

Protocol Independent Multicast a Multicast Listener Discovery (Praktická část)

Obsah

1 Úvod.....	3
2 Topologie.....	4
2.1 Použité prvky.....	4
2.2 Adresy na stažení programů.....	5
3 Topologie a OSPFv3.....	5
4 Aplikace PIM-SM a MLDv2.....	7
4.1 MLDv2.....	8
4.2 PIM-SM.....	11
4.2.1 PIM JOIN a PIM PRUNE.....	14
4.2.2 PIM REGISTER a PIM REGISTER-STOP.....	15
4.2.3 Shortest-Path Tree.....	16
5 DHCPv6 s použitím PIM-SM.....	18
6 Konfigurace směrovačů.....	20
7 Výpis skupinových směrovacích tabulek na směrovačích.....	52

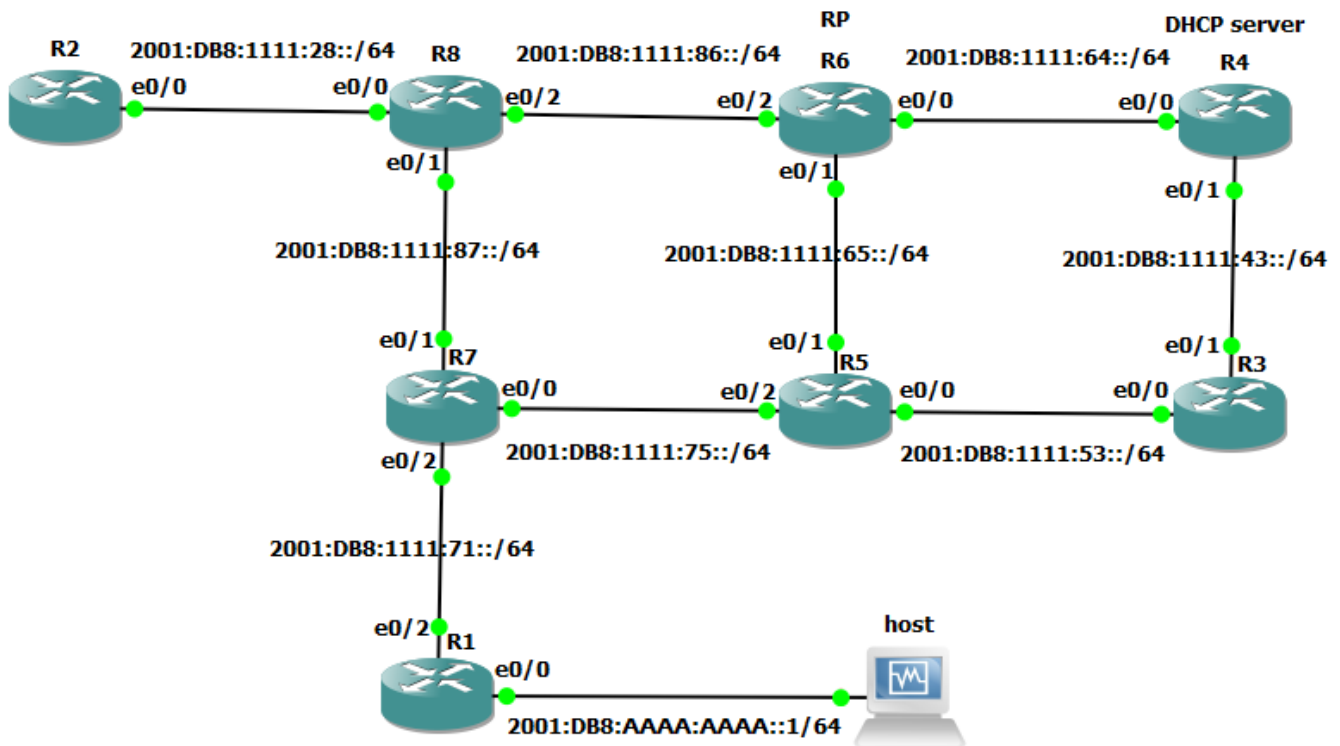
1 Úvod

Úkolem této praktické části je seznámit čtenáře s topologií nad kterou bude provedena analýza skupinového vysílání v IPv6 síti.

Celá analýza je rozdělena do několika částí. V První části jsou zmíněny programy, které byly nutné pro realizaci analýzy. Také je zde popsána základní konfigurace a protokol OSPFv3, nutný pro funkčnost PIM protokolů. Jsou zde také zmíněny jiné skupinové protokoly, které jsou v topologii používány.

Druhá část obsahuje hlavní analýzu této analýzy. Pomocí konzole na směrovačích a programu Wireshark je zde podrobně prozkoumán princip protokolů PIM-SM a MLDv2. K tomu je využito několik specificky vytvořených skupinových stromů, na kterých se také ověří funkčnost SPT algoritmu. Na konci této části je využita skupinová adresa pro DHCPv6 směrovače (**FF05::1:3**) ve spojení s PIM-SM za účelem DHCPv6 konfigurace od hosta ke vzdálenému DHCP směrovači R4.

2 Topologie



Obrázek 1 – Topologie zapojení

2.1 Použité prvky

Pro sprovedení této topologie a analýzy problematiky skupinového vysílání pro toto zapojení byly použity tyto programy a operační systémy :

- **Cisco IOS Software, 3600 Software (C3640-IK9O3S-M), Version 12.4(25c), RELEASE SOFTWARE (fc2)**
- **Wireshark (Version 1.10.2 (SVN Rev 51934 from /trunk-1.10))**
- **Windows 7 SP1 (32bit)**

2.2 Adresy na stažení programů

Wireshark

<http://www.wireshark.org/download.html>

3 Topologie a OSPFv3

Každý směrovač má také své vlastní Loopback0 rozhraní. Toto rozhraní má vždy IPv6 adresu 2001:DB8:XXXX:XXXX::X/128 kde "X" je číslo směrovače. Stejně tak má každý směrovač povoleno Unicast a Multicast vysílání. Kvůli přehlednosti zapojení a snadné orientaci bylo v této topologii značně plýtváno adresním prostorem IPv6.

V topologii je pro unicastové vysílání využito protokolu OSPFv3. Jedná se o link-state protokol navržený pro síť s využitím IPv6. Z konfigurace je zřejmé že je každé rozhraní je součástí OSPFv3 ve stejné oblasti (area 0). Na obrázku 2 můžete vidět routovací tabulku pro OSPFv3 na směrovači R1. Všechny link-local adresy jsou nepozměněny a generovány pomocí definovaného prefixu a MAC adresy směrovače (viz. [RFC 4291](#)). MAC adresy směrovačů jsou manuálně nastaveny na adresy XX.XX.XX.XX.XX.XX, kde „X“ je číslo směrovače. Při konfiguraci OSPFv3 je nutné každému směrovači nastavit „Router-ID“. To je vždy X.X.X.X, kde je opět „X“ číslem směrovače.

V topologii je jedno koncové zařízení "host", na kterém je nainstalován operační systém Windows 7 (32-bit verze). Ten slouží pro generování „DHCP Request-Info“ zprávy pro analýzu při konfiguraci DHCPv6 s využitím PIM-SM. Z důvodu přehlednosti je koncové zařízení „host“ vypnuto a DHCPv6 není na směrovačích R4 a R1 konfigurováno do doby, než bude tato konfigurace vyžadována pro analýzu v poslední praktické části.

```

R1#show ipv6 route ospf
IPv6 Routing Table - 20 entries
Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP
       U - Per-user Static route
       I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS - ISIS summary
       O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 - OSPF ext 2
       ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2
O 2001:DB8:1111:28::/64 [110/30]
   via FE80::7577:77FF:FE77:7779, Ethernet0/2
O 2001:DB8:1111:43::/64 [110/40]
   via FE80::7577:77FF:FE77:7779, Ethernet0/2
O 2001:DB8:1111:53::/64 [110/30]
   via FE80::7577:77FF:FE77:7779, Ethernet0/2
O 2001:DB8:1111:64::/64 [110/40]
   via FE80::7577:77FF:FE77:7779, Ethernet0/2
O 2001:DB8:1111:65::/64 [110/30]
   via FE80::7577:77FF:FE77:7779, Ethernet0/2
O 2001:DB8:1111:75::/64 [110/20]
   via FE80::7577:77FF:FE77:7779, Ethernet0/2
O 2001:DB8:1111:86::/64 [110/30]
   via FE80::7577:77FF:FE77:7779, Ethernet0/2
O 2001:DB8:1111:87::/64 [110/20]
   via FE80::7577:77FF:FE77:7779, Ethernet0/2
O 2001:DB8:2222:2222::2/128 [110/30]
   via FE80::7577:77FF:FE77:7779, Ethernet0/2
O 2001:DB8:3333:3333::3/128 [110/30]
   via FE80::7577:77FF:FE77:7779, Ethernet0/2
O 2001:DB8:4444:4444::4/128 [110/40]
   via FE80::7577:77FF:FE77:7779, Ethernet0/2
O 2001:DB8:5555:5555::5/128 [110/20]
   via FE80::7577:77FF:FE77:7779, Ethernet0/2
O 2001:DB8:6666:6666::6/128 [110/30]
   via FE80::7577:77FF:FE77:7779, Ethernet0/2
O 2001:DB8:7777:7777::7/128 [110/10]
   via FE80::7577:77FF:FE77:7779, Ethernet0/2
O 2001:DB8:8888:8888::8/128 [110/20]
   via FE80::7577:77FF:FE77:7779, Ethernet0/2

```

Obrázek 2 – R1#show ipv6 route ospf

V konfigurované topologii není žádný ze směrovačů členem jakékoliv „kanálu“ (Obrázek 3). Nicméně je členem (odběratelem) některých skupinových adres.

```

R2#show ipv6 mroute
No mroute entries found.

```

Obrázek 3 – R2#show ipv6 mroute

```

R2#show ipv6 interface e0/0
Ethernet0/0 is up, line protocol is up
IPv6 is enabled, link-local address is FE80::2022:22FF:FE22:2222
Global unicast address(es):
  2001:DB8:1111:28::2, subnet is 2001:DB8:1111:28::/64
Joined group address(es):
  FF02::1
  FF02::2
  FF02::5
  FF02::6
  FF02::D
  FF02::16
  FF02::1:FF00:2
  FF02::1:FF22:2222
MTU is 1500 bytes
ICMP error messages limited to one every 100 milliseconds
ICMP redirects are enabled
ND DAD is enabled, number of DAD attempts: 1
ND reachable time is 30000 milliseconds
ND advertised reachable time is 0 milliseconds
ND advertised retransmit interval is 0 milliseconds
ND router advertisements are sent every 200 seconds
ND router advertisements live for 1800 seconds
Hosts use stateless autoconfig for addresses.

