



计算机网络第5章作业参考答案

- 1、端口的作用是什么？为什么端口要划分为三种？
- 2、TCP如何实现端到端可靠性传输？
- 3、描述TCP连接建立的三握手过程和连接释放的四报文握手？
- 4、如何计算RTTs、 RTT_D 、RTO？
- 7、在TCP的拥塞控制中，什么是慢开始、拥塞避免、快重传、快恢复算法？
- 8、拥塞控制和流量控制的作用和区别？



5、第8版课后习题：5-33

分析：

根据RFC 2988建议， $RTO = RTT_s + 4 \times RTT_D$

初次测量时， $RTT_s(1) = RTT(1)$

$$RTT_D(1) = RTT(1) / 2$$

后续测量时，

$$RTT_s(i) = (1 - \alpha) \times RTT_s(i-1) + \alpha \times RTT(i)$$

$$\alpha = 1/8$$

$$RTT_D(i) = (1 - \beta) \times RTT_D(i-1) + \beta \times |RTT_s(i) - RTT(i)|$$

$$\beta = 1/4$$



5、第8版课后习题：5-33

解答(1):

RTO=6秒是人为初始设定的
测试出RTT样本值为 1.5秒，比6秒少，没有超时，所以
这个RTT样本值是可用的，可以用来计算新的RTO，否则就得用修正算法了

$$RTT(1) = 1.5 \text{ s}$$

$$RTTs(1) = 1.5 \text{ s}$$

$$RTT_D(1) = RTT(1)/2 = 0.75 \text{ s}$$

$$RTO(1) = RTTs(1) + 4 \times RTT_D(1)$$

$$= 1.5 + 4 \times 0.75$$

$$= 4.5 \text{ s}$$



5、第8版课后习题：5-33

解答(2):

$$RTT_s(1) = 1.5 \text{ s}$$

$$RTT_D(1) = 0.75 \text{ s}$$

$$RTT(2) = 2.5 \text{ s}$$

$$\begin{aligned} RTT_s(2) &= (1 - \alpha) \times RTT_s(1) + \alpha \times RTT(2) \\ &= (1 - 1/8) \times 1.5 + 1/8 \times 2.5 = 1.625 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} RTT_D(2) &= (1 - \beta) \times RTT_D(1) + \beta \times |RTT_s(2) - RTT(2)| \\ &= (1 - 1/4) \times 0.75 + 1/4 \times |1.625 - 2.5| = 0.78125 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} RTO(2) &= RTT_s(2) + 4 \times RTT_D(2) \\ &= 1.625 + 4 \times 0.78125 = 4.75 \text{ s} \end{aligned}$$



5、第8版课后习题：5-34

解答：

$$\alpha = 0.1 \quad \text{RTT}(1) = 30 \text{ ms} \quad \text{RTTs}(1) = 30 \text{ ms}$$

$$\text{RTT}(2) = 26 \text{ ms} \quad \text{RTT}(3) = 32 \text{ ms} \quad \text{RTT}(4) = 24 \text{ ms}$$

$$\begin{aligned} \text{RTTs}(2) &= (1 - \alpha) \times \text{RTT}_s(1) + \alpha \times \text{RTT}(2) \\ &= (1 - 0.1) \times 30 + 0.1 \times 26 = 29.6 \text{ ms} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{RTTs}(3) &= (1 - \alpha) \times \text{RTT}_s(2) + \alpha \times \text{RTT}(3) \\ &= (1 - 0.1) \times 29.6 + 0.1 \times 32 = 29.84 \text{ ms} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{RTTs}(4) &= (1 - \alpha) \times \text{RTT}_s(3) + \alpha \times \text{RTT}(4) \\ &= (1 - 0.1) \times 29.84 + 0.1 \times 24 = 29.256 \text{ ms} \end{aligned}$$

