

# 《计算机网络》课后习题参考解答

## 第一章 概述

2. The performance of a client-server system is strongly influenced by two major network characteristics: the bandwidth of the network (that is, how many bits/sec it can transport) and the latency (that is, how many seconds it takes for the first bit to get from the client to the server). Give an example of a network that exhibits high bandwidth but also high latency. Then give an example of one that has both low bandwidth and low latency.

习题 2. 有两个主要网络特性对客户-服务器系统的性能有很大影响：网络的带宽和时延。举一个高带宽高时延的网络示例；再举一个低带宽和低时延的例子。

解题思路：本题考查对于重要的网络性能指标：带宽和时延的理解

答：高带宽高时延的一个例子是横跨大陆的光纤连接，其带宽可达数千兆 bps，但是因为传输距离要达数千公里，时延也高。另外，卫星通信也是高带宽高时延。低带宽和低时延的一个例子是使用双绞线相连的 LAN，带宽是 10Mbps，时延却可以忽略不计。

3. Besides bandwidth and latency, what other parameter is needed to give a good characterization of the quality of service offered by a network used for (i) digitized voice traffic? (ii) video traffic? (iii) financial transaction traffic?

习题 3. 除了带宽和时延，要描述下列业务网络的 QoS 还需要什么参数：（1）数字化语音业务（2）视频业务（3）金融事务业务？

解题思路：QoS 包含的参数是带宽、时延与时延抖动、误码率。本题考查对于除带宽和时延之外的其它网络性能指标的理解

答：（1）数字化语音业务还需要考虑时延抖动（jitter）

（2）视频业务也需要考虑时延抖动

（3）对于金融事务业务，可靠性非常重要，因此需要考虑误码率。另外，对于金融业务安全性也是特别重要的一个性质，但是安全性严格意义上不属于 QoS 的指标。

9. A disadvantage of a broadcast subnet is the capacity wasted when multiple hosts attempt to access the channel at the same time. As a simplistic example, suppose that time is divided into discrete slots, with each of the  $n$  hosts attempting to use the channel with probability  $p$  during each slot. What fraction of the slots will be wasted due to collisions?

习题 9. 广播子网的一个缺点是当多个主机同时访问信道时会浪费带宽。例如，假定将信道按时间分成多个离散的时隙，每个时隙中， $n$  个主机中的每个主机以概率  $p$  访问信道。求由于冲突而浪费时隙的比例？

解题思路：本题考查对于信道冲突的理解（信道冲突：两个或两个以上的主机在一个时隙内访问信道）和简单的冲突概率计算。这个结论将用于 MAC 子层的学习中。

答：当只有一台主机访问信道时，时隙不会被浪费，其概率为  $p_1 = n \times p \times (1-p)^{n-1}$

当没有主机访问占用信道时，此时信道空闲，其概率为  $p_2 = (1-p)^n$

其它的情况为发生了冲突，因此冲突的概率为  $1-p_1-p_2$

所以因为冲突而被浪费的时隙的比例应该为  $1-p_1-p_2 = 1-n \times p \times (1-p)^{n-1} - (1-p)^n$

10. What are two reasons for using layered protocols? What is one possible disadvantage of using layered protocols?

习题 10. 使用分层协议的两点原因是什么？分层协议的一个可能缺点是什么？

解题思路：本题考查对于网络体系结构采用分层方法的理解。

答：使用分层协议的其中两点主要好处如下：

(1) 简化网络的设计和实现的难度。(2) 各层之间的依赖性较低，只要不改变服务和接口，各层内部进行修改不会影响其它层。

一个可能的缺点是：由于各层都要加上控制信息和处理的开销，性能比不分层的系统要差。

11. What is the principle difference between connectionless communication and connection-oriented communication? Give one example of a protocol that uses

1) connectionless communication 2) connection-oriented communication.

习题 11. 无连接通信和面向连接通信的主要区别是什么？分别给出使用无连接通信的一个协议示例和使用面向连接通信的一个协议示例。

解题思路：本题考查对于网络体系结构中的两个重要概念——面向连接服务和无连接服务的理解。

答：面向连接通信和无连接通信主要有以下三点区别：通信双方是否需要预先建立连接、能够保证数据传输的可靠性、通信过程中是否需要完整的目的地址等。

UDP 是无连接通信的协议示例，而 TCP 则是面向连接通信的协议示例。

16. Which of the OSI layers and TCP/IP layers handles each of the following:

1) Dividing the transmitted bit stream into frames

2) Determining which route through the subnet to use.

习题 16. OSI 参考模型和 TCP/IP 协议栈的哪一层分别完成下列功能？

(a) 把传输的比特流分成帧

(b) 确定使用哪条路由来通过子网

解题思路：本题目考查对于 OSI 参考模型和 TCP/IP 协议栈各层功能的理解。这些概念是网络分层体系结构的重点。

答：(a) OSI：数据链路层 TCP/IP：链路层

(b) OSI：网络层 TCP/IP：网际层

17. If the unit exchanged at the data link level is called a frame and the unit exchanged at the network level is called a packet, do frames encapsulate packets or do

packets encapsulate frames? Explain your answer.

习题 17. 如果数据链路层交换的单元称为帧，而网络层交换的单元称为分组，是帧封装了分组还是分组封装了帧？请解释。

解题思路：本题考查对于封装概念的理解，封装指的是某层的协议实体在其上层的 PDU 之前加上头部（数据链路层在上层 PDU 之后还会加上尾部），构成本层的 PDU。一层协议的功能就是靠其 PDU 的头部（和尾部）内的控制信息来提供的。

答：是帧封装了分组（包）。因为网络层在数据链路层的上层，在分组向下传输的过程中，数据链路层在分组之前加上帧头，在分组之后加上帧尾，这就是封装。

18. A system has an  $n$ -layer protocol hierarchy. Applications generate messages of length  $M$  bytes. At each of the layers, an  $h$ -byte header is added. What fraction of the network bandwidth is filled with headers?

习题 18. 一个系统具有  $n$  层协议体系。应用产生了一个长度为  $M$  字节的报文。在每一层，都会增加一个  $h$  字节的首部。首部所占网络带宽的比率是多少？

解题思路：本题考查对于封装的简单计算。要注意题目中是指应用产生了  $M$  字节的报文，而不是应用层，因此  $n$  层中的每一层都增加  $h$  字节的首部。

答：  $n$  层协议中，每一层都增加  $h$  字节首部，因此首部总长度为  $nh$  字节，所占带宽的比率为  $nh/(M + nh)$ 。

30. Suppose there is a change in the service (set of operations) provided by layer  $k$ . How does this impact services at layers  $k-1$  and  $k+1$ ?

习题 30. 假定  $k$  层提供的服务发生变化，对于  $(k-1)$  层和  $(k+1)$  层的服务有何影响？

解题思路：本题考查网络体系结构中相邻两层的关系。

答：  $k$  层服务的变化会导致  $(k+1)$  层的服务随之改变，对于  $(k-1)$  层的服务则没有影响。

## 第二章 物理层

2. A noiseless 8-kHz channel is sampled every 1 msec. What is the maximum data rate?

习题 2. 一个 8kHz 的无噪声信道每毫秒采样 1 次，最大数据率是多少？

解题思路：本题考查对于采样概念和奈奎斯特公式的理解。

答：根据奈奎斯特公式，带宽固定，采样频率固定，最大数据率将取决于电平级数  $L$ 。每秒采样 1000 次，信号速率就是 1000 波特。若每次采样产生 16 位数据，则最大数据率为 16kbps；若每次采样产生 1024 位，则最大数据率约为 1.024Mbps。

3. If a binary signal is sent over a 3-kHz channel whose signal-to-noise ratio is 20 dB, what is the maximum achievable data rate?

习题 3. 在信噪比为 20dB 的 3kHz 信道上发送二进制信号，最大数据率是多少？

解题思路：本题考查对于两个最大数据率公式——奈奎斯特公式和香农公式的理解。

答：按照香农公式， $S/N=100$ ，可计算出最大数据率是 19.975kbps，即数据率的上限。不能采用何种调制技术，最大数据率都不会超过这个上限。  
而按照奈奎斯特公式，可计算出最大数据率为 6kbps。  
因此，最大数据率为 6 kbps。

4. What signal-to-noise ratio is needed to put a T1 carrier with data rate 1.544Mbps on a 100-kHz line?

习题 4. 要使用多大的信噪比才能在 100kHz 的线路上传输 T1 信号？

解题思路：本题考查对于香农公式的使用。

答：根据香农公式，有  $H \times \log_2(1 + S/N) = 1.544 \times 10^6$ ，其中  $H = 100000$

可算出  $S/N = 2^{15}-1$ ，即大约 46 dB。

7. It is desired to send a sequence of computer screen images over an optical fiber. The screen is  $1920 \times 1200$  pixels, each pixel being 24 bits. There are 50 screen images per second. How much bandwidth is needed?

习题 7. 现要在光纤上传输一系列计算机屏幕的图像，屏幕是  $1920 \times 1200$  像素，每个像素有 24 位，每秒钟产生 50 屏图像，试求需要多少带宽？

解题思路：本题目考查对于大数据量应用的高带宽要求的理解。应根据像素计算出一屏图像的数据量，再根据单位时间内产生的图像数计算出带宽要求。

答：所需要的带宽 =  $1920 \times 1200 \times 24 \times 50 = 2.765$  Gbps。

8. Is the Nyquist theorem true for high-quality single-mode optical fiber or only for copper wire?

习题 8. 奈奎斯特定理只适合铜线，还是同样适用于高质量单模光纤？

解题思路：本题考查对于奈奎斯特定理的理解。

答：奈奎斯特定理是一个数学性质，和具体技术无关。其含义是：如果一个函数的傅里叶频谱不包含频率在  $f$  之上的正弦和余弦分量，以频率  $2f$  对该函数采样，就可以获得全部信息。在实际应用中，奈奎斯特用于计算在模拟信道上承载数字数据的最大数据率。因此，奈奎斯特定理适用于任何传输媒体。

21. A modem constellation diagram similar to Fig. 2-23 has data points at (0, 1) and (0, 2). Does the modem use phase modulation or amplitude modulation?

习题 21. 一个 MODEM 的星座图类似图 2-23，数据点在 (0, 1) and (0, 2)。该 MODEM 使用的是相位调制还是振幅调制？

解题思路：本题考查对于调幅、调频和调相等基本调制技术的理解。

答：数据点的相位一直是 0，而使用了两个不同的振幅，因此这是振幅调制。

24. An ADSL system using DMT allocates 3/4 of the available data channels to the down-stream link. It uses QAM-64 modulation on each channel. What is the capacity of the downstream link?

习题 24. 一个 ADSL 系统使用 DMT 将 3/4 的可用数据信道分配给下行链路。在每个信道上是使用 QAM64 调制。下行链路的总容量是多少？

解题思路：本题考查对于 ADSL 采用 FDM 技术和 QAM 调制技术的理解。

答：ADSL 有 256 个子信道，其中 6 个用于电话，2 个用于控制，还剩下 248 个数据信道，每个子信道为 4000 波特。

下行信道的数据率为： $248 \times 3/4 \times 4000 \times \log_2 64 = 4.464 \text{ Mbps}$

25. Ten signals, each requiring 4000 Hz, are multiplexed onto a single channel using FDM. What is the minimum bandwidth required for the multiplexed channel? Assume that the guard bands are 400 Hz wide.

习题 25. 带宽为 4000Hz 的 10 个信号使用 FDM 复用到一条信道上，假定保护带为 400Hz，复用信道最少需要多大的带宽？

解题思路：本题考查对于 FDM 技术的理解。

答：10 个信道复用在一起需要 9 个保护带，因此至少需要的总带宽为

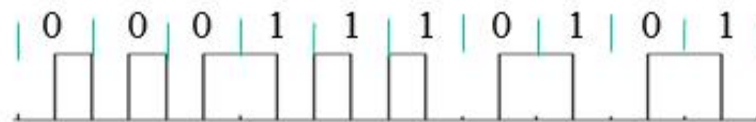
$$4000 \times 10 + 400 \times 9 = 43600 \text{ Hz}$$

4-14. Sketch the Manchester encoding on a classic Ethernet for the bit stream 0001110101.

4-14. 画出位流 0001110101 的曼彻斯特编码。

解题思路：此题考查对于曼彻斯特编码原理的掌握。

答：假设按照书上的规定，码元中间的上跳变表示 0，下跳变表示 1。



注意：这道题必须要画图，答 LHLH...是错误的。

26. Why has the PCM sampling time been set at 125  $\mu\text{sec}$ ?

习题 26. PCM 的采样时间为什么设置为 125 $\mu\text{s}$ ?

解题思路：本题考查对于 PCM 采样周期的理解。

答：语音信道的带宽为 4000Hz，按照奈奎斯特定理，采样频率应该为带宽的两倍，即每秒采样 8000 次，每 125 $\mu\text{s}$  采样一次。

28. Compare the maximum data rate of a noiseless 4-kHz channel using

(a) Analog encoding (e.g., QPSK) with 2 bits per sample.

