实验报告：ARP

课程名称：计算机网络	**年级**：2023 级	**实践成绩**：
指导教师：章玥	**姓名**：张建夫	
实践名称：ARP	**学号**：10235101477	**实践日期**：2024/12/9
实践编号：	**组号**：	**实践时间**：8:00~9:30

一、目的

1. 学会通过 Wireshark 获取 ARP 消息
2. 掌握 ARP 数据包结构
3. 掌握 ARP 数据包各字段的含义
4. 了解 ARP 协议适用领域

二、实验内容与实验步骤

（1）.背景知识

虽然在网络层转发分组使用的是 ip 地址，但是最终我们还是要使用 mac 地址在实际的网络线路上传输数据。所以光知道目标的 ip 地址是没有用的。而 ARP 表就是一个列表，将 ip 地址对应的 mac 地址存储在 ARP 表中。ARP 对该表进行动态维护。

IP	Mac
192.168.1.101	00-00-C0-15-AD-18
。。。（此处省略很多行）	。。。（此处省略很多行）

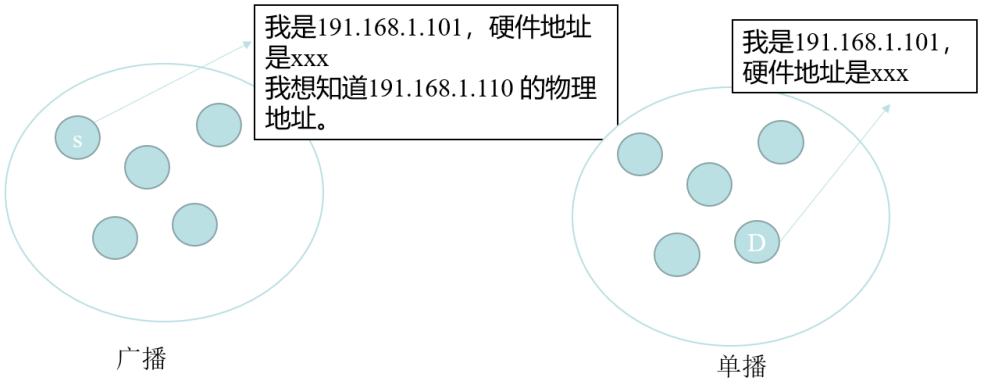
查表就会有两种情况 ：

1、命中 皆大欢喜

2、缺失

a、广播 ARP 请求。

b、更新 ARP 缓存



（2）.实验步骤：

使用管理员权限打开命令行

1. 输入 ipconfig /all，可以获得本地计算机的物理地址。

2. 输入 netstat –r，可以获得本机路由表，找到默认网关的地址。

3. 输入 arp –a，可以查看 ARP cache

4.启动 Wireshark，在菜单栏的捕获->选项中进行设置，选择已连接的以太网，设置捕获过滤器为 ARP，将混杂模式设为关闭

5.点击开始

6.输入命令 arp –d ，清空 arp 存储。然后利用命令 arp –a 检查是否成功清空了 arp 存 储。

7.然后浏览任意的网页，促使 arp 表更新。

8.在 wireshark 中捕获了 arp 报文之后，使用 wireshark 停止捕获。

三、实验环境

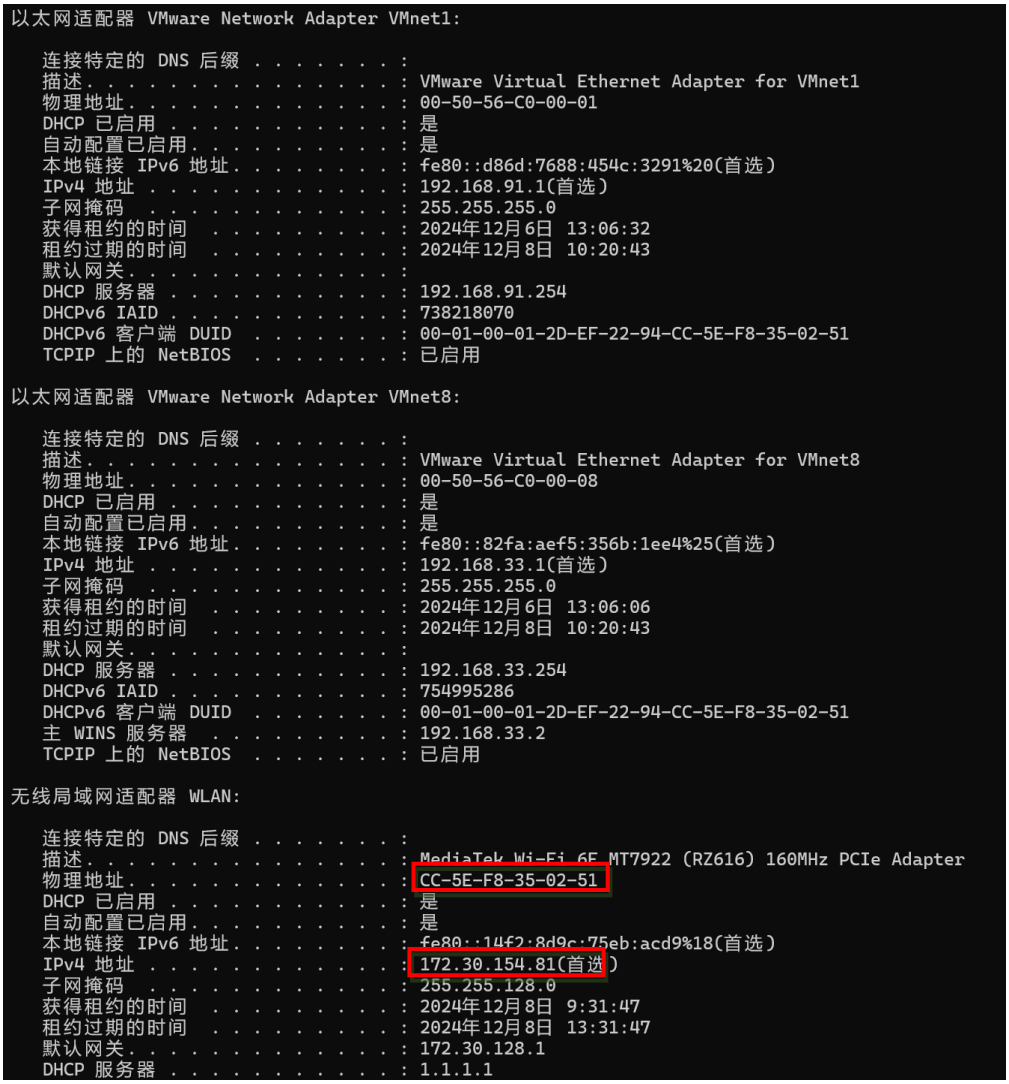
调用 dxdiag 工具：

Operating System: Windows 11 家庭中文版 64-bit (10.0, Build 22621) (22621.ni_release.220506-1250)
Language: Chinese (Simplified) (Regional Setting: Chinese (Simplified))
System Manufacturer: HP
System Model: HP Pavilion Aero Laptop 13-be2xxx
BIOS: F.13 (type: UEFI)
Processor: AMD Ryzen 5 7535U with Radeon Graphics (12 CPUs), ~2.9GHz
Memory: 16384MB RAM
Available OS Memory: 15574MB RAM
Page File: 27604MB used, 5685MB available
Windows Dir: C:\WINDOWS
DirectX Version: DirectX 12
DX Setup Parameters: Not found
User DPI Setting: 144 DPI (150 percent)
System DPI Setting: 192 DPI (200 percent)
DWM DPI Scaling: UnKnown
Miracast: Available, with HDCP
Microsoft Graphics Hybrid: Not Supported

四、实验过程与分析

执行 ipconfig /all 指令：

```
PS C:\Users\6666> ipconfig /all

Windows IP 配置

   主机名  . . . . . . . . . . . . . : LAPTOP-82UL2GQC
   主 DNS 后缀 . . . . . . . . . . . :
   节点类型  . . . . . . . . . . . . : 混合
   IP 路由已启用 . . . . . . . . . . : 否
   WINS 代理已启用 . . . . . . . . . : 否

以太网适配器 vEthernet (Default Switch):

   连接特定的 DNS 后缀 . . . . . . . :
   描述. . . . . . . . . . . . . . . : Hyper-V Virtual Ethernet Adapter
   物理地址. . . . . . . . . . . . . : 00-15-5D-20-39-02
   DHCP 已启用 . . . . . . . . . . . : 否
   自动配置已启用. . . . . . . . . . : 是
   本地链接 IPv6 地址. . . . . . . . : fe80::632a:ed04:69d:8e36%26(首选)
   IPv4 地址 . . . . . . . . . . . . : 172.29.16.1(首选)
   子网掩码  . . . . . . . . . . . . : 255.255.240.0
   默认网关. . . . . . . . . . . . . :
   DHCPv6 IAID . . . . . . . . . . . : 436213085
   DHCPv6 客户端 DUID  . . . . . . . : 00-01-00-01-2D-EF-22-94-CC-5E-F8-35-02-51
   TCPIP 上的 NetBIOS  . . . . . . . : 已启用

以太网适配器 vEthernet (WSL (Hyper-V firewall)):

   连接特定的 DNS 后缀 . . . . . . . :
   描述. . . . . . . . . . . . . . . : Hyper-V Virtual Ethernet Adapter #2
   物理地址. . . . . . . . . . . . . : 00-15-5D-72-A2-FA
   DHCP 已启用 . . . . . . . . . . . : 否
   自动配置已启用. . . . . . . . . . : 是
   本地链接 IPv6 地址. . . . . . . . : fe80::af92:6657:32af:19d6%52(首选)
