

Cisco路由器的路由协议介绍与配置

Dr. Xiqun Lu

College of Computer Science, Zhejiang University

路由协议

- 生成路由表项通常有两种方法：手工静态设置和动态路由协议生成。
- 动态路由协议主要包括：
 - RIP (Routing Information Protocol)
 - OSPF (Open Shortest Path First,开放式最短路径优先协议)
 - IS-IS (Intermediate System to Intermediate System)
 - BGP(Border Gateway Protocol)

静态路由(Static Routing)

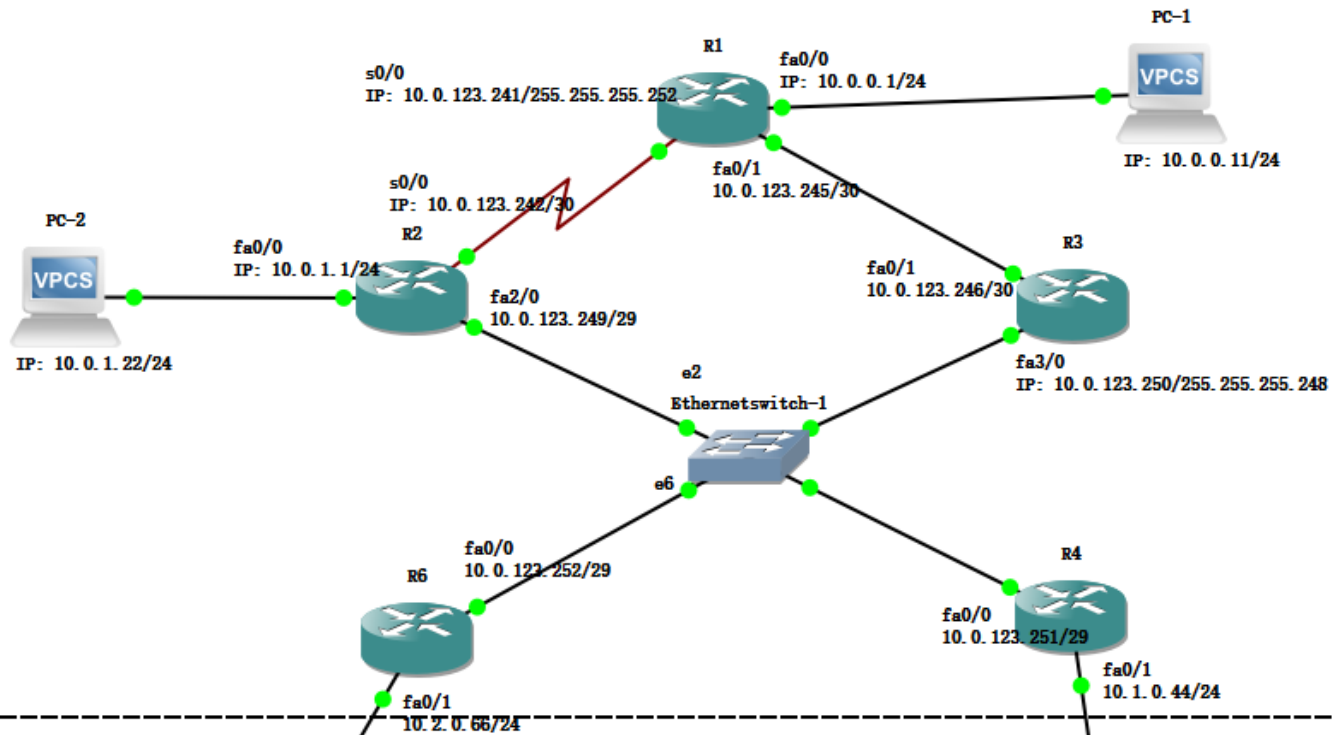
- 静态路由是一种特殊的路由，由网络管理员采用手工方法在路由器中配置而成，这种方法比较适合于规模小，路由表相对简单的网络使用。
- 存在问题：
 - 不能自适应网路拓扑结构的变化
- 命令格式：
 - Router(config)# ip route x1.x2.x3.x4 y1.y2.y3.y4 z1.z2.z3.z4
 - 其中， x1.x2.x3.x4为目标网络的网络地址； y1.y2.y3.y4为目标网络的子网掩码； z1.z2.z3.z4为去目标网络的下一跳IP地址（与本路由器直连那个路由器的接口IP地址）
 - Router(config)# no ip route x1.x2.x3.x4 y1.y2.y3.y4 z1.z2.z3.z4 (删除一条静态路由)
 - Router(config)# ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 z1.z2.z3.z4 (默认路由命令方式)
 - Router# show ip route (查看路由表信息)

默认路由 (Default Route)

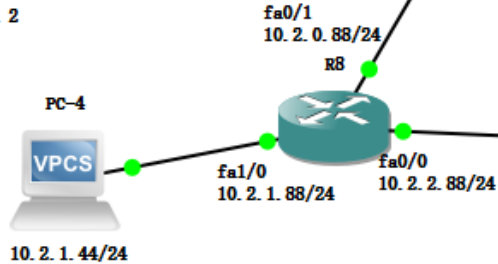
- 默认路由命令：Router(config)# ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 z1.z2.z3.z4
 - 其中z1.z2.z3.z4为下一跳IP地址
- 默认路由作用：当路由器（或主机）无法在路由表中找到更具体的匹配时，所有未知目标都交给默认路由指定的下一跳。
- 默认路由常用的场景如下
 - 1) 小型网络接入Internet:内部网络不可能知道整个 Internet 的所有路由（太多了），因此内部路由器只需要一个默认路由指向 ISP 的路由器。
 - PC 的默认网关就是默认路由。
 - 2) 静态路由网络中作为“兜底”路径:管理员不可能在每台设备上配置所有目的网段的静态路由；会配置一个默认路由来处理不在静态路由表中的目的地。

每对一个接口配置完其IP地址，请别忘记输入“no shutdown”

