计算机网络原理复习文档

第 1 章 计算机网络概述

本章涵盖计算机网络的基本概念、发展历程、分类、性能指标和体系结构。

1.1 计算机网络基本概念

1.1.1 网络、互联网与因特网

网络（Network）：由若干结点和连接这些结点的链路组成。

互联网（internet，互连网）：通用名词，泛指由多个计算机网络互连而成的网络，通信协议可以任意。

因特网（Internet）：专用名词，指当前全球最大的、开放的、由众多网络相互连接而成的特定计算机网络，采用 TCP/IP 协议族。

> 注意区分 internet（互连网，通用）和 Internet（因特网，专用），二者含义不同。

1.1.2 因特网的发展历程

因特网的前身是 1969 年创建的第一个分组交换网 **ARPANET**。

1.1.3 三种交换方式

交换方式	特点	优点	缺点
电路交换	建立连接→通话→释放连接，整个报文连续发送	传输时延小，实时性好	建立连接时延大，线路利用率低
报文交换	整个报文先传送到相邻结点，全部存储下	线路利用率高	传输时延大，对结点存储要求高

	来后查找转发表，转发到下一个结点		
分组交换	将报文划分为一个个固定最大长度的分组，以分组为单位存储转发	传输单位更小，效率更高，差错控制更完善	存在存储转发时延，需要额外首部开销

分组交换对报文交换的主要改进：传输单位更小且有固定的最大长度。

因特网上的数据交换方式：分组交换。

1.1.4 计算机网络的组成

从工作方式上看，计算机网络由 **通信子网** 和 **资源子网** 组成：

- **通信子网**：负责数据通信，包括网桥、交换机、路由器等
- **资源子网**：负责提供资源，包括主机、软件、数据等

1.2 计算机网络的分类

1.2.1 按作用范围分类

- **广域网（WAN）**：作用范围通常为几十到几千公里
- **城域网（MAN）**：作用范围一般是一个城市，约 5~50 公里
- **局域网（LAN）**：作用范围一般在 1 公里左右

1.2.2 按拓扑结构分类

- 星形网络
- 环形网络
- 总线型网络
- 树形网络
- 网状网络

1.3 计算机网络的性能指标

1.3.1 速率

速率（数据率/比特率）：连接在计算机网络上的主机在数字信道上传送数据的速率。

单位：bit/s（比特每秒），也可写为 bps。

常用单位：

- kbit/s（kbps）= 10^3 bit/s
- Mbit/s（Mbps）= 10^6 bit/s
- Gbit/s（Gbps）= 10^9 bit/s
- Tbit/s（Tbps）= 10^{12} bit/s

注意：k = 10^3，不是 2^{10}。计算机网络中的速率单位采用十进制，而计算机存储中的字节单位采用二进制（1KB = 2^{10} B）。

1.3.2 带宽

带宽：信道的最高数据率，即信道所能传送的最高速率。

单位与速率相同：bit/s。

1.3.3 时延

时延：数据（一个报文或分组，甚至比特）从网络（或链路）的一端传送到另一端所需的时间。

时延由以下几部分组成：

1. **发送时延**（传输时延）：主机或路由器发送数据帧所需要的时间。
公式：发送时延 = 数据帧长度 / 发送速率

2. **传播时延**：电磁波在信道中传播一定距离需要花费的时间。
公式：传播时延 = 信道长度 / 电磁波在信道上的传播速率

3. **处理时延**：主机或路由器在收到分组时，为处理分组（例如分析首部、提取数据、差错检验或查找路由）所花费的时间。

4. **排队时延**：分组在路由器输入队列中排队等待处理所花费的时间。

总时延 = 发送时延 + 传播时延 + 处理时延 + 排队时延

1.3.4 时延带宽积

时延带宽积 = 传播时延 × 带宽

含义：表示链路中能容纳的比特数，又称为以比特为单位的链路长度。

1.3.5 往返时间 RTT

往返时间（RTT）：从发送方发送数据开始，到发送方收到来自接收方的确认，总共经历的时间。

1.3.6 利用率

利用率分为 **信道利用率** 和 **网络利用率**。

信道利用率：信道有百分之几的时间是被利用的（有数据通过）。

> 注意：信道利用率并非越高越好。利用率过高会导致时延急剧增加。

1.3.7 发送速率的木桶效应

数据的发送速率由发送方网卡速率、链路带宽、接收方网卡速率中的最小值决定，即木桶效应。

发送速率 = min(发送方网卡速率, 链路带宽, 接收方网卡速率)

1.4 计算机网络体系结构

1.4.1 网络体系结构的基本概念

网络协议：为进行网络中的数据交换而建立的规则、标准或约定。

网络协议的三要素：

1. **语法**：数据与控制信息的结构或格式（如 IP 数据报首部格式）
2. **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
3. **同步**：事件实现顺序的详细说明（如 TCP 三报文握手）

1.4.2 三种常见的体系结构

层数	OSI/RM 体系结构（7 层）	TCP/IP 体系结构（4 层）	原理体系结构（5 层）
第 7 层	应用层	应用层	应用层
第 6 层	表示层		

第 5 层	会话层		
第 4 层	运输层		
第 3 层	网络层	网际层	网络层
第 2 层	数据链路层	网络接口层	数据链路层
第 1 层	物理层		物理层

因特网采用的体系结构：TCP/IP 体系结构。

1.4.3 各层的功能与 PDU

PDU（协议数据单元）：对等层次之间传送的数据单位。

层次	主要功能	PDU
应用层	通过应用进程间的交互来完成特定网络应用	报文
运输层	负责向两个主机中进程之间的通信提供通用的数据传输服务	报文段/用户数据报
网络层	为分组交换网上的不同主机提供通信服务，选择合适的路由	分组/数据报
数据链路层	将网络层交下来的 IP 数据报组装成帧，在两个相邻结点间的链路上传送帧	帧
物理层	透明地传输比特流	比特

1.4.4 重要概念

- **对等实体**：收发双方相同层次中的实体
- **协议**：控制两个对等实体进行逻辑通信的规则的集合
- **服务**：下层为上层提供的功能
- **服务访问点**：在同一系统中相邻两层的实体进行交互的地方

第 n 层为第 n+1 层提供服务，第 n 层使用第 n-1 层提供的服务。

1.4.5 数据封装

数据在各层之间传递时，每层都会给数据添加一个首部（物理层不参与封装）。

发送方：应用层 → 运输层 → 网络层 → 数据链路层 → 物理层（自上而下，逐层封装）

接收方：物理层 → 数据链路层 → 网络层 → 运输层 → 应用层（自下而上，逐层拆封）

1.5 本章练习题

1.5.2 填空题

1. 因特网的前身是_____。

答案：ARPANET

---

2. 计算机网络从工作方式上可分为_____和_____两大部分。

答案：通信子网、资源子网

---

3. 三种交换方式中，_____的传输时延最小，_____是因特网采用的方式。

答案：电路交换、分组交换

---

4. 网络协议的三要素是_____、_____和_____。

答案：语法、语义、同步

---

5. OSI 参考模型共_____层，TCP/IP 体系结构共_____层，原理体系结构共_____层。

答案：7、4、5

1.5.3 判断题

1. internet（互连网）和 Internet（因特网）是同一个概念。( )

答案：×

解析：internet 是通用名词，泛指多个计算机网络互连而成的网络；Internet 是专用名词，指全球最大的特定计算机网络。

2. 分组交换对报文交换的主要改进是传输单位更小且有固定的最大长度。( )

答案：√

3. 信道利用率越高越好。( )

答案：×

解析：信道利用率并非越高越好，利用率过高会导致时延急剧增加。

4. 第 n 层为第 n+1 层提供服务，第 n 层使用第 n-1 层提供的服务。( )

答案：√

5. 物理层也参与数据封装，给数据添加首部。( )

答案：×

解析：物理层不参与封装，数据封装是从数据链路层开始的。

1.5.1 单选题

1. 因特网的前身是（ ）。

A. Ethernet
B. ARPANET
C. NSFNET
D. CSMA/CD

答案：B

解析：因特网的前身是 1969 年创建的第一个分组交换网 ARPANET。

2. 分组交换对报文交换的主要改进是（ ）。

A. 差错控制更加完善
B. 路由算法更加简单
C. 传输单位更小且有固定的最大长度
D. 传输单位更大且有固定的最大长度

答案：C

解析：分组交换将报文划分为一个个固定最大长度的分组，传输单位更小。

3. 下列不属于计算机网络性能指标的是（ ）。

A. 速率
B. 带宽
C. 时延
D. 可靠性

答案：D

解析：计算机网络的性能指标包括速率、带宽、时延、时延带宽积、利用率等，可靠性不属于性能指标。

---

4. 在 OSI 参考模型中，第 n 层与它之上的第 n+1 层的关系是（ ）。

A. 第 n 层为第 n+1 层提供服务
B. 第 n+1 层为从第 n 层接收的报文添加一个报头
C. 第 n 层使用第 n+1 层提供的服务
D. 第 n 层和第 n+1 层相互没有影响

答案：A

解析：第 n 层为第 n+1 层提供服务，第 n 层使用第 n-1 层提供的服务。

---

5. 网络协议的三要素是（ ）。

A. 数据格式、编码、信号电平
B. 数据格式、控制信息、速度匹配
C. 语法、语义、同步
D. 编码、控制信息、同步

答案：C

解析：网络协议三要素：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）、同步（事件实现顺序）。

---

6. 数据链路层的 PDU 是（ ）。

A. 比特
B. 帧
C. 分组
D. 报文

答案：B

解析：物理层 PDU 是比特，数据链路层 PDU 是帧，网络层 PDU 是分组/数据报，运输层 PDU 是报文段/用户数据报，应用层 PDU 是报文。

---

7. 下列设备中，属于通信子网的是（ ）。

A. 主机
B. 终端
C. 路由器
D. 软件

答案：C

解析：通信子网负责数据通信，包括网桥、交换机、路由器等；资源子网负责提供资源，包括主机、软件、数据等。

---

8. 假设某信道的带宽为 1Gbps，传播时延为 10ms，则该信道的时延带宽积为（ ）。

A. 10^7 bit
B. 10^8 bit
C. 10^9 bit
D. 10^10 bit

答案：A

解析：时延带宽积 = 传播时延 × 带宽 = 10ms × 1Gbps = 0.01s × 10^9 bit/s = 10^7 bit。

第 2 章 物理层

本章涵盖物理层的基本概念、传输介质、编码与调制、信道复用技术等内容。

2.1 物理层基本概念

2.1.1 物理层的基本概念

物理层：考虑的是怎样才能在连接各种计算机的传输媒体上传输数据比特流，而不是指具体的传输媒体。

物理层的主要任务：确定与传输媒体的接口有关的一些特性。

2.1.2 物理层接口的四个特性

1. **机械特性**：接口所用接线器的形状和尺寸、引脚数目和排列、固定和锁定装置等。

2. **电气特性**：接口电缆的各条线上出现的电压的范围。
3. **功能特性**：某条线上出现的某一电平的电压表示何种意义。
4. **规程特性**（过程特性）：对于不同功能的各种可能事件的出现顺序。

