计算机网络第三次实验报告

网络空间安全学院 物联网工程 2111673 岳志鑫

一、实验目的

基于 UDP 服务设计可靠传输协议并编程实现（3-1）

二、实验要求

利用数据报套接字在用户空间实现面向连接的可靠数据传输，功能包括：建立连接、差错检测、接收确认、超时重传等。流量控制采用停等机制，完成给定测试文件的传输。

- 数据报套接字：UDP
- 协议设计：数据包格式，发送端和接收端交互，详细完整
- 建立连接、断开连接：类似 TCP 的握手、挥手功能
- 差错检验：校验和
- 接收确认、超时重传：rdt2.0、rdt2.1、rdt2.2、rtd3.0 等，亦可自行设计协议
- 单向传输：发送端、接收端
- 日志输出：收到/发送数据包的序号、ACK、校验和等，传输时间与吞吐率
- 测试文件：必须使用助教发的测试文件（1.jpg、2.jpg、3.jpg、helloworld.txt）

三、实验内容

1.协议设计

（1）建立连接：

通过握手过程建立连接。发送方发送连接请求数据包，接收方收到连接请求，发送连接确认数据包。

（2）差错检测：

在数据包中添加校验和字段,用于检测数据传输过程中的错误。发送方发送数据包，记录序列号和计算校验和。接收方收到数据包，进行序列号和校验和的检测，如果数据包正确就发送确认，如果数据包错误就重新发送请求。

（3）接收确认：

接收方收到数据后，向发送方发送确认，通知其数据已经接收。

（4）超时重传：

发送方发送数据包，启动定时器。如果发送方收到确认则停止定时器，如果发送方在规定时间内未收到确认，则进行超时重传，重新发送上一个数据包。

（5）流量控制：

发送方发送一个数据包后，等待接收到对应的确认后再发送下一个数据包。接收方收到数据后，发送确认，并等待下一个数据包。

2.核心代码分析

（1）数据报结构

```
struct Head
{
    u_short checksum;//校验和 16 位
    u_short datasize;//所包含数据长度 16 位
    unsigned char flag;//八位，使用后三位表示 FIN ACK SYN
    unsigned char seq;//八位，传输的序列号
    Head()
    {
```

```
            checksum = 0;
            datasize = 0;
            flag = 0;
            seq = 0;
        }
    };
```

（2）三次握手（以发送端为例）

首先进行第一次握手，将数据包组装好后发送，标志位设定为 SYN

```
    Head head = Head(); //数据首部
        head.flag = SYN; //标志设为 SYN
        head.checksum = check((u_short*)&head, sizeof(head)); //计算校验和
        char* buff = new char[sizeof(head)]; //缓冲数组
        memcpy(buff, &head, sizeof(head));//将首部放入缓冲数组
        if (sendto(socket, buff, sizeof(head), 0, (sockaddr*)&addr, length)
==SOCKET_ERROR)
        {//发送失败
            cout << "【第一次握手失败】" << endl;
            return ;
        }
        cout << "第一次握手成功【SYN】" << endl;
```

发送成功后等待客户端的回复，用 while 循环持续接收数据包，如果超时未接收到确认则重新发送第一次握手的数据包，接收到回复则为第二次握手成功

```
clock_t handstime = clock(); //记录发送第一次握手时间
    u_long mode = 1;
    ioctlsocket(socket, FIONBIO, &mode); //设置非阻塞模式
    int handscount1 = 0;//记录超时重传次数
    //第二次握手
    while (recvfrom(socket, buff, sizeof(head), 0, (sockaddr*)&addr, &length) <=0)
    {//等待接收

        if (clock() - handstime > retime)//超时重传
        {
            memcpy(buff, &head, sizeof(head));//将首部放入缓冲区
            sendto(socket, buff, sizeof(head), 0, (sockaddr*)&addr, length); //再次发送
            handstime = clock(); //计时
            cout << "【连接超时！等待重传……】" << endl;
            handscount1++;
            if (handscount1 == handscount) {
                cout << "【等待超时】" << endl;
                return;
            }
        }
    }
```

```
    memcpy(&head, buff, sizeof(head)); //ACK 正确且检查校验和无误
    if (head.flag == ACK && check((u_short*)&head, sizeof(head) == 0))
    {
        cout << "第二次握手成功【SYN ACK】" << endl;
        handscount1 = 0;
    }
    else
    {
        cout << "【第二次握手失败】" << endl;
        return;
        }
```