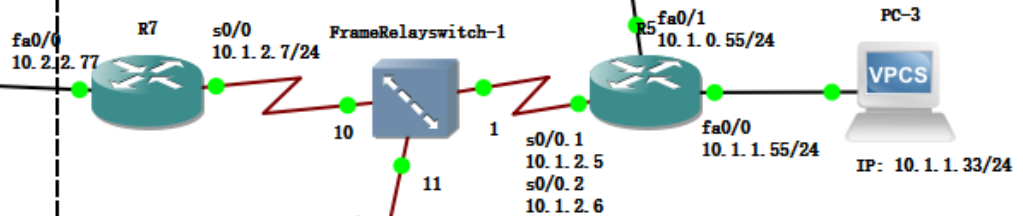
Area 0



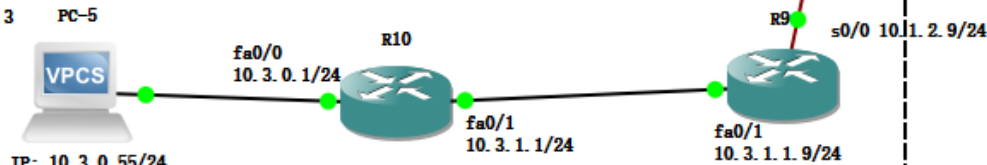
Area 2



Area 1



Area 3



Lab5 Topology

路由协议

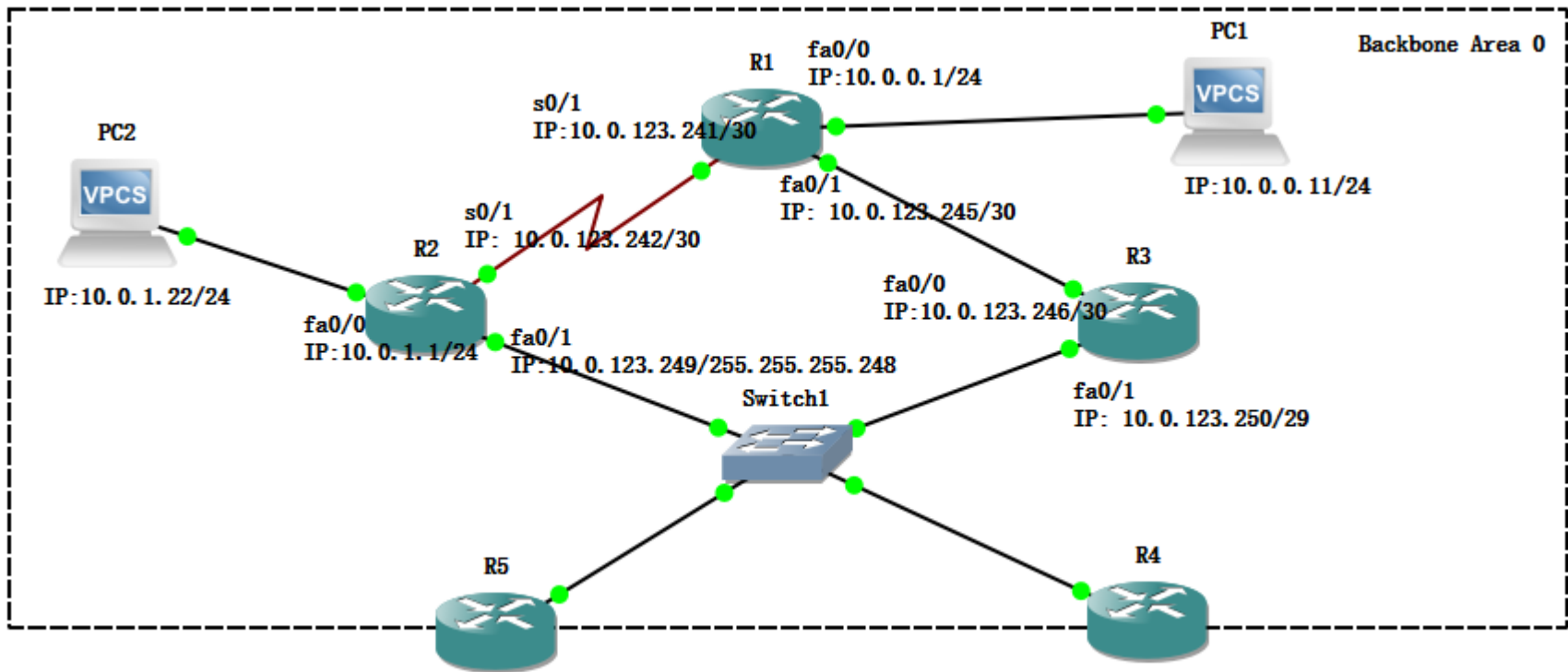
- 生成路由表项通常有两种方法：手工静态设置和动态路由协议生成。
- 动态路由协议主要包括：
 - **RIP (Routing Information Protocol)**
 - OSPF (Open Shortest Path First, 开放式最短路径优先协议)
 - IS-IS (Intermediate System to Intermediate System)
 - BGP (Border Gateway Protocol)

RIP 路由协议 (I)

- RIP (Routing Information Protocol)路由协议采用距离向量算法 (Distance Vector Routing)，主要为小型网络设计的，它显著的特点是配置简单。RIP在计算路由的开销时，只根据经过路由器的跳数，而不考虑链路的带宽，延迟等复杂因素。它的跳计数限制为15个，所以不能适用于具有复杂拓扑结构的网络。
- 命令格式：
 - Router(config)# router rip
 - Router(config-router)#version 2
 - Router(config-router)#network {Network Number}
 - 配置RIP协议时，多个network命令指明了多个网络号，在这些网络号所覆盖的路由器的接口上启用RIP协议，启用RIP协议意味着允许发送和接受RIP路由更新报文信息。
 - Network Number就是指IP地址中网段信息(Network Portion)，如网段7.8.9.0的子网掩码是255.255.255.0，则配置命令为：network 7.8.9.0
 - Router(config-router)#no router rip (删除RIP路由)
 - Router#show ip protocols (查看路由器上路由协议运行情况)
 - Router#show running-config
 - Router#show ip route (查看路由表)

RIP 路由协议 (II)

- RIP从已配置接口发送整个路由表，该表以广播(255.255.255.255)或组播(Multicast，目的地址224.0.0.9)的形式周期性向所有节点发送。
- “路由更新”定时器规定了周期性广播或组播的频率，缺省值定为30秒。
- 如果达到无效(**invalid**)超时时间(缺省为180秒)时，路由器仍未收到某路由器的路由更新信息，将把该条路由标记为无效，认为不可达，**标记为无效的方式就是将跳数设定为16**。
- 被标记为不可达的路由仍将保存在路由表里，直到**清除定时器**超时后，才被清除掉，清除定时器的缺省值为240秒。
- 当某一路由项RI包含的目的网络变成不可达到后，该路由项对应的**抑制定时器**开始计时，在此定时器超时前，即使路由器收到的路由更新指明路由项RI又可达到了，路由项RI仍被本路由器标识为不可到达，只有在抑制定时器超时后，指明路由项RI可到达的路由更新才起作用。抑制定时器的目的在于使路由稳定，不要发生路径摇摆。