(b) The T1 PCM system.

习题 28. 一条 4kHz 的无噪声信道使用下列技术得到的最大数据率分别是多少？

a) 每个采样点用 2 比特表示的模拟编码，如 QPSK

b) T1 PCM 系统

解题思路：本题考查对于多级调制技术和 PCM 系统的 TDM 技术的理解。QPSK 是用 4 个不同

相位来表示二进制数据，每个相位点可以表示两位数据。PCM 系统采用同步 TDM 技术，复用帧中的一个时隙承载一路话音数据。

答：使用 QPSK 的最大数据率是： $2 \times 4k \times 2 = 16\text{kbps}$

而采用 T1，复用帧中的每个时隙有 7 位数据位，其数据率为： $2 \times 4k \times 7 = 56\text{kbps}$

36, Compare the delay in sending an  $x\text{-bit}$  message over a  $k\text{-hop}$  path in a circuit-switched network and in a (lightly loaded) packet-switched network. The circuit setup time is  $s$  sec, the propagation delay is  $d$  sec per hop, the packet size is  $p$  bits, and the data rate is  $b$  bps. Under what conditions does the packet network have a lower delay? Also, explain the conditions under which a packet-switched network is preferable to a circuit switched network.

习题 36. 要在  $k$  跳路径上发送一个  $x$  比特的报文，请比较采用电路交换方式和采用分组交换方式（轻载）的时延。电路建立的时间  $s$  秒，传播时延是每跳  $d$  秒，分组大小是  $p$  比特，数据率是  $b$  比特/秒。什么情况下，分组交换网络的时延较低？并解释在什么条件下，分组交换网络优于电路交换网络？

解题思路：本题考查对于电路交换和分组交换的原理的理解，以及时延的计算和比较。在时延的计算中，由于采用相同的拓扑，两种方式的传播时延是一样的。电路交换需要考虑建立连接和释放连接。分组交换则需要将报文分成多个分组来发送。

答：采用电路交换的时延 =  $S + \frac{x}{b} + kd$

采用分组交换的时延 =  $\left\lceil \frac{x}{p} \right\rceil \times \frac{p}{b} + (k-1) \times \frac{p}{b} + kd$

假定  $x$  能被  $p$  整除，分组交换的时延 =  $\frac{x}{b} + (k-1) \frac{p}{b} + kd$

要使分组交换的时延更小，有  $S > (k-1) \frac{p}{b}$ ，即  $p < \frac{Sb}{(k-1)}$

37. Suppose that  $x$  bits of user data are to be transmitted over a  $k\text{-hop}$  path in a packet switched network as a series of packets, each containing  $p$  data bits and  $h$  header bits, with  $x \gg p + h$ . The bit rate of the lines is  $b$  bps and the propagation delay is negligible.

What value of  $p$  minimizes the total delay?

习题 37. 现有  $x$  比特用户数据，要在分组交换网络中一个  $k$  跳的路径上分成多个分组传输，每个分组包含  $p$  比特数据和  $h$  比特包头，假定  $x \gg (p+h)$ ；线路数据率是  $b$  比特/秒，忽略传播时延。 $p$  如何取值才能使总时延最小？

解题思路：本题考查对于电路交换和分组交换的原理的理解，以及时延的计算和比较。

答：忽略传播时延，总时延 =  $\frac{x}{p} \times \frac{p+h}{b} + (k-1) \frac{p+h}{b}$



对上式求导，并令导数为 0，可求出总时延最小时， $p = \sqrt{\frac{hx}{k-1}}$

#### 补充题一：

在网络中截获了一串数据，用十六进制表示为：06 7E 25 7D 5E 16 7D 5D 7E A8 FF，其中包含一个完整的 PPP 帧，请以十六进制写出该 PPP 帧的内容（不包含首尾标志）。

解题思路：本题考查 PPP 采用的字节填充原理。在 PPP 中，转义字符为 0x7D，数据中若出现 0x7E，则变为 0x7D 0x5E；出现 0x7D，则变为 0x7D 0x5D。

答：PPP 帧的帧头、帧尾都是 7E，因此完整的传输帧是 7E 25 7D 5E 16 7D 5D 7E

去掉帧头帧尾和填充字节，即 7D 5E 变为 7E，7D 5D 变为 7D，帧中的内容是：25 7E 16 7D。

### 第三章 数据链路层

1. An upper-layer packet is split into 10 frames, each of which has an 80% chance of arriving undamaged. If no error control is done by the data link protocol, how many times must the message be sent on average to get the entire thing through?

习题 1. 一个上层分组（数据包）被分为 10 帧，每帧有 80% 可能无损到达。如果在数据链路层没有差错控制，该报文要平均传送多少次才能正确交付？

解题思路：本题目和第一章的习题 15 类似，考查已知出错概率的前提下，如何计算平均发送次数。

答：一次发送成功的概率为  $0.8^{10} = 0.107$

两次发送成功的概率为  $(1-0.107) \times 0.107$

三次发送成功的概率为  $(1-0.107)^2 \times 0.107$

由此类推 k 次发送成功的概率为： $(1-0.107)^{k-1} \times 0.107$

发送次数的平均值 =  $\sum_{k=1}^{\infty} k \times (1 - 0.107)^{k-1} \times 0.107 = 9.3$

2. The following data fragment occurs in the middle of a data stream for which the byte stuffing algorithm described in the text is used: A B ESC C ESC FLAG FLAG D. What is the output after stuffing?

习题 2. 在一个数据流中有下列数据片段：A B ESC C ESC FLAG FLAG D，使用字节填充方法，填充之后的结果是什么？

解题思路：本题考查对于字节填充原理的理解。字节填充成帧方式采用固定的字符表示帧的开始和结束，如果数据中出现帧首尾字符，则在前面增加转义字符来区分，以实现透明传输。

答：经过填充之后的字节串是：A B ESC ESC C ESC ESC ESC FLAG ESC FLAG D，其中红色的为填充的转义字符。

3. When bit stuffing is used, is it possible for the loss, insertion, or modification of a

single bit to cause an error not detected by the checksum? If not, why not? If so, how? Does the checksum length play a role here?

习题 3. 字节填充算法里最大的开销是多少?

解题思路: 本题考查对于字节填充算法中透明传输方法的理解。如果数据中出现帧首尾字符或者转义字符, 则在前面增加转义字符来区分。

答: 如果数据部分只有 FLAG 和 ESC 字符, 则经过填充之后, 原数据字符数和转义字符个数相同, 因此开销=转义字符数/数据字符数=100%

6. To provide more reliability than a single parity bit can give, an error-detecting coding scheme uses one parity bit for checking all the odd-numbered bits and a second parity bit for all the even-numbered bits. What is the Hamming distance of this code?

习题 6. 为增强单比特校验的可靠性, 一个差错检测编码使用一个校验位来检查所有奇数位, 使用第二个校验位来检查所有偶数位。此编码的汉明距离是多少?

解题思路: 本题考查对于汉明距离的理解。

答: 没有校验位时, 编码的汉明距离是 1, 增加了校验位之后, 编码的汉明距离是 2。

7. An 8-bit byte with binary value 10101111 is to be encoded using an even-parity Hamming code. What is the binary value after encoding?

习题 7. 求使用偶校验汉明码对一个八位字节 10101111 校验之后的二进制位串。

解题思路: 本题考查对于汉明码的校验原理的理解。

答: 按照汉明码的原则, 增加了校验位之后, 位串应该是  $p_1p_21p_3010p_41111$ , 从左至右其位序号分别为 1-12, 其中  $p_1, p_2, p_3, p_4$  为校验位。

$p_1$  对第 3、5、7、9、11 位进行偶校验, 可求出  $p_1=1$

$p_2$  对第 3、6、7、10、11 位进行偶校验, 可求出  $p_2=0$

$p_3$  对第 5、6、7、12 位进行偶校验, 可求出  $p_3=0$

$p_4$  对第 9、10、11、12 位进行偶校验, 可求出  $p_4=0$

因此增加了校验位之后的位串是: 1010 0100 1111

9. One way of detecting errors is to transmit data as a block of  $n$  rows of  $k$  bits per row and add parity bits to each row and each column. The bit in the lower-right corner is a parity bit that checks its row and its column. Will this scheme detect all single errors? Double errors? Triple errors? Show that this scheme cannot detect some four-bit errors.

习题 9. 一种检测差错的方法是把数据分成  $n$  行  $k$  列的数据块来传输, 每行一个校验位, 每列一个校验位, 右下角的校验位对其所在行和列进行校验。这种方法可以检查出所有单比特差错吗? 能检查出所有双比特差错吗? 三比特差错呢? 证明这种方法不能检查出某些四比特差错。

解题思路: 本题考查对于行列同时校验方法的原理的理解。

答: 这种方法可以检查出所有单比特差错, 一个单比特差错将导致其所在的行和列都出现校



验错误。也可以检查出所有双比特差错，即使出错的两个比特在同一行或者同一列，也能查出。对于 3 比特差错，如果一个数据位错，其对应的行列校验位均错，则无法检测出差错。对于 4 比特差错，如果出错的四个点正好位于矩形的 4 个顶点，则无法检查出差错。

11. Suppose that data are transmitted in blocks of sizes 1000 bits. What is the maximum error rate under which error detection and retransmission mechanism (1 parity bit per block) is better than using Hamming code? Assume that bit errors are independent of one another and no bit error occurs during retransmission.

习题 11. 假定数据以 1000 比特成块发送，可能发生 1 比特差错，出错的概率是独立的且重传不出错。误码率为多少时，采用奇偶校验检错并重传的方法要好于汉明码直接纠错？

解题思路：本题考查对于两种差错控制方法：汉明码直接纠错和只检错重传纠错的开销的理解。在误码率比较高时，根据汉明码校验位长度的不等式，可以算出汉明码的开销；

答：根据不等式  $m + r + 1 \leq 2^r$ ，可以算出 1000 位数据，汉明码需要 10 位校验位，即一共传输 1010 位；而采用奇偶校验并重传的方法，需要 1 位校验位，出错时重传 1001 位。

假设每位出错的概率为  $p$ ，采用检错重传一共传输  $1001 + 1000p \times 1001$  位

$1001 + 1000p \times 1001 < 1010$ ，解出  $p < 8.99 \times 10^{-6}$

14. What is the remainder obtained by dividing  $x^7 + x^5 + 1$  by the generator polynomial  $x^3 + 1$ ?

习题 14. 用生成多项式  $x^3+1$  除  $x^7+x^5+1$  的余数是多少？

解题思路：本题考查对于重要的校验技术——CRC 校验原理的理解和计算。

答：首先把被除数和生成多项式的系统都写成二进制位串，被除数为 10100001，生成多项式为 1001。然后用模 2 除法（对应位进行异或，不进位也不借位），求出余数为 111，其对应的多项式为  $x^2+x+1$ 。

15. A bit stream 10011101 is transmitted using the standard CRC method described in the text. The generator polynomial is  $x^3 + 1$ . Show the actual bit string transmitted. Suppose that the third bit from the left is inverted during transmission. Show that this error is detected at the receiver's end. Give an example of bit errors in the bit string transmitted that will not be detected by the receiver.

习题 15. 位流 10011101 使用教材中描述的标准 CRC 方法来进行校验。生成多项式是  $x^3+1$ 。写出实际传输的位串。假定在传输中第三位被反转，证明在接收方能检测出差错。举例说明接收方不能检测出位差错的情形。

解题思路：本题考查对于重要的校验技术——CRC 校验原理的理解和计算。

答：生成多项式的最高阶为 3，因此先在待校验的位串之后增加 3 个 0，即 1001 1101 000；然后以此位串为被除数，生成多项式的位串（1001）为除数采用模 2 除法进行计算，求出余数为 100。（注意，对于接收方检错，由于校验字段已经包含在收到的位串中，一定不能在位串之后再添加  $r$  个 0）

实际传输位串为：1001 1101 100

第三位反转之后的出错位串为：1011 1101 100

用 1011 1101 100 除以 1001，得到余数 100，余数不为 0 说明该位串有错，因此可以检测出错误。

如果发生在左数第三位与第九位均发生了反转错误，即收到的位串为 1011 1101 000，此时

校验的结果为 0，即接收方无法检测出错误。

16. Data link protocols almost always put the CRC in a trailer rather than in a header. Why?

习题 16. 数据链路层协议总是把 CRC 放在帧尾而不是帧头，为什么？

解题思路：本题目考查对于数据链路层采用硬件实现 CRC 原理的理解。

答：如果把 CRC 放在帧头，那么在发送前要把整个帧扫描一遍来计算 CRC，然后再从帧头开始发送，这样每一位都要处理两次，比较浪费时间。

把 CRC 放在帧尾，边发送边计算校验位，可以一次完成，效率较高。

17. In the discussion of ARQ protocol in Section 3.3.3, a scenario was outlined that resulted in the receiver accepting two copies of the same frame due to a loss of acknowledgement frame. Is it possible that a receiver may accept multiple copies of the same frame when none of the frames (message or acknowledgement) are lost?

