**实验6 传输层实验**

**传输层实验发送方初始序号（sequence number）记录表，请填写：**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **实验名称** | **实验班号** | **学号** | **姓名** | **发送方初始序号** |
| TCP协议基本分析 | 周三上午 |  |  |  |
| 滑动窗口机制和窗口侦查机制分析 | 周三上午 |  |  |  |
| 慢启动、拥塞避免及拥塞处理和超时重传机制实验 | 周三上午 |  |  |  |
| 快重传和快恢复实验 | 周三上午 |  |  |  |
| 糊涂窗口综合症和Nagle算法分析实验 | 周三上午 |  |  |  |

1、根据2.6中步骤3回答：TCP的连接和建立采用的是：**三次握手** 方式，PCA是 **发送方** ，PCB是 **接收方** 。先点击发送再点击接收，会出现什么问题？为什么？

**答：接收方无法收到报文，因为此时接收方未监听端口，无法三次握手建立连接，而发送方PCA软件上面会出现IO错误。**

2、根据2.6中步骤5，结合预习报告，分析TCP连接的建立过程，根据TCP建立过程的三个报文，先填写下表：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 字段名称 | 第一条报文 | 第二条报文 | 第三条报文 |
| 报文序号 | 33 | 34 | 35 |
| Sequence Number | 4279269319（0） | 4270403722（0） | 4279269320（1） |
| Acknowledgement Number | 0 | 4279269320（1） | 4270403723（1） |
| Ack | 0 | 1 | 1 |
| Syn | 1 | 1 | 0 |

3、根据2.6中步骤6回答：

TCP连接建立时，其报文首部与其它TCP报文不同，有一个“Option”字段，它的作用是什么，值为多少？结合IEEE802.3协议规定的以太网最大帧长度分析此数据是怎样得出的。

**答：“Option”字段是用来进行双方最大报文长度MSS协商，确定报文段的最大长度。**

**MSS=1518-18-20-20=1460字节,其中1518byte是IEEE802.3协议规定的以太网最大帧长，18byte是以太网帧头和帧尾CRC校验总和的长度，20byte分别是ip和tcp首部的最小长度。**

4、根据2.6中步骤7：结合预习报告，分析TCP连接的释放过程，选择TCP连接撤消的四个报文，将报文信息填入下表。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 字段名称 | 第一条报文 | 第二条报文 | 第三条报文 | 第四条报文 |
| 报文序号 | 413 | 422 | 423 | 424 |
| Sequence Number | 355911 | 1 | 1 | 355912 |
| Acknowledgement Number | 1 | 355912 | 355912 | 2 |
| Ack | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Fin | 1 | 0 | 1 | 0 |

5、根据2.6中步骤8：分析TCP数据传送阶段的前8个报文，将报文信息填入下表。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 报文序号 | 报文种类  (发送/确认) | 序号字段 | 确认号字段 | 数据长度 | 被确认报文序号 | 窗口 |
| 36 | 发送 | 1 | 1 | 1400 | 无 | 5840 |
| 37 | 发送 | 1401 | 1 | 1460 | 无 | 5840 |
| 38 | 发送 | 2861 | 1 | 1460 | 无 | 5840 |
| 39 | 确认 | 1 | 1401 | 0 | 36 | 8400 |
| 40 | 发送 | 4321 | 1 | 1460 | 无 | 5840 |
| 41 | 发送 | 5781 | 1 | 1460 | 无 | 5840 |
| 42 | 确认 | 1 | 2861 | 0 | 37 | 11680 |
| 43 | 发送 | 7241 | 1 | 1460 | 无 | 5840 |

