

Thiết kế & triển khai mạng IP

Bài thực hành: Multicast (version 2.0)

Update:

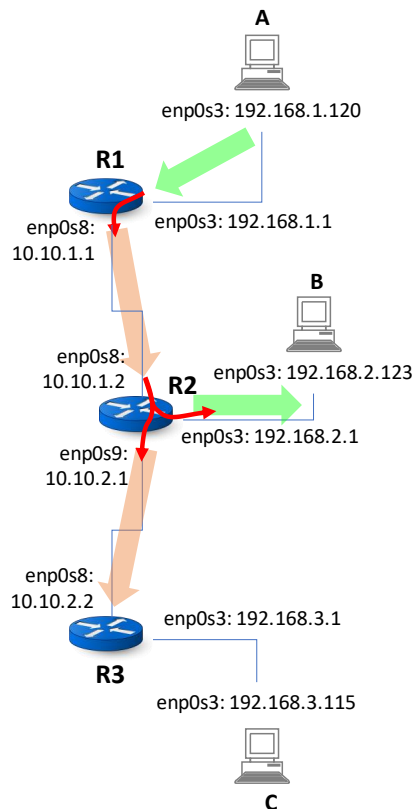
- Version 2.0:
 - Thêm mục hack cây multicast trong static multicast routing

Mục lục

1	Chuẩn bị môi trường.....	2
2	Multicast tĩnh (static).....	4
2.1	Cài đặt & cấu hình pimd (frr), iperf.....	4
2.2	Thiết lập trạm nhận và trạm gửi multicast	5
2.3	Thiết lập luật chuyển tiếp gói tin multicast trong các router	6
2.4	Kịch bản hack cây multicast	7
3	Thực hành IGMP	9
3.1	Theo dõi các thông điệp IGMP gửi từ host đến router.....	9
3.2	Bật chức năng IGMP trên kết nối của router đến host.....	9
3.3	Cây multicast R1 → R2 → R3 tự động được xây dựng với PIM & IGMP	10
3.4	Phân tích các gói tin IGMP Join Report	12
3.5	Phân tích các gói tin IGMP Leave & Query.....	13
4	Thực hành multicast routing protocol: PIM-SSM	14
4.1	Xây dựng cây multicast tự động với PIM-SSM.....	14
4.2	Phân tích hoạt động của PIM-SSM: tự động tạo cây (join group)	16
4.3	Phân tích hoạt động của PIM-SSM: tự động cắt cành (prun)	18
5	Thực hành multicast routing protocol: PIM-SM	18
5.1	Thiết lập RP cho các PIM SM.....	19
5.2	Thiết lập IGMP và PIM cho các kết nối mạng của từng router	20
5.3	Trạm nghe H3 đăng ký join vào cây	22
5.4	Trạm phát H1 phát tin vào nhóm.....	23
5.5	Trạm nghe H3 rời nhóm.....	24

1 Chuẩn bị môi trường

Sử dụng các kiến thức của bài trước, dựng môi trường mạng ảo:



1. Các phiên bản phần mềm sử dụng:

```
~$ uname -a
Linux R1 5.4.0-163-generic #180-Ubuntu SMP Tue Sep 5 13:21:23 UTC 2023 x86_64 x86_64 x86_64
GNU/Linux

~$ lsb_release -a
No LSB modules are available.
Distributor ID: Ubuntu
Description:    Ubuntu 20.04.6 LTS
Release:        20.04
Codename:       focal

~$ sudo vtysh
Hello, this is FRRouting (version 7.2.1).
Copyright 1996-2005 Kunihiro Ishiguro, et al.

~$ iperf -v
iperf version 2.0.13 (21 Jan 2019) pthreads
```

2. Cấu hình R1:

```
R1:~$ sudo nano /etc/netplan/00-installer-config.yaml
network:
  ethernets:
    enp0s3:
      dhcp4: false
      addresses: [192.168.1.1/24]
    enp0s8:
      dhcp4: false
      addresses: [10.10.1.1/24]
  routes:
    - to: 192.168.2.0/24
      via: 10.10.1.2
    - to: 192.168.3.0/24
      via: 10.10.1.2
```

```

- to: 10.10.2.0/24
  via: 10.10.1.2
version: 2

R1:~$ sudo netplan apply
R1:~$ ifconfig -a
enp0s9: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 10.10.1.1 netmask 255.255.255.0 broadcast 10.10.1.255
    inet6 fe80::a00:27ff:fe10:1 prefixlen 64 scopeid 0x20<link>
    ether 08:00:27:10:00:01 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 29972 bytes 2283952 (2.2 MB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 58281 bytes 4467450 (4.4 MB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

enp0s10: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 192.168.1.1 netmask 255.255.255.0 broadcast 192.168.1.255
    inet6 fe80::a00:27ff:fe16:8011 prefixlen 64 scopeid 0x20<link>
    ether 08:00:27:16:80:11 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 43492 bytes 3468764 (3.4 MB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 31018 bytes 2341480 (2.3 MB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

R1:~$ route -n
Kernel IP routing table
Destination Gateway Genmask Flags Metric Ref Use Iface
10.10.1.0 0.0.0.0 255.255.255.0 U 0 0 0 enp0s9
10.10.2.0 10.10.1.2 255.255.255.0 UG 0 0 0 enp0s9
192.168.1.0 0.0.0.0 255.255.255.0 U 0 0 0 enp0s10
192.168.2.0 10.10.1.2 255.255.255.0 UG 0 0 0 enp0s9
192.168.3.0 10.10.1.2 255.255.255.0 UG 0 0 0 enp0s9

```

3. Cấu hình máy A:

```

A:~$ sudo nano /etc/netplan/00-installer-config.yaml
network:
  ethernets:
    enp0s3:
      dhcp4: false
      addresses: [192.168.1.120/24]
      routes:
        - to: default
          via: 192.168.1.1
version: 2

A:~$ sudo netplan apply
A:~$ ifconfig -a
enp0s3: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 192.168.156.120 netmask 255.255.255.0 broadcast 192.168.156.255
    inet6 fe80::a00:27ff:fec8:5f09 prefixlen 64 scopeid 0x20<link>
    ether 08:00:27:c8:5f:09 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 23225 bytes 1560103 (1.5 MB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 22747 bytes 3166631 (3.1 MB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

enp0s9: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 192.168.1.120 netmask 255.255.255.0 broadcast 192.168.1.255
    inet6 fe80::a00:27ff:fe1c:c215 prefixlen 64 scopeid 0x20<link>
    ether 08:00:27:1c:c2:15 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 23529 bytes 1838902 (1.8 MB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 43420 bytes 3460554 (3.4 MB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

A:~$ route -n
Kernel IP routing table
Destination Gateway Genmask Flags Metric Ref Use Iface
0.0.0.0 192.168.1.1 0.0.0.0 UG 0 0 0 enp0s9
192.168.1.0 0.0.0.0 255.255.255.0 U 0 0 0 enp0s9

```

4. Cấu hình các router R2, R3 và các máy trạm B, C làm tương tự. Kiểm tra kết nối thông giữa các host (A ping sang B, C):

```
A:~$ ping 192.168.2.115
PING 192.168.2.115 (192.168.2.115) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 192.168.2.115: icmp_seq=1 ttl=61 time=2.78 ms
64 bytes from 192.168.2.115: icmp_seq=2 ttl=61 time=2.63 ms
64 bytes from 192.168.2.115: icmp_seq=3 ttl=61 time=2.60 ms

A:~$ ping 192.168.3.123
PING 192.168.3.123 (192.168.3.123) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 192.168.3.123: icmp_seq=1 ttl=62 time=1.68 ms
64 bytes from 192.168.3.123: icmp_seq=2 ttl=62 time=1.84 ms
64 bytes from 192.168.3.123: icmp_seq=3 ttl=62 time=2.18 ms
```

2 Multicast tĩnh (static)

2.1 Cài đặt & cấu hình pimd (frr), iperf

1. Cài đặt tool *iperf* trên các host A, B, C. Tool *iperf* hoạt động theo cơ chế client/server và cho phép đăng ký, gửi, nhận theo địa chỉ multicast:

```
A:~$ sudo apt-get install iperf
... ..
```

2. Bật daemon *pimd* để biến router trở thành multicast router. Thiết lập cấu hình multicast tối thiểu cho tiến trình *pimd* bằng khai báo *ip igmp* trên mỗi giao diện kết nối mạng (cho phép router xử lý gói tin IP multicast trên các kết nối này)

```
R1:~$ sudo nano /etc/frr/daemons
bgpd=no
ospfd=no
ospf6d=no
ripd=no
ripngd=no
isisd=no
pimd=yes
ldpd=no
nhrpd=no
eigrpd=no
babeld=no
sharpd=no
pbrd=no
bfd=
fabricd=no
vrrpd=no

R1:~$ sudo nano /etc/frr/frr.conf
frr version 7.2.1
frr defaults traditional
hostname R1
log syslog informational
ip forwarding
no ipv6 forwarding
service integrated-vtysh-config
!
interface enp0s3
ip igmp
!
interface enp0s8
ip igmp
!
line vty
!

R1:~$ sudo service frr restart
R1:~$ sudo service frr status
• frr.service - FRRouting
   Loaded: loaded (/lib/systemd/system/frr.service; enabled; vendor preset: enabled)
   Active: active (running) since Thu 2023-12-28 03:44:29 UTC; 1h 26min ago
     Docs: https://frrouting.readthedocs.io/en/latest/setup.html
   Process: 3049 ExecStart=/usr/lib/frr/frrinit.sh start (code=exited, status=0/SUCCESS)
    Tasks: 9 (limit: 2257)
   Memory: 9.6M
   CGroup: /system.slice/frr.service
           └─3073 /usr/lib/frr/watchfrr -d zebra pimd staticd
```

```

-3089 /usr/lib/frr/zebra -d -A 127.0.0.1 -s 90000000
-3094 /usr/lib/frr/pimd -d -A 127.0.0.1
-3104 /usr/lib/frr/staticd -d -A 127.0.0.1

```

3. Sử dụng vtysh để kiểm tra cấu hình multicast:

```

R1:~$ sudo vtysh
Hello, this is FRRouting (version 8.5.3).
Copyright 1996-2005 Kunihiro Ishiguro, et al.

R1# show running-config
Building configuration...

Current configuration:
!
frr version 8.5.3
frr defaults traditional
hostname R1
log syslog informational
no ipv6 forwarding
hostname R1
service integrated-vtysh-config
!
interface enp0s3
 ip igmp
 exit
!
interface enp0s8
 ip igmp
 exit
!
end

