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、GBN、SR 协议的实现				
姓名	王炳轩		院系	信息安全	
班级	2003021		学号	120L022115	
任课教师	刘亚维		指导教师	刘亚维	
实验地点	格物 213		实验时间	2022 年 10 月 14 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：

本次实验的主要目的。

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：

概述本次实验的主要内容，包含的实验项等。

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；（选作内容，加分项目，可以当堂完成或课下完成）

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。（选作内容，加分项目，可以当堂完成或课下完成）

5) 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）。

6) 模拟引入数据包的丢失，验证所设计协议的有效性。

7) 改进所设计的 GBN 协议，支持双向数据传输；（选作内容，加分项目，可以当堂完成或课下完成）

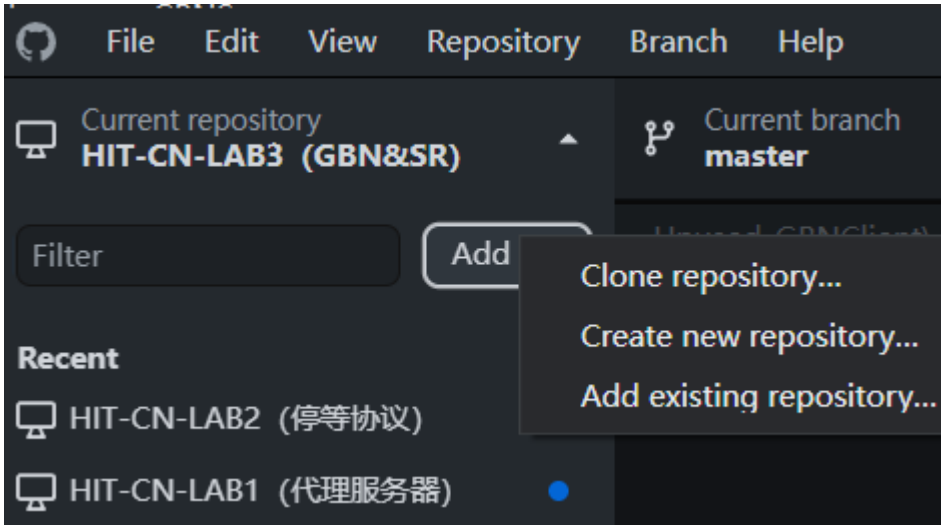
8）将所设计的 GBN 协议改进为 SR 协议。（选作内容，加分项目，可以当堂完成或课下完成）

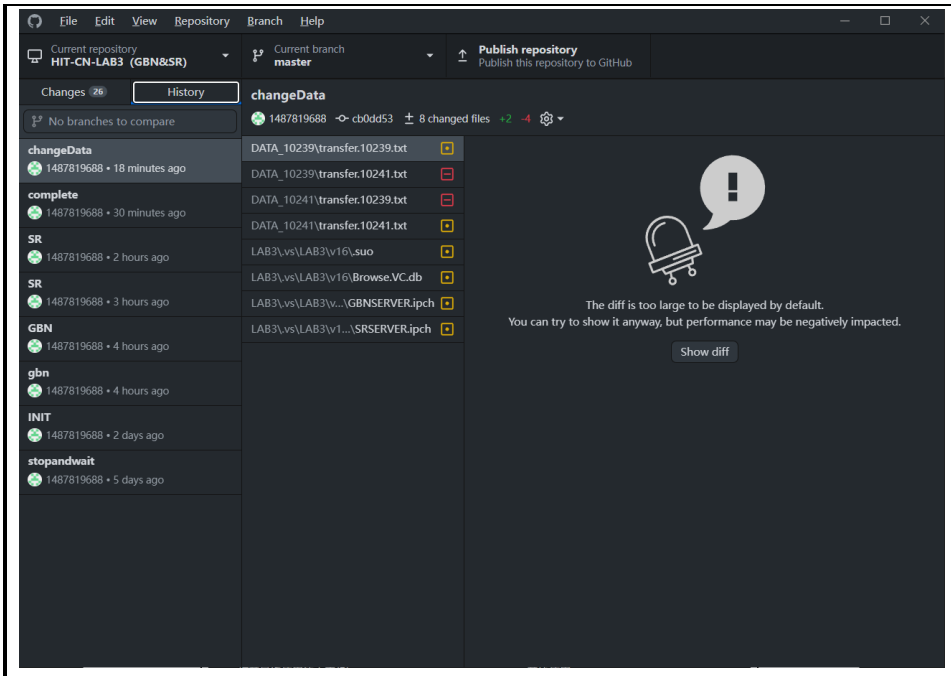
实验过程：

以文字描述、实验结果截图等形式阐述实验过程，必要时可附相应的代码截图或以附件形式提交。

一、创建Git本地仓库，用以保存实验文件的历史版本

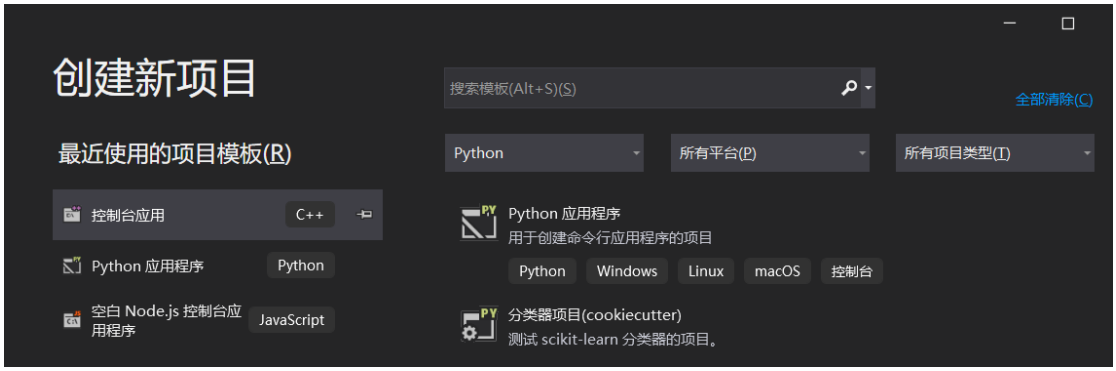
下载安装Github Desktop应用，点击当前仓库列表（Current Repository），点击新建（Add）-本地仓库（Create new repository）。输入仓库名为LAB2、3，点击确认创建。

