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	IPv4 分组收发实验， Ipv4 分组转发实验				
姓名	余涛		院系	计算机科学与技术学院	
班级	1803202		学号	1180300829	
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	2020.11.14	
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					

计算学部

实验目的：

本次实验的主要目的。

实验四：

IPv4 协议是互联网的核心协议，它保证了网络节点（包括网络设备和主机）在网络层能够按照标准协议互相通信。IPv4 地址唯一标识了网络节点和网络的连接关系。在我们日常使用的计算机的主机协议栈中，IPv4 协议必不可少，它能够接收网络中传送给本机的分组，同时也能根据上层协议的要求将报文封装为IPv4 分组发送出去。

本实验通过设计实现主机协议栈中的IPv4 协议，让学生深入了解网络层协议的基本原理，学习IPv4 协议基本的分组接收和发送流程。另外，通过本实验，学生可以初步接触互联网协议栈的结构和计算机网络实验系统，为后面进行更为深入复杂的实验奠定良好的基础。

实验五：

通过前面的实验，我们已经深入了解了IPv4 协议的分组接收和发送处理流程。本实验需要将实验模块的角色定位从通信两端的主机转移到作为中间节点的路由器上，在IPv4 分组收发处理的基础上，实现分组的路由转发功能。

网络层协议最为关注的是如何将IPv4 分组从源主机通过网络送达目的主机，这个任务就是由路由器中的IPv4 协议模块所承担。路由器根据自身所获得的路由信息，将收到的IPv4 分组转发给正确的下一跳路由器。如此逐跳地对分组进行转发，直至该分组抵达目的主机。IPv4 分组转发是路由器最为重要的功能。

本实验设计模拟实现路由器中的IPv4 协议，可以在原有IPv4 分组收发实验的基础上，增加IPv4 分组的转发功能。对网络的观察视角由主机转移到路由器中，了解路由器是如何为分组选择路由，并逐跳地将分组发送到目的主机。本实验中也会初步接触路由表这一重要的数据结构，认识路由器是如何根据路由表对分组进行转发的。

实验内容：

概述本次实验的主要内容，包含的实验项等。

实验四：

1) 实现IPv4 分组的基本接收处理功能

对于接收到的IPv4 分组，检查目的地址是否为本地地址，并检查IPv4 分组头部中其它字段的合法性。提交正确的分组给上层协议继续处理，丢弃错误的分组并说明错误类型。

2) 实现IPv4 分组的封装发送

根据上层协议所提供的参数，封装IPv4 分组，调用系统提供的发送接口函数将分组发送出去。

实验五：

1) 设计路由表数据结构。

设计路由表所采用的数据结构。要求能够根据目的IPv4 地址来确定分组处理行为（转发情况下需获得下一跳的IPv4 地址）。路由表的数据结构和查找算法会极大的影响路由器的转发性能，有兴趣的同学可以深入思考和探索。