```

2.2 Thiết lập trạm nhận và trạm gửi multicast

4. Trên máy B chạy *iperf* chế độ server (đóng vai trò trạm nhận các gói tin multicast) để nghe các gói tin UDP gửi vào địa chỉ nhóm 226.96.1.1:

```

B:~$ iperf -s -u -B 226.96.1.1 -i 1
-----
Server listening on UDP port 5001
Binding to local address 232.96.1.1
Joining multicast group 232.96.1.1
Receiving 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 208 KByte (default)
-----

```

5. Trong khi đang chạy *iperf*, mở trên một session trên B để kiểm tra B đã được join vào địa chỉ multicast 226.96.1.1:

```

B:~$ ip -4 address
1:      lo
        inet 224.0.0.1
2:      enp0s3
        inet 226.96.1.1
        inet 224.0.0.1

```

6. Trên máy A, chạy *iperf* chế độ client và gửi gói tin UDP vào địa chỉ multicast 226.96.1.1. Lưu ý cần tham số *-T* để thiết lập giá trị TTL (nếu không có tham số này, giá trị TTL được thiết lập mặc định là 1 khi *iperf* gửi multicast hoặc broadcast):

```

A:~$ iperf -c 226.96.1.1 -u -T 10
-----
Client connecting to 226.96.1.1, UDP port 5001
Sending 1470 byte datagrams, IPG target: 11215.21 us (kalman adjust)
Setting multicast TTL to 10
UDP buffer size: 208 KByte (default)
-----
[ 3] local 192.168.1.120 port 56144 connected with 226.96.1.1 port 5001

```

7. Bắt gói tin trên kết nối mạng của router R1 nối với máy A (*enp0s3*), sẽ thấy gói tin IP multicasts được gửi từ A đến R1, tuy nhiên do router R1 chưa được cấu hình multicast nên gói tin IP này chưa được forward đến các interface khác của router R1 (*enp0s8*):

```
R1:~$ sudo tcpdump -i enp0s3 -v
05:30:22.350529 IP (tos 0x0, ttl 10, id 52917, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 1498)
  192.168.1.120.56688 > 226.96.1.1.5001: UDP, length 1470
05:30:22.362023 IP (tos 0x0, ttl 10, id 52918, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 1498)
  192.168.1.120.56688 > 226.96.1.1.5001: UDP, length 1470

R1:~$ sudo tcpdump -i enp0s8 -v
tcpdump: listening on enp0s8, link-type EN10MB (Ethernet), capture size 262144 bytes
```

2.3 Thiết lập luật chuyển tiếp gói tin multicast trong các router

8. Thiết lập các luật chuyển tiếp gói tin multicast trên R1. Từ interface *enp0s3* (nhận gói tin IP từ nguồn phát A) và nếu gửi đến nhóm 226.96.1.1 thì chuyển tiếp sang interface *enp0s8* kết nối với router R2. Kết thúc chế độ config trong R1 và hiển thị bảng multicast routing thấy xuất hiện luật áp dụng chuyển tiếp gói tin multicast 226.96.1.1 từ nguồn bất kỳ (*), được forward từ kết nối *enp0s3* sang *enp0s8* theo kiểu STATIC.

```
R1# configure
R1(config)# interface enp0s3
R1(config-if)# ip mroute enp0s8 226.96.1.1
R1(config-if)# end
R1# show ip mroute
```

Source	Group	Proto	Input	Output	TTL	Uptime
*	226.96.1.1	STATIC	enp0s3	enp0s8	1	00:00:06 default

9. Chạy *iperf* trên A, gửi gói tin UDP vào nhóm 226.96.1.1. Bắt gói tin trên interface *enp0s8* của R1 và interface *enp0s8* của R2 (nối R2 với R1) đã thấy gói tin được chuyển từ A qua R1 sang R2:

```
A:~$ iperf -c 226.96.1.1 -u -T 10
-----
Client connecting to 226.96.1.1, UDP port 5001

R2:~$ sudo tcpdump -i enp0s8
05:44:24.807812 IP 192.168.1.120.49711 > 226.96.1.1.5001: UDP, length 1470
05:44:24.819505 IP 192.168.1.120.49711 > 226.96.1.1.5001: UDP, length 1470
05:44:24.830575 IP 192.168.1.120.49711 > 226.96.1.1.5001: UDP, length 1470
```

10. Trên router R2, thiết lập 2 luật chuyển tiếp gói tin multicasts nhận được từ R1 (gửi đến 226.96.1.1) thì forward sang các interface kết nối với máy B (*enp0s3*) và router R3 (*enp0s9*):

```
R2:~$ sudo vtysh

Hello, this is FRRouting (version 7.2.1).
Copyright 1996-2005 Kunihiko Ishiguro, et al.

R2# configure
R2(config)# interface enp0s8
R2(config-if)# ip mroute enp0s3 226.96.1.1
R2(config-if)# ip mroute enp0s9 226.96.1.1
R2(config-if)# end
R2# show ip mroute
```

Source	Group	Proto	Input	Output	TTL	Uptime
*	226.96.1.1	STATIC	enp0s8	enp0s3	1	00:00:10 default
		STATIC		enp0s9	1	00:00:06 default

11. Chạy *iperf* trên máy B để nhận gửi gói tin UDP trong nhóm 226.96.1.1, thấy đã nhận được:

```
B:~$ iperf -s -u -B 226.96.1.1 -i 1
-----
Server listening on UDP port 5001
Binding to local address 226.96.1.1
Joining multicast group 226.96.1.1
Receiving 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 208 KByte (default)
-----
```

```
[ 3] local 226.96.1.1 port 5001 connected with 192.168.1.120 port 60276
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth      Jitter    Lost/Total Datagrams
[ 3]  0.0- 1.0 sec    129 KBytes    1.06 Mbits/sec  0.510 ms   0/ 90 (0%)
[ 3]  1.0- 2.0 sec    128 KBytes    1.05 Mbits/sec  0.515 ms   0/ 89 (0%)
[ 3]  2.0- 3.0 sec    128 KBytes    1.05 Mbits/sec  0.446 ms   0/ 89 (0%)
```

12. Router R3 đã được gắn vào cây multicast (R1→R2→R3) bằng luật forward từ *enp0s8* sang *enp0s9* trong bước trên. Bắt gói tin trên kết nối của R3 (nhận gói tin IP từ R2) đã thấy xuất hiện gói tin multicasts:

```
R3:~$ sudo tcpdump -i enp0s8
05:57:30.181487 IP 192.168.1.120.57582 > 226.96.1.1.5001: UDP, length 1470
05:57:30.192258 IP 192.168.1.120.57582 > 226.96.1.1.5001: UDP, length 1470
05:57:30.204064 IP 192.168.1.120.57582 > 226.96.1.1.5001: UDP, length 1470
```

13. Cuối cùng, trên R3, thiết lập luật chuyển tiếp gói tin multicast từ kết nối mạng *enp0s9* (kết nối với R2) sang kết nối *enp0s10* (kết nối với máy C). Chạy *iperf* trên C chế độ server và nhận được gói tin multicast gửi từ A:

```
R3:~$ sudo vtysh

Hello, this is FRRouting (version 7.2.1).
Copyright 1996-2005 Kunihiro Ishiguro, et al.

R3# configure
R3(config)# interface enp0s8
R3(config-if)# ip mroute enp0s3 226.96.1.1
R3(config-if)# end
R3# show ip mroute
Source          Group          Proto Input          Output          TTL  Uptime
*               226.96.1.1     STATIC enp0s8          enp0s3          1    00:00:04 default
R3#

C:~$ iperf -s -u -B 226.96.1.1 -i 1
-----
Server listening on UDP port 5001
Binding to local address 226.96.1.1
Joining multicast group 226.96.1.1
Receiving 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 208 KByte (default)
-----
[ 3] local 226.96.1.1 port 5001 connected with 192.168.1.120 port 34093
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth      Jitter    Lost/Total Datagrams
[ 3]  0.0- 1.0 sec    129 KBytes    1.06 Mbits/sec  0.485 ms   0/ 90 (0%)
[ 3]  1.0- 2.0 sec    128 KBytes    1.05 Mbits/sec  0.447 ms   0/ 89 (0%)
[ 3]  2.0- 3.0 sec    128 KBytes    1.05 Mbits/sec  0.453 ms   0/ 89 (0%)
```

2.4 Kịch bản hack cây multicast

1. Cấu hình lại bảng multicast routing để R2 nhận gói tin từ R1 qua *enp0s3* và forward sang R3 (qua *enp0s9*) theo chế độ xác định nguồn phát (source specific) là máy A (có địa chỉ 192.168.1.120). Tuy nhiên khi forward sang máy B (qua *enp0s3*) thì không xác định nguồn phát:

```
R2:~$ sudo nano /etc/frr/frr.conf
frr version 8.5.3
frr defaults traditional
hostname R2
log syslog informational
no ipv6 forwarding
service integrated-vtysh-config
!
ip router-id 2.2.2.2
!
interface enp0s3
 ip igmp
exit
!
interface enp0s8
 ip igmp
exit
!
```

```

interface enp0s9
  ip igmp
exit
!
interface enp0s8
  ip mroute enp0s9 226.96.1.1
  ip mroute enp0s3 226.96.1.1 192.168.1.120
exit

R2:~$ sudo service frr restart

R2:~$ sudo vtysh
Hello, this is FRRouting (version 8.5.3).
Copyright 1996-2005 Kunihiro Ishiguro, et al.

R2# show ip mroute
IP Multicast Routing Table
Flags: S - Sparse, C - Connected, P - Pruned
      R - SGRpt Pruned, F - Register flag, T - SPT-bit set
Source      Group         Flags Proto Input  Output TTL  Uptime
*           226.96.1.1    -    STATIC enp0s8 enp0s9  1    00:15:48
192.168.1.120 226.96.1.1    -    STATIC enp0s8 enp0s3  1    00:15:48

```

2. Máy A phát luồng stream UDP vào cây, máy B, máy C đều nhận được

```

A:~$ iperf -c 226.96.1.1 -u -T 10 -t 1000
-----
Client connecting to 226.96.1.1, UDP port 5001
. . .

B:~$ iperf -s -u -B 226.96.1.1 -i 1
-----
Server listening on UDP port 5001
Binding to local address 226.96.1.1
Joining multicast group 226.96.1.1
Receiving 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 208 KByte (default)
-----
[ 3] local 226.96.1.1 port 5001 connected with 192.168.1.120 port 34093
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth      Jitter    Lost/Total Datagrams
[ 3] 0.0- 1.0 sec    129 KBytes  1.06 Mbits/sec  0.485 ms   0/ 90 (0%)
[ 3] 1.0- 2.0 sec    128 KBytes  1.05 Mbits/sec  0.447 ms   0/ 89 (0%)
. . .

C:~$ iperf -s -u -B 226.96.1.1 -i 1
-----
Server listening on UDP port 5001
Binding to local address 226.96.1.1
Joining multicast group 226.96.1.1
Receiving 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 208 KByte (default)
-----
[ 3] local 226.96.1.1 port 5001 connected with 192.168.1.120 port 34093
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth      Jitter    Lost/Total Datagrams
[ 3] 0.0- 1.0 sec    129 KBytes  1.06 Mbits/sec  0.485 ms   0/ 90 (0%)
[ 3] 1.0- 2.0 sec    128 KBytes  1.05 Mbits/sec  0.447 ms   0/ 89 (0%)
. . .

