EA080 - Laboratório de redes de computadores
Relatório 5 - Roteamento Dinâmico OSPF

Gabriela Surita
RA 139095

Introdução

Configurar rotas IP entre roteadores é uma parte fundamental para o funcionamento correto de uma rede de computadores. Configurar rotas manualmente é em geral trabalhoso em escala e propenso a diversos erros humanos. Para evitar este trabalho, foram desenhados os chamados protocolos de configuração autônoma de redes. Sendo mais conhecidos:

Protocolos redes internas (ou *Interior Gateway Protocol* - IGP): usados na configuração de redes internas, como redes empresariais ou domésticas para configuração autônoma da topologia.

Protocolos de roteador de borda (ou *Border Gateway Protocol* - BGP): usados entre redes de internas pré-configuradas.

Dedicando o estudo aos protocolos IGP, destacam-se duas classes básicas de protocolos, cada qual com sua base algorítmica:

Protocolos Baseados em vetor de distâncias: baseados no algoritmo de Bellman-Ford, nestes protocolos, cada roteador armazena apenas a sua tabela de roteamento e os respectivos pesos (vetor de distâncias). Uma vez que acontece uma mudança conhecida na topologia, um roteador envia uma mensagem para seus vizinhos contendo seu vetor de distâncias atualizado. Quando um roteador recebe um vetor de distâncias, deve comparar o dado com seu próprio vetor e verificar se um caminho novo ou mais barato existe. Em caso positivo atualiza sua tabela de roteamento e envia seu vetor de distâncias para seus vizinhos. Os roteadores continuam enviando vetores de distância até que o sistema atinja um estado estável. Um exemplo de protocolo que usa esta estratégia é o RIP (*Routing Information Protoco*l).

Protocolos baseados em estado de enlace: em geral baseados no algoritmo de Dijkstra, nestes protocolos, cada roteador armazena o estado de toda a topologia e é responsável por conhecer seus vizinhos. Uma vez que acontece uma mudança entre seus vizinhos, um roteador deve fazer um broadcast para toda a rede. Cada roteador deve receber o pacote e atualizar sua própria tabela de roteamento. Exemplos de

protocolos que usam esta estratégia são o OSPF (*Open Shortest Path First*) e o IS-IS (*Intermediate system to intermediate system*).

Estudar vantagens e desvantagens de cada uma das estratégias não é o foco deste experimento, mas protocolos baseados em estado de enlace se tornaram mais populares ao longo do tempo em redes de médio e grande porte em especial por problemas relacionados a convergência da topologia.

Neste experimento, estudamos o comportamento do protocolo baseado em estado de enlace OSPF em uma rede com redundância de conexões, verificando cenários como a alteração de custos dentro da topologia e a interrupção da conexão entre parte da topologia.

Implementação

1. Primeiros passos

Esta seção contém experimentos entendidos como necessários antes de nos debruçarmos sobre o estudo dos protocolos de roteamento propriamente ditos.

Estudo da topologia de rede

A topologia de rede utilizada durante este experimento foi previamente fornecida e foi emulada usando o software mininet. O código fonte com a descrição da topologia está disponível em https://github.com/vcleal/ea080.

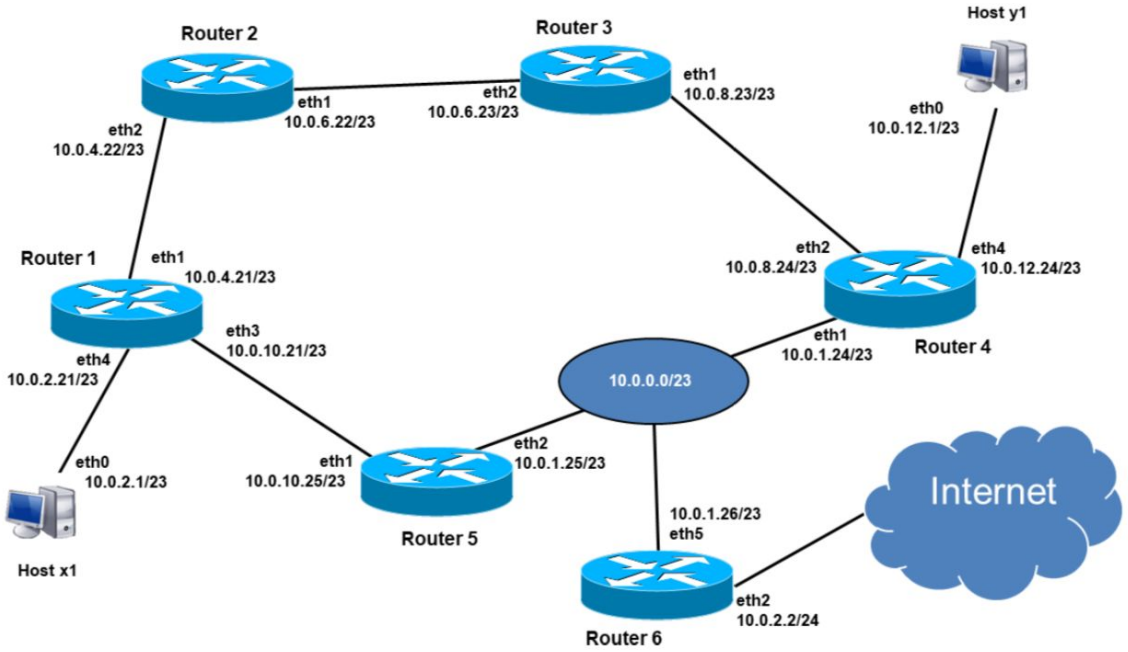


Figura 1: Esquema contendo roteadores e hosts na topologia da rede fornecida.

