

# 软件实验第二、三阶段 Router-Lab

路由器实验团队



计算机网络  
教案社区



# 主要内容

---

1. 实验目标
2. 实验内容
3. 实验平台
4. 实验文档





## 实验目标



- 本实验目标是在以下三个选项中，选择完成一个
  - RIPng 路由器
    - 实现 RIPng 路由协议，宣告和更新路由表
    - 根据动态路由表，实现 IPv6 分组转发
  - DHCPv6 服务器
    - 实现 IPv6 ND 和 DHCPv6 协议，为客户端分配动态 IPv6 地址
    - 根据静态路由表，实现 IPv6 分组转发（框架提供）
  - TFTP 客户端和服务端
    - 客户端：实现 TFTP 协议，上传和下载文件
    - 服务端：实现 TFTP 协议，处理多个客户端的上传和下载请求



## 实验目标（续）

---



### ➤ 第二阶段

- 个人：与已有的成熟软件进行测试
- 时间：校历第 10 周到第 12 周（5 月 14 日 22:00:00）

### ➤ 第三阶段

- 个人：与其他八名同学的软件进行测试
- 时间：校历第 13 周到第 14 周（5 月 28 日 22:00:00）

### ➤ 学术道德

- 参考网上代码请注明出处
- 横向（同学代码）+纵向（往届代码）查重
- 实验中的所有Commit都会作为查重依据
- **严禁抄袭！抄袭被认定后实验计零分！**



## 实验内容

---



### ➤ 真机评测 (个人+互联各 40% 分数)

- 截止日期都是**当周周日北京时间晚上 22 点整**
- 在云端**真实硬件**上运行和测试
- 个人：与成熟的标准实现进行测试
- 互联：与其他八名同学的实现进行测试

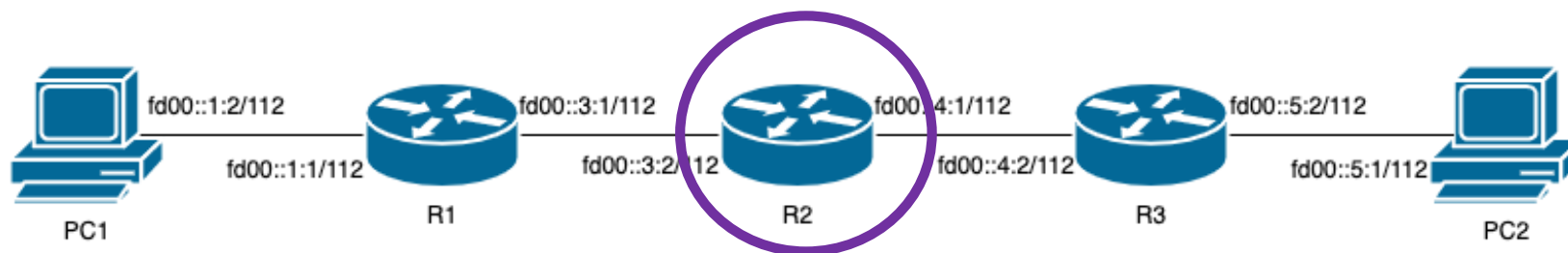
### ➤ 实验前请更新代码仓库!



# 实验内容——选项一

## ➤ 实现 RIPng 协议的路由器

- 初始时, R1、R2 和 R3 都只有自身的直连路由
  - 如 R1 有 fd00::1:0/112 dev r1pc1 路由
  - 表示目标 IP 地址可达
- 目标: R1 获得到 PC2 的路由、R3 获得到 PC1 的路由
  - 比如 R1 学习到 fd00::5:0/112 via fd00::3:2 dev r1r2
- 表现: PC1 可以访问 PC2

