哈爾濱工業大學
Harbin Institute of Technology

计算机网络
课程实验报告

实验名称	可靠数据传输协议-停等协议的设计与实现 可靠数据传输协议-GBN 协议的设计与实现				
姓名	张瑞		院系	计算机科学与技术	
班级	1903104		学号	1190201421	
任课教师	刘亚维		指导教师	刘亚维	
实验地点	格物 207		实验时间	2021 年 11 月 7 日	
实验课表现	出勤、表现得分(10)		实验报告得分(40)	实验总分	
	操作结果得分(50)				
教师评语					

计算机科学与技术学院 SINCE 1956...
School of Computer Science and Technology

实验目的：

理解可靠数据传输的基本原理；掌握停等协议的工作原理；掌握基于 UDP 设计并实现一个停等协议的过程与技术。

理解滑动窗口协议的基本原理；掌握 GBN 的工作原理；掌握基于 UDP 设计并实现一个 GBN 协议的过程与技术。

实验内容：

停等协议的设计与实现：

(1)基于 UDP 设计一个简单的停等协议，实现单向可靠数据传输（服务器到客户的数据传输）。

(2)模拟引入数据包的丢失，验证所设计协议的有效性。

(3)改进所设计的停等协议，支持双向数据传输。

(4)基于所设计的停等协议，实现一个 C/S 结构的文件传输应用。

GBN 协议的设计与实现：

(1)基于 UDP 设计一个简单的 GBN 协议，实现单向可靠数据传输（服务器到客户的数据传输）。

(2)模拟引入数据包的丢失，验证所设计协议的有效性。

(3)改进所设计的 GBN 协议，支持双向数据传输。

(4)将所设计的 GBN 协议改进为 SR 协议。

实验过程：

本次实验虽然看上去要实现三个协议，但其实三者相似性较高：只要把 GBN 协议中的发送方窗口大小改为 1 即可得到停等协议，将 GBN 协议中的接收方增添缓存功能即可得到 SR 协议，于是本次实验可以从 GBN 协议下手。

(1)数据分组格式、确认分组格式及各个域作用：

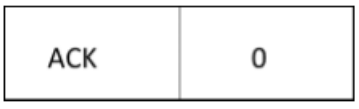
(a)数据分组格式：

Seq：为 1 个字节，取值为 0~255，（故序列号最多为 256 个）；

Data：小于等于 1024 个字节，为传输的数据；

0：最后 1 个字节放入 EOF，表示结尾。

(b)确认分组格式：



ACK：为 1 个字节，表示所确认数据包的序列号数值；

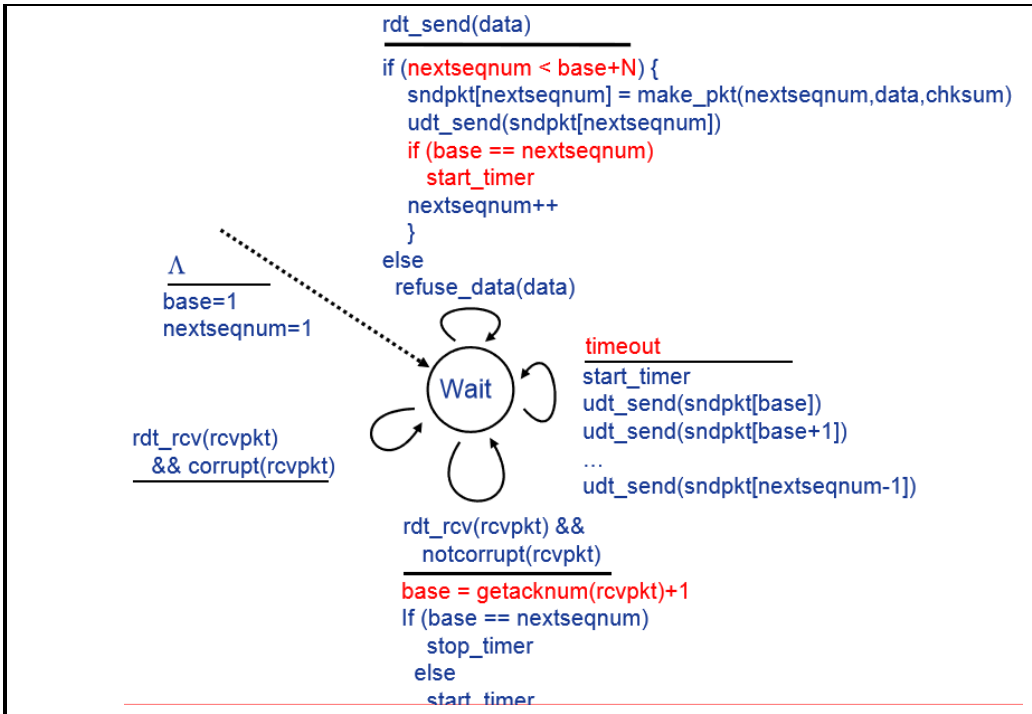
0：末尾 1 个字节放入 0，表示数据结束。

(2)两端程序流程图:

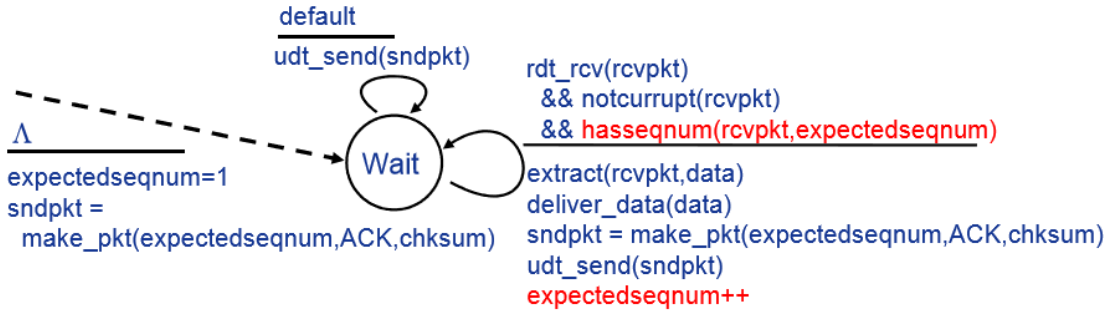
(a)停等协议与 GBN 协议：

可以将停等协议视为特殊的 GBN 协议，当发送方窗口数量 N=1 时，GBN 协议就变成了停等协议。

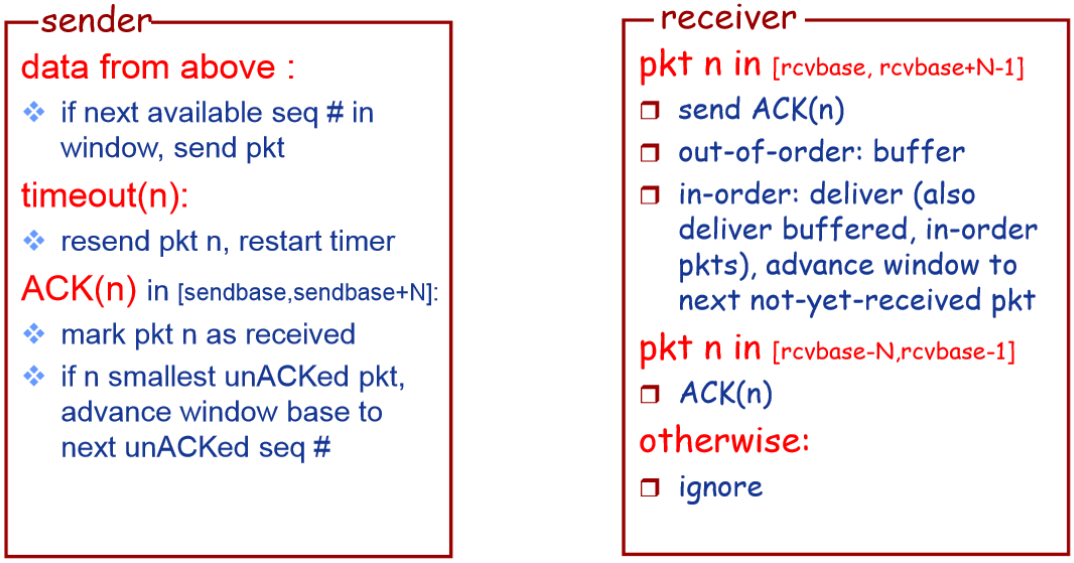
发送端：



接收端：

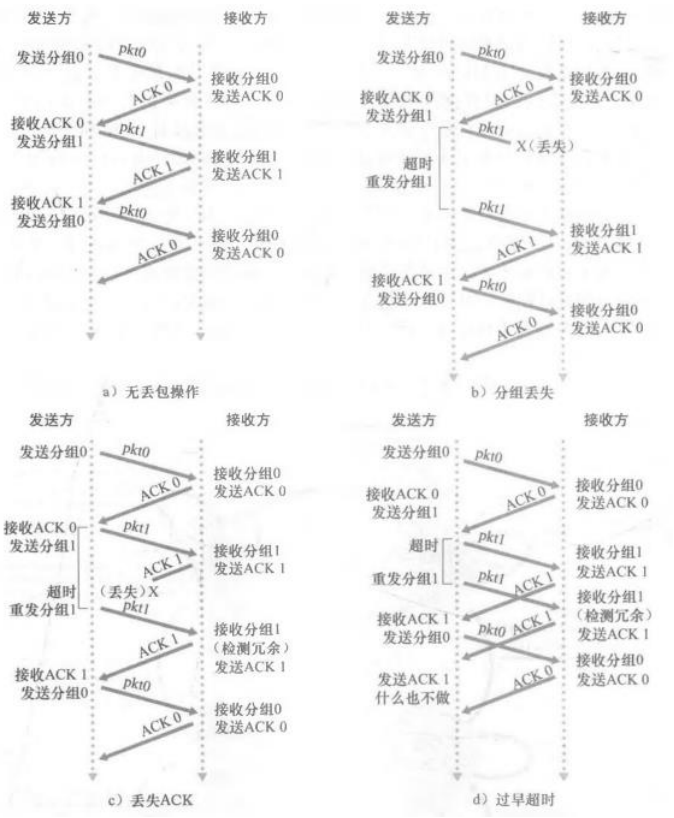


(b)SR 协议：

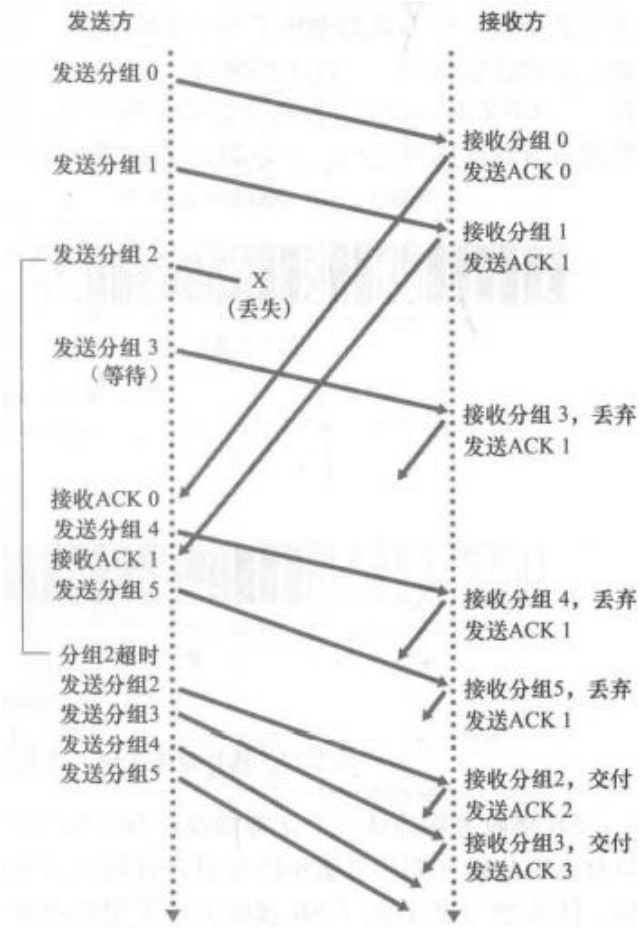