Podemos verificar através do comando nodes que a rede contém os seguintes elementos de rede:

- 7 hosts h1 a h5, x1 e y1
- 6 roteadores r1 a r6
- 5 switches sw2_1 a sw2_5

```
mininet> nodes
available nodes are:
c0 h1 h2 h3 h4 h5 r1 r2 r3 r4 r5 r6 sw2_1 sw2_2 sw2_3 sw2_4 sw2_5 sw3_1 x1 y1
```

Também podemos verificar as conexões entre os elementos. Vemos que cada um dos hosts (h1 a h5) está conectado a um switch (sw2_1 a sw2_5), que por sua vez está conectado a um roteador (r1 a r5) respeitando a numeração. As exceções são os hosts x1 e y1, que estão conectados diretamente aos roteadores r1 e r4 respectivamente.

```
mininet> links
h1-eth0<->sw2_1-eth1 (OK OK)
h2-eth0<->sw2_2-eth1 (OK OK)
h3-eth0<->sw2_3-eth1 (OK OK)
h4-eth0<->sw2_4-eth1 (OK OK)
h5-eth0<->sw2_5-eth1 (OK OK)
r1-eth1<->r2-eth2 (OK OK)
r1-eth3<->r5-eth1 (OK OK)
r2-eth1<->r3-eth2 (OK OK)
r3-eth1<->r4-eth2 (OK OK)
sw2_1-eth2<->sw2_5-eth2 (OK OK)
sw2_2-eth2<->sw2_5-eth3 (OK OK)
sw2_3-eth2<->sw2_5-eth4 (OK OK)
sw2_4-eth2<->sw2_5-eth5 (OK OK)
sw2_5-eth6<->sw3_1-eth1 (OK OK)
sw3_1-eth2<->r4-eth1 (OK OK)
sw3_1-eth3<->r5-eth2 (OK OK)
sw3_1-eth4<->r6-eth5 (OK OK)
x1-eth0<->r1-eth4 (OK OK)
y1-eth0<->r4-eth4 (OK OK)

mininet> net
h1 h1-eth0:sw2_1-eth1
h2 h2-eth0:sw2_2-eth1
h3 h3-eth0:sw2_3-eth1
h4 h4-eth0:sw2_4-eth1
h5 h5-eth0:sw2_5-eth1
x1 x1-eth0:r1-eth4
y1 y1-eth0:r4-eth4
r1 r1-eth1:r2-eth2 r1-eth3:r5-eth1 r1-eth4:x1-eth0
r2 r2-eth2:r1-eth1 r2-eth1:r3-eth2
```

```
r3 r3-eth2:r2-eth1 r3-eth1:r4-eth2
r4 r4-eth1:sw3_1-eth2 r4-eth2:r3-eth1 r4-eth4:y1-eth0
r5 r5-eth2:sw3_1-eth3 r5-eth1:r1-eth3
r6 r6-eth5:sw3_1-eth4
sw2_1 lo:  sw2_1-eth1:h1-eth0 sw2_1-eth2:sw2_5-eth2
sw2_2 lo:  sw2_2-eth1:h2-eth0 sw2_2-eth2:sw2_5-eth3
sw2_3 lo:  sw2_3-eth1:h3-eth0 sw2_3-eth2:sw2_5-eth4
sw2_4 lo:  sw2_4-eth1:h4-eth0 sw2_4-eth2:sw2_5-eth5
sw2_5 lo:  sw2_5-eth1:h5-eth0 sw2_5-eth2:sw2_1-eth2 sw2_5-eth3:sw2_2-eth2
sw2_5-eth4:sw2_3-eth2 sw2_5-eth5:sw2_4-eth2 sw2_5-eth6:sw3_1-eth1
sw3_1 lo:  sw3_1-eth1:sw2_5-eth6 sw3_1-eth2:r4-eth1 sw3_1-eth3:r5-eth2
sw3_1-eth4:r6-eth5
c0
mininet>
```

Podemos verificar também os processos que estão rodando na máquina hospedeira da topologia. Observamos que existem dois processos executando para cada instância de roteador, sendo um ospfd e um zebra.

```
wifi@wifi-VirtualBox:~/ea080$ sudo ps aux | grep quagga
[sudo] password for wifi:
quagga   25853  0.0  0.0  24368  2872 ?        Ss   16:07   0:00
/usr/lib/quagga/zebra -f confs/r1/zebra-r1.conf -d -i /tmp/zebra-r1.pid
quagga   25855  0.0  0.0  26984  2960 ?        Ss   16:07   0:00
/usr/lib/quagga/ospfd -f confs/r1/ospfd-r1.conf -d -i /tmp/ospf-r1.pid
quagga   25857  0.0  0.0  24368  2808 ?        Ss   16:07   0:00
/usr/lib/quagga/zebra -f confs/r2/zebra-r2.conf -d -i /tmp/zebra-r2.pid
quagga   25859  0.0  0.0  26984  2964 ?        Ss   16:07   0:00
/usr/lib/quagga/ospfd -f confs/r2/ospfd-r2.conf -d -i /tmp/ospf-r2.pid
quagga   25861  0.0  0.0  24368   608 ?        Ss   16:07   0:00
/usr/lib/quagga/zebra -f confs/r3/zebra-r3.conf -d -i /tmp/zebra-r3.pid
quagga   25863  0.0  0.0  26984  2868 ?        Ss   16:07   0:00
/usr/lib/quagga/ospfd -f confs/r3/ospfd-r3.conf -d -i /tmp/ospf-r3.pid
quagga   25865  0.0  0.0  24368  2824 ?        Ss   16:07   0:00
/usr/lib/quagga/zebra -f confs/r4/zebra-r4.conf -d -i /tmp/zebra-r4.pid
quagga   25867  0.0  0.0  26984  2872 ?        Ss   16:07   0:00
/usr/lib/quagga/ospfd -f confs/r4/ospfd-r4.conf -d -i /tmp/ospf-r4.pid
quagga   25869  0.0  0.0  24368  2868 ?        Ss   16:07   0:00
/usr/lib/quagga/zebra -f confs/r5/zebra-r5.conf -d -i /tmp/zebra-r5.pid
quagga   25871  0.0  0.0  26984  2804 ?        Ss   16:07   0:00
/usr/lib/quagga/ospfd -f confs/r5/ospfd-r5.conf -d -i /tmp/ospf-r5.pid
quagga   25873  0.0  0.0  24368  2768 ?        Ss   16:07   0:00
/usr/lib/quagga/zebra -f confs/r6/zebra-r6.conf -d -i /tmp/zebra-r6.pid
quagga   25875  0.0  0.0  26984   716 ?        Ss   16:07   0:00
/usr/lib/quagga/ospfd -f confs/r6/ospfd-r6.conf -d -i /tmp/ospf-r6.pid
wifi  25972  0.0  0.0  21292  1084 pts/38   S+   16:10   0:00 grep
--color=auto quagga
```

Testando a conectividade

Com alguns testes simples, podemos verificar que não existe conexão configurada entre x1 e y1.

```
mininet> x1 ping -c3 y1
PING 10.0.12.1 (10.0.12.1) 56(84) bytes of data.
From 10.0.2.21 icmp_seq=1 Destination Net Unreachable
From 10.0.2.21 icmp_seq=2 Destination Net Unreachable
From 10.0.2.21 icmp_seq=3 Destination Net Unreachable

--- 10.0.12.1 ping statistics ---
3 packets transmitted, 0 received, +3 errors, 100% packet loss, time 1998ms

mininet> x1 tracepath y1
 1?: [LOCALHOST]                                         pmtu 1500
 1:  10.0.2.21                                                 0.029ms !N
 1:  10.0.2.21                                                 0.013ms !N
      Resume: pmtu 1500
mininet> y1 tracepath x1
 1?: [LOCALHOST]                                         pmtu 1500
 1:  10.0.12.24                                                0.049ms !N
 1:  10.0.12.24                                                0.013ms !N
      Resume: pmtu 1500
```

2. Desbravando

Identificando subredes e interfaces

São no total 7 subredes na topologia, sendo que todas elas tem o formato 10.0.x.0/23, onde x pertence ao conjunto {0, 2, 4, 6, 8 10, 12}.