RTT测量样本值的变化幅度可以超过20%，但是加权平均后平滑的往返时间RTTs的变化幅度最多只有0.1%



6、在建立TCP连接时，发送方设定超时重传时间是 $RTO = 2.2s$ ，且上一次测量计算的 RTT_s 值为 $1.4s$ 。当发送方接到对方的连接确认报文段时，测量出 RTT 样本值为 $1.5s$ ，试计算现在的 RTO 值

根据RFC 2988建议， $RTO = RTT_s + 4 \times RTT_D$

初次测量时， $RTT_s(1) = RTT(1)$

$$RTT_D(1) = RTT(1) / 2$$

后续测量时，

$$RTT_s(i) = (1 - \alpha) \times RTT_s(i-1) + \alpha \times RTT(i) \quad \alpha = 1/8$$

$$RTT_D(i) = (1 - \beta) \times RTT_D(i-1) + \beta \times |RTT_s(i) - RTT(i)| \quad \beta = 1/4$$



解答：

$$RTO(1) = 2.2 \text{ s} \quad RTT_s(1) = 1.4 \text{ s} \quad RTT(2) = 1.5 \text{ s}$$

$$\begin{aligned} RTT_s(2) &= (1 - \alpha) \times RTT_s(1) + \alpha \times RTT(2) \\ &= (1 - 1/8) \times 1.4 + 1/8 \times 1.5 = 1.4125 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} RTO(1) &= RTT_s(1) + 4 \times RTT_D(1) \\ &= 1.4 + 4 \times RTT_D(1) = 2.2 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow RTT_D(1) = 0.2 \text{ s}$$

$$\begin{aligned} RTT_D(2) &= (1 - \beta) \times RTT_D(1) + \beta \times |RTT_s(2) - RTT(2)| \\ &= (1 - 1/4) \times 0.2 + 1/4 \times |1.4125 - 1.5| = 0.171875 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} RTO(2) &= RTT_s(2) + 4 \times RTT_D(2) \\ &= 1.4125 + 4 \times 0.171875 = 2.1 \text{ s} \end{aligned}$$



9、若采用滑动窗口机制对于两个相邻接点A（发送方）和B（接收方）的通信过程进行流量控制。假定帧的序号长度为3个二进制位，发送窗口和接受窗口的大小都是7，当A发送了编号为0、1、2、3这4个帧后，而B接受了这4个帧，但仅应答了0、1两个帧。请问：此时，A的发送窗口将要发送的帧序号为哪些？此时，B的接收窗口内可能的最大帧序号为多少？



解答：帧序号长度为3位，则帧的序号为0, 1, ..., 7。发送窗口大小为7，则初始窗口内的帧序号为0, 1, 2, 3, 4, 5, 6。窗口中的帧是在接收到B确认前，可以连续发送的帧序号。

