网络地址转换实验

学号： 2021K8009929010

姓名： 贾城昊

一、 实验题目：网络地址转换实验

二、 实验任务：

了解 NAT 地址转换原理，自己实现 NAT 设备。通过实验验证 SNAT、DNAT、多 NAT 功能正确性。

三、 实验流程

实验内容一：SNAT 实验

1. 运行给定网络拓扑(nat_topo.py)在 n1， h1， h2， h3 上运行相应脚本
2. 在 n1 上运行 nat 程序
3. 在 h3 上运行 HTTP 服务
4. 在 h1， h2 上分别访问 h3 的 HTTP 服务

实验内容二：DNAT 实验

1. 运行给定网络拓扑(nat_topo.py
2. 在 n1 上运行 nat 程序
3. 在 h1， h2 上分别运行 HTTP Serve
4. 在 h3 上分别请求 h1， h2 页面

实验内容三：多 NAT 实验

1. 手动构造一个包含两个 nat 的拓扑：

- h1 <-> n1 <-> n2 <-> h2
- 节点 n1 作为 SNAT， n2 作为 DNAT，主机 h2 提供 HTTP 服务，主机 h1 穿过两个 nat 连接到 h2 并获取相应页面

四、 实验过程

（一）配置信息的读取

NAT 的配置由 parse_config 函数处理，从配置文件中提取配置信息并进行配置。主要流程是字符串匹配。首先完成 internal 和 external 端口的配置。然后查看有无 dnat-rules 信息，有的话将其添加到 rules 列表。

具体实现方式如下：。

```
while (fgets(line, MAX_LINE_LEN, fp)) {
    char *name_end = line;

    if (line[0] == 'i') {
        char* internal =line + 16;
        nat.internal_iface = if_name_to_iface(internal);
        log(DEBUG, "internal_iface: "IP_FMT"\n", HOST_IP_FMT_STR(nat.internal_iface->ip));
        continue;
    }
    else if (line[0] == 'e') {
        char* external =line + 16;
        nat.external_iface = if_name_to_iface(external);
        log(DEBUG, "external_iface: "IP_FMT"\n", HOST_IP_FMT_STR(nat.external_iface->ip));
        continue;
    }
    else if (line[0] == 'd') {
        struct dnat_rule *new_rule = (struct dnat_rule *)malloc(sizeof(struct dnat_rule));
        memset(new_rule, 0, sizeof(struct dnat_rule));

        char* drule =line + 12;
        new_rule->external_ip = ip_to_u32(drule);

        while(*drule != ':')
            drule++;
        drule++;
        new_rule->external_port = atoi(drule);

        while(*drule != '-')
            drule++;
        drule += 3;
        new_rule->internal_ip = ip_to_u32(drule);

        while(*drule != ':')
            drule++;
        drule++;
        new_rule->internal_port = atoi(drule);

        init_list_head(&new_rule->list);
        list_add_tail(&new_rule->list, &nat.rules);

        nat.assigned_ports[new_rule->external_port] = 1;

        log(DEBUG, "dnat_rule: "IP_FMT" %d "IP_FMT" %d\n", HOST_IP_FMT_STR(new_rule->external_ip),
        new_rule->external_port, HOST_IP_FMT_STR(new_rule->internal_ip), new_rule->internal_port);

        continue;
    }
}
```

（二）NAT 地址转换

1. 总体逻辑

首先调用 get_packet_direction 函数判断数据包方向。将不可达数据包或非 TCP 数据包丢弃，并发送 ICMP 报文。最后调用 do_translation 函数完成实际地址转换和数据包发送。

```c
void nat_translate_packet(iface_info_t *iface, char *packet, int len)
{
    int dir = get_packet_direction(packet);
    if (dir == DIR_INVALID) {
        log(ERROR, "invalid packet direction, drop it.");
        icmp_send_packet(packet, len, ICMP_DEST_UNREACH, ICMP_HOST_UNREACH);
        free(packet);
        return ;
    }

    struct iphdr *ip = packet_to_ip_hdr(packet);
    if (ip->protocol != IPPROTO_TCP) {
        log(ERROR, "received non-TCP packet (0x%0hhx), drop it", ip->protocol);
        free(packet);
        return ;
    }

    do_translation(iface, packet, len, dir);
}
```