Nos debruçando em um único roteador, podemos estudar suas interfaces. Inspecionando r1, Vemos que o mesmo possuí 3 interfaces físicas e uma virtual de loopback, ou seja, apontando para o próprio host.

```
mininet> r1 ifconfig -a
lo    Link encap:Local Loopback
      inet addr:127.0.0.1  Mask:255.0.0.0
      inet6 addr: ::1/128 Scope:Host
      UP LOOPBACK RUNNING  MTU:65536  Metric:1
      RX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
      TX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
      collisions:0 txqueuelen:1
      RX bytes:0 (0.0 B)  TX bytes:0 (0.0 B)
```

```
r1-eth1   Link encap:Ethernet  HWaddr c6:90:32:5c:9d:ca
      inet addr:10.0.4.21  Bcast:10.0.5.255  Mask:255.255.254.0
      inet6 addr: fe80::c490:32ff:fe5c:9dca/64 Scope:Link
      UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
      RX packets:97 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
      TX packets:99 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
      collisions:0 txqueuelen:1000
      RX bytes:7834 (7.8 KB)  TX bytes:8046 (8.0 KB)

r1-eth3   Link encap:Ethernet  HWaddr ba:b0:6f:9c:25:db
      inet addr:10.0.10.21  Bcast:10.0.11.255  Mask:255.255.254.0
      inet6 addr: fe80::b8b0:6fff:fe9c:25db/64 Scope:Link
      UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
      RX packets:8 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
      TX packets:87 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
      collisions:0 txqueuelen:1000
      RX bytes:648 (648.0 B)  TX bytes:6714 (6.7 KB)

r1-eth4   Link encap:Ethernet  HWaddr 96:96:08:c2:d2:a9
      inet addr:10.0.2.21  Bcast:10.0.3.255  Mask:255.255.254.0
      inet6 addr: fe80::9496:8ff:fec2:d2a9/64 Scope:Link
      UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
      RX packets:16 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
      TX packets:94 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
      collisions:0 txqueuelen:1000
      RX bytes:4144 (4.1 KB)  TX bytes:8356 (8.3 KB)
```

Também podemos verificar a tabela de roteamento de r1, que possuí entradas para as suas subredes conhecidas.

```
mininet> r1 route -n
Kernel IP routing table
Destination Gateway     Genmask     Flags Metric Ref  Use Iface
10.0.2.0    0.0.0.0     255.255.254.0   U 0     0     0 r1-eth4
10.0.4.0    0.0.0.0     255.255.254.0   U 0     0     0 r1-eth1
10.0.6.0    10.0.4.22   255.255.254.0   UG20    0     0 r1-eth1
10.0.10.0   0.0.0.0     255.255.254.0   U 0     0     0 r1-eth3
```

Vemos que a conexão com a subrede 10.0.6.0 foi previamente configurada usando alguma estratégia, provavelmente com o protocolo OSPF ativado.

Ativando OSPF em R1

```
root@wifi-VirtualBox:~/ea080# telnet localhost ospfd
Trying 127.0.0.1...
Connected to localhost.
Escape character is '^]'.

Hello, this is Quagga (version 0.99.24.1).
Copyright 1996-2005 Kunihiro Ishiguro, et al.


User Access Verification

Password:
ospfd-r1> enable
ospfd-r1# sh ip ospf route
============ OSPF network routing table ============
N    10.0.2.0/23           [10] area: 0.0.0.0
                           directly attached to r1-eth4
N    10.0.4.0/23           [10] area: 0.0.0.0
                           directly attached to r1-eth1
N    10.0.6.0/23           [20] area: 0.0.0.0
                           via 10.0.4.22, r1-eth1
N    10.0.10.0/23          [10] area: 0.0.0.0
                           directly attached to r1-eth3

============ OSPF router routing table =============

============ OSPF external routing table ===========

ospfd-r1# sh ip ospf neighbor

    Neighbor ID Pri State           Dead Time Address         Interface            RXmtL RqstL DBsmL
10.0.6.22         1 Full/DR           30.750s 10.0.4.22       r1-eth1:10.0.4.21        0     0     0
ospfd-r1# exit
Connection closed by foreign host.
root@wifi-VirtualBox:~/ea080#
```

Ativando OSPF em R2

```
root@wifi-VirtualBox:~/ea080# telnet localhost ospfd
Trying 127.0.0.1...
Connected to localhost.
Escape character is '^]'.

Hello, this is Quagga (version 0.99.24.1).
Copyright 1996-2005 Kunihiro Ishiguro, et al.


User Access Verification

Password:
ospfd-r2> enable
ospfd-r2# sh ip ospf route
============ OSPF network routing table ============
N    10.0.2.0/23           [20] area: 0.0.0.0
                           via 10.0.4.21, r2-eth2
N    10.0.4.0/23           [10] area: 0.0.0.0
                           directly attached to r2-eth2
N    10.0.6.0/23           [10] area: 0.0.0.0
                           directly attached to r2-eth1
N    10.0.10.0/23          [20] area: 0.0.0.0
                           via 10.0.4.21, r2-eth2

============ OSPF router routing table =============

============ OSPF external routing table ===========

ospfd-r2# sh ip ospf neighbor

    Neighbor ID Pri State           Dead Time Address         Interface            RXmtL RqstL DBsmL
10.0.4.21         1 Full/Backup       30.278s 10.0.4.21       r2-eth2:10.0.4.22        0     0     0
ospfd-r2#
```

Podemos verificar também através do comando tcpdump que existe trocas de mensagens OSPF entre r1 e r2