```

3. Ngắt phiên truyền streaming trên máy A. Tạo một máy X, kết nối vào đường truyền giữa R1 với R3 và đặt địa chỉ IP là 10.10.1.3/24 (R1 và R2 không biết về máy X này)

```

X:~$ ip -4 addr
2: enp0s3: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qdisc fq_codel state UP group default qlen 1000
    inet 10.10.1.3/24 scope global enp0s3
        valid_lft forever preferred_lft forever

```

4. Từ máy X, phát một luồng streaming vào cây multicast giống như máy A

```

X:~$ iperf -c 226.96.1.1 -u -T 10 -t 1000
-----
Client connecting to 226.96.1.1, UDP port 5001
. . .

```


- Trên máy C đang kết nối vào R3 (qua *enp0s3*), nhận được luồng streaming này. Còn trên máy B đang kết nối vào R2 thì không nhận được luồng streaming. Đây là kết quả của 2 luật multicast trên R2 áp dụng kiểu có xác định nguồn phát hay không.

3 Thực hành IGMP

Tiếp tục sử dụng sơ đồ kết nối nhưng trong bài trước, nhưng thay vì thiết lập static multicast, bài này sẽ sử dụng IGMP để các host và router tự động thiết lập multicast routing.

3.1 Theo dõi các thông điệp IGMP gửi từ host đến router

- Sử dụng môi trường static multicast đã tạo ở trên, dùng *tcpdump* để bắt các gói tin IGMP trên kết nối giữa router – host (R3 kết nối máy C hoặc R2 kết nối máy B).

```
R3:~$ sudo tcpdump -i enp0s3 proto \\igmp -nvv
tcpdump: listening on enp0s3, link-type EN10MB (Ethernet), capture size 262144 bytes
```

- Khi start *iperf* để nhận dòng multicast trên host (B hoặc C), thấy host gửi đến router các thông điệp IGMP (qua địa chỉ multicast 224.0.0.22) [*gaddr 226.96.1.1 allow { 192.168.1.120 }*] (có nghĩa là host muốn join vào cây (S,G) = (192.168.1.120, 226.96.1.1)). Lưu ý rằng phía router chưa bật chế độ hoạt động với IGMP nên không có thông điệp trả lời từ router:

```
C:~$ iperf -s -u -B 226.96.1.1 -H 192.168.1.120 -i 1
-----
Server listening on UDP port 5001
Binding to local address 226.96.1.1
Joining multicast (S,G)=192.168.1.120,226.96.1.1
Receiving 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 208 KByte (default)
-----

R3:~$ sudo tcpdump -i enp0s3 proto \\igmp -nvv
tcpdump: listening on enp0s3, link-type EN10MB (Ethernet), capture size 262144 bytes
12:28:15.187997 IP (tos 0xc0, ttl 1, id 0, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 44, options (RA))
    192.168.3.115 > 224.0.0.22: igmp v3 report, 1 group record(s) [gaddr 226.96.1.1 allow {
192.168.1.120 }]
12:28:15.879767 IP (tos 0xc0, ttl 1, id 0, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 44, options (RA))
    192.168.3.115 > 224.0.0.22: igmp v3 report, 1 group record(s) [gaddr 226.96.1.1 allow {
192.168.1.120 }]
```

- Khi stop *iperf* để kết thúc nhận dòng multicast trên host (B hoặc C), thấy host gửi đến router các thông điệp IGMP (qua địa chỉ multicast 224.0.0.22) để thông báo rời khỏi cây multicats [*gaddr 226.96.1.1 block { 192.168.1.120 }*]. Router cũng không trả lời gì do chưa bật chế độ hoạt động với IGMP:

```
R3:~$ sudo tcpdump -i enp0s3 proto \\igmp -nvv
12:33:29.867432 IP (tos 0xc0, ttl 1, id 0, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 44, options (RA))
    192.168.3.115 > 224.0.0.22: igmp v3 report, 1 group record(s) [gaddr 226.96.1.1 block {
192.168.1.120 }]
12:33:30.822980 IP (tos 0xc0, ttl 1, id 0, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 44, options (RA))
    192.168.3.115 > 224.0.0.22: igmp v3 report, 1 group record(s) [gaddr 226.96.1.1 block {
192.168.1.120 }]
```

3.2 Bật chức năng IGMP trên kết nối của router đến host

- Trên R3, thiết lập chức năng IGMP cho kết nối tới C (là *enp0s3*):

```
R3:~$ sudo nano /etc/frr/frr.conf
frr version 7.2.1
frr defaults traditional
hostname R1
```

```

log syslog informational
no ipv6 forwarding
service integrated-vtysh-config
!
interface enp0s3
  ip igmp
  ip pim
!
interface enp0s8
  ip pim
!
line vty
!

```

5. Bắt các thông điệp IGMP trên kết nối router – host và restart frr, đã thấy router gửi đi các message IGMP để join vào các nhóm (chế độ include hoặc exclude). Hãy nhớ lại các địa chỉ multicast 224.0.0.1, 224.0.0.2, 224.0.0.22, 224.0.0.13, v.v.. để phân tích mục đích các thông điệp IGMP mà router gửi đi:

```
R3:~$ sudo systemctl restart frr
```

```
R3:~$ sudo tcpdump -i enp0s3 proto \\igmp -nv
```

```

12:44:16.935584 IP (tos 0xc0, ttl 1, id 0, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 48, options (RA))
  192.168.3.1 > 224.0.0.22: igmp v3 report, 2 group record(s) [gaddr 224.0.0.2 to_in { }] [gaddr 224.0.0.22 to_in { }]
12:44:16.954088 IP (tos 0xc0, ttl 1, id 0, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 56, options (RA))
  192.168.3.1 > 224.0.0.22: igmp v3 report, 3 group record(s) [gaddr 224.0.0.13 to_in { }] [gaddr 224.0.0.2 to_in { }] [gaddr 224.0.0.22 to_in { }]
12:44:17.511652 IP (tos 0xc0, ttl 1, id 0, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 56, options (RA))
  192.168.3.1 > 224.0.0.22: igmp v3 report, 3 group record(s) [gaddr 224.0.0.13 to_ex { }] [gaddr 224.0.0.22 to_ex { }] [gaddr 224.0.0.2 to_ex { }]
12:44:18.315371 IP (tos 0xc0, ttl 1, id 0, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 56, options (RA))
  192.168.3.1 > 224.0.0.22: igmp v3 report, 3 group record(s) [gaddr 224.0.0.13 to_ex { }] [gaddr 224.0.0.22 to_ex { }] [gaddr 224.0.0.2 to_ex { }]
12:44:18.500568 IP (tos 0x0, ttl 1, id 44489, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 36, options (RA))
  192.168.3.1 > 224.0.0.1: igmp query v3

```

6. Start & stop *iperf* trên host để join & leave một group. Thấy các thông điệp IGMP trao đổi giữa host và router. Điền thay đổi so với khi chưa bật tính năng IGMP trên router là đã thấy router phản hồi khi host yêu cầu leave khỏi nhóm multicast:

```
R3:~$ sudo tcpdump -i enp0s3 proto \\igmp -nv
```

```

12:51:38.047906 IP (tos 0xc0, ttl 1, id 0, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 44, options (RA))
  192.168.3.115 > 224.0.0.22: igmp v3 report, 1 group record(s) [gaddr 226.96.1.1 allow { 192.168.1.120 }]
12:51:38.599248 IP (tos 0xc0, ttl 1, id 0, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 44, options (RA))
  192.168.3.115 > 224.0.0.22: igmp v3 report, 1 group record(s) [gaddr 226.96.1.1 allow { 192.168.1.120 }]

  192.168.3.115 > 224.0.0.22: igmp v3 report, 1 group record(s) [gaddr 226.96.1.1 block { 192.168.1.120 }]
192.168.3.1 > 226.96.1.1: igmp query v3 [max resp time 1.0s] [gaddr 226.96.1.1 { 192.168.1.120 }]
  192.168.3.115 > 224.0.0.22: igmp v3 report, 1 group record(s) [gaddr 226.96.1.1 block { 192.168.1.120 }]
192.168.3.1 > 226.96.1.1: igmp query v3 [max resp time 1.0s] [gaddr 226.96.1.1 { 192.168.1.120 }]

```

3.3 Cây multicast R1 → R2 → R3 tự động được xây dựng với PIM & IGMP

7. Điểm khác biệt lớn nhất so với multicast thủ công (static) là khi R3 nhận được IGMP từ máy C, nó hiểu và xử lý thông điệp IGMP này. Kết hợp với PIM (sẽ thực hành kỹ hơn trong bài sau), các router R1, R2, R3 tự động dựng cây multicast.

Lưu ý: IGMP không giúp các router tự động xây dựng cây multicast, nó chỉ hỗ trợ chức năng cho phép các router trao đổi yêu cầu join/leave. Cần có thêm giao thức PIM để các router tự động dựng cây multicasts.

