计算机网络第三次作业第三部分

张昊星 2113419

实验要求

在实验3-1的基础上，将停等机制改成基于滑动窗口的流量控制机制，发送窗口和接收窗口采用相同大小，支持选择确认，完成给定测试文件的传输。

实验设计

协议设计

1. 报文格式

```
struct HEADER {
    u_short sum = 0;//校验和 16位
    u_short datasize = 0;//所包含数据长度 16位
    unsigned char flag = 0;//八位，使用后三位，排列是FIN ACK SYN
    unsigned char SEQ = 0;//八位，传输的序列号，0~255，超过后mod
    HEADER() {
        sum = 0;
        datasize = 0;
        flag = 0;
        SEQ = 0;
    }
};
```

报文头长度为48位，前16位为数据长度，用于记录数据区的大小，17-32位为校验和，用于检验传输的正确性，33-40位为标志位，只使用低3位，分别为FIN，ACK，SYN，40-48位为传输的数据包的序号（0~255循环使用）

2. 连接与断开

类似于TCP的握手与挥手功能：

- 三次握手进行连接：

  首先，客户端向服务端发送数据包，其中SYN=1，ACK=0，FIN=0

  服务端接受到数据包后，向客户端发送SYN=0，ACK=1，FIN=0

  客户端再次接收到数据包后，向服务端发送SYN=1，ACK=1，FIN=0

  服务端接收到数据包后，连接成功建立，可以进行数据传输

- 四次挥手断开连接：

  首先，客户端向服务端发送数据包，其中SYN=0，ACK=0，FIN=1

  服务端接受到数据包后，向客户端发送SYN=0，ACK=1，FIN=0

  客户端再次接收到数据包后，向服务端发送SYN=0，ACK=1，FIN=1

  服务端接收到数据包后，向客户端发送SYN=0，ACK=1，FIN=1

  客户端接收到数据包后，连接成功断开

3.数据传输

发送端和接收端的接收机均采用SR。累积确认会导致批量重传，不能只重传出错的帧。SR协议采用选择确认的方式，发送端设置单个确认，接收端设置接收缓存，缓存乱序到达的帧。

4.滑动窗口

窗口分为左边界、发送边界和右边界，窗口大小固定。窗口左边界左侧为已经发送并得到确认的数据，左边界到发送边界的数据为已发送但未得到确认的数据，发送边界到右边界为等待发送的数据，右边界右侧为不可发送的数据。

代码实现（仅展示与3-1不同的代码）

传输数据

- 发送单个数据包

```
void send_package(SOCKET& socketClient, SOCKADDR_IN& servAddr, int&
servAddrlen, char* message, int len, int& order){
    HEADER header;
    char* buffer = new char[MAXSIZE + sizeof(header)];
    header.datasize = len;
    header.SEQ = unsigned char(order);//序列号
    memcpy(buffer, &header, sizeof(header));
    memcpy(buffer + sizeof(header), message, sizeof(header) + len);
    u_short check = cksum((u_short*)buffer, sizeof(header) + len);//计算校验和
    header.sum = check;
    memcpy(buffer, &header, sizeof(header));
    sendto(socketClient, buffer, len + sizeof(header), 0,
(sockaddr*)&servAddr, servAddrlen);
    cout << "Send message " << len << " bytes!" << " flag:" <<
int(header.flag) << " SEQ:" << int(header.SEQ) << " SUM:" << int(header.sum)
<< endl;
}
```

准备发送的数据包：创建一个包含数据的缓冲区 `buffer`，大小为 `MAXSIZE + sizeof(header)`。将数据包的头信息填充到 `buffer` 的开头，并将实际数据复制到 `buffer` 中。

