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				
姓名	王艺丹		院系	计算机	
班级	1903601		学号	1190201303	
任课教师	李全龙		指导教师	李全龙	
实验地点	G207		实验时间	2021.11.13	
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。

1. 设计实现主机协议栈中的 IPv4 协议
2. 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
3. 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
4. 分组收发处理的基础上，实现分组的路由转发功能。
5. 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。
6. 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。

实验内容：

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。
3. 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。
4. 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”。
5. 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：

一. 安装实验客户机（不做赘述）

二. 看一下IPv4报文结构：

三. 主要函数编写

A. IPv4收发实验

1) 主要思想：

客户端接收到测试服务器发送来的 IPv4 分组后，调用接收接口函数stud_ip_recv( )。需要在这个函数中实现 IPv4分组接收处理的功能。接收处理完成后，调用接口函数

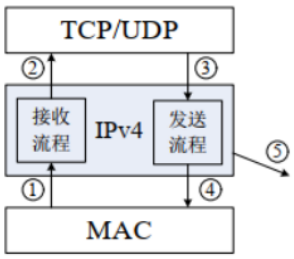
ip_SendtoUp( ) 将需要上层协议进一步处理的信息提交给上层协议；或者调用函数ip_DiscardPkt( )丢弃有错误的分组并报告错误类型。所以我们需要完成接收函数stud_ip_recv()。此函数的主要功能就是检查结束的报文是否有错误，是否接收。

具体需要检查的有错误的地方有：检查版本号，检查首部长度，检查目的地址，检查TTL，检查校验和，如果都没有错误，就调用ip_SendtoUp()函数交给系统进行后续处理，如果有任何一个地方出错，则舍弃。

a) 接收函数流程图：

b) 发送函数流程图：

2) 实验接口：



3) 字段的错误检测原理：

✧ 版本号（Version）：

版本号位于 pBuffer 的第一个字节的高四位，在 IPv4 报文中，版本号为 4，因此我们只需要提取版本号并判断是否为 4 即可

```
//IP版本号错
if (version != 4){
      ip_DiscardPkt(pBuffer, STUD_IP_TEST_VERSION_ERROR);
      return 1;
}
```

✧ 生存时间（Time to live）

在 pBuffer 的第 9 个字节中，如果 TTL 为负数或 0 则判定为非法，舍弃该分组

```
//TTL值错误
if (TTL <= 0){
      ip_DiscardPkt(pBuffer, STUD_IP_TEST_TTL_ERROR);
      return 1;
}
```

✧ 头部长度（Header Length）

头部长度位于 pBuffer 第一个字节的低四位。头部长度乘 4 可以获得字节数，且头部长度不小于 5

```
//头部长度错
if (headLength < 5){
      ip_DiscardPkt(pBuffer, STUD_IP_TEST_HEADLEN_ERROR);
      return 1;
}
```

✧ 目的地址错误（Destination Address）

目的地址字段位于 pBuffer+16 开始的四个字节。使用给出的 getIpv4Address()，可以获得本机 ip 地址，如果 IPv4 报文中的目的地址与本机 ip 地址不匹配，或者不是广播地址（0xffff），则出错

```
//目的地址错
if (dstAddr != getIpv4Address() && dstAddr != 0xffff){
      ip_DiscardPkt(pBuffer,STUD_IP_TEST_DESTINATION_ERROR);
      return 1;
}
```

✧ 头部校验和（Header checksum）

pBuffer 的第 11 和第 12 个字节共同构成头部校验和。

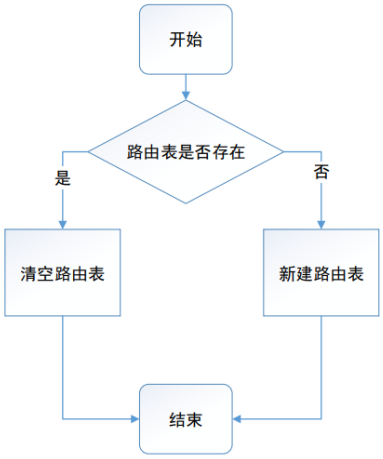
计算方法：将头部中除校验和外的字段求和，然后用 0xffff 减去该和值

```
//校验和错应该最后检验错误
unsigned short sum = 0;
unsigned short tempNum = 0;
for (int i = 0; i < headLength * 2; i++){
      tempNum = ((unsigned char)pBuffer[i*2]<<8) + (unsigned char)pBuffer[i*2 + 1];
      if (0xffff - sum < tempNum)
            sum = sum + tempNum + 1;
      else
            sum = sum + tempNum;
}
if (sum != 0xffff){
      ip_DiscardPkt(pBuffer, STUD_IP_TEST_CHECKSUM_ERROR);
      return 1;
}
```

