



哈尔滨工业大学
Harbin Institute of Technology

计算机网络 课程实验报告

实验名称	IPv4 分组收发/转发实验					
姓名	李旻翀		院系	计算机科学与技术		
班级	1903103		学号	1190200208		
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	2021.11.14		
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						

实验目的：

- 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。
- 使学生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。
- 使学生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：

- 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：

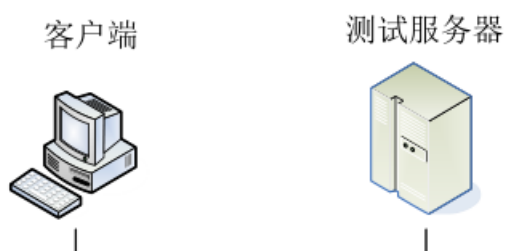
1. 了解实验相关基础知识

1) IPv4协议

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。

在主机协议栈中，IPv4 协议主要承担辨别和标识源 IPv4 地址和目的IPv4 地址的功能，一方面接收处理发送给自己的分组，另一方面根据应用需求填写目的地址并将上层报文封装发送。IPv4 地址可以在网络中唯一标识一台主机，因而在相互通信时填写在 IPv4 分组头部中的 IPv4 地址就起到了标识源主机和目的主机的作用。

在两个主机端系统通信的环境中，网络的拓扑可以简化为两台主机直接相连，中间的具体连接方式可以抽象为一条简单的链路，如图所示。

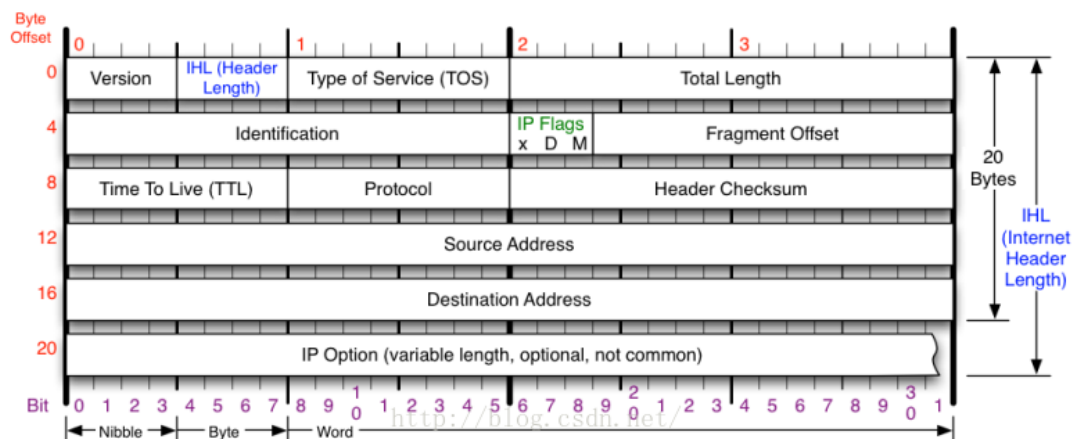


2) IPv4协议的分组转发

分组转发是路由器最重要的功能。分组转发的依据是路由信息，以此将目的地址不同的分组发送到相应的接口上，逐跳转发，并最终到达目的主机。在实验中，需要按照路由器协议栈的IPv4协议功能进行设计实现，接收处理所有收到的分组（而不只是目的地址为本机地址的分组），并根据分组的 IPV4 目的地址结合相关的路由信息，对分组进行转发、接收或丢弃操作。

3) IPv4报文格式

IPv4报文格式如下：



Version Version of IP Protocol. 4 and 6 are valid. This diagram represents version 4 structure only.	Protocol IP Protocol ID. Including (but not limited to): 1 ICMP 17 UDP 57 SKIP 2 IGMP 47 GRE 88 EIGRP 6 TCP 50 ESP 89 OSPF 9 IGRP 51 AH 115 L2TP	Fragment Offset Fragment offset from start of IP datagram. Measured in 8 byte (2 words, 64 bits) increments. If IP datagram is fragmented, fragment size (Total Length) must be a multiple of 8 bytes.	IP Flags x D M x 0x80 reserved (evil bit) D 0x40 Do Not Fragment M 0x20 More Fragments follow RFC 791 Please refer to RFC 791 for the complete Internet Protocol (IP) Specification.
Header Length Number of 32-bit words in TCP header, minimum value of 5. Multiply by 4 to get byte count.	Total Length Total length of IP datagram, or IP fragment if fragmented. Measured in Bytes.	Header Checksum Checksum of entire IP header	