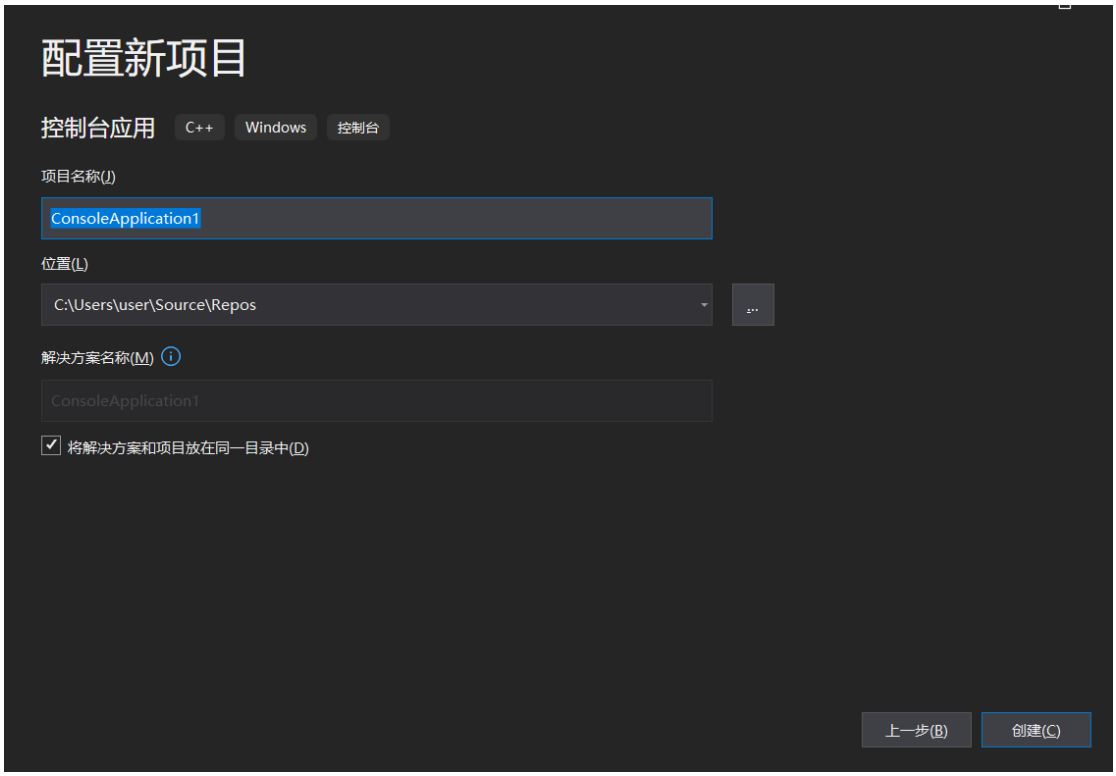




二、配置Visual Studios 2019，新建解决方案LAB2、3。

打开VS2019，选择创建新项目，选择C/C++控制台程序，输入项目名称和存储位置，点击创建。





三、构建实验框架：终端基本交互控制台（实现文件传输应用）

数据传输均使用UDP实现，自定义了一种连接方式（两次握手）。在一次连接中，可以双向传输多个文件，但文件传输采用半双工模式，即：在某个文件传输的这段时间内只能有一端发送文件（但双端可以发送控制报文），等一端传输一个文件完成后，另一端可以开始发送或继续接收下一个文件。

使用<stdio.h>在main函数中循环读取字符串，用户可以输入“S”（以默认方式设置保存位置并启动），“s %s”（指定保存位置并启动），“C”（连接默认目标），“c %s”（连接指定目标），“F”（发送默认测试文件），“f %s”（发送指定文件），“R”（开始接收文件），“Q或q”退出。

默认的保存位置在“../Data_端口号/”

默认的发送文件在“保存位置/transfer.端口号.txt”

默认连接目标是127.0.0.1。

使用宏定义来存储这些信息。

```
#define DST_IP "127.0.0.1"
#define TRANS_FILE_DEFAULT "transfer"
#define FILE_NAME_FORMAT "%s/%s.%d.txt"
```

```
#define FILE_DIR_DEFAULT "../DATA/"
```

为了测试方便，使用宏定义设置自动启动并连接，并启动另一个进程。

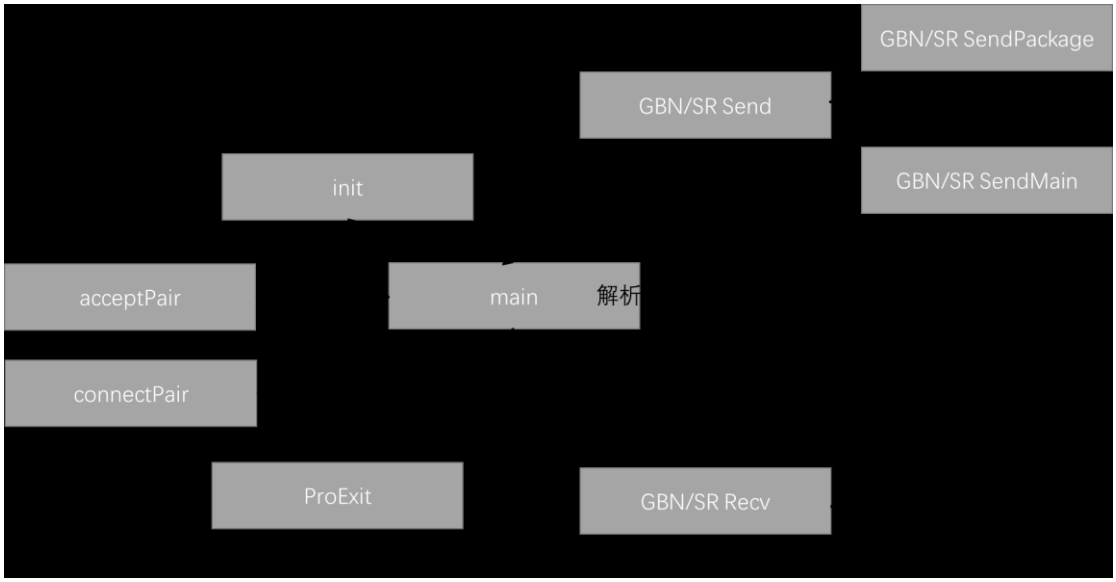
```
#define AUTO_START true
```

当程序启动时，读取命令行判断是不是子进程，设置好进程套接字端口（主进程的端口-2），然后自动执行“S、C”命令。

例如，用户打开程序后，需要先使用“S、C”命令进行初始化和连接，然后使用“R/F”发送或接收文件。如果文件夹不存在还会自动创建文件夹。

```
scanf_s("%s", cmd, 100);
if (_access(cmd, 0) == -1)
{
    strcpy_s(FILE_DIR, cmd);
    _mkdir(cmd);
}
printf("正在启动传输，文件将保存到文件夹：%s\n", FILE_DIR);

waitForConnect();
Sleep(100);
printf("WBXFileTransfer> ");
```



