网络技术与应用课程实验报告

实验三：通过编程获取 IP 地址与 MAC 地址的对应关系

学　　院　密码与网络空间安全学院

专　　业　信息安全、法学双学位班

学　　号　2313815

姓　　名　段俊宇

班　　级　信息安全、法学双学位班

一、实验目的

1. 进一步了解 NPcap 相关函数和使用方法。
2. 在 IP 数据报捕获与分析编程实验的基础上，学习 WinPcap 的数据包发送方法。
3. 通过 WinPcap 编程，获取 IP 地址与 MAC 地址的映射关系。

二、实验原理

1. WinPcap 的数据包发送方法

由于 NPcap 是基于 WinPcap 的扩展和开发，并且截至目前仍在维护中，因此本次实验继续使用 NPcap 库。

NPcap 提供了 pcap_sendpacket()函数来发送数据包，函数参数如下所示

```
PCAP_AVAILABLE_0_8
PCAP_API int pcap_sendpacket(pcap_t *, const u_char *, int);
```

第一个参数是已经打开的句柄；第二个参数是要发送的数据包缓冲区；第三个参数是数据包大小。在使用这一函数时，需要获取设备列表，然后打开指定的网卡设备，之后要构造好数据包才可以调用该函数进行发送。数据包发送成功后便可以像上次实验一样捕获然后进行分析，最后就可以得到目标 MAC 地址。

2. ARP 协议

ARP（Address Resolution Protocol，地址解析协议）是一种用于在局域网中将 IP 地址解析为 MAC 地址的网络协议。当设备需要与同一局域网内的另一台设备通信时，它首先通过广播发送 ARP 请求包，询问"谁拥有这个 IP 地址"；所有设备都会收到请求，但只有目标设备会回复 ARP 响应包，告知自己的 MAC 地址。这样，源设备就能建立 IP 地址到 MAC 地址的映射并存入 ARP 缓存表，实现数据链路层的直接通信。ARP 协议工作在 OSI 模型的网络层与数据链路层之间，是 TCP/IP 协议栈中实现局域网通信的基础协议。

ARP 报文头部结构如下：

字段名称	硬件类型	上层协议类型	MAC 地址长度	IP 地址长度	操作码	源 MAC 地址	源 IP 地址	目的 MAC 地址	目的 IP 地址
大小（字节）	2	2	1	1	2	6	4	6	4

在寻找目标 MAC 时，设备首先将 ARP 包中的目的 MAC 地址设置为 FF-FF-FF-FF-FF-FF，这样就涵盖了所有的设备，也就达到了广播的效果；而硬件类型应当为以太网，也就是 0x0001,；操作码应当为 0x0001，表示请求；协议类型应当为 0x0800，表示 IPv4 协议。

三、实验过程

在编程的过程中我定义了以太网帧结构体、ARP 报文结构体和一些函数，用来构造 ARP 数据包并对捕获的数据包进行处理等。接下来我将使用注释的形式进行解释。

1. 以太网帧结构体

```
// 以太网帧头部
struct EthernetHeader
{
    byte dstMAC[6];          // 目标 MAC 地址
    byte srcMAC[6];          // 源 MAC 地址
    WORD ethertype;          // 协议类型
};
```

2. ARP 结构体

```
/ ARP 报文
struct ARP
{
    WORD hardware;           // 硬件类型
    WORD protocol;           // 协议类型
    byte MAC_length;         // MAC 地址长度，单位是字节
    byte IPaddress_length;   // 协议长度
    WORD opcode;             // 操作码
    byte srcMAC[6];          // 源 MAC 地址
    byte srcIP[4];           // 源 IP
```

```
    byte dstMAC[6];            // 目标 MAC 地址
    byte dstIP[4];             // 目标 IP
};
```

