湖南大學
HUNAN UNIVERSITY

操作系统实验报告

课 程 名 称：操作系统
实验项目名称：操作系统内核编程实验
专 业 班 级：软件 2203
姓　　名：白旭
学　　号：202226010306
指 导 教 师：周军海
完 成 时 间：2024 年 5 月 16 日

信息科学与工程学院

实验题目：实验五 内核网络管理

实验目的：

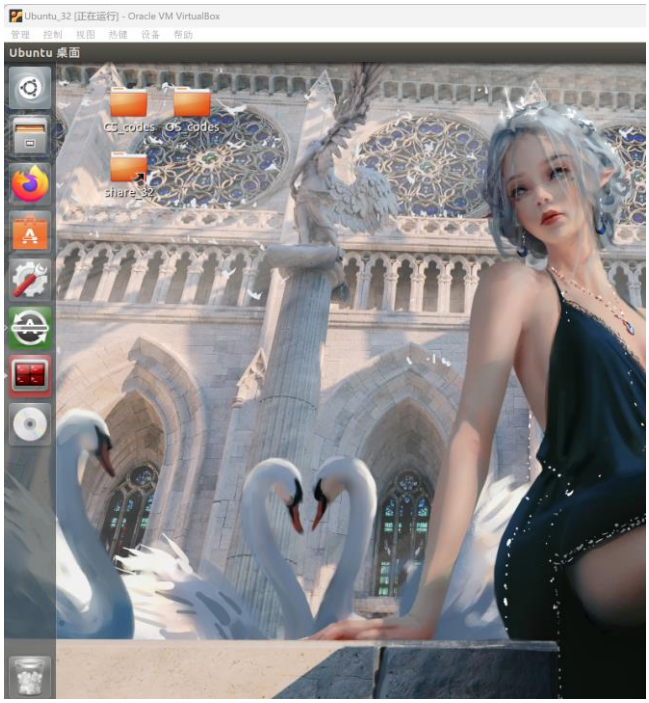
- **学习了解 XDP 与 eBPF**
- **编写 eBPF 过滤程序、编译 eBPF 过滤程序，并将过滤程序应用到网卡中**
- **思考题：**
  Linux 高级网络栈架构通常包括哪些层？

实验环境：

- Ubuntu 20.04

实验内容及操作步骤：

1. 打开 Ubuntu 20.04：



2. 使用 lshw -C network 查看网口命名：

```
baijue@baijue-VirtualBox:~$ lshw -C network
WARNING: you should run this program as super-user.
  *-network
       description: Ethernet interface
       product: 82540EM Gigabit Ethernet Controller
       vendor: Intel Corporation
       physical id: 3
       bus info: pci@0000:00:03.0
       logical name: enp0s3
       version: 02
       serial: 08:00:27:e5:fe:53
       size: 1Gbit/s
       capacity: 1Gbit/s
       width: 32 bits
       clock: 66MHz
       capabilities: bus_master cap_list ethernet physical tp 10bt 10bt-fd 100bt
 100bt-fd 1000bt-fd autonegotiation
       configuration: autonegotiation=on broadcast=yes driver=e1000 driverversio
n=7.3.21-k8-NAPI duplex=full ip=10.0.2.15 latency=64 link=yes mingnt=255 multica
st=yes port=twisted pair speed=1Gbit/s
       resources: irq:19 memory:f0200000-f021ffff ioport:d020(size=8)
WARNING: output may be incomplete or inaccurate, you should run this program as
super-user.
```

得知网口命名为 enp0s3

3. 编写代码

1) enp0s3.c

禁止所有数据包

```c
#include <linux/bpf.h>
#include <linux/if_ether.h>
#include <linux/ip.h>
#include <linux/in.h>

// 将后面的函数或变量放到特定的段（section）中
// __attribute__((section(NAME), used))是GCC编译器的一个属性
// 表示将函数或变量放到名为NAME的段中，并且标记为已使用，防止编译器优化时将其删除
#define __section(NAME) \
    __attribute__((section(NAME), used))

// 这部分代码定义了一个BPF程序，放在名为"prog"的段中
// 函数drop_all接收一个参数struct xdp_md *ctx
// 这是XDP（eXpress Data Path）程序的上下文，包含了数据包的信息
__section("prog") int drop_all(struct xdp_md *ctx)
{
    // 函数的返回值XDP_DROP表示将数据包丢弃
    return XDP_DROP;
}

// 许可证是GPL
char __license[] __section("license") = "GPL";
```

其中 struct xdp_md 的实现

```c
struct xdp_md {
    __u32 data; // 指向数据包的起点
    __u32 data_end; // 指向数据包的末尾
    __u32 data_meta; //数据包元数据
    __u32 ingress_ifindex; //rxq->dev->ifindex 网卡的序号，ip link显示的那个
    __u32 rx_queue_index;  //rxq->queue_index 网卡接收队列的序号

    __u32 egress_ifindex;  // txq->dev->ifindex 这个参数旧一些的内核是没有的
};
```

2) enp0s3_1.c

禁止所有的 TCP 数据包

以太网头部结构体 ethhdr：

```c
#define ETH_ALEN 6  //定义了以太网接口的MAC地址的长度为6个字节

#define ETH_HLAN 14  //定义了以太网帧的头长度为14个字节

#define ETH_ZLEN 60  //定义了以太网帧的最小长度为 ETH_ZLEN + ETH_FCS_LEN = 64个字节

#define ETH_DATA_LEN 1500  //定义了以太网帧的最大负载为1500个字节

#define ETH_FRAME_LEN 1514  //定义了以太网正的最大长度为ETH_DATA_LEN + ETH_FCS_LEN = 1518个字节

#define ETH_FCS_LEN 4   //定义了以太网帧的CRC值占4个字节

struct  ethhdr
{
    unsigned  char  h_dest[ETH_ALEN];  //目的MAC地址

    unsigned  char  h_source[ETH_ALEN];  //源MAC地址

    __u16 h_proto ;  //网络层所使用的协议类型
}__attribute__((packed))   //用于告诉编译器不要对这个结构体中的缝隙部分进行填充操作；
```