请问在Backbone Area 0中有几个子网？

- 1) PC1-R1 fa0/0: 10.0.0.0/24
- 2) PC2-R2 fa0/0: 10.0.1.0/24
- 3) R1 s0/1 – R2 s0/1: 10.0.123.240/30
- 4) R1 fa0/1 – R3 fa0/0: 10.0.123.244/30
- 5) R2 fa0/1 – switch1- R3 fa0/1: 10.0.123.248/29

经过路由聚合后得到子网 10.0.0.0/16

```
R1
o up
*Mar  1 00:00:20.531: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/2,
changed state to down
R1#
R1#
R1#show ip route
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

    10.0.0.0/8 is variably subnetted, 5 subnets, 3 masks
C       10.0.0.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
R       10.0.1.0/24 [120/1] via 10.0.123.242, 00:00:23, Serial0/1
C       10.0.123.240/30 is directly connected, Serial0/1
C       10.0.123.244/30 is directly connected, FastEthernet0/1
R       10.0.123.248/29 [120/1] via 10.0.123.246, 00:00:23, FastEthernet0/1
        [120/1] via 10.0.123.242, 00:00:23, Serial0/1
R1#
```

路由器R1到子网10.0.1.0/24是经过串口s0/1 10.0.123.242，**因为RIP路由协议是以跳数作为cost的**。同样，路由器R1到子网10.0.123.248/29最少跳数的路径有两条：一条是经过以太网口10.0.123.246，另一条是经过串口10.0.123.242。

```
PC1 - PuTTY
Build time: Sep  9 2023 11:15:00
Copyright (c) 2007-2015, Paul Meng (mirnshi@gmail.com)
All rights reserved.

VPCS is free software, distributed under the terms of the "BSD" licence.
Source code and license can be found at vpcs.sf.net.
For more information, please visit wiki.freecode.com.cn.

Press '?' to get help.

Executing the startup file

Checking for duplicate address...
PC1 : 10.0.0.11 255.255.255.0 gateway 10.0.0.1

PC1> trace 10.0.1.22
trace to 10.0.1.22, 8 hops max, press Ctrl+C to stop
 1  10.0.0.1    8.774 ms  10.465 ms  9.298 ms
 2  10.0.123.242 10.667 ms 11.198 ms 8.869 ms
 3   **10.0.1.22  5.733 ms (ICMP type:3, code:3, Destination port unreachable
)

PC1> █
```

PC1发出的数据包到达PC2的路径:

- 1) 第一跳: 抵达PC1所在子网10.0.0.0/24的缺省网关10.0.0.1。
- 2) 第二跳: 抵达路由器R2跟路由器R1所连的串口s0/1 (10.0.123.242/30)
- 3) 最后抵达PC2 (ICMP的Linux系统中实现方式[a port unreachable ICMP message](#) (type 3 code 3) back to the source.

RIP 路由协议 (III)

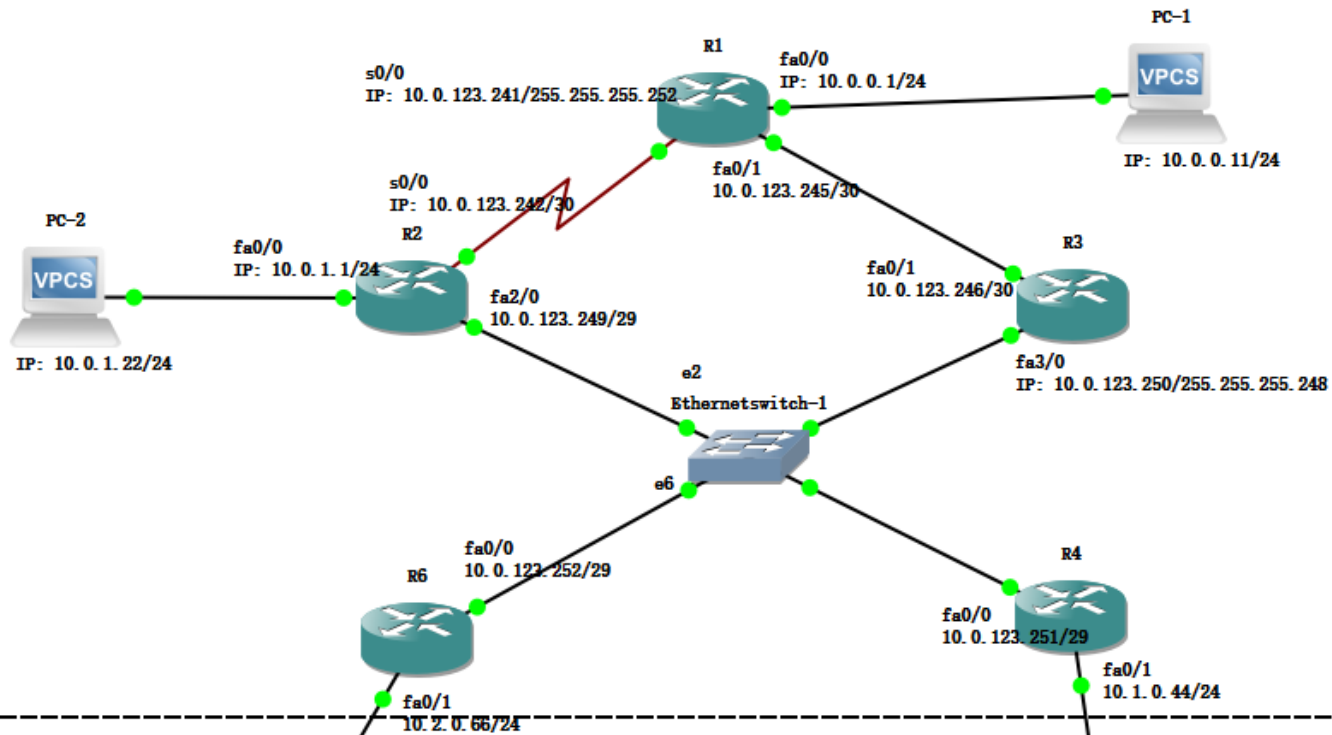
 R1

```
R1#  
R1#show ip protocols  
Routing Protocol is "rip"  
  Outgoing update filter list for all interfaces is not set  
  Incoming update filter list for all interfaces is not set  
  Sending updates every 30 seconds, next due in 24 seconds  
  Invalid after 180 seconds, hold down 180, flushed after 240  
  Redistributing: rip  
  Default version control: send version 2, receive version 2  
    Interface        Send  Recv  Triggered RIP  Key-chain  
    FastEthernet0/0    2      2  
    FastEthernet0/1    2      2  
    Serial0/2          2      2  
  Automatic network summarization is in effect  
  Maximum path: 4  
  Routing for Networks:  
    10.0.0.0  
  Routing Information Sources:  
    Gateway         Distance      Last Update  
    10.0.123.242      120          00:00:06  
    10.0.123.246      120          00:00:23  
  Distance: (default is 120)  
R1#
```