四、构建实验框架：共同代码头文件ftcommon.h

4.1 初始化相关

定义数据结构，用来存储套接字的相关信息。

```
struct Job {
    SOCKET socket;
    unsigned long srcIp;
    unsigned long dstIp;
    unsigned short srcPort;
    unsigned short dstPort;
```

```
    bool connected;
} job;
```

ftcommon.h是三个协议共同使用的基础函数和数据结构集，包括：基本的初始化函数（init），WSAStartUp，获取套接字并保存到job中，以及打开第二个进程，获取文件大小，处理连接请求，封装发送的数据包，实现定时器，获取错误文本，通用退出等。

通用退出如下所示：包含关闭套接字和文件，以及WSACleanup。

```
int proexit(int err) {
    printf("正在关闭客户端！\n");
    if (file != NULL) fclose(file);
    if (job.socketSend != NULL) closesocket(job.socketSend);
    //if (job.socketRecv != NULL) closesocket(job.socketRecv);
    WSACleanup();
    Sleep(3000);
    exit(err);
}
```

创建子进程时，第一个命令行传入“PORT=%d”使用端口号格式化，子进程读入后，端口自动-2，并展示在控制台窗口标题，确保在本机测试不冲突。

```
void createSubProcess(int port,const WCHAR* exefile) {
    STARTUPINFOW startupInfo = { 0 };
    startupInfo.cb = sizeof(startupInfo);
    PROCESS_INFORMATION processInfo = { 0 };
    WCHAR cmd[1024] = { 0 };
    swprintf_s(cmd, L"PORT=%d", port);
    if (!CreateProcess(exefile, cmd, 0, 0, true, CREATE_NEW_CONSOLE, 0, 0,
&startupInfo, &processInfo))
    {
        printf("CreateProcess failed\n");
    }
    else
    {
        SUB_PROCESS = true;
        printf("CreateProcess sucessed\n");
    }
}
```

4.2 数据交换相关

定义以下数据结构用于封装数据包：

```
struct Data {
    char control[4];
    char seq[8];
    char dat[MAXSIZE+2];
};
#define MAXPACK sizeof(Data)
#define MAXSIZE 500 //发送数据报文的最大长度
```

数据包的control表示控制字段，可以指定为以下的值。

```
#define METHOD_SYN_TEXT "SYN" //建立连接
#define METHOD_LEN_TEXT "LEN" //交换文件名和长度
#define METHOD_DATA_TEXT "DAT"//交换数据
#define METHOD_ACK_TEXT "ACK" //接收确认
#define METHOD_FIN_TEXT "FIN" //关闭连接
```

数据包的seq在不同时期表示不同：
在连接请求（SYN）时：表示为端口号。
在文件名交换（LEN）时：表示文件长度。
在交换数据（DAT）和接收确认（ACK）时：表示数据包的序号。
其余时，置0。
数据包的dat字段表示数据内容或文件名，内容长度必须小于等于MAXSIZE。
用户连接使用两次SYN，发送文件使用LEN先传递文件长度和文件名，接收端使用ACK 0确认，使用DAT+seq发送数据，接收端使用ACK+seq确认，接收端在接收到文件长度的数据时发送ACK并结束文件接收，发送端在最后一个ACK接收后结束文件发送。
数据包的序号从1开始，结束于最大值，超过最大序号（分组）个数的文件不进行发送。
注：程序使用了一个整型数组用来存储各个包的状态，因此不能太大。

```
#define MAX_PACKAGE_NUM 100000
```

定义以下函数用以实现数据包的打包和解包：由于发送的数据中不能包含“\0”，因此对每个字段（method、seq）的结尾字符需要做替换“_”，解包时再替换回来。
发送时将数据结构Data*视为char*发送。接收时使用Data*的结构视作char*直接接收。

```
int packData(SOCKET s,const char* method, int seq, char* data, int len)
int unPackData(Data* Buffer, SOCKET s)
```

4.3 定时器

```
#define TIME_OUT 5 //5s
```

以下函数用以实现定时器，首先定义宏TIME_OUT，用以标志超时时间。
需要传入一个指针t来保存和确定上一次的时间，并根据返回值确定是否超时。

```
int timer(time_t* lastt) {
    time_t t = time(NULL);
    if (*lastt == 0) {
        *lastt = t;
        return 0;
    }
    else {
        if (t - *lastt > TIME_OUT) {
            *lastt = 0;
            return 1;
        }
        printf("还剩 %lld s\n",TIME_OUT - t + *lastt+1);
        return 0;
    }
}
```

定义数据结构用于发起的定时器重发线程读取数据（这个数据结构作为定时器的参数，仅SR使用，在GBN中因为需要重发多个数据，已使用新的数据结构PACKAGE定义的全局变量）：

```
struct time {
```

```
    SOCKET as;
    char* data;
    const char* method;
    int seq;
    //int len;
    int* stop;
    int readSize;
    bool* cancel;
    int* targetseq;
    time(SOCKET s, char* b, const char* m,int seqq,int* st, int reS,bool* cancell,int
*targets) {
        as = s;
        data = b;
        method = m;
        seq = seqq;
        //len = l;
        targetseq = targets;
        cancel = cancell;
        stop = st;
        readSize = reS;
    }
};
typedef struct time TIME;
```

4.4 用户连接相关

定义以下两个函数和数据用以用户连接：

```
int PASSIVE = true;
int startRecv = false;
void connectPair(int port, int passive)
unsigned int __stdcall acceptPair(void* param)
```