2.2 传输介质

2.2.1 传输介质的分类

传输介质分为 **导向传输介质** 和 **非导向传输介质** 两大类。

2.2.2 导向传输介质

1. 双绞线

- 把两根互相绝缘的铜导线并排放在一起，然后用规则的方法绞合起来
- **绞合的目的**：减少电磁干扰
- 分类：
  - 屏蔽双绞线（STP）：有金属屏蔽层，抗干扰能力强
  - 非屏蔽双绞线（UTP）：无屏蔽层，价格便宜

2. 同轴电缆

- 由内导体铜质芯线、绝缘层、网状编织的外导体屏蔽层以及保护塑料外层组成
- 抗干扰能力强，带宽高

3. 光纤

- 利用光的全反射特性传输光信号
- 优点：通信容量大、传输损耗小、抗电磁干扰、保密性好、体积小重量轻
- 分类：
  - **多模光纤**：利用光的全反射，光源用发光二极管，适合近距离传输
  - **单模光纤**：直径减小到只有一个波长，光沿直线传播，光源用激光，传输距离远

2.2.3 非导向传输介质

- 无线电波
- 微波（Wi-Fi 信号属于微波）
- 红外线

- 可见光

2.3 编码与调制

2.3.1 基本概念

名称	输入	输出
编码	数字数据	数字信号
调制	数字数据	模拟信号
解调	模拟信号	数字数据
编码（PCM）	模拟数据	数字信号

2.3.2 常用编码方式

1. 不归零编码（NRZ）

- 高电平表示 1，低电平表示 0（或反之）
- 缺点：不含同步信息，需要额外时钟同步

2. 曼彻斯特编码

- 每个码元中间有一个跳变
- 中间的跳变既作为时钟信号，又作为数据信号
- 上跳变表示 0，下跳变表示 1（或反之）

3. 差分曼彻斯特编码

- 码元开始处有跳变表示 0，无跳变表示 1
- 每个码元中间都有跳变（用于同步）
- 抗干扰能力强于曼彻斯特编码

2.3.3 基本调制方法

调制：将数字数据转换为模拟信号。

1. **调幅（ASK）**：改变载波的振幅
2. **调频（FSK）**：改变载波的频率

3. **调相（PSK）**：改变载波的相位

正交振幅调制（QAM）：同时改变相位和幅度，可以获得更高的信息传输速率。

2.3.4 波特率与比特率

波特率（码元传输速率）：单位时间内传输的码元数，单位是 Baud（波特）。

比特率（数据传输速率）：单位时间内传输的比特数，单位是 bit/s。

关系：比特率 = 波特率 × $\log_2$（码元状态数）

> 例如：一个码元可以表示 4 种状态（2 位二进制），波特率为 1000Baud，则比特率 = 1000 × $\log_2$ 4 = 2000 bit/s。

2.4 信道的极限容量

2.4.1 奈氏准则（无噪声）

奈氏准则：在理想低通信道中，为了避免码间串扰，码元传输速率的上限是 2W 波特。

公式：**最高码元传输速率 = 2W Baud**

其中 W 是信道的带宽（单位：Hz）。

> 奈氏准则给出了码元传输速率的限制，但没有对信息传输速率（bit/s）给出限制。要提高信息传输速率，可以让每个码元携带更多比特的信息量。

2.4.2 香农公式（有噪声）

香农公式：信道的极限信息传输速率 C 为：

$C = W \times \log_2(1 + S/N)$ (bit/s)

其中：

- W 是信道的带宽（单位：Hz）
- S 是信道内所传信号的平均功率
- N 是信道内部的高斯噪声功率
- S/N 是信噪比

2.4.3 信噪比

信噪比：信号的平均功率和噪声的平均功率之比，记为 S/N。

用分贝（dB）作为度量单位：

信噪比（dB）= 10 × $\log_{10}$(S/N)

> 例如：当 S/N = 10 时，信噪比 = 10 × $\log_{10}$(10) = 10 dB。
> 当 S/N = 100 时，信噪比 = 10 × $\log_{10}$(100) = 20 dB。

2.4.4 影响信道最大传输速率的因素

影响信道最大传输速率的因素主要有两个：

1. **信道带宽**：带宽越大，最大传输速率越高
2. **信噪比**：信噪比越大，最大传输速率越高

2.5 信道复用技术

2.5.1 复用的基本概念

复用：允许用户使用一个共享信道进行通信，以提高信道利用率，降低成本。

2.5.2 频分复用（FDM）

频分复用：将总带宽分割成若干子信道，每个用户占用一个子信道，在同样的时间占用不同的带宽资源。

- 所有用户在同样的时间占用不同的频率带宽
- 各子信道之间需要有保护频带，防止相互干扰

2.5.3 时分复用（TDM）

时分复用：将时间划分为一段段等长的时分复用帧（TDM 帧），每个用户在每个 TDM 帧中占用固定序号的时隙。

- 所有用户在不同的时间占用同样的频带宽度
- 每个用户所占用的时隙是周期性出现的
- 缺点：当某用户暂时没有数据发送时，其分配的时隙就会空闲，造成资源浪费

2.5.4 码分复用/码分多址（CDMA）

码分复用：每个用户使用不同的码片序列，各用户的码片序列相互正交，可以在同样的时间使用同样的频带进行通信。

码片序列：每个站被指派一个唯一的 m bit 码片序列。

- 发送比特 1：发送自己的码片序列
- 发送比特 0：发送码片序列的反码

正交特性：两个不同站的码片序列的规格化内积为 0。

接收方法：接收方用自己的码片序列与收到的信号做内积：

- 结果为 1：表示对方发送了 1
- 结果为-1：表示对方发送了 0
- 结果为 0：表示对方没有发送数据

CDMA 的重要特点：每个站发送的信号的功率，由所有站共同分享。每个站发送的信号的功率，等于该站发送的码片序列的功率。

2.6 本章练习题

2.6.2 填空题

1. 物理层接口的四个特性是_____、_____、_____和_____。

答案：机械特性、电气特性、功能特性、规程特性（过程特性）

---

2. 双绞线绞合的目的是_____。

答案：减少电磁干扰

---

3. 光纤分为_____和_____两类，其中_____的传输距离更远。

答案：多模光纤、单模光纤、单模光纤

---

4. 曼彻斯特编码中，每个码元中间的跳变既作为_____信号，又作为_____信号。

答案：时钟、数据

---

5. 奈氏准则给出了_____的上限，香农公式给出了_____的上限。

答案：码元传输速率、信息传输速率

2.6.3 判断题

1. 物理层考虑的是怎样才能在连接各种计算机的传输媒体上传输数据比特流，而不是指具体的传输媒体。( )

答案：√

---

2. 光纤利用光的全反射特性传输光信号，因此不受电磁干扰和噪声影响。( )

答案：√

---

3. 差分曼彻斯特编码中，码元开始处有跳变表示 1，无跳变表示 0。( )

答案：×

解析：差分曼彻斯特编码中，码元开始处有跳变表示 0，无跳变表示 1。

---

4. 波特率和比特率是同一个概念，都是指单位时间内传输的比特数。( )

答案：×

解析：波特率是单位时间内传输的码元数，比特率是单位时间内传输的比特数。比特率 = 波特率 × $\log_2$（码元状态数）。

---

5. CDMA 中，两个不同站的码片序列的规格化内积为 1。( )

答案：×

解析：CDMA 中各站的码片序列相互正交，规格化内积为 0。

2.6.1 单选题

1. 物理层的四个接口特性中，描述各条线上出现的电压范围的是（ ）。

A. 机械特性
B. 电气特性
C. 功能特性
D. 规程特性

答案：B

解析：机械特性描述接口的形状、尺寸等；电气特性描述电压范围；功能特性描述电压的意义；规程特性描述事件出现顺序。

---

2. 双绞线绞合的目的是（ ）。

A. 提高传输速率
B. 降低成本
C. 减少电磁干扰
D. 增加机械强度

答案：C

解析：双绞线绞合可以减少电磁干扰和串扰。

---

3. 不受电磁干扰和噪声影响的传输介质是（ ）。

A. 双绞线
B. 同轴电缆
C. 光纤
D. 微波

答案：C

解析：光纤利用光信号传输，不受电磁干扰和噪声影响。

---

4. 曼彻斯特编码的特点是（ ）。

A. 在码元中间有跳变，既有时钟又有数据
B. 在码元开始处有跳变表示 0，无跳变表示 1
C. 高电平表示 1，低电平表示 0
D. 改变载波的频率

答案：A

解析：曼彻斯特编码每个码元中间有跳变，既作为时钟信号，又作为数据信号。

---

5. 根据奈氏准则，理想低通信道的最高码元传输速率为（ ）。

A. W Baud
B. 2W Baud
C. W $\log_2$ (1+S/N) Baud
D. 2W $\log_2$ (1+S/N) Baud

答案：B

解析：奈氏准则：理想低通信道的最高码元传输速率 = 2W Baud。

---

6. 香农公式给出了信道的（ ）。

A. 最低数据传输速率

B. 平均数据传输速率
C. 极限数据传输速率
D. 实际数据传输速率

答案：C

解析：香农公式给出了信道的极限信息传输速率。

---

7. 信噪比为 30dB，则 S/N 的值为（ ）。

A. 30
B. 100
C. 1000
D. 3000

答案：C

解析：信噪比(dB) = 10 × $\log_{10}$(S/N)，30 = 10 × $\log_{10}$(S/N)，$\log_{10}$(S/N) = 3，S/N = 10^3 = 1000。

---

8. 在码分多址（CDMA）中，两个不同站的码片序列的规格化内积为（ ）。

A. 0
B. 1
C. -1
D. 不确定

答案：A

解析：CDMA 中各站的码片序列相互正交，规格化内积为 0。

第 3 章 数据链路层

本章涵盖数据链路层的基本功能、封装成帧、差错检测、PPP 协议、以太网、交换机等内容。

3.1 数据链路层基本概念

3.1.1 数据链路层的基本概念

数据链路层：在物理层提供的服务的基础上，向网络层提供服务，负责将网络层交下来的 IP 数据报组装成帧，在两个相邻结点间的链路上传送帧。

传输单位：帧

互连设备：网桥、交换机

3.1.2 数据链路层的主要功能

- **封装成帧**：在一段数据的前后分别添加首部和尾部，构成一个帧
- **透明传输**：不管数据是什么样的比特组合，都应当能够在链路上传送
- **差错检测**：检测传输过程中是否出现差错
- **可靠传输**：确保数据准确无误地到达对方
- **流量控制**：控制发送方的发送速率，使接收方来得及接收