(3)典型交互过程：

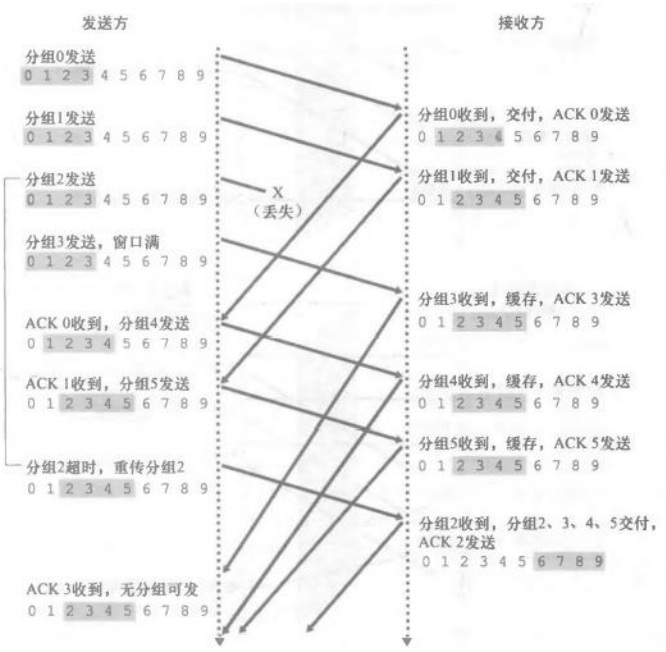
(a)停等协议：


发送方
接收方
发送分组0
pkt0
接收分组0
发送ACK 0
ACK 0
接收ACK 0
发送分组1
pkt1
接收分组1
发送ACK 1
ACK 1
接收ACK 1
发送分组0
pkt0
接收分组0
发送ACK 0
ACK 0
a）无丢包操作
超时
重发分组1
X（丢失）
b）分组丢失
（丢失）X
（检测冗余）
什么也不做
c）丢失ACK
d）过早超时