其中PASSIVE表示是否为被动连接（即等待方）。

用户使用上一节构建的交互窗口，使用“S”初始化连接并进入等待状态（启动新线程调用acceptPair）。

必须进入等待状态后，才能使用“C”发起连接，一端用户使用C时，调用connectPair发送连接请求。另一端用户无需使用“C”，因为在acceptPair中，另一端收到连接请求后，是PASSIVE，则自动发起connectPair进行连接确认。双方均通过报文获得对方的IP和端口号。

连接请求和连接确认使用同样的格式（函数），如下所示：

Data { control=“SYN”,seq=端口号,dat=主机IP }

即A用户使用connectPair后，B用户在acceptPair接收到请求，并启动connectPair进行回连，A用户也在acceptPair接收到请求，但因为不是PASSIVE，不进行回连，自此，连接建立。

五、编写停等协议代码

5.1 接收端

在初始化和连接建立后，用户在交互窗口使用“R”命令后，程序进入接收文件模式，等待连接的另一方发送文件。首先等待LEN控制符，接收后创建由“用户指定的保存位置+LEN

指定的文件名”的文件并获得文件长度，发送ACK 0，循环等待DAT seq，写到文件，发送ACK seq，直到写到完整文件长度。

5.2 发送端

同理，在初始化和连接建立后，用户在交互窗口使用“F”命令后，程序进入发送文件模式，另一方接收文件。首先打开指定的文件，获取长度和文件名，发送LEN控制符，接收到ACK 0，循环读入文件，发送DAT seq，等待ACK seq，直到收到最后一个ACK。

六、编写GBN协议代码

```
#define WINDOW_SIZE 5
```

先使用宏定义窗口大小。

6.1 接收端

在初始化和连接建立后，用户在交互窗口使用“R”命令后，程序进入一个函数gbnrecv，同理先发LEN、等ACK0，然后循环等待DAT seq，遇到乱序的DAT直接丢弃，正确的写到文件，发送ACK seq……直到写到完整文件长度。

6.2 发送端

发送端较为复杂，需要使用多个线程和定时器。

在初始化和连接建立后，用户在交互窗口使用“F”命令后，程序进入发送主函数gbntransfer，首先打开指定的文件，发送LEN，接收ACK 0，然后使用全局变量设置相关信息后，新建一个线程thread_sendPackage用来循环发送数据，主函数则不断循环接收ACK，并更新数据结构。

以下是两个线程需要共享的全局变量：

```
int Gbase;        //窗口的最小序号
int Gmaxseq; //窗口最大的序号
int Gseq;         //当前发送的序号
int Gstoparr[MAX_PACKAGE_NUM];//已完成发送的数据报序号（桶排序，用于停止计时器），本来使用bool，但因SR共用改成int，在SR中用0表示未发送，1表示已正确接收，2（仅接收方）表示已缓存
int GtotalSend;   //已正确接收的发送字节数
int GtotalBlock;//总数据报数
int GreadSizeArr[MAX_PACKAGE_NUM];//每个数据报的数据大小
int GFilesize;    //文件总大小
FILE* Gf;         //文件符
SOCKET Gas;       //套接字符
```

在thread_sendPackage中，有while(GtotalSend<GFilesize){while(Gseq<Gbase)}字段，循环读取文件、发送数据，Gseq/Gbase与主线程共享，主线程收到ACK时修改，这边就能不断发送。每次发送数据时，都会启动一个与seq关联的定时器，定时器也需要共享字段，如下所示：

```
typedef struct Package {
    int stoparr = 0;          //是否已收到ACK，并关闭计时器
    bool cancelarr = 0;            //是否因为收到更前的错误ACK，将统一发送新的（从更前到最新seq），需要取消当前计时器
    const char* method = NULL; //发送数据的控制字段类型
    int targetseq = 0;             //统一发送新的时，最新的seq
    int size = 0;             //发送数据的内容大小
```

```
    char* FILEBUFFER =0;        //发送数据的内容
}PACKAGE;
PACKAGE PACK[MAX_PACKAGE_NUM];
```

每次发送数据时，需要在更新此全局变量的第seq个元素，定时器超时后将从此数据结构中取出数据和参数。

在主线程中，程序会不断接收ACK recvseq，解析recvseq，如果recvseq==base则接收，设置PACK[recvseq+1].stoparr（关闭定时器），滑动窗口前进1；如果不等于base（base表示当前已发送未接收的最小序号，即第base个分组丢包），且!PACK[recvseq+1].cancelarr（定时器没有被取消，防止重复），则取消从base+1到seq的定时器（即除T_{base}的所有已发送包的定时器），设置T_{base}的targetseq=seq，即当T_{base}超时时，重发从base到seq的所有包，并重新启动各自的定时器，此时注意要更新共享数据结构（主要是cancel和targetseq），防止产生无效的定时器。

例如，当窗口大小为[9,14]时，收到了ACK 8（可能多个，使用!PACK[recvseq+1].cancelarr屏蔽后续，在重新启动前的超时时间内足以屏蔽），说明包9（到14）一定（至少有1个）没有传输成功，则取消10到14的所有定时器，设置定时器9的targetseq为14。等待9超时后，在定时器线程TimeThread重发9到14的所有包，并重启启动9到14的各自的定时器。

自此，直到收到所有ACK，关闭文件，退出发送模式。

七、修改（做了一半的）GBN为SR协议代码

实质上，由于SR对于定时器的控制比GBN简单（无需关闭后统一发送），因此无需统一管理包和定时器配置内容（无需手动关闭定时器），只需要对每个定时器传入包的信息作为参数即可。我在实现GBN时，在统一管理前考虑到SR可能会用到，使用Git备份了源代码，然后恰好SR用上了。如果要是直接修改GBN成品的话，可能还需要多费一些事情，以及运行时占用更多的内存。总体上来说，实现难度：发送端：GBN>SR，接收端：GBN<SR。

6.1 接收端

新建全局变量，用来存储乱序到达的数据，使用指针数组，接收到数据的时候再执行new字符数组操作，节省内存的同时，能通过扫描cachedBuffer判断是否为NULL判断有无缓存。

```
char *cachedBuffer[MAX_PACKAGE_NUM] = { 0 };
int cachedBufferSize[MAX_PACKAGE_NUM] = { 0 };
```