3. 输出 MAC 地址

```
// 打印 MAC 地址
void print_MAC(const byte MAC[6])
{
    for (int i = 0;i < 6;i++)
    {
        printf("%02X", MAC[i]);
        if (i < 5) cout << "-";
    }
    cout << endl;
}
```

4. 打印设备信息

```
// 打印设备信息
int PrintDeviceInfo(pcap_if_t* device_list)
{
    pcap_if_t* d;              // 遍历指针
    int count = 0;             // 可用设备数量
    for (d = device_list;d != nullptr;d = d->next)                // 开始
遍历
    {
        cout << (count + 1) << ".Device:" << d->name << endl;     // 设备
序号
        if (d->description)
            cout << "Description:" << d->description << endl;    // 设备
描述
        else
            cout << "No description available" << endl;
        // 打印 IP 地址和子网掩码
        for (pcap_addr_t* a = d->addresses;a != nullptr;a = a->next)
        {
            if (a->addr->sa_family == AF_INET)
            {
                char ip[INET_ADDRSTRLEN];
                inet_ntop(AF_INET, &((struct
sockaddr_in*)a->addr)->sin_addr, ip, INET_ADDRSTRLEN);
                cout << "IP address: " << ip << endl;
            }
```

```
            if (a->netmask)
            {
                char mask[INET_ADDRSTRLEN];
                inet_ntop(AF_INET, &((struct
sockaddr_in*)a->netmask)->sin_addr, mask, INET_ADDRSTRLEN);
                cout << "Netmask: " << mask << endl;
            }
        }
        count++;
    }
    cout << "Total devices:" << count << endl;
    return count;
}
```

这里的 INET_ADDRSTRLEN 表示 32 位 IPv4 地址用十进制+句点表示时，所使用内存长度的最大值。IPv4 地址中每一位十进制数字占一字节，一个句点占一字节，再加上最后的 NULL 结束符，一共是 16 字节；同理 IPv6 地址分为两种情况，一种是不兼容格式，每一位十六进制字符占一字节，一个冒号占一字节，再加上最后的 NULL 结束符，一共是 40 字节；另一种是兼容格式，也就是 IPv6 低 32 位地址是 IPv4 地址，这样一共是 46 字节。但是在定义中发现 INET_ADDRSTRLEN 是 22，INET6_ADDRSTRLEN 是 65，这其中包括了出现端口号的情况，对于 IPv6 还包含了出现作用域的情况，这样就可以处理各类情况。如下是 ws2ipdef.h 中的定义

```
// Maximum length of address literals (potentially including a port number)
// generated by any address-to-string conversion routine.  This length can
// be used when declaring buffers used with getnameinfo, WSAAddressToString,
// inet_ntoa, etc.  We just provide one define, rather than one per api,
// to avoid confusion.
//
// The totals are derived from the following data:
//  15: IPv4 address
//  45: IPv6 address including embedded IPv4 address
//  11: Scope Id
//   2: Brackets around IPv6 address when port is present
//   6: Port (including colon)
//   1: Terminating null byte
//
#define INET_ADDRSTRLEN  22
#define INET6_ADDRSTRLEN 65
```

5. 让用户选择需要打开的网卡设备

```
// 让用户选择需要打开的网卡设备
pcap_if_t* select_device(pcap_if_t* alldevices, int count)
{
    pcap_if_t* d;              // 遍历指针
    int op;                    // 设备编号
    cout << "Please enter the number of the Network interface Device you want
to open:";
    cin >> op;

LOOP:
    if (op < 1 || op > count)              // 输入的数字无效
    {
        cout << "Invalid number!Out of range!" << endl;
        cout << "continue or quit ([c/q]):";// 选择继续或者退出
        char op;
        cin >> op;
        if (op == 'c' || op == 'C')
            goto LOOP;
        else
        {
            pcap_freealldevs(alldevices);  // 释放设备列表
            exit(0);
        }
    }
    // 寻找指定的设备
    int i;
    for (d = alldevices, i = 0;i < op - 1 && d != nullptr;d = d->next, i++);

    return d;
}
```