(b)GBN 协议：


发送方
接收方
发送分组 0
发送分组 1
发送分组 2
X
（丢失）
发送分组 3
（等待）
接收分组 0
发送ACK 0
接收分组 1
发送ACK 1
接收分组 3，丢弃
发送ACK 1
接收ACK 0
发送分组 4
接收ACK 1
发送分组 5
接收分组 4，丢弃
发送ACK 1
分组2超时
发送分组2
发送分组3
发送分组4
发送分组5
接收分组5，丢弃
发送ACK 1
接收分组2，交付
发送ACK 2
接收分组3，交付
发送ACK 3

(c)SR 协议：



(4)分组丢失验证模拟方法：

为了模拟数据分组和确认分组的丢失，统一在接收方接收到分组之后（因为在发送方和接收方丢失的效果实际是等价的，实验中我选择的是在接收方丢弃）按照预设的丢包率随机丢弃掉一部分分组。具体的实现方式是每收到一个分组便产生一个随机数，比较该随机数与事先设定的丢包率的大小，若随机数更大，则正确接收该分组；反之丢弃分组，达到分组丢失的效果。

(5)程序实现的主要类（或函数）及其主要作用：

(a)BOOL lossInLossRatio(float lossRatio)：根据丢失率随机生成一个数字，判断分组是否丢失。

(b)bool seqIsAvailable()：判断当前序号是否在发送窗口内（是否可用）。

(c)void timeoutHandler()：超时重传处理函数。若为停等协议，重传前一个分组；若为 GBN 协议，滑动窗口内的分组都要重传；若为 SR 协议，仅重传超时的分组。

(d)void ackHandler(char c)：分组确认函数。若为停等协议，则确认前一个分组；若为 GBN 协议，累计确认；若为 SR 协议，逐个确认。

(e)int main(int argc, char* argv[])：主函数，实现客户端与服务器端的数据传输。

(6)UDP 编程的主要特点：

(a)无连接，主机之间不需要维持复杂的链接状态，减少延迟；

(b)不可靠，不能保证数据一定到达对方，也不能保证数据的按序到达；

(c)头部开销小；

(d)无拥塞控制；

(e)需要额外的机制实现可靠数据传输，如在应用层增加可靠性机制或应用特定的错误恢复机制。

(7)双向数据传输：

实现双向数据传输其实就是将服务器端的发送功能加给客户端，再将客户端的接收功能加给服务器端。所以，这一功能很大程度上可以通过对彼此代码的复用而迅速实现。但是需

要注意 Socket 套接字阻塞和非阻塞模式的转换，作为数据的发送方时，套接字要设为非阻塞模式，但作为接收方时，套接字需要设为阻塞模式。

(8)C/S 结构的文件传输应用：

发送方首先将需要发送的数据从文件中读入内存，在收到请求后，将这些数据按事先设定好的数据包的大小分组后，发送给接收方，并按协议（停等协议、GBN 协议或 SR 协议）对分组计时与确认，最后一个分组确认后，发送“good bye\0”表示数据传输结束。

接收方将收到的期望的分组交付给上层（如果是 SR 协议，对乱序到达的分组要先缓存，等期望的基序号分组到达后，再将与其连续的分组一起上传），将内容输出到文件中。

(9)SR 协议：

SR 协议相对 GBN 协议有一些变化。首先是接收方窗口的变化，接收方不再是一个窗口，而是多个窗口，这样一来就能对乱序到达的分组实现缓存，等期望的基序号分组到达后，再将与其连续的分组一起上传，并进行窗口的滑动。为了实现这一功能，我给接收方添加了 recv_buffer 来缓存乱序到达的分组。然后就是对各个分组的计时应独立进行，每当有分组超时时，只重发该超时分组，其他窗口内未收到确认的分组需要继续计时至超时才重发，而不是像 GBN 中那样一起重发。为了实现这一功能，我给 ack 数组，用于标记各分组是否被确认：未确认的是 0，确认的是 1，重发的是-1。一旦发生超时事件，将发送方窗口基序号定位至 currentAck，并按序遍历窗口内序号对应的 ack 数组值，若为 1，代表已确认；若为-1，代表是超时重传；若为 0，代表首次发送，需要在发送后将值改为-1，等下次在确认前再遍历到该值时，表明分组要重传。由于遍历时是对窗口内序号按序遍历，于是可以将一次遍历处理和一次计时等价看待，计时就简化为对第一个超时分组的计时，但最终效果仍然实现的是对各个分组的分别计时。