   IPv4 地址 . . . . . . . . . . . . : 172.23.144.1(首选)
   子网掩码  . . . . . . . . . . . . : 255.255.240.0
   默认网关. . . . . . . . . . . . . :
   DHCPv6 IAID . . . . . . . . . . . : 872420701
   DHCPv6 客户端 DUID  . . . . . . . : 00-01-00-01-2D-EF-22-94-CC-5E-F8-35-02-51
   TCPIP 上的 NetBIOS  . . . . . . . : 已启用

无线局域网适配器 本地连接* 1:

   媒体状态  . . . . . . . . . . . . : 媒体已断开连接
   连接特定的 DNS 后缀 . . . . . . . :
   描述. . . . . . . . . . . . . . . : Microsoft Wi-Fi Direct Virtual Adapter
   物理地址. . . . . . . . . . . . . : CE-5E-F8-35-22-71
   DHCP 已启用 . . . . . . . . . . . : 是
   自动配置已启用. . . . . . . . . . : 是
```



```
以太网适配器 VMware Network Adapter VMnet1:

   连接特定的 DNS 后缀 . . . . . . . :
   描述. . . . . . . . . . . . . . . : VMware Virtual Ethernet Adapter for VMnet1
   物理地址. . . . . . . . . . . . . : 00-50-56-C0-00-01
   DHCP 已启用 . . . . . . . . . . . : 是
   自动配置已启用. . . . . . . . . . : 是
   本地链接 IPv6 地址. . . . . . . . : fe80::d86d:7688:454c:3291%20(首选)
   IPv4 地址 . . . . . . . . . . . . : 192.168.91.1(首选)
   子网掩码 . . . . . . . . . . . . : 255.255.255.0
   获得租约的时间  . . . . . . . . . : 2024年12月6日 13:06:32
   租约过期的时间  . . . . . . . . . : 2024年12月8日 10:20:43
   默认网关. . . . . . . . . . . . . :
   DHCP 服务器 . . . . . . . . . . . : 192.168.91.254
   DHCPv6 IAID . . . . . . . . . . . : 738218070
   DHCPv6 客户端 DUID  . . . . . . . : 00-01-00-01-2D-EF-22-94-CC-5E-F8-35-02-51
   TCPIP 上的 NetBIOS  . . . . . . . : 已启用

以太网适配器 VMware Network Adapter VMnet8:

   连接特定的 DNS 后缀 . . . . . . . :
   描述. . . . . . . . . . . . . . . : VMware Virtual Ethernet Adapter for VMnet8
   物理地址. . . . . . . . . . . . . : 00-50-56-C0-00-08
   DHCP 已启用 . . . . . . . . . . . : 是
   自动配置已启用. . . . . . . . . . : 是
   本地链接 IPv6 地址. . . . . . . . : fe80::82fa:aef5:356b:1ee4%25(首选)
   IPv4 地址 . . . . . . . . . . . . : 192.168.33.1(首选)
   子网掩码 . . . . . . . . . . . . : 255.255.255.0
   获得租约的时间  . . . . . . . . . : 2024年12月6日 13:06:06
   租约过期的时间  . . . . . . . . . : 2024年12月8日 10:20:43
   默认网关. . . . . . . . . . . . . :
   DHCP 服务器 . . . . . . . . . . . : 192.168.33.254
   DHCPv6 IAID . . . . . . . . . . . : 754995286
   DHCPv6 客户端 DUID  . . . . . . . : 00-01-00-01-2D-EF-22-94-CC-5E-F8-35-02-51
   主 WINS 服务器  . . . . . . . . . : 192.168.33.2
   TCPIP 上的 NetBIOS  . . . . . . . : 已启用

无线局域网适配器 WLAN:

   连接特定的 DNS 后缀 . . . . . . . :
   描述. . . . . . . . . . . . . . . : MediaTek Wi-Fi 6E MT7922 (RZ616) 160MHz PCIe Adapter
   物理地址. . . . . . . . . . . . . : CC-5E-F8-35-02-51
   DHCP 已启用 . . . . . . . . . . . : 是
   自动配置已启用. . . . . . . . . . : 是
   本地链接 IPv6 地址. . . . . . . . : fe80::14f2:8d9c:75eb:acd9%18(首选)
   IPv4 地址 . . . . . . . . . . . . : 172.30.154.81(首选)
   子网掩码 . . . . . . . . . . . . : 255.255.128.0
   获得租约的时间  . . . . . . . . . : 2024年12月8日 9:31:47
   租约过期的时间  . . . . . . . . . : 2024年12月8日 13:31:47
   默认网关. . . . . . . . . . . . . : 172.30.128.1
   DHCP 服务器 . . . . . . . . . . . : 1.1.1.1
```