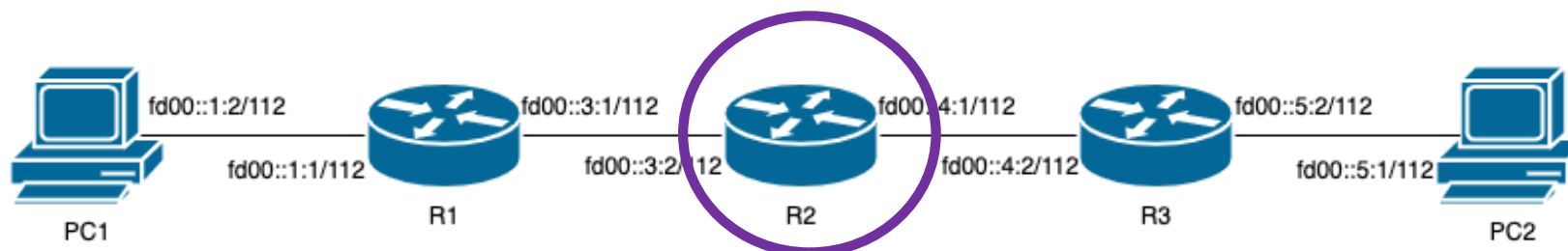




# 实验内容——选项一

## ➤ 实现 ICMPv6 协议 RFC4443

- PING功能实现，对 ICMPv6 Echo Request 进行 ICMPv6 Echo Reply 的回复
- 找不到路由，回复 ICMPv6 Destination Unreachable (No route to destination)
- 分组TTL归零，回复 ICMPv6 Time Exceeded (Hop limit exceeded in transit)





# 真机实验部分简介



- 核心内容已经在第一部分实现
  - RIPng 协议的解析和封装
  - 路由表的插入, 删除, 查询
  - IPv6分组的checksum重新计算
- 真机部分的工作是将各组件用主循环组合起来
  - 数据面: IP分组转发功能 (TTL减一, 查表, 转发; 处理异常)
  - 控制面: RIPng 协议功能 (路由表维护, RIPng 交互处理)  
ICMPv6功能 (PING功能实现, 转发异常时通知源地址)





# 实验内容——选项一



## ➤ 实现 RIPng 协议的路由器

### • 评测内容:

- 网络中的设备能否互相访问 (Ping, TCP)
- 路由器的路由表是否正确
- ICMP 处理是否正确 (Hop Limit, Echo Reply)
- 转发性能
- 见实验文档

### • 评分

- 功能类: 90%, 性能类10%

### • 如何调试:

- 按照文档讲述的流程, 在本地启动一个虚拟的网络环境, 在其中重现评测的流程



# 实验内容——选项一



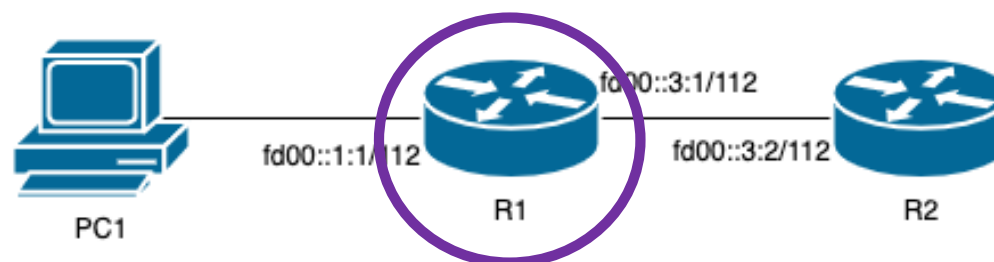
## ➤ 难点和易错点

- 转发：理解二层三层关系，转发分组变的是什么 (mac, TTL, checksum)
- 路由表：更新路由表项使用精确匹配，转发使用最长前缀匹配查询
- RIPng分组构造：正确的切分大路由表
- 水平分割和毒性逆转
  - 怎么处理 Metric=16 的条目？不可达还是毒性逆转？判断来源
  - 特别注意阅读 RFC2080 的 Section 2.4 Input Processing 和 2.6 Split Horizon
- ICMPv6：A.响应 Ping、B.Hop Limit 降为 0、C.目标地址无路由匹配
- 字节序问题：
  - 用Wireshark / Tshark解析，观察字节序
  - 建议使用ntohs、htons等函数转换字节序
- 空指针问题：第一阶段大部分Segmentation Fault || 输出中断