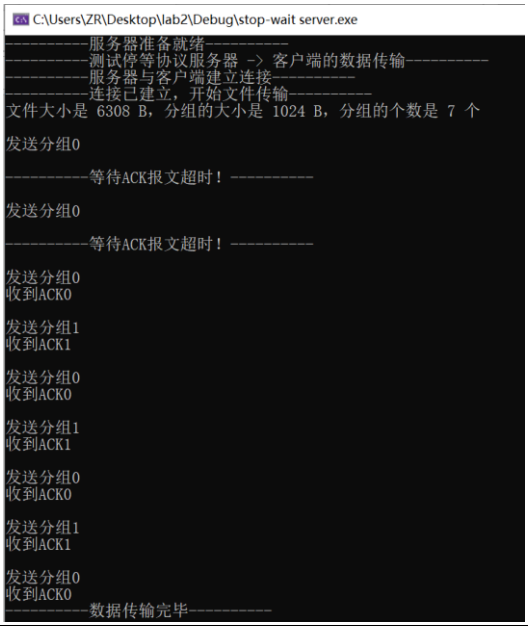
(10)详细注释源程序：

详见随报告一同上传的源代码文件夹

实验结果：

(1)停等协议：

(a)服务器到客户的数据传输（默认丢包率和 ACK 丢失率均为 0.2）：



C:\Users\ZR\Desktop\lab2\Debug\stop-wait client.exe

```
--------------------------------------
          输入 "receive[X][Y]" 测试停等协议服务器 -> 客户端的数据传输
          输入 "send[X][Y]" 测试停等协议服务器 <- 客户端的数据传输
          [X] [0,1] 模拟数据包丢失的概率
          [Y] [0,1] 模拟ACK丢失的概率
--------------------------------------
receive

----------测试GBN协议服务器 -> 客户端的数据传输----------
丢包率为 0.20，ACK报文丢失率为0.20

----------确认建立连接，准备接收数据----------

成功接收到分组0
是期待的分组，接收分组0
ACK0丢失

成功接收到分组0
不是期待的分组，丢弃分组0
ACK0丢失

成功接收到分组0
不是期待的分组，丢弃分组0
发送ACK0，期望收到分组1

成功接收到分组1
是期待的分组，接收分组1
发送ACK1，期望收到分组0

成功接收到分组0
是期待的分组，接收分组0
发送ACK0，期望收到分组1

成功接收到分组1
是期待的分组，接收分组1
发送ACK1，期望收到分组0

成功接收到分组0
是期待的分组，接收分组0
发送ACK0，期望收到分组1

成功接收到分组1
是期待的分组，接收分组1
发送ACK1，期望收到分组0

成功接收到分组0
是期待的分组，接收分组0
发送ACK0，期望收到分组1

----------数据接收成功----------
```