请写出TCP数据部分长度的计算公式。数据传送阶段第一个报文的序号字段值是否等于连接建立时第三个报文的序号？

**答：**

**TCP数据部分长度 = IP总长度字段值 – IP首部长度字段值 \* 4 – TCP首部长度字段值\* 4；**

**是，因为确认报文不消耗序号。**

6. 根据3.6.1中“ 滑动窗口机制和窗口侦查机制分析”步骤6回答：

1. 分析数据发送部分的前几条报文，描述发送方发送窗口的变化，并解释为什么？

**答：发送窗口逐渐增大，发送方处于慢启动过程，发送窗口= min{接收端告知的接收窗口，拥塞窗口}，刚开始发送时，拥塞窗口比较少，发送方每收到一个确认报文，拥塞窗口增加1个MSS，因此发送窗口不断增大。**

1. 指出从哪个序号的报文能够看出接收端开始休眠，并解释理由。

**答：序号为55的报文，因为此时接收端告诉发送端的窗口大小值为0.**

1. 分析文件send2-组座号-tcpsndwnddata.txt，选中三次握手连接建立后的前4条报文记录（3条DATA报文、1条ACK报文，序号为4、5、6、7），记下发送方发送窗口的相关值（rcv\_wnd , snd\_wnd\_left , snd\_wnd\_point , snd\_wnd\_left+cwnd , snd\_wnd\_left+rcv\_wnd , (snd\_wnd\_point- left)）。按下表分析计算接收方（及发送方）的窗口的相关值。

**4号报文（sender----data---->receiver）**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | rcv\_wnd | snd\_wnd\_left | snd\_wnd\_pointer | snd\_wnd\_left+cwnd和  snd\_wnd\_left+rcv\_wnd | snd\_wnd\_point- left |
| 发送方发出报文 | 5840 | 1215849701 | 1215851101 | 1215854081  1215855541 | 1400 |
| 发送窗口右边沿 | 1215854081 | | | | |
|  | 通告的接收窗口 | 接收窗口左边沿 | 接收窗口指针 | 接收窗口右边沿 | 在接收缓存中的数据量（即未确认的数据） |
| 接收方接到DATA前 | 5840 | 1215849701 | 1215849701 | 1215855541 | 0 |
| 接收方接到DATA后 | 8400 | 1215851101 | 1215851101 | 1215859501 | 0 |

**5号报文（receiver ----ack----> sender）**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 通告的接收窗口 | 接收窗口左边沿 | 接收窗口指针 | 接收窗口右边沿 | 在接收缓存中的数据量（即未确认的数据） |
| 接收方发出ACK | 8400 | 1215851101 | 1215851101 | 1215859501 | 0 |
|  | rcv\_wnd | snd\_wnd\_left | snd\_wnd\_pointer | snd\_wnd\_left+cwnd和  snd\_wnd\_left+rcv\_wnd | snd\_wnd\_point- left |
| 发送方接到ACK后 | 8400 | 1215851101 | 1215851101 | 1215856941  1215859501 | 0 |
| 发送窗口右边沿 | 1215856941 | | | | |
| 发送方接到ACK前 | 5840 | 1215849701 | 1215851101 | 1215854081  1215855541 | 1400 |
| 发送窗口右边沿 | 1215854081 | | | | |

**6号报文（sender----data---->receiver）**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | rcv\_wnd | snd\_wnd\_left | snd\_wnd\_pointer | snd\_wnd\_left+cwnd和  snd\_wnd\_left+rcv\_wnd | snd\_wnd\_point- left |
| 发送方发出报文 | 8400 | 1215851101 | 1215852501 | 1215856941  1215859501 | 1400 |
| 发送窗口右边沿 | 1215856941 | | | | |
|  | 通告的接收窗口 | 接收窗口左边沿 | 接收窗口指针 | 接收窗口右边沿 | 在接收缓存中的数据量（即未确认的数据） |
| 接收方接到DATA前 | 8400 | 1215851101 | 1215851101 | 1215859501 | 0 |
| 接收方接到DATA后 | 8400 | 1215851101 | 1215852501 | 1215859501 | 1400 |