Restart *frr* trên tất cả router để reset hoàn toàn cây multicast đã dựng thủ công trước đây:

```
R1# show ip mroute
Source          Group          Proto Input          Output          TTL Uptime
R2# show ip mroute
Source          Group          Proto Input          Output          TTL Uptime
R3# show ip mroute
Source          Group          Proto Input          Output          TTL Uptime
```

- Start *iperf* trên host C để yêu cầu tham gia vào cây multicast, kiểm tra bảng multicast routing trên từng router thấy đã được tự động xây dựng:

```
C:~$ iperf -s -u -B 226.96.1.1 -H 192.168.1.120 -i 1
-----
Server listening on UDP port 5001
Binding to local address 226.96.1.1
Joining multicast (S,G)=192.168.1.120,226.96.1.1
Receiving 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 208 KByte (default)

R3# show ip mroute
Source          Group          Proto Input          Output          TTL Uptime
192.168.1.120   226.96.1.1     IGMP  enp0s8          enp0s3          1   00:00:07

R2# show ip mroute
Source          Group          Proto Input          Output          TTL Uptime
192.168.1.120   226.96.1.1     PIM   enp0s8          enp0s9          1   00:00:22

R1# show ip mroute
Source          Group          Proto Input          Output          TTL Uptime
192.168.1.120   226.96.1.1     PIM   enp0s3          pimreg          1   00:00:12
                  PIM   enp0s8          enp0s8          1   00:00:12
```

- Phát dòng multicast trên host A vào nhóm 226.96.1.1 thì thấy C đã nhận được. Chạy *iperf* trên máy B để join vào cây multicast thì cũng nhận được dòng multicast từ A. Có nghĩa là cây multicast đã được tự động xây dựng thành công:

```
A:~$ iperf -c 226.96.1.1 -u -T 10 -i 1
-----
Client connecting to 226.96.1.1, UDP port 5001
Sending 1470 byte datagrams, IPG target: 11215.21 us (kalman adjust)
Setting multicast TTL to 10
UDP buffer size: 208 KByte (default)
-----
[ 3] local 192.168.1.120 port 41090 connected with 226.96.1.1 port 5001
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 3] 0.0- 1.0 sec    131 KBytes    1.07 Mbits/sec
[ 3] 1.0- 2.0 sec    128 KBytes    1.05 Mbits/sec
[ 3] 2.0- 3.0 sec    128 KBytes    1.05 Mbits/sec

C:~$ iperf -s -u -B 226.96.1.1 -H 192.168.1.120 -i 1
-----
Server listening on UDP port 5001
Binding to local address 226.96.1.1
Joining multicast (S,G)=192.168.1.120,226.96.1.1
Receiving 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 208 KByte (default)
-----
[ 3] local 226.96.1.1 port 5001 connected with 192.168.1.120 port 41090
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth      Jitter    Lost/Total Datagrams
[ 3] 0.0- 1.0 sec    129 KBytes    1.06 Mbits/sec  0.871 ms   0/ 90 (0%)
[ 3] 1.0- 2.0 sec    128 KBytes    1.05 Mbits/sec  0.584 ms   0/ 89 (0%)
[ 3] 2.0- 3.0 sec    128 KBytes    1.05 Mbits/sec  0.738 ms   0/ 89 (0%)
```

```
B:~$ iperf -s -u -B 226.96.1.1 -H 192.168.1.120 -i 1
-----
Server listening on UDP port 5001
Binding to local address 226.96.1.1
Joining multicast (S,G)=192.168.1.120,226.96.1.1
Receiving 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 208 KByte (default)
-----
[ 3] local 226.96.1.1 port 5001 connected with 192.168.1.120 port 45307
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth      Jitter    Lost/Total Datagrams
[ 3] 0.0- 1.0 sec    129 KBytes  1.06 Mbits/sec  0.645 ms   0/   90 (0%)
[ 3] 1.0- 2.0 sec    128 KBytes  1.05 Mbits/sec  0.560 ms   0/   89 (0%)
[ 3] 2.0- 3.0 sec    128 KBytes  1.05 Mbits/sec  0.618 ms   0/   89 (0%)
```

10. Khi cả 2 trạm B và C cùng chạy *iperf* để join vào cây multicast, xem bảng multicast routing trên R2 thấy dòng multicast được duplicate từ *enp0s8* sang *enp0s3* và *enp0s9*. Khi stop *iperf* trên host C, xem bảng multicats trên R2 thấy chỉ còn 1 dòng multicast từ *enp0s8* sang *enp0s3*. Điều này có nghĩa là cây multicast đã được tự động cập nhật theo trạng thái join/leave của các trạm.

```
R2# show ip mroute
Source      Group      Proto  Input      Output      TTL  Uptime
192.168.1.120 226.96.1.1 IGMP   enp0s8      enp0s3       1   00:03:25
              IGMP       enp0s9       1   00:03:25

// sau khi stop iperf trên host C:
R2# show ip mroute
Source      Group      Proto  Input      Output      TTL  Uptime
192.168.1.120 226.96.1.1 IGMP   enp0s8      enp0s3       1   00:00:01

// start trở lại iperf trên host C:
R2# show ip mroute
Source      Group      Proto  Input      Output      TTL  Uptime
192.168.1.120 226.96.1.1 IGMP   enp0s8      enp0s3       1   00:00:03
              IGMP       enp0s9       1   00:00:03
```

3.4 Phân tích các gói tin IGMP Join Report

IGMP Join Report là gói tin được gửi từ nút hạ lưu (downstream) lên nút thượng lưu (upstream) trong cây multicast để yêu cầu tham gia vào một nhóm. Như vậy, IGMP Join Report xuất hiện khi router R2 join R1 (hoặc R3 join R2) và khi H3 yêu cầu nhận gói tin multicast từ R3. Điểm khác nhau trong 2 trường hợp này là khi router join với nhau, nguồn phát (là H1) đã được khai báo. Còn khi H3 join vào R3 thì nguồn phát H1 chưa được thông báo. Khi bắt các gói tin IGMP Join Report trong 2 trường hợp này sẽ thấy điểm khác nhau này:

11. Sử dụng *tcpdump* trên R1 để bắt gói tin IGMP tại kết nối giữa R1 với R2 (*enp0s9*) và khởi động lại *pimd* trên R1 và R2 rồi xây dựng cây multicast R1 → R2. IGMP Joint Report được gửi vào nhóm 224.0.0.22 (các trạm hỗ trợ IGMP). Trường source trong gói tin IGMP Join Repoirt được thiết lập là H1 (192.168.1.120) với chế độ “allow”:

```
R1:~$ sudo systemctl restart pimd.service
R1:~$ sudo tcpdump -i enp0s9 -vv -n | grep 226.96.1.1

R2:~$ sudo systemctl restart pimd
R2:~$ telnet 127.0.0.1 2611
Trying 127.0.0.1...

R2> enable
R2# configure terminal
R2(config)# interface enp0s9
R2(config-if)# ip igmp join 226.96.1.1 192.168.1.120

R1:~$ sudo tcpdump -i enp0s9 -vv -n | grep 226.96.1.1
10.10.1.2 > 224.0.0.22: igmp v3 report, 1 group record(s) [gaddr 226.96.1.1 allow { 192.168.1.120 }]
10.10.1.2 > 224.0.0.22: igmp v3 report, 1 group record(s) [gaddr 226.96.1.1 allow { 192.168.1.120 }]
10.10.1.2 > 224.0.0.22: igmp v3 report, 2 group record(s) [gaddr 226.96.1.1 is_in { 192.168.1.120 }] [gaddr 224.0.0.22 is_ex { }]
10.10.1.2 > 224.0.0.22: igmp v3 report, 2 group record(s) [gaddr 226.96.1.1 is_in { 192.168.1.120 }] [gaddr 224.0.0.22 is_ex { }]
```

12. Sử dụng *tcpdump* trên R3 để bắt gói tin IGMP tại kết nối giữa RH3 với R3 (enp0s10). Khởi động lại *pimd* trên R3 và chạy *iperf -s* trên H3. IGMP Join Report cũng được H3 gửi theo địa chỉ 224.0.0.22 và không xác định nguồn phát (trường source trong gói tin để trống):

```
R3:~$ sudo systemctl restart pimd.service
R3:~$ sudo tcpdump -i enp0s10 -vv -n | grep -i IGMP

H3:~$ iperf -s -u -B 226.96.1.1 -i 1
-----
Server listening on UDP port 5001
Binding to local address 226.96.1.1
Joining multicast group 226.96.1.1
Receiving 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 208 KByte (default)
-----

R3:~$ sudo tcpdump -n -i enp0s10 -vv | grep -i IGMP
tcpdump: listening on enp0s10, link-type EN10MB (Ethernet), capture size 262144 bytes
10:16:19.221054 IP (tos 0x0, ttl 1, id 23530, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 36, options (RA))
 192.168.3.1 > 224.0.0.1: igmp query v3
10:16:19.407137 IP (tos 0xc0, ttl 1, id 0, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 40, options (RA))
 192.168.3.115 > 224.0.0.22: igmp v3 report, 1 group record(s) [gaddr 226.96.1.1 is_ex { }]
10:16:21.987170 IP (tos 0xc0, ttl 1, id 0, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 40, options (RA))
 192.168.3.115 > 224.0.0.22: igmp v3 report, 1 group record(s) [gaddr 226.96.1.1 to_in { }]
10:16:21.987349 IP (tos 0x0, ttl 1, id 10508, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 36, options (RA))
 192.168.3.1 > 226.96.1.1: igmp query v3 [max resp time 1.0s] [gaddr 226.96.1.1]
10:16:22.291185 IP (tos 0xc0, ttl 1, id 0, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 40, options (RA))
 192.168.3.115 > 224.0.0.22: igmp v3 report, 1 group record(s) [gaddr 226.96.1.1 to_in { }]
10:16:22.291348 IP (tos 0x0, ttl 1, id 10571, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 36, options (RA))
 192.168.3.1 > 226.96.1.1: igmp query v3 [max resp time 1.0s] [gaddr 226.96.1.1]
10:16:22.919204 IP (tos 0xc0, ttl 1, id 0, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 40, options (RA))
 192.168.3.115 > 224.0.0.22: igmp v3 report, 1 group record(s) [gaddr 226.96.1.1 to_ex { }]
10:16:22.987700 IP (tos 0x0, ttl 1, id 10588, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 36, options (RA))
```

3.5 Phân tích các gói tin IGMP Leave & Query

IGMP Query được nút cha gửi đến các nút con (trong phạm vi local link) để hỏi về tình trạng duy trì thành viên trong nhóm. Nút con trả lời nút cha bằng một thông điệp IGMP Report và nội dung của nó có thể là thông báo rời khỏi một nhóm (leave).