注意：拥塞控制不属于数据链路层的功能，拥塞控制是网络层和运输层的功能。

3.2 封装成帧与透明传输

3.2.1 封装成帧

封装成帧：在一段数据的前后分别添加首部和尾部，构成一个帧。

首部和尾部的一个重要作用是进行帧定界，即确定帧的界限。

帧定界符：如 FLAG（01111110），用于标记帧的开始和结束。

3.2.2 透明传输

透明传输：不管数据是什么样的比特组合，都应当能够在链路上传送。当数据中出现和帧定界符相同的比特组合时，需要采取措施避免接收方错误地识别为帧定界符。

3.2.3 透明传输的实现方法

1. 字符填充法（字节填充）

- 用于面向字符的链路
- 方法：在数据中出现的控制字符（如 FLAG）前面插入一个转义字符 ESC
- 如果数据中出现 ESC，则在 ESC 前面再插入一个 ESC

2. 零比特填充法

- 用于面向比特的链路
- 方法：在发送端，数据部分每出现 5 个连续的 1，就在其后插入一个 0

- 在接收端，每收到 5 个连续的 1，就把其后的一个 0 删除
- 优点：可以实现透明传输，且不依赖于字符集

3.3 差错检测

3.3.1 差错检测的基本概念

数据在传输过程中可能会产生差错，数据链路层需要能够检测出这些差错。

常用的差错检测方法：循环冗余校验（CRC）。

3.3.2 循环冗余校验（CRC）

CRC 的基本思想：在数据后面添加冗余码（FCS），使整个帧能被一个约定的生成多项式 G(x)整除。接收方收到帧后，用同样的生成多项式去除，若余数为 0，则表示传输无差错。

3.3.3 CRC 的计算步骤

1. 确定生成多项式 G(x)，设其最高次幂为 r
2. 在数据后面添加 r 个 0，作为被除数
3. 用模 2 除法（异或），将被除数除以生成多项式对应的二进制数
4. 得到的余数就是帧检验序列 FCS
5. 将 FCS 添加到数据后面，构成完整的帧

3.3.4 CRC 的特点

- 漏检率极低
- 可以使用硬件实现，速度快
- 只能检测出差错，不能纠正差错
- 通信双方必须商定生成多项式，不能随意使用

模 2 运算：加法和减法都是异或运算，即 0+0=0, 0+1=1, 1+0=1, 1+1=0，没有进位和借位。

3.4 PPP 协议

3.4.1 PPP 协议的基本概念

PPP（点对点协议）：是使用最广泛的数据链路层协议，用于点对点的链路上。

3.4.2 PPP 协议的组成

PPP 协议由三个部分组成：

1. **成帧方法**：将 IP 数据报封装到串行链路的方法
2. **链路控制协议（LCP）**：建立、配置和测试数据链路连接
3. **网络控制协议（NCP）**：配置网络层协议，如 IPCP（配置 IP 协议）

3.4.3 PPP 协议的透明传输

PPP 协议也需要解决透明传输问题：

- **异步线路**：使用字符填充法
- **同步线路**：使用零比特填充法

3.4.4 PPP 协议的特点

- 简单：不提供纠错、流量控制等功能
- 支持多种网络层协议
- 支持多种类型的链路
- 能够在同一条物理链路上同时支持多种网络层协议

3.5 以太网与 CSMA/CD

3.5.1 局域网与 MAC 地址

MAC 地址：又称为硬件地址或物理地址，用于标识网络设备，长度为 48 位。

MAC 地址的类型：

- **单播地址**：第一个字节的最低位为 0，标识单个设备
- **多播地址**：第一个字节的最低位为 1，标识一组设备
- **广播地址**：FF-FF-FF-FF-FF-FF（全 1），标识所有设备

3.5.2 CSMA/CD 协议

CSMA/CD（载波监听多点接入/碰撞检测）：是共享式以太网的媒体接入控制协议。

CSMA/CD 的工作原理：

1. **载波监听**：发送前先监听信道，信道空闲则发送
2. **碰撞检测**：发送过程中继续检测是否发生冲突
3. **冲突处理**：检测到冲突则立即停止发送，发送干扰信号
4. **退避重传**：执行退避算法，等待随机时间后重传

3.5.3 争用期与最小帧长

争用期（碰撞窗口）：信号在最远两个端点之间往返传输的时间。

最小帧长：为了确保在发送完帧之前能够检测到冲突，帧的长度不能太短。

公式：**最小帧长 = 数据传输率 × 争用期**

3.5.4 截断二进制指数退避算法

发生冲突后，需要等待随机时间再重传，等待时间由截断二进制指数退避算法确定：

1. 第 k 次冲突后，从 0 ~ 2^min(k,10) - 1 中随机选择一个数 r
2. 等待 r 倍争用期时间后重传
3. 最多重传 16 次，超过则丢弃该帧

3.5.5 以太网帧

DIX v2 以太网帧：

- 最小帧长：64 字节（数据部分最小 46 字节）
- 数据部分长度范围：46 ~ 1500 字节
- 不足 46 字节时需要填充

3.5.6 网络设备与冲突域/广播域

设备	所在层次	隔离冲突域	隔离广播域
集线器（Hub）	物理层	否	否
网桥/交换机	数据链路层	是	否
路由器	网络层	是	是

集线器：所有端口共享带宽，属于同一个冲突域和广播域，拓扑结构是物理星形、逻辑总线形。

3.6 交换机与 VLAN

3.6.1 以太网交换机

以太网交换机：是数据链路层设备，根据 MAC 地址转发帧。

3.6.2 交换机的自学习

交换机通过自学习构建转发表（MAC 地址表）：

1. 收到一个帧后，记录帧的源 MAC 地址和进入的端口号
2. 将这个映射关系存入转发表
3. 转发表中的条目有老化时间，超时后会被删除

3.6.3 交换机的转发

交换机收到一个帧后，根据目的 MAC 地址查找转发表：

- 找到匹配的条目：从对应的端口转发
- 找不到匹配的条目：广播（从除接收端口外的所有端口转发），称为未知单播帧

3.6.4 生成树协议（STP）

生成树协议（STP）：用于消除网络中的环路，提高网络可靠性。

原理：通过阻塞某些端口，将网络拓扑结构变成树形结构，避免环路。

3.6.5 交换式以太网的特点

- 每个用户独占带宽
- 支持多对用户同时通信
- 每个端口是一个独立的冲突域

3.6.6 虚拟局域网（VLAN）

VLAN：将局域网内的设备划分成与物理位置无关的逻辑组的技术。

VLAN 的作用：

- 分割广播域，减少广播流量

- 提高安全性，不同 VLAN 之间不能直接通信
- 灵活管理，不受物理位置限制

> 注意：VLAN 不是一种新型局域网，只是一种服务/技术。

3.6.7 802.1Q 帧

802.1Q 帧：在以太网帧中插入 VLAN 标签，用于标识 VLAN。

- 插入位置：源 MAC 地址之后，类型字段之前
- VLAN 标签长度：4 字节
- 最大帧长变为 1522 字节

不同 VLAN 中的主机不能直接通信，需要路由器或三层交换机。

3.7 本章练习题

3.7.2 填空题

1. 数据链路层的传输单位是_____，互连设备有_____和_____。

答案：帧、网桥、交换机

---

2. 数据链路层的三个基本问题是_____、_____和_____。

答案：封装成帧、透明传输、差错检测

---

3. 面向字符的链路使用_____法实现透明传输，面向比特的链路使用_____法实现透明传输。

答案：字符填充（字节填充）、零比特填充

---

4. PPP 协议由_____、_____和_____三部分组成。

答案：成帧方法、链路控制协议（LCP）、网络控制协议（NCP）

---

5. MAC 地址长度为_____位，广播 MAC 地址是_____。

答案：48、FF-FF-FF-FF-FF-FF

6. CSMA/CD 的中文全称是_____。

答案：载波监听多点接入/碰撞检测

7. 以太网的最小帧长是_____字节，数据部分的长度范围是_____字节。

答案：64、46~1500

8. 交换机通过_____构建转发表，根据_____转发帧。

答案：自学习、目的 MAC 地址

9. VLAN 的中文全称是_____，其作用是_____。

答案：虚拟局域网、分割广播域

10. 集线器是_____层设备，_____隔离冲突域；交换机是_____层设备，_____隔离冲突域。

答案：物理、不、数据链路、可以

3.7.3 判断题

1. 数据链路层的功能包括封装成帧、透明传输、差错检测和拥塞控制。( )

答案：×

解析：拥塞控制不属于数据链路层的功能，是网络层和运输层的功能。

2. 零比特填充法中，发送端在数据部分每出现 5 个连续的 1，就在其后插入一个 0。( )

答案：√

3. CRC 校验可以检测出所有的差错，并且可以纠正差错。( )

答案：×

解析：CRC 漏检率极低，但只能检测出差错，不能纠正差错。

4. PPP 协议的 LCP 用于建立、配置和测试数据链路连接。( )

答案：√

---

5. CSMA/CD 协议中，发送前先监听信道，信道空闲则立即发送，发送过程中不需要再检测冲突。( )

答案：×

解析：CSMA/CD 发送过程中需要继续检测是否发生冲突（碰撞检测）。

---

6. 最小帧长的设计是为了确保在发送完帧之前能够检测到冲突。( )

答案：√

---

7. 交换机的所有端口属于同一个冲突域。( )

答案：×

解析：交换机的每个端口是一个独立的冲突域，可以隔离冲突域。

---

8. VLAN 是一种新型的局域网技术，可以提高网络的安全性。( )

答案：×

解析：VLAN 不是一种新型局域网，只是一种服务/技术，可以分割广播域，提高安全性。

---

9. 不同 VLAN 中的主机可以直接通信，不需要路由器或三层交换机。( )

答案：×

解析：不同 VLAN 中的主机不能直接通信，需要路由器或三层交换机。

---

10. 生成树协议 STP 的作用是消除网络环路，提高网络可靠性。( )