2) IPv4 分组的接收和发送。

对前面实验（IP 实验）中所完成的代码进行修改，在路由器协议栈的IPv4 模块中能够正确完成分组的接收和发送处理。具体要求不做改变，参见“IP 实验”。

3) IPv4 分组的转发。

对于需要转发的分组进行处理，获得下一跳的IP 地址，然后调用发送接口函数做进一步处理。

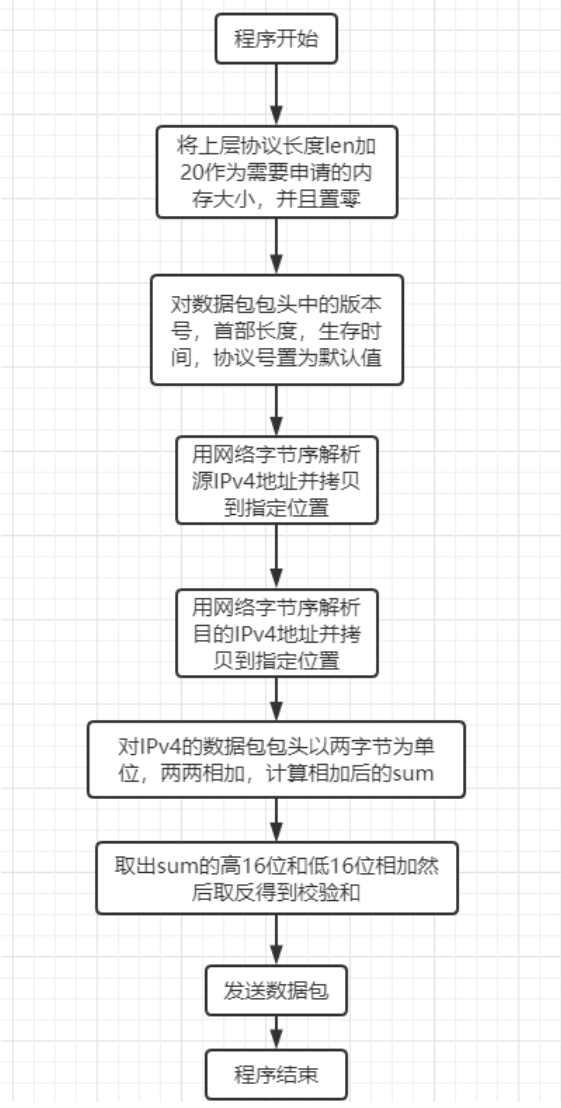
实验过程：

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。

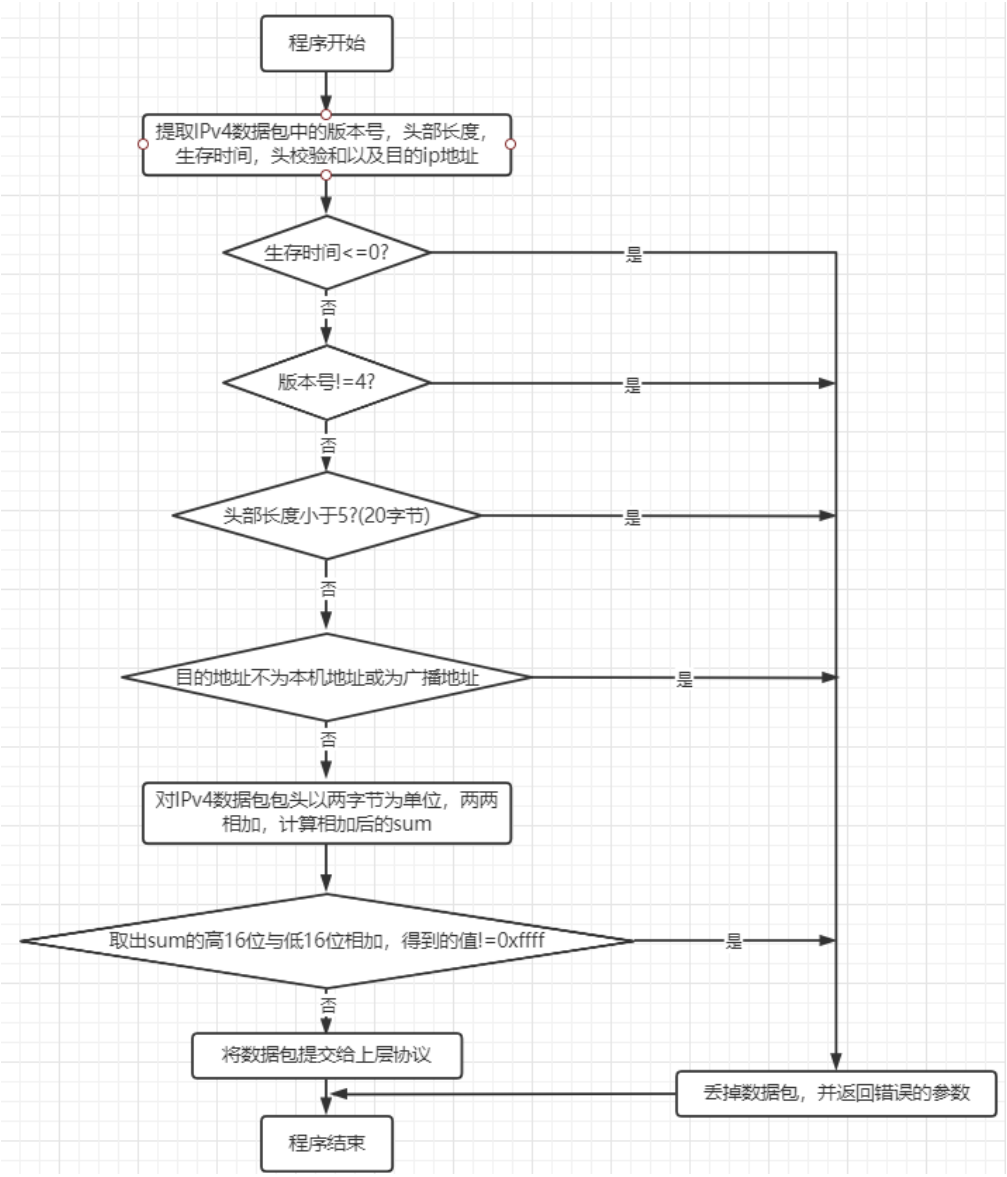
一：IPv4分组收发实验

(1) 发送和接收函数的实现程序流程图

（1.1）下图为发送函数stud_ip_Upsend()的流程图：



（1.2）下图为接收函数stud_ip_recv()的流程图：



(2) 自己所新建的数据结构的说明

没有新建数据结构，所以此项不进行说明。

(3) 版本号（Version）、头部长度（IP Head length）、生存时间（Time to live）以及头校验和（Header checksum）字段的错误检测原理并根据实验具体情况给出错误的具体数据

