成了多层次 ISP 结构。出现了互联网服务提供者 ISP (Internet Service Provider)。

## 8. Internet 标准化

- 互联网草案(Internet Draft)。在这个阶段还不是 RFC 文档。
- 建议标准(Proposed Standard)。从这个阶段开始就成为 RFC 文档。
- 草案标准(Draft Standard)
- 互联网标准(Internet Standard)

## 1.3 计算机网络的性能

### 1. 速率(data rate)

- 即数据率或比特率(bit rate)，是计算机网络中最重要的一个性能指标。
- 速率的单位是 b/s (bps)，或 kb/s, Mb/s, Gb/s 等。

### 2. 带宽(bandwidth)

- “带宽”本来是指信号具有的频带宽度，单位是赫（或千赫、兆赫、吉赫等）。
- 现在“带宽”是数字信道所能传送的“最高数据率”的同义语，单位是“比特每秒”，或 b/s (bit/s)。

### 3. 吞吐量(throughput)

- 吞吐量表示在单位时间内通过某个网络（或信道、接口）的数据量。
- 吞吐量更经常地用于对现实世界中的网络的一种测量，以便知道实际上到底有多少数据量能够通过网络。
- 吞吐量受网络的带宽或网络的额定速率的限制。

### 4. 时延 (delay 或 latency)

- 传输时延（发送时延）：发送数据时，数据块从结点进入到传输媒体所需要的时间。
- 传播时延：电磁波在信道中需要传播一定的距离而花费的时间。

- 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。排队时延的长短往往取决于网络中当时的通信量。

**数据经历的总时延就是发送时延、传播时延、处理时延和排队时延之和。**

#### 5. 时延带宽积

- 链路的时延带宽积又称为以比特为单位的链路长度。

#### 6. 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。
- 网络利用率则是全网络的信道利用率的加权平均值。
- 信道利用率并非越高越好。

### 1.4 计算机网络体系结构

#### 1. 协议

- 为进行网络中的数据交换而建立的规则、标准或约定。
- 三个要素：
  - 语法：数据与控制信息的结构或格式。
  - 语义：需要发出何种控制信息，完成何种动作以及做出何种响应。
  - 同步：事件实现顺序的详细说明

#### 2. 协议层次

协议是分成实现的，每层完成一部分通信功能。

- 把整个网络的功能划分为若干独立的层次。
- 每层完成独立的功能。
- 每层功能的实现需借助下层的服务来完成，同时向上层提供更高级的服务。
- 通信只在相邻层之间进行，不允许跨层调用。

#### 3. 服务

- 服务
  - 下层为上层提供的通信支持
  - 两种类型：面向连接的服务（可靠）、无连接的服务（不可靠）
    - ◆ 虚电路服务，数据报服务
  - 服务原语

#### 4. 接口

- 上下层在接口处交互。在接口处定义服务。
- 数据单元：SDU、PDU、IDU
- 服务访问点（SAP）：同一系统相邻两层的实体进行交互的地方。

## 5. 计算机网络体系结构

计算机网络的体系结构(architecture)是计算机网络的各层及其协议的集合。体系结构就是这个计算机网络及其部件所应完成的功能的精确定义。体系结构说明了网络的总体功能，但是在层数设置和每层功能及协议上，不同体系结构看法不一。

- TCP/IP：四层的体系结构。
- ISO/OSI：七层的体系结构。
- 实体：表示任何可发送或接收信息的硬件或软件进程。
- 协议：控制两个对等实体进行通信的规则的组合。
- 服务：在协议的控制下，两个对等实体间的通信使得本层能够向上一层提供服务。
- 服务访问点：同一系统相邻两层的实体进行交互的地方。

## 6. ISO/OSI 参考模型

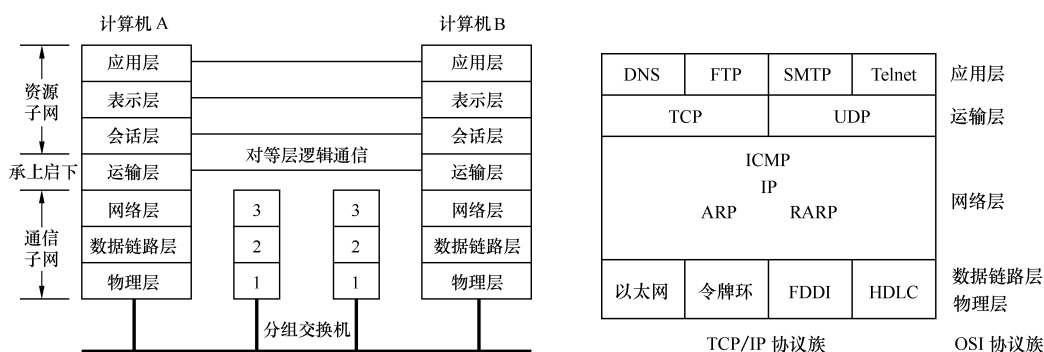
ISO/OSI 采用 7 层模型。

- 物理层：在物理传输介质上可靠、透明地进行比特位收发。
- 数据链路层：在相邻结点之间可靠地传输数据帧。
- 网络层：实现通信子网的控制，控制路由选择、差错控制、拥塞控制等，把分组从源点传输到目的点。
- 运输层：为高层用户提供可靠的端到端通信服务。
- 会话层：允许不同主机上各种进程之间会话通信。
- 表示层：为上层用户提供格式转换、编码、压缩、加密等服务。
- 应用层：定义应用的框架。

## 7. TCP/IP 参考模型

TCP/IP 采用 4 层模型。

- 对应着 ISO 参考模型的低两层，TCP/IP 族称为网络接口层或主机—网络层，支持各种流行的协议，包括局域网和广域网标准。TCP/IP 协议主要定义网络层以上的协议。
- 对应着 ISO 参考模型的网络层，TCP/IP 族称为网际层，主要包括以下协议。



- ARP (Address Resolution Protocol): 地址解析协议, 将 IP 地址转换成 MAC 硬件地址。
- RARP (Reverse ARP): 反向地址解析协议。
- IP (Internet Protocol): 网际协议, 提供无连接数据报传输和网际路由协议。
- ICMP (Internet Control Message Protocol): 网际控制报文协议, 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。
- 对应着 ISO 参考模型的运输层, 主要包括以下协议。
  - TCP (Transmission Control Protocol): 传输控制协议, 是建立在 IP 之上的面向连接的端到端的通信协议。IP 是无连接、不可靠的协议, TCP 采用确认、超时重发、流量控制等保证可靠性, 但增加了协议开销, 也不提供广播或多播服务。
  - UDP (User Datagram Protocol): 用户数据报协议, 建立在 IP 之上的无连接的端到端通信协议。不提供可靠性保证机制, 增加和扩充了 IP 的接口能力, 传输高效、开销小, 协议和协议格式简单。
- 对应着 ISO 参考模型的高层, TCP/IP 统称为应用层, 主要包括以下协议。
  - DNS (Domain Name Service): 域名服务, 提供域名到 IP 地址的转换。
  - FTP (File Transfer Protocol): 文件传输协议, 用于主机之间交换文件。
  - SMTP (Simple Mail Transfer Protocol): 简单邮件传输协议, 用于邮件服务器之间进行通信。
  - SNMP (Simple Network Management Protocol): 简单网络管理协议。
  - Telnet (Telecommunication Network): 远程终端协议。
  - TFTP (Trivial FTP): 简单 FTP。