答案：√

3.7.4 简答题

1. 简述数据链路层的三个基本问题。

答案：

（1）封装成帧：在一段数据的前后分别添加首部和尾部，构成一个帧，进行帧定界。

（2）透明传输：不管数据是什么样的比特组合，都应当能够在链路上传送。当数据中出现和帧定界符相同的比特组合时，需要采取措施避免接收方错误地识别为帧定界符。

（3）差错检测：检测传输过程中是否出现差错，常用的方法是循环冗余校验（CRC）。

---

2. 简述 CSMA/CD 协议的工作原理。

答案：

CSMA/CD（载波监听多点接入/碰撞检测）的工作原理：

（1）载波监听：发送前先监听信道，信道空闲则发送。

（2）碰撞检测：发送过程中继续检测是否发生冲突。

（3）冲突处理：检测到冲突则立即停止发送，发送干扰信号。

（4）退避重传：执行截断二进制指数退避算法，等待随机时间后重传。

---

3. 简述交换机的自学习过程。

答案：

交换机通过自学习构建转发表：

（1）当交换机收到一个帧时，先查看帧的源 MAC 地址。

（2）如果转发表中没有该源 MAC 地址的记录，就将该源 MAC 地址和进入端口号的映射添加到转发表中。

（3）如果转发表中已有该源 MAC 地址的记录，就更新该记录的端口号和时间。

（4）转发表中的每条记录都有一定的有效期，过期的记录会被自动删除。

---

4. 什么是 VLAN？VLAN 有什么作用？

答案：

VLAN（虚拟局域网）是将局域网内的设备划分成与物理位置无关的逻辑组的技术。

VLAN 的作用：

（1）分割广播域，减少广播流量，提高网络性能。

（2）提高网络安全性，不同 VLAN 之间不能直接通信。

（3）灵活管理，用户可以在不同的物理位置，但属于同一个逻辑组。

---

5. 试比较集线器、交换机和路由器的区别。

答案：

（1）集线器：物理层设备，不隔离冲突域，不隔离广播域，所有端口共享带宽。

（2）交换机：数据链路层设备，隔离冲突域，不隔离广播域，每个端口独占带宽。

（3）路由器：网络层设备，既隔离冲突域，也隔离广播域，可以连接不同的网络。

3.7.5 计算题

1. 要发送的数据为 1101011011，采用 CRC 的生成多项式是 $G(x) = x^4 + x + 1$，试求应添加在数据后面的余数（FCS）。

答案：

生成多项式 $G(x) = x^4 + x + 1$，对应的二进制数是 10011，最高次幂 r=4。

在数据后面添加 4 个 0，得到被除数：11010110110000

用模 2 除法（异或），将被除数除以 10011：

计算过程：

11010110110000 ÷ 10011

得到余数为：1110

所以应添加的 FCS 是 1110。

---

2. 一个 10BASE-T 以太网，争用期为 51.2μs，试求该以太网的最小帧长。

答案：

最小帧长 = 数据传输率 × 争用期

10BASE-T 的数据传输率是 10Mbps = 10×10^6 bit/s

争用期 = 51.2μs = 51.2×10^{-6} s

最小帧长 = $10 \times 10^6 \times 51.2 \times 10^{-6} = 512$ bit = 64 字节

所以该以太网的最小帧长是 64 字节。

3.7.1 单选题

1. 下列不属于数据链路层功能的是（ ）。

A. 封装成帧
B. 差错检测
C. 拥塞控制
D. 流量控制

答案：C

解析：拥塞控制是网络层和运输层的功能，不属于数据链路层。

---

2. 在面向比特的链路中，实现透明传输的方法是（ ）。

A. 字符填充法
B. 零比特填充法
C. 字节填充法
D. 以上都不是

答案：B

解析：面向字符的链路使用字符填充法（字节填充），面向比特的链路使用零比特填充法。

---

3. 循环冗余校验（CRC）的特点是（ ）。

A. 只能检测出差错，不能纠正差错
B. 既能检测出差错，也能纠正差错
C. 不能检测出差错，但能纠正差错
D. 既不能检测出差错，也不能纠正差错

答案：A

解析：CRC 只能检测出差错，不能纠正差错，漏检率极低。

---

4. PPP 协议中的 LCP 的作用是（ ）。

A. 成帧
B. 建立、配置和测试数据链路连接
C. 配置网络层协议
D. 差错检测

答案：B

解析：LCP（链路控制协议）用于建立、配置和测试数据链路连接；NCP（网络控制协议）用于配置网络层协议。

---

5. CSMA/CD 协议中，载波监听的含义是（ ）。

A. 发送前先监听信道
B. 发送过程中监听信道

C. 接收前先监听信道
D. 接收过程中监听信道

答案：A

解析：载波监听是指发送前先监听信道，信道空闲则发送；碰撞检测是指发送过程中继续检测是否发生冲突。

---

6. 以太网的最小帧长是（ ）。

A. 46 字节
B. 64 字节
C. 1500 字节
D. 1518 字节

答案：B

解析：以太网最小帧长是 64 字节，其中数据部分最小 46 字节。

---

7. 下列设备中，能够隔离冲突域但不能隔离广播域的是（ ）。

A. 集线器
B. 交换机
C. 路由器
D. 中继器

答案：B

解析：集线器/中继器既不能隔离冲突域也不能隔离广播域；交换机/网桥能隔离冲突域但不能隔离广播域；路由器既能隔离冲突域也能隔离广播域。

---

8. 关于 VLAN，下列说法正确的是（ ）。

A. VLAN 是一种新型局域网
B. VLAN 可以隔离广播域
C. 不同 VLAN 中的主机可以直接通信
D. VLAN 是物理层的技术

答案：B

解析：VLAN 不是一种新型局域网，只是一种服务/技术；VLAN 可以隔离广播域；不同 VLAN 中的主机不能直接通信，需要路由器或三层交换机；VLAN 是数据链路层的技术。

第 4 章 网络层

本章涵盖网络层的基本功能、IP 地址、路由选择协议、ARP 协议、ICMP 协议等内容。

4.1 网络层基本概念

4.1.1 网络层的基本概念

网络层：负责将分组从源主机通过通信子网传输到目的主机，实现分组在多个网络上的传输。

传输单位：分组/数据报

互连设备：路由器

4.1.2 网络层提供的两种服务

对比项	虚电路服务	数据报服务
连接方式	面向连接	无连接
目的地址	仅在连接建立阶段使用，之后用虚电路号	每个分组都有完整的目的地址
路由选择	连接建立时确定路由，所有分组走同一路由	每个分组独立选择路由
顺序保证	保证按序到达	不保证按序到达
可靠性	较高	较低
对路由器故障的适应性	差，虚电路中断	好，可另选路由

因特网采用的服务：数据报服务。

4.1.3 网际层的协议

TCP/IP 体系结构中，网际层的主要协议有：

- **IP 协议**：网际协议，负责分组转发
- **ICMP 协议**：网际控制报文协议，传递差错报告和查询信息
- **ARP 协议**：地址解析协议，根据 IP 地址查询 MAC 地址
- **RARP 协议**：逆地址解析协议，根据 MAC 地址查询 IP 地址

4.2 IP 地址与子网划分

4.2.1 IPv4 地址的基本概念

IPv4 地址：32 位地址，用于标识网络中的主机或路由器接口。

表示方法：点分十进制，如 192.168.1.1

地址空间：2^{32} 个地址

4.2.2 分类编址

传统的 IP 地址分为 A、B、C、D、E 五类：

类别	开头	网络号	主机号	范围
A 类	0	8 位	24 位	1.0.0.0 ~ 126.255.255.255
B 类	10	16 位	16 位	128.0.0.0 ~ 191.255.255.255
C 类	110	24 位	8 位	192.0.0.0 ~ 223.255.255.255
D 类	1110	多播地址		224.0.0.0 ~ 239.255.255.255
E 类	1111	保留地址		240.0.0.0 ~ 255.255.255.255

4.2.3 特殊地址

- **主机号全 0**：网络地址，表示本网络
- **主机号全 1**：广播地址，表示本网络上的所有主机
- **127.x.x.x**：本地环回地址，用于测试

- **0.0.0.0**：本网络上的本主机
- **255.255.255.255**：受限广播地址

4.2.4 子网划分

子网划分：从主机号借用若干位作为子网号，将一个网络划分为多个子网。

子网掩码：网络号和子网号为 1，主机号为 0。

可用主机数 = 2^主机号位数 - 2

减 2 的原因：排除网络地址（主机号全 0）和广播地址（主机号全 1）。

计算方法：IP 地址与子网掩码逐位相与，得到网络地址。

4.2.5 FLSM 与 VLSM

- **FLSM（固定长度子网掩码）**：所有子网大小相同
- **VLSM（变长子网掩码）**：不同子网大小可以不同，更灵活，更节省地址

4.2.6 CIDR（无分类域间路由选择）

CIDR：消除了传统的 A、B、C 类地址和子网划分的概念。

表示形式：IP 地址/网络前缀长度，如 192.168.1.0/24

4.2.7 路由聚合（超网）

路由聚合：将多个连续的地址块聚合成一个更大的地址块，减少路由表条目。

方法：找共同前缀。

4.2.8 最长前缀匹配

当路由表中有多条路由都匹配时，选择前缀最长的那条路由。

4.3 IP 数据报

4.3.1 IP 数据报的格式

IP 数据报由首部和数据两部分组成。

首部：固定部分 20 字节，可选部分可变。

4.3.2 IP 数据报首部的重要字段

- **版本**：4 位，IP 协议的版本，如 IPv4 为 4
- **首部长度**：4 位，以 4 字节为单位，最小值为 5（20 字节）
- **总长度**：16 位，以字节为单位，包括首部和数据
- **生存时间 TTL**：8 位，数据报可以经过的最大路由器数，每经过一个路由器减 1，减到 0 则丢弃
- **协议**：8 位，表明数据载荷是何种协议，如 6 表示 TCP，17 表示 UDP
- **首部校验和**：16 位，只检验首部，不检验数据部分
- **源地址**：32 位，源 IP 地址
- **目的地址**：32 位，目的 IP 地址

4.3.3 IP 数据报的分片与重组

MTU（最大传送单元）：链路层帧能承载的最大数据量，以太网 MTU 为 1500 字节。

当 IP 数据报的长度超过链路的 MTU 时，需要分片。

分片相关字段：

- **标识**：16 位，同一个数据报的所有分片具有相同的标识
- **标志**：3 位
  - DF 位：0 表示允许分片，1 表示不允许分片
  - MF 位：1 表示后面还有分片，0 表示是最后一个分片
- **片偏移**：13 位，以 8 字节为单位，表示本分片在原数据报中的相对位置

分片在中间路由器进行，重组在目的主机进行。

4.4 ARP 协议

4.4.1 ARP 协议的功能

ARP（地址解析协议）：根据 IP 地址查询对应的 MAC 地址。

4.4.2 ARP 的工作原理

1. 主机 A 要向主机 B 发送 IP 数据报，先检查自己的 ARP 高速缓存中是否有主机 B 的 IP 地址到 MAC 地址的映射
2. 如果有，直接使用该 MAC 地址封装帧
3. 如果没有，主机 A 广播发送 ARP 请求报文，询问"IP 地址为 x.x.x.x 的主机的

MAC 地址是什么？"

4. 所有主机都收到 ARP 请求，只有 IP 地址匹配的主机 B（或代理 ARP 的路由器）单播发送 ARP 响应报文，告知自己的 MAC 地址

5. 主机 A 收到 ARP 响应后，将映射关系存入 ARP 高速缓存

4.4.3 ARP 高速缓存

ARP 高速缓存中存放 IP 地址到 MAC 地址的映射，每个映射有一定的生存时间，超时后会被删除。

4.4.4 ARP 的使用范围

ARP 只能在同一网络/链路使用，不能跨网络使用。

源主机到目的主机经过 n 个路由器，使用 ARP 的次数为 n+1 次。

4.4.5 ARP 的安全问题

ARP 存在安全隐患，如 ARP 欺骗（ARP 欺骗攻击）。

4.5 路由选择协议

4.5.1 路由选择的基本概念

路由选择：路由器根据路由表，为分组选择合适的路径。

路由表包含：目的网络地址、下一跳地址/接口。

路由器转发依据：目的 IP 地址和路由表。

4.5.2 特殊路由

- **默认路由**：目的网络 0.0.0.0，掩码 0.0.0.0，当找不到匹配的路由时使用
- **特定主机路由**：目的地址为特定主机 IP，掩码 255.255.255.255