下图为Ipv4分组的数据包头部信息：

（3.1）版本号（Version）字段的错误检测原理：

直接提取Ipv4数据包第0个字节内的最开始4个bits，然后将这4个bits储存在version变量内，然后用version与4判断是否相等即可，若不相等，则调用ip_DiscardPkt()函数并输入错误类型STUD_IP_TEST_VERSION_ERROR。

```
if (version != 4)
    {
        //如果出现版本号不为4的错误，调用ip_DiscardPkt并报道错误类型
        ip_DiscardPkt(pBuffer, STUD_IP_TEST_VERSION_ERROR);
        return 1;
    }
```

（3.2）头部长度（IP Head Length）字段的错误检测原理：

直接提取Ipv4数据包第0个字节内的后面的4个bits，然后将这4个bits储存在head_length变量内，然后用head_length与5判断即可(由于头部字段以4字节为单位且头部字段最小为20字节)，若小于5，则调用ip_DiscardPkt()函数并输入错误类型STUD_IP_TEST_HEADLEN_ERROR。

```
if (head_length < 5)
    {
        //如果出现头部长度小于20个字节的错误(由于头部长度字段以4字节为单位，故只需与5比较即可)，调用ip_DiscardPkt并报道错误类型
        ip_DiscardPkt(pBuffer, STUD_IP_TEST_HEADLEN_ERROR);
        return 1;
    }
```

（3.3）生存时间（Time to live）字段的错误检测原理：

直接提取Ipv4数据包第8个字节内的8个bits，然后将这8个bits储存在ttl变量内，然后用ttl与0判断即可，若小于等于0，则调用ip_DiscardPkt()函数并输入错误类型STUD_IP_TEST_TTL_ERROR。

```
    if (ttl <= 0)
    {
        //如果出现TTL<=0的错误，调用ip_DiscardPkt并报道错误类型
        ip_DiscardPkt(pBuffer, STUD_IP_TEST_TTL_ERROR);
        return 1;
    }
```

（3.4）头部校验和（Header Checksum）字段的错误检测原理：

直接提取Ipv4数据包第10个字节内的16个bits，然后将这16个bits储存在checksum变量内。对于校验和的错误，需要首先计算校验和，首先对IPv4的数据包包头以两字节为单位，两两相加，计算相加后的和sum，然后取出sum的低16位与高16位相加与0xffff比较。若不为0xffff，则调用ip_DiscardPkt()函数并输入错误类型STUD_IP_TEST_CHECKSUM_ERROR。

```
    //对于校验和的错误，需要首先计算校验和
    unsigned long sum = 0;
    unsigned long temp = 0;
    int i;
    //首先对IPv4的数据包包头以两字节为单位，两两相加，计算相加后的和sum
    for (i = 0; i < head_length * 2; i++)
    {
        temp += (unsigned char)pBuffer[i * 2] << 8;
        temp += (unsigned char)pBuffer[i * 2 + 1];
        sum += temp;
        temp = 0;
    }
    unsigned short low_of_sum = sum & 0xffff; //取出低16位
    unsigned short high_of_sum = sum >> 16; //取出高16位
    if (low_of_sum + high_of_sum != 0xffff) //低16位与高16位相加
    {
        //如果出现首部校验和的错误(计算结果不为0xffff)，调用ip_DiscardPkt并报道错误类
型
        ip_DiscardPkt(pBuffer, STUD_IP_TEST_CHECKSUM_ERROR);
        return 1;
    }
```

（3.5）目的地址（destination ip）字段的错误检测原理：

直接提取Ipv4数据包第16个字节内的32个bits，然后将这32个bits储存在destination变量内。然后用destination与地址判断即可。若不为目的地址或者为广播地址，则调用ip_DiscardPkt()函数并输入错误类型STUD_IP_TEST_DESTINATION_ERROR。

```
if (destination != getIpv4Address() && destination != 0xffff)
    {
        //如果出现错误目的地址的错误，调用ip_DiscardPkt并报道错误类型
        ip_DiscardPkt(pBuffer, STUD_IP_TEST_DESTINATION_ERROR);
        return 1;
    }
```