继续发送第三次握手的数据包并等待回复，如果超时未接收到确认则重新发送第三次握手的数据包，接收到回复则为第三次握手成功

```
//第三次握手
    head.flag = ACK_SYN; //ACK=1 SYN=1
    head.checksum = check((u_short*)&head, sizeof(head)); //计算校验和
    sendto(socket, (char*)&head, sizeof(head), 0, (sockaddr*)&addr, length); //发送握手请求
        bool win = 0; //检验是否连接成功的标志
        while (clock() - handstime <= retime)
        {//等待回应
            if (recvfrom(socket, buff, sizeof(head), 0, (sockaddr*)&addr, &length))
            {//收到报文
                win = 1;
                break;
            }
            //选择重发
            memcpy(buff, &head, sizeof(head));
            sendto(socket, buff, sizeof(head), 0, (sockaddr*)&addr, length);
            handstime = clock();
            handscount1++;
            if (handscount1 == handscount) {
                cout << "【等待超时】" << endl;
                return;
            }
        }
    if (!win)
    {
        cout << "【第三次握手失败】" << endl;
        return;
    }
    cout << "第三次握手成功【ACK】" << endl;
```

（3）校验和计算

校验数据以 16 位为单位进行累加求和，如果累加和超过 16 位产生了进位，需将高 16 位置为 0，低 16 位加一。循环步骤，直至计算完成为止，最后将所取得的结果取反。

```
u_short check(u_short* head, int size)
{
    int count = (size + 1) / 2;//计算循环次数，每次循环计算两个 16 位的数据
    u_short* buf = (u_short*)malloc(size + 1);//动态分配字符串变量
    memset(buf, 0, size + 1);//数组清空
    memcpy(buf, head, size);//数组赋值
    u_long checkSum = 0;
    while (count--) {
        checkSum += *buf++;//将 2 个 16 进制数相加
        if (checkSum & 0xffff0000) {//如果相加结果的高十六位大于一，将十六位置零，并将最低位加一
            checkSum &= 0xffff;
            checkSum++;
        }
    }
    return ~(checkSum & 0xffff);//对最后的结果取反
}
```