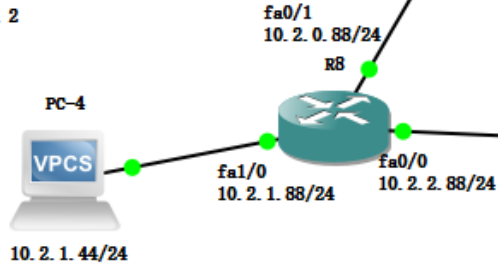
这是实验5中Part 1在路由器1上配置RIP协议，通过“show ip protocols”命令查看路由器上路由协议运行情况。可以看到路由表每30秒更新一次；无效时间(invalid)设置为180秒，抑制定时器设置为180秒，清除定时器设置为240秒。

每对一个接口配置完其IP地址，请别忘记输入“no shutdown”

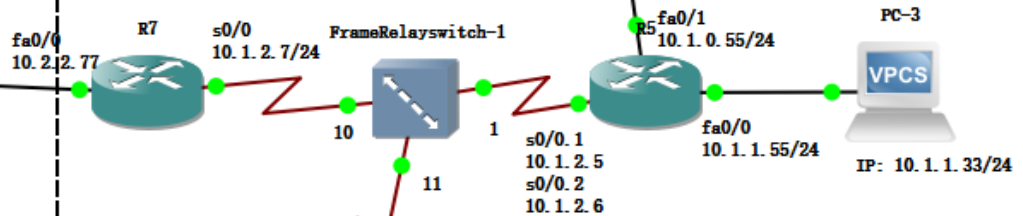
Area 0



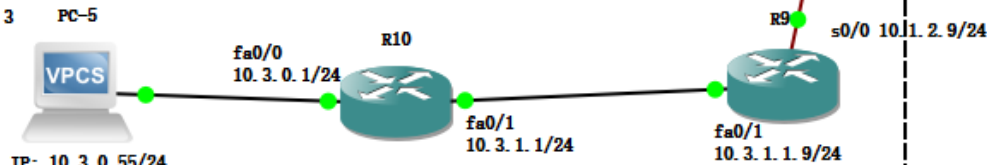
Area 2



Area 1



Area 3



Lab5 Topology

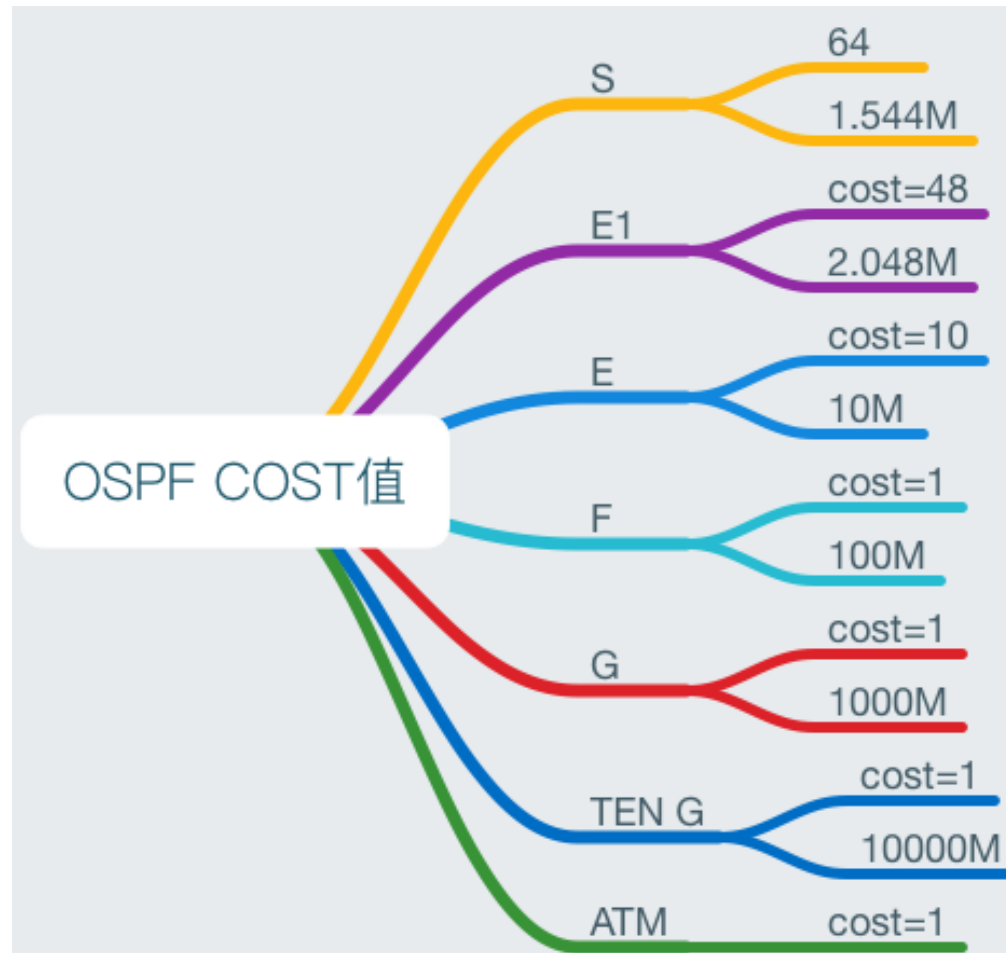
路由协议

- 生成路由表项通常有两种方法：手工静态设置和动态路由协议生成。
- 动态路由协议主要包括：
 - RIP (Routing Information Protocol)
 - **OSPF (Open Shortest Path First,开放式最短路径优先协议)**
 - IS-IS (Intermediate System to Intermediate System)
 - BGP(Border Gateway Protocol)

OSPF路由协议

- Distance vector routing — RIP
 - The **distributed Bellman-Ford algorithm**
 - Works well in small systems, but less well as networks get larger.
 - Suffers from **the count-to-infinity problem**
- Link state routing — OSPF
 - **Broadcast** link state packets to all other nodes in the network
 - Run the well-known **Dijkstra's algorithm** at each node individually
 - May suffer from **oscillation**

OSPF Cost Table



The higher data rate, the lower cost of the channel.