13. Trong khi cây multicast R1 → R2 đã được hình thành, bắt gói tin IGMP trên kết nối enp0s9 (giữa R1 và R2) rồi kết thúc tiến trình *pimd* trên R2. Việc kết thúc *pimd* trên R2 sẽ tạo ra yêu cầu rời khỏi cây multicast bằng thông điệp IGMP leave. Thông điệp này được R2 gửi theo nhóm 224.0.0.22 với nội dung block nguồn phát 192.168.1.120 trong nhóm 226.96.1.1:

```
R1:~$ sudo tcpdump -i enp0s9 -vv -n
R2:~$ sudo systemctl stop pimd

R1:~$ sudo tcpdump -i enp0s9 -vv -n
tcpdump: listening on enp0s9, link-type EN10MB (Ethernet), capture size 262144 bytes
12:33:57.886155 IP (tos 0xc0, ttl 1, id 0, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 52, options (RA))
 10.10.1.2 > 224.0.0.22: igmp v3 report, 2 group record(s) [gaddr 224.0.0.22 to_in { }] [gaddr 226.96.1.1 block {
192.168.1.120 }]
12:33:57.886578 IP (tos 0x0, ttl 1, id 54091, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 36, options (RA))
 10.10.1.1 > 224.0.0.22: igmp query v3 [max resp time 1.0s] [gaddr 224.0.0.22]
12:33:57.886662 IP (tos 0x0, ttl 1, id 47755, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 40, options (RA))
 10.10.1.1 > 226.96.1.1: igmp query v3 [max resp time 1.0s] [gaddr 226.96.1.1 { 192.168.1.120 }]
12:33:58.273801 IP (tos 0xc0, ttl 1, id 0, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 52, options (RA))
 10.10.1.2 > 224.0.0.22: igmp v3 report, 2 group record(s) [gaddr 224.0.0.22 to_in { }] [gaddr 226.96.1.1 block {
192.168.1.120 }]
12:33:58.274068 IP (tos 0x0, ttl 1, id 54155, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 36, options (RA))
 10.10.1.1 > 224.0.0.22: igmp v3 report, 1 group record(s) [gaddr 224.0.0.22 is_ex { }]
12:33:58.887320 IP (tos 0x0, ttl 1, id 54296, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 36, options (RA))
```

14. Trong các thông điệp IGMP trao đổi giữa R1 với R2 ở bước trên cũng thấy IGMP Query được R1 gửi theo nhóm 224.0.0.22 (query chung) hoặc gửi theo nhóm 226.96.1.1 (query theo nhóm riêng) để hỏi về việc duy trì thành viên của nhóm. Khi nhận được các query này, R2 trả lời R1 bằng thông điệp IGMP Report
15. Bắt gói tin IGMP giữa R3 và H3 khi chạy *iperf -s* và kết thúc *iperf* cũng thấy xuất hiện các thông điệp IGMP. Khi bắt đầu chạy *iperf -s* trên H3, H3 gửi IGMP Report vào địa chỉ 224.0.0.22 yêu cầu join vào nhóm 226.96.1.1 mà không có nguồn phát (đặt chế độ hoạt động là EXCLUSIVE và để

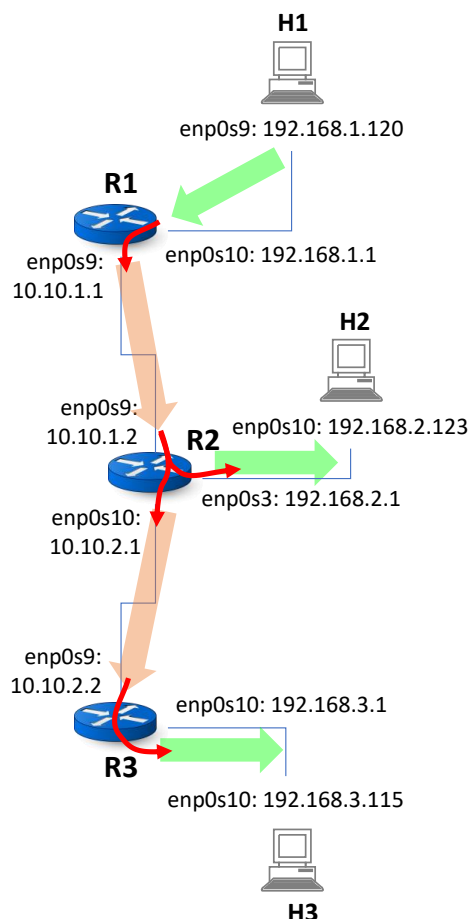
trống nguồn phát). Khi Kết thúc iperf trên H3, nó gửi yêu cầu Leave bằng thông điệp IGMP Report với chế độ hoạt động là INCLUDE và không có nguồn phát:

```
R3:~$ sudo tcpdump -n -i enp0s10 -vv
tcpdump: listening on enp0s10, link-type EN10MB (Ethernet), capture size 262144 bytes
12:48:26.419143 IP (tos 0xc0, ttl 1, id 0, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 40, options (RA))
192.168.3.115 > 224.0.0.22: igmp v3 report, 1 group record(s) [gaddr 226.96.1.1 to_ex { }]
12:48:26.759164 IP (tos 0xc0, ttl 1, id 0, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 40, options (RA))
192.168.3.115 > 224.0.0.22: igmp v3 report, 1 group record(s) [gaddr 226.96.1.1 to_in { }]
12:48:47.815652 IP (tos 0xc0, ttl 1, id 0, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 40, options (RA))
192.168.3.115 > 224.0.0.22: igmp v3 report, 1 group record(s) [gaddr 226.96.1.1 to_in { }]
12:49:10.385890 IP (tos 0xc0, ttl 1, id 35016, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 36, options (RA))
192.168.3.1 > 224.0.0.1: igmp query v3
12:49:17.200142 IP (tos 0xc0, ttl 1, id 0, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 40, options (RA))
192.168.3.1 > 224.0.0.22: igmp v3 report, 1 group record(s) [gaddr 224.0.0.22 is_ex { }]
```

16. Trong các thông điệp IGMP giữa R3 và H3 ở bước trên, có thể thấy các query do R3 gửi và report H3 trả lời.

4 Thực hành multicast routing protocol: PIM-SSM

Phiên bản *pimd* trong gói *quagga* (version 0.166) cài đặt PIM-SSM (Source Specific Mode), hoạt động theo chế độ Dense Mode. Nguyên tắc Dense Mode là router chuyển tiếp gói tin multicast đến tất cả các router downstream cho đến khi router downstream yêu cầu dừng gửi. Sơ đồ kết nối mạng tiếp tục sử dụng như các bài trước nhưng thay vì phải cấu hình static, bài này sẽ thiết lập PIM-SSM để các router tự trao đổi và thiết lập cây multicast



4.1 Xây dựng cây multicast tự động với PIM-SSM

1. Cấu hình các router để hỗ trợ PIM-SSM. Nguyên tắc là các giao diện kết nối mạng giữa router và host thì sử dụng IGMP (khai báo "ip igmp"), đối với các giao diện mạng kết nối giữa các router thì sử dụng PIM-SSM (khai báo "ip pim ssm"). Để tự động chuyển các yêu cầu join/leave host trên

IGMP vào thành các xử lý trong PIM, cần khai báo thêm “ip pim ssm” cho các giao diện kết nối giữa router và host:

```
R1:~$ sudo nano /etc/quagga/pimd.conf
password zebra
enable password zebra

ip multicast-routing

interface enp0s9
ip pim ssm
interface enp0s10
ip pim ssm
ip igmp

log file /var/log/quagga/pimd.log

R1:~$ sudo systemctl restart pimd

R2:~$ sudo nano /etc/quagga/pimd.conf
password zebra
enable password zebra

ip multicast-routing

interface enp0s3
ip pim ssm
ip igmp

interface enp0s9
ip pim ssm
# ip igmp

interface enp0s10
ip pim ssm
# ip igmp

log file /var/log/quagga/pimd.log

R2:~$ sudo systemctl restart pimd

R3:~$ sudo systemctl restart pimd
password zebra
enable password zebra

ip multicast-routing

interface enp0s9
ip pim ssm
# ip igmp

interface enp0s10
ip pim ssm
ip igmp

log file /var/log/quagga/pimd.log

R3:~$ sudo systemctl restart pimd
```

2. Chạy *iperf -s -H* trên H2 để join vào nhóm multicast 226.96.1.1 với nguồn phát xác định là H1:

```
H2:~$ iperf -s -u -B 226.96.1.1 -i 1 -H 192.168.1.120
-----
Server listening on UDP port 5001
Binding to local address 226.96.1.1
Joining multicast (S,G)=192.168.1.120,226.96.1.1
Receiving 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 208 KByte (default)
-----
```

3. Chạy *iperf -c* trên H1 để phát gói tin multicast vào nhóm 226.96.1.1:

```
H1:~$ iperf -c 226.96.1.1 -u -T 32 -t 10 -i 1
-----
Client connecting to 226.96.1.1, UDP port 5001
Sending 1470 byte datagrams, IPG target: 11215.21 us (kalman adjust)
Setting multicast TTL to 32
UDP buffer size: 208 KByte (default)
-----
[ 3] local 192.168.1.120 port 41294 connected with 226.96.1.1 port 5001
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[ 3] 0.0- 1.0 sec    131 KBytes  1.07 Mbits/sec
[ 3] 1.0- 2.0 sec    128 KBytes  1.05 Mbits/sec
[ 3] 2.0- 3.0 sec    128 KBytes  1.05 Mbits/sec
```



```
[ 3] 3.0- 4.0 sec 128 KBytes 1.05 Mbits/sec
[ 3] 4.0- 5.0 sec 128 KBytes 1.05 Mbits/sec
[ 3] 5.0- 6.0 sec 128 KBytes 1.05 Mbits/sec
[ 3] 6.0- 7.0 sec 129 KBytes 1.06 Mbits/sec
[ 3] 7.0- 8.0 sec 128 KBytes 1.05 Mbits/sec
[ 3] 8.0- 9.0 sec 128 KBytes 1.05 Mbits/sec
[ 3] 9.0-10.0 sec 1.25 MBytes 1.05 Mbits/sec
[ 3] Sent 892 datagrams
```