A的初始窗口：

0	1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---	---

A连续发送序号为0、1、2、3的4个帧后，窗口状态如下：

连续发送4个帧后的A窗口：

0	1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---	---



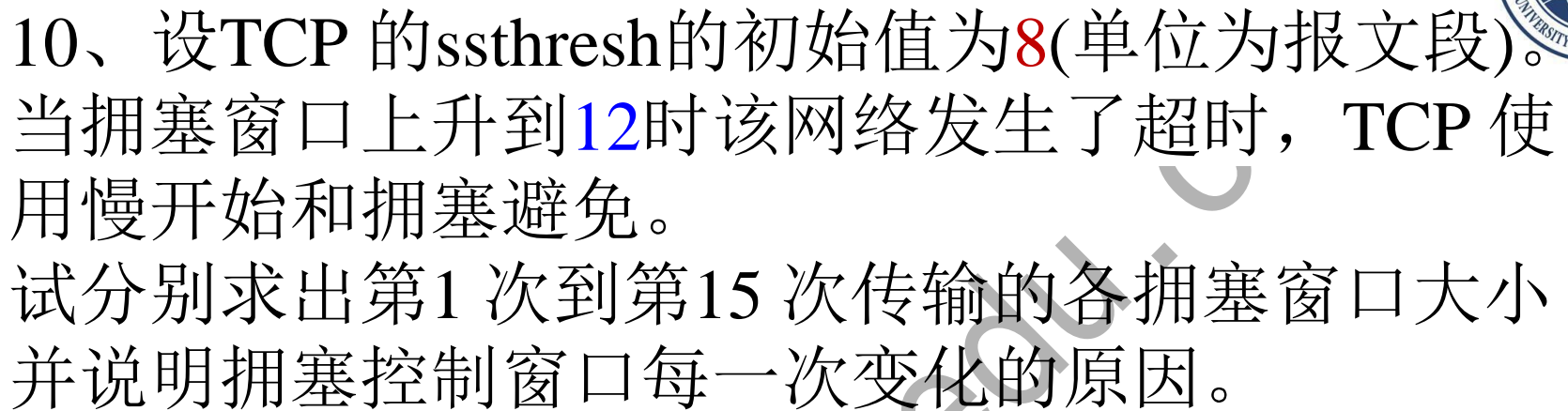
B收到了4个帧后，确认了0、1两个帧，则A的发送窗口将移出0、1两个帧序号，移入序号7和新的序号0，即此时发送窗口的序号为2、3、4、5、6、7、0（新）等。其中，序号为2、3的帧是已经发送并等待确认的，序号为4、5、6、7、0的帧是可以发送还没有发送的。

收到0、1帧确认后的A窗口： 0 1 2 3 4 5 6 7 0

此时，将要发送的帧分两种情况：

- (1) 如果未发生超时，4、5、6、7、0是将要发送的帧。
- (2) 如果发生了超时，则2、3将会重传，那么将要发送的帧序号为 2、3、4、5、6、7、0

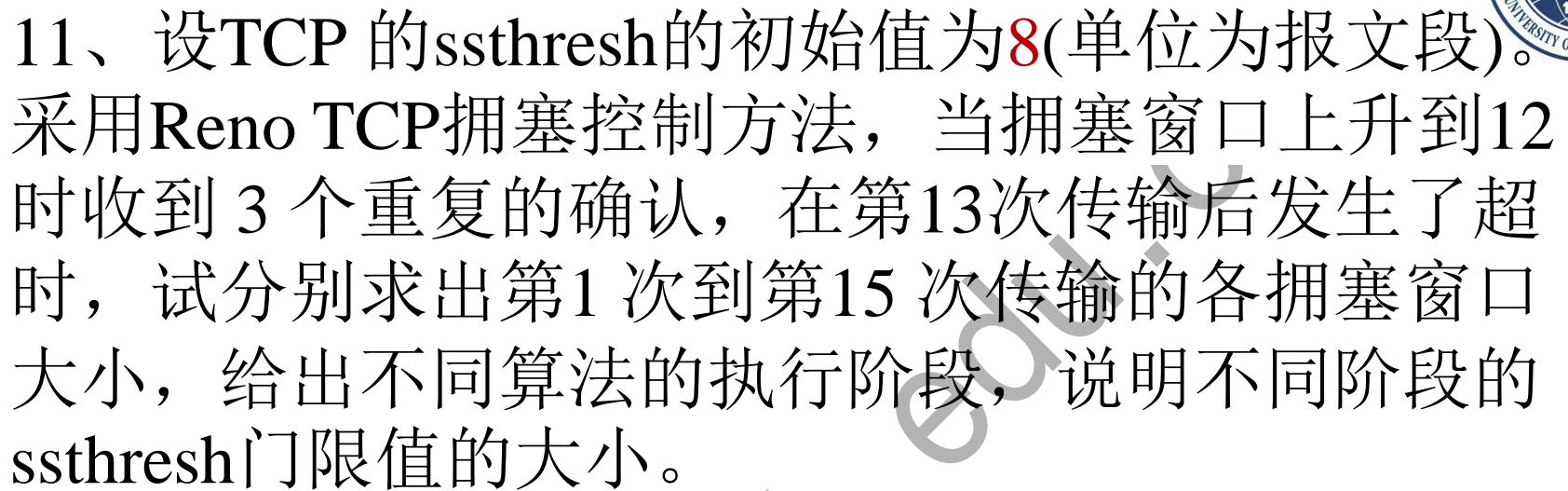
此时，3是A已经发送出去的最大帧序号，因此，B的接收窗口内可能的最大帧序号为3（上一轮确认前可能发出的最大序号），但此后B的接收窗口内可能的最大帧序号为7。

