计算机网络实验四：IPv4 路由器实验报告

一、实验目的

1. 理解IPv4路由器的基本工作原理
2. 实现一个基本的IPv4路由器，包括：
   - 静态路由表的加载和查询
   - ARP缓存表的维护
   - IP数据包的转发
   - ARP请求和响应的处理

二、实验环境

- 编程语言：Python3
- 网络模拟框架：Switchyard
- 网络拓扑：

```
server1
       \
        router----client
       /
server2
```

三、实验内容与实现

3.1 路由器基本结构

路由器类（Router）的主要组件包括：

1. 接口信息管理

```
self.interfaces = self.net.interfaces()
self.ip_mac_map = {}
for intf in self.interfaces:
 self.ip_mac_map[intf.ipaddr] = intf.ethaddr
```

2. ARP缓存表

```
self.arp_table = {}  # 格式: {ip: (mac, timestamp)}
self.arp_timeout = 100  # ARP表项超时时间（秒）
self.arp_retry_count = 5  # ARP请求重试次数
self.arp_request_timeout = 1.0  # ARP请求超时时间（秒）
```

3. 转发表管理

```
self.forwarding_table = []  # 存储转发表项
```

3.2 关键功能实现

3.2.1 转发表加载与查询

1. 加载转发表：

```
def load_forwarding_table(self):
 with open('forwarding_table.txt', 'r') as f:
     for line in f:
         network, netmask, nexthop, interface = line.strip().split()
         entry = {
             'network': IPv4Address(network),
             'netmask': IPv4Address(netmask),
             'nexthop': IPv4Address(nexthop) if nexthop != '-' else None,
             'interface': interface
         }
         self.forwarding_table.append(entry)
```

2. 最长前缀匹配查询：

```
def lookup_forwarding_table(self, ip_addr):
 longest_match = None
 longest_prefix_len = -1

 for entry in self.forwarding_table:
     network_bits = IPv4Address(int(entry['netmask']))._ip
     prefix_len = bin(network_bits).count('1')

     if int(ip_addr) & int(entry['netmask']) == int(entry['network']):
         if prefix_len > longest_prefix_len:
             longest_prefix_len = prefix_len
             longest_match = entry

 return longest_match
```

3.2.2 ARP表维护

1. ARP表更新：

```
def update_arp_table(self):
 current_time = time.time()
 to_delete = []
 for ip, (mac, timestamp) in self.arp_table.items():
     if current_time - timestamp > self.arp_timeout:
         to_delete.append(ip)
 for ip in to_delete:
     del self.arp_table[ip]
```

2. ARP请求发送：

```
def send_arp_request(self, target_ip, interface):
 arp_request = create_ip_arp_request(
     self.ip_mac_map[interface.ipaddr],
     interface.ipaddr,
     target_ip
 )
 self.net.send_packet(interface.name, arp_request)
```

3.2.3 **数据包处理**

1. ARP包处理：

- 更新ARP缓存表

- 处理ARP请求并发送响应
- 定期清理过期表项

2. IP包转发：

- 检查TTL
- 查找转发表
- 确定下一跳
- 获取MAC地址（缓存或ARP请求）
- 转发数据包

3.3 关键算法说明

1. 最长前缀匹配算法：
    - 遍历所有转发表项
    - 计算网络前缀长度
    - 检查IP地址是否匹配当前表项
    - 更新最长匹配结果
2. ARP缓存更新策略：
    - 使用时间戳记录每个表项的创建时间
    - 定期检查并删除超时表项
    - 接收到ARP响应时更新表项