```

Obrázek 4 – R2#show ipv6 interface e0/0

Jak je z obrázku 4 vidět, R2 přijímá data hned z několika skupinových adres:

- **FF02::1** – Všechny uzly.
- **FF02::2** – Všechny směrovače.
- **FF02::5** – Všechny směrovače s OSPFv3.
- **FF02::6** – Všechny pověřené směrovače s OSPFv3.
- **FF02::D** – Všechny PIM směrovače.
- **FF02::16** – Všechny MLDv2 směrovače.
- **FF02::1:FF00:2** – Vyzývaný uzel (podle unicast adresy).
- **FF02::1:FF22:2222** – Vyzývaný uzel (podle link-local adresy).

4 Aplikace PIM-SM a MLDv2

Protokol Independent Multicast – Sparse Mode je nejpoužívanější PIM protokol. Tento protokol je podporován v IPv6 a IPv4 sítích. Je vytvořen speciálně pro skupinové vysílání do sítí, kde se očekává nízký počet posluchačů. Praktické užití má například pro "video stream". PIM-SM vyžaduje, aby na dané doméně existoval RP směrovač. Tento směrovač je v topologii staticky nastaven u směrovače R6 na rozhraní Loopback 0 (**2001:DB8:6666:6666::6**). Konfigurace PIM-SM vyžaduje, aby na každém směrovači byl povoleno skupinové a unicastové vysílání pro IPv6.

```
R1(config)#ipv6 multicast-routing
R1(config)#ipv6 unicast-routing
R1(config)#ipv6 pim rp-address 2001:DB8:6666:6666::6
```

Obrázek 5 – Nutná konfigurace pro PIM-SM

Protokol PIM se nestará o to, zda unicastové vysílání v dané síti skutečně funguje, nicméně daný typ přenosu vyžaduje. Konfigurace z obrázku 5 je nutná pro všechny směrovače. Dokonce i směrovač R6 potřebuje znát adresu RP, i když je on sám je rendezvous point.

Nyní když máme nakonfigurovaný PIM-SM protokol se staticky zvoleným RP směrovačem se podíváme na výpis kanálů například u směrovače R7.

```
R7#show ipv6 pim group-map FF00::/8
FF00::/8*
  SM, RP: 2001:DB8:6666:6666::6
  RPF: Et0/0, FE80::5755:55FF:FE55:5557
  Info source: Static
  Uptime: 00:04:50, Groups: 0
FF00::/8
  SM
  Info source: Default
  Uptime: 00:04:52, Groups: 0
```

Obrázek 6 – show ipv6 pim group-map FF00::/8

Pro přehlednost je výpis z obrázku 6 vymezen jen na výpis mapy s prefixem **FF00::/8**. Celý výpis obsahuje všechny rezervované adresy, i když nejsou zatím využívány protokolem PIM (stejně jako prefix FF00::/8 – zatím). Z obrázku 6 můžeme zjistit:

- Protokol, který je pro skupinovou adresu použit (**SM**).
- Adresu RP(**2001:DB8:6666:6666::6**).
- Rozhraní, přes které se přeposílá pakety ke směrovači se aktivním RP(**Et0/0 s link-local adresou FE80::5755:55FF:FE55:5557**).
- Způsob, kterým byl zvolen RP(**Info source: Static**).
- Čas, jak dlouho je daný kanál funkční
- počet kanálů, které jsou v dané skupinové adrese využívány(**Groups: 0**)

4.1 MLDv2

Topologie využívá Multicast Listener Discovery protokol verze 2. Jedná se o alternativu

IGMPv3 pro IPv6 síť. Narozdíl od MLDv1 používá dva místo tří typů zpráv. ICMPv6 zprávy typu 130 a 143. jedná se o Multicast Listener Discovery Query a Multicast Listener Discovery Report. I přes to, že zatím neexistuje žádný skupinový strom ("kanál"), směrovače se dotazují na seznam skupin, které mají do daného rozhraní zasílat. **Obrázek 7** zobrazuje aktuální informace o nastavení MLDv2 pro rozhraní e0/2 na směrovači R1. Toto nastavení je výchozí a je stejné pro každé rozhraní mezi směrovači v celé topologii (samozřejmě výjma link-local adres). Z výpisu můžeme zjistit interval mezi kterým se zasílají query dotazy (125 sec), timeout interval (čas, za který se dané rozhraní nebude považováno jako rozhraní s povoleným MLD), verzi MLD, počet připojení a odpojení ze skupinových adres a adresu rozhraní na které se mají zasílat MLD Query dotazy.

```
R1#show ipv6 mld interface e0/2
Ethernet0/2 is up, line protocol is up
Internet address is FE80::1311:11FF:FE11:1113/10
MLD is enabled on interface
Current MLD version is 2
MLD query interval is 125 seconds
MLD querier timeout is 255 seconds
MLD max query response time is 10 seconds
Last member query response interval is 1 seconds
MLD activity: 9 joins, 0 leaves
MLD querying router is FE80::1311:11FF:FE11:1113 (this system)
```

Obrázek 7 – R1#show mld interface e0/2

Obrázek 8 zachycuje v ICMPv6 paket zaslaný na rozhraní e0/0 směrovače R1. Jedná se o Multicast Listener Query dotaz (typ 130). Jedná se o dotaz, kterým se zodpovědný směrovač ptá na odebírané skupinové adresy. Jak je z obrázku vidět, tak se tento dotaz zasílá na skupinovou adresu FF02::1 – tedy na všechny uzly. V hlavičce ICMPv6 paketu jsou některé informace, které mají vždy inicializovanou na hodnotu „0“ (Code, Reserved, Multicast Address). Zbylé položky mají tento význam:

- **Checksum** – hodnota pro kontrolní součet (kontrola chyb).
- **QRV** – Hodnota, která určuje kolik paketů může být ztraceno než se bude dané rozhraní považovat za neaktivní pro MLD. Zvýšením této hodnoty ovšem zvyšujeme odezvu na rozhraní.
- **Suppress Router-Side Processing** – Pokud je nastavený na false, umožňuje ostatním směrovačům měnit intervaly pro MLD Query.
- **QQIC** – Čas za který se pošle další obecný query dotaz
- **Number of Sources** – Počet zdrojovým address generující dané skupinové vysílání na dané lince.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
125	139.4017010	fe80::1311:11ff:fe11::ff02::1		ICMPv6	90	Multicast Listener Query
129	141.6599880	fe80::7577:77ff:fe77::ff02::16		ICMPv6	210	Multicast Listener Report Message v2
⊕ Frame 125: 90 bytes on wire (720 bits), 90 bytes captured (720 bits) on interface 0						
⊕ Ethernet II, Src: 11:11:11:11:11:13 (11:11:11:11:11:13), Dst: IPv6mcast_00:00:00:01 (33:33:00:00:00:01)						
⊕ Internet Protocol Version 6, Src: fe80::1311:11ff:fe11:1113 (fe80::1311:11ff:fe11:1113), Dst: ff02::1 (ff02::1)						
⊖ Internet Control Message Protocol v6						
Type: Multicast Listener Query (130)						
Code: 0						
Checksum: 0x2262 [correct]						
Maximum Response Code: 10000						
Reserved: 0000						
Multicast Address: :: (::)						
⊖ Flags: 0x02						
.... 0... = Suppress Router-Side Processing: False						
.... .010 = QRV (Querier's Robustness Variable): 2						
0000 = Reserved: 0						
QQIC (Querier's Query Interval Code): 125						
Number of Sources: 0						

Obrázek 8 – MLDv2 Query na směrovači R1 – lince e0/2

Po odeslání MLD Query dotazu se očekává odpověď z daného rozhraní. Na obrázku 7 je čas na odpověď nastaven pro topologii na 10 sekund (výchozí hodnota). Jako odpověď je zaslána ICMPv6 zpráva typu 143, neboli Multicast Listener Report Message version 2. Tato zpráva je zaslána na skupinovou adresu FF02::16, což je adresa pro všechny MLDv2 směrovače. Obsahuje informace o počtu odebíraných skupinových adres a jejich stavech na daném rozhraní. Ke každé skupinové adrese, která je odesílána v „Reportu“, je uveden „record type“. Ten nám určuje od kterých zdrojů má (INCLUDE) nebo nemá (EXCLUDE) skupinové vysílání přijmat. Jelikož se jedná vylepšenou verzi MLD protokolu, která umožňuje přijmat skupinové adresy pouze od daných zdrojů. Z výpisu na **Obrázku 9** lze zjistit že pro skupinovou adresu **FF02::1:FF77:7779** přijímá rozhraní vysílání ze všech zdrojů kromě prázdné množiny (Number of Sources: 0). Podrobnější analýza těchto zpráv bude v dalších kapitolách.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
125	139.4017010	fe80::1311:11ff:fe11::ff02::1		ICMPv6	90	Multicast Listener Query
129	141.6599880	fe80::7577:77ff:fe77::ff02::16		ICMPv6	210	Multicast Listener Report Message v2
⊕ Frame 129: 210 bytes on wire (1680 bits), 210 bytes captured (1680 bits) on interface 0						
⊕ Ethernet II, Src: 77:77:77:77:77:79 (77:77:77:77:77:79), Dst: IPv6mcast_00:00:00:16 (33:33:00:00:00:16)						
⊕ Internet Protocol Version 6, Src: fe80::7577:77ff:fe77:7779 (fe80::7577:77ff:fe77:7779), Dst: ff02::16 (ff02::16)						
⊖ Internet Control Message Protocol v6						
Type: Multicast Listener Report Message v2 (143)						
Code: 0						
Checksum: 0x91ed [correct]						
Reserved: 0000						
Number of Multicast Address Records: 7						
⊕ Multicast Address Record Exclude: ff02::2						
⊕ Multicast Address Record Exclude: ff02::5						
⊕ Multicast Address Record Exclude: ff02::6						
⊕ Multicast Address Record Exclude: ff02::d						
⊕ Multicast Address Record Exclude: ff02::16						
⊕ Multicast Address Record Exclude: ff02::1:ff00:1						
⊖ Multicast Address Record Exclude: ff02::1:ff77:7779						
Record Type: Exclude (2)						
Aux Data Len: 0						
Number of Sources: 0						
Multicast Address: ff02::1:ff77:7779 (ff02::1:ff77:7779)						

4.2 PIM-SM

Jak již bylo řečeno, PIM-SM je protokol, který se stará o zasílání skupinového vysílání příjemcům a odesílateli (případně odesílatelům) pomocí kanálů. Nejprve ovšem musí být tato vysílání skupinových adres registrována směrem k RP směrovači. K tomu slouží zprávy zvané PIM Register. K přenosu využívají tunely, které jsou automaticky vytvořeny (**obrázek 10**) jakmile je směrovači nastavena adresa RP směrovače. Existují dva typy tunelů:

1. **PIM Encap** – Přes tyto tunely jsou zasílány PIM register zpráv. Každý směrovač, který má nastavenou adresu RP směrovače musí mít tento typ tunelu.
2. **PIM Decap** – Na tento tunel jsou zasílány všechny register zprávy, které jsou následně rozbaleny a zpracovány. PIM Decap tunel se nachází pouze na RP směrovačích.

```
R6#show ipv6 pim tunnel
Tunnel0*
  Type   : PIM Encap
  RP     : 2001:DB8:6666:6666::6*
  Source : 2001:DB8:6666:6666::6
Tunnel2*
  Type   : PIM Encap
  RP     : Embedded RP Tunnel
  Source : 2001:DB8:6666:6666::6
Tunnel1*
  Type   : PIM Decap
  RP     : 2001:DB8:6666:6666::6*
  Source : -
```

Obrázek 10 – R6#show ipv6 pim tunnel (na RP směrovači)

Směrovače s nastaveným PIM-SM protokolem si mezi sebou pravidelně zasílají informace o konfiguraci. K tomu používají PIMv2 Hello pakety (**Obrázek 11**).

