

# OSPFv3技术原理与应用



# | 前言

- OSPF ( Open Shortest Path First ) 是IETF组织开发的一个基于链路状态的内部网关协议 ( Interior Gateway Protocol ) 。
- 目前针对IPv4协议使用的是OSPF Version 2，针对IPv6协议使用OSPF Version 3。
- OSPFv3的主要目的是开发一种独立于任何具体网络层的路由协议。为实现这一目的，OSPFv3的内部路由器信息被重新进行了设计。
- 本课程将介绍OSPFv3的基本概念及原理、OSPFv3典型配置，以及OSPFv3 LSA。

# | 目标

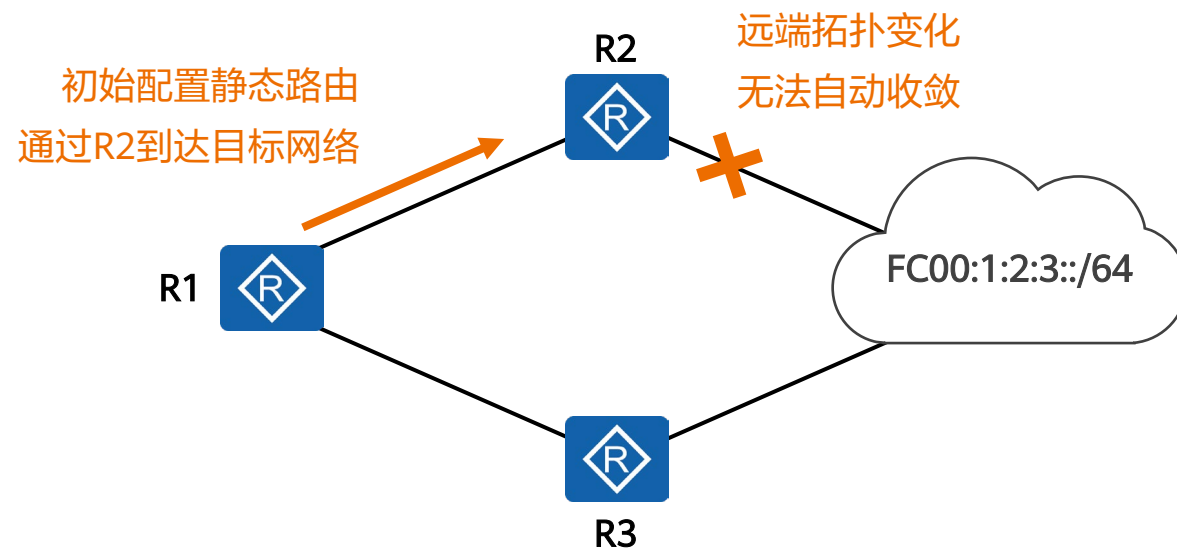
- 理解OSPFv3的基本概念与在企业网络中的实际应用场景
- 熟悉OSPFv3的工作原理、多区域的概念、路由管理方式
- 熟悉OSPFv3 LSA的定义与功能

# | 目录

- OSPFv3概述
- OSPFv3工作原理
- OSPFv3典型配置
- OSPFv3 LSA详解

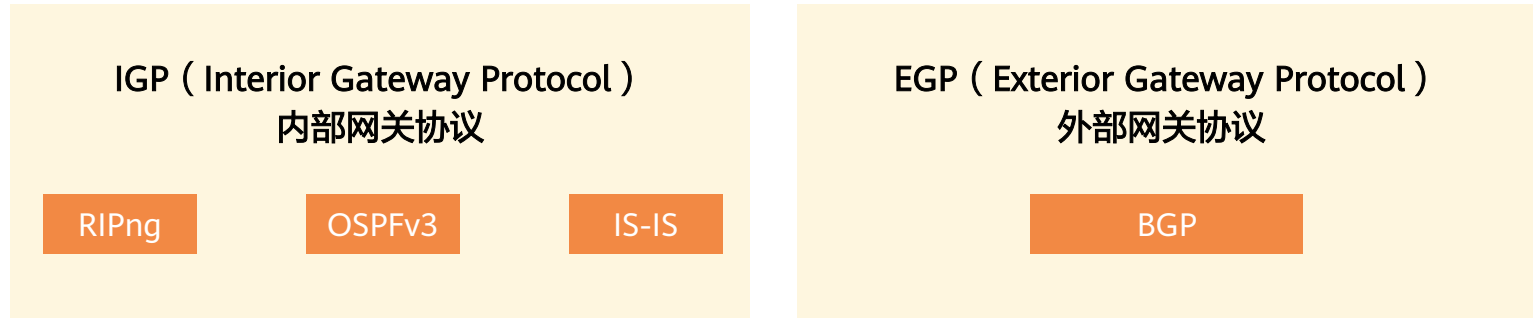
# 为什么需要动态路由协议？

- 静态路由是由网络管理员手动配置和维护的路由条目，配置简单，适用于规模较小或拓扑固定的网络。
- 静态路由有以下问题：
  - **无法动态响应网络变化：**网络发生变化时，无法自动收敛，需要手动修改路由配置。
  - **无法适应规模较大的网络：**随着设备及网段数量增加，配置及维护工作量倍增。



# 动态路由协议的分类

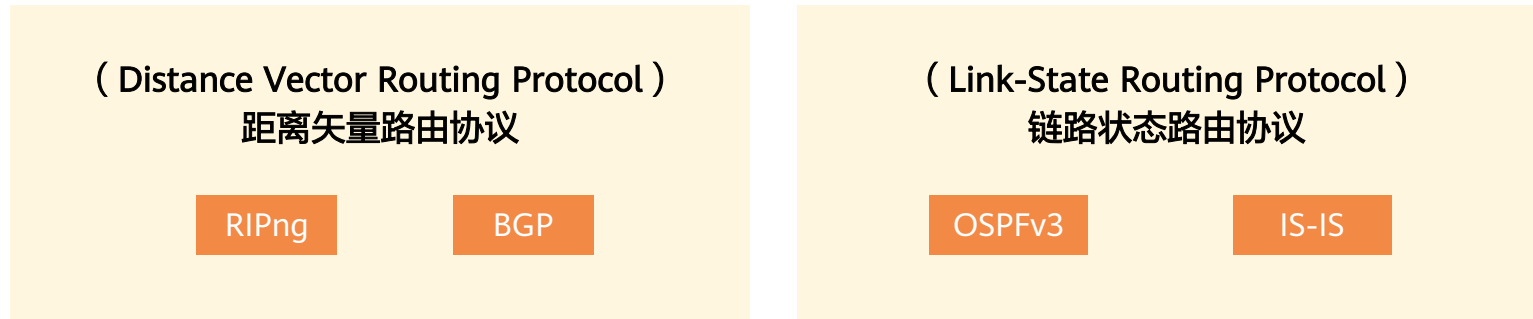
## 按工作区域分类



根据作用范围不同，路由协议可分为：

- IGP：在一个自治系统（ Autonomous System, AS ）内运行的路由协议。
- EGP：实现不同自治系统之间路由信息交互的路由协议。

## 按工作机制及算法分类

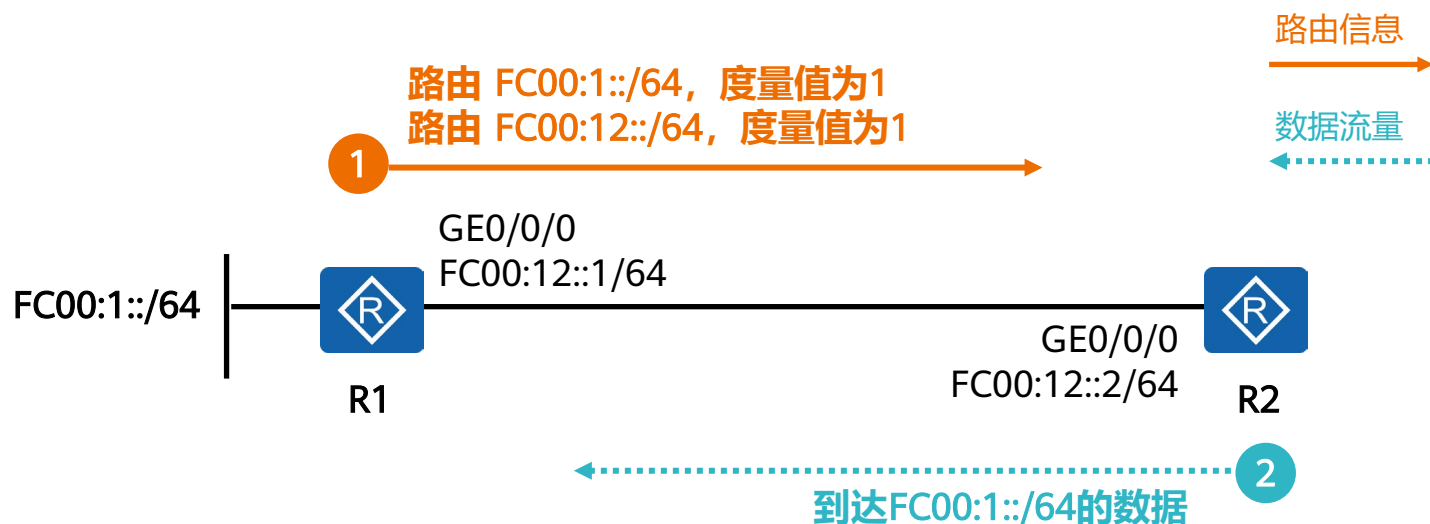


根据使用算法不同，路由协议可分为：

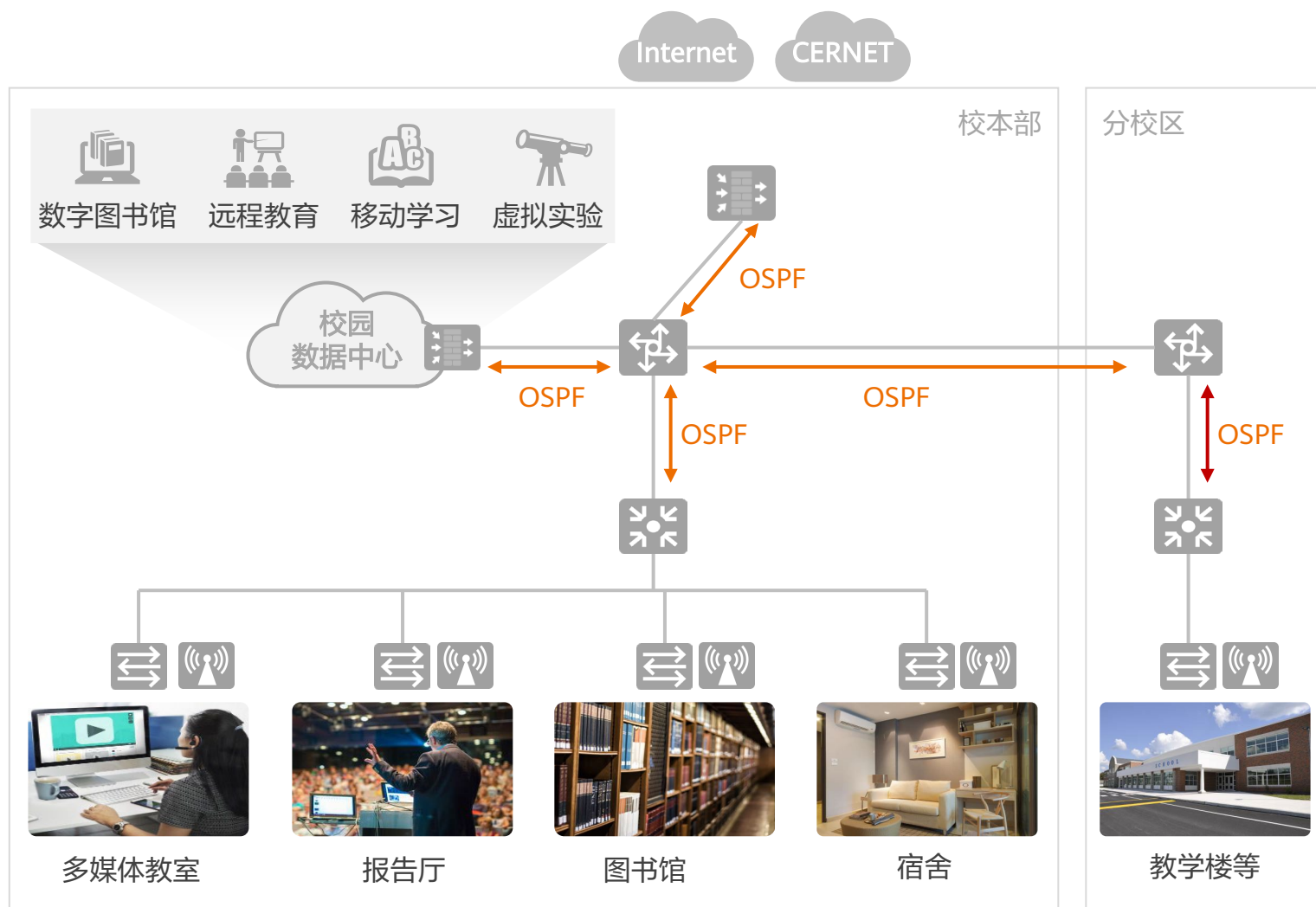
- 距离矢量路由协议：在设备之间交互路由信息，使用跳数（ Hop Count ）来衡量到达目的地址的距离。其中，BGP也被称为路径矢量协议（ Path-Vector ）。
- 链路状态路由协议：在设备之间交互链路状态信息，运行特定算法进行无环路由计算，目前被广泛应用。

# 距离矢量路由协议

- 运行距离矢量路由协议的路由器周期性泛洪自己的路由表。通过路由的交互，每台路由器都从相邻的路由器学习到路由，并且加载进自己的路由表中。
- 对于网络中的所有路由器而言，路由器并不清楚网络的拓扑，只是简单地知道要去往某个目的的方向在哪里，距离有多远。



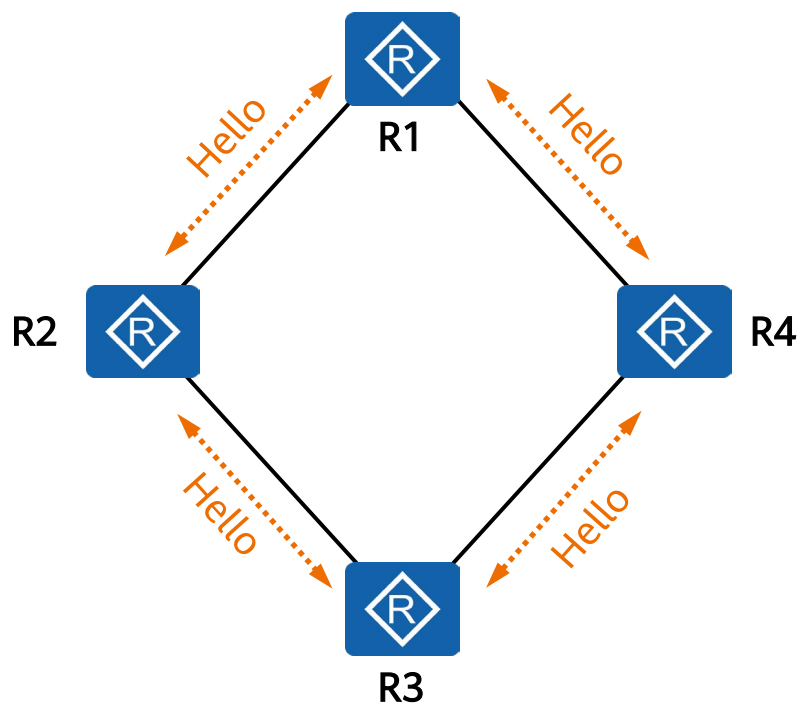
# 链路状态路由协议OSPF广泛应用于企业网络中



- 现实中，企业网络多种多样，其中校园网是为学校师生（以及家属、访客等）提供教学、科研和综合信息服务的计算机网络。
- OSPF广泛应用于企业网络中，用于实现网络内设备的互联互通。
- OSPF是典型的链路状态路由协议，路由器之间通过交互链路状态信息发现网络拓扑及网段信息，并运行特定算法来计算无环路由。

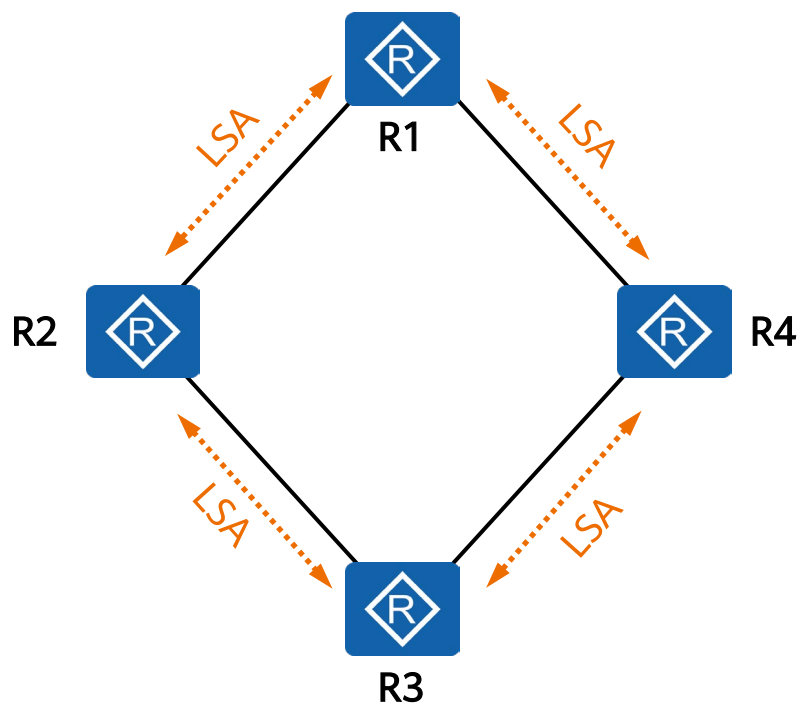


# OSPF的工作原理概述：建立邻居关系



路由器运行OSPF协议后，会在所有激活OSPF的接口发送及侦听Hello报文。相邻的路由器通过交互Hello报文，并检查报文中的各项参数，然后建立OSPF邻居关系。