下面，具体说明IPv4报文段中比较重要的部分：

● Version(版本)

字段长度为4位，标识了数据包的IP版本号。0100表示IP版本4，0110表示IP版本6（其他所有版本号仅作为“历史产物”）

● IHL（头部长度的）

字段长度为4位（单位为4个字节），ip报头的最小长度为20个八位组，最大可以扩展到60个八位组。通过这个字段可以描述32位字长的最大长度

● Total Length（总长度）

字段长度为16位（单位为一个八位组），其中包括IP报头。接受者用总长度减去IP报头长度，就可以确定数据包数据有效载荷的大小。（用十进制表示最大到65535个）

● TTL（生存时间）

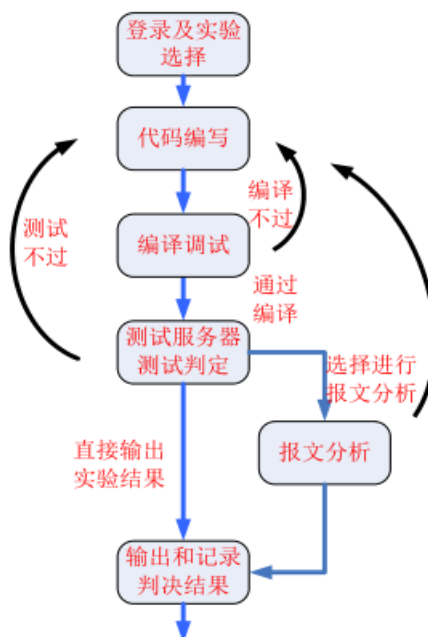
字段长度为8位，以前为时间。现在为跳数，传输时，每台路由器都会将TTL值减一，到0会向源点发送错误信息。（用于防环，trace追踪工具）

● Header Checksum（头部校验）

是针对IP报头的纠错字段。校验和不计算被封装的数据，UDP、TCP和ICMP都有各自的校验和。

4) NetRiver平台的使用

NetRiver平台的整体流程如下：



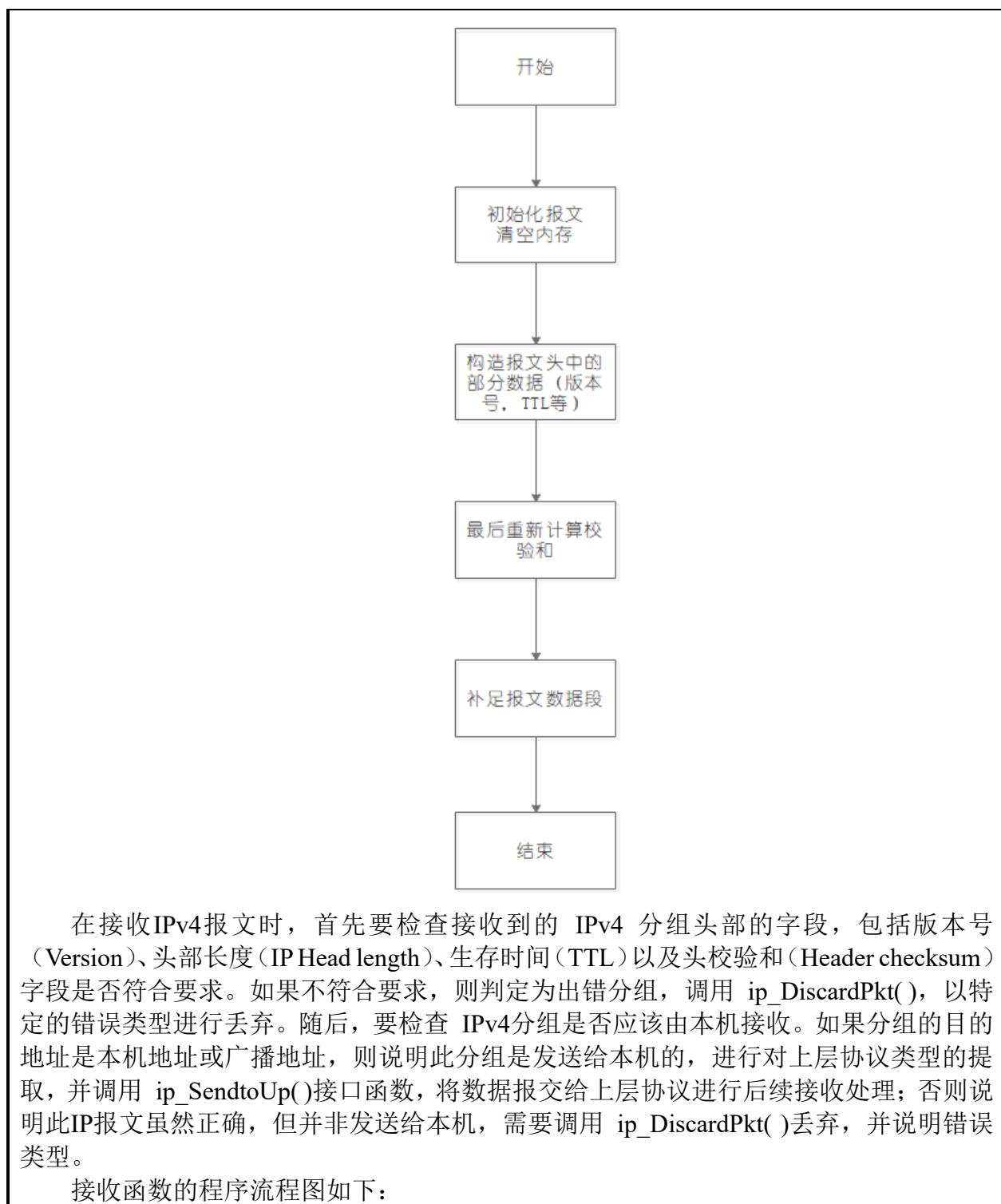
首先，安装Win7虚拟机，进入客户端软件后，选择要进行的实验内容与测试用例，新建文件，复制我们写好的代码进行编译。编译完成后，执行文件，等待一段时间后，便可得到测试结果。