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
134	248.2000170	(fe80::5755:55ff:fe55::ff02::d)		PIMV2	136	Hello
Frame 134: 136 bytes on wire (1088 bits), 136 bytes captured (1088 bits) on interface 0						
Ethernet II, Src: 55:55:55:55:55:55 (55:55:55:55:55:55), Dst: IPv6mcast_00:00:00:0d (33:33:00:00:00:0d)						
Internet Protocol Version 6, Src: fe80::5755:55ff:fe55:5555 (fe80::5755:55ff:fe55:5555), Dst: ff02::d (ff02::d)						
Protocol Independent Multicast						
0010 = Version: 2 0000 = Type: Hello (0) Reserved byte(s): 00 Checksum: 0x47d7 [correct]						
PIM options: 7						
Option 1: Hold Time: 105s Type: 1 Length: 2 Holdtime: 105s						
Option 2: LAN Prune Delay: T = 0, Propagation Delay = 100ms, override Interval = 400ms Type: 2 Length: 4 0... = T: False .000 0000 0110 0100 = Propagation Delay: 100 Override Interval: 400						
Option 19: DR Priority: 1 Type: 19 Length: 4 DR Priority: 1						
Option 20: Generation ID: 5584 Type: 20 Length: 4 Generation ID: 5584						
Option 22: Bidir Capable Type: 22 Length: 0						
Option 24: Address List Type: 24 Length: 18						
Address List (24) Address: 2001:db8:1111:53::1 (2001:db8:1111:53::1)						
Option 65001: Address List Type: 65001 Length: 18						
old Address List (65001) Address: 2001:db8:1111:53::1 (2001:db8:1111:53::1)						

Obrázek 11 – PIMv2 hello packet

Význam položek PIMv2 Hello paketu:

- **Option 1:** Doba jak dlouho musí příjemce považovat za dosažitelného po obdržení PIMv2 Hello paketu.
- **Option 2:** Informace o nastavení pro PIMv2 Prune pakety. T-bit určuje zda je odesílající směrovač schopen potlačovat připojení do skupiny.
- **Option 19:** Prioritní ID, které se užívá při dynamické volbě RP směrovače.
- **Option 20:** Obsahuje ID rozhraní na které je PIM Hello paket zaslán.
- **Option 22:** Udává, že dané rozhraní je schopno „Bidirectional“ spojení.
- **Option 24:** Obsahuje alternativní cesty k rozhraní ze kterého přijal PIM Hello paket.
- **Option 65001:** to samé jako 24 ale může být privátně konfigurována.

Nyní je čas na vytvoření příjemců a odesílatelů pro skupinové vysílání nad vytvořenou topologií nastavíme příjemce a odesílatele pro skupinovou adresu **FF08::1111**. Směrovače R1,R3 a R4 se stanou příjemci skupinového vysílání a R2 se stane odesílatelem. Tato připojení z důvodu přehlednější analýzy protokolu budou tvořeny postupně. Pro příjem specifického vysílání použijeme Loopback0 rozhraní na každém z těchto směrovačů (viz. **Obrázek 12**).

```
R1(config)#interface loopback 0
R1(config-if)#ipv6 mld join-group ff08::1111
```

Obrázek 12 – připojení do skupiny

První příjemce který bude nastaven je R3. Po konfiguraci se na terminálu při zapnutém "debug ipv6 pim group FF08::1111" zobrazí zprávy z **obrázku 13** a **obrázku 14**.

```
R3(config-if)#ipv6 mld join-group FF08::1111
R3(config-if)#
*Mar 1 00:17:31.539: IPv6 PIM: [0] (*,FF08::1111/128) Loopback0 MRIB update (f=140,c=140)
*Mar 1 00:17:31.539: IPv6 PIM: (*,FF08::1111) Create entry
*Mar 1 00:17:31.539: IPv6 PIM: [0] (*,FF08::1111/128) MRIB modify DC
*Mar 1 00:17:31.539: IPv6 PIM: [0] (*,FF08::1111/128) Ethernet0/1 MRIB modify A
*Mar 1 00:17:31.539: IPv6 PIM: (*,FF08::1111) Loopback0 Local state changed from Null to Join
*Mar 1 00:17:31.539: IPv6 PIM: (*,FF08::1111) Loopback0 Start being last hop
*Mar 1 00:17:31.539: IPv6 PIM: (*,FF08::1111) Start being last hop
*Mar 1 00:17:31.543: IPv6 PIM: (*,FF08::1111) Start signaling sources
*Mar 1 00:17:31.543: IPv6 PIM: [0] (*,FF08::1111/128) Ethernet0/1 MRIB modify NS
*Mar 1 00:17:31.543: IPv6 PIM: (*,FF08::1111) Loopback0 FWD state change from Prune to Forward
*Mar 1 00:17:31.547: IPv6 PIM: [0] (*,FF08::1111/128) Loopback0 MRIB modify F NS
*Mar 1 00:17:31.547: IPv6 PIM: (*,FF08::1111) Updating J/P status from Null to Join
*Mar 1 00:17:31.547: IPv6 PIM: (*,FF08::1111) J/P scheduled in 0.0 secs
*Mar 1 00:17:31.547: IPv6 PIM: (*,FF08::1111) Loopback0 iinfo state changed from Null to Copy
*Mar 1 00:17:31.547: IPv6 PIM: [0] (*,FF08::1111/128) Loopback0 MRIB modify IC
*Mar 1 00:17:31.547: IPv6 PIM: (*,FF08::1111) Loopback0 Processing timers
*Mar 1 00:17:31.547: IPv6 PIM: (*,FF08::1111) Processing timers
*Mar 1 00:17:31.547: IPv6 PIM: (*,FF08::1111) J/P processing
*Mar 1 00:17:31.547: IPv6 PIM: (*,FF08::1111) Periodic J/P scheduled in 50 secs
*Mar 1 00:17:31.547: IPv6 PIM: (*,FF08::1111) J/P adding Join on Ethernet0/1
```

Obrázek 13 – debug na pim protokol po připojení do skupiny

```
(*, FF08::1111), 00:05:56/never, RP 2001:DB8:6666:6666::6, flags: SCLJ
Incoming interface: Ethernet0/1
RPF nbr: FE80::4644:44FF:FE44:4445
Immediate Outgoing interface list:
Loopback0, Forward, 00:05:56/never
```

Obrázek 14 – R3#show ipv6 mroute

Po připojení do skupiny je tedy na směrovači vytvořen záznam o vstupu do stromu **(*, FF08::1111/128)** (viz. druhý debug řádek z **obrázku 13** a popis vytvořeného záznamu z **obrázku 14**). Znak „*“ značí, že daný strom přijímá skupinové vysílání FF08::11111 z jakéhokoliv zdroje). Tento speciální typ stromu se také nazývá *sdíleným stromem*.

Na **obrázku 14** je k danému stromu uvedeno odkud očekává příjem skupinového vysílání a kam má informace preposílat. Stejně tak je zde uvedeno jak dlouho toto vysílání přijma a doba, kdy vysílání ukončí (protože jsme se připojili příkazem `ipv6 mld join-group` tak čas vypršení je nastaven na „never“).

4.2.1 PIM JOIN a PIM PRUNE

Po přidání odběru skupinového vysílání na směrovači je zaslána zpráva PIM Join (**Obrázek 15**). Tato zpráva má vždy cílovou adresu FF02::D a je zasílána pouze na příchozí rozhraní pro danou skupinovou adresu (podle **obrázku 14** se pro tento případ použije rozhraní Ethernet 0/1). Protože se jedná o skupinové vysílání v rámci linky (FF02::D) je tato zpráva zaslána pouze jednomu směrovači. Každý směrovač, který je účastníkem libovolného skupinového stromu musí pravidelně zasílat PIM Join/Prune (ve výchozím nastavení je interval jedna minuta).

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
36	61.31528600	fe80::3133:33ff:fe33::ff02::d		PIMv2	124	Join/Prune
Frame 36: 124 bytes on wire (992 bits), 124 bytes captured (992 bits) on interface 0						
Ethernet II, Src: IPv6mcast_33:33:33:34 (33:33:33:33:33:34), Dst: IPv6mcast_00:00:00:0d (33:33:00:00:00:0d)						
Internet Protocol Version 6, Src: fe80::3133:33ff:fe33:3334 (fe80::3133:33ff:fe33:3334), Dst: ff02::d (ff02::d)						
Protocol Independent Multicast						
0010 = Version: 2						
.... 0011 = Type: Join/Prune (3)						
Reserved byte(s): 00						
Checksum: 0x625e [correct]						
PIM options						
Upstream-neighbor: fe80::4644:44ff:fe44:4445 (fe80::4644:44ff:fe44:4445)						
Reserved byte(s): 00						
Num Groups: 1						
Holdtime: 210s						
Group 0: ff08::1111/128						
Num Joins: 1						
IP address: 2001:db8:6666:6666::6/128 (SWR)						
Num Prunes: 0						

Obrázek 15 – PIMv2 Join na směrovači R3

Význam položek PIMv2 zprávy z **obrázku 15**:

- **Upstream-neighbor** – Link-local adresa rozhraní na RPF směrovač (Rendezvous Point Forwarder).
- **Num Groups** – Počet záznamů (pro každý strom jeden záznam). Jelikož jsme přihlásili odběr pouze jedné skupinové adresy (FF08::1111) pak je počet skupin jedna (položka "Group 0").
- **Num Joins** – Celkový počet odběratelů pro danou skupinovou adresu s IPv6 adresou zodpovědného RP směrovače nebo přímo zdroje.
- **Num Prunes** – Odhlášení odběry skupinové adresy od daného zdroje (RP nebo vysílacího

prvku).