## 实验内容——选项二

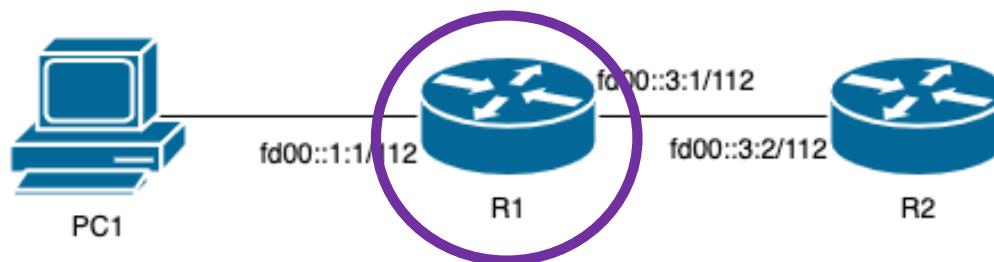
- 实现 DHCPv6 协议的路由器
  - 初始时, PC1 没有 IPv6 地址
  - R1 负责给 PC1 分配动态的 IPv6 地址
  - PC1 上运行 DHCPv6 客户端
  - 目标: PC1 获得 IPv6 地址和默认路由
    - PC1 得到 IPv6 地址 fd00::1:2/112, 默认网关 fd00::1:1
  - 表现: PC1 可以访问 R2





## 实验内容——选项二

- 实现 IPv6 ND 协议 RFC4861
  - 收到 Router Solicitation, 回复 Router Advertisement, 表明自己是路由器
- 实现 DHCPv6 协议 RFC8415
  - 收到 DHCPv6 Solicit, 回复 DHCPv6 Advertise, 表明自己是DHCPv6 服务器
  - 收到 DHCPv6 Request, 回复 DHCPv6 Reply, 分配动态 IPv6 地址





## 实验内容——选项二



- 核心内容已经在第一阶段实现
  - Link Local地址计算
  - 路由表的插入, 删除, 查询
  - IPv6 分组的 checksum 重新计算
- 真机部分的工作是将各组件用主循环组合起来
  - IPv6 分组转发功能 (框架提供)
  - ICMPv6 协议功能 (PING功能实现, 转发异常时通知源地址, 可选)
  - IPv6 ND 协议功能 (回复 Router Advertisement 报文)
  - DHCPv6 协议功能 (回复 DHCPv6 Advertise 和 DHCPv6 Reply报文)



## 实验内容——选项二

---



- 实现 DHCPv6 协议的路由器
  - 评测内容：
    - 是否正确响应 ICMPv6 RS
    - 能否正确通过 DHCPv6 协议分配 IPv6 地址
    - PC1 能否访问 R2 (Ping)
    - 转发性能
    - 见实验文档
  - 评分
    - 功能类：90%，性能类10%
  - 如何调试：
    - 按照文档讲述的流程，在本地启动一个虚拟的网络环境，在其中重现评测的流程



# 实验内容——选项二



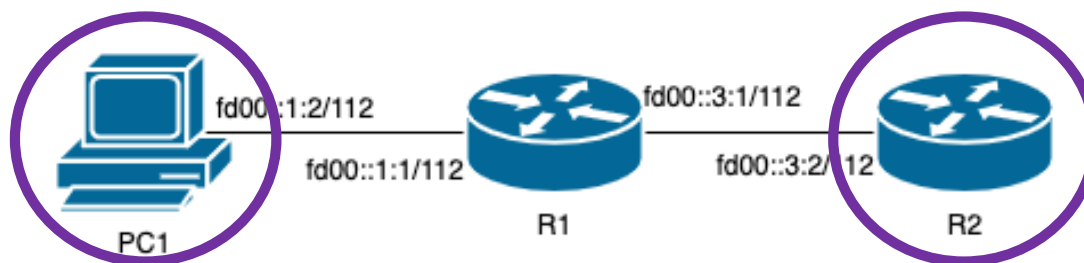
## ➤ 难点和易错点

- 报文解析：
  - DUID、IAID的位置？如何解析？参照RFC8415 section-21.2和section21.4
- 报文构造：
  - 注意字段偏移和字段大小
  - 建议使用in6\_addr、nd\_router\_advert、nd\_opt\_mtu等结构体简化报文构造
- 常量：
  - 查阅 RFC 了解协议对应端口号、报文类型
- 字节序问题：
  - 用Wireshark / Tshark解析，观察字节序
  - 建议使用ntohs、htons等函数转换字节序
- 空指针问题：第一阶段大部分Segmentation Fault || 输出中断



## 实验内容——选项三

- 实现 TFTP 协议的客户端和服务端
  - TFTP 协议是基于 UDP 的文件传输协议
  - 带有简单的重传机制
  - 目标：
    - 客户端可以从服务端下载文件
    - 客户端可以向服务端上传文件
  - 客户端运行在 PC1，服务端运行在 R2