(b)客户到服务器的数据传输（默认丢包率和 ACK 丢失率均为 0.2）：

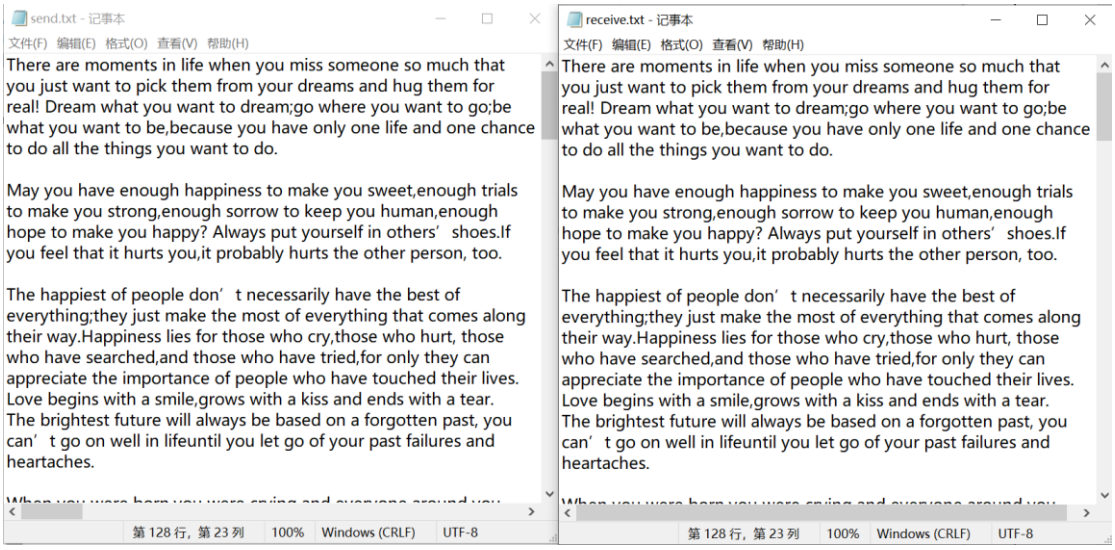
C:\Users\ZR\Desktop\lab2\Debug\stop-wait server.exe

```
----------测试停等协议服务器 <- 客户端的数据传输----------
丢包率为 0.20，ACK报文丢失率为0.20

----------服务器与客户端建立连接----------

----------连接已建立，准备接收数据----------

成功接收到分组0
是期待的分组，接收分组0
发送ACK0，期望收到分组1

成功接收到分组1
是期待的分组，接收分组1
发送ACK1，期望收到分组0

成功接收到分组0
是期待的分组，接收分组0
发送ACK0，期望收到分组1

成功接收到分组1
是期待的分组，接收分组1
发送ACK1，期望收到分组0

成功接收到分组0
是期待的分组，接收分组0
ACK0丢失

成功接收到分组0
不是期待的分组，丢弃分组0
ACK0丢失

分组0丢失

成功接收到分组0
不是期待的分组，丢弃分组0
发送ACK0，期望收到分组1

成功接收到分组1
是期待的分组，接收分组1
发送ACK1，期望收到分组0

成功接收到分组0
是期待的分组，接收分组0
ACK0丢失

成功接收到分组0
不是期待的分组，丢弃分组0
发送ACK0，期望收到分组1

----------数据传输成功----------
```

```
--------------------------------------
|          输入 "receive[X][Y]" 测试停等协议服务器 -> 客户端的数据传输
|          输入 "send[X][Y]" 测试停等协议服务器 <- 客户端的数据传输
|          [X] [0,1] 模拟数据包丢失的概率
|          [Y] [0,1] 模拟ACK丢失的概率
--------------------------------------

send
----------测试停等协议服务器 <- 客户端的数据传输----------

----------确认建立连接，准备发送数据----------
文件大小是 6308 B，分组的大小是 1024 B，分组的个数是 7 个

发送分组0
收到ACK0

发送分组1
收到ACK1

发送分组0
收到ACK0

发送分组1
收到ACK1

发送分组0

----------等待ACK报文超时！----------

发送分组0

----------等待ACK报文超时！----------

发送分组0

----------等待ACK报文超时！----------

发送分组0
收到ACK0

发送分组1
收到ACK1

发送分组0

----------等待ACK报文超时！----------

发送分组0
收到ACK0

----------数据传输完毕----------
```

(c)C/S 结构的文件传输应用：

(a)中命令执行的同时，客户即得到了 receive.txt，打开与 send.txt 对比，发现完全一致，说明文件传输应用已成功实现。



(2)GBN 协议：

(a)服务器到客户的数据传输（默认丢包率和 ACK 丢失率均为 0.2）：

C:\Users\ZR\Desktop\lab2\Debug\GBN_server.exe

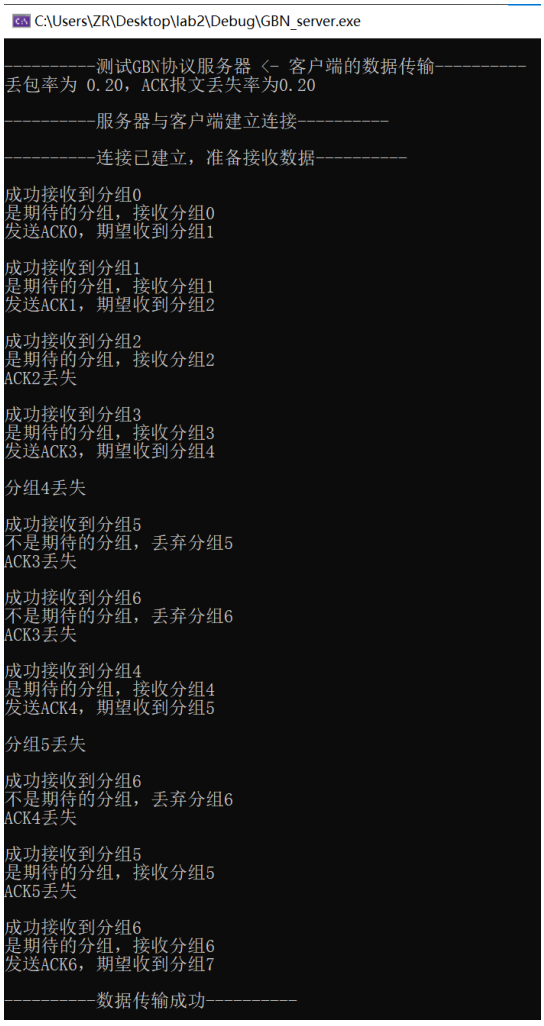
```
----------服务器准备就绪----------
----------测试GBN协议服务器 -> 客户端的数据传输----------
----------服务器与客户端建立连接----------
----------连接已建立，开始文件传输----------
文件大小是 6308 B，分组的大小是 1024 B，分组的个数是 7 个

发送分组0

发送分组1

发送分组2

----------等待ACK报文超时！----------

发送分组0
收到ACK0

发送分组1
收到ACK1

发送分组2

发送分组3
收到ACK3

发送分组4

发送分组5

发送分组6
收到ACK3

----------等待ACK报文超时！----------

发送分组4

发送分组5
收到ACK5

发送分组6
收到ACK6
----------数据传输完毕----------
```