4.5.3 路由选择的分类

- **静态路由**：手工配置，简单，开销小，不适应拓扑变化
- **动态路由**：自动适应网络拓扑和通信量变化

4.5.4 自治系统（AS）

自治系统（AS）：在单一的技术管理下的一组路由器。

路由选择协议分为两大类：

- **内部网关协议（IGP）**：在一个自治系统内部使用，如 RIP、OSPF
- **外部网关协议（EGP）**：在不同 AS 之间使用，如 BGP

4.5.5 RIP 协议

RIP（路由信息协议）：基于距离向量算法的内部网关协议。

- **距离**：跳数，最大 15 跳，16 表示不可达
- **特点**：好消息传播快，坏消息传播慢
- **距离向量**：到目的网络的距离和下一跳

4.5.6 OSPF 协议

OSPF（开放最短路径优先）：基于链路状态算法的内部网关协议。

- **度量**：代价（cost），可根据带宽、时延等设定
- **特点**：洪泛法交换链路状态信息，收敛快

4.5.7 BGP 协议

BGP（边界网关协议）：基于路径向量算法的外部网关协议。

- 交换网络可达性信息（AS 路径）
- 寻找一条能够到达目的网络且比较好的路由（并非最佳）

4.5.8 路由收敛

路由收敛：网络设备的路由表与网络拓扑结构保持一致。

4.5.9 路由表与转发表

- **路由表**：用于计算路由
- **转发表**：从路由表得出，用于查找转发

4.6 ICMP 协议

4.6.1 ICMP 协议的基本概念

ICMP（网际控制报文协议）：用于传递差错报告报文和查询报文，是 IP 协议的辅助协议。

ICMP 报文封装在 IP 数据报中传输。

4.6.2 ICMP 报文的类型

1. ICMP 差错报告报文

- **终点不可达**：当路由器或主机不能交付数据报时，向源点发送
- **时间超过**：当 TTL 减为 0 时，向源点发送
- **参数问题**：当数据报首部有错误时，向源点发送
- **改变路由（重定向）**：路由器通知主机下次应将数据报发给另一个路由器

2. ICMP 询问报文

- **回送请求和回答**：PING 使用，测试目的站是否可达
- **时间戳请求和回答**：用于时钟同步和测量时间

4.6.3 PING 和 tracert

- **PING**：使用 ICMP 回送请求和回答报文（不是差错报告报文）
- **tracert**：使用 ICMP 时间超过差错报告报文和回送请求/回答，用于追踪路由

4.6.4 ICMP 差错报告报文的特点

- 对已分片的数据报，只对第一个分片产生 ICMP 差错报告
- 对已携带 ICMP 差错报告报文的数据报，不再产生 ICMP 差错报告

4.7 本章练习题

4.7.2 填空题

1. 网络层提供的两种服务是_____和_____，因特网采用的是_____。

答案：虚电路服务、数据报服务、数据报服务

---

2. IPv4 地址长度为_____位，通常采用_____表示法。

答案：32、点分十进制

---

3. A 类地址的第一个字节范围是_____，B 类是_____，C 类是_____。

答案：1~126、128~191、192~223

---

4. 主机号全为 0 表示_____，主机号全为 1 表示_____。

答案：网络地址、广播地址

---

5. 子网掩码中，网络号和子网号为_____，主机号为_____。

答案：1、0

---

6. ARP 协议的功能是根据_____查询_____。

答案：IP 地址、MAC 地址

---

7. ICMP 报文分为_____和_____两大类。

答案：差错报告报文、询问报文

---

8. PING 使用的是 ICMP 的_____报文，tracert 使用的是 ICMP 的_____报文。

答案：回送请求和回答、时间超过

---

9. 内部网关协议有_____和_____，外部网关协议有_____。

答案：RIP、OSPF、BGP

---

10. RIP 协议基于_____算法，最大跳数是_____；OSPF 协议基于_____算法。

答案：距离向量、15、链路状态

4.7.3 判断题

1. 虚电路服务是面向连接的，数据报服务是无连接的。( )

答案：√

---

2. 127.0.0.1 是一个 A 类地址，可以分配给主机使用。( )

答案：×

解析：127.x.x.x 是本地环回地址，用于测试，不能分配给主机使用。

---

3. 子网划分是从网络号中借用若干位作为子网号。( )

答案：×

解析：子网划分是从主机号中借用若干位作为子网号，不是从网络号中借用。

---

4. CIDR 消除了传统的 A、B、C 类地址和子网划分的概念。( )

答案：√

---

5. 路由表中有多条匹配时，选择前缀最短的那条。( )

答案：×

解析：路由表中有多条匹配时，选择前缀最长的那条（最长前缀匹配）。

---

6. ARP 请求是广播发送的，ARP 响应也是广播发送的。( )

答案：×

解析：ARP 请求是广播发送的，ARP 响应是单播发送的。

---

7. ARP 可以在任意网络中使用，不受范围限制。( )

答案：×

解析：ARP 只能在同一网络/链路中使用，不能跨网络使用。

---

8. ICMP 差错报告报文包括终点不可达、时间超过、参数问题、改变路由等。( )

答案：√

---

9. RIP 协议的特点是好消息传播快，坏消息传播慢。( )

答案：√

---

10. IPv6 地址长度为 64 位，解决了 IPv4 地址耗尽的问题。( )

答案：×

解析：IPv6 地址长度为 128 位，不是 64 位。

4.7.4 简答题

1. 试比较虚电路服务和数据报服务的区别。

答案：

（1）连接的建立：虚电路服务需要建立连接，数据报服务不需要。

（2）目的地址：虚电路建立时使用目的地址，数据传送时使用虚电路号；数据报每个分组都有完整的目的地址。

（3）路由选择：虚电路在连接建立时确定路由，所有分组都走同一条路径；数据报每个分组独立选择路由。

（4）顺序保证：虚电路保证分组按顺序到达；数据报不保证分组按顺序到达。

（5）可靠性：虚电路可靠性较高；数据报可靠性较低。

（6）适用场景：虚电路适合长时间的数据传输；数据报适合短报文、灵活的传输。

---

2. 什么是子网划分？为什么要进行子网划分？

答案：

子网划分：从主机号中借用若干位作为子网号，将一个大的网络划分成多个小的子网。

为什么要进行子网划分：

（1）提高 IP 地址的利用率，避免地址浪费。

（2）减小广播域，减少广播流量，提高网络性能。

（3）便于管理和维护，不同部门可以使用不同的子网。

（4）提高网络安全性，不同子网之间可以进行访问控制。

---

3. 简述 ARP 协议的工作过程。

答案：

ARP（地址解析协议）用于根据 IP 地址查询 MAC 地址，工作过程：

（1）当源主机要向目的主机发送数据时，先检查自己的 ARP 高速缓存中是否有目的 IP 地址对应的 MAC 地址。

（2）如果有，就直接使用该 MAC 地址封装帧并发送。

（3）如果没有，就广播发送一个 ARP 请求报文，询问"谁是这个 IP 地址的主人？请告诉我你的 MAC 地址"。

（4）所有收到 ARP 请求的主机都会检查自己的 IP 地址，如果匹配，就单播发送一个 ARP 响应报文，告诉源主机自己的 MAC 地址。

（5）源主机收到 ARP 响应后，将目的 IP 地址和 MAC 地址的映射添加到 ARP 高速缓存中，然后使用该 MAC 地址封装帧并发送。

---

4. 简述 RIP 协议和 OSPF 协议的区别。

答案：

（1）算法：RIP 基于距离向量算法，OSPF 基于链路状态算法。

（2）度量：RIP 使用跳数作为度量，最大 15 跳；OSPF 使用代价（cost）作为度量，可根据带宽、时延等设定。

（3）信息交换：RIP 与相邻路由器交换整个路由表；OSPF 用洪泛法向所有路由器交换链路状态信息。

（4）收敛速度：RIP 收敛速度慢，好消息传播快，坏消息传播慢；OSPF 收敛速度快。

（5）适用规模：RIP 适合小型网络；OSPF 适合大型网络。

---

5. ICMP 差错报告报文有哪些类型？

答案：

ICMP 差错报告报文有以下类型：

（1）终点不可达：当路由器或主机不能交付数据报时，向源点发送终点不可达报文。

（2）时间超过：当路由器收到生存时间（TTL）为 0 的数据报时，丢弃该数据报，并向源点发送时间超过报文。

（3）参数问题：当路由器或主机收到的数据报的首部中有的字段的值不正确时，丢弃该数据报，并向源点发送参数问题报文。

（4）改变路由（重定向）：路由器把改变路由报文发送给主机，让主机知道下次应将数据报发送给另外的路由器。

4.7.5 计算题

1. 已知 IP 地址为 192.168.1.100，子网掩码为 255.255.255.192，求该 IP 地址所在的网络地址、广播地址和可用主机数。

答案：

（1）网络地址：IP 地址与子网掩码逐位相与

192.168.1.100 的二进制：11000000.10101000.00000001.01100100

255.255.255.192 的二进制：11111111.11111111.11111111.11000000

逐位相与：11000000.10101000.00000001.01000000

转换为十进制：192.168.1.64

所以网络地址是 192.168.1.64。

（2）广播地址：主机号全为 1

主机号有 6 位（因为最后一个字节的前 2 位是子网号，后 6 位是主机号）

主机号全为 1：00111111

广播地址：11000000.10101000.00000001.01111111 = 192.168.1.127

（3）可用主机数：2^6 - 2 = 64 - 2 = 62

（减 2 是因为排除网络地址和广播地址）

所以可用主机数是 62 台。

---

2. 某单位分配到一个 B 类 IP 地址，其网络号为 129.250.0.0。该单位有 4000 台机器，分布在 16 个不同的地点。如选用子网掩码为 255.255.255.0，试给每一个地点分配一个子网号码，并算出每个地点主机号码的最小值和最大值。

答案：

B 类地址，子网掩码 255.255.255.0，说明借用了 8 位作为子网号，可以划分 2^8 - 2 = 254 个子网（这里我们需要 16 个子网，足够）。

每个子网的主机号有 8 位，可用主机数 = 2^8 - 2 = 254 台，满足 4000 台机器分布在 16 个地点的需求（每个地点约 250 台）。

可以分配的子网号码：

子网 1：129.250.1.0，主机号范围：129.250.1.1 ~ 129.250.1.254

子网 2：129.250.2.0，主机号范围：129.250.2.1 ~ 129.250.2.254

...