2. 区分数据包方向

get_packet_direction 函数用于返回数据包方向：当源地址为内部地址，且目的地址为外部地址时，方向为 DIR_OUT；当源地址为外部地址，且目的地址为 external_iface 地址时，方向为 DIR_IN；否则，返回 DIR_INVALID。

具体实现的代码如下：

```c
// determine the direction of the packet, DIR_IN / DIR_OUT / DIR_INVALID
static int get_packet_direction(char *packet)
{
    //fprintf(stdout, "TODO: determine the direction of this packet.\n");

    struct iphdr *ip = packet_to_ip_hdr(packet);
    u32 saddr = ntohl(ip->saddr);
    u32 daddr = ntohl(ip->daddr);
    rt_entry_t *src_entry = longest_prefix_match(saddr);
    rt_entry_t *dst_entry = longest_prefix_match(daddr);

    if ((src_entry->iface == nat.internal_iface) && (dst_entry->iface == nat.external_iface)) {
        return DIR_OUT;
    }
    else if ((src_entry->iface == nat.external_iface) && (daddr == nat.external_iface->ip)) {
        return DIR_IN;
    }
    else{
        return DIR_INVALID;
    }
}
```

3. 数据包翻译更新

只有合法数据包会进入翻译阶段。翻译阶段大致可以分为查找已有连接和创建新连接两种策略，后者针对无法查找到已有连接的 TCP。不论采用何种处理方式，都首先需要根据数据包方向确定远端地址和端口号，依此计算已有或新建连接在连接映射表中的哈希索引值。

```
struct iphdr *iphdr = packet_to_ip_hdr(packet);
struct tcphdr *tcphdr = packet_to_tcp_hdr(packet);

u32 daddr = ntohl(iphdr->daddr);
u32 saddr = ntohl(iphdr->saddr);
u32 raddr = (dir == DIR_IN) ? saddr : daddr;
u16 sport = ntohs(tcphdr->sport);
u16 dport = ntohs(tcphdr->dport);
u16 rport = (dir == DIR_IN) ? sport : dport;

u8 idx = rmt_hash(raddr, rport);
struct list_head *head = &nat.nat_mapping_list[idx];
struct nat_mapping *entry;
```

Hash 表存储映射关系是(rmt_ip， rmt_port)到一个 nat_mapping 的链表，其映射函数如下：

```
static u8 rmt_hash(u32 addr, u16 port) {
    char str[6];
    memset(str, 0, 6 * sizeof(char));
    memcpy(str, &addr, sizeof(u32));
    memcpy(str + 4, &port, sizeof(u16));

    u8 res = hash8(str, 6);
    return res;
}
```

之后需要先遍历已建立连接表。查找连接时的匹配条件包括 4 项记录的匹配：远端 IP 和远端端口、内部 IP 和端口号(对于来自内网的数据包)或外部 IP 和端口号(对于来自外网的数据包)。一旦匹配，就将 IP 头部和 TCP 头部的源地址或目的地址修改为映射记录中的对应的两项条目。同时还需要根据 TCP 报头内容，更新连接控制数据结构、最近连接时间，供老化线程检查。处理完毕后重新计算 TCP 和 IP 部分的校验和，转发数据包即