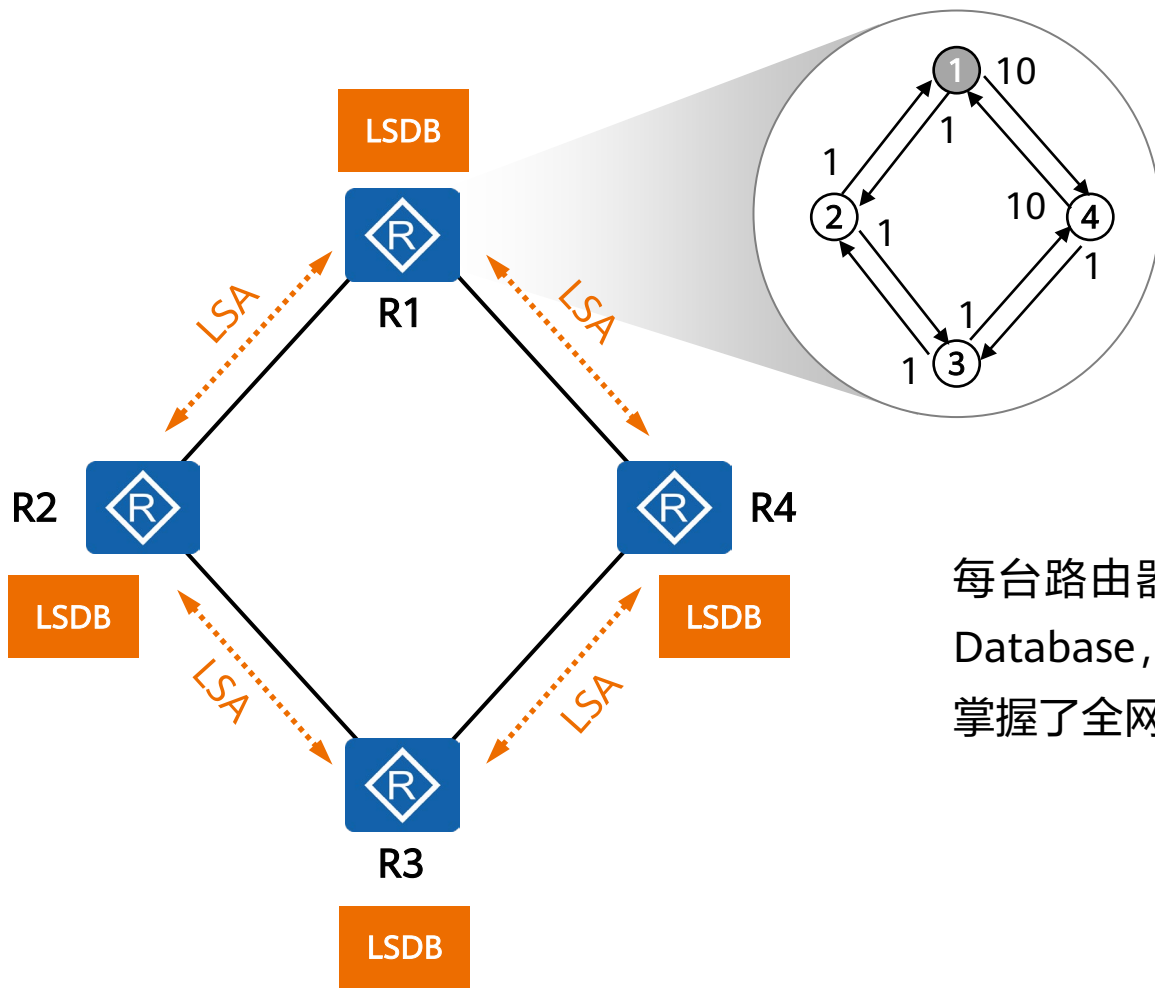
# OSPF的工作原理概述：交互LSA



OSPF路由器之间可以交互LSA（Link Status Advertisement，链路状态通告）。

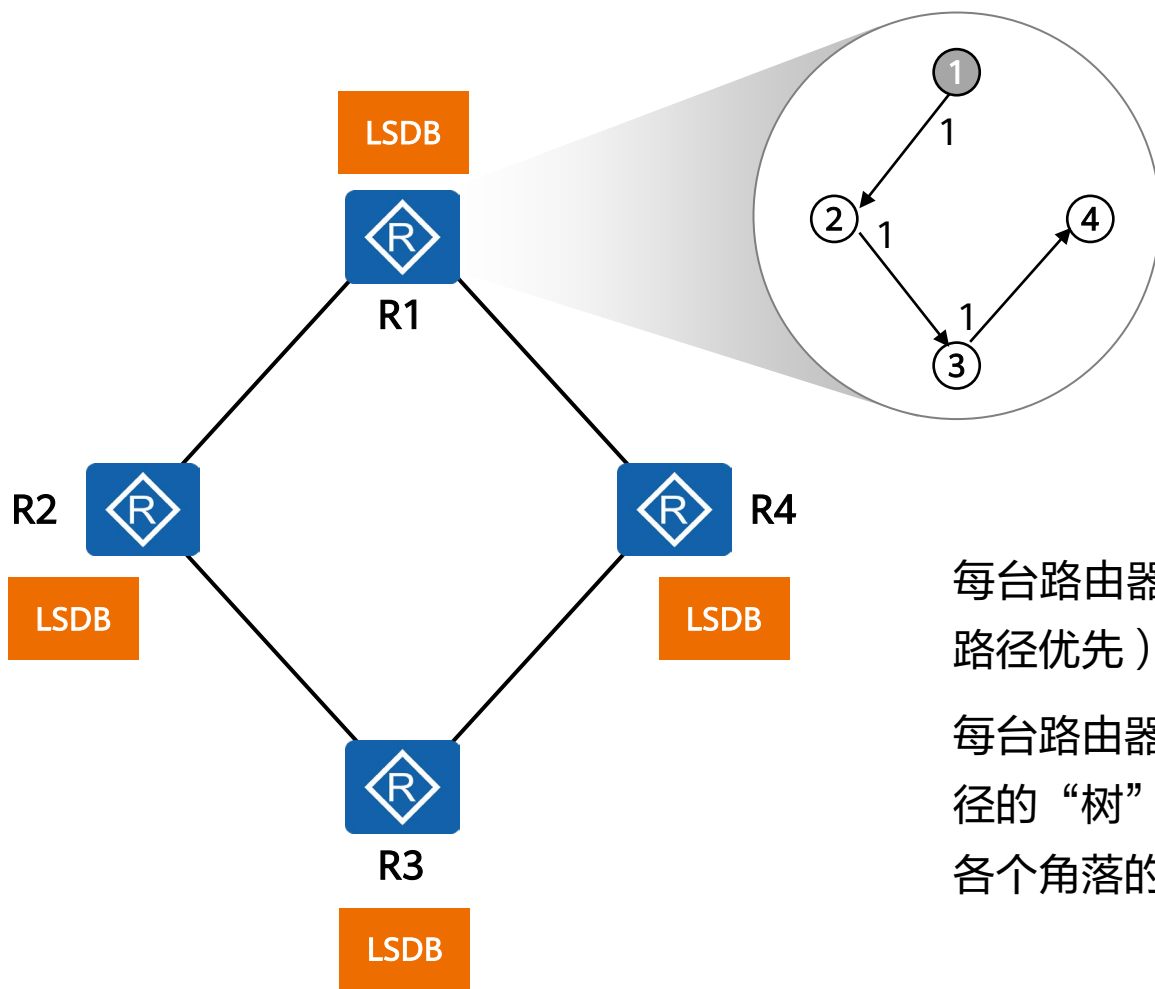
LSA描述了路由器所有的链路、接口、邻居及链路状态等信息。路由器通过交互这些链路状态信息来了解整个网络的拓扑及网段信息。OSPF定义了多种类型的LSA，用于描述不同的信息。

# OSPF的工作原理概述：维护LSDB



每台路由器将搜集到的LSA存储在自己的LSDB（Link-State Database，链路状态数据库）中。有了LSDB，路由器相当于掌握了全网的拓扑结果，并知晓了所有网段信息。

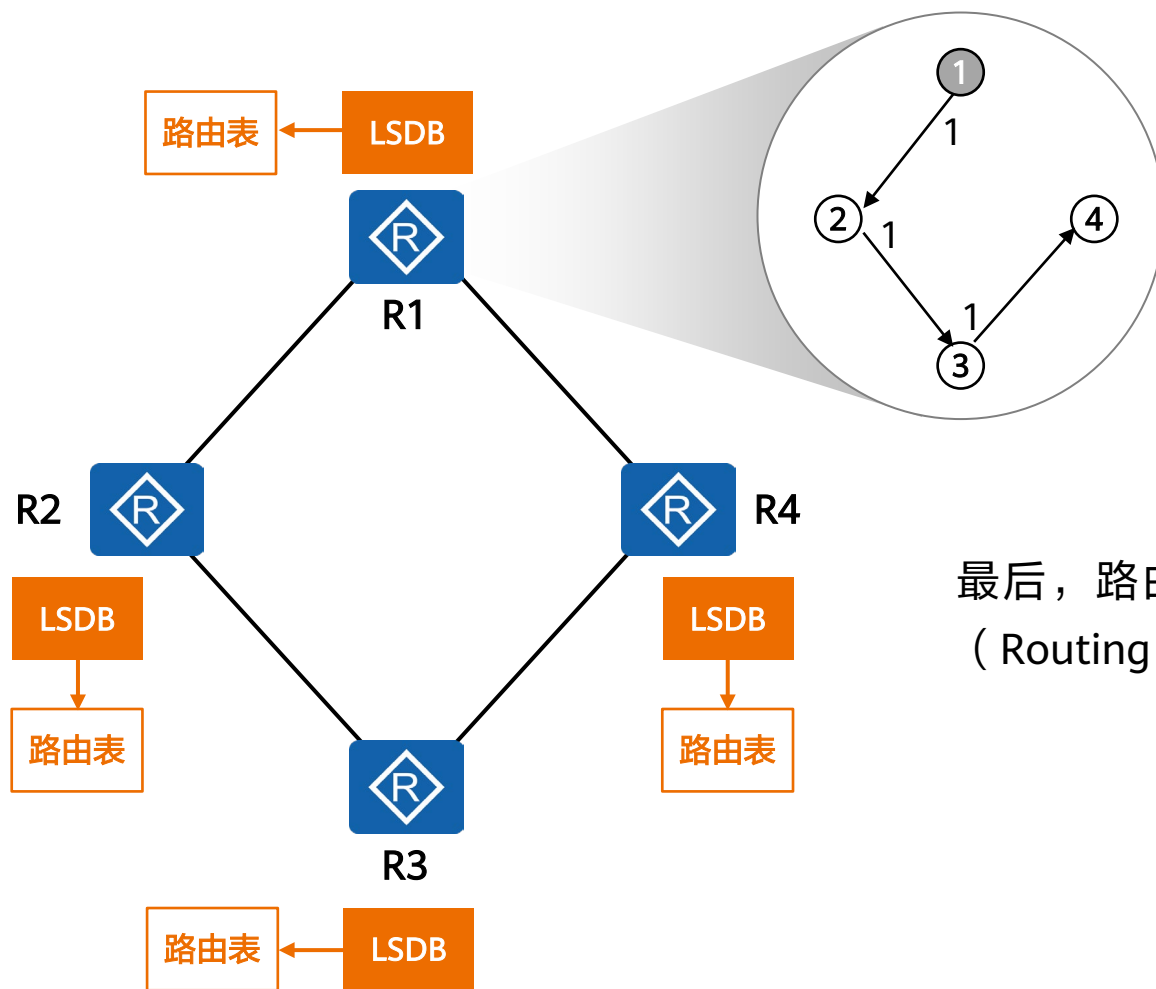
# OSPF的工作原理概述：进行最短路径树计算



每台路由器基于LSDB，使用SPF（Shortest Path First，最短路径优先）算法进行计算。

每台路由器都计算出一棵以自己为根的、无环的、拥有最短路径的“树”。有了这棵“树”，路由器就已经知道了到达网络各个角落的最优路径。

# OSPF的工作原理概述：进行最短路径树计算



最后，路由器将计算出来的最优路径加载进自己的路由表（Routing Table）中，路由的协议类型为OSPF。

# OSPF简介

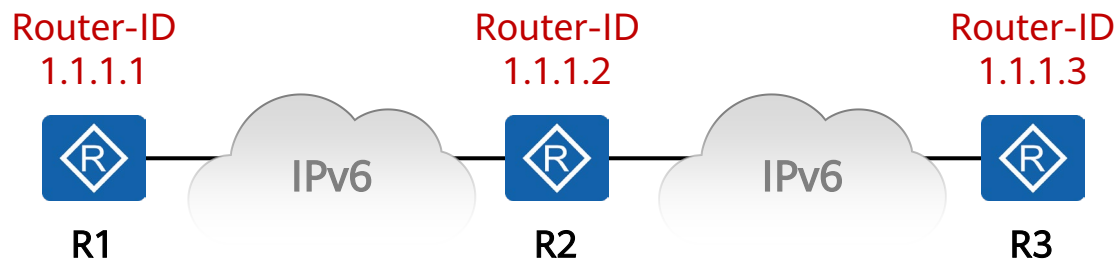
- OSPF ( Open Shortest Path First ) 是IETF组织开发的一个基于链路状态的内部网关协议。
- OSPF路由器将网络中的链路状态信息收集起来，存储在LSDB中。路由器都清楚区域内的网络拓扑结构，这有助于路由器计算无环路径。
- 每台OSPF路由器都采用SPF算法计算达到目的地的最优路径，并将依据这些路径形成路由加载到路由表中。
- OSPF支持手工路由汇总。
- 多区域的设计使得OSPF能够支持更大规模的网络。
- 目前针对IPv4协议使用的是OSPF Version 2 ( OSPFv2 )，针对IPv6协议使用OSPF Version 3 ( OSPFv3 )。
- OSPFv3在OSPFv2基础上进行了修改，是一个独立的路由协议，且只能用于IPv6环境。

# | 目录

- OSPFv3概述
- **OSPFv3工作原理**
- OSPFv3典型配置
- OSPFv3 LSA详解

# OSPFv3的Router-ID

- OSPFv3 Router-ID是设备在OSPFv3进程中所使用的标识符，长度为32bit，其格式与IPv4地址相同。
- Router-ID是一个OSPFv3进程在自治系统中的唯一标识。
- OSPFv3的Router-ID必须手工配置，如果没有配置ID号，OSPFv3无法正常运行。
- 手工配置Router-ID时，必须保证自治系统中任意两台设备的Router-ID都不相同。
- 自治系统中任意两台OSPFv3设备的Router-ID都不能相同，通常的做法是将Router-ID配置为与该设备某个接口的IP地址一致（一般为Loopback接口）。



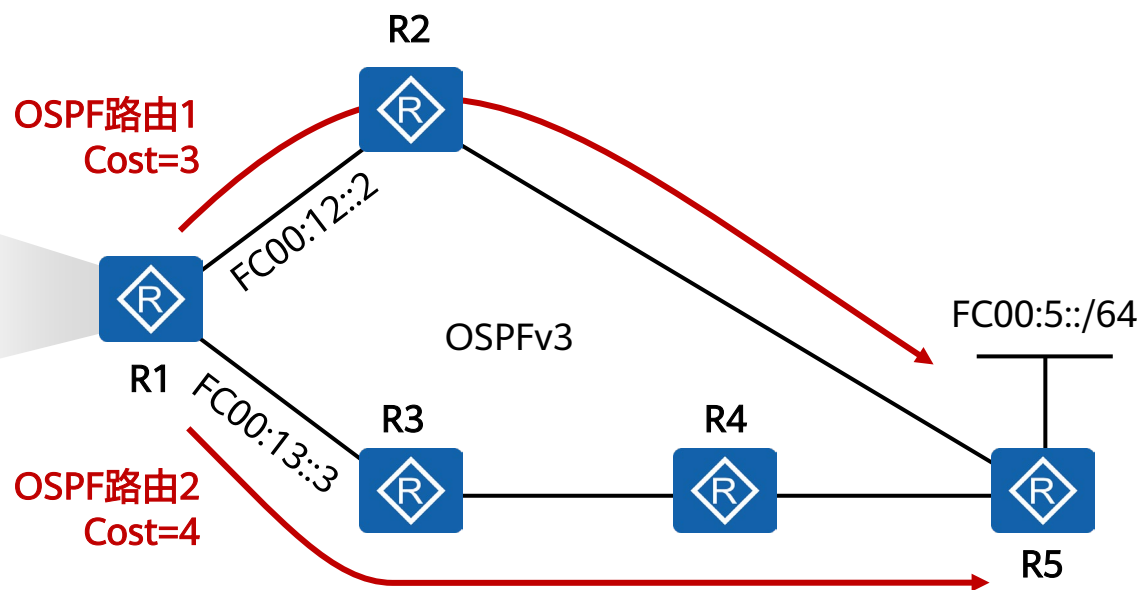


# OSPF基础术语： Cost

- Cost（开销）是OSPF路由的度量值：到达目的网络的代价。
- 一条路由的Cost值越小，则该路由越优。

R1的路由表

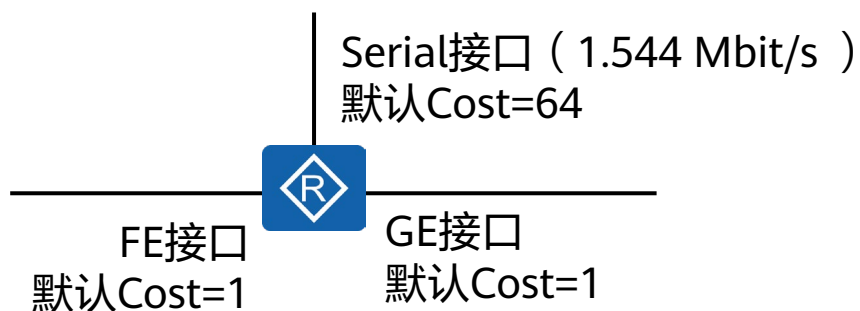
目的网络	前缀长度	下一跳	协议	优先级
FC00:5::	64	FC00:12::2	OSPF	10
...	...	...	...	...