子网 16：129.250.16.0，主机号范围：129.250.16.1 ~ 129.250.16.254

（注：也可以从子网号 0 开始，即 129.250.0.0，但通常子网号全 0 和全 1 的子网不使用。）

---

3. 已知一个 IP 数据报的总长度为 3820 字节，首部长度为 20 字节。现在需要经过一个 MTU 为 1420 字节的网络，试问应当划分为几个分片？每个分片的数据部分长度是多少？片偏移字段的值是多少？

答案:

（1）数据部分长度 = 总长度 - 首部长度 = 3820 - 20 = 3800 字节

（2）每个分片的数据部分最大长度 = MTU - 首部长度 = 1420 - 20 = 1400 字节

（3）分片数 = ceil(3800 / 1400) = ceil(2.714) = 3 个分片

（4）各分片的数据部分长度:

第 1 个分片：1400 字节

第 2 个分片：1400 字节

第 3 个分片：3800 - 1400 - 1400 = 1000 字节

（5）片偏移（以 8 字节为单位）:

第 1 个分片：0 / 8 = 0

第 2 个分片：1400 / 8 = 175

第 3 个分片：2800 / 8 = 350

所以应当划分为 3 个分片，数据部分长度分别为 1400 字节、1400 字节、1000 字节，片偏移分别为 0、175、350。

4.7.1 单选题

1. 网络层提供的两种服务是（ ）。

A. 面向连接服务和无连接服务
B. 虚电路服务和数据报服务
C. 可靠服务和不可靠服务
D. 确认服务和无确认服务

答案：B

解析：网络层提供虚电路服务和数据报服务，因特网采用数据报服务。

---

2. 某 IP 地址为 192.168.1.1，该地址属于（ ）。

A. A 类地址
B. B 类地址
C. C 类地址
D. D 类地址

答案：C

解析：C 类地址范围是 192.0.0.0 ~ 223.255.255.255，192 开头属于 C 类。

---

3. 一个 C 类网络，子网掩码为 255.255.255.224，则每个子网可用的主机数为（ ）。

A. 6
B. 8
C. 30
D. 32

答案：C

解析：子网掩码 255.255.255.224，主机号有 5 位，可用主机数 = 2^5 - 2 = 30。

---

4. IP 数据报首部的 TTL 字段的作用是（ ）。

A. 记录数据报经过的路由器数
B. 限制数据报在网络中的生存时间
C. 标识数据报的类型
D. 检验首部是否有差错

答案：B

解析：TTL（生存时间）字段表示数据报可以经过的最大路由器数，每经过一个路由器减 1，减到 0 则丢弃，用于限制数据报在网络中的生存时间。

---

5. ARP 协议的功能是（ ）。

A. 根据 IP 地址查询 MAC 地址
B. 根据 MAC 地址查询 IP 地址
C. 根据域名查询 IP 地址
D. 根据 IP 地址查询域名

答案：A

解析：ARP（地址解析协议）根据 IP 地址查询对应的 MAC 地址；RARP 根据 MAC 地址查询 IP 地址；DNS 根据域名查询 IP 地址。

---

6. 当路由表中有多条路由都匹配时，应选择（ ）。

A. 前缀最短的
B. 前缀最长的
C. 下一跳最近的

D. 随机选择

答案：B

解析：最长前缀匹配原则，当有多个匹配时，选择前缀最长的路由。

---

7. RIP 协议中，最大跳数为（ ）。

A. 8
B. 15
C. 16
D. 32

答案：B

解析：RIP 协议中，最大跳数为 15，16 表示不可达。

---

8. PING 使用的是 ICMP 的（ ）。

A. 终点不可达报文
B. 时间超过报文
C. 回送请求和回答报文
D. 重定向报文

答案：C

解析：PING 使用 ICMP 回送请求和回答报文，属于询问报文，不是差错报告报文。

第 5 章 运输层

本章涵盖运输层的基本功能、UDP 协议、TCP 协议、流量控制、拥塞控制等内容。

5.1 运输层基本概念

5.1.1 运输层的基本概念

运输层：为应用进程之间提供逻辑通信（端到端的通信）。

网络层提供主机之间的逻辑通信，运输层提供进程之间的逻辑通信。

运输层是 OSI 模型自下而上的第四层。

5.1.2 复用与分用

- **复用**：多个应用进程可以使用同一个运输层协议
- **分用**：运输层把收到的信息分别交付给相应的应用进程

5.1.3 端口号

端口号：用于区分不同的应用进程。

端口号范围：0 ~ 65535

端口号分类：

- **熟知端口号（系统端口号）**：0 ~ 1023，为熟知应用保留
- **登记端口号**：1024 ~ 49151
- **客户端口号（短暂端口号）**：49152 ~ 65535

5.1.4 套接字

套接字（Socket） = (IP 地址 : 端口号)

套接字唯一标识网络中的一个进程。

5.1.5 运输层的两个主要协议

对比项	UDP	TCP
连接方式	无连接	面向连接
可靠性	不可靠	可靠
传输方式	面向报文	面向字节流
首部开销	小（8 字节）	大（最小 20 字节）
流量控制	无	有
拥塞控制	无	有
支持广播/多播	支持	不支持（点对点）

5.2 UDP 协议

5.2.1 UDP 协议的特点

- **无连接**：发送数据之前不需要建立连接
- **不提供可靠传输**：不保证数据一定能到达，不保证按序到达
- **面向报文**：对应用层交下来的报文，不合并也不拆分
- **首部开销小**：只有 8 字节
- **不进行流量控制和拥塞控制**
- **支持广播和多播**

5.2.2 UDP 首部格式

UDP 首部固定 8 字节，由四个字段组成，每个字段 2 字节：

1. **源端口**：源端口号，可选，不需要时可全 0
2. **目的端口**：目的端口号，必须有
3. **长度**：UDP 数据报的总长度（首部+数据），不包括伪首部
4. **校验和**：对伪首部、UDP 首部和应用层数据进行校验

5.2.3 UDP 的校验和

UDP 校验和计算时需要加上伪首部。

伪首部：包含 IP 数据报首部的一部分，仅用于计算校验和，不实际传输。

伪首部包含：源 IP 地址、目的 IP 地址、0、协议号（17 表示 UDP）、UDP 长度。

5.2.4 差错处理

收到有差错的 UDP 用户数据报时，直接丢弃。

5.3 TCP 协议

5.3.1 TCP 协议的特点

- **面向连接**：传输数据之前必须先建立连接
- **提供可靠传输**：保证数据无差错、不丢失、不重复、按序到达
- **面向字节流**：把应用程序交下来的数据看成一连串的无结构的字节流
- **全双工通信**：双方可以同时发送和接收数据

- **点对点**：一对一通信，不支持广播
- **提供流量控制和拥塞控制**
- **提供复用/分用服务**

5.3.2 TCP 报文段首部

TCP 首部最小 20 字节，最大 60 字节。

重要字段：

- **源端口**：16 位，源端口号
- **目的端口**：16 位，目的端口号
- **序号**：32 位，本报文段数据载荷的第一个字节的序号
- **确认号**：32 位，期望收到对方下一个报文段的第一个数据字节的序号
- **数据偏移（首部长度）**：4 位，以 4 字节为单位
- **标志位**：6 位
  - URG：紧急位
  - ACK：确认位，只有 ACK=1 时确认号才有效
  - PSH：推送位
  - RST：复位位
  - SYN：同步位，连接建立时使用
  - FIN：终止位，连接释放时使用
- **窗口**：16 位，自己的接收窗口大小，用于流量控制
- **校验和**：16 位，检验首部和数据
- **紧急指针**：16 位
- **选项**：可变，如最大段长度 MSS

5.3.3 序号与确认号

序号：本报文段数据载荷的第一个字节的序号。

确认号：期望收到对方下一个报文段的第一个数据字节的序号，表示该序号之前的所有字节都已收到。

TCP 采用累计确认。

5.3.4 可靠传输的实现

TCP 通过以下机制实现可靠传输：

- **序号**：对字节编号
- **确认**：累计确认
- **超时重传**：超时未收到确认则重传

超时重传时间 RTO：略大于加权平均往返时间 RTTs。

5.4 TCP 连接管理

5.4.1 TCP 连接的建立（三报文握手）

TCP 连接建立采用三报文握手：

1. **第一次握手**：客户端发送 SYN=1，seq=x（初始序号），进入 SYN-SENT 状态
2. **第二次握手**：服务器发送 SYN=1，ACK=1，seq=y，ack=x+1，进入 SYN-RCVD 状态
3. **第三次握手**：客户端发送 ACK=1，seq=x+1，ack=y+1，进入 ESTABLISHED 状态

服务器收到第三个报文后，也进入 ESTABLISHED 状态。

> SYN 报文段不携带数据但消耗一个序号。
> ACK 报文段不携带数据则不消耗序号。

5.4.2 为什么需要三报文握手

主要是为了防止已失效的连接请求报文段突然又传送到了服务器，导致错误。

如果只有两次握手，服务器收到失效的连接请求后会建立连接，而客户端并没有建立连接的意图，这样会浪费服务器资源。

5.4.3 TCP 连接的释放（四报文挥手）

TCP 连接释放采用四报文挥手：

1. **第一次挥手**：客户端发送 FIN=1，seq=u，进入 FIN-WAIT-1 状态
2. **第二次挥手**：服务器发送 ACK=1，seq=v，ack=u+1，进入 CLOSE-WAIT 状态；客户端收到后进入 FIN-WAIT-2 状态
3. **第三次挥手**：服务器发送 FIN=1，ACK=1，seq=w，ack=u+1，进入 LAST-ACK

状态

4. **第四次挥手**：客户端发送 ACK=1，seq=u+1，ack=w+1，进入 TIME-WAIT 状态

服务器收到第四个报文后，进入 CLOSED 状态。

客户端等待 2MSL 后，进入 CLOSED 状态。

5.4.4 TIME-WAIT 状态

客户端在 TIME-WAIT 状态需要等待 2MSL（最长报文段寿命）：

1. 保证最后一个 ACK 报文段能够到达服务器
2. 防止已失效的连接请求报文段出现在本连接中

> 如果服务器没有数据要发送，第 2、3 个报文可以合并，此时就变成了三报文挥手。

5.5 TCP 流量控制与拥塞控制

5.5.1 流量控制

流量控制：控制发送方的发送速率，使接收方来得及接收。

TCP 通过滑动窗口机制实现流量控制。

发送窗口大小 = min(接收方窗口 rwnd, 拥塞窗口 cwnd)