(4)实验代码（含详细注释）

见附录

二：IPv4分组转发实验

(1) 路由表初始化、路由增加、路由转发的实现程序流程图

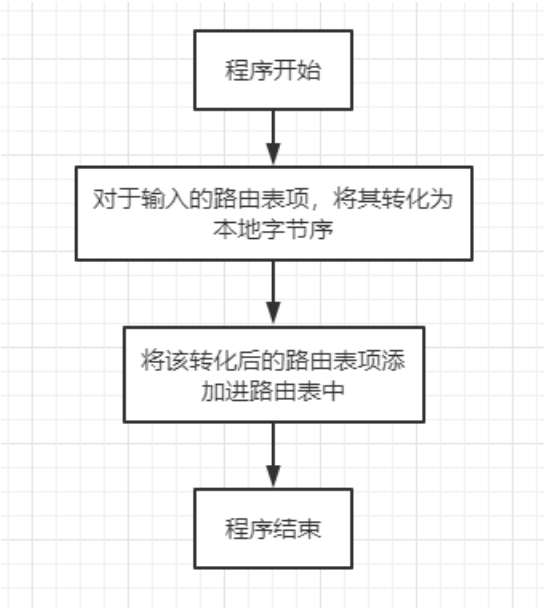
（1.1）下图为路由表初始化函数stud_Route_Init ()的流程图：

由于使用了vector全局变量作为存储路由表的结构，其在创建的时候便已经自动完成了初始化，因此在stud_Route_Init ()不需要执行任何信息，因此该函数的流程图便没有画的必要。

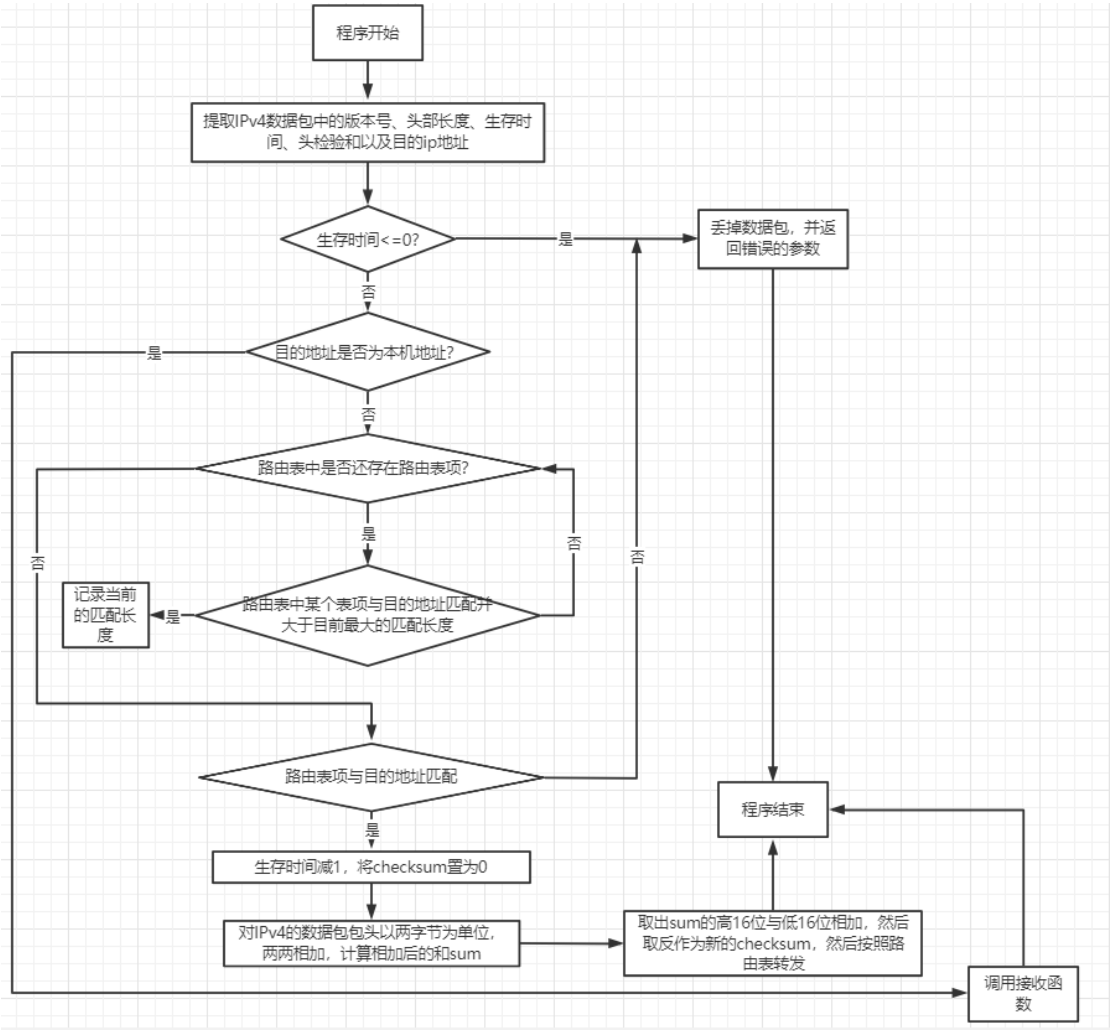
路由表结构如下：

```
vector<stud_route_msg> route;  //设置遍历器结构作为路由表
```