得到 mac 物理地址：CC-5E-F8-35-02-51

得到 ipv4 地址：172.30.154.81

再执行 netstat -r：

```
===========================================================================
接口列表
 26...00 15 5d 20 39 02 ......Hyper-V Virtual Ethernet Adapter
 52...00 15 5d 72 a2 fa ......Hyper-V Virtual Ethernet Adapter #2
 13...ce 5e f8 35 22 71 ......Microsoft Wi-Fi Direct Virtual Adapter
 20...00 50 56 c0 00 01 ......VMware Virtual Ethernet Adapter for VMnet1
 25...00 50 56 c0 00 08 ......VMware Virtual Ethernet Adapter for VMnet8
 18...cc 5e f8 35 02 51 ......MediaTek Wi-Fi 6E MT7922 (RZ616) 160MHz PCIe Adapter
  1...........................Software Loopback Interface 1
===========================================================================

IPv4 路由表
===========================================================================
活动路由:
网络目标        网络掩码          网关       接口   跃点数
          0.0.0.0          0.0.0.0     172.30.128.1    172.30.154.81     40
        127.0.0.0        255.0.0.0         在链路上         127.0.0.1    331
        127.0.0.1  255.255.255.255         在链路上         127.0.0.1    331
  127.255.255.255  255.255.255.255         在链路上         127.0.0.1    331
     172.23.144.0    255.255.240.0         在链路上      172.23.144.1    271
     172.23.144.1  255.255.255.255         在链路上      172.23.144.1    271
   172.23.159.255  255.255.255.255         在链路上      172.23.144.1    271
     172.29.16.0    255.255.240.0         在链路上       172.29.16.1    271
     172.29.16.1  255.255.255.255         在链路上       172.29.16.1    271
    172.29.31.255  255.255.255.255         在链路上       172.29.16.1    271
     172.30.128.0    255.255.128.0         在链路上     172.30.154.81    296
    172.30.154.81  255.255.255.255         在链路上     172.30.154.81    296
   172.30.255.255  255.255.255.255         在链路上     172.30.154.81    296
     192.168.33.0    255.255.255.0         在链路上      192.168.33.1    291
     192.168.33.1  255.255.255.255         在链路上      192.168.33.1    291
   192.168.33.255  255.255.255.255         在链路上      192.168.33.1    291
     192.168.91.0    255.255.255.0         在链路上      192.168.91.1    291
     192.168.91.1  255.255.255.255         在链路上      192.168.91.1    291
   192.168.91.255  255.255.255.255         在链路上      192.168.91.1    291
        224.0.0.0        240.0.0.0         在链路上         127.0.0.1    331
        224.0.0.0        240.0.0.0         在链路上      192.168.91.1    291
        224.0.0.0        240.0.0.0         在链路上      192.168.33.1    291
        224.0.0.0        240.0.0.0         在链路上       172.29.16.1    271
        224.0.0.0        240.0.0.0         在链路上      172.23.144.1    271
        224.0.0.0        240.0.0.0         在链路上     172.30.154.81    296
  255.255.255.255  255.255.255.255         在链路上         127.0.0.1    331
  255.255.255.255  255.255.255.255         在链路上      192.168.91.1    291
  255.255.255.255  255.255.255.255         在链路上      192.168.33.1    291
  255.255.255.255  255.255.255.255         在链路上       172.29.16.1    271
  255.255.255.255  255.255.255.255         在链路上      172.23.144.1    271
  255.255.255.255  255.255.255.255         在链路上     172.30.154.81    296
===========================================================================
```