接收方通过窗口字段告知自己的接收窗口大小。

滑动窗口过大可能导致接收方处理不过来。

5.5.2 拥塞控制

拥塞：随着网络负载增加，吞吐量反而降低的现象。

拥塞控制的四个算法：

1. 慢开始
2. 拥塞避免
3. 快重传
4. 快恢复

5.5.3 慢开始

慢开始：拥塞窗口从 1 开始，每经过一个 RTT，拥塞窗口加倍（指数增长）。

当拥塞窗口到达慢开始门限 ssthresh 时，进入拥塞避免阶段。

5.5.4 拥塞避免

拥塞避免：每经过一个 RTT，拥塞窗口加 1（线性增长）。

5.5.5 拥塞时的处理

1. 超时：

- ssthresh = cwnd / 2
- cwnd = 1
- 重新开始慢开始

2. 收到 3 个重复确认（快重传）：

- ssthresh = cwnd / 2
- cwnd = ssthresh
- 进入拥塞避免（快恢复）

5.5.6 快重传与快恢复

快重传：收到 3 个重复确认就立即重传，不必等待超时。

快恢复：快重传后，将拥塞窗口设置为 ssthresh，然后进入拥塞避免阶段。

> 慢开始是指数增长，拥塞避免是线性增长。
> 超时是严重拥塞，处理更激进；收到 3 个重复确认是轻微拥塞，处理较温和。

5.6 本章练习题

5.6.2 填空题

1. 运输层为_____之间提供逻辑通信，网络层为_____之间提供逻辑通信。

答案：应用进程、主机

---

2. 端口号的作用是_____，范围是_____。

答案：区分不同的应用进程、0~65535

---

3. 熟知端口号的范围是_____，登记端口号是_____，客户端口号是_____。

答案：0~1023、1024~49151、49152~65535

---

4. UDP 首部固定长度为_____字节，TCP 首部最小长度为_____字节。

答案：8、20

---

5. TCP 是_____连接的，提供_____传输，面向_____流。

答案：面向、可靠、字节

---

6. TCP 连接建立采用_____报文握手，连接释放采用_____报文挥手。

答案：三、四

---

7. TCP 的发送窗口大小等于_____和_____的最小值。

答案：接收方窗口（rwnd）、拥塞窗口（cwnd）

---

8. TCP 拥塞控制的四个算法是_____、_____、_____和_____。

答案：慢开始、拥塞避免、快重传、快恢复

---

9. 慢开始阶段，拥塞窗口_____增长；拥塞避免阶段，拥塞窗口_____增长。

答案：指数、线性

---

10. TCP 连接释放后，客户端需要等待_____时间才能关闭，原因是_____。

答案：2MSL、保证最后一个 ACK 报文段能够到达服务器，防止已失效的连接请求报文段出现在本连接中

5.6.3 判断题

1. 运输层的复用是指多个应用进程可以使用同一个运输层协议。( )

答案：√

---

2. UDP 是面向连接的，提供可靠传输。( )

答案：×

解析：UDP 是无连接的，不提供可靠传输；TCP 是面向连接的，提供可靠传输。

---

3. UDP 的校验和只检验数据部分，不检验首部。( )

答案：×

解析：UDP 的校验和对伪首部、UDP 首部和应用层数据都进行校验。

---

4. TCP 是点对点的，不支持广播。( )

答案：√

---

5. TCP 的序号字段是本报文段数据载荷的第一个字节的序号。( )

答案：√

---

6. SYN 报文段不携带数据，也不消耗序号。( )

答案：×

解析：SYN 报文段不携带数据但消耗一个序号。

---

7. TCP 连接释放时，如果服务器没有数据要发送，第 2、3 个报文可以合并。( )

答案：√

---

8. 流量控制和拥塞控制是同一个概念，都是控制发送方的发送速率。( )

答案：×

解析：流量控制是为了让接收方来得及接收，拥塞控制是为了防止网络拥塞，二者目的不同。

---

9. 当 TCP 收到 3 个重复确认时，会执行快重传和快恢复。( )

答案：√

---

10. 慢开始的意思是拥塞窗口增长得很慢。( )

答案：×

解析：慢开始是指数增长，增长得很快。"慢"是指一开始拥塞窗口很小，从 1 开始。

5.6.4 简答题

1. 试比较 UDP 和 TCP 的区别。

答案：

（1）连接：UDP 是无连接的；TCP 是面向连接的。

（2）可靠性：UDP 不提供可靠传输；TCP 提供可靠传输。

（3）面向：UDP 是面向报文的；TCP 是面向字节流的。

（4）通信方式：UDP 支持一对一、一对多、多对多；TCP 是点对点的，只支持一对一。

（5）首部开销：UDP 首部固定 8 字节，开销小；TCP 首部最小 20 字节，开销大。

（6）流量控制和拥塞控制：UDP 不提供；TCP 提供。

（7）适用场景：UDP 适合实时应用（如视频、语音）；TCP 适合对可靠性要求高的应用（如文件传输、网页）。

---

2. 简述 TCP 三报文握手建立连接的过程。

答案：

TCP 三报文握手建立连接的过程：

（1）第一次握手：客户端发送 SYN=1，seq=x（初始序号），进入 SYN-SENT 状态。

（2）第二次握手：服务器收到 SYN 报文后，发送 SYN=1，ACK=1，seq=y，ack=x+1，进入 SYN-RCVD 状态。

（3）第三次握手：客户端收到服务器的 SYN+ACK 报文后，发送 ACK=1，seq=x+1，ack=y+1，进入 ESTABLISHED 状态。

服务器收到第三个报文后，也进入 ESTABLISHED 状态，连接建立完成。

---

3. 为什么 TCP 连接建立需要三报文握手，而不是两次?

答案：

主要是为了防止已失效的连接请求报文段突然又传送到了服务器，导致错误。

如果只有两次握手：

（1）客户端发送的第一个连接请求报文段因为网络原因延迟了。

（2）客户端超时重发了一个连接请求，成功建立连接，数据传输完毕后释放了连接。

（3）这时，延迟的那个连接请求报文段到达了服务器。

（4）服务器收到后，以为客户端又要建立连接，于是发送确认报文，建立连接。

（5）但客户端并没有建立连接的意图，不会发送数据，这样就浪费了服务器的资源。

而三报文握手可以避免这个问题，因为服务器发送确认后，客户端还需要再发送一个确认，服务器收到第三个确认后才建立连接。如果是失效的连接请求，客户端不会发送第三个确认，服务器就不会建立连接。

---

4. 简述 TCP 四报文挥手释放连接的过程。

答案：

TCP 四报文挥手释放连接的过程：

（1）第一次挥手：客户端发送 FIN=1，seq=u，进入 FIN-WAIT-1 状态。

（2）第二次挥手：服务器收到 FIN 报文后，发送 ACK=1，seq=v，ack=u+1，进入 CLOSE-WAIT 状态。客户端收到后进入 FIN-WAIT-2 状态。

（3）第三次挥手：服务器发送完数据后，发送 FIN=1，ACK=1，seq=w，ack=u+1，进入 LAST-ACK 状态。

（4）第四次挥手：客户端收到 FIN 报文后，发送 ACK=1，seq=u+1，ack=w+1，进入 TIME-WAIT 状态。

服务器收到第四个报文后，进入 CLOSED 状态。客户端等待 2MSL 后，进入 CLOSED 状态。

---

5. 什么是流量控制？TCP 如何实现流量控制？

答案：

流量控制：控制发送方的发送速率，使接收方来得及接收。

TCP 通过滑动窗口机制实现流量控制：

（1）接收方在发送确认报文时，通过窗口字段告知自己的接收窗口大小（rwnd）。

（2）发送方根据接收方的接收窗口大小来调整自己的发送窗口大小。

（3）发送窗口大小 = min(接收方窗口 rwnd, 拥塞窗口 cwnd)。

（4）如果接收方来不及接收，可以减小窗口字段的值，发送方就会相应地减小发送窗口。

5.6.5 计算题

1. 一个 TCP 连接的慢开始门限 ssthresh 初始值为 16（单位：报文段）。当拥塞窗口上升到 20 时，网络发生了超时。试分别计算第 1 轮、第 5 轮、第 10 轮、第 15 轮、第 20 轮的拥塞窗口大小。

答案：

（1）初始状态：cwnd = 1，ssthresh = 16

（2）慢开始阶段（cwnd < ssthresh）：每经过一个 RTT，cwnd 加倍（指数增长）

第 1 轮：cwnd = 1

第 2 轮：cwnd = 2

第 3 轮：cwnd = 4

第 4 轮：cwnd = 8

第 5 轮：cwnd = 16（到达 ssthresh，进入拥塞避免）

（3）拥塞避免阶段（cwnd >= ssthresh）：每经过一个 RTT，cwnd 加 1（线性增长）

第 6 轮：cwnd = 17

第 7 轮：cwnd = 18

第 8 轮：cwnd = 19

第 9 轮：cwnd = 20

第 10 轮：cwnd = 21（假设第 10 轮时还没超时，继续增长）

（4）当 cwnd 上升到 20 时发生超时：

ssthresh = cwnd / 2 = 20 / 2 = 10

cwnd = 1，重新开始慢开始

（5）超时后重新计算：

第 11 轮：cwnd = 1

第 12 轮：cwnd = 2

第 13 轮：cwnd = 4

第 14 轮：cwnd = 8

第 15 轮：cwnd = 10（到达新的 ssthresh，进入拥塞避免）

第 16 轮：cwnd = 11

第 17 轮：cwnd = 12

第 18 轮：cwnd = 13

第 19 轮：cwnd = 14

第 20 轮：cwnd = 15

所以：

第 1 轮：cwnd = 1

第 5 轮：cwnd = 16

第 10 轮：cwnd = 21（超时前）或 1（超时后，取决于超时发生在第几轮）

（注：题目说"当拥塞窗口上升到 20 时，网络发生了超时"，说明超时发生在 cwnd=20 时，即第 9 轮结束时。那么第 10 轮就是超时后的第一轮，cwnd=1。）

重新计算：

第 1 轮：1

第 2 轮：2

第 3 轮：4

第 4 轮：8

第 5 轮：16

第 6 轮：17

第 7 轮：18

第 8 轮：19

第 9 轮：20（超时）

超时后：ssthresh=10，cwnd=1

第 10 轮：1

第 11 轮：2

第 12 轮：4

第 13 轮：8

第 14 轮：10

第 15 轮：11

第 16 轮：12

第 17 轮：13

第 18 轮：14

第 19 轮：15

第 20 轮：16

最终答案：

第 1 轮：1

第 5 轮：16

第 10 轮：1

第 15 轮：11

第 20 轮：16

---

2. 主机 A 向主机 B 连续发送了两个 TCP 报文段，其序号分别是 70 和 100。试问：

（1）第一个报文段携带了多少字节的数据?

（2）主机 B 收到第一个报文段后，发回的确认中的确认号应当是多少?

（3）如果主机 B 收到第二个报文段后发回的确认中的确认号是 180，试问 A 发送的第二个报文段中的数据有多少字节?