## 要求

- (1) 掌握网络的定义
- (2) 了解计算机网络发展的几个阶段及其典型代表
- (3) 掌握计算机网络的两个主要功能: 资源共享、数据通信
- (4) 掌握计算机网络的组成: 物理组成: 计算机、传输介质、网络连接设备、网络软件。功能组成: 资源子网、通信子网
- (5) 掌握客户/服务器工作模式和过程:
- (6) 客户: 向服务器提出请求, 得到服务
- (7) 服务器: 共享资源的拥有者, 它响应客户的请求、进行处理, 提供服务
- (8) 工作过程

- (9) 对于计算机网络，有多种分类方法，熟悉按地理覆盖范围的分类：局域网、广域网、城域网，了解其他分类
- (10) 掌握局域网拓扑结构及其特点：总线形、环形、星形、混合形
- (11) 掌握广域网拓扑结构及其特点：分布式，网状
- (12) 掌握计算机网络性能及基本分析方法。
- (13) 电路交换与分组交换中 4 种延迟的分析与计算。
- (14) 信道利用率的计算。
- (15) 掌握协议的定义及其三个要素
- (16) 掌握层次模型、目的及其特点。例如封装，分段等。
- (17) 掌握利用层次结构的数据从源结点发送到目的结点所发生或经过的事件步骤（先后顺序）：层次，封装，对等实体，协议，相邻层等。
- (18) 掌握网络体系结构基本概念，即网络体系结构包括分层和每层协议的总和。
- (19) 掌握 ISO/OSI 参考模型及其分层结构，熟悉七层名称及每层的主要功能。
- (20) 掌握 TCP/IP 体系结构及每层的主要功能。
- (21) 了解 ATM

## 第2章 物理层

### 2.1 基本概念

物理层的主要任务描述为确定与传输媒体的接口的一些特性，利用传输介质实现数据传输。

- 机械特性：指明接口所用接线器的形状和尺寸、引线数目和排列、固定和锁定装置等等。
- 电气特性：指明在接口电缆的各条线上出现的电压的范围。
- 功能特性：指明某条线上出现的某一电平的电压表示何种意义。
- 过程特性：指明对于不同功能的各种可能事件的出现顺序。

### 2.2 数据通信基础

#### 2.2.1 数据通信系统基本模型及组成

数据通信系统由三部分组成：

- 源系统
- 传输系统
- 目的系统

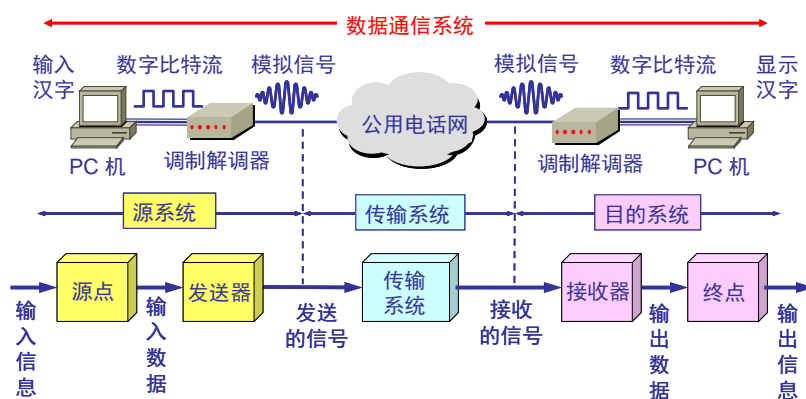


图 数据通信系统基本模型

#### 2.2.2 基本概念

- 数据：运送消息的实体。
- 信号：数据的电气的或电磁的表现。
- 模拟的(analogous)：代表消息的参数的取值是连续的。
- 数字的(digital)：代表消息的参数的取值是离散的。
- 码元：码元是承载信息的基本信号单位，一个码元能够承载的信息量多少，是由码元信号所能表示的数据有效值状态个数决定的。

- **信道**：信道用来表示向某一个方向传送信息的媒体。一条通信线路往往包含一条发送信道和一条接收信道。
- **带宽**：带宽通常是指通信信道允许通过信号频率的范围，体现为传输信道的最高频率和最低频率之差，单位是赫兹（Hz）。标准电话话路的带宽为 300~3400Hz（3100Hz），理想情况下带宽为 2400Hz。
- **波特**：波特（Baud）是信号传输率（又称为调制速率、码元速率）的单位。信号传输率又称调制速率、码元速率，是线路上单位时间内传送的波形个数，即单位时间信号波形变化的次数。
- **速率**：速率指数据传输率，即单位时间内传送比特的位数（bps）。
- **基带信号**（即基本频带信号）——来自信源的信号。基带传输。
- **带通信号**——基带信号经过载波调制后的信号。通带传输。

### 2.2.3 奈奎斯特准则与香农定理

信道的最大传输率是受信道带宽制约的。

#### 1. 奈奎斯特（Nyquist）准则

给出无热噪声理想情况下的公式。

**理想低通信道的最高码元传输速率 =  $2H$  Baud**

其中  $H$  是理想低通信道的带宽，单位为 Hz。

#### 2. 香农（Shannon）公式

把奈奎斯特结论扩展到受随机（热）噪声影响的信道。

对于任何带宽为  $H$  Hz、信噪比为  $S/N$  的信道，

**最大数据传输率 =  $H \log_2(1 + S/N)$  bit/s**

### 2.2.4 编码与调制

- **编码**：将数字数据转换成数字信号的过程。
- **解码**：将编码后的数字信号还原为数字数据的过程。
- **调制**：将数字数据转换成模拟信号的过程。
- **解调**：将调制后的模拟信号还原为数字数据的过程。

#### （1）常用编码方式

- **归零制**：正脉冲代表 1，负脉冲代表 0。
- **不归零制**：正电平代表 1，负电平代表 0。
- **曼彻斯特编码**：位周期中心的上跳变代表 0，位周期中心的下跳变代表 1。
- **差分曼彻斯特编码**：一位的开始边界有跳变代表 0，位边界没有跳变代表 1，在位周期中心处始终都有跳变。