# OSPF基础术语： Cost

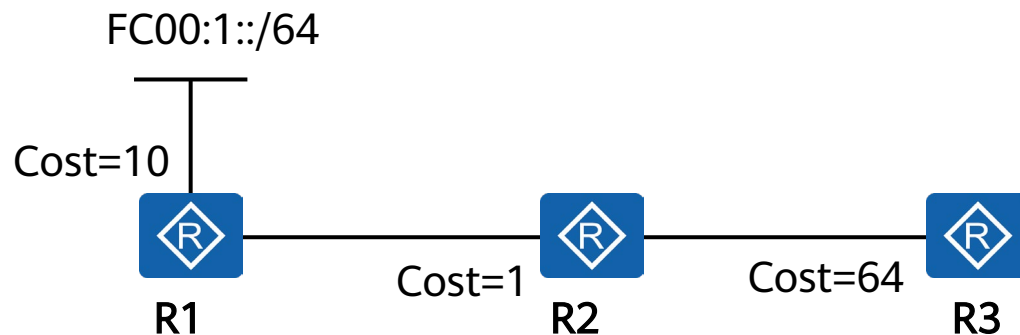
- 每一个激活了OSPF的接口都会维护接口Cost值。缺省时接口Cost值= $\frac{100 \text{ Mbit/s}}{\text{接口带宽}}$ 。其中100 Mbit/s为OSPF指定的缺省参考值，该值是可配置的。
- 笼统地说，一条OSPF路由的Cost值可以理解为是从目的网段到本路由器沿途所有入接口的Cost值累加。

OSPF接口Cost值



不同接口因其带宽不同，有不同的缺省Cost。

OSPF路径累计Cost值



在R3的路由表中，到达FC00:1::/64的OSPF路由Cost值=10+1+64。

# OSPFv3的三张表

- 邻居表（ Peer Table ）：

- OSPF要求在路由器之间传递链路状态通告之前，需先建立OSPF邻居关系。Hello报文用于发现直连链路上的其他OSPF路由器，再经过一系列的OSPF消息交互最终建立起全毗邻的邻接关系，OSPF路由器的邻居信息显示在邻居表中。

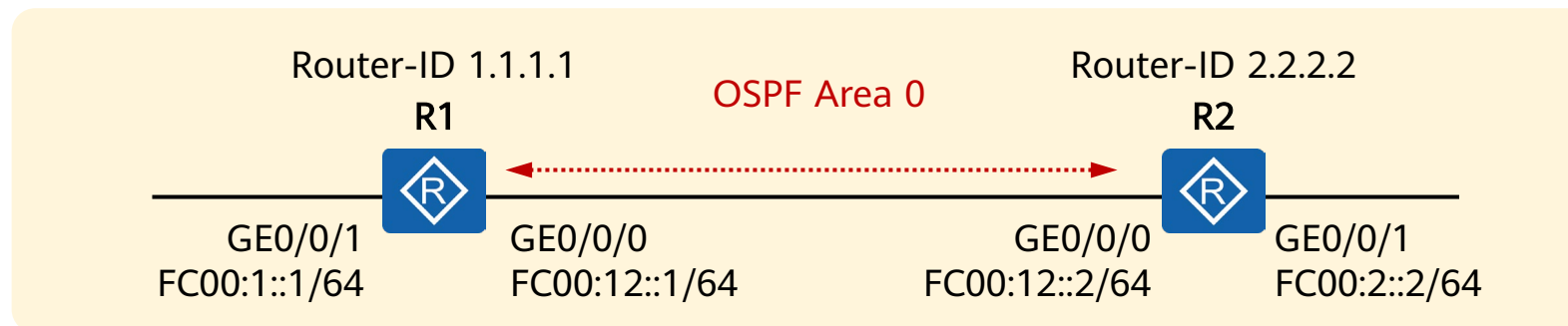
- 链路状态数据库（ Link-State Database， LSDB ）：

- OSPF用LSA来描述网络拓扑及网段信息，并用LSDB来存储网络的这些LSA。OSPF将自己产生的以及邻居通告的LSA存储在LSDB中。掌握LSDB的查看并能对LSA深入解读才能够真正理解OSPF。

- OSPF路由表（ Routing Table ）：

- 基于LSDB进行SPF（ Dijkstra算法 ）计算，而得出的OSPF路由表。

# OSPFv3的三张表：邻居表



[R1] display ospfv3 peer

OSPFv3 Process (1)

OSPFv3 Area (0.0.0.0)

Neighbor ID	Pri	State	Dead Time	Interface	Instance ID
2.2.2.2	1	Full/DR	00:00:37	GE0/0/0	0

## 邻居的状态/DR或BDR

- 邻居的状态：包括Down、Attempt、Init、2-Way、ExStart、Exchange、Loading和Full
- DR或BDR：包括DR、Backup及DROther

# OSPFv3的三张表：LSDB

[R1] display ospfv3 lsdb

OSPFv3 Router with ID (1.1.1.1) (Process 1)

Link-LSA (Interface GigabitEthernet0/0/0)

Link State ID	Origin Router	Age	Seq#	CkSum	Prefix
0.0.0.3	1.1.1.1	0291	0x80000001	0x8005	1
0.0.0.3	2.2.2.2	0273	0x80000001	0x9d48	1

Link-LSA (Interface GigabitEthernet0/0/1)

Link State ID	Origin Router	Age	Seq#	CkSum	Prefix
0.0.0.4	1.1.1.1	0284	0x80000001	0x484c	1

Router-LSA (Area 0.0.0.0)

Link State ID	Origin Router	Age	Seq#	CkSum	Link
0.0.0.0	1.1.1.1	0223	0x80000008	0x3fc6	1
0.0.0.0	2.2.2.2	0231	0x80000007	0x23df	1

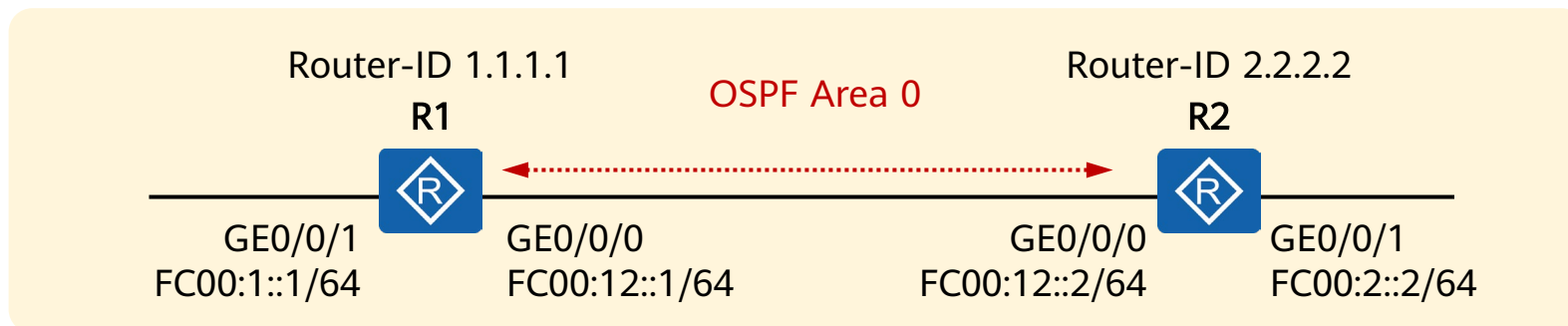
Network-LSA (Area 0.0.0.0)

Link State ID	Origin Router	Age	Seq#	CkSum
0.0.0.3	2.2.2.2	0234	0x80000001	0x4cc5

Intra-Area-Prefix-LSA (Area 0.0.0.0)

Link State ID	Origin Router	Age	Seq#	CkSum	Prefix	Reference
0.0.0.1	1.1.1.1	0221	0x80000009	0xcaeb	1	Router-LSA
0.0.0.1	2.2.2.2	0227	0x80000004	0xfeb3	1	Router-LSA
0.0.0.2	2.2.2.2	0225	0x80000002	0x6c34	1	Network-LSA

# OSPFv3的三张表：路由表



```
<R1> display ospfv3 routing
```

Codes : E2 - Type 2 External, E1 - Type 1 External, IA - Inter-Area,  
N - NSSA, U - Uninstalled

OSPFv3 Process (1)

Destination	Metric
Next-hop	
FC00:1::/64	1
directly connected, GigabitEthernet0/0/1	
FC00:2::/64	2
via FE80::2E0:FCFF:FEB3:4690, GigabitEthernet0/0/0	
FC00:12::/64	1
directly connected, GigabitEthernet0/0/0	

# OSPFv3报文类型

报文类型	报文作用
Hello报文	周期性发送，用来发现和维持OSPFv3邻居关系。
DD报文（ Database Description packet ）	描述了本地LSDB的摘要信息，用于两台设备进行数据库同步。
LSR报文（ Link State Request packet ）	用于向对方请求所需的LSA。 设备只有在OSPFv3邻居双方成功交换DD报文后才会向对方发出LSR报文。
LSU报文（ Link State Update packet ）	向对方发送其所需要的LSA。
LSAck报文（ Link State Acknowledgment packet ）	用来对收到的LSA进行确认。

# 初识OSPF邻接关系建立过程

- OSPF完成邻接关系的建立有四个步骤：建立邻居关系、协商主/从、交互LSDB信息、同步LSDB。



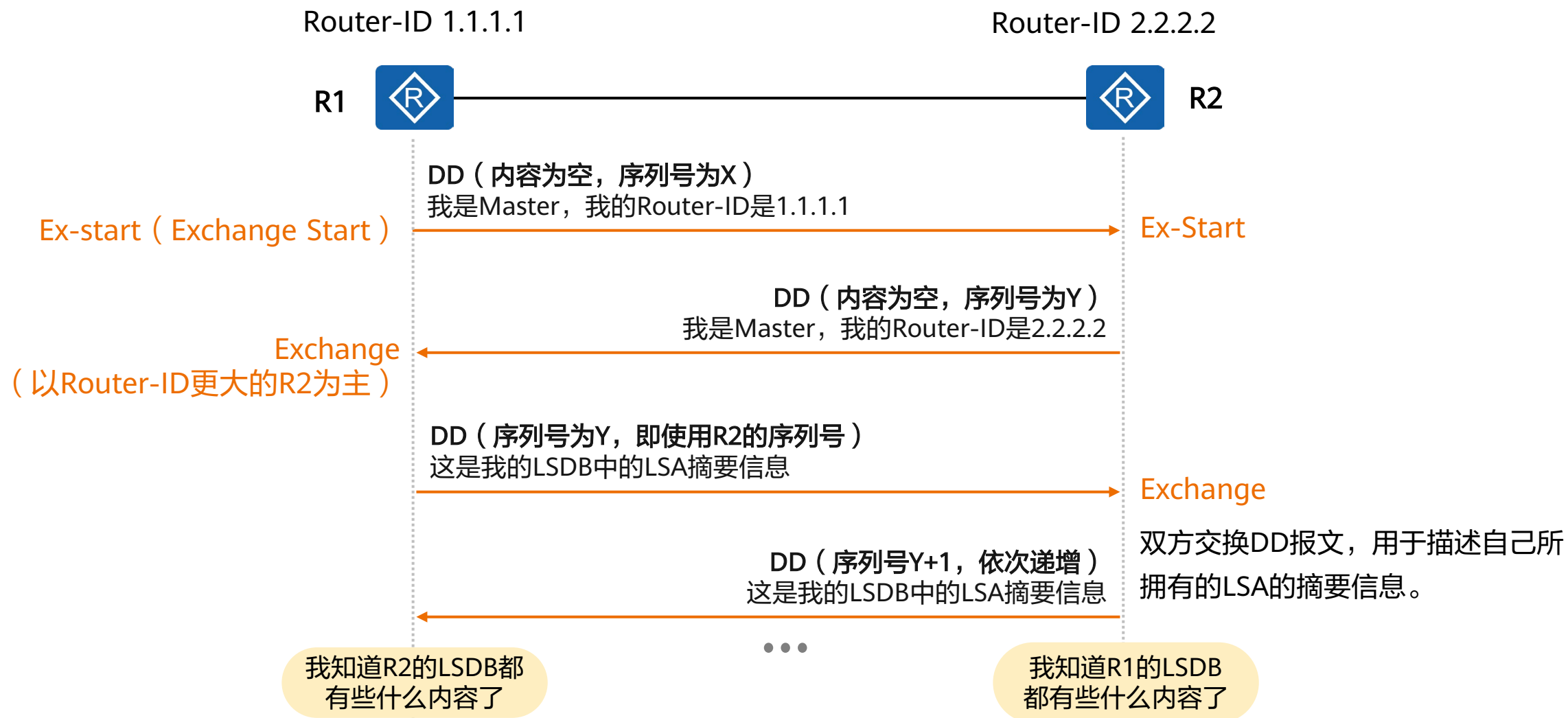
1-4过程由双方交互，5由设备独立完成。



# OSPF邻接关系建立流程 - 1



# OSPF邻接关系建立流程 - 2&3

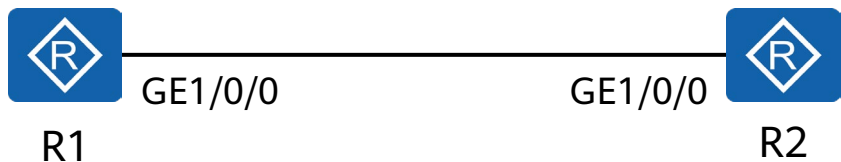


# OSPF邻接关系建立流程 - 4



# OSPF网络类型简介

- OSPF网络类型是一个非常重要的接口变量，这个变量将影响OSPF在接口上的操作，例如采用什么方式发送OSPF协议报文，以及是否需要选举DR、BDR等。
- 接口默认的OSPF网络类型取决于接口所使用的数据链路层封装；可以通过命令修改接口网络类型。
- OSPF定义了四种网络类型：Broadcast、NBMA、P2MP和P2P。
- 一般情况下，链路两端的OSPF接口网络类型必须一致，否则路由计算将会出现问题。

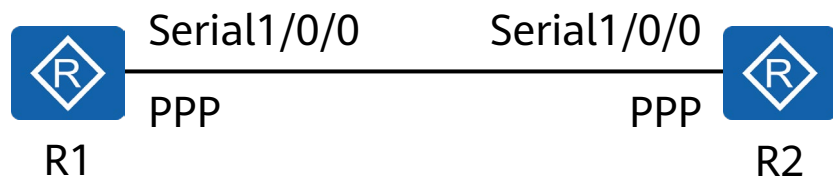


[R1-GigabitEthernet1/0/0] **ospfv3 network-type ?**

- |                  |  |
|------------------|--|
| <b>broadcast</b> | Specify OSPF broadcast network           |
| <b>nbma</b>      | Specify OSPF NBMA network                |
| <b>p2mp</b>      | Specify OSPF point-to-multipoint network |
| <b>p2p</b>       | Specify OSPF point-to-point network      |

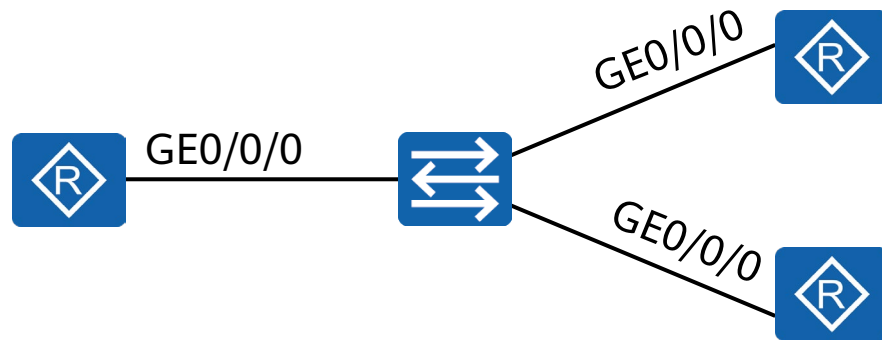
# OSPF网络类型 (1)

## P2P (Point-to-Point, 点对点)



- P2P是在一段链路上只能连接两台网络设备的环境。
- 当数据链路层协议是PPP、HDLC时，缺省情况下，OSPFv3认为网络类型是P2P。
- 在该类型的网络中，以组播形式发送协议报文（Hello、DD、LSR、LSU、LSAck）。

## BMA (Broadcast Multipile Access, 广播式多路访问)



- BMA也被称为Broadcast，指的是一个允许多台设备接入的、支持广播的环境。
- 当数据链路层协议是Ethernet时，缺省情况下，OSPFv3认为网络类型是Broadcast。
- 在该类型的网络中，通常以组播形式发送Hello报文、LSU报文和LSAck报文。以单播形式发送DD报文和LSR报文。选举DR及BDR。

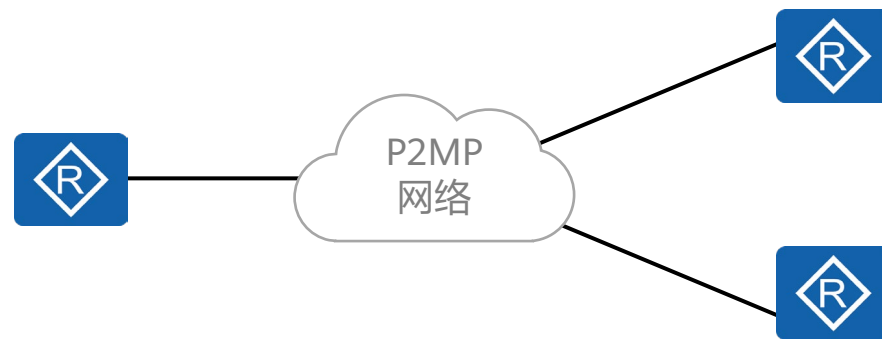
## OSPF网络类型 (2)

### NBMA (Non-Broadcast Multiple Access, 非广播型多路访问)



- NBMA指的是一个允许多台网络设备接入且不支持广播的环境。
- 当数据链路层协议是帧中继、ATM或X.25时，缺省情况下，OSPFv3认为网络类型是NBMA。
- 在该类型的网络中，以单播形式发送协议报文（Hello、DD、LSR、LSU、LSAck）。