[illegible]

解答:

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
cwnd	1	2	4	8	9	10	11	12	1	2	4	6	7	8	9

- TCP使用慢开始，第一次发送1段，窗口大小为1；
- 随后按2的指数增长，增长到sssthresh的初始值8，需要经过 $\log_2 8 = 3$ 次，即第4次；
- 随后进入第一轮拥塞避免算法，按线性增长到12，需要 $12 - 8 = 4$ 次，即第8次；
- 此时，发生超时将开始新一轮的慢开始，窗口重新设置为1，同时新的sssthresh值更新为 $12 / 2 = 6$ ；
- 新一轮慢开始阶段由1按指数增长到大于6，需要3次（ $2^3 = 8 > 6$ ），即发生超时后的第4次，总第 $8 + 4 = 12$ 次。
- 进入第二轮拥塞避免，窗口值由新的sssthresh值6开始线性增长，传输到第15次时，线性增长了 $15 - 12 = 3$ 次，此时窗口值为 $6 + 3 = 9$ 。

[illegible]

解答:

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
cwnd	1	2	4	8	9	10	11	12	6	7	8	9	10	1	2

- TCP使用慢开始，第一次发送1段，窗口大小为1；
- 随后按2的指数增长，增长到ssthresh的初始值8，需要经过 $\log_2 8 = 3$ 次，即第4次；
- 随后进入第一轮拥塞避免算法，按线性增长到12，需要 $12 - 8 = 4$ 次，即第8次；
- 此时，收到3个重复的确认，窗口cwnd和ssthresh值更新为原来cwnd的一半，即 $12/2 = 6$ ，开始快重传和快恢复算法；
- 进入新一轮拥塞避免阶段，按线性增长到10；
- 在第13次传输后发生超时，开始新一轮的慢启动，窗口重新设置为1，同时新的ssthresh值更新为 $10/2 = 5$ ；
- 新一轮慢启动阶段，在第15次传输时由1按指数增长到2。



12、通信信道带宽为1Gb/s，端到端时延为10ms。
TCP的发送窗口为65535字节。试问：网络可能达到的最大吞吐量是多少？信道的利用率是多少？

(1) 不考虑协议首部的封装，直接把数据发送到信道上

信道上发送的数据长度L为

$$L = 65,535 \text{ Byte} = 65,535 \times 8 \text{ bit} = 524,280 \text{ bit}$$

$$\text{发送时间} = 524,280 \text{ bit} \div 10^9 \text{ bit/s}$$

$$\approx 5.24 \times 10^{-4} \text{ s}$$

$$= 0.524 \text{ ms}$$

$$\text{往返时延} = 2 \times 10 \text{ ms} = 20 \text{ ms}$$



- ❑ TCP采用确认重传机制，成功的数据发送过程包括TCP报文段的发送和确认两个部分，缺一不可。
- ❑ 在连续AQR协议和累积确认机制下，在可能达到的最大吞吐量情况下，网络时延最小可以按照(发送时延+往返时延)来计算。

$$\begin{aligned}\text{网络可达最大吞吐量} &= \text{发送的数据} / \text{网络时延} \\ &= \text{发送的数据} / (\text{发送时延} + \text{往返时延}) \\ &= 524,280 \text{ b} / (0.524 + 20) \text{ ms} \\ &= 0.524280 \text{ Mb} / 20.524 \text{ ms} \\ &\approx 25.544 \text{ Mb/s}\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\text{信道利用率} &= \text{数据发送时延} / \text{占用信道时间} \\ &= \text{发送时延} / (\text{发送时延} + \text{往返时延}) \\ &= 0.524 / 20.524 \\ &\approx 2.55\%\end{aligned}$$