曼彻斯特编码产生信号的频率比不归零制高。从自同步能力来看，归零制和不归零制没有自同步能力，而曼彻斯特编码和差分曼彻斯特编码具有自同步能力。

所谓自同步能力是从信号波形本身中提取信号时钟频率的能力。

## (2) 基本调制方法

利用调制技术可以把数字数据变换成模拟信号。调制的技术主要分成：

- 调幅：利用数字数据调节载波的幅度。
- 调频：利用数字数据调节载波的频率。
- 调相：利用数字数据调节载波的相位。

在数据通信中调幅、调频和调相常相应地称为移幅键控法（ASK）、移频键控法（FSK）和移相键控法（PSK）。

## 2.3 传输介质

传输介质又称传输媒体，是通信中实际传输信息的载体。常用传输介质包括：

- 双绞线。分为屏蔽双绞线和非屏蔽双绞线。
- 同轴电缆。通常按照阻抗特性的不同，将同轴电缆分为 50Ω 同轴电缆和 75Ω 同轴电缆。
- 光纤。可分为单模光纤和多模光纤。
- 无线传输介质。包括无线电、微波、红外线等。

计算机网络中采用的传输介质分成有线和无线两类。有线传输介质包括双绞线、同轴电缆和光纤；无线传输介质包括微波、卫星等。

## 2.4 信道复用技术

复用是通信技术中的基本概念和技术。主要有：

- 频分复用 FDM。所有用户在同样的时间占用不同的带宽资源。
- 时分复用 TDM。分为同步 TDM 和统计 TDM。所有用户是在不同的时间占用同样的带宽。
- 波分复用 WDM。光的频分复用。
- 码分复用 CDM

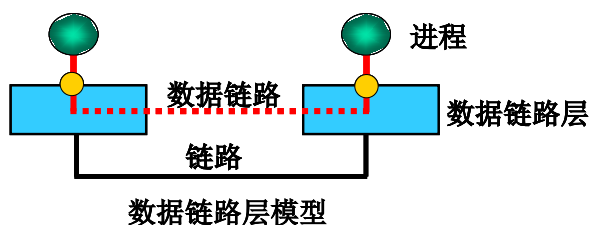
### 要求

- (1) 掌握通信系统的三个基本要素：信源、通信介质、信宿
- (2) 了解通信系统的组成：信源、变换器、信道、反变换器、信宿
- (3) 了解数字通信与模拟通信的区别
- (4) 了解基带信号、基带传输
- (5) 掌握奈奎斯特准则的计算公式（会计算）。

- (6) 掌握香农公式（会计算）
- (7) 掌握码元速率与数据传输率之间的区别和换算关系（会计算）
- (8) 掌握数字数据的二进制数字信号的编码方法及波形：归零制、不归零、曼彻斯特、差分曼彻斯特。
- (9) 掌握数字数据的模拟信号的编码方法及波形：调频、调幅、调相。熟悉三种调制技术的名称及基本原理
- (10) 掌握脉码调制（PCM）及方法：一种把模拟信号变换成数字信号常用的方法是脉码调制（PCM、脉冲编码调制），脉码调制步骤：采样、量化、编码
- (11) 掌握多路复用概念及多路复用技术：频分多路复用（FDM）、时分多路复用（TDM）（掌握）和波分多路复用（WDM）、码分复用（CDMA）。能分析计算 FDM 和 TDM。
- (12) 熟悉常用传输介质的特点。如双绞线，同轴电缆，光纤，无线等。
- (13) ISO/OSI 物理层：掌握物理层协议的四个基本特性。

## 第3章 数据链路层

### 3.1 数据链路层模型



- 链路 (Link): 一条无源的点到点的物理线路段, 中间没有任何其他的交换结点。
- 数据链路 (Data Link): 若把实现这些协议的硬件和软件加到链路上, 就构成了数据链路。当使用复用技术时, 一条链路上可以有多条数据链路。
- 数据链路层作用: 通过数据链路层协议, 在不太可靠的物理链路上实现可靠的数据传输。  
包括:
  - 可靠传输数据帧;
  - 访问共享信道
- 数据链路层使用的信道主要有两种类型:
  - 点对点信道
  - 广播信道

### 3.2 点-点信道数据链路层主要功能

#### 3.2.1 组帧

帧定界方法:

- 帧之间插入时间间隔
- 字符计数
- 起始/结束字符。在帧开始和帧结束处插入 ASCII 字符序列。
- 起始/结束标识。在帧开始和帧结束处插入特殊的位序列。
- 非常规物理层编码

#### 3.2.2 透明传输

不论要传输的是何种数据, 都可以放在帧中进行传输。为此应保证帧的数据部分不会出现帧定界字符或位序列。

- 字符 (或字节) 填充法。插入转义字符。
- 位填充法。例如 0 填充法。

#### 3.2.3 差错控制

### (1) 比特错误

传输的二进制位出现反转。

### (2) 传输错误

- 帧丢失
- 帧重复
- 帧失序等

比特错误的差错控制主要通过纠错编码和检错编码来实现。

- 纠错码

发送端：原始信息+冗余信息

接收端：推导出发送的信息

典型：海明码

- 检错码

发送端：原始信息+冗余信息

接收端：接收端知道有错误发生，但不知道是什么样的错误

计算机网络中普遍采用检错码。常用检错码包括：

- 奇偶校验码
- 循环冗余校验码 CRC 等

## 3.2.4 流量控制与可靠传输机制

- 流量控制、可靠传输与滑动窗口机制
- 单帧滑动窗口与停止-等待协议
- 多帧滑动窗口与后退 N 帧协议（GBN）。重发策略，最大窗口大小。效率、序号计算等。
- 多帧滑动窗口与选择重传协议（SR）。重发策略，最大窗口大小。效率、序号计算等。

## 3.2.5 协议

### 1, HDLC

同步，透明传输，帧类型

### 2, PPP

#### (1) PPP 协议应满足的需求

- 简单：首要的要求
- 封装成帧
- 透明性
- 多种网络层协议

- 多种类型链路
- 差错检测
- 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

(2) PPP 协议不需要的功能

- 纠错
- 流量控制
- 序号
- 多点线路
- 半双工或单工链路

(3) PPP 协议由三个组成部分

- 一个将 IP 数据报封装到串行链路的方法。
- 链路控制协议 LCP (Link Control Protocol)。
- 网络控制协议 NCP (Network Control Protocol)。

## 要求

- (1) 掌握作用与功能。
- (2) 掌握链路层与数据链路层。
- (3) 掌握帧同步，了解实现帧同步/帧定界的不同技术。透明数据传输。
- (4) 掌握差错及差错控制方法：纠错码，检错码。会计算 CRC。
- (5) 掌握 GBN 和 SR。
- (6) 掌握窗口大小、吞吐率、效率、序号计算等。