计算校验和：调用 `cksum()` 函数计算 `buffer` 中数据的校验和，并将结果保存到 `header.sum` 中。

发送数据包：使用 `sendto()` 函数将数据包发送到服务端。

- 发送文件

```
void send(SOCKET& socketClient, SOCKADDR_IN& servAddr, int& servAddrlen,
char* message, int len) {
    HEADER header;
    char* Buffer = new char[sizeof(header)];
    int packagenum = len / MAXSIZE + (len % MAXSIZE != 0); // 计算需要发送的数
据包数量
    PacketStatus packetStatus[100000]; // 包的状态数组
    int head = -1; // 缓冲区头部，前方为已经被确认的报文
    int tail = 0; // 缓冲区尾部，指向待发送的报文
    clock_t start[10000]; // 记录发送时间
    int count = 0;
    while (head < packagenum - 1) {
        if (tail - head < WINDOW_SIZE && tail != packagenum) {
```

```
            // 如果窗口内有空余位置且还有待发送的数据包，则发送数据包
            send_package(socketClient, servAddr, servAddrlen, message + tail
* MAXSIZE, tail == packagenum - 1 ? len - (packagenum - 1) * MAXSIZE :
MAXSIZE, tail);
            start[tail] = clock(); // 记录发送时间
            tail++; // 移动尾部指针
        }
        // 将套接字设置为非阻塞模式，并尝试接收 ACK 报文
        u_long mode = 1;
        ioctlsocket(socketClient, FIONBIO, &mode);
        if (recvfrom(socketClient, Buffer, MAXSIZE, 0, (sockaddr*)&servAddr,
&servAddrlen) > 0) {
            memcpy(&header, Buffer, sizeof(header));
            if (header.flag == ACK) {
                int ackSeq = header.SEQ;
                packetStatus[ackSeq].acknowledged = true;
                cout << "Send has been confirmed! flag:" << int(header.flag)
<< " SEQ:" << header.SEQ << endl;
                count++;
                // 更新接收到的 ACK 的确认状态
                if (ackSeq == head + 1) {
                    head += count; // 移动头部指针
                    count = 0;
                }
            }
        }
        else {
            if (clock() - start[head + 1] > MAX_TIME) {
                // 如果超时
                int i = head + 1;
                send_package(socketClient, servAddr, servAddrlen, message +
i * MAXSIZE, (i == packagenum - 1) ? len - (packagenum - 1) * MAXSIZE :
MAXSIZE, i);
                cout << "SEQ:" << i << " Not be confirmed, ReSend Message!"
<< endl;
                start[head + 1] = clock();
            }
        }
        mode = 0;
        ioctlsocket(socketClient, FIONBIO, &mode); // 将套接字设置为阻塞模式
    }

    // 发送结束信息
    header.flag = OVER;
    header.sum = 0;
    u_short temp = cksum((u_short*)&header, sizeof(header));
    header.sum = temp;
    memcpy(Buffer, &header, sizeof(header));
    sendto(socketClient, Buffer, sizeof(header), 0, (sockaddr*)&servAddr,
servAddrlen);
    cout << "Send End!" << endl;
    clock_t over_start = clock(); // 记录时间

    // 等待接收端的确认结束信息
    while (1) {
        u_long mode = 1;
        ioctlsocket(socketClient, FIONBIO, &mode); // 将套接字设置为非阻塞模式
```

```
        while (recvfrom(socketClient, Buffer, MAXSIZE, 0,
(sockaddr*)&servAddr, &servAddrlen) <= 0) {
            if (clock() - over_start > MAX_TIME) {
                // 如果超时
                char* Buffer = new char[sizeof(header)];
                header.flag = OVER;
                header.sum = 0;
                u_short temp = cksum((u_short*)&header, sizeof(header));
                header.sum = temp;
                memcpy(Buffer, &header, sizeof(header));
                sendto(socketClient, Buffer, sizeof(header), 0,
(sockaddr*)&servAddr, servAddrlen);
                cout << "Time Out! ReSend End!" << endl;
                over_start = clock();
            }
        }

        memcpy(&header, Buffer, sizeof(header)); // 读取接收到的数据包头部信息
        u_short check = cksum((u_short*)&header, sizeof(header));
        if (header.flag == OVER) {
            cout << "对方已成功接收文件!" << endl;
            break;
        }
        else {
            continue;
        }
    }

    u_long mode = 0;
    ioctlsocket(socketClient, FIONBIO, &mode); // 将套接字设置为阻塞模式
}
```