OSPF 路由协议

- OSPF (Open Shortest Path First 开放式最短路径优先路由选择协议)是一种链路状态协议。对于小型网络可以在单个区域内应用OSPF，对于大型网络可以在多个区域中应用它。
 - 大型的OSPF网路使用分段设计原则，多个区域连接到一个主干区域上。—— backbone area (area 0)

配置OSPF协议的命令

- Router(config)# router ospf process-id (*process-id*是指本地路由器的一个进程号)
 - 这个进程号区分同一台路由器上的多个OSPF进程。其进程id号的取值范围是1~65535。一个路由器上可以运行多个OSPF进程，它们的进程号必须不同。进程号只有局部意义，与其它路由器的进程可以相同也可以不同。
- Router(config-router)#network address wildcard-mask area area-id (其中*address*是主机号为0的网络地址，即子网地址；而*wildcard-mask*的值为1的那些比特位对应该子网的主机号部分host portion，值为0的那些比特位对应该*address*字段的网络号或子网号部分。 *wildcard-mask*为通配符，是网络掩码的反码。)
 - R1(config) # router ospf 12
 - R1(config-router) # network 10.0.0.0 0.0.255.255 area 0

OSPF路由协议 — Router ID

- 一台路由器如果要运行OSPF协议，必须存在Router ID。有以下三种方式
- 手工给路由器配置ID号命令：
 - Router(config-router)#router-id x1.x2.x3.x4
- 如果没有配置ID号，系统会从当前接口的IP地址中自动选择一个作为路由器的ID号，**一般会从所有活动接口中选择一个最大的IP地址作为它的ID。**
- 如果该路由器配置了**Loopback接口**，则以Loopback接口的IP地址作为路由器的ID号。
- Lab5实验中第二部分一开始就分别采用这三种方式给R1 (自动选择)，R2 (配置回环接口)，R3 (手工配置)

OSPF路由协议——回环 Loopback

- **Loopback接口（回环接口）**是路由器里面的一个**逻辑接口**。逻辑接口是指能够实现数据交换功能，但是物理上不存在、需要通过配置建立的接口。Loopback接口一旦被创建，其物理状态和链路协议状态永远是Up，即使该接口上没有配置IP地址。
- 一些动态路由协议要求路由器必须有**Router ID**，它是一台路由器在自治系统中的**唯一标识**。例如，OSPF和BGP在没有手工配置Router ID时，系统需要从本地接口的IP地址中选一个最大的IP地址作为Router ID。如果选择的是物理接口的IP地址，当这个物理接口状态变为Down时，系统也不会重新选择Router ID，除非这个被选择的IP地址被删除。**因此建议使用Loopback接口的IP地址作为路由器的Router ID。因为Loopback接口稳定，它一直都处于Up状态。**
- 给回环配置IP地址时，为了节省网段，建议子网掩码为32位，没有必要占用一个网段。
 - R2(config) # interface loopback 0
 - R2(config-if) # ip address 10.0.20.1 255.255.255.255

OSPF接口类型

- OSPF会把接口视为网络类型 (Network Type), 常见有如下几种:
- 1) Point-to-point (点到点链路)
 - 典型: 串口 (serial/HDLC/PPP)、GRE隧道
 - 特点: 没有DR/BDR。邻居直接一对一建立。
- 2) Broadcast (广播多路访问)
 - 典型: 以太网
 - 特点: 存在DR/BDR选举; 在同一广播域内通过DR汇聚邻居信息, 减少邻居数量。
- 3) NBMA (非广播多路访问 Non-Broadcast Multiple Access)
 - 典型: Frame Relay、X.25、某些ATM场景
 - 特点: 也是多路访问, 但不支持广播/组播, 通常也有DR/BDR (实现上需要手工配置邻居或映射)

指定路由器DR和备份指定路由器BDR

- 由于OSPF路由器之间需要有邻接关系(adjacent)才能共享路由选择信息，所以在广播网络和NBMA网络中，路由器将试图在它所连接的每个IP子网上，与至少一个路由器建立邻接关系。
- 假设一个网络中有 n 台路由器，如果这些路由器两两建立邻接关系，则 n 台路由器将建立 $n(n-1)/2$ 个邻接关系。并且还会产生大量的LSA同步、链路状态数据库（LSDB）交换、Hello包等开销，开销会很大。
 - 为了避免这种开销，OSPF路由器会选举指定路由器(Designated Router, **DR**)和备份指定路由器(Backup Designated Router, **BDR**)，作为路由信息交换的集中点。
 - DR不是人为指定的，而是由本网段中所有的路由器共同选举出来的。选举是根据优先级，路由器ID等因素进行的。

邻接关系 vs. 邻居关系

- 注意在广播网络和非广播多路访问NBMA 网络中，“**邻接**”关系和“**邻居**”关系是有所区别的。当一个以太网中选取了DR和BDR后，以太网中各个路由器与DR和BDR是**邻接关系**，发送链路状态信息，而与除DR和BDR以外的路由器是**邻居关系**，不是邻接关系，不直接发送链路状态信息。
- OSPF以组播地址224.0.0.5和224.0.0.6发送数据包，其中DR和BDR向其他路由设备发包时用224.0.0.5，而其他路由器向BR和BDR发包时用224.0.0.6。

建立邻接关系

- 两个路由器建立邻接关系过程中的OSPF状态
 - 1. Down (停止)状态
 - 2. INIT (初始)状态
 - 路由器以固定的时间间隔(通常是10秒)从OSPF接口发送一个呼叫包(Hello)，并且等待其邻居的响应。呼叫包被发送到多播IP地址224.0.0.5 (LAN上所有的OSPF路由器)。当一个接口收到第一个呼叫包后，路由器进入INIT状态。
 - 3. Two-Way (双向)状态
 - 当一台路由器A收到邻居路由器B的呼叫包后，A发出的呼叫包中会写上路由器B的ID，当路由器B看到它自己出现在A的呼叫包中时，B就认为自己与A建立了双向邻居关系。
 - Two-way状态关系中的路由器之间不能共享路由信息。
 - B是否应当与A建立邻接关系，要看下面条件之一是否满足，如果满足就建立邻接关系。
 - B与A之间是点到点链路或虚链路
 - B和A之一是DR
 - B和A之一是BDR

建立邻接关系

- 两个路由器建立邻接关系过程中的OSPF状态
 - 4. ExStart (准启动)状态
 - 5. ExChange (交换)状态
 - 6. Loading (加载)状态
 - 7. Full Adjacency (全邻接)状态