## 第 4 章 MAC

### 4.1 MAC 概念及作用

- LAN 使用广播信道。
- 介质（媒体）访问控制（MAC）

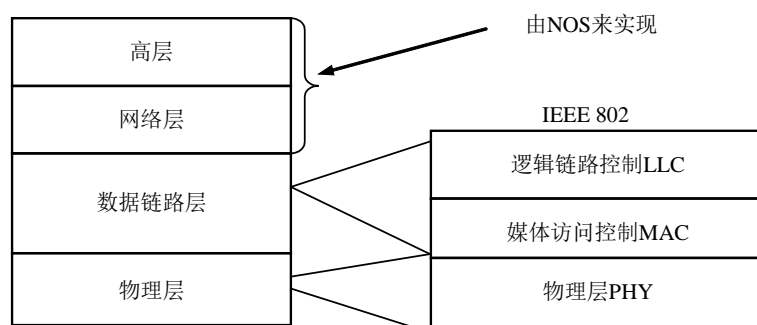
### 4.2 LAN

- 地理范围和站点数目均有限
- 网络为一个单位所拥有
- 速率很高，差错率很低
- 简单拓扑结构：
  - ◆ 星形
  - ◆ 总线形
  - ◆ 环形
  - ◆ 树形
  - ◆ 或它们的混合

### 4.3 LAN 体系结构

IEEE 802 参考模型定义了 NIC 通过物理介质访问和传输数据的方式，其中包括连接、维护、断开网络设备等。**IEEE 802 参考模型只相当于 OSI 的最低的两层。**IEEE 802 标准文本公布后，ISO 将其作为局域网的国际标准。

**IEEE 802 参考模型将数据链路层分为两个子层：介质访问控制（MAC）子层和逻辑链路控制（LLC）子层。**



IEEE 802 LAN 参考模型

### 4.4 信道共享技术

### (1) 静态划分信道

- 频分复用
- 时分复用
- 波分复用
- 码分复用

### (2) 动态媒体接入控制（多点接入）

- 随机接入。典型：CSMA/CD
- 受控接入，如多点线路探询或轮询

## 4.5 CSMA/CD

称为带有冲突检测的载波监听多路访问协议，站点使用 CSMA 协议进行数据发送，在发送期间如果检测到冲突，立即终止发送，并发出一个瞬间干扰信号，使所有的站点都知道发生了冲突，在发出干扰信号后，等待一段随机时间，再重复上述过程。它是以太网采用的多路访问协议。

使用 CSMA/CD 协议的网络（如以太网）不能进行全双工通信而只能进行双向交替通信（半双工通信）。

每个站在发送数据之后的一小段时间内，存在着遭遇碰撞的可能性。最先发送数据帧的站，在发送数据帧后至多经过时间  $2\tau$ （两倍的端到端往返传播时延）就可知道发送的数据帧是否遭受了碰撞。

端到端往返时延  $2\tau$  称为争用期，或碰撞窗口。经过争用期这段时间还没有检测到碰撞，才能肯定这次发送不会发生碰撞。

以太网使用二进制指数类型退避算法计算随机时间。

## 4.6 以太网与 IEEE 802.3

以太网是当前最流行的局域网，采用 IEEE 802.3 的 MAC 协议，即 CSMA/CD 协议。基于 HUB 或 Repeater 的以太网是共享式以太网，包含一个冲突域和一个广播域，

### (1) 特性

- 传输方式：基带
- 拓扑结构：总线/星形（逻辑总线）
- 传输媒体：
  - ◆ 铜缆（粗缆或细缆）
  - ◆ 铜线（双绞线，无屏蔽，3 类以上）
  - ◆ 光缆
- 速率

## ◆ 传统:

- 10Base2, 10Base5
- 10Base\_T, 10Base\_F

## ◆ 快速: 100Base\_T, 100Base\_T4

## ◆ 千兆位: 1000Base\_T

- 编码与译码: 曼彻斯特

(2) 网卡的功能: 实现 MAC 子层和物理层的功能

- 数据的封装与解封: 组装和译码以太网帧。
- 链路管理: 实现 CSMA/CD 协议。

#### 4.6.1 扩展以太网 (LAN 互连)

(1) 在物理层扩展以太网

- 使用光纤
- 使用集线器。集线器是一种中继器。
  - ◆ 每个中继器和网段都增加了时延——中继器数量受到限制
  - ◆ 工作在物理层, 没有高层信息的隔离作用。一个冲突域。

(2) 在数据链路层扩展以太网

使用网桥或交换机。网桥或交换机工作在数据链路层。

网桥或交换机作用:

- 匹配不同端口的速度
- 对帧进行检测和过滤
- 提高网络的带宽, 扩大网络的地理范围
- 在数据链路层划分网段

使用网桥带来的好处:

- 过滤 (隔离) 通信量。
- 扩大了物理范围。
- 提高了可靠性。
- 可互连不同物理层、不同 MAC 子层和不同速率 (如 10 Mb/s 和 100 Mb/s 以太网) 的局域网。
- 网桥使各网段成为隔离开的冲突域。

使用网桥带来的坏处:

- 存储转发增加了时延。
- 具有不同 MAC 子层的网段桥接在一起时时延更大。



- 在 MAC 子层并没有流量控制功能。
- 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。

网桥类型:

- 透明网桥
- 源路由网桥
- 交换机: 多端口透明网桥。方便实现 VLAN。

#### 4.6.2 交换式以太网

- 广播域与冲突域
- 交换机类型或方法: 存储转发式, 直通式, 无碎片转发。
- 交换机工作原理
- 反向学习算法
- 生成树算法 (如何构建生成树以消除环路)

#### 4.6.3 VLAN

- 逻辑划分
- 广播域与冲突域
- 在交换机将各网段分隔为多个不同的、较小的冲突域基础上, 进一步分隔为多个不同的、较小的广播域
- VLAN Trunk
- VLAN 标记帧 (tagged frame)

#### 要求

- (1) 掌握 LAN 特点及体系结构。
- (2) 掌握 CSMA/CD 原理, 能计算性能。
- (3) 掌握以太网特点、技术特征, 帧结构等。
- (4) 掌握以太网互连方法、设备及原理。
- (5) 了解交换式以太网的优点。
- (6) 掌握交换机工作原理、转发算法、学习算法、生成树算法, 掌握 MAC 地址表 (交换表) 结构和用法。
- (7) 掌握虚拟局域网的特点。
- (8) 掌握冲突域、广播域。
- (9) 了解 CSMA/CA

## 第5章 网络层

### 5.1 作用与服务

(1) 作用：支持实现主机之间的通信

(2) 交换技术：典型采用分组交换

(2) 服务：

- 虚电路服务（面向连接）
- 数据报服务（无连接）

(3) Internet 网络层

最重要的作用：

- 异构网络的互连（在网络层），形成互连网络
- 屏蔽底层异构网络（物理网络）的差异，实现两台主机之间的通信

Internet 网络层向上只提供简单灵活的、无连接的、尽最大努力交付的数据报服务。

### 5.2 功能

(1) 异构网络互联

网络层用于实现异构网络的互联，网络层关注的是如何将分组从发送主机传输到接收主机。在发送端，网络层将报文段封装进数据报，在接收端，网络层向运输层交付报文段。在网络层的每台主机和路由器中都有网络层协议。当 IP 数据报通过路由器时，路由器检查所有数据报的首部字段。