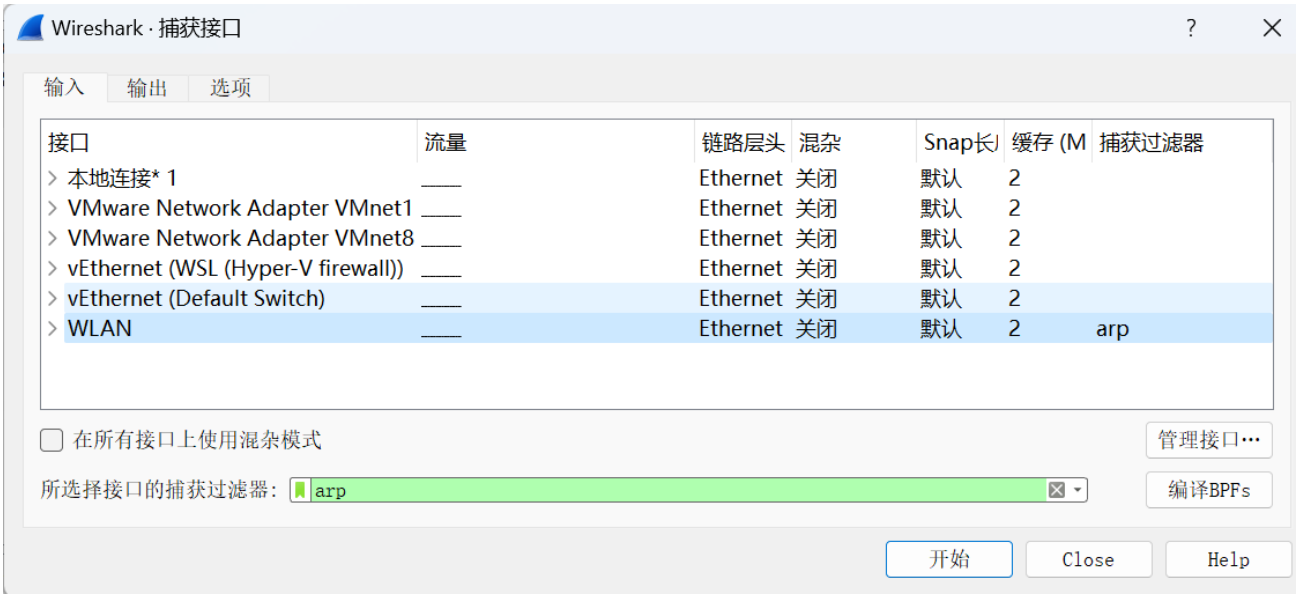
得到默认网关：172.30.128.1

```
IPv6 路由表
===========================================================================
活动路由:
 接口跃点数网络目标                网关
  1    331 ::1/128                 在链路上
 20    291 fe80::/64               在链路上
 25    291 fe80::/64               在链路上
 26    271 fe80::/64               在链路上
 52    271 fe80::/64               在链路上
 18    296 fe80::/64               在链路上
 18    296 fe80::14f2:8d9c:75eb:acd9/128
                                   在链路上
 26    271 fe80::632a:ed04:69d:8e36/128
                                   在链路上
 25    291 fe80::82fa:aef5:356b:1ee4/128
                                   在链路上
 52    271 fe80::af92:6657:32af:19d6/128
                                   在链路上
 20    291 fe80::d86d:7688:454c:3291/128
                                   在链路上
  1    331 ff00::/8                在链路上
 20    291 ff00::/8                在链路上
 25    291 ff00::/8                在链路上
 26    271 ff00::/8                在链路上
 52    271 ff00::/8                在链路上
 18    296 ff00::/8                在链路上
===========================================================================
永久路由:
  无
```