这一部分与上次实验的代码几乎一模一样，逻辑也很简单，这里就不再过多解释。

6. 获取打开的网卡设备的 MAC

```
// 获取打开的网卡设备的 MAC
void GetLocalIPandMAC(const string device_name, byte mac[6])
{
    IP_ADAPTER_INFO adapterinfo[16];        // 最多 16 个适配器
    DWORD dwBufLen = sizeof(adapterinfo);   // 缓冲区大小
    // 调用系统 API 获取网络适配器信息
    DWORD dwStatus = GetAdaptersInfo(adapterinfo, &dwBufLen);
```

```
    if (dwStatus != ERROR_SUCCESS) {
        std::cerr << "GetAdaptersInfo failed!" << std::endl;
        return;
    }
    // 提取设备名称中的 GUID，也就是大括号包裹的部分
    string guid;
    size_t pos = device_name.find("{");
    if (pos != string::npos) {
        guid = device_name.substr(pos);
    }
    // 根据 GUID 匹配并找到 MAC 地址
    for (PIP_ADAPTER_INFO p = adapterinfo;p != nullptr;p = p->Next)
    {
        if (guid.find(p->AdapterName) != string::npos)
        {
            memcpy(mac, p->Address, 6);
            return;
        }
    }
}
```

这一部分调用 Windows 系统提供的 API 函数 GetAdaptersInfo()获取网络设备的信息，之后根据打开的网卡设备名称寻找对应的 MAC 地址，这样就获取了源 MAC 地址。这里需要添加头文件如下

```
#include <iphlpapi.h>
```

7. 构造并捕获 arp 数据包

```
// 构造并捕获 arp 数据包
void arp_capture(pcap_t* handle, pcap_if_t* device)
{
    byte localIP[4];                // 需要打开设备的 IP
    byte targetIP[4];               // 目标 IP
    byte localMAC[6];               // 本机 MAC 地址
    byte packet[42];                // 数据包
    // 输入目标地址的 IP
    string targetip;
    cout << "Please enter the target IP address:";
    cin >> targetip;
    inet_pton(AF_INET, targetip.c_str(), targetIP);
```

```
    // 获取该设备的 IP 以及 MAC
    struct sockaddr_in* sin = (struct
sockaddr_in*)device->addresses->addr;
    DWORD ip = sin->sin_addr.S_un.S_addr; // 网络字节序，转换 IP 的格式
    memcpy(localIP, &ip, 4);
    GetLocalIPandMAC(device->name, localMAC);
    cout << "Source IP and MAC: " << inet_ntoa(sin->sin_addr) << " -> ";
    print_MAC(localMAC);

    // 构造 ARP 报文
    EthernetHeader* eth = (EthernetHeader*)packet;
    ARP* arp = (ARP*)(packet + sizeof(EthernetHeader));
    // 以太网帧头部
    memset(eth->dstMAC, 0xFF, 6);  // 广播所有设备
    memcpy(eth->srcMAC, localMAC, 6);
    eth->ethertype = htons(0x0806);     // ARP 协议
    // ARP 报文
    arp->hardware = htons(0x0001); // 硬件类型为以太网
    arp->protocol = htons(0x0800);
    arp->MAC_length = 6;
    arp->IPaddress_length = 4;
    arp->opcode = htons(0x0001);
    memcpy(arp->srcIP, localIP, 4);
    memcpy(arp->dstIP, targetIP, 4);
    memcpy(arp->srcMAC, localMAC, 6);
    memset(arp->dstMAC, 0, 6);

    // pcap_sendpacket()函数能够利用网卡设备的句柄发送数据包
    if (pcap_sendpacket(handle, packet, 42) != 0)
    {
        cerr << "Error sending ARP request." << endl;
        return;
    }
    // 捕获 ARP 数据包
    struct pcap_pkthdr* header;
    const u_char* recv_data;
    int res;
    while ((res = pcap_next_ex(handle, &header, &recv_data)) >= 0)
    {
        if (res == 0) continue;
        // 解析以太网帧
        EthernetHeader* recv_eth = (EthernetHeader*)recv_data;
```

```
            if (ntohs(recv_eth->ethertype) == 0x0806)
        {
            // 解析 ARP 数据包
            ARP* recv_arp = (ARP*)(recv_data + sizeof(EthernetHeader));
            if (ntohs(recv_arp->opcode) == 2)
            {
                // 验证 IP，返回的数据包中的 IP 是否和目标 IP 一致
                if (memcmp(recv_arp->srcIP, targetIP, 4) == 0)
                {
                    cout << "Target IP and MAC: " << targetip << " ->
";
                    print_MAC(recv_arp->srcMAC);
                    break;
                }
            }
        }
    }
}
```