（1.2）下图为路由增加函数stud_route_add ()的流程图：



（1.3）下图为路由转发函数stud_fwd_deal()的流程图：



(2) 自己所新建的数据结构的说明

为了实现路由表的功能，定义了一个vector类型的全局变量route来作为路由表，里面储存了

所有的路由表项stud_route_msg。对于需要实现功能中的初始化路由表，在创建route变量的时候就已经完成。对于需要实现功能中增加路由表项，只需要在route的尾部增加新的路由表项即可。在route中进行遍历，只能从头部进行线性的遍历搜索。

```
vector<stud_route_msg> route;  //设置遍历器结构作为路由表
```

(3) 提高转发效率的原理

通过提高遍历路由表的速度(比如对路由表进行有序存储)可以提高转发效率，这样能够更快找到符合要求的路由表项进行转发。

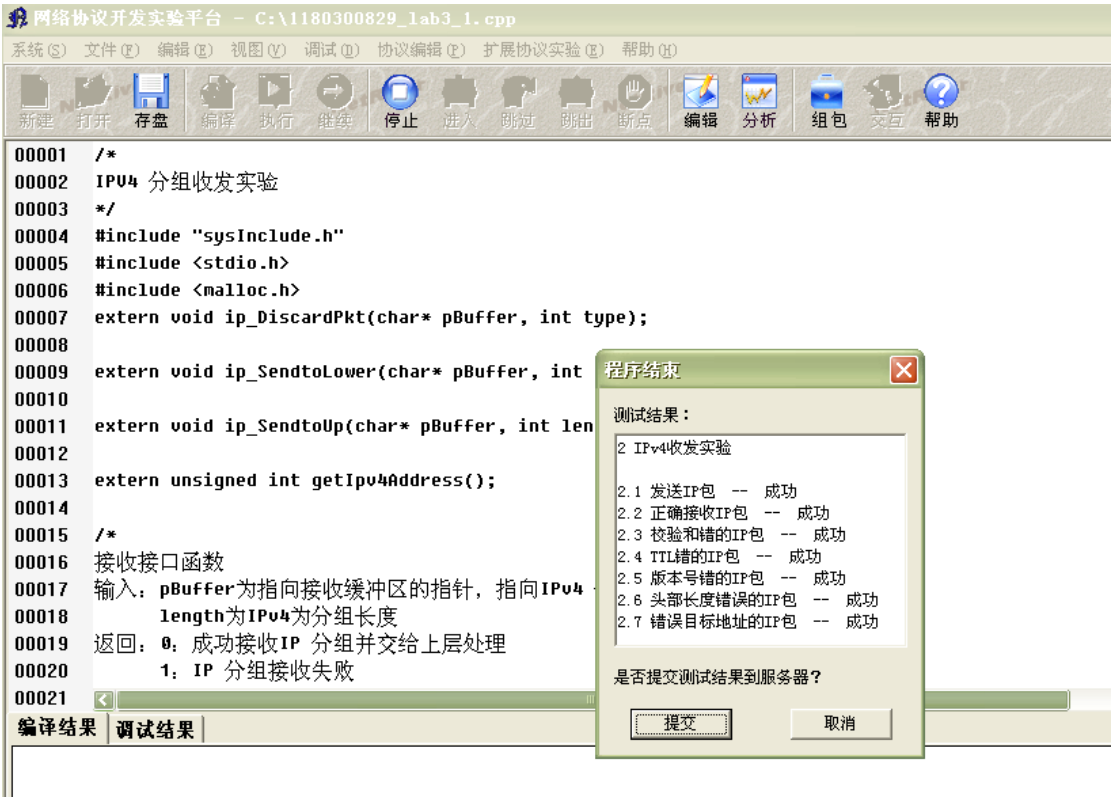
(4)实验代码（含详细注释）

见附录

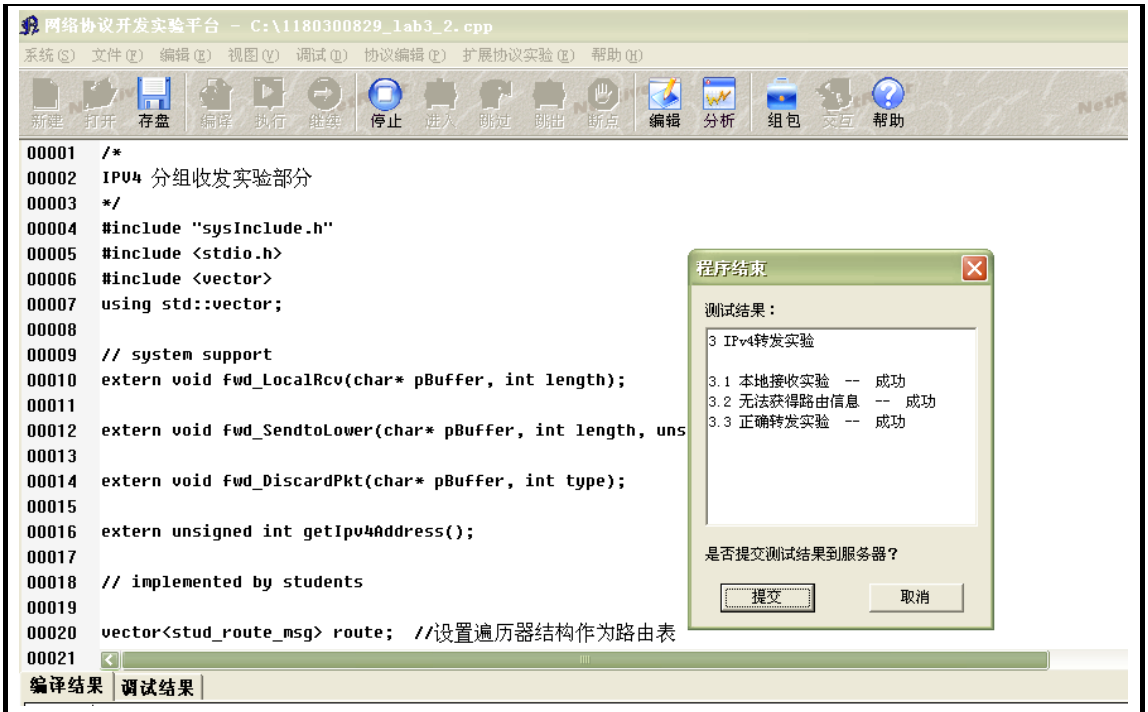
实验结果：

采用演示截图、文字说明等方式，给出本次实验的实验结果。

一.Ipv4分组收发实验：



二.Ipv4分组转发实验：



登录到实验平台查看分数如下：

学期	序号	学号	姓名	院系	班级	实验名称	实验日期	实验结果	总成绩	程序	报告
2020年秋	1	1180300829	余涛	计算机科学与技术学院	信息安全	IPv4收发实验	2020-11-19		10		
2020年秋	2	1180300829	余涛	计算机科学与技术学院	信息安全	IPv4转发实验	2020-11-19		10		

问题讨论：

对实验过程中的思考问题进行讨论或回答。

1.为了提高转发效率，可以从路由表的存储顺序出发考虑，通过按照IP目的地址从小到大来为路由表中的路由表项进行排序，查找vector时可以通过二分查找来提高效率。

2. 为了提高转发效率，也可以通过在建立路由表时建立查找效率高的数据结构来实现，这样查询的时间将大大缩短，提高转发效率。

心得体会：

结合实验过程和结果给出实验的体会和收获。

通过此次实验我了解并掌握了Ipv4数据包的结构和每一个字节所储存的内容，掌握了路由表的作用，明白了Ipv4数据包的收发和分组转发的具体过程，掌握了检验和的求法，对路由有了更深的理解。