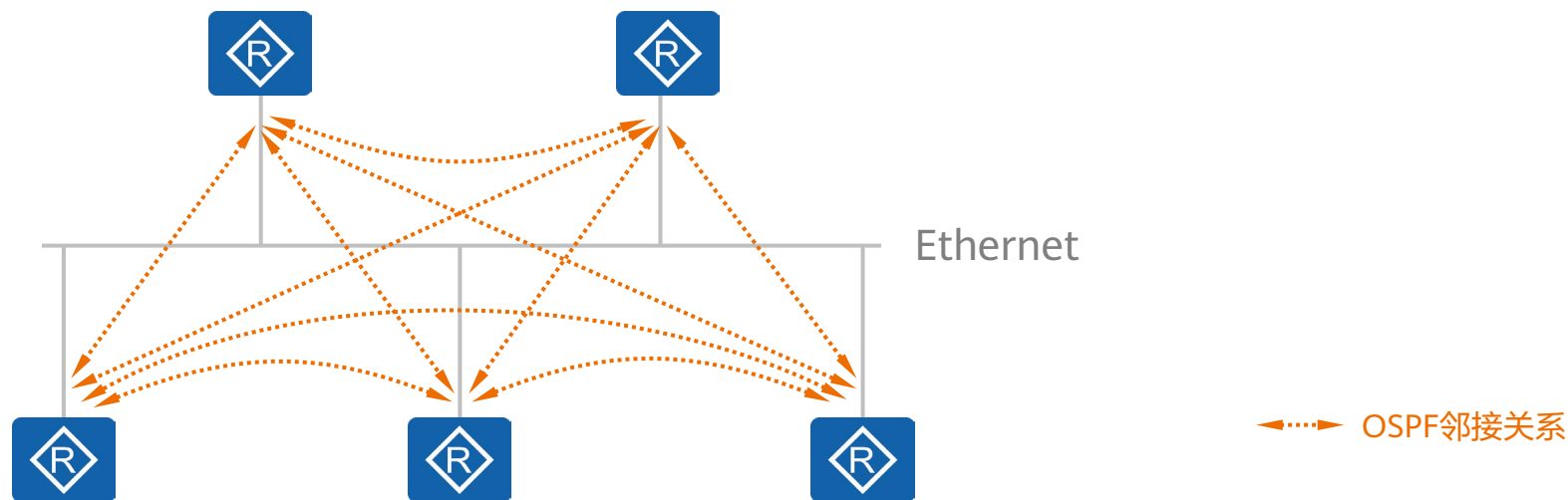
### P2MP (Point to Multiple Point, 点到多点)



- P2MP相当于将多条P2P链路的一端进行捆绑。
- 没有一种数据链路层协议会被缺省的认为是P2MP类型，需手工指定，通常的做法是将非全连通的NBMA改为P2MP。
- 在该类型的网络中：以组播形式发送Hello报文；以单播形式发送其他报文（DD、LSR、LSU、LSAck）。

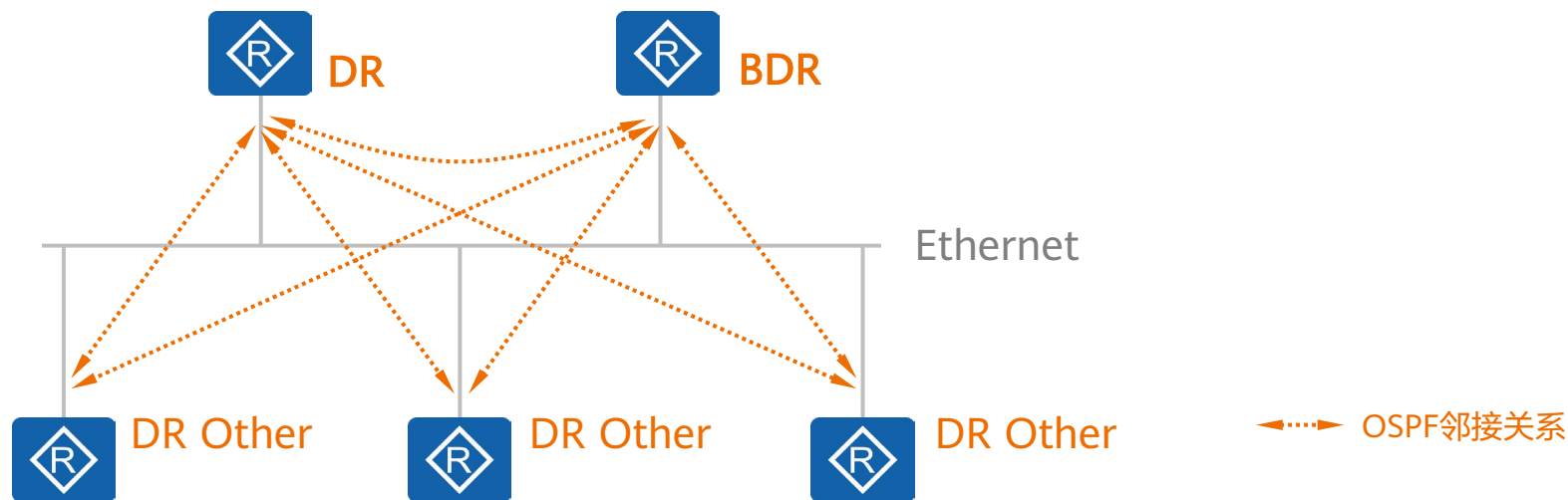
# DR与BDR技术背景

- MA（Multi-Access）多路访问网络有两种：BMA及NBMA。Ethernet是一种典型的广播型多路访问网络。
- 在MA网络中，如果每台OSPF路由器都与其他的所有路由器建立邻接关系，便会导致网络中存在过多的OSPF邻接关系，增加设备负担，也增加了网络中泛洪的OSPF报文数量。
- 当拓扑出现变更时，网络中的LSA泛洪可能会造成带宽的浪费和设备资源的损耗。



# DR与BDR

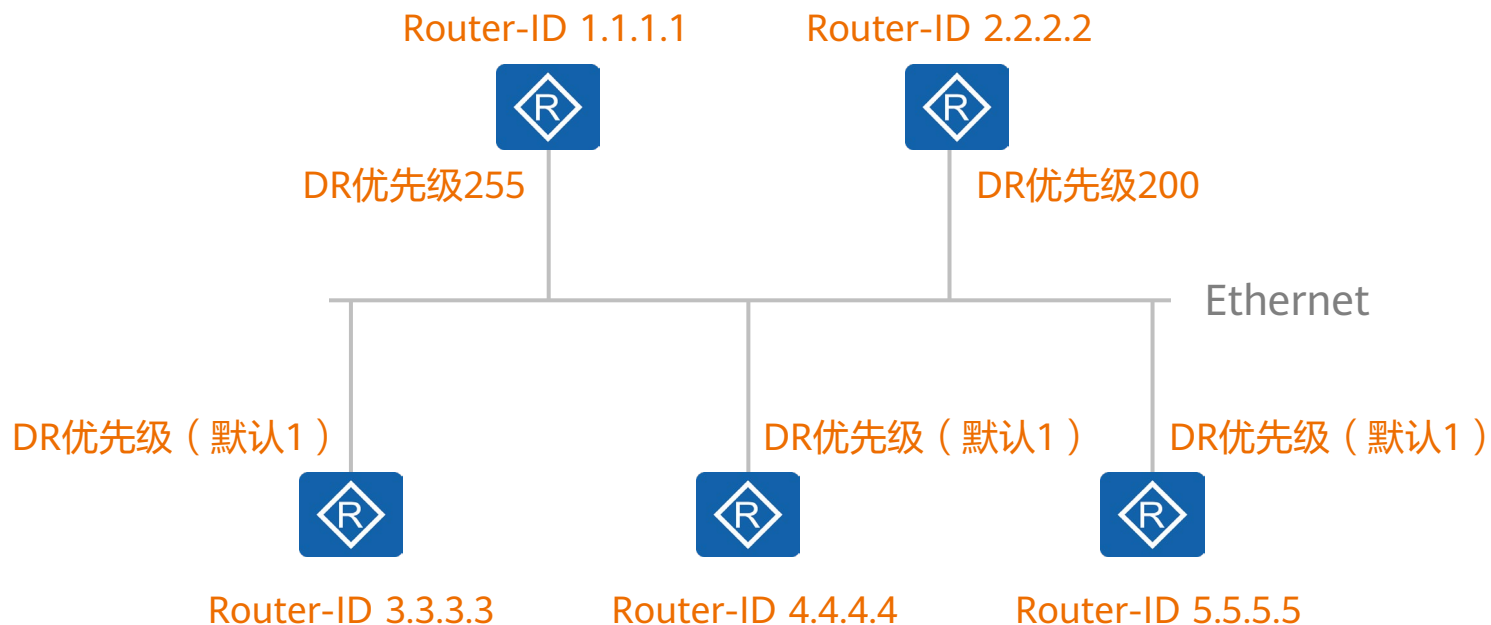
- 为优化MA网络中OSPF邻接关系，OSPF指定了三种OSPF路由器身份，DR（Designated Router，指定路由器）、BDR（Backup Designated Router，备用指定路由器）和DR Other路由器。
- 通过选举产生DR后，所有其他设备都只将信息发送给DR，由DR将LSA泛洪出去。BDR是DR的备份路由器。
- 所有DR Other路由器（并非DR也非BDR的路由器）均只与DR、BDR建立OSPF邻接关系。



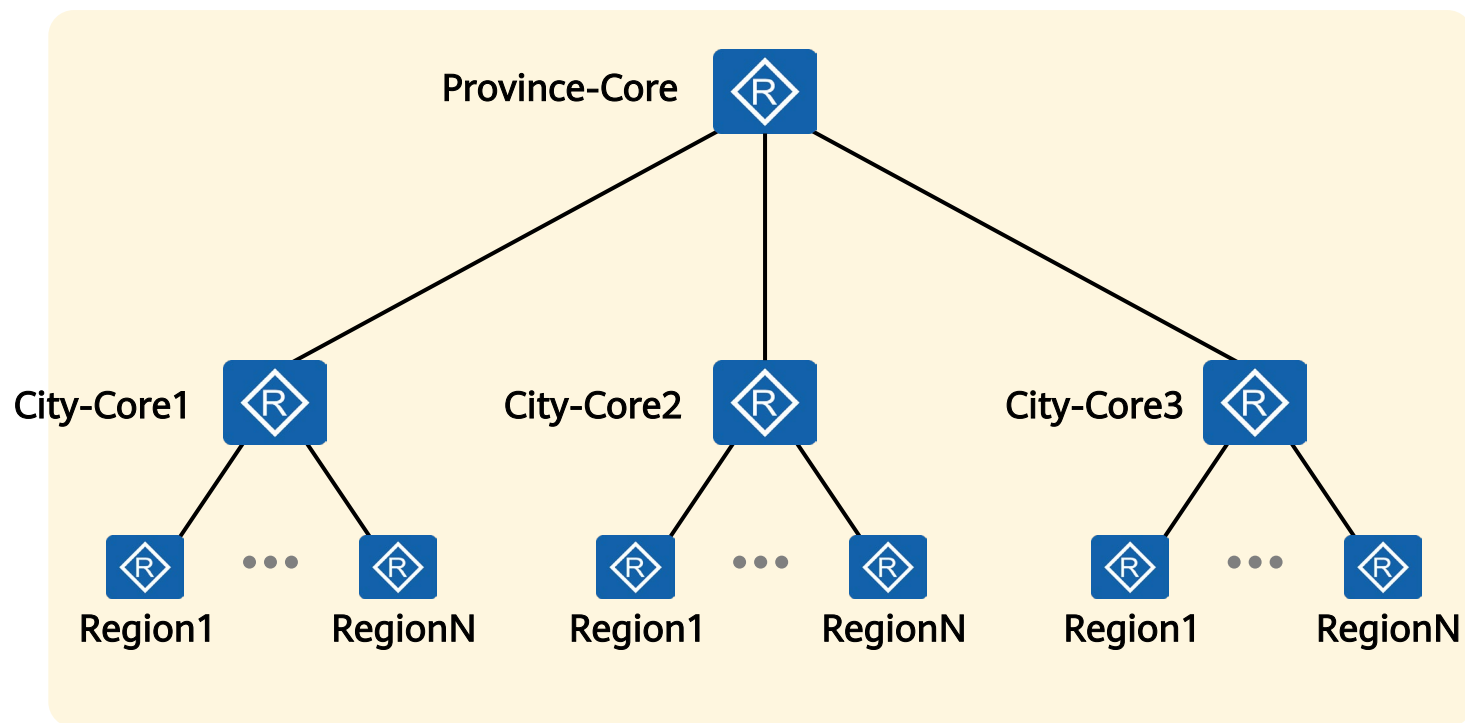


# DR与BDR的选举

1. 优先选择DR优先级（取值范围0~255）最高的作为DR，次高的作为BDR。
2. DR优先级为0的路由器只能成为DR Other；如果优先级相同，则优先选择Router ID较大的路由器成为DR，次大的成为BDR，其余路由器成为DR Other。
3. DR的角色具有不可抢占性。



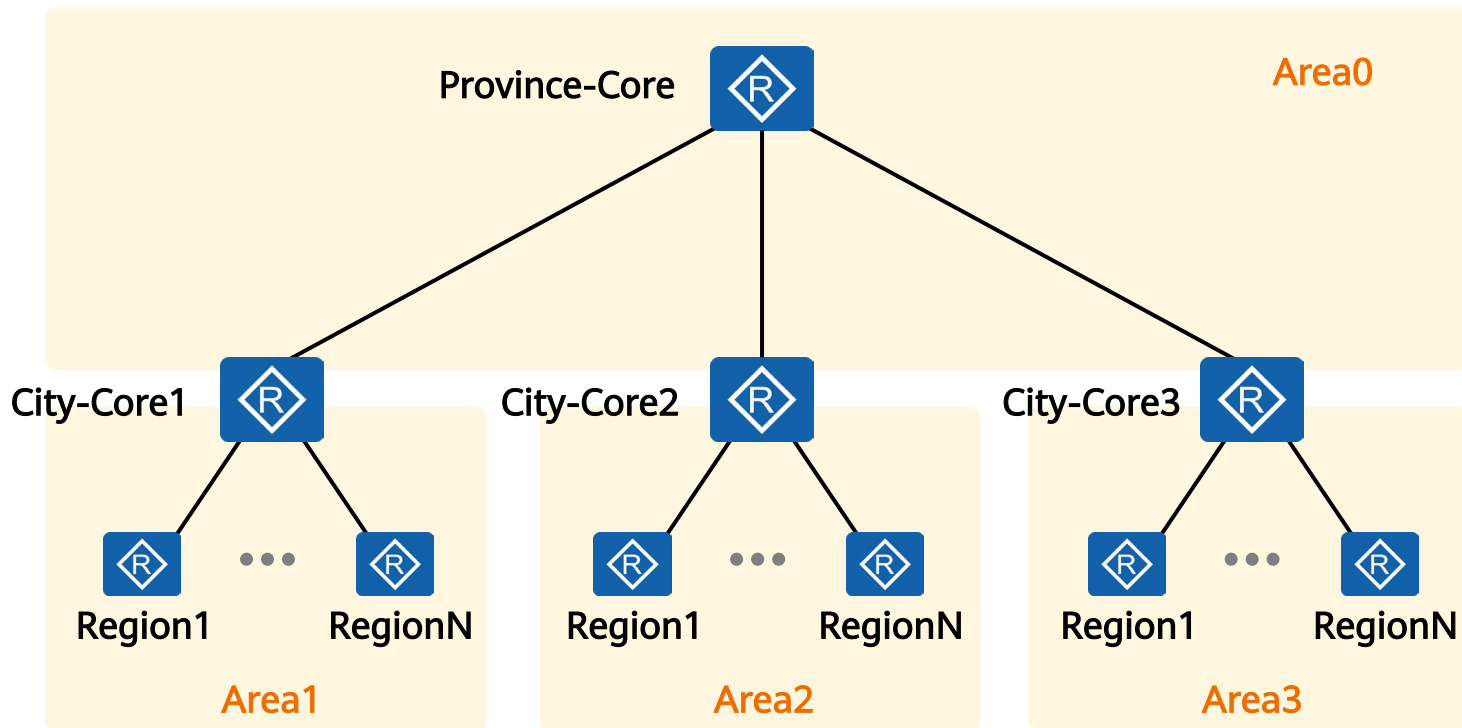
# 如果OSPF中只有一个区域



- 为了保证路由器能够正确地计算出无环 OSPF 路由，要求网络内的路由器同步 LSDB，达到对于网络的一致认知。
- 当网络规模越来越大时，LSDB 将变得非常臃肿，设备负担增加、路由表规模变大了、性能损耗增大。拓扑变更时，变更需被扩散到全网，易引发路由重计算。

# OSPF基础术语：区域

- OSPF引入区域（Area）的概念，将一个OSPF域划分成多个区域，可以使OSPF支撑更大规模组网。
- 区域是从逻辑上将设备划分为不同的组，每个组用区域号（Area ID）来标识。



- 多区域的设计减小了LSA泛洪的范围，有效的把拓扑变化的影响控制在区域内，达到网络优化的目的。
- LSDB的同步只需要在一个区域内完成。每个区域内独立进行SPF计算。
- 在区域边界可以做路由汇总，减小路由表规模。
- 充分利用OSPF特殊区域的特性，进一步减少LSA泛洪，优化路由表。
- 多区域提高了网络的扩展性，有利于组建大规模的网络。