在初始化和连接建立后，用户在交互窗口使用“R”命令后，程序进入一个函数srrecv，同理先发LEN、等ACK0，然后循环等待DAT seq，遇到乱序的DAT保存到cachedBuffer里，注意保存前判断是否为NULL再new，防止保存重复；对于正确的seq则写到文件，然后base++，如果cachedBuffer[base]!=NULL，说明存在乱序缓存的包，继续写出、滑动，直到cachedBuffer[base]==NULL，发送ACK seq……直到写到完整文件长度。

6.2 发送端

同理，发送端较为复杂，但没有统一的定时器管理，省了不少事。

进入发送模式后，仍然采用两个线程，一个线程一直发数据，主线程一直收ACK。定时器超时需要做修改，超时只发自己包就行了，不需要发别人的包。

八、引入随机丢包和打印优化

引入随机丢包的方式是采用随机数rand()，首先定义以下两个宏，分别表示开启随机丢包和丢包概率，丢包的概率的数值就是随机数小于这个值，则丢包。

```
#define ENABLE_MISSING true
#define MISSING_PR 1000 //max=32767
```

每次发送文件时，执行srand((unsigned)time(NULL))，重置随机数种子。
在各协议的接收端recv后，添加丢包代码：

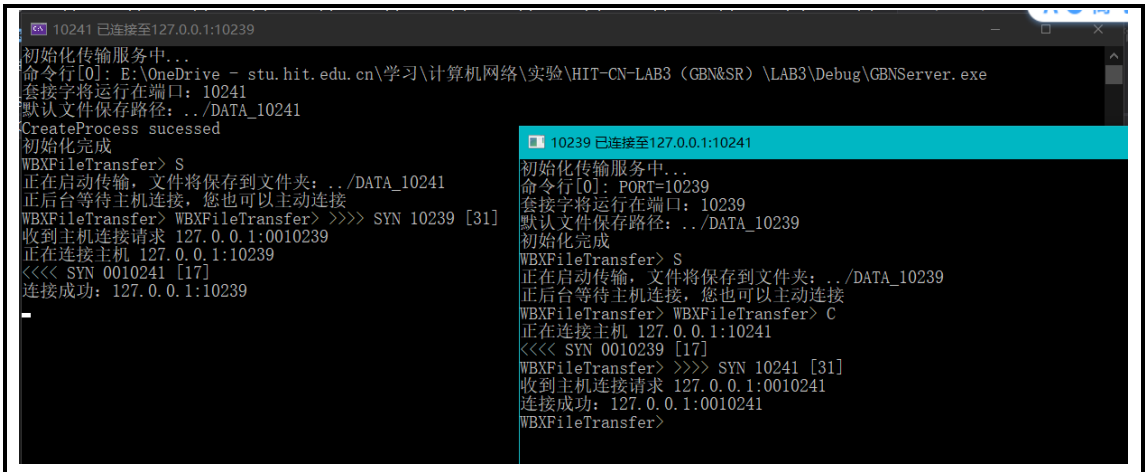
```
if (ENABLE_MISSING) {
    if (rand() < MISSING_PR) {
        printf("模拟丢包！[%d]\n", recvseq);
        continue;
    }
}
```

打印优化是指打印数据的格式进行优化。
1、添加数据报的输出。在数据发送和接收的统一出入口——packData和unpackData中添加printf，采用“C++”式的流式传输格式“<<<<”表示输出，“>>>>”表示输入，只打印控制字段和seq，Data部分使用长度代替。
例如：“<<<< SYN 10240 [17]”、“>>>> DATA 12 [502]”
2、添加进度条。添加函数printStatus()，在recv后，添加printStatus()调用。
每一个字符表示一个包，“#”表示接收成功，空格表示未接收的包，“-”表示已缓存（仅SR接收端）。后面再跟上已接收/总数字节和百分比。

```
void printStatus(int total, int curr, int totalb, bool currb[]) {
    printf("[");
    for (int i = 1; i <= totalb; i++) {
        if (currb == NULL) {
            if (PACK[i].stoparr)printf("#");
            else printf(" ");
        }
        else {
            if (currb[i] == true)printf("#");
            else if (currb[i] == 2)printf("-");
            else printf(" ");
        }
    }
    printf("] %d/%d | %2.2f%%\n", curr, total, curr / (double)total * 100.0);
}
```

实验结果：

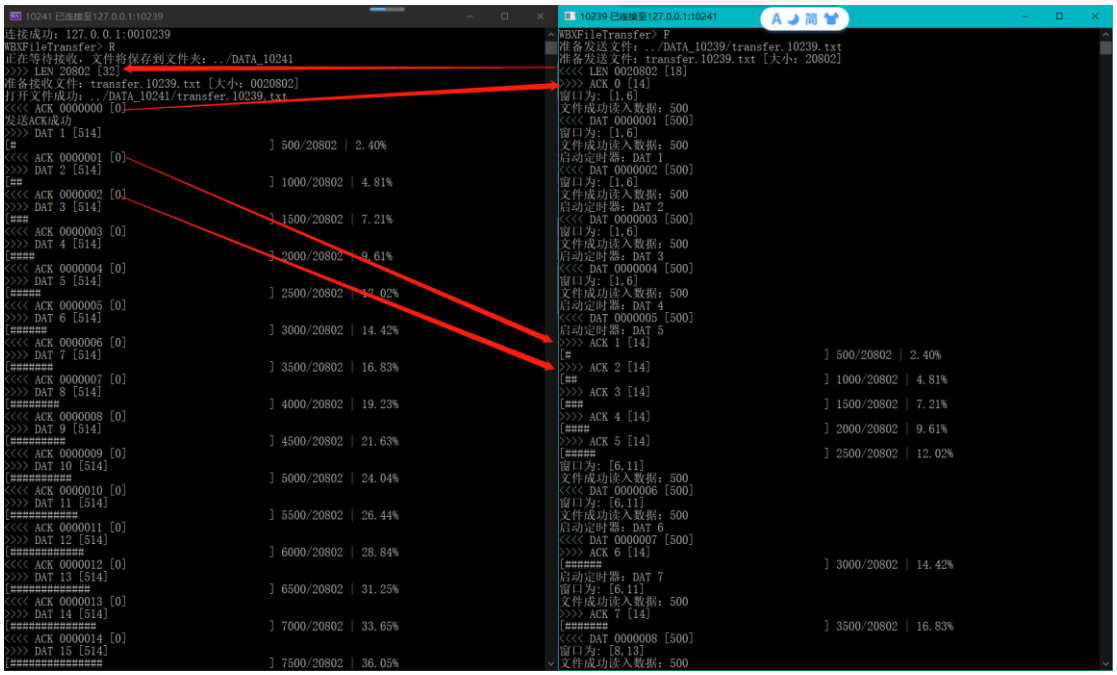
采用演示截图、文字说明等方式，给出本次实验的实验结果。
下图就是一个模拟引入数据包的丢失、支持双向数据传输、一个 C/S 结构的文件传输应用。
首先是 GBN 协议客户端：