OSPF支持的3个数据库

- 邻接数据库
 - 查看命令: `show ip ospf neighbor`
- 链路状态数据库 (拓扑数据库)
 - 查看命令: `show ip ospf database`
 - 一个OSPF区域area内的每个路由器的链路状态数据库都是一样的
 - 连接 n 个区域的区域边界路由器(Area Border Router)需要维护 n 个链路状态数据库(或拓扑数据库)
- 路由表
 - 查看命令: `show ip route`

配置Frame Relay数据链路 (I)

Node properties

FrameRelayswitch-1 configuration

General

Name: FrameRelayswitch-1

Source

Port: 1

DLCI: 101

Destination

Port: 10

DLCI: 202

Mapping

Port:DLCI	Port:DLCI
1:101	10:202
1:102	11:203

Add Delete

Reset OK Cancel Apply Help

注意这里GNS3指导手册中有个坑：从网络拓扑图可以看到，R5的串口s0/0连接frame-relay交换机，这个串口需要设置两个子接口，红框中上下两行中source port number必须一致，不同的是DLCI（数据链路连接标识符）。要“Add”两次：第一次设置按照红框中第一行参数设置，第二次按照第二行参数设置。

配置Frame Relay数据链路 (II)

Node properties

FrameRelayswitch-1 configuration

General

Name: FrameRelayswitch-1

Source

Port: 1

DLCI: 101

Destination

Port: 10

DLCI: 202

Mapping

Port:DLCI	Port:DLCI
1:101	10:202
1:102	11:203

Add Delete

Reset OK Cancel Apply Help

Lab5中第19, 20步配置Frame Relay数据链路：路由器R5的串口s0/0的两个子接口DLCI分别对应101和102。路由器R7的串口s0/0连着帧中继10号端口，路由器R9的串口s0/0连着帧中继11号端口。注意路由器R5, R7和R9串口的IP地址设置必须在同一子网内，因为他们是通过交换机连着的。

配置Frame Relay数据链路 (III)

- 由于R5-R7采用的是点对点Frame Relay连接，只有R5的1个子接口地址可以ping通。注意R5的串口s0/0两个子接口分别配置了10.1.2.5/24和10.1.2.6/24 IP地址。

```
R7#  
R7#ping 10.1.2.5  
  
Type escape sequence to abort.  
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.1.2.5, timeout is 2 seconds:  
!!!!!  
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 1/4/12 ms  
R7#ping 10.1.2.6  
  
Type escape sequence to abort.  
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.1.2.6, timeout is 2 seconds:  
.....  
Success rate is 0 percent (0/5)  
R7#
```

配置Frame Relay数据链路 (IV)

- R5的串口s0/0有两个子接口，IP地址分别为10.1.2.5/24和10.1.2.6/24；R7的串口s0/0的IP地址为10.1.2.7/24，R9的串口s0/0的IP地址为10.1.2.9/24，是在同一网段内的。但是由于数据链路不是广播式，所以在没有建立点对点数据链路的情况下，是不能通信的。

```
R9#ping 10.1.2.7
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.1.2.7, timeout is 2 seconds:
.....
Success rate is 0 percent (0/5)
R9#
```

OSPF路由协议：虚链接

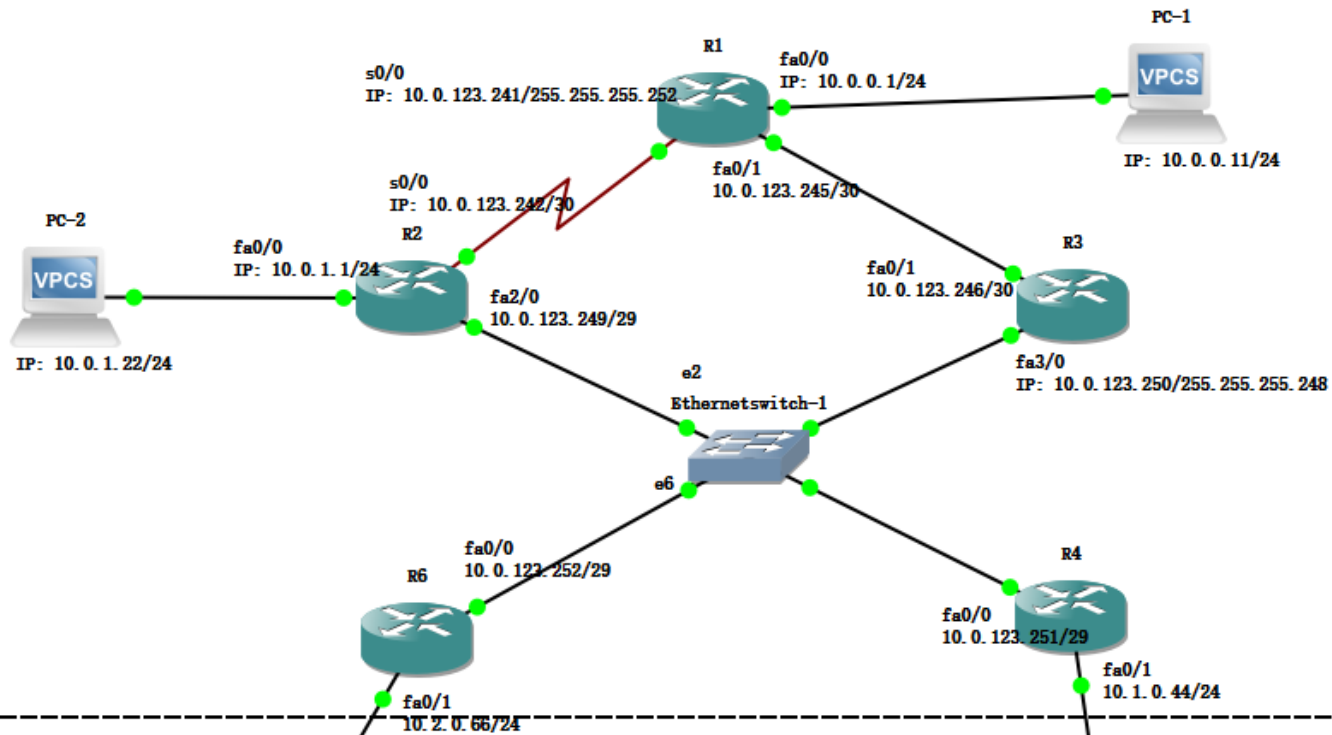
- **虚链接（Virtual-link）**：由于网络的拓扑结构复杂，有时无法满足每个区域必须和骨干区域直接相连的要求，为解决此问题，OSPF提出了虚链路的概念。[3]
- 虚链接是设置在两个路由器之间，这两个路由器都有一个端口与同一个非主干区域相连。虚连接被认为是属于主干区域的，在OSPF路由协议看来，虚连接两端的两个路由器被一个点对点的链路连接在一起。
 - 逻辑上的连接通道