可。

具体这部分代码如下所示：

```
pthread_mutex_lock(&nat.lock);
list_for_each_entry(entry, head, list) {
    if (raddr != entry->remote_ip || rport != entry->remote_port){
        continue;
    }

    int clear = (tcphdr->flags & TCP_RST) ? 1 : 0;

    if (dir == DIR_IN) {
        if (daddr != entry->external_ip || dport != entry->external_port){
            continue;
        }
        iphdr->daddr = htonl(entry->internal_ip);
        tcphdr->dport = htons(entry->internal_port);

        entry->conn.external_fin = (tcphdr->flags & TCP_FIN) ? 1 : 0;
        entry->conn.external_seq_end = tcp_seq_end(iphdr, tcphdr);
        if (tcphdr->flags & TCP_ACK){
            entry->conn.external_ack = tcphdr->ack;
        }
    }
    else {
        if (saddr != entry->internal_ip || sport != entry->internal_port){
            continue;
        }
        iphdr->saddr = htonl(entry->external_ip);
        tcphdr->sport = htons(entry->external_port);
        entry->conn.internal_fin = (tcphdr->flags & TCP_FIN) ? 1 : 0;
        entry->conn.internal_seq_end = tcp_seq_end(iphdr, tcphdr);
        if (tcphdr->flags & TCP_ACK){
            entry->conn.internal_ack = tcphdr->ack;
        }
    }

    pthread_mutex_unlock(&nat.lock);

    entry->update_time = time(NULL);
    tcphdr->checksum = tcp_checksum(iphdr, tcphdr);
    iphdr->checksum = ip_checksum(iphdr);
    ip_send_packet(packet, len);

    if (clear) {
        nat.assigned_ports[entry->external_port] = 0;
        list_delete_entry(&(entry->list));
        free(entry);
    }
    return;
```

若查找失败，首先检查该数据包是否为 SYN 包，即是否为建立连接的 TCP 包。若不是，则作为无效数据包处理。

```
if ((tcphdr->flags & TCP_SYN) == 0) {
    fprintf(stderr, "Invalid packet!\n");
    icmp_send_packet(packet, len, ICMP_DEST_UNREACH, ICMP_HOST_UNREACH);
    free(packet);
    pthread_mutex_unlock(&nat.lock);
    return;
}
```

如果没有找到映射表项，则需要建立新的映射关系。对于公网发起连接的情况，只需要直接遍历检索初始化时导入的映射规则。若找到了匹配的条目，则按该条目的映射关系填写连接记录并加入索引， 生成连接映射条目，修改 IP 头及 TCP 头的源地址及端口信息，更新校验和后转发数据包，并进行转发。

```
if (dir == DIR_OUT) {
    u16 pid;
    for (pid = NAT_PORT_MIN; pid <= NAT_PORT_MAX; ++pid) {
        if (!nat.assigned_ports[pid]) {
            struct nat_mapping *new_entry = (struct nat_mapping *) malloc(sizeof(struct nat_mapping));
            list_add_tail(&new_entry->list, head);

            new_entry->remote_ip = raddr;
            new_entry->remote_port = rport;
            new_entry->external_ip = nat.external_iface->ip;
            new_entry->external_port = pid;
            new_entry->internal_ip = saddr;
            new_entry->internal_port = sport;

            new_entry->conn.internal_fin = ((tcphdr->flags & TCP_FIN) != 0);
            new_entry->conn.internal_seq_end = tcp_seq_end(iphdr, tcphdr);
            if (tcphdr->flags & TCP_ACK){
                new_entry->conn.internal_ack = tcphdr->ack;
            }

            new_entry->update_time = time(NULL);
            pthread_mutex_unlock(&nat.lock);

            iphdr->saddr = htonl(new_entry->external_ip);
            tcphdr->sport = htons(new_entry->external_port);
            tcphdr->checksum = tcp_checksum(iphdr, tcphdr);
            iphdr->checksum = ip_checksum(iphdr);
            ip_send_packet(packet, len);
            return;
        }
    }
}
```