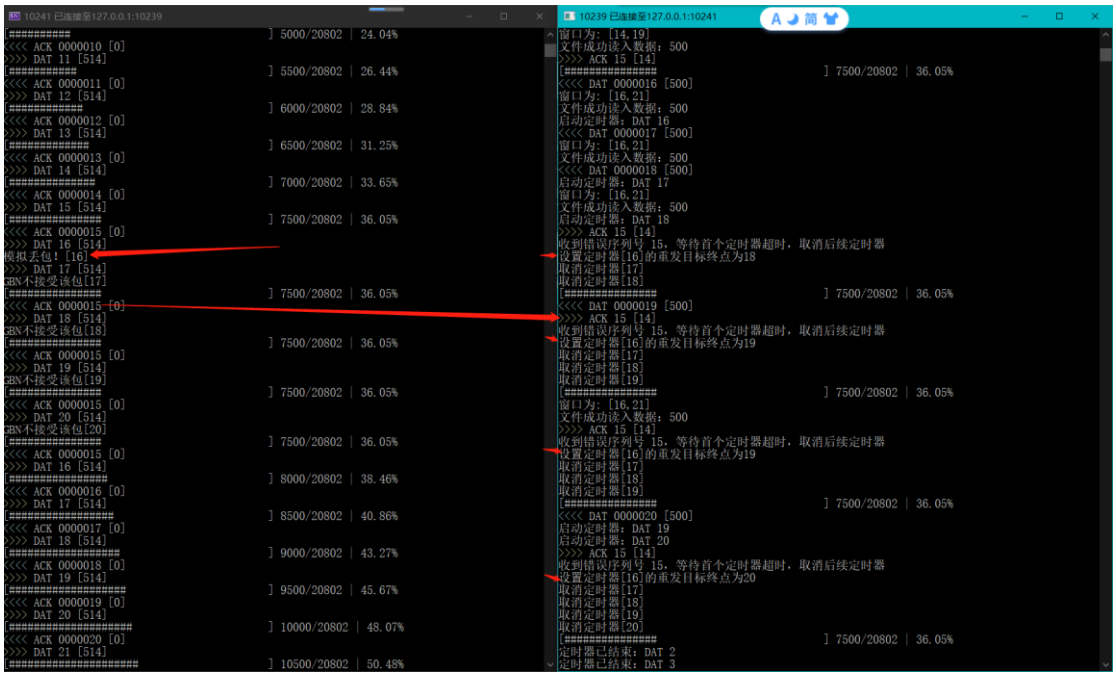
用户打开两个程序，输入S初始化保存位置，输入C连接目标（因为没有指定目标，则使用默认目标：本机测试）。经过两个SYN后，两端显示连接成功。