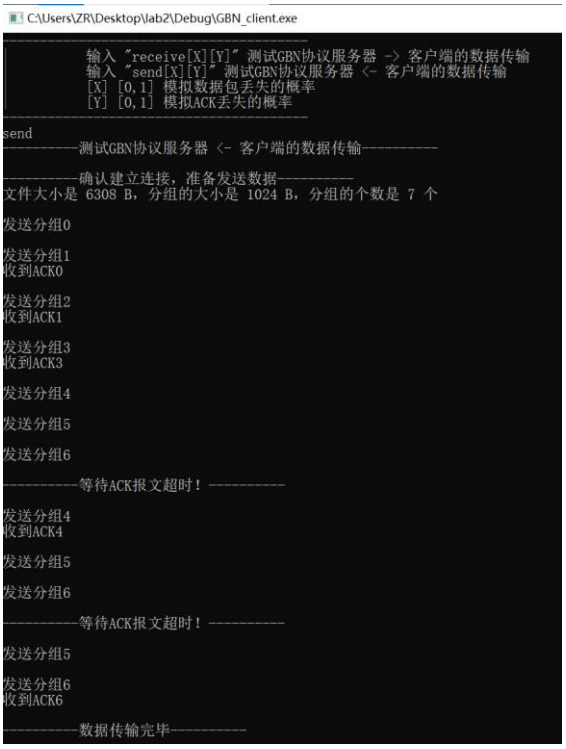
C:\Users\ZR\Desktop\lab2\Debug\GBN_client.exe

```
----------------------------------------
|          输入 "receive[X][Y]" 测试GBN协议服务器 -> 客户端的数据传输
|          输入 "send[X][Y]" 测试GBN协议服务器 <- 客户端的数据传输
|          [X] [0,1] 模拟数据包丢失的概率
|          [Y] [0,1] 模拟ACK丢失的概率
----------------------------------------
receive

----------测试GBN协议服务器 -> 客户端的数据传输----------
丢包率为 0.20，ACK报文丢失率为0.20

----------确认建立连接，准备接收数据----------

分组0丢失

分组1丢失

成功接收到分组2
不是期待的分组，丢弃分组2

成功接收到分组0
是期待的分组，接收分组0
发送ACK0，期望收到分组1

成功接收到分组1
是期待的分组，接收分组1
发送ACK1，期望收到分组2

成功接收到分组2
是期待的分组，接收分组2
ACK2丢失

成功接收到分组3
是期待的分组，接收分组3
发送ACK3，期望收到分组4

分组4丢失

成功接收到分组5
不是期待的分组，丢弃分组5
ACK3丢失

成功接收到分组6
不是期待的分组，丢弃分组6
发送ACK3，期望收到分组4

成功接收到分组4
是期待的分组，接收分组4
ACK4丢失
```

```
成功接收到分组5
是期待的分组，接收分组5
发送ACK5，期望收到分组6

成功接收到分组6
是期待的分组，接收分组6
发送ACK6，期望收到分组7
```