对于私网发起连接的情况，大致相同。但是此时改为了遍历所有可分配给 SNAT 连接的端口(本实验中设置为 12345 到 23456 号端口) ，找到一个未使用的端口，然后与公网发起连接的情况的处理一样，填写映射信息并记录连接状态后加入哈希索引得到的表项中，生成连接映射条目，修改 IP 头及 TCP 头的源地址及端口信息，更新校验和后转发数据包即可。

```
else {
    u16 pid;
    for (pid = NAT_PORT_MIN; pid <= NAT_PORT_MAX; ++pid) {
        if (!nat.assigned_ports[pid]) {
            struct nat_mapping *new_entry = (struct nat_mapping *) malloc(sizeof(struct nat_mapping));
            list_add_tail(&new_entry->list, head);

            new_entry->remote_ip = raddr;
            new_entry->remote_port = rport;
            new_entry->external_ip = nat.external_iface->ip;
            new_entry->external_port = pid;
            new_entry->internal_ip = saddr;
            new_entry->internal_port = sport;

            new_entry->conn.internal_fin = ((tcphdr->flags & TCP_FIN) != 0);
            new_entry->conn.internal_seq_end = tcp_seq_end(iphdr, tcphdr);
            if (tcphdr->flags & TCP_ACK){
                new_entry->conn.internal_ack = tcphdr->ack;
            }

            new_entry->update_time = time(NULL);
            pthread_mutex_unlock(&nat.lock);

            iphdr->saddr = htonl(new_entry->external_ip);
            tcphdr->sport = htons(new_entry->external_port);
            tcphdr->checksum = tcp_checksum(iphdr, tcphdr);
            iphdr->checksum = ip_checksum(iphdr);
            ip_send_packet(packet, len);
            return;
        }
    }
}
```

最后，如果 DNAT 包无法查询到 DNAT 规则或者 SNAT 包无法分配新端口，将作为无效数据包处理，发送 ICMP 消息。

（三）端口映射记录老化及清除

老化线程每隔 1 秒唤醒一次，遍历检查 NAT 的端口映射记录。将超时没有传输数据、已经握手完毕断开连接的条目删除，并释放端口占用，使之可以被重新使用。对于前者，只需计算连接状态最后一次被更新的时间与当前时间的差值即可。对于后者，直接调用实验提供的 is-flow-finished 函数来检查最近一次更新的连接状态是否显示连接已经结束

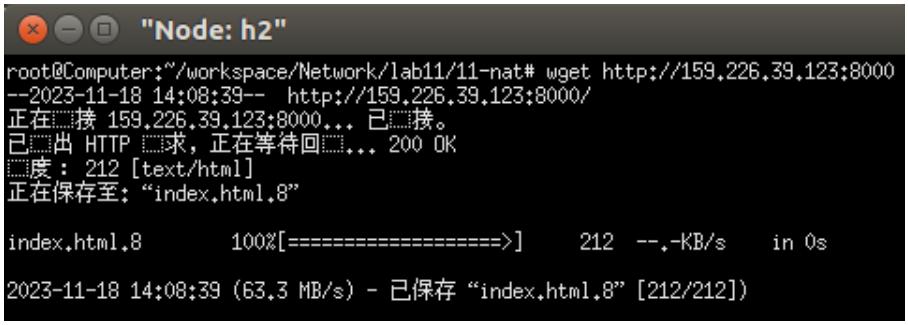
具体代码如下所示：

```c
void *nat_timeout()
{
    while (1) {
        //fprintf(stdout, "TODO: sweep finished flows periodically.\n");
        sleep(1);
        pthread_mutex_lock(&nat.lock);
        time_t now = time(NULL);

        for (int i = 0;i < HASH_8BITS;i++) {
            struct nat_mapping *map_entry = NULL, *map_q = NULL;
            list_for_each_entry_safe(map_entry, map_q, &(nat.nat_mapping_list[i]), list) {
                if ((now - map_entry->update_time > TCP_ESTABLISHED_TIMEOUT) || is_flow_finished(&(map_entry->conn))) {
                    log(DEBUG, "remove map entry, port: %d\n", map_entry->external_port);
                    nat.assigned_ports[map_entry->external_port] = 0;
                    list_delete_entry(&(map_entry->list));
                    free(map_entry);
                }
            }
        }

        pthread_mutex_unlock(&nat.lock);
    }

    return NULL;
}
```