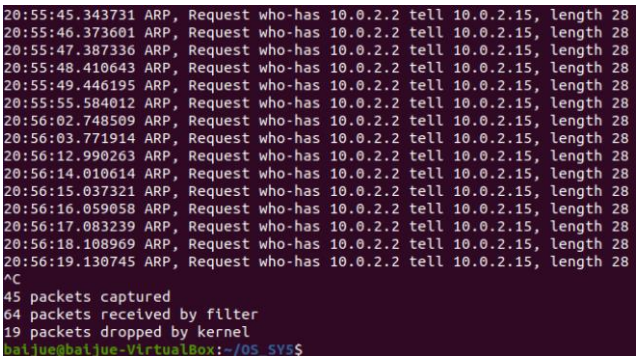
ip 头部结构体：

```
struct iphdr {
    #if defined(__LITTLE_ENDIAN_BITFIELD)
        __u8    ihl:4,      //首部长度(4位):首部长度指的是IP层头部包含多少个4字节
                version:4;  //版本(4位)，目前的协议版本号是4,因此IP有时也称作IPv4
    #elif defined (__BIG_ENDIAN_BITFIELD)
        __u8    version:4,
                ihl:4;
    #else
    #error "Please fix <asm/byteorder.h>"
    #endif
        __u8    tos;
        __be16 -tot_len; //总长度字段(16位)是指整个IP数据报的长度
        __be16 - id;
        __be16 - frag_off;
        __u8    ttl;
        __u8    protocol;
        __be16 - check;
        __be32 - saddr;
        __be32 - daddr;
};
```

```
#include <linux/bpf.h>
#include <linux/in.h>
#include <linux/if_ether.h>
#include <linux/ip.h>

#define __section(NAME) \
    __attribute__((section(NAME), used))

// struct xdp_md *ctx 是XDP程序的上下文参数，包含了数据包的信息
__section("prog") int drop_tcp(struct xdp_md *ctx)
{
    // 获取数据包的起始位置
    void *data = (void *)(long)ctx->data;
    // 获取数据包的结束位置
    void *data_end = (void *)(long)ctx->data_end;

    // 检查以太网头部是否在数据包内
    if (data + sizeof(struct ethhdr) > data_end)
    {

// XDP_ABORTED 是 XDP 程序返回的一种特殊值，表示程序由于某种错误而终止处理数据包
        return XDP_ABORTED;
    }

    // 定义一个指向IP头部的指针
    struct iphdr *ip;
    // struct ethhdr结构体来表示以太网帧的头部
    // 将指针 ip 移动到以太网头之后的位置，这里是IP头的开始位置
    ip = data + sizeof(struct ethhdr);

    // 检查IP头部是否在数据包内
    if ((void *)(ip + 1) > data_end)
    {
        return XDP_ABORTED;
    }

    // 检查IP头部中的协议字段是否为TCP协议
    if (ip->protocol == IPPROTO_TCP)
    {
        // 如果是TCP数据包，返回 XDP_drop，表示丢弃数据包
        return XDP_DROP;
    }
    // 如果不是TCP数据包，返回 XDP_PASS，表示允许数据包通过
    return XDP_PASS;
}

char _license[] __section("license") = "GPL";
```

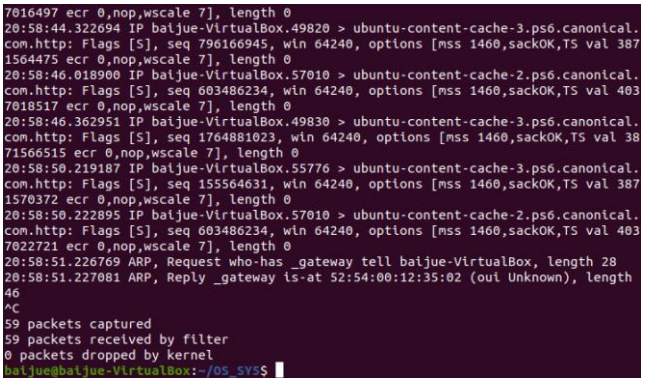
4. 模块功能验证

1) enp0s3



除了 ARP 包之外的包都被丢弃

2) enp0s3_1



所有 TCP 包都被丢弃

实验结果及分析：

1. 实验结果与预期相符，第五次实验学习了 XDP 与 eBPF 的知识，完成得比较顺利，源代码可以正常运行

收获与体会：

1. 应全部使用 sudo 来提升权限，否则会报错
2. 做完实验要及时将 ESC 关机以节约经费
3. 掌握了如何编写 eBPF 程序

思考题：

1. Linux 高级网络栈架构通常包括哪些层？

TCP/IP五层网络模型：

应用层：概念同上，一般在客户端的应用程序，例如访问web的HTTP协议，域名转换协议DNS等，类似于客户的数据

传输层：TCP提供面向连接的、有状态的数据流传输，UDP是数据报传输面向无连接无状态

网络层：提供IP选路，在这一层往上的数据都叫做数据包

数据链路层：这一层在路由器中数据广域网或二者局域网的接入方式，例如选择以太、帧中继或者ATM等。这一层的数据成为帧。

物理层：中继器，集线器等，是具体数据传输的媒介，数据在这一层是以比特流的形式传输。

实验成绩	