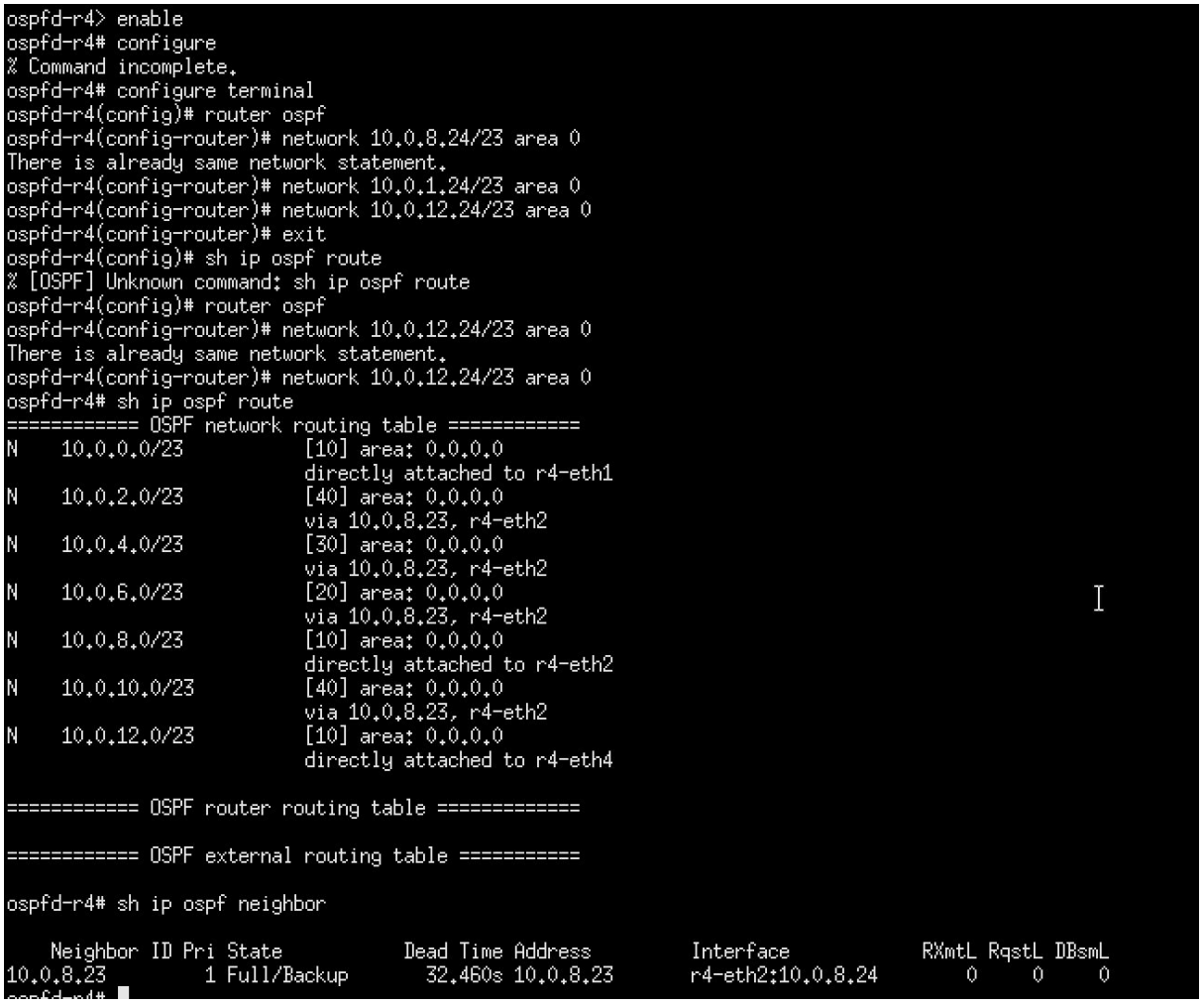
```
root@wifi-VirtualBox:~/ea080# timeout 10 tcpdump -i r2-eth2 -vvln
tcpdump: listening on r2-eth2, link-type EN10MB (Ethernet), capture size 262144 bytes
19:50:58.611307 IP (tos 0xc0, ttl 1, id 30241, offset 0, flags [none], proto OSPF (89), length 68)
    10.0.4.22 > 224.0.0.5: OSPFv2, Hello, length 48
        Router-ID 10.0.6.22, Backbone Area, Authentication Type: none (0)
        Options [External]
          Hello Timer 10s, Dead Timer 40s, Mask 255.255.254.0, Priority 1
          Designated Router 10.0.4.22, Backup Designated Router 10.0.4.21
          Neighbor List:
            10.0.4.21
19:50:58.611410 IP (tos 0xc0, ttl 1, id 30644, offset 0, flags [none], proto OSPF (89), length 68)
    10.0.4.21 > 224.0.0.5: OSPFv2, Hello, length 48
        Router-ID 10.0.4.21, Backbone Area, Authentication Type: none (0)
        Options [External]
          Hello Timer 10s, Dead Timer 40s, Mask 255.255.254.0, Priority 1
          Designated Router 10.0.4.22, Backup Designated Router 10.0.4.21
          Neighbor List:
            10.0.6.22

2 packets captured
2 packets received by filter
0 packets dropped by kernel
root@wifi-VirtualBox:~/ea080#
```

Ativando OSPF e configurando R3

```
ospfd-r3# configure terminal
ospfd-r3(config)# router ospf
ospfd-r3(config-router)# network 10.0.6.23/23 area 0
ospfd-r3(config-router)# end
ospfd-r3# sh ip ospf route
============ OSPF network routing table ============
N    10.0.2.0/23          [30] area: 0.0.0.0
                          via 10.0.6.22, r3-eth2
N    10.0.4.0/23          [20] area: 0.0.0.0
                          via 10.0.6.22, r3-eth2
N    10.0.6.0/23          [10] area: 0.0.0.0
                          directly attached to r3-eth2
N    10.0.10.0/23         [30] area: 0.0.0.0
                          via 10.0.6.22, r3-eth2

============ OSPF router routing table =============

============ OSPF external routing table ===========

ospfd-r3# sh ip ospf neightbor
% [OSPF] Unknown command: sh ip ospf neightbor
ospfd-r3# sh ip ospf neighbor

    Neighbor ID Pri State           Dead Time Address         Interface            RXmtL RqstL DBsmL
10.0.6.22         1 Full/DR           32.859s 10.0.6.22       r3-eth2:10.0.6.23        0     0     0
ospfd-r3#
```

Vale notar que existe uma configuração faltando nesta seção, que é discutida na seção **Depurando falhas de conectividade.**

Ativando OSPF e configurando R4



Neste ponto, espera-se que y1 seja acessível a partir de x1, mas isso não foi o comportamento observado. A seção a seguir se destina e entender e resolver o problema de conectividade identificado.

```
mininet> x1 ping  y1
PING 10.0.12.1 (10.0.12.1) 56(84) bytes of data.
From 10.0.2.21 icmp_seq=1 Destination Net Unreachable
From 10.0.2.21 icmp_seq=2 Destination Net Unreachable
From 10.0.2.21 icmp_seq=3 Destination Net Unreachable
From 10.0.2.21 icmp_seq=4 Destination Net Unreachable
^C
--- 10.0.12.1 ping statistics ---
4 packets transmitted, 0 received, +4 errors, 100% packet loss, time 2999ms
```