**7号报文（sender----data---->receiver）**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | rcv\_wnd | snd\_wnd\_left | snd\_wnd\_pointer | snd\_wnd\_left+cwnd和  snd\_wnd\_left+rcv\_wnd | snd\_wnd\_point- left |
| 发送方发出报文 | 8400 | 1215851101 | 1215853961 | 1215856941  1215859501 | 2860 |
| 发送窗口右边沿 | 1215856941 | | | | |
|  | 通告的接收窗口 | 接收窗口左边沿 | 接收窗口指针 | 接收窗口右边沿 | 在接收缓存中的数据量（即未确认的数据） |
| 接收方接到DATA前 | 8400 | 1215851101 | 1215852501 | 1215859501 | 1400 |
| 接收方接到DATA后 | 8400 | 1215851101 | 1215853961 | 1215859501 | 2860 |

1. 根据文件send2-组座号-tcpsndwnddata.txt中发送方的发送窗口相关值进行分析，接收方开始休眠后，描述接收窗口的变化，指出窗口收缩、窗口合拢、窗口张开对应的开始报文序号，并记下send2-组座号-tcpsndwnddata.txt文件中的对应报文的数值记录（pkt\_seqno，pkt\_type，..，……）。

**答：接收方开始休眠后，会先进行窗口合拢，窗口大小减小，开始休眠后，窗口变为0，但是还会接受报文数据，此时经过一段时间接收方通告了零窗口（左边沿、指针、右边沿重合）。发送方收到零窗口通告报文，为了维持TCP连接，会按照一定的时间规律发送keepalive窗口探查报文，接收方收到该报文后，会立即回复所以窗口会重新张开。**

**第55号报文接收窗口值为0，接收方开始休眠。**

**窗口收缩：57（特例）**

**pkt\_seqno 57**

**pkt\_type rcv\_ack**

**RorS\_seqno 19**

**snd\_ssthresh 2147483647**

**snd\_cwnd 32**

**rcv\_wnd 0**

**snd\_wnd\_left 1215581265**

**snd\_wnd\_pointer 1215581265**

**snd\_wnd\_left+cwnd 1215627985**

**snd\_wnd\_left+rcv\_wnd 1215581265（上一条报文为1215902141）**

**snd\_wnd\_pointer-left 0**

**窗口合拢：37**

**pkt\_seqno 37**

**pkt\_type rcv\_ack**

**RorS\_seqno 12**

**snd\_ssthresh 2147483647**

**snd\_cwnd 14**

**rcv\_wnd 33580（上一条报文为35040）**

**snd\_wnd\_left 1215865641**

**snd\_wnd\_pointer 1215883161**

**snd\_wnd\_left+cwnd 1215886081**

**snd\_wnd\_left+rcv\_wnd 1215899221**

**snd\_wnd\_pointer-left 17520**

**窗口张开：63**

**pkt\_seqno 63**

**pkt\_type rcv\_ack**

**RorS\_seqno 25**

**snd\_ssthresh 2147483647**

**snd\_cwnd 32**

**rcv\_wnd 1460**

**snd\_wnd\_left 1215581265**

**snd\_wnd\_pointer 1215581265**

**snd\_wnd\_left+cwnd 1215627985**

**snd\_wnd\_left+rcv\_wnd 1215582725**

**snd\_wnd\_pointer-left 0**

7. 根据3.6.1中“ 滑动窗口机制和窗口侦查机制分析”步骤7回答：

写出窗口侦查开始的报文序号，窗口侦查报文数据长度、窗口侦查报文发送的时间规律。

**答：窗口侦查开始的报文序号为232，数据长度为0。发送TCP Keep-Alive报文的时间规律是每次时间间隔为上一次Keep-Alive报文的的两倍。**

8. 根据3.6.2中“ 慢启动、拥塞避免及拥塞处理和超时与重传机制分析”步骤9回答：

1. 选中第一条发送数据的报文记录，记下其ssthresh和cwnd值是多少？为何为此值？按发送窗口的计算公式计算出当前的发送窗口snd\_wnd值。并记下此时的发送窗口左边沿snd\_wnd\_left值并计算出此时的发送窗口右边沿。