4. Kiểm tra *iperf* đang chạy trên H2 thấy nhận được các gói tin H1 phát vào nhóm multicast:

```
H2:~$ iperf -s -u -B 226.96.1.1 -H 192.168.1.120 -i 1
-----
Server listening on UDP port 5001
Binding to local address 226.96.1.1
Joining multicast (S,G)=192.168.1.120,226.96.1.1
Receiving 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 208 KByte (default)
-----
[ 3] local 226.96.1.1 port 5001 connected with 192.168.1.120 port 42426
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth    Jitter    Lost/Total Datagrams
[ 3] 0.0- 1.0 sec 129 KBytes 1.06 Mbits/sec 0.056 ms 0/ 90 (0%)
[ 3] 1.0- 2.0 sec 128 KBytes 1.05 Mbits/sec 0.059 ms 0/ 89 (0%)
[ 3] 2.0- 3.0 sec 128 KBytes 1.05 Mbits/sec 0.053 ms 0/ 89 (0%)
[ 3] 3.0- 4.0 sec 128 KBytes 1.05 Mbits/sec 0.056 ms 0/ 89 (0%)
[ 3] 4.0- 5.0 sec 128 KBytes 1.05 Mbits/sec 0.087 ms 0/ 89 (0%)
```

5. Chạy *iperf-s-H* trên H3 trong khi H1 đang phát, nhận được gói tin multicast từ H1:

```
H3:~$ iperf -s -u -B 226.96.1.1 -H 192.168.1.120 -i 1
-----
Server listening on UDP port 5001
Binding to local address 226.96.1.1
Joining multicast (S,G)=192.168.1.120,226.96.1.1
Receiving 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 208 KByte (default)
-----
[ 3] local 226.96.1.1 port 5001 connected with 192.168.1.120 port 44744
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth    Jitter    Lost/Total Datagrams
[ 3] 0.0- 1.0 sec 135 KBytes 1.11 Mbits/sec 0.446 ms 181/ 275 (66%)
[ 3] 1.0- 2.0 sec 128 KBytes 1.05 Mbits/sec 0.047 ms 0/ 89 (0%)
[ 3] 2.0- 3.0 sec 128 KBytes 1.05 Mbits/sec 0.067 ms 0/ 89 (0%)
[ 3] 3.0- 4.0 sec 128 KBytes 1.05 Mbits/sec 0.050 ms 0/ 89 (0%)
```

6. Như vậy là cây multicast H1 → R1 → R2 (→ H2) → R3 → H3 đã được thiết lập tự động và các gói tin multicast H1 gửi vào nhóm đã được chuyển tiếp đến H2 và H3

4.2 Phân tích hoạt động của PIM-SSM: tự động tạo cây (join group)

PIM SSM hoạt động khá giống IGMP. Quá trình tạo cây multicast cũng được kích hoạt khi trạm nghe gửi IGMP Join Report đến PIM SSM router đầu tiên. Điểm khác nhau là IGMP chỉ xử lý join/leave nút con với nút cha (tạo một cành cây), PIM SSM thực hiện lần lượt quá trình join/leave tại các router nằm trên đường RPF cho đến khi gặp nguồn phát hoặc gặp router đã join vào cây multicast (tạo cả nhánh cây). Quá trình này có thể được nhìn thấy khi bắt các gói tin PIM trên đường RPF từ nút nghe về nút nguồn phát. Các bước thực hiện như sau.

1. Dùng *tcpdump* bắt gói tin PIM hoặc IGMP trên các router thuộc RPF từ H3 về H1 và khởi động lại tiến trình pimd để reset bộ nhớ multicast trong các router:
 - R3: bắt IGMP trên giao diện enp0s10 (kết nối “next hope” trong RPF từ H3 về H1)
 - R2: bắt PIM trên giao diện enp0s10 (kết nối “next hope” trong RPF từ R3 về H1)
 - R1: bắt PIM trên giao diện enp0s9 (kết nối “next hope” trong RPF từ R2 về H1)

```
R3:~$ sudo systemctl restart pimd
R3:~$ sudo tcpdump igmp -n -vv -i enp0s10

R2:~$ sudo systemctl restart pimd
R2:~$ sudo tcpdump pim -n -vv -i enp0s10

R1:~$ sudo systemctl restart pimd
R1:~$ sudo tcpdump pim -n -vv -i enp0s9
```

2. Trên H3, chạy *iperf-s-H* để yêu cầu join vào cây multicast với nguồn phát H1:

```
H3:~$ iperf -s -u -B 226.96.1.1 -H 192.168.1.120 -i 1
-----
```



```

Server listening on UDP port 5001
Binding to local address 226.96.1.1
Joining multicast (S,G)=192.168.1.120,226.96.1.1
Receiving 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 208 KByte (default)
-----

```

- Quan sát gói tin IGMP bắt được trên R3, thấy có IGMP Join Report gửi từ H3 vào địa chỉ 224.0.0.22 (IGMP router) để yêu cầu join vào nhóm 226.96.1.1 với nguồn phát 192.168.1.120

```

R3:~$ sudo tcpdump igmp -n -vv -i enp0s10
tcpdump: listening on enp0s10, link-type EN10MB (Ethernet), capture size 262144 bytes
22:11:00.199559 IP (tos 0xc0, ttl 1, id 0, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 44, options (RA))
192.168.3.115 > 224.0.0.22: igmp v3 report, 1 group record(s) [gaddr 226.96.1.1 allow { 192.168.1.120 }]
22:11:00.323529 IP (tos 0xc0, ttl 1, id 0, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 44, options (RA))
192.168.3.115 > 224.0.0.22: igmp v3 report, 1 group record(s) [gaddr 226.96.1.1 allow { 192.168.1.120 }]
22:11:11.504068 IP (tos 0x0, ttl 1, id 12994, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 36, options (RA))

```

- Quan sát gói tin PIM bắt được trên R2, thấy có PIM Join gửi từ R3 (10.10.2.2) vào địa chỉ 224.0.0.13 (PIM router) để yêu cầu join vào nhóm 226.96.1.1 với nguồn phát 192.168.1.120. Thông điệp PIM này cũng xác định upstream (nút cha) của R3 là 10.10.2.1 (là “next hope” của RPF từ R3 về H1)

```

R2:~$ sudo tcpdump pim -n -vv -i enp0s10
tcpdump: listening on enp0s10, link-type EN10MB (Ethernet), capture size 262144 bytes
15:10:57.756668 IP (tos 0x0, ttl 1, id 21196, offset 0, flags [DF], proto PIM (103), length 54)
10.10.2.2 > 224.0.0.13: PIMv2, length 34
Join / Prune, cksum 0x235e (correct), upstream-neighbor: 10.10.2.1
1 group(s), holdtime: 3m30s
group #1: 226.96.1.1, joined sources: 1, pruned sources: 0
joined source #1: 192.168.1.120(S)

```

- Quan sát gói tin PIM bắt được trên R1, thấy có PIM Join gửi từ R2 (10.10.1.2) vào địa chỉ 224.0.0.13 (PIM router) để yêu cầu join vào nhóm 226.96.1.1 với nguồn phát 192.168.1.120. Thông điệp PIM này cũng xác định upstream (nút cha) của R2 là 10.10.1.1 (là “next hope” của RPF từ R3 về H1)

```

R1:~$ sudo tcpdump pim -i enp0s9 -vv -n
tcpdump: listening on enp0s9, link-type EN10MB (Ethernet), capture size 262144 bytes
22:11:00.212526 IP (tos 0x0, ttl 1, id 33743, offset 0, flags [DF], proto PIM (103), length 54)
10.10.1.2 > 224.0.0.13: PIMv2, length 34
Join / Prune, cksum 0x245e (correct), upstream-neighbor: 10.10.1.1
1 group(s), holdtime: 3m30s
group #1: 226.96.1.1, joined sources: 1, pruned sources: 0
joined source #1: 192.168.1.120(S)

```

- Như vậy, các thông tin ở các bước trên cho thấy các router khi nhận được gói tin PIM Join sẽ tự gắn mình vào (cành) cây multicast với nút cha là router “upstream”, đồng thời tiếp tục gửi gói tin PIM Join đến nút cha nà. Router upstream (nút cha) nhận được PIM Join lại lặp lại xử lý tương tự, cho đến khi gặp nút nguồn. Các thông tin multicast được cập nhật thông qua PIM tại các router như sau:

```

R2> show ip pim rpf
RPF Cache Refresh Delay: 10000 msecs
RPF Cache Refresh Timer: 0 msecs
RPF Cache Refresh Requests: 6
RPF Cache Refresh Events: 1
RPF Cache Refresh Last: 00:16:50

Source          Group          RpfIface  RpfAddress    RibNextHop    Metric Pref
192.168.1.120   226.96.1.1    enp0s9    10.10.1.1     10.10.1.1     0 0

R2> show ip pim upstream
Source          Group          State Uptime  JoinTimer RefCnt
192.168.1.120   226.96.1.1    Jnd  00:00:20  00:00:40  1

R2> show ip pim join
Interface Address          Source          Group          State  Uptime  Expire Prune
enp0s10  10.10.2.1          192.168.1.120  226.96.1.1    JOIN  00:00:31  02:59  --:--

R2> show ip mroute
Proto: I=IGMP P=PIM S=STATIC

Source          Group          Proto Input iVifI Output oVifI  TTL Uptime
192.168.1.120   226.96.1.1     P  enp0s9      4 enp0s10     5  1 00:00:56

```

4.3 Phân tích hoạt động của PIM-SSM: tự động cắt cành (prun)

Cây multicast được thiết lập H1 → R1 → R2 → R3 → H3. Khi H3 yêu cầu kết thúc nhận tin trong nhóm (leave group), IGMP Leave Report sẽ được gửi từ H3 đến R3. Lần lượt các router trong nhánh cây kiểm tra nếu đây là thành viên cuối cùng trong nhóm, nó sẽ thực hiện hoạt động cắt cành cây multicast này.

Tiếp tục bắt gói tin bằng *tcpdump* như trên và kết thúc tiến trình *iperf* trên H3.