四、实验结果与分析

4.1 功能验证

路由器实现了以下功能：

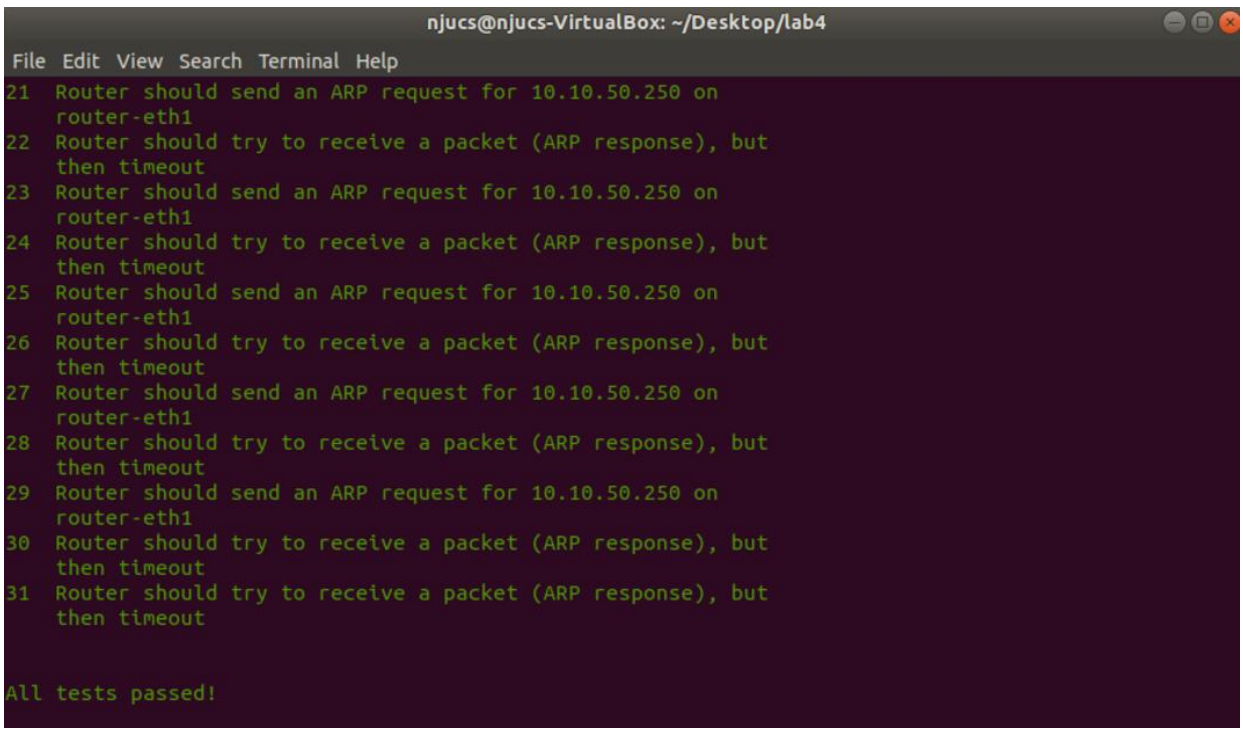
1. 正确加载和解析转发表
2. 维护ARP缓存表
3. 处理ARP请求和响应
4. 转发IP数据包
5. 实现最长前缀匹配