或

$$\begin{aligned}\text{信道利用率} &= \text{吞吐量} / \text{信道带宽} \\ &= 25.544(\text{Mb/s}) / 1(\text{Gb/s}) \\ &\approx 2.55\%\end{aligned}$$



通信信道带宽为1Gb/s，端到端时延为10ms。TCP的发送窗口为65535字节。试问：网络可能达到的最大吞吐量是多少？信道的利用率是多少？

(2) 考虑下层协议封装，但是不考虑数据链路层

$$\text{数据长度 } L = (65535 + 20 + 20) \times 8 = 524600 \text{ bit}$$

$$\text{带宽 } C = 10^9 \text{ b/s}$$

$$\text{发送时间 } T_s = L/C = 0.0005246 \text{ s}$$

$$\text{端到端时延 } T_d = 10 \times 10^{-3} \text{ s}$$

$$\text{Throught} = L/(T_s + 2 \times T_d) = 524600/0.0205246 \\ \approx 25.5 \text{ Mb/s}$$

$$\text{Efficiency} = T_s/(T_s + 2 \times T_d) \approx 2.55\%$$



通信信道带宽为1Gb/s，端到端时延为10ms。TCP的发送窗口为65535字节。试问：网络可能达到的最大吞吐量是多少？信道的利用率是多少？

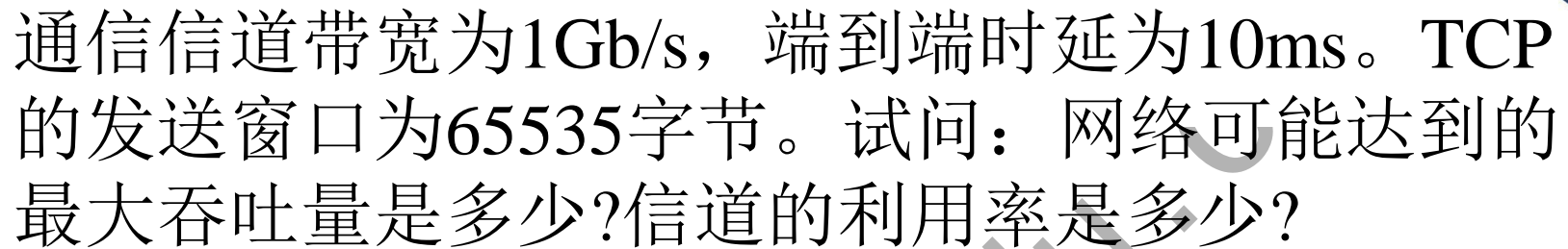
进一步讨论：

IP数据报的最大总长度为65535字节

那么TCP报文段的数据部分最大为65495字节

当TCP的发送窗口为65535字节时，至少需要分成两个TCP报文段进行发送，那么在IP层上向信道发送的数据长度L应该增加两个IP首部和两个TCP首部，也就是 $L=65535+2 \times (20+20)=65615$ 字节。

按照流水发送和累积确认方式，则下一步的计算方法同前。



MAC帧的最大长度为 $6+6+2+1500+4=1518$ 字节。
再加7个字节的前同步码，1个字节的帧开始定界符，
信道上允许发送的数据长度L为1526 字节。