**答：**

**ssthresh=2147483647，cwnd=3。**

**ssthresh为初始默认门限值，cwnd的值为3个MSS，由于本来为2个MSS，由于收到了来自对方的一个ACK报文，故加1，变成3个MSS即4380。**

**snd\_wnd=min{cwnd,rwnd}=min{rcv\_wnd/1460,3}=3。**

**snd\_wnd\_left=1148567264**

**发送窗口有边沿=min[snd\_wnd\_left+cwnd,snd\_wnd\_left+rcv\_wnd]= 1148571644。**

1. 在随后的发送数据报文中，ssthresh和cwnd值有何变化，呈何种规律？为什么呈此种规律？发送的报文是否可以验证这一规律？

**答：**

**在前面正常传输的过程中，ssthresh保持不变，cwnd在接受到ACK确认后增加一，这是因为在这段过程中，由于cwnd < ssthresh，采用慢启动算法，所以cwnd每次递增一。**

**从send3的文件中可以发现，一开始发送方的cwnd为2MSS，当接收到接收方发送的确认报文后，发送方的cwnd为3MSS**

1. 指出ssthresh和cwnd值有突然变化的报文序号，为何会有这种变化？此后（直至结束）的ssthresh和cwnd值有何变化，呈何种规律？为什么？

答：

报文序号：3359,出现超时timeout，ssthresh和cwnd变化为18和1。

发送端没有收到确认报文，由于报文超时，TCP协议采用了拥塞控制算法，减小阈值为ssthresh=max(cwnd/2,2\*MSS)=18，重置拥塞窗口大小为1。

此后采用慢启动算法，当snd\_cwnd>ssthresh时，会实行拥塞避免机制，往后经过1个RTT，则cwnd+1，当cwnd值上升到ssthresh两倍时，保持稳定。最后ssthresh = 18，cwnd = 36直至结束。

9. 根据3.6.2中“ 慢启动、拥塞避免及拥塞处理和超时与重传机制分析”步骤10回答：

1. 对Wireshark截获的报文进行分析，分别记下TCP传输过程中发送第一条重传报文的序号，并请用截获报文的时间字段分别计算出在两种转发速率下第一条重传报文和其对应的原始发送报文的时间差、第二条重传报文和其对应的原始发送报文的时间差。分析同种速率下和两种转发速率下两次重传的时间差，结合题（2）对此现象做出解释。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 第一个重传时间差 | 第二个重传时间差 | 第三个重传时间差 |
| 10Mbps | 0.235682 | 0.472446 | 0.944935 |
| 80Kbps | 1.415613 | 3.232516 | 6.463596 |

**答：在同种传输速率下，每一次重传时间差是上一次重传时间差的两倍；而对于不同的传输速率，传输速率越高，重传时间差越小，超时计时器设置的超时重传时间（RTO）是根据RTT有关的公式计算得出的。**

1. 对send3-组座号-tcprtodata.txt和send4-组座号-tcprtodata.txt文件进行分析。在正常传输时，两种速率下的TCP连接的RTO时间分别稳定在多少？在发生报文超时重传时，RTT和RTO值有何变化？特别是RTO值有何特定变化规律？为什么？继续正常报文传输时RTT和RTO值又有何变化？为什么？

**答：**

**在10Mbps传输速率下，RTO时间稳定在235ms左右；**

**在80Kbps传输速率下，RTO时间稳定在2000ms左右。**

**发生报文超时重传时，RTT几乎不变，RTO均双倍增大。新的重传时间=旧的×y（y一般为2），而计算rtt时，不计算发生过报文段往返时延样本。继续正常传输时又恢复稳定。**

1. 课外：查阅相关资料，对RTT和RTO值的变化做出定量的计算和分析。建议阅读《用TCP/IP进行网络互联，第一卷》（第四版）中译本，[美]Douglas E. Comer，林瑶等译，电子工业出版社；其第13章中对RTT、RTO等的计算有比较详细的阐述，Linux下对此的实现相同。