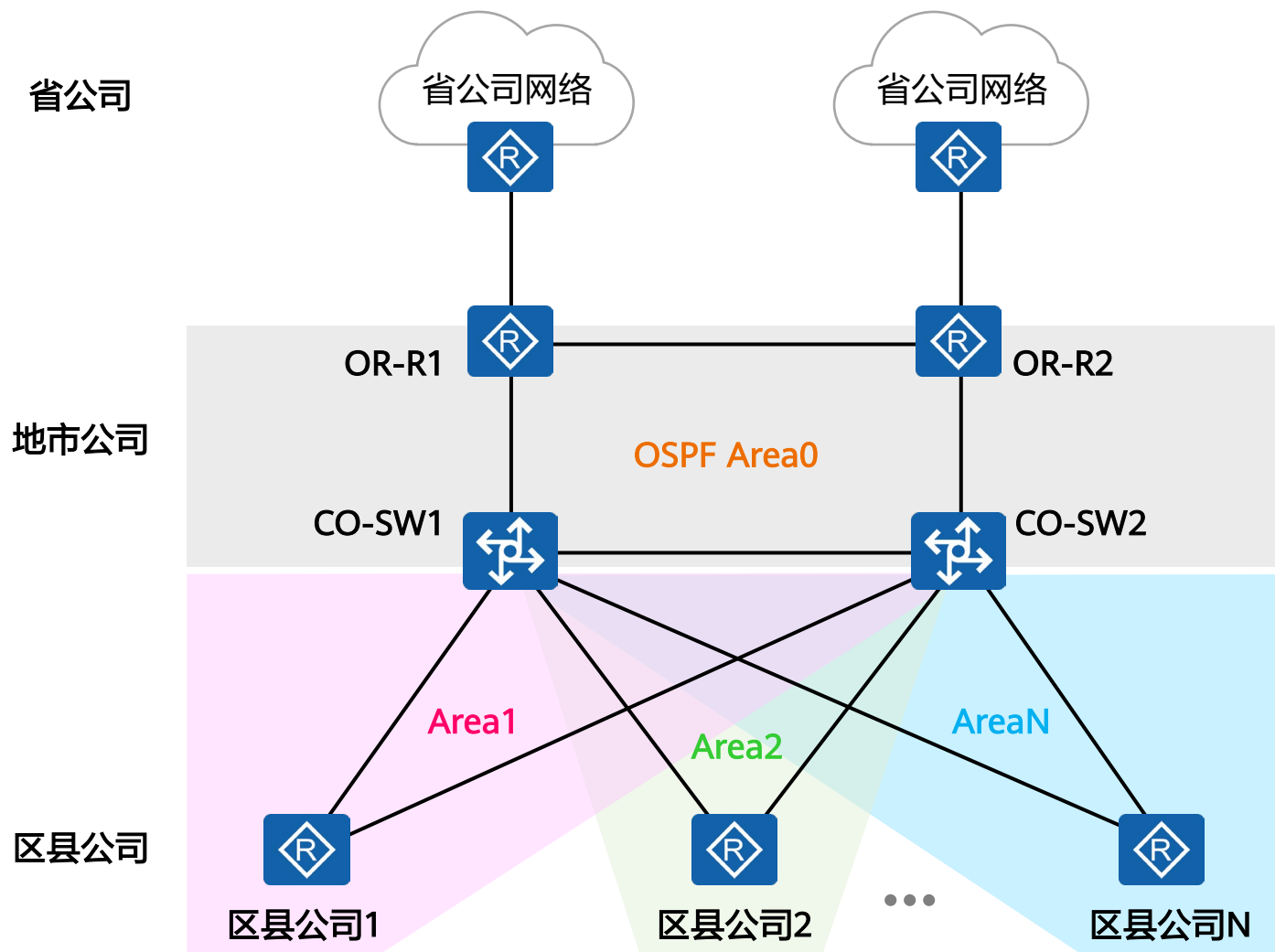
# OSPF基础术语：区域ID

- OSPF的每一个区域都有一个编号，不同的编号表示不同的区域，这个区域编号也被称为区域ID（Area-ID）。
- OSPF的区域ID是一个32bit的非负整数，按点分十进制的形式（与IPv4地址的格式一样）呈现，例如Area0.0.0.1，为了简便起见，我们也会采用十进制的形式来表示。
  - 例：Area0.0.0.1等同于Area1，Area0.0.0.255等同于Area255，Area0.0.1.0等同于Area256。许多网络厂商的设备同时支持这两种区域ID配置及表示方式。

# OSPF多区域的设计使其能够支持更大规模的网络

- 从层次化的角度来看区域被分为两种：骨干区域和非骨干区域。
- 骨干区域的编号为0，非骨干区域的编号从1到4294967295。
- 处于骨干区域和非骨干区域边界的OSPF路由器被称为ABR（区域边界路由器）。
- 实际上OSPF区域的规划也就是把网络中的OSPF路由器归类的过程。在设计OSPF区域时，需要考虑的第一点是网络的规模。对于小型的网络，例如只有几台路由设备作为核心层和汇聚层设备的网络可以考虑仅规划一个骨干区域。但是在大型的OSPF网络中，网络的层次化设计是必须要考虑的。
- 对于大型的OSPF网络，在规划上会遵循核心、汇聚、接入的分层原则，且OSPF骨干路由器的选择一般包含出口路由器和核心交换机。这些设备通常都是高端路由设备，例如华为NE系列高端路由器、华为S系列框式交换机。
- 非骨干区域的设计则是根据地理位置和设备性能而定。如果在单个非骨干区域中使用了较多的低端三层交换产品，由于其产品定位和性能的限制，应该尽量减少其路由条目数量，把区域规划得更小一些或者使用特殊区域。

# OSPF多区域的应用示例



- 网络从逻辑架构上分了三个区块：省公司、地市分公司以及区县公司，其中地市和区县公司的网络运行OSPF协议。
- 整个OSPF网络进行了层次化的设计，地市分公司的核心网络部署在Area0，而每个区县公司被规划在了非0区域，CO-SW1及CO-SW2是地市分公司的两台汇聚设备，用于连接地市分公司及下面的区县公司，这两台设备同时也是ABR。
- 每个区县公司规划了一个独立的区域。

# | 目录

- OSPFv3概述
- OSPFv3工作原理
- **OSPFv3典型配置**
- OSPFv3 LSA详解

# 基础配置命令

- 启动OSPFv3，进入OSPFv3视图：

（系统视图） **ospfv3** [ *process-id* ] [ **vpn-instance** *vpn-instance-name* ]

- *process-id*为OSPF进程ID，进程号只具有本地意义，用于在一台设备上区分不同的OSPF进程。两台直连的设备建立OSPF邻居时，不要求双方的进程ID必须相同。
- 为设备的OSPFv3进程指定Router-ID：

（OSPFv3视图） **router-id** *router-id*

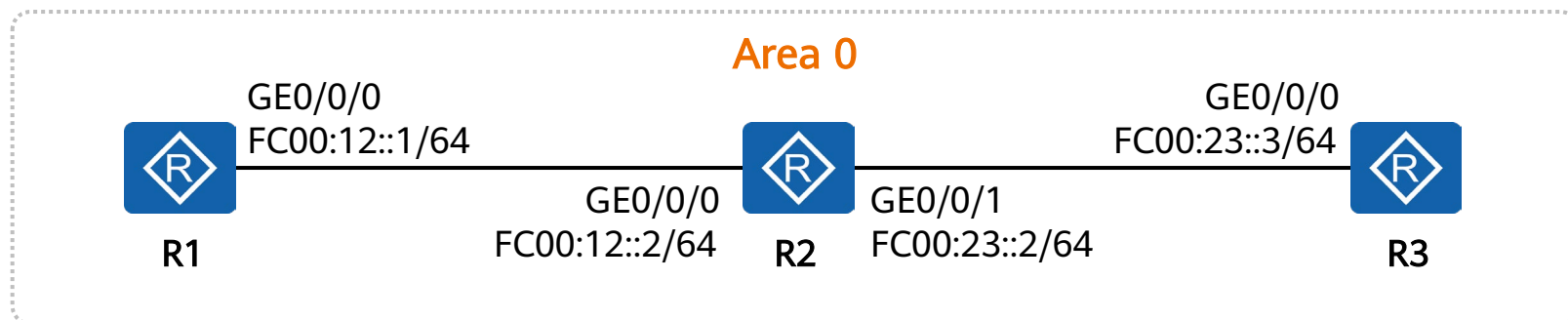
- 自治系统中任意两台Router ID都不能相同，通常的做法是将Router-ID配置为与该设备某个接口的IP地址一致。
- OSPFv3的Router-ID与IPv4地址的格式相同。
- 在接口上使能OSPFv3：

（接口视图） **ospfv3** *process-id* **area** *area-id* [ **instance** *instance-id* ]

- 区域ID可以采用十进制整数或IPv4地址形式输入，但显示时使用IPv4地址形式。
- *Instance-id*为接口所属的实例ID。取值范围是0～255，缺省值是0。



# 案例1：OSPFv3单区域实验



R1的配置如下:

```
ipv6
ospfv3 1
  router-id 1.1.1.1
interface GigabitEthernet0/0/0
  ipv6 enable
  ipv6 address FC00:12::1 64
  ospfv3 1 area 0
```

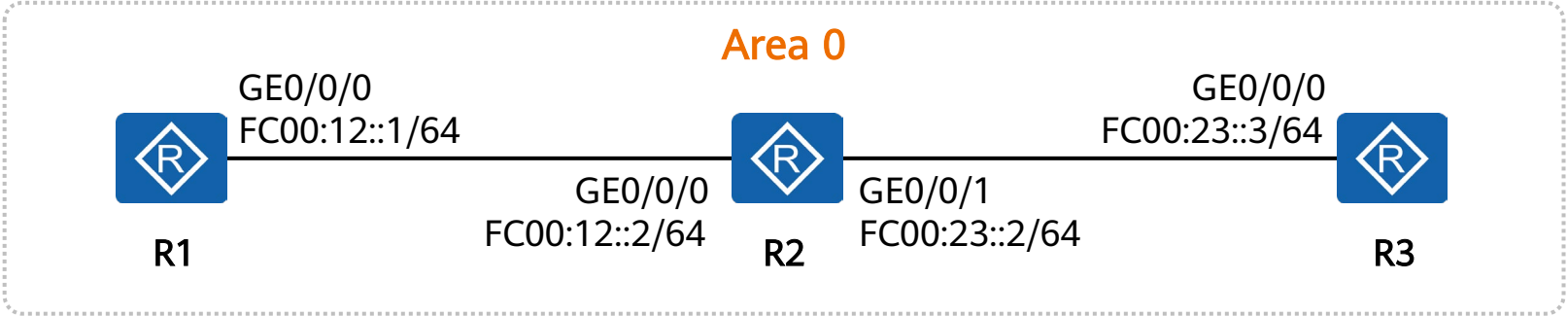
R2的配置如下:

```
ipv6
ospfv3 1
  router-id 2.2.2.2
interface GigabitEthernet0/0/0
  ipv6 enable
  ipv6 address FC00:12::2 64
  ospfv3 1 area 0
interface GigabitEthernet0/0/1
  ipv6 enable
  ipv6 address FC00:23::2 64
  ospfv3 1 area 0
```

R3的配置如下:

```
ipv6
ospfv3 1
  router-id 3.3.3.3
interface GigabitEthernet0/0/0
  ipv6 enable
  ipv6 address FC00:23::3 64
  ospfv3 1 area 0
```

# 案例1：OSPFv3单区域实验



查看R1的OSPFv3邻居表：

[R1] display ospfv3 peer  
OSPFv3 Process (1)  
OSPFv3 Area (0.0.0.0)

Neighbor ID	Pri	State	Dead Time	Interface	Instance ID
2.2.2.2	1	Full/DR	00:00:38	GE0/0/0	0

当不指定时，默认值为0。  
两台设备的直连接口的实例ID需相同，否则无法建立OSPFv3邻接关系

# 案例1：OSPFv3单区域实验

查看R1的IPv6路由表中的OSPFv3路由：

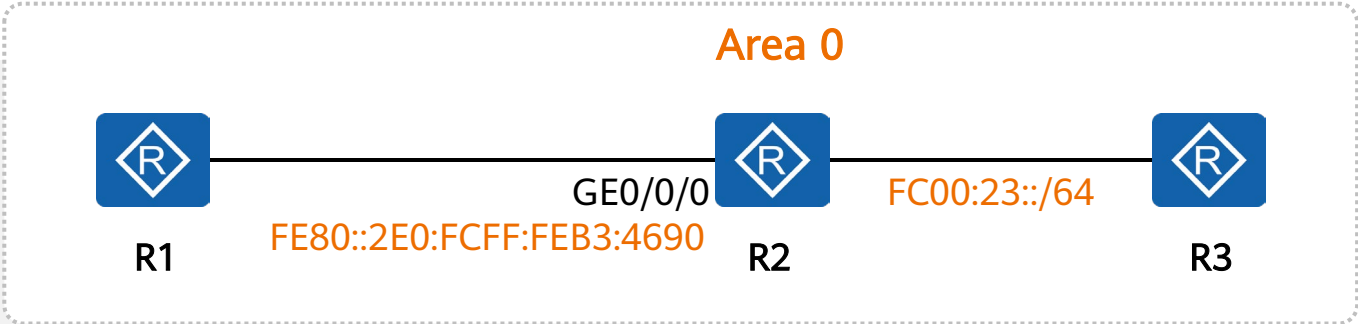
<R1> display ipv6 routing-table protocol ospfv3  
Public Routing Table : OSPFv3  
Summary Count : 2

OSPFv3 Routing Table's Status : < Active >  
Summary Count : 1

Destination	: FC00:23::
NextHop	: FE80::2E0:FCFF:FEB3:4690
Cost	: 2
RelayNextHop	: ::
Interface	: GigabitEthernet0/0/0

OSPFv3 Routing Table's Status : < Inactive >  
Summary Count : 1

Destination	: FC00:12::
NextHop	: ::
Cost	: 1
RelayNextHop	: ::
Interface	: GigabitEthernet0/0/0



在OSPFv3中，路由的下一跳地址为链路本地地址

# 案例1：OSPFv3单区域实验

在R1上查看OSPFv3接口信息：

```
<R1> display ospfv3 interface
```

GigabitEthernet0/0/0 is up, line protocol is up

**Interface ID 0x3**

Interface MTU 1500

IPv6 Prefixes

FE80::2E0:FCFF:FE31:2796 (Link-Local Address)

FC00:12::1/64

OSPFv3 Process (1), Area 0.0.0.0, **Instance ID 0**

**Router ID 1.1.1.1, Network Type BROADCAST, Cost: 1**

Transmit Delay is 1 sec, State Backup, Priority 1

Designated Router (ID) 2.2.2.2

Interface Address FE80::2E0:FCFF:FEB3:4690

Backup Designated Router (ID) 1.1.1.1

Interface Address FE80::2E0:FCFF:FE31:2796

Timer interval configured, Hello 10, Dead 40, Wait 40, Retransmit 5

Hello due in 00:00:05

Neighbor Count is 1, Adjacent neighbor count is 1

Interface Event 3, Lsa Count 2, Lsa Checksum 0x1194f

Interface Physical BandwidthHigh 0, BandwidthLow 1000000000

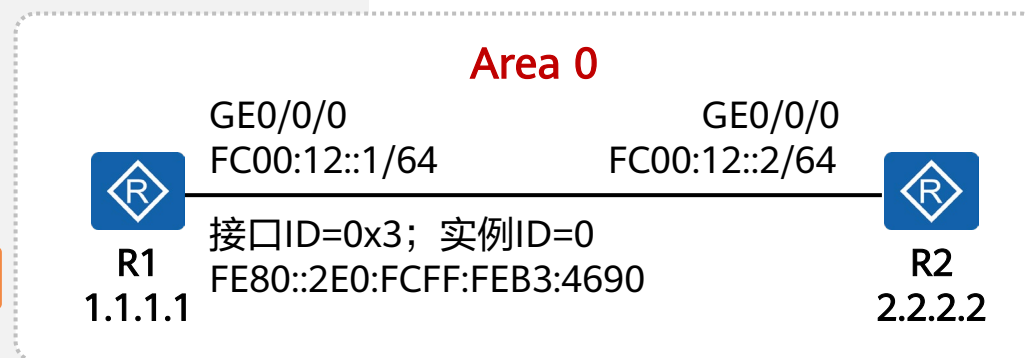
接口ID由R1分配，用于在自己的本地接口之间唯一的标识一个接口

Router-ID (与IPv4地址格式相同)

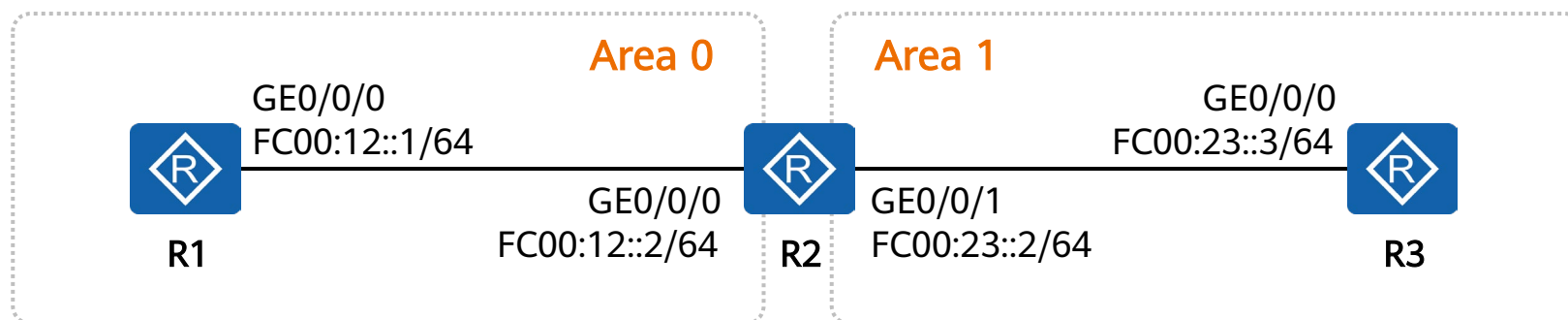
实例ID

Cost

网络类型



## 案例2：OSPFv3多区域实验



R1的配置如下:

```
ipv6
ospfv3 1
  router-id 1.1.1.1
interface GigabitEthernet0/0/0
  ipv6 enable
  ipv6 address FC00:12::1 64
  ospfv3 1 area 0.0.0.0
```

R2的配置如下:

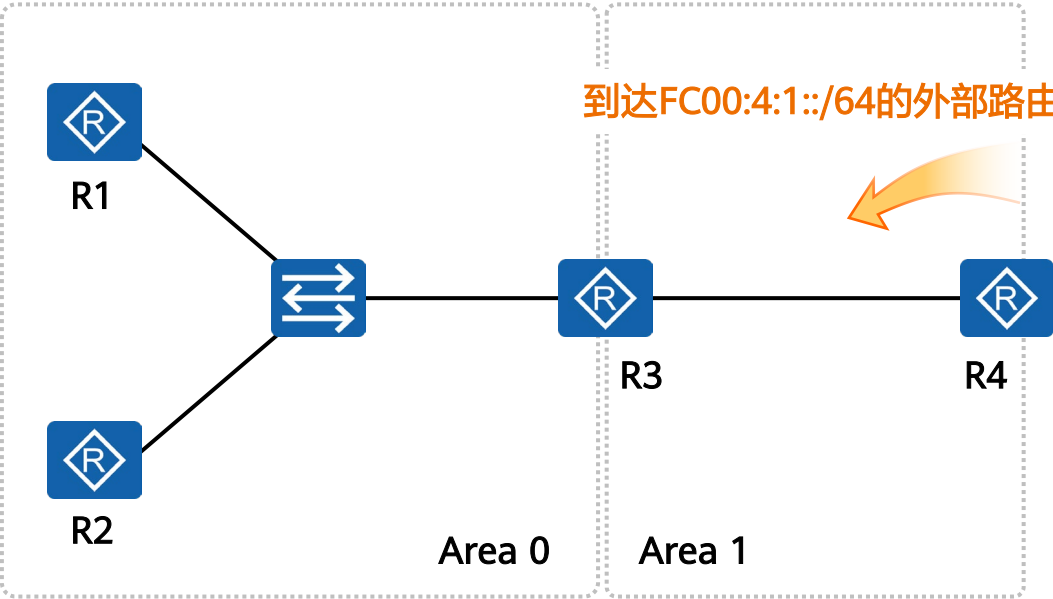
```
ipv6
ospfv3 1
  router-id 2.2.2.2
interface GigabitEthernet0/0/0
  ipv6 enable
  ipv6 address FC00:12::2 64
  ospfv3 1 area 0.0.0.0
interface GigabitEthernet0/0/1
  ipv6 enable
  ipv6 address FC00:23::2 64
  ospfv3 1 area 0.0.0.1
```

等同于area 1

R3的配置如下:

```
ipv6
ospfv3 1
  router-id 3.3.3.3
interface GigabitEthernet0/0/0
  ipv6 enable
  ipv6 address FC00:23::3 64
  ospfv3 1 area 0.0.0.1
```

# 案例3：路由重分发



- 在R4上将静态路由FC00:4:1::/64引入OSPFv3。

R4的关键配置如下：

```
[R4] ospfv3 1
[R4-ospfv3-1] router-id 4.4.4.4
[R4-ospfv3-1] import-route static cost 10 type 2
```

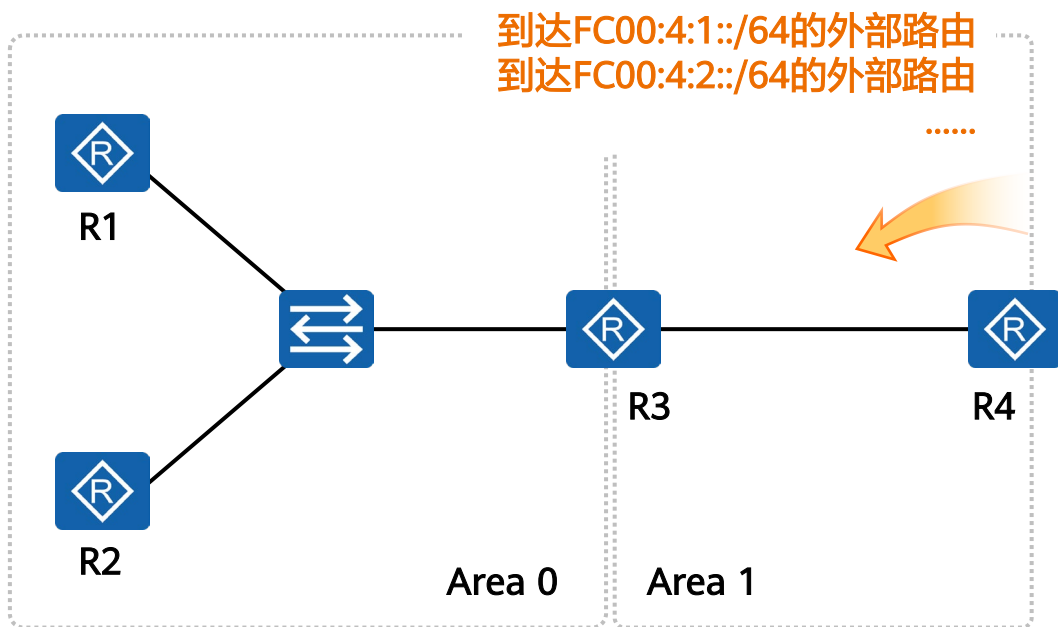
在R1上查看路由：

```
[R1] display ipv6 routing-table protocol ospfv3
Public Routing Table : OSPFv3
Summary Count : 3

OSPFv3 Routing Table's Status : < Active >
Summary Count : 1

Destination      : FC00:4:1::
NextHop           : FE80::3
Cost              : 10
RelayNextHop      : ::
Interface         : GigabitEthernet0/0/0
PrefixLength      : 64
Preference        : 150
Protocol          : OSPFv3ASE
TunnelID          : 0x0
Flags             : D
.....
```

## 案例4：在ASBR上执行路由汇总



- R4引入了大量有规律的静态路由到OSPFv3。
- 为了减小OSPFv3域内设备的路由表规模，在R4上部署路由汇总，将这些有规律的路由汇总成FC00:4::/32。

R4的关键配置如下：

```
[R4] ospfv3 1
[R4-ospfv3-1] router-id 4.4.4.4
[R4-ospfv3-1] import-route static
[R4-ospfv3-1] asbr-summary FC00:4:: 32
```

在R1上查看路由：

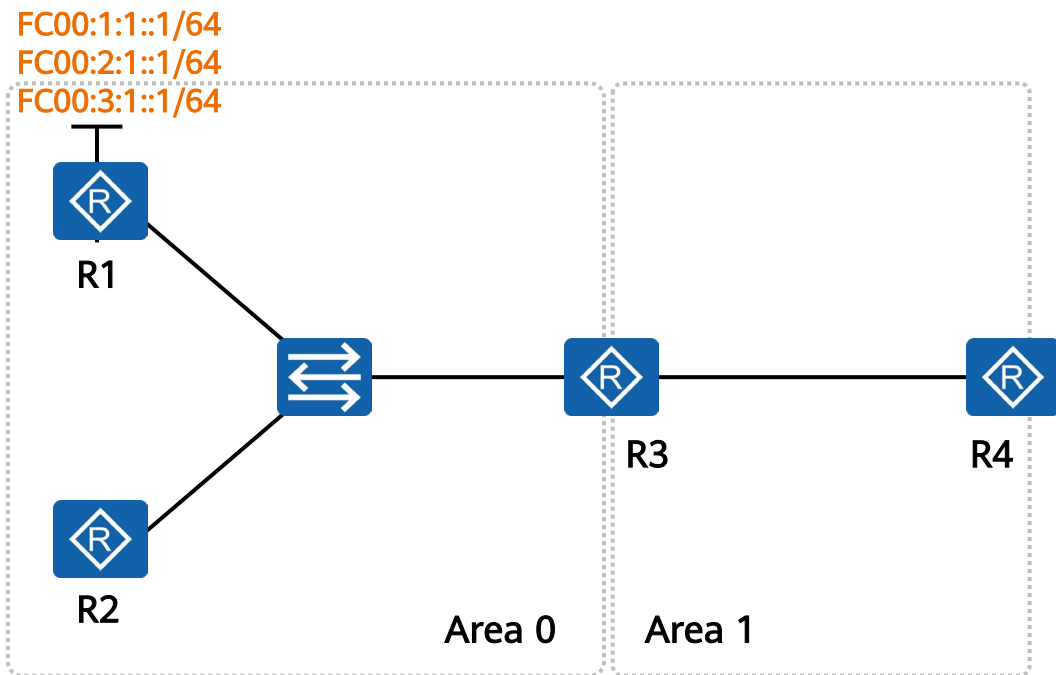
```
[R1] display ipv6 routing-table protocol ospfv3
Public Routing Table : OSPFv3
Summary Count : 3
```

```
OSPFv3 Routing Table's Status : < Active >
Summary Count : 1
```

Destination	: FC00:4::	PrefixLength	: 32
NextHop	: FE80::3	Preference	: 150
Cost	: 11	Protocol	: OSPFv3ASE
RelayNextHop	: ::	TunnelID	: 0x0
Interface	: Serial1/0/0	Flags	: D

.....

# 案例5：在ABR上执行路由汇总



- R1将如图所示的直连网段路由发布到OSPFv3（通过将相关直连接口激活OSPFv3）。
- 为了减小R4的路由表规模，在ABR R3上执行路由汇总，将这些路由汇总为FC00:1::/32，并将汇总路由的cost设置为100。

R3的关键配置如下：

```
[R3] ospfv3 1
[R3-ospfv3-1] router-id 3.3.3.3
[R3-ospfv3-1] area 0
[R3-ospfv3-1-area-0.0.0.0] abr-summary FC00:1:: 32 cost 100
```

在R4上查看路由：

```
<R4> display ipv6 routing-table protocol ospfv3
Public Routing Table : OSPFv3
Summary Count : 3
```

```
OSPFv3 Routing Table's Status : < Active >
Summary Count : 2
```

Destination	: FC00:1::	PrefixLength	: 32
NextHop	: FE80::3	Preference	: 10
Cost	: 148	Protocol	: OSPFv3
RelayNextHop	: ::	TunnelID	: 0x0
Interface	: Serial1/0/0	Flags	: D

.....



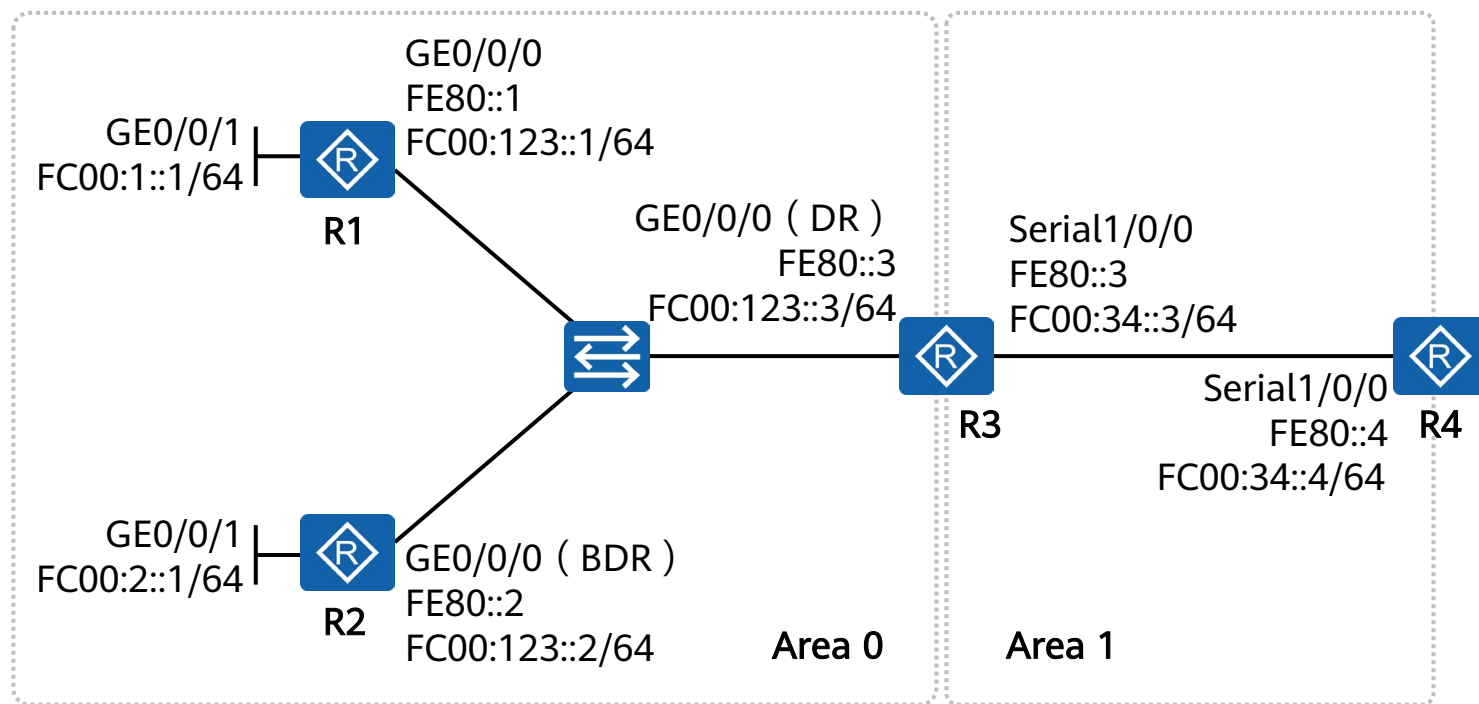
# | 目录

- OSPFv3概述
- OSPFv3工作原理
- OSPFv3典型配置
- **OSPFv3 LSA详解**

# OSPFv3 LSA概述

LSA类型	LSA作用
Router-LSA ( Type1 )	设备会为每个运行OSPFv3接口所在的区域产生一个LSA，描述了设备的链路状态和开销，在所属的区域内传播。
Network-LSA ( Type2 )	由DR产生，描述本链路的链路状态，在所属的区域内传播。
Inter-Area-Prefix-LSA ( Type3 )	由ABR产生，描述区域内某个网段的路由，并通告给其他相关区域。
Inter-Area-Router-LSA ( Type4 )	由ABR产生，描述到ASBR的路由，通告给除ASBR所在区域的其他相关区域。
AS-external-LSA ( Type5 )	由ASBR产生，描述到AS外部的路由，通告到所有的区域（除了Stub区域和NSSA区域）。
NSSA LSA ( Type7 )	由ASBR产生，描述到AS外部的路由，仅在NSSA区域内传播。
Link-LSA ( Type8 )	每个设备都会为每个链路产生一个Link-LSA，描述到此Link上的link-local地址、IPv6前缀地址，并提供将会在Network-LSA中设置的链路选项，它仅在此链路内传播。
Intra-Area-Prefix-LSA ( Type9 )	<p>每个设备及DR都会产生一个或多个此类LSA，在所属的区域内传播。</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• 设备产生的此类LSA，描述与Router-LSA相关联的IPv6前缀地址。</li><li>• DR产生的此类LSA，描述与Network-LSA相关联的IPv6前缀地址。</li></ul>

# 通过一个简单的环境，端到端地理解OSPFv3 LSA



- 所有设备的Router-ID均为x.x.x.x，其中x为设备编号。

# 在R1上查看OSPFv3 LSDB

<R1> display ospfv3 lsdb

OSPFv3 Router with ID (1.1.1.1) (Process 1)

Link-LSA (Interface GigabitEthernet0/0/0)

Link State ID	Origin Router	Age	Seq#	CkSum	Prefix
0.0.0.3	1.1.1.1	0545	0x80000001	0x100d	1
0.0.0.3	2.2.2.2	0708	0x80000001	0x0810	1
0.0.0.3	3.3.3.3	0620	0x80000002	0xfa18	1

Link-LSA (Interface GigabitEthernet0/0/1)

Link State ID	Origin Router	Age	Seq#	CkSum	Prefix
0.0.0.4	1.1.1.1	0545	0x80000001	0x517d	1

Router-LSA (Area 0.0.0.0)

Link State ID	Origin Router	Age	Seq#	CkSum	Link
0.0.0.0	1.1.1.1	0429	0x8000000e	0x8576	1
0.0.0.0	2.2.2.2	0424	0x8000000e	0x6790	1
0.0.0.0	3.3.3.3	0425	0x8000000b	0x52a3	1

Network-LSA (Area 0.0.0.0)

Link State ID	Origin Router	Age	Seq#	CkSum
0.0.0.3	3.3.3.3	0425	0x80000002	0xda22

Inter-Area-Prefix-LSA (Area 0.0.0.0)

Link State ID	Origin Router	Age	Seq#	CkSum
0.0.0.1	3.3.3.3	0577	0x80000001	0x0a5b

Intra-Area-Prefix-LSA (Area 0.0.0.0)

Link State ID	Origin Router	Age	Seq#	CkSum	Prefix	Reference
0.0.0.1	1.1.1.1	0429	0x8000000d	0x7f0f	1	Router-LSA
0.0.0.1	2.2.2.2	0419	0x80000008	0x3732	1	Router-LSA
0.0.0.1	3.3.3.3	0425	0x80000002	0x6af9	1	Network-LSA

8类LSA  
( Link LSA )

1类LSA  
( Router LSA )

2类LSA  
( Network LSA )

3类LSA  
( Inter-Area-Prefix LSA )

9类LSA  
( Intra-Area-Prefix LSA )

# 1类LSA（ Router-LSA ）

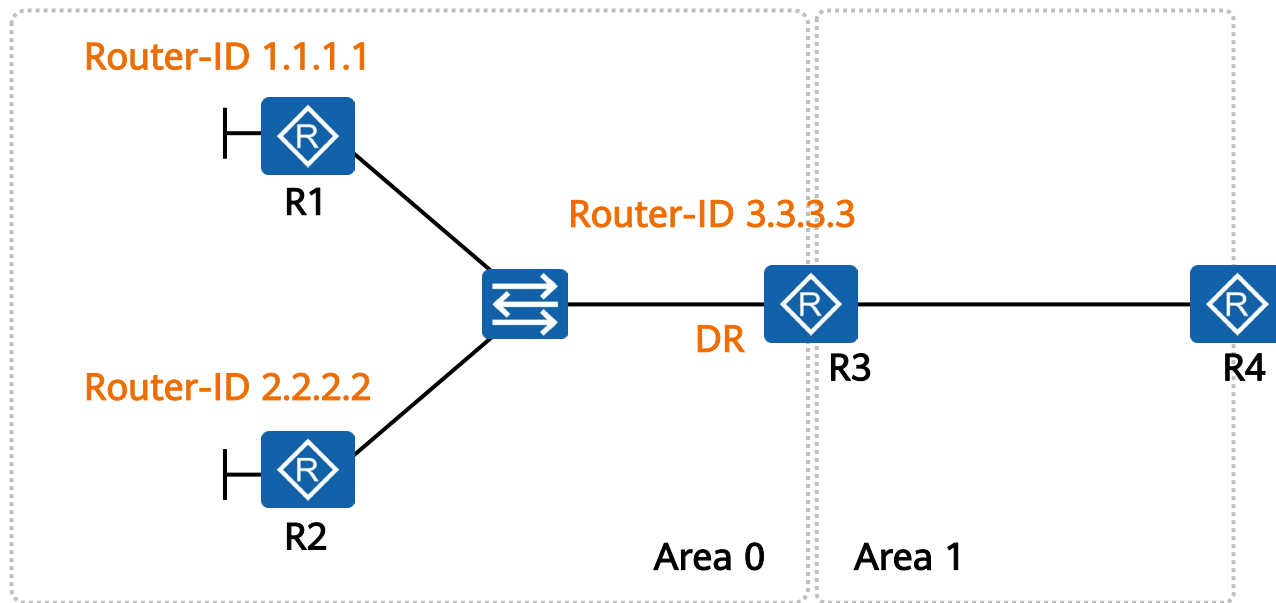
- 每台路由器都会产生1类LSA，而且在一个区域内只会产生一个1类LSA。
- 1类LSA主要用于描述路由器的直连接口状况（ 接口ID、接口所连接的邻接的信息、接口Cost值等 ）。
- 1类LSA在始发区域内泛洪。

1类LSA的报文格式

000	N	T	W	V	E	B	可选项（ 24bit ）									
类型（ 8bit ）							00000000				度量值（ 16bit ）					
接口ID（ 32bit ）																
邻居的接口ID（ 32bit ）																
邻居的Router-ID（ 32bit ）																
.....																