Jak již bylo řečeno, R3 po připojení do kanálů (*, FF08::1111) zašle zprávu o odběr skupinové adresy FF08::1111 ze sdíleného stromu na směrovač R4. R4 si následně vytvoří záznam pro tento kanál , přidá záznam pro odesílání příjemcům na rozhraní ze kterého PIMv2 Join zpráva přišla (Immediate Outgoing interface) a zašle na RPF rozhraní zájem vstupu do stejného kanálu (**Obrázek 16**). Tento proces se opakuje dokud nedorazí ke směrovači nejbližší k odesílajícímu prvku nebo k RP.

```
(*, FF08::1111), 00:54:47/00:02:45, RP 2001:DB8:6666:6666::6, flags: S
Incoming interface: Ethernet0/0
RPF nbr: FE80::6466:66FF:FE66:6666
Immediate Outgoing interface list:
Ethernet0/1, Forward, 00:54:47/00:02:45
```

Obrázek 16 – R4#show ipv6 mroute

4.2.2 PIM REGISTER a PIM REGISTER-STOP

Při vygenerování skupinového vysílání v topologii s protokolem PIM-SM je potřeba, aby se toto vysílání dostalo vždy k RP (v našem případě rozhraní loopback0 (2001:DB8:6666:6666::6) na směrovači R6). Pro tento účel jsou použity tunely, do kterých je skupinové vysílání zabaleno a zasláno k RP. Tam jsou tyto pakety rozbaleny a odeslány dále přes skupinové stromy. Tento proces je ovšem poměrně zdlouhavý a proto pro PIM-SM jsou zavedeny zprávy „Register“ a „Register-stop“.

Tyto zprávy jsou zasílány pro registraci a potvrzení registrace skupinového vysílání ze zdroje. Pro účely analýzy pro generování skupinového vysílání použit příkaz ping na skupinovou adresu **FF08::1111**. Na dané topologii také nakonfigurujeme jednoho příjemce pro toto skupinového vysílání (například rozhraní Loopback0 na R4).

Zprávy PIM Register a PIM Register-stop jsou zprávy které jsou zasílány jako „Unicast“ zprávy mezi RP směrovačem a nejbližším směrovačem u odesílatele. Jejich hlavním účelem je optimalizovat přenos skupinového vysílání tím, že každý přenos skupinového vysílání od zdroje k RP směrovači. **Obrázek 17** ilustruje nastavení stavu tunelů při zaslání příkazu PIM Register a **Obrázek 18** při obdržení zprávy PIM Register-stop od RP.

```
IPv6 PIM: (2001:DB8:2222:2222::2,FF08::1111) Start registering to 2001:DB8:6666:6666::6
IPv6 PIM: (2001:DB8:2222:2222::2,FF08::1111) Tunnel0 J/P state changed from Null to Join
IPv6 PIM: (2001:DB8:2222:2222::2,FF08::1111) Tunnel0 FWD state change from Prune to Forward
IPv6 PIM: (2001:DB8:2222:2222::2,FF08::1111) Updating J/P status from Null to Join
```

Obrázek 17 – PIM Register

```
IPv6 PIM: (2001:DB8:2222:2222::2,FF08::1111) Received Register-Stop
IPv6 PIM: (2001:DB8:2222:2222::2,FF08::1111) Stop registering
IPv6 PIM: (2001:DB8:2222:2222::2,FF08::1111) Tunnel0 J/P state changed from Join to Null
IPv6 PIM: (2001:DB8:2222:2222::2,FF08::1111) Tunnel0 FWD state change from Forward to Prune
```

Orázek 18 – PIM Register-stop

Jakmile RP obdrží register zprávu – okamžitě zašle Register-stop. Tato zpráva krom verze protokolu, skupinové adresy a adresy zdroje skupinového vysílání žádná jiná data neobsahuje. V podstatě jen potvrzuje příjem zprávy PIM Register. Směrovač následně pošle na náležité rozhraní žádost o vstup do skupiny (S, G), kde S je IPv6 zdroje skupinového vysílání G. Jakmile je vytvořena tato stromová struktura mezi RP a zdrojem „S“, data již nejsou od zdroje „S“ zabalována a odesílána přes tunely, ale je k přenosu využit právě vytvořený strom, který přeposílání vysílání směrem k RP. Tím je optimalizace PIM-SM mezi zdrojem a RP dokončena.

4.2.3 Shortest-Path Tree

Jelikož je použit routovací protokol OSPFv3 – nejkratší cesty jsou hledány OSPFv3 algoritmu pro hledání nejkratších cest (Dijkstrův algoritmus). Tento algoritmus je použit pro hledání nejkratších cest pro všechny typy stromů. Jinými slovy se PIM nijak nestará o to jak jsou nejkratší cesty vypočítány.

Na topologii nyní nastavíme směrovače R2 a R3 jako příjemce signálu **FF08::1111**. Odesílatelem signálu signálu bude směrovač R1 a R2. Každý ze zdrojů vygenerujeme ping dotaz na zmíněnou skupinovou adresu.

Jakmile dorazí první „ping“ dotazy ze směrovačů R1 a R2, příjemci zašlou dříve zmíněným způsobem PIM join dotaz na připojení do „Source tree“(obrázek 19). Příznaky „JT“ indikují, že se jedná o stromy nejkratších cest. Než je tento strom propojen se zdroji, skupinové vysílání je přijímáno ze sdíleného stromu.


```

(*,FF08::1111)
SM UP: 00:38:41 JP: Join(00:00:03) Flags: LH
RP: 2001:DB8:6666:6666::6
RPF: Ethernet0/1,FE80::4644:44FF:FE44:4445
  Loopback0      00:38:41  fwd LI II LH

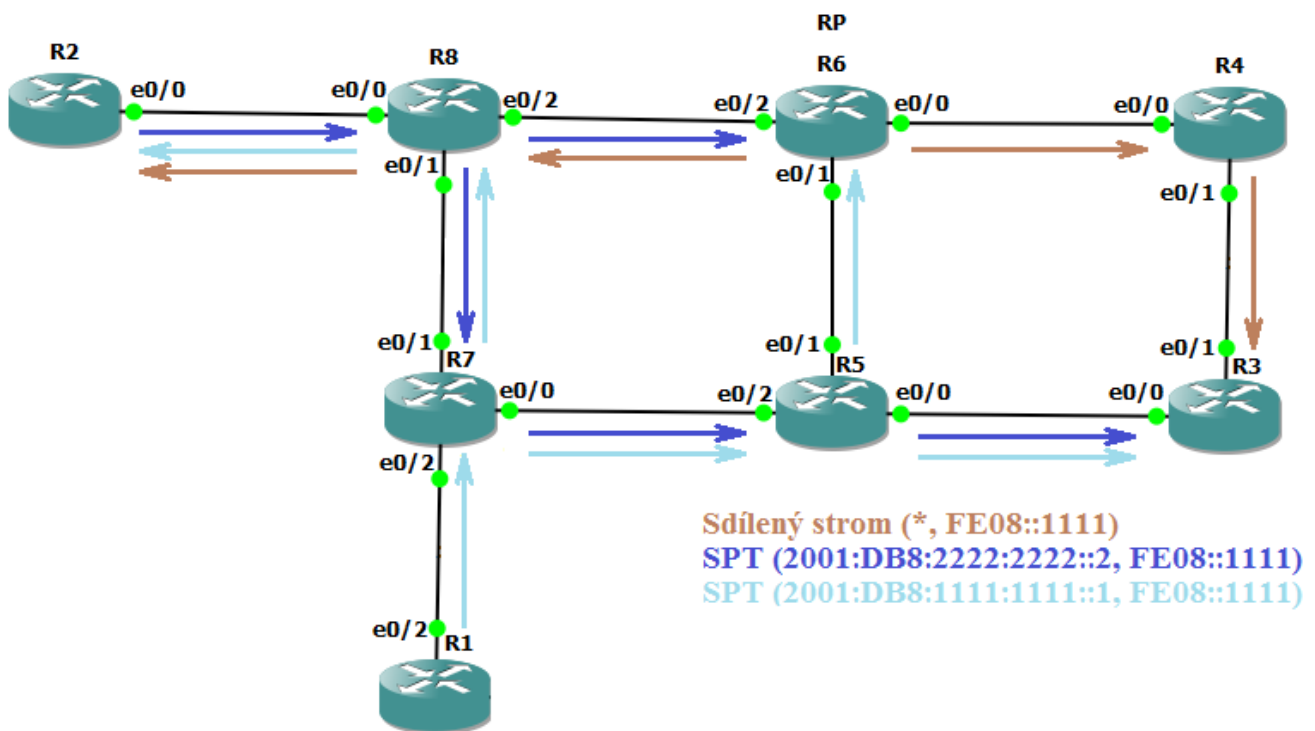
(2001:DB8:1111:1111::1,FF08::1111)
SM SPT UP: 00:06:50 JP: Join(00:00:03) Flags: KAT(00:00:13) RA
RPF: Ethernet0/0,FE80::5755:55FF:FE55:5555
  No interfaces in immediate olist

(2001:DB8:2222:2222::2,FF08::1111)
SM SPT UP: 00:07:10 JP: Join(00:00:43) Flags: KAT(00:03:25) RA
RPF: Ethernet0/0,FE80::5755:55FF:FE55:5555
  No interfaces in immediate olist

```

Obrázek 19 – R3#show ipv6 pim topology

Informace o topologii na připojené stromy se dá zkoumat a proto pro zjištění celkového rozložení stromu je třeba projít informace na každém směrovači v síti. Výslednou strukturu můžete vidět na **obrázku 20**. Výpisy skupinových směrovacích tabulek najdete v poslední kapitole



Obrázek 20 – skupinové stromy

5 DHCPv6 s použitím PIM-SM

DHCPv6 umožňuje automatickou konfiguraci IP adresy, DNS adresy a domény pro síť s IPv6 protokolem. Tento protokol umožňuje zasílat dotazy od koncových zařízení na vzdálené DHCPv6 servery pro získání konfiguračního nastavení. Tento přenos může být řešen dvěma způsoby:

1. Pomocí DHCPv6 relays.
2. Použitím PIM protokolu.

První způsob spočívá v tom, že DHCPv6 zasílán přes směrovače tak, že každý z těchto směrovačů má staticky nastavený next-hop na další směrovač. Tímto způsobem nalezne cestu k DHCPv6 serveru.

Druhým způsob je o něco elegantnější. Zpočívá ve využití skupinového vysílání **FF05::1:3**, což je rezervovaná skupinová adresa pro všechny DHCPv6 servery v místní síti. Pro vygenerování DHCPv6 requestu je použito PC s operačním systémem Windows 7 SP1 (32-bit verze).