习题 17. 在 3.3.3 节讨论的 ARQ 协议中，概述了一种情况：由于 ACK 帧丢失，对每一帧接收方都收到两次。如果数据帧和 ACK 都不丢失，接收方是否有可能收到重复的帧？

解题思路：本题考查对于 ARQ 协议中出现重复帧情形的理解。

答：有可能。例如，某一帧已正确到达，但接收方因为 CPU 忙、处理速度慢等原因而推迟了 ACK 的发送，结果导致发送方的重发定时器超时，重发数据帧。此时，接收方将收到重复帧。

18. A channel has a bit rate of 4 kbps and a propagation delay of 20 msec. For what range of frame sizes does stop-and-wait give an efficiency of at least 50%?

习题 18. 某信道的数据率是 4 kbps，传播时延是 20 毫秒，帧长为多少时，停等协议的效率能至少能达到 50%？

解题思路：本题考查对于停等协议的效率的理解和计算。停等协议的效率=发送时延/传输总时延=发送时延/(发送时延+2×传播时延)

答：当帧的发送时延等于往返传播时延时，效率将达到 50%。传播时延为  $20 \times 2 = 40$  毫秒，要使发送时延达到 40 毫秒，帧长至少为  $4000 \times 0.04 = 160$  位。

本题也可以停等协议的性能公式计算：停等协议的效率=1/(1+2a)，a=传播时延/发送时延

20. A 3000-km-long T1 trunk with bandwidth 1.544Mbps is used to transmit 64-byte frames using protocol 5, which uses a short ACK frame as acknowledgement. If the propagation speed is 6  $\mu$ sec/km, how many bits should the sequence numbers be?

习题 20. 一条 3000 公里长的 T1 中继线路使用协议 5 来传输 64 字节长的数据帧。如果传播速度为 6 微妙/公里，需要多少位序列号？

解题思路：本题考查对于 GobackN ARQ 协议的性能的理解和计算。为达到最大信道利用率，序号空间（发送方的最大窗口）必须能满足发送方一直连续发送。协议 5 采用捎带确认方式（piggyback），但在题目中并未说明，因此假定在收到数据帧之后，采用不含数据的 ACK 短帧确认的情形，忽略 ACK 帧的发送时延。

答：

假定序号为  $n$  位，GobackN 协议的最大发送窗口  $W=2^n-1$

其信道利用率公式为  $W/(1+2a)$ ， $a$ =传播时延/发送时延，本题中  $W$  的取值应使信道利用率达到 100%

传播时延= $3000 \times 6 = 18$  毫秒，发送时延= $64 \times 8 / 1.536M = 0.3$  毫秒

$a = 18 / 0.3 = 60$ ， $W / (1 + 2a) \geq 1$ ，可求出  $W \geq 121$ ，即  $2^n - 1 \geq 121$ ，求出  $n \geq 7$

即至少要 7 位序号

注：本题中 T1 的速率按 1.536Mbps 来计算，是排除了复用帧中的第一位（定帧位）。

27. Consider the operation of protocol 6 over a 1-Mbps perfect (i.e., error-free) line. The maximum frame size is 1000 bits. New packets are generated 1 second apart. The timeout interval is 10 msec. If the special acknowledgement timer were eliminated, unnecessary timeouts would occur. How many times would the average message be transmitted?

习题 27. 在带宽为 1Mbps 的无差错链路上使用协议 6 进行通信，设最大帧长为 1000 位，网络层每秒产生一个新的数据包，重传超时间隔为 10ms。如果不使用 ACK 定时器，将产生不必要的重传。求一帧的平均重传次数。

解题思路：本题考查对于协议 6 的算法和 ACK 定时器作用的理解。

答：发送一帧的时间是  $1000 / 10^6 = 1ms$ ，每秒只有一帧要发送，而重传间隔  $10ms < 1$  秒，没有 ACK 定时器，即只采用捎带确认，重传不可避免。

假设 A 发送某一帧，B 收到后，接收窗口滑动，但因为没有要回送的帧，则等待；A 发送 10ms 之后重发该帧，B 收到、发现是重复帧，则发送 NAK；A 收到 NAK 之后不再重发。因此每一帧都发送两次。

28. In protocol 6,  $MAX\_SEQ = 2^n - 1$ . While this condition is obviously desirable to make efficient use of header bits, we have not demonstrated that it is essential.

Does the protocol work correctly for  $MAX\_SEQ = 4$ , for example?

习题 28. 协议 6 中， $MAX\_SEQ = 2^n - 1$ 。很明显这个条件有利于帧头字段的有效使用，但我们没有说明这个条件是必须的。对于  $MAX\_SEQ = 4$ ，协议是否能正确工作？请举例说明。

解题思路：本题考查对于协议 6 的理解。

答：如果  $MAX\_SEQ = 4$ ，协议将会出错。

$MAX\_SEQ = 4$ ，将有  $NrBufs = 2$ ，即偶数字号的帧使用 0 号缓存，而奇数字号的帧使用 1 号缓存。此时，0 号帧和 4 号帧将使用同一个缓存。

假定 0-3 号帧都已正确接收并确认，接收窗口将变为  $[4, 0]$ ，如果 4 号帧丢失，而 0 号帧正确到达，该帧将保存在 0 号缓存，且  $arrived[0] = TRUE$ 。协议算法中的 Frame Arrival 情形下的 while 循环将得以执行，0 号帧被上交给网络层，出现不按序上交的错误。因此，协议 6 要求  $MAX\_SEQ$  必须是奇数才能正常工作。

1-22. When a file is transferred between two computers, two acknowledgement strategies are possible. In the first one, the file is chopped up into packets, which are individually acknowledged by the receiver, but the file transfer as a whole is not acknowledged. In the second one, the packets are not acknowledged individually, but the entire file is acknowledged when it arrives. Discuss these two approaches.

习题 1-22. 在两台计算机之间传输一个文件时，有两种可能的确认机制。第一种机制是，文件被分成多个分组传输，接收方确认每个分组，但不对整个文件进行确认；第二种机制是，

接收方在收到整个文件之后进行确认，但不对每个分组确认。请对这两种机制进行讨论。

解题思路：本题考查对于不同的确认方式的理解和比较。

答：第一种机制中，当某个分组的传输发生错误时，可以只重发该分组，而无需重发整个文件。其优点是重传开销小，但确认的开销相对第二种机制要大。适合于网络可靠性能较差，容易发生传输错误或丢失的情况。

第二种机制中，一旦某个分组发生错误，则需要重传整个文件。适合于网络传输故障率比较低的情况，其优点是节省确认所消耗的网络资源。

1-15. In some networks, the data link layer handles transmission errors by requesting that damaged frames be retransmitted. If the probability of a frame's being damaged is  $p$ , what is the mean number of transmissions required to send a frame? Assume that acknowledgements are never lost.

习题 15. 在一些网络里，数据链路层通过请求重传出错的帧来处理传输差错。如果一帧出错的概率是  $p$ ，假定确认（ACK）从不丢失，要发送一帧需要平均传输多少次？

解题思路：本题考查已知出错概率时，平均传输次数的计算。这个结论将用于数据链路层和 MAC 子层的学习中。

答：假定第  $k$  次传输成功，前面  $k-1$  次均失败，则平均传输次数为

$$\sum_{k=1}^{\infty} k \times (1 - p) \times p^{k-1} = \frac{1}{1 - p}$$

29. Frames of 1000 bits are sent over a 1-Mbps channel using a geostationary satellite whose propagation time from the earth is 270 msec. Acknowledgements are always piggybacked onto data frames. The headers are very short. Three-bit sequence numbers are used. What is the maximum achievable channel utilization for

- (a) Stop-and-wait?
- (b) Protocol 5?
- (c) Protocol 6?

习题 29. 在 1Mbps 的卫星信道上发送多个长度为 1000 位的帧。从地面到卫星的传播时延是 270 毫秒，采用捎带确认(piggybacking)方式。帧头很短，且使用 3 位序号。请分别计算采用下列协议的最大信道利用率：

- (a) 停等协议
- (b) 协议 5
- (c) 协议 6

解题思路：本题考查对于三种重要的可靠性传输协议——停等 ARQ 协议、GobackN ARQ 协议和选择重传 ARQ 协议的原理的理解和性能计算。

答：发送时延=1000/1M=1 毫秒，传播时延=270 毫秒， $a$ =传播时延/发送时延=270

(a) 停等协议的最大信道利用率=1/(2+2a)=1/542=0.18%

(b) 采用协议 5 的最大发送窗口=2<sup>3</sup>-1=7，最大信道利用率=7/542=1.29%。

(c) 采用协议 6 的最大发送窗口 $=2^{3-1} = 4$ ，最大信道利用率 $= 4/542 = 0.74\%$

30. Consider an error-free 64-kbps satellite channel used to send 512-byte data frames in one direction, with very short acknowledgements coming back the other way. What is the maximum throughput for window sizes of 1, 7, 15, and 127? The earth-satellite propagation time is 270 msec.

习题 30. 在 64kbps 的无差错卫星信道上单方向发送多个长度为 512 字节的数据帧，反向会发送较短的 ACK 帧。地面-卫星的传播时延是 270 毫秒。当发送窗口分别为 1、7、15、127 时，最大吞吐量各是多少？

解题思路：本题考查发送窗口大小对于 ARQ 协议效率的影响。最大吞吐量=信道利用率 $\times$ 标称带宽，注意信道利用率最大值为 1，最大吞吐量不会超过标称带宽。

答：发送时延 $=512 \times 8/64k = 64$  毫秒，传播时延 $=270$  毫秒， $a=\text{传播时延}/\text{发送时延}=4.2$

设发送窗口大小为  $W$ ， $W/(1+2a) \geq 1$ ，可求出  $W \geq 10$  时，信道利用率最高。

发送窗口 $=1$  时，吞吐量 $=1/(1+2a) \times 64k = 6.8$  kbps

发送窗口 $=7$  时，吞吐量 $=7/(1+2a) \times 64k = 47.7$  kbps

发送窗口为 15 和 127 时，信道满负荷工作，最大吞吐量为 64kbps。

31. A 100-km-long cable runs at the T1 with data rate 1.544Mbps. The propagation speed in the cable is  $2/3$  the speed of light in vacuum. How many bits fit in the cable?

习题 31. 在一条 100 公里长的电缆上采用 T1 速率来发送数据，电缆的传播时延是真空中光速的  $2/3$ 。请问多少位数据可以充满电缆？

解题思路：本题考查发送时延和传播时延在数值上的关系，即当第一位传播到电缆另一端时，发送方已经发送了多少位。

答：电缆中的传播速度为 200000 公里/秒，也就是 200 公里/毫秒，所以 100 公里的电缆将在 500 毫秒内被充满。每个 T1 帧在 125 毫秒内发送 193 位。500 毫秒相当于 4 帧的长度，即  $193 \times 4 = 772$  位将充满电缆。

32. Give at least one reason why PPP uses byte stuffing instead of bit stuffing to prevent accidental flag bytes within the payload from causing confusion.

习题 32. 为什么 PPP 使用字节填充而不使用位填充？请写出至少一个原因。

解题思路：本题考查对于 PPP 原理的理解。

答：PPP 是由软件实现的，而位填充几乎都是在硬件协议中实现的。对于软件实现，字节操作比位操作更简单。此外，PPP 是设计用于调制解调器的。调制解调器接收和传送数据的单位是字符而不是位。

33. What is the minimum overhead to send an IP packet using PPP? Count only the overhead introduced by PPP itself, not the IP header overhead. What is the maximum overhead?