（4）发送数据包

将数据包组装后发送，还需要进行发送后的超时重传的检测以及接收数据包的检测

```
//数据段包传输
void sendbag(SOCKET& socket, SOCKADDR_IN& addr, char* data, int length, int&seq)
{
    //头部初始化及校验和计算
    sendsuccess = 0;
    int addrlength = sizeof(addr);
    Head head;
    char* buf = new char[maxlength + sizeof(head)];
    head.datasize = length; //使用传入的 data 的长度定义头部 datasize
    head.seq = unsigned char(seq);//序列号
    memcpy(buf, &head, sizeof(head)); //拷贝首部的数据
    memcpy(buf + sizeof(head), data, sizeof(head) + length); //数据 data 拷贝到缓冲数组
    head.checksum = check((u_short*)buf, sizeof(head) + length);//计算数据部分的校验和
    memcpy(buf, &head, sizeof(head)); //更新后的头部再次拷贝到缓冲数组
    //发送
    sendto(socket, buf, length + sizeof(head), 0, (sockaddr*)&addr, addrlength);//发送
    cout << "【发送】标志位 = " <<head.flag << " 序列号 = " << int(head.seq)<< " 校验和 = " << int(head.checksum) << endl;
    clock_t starttime = clock();//记录发送时间
    int sendcount1=0;
    //处理超时重传
    while (1)
```

```
    {
        sendcount1 = 0;
        u_long mode = 1;
        ioctlsocket(socket, FIONBIO, &mode); //设置非阻塞模式
        //等待接收消息
        while (recvfrom(socket, buf, maxlength, 0, (sockaddr*)&addr, &addrlength)<= 0)
        {
            if (clock() - starttime > retime) //超时重传
            {
                head.datasize = length;
                head.seq = u_char(seq);//序列号
                head.flag = u_char(0x0); //清空发送栈
                memcpy(buf, &head, sizeof(head)); //拷贝首部的数据
                memcpy(buf + sizeof(head), data, sizeof(head) + length); //数据 data 拷
贝到缓冲数组
                head.checksum = check((u_short*)buf, sizeof(head) +length);//计算数据
部分的校验和
                memcpy(buf, &head, sizeof(head)); //更新后的头部再次拷贝到缓冲数组
                cout << "【超时重传】【发送】标志位 = " <<head.flag << " 序列号 = "<<
int(head.seq) << endl;
                sendcount1++;
                sendto(socket, buf, length + sizeof(head), 0,
(sockaddr*)&addr,addrlength);//重新发送
                starttime = clock();//记录当前发送时间
                if (sendcount1 == sendcount) {
                    return;
                }
            }
        }
        memcpy(&head, buf, sizeof(head));//缓冲区接收到信息，读取
        //检验序列号和 ACK 均正确
        u_short checknum = check((u_short*)&head, sizeof(head));
        if (head.seq == u_short(seq) && head.flag == ACK)
        {
            cout <<"【接收】标志位 =" <<head.flag<<" 序列号 =" << int(head.seq) << endl;
            sendsuccess = 1;
            break;
        }
    }
}
```

（5）发送文件

将文件拆分成多个固定大小为 maxlength=2048 的数据包，在循环中将所有数据包发送，也要对超时重传进行检测，如果所有数据包发送完毕，则最后组装一个 END 数据包发送给接收端，表示文件发送结束，可以断开连接。

```
//文件传输
void sendfile(SOCKET& socket, SOCKADDR_IN& addr, char* data, int data_len)
{
    int addrlength = sizeof(addr);//地址的长度
    int bagsum = data_len / maxlength; //数据包总数，等于数据长度/一次发送的字节数
    if (data_len % maxlength) {
        bagsum++; //向上取整
    }
    int seq = 0; //序列号
    for (int i = 0; i < bagsum; i++)
    {
        int len;
        if (i == bagsum - 1)
        {//最后一个数据包是向上取整的结果，因此数据长度是剩余所有
            len = data_len - (bagsum - 1) * maxlength;
        }
        else
        {//非最后一个数据长度均为 maxlength
            len = maxlength;
        }
        sendbag(socket, addr, data + i * maxlength, len, seq);
        if (sendsuccess == 0) {
            cout << "【重传失败】" << endl;
            return;
        }
        seq++;
        seq = seq % 256; //序列号在数据包中占 8 位，从 0-255，超过则模 256 去除
    }
    //发送结束信息
    Head head;
    char* buf = new char[sizeof(head)]; //缓冲数组
    newbag(head, END, buf); //调用函数生成 ACK=SYN=FIN=1 的数据包，表示结束
    sendto(socket, buf, sizeof(head), 0, (sockaddr*)&addr, addrlength);
    clock_t starttime = clock();//计时
    while (1)
    {
        u_long mode = 1;
        ioctlsocket(socket, FIONBIO, &mode);//设置为非阻塞模式
        while (recvfrom(socket, buf, maxlength, 0, (sockaddr*)&addr, &addrlength)<= 0)
        {//等待接收
            if (clock() - starttime > retime)
            {//超过了设置的重传时间限制，重新传输数据包
                char* buf = new char[sizeof(head)]; //缓冲数组
```

```
                newbag(head, END, buf); //调用函数生成 ACK=SYN=FIN=1 的数据包，表示结束
                cout << "【超时等待重传】" << endl;
                sendto(socket, buf, sizeof(head), 0, (sockaddr*)&addr,addrlength); //
继续发送相同的数据包
                starttime = clock(); //新一轮计时
            }
        }
        memcpy(&head, buf, sizeof(head));//缓冲区接收到信息，读取到首部
        if (head.flag == END)
        {//接收到 END 口令
            cout << "【传输成功】" << endl;
            break;
        }
    }
    u_long mode = 0;
    ioctlsocket(socket, FIONBIO, &mode);//改回阻塞模式
}
```