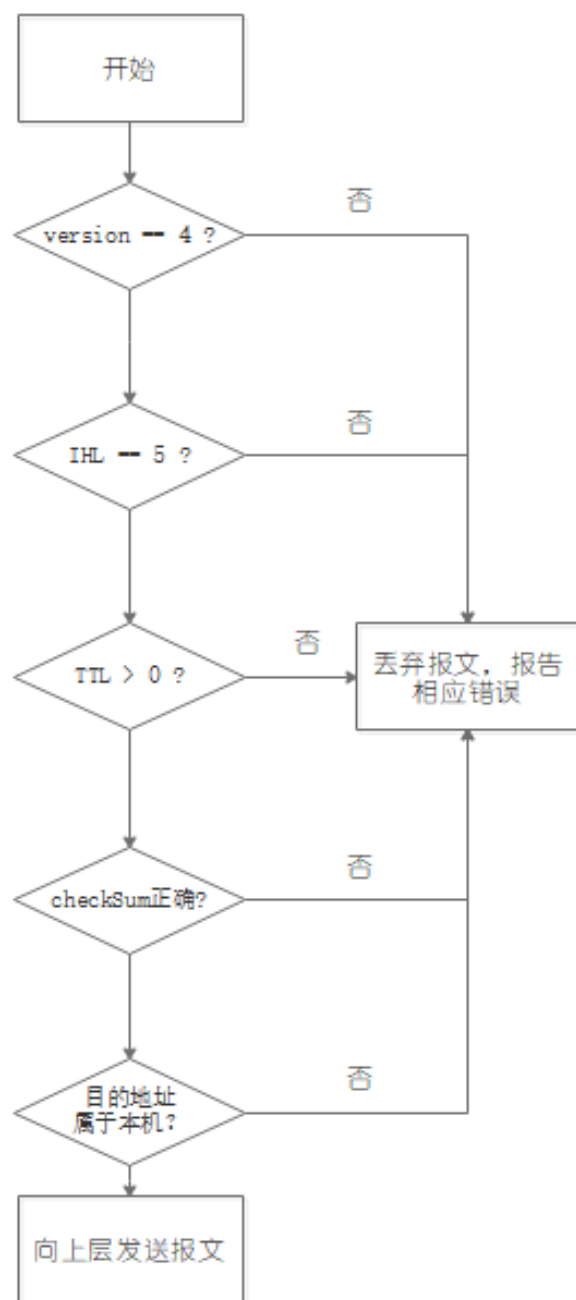
2. 分析程序设计思路

1) IPv4报文接收与发送程序的设计思路

在发送IPv4报文的过程中，根据所传参数（如数据大小），来确定分配的存储空间的大小并申请分组的存储空间。按照 IPv4协议标准填写 IPv4 分组头部各字段，标识符（Identification）字段可以使用一个随机数来填写（注意：部分字段内容需要通过ntoh函数转换成网络字节顺序）。在完成 IPv4分组的封装后，调用 `ip_SendtoLower()` 接口函数将数据报文发送给下层协议，最终将分组发送到网络中。