习题 33. 在 PPP 帧中承载 IP 数据包的最小开销是多少？只计算 PPP 本身的开销，不考虑 IP 包头。最大开销是多少？

解题思路：本题考查对于 PPP 帧头控制字段的理解。

答：最小开销是：每一帧有 2 个标志字节、1 个协议字节和 2 个校验字节，每帧总共 5 字节开销。

最大开销是：2 个标志字节、1 个地址字节、1 个控制字节、2 个协议字节和 4 个校验字节，一共 10 字节开销。

补充题 1. 已知数据位流为 1101 0110，采用 CRC 校验， $G(x)=x^3+1$ ，计算出校验位。

解题思路：本题考查 CRC 校验原理的理解和计算方法的掌握。

注意，如果  $G(x)$  的最高幂次为  $r$ ，则在数据位后先填上  $r$  个 0 作为被除数； $G(x)$  对应的位串作为除数；计算时采用的是模二除法，对应位异或，不进位也不借位。校验位为  $r$  位，如果不足  $r$  位，则在前面用 0 补足。

答：计算出校验位为：111

补充题 2. 采用 3 比特序号的 SR 协议，若接收窗口为 5，则发送窗口的最大值是多少？

解题思路：本题考查对于选择重传 ARQ 协议中发送窗口和接收窗口的个数之间关系的理解。

答：使用  $n$  位序号的选择重传协议的滑动窗口个数应满足  $W_T + W_R \leq 2^n$ ，对于 3 位序号， $W_T + W_R \leq 8$ ， $W_R = 5$ ，则  $W_T \leq 3$

补充题 3. 50-kbps 的卫星信道，往返时延为 500ms，帧长为 1000 位，使用 SR 协议，若使效率达到 50%，序号的比特数至少是多少？

解题思路：本题考查对于选择重传 ARQ 协议中效率（信道利用率）公式的掌握，及发送窗口和序号的关系的理解。

答：因题目中没有强调使用忽略发送时间的 ACK 帧来确认，假定为捎带确认。

$$\alpha = \text{传播时延/发送时延} = 250/(1000/50) = 12.5$$

设发送窗口为  $W$ ，选择重传协议的信道利用率为  $W/(2+2\alpha) = 50\%$ ，可求出  $W = 14$

$W \leq 2^{n-1}$ ，可求出  $n = 5$

补充题 4. 数据链路层采用 GBN 协议，发送方已经发送了编号为 0-7 的帧，当计时器超时，若发送方只收到 0、4、5 号帧的确认，则发送方需要重发的帧数是多少？

解题思路：本题考查对于 GBN ARQ 协议中累计确认概念、确认序号和重传机制的理解。

答：对 5 号帧的确认说明 5 号帧及以前的帧全部正确接收，因此发送方需要重发未确认的 6 号和 7 号帧，即需要重发的帧数是 2。

补充题 5. 两台计算机的数据链路层协议实体采取滑动窗口机制利用 16kbps 的卫星信道传输长度为 128 字节的数据帧，信道传播时延为 270ms。

- 1) 计算使用停等协议的信道利用率；
- 2) 计算使用发送窗口为 7 的 GBN 协议的信道利用率；
- 3) 计算使用发送窗口为 15 的 GBN 协议的信道利用率；
- 4) 为使信道利用率达到最高，使用 GBN 协议时序号的比特数最少为多少位？



解题思路：本题考查对于停等协议和 GBN ARQ 协议的信道利用率公式的掌握，及发送窗口和序号的关系的理解。

答：因题目中没有强调使用忽略发送时间的 ACK 帧来确认，假定为捎带确认。

$$\alpha = \text{传播时延/发送时延} = 270 / (128 \times 8 / 16) \approx 4.2, 2 + 2\alpha = 10.4$$

- 1) 停等协议的信道利用率  $= 1 / (2 + 2\alpha) = 1 / 10.4 \approx 9.6\%$
- 2) 发送窗口为 7 的 GBN 协议的信道利用率  $= 7 / (2 + 2\alpha) = 7 / 10.4 \approx 67.3\%$
- 3) 对于发送窗口为 15 的 GBN 协议，因为  $15 > 10.4$ ，信道利用率为 1
- 4)  $W = 2^n - 1 \geq 10.4$ ，可求出  $n \geq 4$

补充题 6:

某数据链路层协议要传输下列 4 个字符数据：A: 01000111; B: 11100011; FLAG: 01111110; ESC: 11100000，写出下列成帧方法中实际传输的二进制序列：

- (1) 字符计数法 (2) 带首尾标志的字节填充法 (3) 带首尾标志的比特填充法
- (4) RS-232 协议，每次发送一个 8 位字符，以位 '0' 为起始位，位 '1' 为终止位并计算上述每种方法的效率。

解题思路：本题考查对于各种成帧方法的原理的理解。成帧的效率定义为数据部分长度/成帧后的总长度。

答：1) 字符计数法的帧：00000101 01000111 11100011 11100000 01111110

增加了一个长度字节，效率为  $4/5=80\%$

2) 字节填充法的帧：

01111110 01000111 11100011 11100000 11100000 11100000 01111110 01111110

增加了首尾标志和 2 个转义字符，效率为  $4/8=50\%$

3) 比特填充法的帧：01111110 01000111 110100011 111000000 011111010 01111110

增加了首尾标志和 3 位填充，效率为  $32/51=62.75\%$

4) RS232：每个字符前面加 1 位起始位，后面加 1 位停止位，

0010001111 0111000111 0111000001 0011111101

效率为  $32/40=80\%$

## 第四章 MAC 子层

6. What is the length of a contention slot in CSMA/CD for

(a) a 2-km twin-lead cable (signal propagation speed is 82% of the signal propagation speed in vacuum)?, and

(b) a 40-km multimode fiber optic cable (signal propagation speed is 65% of the signal propagation speed in vacuum)?

习题 6. 下列情况下，求 CSMA/CD 的竞争时隙：

- (a) 一个 2km 长的平行双芯电缆（单向的传播速率是真空中光速的 82%）
- (b) 一个 40km 的多模光纤线路（单个的传播速率是真空中光速的 65%）

解题思路：本题考查对于竞争时隙（ $2\tau$ ）的理解，可以参见书上的图 4-5。采用 CSMA/CD 的网络中，一个站点在开始发送数据后，最多需要经过  $2\tau$  的时间才能检测到冲突，因此  $2\tau$  称为竞争时隙。

答：(a) 信号在平行双芯电缆上的传播速率为  $3 \times 10^8 \times 82\% = 2.46 \times 10^8$  米/秒，长度为 2km 的电缆传播时延  $\tau = 8.13 \mu s$ ， $2\tau = 16.26 \mu s$

(b) 信号在多模光纤电缆上的传播速率为  $3 \times 10^8 \times 65\% = 1.95 \times 10^8$  米/秒，长度为 40km 的电缆传播延迟是  $\tau = 205.13 \mu s$ ， $2\tau = 410.26 \mu s$

13. What is the baud rate of classic 10-Mbps Ethernet?

习题 13. 标准的 10Mbps 以太网的波特率是多少？

解题思路：此题考查（1）10Mbps 以太网的编码方案（只有 10Mbps 以太网是曼彻斯特编码，其他高速以太网的编码效率更高）；（2）曼彻斯特编码效率的计算。

答：传统的 10Mbps 以太网使用曼彻斯特编码，它发送的每一位都有两个信号周期，即信号频率是数据率的 2 倍。数据率为 10 Mbps，因此信号速率是 20M 波特。

16. Consider building a CSMA/CD network running at 1 Gbps over a 1-km cable with no repeaters. The signal speed in the cable is 200,000 km/sec. What is the minimum frame size?

习题 16. 在一个 1 公里长的电缆上，不使用中继器的情况下，考虑构建一个速率在 1 Gbps 的 CSMA/CD 网络。在电缆上的信号传播速率是 200,000 km/sec。最小帧的长度是多少？

解题思路：此题考查对于以太网最短帧长的原理的掌握。以太网有最短帧长的原因是，保证帧的发送时间不少于  $2\tau$ ，以便发送站点能够在发送完毕之前检测到冲突。

答：对于 1km 电缆，单程传播时延  $\tau = 1/200000 = 5 \mu s$ ，往返时延为  $2\tau = 10 \mu s$ ，即最短帧的发送时间不能小于  $10 \mu s$ 。

对于 1Gbps 的发送速率， $10 \mu s$  可以发送的比特数为  $10 \times 10^{-6} \times 10^9 = 10^4$  位

因此最短帧长是 10000 位，即 1250 字节。

17. An IP packet to be transmitted by Ethernet is 60 bytes long, including all its headers. If LLC is not in use, is padding needed in the Ethernet frame, and if so, how many bytes?

习题 17. 一个长度为 60 字节的 IP 包（包含了头部）将通过一个以太网进行传输。如果没有使用 LLC，则在以太网中传输需要填充字节吗？如果需要，填充多少？

解题思路：此题考查对于以太网最短帧长的掌握。

答：以太网的最短以太帧有 64 字节长，其中帧头的目的地址、源地址、类型/长度字段和帧尾的校验和字段一共是 18 字节，数据部分最少为 46 字节，如果不足 46 字节则需要填充。题目中的 IP 包为 60 字节，超过了 46 字节。因此不需要填充。

18. Ethernet frames must be at least 64 bytes long to ensure that the transmitter is still going in the event of a collision at the far end of the cable. Fast Ethernet has the same 64-byte minimum frame size but can get the bits out ten times faster. How is it possible to maintain the same minimum frame size?

习题 18. 以太网帧必须在 64 字节以上，这样做的理由是：当电缆的另一端发生冲突的时候，传送方仍然还在发送过程中。快速以太网也有同样的 64 字节最小帧的限制，但它可以以快 10 倍的速度发送数据。请问它如何维持同样的最小帧长度限制的？

解题思路：此题考查快速以太网与传统以太网的相同点与不同点。

答：快速以太网的速率是传统以太网的 10 倍，但保留了传统以太网的最短帧长的规定，这是通过限制电缆最大长度来实现的，快速以太网的最大电缆长度是传统以太网的 1/10。

20. How many frames per second can gigabit Ethernet handle? Think carefully and take into account all the relevant cases. Hint: the fact that it is gigabit Ethernet matters.

习题 20. 千兆以太网每秒钟能够处理多少帧？请仔细想一下：并考虑所有有关的情形。提示：请考虑千兆以太网的实质。

解题思路：此题考查千兆以太网的主要原理，包括帧突发和载波扩展的概念。

答：千兆以太网的最短帧长为 512 位（即 64 字节），信息传输速率为 1Gbps。

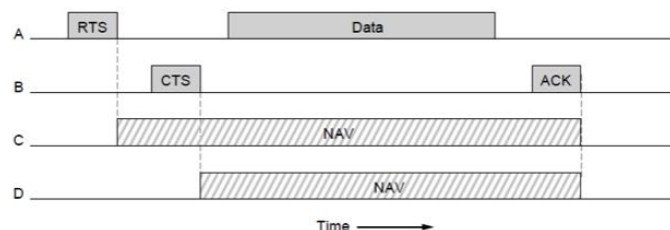
当帧是以一串短帧（帧突发）的形式发送时，则千兆以太网每秒可以处理  $10^9/512=1953125$  比特  $\approx 2$  百万个帧。

当最短帧则以载波扩展的形式发送，即每个帧被填充到 4096 位，则千兆以太网每秒可以处理的帧的个数是： $10^9/4096 \approx 244140$  个帧

对于发送最大帧（ $1518 \times 8 = 12144$  位）的情形，则每秒可处理的帧的个数为 82345 个。

22. In Fig. 4-27, four stations, A, B, C, and D, are shown. Which of the last two stations do you think is closest to A and why?

习题 22. 在图 4-27 中（即下图）显示了 4 个站点 A、B、C 和 D。你认为后两个站点中（C 和 D）哪一个最接近 A？为什么？



解题思路：此题考查对于网络分配向量 NAV 概念的理解。

答：站点 C 离 A 更近。

因为 C 能收到 A 的 RTS 帧，并且通过 NAV（网络分配向量）做出响应。D 的 NAV 不包括 RTS 的时间，说明 D 没有收到 RTS 帧，即 D 位于 A 的无线信号覆盖范围之外。

23. A wireless LAN with one AP has 10 client stations. Four stations have data rates of 6 Mbps, four stations have data rates of 18 Mbps, and the last two stations have data rates of 54 Mbps. What is the data rate experienced by each station when all ten stations are sending data together, and

(a) TXOP is not used?

(b) TXOP is used?

习题 24. 某带 AP 的无线 LAN 有 10 个站点，其中 4 个站点的数据率为 6Mbps，4 个站点的数据率为 18Mbps，另外 2 个站点的数据率为 54Mbps。如果 10 个站点同时发送数据，在下列情况下，每个站点得到的数据率分别是多少？

(1) 不使用 TXOP

(2) 使用 TXOP

解题思路：此题考查对于速率异常问题和 TXOP 原理的理解。

答：(1) 不使用 TXOP 时，每个站点在占用信道时只发送一个数据帧，该帧的发送时间可归一化为  $1/\text{数据率}$ ，因此每个站点得到相同的平均数据率，即  $\frac{1}{\left(\frac{4}{6} + \frac{4}{18} + \frac{2}{54}\right)} = \frac{54}{50} = 1.08\text{Mbps}$

(2) 使用 TXOP 时，每个站点按照平均分配时间来占用信道，即每个站点占用  $1/10$  信道，因此对于数据率为 6Mbps 的 4 个站点，每个站点得到的数据率是 0.6Mbps；数据率为 18Mbps 的 4 个站点，每个站点得到的数据率是 1.8Mbps；数据率为 54Mbps 的 2 个站点，每个站点得到的数据率是 5.4Mbps。

38. Consider the extended LAN connected using bridges B1 and B2 in Fig. 4-41(b). Suppose the hash tables in the two bridges are empty. List all ports on which a packet will be forwarded for the following sequence of data transmissions:

(a) A sends a packet to C.

(b) E sends a packet to F.

(c) F sends a packet to E.