Pro zporvoznění tohoto protokolu je potřeba mít v síti funkční PIM-SM, Bidir-PIM nebo PIM-SSM a nakonfigurovaný DHCPv6 server a DHCPv6 klienta(y). Pro demonstraci nastavíme směrovač R4 jako DHCPv6 server. Aby byly dotazy zpracovány, je nutné poslední příkaz z **obrázku 20** nastavit na fyzické rozhraní (v případě, kdy bychom dhcp server nastavily na loopback rozhraní, byly by tyto zprávy zahozeny).

```
R4(config)#ipv6 dhcp pool R1-pool
R4(config-dhcp)#$egation 2001:DB8:AAAA:AAAA::/64 0005000400F1A4D070D003
R4(config-dhcp)# prefix-delegation pool R1-pool lifetime 1800 60
R4(config-dhcp)# dns-server 2001:DB8:FFFF::10
R4(config-dhcp)#interface e0/0
R4(config-if)#ipv6 dhcp server R1-pool
```

Obrázek 20 – konfigurace pro DHCPv6 server

DHCP klienta nastavíme na rozhraní e0/0 směrovače R1.

```
R1(config)#interface e0/0
R1(config-if)# ipv6 nd other-config-flag
R1(config-if)# ipv6 dhcp relay destination FF05::1:3 Loopback0
```

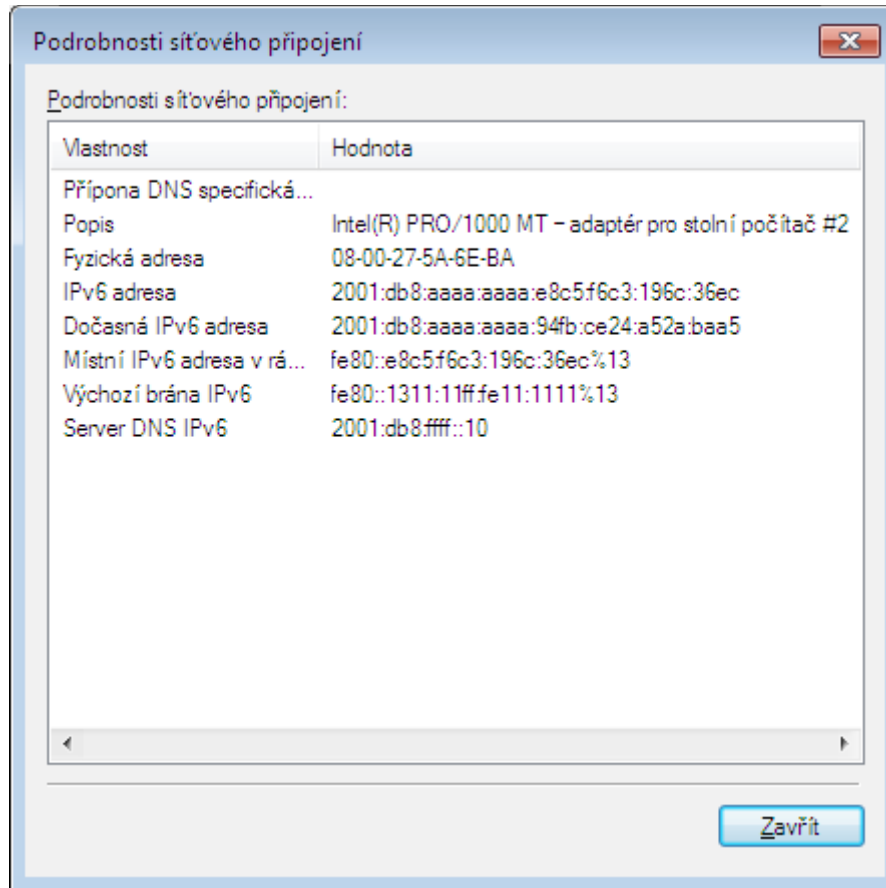
Obrázek 21 – konfigurace DHCPv6 klienta

Jakmile dorazí DHCPv6 zpráva z rozhraní e0/0, směrovač pomocí "DHCP relay" zašle tento požadavek na skupinovou adresu **FF05::1:3** na rozhraní **loopback0**. Výsledkem je efekt, který je z hlediska přenosu zprávy naprosto stejný jako když byl zasílán ping dotaz. Je vygenerována zpráva

se skupinovou adresou a ta je zaslána pomocí tunelu na RP. Jelikož směrovač R4 je příjemcem této skupinové adresy, PIM-SM mu přepošle tyto data, které následně zpracuje a zpětně poskytne konfigurační informace pro PC na rozhraní e0/0 směrovače R1.

```
IPv6 DHCP: Received INFORMATION-REQUEST from FE80::E8C5:F6C3:196C:36EC on Ethernet0/0
IPv6 DHCP: Sending RELAY-FORWARD to FF05::1:3 on Loopback0
IPv6 DHCP: Received RELAY-REPLY from 2001:DB8:1111:64::2 on Ethernet0/2
IPv6 DHCP: Sending REPLY to FE80::E8C5:F6C3:196C:36EC on Ethernet0/0
```

Obrázek 22 – Zpracování DHCP request na směrovači R1



Obrázek 23 – Výsledná konfigurace pro IPv6 na PC

6 Konfigurace směrovačů

Při práci analýze nad konfigurovanou topologií byly postupně na některé ze směrovačů dodatečně konfigurovány prvky, které umožnili generovat zprávy a algoritmy, které v daných kapitolách zkoumány. V konečné konfiguraci je začleněna i konfigurace pro DHCPv6 – zvýrazněná tmavě modrou barvou fontu. Připojení ke konkrétním skupinovým vysílání je v konfiguraci vynecháno.

R1

```
!  
!  
version 12.4  
service timestamps debug datetime msec  
service timestamps log datetime msec  
no service password-encryption  
!  
hostname R1  
!  
boot-start-marker  
boot-end-marker  
!  
!  
no aaa new-model  
memory-size iomem 5  
no ip icmp rate-limit unreachable  
!  
!  
ip cef  
no ip domain lookup  
!  
!  
ip auth-proxy max-nodata-conns 3  
ip admission max-nodata-conns 3
```

```
!  
ipv6 unicast-routing  
ipv6 multicast-routing  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
ip tcp synwait-time 5  
!  
!  
!  
!  
!  
interface Loopback0  
no ip address  
ipv6 address 2001:DB8:1111:1111::1/128  
ipv6 ospf 1 area 0  
!  
interface Ethernet0/0  
no ip address  
half-duplex
```

```
ipv6 address 2001:DB8:AAAA:AAAA::100/64
ipv6 nd other-config-flag
ipv6 dhcp relay destination FF05::1:3 Loopback0
ipv6 ospf 1 area 0
!
interface Ethernet0/1
no ip address
shutdown
half-duplex
!
interface Ethernet0/2
no ip address
half-duplex
ipv6 address 2001:DB8:1111:71::2/64
ipv6 ospf 1 area 0
!
interface Ethernet0/3
no ip address
shutdown
half-duplex
!
no ip http server
no ip http secure-server
!
ip forward-protocol nd
!
!
ipv6 router ospf 1
router-id 10.1.1.1
log-adjacency-changes
!
ipv6 pim rp-address 2001:DB8:6666:6666::6
!
```

```
!  
!  
control-plane  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
line con 0  
  exec-timeout 0 0  
  privilege level 15  
  logging synchronous  
line aux 0  
  exec-timeout 0 0  
  privilege level 15  
  logging synchronous  
line vty 0 4  
  login  
!  
!  
end
```

R2

```
!  
!  
!  
  
!  
version 12.4  
service timestamps debug datetime msec  
service timestamps log datetime msec  
no service password-encryption  
!  
hostname R2  
!  
boot-start-marker  
boot-end-marker  
!  
!  
no aaa new-model  
memory-size iomem 5  
no ip icmp rate-limit unreachable  
!  
!  
ip cef  
no ip domain lookup  
!  
!  
ip auth-proxy max-nodata-conns 3  
ip admission max-nodata-conns 3  
!  
ipv6 unicast-routing  
ipv6 multicast-routing  
!
```



```
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
ip tcp synwait-time 5  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
interface Loopback0  
  no ip address  
  ipv6 address 2001:DB8:2222:2222::2/128  
  ipv6 ospf 1 area 0  
!  
interface Ethernet0/0  
  no ip address  
  half-duplex  
  ipv6 address 2001:DB8:1111:28::2/64  
  ipv6 ospf 1 area 0  
!  
interface Ethernet0/1
```

```
no ip address
shutdown
half-duplex
!
interface Ethernet0/2
no ip address
shutdown
half-duplex
!
interface Ethernet0/3
no ip address
shutdown
half-duplex
!
no ip http server
no ip http secure-server
!
ip forward-protocol nd
!
!
ipv6 router ospf 1
router-id 10.2.2.2
log-adjacency-changes
!
ipv6 pim rp-address 2001:DB8:6666:6666::6
!
!
!
control-plane
!
!
!
!
```

```
!  
!  
!  
!  
!  
!  
line con 0  
  exec-timeout 0 0  
  privilege level 15  
  logging synchronous  
line aux 0  
  exec-timeout 0 0  
  privilege level 15  
  logging synchronous  
line vty 0 4  
  login  
!  
!  
end
```

R3

```
!  
!  
!  
  
!  
version 12.4  
service timestamps debug datetime msec  
service timestamps log datetime msec  
no service password-encryption  
!  
hostname R3  
!  
boot-start-marker  
boot-end-marker  
!  
!  
no aaa new-model  
memory-size iomem 5  
no ip icmp rate-limit unreachable  
!  
!  
ip cef  
no ip domain lookup  
!  
!  
ip auth-proxy max-nodata-conns 3  
ip admission max-nodata-conns 3  
!  
ipv6 unicast-routing  
ipv6 multicast-routing  
!
```

```
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
ip tcp synwait-time 5  
!  
!  
!  
!  
!  
interface Loopback0  
no ip address  
ipv6 address 2001:DB8:3333:3333::3/128  
ipv6 ospf 1 area 0  
!  
interface Ethernet0/0  
no ip address  
half-duplex  
ipv6 address 2001:DB8:1111:53::2/64  
ipv6 ospf 1 area 0  
!  
interface Ethernet0/1
```

```
no ip address
half-duplex
ipv6 address 2001:DB8:1111:43::2/64
ipv6 ospf 1 area 0
!
interface Ethernet0/2
no ip address
shutdown
half-duplex
!
interface Ethernet0/3
no ip address
shutdown
half-duplex
!
no ip http server
no ip http secure-server
!
ip forward-protocol nd
!
!
ipv6 router ospf 1
router-id 10.3.3.3
log-adjacency-changes
!
ipv6 pim rp-address 2001:DB8:6666:6666::6
!
!
!
control-plane
!
!
!
```

```
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
line con 0  
  exec-timeout 0 0  
  privilege level 15  
  logging synchronous  
line aux 0  
  exec-timeout 0 0  
  privilege level 15  
  logging synchronous  
line vty 0 4  
  login  
!  
!  
end
```