Depurando falhas de conectividade

Para encontrar a falha na conectividade entre os hosts x1 e y1, podemos fazer testes de conexão iterativos entre cada um dos hops no caminho esperado pelo pacote.

```
mininet> x1 ping r1
PING 10.0.4.21 (10.0.4.21) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.4.21: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.031 ms
64 bytes from 10.0.4.21: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.046 ms
^C
--- 10.0.4.21 ping statistics ---
2 packets transmitted, 2 received, 0% packet loss, time 999ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.031/0.038/0.046/0.009 ms
mininet> x1 ping r2
PING 10.0.4.22 (10.0.4.22) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.4.22: icmp_seq=1 ttl=63 time=0.039 ms
64 bytes from 10.0.4.22: icmp_seq=2 ttl=63 time=0.038 ms
64 bytes from 10.0.4.22: icmp_seq=3 ttl=63 time=0.038 ms
^C
--- 10.0.4.22 ping statistics ---
3 packets transmitted, 3 received, 0% packet loss, time 1998ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.038/0.038/0.039/0.005 ms
mininet> x1 ping r3
PING 10.0.6.23 (10.0.6.23) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.6.23: icmp_seq=1 ttl=62 time=0.070 ms
64 bytes from 10.0.6.23: icmp_seq=2 ttl=62 time=0.043 ms
64 bytes from 10.0.6.23: icmp_seq=3 ttl=62 time=0.050 ms
64 bytes from 10.0.6.23: icmp_seq=4 ttl=62 time=0.064 ms
^C
--- 10.0.6.23 ping statistics ---
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 2997ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.043/0.056/0.070/0.014 ms
mininet> x1 ping r4
PING 10.0.1.24 (10.0.1.24) 56(84) bytes of data.
From 10.0.2.21 icmp_seq=1 Destination Net Unreachable
From 10.0.2.21 icmp_seq=2 Destination Net Unreachable
From 10.0.2.21 icmp_seq=3 Destination Net Unreachable
From 10.0.2.21 icmp_seq=4 Destination Net Unreachable
^C
--- 10.0.1.24 ping statistics ---
5 packets transmitted, 0 received, +4 errors, 100% packet loss, time 4006ms
```

A falha de conexão foi isolada entre os hops r3 e r4. Inspecionando o roteador r3 vemos que faltou a configuração do protocolo OSPF na subrede 10.0.6.0/23.

```
ospfd-r3# configure terminal
ospfd-r3(config)# network 10.0.8.23/23 area 0
% [OSPF] Unknown command: network 10.0.8.23/23 area 0
ospfd-r3(config)# router ospf
ospfd-r3(config-router)# network 10.0.8.23/23 area 0
ospfd-r3(config-router)# network 10.0.6.23/23 area 0
There is already same network statement.
ospfd-r3(config-router)# end
```

Verificando novamente, agora observamos conectividade entre x1 e y1. Podemos observar o caminho do pacote percorrendo o caminho esperado, sendo ele:

x1 -> r1 -> r2 -> r3 -> r4 -> y1

O TTL observado é de 60, representando um decréscimo de 4 pelos hops percorridos.

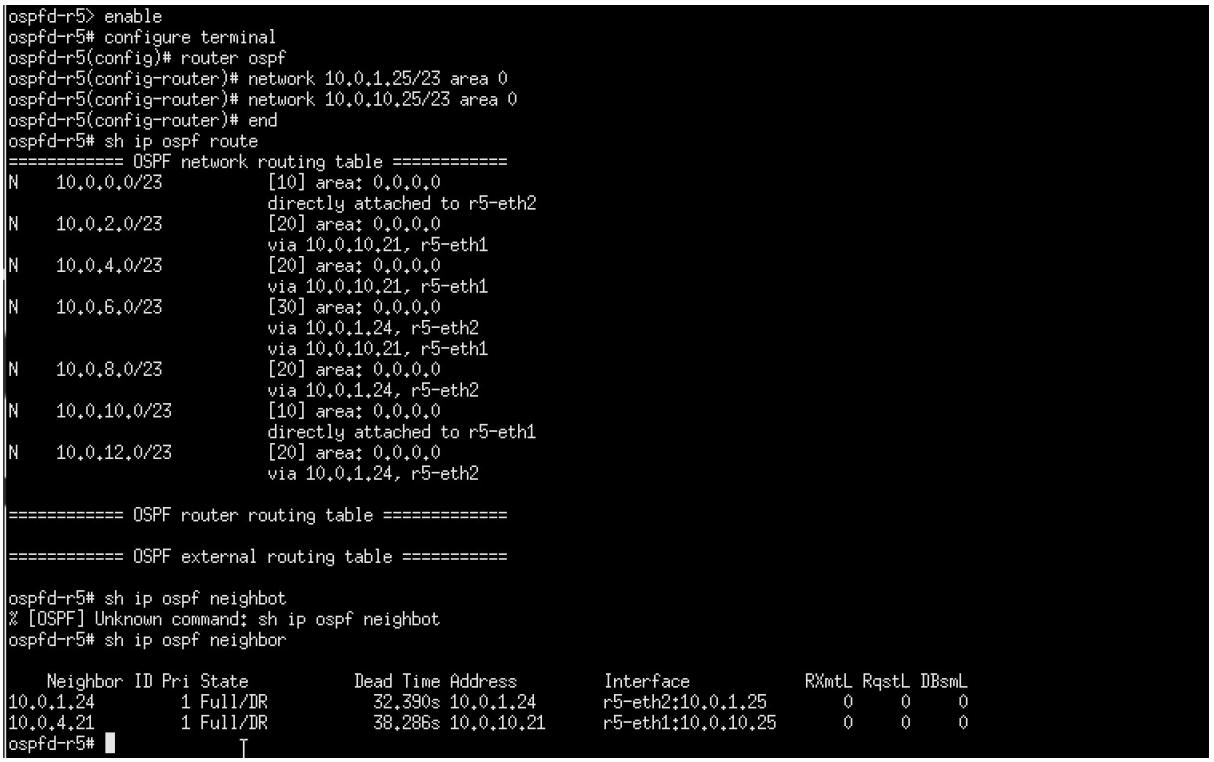
```
mininet> x1 ping  y1
PING 10.0.12.1 (10.0.12.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.12.1: icmp_seq=1 ttl=60 time=0.055 ms
64 bytes from 10.0.12.1: icmp_seq=2 ttl=60 time=0.069 ms
64 bytes from 10.0.12.1: icmp_seq=3 ttl=60 time=0.062 ms
^C
--- 10.0.12.1 ping statistics ---
3 packets transmitted, 3 received, 0% packet loss, time 1999ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.055/0.062/0.069/0.005 ms

mininet> x1 tracepath -n y1
 1?: [LOCALHOST]                                         pmtu 1500
 1:  10.0.2.21                                                0.071ms
 1:  10.0.2.21                                                0.010ms
 2:  10.0.4.22                                                0.025ms
 3:  10.0.6.23                                                0.022ms
 4:  10.0.8.24                                                0.021ms
 5:  10.0.12.1                                                0.019ms reached
      Resume: pmtu 1500 hops 5 back 5
```