(d) G sends a packet to E.

(e) D sends a packet to A.

(f) B sends a packet to F.

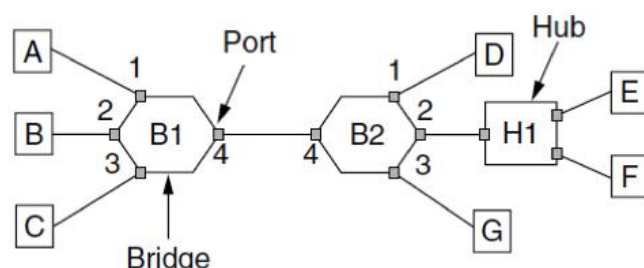
习题 38. 如书图 4-41 (b) (即下图) 所示，使用网桥 B1 和 B2 扩展局域网。假设两个网桥的初始转发表 (Hash Table) 都是空的。请按照下列发送顺序，给出每个帧所经过的网桥及其端口。

(a) A 发送一个包给 C

(b) E 发送一个包给 F.

(c) F 发送一个包给 E.

(d) G 发送一个包给 E.



(e) D 发送一个包给 A.

(f) B 发送一个包给 F.

解题思路：此题考查对于网桥工作原理（如何转发帧、如何生成转发表）的理解。网桥收到一帧后，根据帧中的目的地址检查转发表，如果查到的输出端口与输入端口一致，则不转发；如果输出端口与输入端口不一致，则转发到相应端口；如果查不到，则洪泛转发到除输入端口之外的所有端口。转发表采用“逆向学习”的方法生成，即检查收到的帧中的源地址，将源地址和输入端口加入转发表。

答：(a) B1 将这个数据帧转发到端口 2、3 和 4，B2 将转发到端口 1、2 和 3。

(b) B2 将这个数据帧转发到端口 1、3 和 4，B1 将转发到端口 1、2 和 3。

(c) B2 不转发该帧，因此 B1 不会收到这个帧。

(d) B2 将这个数据帧转发到端口 2，B1 不会收到这个帧。

(e) B2 将这个数据帧转发到端口 4，B1 将转发到端口 1。

(f) B1 将这个数据帧转发到端口 1、3 和 4，B2 将转发到端口 2。

39. Store-and-forward switches have an advantage over cut-through switches with respect to damaged frames. Explain what it is.

习题 39. 从损坏帧的角度看，存储-转发型交换机比直通型交换机更有优势。请说明这种优势。

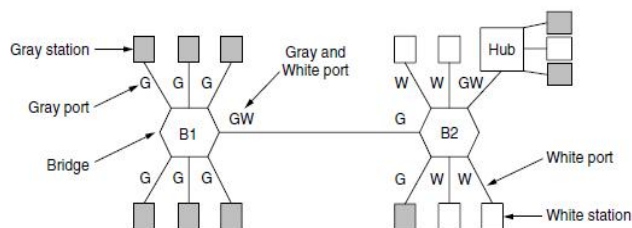
解题思路：本题考查对于存储-转发型交换机和直通型交换机的原理的理解。

答：存储-转发型交换机首先要接收完整的数据帧，进行校验，然后再转发。如果校验出错，就立即丢弃这个数据帧而不进行转发。

对于直通型方式，交换机在收到帧头的目的地址之后，即开始转发该帧，边转发边校验，因而即使发现了校验错误，也为时晚矣，损坏帧将无法丢弃，依然在网络中传输。

41. To make VLANs work, configuration tables are needed in the bridges. What if the VLANs of Fig. 4-47 used hubs rather than switches? Do the hubs need configuration tables, too? Why or why not?

习题 41. 要支持 VLAN，网桥（或交换机）中需要增加配置表。在图 4-47（即下图）中，网桥能否换成 HUB？HUB 也需要配置表吗？为什么？



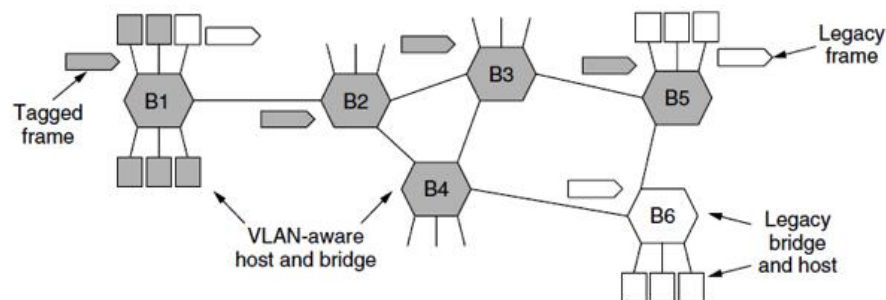
解题思路：本题考查对于 VLAN 原理和 HUB 工作原理的理解。

答：如果把网桥换成 HUB，将不能支持 VLAN。因为 HUB 是物理层设备，不能识别 LAN 帧中的

VLAN ID，它将把从一个端口收到的帧转发到所有其他端口。

42. In Fig. 4-48, the switch in the legacy end domain on the right is a VLAN-aware switch. Would it be possible to use a legacy switch there? If so, how would that work? If not, why not?

习题 42. 在图 4-48（即下图）中，在右侧的传统域中的交换机（即 B5）是一个支持 VLAN 的交换机，有可能使用传统的交换机吗？如果可能，请问将如何工作？如果不可能，原因是什么？



解题思路：本题考查对于 VLAN 原理的理解。

答：B5 可以使用传统的不支持 VLAN 的交换机。

传统帧要进入主干（VLAN）域里，需要依靠第一个支持 VLAN 的交换机对它们打上标签（tag）。类似地，在从 VLAN 区域输出的方向上，连接 VLAN 域和传统域的主干交换机必须把输出帧里加的标签再去掉。因此，如果把 B5 换成传统交换机，增减标签的工作将由 B3 完成。

补充题：A 1-km-long, 10-Mbps CSMA/CD LAN (not 802.3) has a propagation speed of 200 m/μsec. Repeaters are not allowed in this system. Data frames are 256 bits long, including 32 bits of header, checksum, and other overhead. The first bit slot after a successful transmission is reserved for the receiver to capture the channel in order to send a 32-bit acknowledgement frame. What is the effective data rate, excluding overhead, assuming that there are no collisions?

习题 15. 一个使用 CSMA/CD（非 IEEE802.3）的 LAN，电缆长度为 1 公里，带宽为 10Mbps，传播速度为 200 米/微秒，网络中不允许使用中继器。数据帧长 256 位，其中包括帧头、校验码和其他开销共 32 位。成功发送之后的第一个位时隙保留给接收站，以捕获信道并发送 32 位确认帧。假定没有冲突，信道的有效数据率是多少？

解题思路：此题考查对于带确认的 CSMA/CD 协议工作原理的理解。根据题意，发送一个数据帧之后，需要保留一个位时隙（ $2\tau$ ）的时间，以便接收站点从接收模式转成发送模式，捕获信道并发送 32 位确认帧。有效数据率定义为有效的数据（不包含帧头和帧尾的开销）除以总传输时间（包含发送时延、传播时延和确认需要的时间）。

答：单程传播时延  $\tau = 1000/200 = 5\ \mu\text{s}$ 。在没有冲突的情况下，一次成功传输包含下列过程：

- (1) 发送站发出一帧，发送时间为  $256/10\text{M} = 25.6\ \mu\text{s}$ ；
- (2) 该数据帧经过  $5\ \mu\text{s}$  的传播时延后到达接收站；



(3) 接收站占用  $10\ \mu\text{s}$  捕获信道，并发送 ACK 帧（共需要  $2\tau$ ）

(4) ACK 经过  $5\ \mu\text{s}$  后到达发送站。

因此传输总时间= $25.6+5+10+5=45.6\ \mu\text{s}$

有效数据传输率= $(256-32)/45.6=4.91\text{Mbps}$

信道效率= $(25.6-3.2)/45.6=49.12\%$

## 第五章 网络层

1. Are there any circumstances when connection-oriented service will (or at least should) deliver packets out of order? Explain.

习题 1. 对于面向连接服务，在分组交付时是否会发生错序？

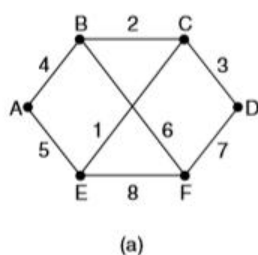
解题思路：本题考查对于网络层的数据包处理概念的理解。

答：可能发生错序。

在面向连接的服务中，由于所有发往目的站的数据包都沿着相同的路径传输，一般不会出现乱序提交的情况。

但是，对于特殊的数据包，如异常事件（例如中断信号）应该优先处理，不排队、不按照顺序交付。例如在应用中，一个用户键入退出键（如 Ctrl-C）时，所产生的数据应该立即发送，并且应当跳过当前队列中排在前面的其它数据包。

5. Consider the network of Fig. 5-12(a). Distance vector routing is used, and the following vectors have just come in to router C: from B: (5, 0, 8, 12, 6, 2); from D: (16, 12, 6, 0, 9, 10); and from E: (7, 6, 3, 9, 0, 4). The cost of the links from C to B, D, and E, are 6, 3, and 5, respectively. What is C's new routing table? Give both the outgoing line to use and the cost.



习题 5. 考虑书图 5.12(a)中的子网。该子网使用了距离矢量路由算法，路由器 C 刚刚收到了下列矢量：来自 B 的矢量为 (5, 0, 8, 12, 6, 2)、来自 D 的矢量为 (16, 12, 6, 0, 9, 10)、来自 E 的矢量为 (7, 6, 3, 9, 0, 4)。经测量，C 到 B、D 和 E 的延迟分别为 6、3 和 5。请问 C 的新路由表将会怎么样？请给出将使用的输出线路以及预期延迟。

解题思路：本题考查对于距离矢量选路算法的掌握。对于每个目的节点，路由器 C 应计算所有可能的距离，即经过每一个邻居转发的时延，计算方法为：自己到邻居的延迟+邻居告知的延迟，从中选择最短的延迟。

例如对于目的节点 A，经过 B 转发的延迟= $6+5=11$

经过 D 转发的延迟=3+16=19

经过 E 转发的延迟=7+5=12

由于经过 B 转发的延迟最小，因此 C 的新路由表中到 A 的下一跳为 B，延迟为 11。

注意：C 原来的路由表失效，不作为计算依据。上述计算是一种简单方法。在实际情况中，路由器会在收到一个邻居的矢量之后更新一次路由表，参见讲义中的 DVR Example2 的示例。

答：C 的新路由表为：

| 目的地 | 延迟 | 下一跳 |
|-----|----|-----|
| A   | 11 | B   |
| B   | 6  | B   |
| C   | 0  | --  |
| D   | 3  | D   |
| E   | 5  | E   |
| F   | 8  | B   |

7. For hierarchical routing with 4800 routers, what region and cluster sizes should be chosen to minimize the size of the routing table for a three-layer hierarchy? A good starting place is the hypothesis that a solution with  $k$  clusters of  $k$  regions of  $k$  routers is close to optimal, which means that  $k$  is about the cube root of 4800 (around 16). Use trial and error to check out combinations where all three parameters are in the general vicinity of 16.

习题 7. 对于 4800 台路由器的网络采用三层分级路由，请问应该选择多大的区域和群才可以将路由表的尺寸降低到最小？假设将  $k$  台路由器构成一个区域， $k$  个区域构成一个群，并且总共有  $k$  个群，这样的方案接近于最优的方案。这意味着  $k$  大约是 4800 的立方根（约等于 16）。请试验所有这三个参数在 16 附近的各种组合。

解题思路：本题考查对于分级路由技术的理解。使用分级路由时，把整个网络内的路由器按照区域（Region）进行划分，每个路由器只需记录到本区内所有路由器的路由和到其它区域的路由，即到其它区域，一个区只需要一个路由项，而不需知道其他区域内的内部结构。对于大的网络，两级结构不够，可以把区域组合成簇（Cluster），把簇再组合成更大的域（Zone）……

答：经过试验，最佳方案是  $4800=15 \times 16 \times 20$ ，当选择 15 个簇、16 个区域、每个区域 20 个路由器时，路由表尺寸最小，路由表表项为  $14+15+20=49$

也可选择 20 个簇、16 个区、每区 15 个路由器，总表项长度一样，为 49。

以此类推，一共 6 种组合。

14. A datagram network allows routers to drop packets whenever they need to. The probability of a router discarding a packet is  $p$ . Consider the case of a source host connected to the source router, which is connected to the destination router, and then to the destination host. If either of the routers discards a packet, the source

host eventually times out and tries again. If both host-router and router-router lines are counted as hops, what is the mean number of

(a) hops a packet makes per transmission?

(b) transmissions a packet makes?

(c) hops required per received packet?