(2) 路由与转发

网络层的关键功能是路由与转发。

- 路由：决定分组从源到目的地所采用的路由。
- 转发：将分组从路由器的输入移动到适当的路由器输出。

路由和转发是两个不同的概念，转发是本地动作，而路由是一个全局的规划。但转发和路由又是相互影响的，转发要通过查找路由器的转发表（也叫路由表）来实现，而转发表又要通过路由算法来建立。

### 5.3 IP 地址

在 IPv4 中，IP 地址为一个 32 位的二进制数，共  $2^{32}$  台主机。IP 地址全世界范围内唯一。

(1) IP 地址的结构

层次型结构。区别通过路由器互连的网络，以及网络上的主机。

(2) 编址方法

- 分类的 IP 地址。最基本的编址方法。将地址分为 A 类、B 类、C 类、D 类和 E 类。
- 子网划分(subnetting)。对最基本的编址方法的改进。
- 无类别 IP 地址(CIDR 地址, 或超网 supernetting)。
  - ◆ CIDR 使用“斜线记法”, 又称为 CIDR 记法。
  - ◆ 一个 CIDR 地址块可以表示很多地址, 这种地址的聚合常称为**路由聚合**, 它使得路由表中的一个项目可以表示很多个(例如上千个)原来传统分类地址的路由。如 128.14.32.0/20 表示的地址块共有  $2^{12}$  个地址。

### (3) 特点

- IP 地址管理机构在分配 IP 地址时只分配网络号, 而剩下的主机号则由得到该网络号的单位自行分配。这样就方便了 IP 地址的管理
- 路由器仅根据目的主机所连接的网络号来转发分组(而不考虑目的主机号), 这样就可以使路由表中的项目数大幅度减少, 从而减小了路由表所占的存储空间
- 实际上 IP 地址是标志一台主机(或路由器)和一条链路的接口
- 当一个主机同时连接到两个网络上时, 该主机就必须同时具有两个相应的 IP 地址, 其网络号 net-id 必须是不同的。这种主机称为多接口主机(multihomed host)
- 由于一个路由器至少应当连接到两个网络(这样它才能将 IP 数据报从一个网络转发到另一个网络), 因此一个路由器至少应当有两个不同的 IP 地址
- 用中继器、网桥或交换机互连起来的若干个 LAN 仍为一个网络, 因此这些 LAN 都具有同样的网络 ID
- 所有分配到网络号 net-id 的网络, 不论是范围很小的局域网, 还是可能覆盖很大地理范围的广域网, 都是平等的

### (4) 子网掩码

- 使用子网掩码(subnet mask)可以找出 IP 地址中的子网部分。
- 子网掩码就是将网络地址部分和子网地址部分全部置为 1, 而将主机地址部分置为 0, 于是,

**(IP 地址) AND (子网掩码) = 网络地址。**

### (5) 最长前缀匹配

使用 CIDR 时, 路由表中的每个项目由“网络前缀”和“下一跳地址”组成。在查找路由表时可能会得到不止一个匹配结果。

应当从匹配结果中选择具有最长网络前缀的路由: 最长前缀匹配(longest-prefix matching)。最长前缀匹配又称为最长匹配或最佳匹配。网络前缀越长, 其地址块就越小, 因而路由就越具体。

### (6) 路由聚合

CIDR 支持路由聚合。很多优点。广泛使用。

掌握聚合方法。

## 5.4 IP 协议

- IP 分组分段
- IP 分组的路由和转发

## 5.5 ARP、ICMP 与 DHCP

### (1) ARP

ARP 实现 IP 地址到 MAC 地址的转换。

### (2) ICMP

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。

### (3) DHCP

DHCP 允许一台主机自动地获取一个 IP 地址，同时还获得其他信息，如子网掩码、默认网关（即第一跳路由器地址）以及本地 DNS 服务器地址。

## 5.6 路由选择算法

### 5.6.1 非适应型（静态）

Flooding，最短路径搜索

### 5.6.2 适应型（动态）

- 集中式
- 分布式
  - 距离向量（DV）算法
  - 链路状态（LS）算法

### 5.6.3 距离向量算法

距离一向量路由算法基于 Bellman-Ford 方程。

设  $d_x(y)$  表示从  $x$  到  $y$  最低费用路径的费用， $c(x, v)$  表示从  $x$  到其邻居  $v$  的费用，则  $d_x(y) = \min \{c(x, v) + d_v(y)\}$ ，其中  $\min$  针对  $x$  的所有邻居。

基本思想：每个结点周期性地向它的邻居发送它自己的距离向量（估计值）DV，当结点  $x$  接收到来自邻居的新 DV 估计时，它使用 B-F 方程更新其自己的 DV。在规模较小、正常的条件下，估计值  $D_x(y)$  将收敛在实际最小费用  $d_x(y)$ 。

路由更新规则：

- 发现了一条到未知新主机的最短路由

- 发现了一条到已知主机的距离更短的新路由
- 到已知主机的原有路由的距离发生了变化

#### 5.6.4 链路状态算法

- 五个步骤。
- 拓扑结构数据库
- Dijkstra 算法

#### 5.6.5 层次路由

- 适应大规模网络的路由选择
- 所选路由可能为非最佳路由。

### 5.7 Internet 路由选择协议

#### 5.7.1 自治系统

网络中的路由器要通过路由协议来进行选路，但由于规模和管理的原因，众多的路由器不可能运行相同的路由协议。因此需要将某区域的路由器聚合起来，这就称之为“自治系统（AS）”。

一般来说，一个 AS 总是由同一个管理者或管理机构来进行管理的，管理者可以根据自己的策略来决定 AS 内部的所有事情，包括采用的路由算法。

#### 5.7.2 Internet 路由选择协议

**Internet 路由选择分为两级：**

- 域内路由：在 AS 内部的路由器所运行的路由协议。
- 域间路由：在 AS 之间的路由器所运行的路由协议。

路由表由 AS 内部和 AS 之间的路由算法所配置。

**Internet 路由选择分为两大类：**

- 内部网关协议 IGP (Interior Gateway Protocol)：即在一个自治系统内部使用的路由选择协议。目前这类路由选择协议使用得最多，如 RIP 和 OSPF 协议。
- 外部网关协议 EGP (External Gateway Protocol)：若源站和目的站处在不同的自治系统中，当数据报传到一个自治系统的边界时，就需要使用一种协议将路由选择信息传递到另一个自治系统中。这样的协议就是外部网关协议 EGP。在外部网关协议中目前使用最多的是 BGP-4。

#### 5.7.3 RIP

- RIP 是一种分布式的、基于距离向量算法（DV）的路由选择协议。
- RIP 协议中的“距离”也称为“跳数”(hop count)，因为每经过一个路由器，跳数就加 1。
- RIP 认为一个好的路由就是它通过的路由器的数目少，即“距离短”。

- RIP 允许一条路径最多只能包含 15 个路由器。“距离”的最大值为 16 时即相当于不可达。可见 RIP 只适用于小型互联网。
- RIP 运行在 UDP 之上。