Configurando R5 e obtendo uma nova rota

Até agora configuramos o caminho mais longo entre os hosts x1 e y1, mas de acordo com a topologia também existe outro caminho viável entre os dois hosts através de r5, sendo ele:

x1 -> r1 -> r5 -> r4 -> y1

Esperamos que o protocolo OSPF atribua este como o novo caminho uma vez configurado. Podemos observar que este é o comportamento obtido através do comando tracepath. O TTL que antes era de 60 agora exibe 61.




```
mininet> x1 ping y1
PING 10.0.12.1 (10.0.12.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.12.1: icmp_seq=1 ttl=61 time=2.14 ms
64 bytes from 10.0.12.1: icmp_seq=2 ttl=61 time=0.400 ms
64 bytes from 10.0.12.1: icmp_seq=3 ttl=61 time=0.061 ms
^C
--- 10.0.12.1 ping statistics ---
3 packets transmitted, 3 received, 0% packet loss, time 2004ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.061/0.868/2.145/0.913 ms
mininet> x1 tracepath -n y1
 1?: [LOCALHOST]                                         pmtu 1500
 1:  10.0.2.21                                                0.037ms
 1:  10.0.2.21                                                0.007ms
 2:  10.0.10.25                                               0.015ms
 3:  10.0.1.24                                                2.949ms
 4:  10.0.12.1                                                6.073ms reached
      Resume: pmtu 1500 hops 4 back 4
```

Alterando custos de conexões

Até este ponto todas as interfaces foram configuradas com custos constantes, de maneira que não eram feitas distinções entre um hop e outro. No entanto, outros modelos de configuração de custo podem ser adotados. Iremos configurar

manualmente o custo de algumas interfaces. A princípio, a interface eth1 do roteador r1:

Testando a conectividade entre x1 e y1 e vice-versa, vemos que o caminho entre x1 e y1 permanece o mesmo enquanto o caminho inverso, entre y1 e x1 foi alterado para o caminho inicial de 4 hops.

O comportamento não é dual entre as duas chamadas pois ao alterar o custo de uma interface em um roteador estamos alterando apenas a sua percepção de saída do hop, enquanto que o custo de entrada é definido pelo seu vizinho.

```
mininet> x1 ping -c10 y1
PING 10.0.12.1 (10.0.12.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.12.1: icmp_seq=1 ttl=60 time=0.578 ms
64 bytes from 10.0.12.1: icmp_seq=2 ttl=60 time=0.454 ms
64 bytes from 10.0.12.1: icmp_seq=3 ttl=60 time=0.107 ms
64 bytes from 10.0.12.1: icmp_seq=4 ttl=60 time=0.079 ms
64 bytes from 10.0.12.1: icmp_seq=5 ttl=60 time=0.069 ms
64 bytes from 10.0.12.1: icmp_seq=6 ttl=60 time=0.089 ms
64 bytes from 10.0.12.1: icmp_seq=7 ttl=60 time=0.072 ms
64 bytes from 10.0.12.1: icmp_seq=8 ttl=60 time=0.085 ms
64 bytes from 10.0.12.1: icmp_seq=9 ttl=60 time=0.066 ms
64 bytes from 10.0.12.1: icmp_seq=10 ttl=60 time=0.096 ms

--- 10.0.12.1 ping statistics ---
10 packets transmitted, 10 received, 0% packet loss, time 9026ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.066/0.169/0.578/0.176 ms
mininet> y1 ping -c10 x1
PING 10.0.2.1 (10.0.2.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.2.1: icmp_seq=1 ttl=61 time=1.29 ms
64 bytes from 10.0.2.1: icmp_seq=2 ttl=61 time=0.298 ms
64 bytes from 10.0.2.1: icmp_seq=3 ttl=61 time=0.104 ms
64 bytes from 10.0.2.1: icmp_seq=4 ttl=61 time=0.102 ms
64 bytes from 10.0.2.1: icmp_seq=5 ttl=61 time=0.074 ms
64 bytes from 10.0.2.1: icmp_seq=6 ttl=61 time=0.066 ms
64 bytes from 10.0.2.1: icmp_seq=7 ttl=61 time=0.131 ms
64 bytes from 10.0.2.1: icmp_seq=8 ttl=61 time=0.083 ms
64 bytes from 10.0.2.1: icmp_seq=9 ttl=61 time=0.061 ms
64 bytes from 10.0.2.1: icmp_seq=10 ttl=61 time=0.066 ms
```

```
--- 10.0.2.1 ping statistics ---
10 packets transmitted, 10 received, 0% packet loss, time 9014ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.061/0.227/1.294/0.362 ms
mininet> y1 tracepath -n x1
 1?: [LOCALHOST]                                         pmtu 1500
 1:  10.0.12.24                                            0.034ms
 1:  10.0.12.24                                            0.006ms
 2:  10.0.8.23                                             0.017ms
 3:  10.0.6.22                                             0.016ms
 4:  10.0.10.21                                            1.165ms asymm  3
 5:  10.0.2.1                                              1.011ms reached
      Resume: pmtu 1500 hops 5 back 4
mininet> x1 tracepath -n y1
 1?: [LOCALHOST]                                         pmtu 1500
 1:  10.0.2.21                                             0.033ms
 1:  10.0.2.21                                             0.006ms
 2:  10.0.1.25                                             1.433ms asymm  5
 3:  10.0.8.24                                             1.369ms asymm  4
 4:  10.0.12.1                                             1.508ms reached
      Resume: pmtu 1500 hops 4 back 5
mininet>
```