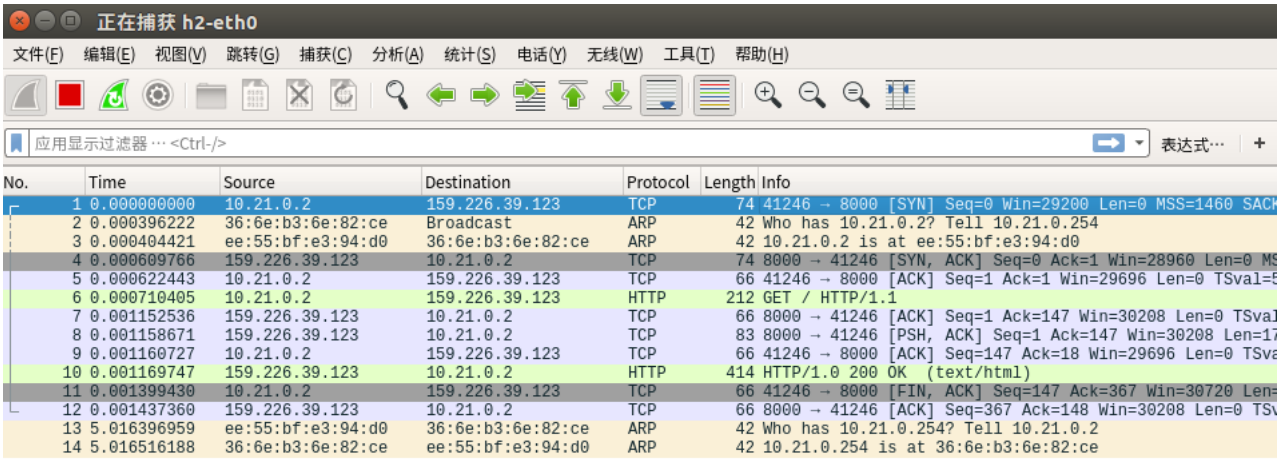
五、 实验结果与分析

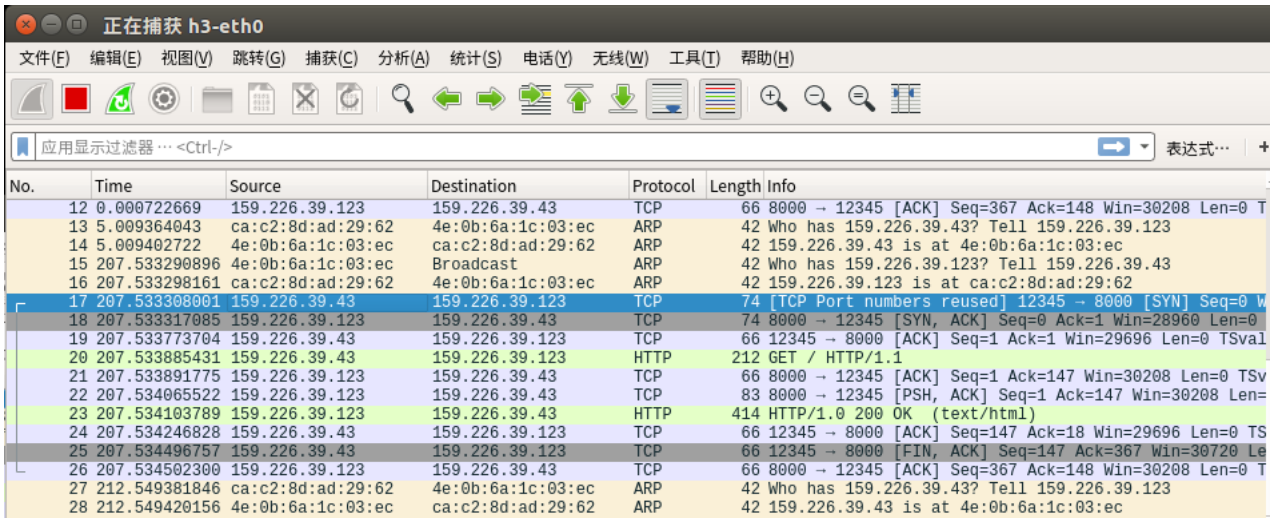
（一）SNAT 测试

执行 nat_topo.py 脚本后，在 n1 节点上启动 nat 程序，读入配置文件 exp1.conf。然后在 h3 节点运行 http_server.py 脚本，建立起服务后，并分别在 h1 和 h2 节点执行 wget http：//159.226.39.123：8000 命令访问该服务。运行结果如下图所示：