如果再考虑曼切斯特编码会导致带宽效率下降一半，那吞吐量的估算就更繁琐了。

显然，如此复杂的情况与题目关注的网络吞吐量的初衷是不符的，可以不考虑。

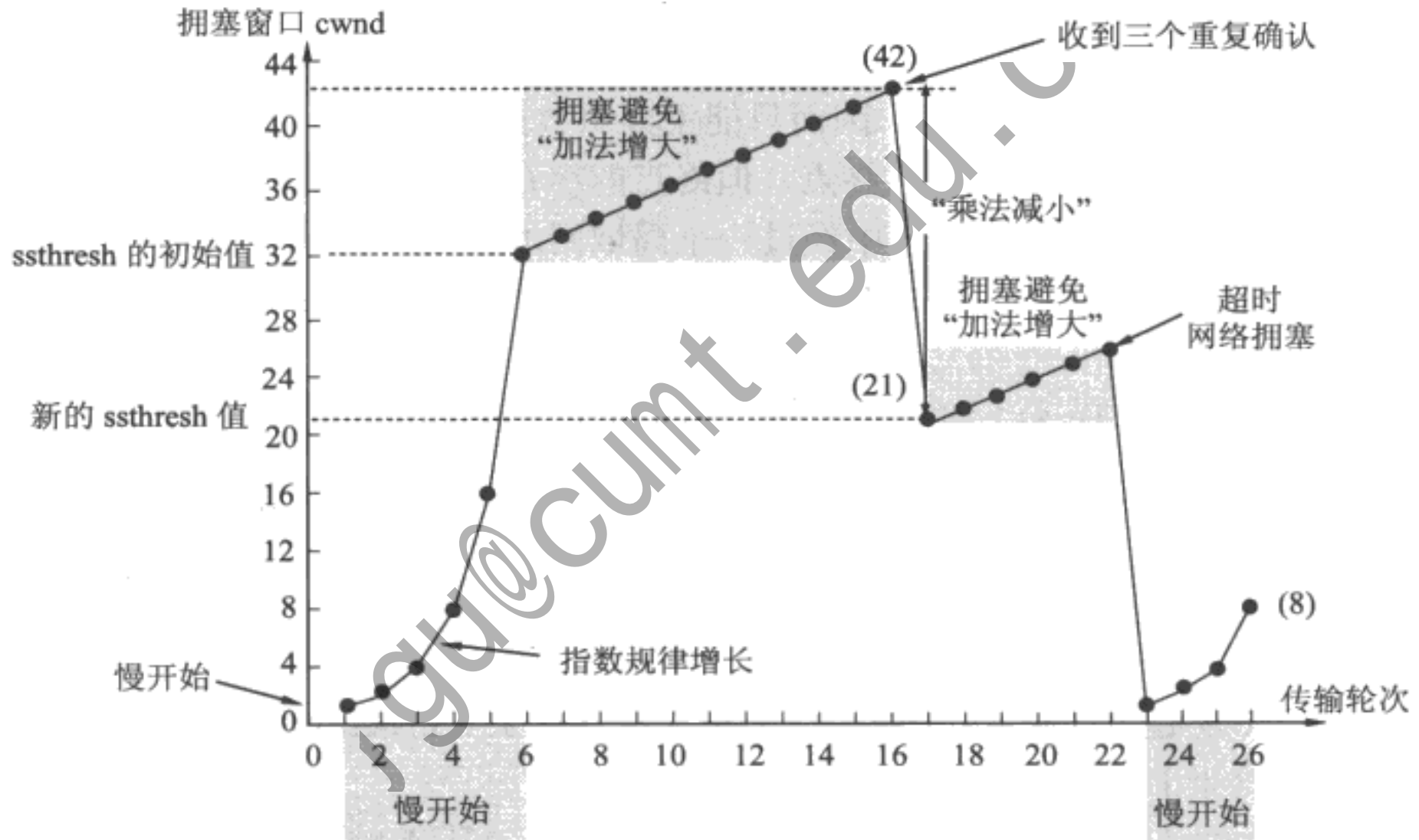


第8版课后习题 5-38, 15个轮次拥塞窗口大小及变化原因

轮次	拥塞窗口	拥塞窗口变化的原因
1	1	网络发生了超时, TCP 使用慢开始算法
2	2	拥塞窗口值加倍
3	4	拥塞窗口值加倍
4	8	拥塞窗口值加倍, 这是 ssthresh 的初始值
5	9	TCP 使用拥塞避免算法, 拥塞窗口值加 1
6	10	TCP 使用拥塞避免算法, 拥塞窗口值加 1
7	11	TCP 使用拥塞避免算法, 拥塞窗口值加 1
8	12	TCP 使用拥塞避免算法, 拥塞窗口值加 1
9	1	网络发生了超时, TCP 使用慢开始算法
10	2	拥塞窗口值加倍
11	4	拥塞窗口值加倍
12	6	拥塞窗口值加倍, 但到达 12 的一半时, 改为拥塞避免算法
13	7	TCP 使用拥塞避免算法, 拥塞窗口值加 1
14	8	TCP 使用拥塞避免算法, 拥塞窗口值加 1
15	9	TCP 使用拥塞避免算法, 拥塞窗口值加 1