习题 14. 一个数据报子网允许路由器在必要的时候丢弃分组。一台路由器丢弃一个分组的概率为  $p$ 。请考虑这样的情形：源主机连接到源路由器，源路由器连接到目的路由器，然后目的路由器连接到目的主机。如果任一路由器丢掉了一个分组，则源主机最终会超时，然后再重试发送。如果主机至路由器以及路由器至路由器之间的线路都计为一跳，那么：

(a) 一个分组每次传输中的平均跳数是多少？

(b) 一个分组的平均传输次数是多少？

(c) 每个接收到的分组平均要求多少跳？

解题思路：本题考查对于网络丢包重传的概率的相关计算。需要先画出拓扑连接图，再分析。

答：拓扑连接图为 S-R1-R2-D

(a) 一个分组，从主机发出，如果到源路由器就被丢弃，则跳数为 1 跳，其概率为  $p$ ；

一个分组，从主机发出，经过源路由器（概率为  $1-p$ ），到目的路由器被丢弃，则跳数为 2 跳，概率为  $(1-p) \times p$ ；

一个分组，从主机发出，经过源路由器转发（概率为  $1-p$ ），再经过目的路由器转发（概率为  $1-p$ ），成功到达目的主机，则跳数为 3 跳，概率为  $(1-p)^2$ ；

利用加权平均，计算出平均跳数  $= 1 \times p + 2 \times (1-p)p + 3 \times (1-p)^2 = p^2 - 3p + 3$ ；

(b) 一个分组，如果一次成功的到达目的地主机，必然要经过 3 跳，概率  $= (1-p)^2$ ；

令  $A = (1-p)^2$ ；则传输两次才成功的概率为  $(1-A) \times A$ ；

传输 3 次才成功的概率为  $(1-A)^2 \times A$

利用加权平均，一个分组的平均发送次数（传输次数）为：

$$A + 2 \times (1-A) \times A + 3 \times (1-A)^2 \times A + \dots = \frac{1}{(1-p)^2}$$

(c) 每个分组的平均跳数 = 平均发送次数  $\times$  平均传输跳数  $= \frac{p^2 - 3p + 3}{(1-p)^2}$

16. Imagine a flow specification that has a maximum packet size of 1000 bytes, a token bucket rate of 10 million bytes/sec, a token bucket size of 1 million bytes, and a maximum transmission rate of 50 million bytes/sec. How long can a burst at maximum speed last?

习题 16. 最大分组长度为 1000 字节，令牌桶速率为每秒 10MB，令牌桶的大小为 1M 字节，最大传输速率为每秒 50MB，请问以最大速度传输的突发数据会持续多长时间？

解题思路：本题考查对于令牌桶原理的理解。需要进行下列分析计算：当大量突发性数据到来时，如果令牌桶是满的，并且到来的数据超过令牌桶容量，则：先以突发速率发送，利用公式  $S=B/(M-R)$  可计算出以最大速率发送的时间；当令牌桶中的令牌全部用完，而还有数据要发送，则剩下的数据将以令牌产生的速率匀速发送。

答：根据公式  $B + RS = MS$  得出  $S = B/(M-R)$

代入  $B = 1MB$ ,  $M = 50MB/S$  和  $R = 10 MB/S$ , 计算出  $S = 25ms$

23. Suppose that instead of using 16 bits for the network part of a class B address originally, 20 bits had been used. How many class B networks would there have been?

习题 23. 假定 B 类网络地址的网络号不用 16 位，而是用 20 位，将有多少个 B 类网络？

解题思路：此题考查对于 B 类地址标识和网络号空间概念的理解。

答：如果使用 20 位网络号，除去 2 位的 B 类地址标识，有 18 位留给网络。因此，网络数量将是  $2^{18}$  或 262144 个。

24. Convert the IP address whose hexadecimal representation is C22F1582 to dotted decimal notation.

习题 24. 将以十六进制表示的 IP 地址 C22F1582 转换为点分十进制形式。

解题思路：本题考查对于点分十进制地址格式的理解，以及十六-十进制转换的掌握。

答：将十六进制数每两位转换为一个十进制数，中间以 “.” 分隔，即点分十进制表示为：194. 47. 21. 130。

或者将十六进制直接表示为二进制，再将八位二进制转为一个十进制数。

25. A network on the Internet has a subnet mask of 255.255.240.0. What is the maximum number of hosts it can handle?

习题 25. 因特网上一个网络的子网掩码是 255.255.240.0，该网络最多可以容纳多少台主机？

解题思路：本题考查对于根据子网掩码计算网络地址数的掌握。注意：最多容纳的主机数=网络地址总数-2，因为网络中的第一个地址是网络地址，最后一个地址是广播地址，这两个地址不能分配给主机（路由器）。

答：255. 255. 240. 0 中高 20 位为 1，即网络号有 20 位，其余 12 位为主机号，因此最多主机数= $2^{12}-2=4094$ 。

27. A large number of consecutive IP addresses are available starting at 198.16.0.0. Suppose that four organizations, A, B, C, and D, request 4000, 2000, 4000, and 8000 addresses, respectively, and in that order. For each of these, give the first IP address assigned, the last IP address assigned, and the mask in the w.x.y.z/s notation.

习题 27. 假设有大量连续的 IP 地址（起始地址为 198.16.0.0）。现有 A、B、C 和 D 四个机构，需要的地址数分别为 4000、2000、4000 和 8000 个。按 A、B、C 和 D 的顺序分配地址，

写出每个机构分配到的第一个地址、最后一个地址和子网掩码（按 w.x.y.z/s 的格式）。

解题思路：本地考查对于 IP 地址分配的理解。注意每个子网的地址总数一定是 2 的幂次。分配应该遵循“最少可满足”原则，为子网分配满足地址需求的最少地址，即为机构 A 分配 4096 个地址、机构 B 分配 2048 个地址…。按题目要求的顺序分配，可能在两个子网之间出现一段空闲地址，即 B 子网和 C 子网之间。

答：各机构子网的起始地址、结束地址、网络地址如下：

A: 198.16.0.0 - 198.16.15.255, 198.16.0.0/20

B: 198.16.16.0 - 198.16.23.255, 198.16.16.0/21

C: 198.16.32.0 - 198.16.47.255, 198.16.32.0/20

D: 198.16.64.0 - 198.16.95.255, 198.16.64.0/19

28. A router has just received the following new IP addresses: 57.6.96.0/21, 57.6.104.0/21, 57.6.112.0/21, and 57.6.120.0/21. If all of them use the same outgoing line, can they be aggregated? If so, to what? If not, why not?

习题 28. 一个路由器收到了带有新的网络地址：57.6.96.0/21、57.6.104.0/21、57.6.112.0/21 和 57.6.120.0/21，如果它们使用同一条输出线路，是否可以聚合在一起？如果能够聚合，聚合后地址是什么？如果不能聚合，为什么？

解题思路：本题考查对于地址聚合的掌握。要聚合多个子网，可以把每个子网的地址范围写出来，根据总地址范围的第一个地址和最后一个地址确定聚合后的网络地址。

答：可以聚合，聚合后的地址为 57.6.96.0/19。

20. Suppose that host A is connected to a router R1, R1 is connected to another router, R 2, and R 2 is connected to host B. Suppose that a TCP message that contains 900 bytes of data and 20 bytes of TCP header is passed to the IP code at host A for delivery to B. Show the Total length, Identification, DF, MF, and Fragment offset fields of the IP header in each packet transmitted over the three links. Assume that link A-R1 can support a maximum frame size of 1024 bytes including a 14-byte frame header, link R1-R2 can support a maximum frame size of 512 bytes, including an 8-byte frame header, and link R2-B can support a maximum frame size of 512 bytes including a 12-byte frame header.

习题 20. 假定主机 A 连接到路由器 R1，R1 连接到路由器 R2，R2 连接到主机 B。主机 A 向 B 发送了一条包含 20 字节段头和 900 字节数据的 TCP 消息。写出封装该 TCP 消息的 IP 数据报在三条链路上传输时，每个 IP 包头的总长度、标识符、DF、MF 和段偏移量的值。假定链路 A-R1 支持的最大帧长为 1024 字节（包含 14 字节帧头），链路 R1-R2 支持的最大帧长为 512 字节（包含 8 字节帧头），链路 R2-B 支持的最大帧长为 512 字节（包含 12 字节帧头）。

解题思路：本题考查对于分层体系结构中封装概念的理解和 IP 包分段原理的掌握。

在本题中，TCP 消息作为数据封装在 IP 包中，即 TCP 消息加上 20 字节构成 IP 包；而 IP 包

作为数据封装在帧中，即 IP 包加上帧头（本题忽略帧尾）构成帧。

因此，三段链路能支持的 MTU（最大 IP 包长）分别为：

A-R1 链路， $MTU=1024-14=1010$  字节

R1-R2 链路， $MTU=512-8=504$  字节

R2-B 链路， $MTU=512-12=500$  字节

IP 包分段时，片段长度应该是不超过 MTU 的最大长度（包括包头），除最后一个片段外，其它片段内的数据长度应该是 8 的整数倍。

答：网络连接为：A-R1-R2-B

假设 IP 包头为 20 字节，主机 A 发出的 IP 包长为  $900+20+20=940$  字节，假设 ID 为 1234

链路 A-R1：MTU=1010，IP 包长 < MTU，因此不用分段

包长度=940；ID=1234；DF=0；MF=0；段偏移量=0

链路 R1-R2：MTU=504，IP 包将分成两个片段

片段 1：包长度=500；ID=1234；DF=0；MF=1；段偏移量=0

片段 2：包长度=460；ID=1234；DF=0；MF=0；段偏移量= $(500-20)/8=60$

链路 R2-B：MTU=500，两个片段长度都不超过 MTU，无需再次分段

片段 1：包长度=500；ID=1234；DF=0；MF=1；段偏移量=0

片段 2：包长度=460；ID=1234；DF=0；MF=0；段偏移量=60

21. A router is blasting out IP packets whose total length (data plus header) is 1024 bytes. Assuming that packets live for 10 sec, what is the maximum line speed the router can operate at without danger of cycling through the IP datagram ID number space?

习题 21. 一台路由器往外发送大量的总长度（数据+包头）为 1024 字节的 IP 包。假定这些包的生存时间为 10 秒，为避免发生 IP 数据报 ID 号回绕的危险，路由器运行的最大线路速度是多少？

解题思路：本题考查对 IP 包标识符(ID)回绕概念的理解，以及回绕与路由器发送速率的关系

答：IP 包总长度为  $1024 \times 8 = 8192$  位，设路由器的线路速率为  $b$  bps，则发出一个包需要的时间是  $1024 \times 8 / b$  秒。标识符为 16 位，即一共有  $2^{16}$  个不同的编号，路由器发出  $2^{16}$  (=65536) 个包需要的时间  $T = (1024 \times 8) \times 2^{16} / b = 2^{29} / b$  秒。

$2^{29} / b \geq 10$ ，则  $b \leq 53687091 \approx 5.36 \times 10^7$  bps

29. The set of IP addresses from 29.18.0.0 to 19.18.127.255 has been aggregated to 29.18.0.0/17. However, there is a gap of 1024 unassigned addresses from 29.18.60.0 to 29.18.63.255 that are now suddenly assigned to a host using a



different outgoing line. Is it now necessary to split up the aggregate address into its constituent blocks, add the new block to the table, and then see if any reaggregation is possible? If not, what can be done instead?

习题 29. 一个 IP 地址集合的范围是 29.18.0.0 到 29.18.127.255，聚合为 29.18.0.0/17。但是其中从 29.18.60.0 到 29.18.63.255 的 1024 个地址突然被分配给一个使用不同输出线路的子网。现在是否必须把这部分地址分离出来，在路由表加入一个表项，然后再重新聚合？还是有别的替代方法？

解题思路：本题考查对于聚合之后，两个子网地址空间有重叠问题的理解，以及在路由选择时如何处理。

答：不需要分块重新聚合。路由表里只需要添加一个新的表项：29.18.60.0/22。如果收到的 IP 包在查表选路时同时匹配 29.18.0.0/17 和 29.18.60.0./22，则采用最长地址匹配，转发到地址前缀最长的子网，即 29.18.60.0/22。

30. A router has the following (CIDR) entries in its routing table:

| Address/mask   | Next hop    |
|----------------|-------------|
| 135.46.56.0/22 | Interface 0 |
| 135.46.60.0/22 | Interface 1 |
| 192.53.40.0/23 | Router 1    |
| default        | Router 2    |

For each of the following IP addresses, what does the router do if a packet with that address arrives?