要点：

- 一个路由器仅和相邻路由器交换信息。
- 交换的信息是当前本路由器所知道的全部信息，即自己的整个路由表。
- 按固定的时间间隔交换路由信息，例如，每隔 30 秒。

#### 5.7.4 OSPF

(1) 基本特点：

- “开放”表明 OSPF 协议不是受某一家厂商控制，而是公开发表的。
- “最短路径优先”是因为使用了 Dijkstra 提出的最短路径算法 SPF。
- 分布式的链路状态协议。采用链路状态算法。
- 基于 IP。
- OSPF 划分为两种不同的区域（层次通信）
  - ◆ 主干区域(backbone area，记为 area 0)。主干区域的作用是用来连通其他在下层的区域（区域之间的通信必须通过 area 0）。
  - ◆ 区域

(2) 要点

- 向本自治系统中所有路由器发送信息，这里使用的方法是可靠的洪泛法。
  - ◆ 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。
- “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)。
- 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。

#### 5.7.5 BGP

- BGP 是不同自治系统的路由器之间交换路由信息的协议。
- BGP 只能是力求寻找一条能够到达目的网络且比较好的路由（不能兜圈子），而并非要寻找一条最佳路由。
- 采用路径向量算法（与距离向量算法相似）。
- 基于 TCP。

#### 5.8 IPv6

- 地址及其记法

- 特点
- IPv4 到 IPv6 的过度

### 要求

- (1) 掌握网络层作用、功能、服务。
- (2) 掌握三种数据交换方式、特点和区别。特别是分组交换：虚电路，数据报。能分析比较它们的性能，如延迟。
- (3) 掌握距离向量算法，会计算更新路由表。
- (4) 了解链路状态算法和层次路由思想。
- (5) IP 及其特点，IP 分组格式等。
- (6) IP 地址，分类的，CIDR，子网，子网掩码，特殊的 IP 地址
- (7) 熟练分配、使用、计算 IP 地址
- (8) 掌握 IP 路由，IP 转发，IP 路由类型（直接，间接，缺省），路由表结构及用法，路由聚合
- (9) 能划分子网并分配地址
- (10) 掌握 IP 路由表基本结构。能根据网络拓扑结构填写 IP 路由器的路由表；能应用最长前缀匹配和路由聚合技术简化路由表；能根据路由表画出网络的逻辑结构；能根据路由表进行正确的 IP 分组转发等。
- (11) 掌握 ARP（地址解析协议）、ICMP、DHCP 的工作原理。
- (12) 掌握自治系统的概念
- (13) 掌握 RIP（路由信息协议）、OSPF（开放最短路径优先）和 BGP 原理和特点。
- (14) 了解 IPv6 特点。

## 第 6 章 运输层

### 6.1 作用与服务

运输层也被称为传输层。

(1) 作用：支持实现进程之间（或端到端）的通信，屏蔽下面网络的差异。运输层为应用进程之间提供端到端的逻辑通信（但网络层是为主机之间提供逻辑通信）。

(2) 服务：面向连接和无连接两种类型的服务。

运输层是整个协议体系的中心，执行运输层功能的软件或硬件称为运输实体。运输层实体可以放在操作系统内核中，也可以放在一个单独的用户进程中。

运输服务由两个运输实体之间的运输协议实现。

### 6.2 Internet 运输层协议

#### 6.2.1 用户数据报协议 UDP

- 一种无连接协议
- 提供无连接服务
- 在传送数据之前不需要先建立连接
- 传送的数据单位协议是 UDP 报文或用户数据报
- 对方的运输层在收到 UDP 报文后，不需要给出任何确认
- 虽然 UDP 不提供可靠交付，但在某些情况下 UDP 是一种最有效的工作方式

#### 6.2.2 传输控制协议 TCP

- 一种面向连接的协议
- 提供面向连接的服务
- 传送的数据单位协议是 TCP 报文段(segment)
- TCP 不提供广播或多播服务
- 由于 TCP 要提供可靠的、面向连接的运输服务，因此不可避免地增加了许多的开销。

这不仅使协议数据单元的首部增大很多，还要占用许多的处理机资源

#### 6.2.3 运输层端口

(1) 端口：在 Internet 中，把 TSAP 称为端口，端口用于区分应用层的不同进程，端口号用 16 位来标识。由 ICANN 确定的端口称为知名端口，如 HTTP 用 80，SMTP 用 25，Telnet 用 23 等。由操作系统分配给请求通信的客户进程或用户应用进程自行选定的端口称为一般 端口。

(2) 传输层寻址：对于由网络层提交上来的报文段，传输层根据报文段首部的目的端口号将报文提交给相应的应用进程。



## 6.3 TCP 连接管理

连接建立：3 次握手。报文顺序：SYN, ACK, SYN-ACK。

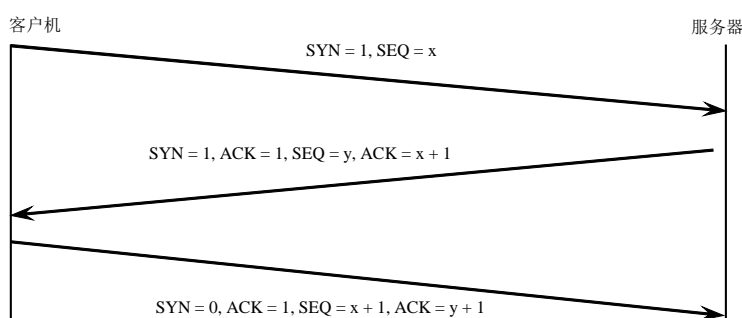
连接释放：非对称。报文顺序：FIN, ACK。

### 6.3.1 建立连接

TCP 使用三次握手过程建立连接。

TCP 连接是全双工的。

进行连接建立的 TCP 双方通过交换 3 个报文段来同步顺序号。握手中的第 1 个报文段中的 SYN 位置 1，第 2 个报文段将 SYN 位和 ACK 位都置为 1，表明它应答第一个 SYN 同时继续握手过程，最后一个握手报文段仅仅是一个应答，用以通知目的地双方一致认为连接已经建立。



TCP 连接建立过程

### 6.3.2 释放连接

数据传输完成后，使用 TCP 进行通信的两个程序需要断开连接。

TCP 采用非对称释放，即每个方向单独释放。

## 6.4 TCP 可靠传输

TCP 使用序号、确认、超时和重传等完成差错控制，实现可靠传输。

TCP 在 IP 不可靠服务的基础上创建可靠数据传输服务，实现可靠传输的关键字段是首部的序号和确认号字段。TCP 以流水线方式发送报文段，TCP 使用单个重传计时器，采取累计确认的方式，超时事件和重复 ACK 事件都会触发重传。

### 6.4.1 序号

- TCP 对每一个方向上传送的每一个数据字节都进行编号
- 每个方向上的编号是相互独立的
- 建立连接时，双方商定初始序号（不一定从 0 开始）
- TCP 为每个报文段指派一个编号。报文段的序号就是报文段中的第一个数据字节的序号。