然后左端用户输入R进行接收文件，右端用户输入F发送文件（没有指定发送的文件，默认发送测试文件）。

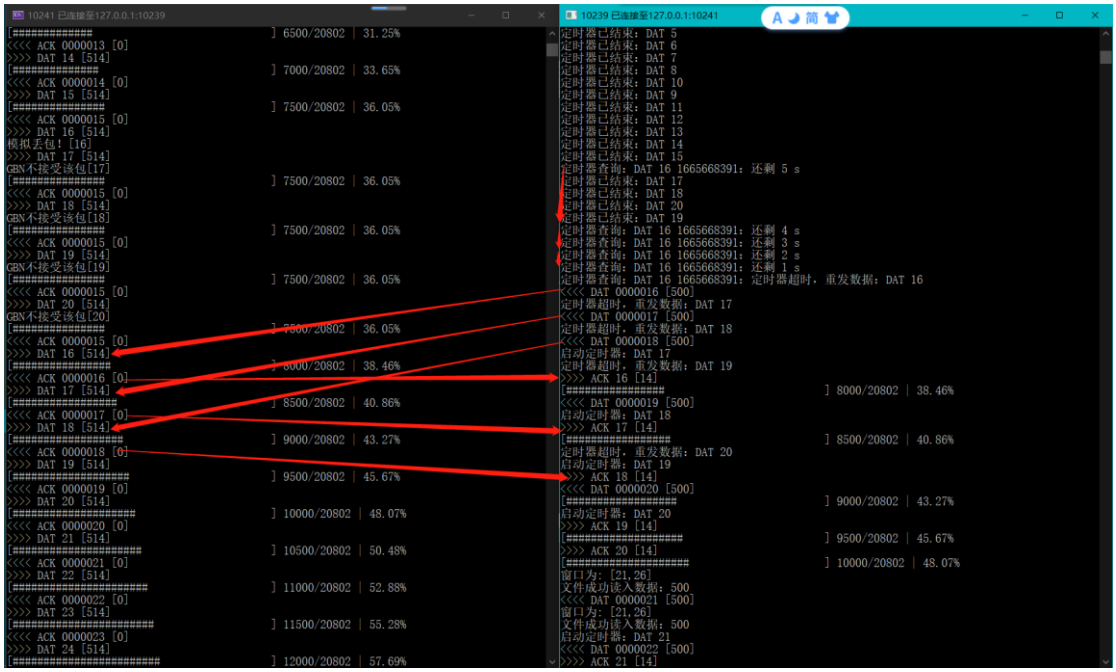
首先发送了文件信息，然后是数据。



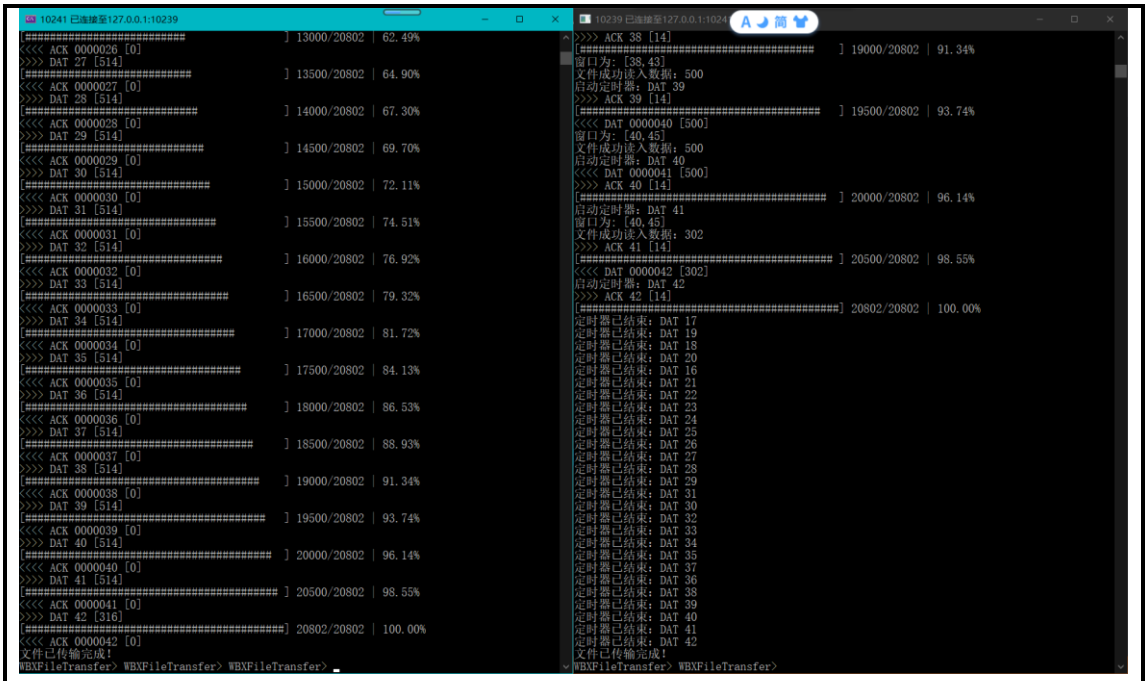
下图中发生了模拟丢包，左图显示GBN在窗口内的后续包都不被接受了，并返回了最小的已接收的序号。右侧显示取消了所有定时器，仅保留一个，超时后将重发目标终点设置为已发送的最大值。