- (a) 135.46.63.10
- (b) 135.46.57.14
- (c) 135.46.52.2
- (d) 192.53.40.7
- (e) 192.53.56.7

习题 30. 某路由器的路由表里有下列 CIDR 表项：

| 地址/掩码             | 下一跳   |
|-------------------|-------|
| 135. 46. 56. 0/22 | 接口 0  |
| 135. 46. 60. 0/22 | 接口 1  |
| 192. 53. 40. 0/23 | 路由器 1 |
| 默认                | 路由器 2 |

对于下列 IP 地址，如果收到带有该目的地址的 IP 包，路由器该如何处理？

- (a) 135.46.63.10
- (b) 135.46.57.14
- (c) 135.46.52.2
- (d) 192.53.40.7
- (e) 192.53.56.7

解题思路：本题考查利用子网掩码获得目的网络地址，查路由表表确定如何转发。对于 CIDR 路由表，可能出现多个表项匹配的情况，则采用最长地址匹配，转发到匹配项中地址前缀最长的子网。

答：(a) 将目的 IP 地址 135.46.63.10 逐行与路由表里的子网掩码进行“与”运算，例如与第一行掩码/22 进行与运算得到的目的网络地址是 135.46.60.0，则与第一行网络地址 135.46.56.0 不匹配；

与第二行掩码/22 进行与 255.255.252.0 与运算，得到的目的网络地址为 135.46.60.0，匹配；继续计算，与第三行、第四行均不匹配，因此转发到接口 1。

(b) 将目的 IP 地址 135.46.57.14 逐行与路由表里的子网掩码进行“与”运算，与第一行网络地址匹配，转发到接口 0。

(c) 将目的 IP 地址 135.46.52.2 逐行与路由表里的子网掩码进行“与”运算，均不匹配，因此选择默认路由，转发给路由器 2

(d) 将目的 IP 地址 192.53.40.7 逐行与路由表里的子网掩码进行“与”运算，与第三行网络地址匹配，转发给路由器 1

(e) 将目的 IP 地址 192.53.56.7 逐行与路由表里的子网掩码进行“与”运算，均不匹配，因此选择默认路由，转发给路由器 2。

31. Many companies have a policy of having two (or more) routers connecting the company to the Internet to provide some redundancy in case one of them goes down. Is this policy still possible with NAT? Explain your answer.

习题 31. 很多公司有两台或更多的路由器连接到因特网来提供冗余性，当其中一台路由故障时，网络还能工作。对于 NAT，这种策略可行吗？请解释。

解题思路：本题考查对于 NAT 路由器功能的理解。

答：在 NAT 安装之后，公司内部与一个连接（或者流 flow）有关的所有的数据包都通过同一个路由器进出，因为它保存了地址映射。如果每个路由器都有自己的全局 IP 地址，且一个给定的连接相关的数据包都只发送到同一个路由器，那么两个 NAT 可以同时工作。但是，当其中一个路由器发生故障时，之前从这个路由器流出的 IP 包的回应包将无法转发给正确的内部主机。

34. Most IP datagram reassembly algorithms have a timer to avoid having a lost fragment tie up reassembly buffers forever. Suppose that a datagram is fragmented into four fragments. The first three fragments arrive, but the last one is delayed. Eventually, the timer goes off and the three fragments in the receiver's memory are discarded. A little later, the last fragment stumbles in. What should be done with it?

习题 34. 大多数 IP 数据报重装算法都有一个定时器，以防止丢失的片段一直占用重装缓存。假定一个数据报分为 4 个片段，前三个片段都到达目的主机，最后一个片段被延误了。结果定时器超时，缓存的前三个片段都被丢弃了。过了一会儿，最后一个片段到达，目的主机将如何处理？

解题思路：本题考查对于重装定时器的理解。

答：对于目的主机而言，这是新的 IP 数据报的一部分，它将被缓存，并启动定时器等待其

它片段到达。如果定时器超时，该片段也将被丢弃。

35. In IP, the checksum covers only the header and not the data. Why do you suppose this design was chosen?

习题 35. IP 协议的校验和只对包头进行校验，而不对数据部分进行校验，为什么这样设计？

解题思路：本题考查对于 IP 协议的校验和校验范围的理解。

答：首先，包头的错误比数据中的错误要严重的多，例如目的地址发生错误可能会导致数据包被发送到错误的主机。由于许多主机并不检查收到的包是不是给自己的，该包将会被错误地接收下来。因此必须对于包头进行校验。

如果对数据部分进行校验，将增加路由器的处理时间 导致端到端时延大幅增加。数据链路层和传输层都有校验功能，因此 IP 无需对于数据部分进行校验。

38. The Protocol field used in the IPv4 header is not present in the fixed IPv6 header. Why not?

习题 38. IPv4 头部的“协议（protocol）”字段并没有出现在 IPv6 中，为什么？

解题思路：本题考查对于 IP 包头的协议字段功能的理解。

答：IPv4 包头中的协议字段的作用是告诉目的地主机包中数据部分应该交给哪个协议实体来进行处理。中间转发的路由器不需要处理这个字段，因此不需要放在 IPv6 的基本包头中。事实上扩展包头的“下一个包头”字段的功能包含了 protocol 的功能。

39. When the IPv6 protocol is introduced, does the ARP protocol have to be changed? If so, are the changes conceptual or technical?（选做）

习题 39. 当使用 IPv6 协议时，需要对 IPv4 中的 ARP 协议进行改变吗？如果需要，这种改变是概念上的还是技术上的？

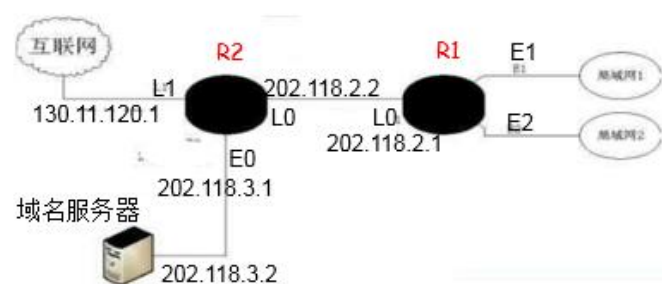
解题思路：本题考查对于 ARP 功能的理解。

答：ARP 是一个地址转换协议，无论是 IPv4 地址还是 IPv6 地址，都需要转换成对应的数据链路层的 MAC 地址。因此，ARP 原理在概念上不变，只是在技术上，ARP 表中的存储由 32 位 IPv4 地址转换为 IPv6 的 128 位地址；ARP 报文中的 IP 地址也由 32 位转换为 128 位。

补充题：某公司网络拓扑图如下图所示，

路由器 R1 通过接口 E1、E2 分别连接局域网 1、局域网 2，通过接口 L0 连接路由器 R2，并通过路由器 R2 连接域名服务器与互联网。

1) 将 IP 地址空间 202.118.1.0/24 划分为两个子网，分配给局域网 1、局域网 2，每



R1 和 R2 的路由表结构为：

| 目的网络 IP 地址 | 子网掩码 | 下一跳 IP 地址 | 接口 |
|------------|------|-----------|----|
|------------|------|-----------|----|

个局域网分配的地址数不少于 120 个，请给出子网划分结果。说明理由或给出必要的计算过程。

2) 请给出 R1 的路由表，使其明确包括到局域网 1 的路由、局域网 2 的路由、域名服务器的主机路由和互联网的路由。请采用路由聚合技术，给出 R2 到局域网 1 和局域网 2 的路由。

答：(1) 每个子网分配的地址数不少于 120 个，即每个子网应有 128 个地址，即主机号需要 7 位，1 位作为子网号。

划分如下：

局域网 1：地址范围是 202.118.1.0—202.118.1.127，子网地址为 202.118.1.0/25

局域网 2：地址范围是 202.118.1.128—202.118.1.255，子网地址为 202.118.1.128/25

(2) R1 的路由表如下：

| 目的网络 IP 地址    | 子网掩码                  | 下一跳 IP 地址   | 接口 |
|---------------|-----------------------|-------------|----|
| 202.118.1.0   | 255.255.255.128(或/25) | --- (直达)    | E1 |
| 202.118.1.128 | 255.255.255.128(或/25) | --- (直达)    | E2 |
| 202.118.3.2   | 255.255.255.255       | 202.118.2.2 | L0 |
| 0.0.0.0       | 0.0.0.0               | 202.118.2.2 | L0 |

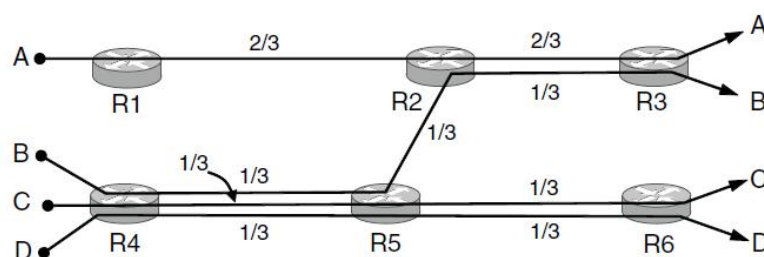
(3) R2 的路由表：

| 目的网络 IP 地址  | 子网掩码                | 下一跳 IP 地址   | 接口 |
|-------------|---------------------|-------------|----|
| 202.118.1.0 | 255.255.255.0(或/24) | 202.118.2.1 | L0 |

## 第六章 传输层

8. In Figure 6-20, suppose a new flow E is added that takes a path from R1 to R2 to R6. How does the max-min bandwidth allocation change for the five flows?

习题 8：在书图 6-20（即下图）中，假设加入了一个新的流 E，它的路径是从 R1 到 R2、R2 再到 R6。请问对于 5 个流的最大-最小带宽分配有什么变化？



解题思路：本题考查对于最大最小公平性原则的理解。在带宽分配中，如果增加任一个流的带宽，不会减少最小带宽需求的流的带宽，则该分配方式满足最大最小公平性原则。

答：流 A 和 E 在 R1-R2 均分带宽。由于 A 不是占用带宽最小的流，从 2/3 降为 1/2 没有违反最大-最小公平性原则。

在链路 R1-R2 上, A 分配 1/2 带宽, 在 R2-R3 上继续分配 1/2 带宽;

在链路 R1-R2 上, E 分配 1/2 带宽, 在 R2-R6 上继续分配 1/2 带宽;

其他流 (B、C、D) 的带宽分配不变。

10. Some other policies for fairness in congestion control are Additive Increase Additive Decrease (AIAD), Multiplicative Increase Additive Decrease (MIAD), and Multiplicative Increase Multiplicative Decrease (MIMD). Discuss these three policies in terms of convergence and stability.

习题 10: 拥塞控制的公平性方面有一些其他的策略, 即加法增加法减 (AIAD)、乘法增加法减 (MIAD)、乘法增乘法减 (MIMD), 请从收敛性和稳定性两个方面来讨论这三项方法?

解题思路: 本题考查源主机拥塞控制调整发送速率的各种方法的性能。

答: 从收敛性考虑, 对于 AIAD 和 MIMD 策略, 用户 1 和用户 2 占用的带宽将沿着效率线震荡, 但不会收敛于兼顾公平性和效率的最优点, MIAD 则会越来越远离最优点, 只有 AIMD 能够收敛到效率和公平性的最优点。

稳定性要求拥塞控制策略应该具有平稳递增, 积极递减特性。AIAD、MIMD 和 MIAD 这些策略都不满足稳定性。在 AIAD 和 MIAD 中, 拥塞时的发送速率的下降不够快, 不能尽快缓解拥塞; 在 MIAD 和 MIMD 中, 发送速率的增加不够平稳 (温和), 容易导致拥塞。

11. Why does UDP exist? Would it not have been enough to just let user processes send raw IP packets?

习题 11: 分析 UDP 存在的必要性。

解题思路: 本题考查对于 UDP 协议的优缺点的理解。

答: UDP 的服务是和 IP 一样的无连接、尽力而为服务。但通过 IP 地址只能将数据传送给目的主机, 无法确定应交给哪个应用进程。UDP 增加了端口号, 通过端口号寻址到进程, 实现了进程-进程的通信, 也提供了通过端口号复用的功能。

此外, UDP 简单、高效的特性适合与少量、频繁的数据传输, 例如 DNS、DHCP、网络管理信息和路由器之间交换路由表信息, 也适合于注重实时性高于传输可靠性的多媒体业务。

1-20. What is the similarity of UDP and TCP? What is the main difference between them?

习题 1-20. TCP 和 UDP 的主要区别是什么?

解题思路: 本题考查对于因特网传输层的两个重要协议的功能的理解。

答: TCP 提供的是可靠的面向连接的服务, 而 UDP 提供的是不可靠的无连接服务。

1-12. Two networks each provide reliable connection-oriented service. One of them offers a reliable byte stream and the other offers a reliable message stream. Are these identical? If so, why is the distinction made? If not, give an example of how they differ.

习题 12. 两个网络都提供可靠的面向连接服务。其中一个提供可靠的字节流，另一个则提供可靠的报文流。这两者是否相同？如果相同，为什么要区分成两类？如果不同，请举例说明其区别。

解题思路：本题考查面向连接的服务中，可靠的字节流服务和可靠的报文流服务的区别。在传输层一章中，将再次强调 TCP 提供的是可靠的字节流服务。

答：可靠的字节流与可靠的报文流不同。可靠的字节流没有边界，而可靠的报文流则有边界。例如：一个发送进程向一个连接中写入了 1024 字节数据，然后又写入了 1024 字节数据。对于可靠的报文流服务，接收进程将收到两个 1024 字节的数据；而对于可靠的字节流服务，接收进程将可能收到一个完整的 2048 字节的数据，即不能保证上层信息的边界。

18. What is the total size of the minimum TCP MTU, including TCP and IP overhead but not including data link layer overhead?