（6）四次挥手

由于第二次挥手和第三次挥手可以重合在一次，因此代码只写了三次挥手。第一次挥手由发送端发起，组装数据包后进行发送。

```
//关闭连接 三次挥手
void fourbye(SOCKET& socket, SOCKADDR_IN& addr)
{
    int addrlength = sizeof(addr);
    Head head;
    char* buff = new char[sizeof(head)];
    //第一次挥手
    head.flag = FIN;
    //head.checksum = 0;//校验和置 0
    head.checksum = check((u_short*)&head, sizeof(head));
    memcpy(buff, &head, sizeof(head));
    if (sendto(socket, buff, sizeof(head), 0, (sockaddr*)&addr, addrlength) ==
SOCKET_ERROR)
    {
        cout << "【第一次挥手失败】" << endl;
        return;
    }
    cout << "第一次挥手【FIN ACK】" << endl;
    clock_t byetime = clock(); //记录发送第一次挥手时间

    u_long mode = 1;
    ioctlsocket(socket, FIONBIO, &mode);
```

发送完数据包后需要利用 while 循环持续等待接收端发送的确认，从而判定是否需要超时重传，以及进行校验和的检验判断数据包是否正确，如果正确则第二次挥手成功。

```
    //第二次挥手
    while (recvfrom(socket, buff, sizeof(head), 0, (sockaddr*)&addr, &addrlength) <= 0)
    {//等待接收
        if (clock() - byetime > retime)//超时重传
        {
            memcpy(buff, &head, sizeof(head));//将首部放入缓冲区
            sendto(socket, buff, sizeof(head), 0, (sockaddr*)&addr, addrlength);
            byetime = clock();
        }
    }
    //进行校验和检验
    memcpy(&head, buff, sizeof(head));
    if (head.flag == ACK && check((u_short*)&head, sizeof(head) == 0))
    {
        cout << "第二次挥手【FIN ACK】" << endl;
    }
    else
    {
        cout << "【第二次挥手失败】" << endl;
        return;
    }
```