再执行 arp -a 命令：

```
PS C:\Users\6666> arp -a

接口： 172.30.154.81 --- 0x12
  Internet 地址         物理地址              类型
  172.30.128.1          54-c6-ff-7b-38-02     动态
  172.30.255.255        ff-ff-ff-ff-ff-ff     静态
  224.0.0.2             01-00-5e-00-00-02     静态
  224.0.0.22            01-00-5e-00-00-16     静态
  224.0.0.251           01-00-5e-00-00-fb     静态
  224.0.0.252           01-00-5e-00-00-fc     静态
  239.255.255.250       01-00-5e-7f-ff-fa     静态
  255.255.255.255       ff-ff-ff-ff-ff-ff     静态

接口： 192.168.91.1 --- 0x14
  Internet 地址         物理地址              类型
  192.168.91.254        00-50-56-e0-72-a7     动态
  192.168.91.255        ff-ff-ff-ff-ff-ff     静态
  224.0.0.2             01-00-5e-00-00-02     静态
  224.0.0.22            01-00-5e-00-00-16     静态
  224.0.0.251           01-00-5e-00-00-fb     静态
  224.0.0.252           01-00-5e-00-00-fc     静态
  224.0.1.60            01-00-5e-00-01-3c     静态
  239.192.152.143       01-00-5e-40-98-8f     静态
  239.255.255.250       01-00-5e-7f-ff-fa     静态
  255.255.255.255       ff-ff-ff-ff-ff-ff     静态

接口： 192.168.33.1 --- 0x19
  Internet 地址         物理地址              类型
  192.168.33.129        00-0c-29-4e-81-2a     动态
  192.168.33.254        00-50-56-fd-55-b8     动态
  192.168.33.255        ff-ff-ff-ff-ff-ff     静态
  224.0.0.2             01-00-5e-00-00-02     静态
  224.0.0.22            01-00-5e-00-00-16     静态
  224.0.0.251           01-00-5e-00-00-fb     静态
  224.0.0.252           01-00-5e-00-00-fc     静态
  224.0.1.60            01-00-5e-00-01-3c     静态
  239.192.152.143       01-00-5e-40-98-8f     静态
  239.255.255.250       01-00-5e-7f-ff-fa     静态
  255.255.255.255       ff-ff-ff-ff-ff-ff     静态

接口： 172.29.16.1 --- 0x1a
  Internet 地址         物理地址              类型
  172.29.31.255         ff-ff-ff-ff-ff-ff     静态
  224.0.0.2             01-00-5e-00-00-02     静态
  224.0.0.22            01-00-5e-00-00-16     静态
  224.0.0.251           01-00-5e-00-00-fb     静态
  239.255.255.250       01-00-5e-7f-ff-fa     静态
  255.255.255.255       ff-ff-ff-ff-ff-ff     静态

接口： 172.23.144.1 --- 0x34
  Internet 地址         物理地址              类型
  172.23.148.136        00-15-5d-09-98-05     动态
  172.23.159.255        ff-ff-ff-ff-ff-ff     静态
  224.0.0.2             01-00-5e-00-00-02     静态
  224.0.0.22            01-00-5e-00-00-16     静态
  224.0.0.251           01-00-5e-00-00-fb     静态
```

调整 wireshark 设置：



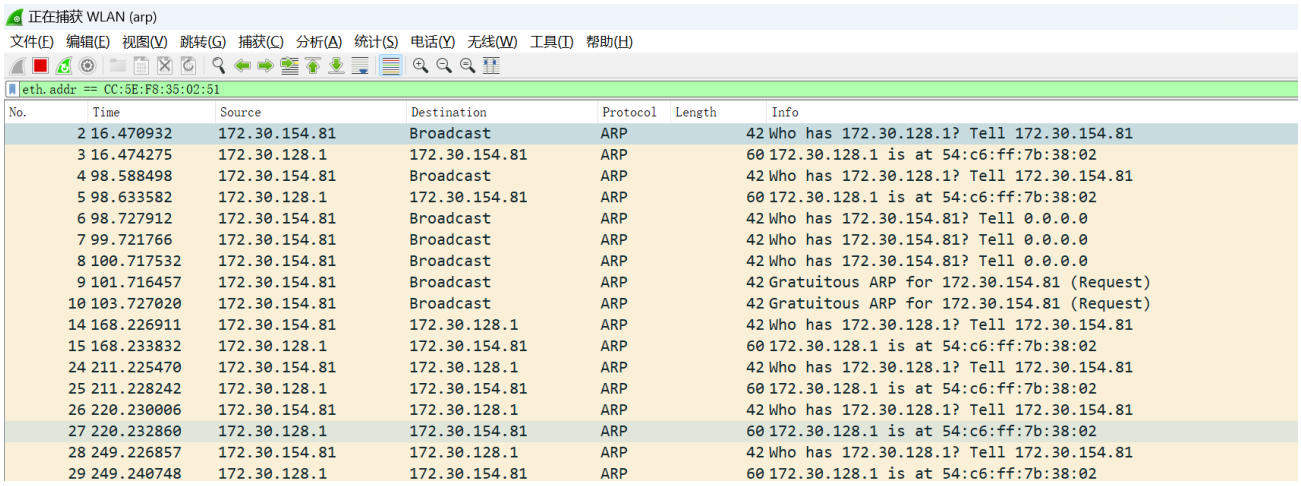
先后执行 arp -d 和 arp -a：

```
PS C:\Users\6666> arp -d
PS C:\Users\6666> arp -a

接口: 172.30.154.81 --- 0x12
  Internet 地址         物理地址              类型
  172.30.128.1          54-c6-ff-7b-38-02     动态
  224.0.0.22            01-00-5e-00-00-16     静态

接口: 192.168.91.1 --- 0x14
  Internet 地址         物理地址              类型
  224.0.0.22            01-00-5e-00-00-16     静态

接口: 192.168.33.1 --- 0x19
  Internet 地址         物理地址              类型
  224.0.0.22            01-00-5e-00-00-16     静态
```