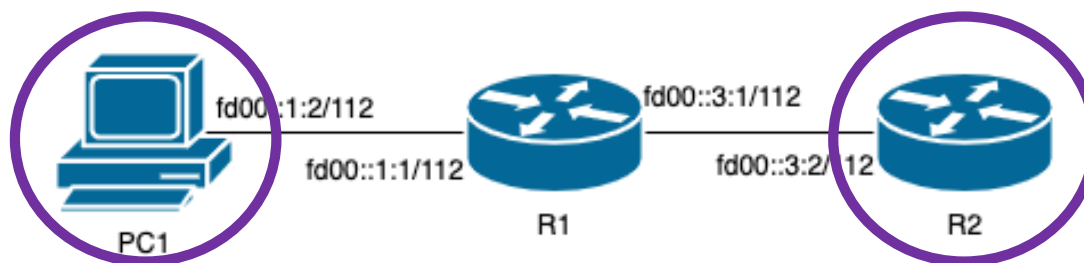




## 实验内容——选项三

### ➤ 实现 TFTP 协议 RFC1350

- 发送 / 接收 RRQ 报文, 用于请求 / 处理下载文件
- 发送 / 接收 WRQ 报文, 用于请求 / 处理上传文件
- 发送 / 接收 DATA 报文, 用于发送 / 接收数据
- 发送 / 接收 ACK 报文, 用于确认或重传数据
- 发送 / 接收 ERROR 报文, 用于异常处理





## 实验内容——选项三

---



Tsinghua University



计算机网络教案社区

- 核心内容已经在第一阶段实现
  - IPv6 分组的 checksum 重新计算
- 真机部分的工作是将各组件用主循环组合起来
  - TFTP 协议功能（传输数据、重传、异常处理、支持多客户端请求）



## 实验内容——选项三



- 实现 TFTP 协议的客户端和服务端
  - 评测内容：
    - 自己的客户端能否访问标准服务端
    - 标准客户端能否访问自己的服务端
    - 自己的客户端能否访问自己的服务端
    - 文件传输性能
    - 见实验文档
  - 评分
    - 功能类：90%，性能类10%
  - 如何调试：
    - 按照文档讲述的流程，在本地启动一个虚拟的网络环境，在其中重现评测的流程



# 实验内容——选项三



## ➤ 难点和易错点

- 报文构造：
  - 注意字段偏移和字段大小
  - 注意UDP报文源、目的端口与TID的对应关系
  - 维护重传相关的变量
- 常量：
  - 查阅 RFC 了解协议对应端口号、报文类型
- 字节序问题：
  - 用Wireshark / Tshark解析，观察字节序
  - 建议使用ntohs、htons等函数转换字节序
- 空指针问题：第一阶段大部分Segmentation Fault || 输出中断



# 实验内容

---

## ➤ 三个实验选项的对比:

- RIPng: 理解难度最大, 代码量最小
- DHCPv6: 理解难度中等, 代码量中等
- TFTP: 理解难度最小, 代码量最大

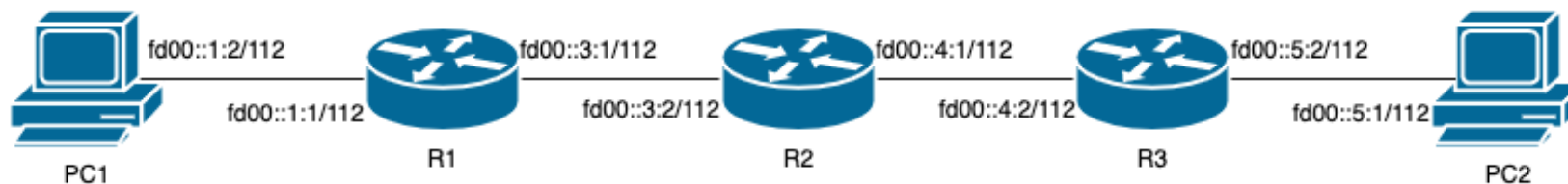
## ➤ 三个选项都有什么收获:

- RIPng: 学习路由协议, 了解当今互联网是如何工作的
- DHCPv6: 理解手机电脑是如何连上互联网的
- TFTP: 实现一个简单的文件传输协议, 实践重传协议, 帮助未来完成计算机网络专题训练课程的实验



## 实验内容

- 第三阶段：互联测试
  - PC1: 运行第一名同学的 TFTP 客户端
  - R1: 运行第二名同学的 DHCPv6 路由器
  - R2: 运行第三名同学的 RIPng 路由器
  - R3: 运行第四名同学的 RIPng 路由器
  - PC2: 运行第五名同学的 TFTP 服务器
- 挑选其他四名同学进行评测，最终选择人员不重合的同一份代码的两次评测结果





# 实验平台

---



## ➤ 清华高级网络实验平台 (TANLabs)

- <https://lab.cs.tsinghua.edu.cn/tan>
- 在线进行个人/互联评测
- 同样需要标记 master 分支上的最终评测
- 每次评测的性能结果可能有 5% 左右的波动
- 同学可以多次尝试提交最好的一次
- 但注意评测资源也是有限的，不要交太多次
- **重申：学术道德**
- **实验前请更新代码仓库!!!**

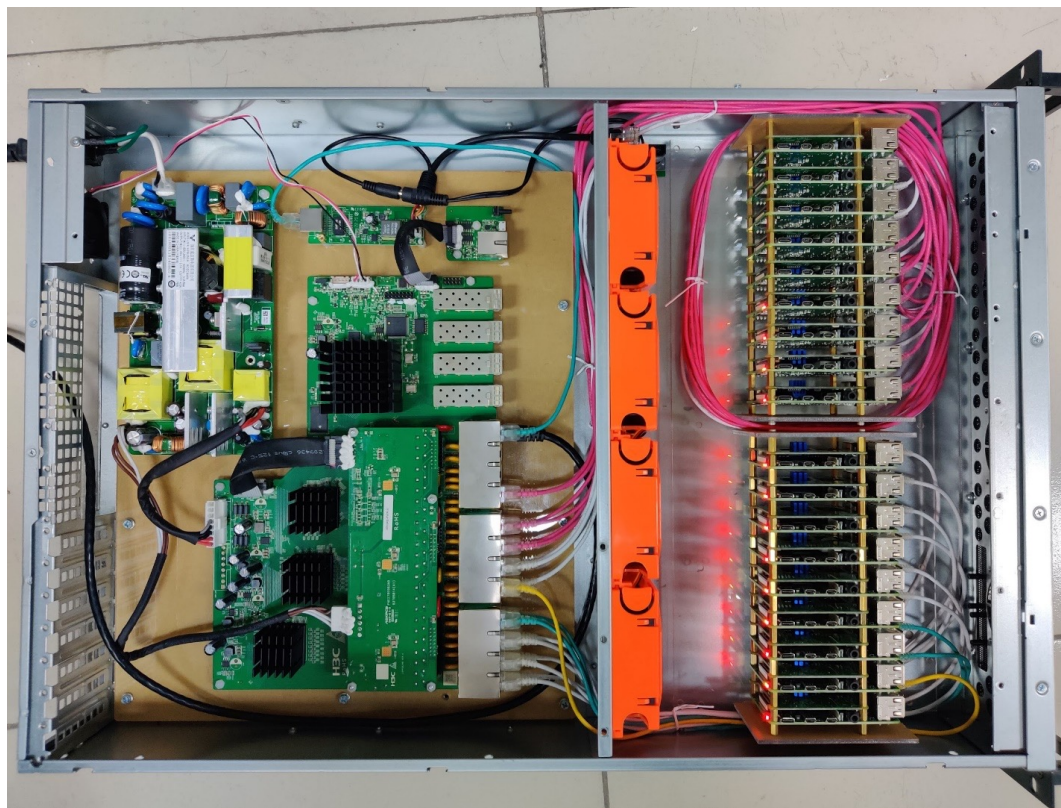


# 实验平台



计算机网络教案社区

➤ 一个实验节点（交换机+18x树莓派）：







# 实验文档

---



- 实验文档涵盖了实验的所有信息
  - <https://lab.cs.tsinghua.edu.cn/router/doc>
  - 在线评测的各个环节
  - 如何搭建本地的评测环境
  - Linux 网络的配置方法
  - 常见的错误
  - 路由器的调试方法
- Read before you ask anything!