### 6.4.2 确认 (ACK)

- 每一方使用确认号对已经接收的字节表示确认
- 该确认号定义了期望接收的下一个字节的序号。例如：确认号=1001，表示 1000 之前的数据字节都正确接收，期望接收从 1001 开始的数据字节
- 接收方一般采用累积确认的方式。即不必对收到的报文段逐个发送确认，而是对按序到达的最后一个正确报文段发送确认，这样就表示：到这个报文段为止的所有报文段都已正确收到了。

### 6.4.3 重传超时定时器

- 重传机制是 TCP 中最重要和最复杂的问题之一。
- TCP 每发送一个报文段，就对这个报文段设置一次计时器。
- 如果在超时前该数据段被确认，就关闭该定时器，否则，一旦超时则重发该报文段。

## 6.5 TCP 流量控制

**TCP 使用滑动窗口协议完成流量控制。**

TCP 流量控制原理：接收方在报文段接收窗口字段中通告其接收缓冲区的剩余空间，这样就可以使发送方限制其未确认的数据不能超过接收窗口所通告的大小，从而保证接收缓冲区不溢出。

- TCP 采用以字节为单位的滑动窗口实现流量控制。
- TCP 连接的每一端都必须设有两个窗口：
  - ◆ 一个发送窗口
  - ◆ 一个接收窗口
- TCP 两端的四个窗口经常处于动态变化之中
- 糊涂窗口综合征：一次只发送 1 个字节。

## 6.6 TCP 拥塞控制

**TCP 使用滑动窗口协议完成拥塞控制。**

### 6.6.1 网络拥塞

#### (1) 定义

在某段时间，若对网络中某资源的需求超过了该资源所能提供的可用部分，网络的性能就要变坏，这种现象称为拥塞(congestion)。

若网络中有许多资源同时产生拥塞，网络的性能就要明显变坏，整个网络的吞吐量将随输入负荷的增大而下降。

#### (2) 出现拥塞的原因

对资源需求的总和 > 可用资源

### (3) 拥塞控制与流量控制的区别

- 流量控制往往指在给定的发送端和接收端之间的点对点通信量的控制。
- 流量控制所要做的就是抑制发送端发送数据的速率，以便使接收端来得及接收。

## 6.6.2 拥塞控制方法

### (1) TCP 拥塞检测

TCP 发送方感知网络发生拥塞的方式有两种：

- 发生超时事件
- 收到 3 个重复的 ACK

当感知到拥塞时，TCP 发送方通过减小拥塞窗口来降低发送方的发送速率。

### (2) TCP 的拥塞控制机制：

- 控制参数：拥塞窗口 + 阈值 + 阈值
- 拥塞检测：隐式反馈 = 由发送方自己检测。
  - 报文丢失
  - 3 个重复的 ACK（用于 FR/FR）
- 控制策略或方法：AIMD（加性增乘性减）。加性增是指如果没有检测到丢包事件（超时或收到 3 个重复的 ACK），则在每个 RTT 时间拥塞窗口值增加一个 MSS（最大报文段长度）；乘性减是指当检测到丢包事件后，拥塞窗口值减半。

### 控制阶段：2 个

- 慢启动（SS）：在连接开始时，拥塞窗口值设为最小（1 个 MSS），然后 TCP 以指数形式增加拥塞窗口大小。
- 拥塞避免（CA）。线性增加拥塞窗口大小。

### 优化机制：

- 快速重传（FR） + 快速恢复（FR）。当收到 3 个重复的 ACK 后，说明网络还具有一定的传送报文段的能力，因此拥塞窗口值减半，然后再线性增加；但是超时事件以后，TCP 将拥塞窗口值降为 1 个 MSS，然后窗口再指数增长，当到达一个阈值（设置为发生丢包以前的拥塞窗口值的一半）后，再线性增长。

## 要求

### (1) 熟悉进程寻址方法

### (2) 掌握连接建立和释放采用三次握手的原因和过程。

### (3) TCP 和 UDP

- TCP 和 UDP 服务
- 端口和 Socket

- TCP 和 UDP 报文结构
- TCP 协议特点，连接建立和释放机制
- 掌握 TCP 采用什么机制保证数据可靠传输。序号，确认，流量控制，连接管理等，会计算吞吐率、效率、序号、吞吐率等
- 掌握 TCP 流量控制原理
- 掌握 TCP 拥塞控制原理，会分析计算
- UDP 协议特点

## 第 7 章 应用层

### 7.1 网络应用模型

#### 7.1.1 客户机/服务器模型

在客户机/服务器模型中，有一个总是打开的主机称为服务器，它服务于来自许多其他称为客户机的主机的请求。客户机主机既可能有时打开，也可能总是打开。

在客户/服务器模型中，客户机相互之间不直接通信。

客户/服务器模型的另一个重要特点是服务器具有固定的、周知的 IP 地址。由于服务器具有固定的地址且总是打开的，所以客户机总能够通过向服务器的地址发送分组来与其联系。

#### 7.1.2 P2P 模型

在 P2P 模型中，应用程序中没有一个总是打开的服务器，任意一对主机（称为对等方）间都可以直接相互通信，参与的主机每当加入时都有可能改变其 IP 地址。

P2P 模型的最大特点是它具有高度可扩展性，每个参与的对等方增加需求的同时也增加了服务能力。

### 7.2 DNS 系统

#### 7.2.1 层次域名空间

Internet 的域名结构是倒立的树，在最上面的是根，但没有对应的名字，树根下面一级的结点就是顶级域结点，在顶级域结点下面的是二级域结点，最下面的叶结点就是单台计算机。

#### 7.2.2 域名服务器

DNS 系统使用了大量的 DNS 服务器（域名服务器），它们以层次方式组织，并且分布在全世界范围内。简单来说，有 3 种类型的 DNS 服务器：

- 根 DNS 服务器
- 顶级域服务器：负责顶级域名（如 com、org、net、edu 和 gov 等）和所有国家的顶级域名（如 uk、fr、ca 和 jp 等）。
- 权威 DNS 服务器：在 Internet 上具有公共可访问主机的每个组织机构必须提供公共可访问的 DNS 记录，这些记录将这些主机的名字映射为 IP 地址，由组织机构的权威域名服务器负责保存这些 DNS 记录。

此外，还有一类重要的 DNS 服务器，称为本地 DNS 服务器。本地 DNS 服务器相当于是一个代理，当主机发出 DNS 请求时，该请求被发往本地 DNS 服务器，本地 DNS 服务器将该请求转发到 DNS 服务器层次结构中。

#### 7.2.3 域名解析过程

解析方式：递归式，迭代式。

当某一个应用进程需要将主机名解析为 IP 地址时，该应用进程就成为 DNS 的一个客户，它将待解析的域名放在 DNS 请求报文中，以 UDP 数据报方式发给本地 DNS 服务器。本地 DNS 服务器在查找到域名后，将对应的 IP 地址放在回答报文中返回，应用进程获得目的主机的 IP 地址后即可进行通信。