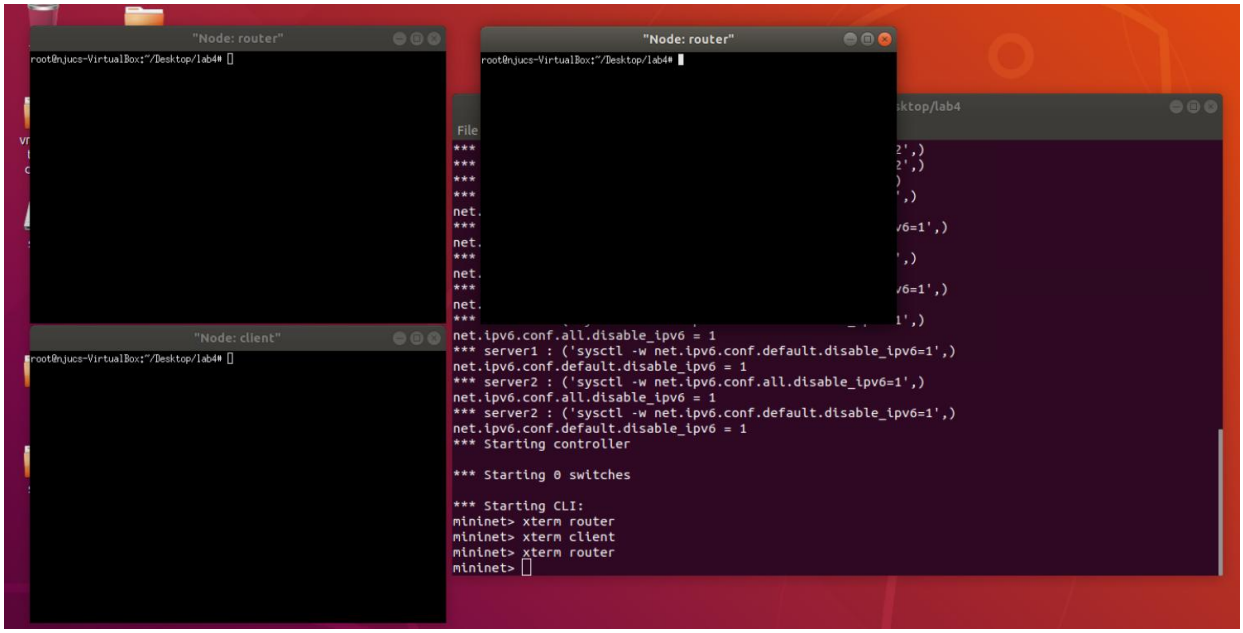
4.2 性能分析

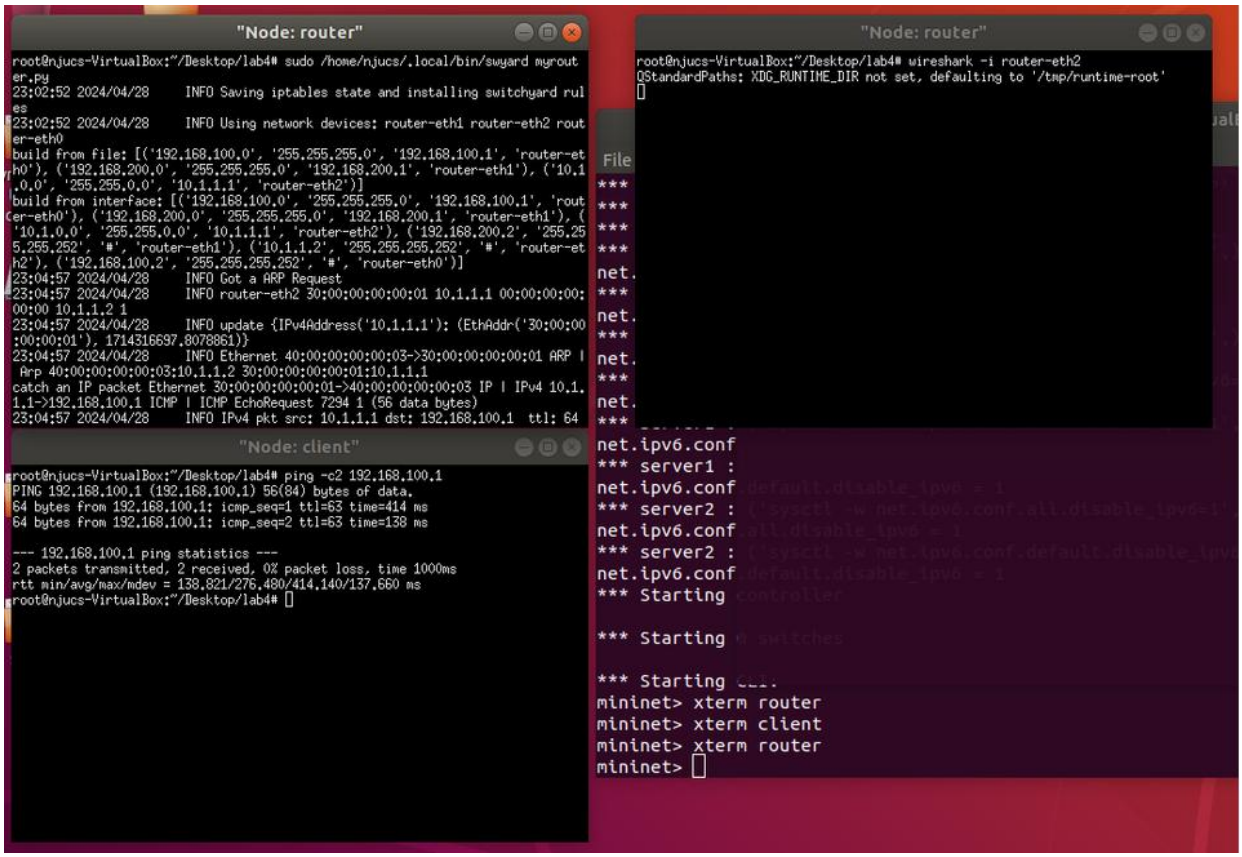
1. ARP缓存：
    - 超时时间设置为100秒
    - 使用哈希表存储，查询效率O(1)
    - 定期清理机制避免内存占用过大
2. 转发表查询：
    - 使用线性查找实现最长前缀匹配
    - 时间复杂度O(n)，n为转发表项数
    - 可通过前缀树等数据结构优化

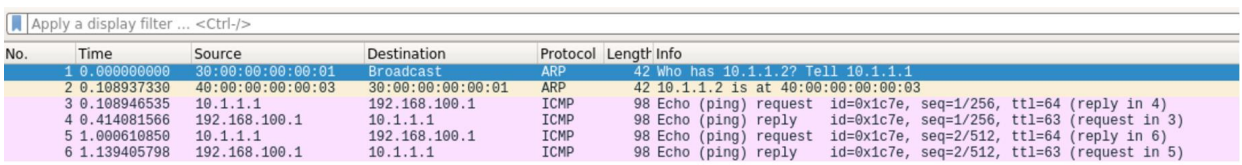
五、问题与解决方案

1. ARP请求超时处理：
    - 问题：ARP请求可能失败
    - 解决：实现重试机制，最多重试5次
2. 转发表查询效率：
    - 问题：线性查找效率较低
    - 解决：可以考虑使用前缀树优化









六、总结与展望

6.1 实验总结

成功实现了一个基本的IPv4路由器，包括：

- 静态路由表管理
- ARP协议处理
- IP数据包转发
- 最长前缀匹配

6.2 可能的改进

1. 性能优化：
    - 使用前缀树优化路由表查询
    - 优化ARP缓存管理
2. 功能扩展：
    - 支持动态路由协议
    - 实现ICMP处理
    - 添加访问控制功能