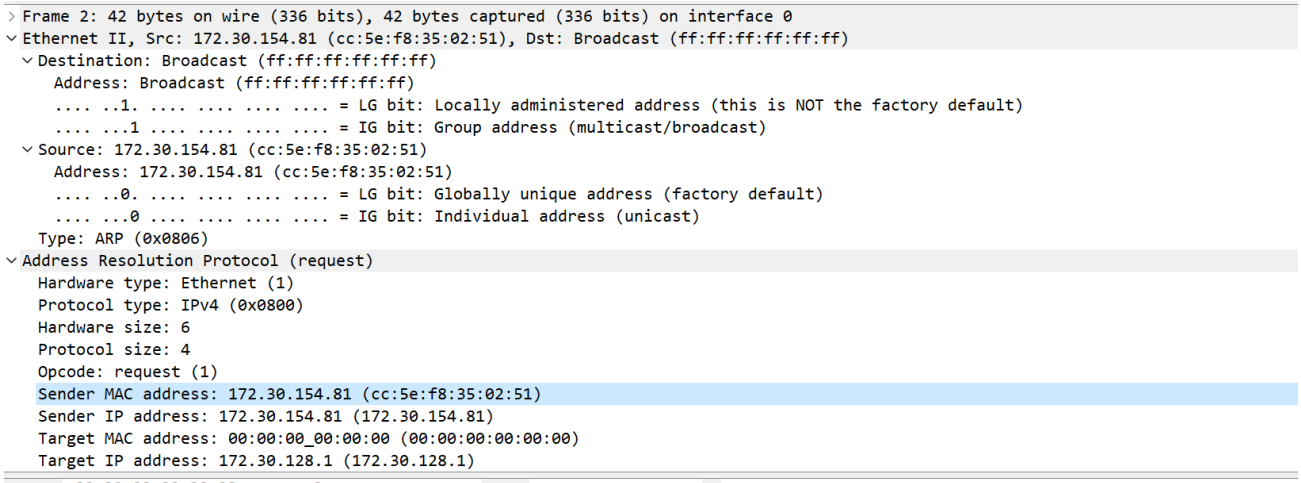
五、实验结果总结

（1）. 实验结果分析 分析 Wireshark 捕获到的 arp 报文：

1、 通过语句“eth.addr==01:02:03:04:05:06”的形式，在 wireshark 中设置过滤器，找出与自己 mac 地址相关的 arp 报文。 Arp 报文包括请求报文和应答报文，仔细分析两种报文的格式。



请求报文：



可以看到，arp 报文有三层结构（物理层，数据链路层，网络层），数据链路层部分为以太网帧格式（其上层协议类型为 arp 协议（type 字段中可以观察到）），网络层部分为 arp 协议特有格式

arp 请求报文的网络层格式如下：

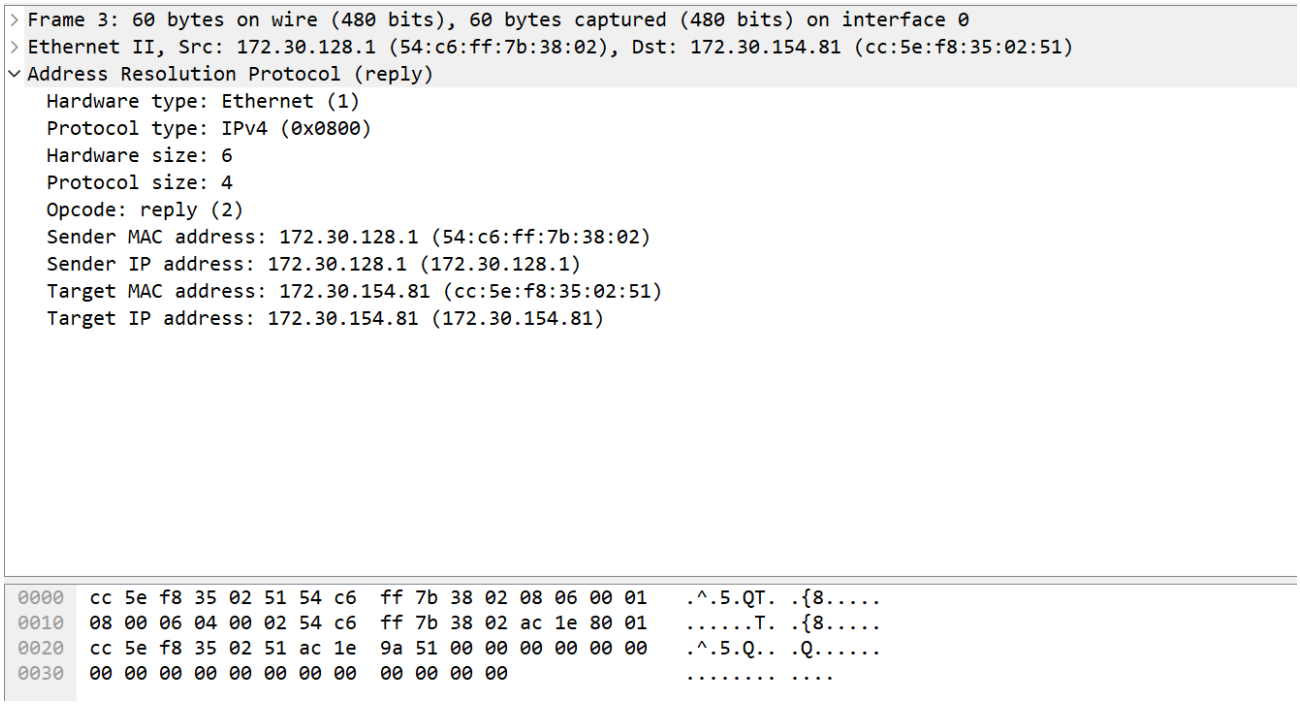
arp 头部：

2 字节 硬件类型（以太网，0x0001）	2 字节 上层协议（ipv4，0x0800）	1 字节 mac 地址长度 0x06	1 字节 ip 地址长度 0x04
2 字节 操作类型 0x0001			

arp 内容：

6 字节 源 mac 地址 0xcc5e f835 0251	4 字节 源 ip 地址 0xac1e 9a51	6 字节 目的 mac 地址 0x0000 0000 0000	4 字节 目的 ip 地址 0xac1e 8001