如果本地 DNS 服务器不能回答该请求，则它会向层次结构中的其他 DNS 服务器迭代地发出查询请求，该过程直到本地 DNS 服务器找到能够回答该请求的 DNS 服务器为止，最后，本地 DNS 服务器将对应的 IP 地址放在回答报文中返回。应用进程获得目的主机 IP 地址后就可进行通信。

## 7.3 FTP

### 7.3.1 FTP 的工作原理

FTP 采用客户机/服务器工作方式，一个 FTP 服务器进程可以同时为多个客户进程提供服务。

FTP 的服务器进程由负责接受新请求的主进程和若干负责处理单个请求的从属进程组成。

主进程的工作步骤如下。

- (1) 打开知名端口（端口号为 21），等待客户进程发出连接请求。
- (2) 启动从属进程处理客户进程发出的请求，从属进程处理完客户进程发来的请求后便终止。
- (3) 主进程回到等待状态，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进行的。

### 7.3.2 控制连接与数据连接

FTP 使用两个并行的 TCP 连接来传输文件，一个是控制连接，一个是数据连接。

(1) 控制连接：用于在两主机之间传输控制信息，诸如用户标识、口令、改变远程目录命令以及发往“put”和“get”文件的命令。控制连接贯穿于整个用户会话期间，对应的服务器端口号为 21。

(2) 数据连接：用于准确地传输一个文件。数据连接是非持久的，即针对会话中的每一次文件传输都需要建立一个新的数据连接。数据连接对应的服务器端口号为 20。

因为 FTP 使用一个分离的控制连接，所以也称 FTP 的控制信息是“带外”传送的。

## 7.4 电子邮件

### 7.4.1 电子邮件系统的组成结构

电子邮件系统具有 3 个主要组成部件，

- 用户代理：是用户与电子邮件系统的接口，具有撰写、显示和处理功能。
- 邮件传输代理（e.g. 邮件服务器）：是电子邮件系统的核心组件，其功能是发送和接收

邮件，并向发件人报告邮件传送情况。

- 邮件使用协议：邮件服务需要使用两个不同的协议，一个是 **SMTP**，用于发送邮件；另一个是 **POP3**，用于读取邮件。

## 7.4.2 SMTP 与 POP3

### (1) SMTP

SMTP 的通信过程分为 3 个阶段。

- 连接建立：发信人将要发送的邮件送到邮件缓存。**SMTP** 客户定时对邮件缓存扫描一次。若发现有邮件，则发送端主机的 **SMTP** 客户通过知名端口号（25）与目的主机的 **SMTP** 服务器建立 **TCP** 连接。在连接建立后，**SMTP** 服务器发出服务就绪指令。接着 **SMTP** 客户向 **SMTP** 服务器发送 **HELLO** 命令，附上发送方主机名，**SMTP** 服务器若有能力接收邮件，则回答“250 OK”（表示已准备接收），并附上接收方的主机名；否则，回答“421 Service not available”（表示服务不可用）。如果在一定时间内（如 3 天）发送不了邮件，则将邮件退还发信人。
- 邮件传送：发送主机的 **SMTP** 客户发 **MAIL** 命令，命令后面还有发信人的地址，若 **SMTP** 服务器已准备好邮件，则回答“250 OK”；否则，返回一个代码指出原因，如“451”（表示处理时出错）。为了知道接收端系统是否已做好接收邮件的准备，发送主机的 **SMTP** 客户根据同一个邮件是发送给一个或多个收信人，发一个或多个“**RCPT TO: <收信人地址>**”。每发送一个命令，**SMTP** 服务器都返回相应的信息，如“250 OK”（表示邮箱在接收端的系统中）或“550 no such user here”（表示无此用户）。**SMTP** 客户发 **DATA** 命令，表示要开始传送邮件内容了，内容发送完毕就发送“<Ctrl+F>·<Ctrl+F>”表示邮件内容结束。
- 连接释放：**SMTP** 客户发送 **QUIT** 命令，**SMTP** 服务器返回“221”（服务器关闭）表示同意释放 **TCP** 连接。邮件传送过程结束。

### (2) POP3

- **POP3** 使用客户/服务器的工作方式，在接收邮件的用户 **PC** 中运行 **POP3** 客户程序，而在用户所连接的 **ISP** 的邮件服务器中则运行 **POP3** 服务器程序。
- 当用户上网连接成功后，运行 **POP3** 客户程序，并与所连接的 **ISP** 邮件服务器的 **POP3** 服务器程序建立 **TCP** 连接，在用户输入鉴别信息（用户名和口令）后，就可以对邮箱进行读取。

## 7.5 WWW

### 7.5.1 WWW 的概念与组成结构

万维网（WWW）并非某种特殊的计算机网络，而是一个大规模的、联机式的信息储藏所，英文简称为 Web。

每个 Web 页都是由对象组成的，对象可以是 HTML 文件、JPEG 图片、Java 小程序或音频文件等。每个 Web 页都包含有基本的 HTML 文件，基本的 HTML 文件包括了几个引用对象。

WWW 使用统一资源定位符（URL）来标识分布在整个 Internet 上的万维网文档，使用 HTTP 来实现万维网上的各种链接，使用超文本标记语言 HTML 使不同风格的万维网文档能在 Internet 上的各计算机上显示出来，使用搜索工具使用户能够很方便地找到所需的信息。

### 7.5.2 HTTP

HTTP 是 Web 的应用层协议，它采用客户/服务器模式，使用 TCP 进行传输，知名端口号为 80。

HTTP 的工作过程分为以下 4 步：

- 客户发起建立 TCP 连接；
- 客户发送 HTTP 请求；
- 服务器返回 HTTP 响应；
- 释放此次 TCP 连接。

HTTP 连接分为非持久 HTTP 和持久 HTTP。

- 对于非持久 HTTP，经过一个 TCP 连接至多发送一个对象。
- 对于持久 HTTP，多个对象能够经过客户机和服务器之间的单个 TCP 连接来发送。

HTTP 报文有两类：请求报文和响应报文。

- 请求报文的格式分为 3 部分：请求行，首部行和实体主体。请求行中的方法可以有 GET、POST、HEAD、PUT、DELETE 等。
- 响应报文的格式也分为 3 部分：状态行，首部行和实体主体。

**HTTP 是无状态的协议**，即服务器不保留有关客户机过去请求的任何信息。如果想要保存客户的历史访问信息，就需要用到 Cookie 机制。

### 7.5.3 Web Proxy

缓存经常访问的资源。

**要求：**

- (1) 掌握 DNS，SMTP/POP，FTP，HTTP，DHCP 等协议特点，工作的基本原理和基本过程
- (2) 熟悉 URL 的常用格式
- (3) 掌握 Internet 常用服务，系统组成与结构，实现这些服务的关键要素等
- (4) 掌握非持久 HTTP 和持久 HTTP，分析计算 HTTP 性能，如延迟等