Podemos alterar também a interface eth2 do roteador r1 para também um custo de 100. Neste caso, vemos que ambas as chamadas passam a utilizar o caminho por r2 e r3.


```
ininet> y1 ping -c10 x1
PING 10.0.2.1 (10.0.2.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.2.1: icmp_seq=1 ttl=60 time=0.055 ms
64 bytes from 10.0.2.1: icmp_seq=2 ttl=60 time=0.100 ms
64 bytes from 10.0.2.1: icmp_seq=3 ttl=60 time=0.056 ms
64 bytes from 10.0.2.1: icmp_seq=4 ttl=60 time=0.054 ms
64 bytes from 10.0.2.1: icmp_seq=5 ttl=60 time=0.078 ms
64 bytes from 10.0.2.1: icmp_seq=6 ttl=60 time=0.075 ms
64 bytes from 10.0.2.1: icmp_seq=7 ttl=60 time=0.144 ms
64 bytes from 10.0.2.1: icmp_seq=8 ttl=60 time=0.091 ms
64 bytes from 10.0.2.1: icmp_seq=9 ttl=60 time=0.086 ms
64 bytes from 10.0.2.1: icmp_seq=10 ttl=60 time=0.088 ms

--- 10.0.2.1 ping statistics ---
10 packets transmitted, 10 received, 0% packet loss, time 9077ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.054/0.082/0.144/0.027 ms
```

```
mininet> y1 tracepath -n x1
 1?: [LOCALHOST]                                         pmtu 1500
 1:  10.0.12.24                                            0.043ms
 1:  10.0.12.24                                            0.007ms
 2:  10.0.8.23                                             0.020ms
 3:  10.0.6.22                                             0.015ms
 4:  10.0.4.21                                             0.016ms
 5:  10.0.2.1                                              0.016ms reached
      Resume: pmtu 1500 hops 5 back 5
```

Interrompendo conexões

Outra característica do protocolo OSPF é reagir rapidamente em estabelecer uma novo caminho entre hosts uma vez que o caminho mais curto é interrompido em uma rede com redundância. Podemos verificar este comportamento usando o comando tracepath e derrubando um dos links da topologia. Neste caso, voltamos ao caminho através de r5 cujo custo foi definido como alto na seção anterior.

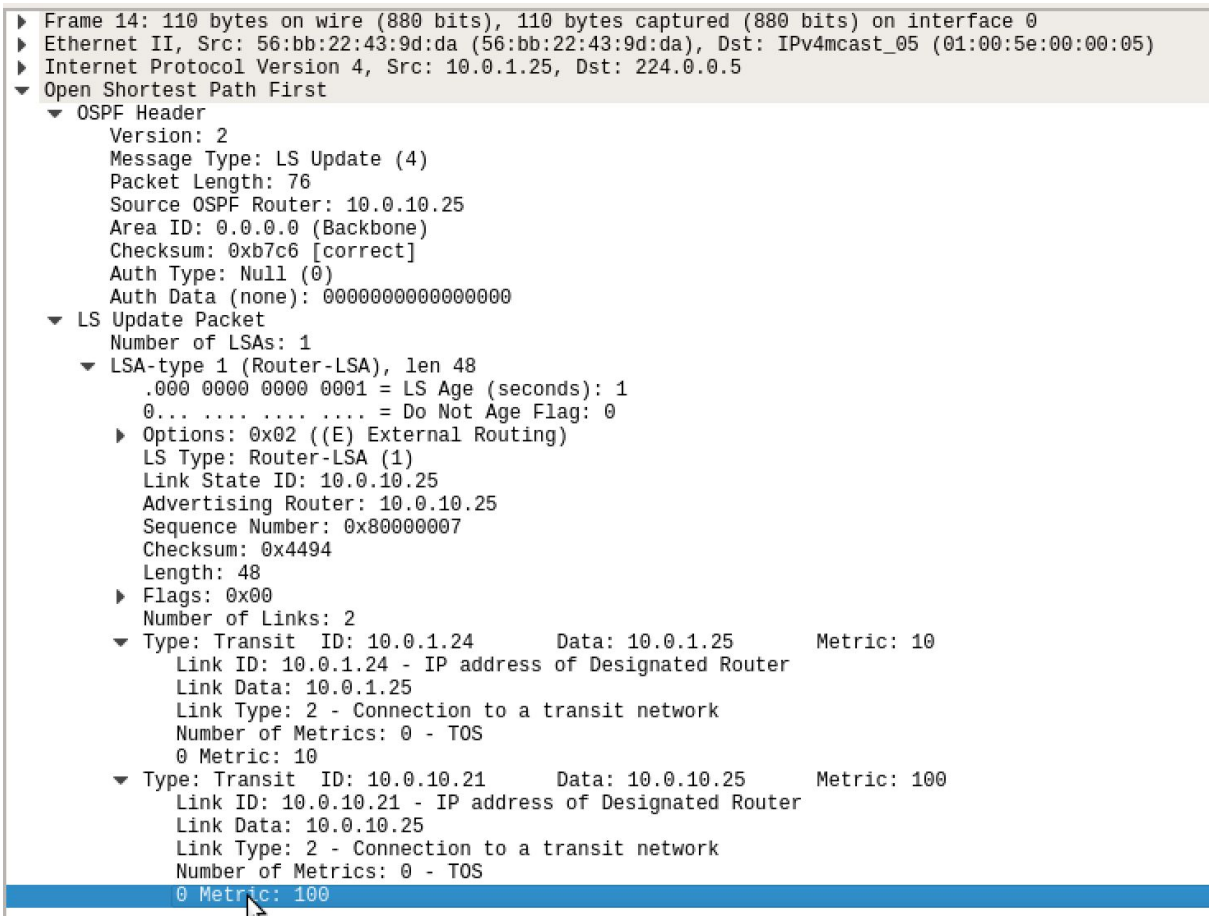
```
mininet> x1 tracepath y1
 1?: [LOCALHOST]                                         pmtu 1500
 1:  10.0.2.21                                             0.042ms
 1:  10.0.2.21                                             0.016ms
 2:  10.0.4.22                                             0.016ms
 3:  10.0.6.23                                             0.019ms
 4:  10.0.8.24                                             0.020ms
 5:  10.0.12.1                                             0.141ms reached
      Resume: pmtu 1500 hops 5 back 5
mininet> link r2 r3 down
mininet> x1 tracepath y1
 1?: [LOCALHOST]                                         pmtu 1500
 1:  10.0.2.21                                             0.036ms
 1:  10.0.2.21                                             0.014ms
 2:  10.0.10.25                                            0.020ms
 3:  10.0.1.24                                             2.642ms
 4:  10.0.12.1                                             2.675ms reached
      Resume: pmtu 1500 hops 4 back 4
```

Acessando a tabela de roteamento de r1 vemos que o custo é o esperado pelo caminho através de r5, como definido na seção anterior.