OSPF路由协议：虚链接命令

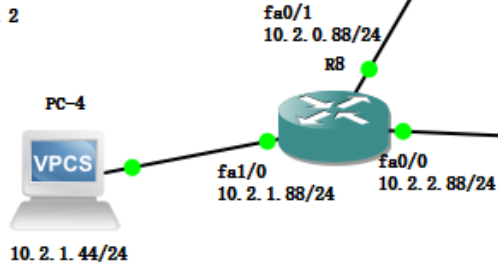
- 在边界路由器为不同区域之间创建虚链路
 - Router(config)# router ospf process-id
 - Router(config-router)# area <area-id> virtual-link RID (RID写对方的Router ID)
- 查看虚链路建立情况
 - Router# show ip ospf virtual-links

每对一个接口配置完其IP地址，请别忘记输入“no shutdown”

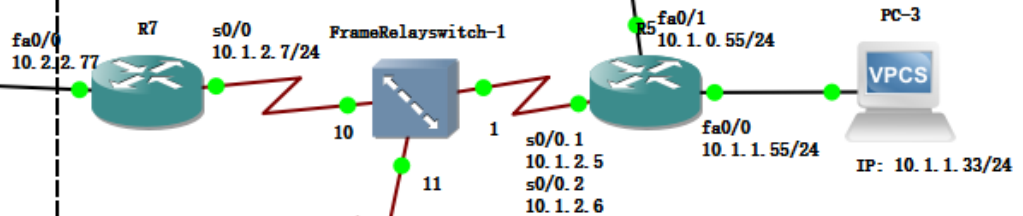
Area 0



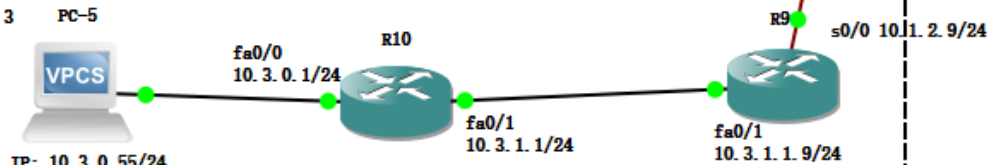
Area 2



Area 1



Area 3



Lab5 Topology

OSPF路由协议：建立虚链路例子

- 开始的时候Area 3和主干Area 0没有直连。Lab5中第29步内容：在Area 1上的两个边界路由器R9、R4之间为Area 3和Area 0创建虚链路（命令：area <area-id> virtual-link RID），这样Area 3就能和Area 0进行路由信息交换了。其中，area-id写1，RID写对方的Router ID。
- R4配置命令：
 - R4(config)# router ospf 12
 - R4(config-router)# area 1 virtual-link 10.3.90.1
- R9配置命令：
 - R9(config)# router ospf 12
 - R9(config-router)# area 1 virtual-link 10.0.40.1

OSPF路由协议：路由聚合

- 路由聚合（主要作用是减少路由器上路由信息的数量）
 - Router(config)# router ospf process-id
 - Router(config-router)# area <area-id> range <ip_net> <mask>
- 实例：
 - Lab5中第31步：在R9上手工合并Area 0上的子网路由（命令：area 0 range <ip_net> <mask>，其中ip_net写成10.0.0.0，mask写成255.255.0.0，表示10.0.x.x这些网络都在area 0上）

```
R9#config t
Enter configuration commands, one per line.  End with CNTL/Z.
R9(config)#router ospf 1212
R9(config-router)#area 0 range 10.0.0.0 255.255.0.0
R9(config-router)#exit
R9(config)#exit
R9#
```

OSPF路由协议：路由聚合实例

```
R9#show ip route
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

    10.0.0.0/8 is variably subnetted, 23 subnets, 5 masks
C       10.3.1.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
O IA    10.2.0.0/24 [110/94] via 10.1.2.6, 00:00:12, Serial0/0
O       10.3.0.0/24 [110/20] via 10.3.1.1, 00:00:12, FastEthernet0/1
O IA    10.2.1.0/24 [110/95] via 10.1.2.6, 00:00:12, Serial0/0
C       10.1.2.0/24 is directly connected, Serial0/0
O IA    10.2.2.0/24 [110/104] via 10.1.2.6, 00:00:12, Serial0/0
O       10.1.1.0/24 [110/74] via 10.1.2.6, 00:00:12, Serial0/0
O       10.0.0.0/24 [110/158] via 10.1.2.6, 00:00:13, Serial0/0
O       10.0.0.0/16 is a summary, 00:00:13, Null0
O       10.1.0.0/24 [110/74] via 10.1.2.6, 00:00:13, Serial0/0
O       10.0.1.0/24 [110/94] via 10.1.2.6, 00:00:13, Serial0/0
O       10.1.2.5/32 [110/64] via 10.1.2.6, 00:00:13, Serial0/0
O       10.1.2.7/32 [110/128] via 10.1.2.6, 00:00:16, Serial0/0
O       10.1.2.6/32 [110/64] via 10.1.2.6, 00:00:16, Serial0/0
O       10.0.20.1/32 [110/85] via 10.1.2.6, 00:00:16, Serial0/0
O       10.0.40.1/32 [110/75] via 10.1.2.6, 00:00:16, Serial0/0
O IA    10.2.60.1/32 [110/85] via 10.1.2.6, 00:00:16, Serial0/0
O       10.1.50.1/32 [110/65] via 10.1.2.6, 00:00:16, Serial0/0
O IA    10.2.70.1/32 [110/105] via 10.1.2.6, 00:00:16, Serial0/0
C       10.3.90.1/32 is directly connected, Loopback0
O       10.0.123.240/30 [110/148] via 10.1.2.6, 00:00:16, Serial0/0
O       10.0.123.244/30 [110/158] via 10.1.2.6, 00:00:16, Serial0/0
O       10.0.123.248/29 [110/84] via 10.1.2.6, 00:00:16, Serial0/0
R9#
```