第8版课后习题 5-39， 拥塞窗口与传输轮次的关系曲线





第8版课后习题 5-39

(2) 慢开始时间间隔: $[1, 6]$ 和 $[23, 26]$ 。

(3) 拥塞避免时间间隔: $[6, 16]$ 和 $[17, 22]$ 。

(4) 在第 16 轮次之后发送方通过收到三个重复的确认, 检测到丢失了报文段, 因为题目给出, 下一个轮次的拥塞窗口减半了。

在第 22 轮次之后发送方是通过超时检测到丢失了报文段, 因为题目给出, 下一个轮次的拥塞窗口下降到 1 了。

(5) 在第 1 轮次发送时, 门限 `ssthresh` 被设置为 32, 因为从第 6 轮次起就进入了拥塞避免状态, 拥塞窗口每个轮次加 1。

在第 18 轮次发送时, 门限 `ssthresh` 被设置为发生拥塞时拥塞窗口 42 的一半, 即 21。

在第 24 轮次发送时, 门限 `ssthresh` 被设置为发生拥塞时拥塞窗口 26 的一半, 即 13。

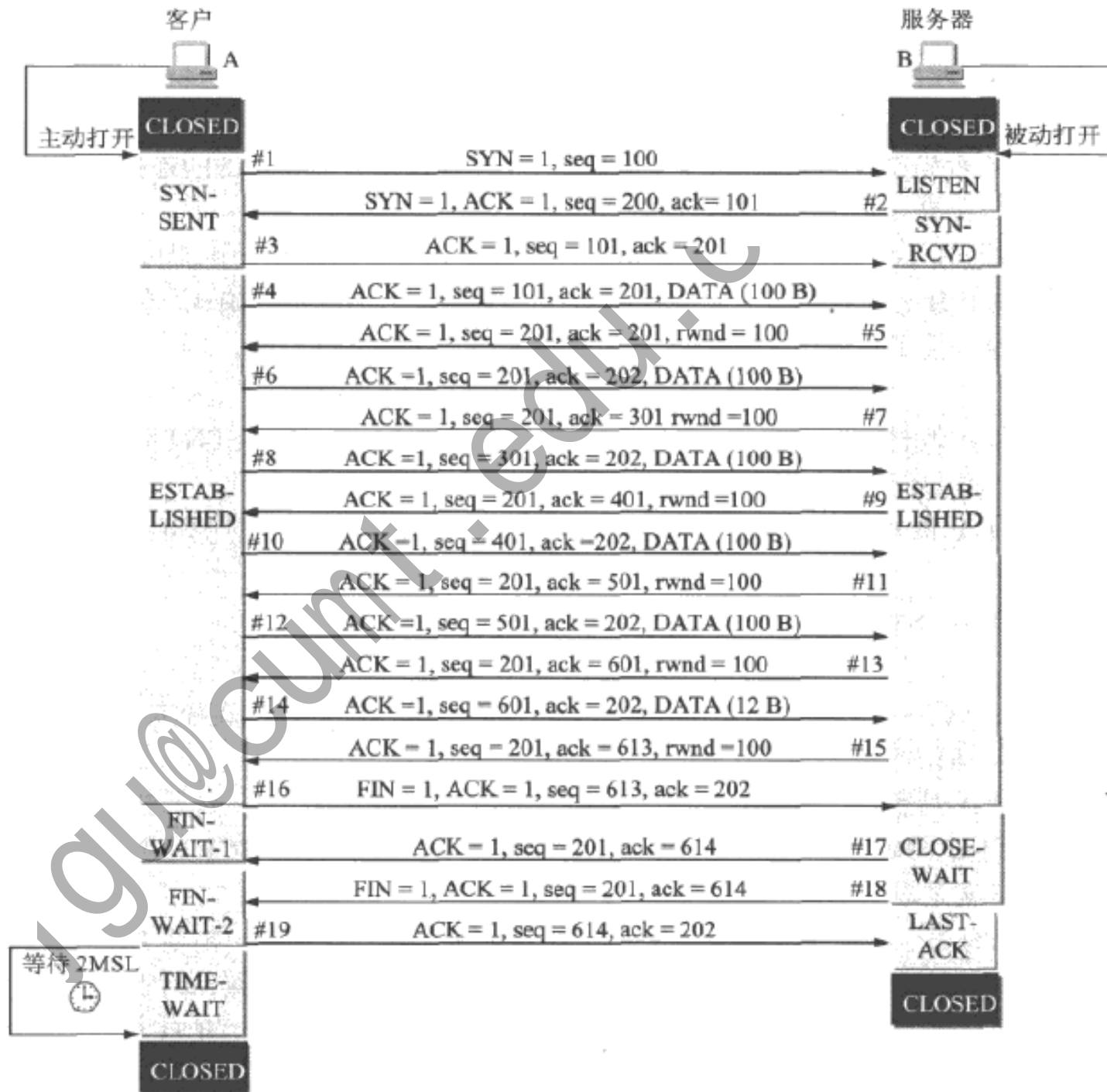


第8版课后习题 5-39

- (6) 第 1 轮次发送报文段 1。(cwnd = 1)
第 2 轮次发送报文段 2, 3。(cwnd = 2)
第 3 轮次发送报文段 4 ~ 7。(cwnd = 4)