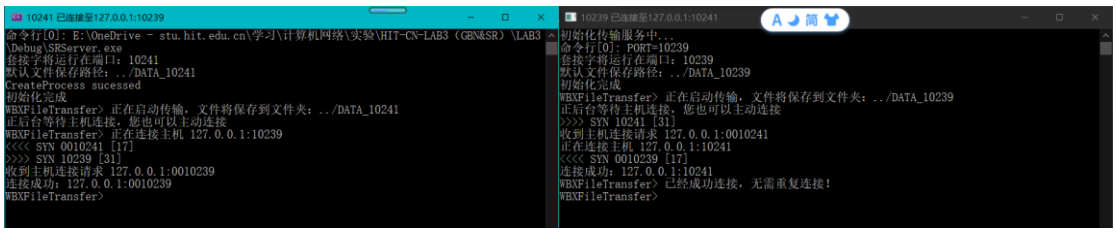
在第一个定时器超时后，重发了所有的包，并分别启动了新的定时器。

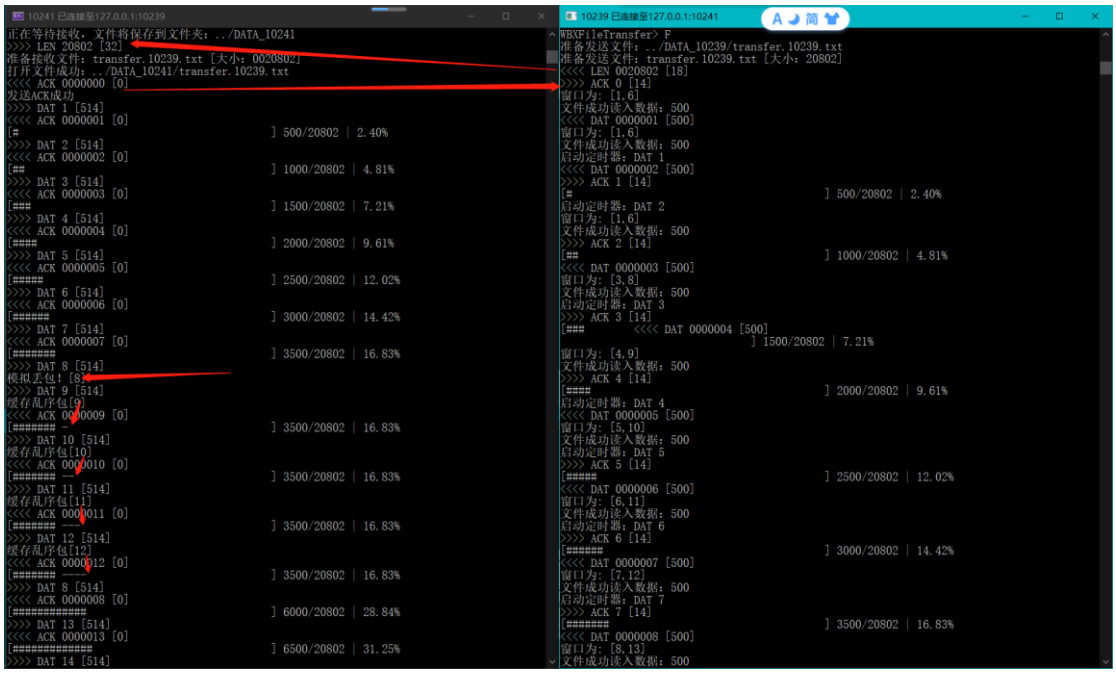


文件传输完成！双方用户还可以再输入控制命令来选择发送或接收。



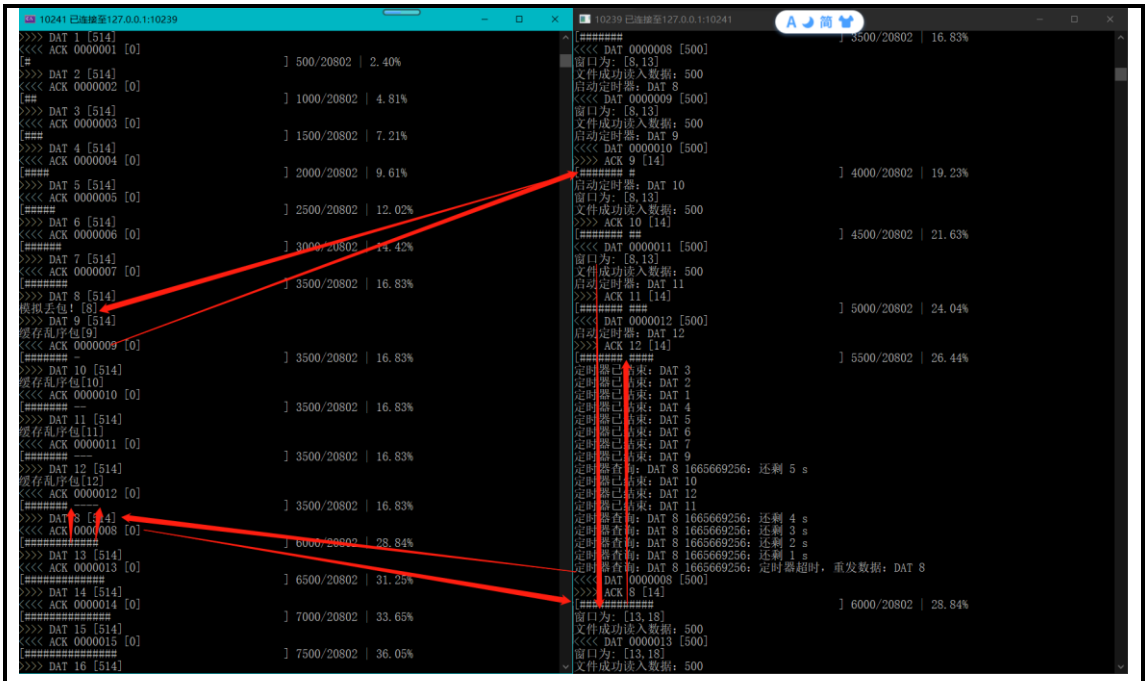
下面启动SR协议客户端。



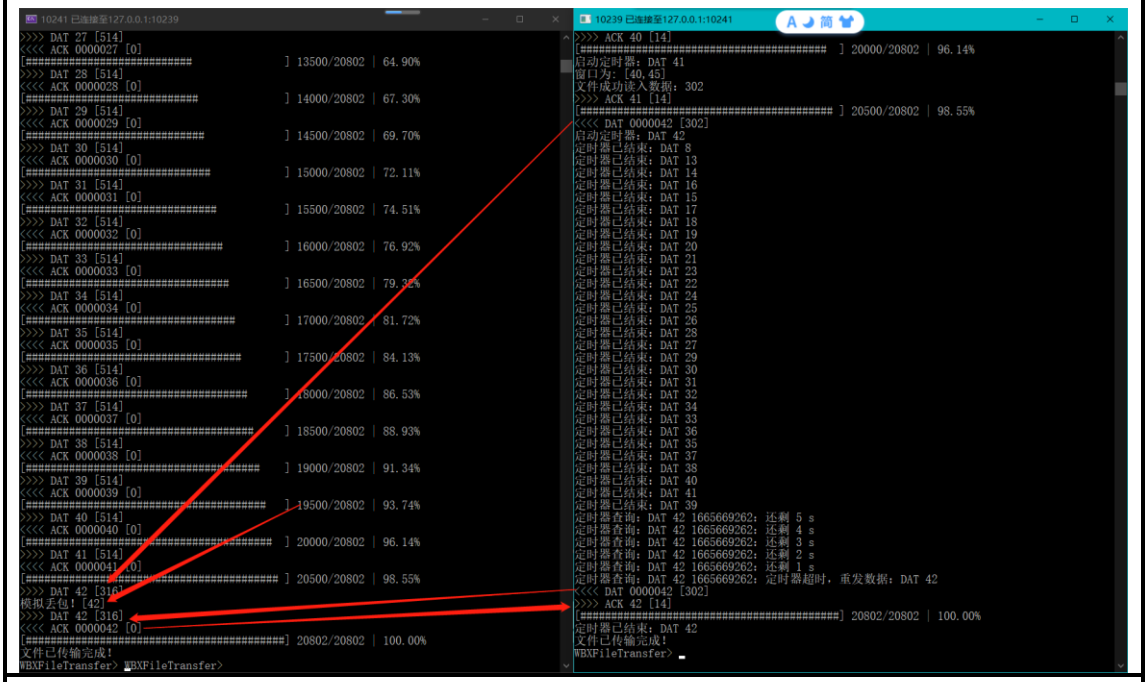


可以看到，当发生了丢包，后续的包都传了过来，进行了缓存。

收到了丢失的包后，缓存写出，窗口大步滑动。



很不幸，用户在发最后一个包的时候，又发生了丢包！不过没有关系我们可以重传。



问题讨论：

1、在实现的过程中，发现关于Winsock返回的错误信息的问题：

由于一开始我在packData中的疏忽，将多余的“\0”进入到winsock中发送，在unpackData中导致了后续中发生“Message too long”的问题。因为“\0”也算作一个字符，而Buffer不足，则recv就会返回这个错误，这是我经过1小时的单步调试发现的问题，当时发现所有的字符已经正常recv，后面也存在“\0”，后来才发现，发送的数据中后面还存在“\0”。经过数值调整，已修复。

2、正如正文所说，我在实现GBN时，在统一管理前考虑到SR可能会用到，使用Git备份了源代码，然后恰好SR用上了，说明常常commit还是十分有用的。

3、总体上来说，实现难度：发送端：GBN>SR，接收端：GBN<SR。

心得体会：

结合实验过程和结果给出实验的体会和收获。
连肝3天，报告和代码纯手敲，绝无CV！
详细了解和学会了GBN、SR的可靠数据传输的思想。