Lab5中第31步内容：合并的那条路由，这条路由采用了特殊的接口 NULL0 作为下一跳。

同一区域的所有路由器的LSDB (Link-State Database)是一样的，下图就是整个实验完成后，区域Area 0中R1， R2和R3采用命令“show ip ospf database”的显示内容是一摸一样。因为OSPF采用的就是Link-State计算路由协议，同一区域内部每个路由器必须知道区域的网络拓扑图，然后才能采用Dijkstra算法计算它到其它节点的最短路径。

R2				R3				R1			
R2#show ip ospf database				R3#show ip ospf database				R1#show ip ospf database			
OSPF Router with ID (10.0.20.1) (Process ID 1212)				OSPF Router with ID (10.0.123.245) (Process ID 1212)				OSPF Router with ID (10.0.123.245) (Process ID 1212)			
Router Link States (Area 0)				Router Link States (Area 0)				Router Link States (Area 0)			
Link ID	ADV Router	Link ID	ADV Router	Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum	Link count		
10.0.20.1	10.0.20.1	10.0.20.1	10.0.20.1	10.0.20.1	10.0.20.1	333	0x80000003	0x00266F	5		
10.0.30.1	10.0.30.1	10.0.30.1	10.0.30.1	10.0.30.1	10.0.30.1	333	0x80000003	0x005971	2		
10.0.40.1	10.0.40.1	10.0.40.1	10.0.40.1	10.0.40.1	10.0.40.1	304	0x80000003	0x009414	3		
10.0.60.1	10.0.60.1	10.0.60.1	10.0.60.1	10.0.60.1	10.0.60.1	339	0x80000002	0x000834	2		
10.0.123.245	10.0.123.245	10.0.123.245	10.0.123.245	10.0.123.245	10.0.123.245	337	0x80000002	0x00B2BB	4		
10.3.90.1	10.3.90.1	10.3.90.1	10.3.90.1	10.3.90.1	10.3.90.1	3	(DNA) 0x80000002	0x007B50	1		
Net Link States (Area 0)				Net Link States (Area 0)				Net Link States (Area 0)			
Link ID	ADV Router	Link ID	ADV Router	Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum			
10.0.123.245	10.0.123.245	10.0.123.245	10.0.123.245	10.0.123.245	10.0.123.245	337	0x80000001	0x00DFC1			
10.0.123.252	10.0.60.1	10.0.123.252	10.0.60.1	10.0.123.252	10.0.60.1	334	0x80000002	0x008328			
Summary Net Link States (Area 0)				Summary Net Link States (Area 0)				Summary Net Link States (Area 0)			
Link ID	ADV Router	Link ID	ADV Router	Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum			
10.1.0.0	10.0.40.1	10.1.0.0	10.0.40.1	10.1.0.0	10.0.40.1	374	0x80000001	0x00E50F			
10.1.0.0	10.3.90.1	10.1.0.0	10.3.90.1	10.1.0.0	10.3.90.1	12	(DNA) 0x80000001	0x00F08E			
10.1.1.0	10.0.40.1	10.1.1.0	10.0.40.1	10.1.1.0	10.0.40.1	340	0x80000001	0x003FAA			
10.1.1.0	10.3.90.1	10.1.1.0	10.3.90.1	10.1.1.0	10.3.90.1	12	(DNA) 0x80000001	0x00E598			
10.1.2.5	10.0.40.1	10.1.2.5	10.0.40.1	10.1.2.5	10.0.40.1	340	0x80000001	0x009D50			
10.1.2.5	10.3.90.1	10.1.2.5	10.3.90.1	10.1.2.5	10.3.90.1	12	(DNA) 0x80000001	0x00443E			
10.1.2.6	10.0.40.1	10.1.2.6	10.0.40.1	10.1.2.6	10.0.40.1	340	0x80000001	0x009359			
10.1.2.6	10.3.90.1	10.1.2.6	10.3.90.1	10.1.2.6	10.3.90.1	12	(DNA) 0x80000001	0x003A47			
10.1.2.7	10.0.40.1	10.1.2.7	10.0.40.1	10.1.2.7	10.0.40.1	310	0x80000001	0x000C9F			
10.1.2.7	10.3.90.1	10.1.2.7	10.3.90.1	10.1.2.7	10.3.90.1	12	(DNA) 0x80000001	0x00B28D			
10.1.2.9	10.0.40.1	10.1.2.9	10.0.40.1	10.1.2.9	10.0.40.1	310	0x80000001	0x00F7B1			
10.1.2.9	10.3.90.1	10.1.2.9	10.3.90.1	10.1.2.9	10.3.90.1	12	(DNA) 0x80000001	0x009925			
10.1.50.1	10.0.40.1	10.1.50.1	10.0.40.1	10.1.50.1	10.0.40.1	340	0x80000001	0x00BD03			
10.1.50.1	10.3.90.1	10.1.50.1	10.3.90.1	10.1.50.1	10.3.90.1	12	(DNA) 0x80000001	0x0064F0			
10.2.0.0	10.0.60.1	10.2.0.0	10.0.60.1	10.2.0.0	10.0.60.1	380	0x80000001	0x004D92			
10.2.1.0	10.0.60.1	10.2.1.0	10.0.60.1	10.2.1.0	10.0.60.1	330	0x80000001	0x004C91			
10.2.70.1	10.0.60.1	10.2.70.1	10.0.60.1	10.2.70.1	10.0.60.1	330	0x80000001	0x00ACE0			
10.2.80.1	10.0.60.1	10.2.80.1	10.0.60.1	10.2.80.1	10.0.60.1	332	0x80000001	0x00D9B3			
10.2.123.240	10.0.60.1	10.2.123.240	10.0.60.1	10.2.123.240	10.0.60.1	332	0x80000001	0x00EF784			
10.3.0.0	10.3.90.1	10.3.0.0	10.3.90.1	10.3.0.0	10.3.90.1	12	(DNA) 0x80000001	0x00BAF8			
10.3.90.1	10.3.90.1	10.3.90.1	10.3.90.1	10.3.90.1	10.3.90.1	12	(DNA) 0x80000001	0x00105B			
10.3.123.240	10.3.90.1	10.3.123.240	10.3.90.1	10.3.123.240	10.3.90.1	12	(DNA) 0x80000001	0x0086C7			

References

- [1] 陆魁军, 计算机网络工程实践教程—基于Cisco路由器和交换机, 浙江大学出版社, 2006.
- [2] A.S. Tanenbaum, and D.J. Wetherall, Computer Networks, 5th Edition, Prentice Hall, 2011.
- [3] <https://baike.baidu.com/item/ospf%E8%99%9A%E9%93%BE%E8%B7%AF/3734784?fr=aladdin> (OSPF virtual link)
- [4] <https://www.cnblogs.com/wuguan/p/6847474.html>