滑动窗口机制：使用两个指针 `head` 和 `tail` 。 `head` 表示已经被确认的数据包，`tail` 表示窗口中待发送的数据包。

发送数据包：在窗口内有空余位置且仍有待发送的数据包时，发送数据包。函数 `send_package` 负责发送数据包。

接收确认：使用非阻塞模式接收 `ACK` 报文，如果接收到顺序的 `ACK` ，则根据序列号更新窗口，否则增加 `count` ，直至收到顺序的 `ACK` 。

超时重传：如果超时，则重发超时未确认的数据包。

发送结束信息：发送端发送一个结束标志，表示文件传输结束。

等待确认：发送端等待接收端发送的确认结束信息。如果超时，则重新发送结束标志。

接收数据

```
int RecvMessage(SOCKET& sockServ, SOCKADDR_IN& ClientAddr, int& ClientAddrLen,
char* message) {
    long int file_length = 0;//文件长度
    HEADER header;
    char* Buffer = new char[MAXSIZE + sizeof(header)];
    int seq = 0;
    queue<char*> packetBuffer;
    while (1) {
```

```
        int length = recvfrom(sockServ, Buffer, sizeof(header) + MAXSIZE, 0,
(sockaddr*)&ClientAddr, &ClientAddrLen);//接收报文长度
        memcpy(&header, Buffer, sizeof(header));
        if (header.flag == unsigned char(0) && cksum((u_short*)Buffer, length -
sizeof(header))) {
            if (seq != header.SEQ) {
                // 收到的不是期望的序列号，将该数据包放入缓存，并发送 ACK
                char* temp = new char[length - sizeof(header)];
                memcpy(temp, Buffer + sizeof(header), length - sizeof(header));
                packetBuffer.push(temp);
                cout << "SEQ:" << header.SEQ << " has been cached, the message "
<< length - sizeof(header) << " bytes,Flag:" << int(header.flag) <<  " SUM:" <<
int(header.sum) << endl;
                header.flag = ACK;
                header.datasize = 0;
                header.sum = 0;
                u_short temp1 = cksum((u_short*)&header, sizeof(header));
                header.sum = temp1;
                memcpy(Buffer, &header, sizeof(header));
                sendto(sockServ, Buffer, sizeof(header), 0,
(sockaddr*)&ClientAddr, ClientAddrLen);
                cout << "Send to Client ACK:" << (int)header.flag << " SEQ:" <<
header.SEQ << endl;
                continue;
            }
            //取出buffer中的内容
            cout << "Recv message " << length - sizeof(header) << " bytes!Flag:"
<< int(header.flag) << " SEQ : " << header.SEQ << " SUM:" << int(header.sum) <<
endl;
            char* temp = new char[length - sizeof(header)];
            memcpy(temp, Buffer + sizeof(header), length - sizeof(header));
            memcpy(message + file_length, temp, length - sizeof(header));
            file_length = file_length + int(header.datasize);
            while (!packetBuffer.empty()) {
                char* temp = packetBuffer.front();
                memcpy(message + file_length, temp, length - sizeof(header));
                file_length = file_length + int(header.datasize);
                packetBuffer.pop();
                seq++;
            }
            //返回ACK
            header.flag = ACK;
            header.datasize = 0;
            header.sum = 0;
            u_short temp1 = cksum((u_short*)&header, sizeof(header));
            header.sum = temp1;
            memcpy(Buffer, &header, sizeof(header));
            sendto(sockServ, Buffer, sizeof(header), 0, (sockaddr*)&ClientAddr,
ClientAddrLen);
            cout << "Send to Clinet ACK:" << (int)header.flag << " SEQ:" <<
header.SEQ << endl;
            seq++;
        }
        //判断是否是结束
        if (header.flag == OVER && cksum((u_short*)&header, sizeof(header)) ==
0) {
            cout << "文件接收完毕" << endl;
            break;
```

```
        }
    }
    header.flag = OVER;
    header.sum = 0;
    u_short temp = cksum((u_short*)&header, sizeof(header));
    header.sum = temp;
    memcpy(Buffer, &header, sizeof(header));
    if (sendto(sockServ, Buffer, sizeof(header), 0, (sockaddr*)&ClientAddr,
ClientAddrLen) == -1) {
        return -1;
    }
    return file_length;
}
```

循环接收数据报文：使用 `recvfrom()` 从套接字接收数据报文，并将其存储在 `Buffer` 中。提取报文头部信息 `HEADER`，判断接收到的报文是否是结束标志。

确认序列号和校验和：对接收到的数据报文进行序列号和校验和的检查。如果序列号错误则缓存该数据包。如果接收到的序列号与当前期望的序列号一致，则将数据从报文中提取出来，存储到 `message` 缓冲区中，并将缓存的数据包加入到缓冲区中。