1. Quan sát gói tin IGMP bắt được trên R3, thấy có IGMP Leave Report gửi từ H3 vào địa chỉ 224.0.0.22 (IGMP router):

```
R3:~$ sudo tcpdump igmp -n -vv -i enp0s10
tcpdump: listening on enp0s10, link-type EN10MB (Ethernet), capture size 262144 bytes
22:31:18.937968 IP (tos 0xc0, ttl 1, id 0, offset 0, flags [DF], proto IGMP (2), length 44, options (RA))
192.168.3.115 > 224.0.0.22: igmp v3 report, 1 group record(s) [gaddr 226.96.1.1 block { 192.168.1.120 }]
```

2. Quan sát gói tin PIM bắt được trên R2, thấy có PIM Prune gửi từ R3 (10.10.2.2) vào địa chỉ 224.0.0.13 (PIM router) để yêu cầu rời nhóm. Thông điệp PIM này cũng xác định upstream (nút cha) của R3 là 10.10.2.1 (là “next hope” của RPF từ R3 về H1)

```
R2:~$ sudo tcpdump pim -n -vv -i enp0s10
tcpdump: listening on enp0s10, link-type EN10MB (Ethernet), capture size 262144 bytes
15:31:18.465871 IP (tos 0x0, ttl 1, id 47870, offset 0, flags [DF], proto PIM (103), length 54)
10.10.2.2 > 224.0.0.13: PIMv2, length 34
Join / Prune, cksum 0x235e (correct), upstream-neighbor: 10.10.2.1
1 group(s), holdtime: 3m30s
group #1: 226.96.1.1, joined sources: 0, pruned sources: 1
pruned source #1: 192.168.1.120(S)
```

3. Quan sát gói tin PIM bắt được trên R1, thấy có PIM Prune gửi từ R2 vào địa chỉ 224.0.0.13 (PIM router) để yêu cầu rời nhóm.

```
R1:~$ sudo tcpdump pim -i enp0s9 -vv -n
[sudo] password for hp:
tcpdump: listening on enp0s9, link-type EN10MB (Ethernet), capture size 262144 bytes
22:31:20.950338 IP (tos 0x0, ttl 1, id 38670, offset 0, flags [DF], proto PIM (103), length 54)
10.10.1.2 > 224.0.0.13: PIMv2, length 34
Join / Prune, cksum 0x245e (correct), upstream-neighbor: 10.10.1.1
1 group(s), holdtime: 3m30s
group #1: 226.96.1.1, joined sources: 0, pruned sources: 1
pruned source #1: 192.168.1.120(S)
```

4. Tại các router, thông tin (cành) cây multicast (mà đã được xây dựng bằng PIM khi tạo cây) được hủy bỏ:

```
R2> show ip pim rpf
RPF Cache Refresh Delay: 10000 msec
RPF Cache Refresh Timer: 0 msec
RPF Cache Refresh Requests: 6
RPF Cache Refresh Events: 1
RPF Cache Refresh Last: 00:32:32

Source          Group          RpfIface RpfAddress      RibNextHop      Metric Pref

R2> show ip pim join
Interface Address          Source          Group          State  Uptime  Expire Prune

R2> show ip pim upstream
Source          Group          State  Uptime  JoinTimer RefCnt

R2> show ip mroute
Proto: I=IGMP P=PIM S=STATIC

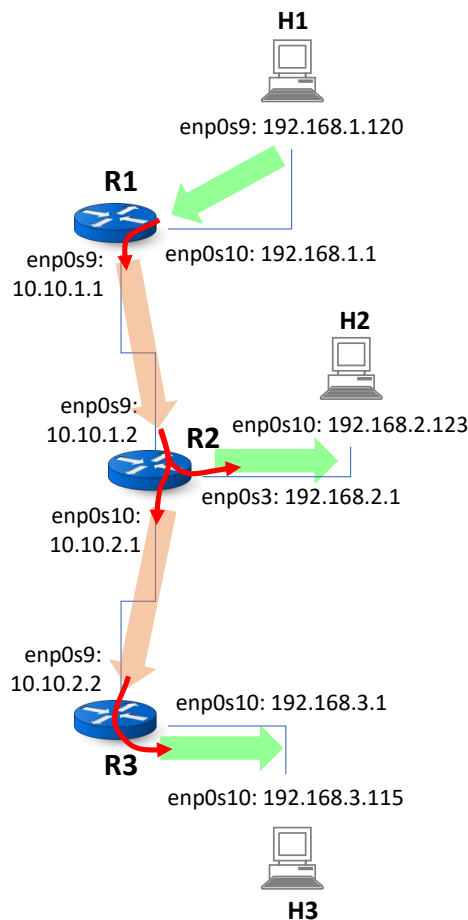
Source          Group          Proto Input iVifI Output oVifI TTL Uptime
```

5 Thực hành multicast routing protocol: PIM-SM

Sử dụng *frr* (<http://docs.frrouting.org/en/stable-8.0/index.html>) thay cho *quagga*.

Cài đặt *frr* trên các router bằng *apt-get install frr*.

Tiếp tục sử dụng sơ đồ kết nối 3 router và đặt R2 là Rendezvous Point (RP). Cho H3 nghe trên nhóm khi chưa xác định nguồn phát. Cây multicast được thiết lập bằng source RP. Khi H1 phát, cây multicast được chuyển về source H1 và chạy thuật toán RPT để tối ưu.



5.1 Thiết lập RP cho các PIM SM

1. Bật daemon zebra (mặc định) và pimd trên các router:

```
$ sudo nano /etc/frr/daemons
```

```
bgpd=no
ospfd=no
ospf6d=no
ripd=no
ripngd=no
isisd=no
pimd=yes
ldpd=no
nhrpd=no
eigrpd=no
babeld=no
sharpd=no
pbrd=no
bfd=no
fabricd=no
vrrpd=no

vtysh_enable=yes
zebra_options=" -A 127.0.0.1 -s 90000000"
bgpd_options=" -A 127.0.0.1"
ospfd_options=" -A 127.0.0.1"
ospf6d_options=" -A ::1"
ripd_options=" -A 127.0.0.1"
ripngd_options=" -A ::1"
isisd_options=" -A 127.0.0.1"
pimd_options=" -A 127.0.0.1"
ldpd_options=" -A 127.0.0.1"
nhrpd_options=" -A 127.0.0.1"
```

```

eigrpd_options="-A 127.0.0.1"
babeld_options="-A 127.0.0.1"
sharpd_options="-A 127.0.0.1"
pbrd_options="-A 127.0.0.1"
staticd_options="-A 127.0.0.1"
bfdd_options="-A 127.0.0.1"
fabricd_options="-A 127.0.0.1"
vrrpd_options="-A 127.0.0.1"

$ sudo systemctl restart frr
$ sudo systemctl status frr
● frr.service - FRRouting
   Loaded: loaded (/lib/systemd/system/frr.service; enabled; vendor preset: enabled)
   Active: active (running) since Sun 2021-10-10 21:15:11 +07; 3min 40s ago
     Docs: https://frrouting.readthedocs.io/en/latest/setup.html
   Process: 1034 ExecStart=/usr/lib/frr/frrinit.sh start (code=exited, status=0/SUCCESS)
    Tasks: 9 (limit: 1071)
   Memory: 9.4M
   CGroup: /system.slice/frr.service
           └─1053 /usr/lib/frr/watchfrr -d zebra pimd staticd
             └─1069 /usr/lib/frr/zebra -d -A 127.0.0.1 -s 90000000
               └─1074 /usr/lib/frr/pimd -d -A 127.0.0.1
                 └─1084 /usr/lib/frr/staticd -d -A 127.0.0.1

Oct 10 21:15:11 R1 pimd[1074]: PIM INTERFACE UP: on interface enp0s10 ifindex=5
Oct 10 21:15:11 R1 pimd[1074]: PIM INTERFACE UP: on interface enp0s9 ifindex=4
Oct 10 21:15:11 R1 pimd[1074]: PIM NEIGHBOR UP: neighbor 10.10.1.2 on interface enp0s9
Oct 10 21:15:11 R1 zebra[1069]: client 32 says hello and bids fair to announce only static routes vrf=0
Oct 10 21:15:11 R1 watchfrr[1053]: zebra state -> up : connect succeeded
Oct 10 21:15:11 R1 watchfrr[1053]: pimd state -> up : connect succeeded
Oct 10 21:15:11 R1 watchfrr[1053]: staticd state -> up : connect succeeded
Oct 10 21:15:11 R1 watchfrr[1053]: all daemons up, doing startup-complete notify
Oct 10 21:15:11 R1 frrinit.sh[1034]: * Started watchfrr
Oct 10 21:15:11 R1 systemd[1]: Started FRRouting.

```

2. Có thể thiết lập cố định RP theo các nhóm multicast, hoặc thiết lập cơ chế để cá router tự xác định RP. Ở đây ta thiết lập cố định RP là R2 (192.168.2.1) cho các nhóm 226.0.0.0/8 trên cả 3 router:

```

$ sudo vtysh

Hello, this is FRRouting (version 7.2.1).
Copyright 1996-2005 Kunihiro Ishiguro, et al.

# configure terminal
(config)# ip pim rp 192.168.2.1 226.0.0.0/8
(config)# do write
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]

(config)# end
# show ip pim rp-info
RP address      group/prefix-list  OIF          I am RP      Source
192.168.2.1     226.0.0.0/8       enp0s9       no           Static

```

5.2 Thiết lập IGMP và PIM cho các kết nối mạng của từng router

3. Đối với các kết nối mạng giữa các router, khai báo *"ip pim"* cho phép các kết nối mạng này hỗ trợ giao thức PIM. Đối với các kết nối mạng giữa router và host, khai báo *"ip igmp"* cho phép router hỗ trợ IGMP để xử lý các yêu cầu multicast từ host. Ngoài ra, giữa router và host khai báo thêm *"ip pim"* để tích hợp IGMP với PIM (khi router nhận được IGMP Join Report gửi từ host, nó sẽ xử lý IGMP đồng thời kích hoạt PIM Join. Khai báo trên R1:

```

R1# configure terminal
R1(config)# interface enp0s10
R1(config-if)# ip igmp
R1(config-if)# ip pim
R1(config-if)# exit
R1(config)# interface enp0s9
R1(config-if)# ip pim
R1(config-if)# do write
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
R1(config-if)# end