附录：详细注释源程序：

Ipv4 分组收发实验：

```
/*
IPV4 分组收发实验
*/
#include "sysInclude.h"
#include <stdio.h>
#include <malloc.h>
extern void ip_DiscardPkt(char* pBuffer, int type);
```

```
extern void ip_SendtoLower(char* pBuffer, int length);

extern void ip_SendtoUp(char* pBuffer, int length);

extern unsigned int getIpv4Address();

/*
接收接口函数
输入：pBuffer为指向接收缓冲区的指针，指向IPv4 分组头部
      length为IPv4为分组长度
返回：0：成功接收IP 分组并交给上层处理
      1：IP 分组接收失败
*/
int stud_ip_recv(char* pBuffer, unsigned short length)
{
    int version = pBuffer[0] >> 4;                              // pBuffer第0个字节内的最开始4个bits为版本号
    int head_length = pBuffer[0] & 0xf;                         // pBuffer第0个字节内的紧接着4个bits为头部长度
    short ttl = (unsigned short)pBuffer[8];                     // pBuffer第8个字节内的8个bits为生存时间ttl
    short checksum = ntohs(*(unsigned short*)(pBuffer + 10));   // pBuffer第10个字节后的16bits为头检验和（short int）
    int destination = ntohl(*(unsigned int*)(pBuffer + 16));    // pBuffer第16个字节后的32bits为目的ip地址（long int）

    if (ttl <= 0)
    {
        //如果出现TTL<=0的错误，调用ip_DiscardPkt并报道错误类型
        ip_DiscardPkt(pBuffer, STUD_IP_TEST_TTL_ERROR);
        return 1;
    }
    if (version != 4)
    {
        //如果出现版本号不为4的错误，调用ip_DiscardPkt并报道错误类型
        ip_DiscardPkt(pBuffer, STUD_IP_TEST_VERSION_ERROR);
        return 1;
    }
    if (head_length < 5)
    {
        //如果出现头部长度小于20个字节的错误(由于头部长度字段以4字节为单位，故只需与5比较即可)，调用ip_DiscardPkt并报道错误类型
        ip_DiscardPkt(pBuffer, STUD_IP_TEST_HEADLEN_ERROR);
        return 1;
```

```
    }
    if (destination != getIpv4Address() && destination != 0xffff)
    {
        //如果出现错误目的地址的错误，调用ip_DiscardPkt并报道错误类型
        ip_DiscardPkt(pBuffer, STUD_IP_TEST_DESTINATION_ERROR);
        return 1;
    }
    //对于校验和的错误，需要首先计算校验和
    unsigned long sum = 0;
    unsigned long temp = 0;
    int i;
    //首先对IPv4的数据包包头以两字节为单位，两两相加，计算相加后的和sum
    for (i = 0; i < head_length * 2; i++)
    {
        temp += (unsigned char)pBuffer[i * 2] << 8;
        temp += (unsigned char)pBuffer[i * 2 + 1];
        sum += temp;
        temp = 0;
    }
    unsigned short low_of_sum = sum & 0xffff; //取出低16位
    unsigned short high_of_sum = sum >> 16; //取出高16位
    if (low_of_sum + high_of_sum != 0xffff) //低16位与高16位相加
    {
        //如果出现首部校验和的错误(计算结果不为0xffff)，调用ip_DiscardPkt并报道错误类
型
        ip_DiscardPkt(pBuffer, STUD_IP_TEST_CHECKSUM_ERROR);
        return 1;
    }
    ip_SendtoUp(pBuffer, length); //提交给上层协议
    return 0;
}

/*
发送接口函数
输入：pBuffer为指向接收缓冲区的指针，指向IPv4 分组头部
      len为IPv4上层协议数据长度
      srcAddr为源IPv4地址
      dstAddr为目的IPv4地址
      protocol为IPv4上层协议号
      ttl为生存时间
返回：0：成功发送IP分组
      1：发送IP分组失败
*/
int stud_ip_Upsend(char* pBuffer, unsigned short len, unsigned int srcAddr,
```

```
    unsigned int dstAddr, byte protocol, byte ttl)
{
    //一般默认头部长度为字节
    short ip_length = len + 20; //得到这层的数据长度
    char* buffer = (char*)malloc(ip_length * sizeof(char));
    memset(buffer, 0, ip_length);
    buffer[0] = 0x45; //规定版本号和首部长度为4和5×4=20
    buffer[8] = ttl;  //规定生存时间ttl
    buffer[9] = protocol;  //规定协议号
    // 将数据长度转换为网络字节序
    unsigned short network_length = htons(ip_length);
    // buffer[2] = network_length >> 8;
    // buffer[3] = network_length & 0xff;
    memcpy(buffer + 2, &network_length, 2);
    unsigned int src = htonl(srcAddr);  //解析源IPv4地址
    unsigned int dst = htonl(dstAddr);  //解析目的IPv4地址

    memcpy(buffer + 12, &src, 4);
    memcpy(buffer + 16, &dst, 4);
    //计算校验和
    unsigned long sum = 0;
    unsigned long temp = 0;
    int i;
    //首先对IPv4的数据包包头以两字节为单位，两两相加，计算相加后的和sum
    for (i = 0; i < 20; i += 2)
    {
        temp += (unsigned char)buffer[i] << 8;
        temp += (unsigned char)buffer[i + 1];
        sum += temp;
        temp = 0;
    }
    unsigned short low_of_sum = sum & 0xffff; //取出低16位
    unsigned short high_of_sum = sum >> 16; //取出高16位
    unsigned short checksum = low_of_sum + high_of_sum; //低16位与高16位相加得到校验和
(未取反)
    checksum = ~checksum; //取反得到校验和
    unsigned short header_checksum = htons(checksum);  //将校验和更新
    // buffer[10] = header_checksum >> 8;
    // buffer[11] = header_checksum & 0xff;
    memcpy(buffer + 10, &header_checksum, 2);
    memcpy(buffer + 20, pBuffer, len);
    // ip_SendtoLower(buffer, ip_length);
    ip_SendtoLower(buffer, len + 20); //发送分组
    return 0;
```

```
}
```