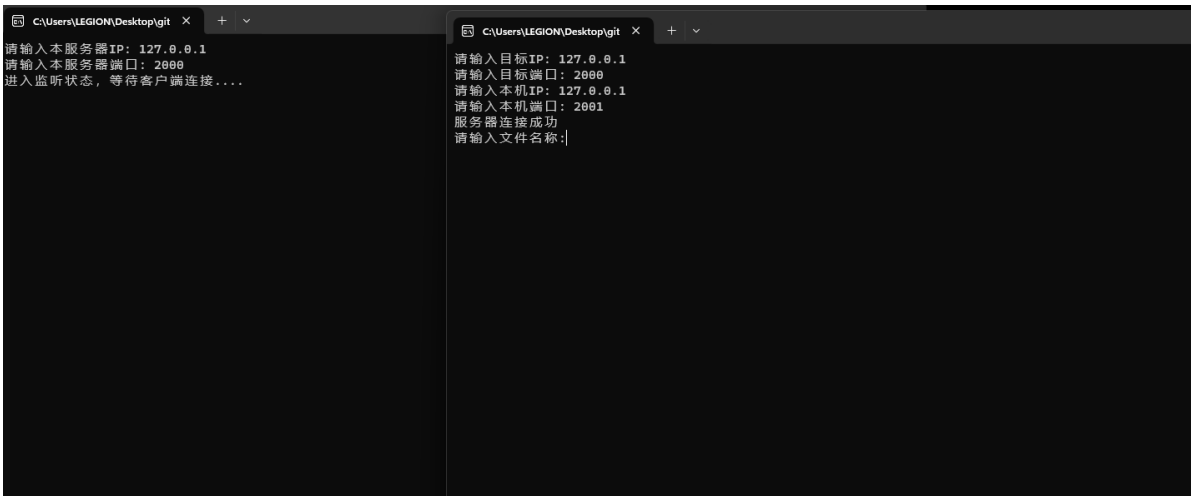
发送确认（ACK）：接收到任何数据包都发送确认消息给客户端，确认接收到的数据包。