R4

```
!  
  
!  
version 12.4  
service timestamps debug datetime msec  
service timestamps log datetime msec  
no service password-encryption  
!  
hostname R4  
!  
boot-start-marker  
boot-end-marker  
!  
!  
no aaa new-model  
memory-size iomem 5  
no ip icmp rate-limit unreachable  
!  
!  
ip cef  
no ip domain lookup  
!  
!  
ip auth-proxy max-nodata-conns 3  
ip admission max-nodata-conns 3  
!  
ipv6 unicast-routing  
ipv6 dhcp pool R1-pool  
prefix-delegation 2001:DB8:AAAA:AAAA::/64 0005000400F1A4D070D003  
prefix-delegation pool R1-pool lifetime 1800 60  
dns-server 2001:DB8:FFFF::10
```



```
!  
ipv6 multicast-routing  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
ip tcp synwait-time 5  
!  
!  
!  
!  
!  
interface Loopback0  
no ip address  
ipv6 address 2001:DB8:4444:4444::4/128  
ipv6 ospf 1 area 0  
!  
interface Ethernet0/0  
no ip address  
half-duplex  
ipv6 address 2001:DB8:1111:64::2/64
```

ipv6 dhcp server R1-pool

```
ipv6 ospf 1 area 0
```

```
!
```

```
interface Ethernet0/1
```

```
no ip address
```

```
half-duplex
```

```
ipv6 address 2001:DB8:1111:43::1/64
```

```
ipv6 ospf 1 area 0
```

```
!
```

```
interface Ethernet0/2
```

```
no ip address
```

```
shutdown
```

```
half-duplex
```

```
!
```

```
interface Ethernet0/3
```

```
no ip address
```

```
shutdown
```

```
half-duplex
```

```
!
```

```
no ip http server
```

```
no ip http secure-server
```

```
!
```

```
ip forward-protocol nd
```

```
!
```

```
!
```

```
ipv6 router ospf 1
```

```
router-id 10.4.4.4
```

```
log-adjacency-changes
```

```
!
```

```
ipv6 pim rp-address 2001:DB8:6666:6666::6
```

```
!
```

```
!
```

```
!
```

```
control-plane
!
!
!
!
!
!
!
!
!
!
line con 0
  exec-timeout 0 0
  privilege level 15
  logging synchronous
line aux 0
  exec-timeout 0 0
  privilege level 15
  logging synchronous
line vty 0 4
  login
!
!
end
```

R5

```
!  
!  
!  
  
!  
version 12.4  
service timestamps debug datetime msec  
service timestamps log datetime msec  
no service password-encryption  
!  
hostname R5  
!  
boot-start-marker  
boot-end-marker  
!  
!  
no aaa new-model  
memory-size iomem 5  
no ip icmp rate-limit unreachable  
!  
!  
ip cef  
no ip domain lookup  
!  
!  
ip auth-proxy max-nodata-conns 3  
ip admission max-nodata-conns 3  
!  
ipv6 unicast-routing  
ipv6 multicast-routing  
!
```

```
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
ip tcp synwait-time 5  
!  
!  
!  
!  
!  
interface Loopback0  
  no ip address  
  ipv6 address 2001:DB8:5555:5555::5/128  
  ipv6 ospf 1 area 0  
!  
interface Ethernet0/0  
  no ip address  
  half-duplex  
  ipv6 address 2001:DB8:1111:53::1/64  
  ipv6 ospf 1 area 0  
!  
interface Ethernet0/1
```

```
no ip address
half-duplex
ipv6 address 2001:DB8:1111:65::2/64
ipv6 ospf 1 area 0
!
interface Ethernet0/2
no ip address
half-duplex
ipv6 address 2001:DB8:1111:75::2/64
ipv6 ospf 1 area 0
!
interface Ethernet0/3
no ip address
shutdown
half-duplex
!
no ip http server
no ip http secure-server
!
ip forward-protocol nd
!
!
ipv6 router ospf 1
router-id 10.5.5.5
log-adjacency-changes
!
ipv6 pim rp-address 2001:DB8:6666:6666::6
!
!
!
control-plane
!
!
```

```
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
line con 0  
  exec-timeout 0 0  
  privilege level 15  
  logging synchronous  
line aux 0  
  exec-timeout 0 0  
  privilege level 15  
  logging synchronous  
line vty 0 4  
  login  
!  
!  
end
```

R6

```
!  
!  
!  
  
!  
version 12.4  
service timestamps debug datetime msec  
service timestamps log datetime msec  
no service password-encryption  
!  
hostname R6  
!  
boot-start-marker  
boot-end-marker  
!  
!  
no aaa new-model  
memory-size iomem 5  
no ip icmp rate-limit unreachable  
!  
!  
ip cef  
no ip domain lookup  
!  
!  
ip auth-proxy max-nodata-conns 3  
ip admission max-nodata-conns 3  
!  
ipv6 unicast-routing  
ipv6 multicast-routing  
!
```



```
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
ip tcp synwait-time 5  
!  
!  
!  
!  
!  
interface Loopback0  
  no ip address  
  ipv6 address 2001:DB8:6666:6666::6/128  
  ipv6 ospf 1 area 0  
!  
interface Ethernet0/0  
  no ip address  
  half-duplex  
  ipv6 address 2001:DB8:1111:64::1/64  
  ipv6 ospf 1 area 0  
!  
interface Ethernet0/1
```

```
no ip address
half-duplex
ipv6 address 2001:DB8:1111:65::1/64
ipv6 ospf 1 area 0
!
interface Ethernet0/2
no ip address
half-duplex
ipv6 address 2001:DB8:1111:86::2/64
ipv6 ospf 1 area 0
!
interface Ethernet0/3
no ip address
shutdown
half-duplex
!
no ip http server
no ip http secure-server
!
ip forward-protocol nd
!
!
ipv6 router ospf 1
router-id 10.6.6.6
log-adjacency-changes
!
ipv6 pim rp-address 2001:DB8:6666:6666::6
!
!
!
control-plane
!
!
```

```
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
line con 0  
  exec-timeout 0 0  
  privilege level 15  
  logging synchronous  
line aux 0  
  exec-timeout 0 0  
  privilege level 15  
  logging synchronous  
line vty 0 4  
  login  
!  
!  
end
```

R7

```
!  
!  
!  
  
!  
version 12.4  
service timestamps debug datetime msec  
service timestamps log datetime msec  
no service password-encryption  
!  
hostname R7  
!  
boot-start-marker  
boot-end-marker  
!  
!  
no aaa new-model  
memory-size iomem 5  
no ip icmp rate-limit unreachable  
!  
!  
ip cef  
no ip domain lookup  
!  
!  
ip auth-proxy max-nodata-conns 3  
ip admission max-nodata-conns 3  
!  
ipv6 unicast-routing  
ipv6 multicast-routing  
!
```

```
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
ip tcp synwait-time 5  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
interface Loopback0  
no ip address  
ipv6 address 2001:DB8:7777:7777::7/128  
ipv6 ospf 1 area 0  
!  
interface Ethernet0/0  
no ip address  
half-duplex  
ipv6 address 2001:DB8:1111:75::1/64  
ipv6 ospf 1 area 0  
!  
interface Ethernet0/1
```

```
no ip address
half-duplex
ipv6 address 2001:DB8:1111:87::2/64
ipv6 ospf 1 area 0
!
interface Ethernet0/2
no ip address
half-duplex
ipv6 address 2001:DB8:1111:71::1/64
ipv6 ospf 1 area 0
!
interface Ethernet0/3
no ip address
shutdown
half-duplex
!
no ip http server
no ip http secure-server
!
ip forward-protocol nd
!
!
ipv6 router ospf 1
router-id 10.7.7.7
log-adjacency-changes
!
ipv6 pim rp-address 2001:DB8:6666:6666::6
!
!
!
control-plane
!
!
```

```
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
line con 0  
  exec-timeout 0 0  
  privilege level 15  
  logging synchronous  
line aux 0  
  exec-timeout 0 0  
  privilege level 15  
  logging synchronous  
line vty 0 4  
  login  
!  
!  
end
```

R8

```
!  
!  
!  
  
!  
version 12.4  
service timestamps debug datetime msec  
service timestamps log datetime msec  
no service password-encryption  
!  
hostname R8  
!  
boot-start-marker  
boot-end-marker  
!  
!  
no aaa new-model  
memory-size iomem 5  
no ip icmp rate-limit unreachable  
!  
!  
ip cef  
no ip domain lookup  
!  
!  
ip auth-proxy max-nodata-conns 3  
ip admission max-nodata-conns 3  
!  
ipv6 unicast-routing  
ipv6 multicast-routing  
!
```



```
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
ip tcp synwait-time 5  
!  
!  
!  
!  
!  
interface Loopback0  
  no ip address  
  ipv6 address 2001:DB8:8888:8888::8/128  
  ipv6 ospf 1 area 0  
!  
interface Ethernet0/0  
  no ip address  
  half-duplex  
  ipv6 address 2001:DB8:1111:28::1/64  
  ipv6 ospf 1 area 0  
!  
interface Ethernet0/1
```

```
no ip address
half-duplex
ipv6 address 2001:DB8:1111:87::1/64
ipv6 ospf 1 area 0
!
interface Ethernet0/2
no ip address
half-duplex
ipv6 address 2001:DB8:1111:86::1/64
ipv6 ospf 1 area 0
!
interface Ethernet0/3
no ip address
shutdown
half-duplex
!
no ip http server
no ip http secure-server
!
ip forward-protocol nd
!
!
ipv6 router ospf 1
router-id 10.8.8.8
log-adjacency-changes
!
ipv6 pim rp-address 2001:DB8:6666:6666::6
!
!
!
control-plane
!
!
```

```
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
line con 0  
  exec-timeout 0 0  
  privilege level 15  
  logging synchronous  
line aux 0  
  exec-timeout 0 0  
  privilege level 15  
  logging synchronous  
line vty 0 4  
  login  
!  
!  
end
```

7 Výpis skupinových směrovacích tabulek na směrovačích

R1#show ipv6 mroute

Multicast Routing Table

Flags: D - Dense, S - Sparse, B - Bidir Group, s - SSM Group,
C - Connected, L - Local, I - Received Source Specific Host Report,
P - Pruned, R - RP-bit set, F - Register flag, T - SPT-bit set,
J - Join SPT

Timers: Uptime/Expires

Interface state: Interface, State

(2001:DB8:1111:1111::1, FF08::1111), 00:10:21/00:00:09, flags: SFT

Incoming interface: Loopback0

RPF nbr: FE80::1311:11FF:FE11:1111

Immediate Outgoing interface list:

Ethernet0/2, Forward, 00:10:21/00:03:06

R1#show ipv6 pim topology

IP PIM Multicast Topology Table

Entry state: (*S,G)[RPT/SPT] Protocol Uptime Info

Entry flags: KAT - Keep Alive Timer, AA - Assume Alive, PA - Probe Alive,
RA - Really Alive, LH - Last Hop, DSS - Don't Signal Sources,
RR - Register Received, SR - Sending Registers, E - MSDP External,
DCC - Don't Check Connected