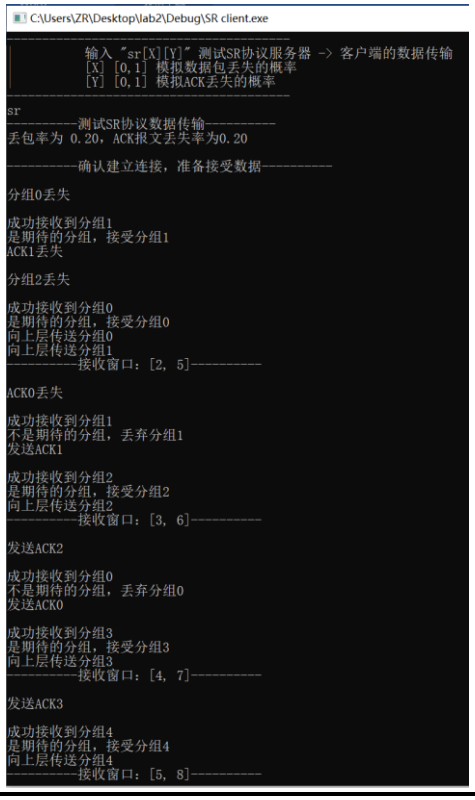
(b)客户到服务器的数据传输（默认丢包率和 ACK 丢失率均为 0.2）：

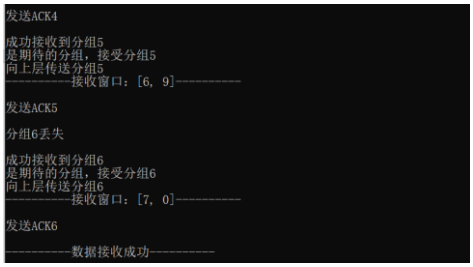




(c)改进为 SR 协议：


C:\Users\ZR\Desktop\lab2\Debug\SR server.exe
----------服务器准备就绪----------
----------测试SR协议数据传输----------
----------服务器正在与客户端建立连接----------
----------连接已建立，开始文件传输----------
文件大小是 6308 B，分组的大小是 1024 B，分组的个数是 7 个
发送分组0
发送分组1
发送分组2
----------等待ACK报文超时！----------
发送分组0
----------等待ACK报文超时！----------
发送分组1
收到ACK1
----------发送窗口：[0, 2]----------
----------等待ACK报文超时！----------
发送分组2
收到ACK2
----------发送窗口：[0, 2]----------
----------等待ACK报文超时！----------
发送分组0
收到ACK0
----------发送窗口：[3, 5]----------
发送分组3
收到ACK3
----------发送窗口：[4, 6]----------
发送分组4
收到ACK4
----------发送窗口：[5, 7]----------
发送分组5
收到ACK5
----------发送窗口：[6, 8]----------
发送分组6
----------等待ACK报文超时！----------
发送分组6
收到ACK6
----------发送窗口：[7, 9]----------
----------数据传输完毕----------


C:\Users\ZR\Desktop\lab2\Debug\SR client.exe
输入 "sr[X][Y]" 测试SR协议服务器 -> 客户端的数据传输
[X] [0,1] 模拟数据包丢失的概率
[Y] [0,1] 模拟ACK丢失的概率
sr
----------测试SR协议数据传输----------
丢包率为 0.20，ACK报文丢失率为0.20
----------确认建立连接，准备接受数据----------
分组0丢失
成功接收到分组1
是期待的分组，接受分组1
ACK1丢失
分组2丢失
成功接收到分组0
是期待的分组，接受分组0
向上层传送分组0
向上层传送分组1
----------接收窗口：[2, 5]----------
ACK0丢失
成功接收到分组1
不是期待的分组，丢弃分组1
发送ACK1
成功接收到分组2
是期待的分组，接受分组2
向上层传送分组2
----------接收窗口：[3, 6]----------
发送ACK2
成功接收到分组0
不是期待的分组，丢弃分组0
发送ACK0
成功接收到分组3
是期待的分组，接受分组3
向上层传送分组3
----------接收窗口：[4, 7]----------
发送ACK3
成功接收到分组4
是期待的分组，接受分组4
向上层传送分组4
----------接收窗口：[5, 8]----------



问题讨论：

(1)实现双向传播时，若只是简单复用对方代码，会有错误出现，后来发现是未修改套接字的阻塞与非阻塞模式导致的问题。

(2)GBN 协议和 SR 协议收发双方的窗口数量之和不得大于序列号总数，否则会出现歧义，难以判别数据包的先后顺序，导致数据传输出错，一定要正确设置。

(3)实现 SR 协议时，将各分组的分别计时简化为对第一个超时分组计时，对后续超时分组在遍历重发中同步计时，也能实现相同的效果。

心得体会：

通过本次实验我更加深入地理解了停等协议、GBN 协议和 SR 协议的实现细节，对其流程、逻辑和注意事项（窗口加载、发送、重发、ack 确认、窗口滑动、计时器创建与超时，需要的包的判定等等）有了更深的理解和体会。

同时我也对阻塞和非阻塞有了进一步的认识，也练习了文件读写操作。在调试代码的过程中也再次锻炼了自己的 debug 能力。