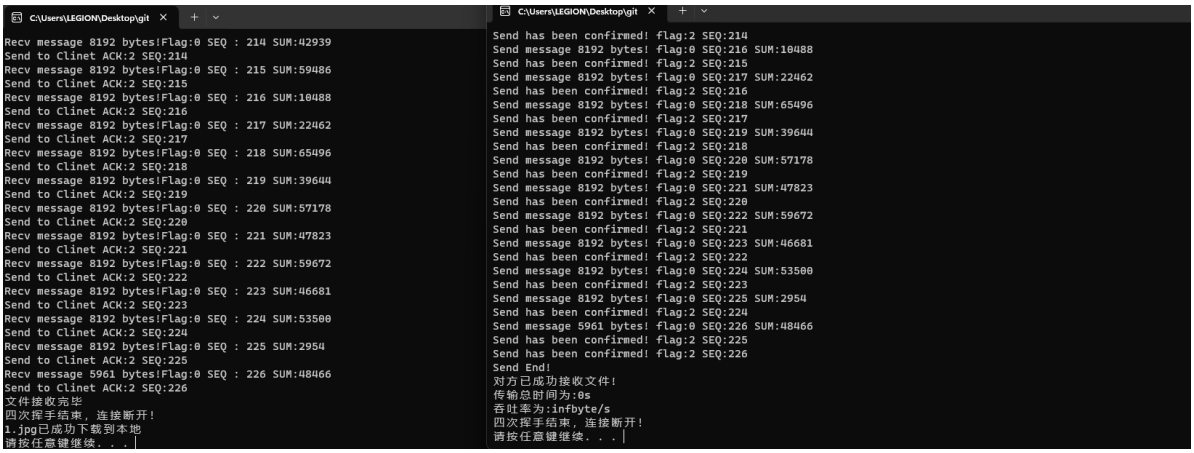
循环接收直到收到结束标志：循环接收直到接收到结束标志的数据包。

发送结束标志的确认：发送结束标志的确认消息给客户端。

实验结果

正常情况

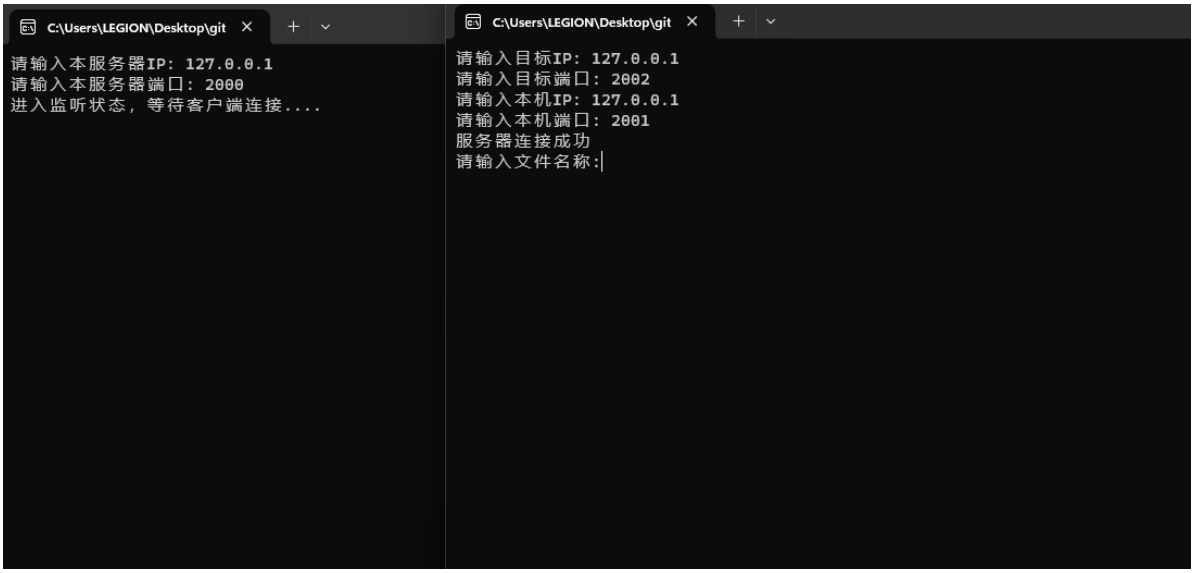


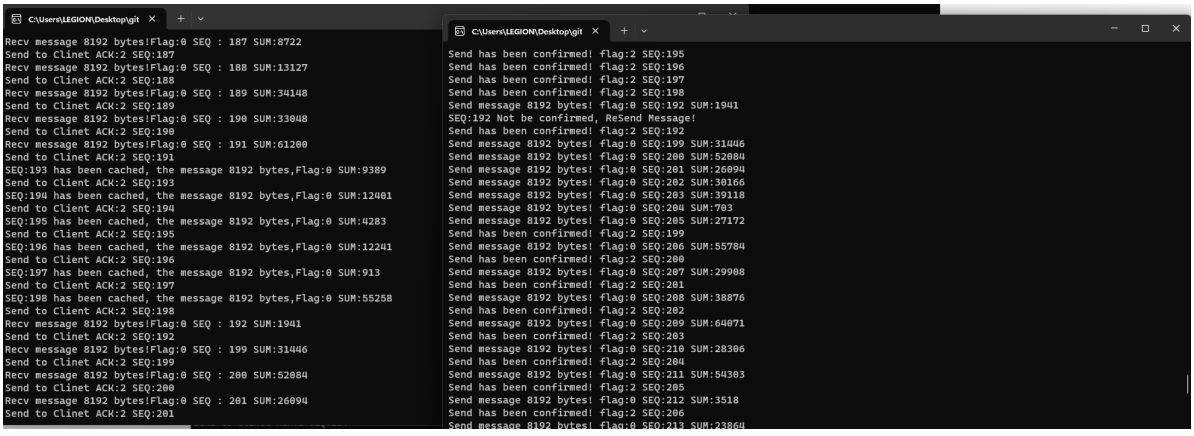


接收到的图片大小与原图片一致，传输成功。

路由情况

路由器设置如下：





同样成功传输，在服务器端运行界面可以看到“SEQ:193 has been cached”的信号，在客户端运行界面可以看到“SEQ:192 Not be confirmed, ReSend Message!”的信号，说明选择确认以及滑动窗口成功。