Interface state: Name, Uptime, Fwd, Info

Interface flags: LI - Local Interest, LD - Local Disinterest,
II - Internal Interest, ID - Internal Disinterest,
LH - Last Hop, AS - Assert, AB - Admin Boundary

(2001:DB8:1111:1111::1,FF08::1111)

SM SPT UP: 00:10:26 JP: Join(never) Flags: KAT(00:00:03) RA

RPF: Loopback0,FE80::1311:11FF:FE11:1111*

Ethernet0/2 00:10:26 fwd Join(00:03:01)

R2#show ipv6 mroute

Multicast Routing Table

Flags: D - Dense, S - Sparse, B - Bidir Group, s - SSM Group,
C - Connected, L - Local, I - Received Source Specific Host Report,
P - Pruned, R - RP-bit set, F - Register flag, T - SPT-bit set,
J - Join SPT

Timers: Uptime/Expires

Interface state: Interface, State

(* , FF08::1111), 01:16:36/never, RP 2001:DB8:6666:6666::6, flags: SCLJ

Incoming interface: Ethernet0/0

RPF nbr: FE80::8A88:88FF:FE88:8888

Immediate Outgoing interface list:

Loopback0, Forward, 01:16:36/never

(2001:DB8:1111:1111::1, FF08::1111), 00:09:38/00:00:53, flags: SJT

Incoming interface: Ethernet0/0

RPF nbr: FE80::8A88:88FF:FE88:8888

Inherited Outgoing interface list:

Loopback0, Forward, 01:16:36/never

(2001:DB8:2222:2222::2, FF08::1111), 00:10:06/00:00:25, flags: SFJT

Incoming interface: Loopback0

RPF nbr: FE80::2022:22FF:FE22:2222

R2#show ipv6 pim topology

IP PIM Multicast Topology Table

Entry state: (*S,G)[RPT/SPT] Protocol Uptime Info

Entry flags: KAT - Keep Alive Timer, AA - Assume Alive, PA - Probe Alive,
RA - Really Alive, LH - Last Hop, DSS - Don't Signal Sources,
RR - Register Received, SR - Sending Registers, E - MSDP External,
DCC - Don't Check Connected

Interface state: Name, Uptime, Fwd, Info

Interface flags: LI - Local Interest, LD - Local Disinterest,
II - Internal Interest, ID - Internal Disinterest,
LH - Last Hop, AS - Assert, AB - Admin Boundary

(* ,FF08::1111)

SM UP: 01:16:41 JP: Join(00:00:06) Flags: LH

RP: 2001:DB8:6666:6666::6

RPF: Ethernet0/0,FE80::8A88:88FF:FE88:8888

Loopback0 01:16:41 fwd LI II LH

(2001:DB8:1111:1111::1,FF08::1111)

SM SPT UP: 00:09:44 JP: Join(00:00:06) Flags: KAT(00:00:47) RA

RPF: Ethernet0/0,FE80::8A88:88FF:FE88:8888

No interfaces in immediate olist

(2001:DB8:2222:2222::2,FF08::1111)

SM SPT UP: 00:10:12 JP: Join(never) Flags: KAT(00:00:19) RA

RPF: Loopback0,FE80::2022:22FF:FE22:2222*

Ethernet0/0 00:10:12 fwd Join(00:03:18)

R3#show ipv6 mroute

Multicast Routing Table

Flags: D - Dense, S - Sparse, B - Bidir Group, s - SSM Group,
C - Connected, L - Local, I - Received Source Specific Host Report,
P - Pruned, R - RP-bit set, F - Register flag, T - SPT-bit set,
J - Join SPT

Timers: Uptime/Expires

Interface state: Interface, State

(* , FF08::1111), 00:32:27/never, RP 2001:DB8:6666:6666::6, flags: SCLJ

Incoming interface: Ethernet0/1

RPF nbr: FE80::4644:44FF:FE44:4445

Immediate Outgoing interface list:

Loopback0, Forward, 00:32:27/never

(2001:DB8:1111:1111::1, FF08::1111), 00:00:36/00:02:55, flags: SJT

Incoming interface: Ethernet0/0

RPF nbr: FE80::5755:55FF:FE55:5555

Inherited Outgoing interface list:

Loopback0, Forward, 00:32:27/never

(2001:DB8:2222:2222::2, FF08::1111), 00:00:55/00:02:36, flags: SJT

Incoming interface: Ethernet0/0

RPF nbr: FE80::5755:55FF:FE55:5555

Inherited Outgoing interface list:

Loopback0, Forward, 00:32:27/never

R3#show ipv6 pim topology

IP PIM Multicast Topology Table

Entry state: (* /S,G)[RPT/SPT] Protocol Uptime Info

Entry flags: KAT - Keep Alive Timer, AA - Assume Alive, PA - Probe Alive,
RA - Really Alive, LH - Last Hop, DSS - Don't Signal Sources,
RR - Register Received, SR - Sending Registers, E - MSDP External,

DCC - Don't Check Connected

Interface state: Name, Uptime, Fwd, Info

Interface flags: LI - Local Interest, LD - Local Disinterest,

II - Internal Interest, ID - Internal Disinterest,

LH - Last Hop, AS - Assert, AB - Admin Boundary

(*FF08::1111)

SM UP: 00:38:41 JP: Join(00:00:03) Flags: LH

RP: 2001:DB8:6666:6666::6

RPF: Ethernet0/1,FE80::4644:44FF:FE44:4445

Loopback0 00:38:41 fwd LI II LH

(2001:DB8:1111:1111::1,FF08::1111)

SM SPT UP: 00:06:50 JP: Join(00:00:03) Flags: KAT(00:00:13) RA

RPF: Ethernet0/0,FE80::5755:55FF:FE55:5555

No interfaces in immediate olist

(2001:DB8:2222:2222::2,FF08::1111)

SM SPT UP: 00:07:10 JP: Join(00:00:43) Flags: KAT(00:03:25) RA

RPF: Ethernet0/0,FE80::5755:55FF:FE55:5555

No interfaces in immediate olist

R4#show ipv6 pim topology

IP PIM Multicast Topology Table

Entry state: (*/S,G)[RPT/SPT] Protocol Uptime Info

Entry flags: KAT - Keep Alive Timer, AA - Assume Alive, PA - Probe Alive,

RA - Really Alive, LH - Last Hop, DSS - Don't Signal Sources,

RR - Register Received, SR - Sending Registers, E - MSDP External,

DCC - Don't Check Connected

Interface state: Name, Uptime, Fwd, Info

Interface flags: LI - Local Interest, LD - Local Disinterest,

II - Internal Interest, ID - Internal Disinterest,

LH - Last Hop, AS - Assert, AB - Admin Boundary

(* ,FF08::1111)

SM UP: 00:33:58 JP: Join(now) Flags:

RP: 2001:DB8:6666:6666::6

RPF: Ethernet0/0,FE80::6466:66FF:FE66:6666

Ethernet0/1 00:33:58 fwd Join(00:03:26)

(2001:DB8:1111:1111::1,FF08::1111)

SM RPT UP: 00:02:03 JP: Prune(never) Flags:

RP: 2001:DB8:6666:6666::6

RPF: Ethernet0/0,FE80::6466:66FF:FE66:6666

Ethernet0/1 00:02:03 off Prune(00:03:26)

(2001:DB8:2222:2222::2,FF08::1111)

SM RPT UP: 00:02:24 JP: Prune(never) Flags:

RP: 2001:DB8:6666:6666::6

RPF: Ethernet0/0,FE80::6466:66FF:FE66:6666

Ethernet0/1 00:02:24 off Prune(00:03:26)

R4#show ipv6 mroute

Multicast Routing Table

Flags: D - Dense, S - Sparse, B - Bidir Group, s - SSM Group,

C - Connected, L - Local, I - Received Source Specific Host Report,
P - Pruned, R - RP-bit set, F - Register flag, T - SPT-bit set,
J - Join SPT

Timers: Uptime/Expires

Interface state: Interface, State

(* , FF08::1111), 00:39:27/00:02:57, RP 2001:DB8:6666:6666::6, flags: S

Incoming interface: Ethernet0/0

RPF nbr: FE80::6466:66FF:FE66:6666

Immediate Outgoing interface list:

Ethernet0/1, Forward, 00:39:27/00:02:57

(2001:DB8:1111:1111::1, FF08::1111), 00:07:31/00:02:57, RP 2001:DB8:6666:6666::6, flags: SPR

Incoming interface: Ethernet0/0

RPF nbr: FE80::6466:66FF:FE66:6666

Immediate Outgoing interface list:

Ethernet0/1, Null, 00:07:31/00:02:57

(2001:DB8:2222:2222::2, FF08::1111), 00:07:53/00:02:57, RP 2001:DB8:6666:6666::6, flags: SPR

Incoming interface: Ethernet0/0

RPF nbr: FE80::6466:66FF:FE66:6666

Immediate Outgoing interface list:

Ethernet0/1, Null, 00:07:53/00:02:57

R5#show ipv6 mroute

Multicast Routing Table

Flags: D - Dense, S - Sparse, B - Bidir Group, s - SSM Group,
C - Connected, L - Local, I - Received Source Specific Host Report,
P - Pruned, R - RP-bit set, F - Register flag, T - SPT-bit set,
J - Join SPT

Timers: Uptime/Expires

Interface state: Interface, State

(2001:DB8:1111:1111::1, FF08::1111), 00:01:56/00:03:17, flags: ST

Incoming interface: Ethernet0/2

RPF nbr: FE80::7577:77FF:FE77:7777

Immediate Outgoing interface list:

Ethernet0/0, Forward, 00:00:12/00:03:17

(2001:DB8:2222:2222::2, FF08::1111), 00:00:31/00:02:57, flags: ST

Incoming interface: Ethernet0/2

RPF nbr: FE80::7577:77FF:FE77:7777

Immediate Outgoing interface list:

Ethernet0/0, Forward, 00:00:31/00:02:57

R5# show ipv6 pim topology

IP PIM Multicast Topology Table

Entry state: (*S,G)[RPT/SPT] Protocol Uptime Info

Entry flags: KAT - Keep Alive Timer, AA - Assume Alive, PA - Probe Alive,
RA - Really Alive, LH - Last Hop, DSS - Don't Signal Sources,
RR - Register Received, SR - Sending Registers, E - MSDP External,
DCC - Don't Check Connected

Interface state: Name, Uptime, Fwd, Info

Interface flags: LI - Local Interest, LD - Local Disinterest,

II - Internal Interest, ID - Internal Disinterest,

LH - Last Hop, AS - Assert, AB - Admin Boundary

(2001:DB8:1111:1111::1,FF08::1111)

SM SPT UP: 00:09:55 JP: Join(now) Flags:

RPF: Ethernet0/2,FE80::7577:77FF:FE77:7777

Ethernet0/0 00:08:11 fwd Join(00:03:22)

(2001:DB8:2222:2222::2,FF08::1111)

SM SPT UP: 00:08:31 JP: Join(00:00:16) Flags:

RPF: Ethernet0/2,FE80::7577:77FF:FE77:7777

Ethernet0/0 00:08:31 fwd Join(00:03:02)

R6#show ipv6 pim topology

IP PIM Multicast Topology Table

Entry state: (*S,G)[RPT/SPT] Protocol Uptime Info

Entry flags: KAT - Keep Alive Timer, AA - Assume Alive, PA - Probe Alive,

RA - Really Alive, LH - Last Hop, DSS - Don't Signal Sources,

RR - Register Received, SR - Sending Registers, E - MSDP External,

DCC - Don't Check Connected

Interface state: Name, Uptime, Fwd, Info

Interface flags: LI - Local Interest, LD - Local Disinterest,

II - Internal Interest, ID - Internal Disinterest,

LH - Last Hop, AS - Assert, AB - Admin Boundary

(*FF08::1111)

SM UP: 01:07:57 JP: Join(never) Flags:

RP: 2001:DB8:6666:6666::6*

RPF: Tunnel1,2001:DB8:6666:6666::6*

Ethernet0/0 01:07:43 fwd Join(00:02:46)

Ethernet0/2 01:07:57 fwd Join(00:02:32)

(2001:DB8:1111:1111::1,FF08::1111)

SM RPT UP: 00:00:57 JP: Prune(never) Flags: KAT(00:03:28) RA DCC RR

RP: 2001:DB8:6666:6666::6*

RPF: Tunnel1,2001:DB8:6666:6666::6*

Ethernet0/0 00:00:43 off Prune(00:02:46)

Ethernet0/2 00:00:57 off Prune(00:02:32)

(2001:DB8:1111:1111::1,FF08::1111)

SM UP: 00:01:00 JP: Null(never) Flags: KAT(00:03:28) RA DCC RR

RPF: Ethernet0/1,FE80::5755:55FF:FE55:5556

No interfaces in immediate olist

(2001:DB8:2222:2222::2,FF08::1111)

SM RPT UP: 00:01:28 JP: Prune(never) Flags: KAT(00:02:58) RA DCC RR

RP: 2001:DB8:6666:6666::6*

RPF: Tunnel1,2001:DB8:6666:6666::6*

Ethernet0/0 00:01:26 off Prune(00:02:46)

Ethernet0/2 00:01:28 off Prune(00:02:32)

(2001:DB8:2222:2222::2,FF08::1111)

SM UP: 00:01:28 JP: Null(never) Flags: KAT(00:02:58) RA DCC RR

RPF: Ethernet0/2,FE80::8A88:88FF:FE88:888A

No interfaces in immediate olist

R6#show ipv6 mroute

Multicast Routing Table

Flags: D - Dense, S - Sparse, B - Bidir Group, s - SSM Group,

C - Connected, L - Local, I - Received Source Specific Host Report,

P - Pruned, R - RP-bit set, F - Register flag, T - SPT-bit set,

J - Join SPT

Timers: Uptime/Expires

Interface state: Interface, State

(* , FF08::1111), 01:08:18/00:03:25, RP 2001:DB8:6666:6666::6, flags: S

Incoming interface: Tunnel1

RPF nbr: 2001:DB8:6666:6666::6

Immediate Outgoing interface list:

Ethernet0/0, Forward, 01:08:04/00:03:25

Ethernet0/2, Forward, 01:08:18/00:03:11

(2001:DB8:1111:1111::1, FF08::1111), 00:01:17/00:03:08, RP 2001:DB8:6666:6666::6, flags: SPR

Incoming interface: Tunnel1

RPF nbr: 2001:DB8:6666:6666::6

Immediate Outgoing interface list:

Ethernet0/0, Null, 00:01:04/00:03:25

Ethernet0/2, Null, 00:01:17/00:03:11

(2001:DB8:1111:1111::1, FF08::1111), 00:01:21/00:03:08, flags: S

Incoming interface: Ethernet0/1

RPF nbr: FE80::5755:55FF:FE55:5556

Inherited Outgoing interface list:

Ethernet0/0, Forward, 01:08:04/00:03:25

Ethernet0/2, Forward, 01:08:18/00:03:11

(2001:DB8:2222:2222::2, FF08::1111), 00:01:48/00:02:38, RP 2001:DB8:6666:6666::6, flags: SPR

Incoming interface: Tunnel1

RPF nbr: 2001:DB8:6666:6666::6

Immediate Outgoing interface list:

Ethernet0/0, Null, 00:01:46/00:03:25

Ethernet0/2, Null, 00:01:48/00:03:11

(2001:DB8:2222:2222::2, FF08::1111), 00:01:48/00:02:38, flags: S

Incoming interface: Ethernet0/2

RPF nbr: FE80::8A88:88FF:FE88:888A

Inherited Outgoing interface list:

Ethernet0/0, Forward, 01:08:04/00:03:25

R7#show ipv6 mroute

Multicast Routing Table

Flags: D - Dense, S - Sparse, B - Bidir Group, s - SSM Group,
C - Connected, L - Local, I - Received Source Specific Host Report,
P - Pruned, R - RP-bit set, F - Register flag, T - SPT-bit set,
J - Join SPT

Timers: Uptime/Expires

Interface state: Interface, State

(2001:DB8:1111:1111::1, FF08::1111), 00:07:35/00:03:10, flags: ST

Incoming interface: Ethernet0/2

RPF nbr: FE80::1311:11FF:FE11:1113

Immediate Outgoing interface list:

Ethernet0/1, Forward, 00:01:14/00:03:10

Ethernet0/0, Forward, 00:02:58/00:02:34

(2001:DB8:2222:2222::2, FF08::1111), 00:01:33/00:02:54, flags: ST

Incoming interface: Ethernet0/1

RPF nbr: FE80::8A88:88FF:FE88:8889

Immediate Outgoing interface list:

Ethernet0/0, Forward, 00:01:33/00:02:54

R7#show ipv6 pim topology

IP PIM Multicast Topology Table

Entry state: (*S,G)[RPT/SPT] Protocol Uptime Info

Entry flags: KAT - Keep Alive Timer, AA - Assume Alive, PA - Probe Alive,
RA - Really Alive, LH - Last Hop, DSS - Don't Signal Sources,
RR - Register Received, SR - Sending Registers, E - MSDP External,
DCC - Don't Check Connected

Interface state: Name, Uptime, Fwd, Info

Interface flags: LI - Local Interest, LD - Local Disinterest,
II - Internal Interest, ID - Internal Disinterest,
LH - Last Hop, AS - Assert, AB - Admin Boundary

(2001:DB8:1111:1111::1,FF08::1111)

SM SPT UP: 00:15:57 JP: Join(now) Flags:

RPF: Ethernet0/2,FE80::1311:11FF:FE11:1113

Ethernet0/1 00:09:36 fwd Join(00:02:49)

Ethernet0/0 00:11:19 fwd Join(00:03:12)

(2001:DB8:2222:2222::2,FF08::1111)

SM SPT UP: 00:09:55 JP: Join(now) Flags:

RPF: Ethernet0/1,FE80::8A88:88FF:FE88:8889

Ethernet0/0 00:09:55 fwd Join(00:02:32)

R8#show ipv6 mroute

Multicast Routing Table

Flags: D - Dense, S - Sparse, B - Bidir Group, s - SSM Group,

C - Connected, L - Local, I - Received Source Specific Host Report,

P - Pruned, R - RP-bit set, F - Register flag, T - SPT-bit set, J - Join SPT

Timers: Uptime/Expires

Interface state: Interface, State

(*, FF08::1111), 01:07:24/00:03:03, RP 2001:DB8:6666:6666::6, flags: S

Incoming interface: Ethernet0/2

RPF nbr: FE80::6466:66FF:FE66:6668

Immediate Outgoing interface list:

Ethernet0/0, Forward, 01:07:24/00:03:03

(2001:DB8:1111:1111::1, FF08::1111), 00:00:27/00:03:04, flags: ST

Incoming interface: Ethernet0/1

RPF nbr: FE80::7577:77FF:FE77:7778

Immediate Outgoing interface list:

Ethernet0/0, Forward, 00:00:27/00:03:02

(2001:DB8:2222:2222::2, FF08::1111), 00:00:55/00:03:03, RP 2001:DB8:6666:6666::6, flags: SPR

Incoming interface: Ethernet0/2

RPF nbr: FE80::6466:66FF:FE66:6668

Immediate Outgoing interface list:

Ethernet0/0, Null, 00:00:55/00:03:03

(2001:DB8:2222:2222::2, FF08::1111), 00:00:55/00:02:34, flags: ST

Incoming interface: Ethernet0/0

RPF nbr: FE80::2022:22FF:FE22:2222

Immediate Outgoing interface list:

Ethernet0/1, Forward, 00:00:55/00:02:34

R8#show ipv6 pim topology

IP PIM Multicast Topology Table

Entry state: (*S,G)[RPT/SPT] Protocol Uptime Info

Entry flags: KAT - Keep Alive Timer, AA - Assume Alive, PA - Probe Alive,

RA - Really Alive, LH - Last Hop, DSS - Don't Signal Sources,

RR - Register Received, SR - Sending Registers, E - MSDP External,

DCC - Don't Check Connected

Interface state: Name, Uptime, Fwd, Info

Interface flags: LI - Local Interest, LD - Local Disinterest,

II - Internal Interest, ID - Internal Disinterest,

LH - Last Hop, AS - Assert, AB - Admin Boundary

(*FF08::1111)

SM UP: 01:07:41 JP: Join(00:00:08) Flags:

RP: 2001:DB8:6666:6666::6

RPF: Ethernet0/2,FE80::6466:66FF:FE66:6668

Ethernet0/0 01:07:41 fwd Join(00:02:45)

(2001:DB8:1111:1111::1,FF08::1111)

SM SPT UP: 00:00:44 JP: Join(00:00:05) Flags: KAT(00:02:47) RA

RPF: Ethernet0/1,FE80::7577:77FF:FE77:7778

Ethernet0/0 00:00:44 fwd Join(00:02:45)

(2001:DB8:2222:2222::2,FF08::1111)

SM RPT UP: 00:01:12 JP: Prune(never) Flags:

RP: 2001:DB8:6666:6666::6

RPF: Ethernet0/2,FE80::6466:66FF:FE66:6668

Ethernet0/0 00:01:12 off Prune(00:02:45)

(2001:DB8:2222:2222::2,FF08::1111)

SM SPT UP: 00:01:12 JP: Join(00:00:38) Flags:

RPF: Ethernet0/0,FE80::2022:22FF:FE22:2222

Ethernet0/1 00:01:12 fwd Join(00:03:13)