Ipv4 分组转发实验:

```
/*
IPV4 分组转发实验部分
*/
#include "sysInclude.h"
#include <stdio.h>
#include <vector>
using std::vector;

// system support
extern void fwd_LocalRcv(char* pBuffer, int length);

extern void fwd_SendtoLower(char* pBuffer, int length, unsigned int nexthop);

extern void fwd_DiscardPkt(char* pBuffer, int type);

extern unsigned int getIpv4Address();

// implemented by students

vector<stud_route_msg> route;  //设置遍历器结构作为路由表

/*
路由表初始函数
*/
void stud_Route_Init()
{
    //在创建全局变量route时已经进行了初始化，无需再初始化
    return;
}

/*
用路由表添加路由的函数
输入：proute ：指向需要添加路由信息的结构体头部，
    其数据结构
    stud_route_msg 的定义如下：
    typedef struct stud_route_msg
    {
      unsigned int dest;  //目的地址
      unsigned int masklen;  //子网掩码长度
      unsigned int nexthop;  //下一跳
    } stud_route_msg;
*/
```

```
void stud_route_add(stud_route_msg* proute)
{

    stud_route_msg temp; //定义一个temp变量，用来将待添加的路由表项转化为本地字节序
    unsigned int dest = ntohl(proute->dest);
    unsigned int masklen = ntohl(proute->masklen);
    unsigned int nexthop = ntohl(proute->nexthop); //依次将proute的所有字段转化为字节序储存
    temp.dest = dest;
    temp.masklen = masklen;
    temp.nexthop = nexthop;  //为temp赋值
    route.push_back(temp);  //将temp加入到路由表中
    return;
}

/*
系统处理收到的IP分组的函数
输入：pBuffer：指向接收到的IPv4 分组头部
      length：IPv4 分组的长度
返回：0 为成功，1 为失败；
*/
int stud_fwd_deal(char* pBuffer, int length)
{
    int version = pBuffer[0] >> 4;                                  // pBuffer第0个字节内的最开始4个bits为版本号
    int head_length = pBuffer[0] & 0xf;                             // pBuffer第0个字节内的紧接着4个bits为头部长度
    short ttl = (unsigned short)pBuffer[8];                         // pBuffer第8个字节内的8个bits为生存时间ttl
    short checksum = ntohs(*(unsigned short*)(pBuffer + 10));  // pBuffer第10个字节后的16bits为头检验和（short int）
    int destination = ntohl(*(unsigned int*)(pBuffer + 16));   // pBuffer第10个字节后的16bits为头检验和（short int）
    // ttl -= 1;
    if (ttl <= 0)
    {
        //如果出现TTL的错误，调用ip_DiscardPkt并报道错误类型
        fwd_DiscardPkt(pBuffer, STUD_FORWARD_TEST_TTLERROR);
        return 1;
    }



    if (destination == getIpv4Address())
```

```
    {
        //如果出现目的地址为本机地址，则调用fwd_LocalRcv提交给上层协议处理
        fwd_LocalRcv(pBuffer, length);
        return 0;
    }
    stud_route_msg* ans_route = NULL;  //定义匹配位置
    int temp_dest = destination;   //temp_dest为目的地址
    for (int i = 0; i < route.size(); i++)  //遍历路由表
    {
        unsigned int temp_sub_net = route[i].dest & ((1 << 31) >> (route[i].masklen -
1)); //对于路由表中的每一个表项
        if (temp_sub_net == temp_dest) //如果目的地址与路由表的某一个表项匹配
        {
            ans_route = &route[i];  //记录匹配的位置
            break;
        }
    }
    if (!ans_route)
    {
        //如果出现没有匹配地址，调用ip_DiscardPkt并报道错误类型，直接返回1
        fwd_DiscardPkt(pBuffer, STUD_FORWARD_TEST_NOROUTE);
        return 1;
    }
    else  //对于匹配成功的情况
    {
        char* buffer = new char[length];  //定义一个buffer储存ip分组pBuffer
        memcpy(buffer, pBuffer, length);
        buffer[8] = ttl - 1;   //将ttl减1
        memset(buffer + 10, 0, 2);
        unsigned long sum = 0;
        unsigned long temp = 0;
        int i;
        //重新计算校验和
        //首先对IPv4的数据包包头以两字节为单位，两两相加，计算相加后的和sum
        for (i = 0; i < head_length * 2; i++)
        {
            temp += (unsigned char)buffer[i * 2] << 8;
            temp += (unsigned char)buffer[i * 2 + 1];
            sum += temp;
            temp = 0;
        }
        unsigned short low_of_sum = sum & 0xffff; //取出低16位
        unsigned short high_of_sum = sum >> 16; //取出高16位
        unsigned short checksum = low_of_sum + high_of_sum; //低16位与高16位相加得到校
```

```
验和(未取反)
        checksum = ~checksum; //取反得到校验和
        unsigned short header_checksum = htons(checksum);
        memcpy(buffer + 10, &header_checksum, 2); //更新校验和
        fwd_SendtoLower(buffer, length, ans_route->nexthop); //将封装完成的IP分组通过
链路层发送出去
    }
    return 0;
}
```