组装第三次挥手的数据包，如果发送成功则判定第三次挥手成功，此时不需要等待客户端的响应，直接断开连接即可。

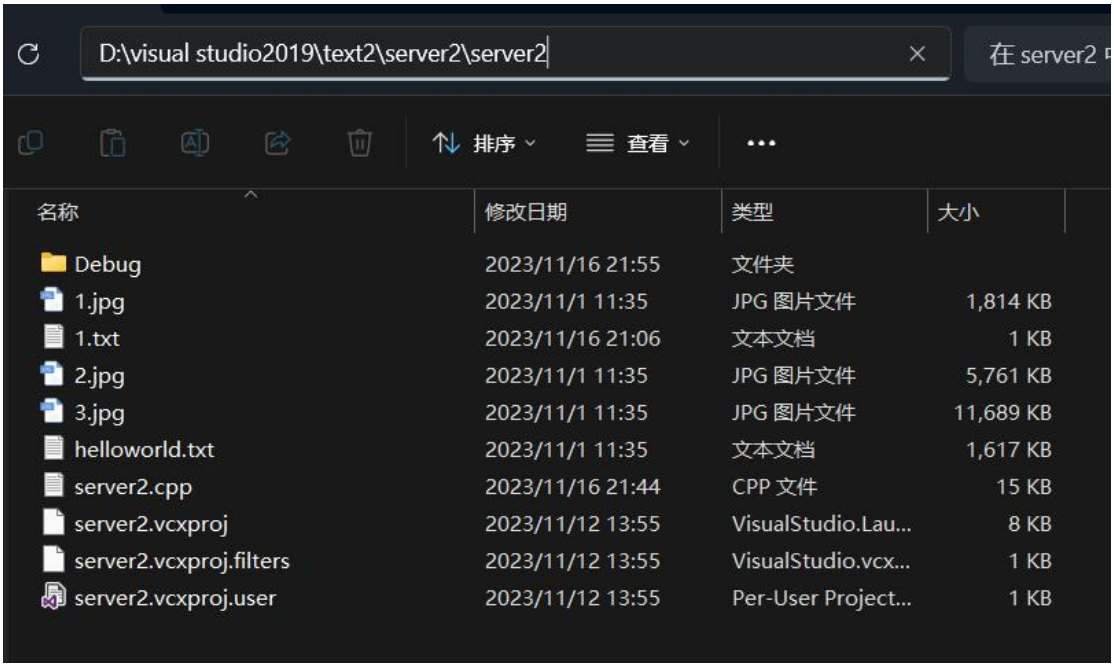
```
    //第三次挥手
    head.flag = ACK_FIN;
    head.checksum = check((u_short*)&head, sizeof(head));//计算校验和
    memcpy(buff, &head, sizeof(head));
    if (sendto(socket, (char*)&head, sizeof(head), 0, (sockaddr*)&addr, addrlength) == -1)
    {
        cout << "【第三次挥手失败】" << endl;
        return;
    }
    cout << "第三次挥手【ACK】" << endl;
    cout << "【结束连接】"<<endl;
    cout << "-----------------------------------------------------" << endl;
}
```