类型	说明	邻居的接口ID	邻居的Router-ID
1	P2P连接至另一台路由器	邻居的接口ID	邻居的Router-ID
2	连接到传输网络	DR的接口ID	DR的Router-ID
3	保留	-	-
4	Virtual-Link	邻居的Virtual-Link接口ID	邻居的Router-ID

# 1类LSA ( Router-LSA )



- Link State ID没有特殊意义，只用于体现LSA的唯一性。
- 1类LSA中只体现OSPFv3的拓扑信息（本地接口ID、邻居Router-ID、邻居的接口ID），并不包含任何关于IPv6地址前缀的信息。

```
<R1> display ospfv3 lsdb router
```

OSPFv3 Router with ID (1.1.1.1) (Process 1)

Router-LSA (Area 0.0.0.0)

LS Age: 247

LS Type: Router-LSA

Link State ID: 0.0.0.0

Originating Router: 1.1.1.1

LS Seq Number: 0x8000000E

Retransmit Count: 0

Checksum: 0x8576

Length: 40

Flags: 0x00 (-|-|-|-|-)

Options: 0x000013 (-|R|-|-|E|V6)

Link connected to: a Transit Network

Metric: 1

Interface ID: 0x3

Neighbor Interface ID: 0x3

Neighbor Router ID: 3.3.3.3

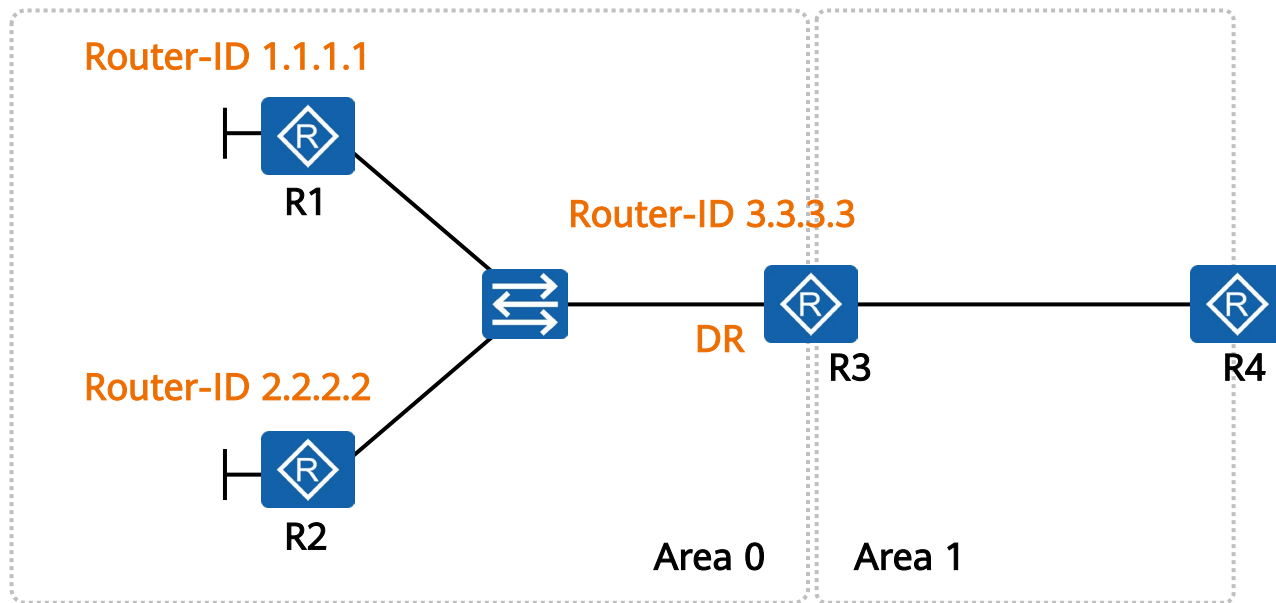
## 2类LSA ( Network LSA )

- 由DR产生，描述在对应的多路访问网络中与该DR形成全毗邻关系的设备的Router-ID。
- 2类LSA仅在始发区域内泛洪。
- OSPFv3的2类LSA中并不包含网络掩码信息。

2类LSA的报文格式

0000 0000	可选项 ( 24bit )
相连的路由器	
.....	

## 2类LSA ( Network LSA )



R3作为DR，它在Area0内产生2类LSA，并且描述所有与之建立全毗邻（Full）邻接关系的邻居（以及它自己）。

```
<R1> display ospfv3 lsdb network
```

OSPFv3 Router with ID (1.1.1.1) (Process 1)

Network-LSA (Area 0.0.0.0)

LS Age: 1564

LS Type: Network-LSA

Link State ID: 0.0.0.3

Originating Router: 3.3.3.3

LS Seq Number: 0x80000002

Retransmit Count: 0

Checksum: 0xDA22

Length: 36

Options: 0x000013 (-|R|-|-|E|V6)

Attached Router: 3.3.3.3

Attached Router: 1.1.1.1

Attached Router: 2.2.2.2



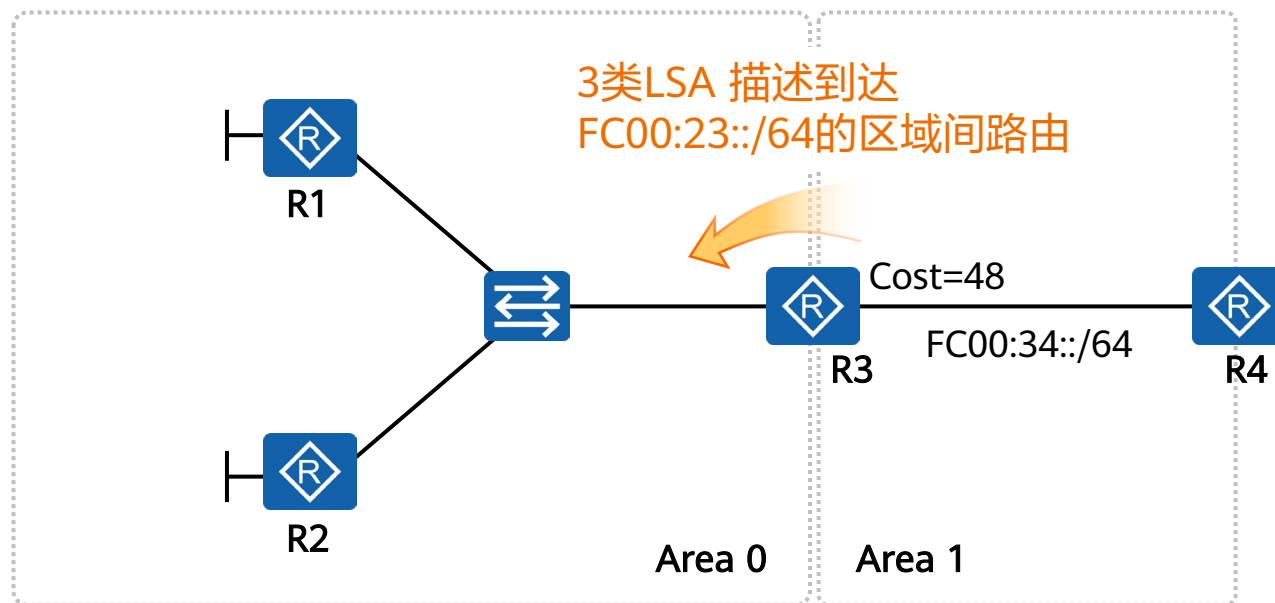
## 3类LSA（ Inter-Area-Prefix-LSA ）

- 3类LSA由ABR产生，用于向某个区域通告到达其他区域的路由信息，该LSA只在注入的区域内泛洪。
- 每个3类LSA包含一个IPv6地址前缀，并且该地址不为IPv6链路本地地址前缀。

3类LSA的报文格式

0000 0000	度量值（ 24bit ）	
前缀长度（ 8bit ）	前缀可选项 （ 8bit ）	0000 0000 0000 0000
地址前缀		

# 3类LSA ( Inter-Area-Prefix-LSA )



- Link State ID没有特殊意义，只用于体现LSA的唯一性。

```
<R1> display ospfv3 lsdb inter-prefix
```

OSPFv3 Router with ID (1.1.1.1) (Process 1)

Inter-Area-Prefix-LSA (Area 0.0.0.0)

LS Age: 214

LS Type: Inter-Area-Prefix-LSA

Link State ID: 0.0.0.1

Originating Router: 3.3.3.3

LS Seq Number: 0x80000003

Retransmit Count: 0

Checksum: 0xEB9A

Length: 36

Metric: 48

Prefix: FC00:34::/64

Prefix Options: 0 (-|-|-|-)

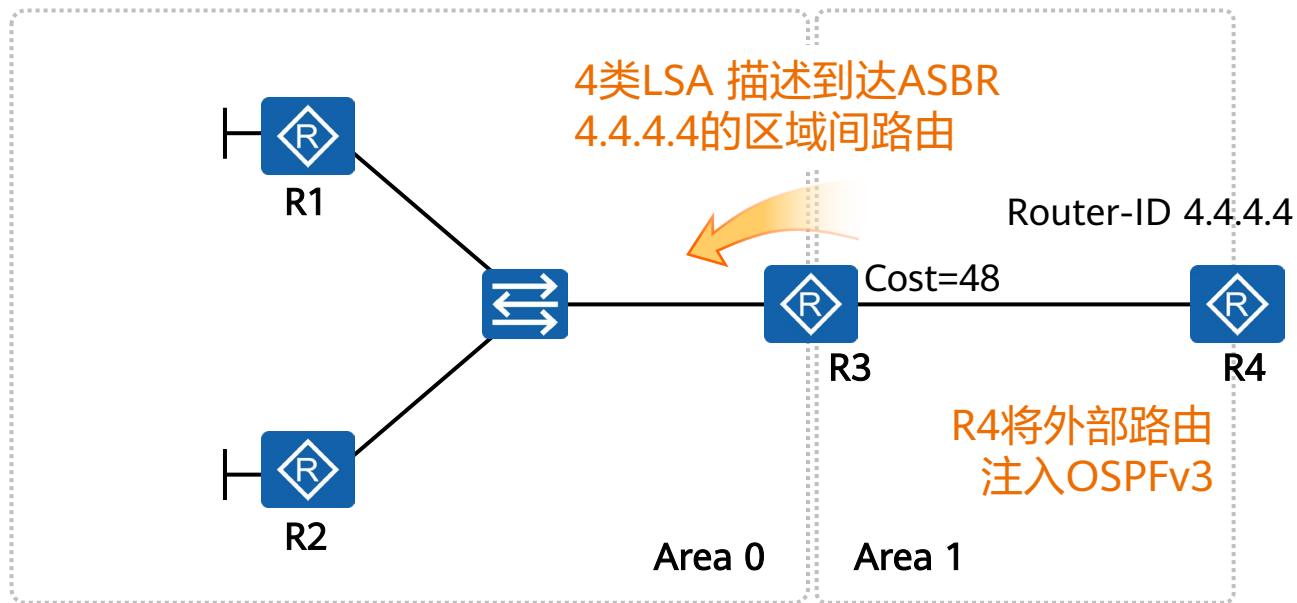
# 4类LSA ( Inter-Area-Router-LSA )

- 由ABR产生，用于向某个区域通告到达位于其他区域的ASBR的路由，并且只在该区域内泛洪。

4类LSA的报文格式

0000 0000	可选项 ( 24bit )
0000 0000	度量值 ( 24bit )
ASBR的Router-ID	

# 4类LSA ( Inter-Area-Router-LSA )



- R4将外部路由注入OSPFv3，从而让自己成为一台ASBR。
- R3作为ABR，会向Area 0注入4类LSA，描述到达ASBR R4的路由。

```
<R1> display ospfv3 lsdb inter-router
```

OSPFv3 Router with ID (1.1.1.1) (Process 1)

Inter-Area-Router-LSA (Area 0.0.0.0)

LS Age: 3

LS Type: Inter-Area-Router-LSA

Link State ID: 4.4.4.4

Originating Router: 3.3.3.3

LS Seq Number: 0x80000001

Retransmit Count: 0

Checksum: 0xAB1F

Length: 32

Options: 0x000013 (-|R|-|-|E|V6)

Metric: 48

Destination Router ID: 4.4.4.4

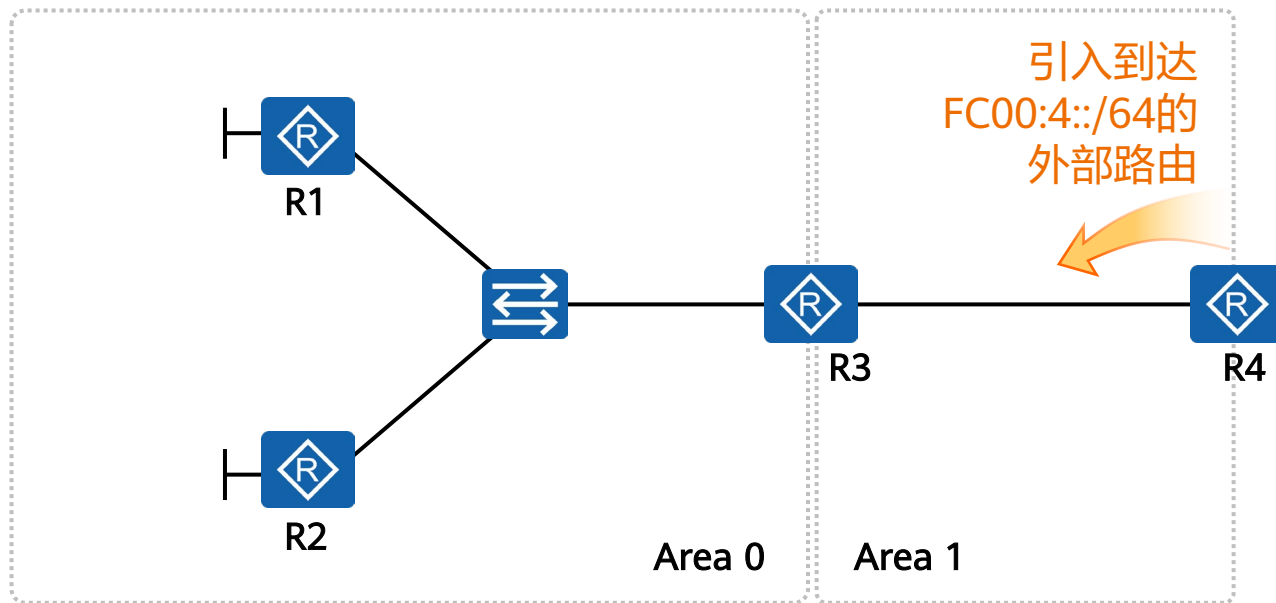
# 5类LSA ( AS-External-LSA )

- 5类LSA由ASBR产生，用于描述到达AS外部的路由。
- 5类LSA将在整个OSPF域内泛洪。

5类LSA的报文格式

	E	F	T	度量值（ 24bit ）	
前缀长度（ 8bit ）			前缀可选项 （ 8bit ）	Referenced LS类型 （ 24bit ）	
地址前缀					
转发地址（ 可选 ）					
外部路由Tag（ 可选 ）					
Referenced LS ID（ 可选 ）					

# 5类LSA ( AS-External-LSA )



- R4将外部路由注入OSPFv3，从而让自己成为一台ASBR。
- 5类LSA将用于描述外部路由FC00:4::/64并在整个OSPFv3域内泛洪。

```
<R1> display ospfv3 lsdb external
```

OSPFv3 Router with ID (1.1.1.1) (Process 1)

AS-External-LSA

LS Age: 251

LS Type: AS-External-LSA

Link State ID: 0.0.0.1

Originating Router: 4.4.4.4

LS Seq Number: 0x80000001

Retransmit Count: 0

Checksum: 0x4374

Length: 40

Flags: (E)-(T)

Metric Type: 2 (Larger than any link state path)

Metric: 1

Prefix: FC00:4::/64

Prefix Options: 0 (-|-|-|-)

Tag: 1



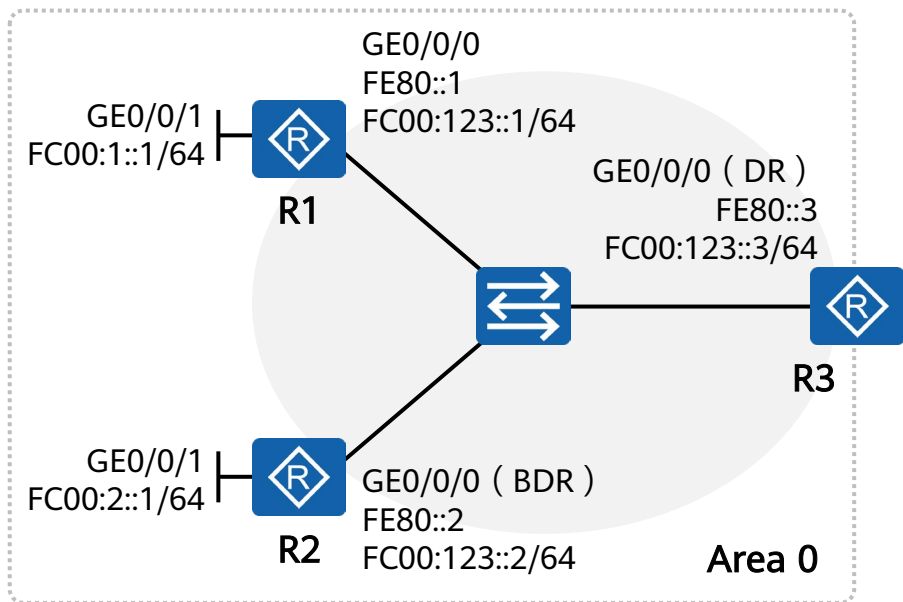
# 8类LSA ( Link LSA )

- 设备为每个直连的链路都会产生一个Link LSA。Link LSA的主要作用如下：
  - 向对应链路上的邻居通告本接口的链路本地地址。该地址将作为邻居到达本地的下一跳地址。
  - 向对应链路上的邻居通告本接口的所有IPv6前缀。
- Link LSA只在始发链路范围内泛洪。

8类LSA的报文格式

路由器优先级 (8bit)		可选项 ( 24bit )	
链路本地地址 ( 128bit )			
前缀数量 ( 32bit )			
前缀长度 ( 8bit )	前缀可选项 ( 8bit )	0000 0000 0000 0000	
地址前缀 ( 128bit )			
.....			