10. 根据3.6.3中步骤1，继续上一节的实验，配置路由器，取消对接口的速率限制。请写出命令：

**[Router-Ethernet0/0] undo qos lr outbound**

**[Router-Ethernet0/1] undo qos lr outbound**

11. 根据3.6.3中“快重传和快恢复算法分析”步骤6回答：

1. 请写出前三个重复ACK的报文序号。在第三个重复ACK报文到达后，发送报文发生什么变化？为什么？

**答：**

**65,66,67三个报文。**

**发送报文变为 tcp fast retransmissiong，因为发送方能收到三个重复的ACK，表明当前网络状况仍然能够进行正常报文传输，不必等那个报文的定时器超时，直接重传那个认为丢失的报文段，这样能提高网络传输效率。这就是快重传机制在接受三个重复ACK报文后，立即发送重传报文。**

1. 在前三个重复的ACK报文到达期间，ssthresh和cwnd有何变化？RTT和RTO有何变化？为什么？

**答：**

**ssthresh由原来的2147483647变为max（cwnd/2，2\*MSS）=10。**

**cwnd从20减小为19，后面减小至sthresh。**

**RTT与RTO都没有太大的变化，因为此时数据通信只是传输出错，并不是网络拥塞导致的，从而不会导致接受确认的时间的变长，从而两者没有太多的变化。**

1. 在第三个重复ACK报文后是否还有重复ACK报文到达？随之（直至传输结束），ssthresh和cwnd有何变化，呈何种规律？为什么有此规律？

**答：**

**会有重复的ACK报文到达。**

**ssthresh=max（cwnd/2，2\*MSS）=10保持不变。**

**cwnd在不断减少直到与ssthresh相等变成10，但在接受非重复的ACK后，会增加一个SMSS\*SMSS/cwnd的大小的报文，按照拥塞避免算法逐渐增大。**

12. 根据3.6.4中“糊涂窗口综合症和Nagle算法分析”步骤4回答：

1. 分别分析两次TCP传输过程中数据发送部分的前面几条报文，结合TCPTest程序参数设置，分析其数据长度的变化，并解释为什么？

**答：**

**在启用Nagle算法的传输过程中，报文长度都是1460或140或280交替出现；在禁用Nagle算法的传输过程中，报文长度基本保持800不变。**

**因为两次传输过程中都是设置接收端每次读出套接字的字节数为500，发送端发送缓存为2000，每次写入套接字的字节数为800。在不启用Nagle算法的情况下，接收方每次从其接受缓存取走很少数据量的套接字800，随即就通告这个小窗口，于是发送方就按照这个小窗口发送报文，因此发送端每次发送的报文长度基本都是800。**

1. 在两次TCP传输过程中，窗口通告为0后，窗口张开时通告的第一个窗口大小分别是多少？为什么？

**答：**

**采用Naggle算法后，窗口大小为1460，而禁用Naggle算法后，窗口打开后的大小为2400(查看send7- tcpsndwnddata文件的显示结果)。**

**采用Naggle算法后，发送端再已经传输的数据还未被确认的情况，后续数据的发送由数据是否足以填满发送缓存的一半或一个最大报文段长度来决定。**

**接收端则采用推迟确认技术，发送通过确认报文的前提是接收缓存的可用空间至少达到总空间的一半或者达到最大报文长度，否则推迟发送确认。**

1. 通过这两次TCP传输实验，比较分析Nagle算法的作用。

**答：**

**Nagle算法作用是接收端避免通告小窗口，发送端尽量将数据组成较大的报文段发送，加大传输效率。能够增加传输效率，减少网络中的带宽，避免网络拥塞发生。**