习题 18：最小的 TCP MTU 是多少字节？（包含 TCP 段头和 IP 包头的开销，不包括数据链路层的开销）

解题思路：本题考查对于默认情况下对于最小的 TCP MSS 和 IP MTU 的理解。

答：默认情况下，主机必须支持的最小 TCP MSS 为 536 字节；对应的 IP MTU 为 576 字节。

19. Datagram fragmentation and reassembly are handled by IP and are invisible to TCP. Does this mean that TCP does not have to worry about data arriving in the wrong order?

习题 19：IP 数据报的分段和重装机制由 IP 来处理，对于 TCP 不可见。试问，这是否意味着 TCP 不用担心数据错序到达的问题？

解题思路：本题考查对于分段/重装和乱序到达问题的理解。

答：IP 数据报的分段和重装（重组）是用于确保接收主机收到完整的 IP 数据报。即使每个数据报都完整地到达，但多个数据报到达目的主机时仍可能出现错序（乱序）。数据报的乱序到达与数据报的分段/重装是两个不相关的问题，因此 TCP 必须自己检查收到的报文段是否乱序。

21. A process on host 1 has been assigned port p, and a process on host 2 has been assigned port q. Is it possible for there to be two or more TCP connections between these two ports at the same time?

习题 21：主机 1 上的一个进程被分配到端口 p，主机 2 上的一个进程被分配到端口 q，试问这两个端口之间有可能同时存在两个或者多个 TCP 连接吗？

解题思路：本题考查对于端口号概念的理解。

答：不可能。IP 地址可以唯一确定一台主机，端口号唯一确定了主机内的一个进程，一条连接的一个端点（endpoint）通过（IP 地址、端口号）唯一标识。因此一个连接的唯一标识是一个四元组：（源 IP 地址、源端口号、目的 IP 地址、目的端口号），（主机 1，p1，主机 2，p2）只能对应一条连接。

22. In Fig. 6-36 we saw that in addition to the 32-bit acknowledgement field, there is



an ACK bit in the fourth word. Does this really add anything? Why or why not?

习题 22: 在书图 6-36 中我们看到除了 32 位的确认序号字段外, 在控制字段还有一个 ACK 标志位。试问, 这个标志位有额外的含义吗? 为什么有? 或者为什么没有?

解题思路: 本题考查对于 TCP 报文段头主要字段功能的理解。TCP 是一个基于确认的、面向字节流的、可变滑动窗口的协议。

答: ACK 标志位用于对端本报文段中是否使用了捎带应答(确认), 即“确认序号”是否有效。在正常的数据传输过程中, 如果的确认序号字段一直有效, ACK 位不是绝对必要的。但是, 在建立连接的三次握手消息(尤其是第一次握手和第二次握手消息)中, 没有数据字段, ACK 位是必不可少的。

25. Consider the effect of using slow start on a line with a 10-msec round-trip time and no congestion. The receive window is 24 KB and the maximum segment size is 2 KB. How long does it take before the first full window can be sent?

习题 25: 考虑在一条具有 10 毫秒环回时间的线路上采用慢启动拥塞控制的效应, 假定不发生拥塞, 接收窗口为 24KB, 且最大数据段长为 2KB。请问, 从慢启动开始, 需要多长时间才能发送第一个满窗口的数据?

解题思路: 本题考查对于 TCP 慢启动拥塞控制的原理的理解。TCP 发送端的发送窗口(向网络发送数据的最多字节数)取决于网络容量和接收方容量两个因素, 即发送端可以发送的字节数是由拥塞窗口和接收窗口这两个窗口的最小值决定的。

当建立一条连接时, 发送方要确定接收窗口的初始值和拥塞窗口的初始值。其中,

接收窗口初始值=由接收方通过 TCP 端口的“接收窗口”字段告知=24KB(本题);

拥塞窗口初始值=1 个 TCP 报文段 MSS=2KB。

因为, 拥塞窗口 < 接收窗口, 所以, 发送方将采用拥塞窗口规定的 2KB 开始发送数据。

答:  $T=0$ , 第 1 次发送, 发送窗口=拥塞窗口=2KB, 发送 2KB;

$t=10$  毫秒, 由于不发生拥塞, 收到 ACK, 拥塞窗口变为=4KB; 第 2 次发送, 发送窗口=4KB;

$t=20$  毫秒, 收到 ACK, 拥塞窗口变为 8KB; 第 3 次发送, 发送窗口=8KB;

$t=30$  毫秒, 收到 ACK, 拥塞窗口变为 16KB; 第 4 次发送, 发送窗口=16KB;

$t=40$  毫秒, 收到 ACK, 拥塞窗口变为 32KB; 由于  $32KB > 24KB$ , 发送窗口=MIN(拥塞窗口, 接收窗口)=24KB, 即达到满窗口。

因此, 需要 40 毫秒才能发送第一个满窗口的数据。

26. Suppose that the TCP congestion window is set to 18 KB and a timeout occurs. How big will the window be if the next four transmission bursts are all successful? Assume that the maximum segment size is 1 KB.

习题 26: 假设 TCP 的拥塞窗口在置为 18KB 时发生了定时器超时。如果接下来的 4 次传输全部成功的话, 则拥塞窗口将是多大? 假设最大报文段长度为 1KB。

解题思路: 在 TCP 的拥塞控制算法中, 从慢启动开始, 拥塞窗口按指数增长, 即如果每一轮

发送均收到 ACK，则拥塞窗口变为 2 倍；拥塞窗口增加到阈值时，增长速度减缓，改为线性增长（AI：每一轮发送成功后，拥塞窗口增加一个 MSS）。当发生超时时，阈值=当前拥塞窗口值的一半，而拥塞窗口则降为 1 个 MSS，开始新的慢启动。

答：发生超时，则阈值=超时时刻的拥塞窗口值/2=18KB/2=9KB；拥塞窗口=1KB。

重新开始新的慢启动：发送窗口=1KB，收到 ACK 后拥塞窗口=2KB；

发送窗口=2KB，收到 ACK 后拥塞窗口=4KB；

发送窗口=4KB，收到 ACK 后拥塞窗口=8KB；

发送窗口=8KB，收到 ACK 后拥塞窗口=9KB；

因此 4 次成功发送后，窗口=9KB。

27. If the TCP round-trip time, RTT, is currently 30 msec and the following acknowledgements come in after 26, 32, and 24 msec, respectively, what is the new RTT estimate using the Jacobson algorithm? Use  $\alpha = 0.9$ .

习题 27：如果 TCP 的往返时间 RTT 的当前值是 30 毫秒，紧接着分别在 26、32、24 毫秒确认到达，那么若使用 Jacobson 算法，试问新的 RTT 估计值是多少？其中 $\alpha=0.9$ ？

解题思路：本题考查对于 TCP 的 RTT 计算方法的掌握。

答：新的 RTT 估值= $\alpha \times$ 旧的 RTT 估值+ $(1-\alpha) \times$ RTT 的实测值

当前 RTT 估值=30ms，实测值=26ms，新的 RTT 估值= $0.9 \times 30 + 0.1 \times 26 = 29.6\text{ms}$

同理，后两次新的 RTT 估值分别为：29.84ms 和 29.256ms。

28. A TCP machine is sending full windows of 65,535 bytes over a 1-Gbps channel that has a 10-msec one-way delay. What is the maximum throughput achievable? What is the line efficiency?

习题 28：一台 TCP 主机在带宽为 1Gbps 的链路上发送满窗口数据（65535 字节），单程时延为 10ms，求最大吞吐量和线路利用率。

解题思路：本题考查对于 TCP 滑动窗口和确认机制的理解，以及最大吞吐量和线路利用率的计算。

答：TCP 主机发出满窗口的数据（65535 字节）之后，收到确认才能继续发送下一个满窗口数据。单程时延是 10ms，因此往返总时延为 20ms。

（1）最大吞吐量=满窗口数据量/往返总时延= $65535 \times 8 / 20\text{ms} = 26.214\text{Mbps}$ （或 3.28MB/s）

（2）线路利用率=最大吞吐量/链路带宽= $26.214\text{Mbps} / 1\text{Gbps} \approx 2.6\%$

传播时延远大于发送时延，带宽时延积很大，信道的利用率很低。

说明：本题目中，单程时延含（发送时延+传播时延），由于在 TCP 中，一般发送时延远小于传播时延

补充题：2014 年考研试题：

主机甲和乙已建立了 TCP 连接，甲始终以  $MSS=1KB$  大小的段发送数据，并一直有数据发送；乙每收到一个数据段都会发出一个接收窗口为  $10KB$  的确认段。若甲在  $t$  时刻发生超时，此时拥塞窗口为  $8KB$ ，则从  $t$  时刻起，不再发生超时的情况下，请计算经过 10 个 RTT 后，甲的发送窗口是多少？

解题思路：本题考查对 TCP 的拥塞控制策略的掌握和对发送窗口大小的理解。

发送窗口 =  $\min(\text{接收窗口}, \text{拥塞窗口})$

答： $t$  时刻超时，拥塞窗口 =  $1KB$ ，阈值 =  $4KB$ ，此后发送窗口的变化如下表所示：

|                |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |
|----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------|
| 经 过 的<br>RTT 数 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10   |
| 拥塞窗口           | 2  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12KB |
| 接收窗口           | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10   |
| 发送窗口           | 2  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 10 | 10KB |

因此，经过 10 个 RTT 之后，甲的发送窗口为  $10KB$ 。

## 第七章 应用层

4. In addition to being subject to loss, UDP packets have a maximum length, potentially as low as 576 bytes. What happens when a DNS name to be looked up exceeds this length? Can it be sent in two packets?

习题 4. 除了可能丢失之外，UDP 包还有一个最大长度限制，很可能低至 576 字节。如果一个 DNS 报文超过了这个长度限制，将会发生什么？可以放在两个 UDP 包中发送吗？

解题思路：本题考查对于 UDP 封装的特性的理解。UDP 对应用层一个完整的报文（消息）进行封装，可以保留报文（消息）的完整性。

答：UDP 直接将应用层的一个报文进行封装，不会对报文进行拆分。如果报文长度超出 UDP 包的最大数据长度，UDP 将不予发送。

6. Can a machine with a single DNS name have multiple IP addresses? How could this occur?

习题 6. 有一个 DNS 域名的一台主机能有多多个 IP 地址吗？这种情况是怎么发生的？

解题思路：本题考查对于 DNS 域名的功能和应用的理理解。

答：如果一台主机内有多块网卡，即可以有多个 IP 地址，但一般联网时只使用其中的一块网卡，即只有一个 IP 地址是活跃的。对于使用 SCTP 协议（参见第六章讲义“逆向复用 Inverse Multiplexing”）的主机可以同时使用多个 IP 地址。

一个 DNS 域名可以对应多台主机，例如考虑到可靠性和负载分担，一个机构的 web 资源可以由多台 web 服务器共同提供，这些服务器对外的域名只有一个，如 `www.example.com`，但每台服务器有不同的 IP 地址，即一个域名对应多个 IP 地址，在域名解析时由 DNS 服务器映射

为其中一个 IP 地址。

18. IMAP allows users to fetch and download email from a remote mailbox. Does this mean that the internal format of mailboxes has to be standardized so any IMAP program on the client side can read the mailbox on any mail server? Discuss your answer.

习题 18. IMAP 允许用户从远程邮箱中读取和下载邮件。这是否意味着邮箱的内部格式必须是标准的，以便客户端的任何 IMAP 程序都能读取任何邮件服务器上的邮箱？

解题思路：本题考查对于客户端程序的功能和邮件服务器对于邮箱的管理功能的理解。

答：不需要。

邮箱由邮件服务器统一管理。客户端 IMAP 程序和邮件服务器程序通信，发送命令给邮件服务器，由邮件服务器（IMAP 守护进程 Deamon）访问邮箱，读取邮件并发送给客户端。客户端程序不会直接访问邮箱，因此邮箱格式不需要标准化。

20. Does Webmail use POP3, IMAP, or neither? If one of these, why was that one chosen? If neither, which one is it closer to in spirit?

习题 20. Webmail 使用 POP3、IMAP 还是其他协议？为什么？如果使用其他协议，这个协议从本质上更接近于 POP3 还是 IMAP？

解题思路：本题考查对于各个 Email 邮件访问协议功能及各协议特性的理解。

答：Webmail 使用浏览器实现，与邮件服务器使用 HTTP 协议进行通信。

从本质上，Webmail 更接近于 IMAP，即允许用户对服务器上的邮箱内容进行管理，在线对邮件进行转发、删除等操作。而 POP3 则是将邮箱中的邮件下载到本地进行管理。