

《计算机网络》1-3 章课后习题参考解答

第一章 概述

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。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。

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：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时延抖动（jitter）
（2）视频业务也需要时延抖动
（3）对于金融事务业务，可靠性和安全性也非常重要。

习题 4. 存储转发分组交换系统的时延中的一个因素是交换机存储和转发一个数据包所用的时间。如果交换时间是 10 微秒，对于一个客户-服务器系统的响应时间是否可能是一个主要因素。假定客户机在纽约，而服务器在加利福尼亚；假定铜缆和光纤的传播速度是真空中光速的 2/3。

解题思路：本题考查对于组成时延的一个因素——节点交换时间的理解，并且比较交换时间和传播时延的大小。

答：传播速度 $v = c \times (2/3) = 3 \times 10^8 \times 2/3 = 2 \times 10^8$ 米/秒

交换机存储转发的时延相当于传输距离： $s = v \times t = 2 \times 10^8 \times 10 \times 10^{-6} = 2000$ 米

而纽约到加利福尼亚的距离超过 2000 公里，远大于 2000 米，因此交换机的处理时间对于响应时间影响不大，可以忽略。

习题 5. 一个客户-服务器系统使用卫星网络，卫星在 40000 公里的高空。从发出请求到收到响应至少需要多少时间？

解题思路：本题考查对于传播时延概念的理解及计算。

答：理想状态下的传播速度为光速 $c = 3 \times 10^8$ 米/秒

客户发送请求到卫星接收所花费的时间 $t_1 = 40000 \times 10^3 / (3 \times 10^8) = 0.13$ 秒

卫星将请求转发给服务器所花费时间 $t_2 = t_1 = 0.13$ 秒

服务器通过卫星将响应发回给客户机所用的时间是 $0.13 \times 2 = 0.26$ 秒

因此总时间为 $0.26 \times 2 = 0.52$ 秒

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 $1-p_1-p_2 = 1 - n \times p \times (1-p)^{n-1} - (1-p)^n$

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。

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。

DNS 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。

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数据，即不能保证上层信息的边界。

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

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

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

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。

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 $nh/(M + nh)$ 。

习题 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。

习题 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。

习题 29. 在分层体系结构中，假定修改了实现 k 层操作的算法，是否会影响 $(k-1)$ 层和 $(k+1)$ 层的操作？

解题思路：本题考查网络体系结构中相邻两层的关系。

答：只要保持 k 层与相邻两层的接口不变， k 层实现的改变对于 $(k-1)$ 层和 $(k+1)$ 层都没有影响。

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

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。

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。

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。

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 1920×1200 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 = $1920 \times 1200 \times 24 \times 50 = 2.765 \text{ Gbps}$ 。

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。

习题 21. 一个 MODEM 的星云图类似图 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。

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： $248 \times 3/4 \times 4000 \times \log_2 64 = 4.464 \text{ Mbps}$

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

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

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： $2 \times 4k \times 7 = 56\text{kbps}$

习题 35. 有 3 个分组交换网络，每个网络中均包含 n 个节点。第一个网络采用有集中交换机的星型拓扑；第二个网络采用双向环型拓扑；第三个采用全互连拓扑结构，即每个节点都连接到其它任意一个节点。试求每个网络中的最好情形、平均情形和最坏情形下的跳数？

解题思路：本题考查对于不同的拓扑结构中节点互连情形的理解。

答：

对于星型网络，最好情形=平均情形=最坏情形= 2 跳

对于双向环型网络，最好情形=1 跳（发给邻居节点），平均情形= $n/4$ 跳，最坏情形= $n/2$ 跳

对于全互连网络，最好情形=平均情形=最坏情形=1 跳

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 $p < \frac{Sb}{(k-1)}$

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， $p = \sqrt{\frac{hx}{k-1}}$

习题 44. 一个 CDMA 接收器收到下列码片：(-1+1-3+1-1-3+1+1)，假定各站点的码片序列按照图 Fig. 2-28(a)定义，试求这些站点的发送情况。

解题思路：本题考查对于 CDMA 技术的理解。在 CDMA 中，每个站点使用自己独特的码片序列来表示数据位 '0' 和 '1'，由于码片序列的正交性，采用同样码片序列的接收站点可以从复合数据中提取出发给自己的数据。

答：对 A、B、C、D 四个站点按照码序计算如下：

A 站：(-1 +1 -3 +1 -1 -3 +1 +1)•(-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)/8 = 1

B 站：(-1 +1 -3 +1 -1 -3 +1 +1)•(-1 -1 +1 -1 +1 +1 +1 -1)/8 = -1

C 站：(-1 +1 -3 +1 -1 -3 +1 +1)•(-1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1)/8 = 0

D 站：(-1 +1 -3 +1 -1 -3 +1 +1)•(-1 +1 -1 -1 -1 -1 +1 -1)/8 = 1

可知，A 站和 D 站发送的是二进制位 1，B 站发送了二进制位 0，而 C 站没有发送数据。

第三章 数据链路层

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： $(1-0.107)^{k-1} \times 0.107$

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

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。

习题 4. 使用比特填充时，是否可能出现单比特差错（丢失、插入或者修改等），而通过校验和无法查出？如果不会，为什么？如果会，什么情况下会出现？校验和长度对此是否有影响？

解题思路： 本题考查对于校验概念和校验能力的理解。

答：有可能出现。当使用比特填充时，如果有单比特数据在传输的过程中发生改变，对于 n 位校验和，有 $1/(2^n)$ 的概率无法查出错误，即被判断为校验和字段的 n 位数据的值恰好是使得对数据部分校验正确的值。校验和的位数越长，错误被忽略的概率越低。

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。

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

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，右下角的校验位对本行和本列进行校验。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。

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 。

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。

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。

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。

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

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 Go back N 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）。

习题 21. 假定一个滑动窗口协议使用了很多位序号，而不会发生序号回绕（即序号一直递增，而不用循环使用序号）。发送窗口和接收窗口大小相等且不变，试问窗口大小和 4 个窗口边界之间有什么关系？

解题思路：本题考查选择重传 ARQ 协议中，发送窗口序号和接收窗口序号的关系。应注意，发送窗口内的序号是已发送但还未被确认的帧的序号，因此窗口的大小是可变的（即协议 5 和协议 6 中的 $nbuffered$ ）；而接收窗口中的序号是可以接收的帧的序号，窗口大小固定不变。

答：设窗口大小为 W ，窗口的下边缘（窗口内最先到达的一帧的序号）用下标 l 表示，上边缘（窗口内最后到达的一帧的序号）用下标 u 表示，即发送方窗口为 (S_l, S_u) ，接收窗口为 (R_l, R_u) 。它们之间的关系如下：

$$0 \leq S_u - S_l \leq W-1$$

$$R_u - R_l + 1 = W$$

$$S_l \leq R_l \leq S_u + 1$$

$$S_u \leq R_u \leq S_u + W$$

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。

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、Go back N ARQ 协议和选择重传 ARQ 协议的理解和性能计算。

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

(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= $2^3-1=7$ ，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= $4/542=0.74\%$

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×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。

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。

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。

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。

补充题一：

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 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 $32/40=80\%$

补充题二：

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。