8. main 函数

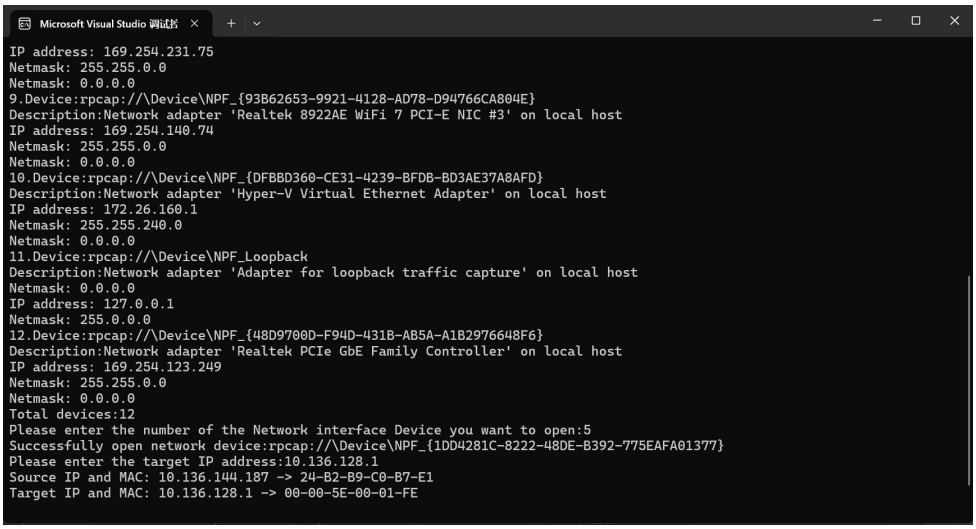
```
int main()
{
    pcap_if_t* alldevices;          // 设备列表的存储链表
    pcap_if_t* device;                  // 遍历指针
    char errbuf[PCAP_ERRBUF_SIZE]; // 存储错误信息，256 字节
    int count;                          // 可用设备数量

    cout << "================================Devices
List================================" << endl;

    // 从本地设备中获取可用设备列表
    if (pcap_findalldevs_ex(PCAP_SRC_IF_STRING, NULL, &alldevices,
errbuf) == -1)
    {
        // 查找失败，则输出错误信息
        cerr << "ERROR:" << errbuf << endl;
        return 1;
    }
    // 查找成功的话，设备列表已经存储在 alldevices 里面
    count = PrintDeviceInfo(alldevices);
    device = select_device(alldevices, count);
    if (!device)
        return 1;
```

```
    pcap_t* handle;
    // 打开设备
    handle = pcap_open(device->name, 65536, PCAP_OPENFLAG_PROMISCUOUS,
100, NULL, errbuf);
    if (!handle)
    {
        cerr << "ERROR:" << errbuf << endl;
        return 1;
    }
    cout << "Successfully open network device:" << device->name << endl;

    // 构造并捕获 arp 数据包
    arp_capture(handle, device);

    pcap_close(handle);
    pcap_freealldevs(alldevices);

    return 0;
}
```