四、实验结果

1.运行截图

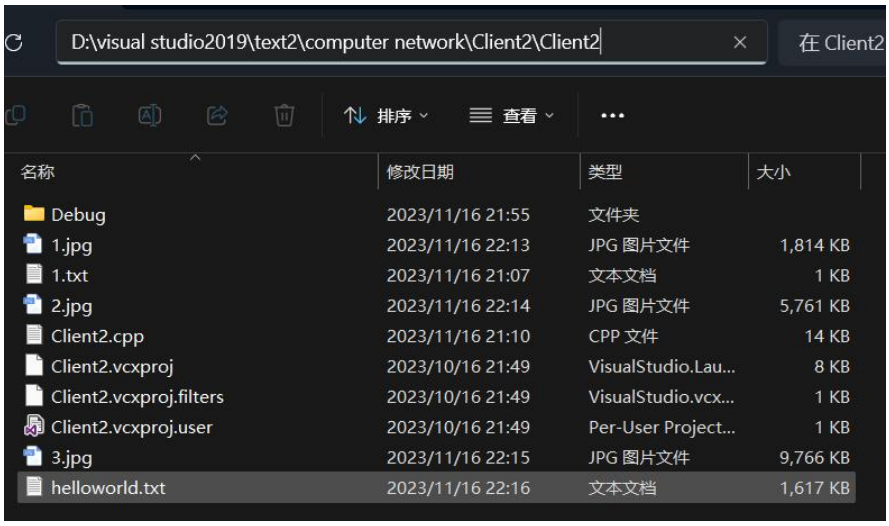
（1）将路由器设置端口号与 IP 地址，并设置丢包率为 1%，延迟 1ms

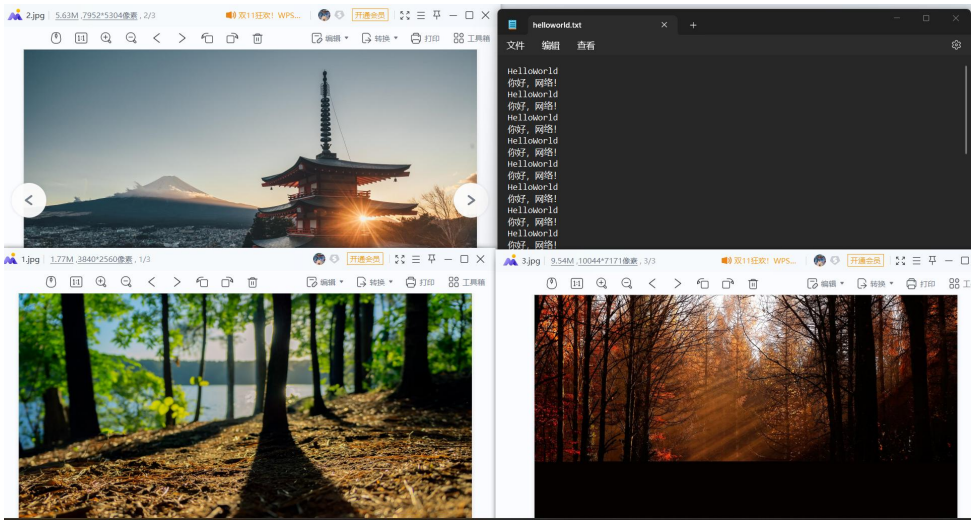
（2）将测试文件放置于发送端的程序目录下



（3）发送 1.jpg,2.jpg,3.jpg,helloworld.txt 文件测试

发现四个文件都传输完成，并且文件大小和系统显示的都相同，经检测也都能正常打开文件，传输成功。

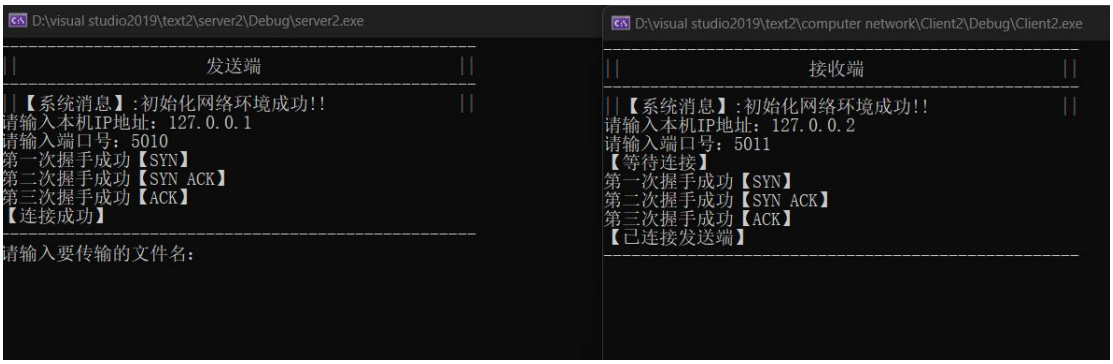




2.传输结果分析

（1）使用刚才设定的 router 程序来模拟丢包和延迟

（2）输入对应的路由器 IP 和服务器 IP 等信息，实现连接



（3）传输测试文件 1.jpg

可以发现开始传输时会打印输出标志位、序列号、校验和等信息，

如果产生丢包的情况，则会在发送端显示出超时重传，接收端也会发现有校验和为 0 的情况出现

传输成功后会打印文件名称、文件大小、传输总时间、吞吐率等信息

五、心得体会

通过此次实验，学习到了 UDP 连接等相关的知识，对于建立连接、差错检测、接收确认、超时重传协议有了深入的了解，巩固了所学的知识。

也发现了许多问题，例如网络延迟较高时或者丢包率较大时发送效率就会显著下降，卡顿明显，可能是代码还有待完善，还要继续学习。

六、附录

完整代码参照 GitHub:
https://github.com/Q-qiuqiu/Computer-Networks/tree/main/lab3-1