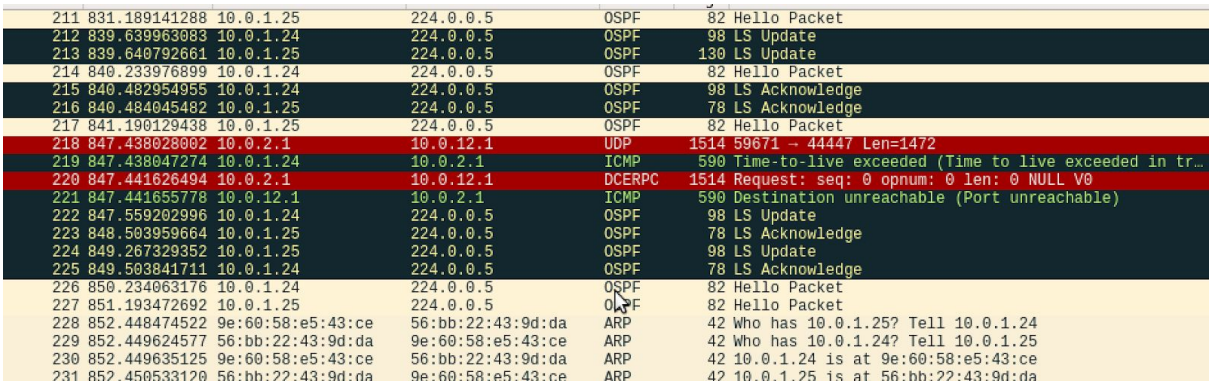
```
root@wifi-VirtualBox:~/ea080# route -n
Kernel IP routing table
Destination     Gateway         Genmask         Flags Metric Ref    Use Iface
10.0.0.0        10.0.10.25      255.255.254.0   UG    110    0        0 r1-eth3
10.0.2.0        0.0.0.0         255.255.254.0   U     0      0        0 r1-eth4
10.0.4.0        0.0.0.0         255.255.254.0   U     0      0        0 r1-eth1
10.0.8.0        10.0.10.25      255.255.254.0   UG    120    0        0 r1-eth3
10.0.10.0       0.0.0.0         255.255.254.0   U     0      0        0 r1-eth3
10.0.12.0       10.0.10.25      255.255.254.0   UG    120    0        0 r1-eth3
root@wifi-VirtualBox:~/ea080# telnet localhost ospfd
Trying 127.0.0.1...
Connected to localhost.
Escape character is '^]'.

Hello, this is Quagga (version 0.99.24.1).
Copyright 1996-2005 Kunihiro Ishiguro, et al.


User Access Verification

Password:
ospfd-r1> sh ip ospf route
============ OSPF network routing table ============
N    10.0.0.0/23           [110] area: 0.0.0.0
                           via 10.0.10.25, r1-eth3
N    10.0.2.0/23           [10] area: 0.0.0.0
                           directly attached to r1-eth4
N    10.0.4.0/23           [10] area: 0.0.0.0
                           directly attached to r1-eth1
N    10.0.8.0/23           [120] area: 0.0.0.0
                           via 10.0.10.25, r1-eth3
N    10.0.10.0/23          [10] area: 0.0.0.0
                           directly attached to r1-eth3
N    10.0.12.0/23          [120] area: 0.0.0.0
                           via 10.0.10.25, r1-eth3

============ OSPF router routing table =============

============ OSPF external routing table ===========

ospfd-r1>
```

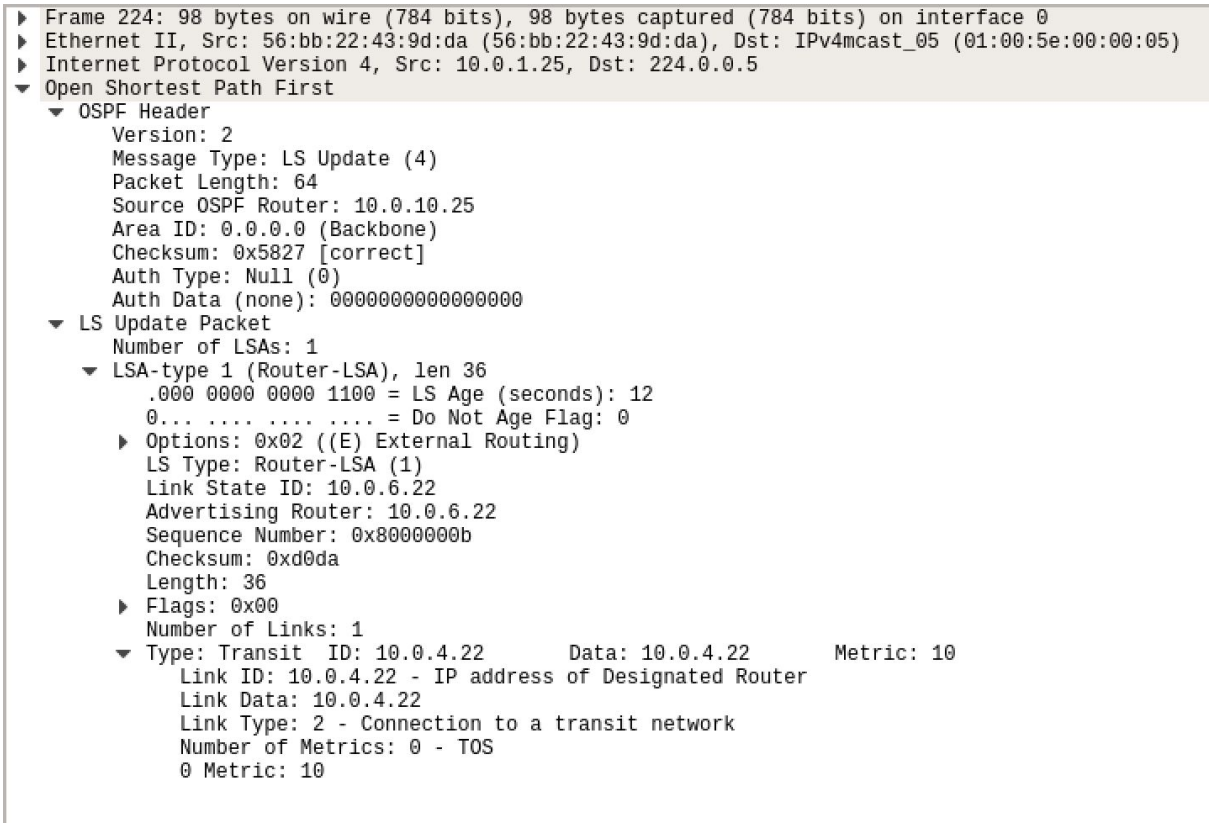
Inspecionando pacotes

Alteração de custo - LS Update



Desconexão - LS Update





https://tools.ietf.org/html/rfc2328