# 8类LSA ( Link LSA )



本页显示的是站在R1的角度，在GE0/0/0接口所直连的链路中发送和接收的8类LSA。

<R1> display ospfv3 lsdb link

OSPFv3 Router with ID (1.1.1.1) (Process 1)

**Link-LSA (Interface GigabitEthernet0/0/0)**

LS Age: 915  
LS Type: Link-LSA  
Link State ID: 0.0.0.3  
Originating Router: 1.1.1.1  
LS Seq Number: 0x80000005  
Retransmit Count: 0  
Checksum: 0x0F2D  
Length: 56  
Priority: 1  
Options: 0x000013 (-|R|-|E|V6)  
**Link-Local Address: FE80::1**  
Number of Prefixes: 1

**Prefix: FC00:123::/64**  
Prefix Options: 0 (-|-|-|-|-)

接右边

LS Age: 822  
LS Type: Link-LSA  
Link State ID: 0.0.0.3  
Originating Router: 2.2.2.2  
LS Seq Number: 0x80000005  
Retransmit Count: 0  
Checksum: 0x0730  
Length: 56  
Priority: 1  
Options: 0x000013 (-|R|-|E|V6)  
**Link-Local Address: FE80::2**  
Number of Prefixes: 1

**Prefix: FC00:123::/64**  
Prefix Options: 0 (-|-|-|-|-)

LS Age: 823  
LS Type: Link-LSA  
Link State ID: 0.0.0.3  
Originating Router: 3.3.3.3  
LS Seq Number: 0x80000005  
Retransmit Count: 0  
Checksum: 0xFB37  
Length: 56  
Priority: 255  
Options: 0x000013 (-|R|-|E|V6)  
**Link-Local Address: FE80::3**  
Number of Prefixes: 1

**Prefix: FC00:123::/64**  
Prefix Options: 0 (-|-|-|-|-)



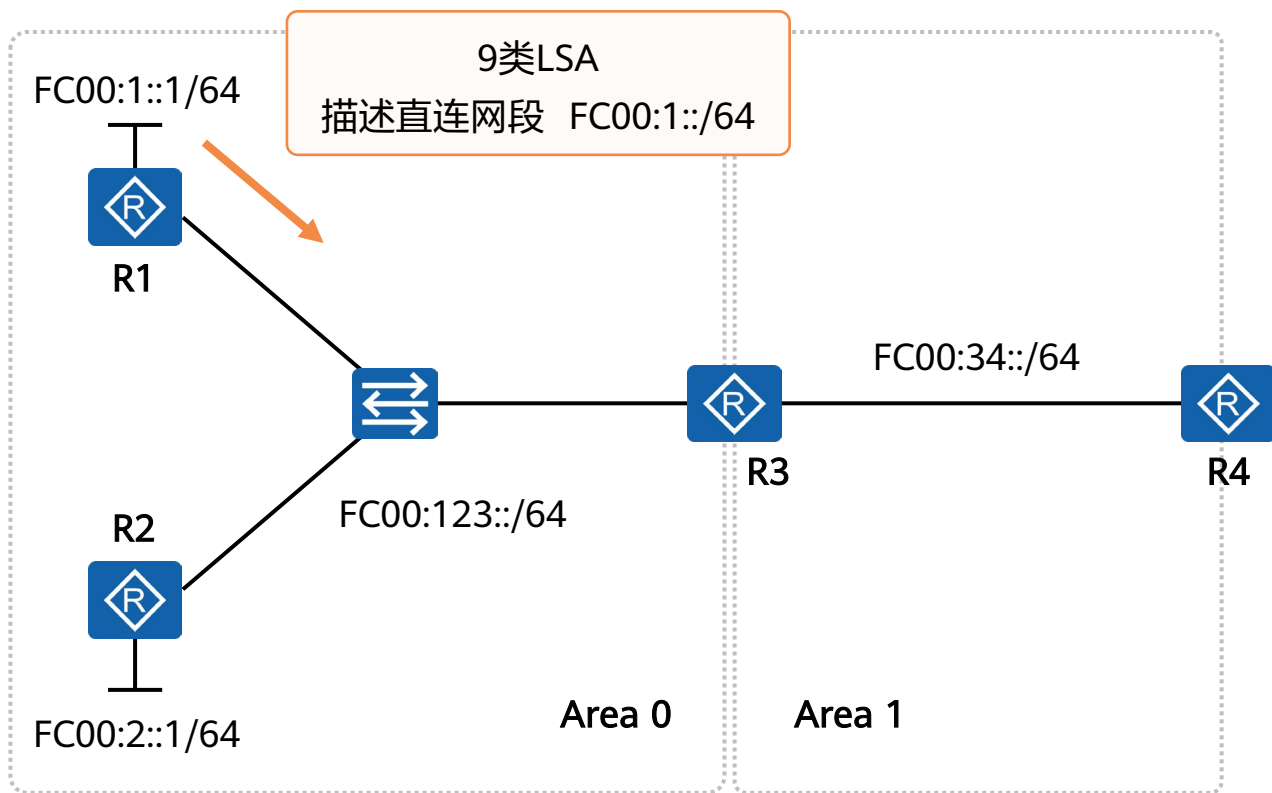
# 9类LSA（ Intra-Area-Prefix-LSA ）

- 在OSPFv3中，1类、2类LSA仅仅包含拓扑信息，并不包含网段信息。
- 每个设备及DR都会产生一个或多个9类LSA，在所属的区域内传播。
  - 设备产生的此类LSA，描述与Router-LSA相关联的IPv6前缀地址。
  - DR产生的此类LSA，描述与Network-LSA相关联的IPv6前缀地址。

9类LSA的报文格式

前缀数量（ 16bit ）		Referenced LS类型（ 16bit ）
Referenced LS ID（ 32bit ）		
Referenced 通告路由器（ 32bit ）		
前缀长度（ 8bit ）	前缀可选项 （ 8bit ）	度量值（ 16bit ）
地址前缀（ 128bit ）		

# 9类LSA ( Intra-Area-Prefix-LSA )



R1在Area 0内泛洪9类LSA，描述与Router-LSA相关联的IPv6前缀地址。

```
<R1> display ospfv3 lsd self-originate intra-prefix
```

OSPFv3 Router with ID (1.1.1.1) (Process 1)

Intra-Area-Prefix-LSA (Area 0.0.0.0)

LS Age: 187

LS Type: Intra-Area-Prefix-LSA

Link State ID: 0.0.0.1

Originating Router: 1.1.1.1

LS Seq Number: 0x8000000E

Retransmit Count: 0

Checksum: 0xC0F0

Length: 44

Number of Prefixes: 1

Referenced LS Type: 0x2001

Referenced Link State ID: 0.0.0.0

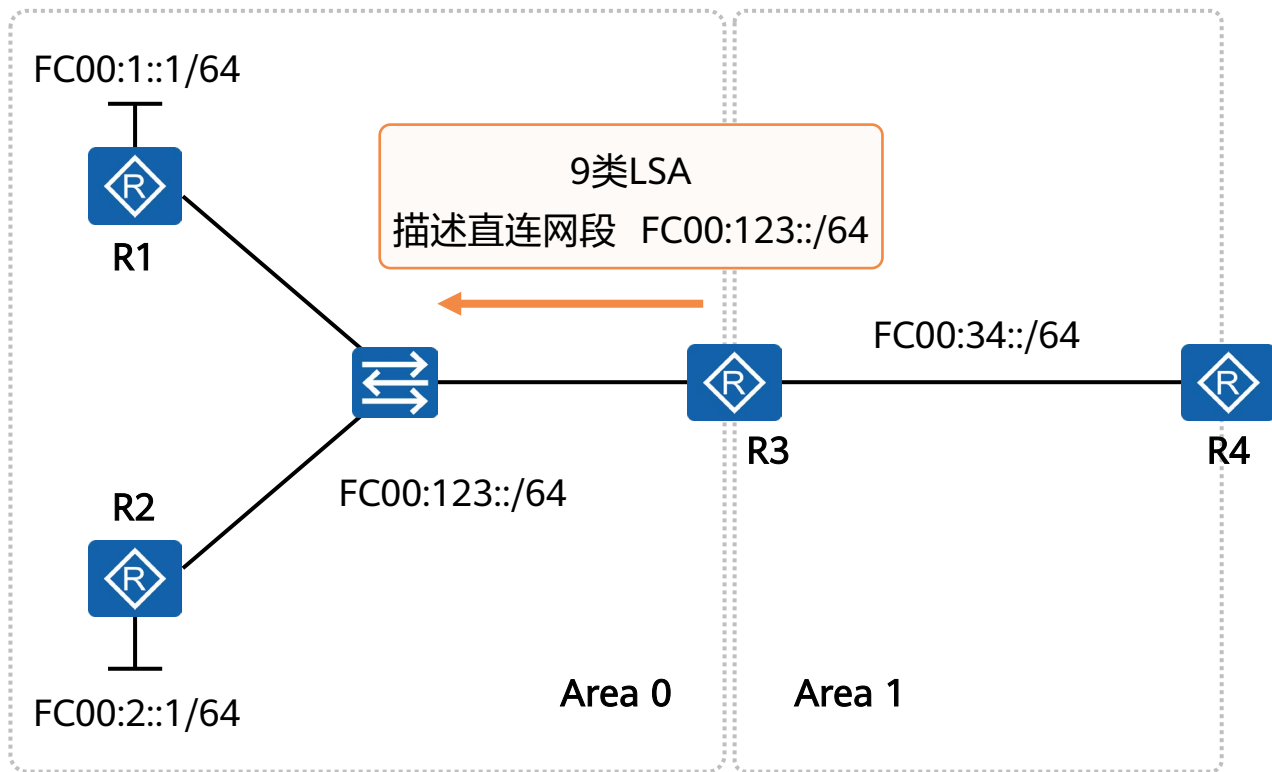
Referenced Originating Router: 1.1.1.1

Prefix: **FC00:1::/64**

Prefix Options: 0 (-|-|-|-)

Metric: 1

# 9类LSA ( Intra-Area-Prefix-LSA )



R3作为DR，在Area 0内泛洪9类LSA，描述与Network-LSA相关联的IPv6前缀地址。

<R3> display ospfv3 lsd self-originate intra-prefix

OSPFv3 Router with ID (3.3.3.3) (Process 1)

Intra-Area-Prefix-LSA (Area 0.0.0.0)

LS Age: 1287

LS Type: Intra-Area-Prefix-LSA

Link State ID: 0.0.0.1

Originating Router: 3.3.3.3

LS Seq Number: 0x8000000D

Retransmit Count: 0

Checksum: 0x017B

Length: 44

Number of Prefixes: 1

Referenced LS Type: 0x2002

Referenced Link State ID: 0.0.0.3

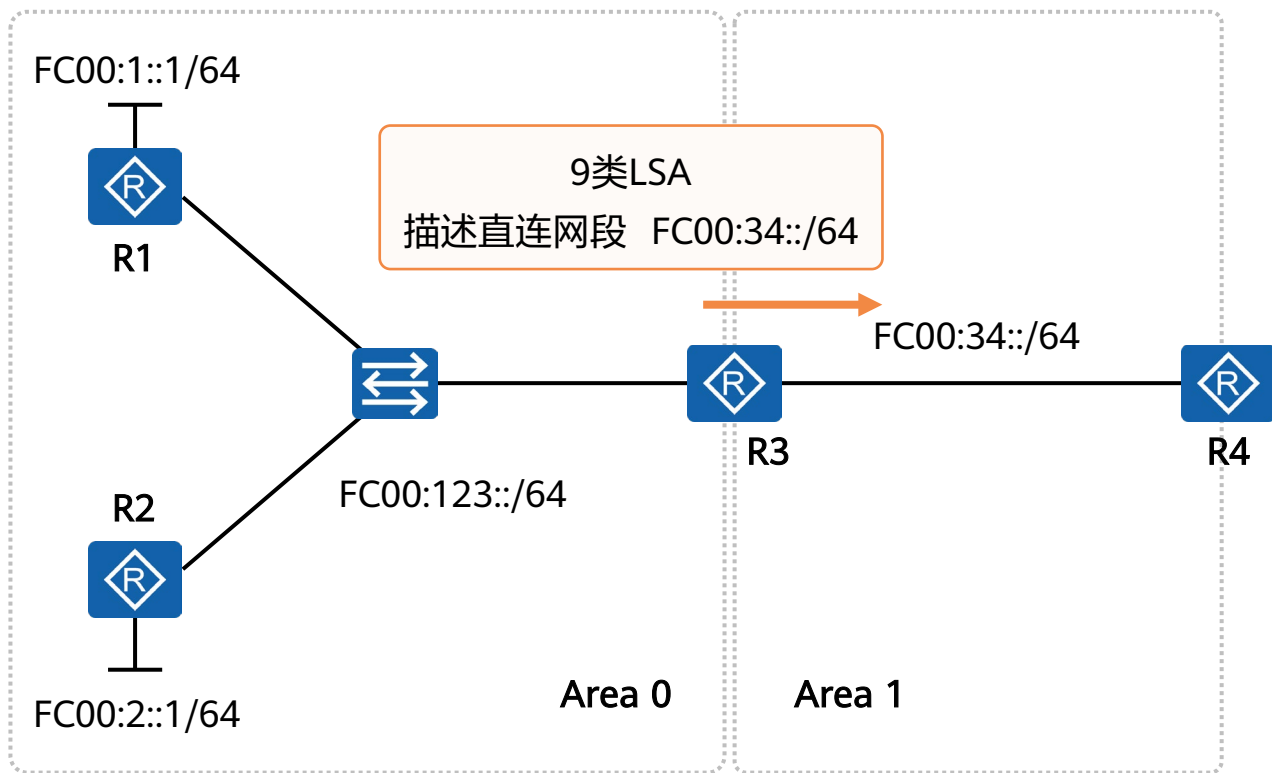
Referenced Originating Router: 3.3.3.3

Prefix: FC00:123::/64

Prefix Options: 0 (-|-|-|-)

Metric: 0

# 9类LSA ( Intra-Area-Prefix-LSA )



R3在Area 0内泛洪9类LSA，描述与Router-LSA相关联的IPv6前缀地址。

.....

## Intra-Area-Prefix-LSA (Area 0.0.0.1)

LS Age: 1285  
LS Type: Intra-Area-Prefix-LSA  
Link State ID: 0.0.0.1  
Originating Router: 3.3.3.3  
LS Seq Number: 0x8000000A  
Retransmit Count: 0  
Checksum: 0xA89A  
Length: 44  
Number of Prefixes: 1  
Referenced LS Type: 0x2001  
Referenced Link State ID: 0.0.0.0  
Referenced Originating Router: 3.3.3.3

Prefix: FC00:34::/64

Prefix Options: 0 (-|-|-|-|-)

Metric: 48

# | 思考题

- （多选）在建立OSPF邻居和邻接关系的过程中，稳定的状态是（    ）
  - A. Exstart
  - B. Two-way
  - C. Exchange
  - D. Full
- （多选）以下哪种情况下路由器之间会建立邻接关系（    ）
  - A. 点到点链路上的两台路由器
  - B. 广播型网络中的DR和BDR
  - C. NBMA网络中的DRother和DRother
  - D. 广播型网络中的BDR和DRother

# | 总结

- OSPF是现网中使用广泛的路由协议之一，本课程帮助您初步了解OSPF的基本概念、应用场景和基础配置，以及LSA的定义和功能。
- Router ID、区域、OSPF邻居表、LSDB表和OSPF路由表是OSPF的基本概念。能够阐述OSPF的邻居和邻接关系建立过程，可以帮助您更好的理解链路状态路由协议。
- LSA是OSPF进行路由计算的关键，熟悉各种类型的LSA，并理解这些LSA的功能是非常有必要的。

# Thank you.

把数字世界带入每个人、每个家庭、  
每个组织，构建万物互联的智能世界。

Bring digital to every person, home and  
organization for a fully connected,  
intelligent world.

**Copyright©2018 Huawei Technologies Co., Ltd.  
All Rights Reserved.**

The information in this document may contain predictive statements including, without limitation, statements regarding the future financial and operating results, future product portfolio, new technology, etc. There are a number of factors that could cause actual results and developments to differ materially from those expressed or implied in the predictive statements. Therefore, such information is provided for reference purpose only and constitutes neither an offer nor an acceptance. Huawei may change the information at any time without notice.