从上面可知，h1 和 h2 都可以正常访问 h3 的服务。通过 wireshark 查看节点 h2 和 h3 的收发包情况，可以看到 TCP 连接正常建立到关闭的过程，并且 NAT 完成了私有 IP 地址到公有 IP 地址的转换

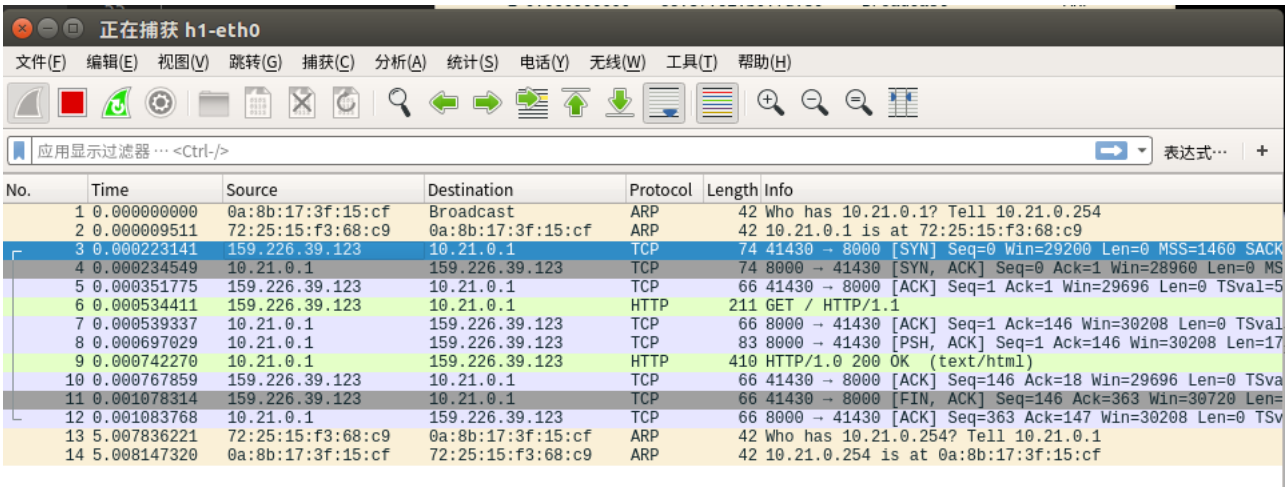


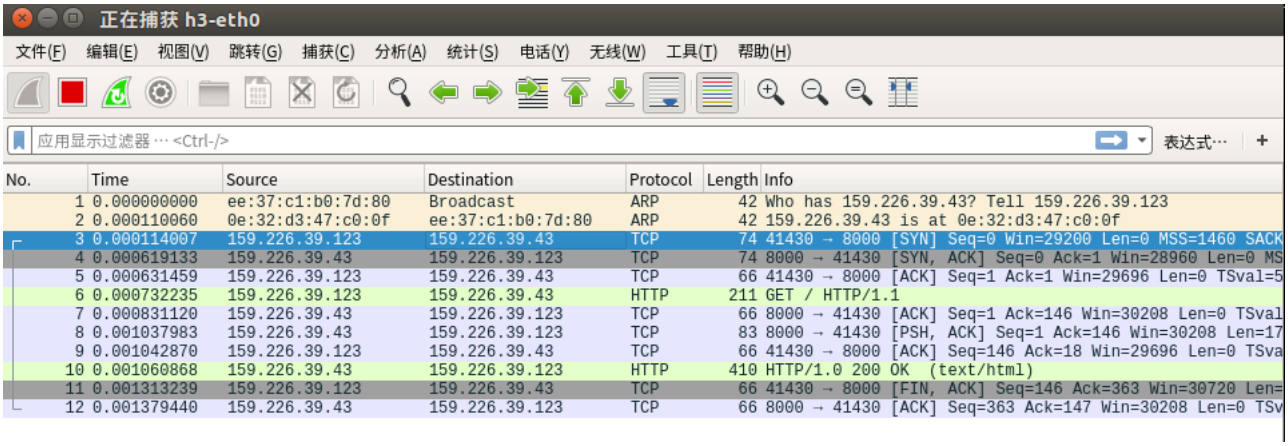


（二）DNAT 测试

执行 nat_topo.py 脚本后，在 n1 节点上启动 nat 程序，并读入配置文件 exp2.conf.。在 h1 和 h2 节点运行 http_server.py 脚本，建立 http 服务后，从 h3 节点执行 wget 命令访问 h1 的服务，将端口号改为 8001 以访问 h2 的服务。结果如下图所示。可见连接正常建立和处理。。