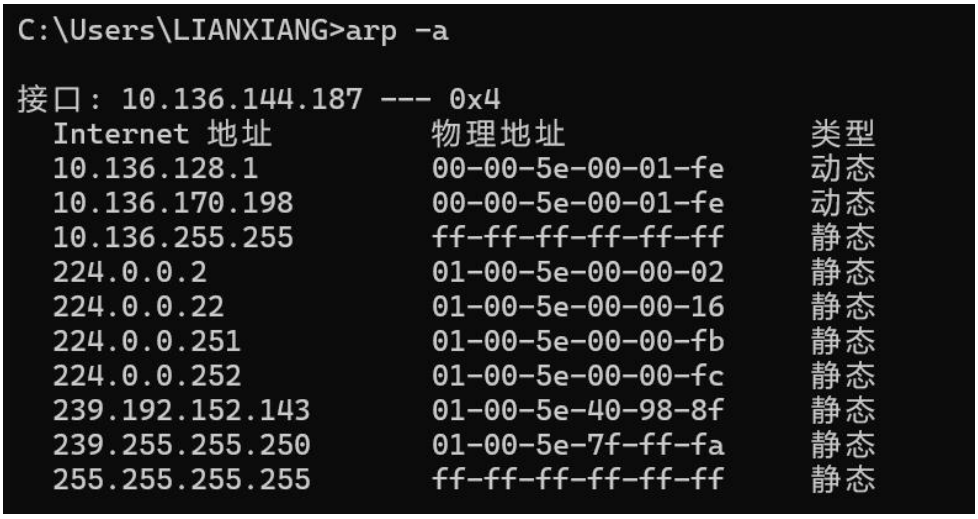
在 main 函数中，首先从本地设备中获取设备列表，然后让用户选择想要打开的设备，之后让用户输入目标 IP，构造并发送 ARP 数据包，最后捕获回复的 ARP 数据包并分析找到目标 MAC 地址，这样就完成了从输入目标 IP 到获取目标 MAC 的整个过程。

在代码运行时，输入的 IP 地址对应的设备应当与打开的网卡设备处于同一网段中，这样才可以捕获到回复的 ARP 数据包并得到正确的目标 MAC；如果处在不同网段中，最终得到的其实是回环数据，也就是发送出去的数据包被原路返回，得到的目标 MAC 也是源 MAC，无法验证 ARP 协议的功能。

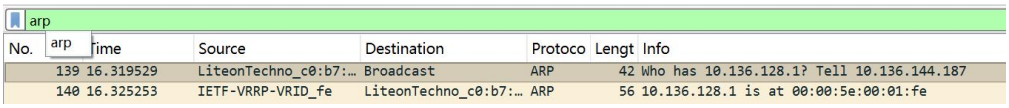
我首先使用 arp -a 命令获取了当前的 arp 项，然后选取了网关设备作为目标，IP 地址为 10.136.128.1。之后我打开了 WiFi 7 PCI-E NIC 网卡，它与网关设备在同一网段中，运行后得到了如下的结果



10.136.144.187 是我电脑的 IP 地址，也是 Wifi 网卡的 IP 地址；目标 IP 地址是网关设备的 IP 地址，通过 ARP 找到了 MAC 地址。



上面的图片是 arp -a 命令执行的结果，下面的图片是使用 Wireshark 捕获数据包的结果，这些和代码运行得到的 MAC 地址结果都相同，说明成功通过 IP 地址获取了 MAC 地址，代码没有问题！



四、实验结论及心得体会

本次实验让我对于 ARP 请求-回应机制有了新的认识，通过实验验证了 ARP 获取 MAC 地址的完整过程。在实验中，很多函数都是上一次实验使用过的，对于这些函数的用法又进行了一次巩固，对于网络编程也有了更深刻的认识。