答案：

（1）第一个报文段的数据字节数 = 100 - 70 = 30 字节

（序号字段是本报文段数据载荷的第一个字节的序号，所以第一个报文段的数据是 70~99，共 30 字节）

（2）确认号 = 100

（确认号表示期望收到对方下一个报文段的第一个数据字节的序号，即 100）

（3）第二个报文段的数据字节数 = 180 - 100 = 80 字节

（第二个报文段的序号是 100，确认号是 180，说明第二个报文段的数据是 100~179，共 80 字节）

5.6.1 单选题

1. 运输层的服务对象是（ ）。

A. 主机之间的逻辑通信
B. 进程之间的逻辑通信
C. 应用层协议
D. 网络层协议

答案：B

解析：网络层提供主机之间的逻辑通信，运输层提供进程之间的逻辑通信。

---

2. 熟知端口号的范围是（ ）。

A. 0 ~ 1023
B. 1024 ~ 49151
C. 49152 ~ 65535
D. 0 ~ 65535

答案：A

解析：熟知端口号（系统端口号）范围是 0 ~ 1023，登记端口号是 1024 ~ 49151，客户端口号是 49152 ~ 65535。

---

3. UDP 首部的长度是（ ）。

A. 4 字节
B. 8 字节
C. 20 字节
D. 60 字节

答案：B

解析：UDP 首部固定 8 字节；TCP 首部最小 20 字节，最大 60 字节。

---

4. 下列关于 TCP 的说法，错误的是（ ）。

A. TCP 是面向连接的
B. TCP 提供可靠传输
C. TCP 支持广播
D. TCP 是面向字节流的

答案：C

解析：TCP 是点对点的，不支持广播；UDP 支持广播和多播。

---

5. TCP 三报文握手中，第二次握手的标志位是（ ）。

A. SYN=1
B. ACK=1
C. SYN=1, ACK=1
D. FIN=1, ACK=1

答案：C

解析：第二次握手时，服务器发送 SYN=1 和 ACK=1，既确认客户端的 SYN，也发送自己的 SYN。

---

6. TCP 的发送窗口大小等于（ ）。

A. 接收方窗口
B. 拥塞窗口
C. min(接收方窗口, 拥塞窗口)
D. max(接收方窗口, 拥塞窗口)

答案：C

解析：发送窗口大小 = min(接收方窗口 rwnd, 拥塞窗口 cwnd)。

---

7. 慢开始阶段，拥塞窗口的增长方式是（ ）。

A. 线性增长
B. 指数增长
C. 不变
D. 随机增长

答案：B

解析：慢开始阶段，每经过一个 RTT，拥塞窗口加倍，是指数增长；拥塞避免阶段是线性增长。

---

8. 当 TCP 收到 3 个重复确认时，会执行（ ）。

A. 慢开始
B. 拥塞避免
C. 快重传和快恢复
D. 超时重传

答案：C

解析：收到 3 个重复确认时，执行快重传（立即重传）和快恢复（cwnd=ssthresh，进入拥塞避免）。

第 6 章 应用层

6.1 应用层基本概念

应用层：是 OSI 模型的最高层，直接为用户的应用进程提供服务。

应用层的任务是通过应用进程间的交互来完成特定的网络应用。

应用层协议定义了应用进程之间通信和交互的规则。

6.1.1 应用层的主要协议

- **DNS**：域名系统，将域名转换为 IP 地址
- **FTP**：文件传输协议，用于文件传输
- **HTTP**：超文本传输协议，用于万维网
- **SMTP**：简单邮件传输协议，用于发送邮件
- **POP3**：邮局协议版本 3，用于接收邮件
- **IMAP**：网际报文存取协议，用于接收邮件
- **DHCP**：动态主机配置协议，用于自动分配 IP 地址
- **Telnet**：远程登录协议

6.1.2 客户-服务器方式（C/S）

应用层的许多协议都是基于客户-服务器方式。

- **客户**：请求服务的一方
- **服务器**：提供服务的一方

6.2 域名系统（DNS）

DNS（域名系统）：提供域名到 IP 地址的转换服务。

6.2.1 域名

域名是层次化的，由多个标号组成，标号之间用点隔开。

例如：www.example.com

- 顶级域名：com
- 二级域名：example
- 三级域名：www

6.2.2 顶级域名分类

- **国家顶级域名**：如 cn（中国）、us（美国）、uk（英国）
- **通用顶级域名**：如 com（公司企业）、net（网络服务机构）、org（非营利组织）、

edu（教育机构）、gov（政府部门）

6.2.3 DNS 的工作原理

DNS 采用递归查询和迭代查询相结合的方式：

1. 主机向本地域名服务器查询（递归查询）
2. 本地域名服务器向根域名服务器查询（迭代查询）
3. 根域名服务器告诉本地域名服务器下一步应该查询哪个顶级域名服务器
4. 本地域名服务器继续查询，直到找到对应的 IP 地址

6.2.4 DNS 缓存

为了提高查询效率，域名服务器和主机都会缓存域名到 IP 地址的映射。

6.3 文件传输协议（FTP）

FTP（文件传输协议）：用于在网络上传输文件。

6.3.1 FTP 的工作原理

FTP 使用两个并行的 TCP 连接：

- **控制连接**：端口 21，用于传输控制信息（如命令），在整个会话期间一直保持打开
- **数据连接**：端口 20，用于传输数据，每次文件传输时建立，传输完后释放

6.3.2 FTP 的工作模式

- **主动模式（PORT）**：服务器主动连接客户端的数据端口
- **被动模式（PASV）**：客户端主动连接服务器的数据端口

6.4 万维网（WWW）与 HTTP 协议

6.4.1 万维网的基本概念

万维网（WWW）：是一个大规模的、联机式的信息储藏所。

万维网以客户-服务器方式工作。

6.4.2 统一资源定位符（URL）

URL：用于标识因特网上资源的位置。

格式：<协议>://<主机>:<端口>/<路径>

例如：https://www.example.com:443/index.html

6.4.3 超文本传输协议（HTTP）

HTTP：是万维网的应用层协议，定义了浏览器怎样向万维网服务器请求万维网文档，以及服务器怎样把文档传送给浏览器。

6.4.4 HTTP 的特点

- HTTP 是面向事务的应用层协议
- HTTP 使用 TCP 作为运输层协议
- HTTP 是无状态的，服务器不记录客户的状态
- HTTP/1.0 使用非持续连接，HTTP/1.1 默认使用持续连接

6.4.5 HTTP 的报文

HTTP 报文分为两类：

- **请求报文**：从客户向服务器发送请求
- **响应报文**：从服务器到客户的回答

6.4.6 HTTP 的方法

- **GET**：请求读取由 URL 所标志的信息
- **POST**：给服务器添加信息
- **HEAD**：请求读取由 URL 所标志的信息的首部
- **PUT**：在指明的 URL 下存储一个文档
- **DELETE**：删除指明的 URL 所标志的资源

6.4.7 HTTP 状态码

- **2xx**：成功，如 200 OK
- **3xx**：重定向，如 301 Moved Permanently
- **4xx**：客户差错，如 404 Not Found
- **5xx**：服务器差错，如 500 Internal Server Error

6.5 电子邮件

6.5.1 电子邮件系统的组成

电子邮件系统由三个主要组成部分：

1. **用户代理**：用户与电子邮件系统的接口，如 Outlook、Foxmail
2. **邮件服务器**：发送和接收邮件
3. **邮件协议**：如 SMTP、POP3、IMAP

6.5.2 简单邮件传输协议（SMTP）

SMTP：用于发送邮件，使用 TCP 端口 25。

SMTP 规定了在两个相互通信的 SMTP 进程之间应如何交换信息。

6.5.3 邮局协议版本 3（POP3）

POP3：用于接收邮件，使用 TCP 端口 110。

POP3 是一个非常简单、但功能有限的邮件读取协议。

6.5.4 网际报文存取协议（IMAP）

IMAP：用于接收邮件，比 POP3 功能更强。

IMAP 是一个联机协议，用户可以在自己的计算机上操纵服务器上的邮箱。

6.5.5 邮件格式

电子邮件由信封和内容两部分组成。

邮件内容又分为首部和主体。

邮件首部包含：To、From、Subject、Date 等字段。

6.6 动态主机配置协议（DHCP）

DHCP：用于给主机自动分配 IP 地址等配置信息。

6.6.1 DHCP 的工作过程

1. **发现阶段**：DHCP 客户端广播发送 DHCP Discover 报文
2. **提供阶段**：DHCP 服务器单播发送 DHCP Offer 报文
3. **请求阶段**：DHCP 客户端广播发送 DHCP Request 报文
4. **确认阶段**：DHCP 服务器单播发送 DHCP Ack 报文

6.6.2 DHCP 的特点

- DHCP 使用客户-服务器方式
- DHCP 服务器端口号为 67，客户端端口号为 68
- DHCP 分配的 IP 地址是临时的，有租用期

6.7 本章练习题

6.7.1 单选题

1. 域名系统 DNS 的作用是（ ）。

A. 将 IP 地址转换为域名
B. 将域名转换为 IP 地址
C. 将 MAC 地址转换为 IP 地址
D. 将 IP 地址转换为 MAC 地址

答案：B

解析：DNS（域名系统）用于将域名转换为 IP 地址；ARP 用于将 IP 地址转换为 MAC 地址。

---

2. FTP 使用的两个端口号是（ ）。

A. 20 和 21
B. 23 和 24
C. 25 和 26
D. 80 和 81

答案：A

解析：FTP 使用端口 21 作为控制连接，端口 20 作为数据连接。

---

3. HTTP 协议默认使用的端口号是（ ）。

A. 21
B. 25
C. 80
D. 110

答案：C

解析：HTTP 默认端口 80，HTTPS 默认端口 443，FTP 默认端口 21，SMTP 默认端口 25，POP3 默认端口 110。

4. 下列协议中，用于发送电子邮件的是（ ）。

A. POP3
B. SMTP
C. IMAP
D. HTTP

答案：B

解析：SMTP 用于发送邮件；POP3 和 IMAP 用于接收邮件；HTTP 用于万维网。

---

5. HTTP 协议是（ ）。

A. 面向连接的
B. 无状态的
C. 可靠的
D. 面向字节流的

答案：B

解析：HTTP 是无状态的，服务器不记录客户的状态。

---

6. DHCP 协议的作用是（ ）。

A. 域名解析
B. 文件传输
C. 自动分配 IP 地址
D. 远程登录

答案：C

解析：DHCP（动态主机配置协议）用于给主机自动分配 IP 地址等配置信息。

---

7. 下列顶级域名中，表示教育机构的是（ ）。

A. com
B. org
C. edu
D. gov

答案：C

解析：com 表示公司企业，org 表示非营利组织，edu 表示教育机构，gov 表示政府部门。

8. HTTP 状态码 404 表示（ ）。

A. 请求成功
B. 重定向
C. 请求的资源不存在
D. 服务器内部错误

答案：C

解析：2xx 表示成功，3xx 表示重定向，4xx 表示客户差错（如 404 Not Found），5xx 表示服务器差错。

6.7.2 填空题

1. 域名系统 DNS 的作用是将_____转换为_____。

答案：域名、IP 地址

2. FTP 使用两个并行的 TCP 连接，分别是_____和_____，对应的端口号是_____和_____。

答案：控制连接、数据连接、21、20

3. HTTP 协议默认使用的端口号是_____，HTTPS 默认使用的端口号是_____。

答案：80、443

4. 电子邮件系统由_____、_____和_____三部分组成。

答案：用户代理、邮件服务器、邮件协议

5. SMTP 用于_____邮件，POP3 用于_____邮件。

答案：发送、接收

6.7.3 判断题

1. DNS 采用递归查询和迭代查询相结合的方式。（ ）

答案：√

2. FTP 的控制连接在整个会话期间一直保持打开，数据连接每次文件传输时建立，传输完后释放。( )

答案：√

---

3. HTTP 是有状态的协议，服务器会记录客户的状态。( )

答案：×

解析：HTTP 是无状态的，服务器不记录客户的状态。

---

4. HTTP/1.1 默认使用持续连接。( )

答案：√

---

5. DHCP 协议可以自动分配 IP 地址，分配的 IP 地址是永久的。( )

答案：×

解析：DHCP 分配的 IP 地址是临时的，有租用期。