通过 wireshark 查看节点 h2 和 h3 的收发包情况，可以看到 TCP 连接正常建立到关闭的过程，并且 NAT 完成了公有 IP 地址到私有 IP 地址的转换





（三）双 NAT 拓扑测试

构造包含两个主机节点和两个 NAT 节点的网络“h1-n1-n2-h2”，并设置各端口的 IP 地址如下所示：

```
h1.cmd('ifconfig h1-eth0 10.21.0.1/16')
h1.cmd('route add default gw 10.21.0.254')

h2.cmd('ifconfig h2-eth0 10.21.0.2/16')
h2.cmd('route add default gw 10.21.0.254')

n1.cmd('ifconfig n1-eth0 10.21.0.254/16')
n1.cmd('ifconfig n1-eth1 159.226.39.23/24')

n2.cmd('ifconfig n2-eth0 10.21.0.254/16')
n2.cmd('ifconfig n2-eth1 159.226.39.43/24')
```

编写两个 NAT 节点的配置文件，以 n2 为例，设置 eth0 为内部端口， eth1 为外部端口，并设置从 8001 号外部端口到 10.21.0.2：8000 的内部节点(即 h2 的 eth0 及其默认端

口)的映射，n1 的配置也类似，如下图所示：

```
internal-iface: n1-eth0
external-iface: n1-eth1

dnat-rules: 159.226.39.23:8002 -> 10.21.0.1:8000
```

```
internal-iface: n2-eth0
external-iface: n2-eth1

dnat-rules: 159.226.39.43:8001 -> 10.21.0.2:8000
```

执行 nat_topo2.py 脚本后，在 n1 和 n2 节点上启动 nat 程序，并分别读入配置文件 exp3_1.conf 和 exp3_2.conf。在 h2 节点运行 http_server.py 脚本，建立 http 服务后，从 hl 节点执行 wget http：//159.226.39.43：8001 命令访问该服务。然后在 h1 节点运行 http_server.py 脚本，建立 http 服务后，从 h2 节点执行 wget http：//159.226.39.23：8002 命令访问该服务。运行如下图所示，可以看到连接正常建立和处理：

"Node: h1"

```
root@Computer:~/workspace/Network/lab11/11-nat# wget http://159.226.39.43:8001
--2023-11-18 15:21:02--  http://159.226.39.43:8001/
正在□接 159.226.39.43:8001... 已□接。
已□出 HTTP □求，正在等待回□... 200 OK
□度： 207 [text/html]
正在保存至：“index.html.13”

index.html.13       100%[===================>]     207  --.-KB/s    in 0s

2023-11-18 15:21:02 (62.1 MB/s) - 已保存 “index.html.13” [207/207])

root@Computer:~/workspace/Network/lab11/11-nat#
```

"Node: h2"

```
root@Computer:~/workspace/Network/lab11/11-nat# wget http://159.226.39.23:8002
--2023-11-18 15:21:55--  http://159.226.39.23:8002/
正在□接 159.226.39.23:8002... 已□接。
已□出 HTTP □求，正在等待回□... 200 OK
□度： 207 [text/html]
正在保存至：“index.html.14”

index.html.14       100%[===================>]     207  --.-KB/s    in 0s

2023-11-18 15:21:55 (67.6 MB/s) - 已保存 “index.html.14” [207/207])
```

六、 实验总结

通过本次实验，我了解了 NAT 地址转换的原理，掌握了 SNAT 和 DNAT 的具体实现方法，这让我对理论课上讲过的 NAT 地址转换有了更深的理解。