B. IPv4转发实验

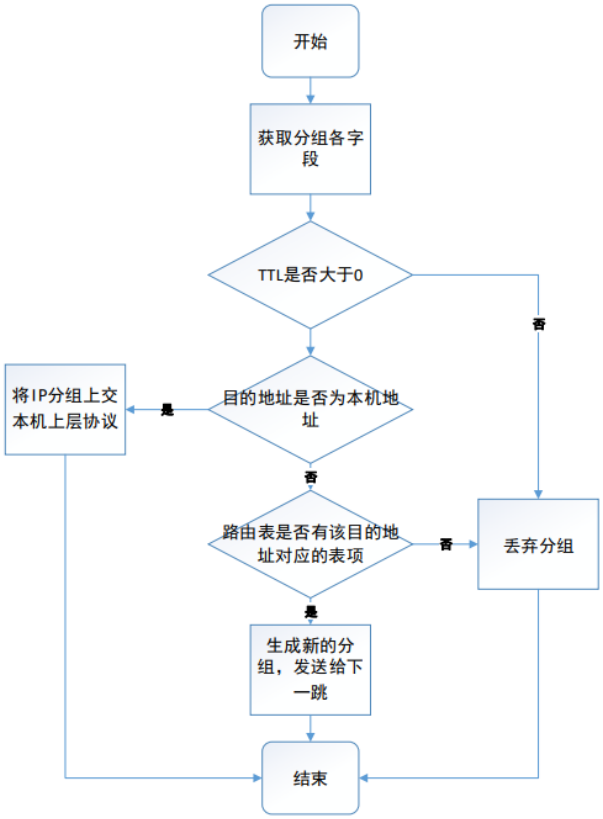
1) 主要思想：

2) 路由表初始化函数：



3) 路由增加函数

4) 路由转发函数



5) 新建数据结构

✧ 路由表单项的数据结构

数据类型为 struct；

成员属性共有四个：目的 IP，掩码，掩码长度，下一跳

```
struct routeTableItem//路由表单项的数据结构
{
	unsigned int destIP;//目的IP地址
	unsigned int mask;//子网掩码，用于将IP地址进行按位与，从而在路由表里进行匹配
	unsigned int masklen;//前缀的长度,即子网掩码中为1部分的长度
	unsigned int nexthop;//下一跳地址
};
```

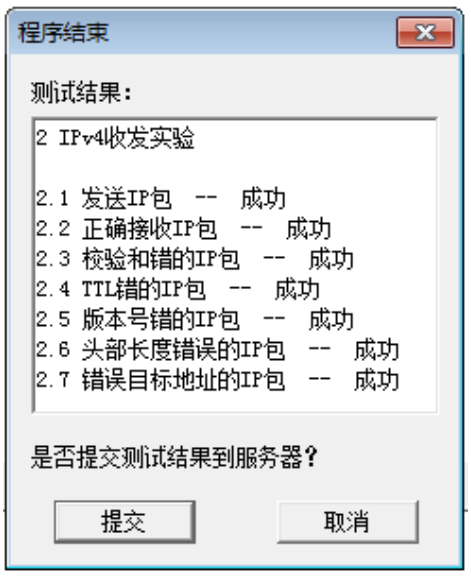
✧ 路由表数据结构

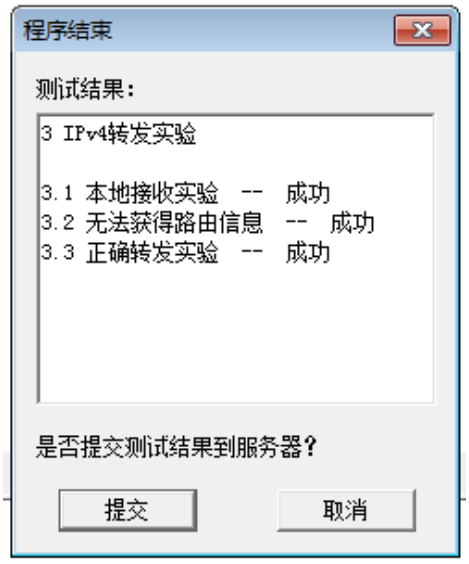
由表表项构成的数组

```
vector<routeTableItem> m_table; //路由表
```

6) 存在大量分组的情况下如何提高转发效率

实验结果：





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
2021秋季	1	1190201303	王艺丹	人工智能	1903601	IPv4收发实验	2021-11-12	■■■■■■■■■■■■■■■	10		
2021秋季	2	1190201303	王艺丹	人工智能	1903601	IPv4转发实验	2021-11-12	■■■■■■■■■■■■■■■	10		

问题讨论：

请分析在存在大量分组的情况下如何提高转发效率

- ✓ 提高路由转发中路由表查询的速率，有以下方法
  - 线性查找：最简单的方法，时间效率比较低，时间复杂度为 O(N)。在路由表中插入新的表项时间复杂度为 O(1)
  - 二分查找：按照路由表表项中的一个成员属性对路由表进行排序，在查找时可以采用二分的查找方式，时间复杂度为 O(logN)，但是缺点是，在加入新的路由表表项时，需要进行排序，采用堆的数据结构可以在 O(logN)的时间内完成
  - 哈希查找，将路由表存储为<DestIP, Item>的哈希结构，理想状态下可以在O(1)的时间内完成查找。但是缺点是，存储开销比较大。
- ✓ 从程序整体的角度出发，可以使用多线程的方法处理路由转发，提高 CPU 的利用率。

➢ IPv4的收发实验中，注意在发送数据包之前，需要将每一个字段的内容从主机字节序转为网络字节序。这条原则反过来也适用，对于接收到的数据包，要想获取其中每一字段的内容，需要从网络字节序转为主机字节序

➢ 在IP分组的转发中，注意要满足最长匹配原则。

心得体会：

- 在实际的应用中，效率是非常重要的，我们的实验在小数据量上进行，而当数据规模扩充时，如何更高效率的处理数据就变成了一个很重要的问题
- 本次实验让我了解了 IPv4 分组转发的具体流程，熟悉了路由器是如何为分组选择路由（最终逐跳地将分组发送到目的主机），收获很多