应答报文：



可以看出，应答报文也是由三层组成，数据链路层也是以太网帧格式，网络层部分中的操作类型（opcode）变为了 reply 类型，并在报文的最后多了 18 字节的 padding（全是 0），其他格式上基本一样。

arp 头部：

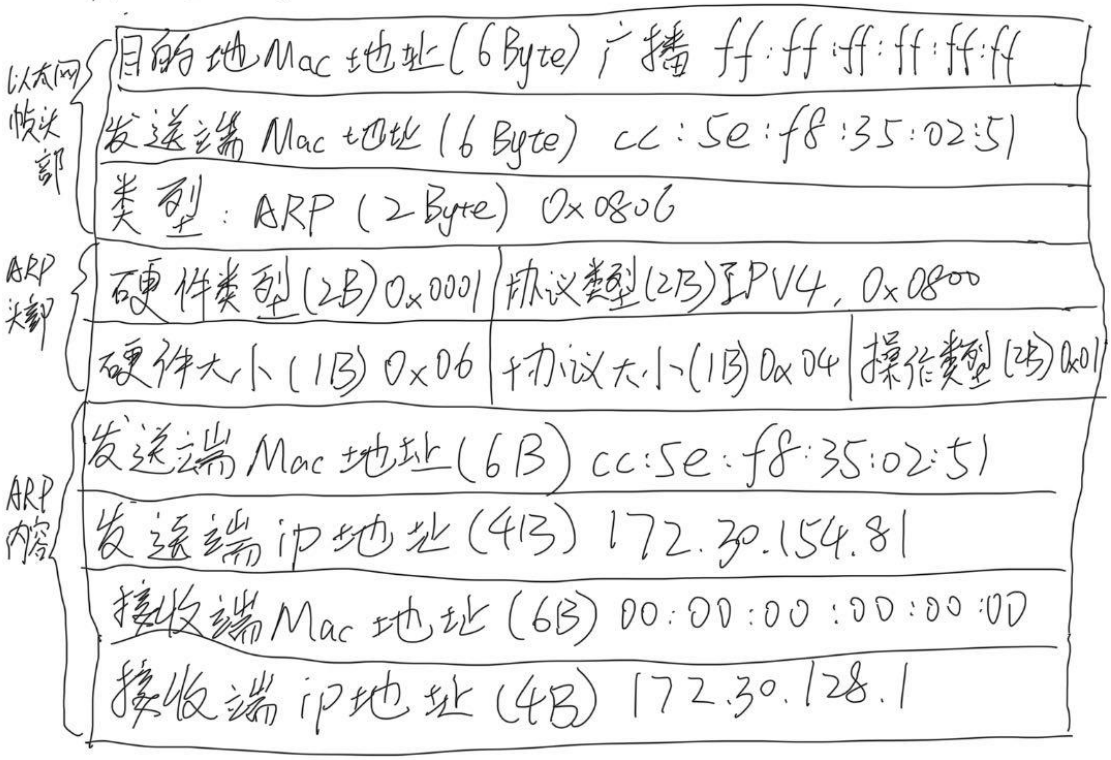
2 字节 硬件类型（以太网，0x0001）	2 字节 上层协议（ipv4，0x0800）	1 字节 mac 地址长度 0x06	1 字节 ip 地址长度 0x04
2 字节 操作类型 0x0002			

arp 内容：

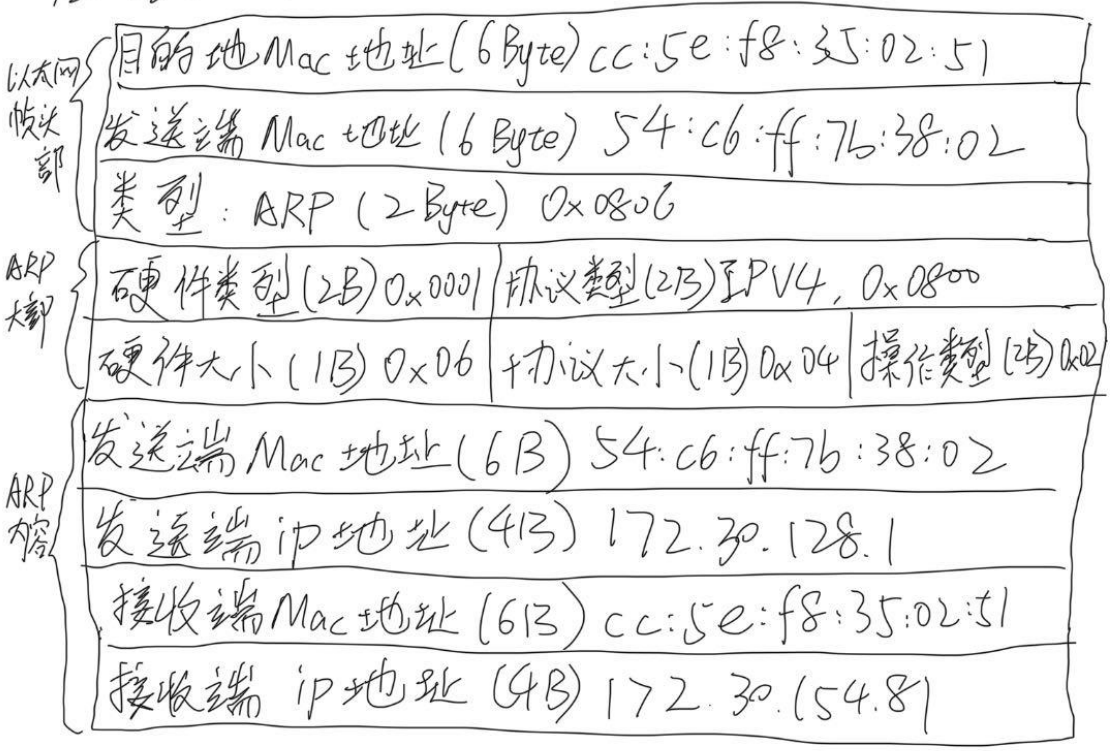
6 字节 源 mac 地址 0x54c6 ff7b 3802	4 字节 源 ip 地址 0xac1e 8001	6 字节 目的 mac 地址 0xcc5e f835 0251	4 字节 目的 ip 地址 0x ac1e 9a51