```

```

R1# show running-config
Building configuration...

Current configuration:
!
frr version 7.2.1
frr defaults traditional
hostname R1
log syslog informational
no ipv6 forwarding
ip pim rp 192.168.2.1 226.0.0.0/8
service integrated-vtysh-config
!
interface enp0s10
 ip igmp
 ip pim
!
interface enp0s9
 ip pim
!
line vty
!
end

```

4. Tương tự khai báo trên R2:

```

R2# configure terminal
R2(config)# interface enp0s9
R2(config-if)# ip pim
R2(config-if)# exit
R2(config)# interface enp0s10
R2(config-if)# ip pim
R2(config-if)# exit
R2(config)# interface enp0s3
R2(config-if)# ip igmp
R2(config-if)# ip pim
R2(config-if)# exit
R2(config)# ip pim rp 192.168.2.1 226.0.0.0/8
R2(config)# do write
% Unknown command: do write
R2(config)# do write
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Warning: /etc/frr/frr.conf.sav unlink failed
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
R2(config)# end
R2# show running-config
Building configuration...

Current configuration:
!
frr version 7.2.1
frr defaults traditional
hostname R2
log syslog informational
no ipv6 forwarding
ip pim rp 192.168.2.1 226.0.0.0/8
service integrated-vtysh-config
!
interface enp0s10
 ip pim
!
interface enp0s3
 ip igmp
 ip pim
!
interface enp0s9
 ip pim
!
line vty
!
end

```

5. Khai báo tương tự trên R3 để kết quả cấu hình (running-config) như sau:

```

@R3:~$ sudo vtysh

Hello, this is FRRouting (version 7.2.1).
Copyright 1996-2005 Kunihiro Ishiguro, et al.

R3# show running-config
Building configuration...

Current configuration:
!

```

```

frr version 7.2.1
frr defaults traditional
hostname R3
log syslog informational
no ipv6 forwarding
ip pim rp 192.168.2.1 226.0.0.0/8
service integrated-vtysh-config
!
interface enp0s10
ip igmp
ip pim
!
interface enp0s9
ip pim
!
line vty
!
end

```

5.3 Trạm nghe H3 đăng ký join vào cây

6. H3 chạy *perf -s* để đăng ký join vào cây. Sau khi chạy lệnh này, H3 chưa nhận được gì vì nguồn phát chưa xác định.

```

H3:~$ iperf -s -u -B 226.96.1.1 -i 1
-----
Server listening on UDP port 5001
Binding to local address 226.96.1.1
Joining multicast group 226.96.1.1
Receiving 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 208 KByte (default)
-----

```

7. Xem các thông số IGMP trên R3 (là LHR của H3 – Last Hop Router) thấy có những thông tin sau:
- Interface hỗ trợ IGMP là cả 2 interface của R3
 - Interface kết nối với H3 đã được join vào nhóm 226.0.0.1 theo mode Exclusive và không xác định nguồn phát

```

R3# show ip igmp interface
Interface      State      Address V Querier Query Timer  Uptime
enp0s9         mtrc      10.10.2.2 3 other    --:--:--  00:24:53
enp0s10        up        192.168.3.1 3 local    00:00:40  00:24:53
R3# show ip igmp groups
Interface      Address      Group      Mode Timer  Srcs V Uptime
enp0s10        192.168.3.1 226.96.1.1 EXCL 00:02:52 1 3 00:01:28
R3# show ip igmp sources
Interface      Address      Group      Source      Timer Fwd Uptime
enp0s10        192.168.3.1 226.96.1.1 *           --:-- Y 00:01:34

```

8. Xem PIM state (trạng thái của router PIM) trên router R3:
- Incoming interface (IIF) của nhóm 226.96.1.1 được xác định là enp0s9 (là kết nối từ R2). Lý do là R2 đã được khai báo là RP nên khi chưa xác định nguồn phát, các cây multicast sẽ mặc định xây dựng với nguồn phát là RP. Và từ nguồn phát này R3 sẽ nhận được gói tin (incoming) ở kết nối mạng R2-R3.
 - Outgoing interface list (OIL) là *pimreg* và *enp0s10*. Kết nối *pimreg* là kết nối mạng ảo được *pimd* tạo ra để kết nối đến RP, tạm thời ta chưa cần quan tâm đến. Như vậy là gói tin multicast sẽ được R3 nhận từ R2 (qua kết nối enp0s9) và sẽ chuyển tiếp cho H3 (kết nối enp0s10).

```

R3# show ip pim state
Codes: J -> Pim Join, I -> IGMP Report, S -> Source, * -> Inherited from (*,G), V -> VxLAN
Installed Source      Group      IIF      OIL
1 *                   226.96.1.1 enp0s9    pimreg(I ), enp0s10(IJ )

```

9. Bảng multicast routing table trên R3 cũng thấy luật chuyển tiếp gói tin multicast được thiết lập: nhận từ R2 và sẽ chuyển tiếp cho H3.

```

R3# show ip mroute
Source      Group      Proto  Input      Output      TTL  Uptime
*           226.96.1.1 IGMP    enp0s9     pimreg      1    00:06:18
           IGMP      enp0s10

```

10. Xem PIM state trên R2 thấy có những thông tin sau:

- Gói tin nhóm 226.96.1.1 sẽ nhận được từ enp0s3 (là giao diện có địa chỉ RP)
- Và được chuyển tiếp sang giao diện enp0s10 (chuyển cho R3)

```
R2# show ip pim state
Codes: J -> Pim Join, I -> IGMP Report, S -> Source, * -> Inherited from (*,G), V -> VxLAN
Installed Source      Group      IIF      OIL
1      *      226.96.1.1      enp0s3      enp0s10( J )
```

11. Bảng multicast routing table trên R2 cũng thể hiện luật xử lý multicast như vậy:

```
R2# show ip mroute
Source      Group      Proto Input      Output      TTL Uptime
*      226.96.1.1      PIM      enp0s3      enp0s10      1 00:30:22
```

12. Xem PIM state trên R1 chưa thấy có thông tin gì (vì R1 nằm ngoài RPT từ R3 đến RP)

```
R1# show ip pim state
Codes: J -> Pim Join, I -> IGMP Report, S -> Source, * -> Inherited from (*,G), V -> VxLAN
Installed Source      Group      IIF      OIL
```

5.4 Trạm phát H1 phát tin vào nhóm

13. H1 bắt đầu phát tin vào nhóm

```
@H1:~$ iperf -c 226.96.1.1 -u -T 32 -t 10 -i 1
-----
Client connecting to 226.96.1.1, UDP port 5001
Sending 1470 byte datagrams, IPG target: 11215.21 us (kalman adjust)
Setting multicast TTL to 32
UDP buffer size: 208 KByte (default)
-----
[ 3] local 192.168.1.120 port 47608 connected with 226.96.1.1 port 5001
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 3] 0.0- 1.0 sec    131 KBytes    1.07 Mbits/sec
[ 3] 1.0- 2.0 sec    128 KBytes    1.05 Mbits/sec
[ 3] 2.0- 3.0 sec    128 KBytes    1.05 Mbits/sec
```

14. H3 lập tức nhận được các gói tin H1 đang gửi vào nhóm

```
@H3:~$ iperf -s -u -B 226.96.1.1 -i 1
-----
Server listening on UDP port 5001
Binding to local address 226.96.1.1
Joining multicast group 226.96.1.1
Receiving 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 208 KByte (default)
-----
[ 3] local 226.96.1.1 port 5001 connected with 192.168.1.120 port 47608
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth      Jitter      Lost/Total Datagrams
[ 3] 0.0- 1.0 sec    129 KBytes    1.06 Mbits/sec    0.060 ms      1/ 91 (1.1%)
[ 3] 1.0- 2.0 sec    128 KBytes    1.05 Mbits/sec    0.119 ms      0/ 89 (0%)
[ 3] 2.0- 3.0 sec    128 KBytes    1.05 Mbits/sec    0.071 ms      0/ 89 (0%)
```

15. PIM state và mroute trên R2 đã có các cập nhật:

```
R2# show ip pim state
Codes: J -> Pim Join, I -> IGMP Report, S -> Source, * -> Inherited from (*,G), V -> VxLAN
Installed Source      Group      IIF      OIL
1      *      226.96.1.1      enp0s3      enp0s10( J )
1      192.168.1.120      226.96.1.1      enp0s9      enp0s10( J *)

R2# show ip mroute
Source      Group      Proto Input      Output      TTL Uptime
*      226.96.1.1      PIM      enp0s3      enp0s10      1 00:35:04
192.168.1.120      226.96.1.1      STAR      enp0s9      enp0s10      1 00:01:24
```

16. PIM state và mroute trên R1 cũng xuất hiện thông tin của nhóm 226.96.1.1:

```
R1# show ip pim state
Codes: J -> Pim Join, I -> IGMP Report, S -> Source, * -> Inherited from (*,G), V -> VxLAN
Installed Source      Group      IIF      OIL
1      192.168.1.120      226.96.1.1      enp0s10      enp0s9( J )

R1# show ip mroute
Source      Group      Proto Input      Output      TTL Uptime
192.168.1.120      226.96.1.1      PIM      enp0s10      enp0s9      1 00:02:25
```

5.5 Trạm nghe H3 rời nhóm

17. Trong khi H1 vẫn đang phát, kết thúc tiến trình *iperf* trên H3 để hủy bỏ thành viên H3 trong nhóm. Xem PIM state trong R3 thấy đã không còn gì, và lượt chuyển tiếp gói tin của nhóm cũng đã bị hủy bỏ (R3 không còn join vào nhóm nữa).

```
R3# show ip pim state
Codes: J -> Pim Join, I -> IGMP Report, S -> Source, * -> Inherited from (*,G), V -> VxLAN
Installed Source          Group          IIF          OIL

R3# show ip igmp groups
Interface      Address          Group          Mode Timer    Srcs V Uptime

R3# show ip mroute
Source          Group          Proto Input          Output          TTL Uptime
```

18. Xem PIM state trong R2 thấy vẫn còn duy trì incoming interface nhưng không có outgoing.

```
R2# show ip pim state
Codes: J -> Pim Join, I -> IGMP Report, S -> Source, * -> Inherited from (*,G), V -> VxLAN
Installed Source          Group          IIF          OIL
1          192.168.1.120    226.96.1.1    enp0s9

R2# show ip mroute
Source          Group          Proto Input          Output          TTL Uptime
192.168.1.120    226.96.1.1    none   enp0s9          none           0   --:--:--
```