发送函数的程序流程图如下：





2) IPv4分组转发程序的设计思路

① 路由表初始化。在IPv4分组转发程序中，我们设定了如下数据结构：

```
// 构造路由表结构体
struct routingTable
{
    unsigned int dstIP;    // 目的IP
    unsigned int mask;     // 掩码
    unsigned int masklen;  // 掩码长度
    unsigned int nexthop;  // 下一跳
};
```

路由表初始化的程序很简单，即简单对路由表进行清空操作，其程序框图如下：



- ② 在路由表初始化之后，路由表需要增加路由表项。具体过程为：从newTableItem结构中取得dest, masklen, nextIP，转为网络字节序之后经过处理，构建结构体route，并添加到vector中。

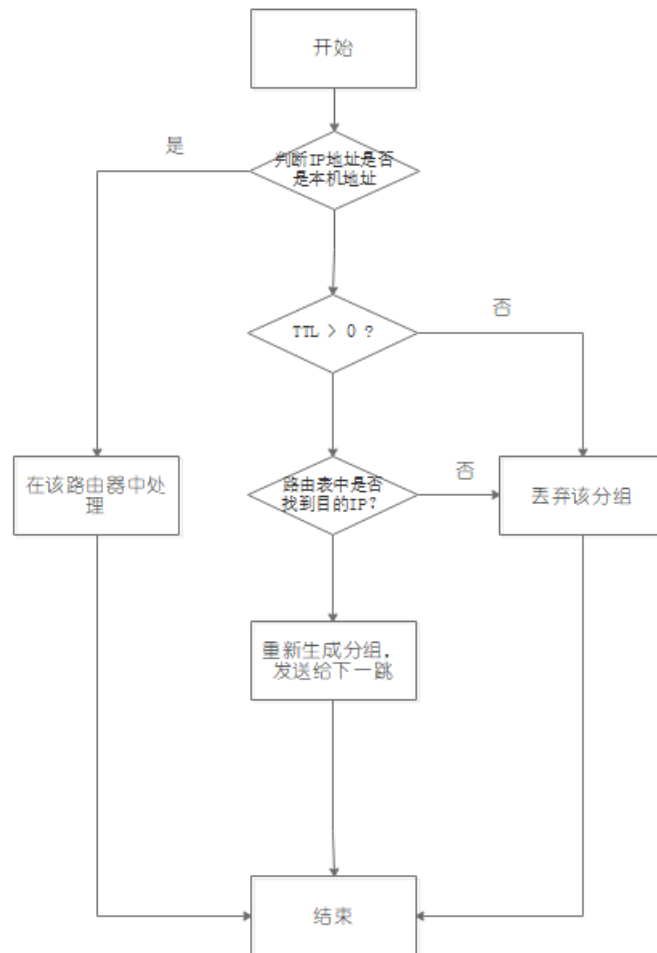
路由表增加路由表项的程序框图如下：



- ③ 路由转发。在 stud_fwd_deal()函数中，需要完成下列分组接收处理步骤：
查找路由表。根据相应路由表项的类型来确定下一步操作，错误分组调用函数进行丢弃，上交分组调用接口函数提交给上层协议继续处理，转发分组进行转发处

理。注意，转发分组还要从路由表项中获取下一跳的 IPv4 地址。
转发处理流程。对 IPv4 头部中的 TTL 字段减 1，重新计算校验和，然后调用下层接口进行发送处理。

路由转发的程序框图如下：



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。

1. IPv4收发实验

结合实验过程和结果给出实验的体会和收获。

- 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
- 了解IP报文的结构，学会了路由器是如何为分组选择路由，并逐跳地发送到目的主机
- 深入理解了路由表的数据结构，理解路由器是如何根据路由表对分组进行转发的

问题讨论：

对实验过程中的思考问题进行讨论或回答。

在存在大量分组的情况下提高转发效率：

经过路由器的前后分组间的相关性很大，具有相同目的地址和源地址的分组往往连续到达，快速转发过程中，缓存分组，如果该分组的目的地址和源地址与转发缓存中的匹配，则直接根据转发缓存中的下一网关地址进行转发，减轻了路由器的负担，提高路由器吞吐量。