2. 画出你的计算机和本地路由间 ARP 的请求和应答数据包，标记出请求和应答，为每个数据包给出 发送者和接受者的 MAC 和 IP 地址。

请求报文：



应答报文：



其中应答报文中的 padding 填充字段部分由于全是 0 就不再画出

3. 分析报文，回答问题：
a.什么样的操作码是用来表示一个请求？应答呢？
答：请求：0x0001 应答：0x0002

b.一个请求的 ARP 的报头有多大？应答呢？
答：请求报头：包括 16 字节以太网头部和 8 字节 ARP 头部；
应答数据包报头与请求类似，但结尾处多了 18 字节的 padding。

c.对未知目标的 MAC 地址的请求是什么值？
答：由请求报文的结构可以得知，是 00：00：00：00：00：00。

d.什么以太网类型值说明 ARP 是更高一层的协议？
答：Type 字段：0x0806 标注了以太网更高一层是 ARP。

f.ARP 应答是广播吗？
答：不是。应答的目的地址是请求帧的源地址。

思考题：
去除过滤器，我们发现还有更多的 arp 报文。请研究这些额外的 arp 报文中，有什么其他的功能作用。
对于其他的 arp 报文，还有 gratuitous arp 报文，这种报文也分为请求和应答两种，如下所示：
请求报文：

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
9	101.716457	172.30.154.81	Broadcast	ARP	42	Gratuitous ARP for 172.30.154.81 (Request)
10	103.727020	172.30.154.81	Broadcast	ARP	42	Gratuitous ARP for 172.30.154.81 (Request)
11	106.971192	44:ae:25:1e:8f:c5	Broadcast	ARP	42	Gratuitous ARP for 0.0.0.0 (Request)
12	110.926037	44:ae:25:1e:8f:c5	Broadcast	ARP	42	Gratuitous ARP for 0.0.0.0 (Request)

```
> Frame 9: 42 bytes on wire (336 bits), 42 bytes captured (336 bits) on interface 0
> Ethernet II, Src: 172.30.154.81 (cc:5e:f8:35:02:51), Dst: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)
v Address Resolution Protocol (request/gratuitous ARP)
    Hardware type: Ethernet (1)
    Protocol type: IPv4 (0x0800)
    Hardware size: 6
    Protocol size: 4
    Opcode: request (1)
    [Is gratuitous: True]
    Sender MAC address: 172.30.154.81 (cc:5e:f8:35:02:51)
    Sender IP address: 172.30.154.81 (172.30.154.81)
    Target MAC address: 00:00:00_00:00:00 (00:00:00:00:00:00)
    Target IP address: 172.30.154.81 (172.30.154.81)
```

应答报文：

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	44:ae:25:1e:8f:c5	Broadcast	ARP	42	Gratuitous ARP for 172.30.128.1 (Reply)
2	16.470932	172.30.154.81	Broadcast	ARP	42	Who has 172.30.128.1? Tell 172.30.154.81
3	16.474275	172.30.128.1	172.30.154.81	ARP	60	172.30.128.1 is at 54:c6:ff:7b:38:02
4	98.588498	172.30.154.81	Broadcast	ARP	42	Who has 172.30.128.1? Tell 172.30.154.81

```
> Frame 1: 42 bytes on wire (336 bits), 42 bytes captured (336 bits) on interface 0
> Ethernet II, Src: 44:ae:25:1e:8f:c5 (44:ae:25:1e:8f:c5), Dst: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)
v Address Resolution Protocol (reply/gratuitous ARP)
    Hardware type: Ethernet (1)
    Protocol type: IPv4 (0x0800)
    Hardware size: 6
    Protocol size: 4
    Opcode: reply (2)
    [Is gratuitous: True]
    Sender MAC address: 172.30.128.1 (54:c6:ff:7b:38:02)
    Sender IP address: 172.30.128.1 (172.30.128.1)
    Target MAC address: 26:52:03:b2:04:92 (26:52:03:b2:04:92)
    Target IP address: 172.30.128.1 (172.30.128.1)
```

从上两图可以看出 gratuitous arp 与正常的 arp 协议格式相同，且的发送端 ip 和接收端 ip 是相同的，gratuitous arp 实际上是告诉局域网内的其他主机自己的 mac 地址与 ip 地址，由此可以得知该 arp 的作用主要有两个：

1. 防止局域网内存在主机的 ip 地址和本机的 ip 地址相同，预防冲突，由于 target ip 就是自己的 ip，当别的主机收到这个 arp 包发现是自己的 ip 时，再对照发送端的 ip 就能知道该局域网内存在 ip 冲突，同时应答一个 arp 包告诉先前的主机 ip 发生冲突来执行应对措施
2. 当本机更换了物理地址（mac 地址）时，本机可以通过该 arp 协议告诉局域网内的其他主机自己的 mac 地址更换了，让其他主机更新自己的 arp 缓存表。

六、个人总结

本次实验让我详细的了解了 ARP 协议的工作原理，学会使用各种命令获得默认的 MAC 地址，IPv4 地址，默认网关地址，同时也学会使用 arp-a/-d 对 arp cache 进行操作，并熟练的掌握了 ARP 报头的结构和内容，了解各个字段的含义。我还较为深入地了解了 gratuitous arp 的用处，了解了 arp 协议的相关缺陷，并对 arp 欺骗进行了简单的了解。