第 4 轮次发送报文段 8 ~ 15。(cwnd = 8)
第 5 轮次发送报文段 16 ~ 31。(cwnd = 16)
第 6 轮次发送报文段 32 ~ 63。(cwnd = 32)
第 7 轮次发送报文段 64 ~ 94。(cwnd = 33)
因此第 70 报文段在第 7 轮次发送出。

(7) 检测出了报文段的丢失时拥塞窗口 cwnd 是 8, 因此拥塞窗口 cwnd 的数值应当减半, 等于 4, 而门限 ssthresh 应设置为检测出报文段丢失时拥塞窗口 8 的一半, 即 4。

第8版课后习题 5-41





说明:

- ✓ 左边是客户端，右边是服务器
- ✓ 因为服务器端是独立确认，所以不消耗序号。
- ✓ 客户端对服务器端数据的捎带确认，所以确认序号也保持不变
- ✓ #4的 $\text{ack}=201$ ，是客户端对 #2 的服务器端 $\text{seq}=200$ 的确认，所以是 201
- ✓ 在三握手过程中，服务器会消耗一个序号，所以#5 中的服务器的 seq 会变成201
- ✓ 因为，#5 的服务器端发送的是独立确认，不消耗序号
- ✓ 所以，#7 的服务器端的序号 seq 保持为 201
- ✓ #6和#8分别是对#5和#7的捎带确认
- ✓ 因为#5和#7的 seq 是 201，所以 #6和#8的 ack 就是 202
- ✓ 后续依次如此