

IGP 高级特性

- OSPF 和 IS-IS 都是基于链路状态的内部网关路由协议，运行这两种协议的路由器通过同步 LSDB，采用 SPF 算法计算最优路由。
- 当网络拓扑发生变化时，OSPF 和 IS-IS 支持多种快速收敛和保护机制，能够降低网络故障导致的流量丢失。
- 为了实现对路由表规模的控制，OSPF 和 IS-IS 支持路由选路及路由信息的控制，能够减少特定路由器路由表的大小。
- 本节课程将介绍 OSPF 和 IS-IS 的高级特性，包括：快速收敛机制、路由控制等。

更新 LSA:最长 max-interval 为 5000、初始 start-interval 为 500、基数 hold-interval 为 1000。

接收 LSA:最长 max-interval 为 1000、初始 start-interval 为 500、基数 hold-interval 为 500。

SPF 计算:最长 max-interval 为 10000、初始 start-interval 为 500、基数 hold-interval 为 1000。

设置 OSPF LSA 更新的时间间隔

1.500

2.1000

3.2000

4.4000

5.5000

6.5000

7.5000

8.500

设置 OSPF 接收 LSA 的时间间隔

1.500

2.500

3.1000

4.1000

5.1000

6.500

设置 OSPF SPF 计算 的时间间隔

1.500

2.1000

3.2000

4.4000

5.8000

6.10000

7.10000

8.10000

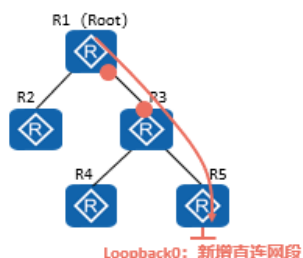
9.500

OSPF 快速收敛概述

- OSPF 快速收敛是为了提高路由的收敛速度而做的扩展特性，包括：PRC (Partial Route Calculation ，部分路由计算) 和智能定时器。
- 同时，OSPF 支持故障恢复快速收敛，例如通过 OSPF I P FRR (Fast reroute ，快速重路由) 实现备份链路的快速切换，也可以与 BFD 联动实现对故障的快速感知。

PRC

- PRC的工作原理：当网络上路由发生变化的时候，只对发生变化的路由进行重新计算。
- PRC不计算节点路径，而是根据SPF算法算出来的最短路径树来更新路由。



在路由计算中，节点则代表路由器，叶子代表路由，PRC只处理变化的叶子信息。

- 场景介绍：
 - 某网络运行OSPF，网络收敛后，左图是以R1为根的最短路径树。此时R1访问节点R5时，通过[R1下行链路的出接口，R3上行链路接口的IP地址]到达该目的地。
 - R5将环回口Loopback0开启OSPF，即OSPF网络内有新增网段。
- PRC计算：
 - R5全网泛洪新增LSA。
 - R1收到该LSA后会创建新的路由，继承原有访问节点R5的路径及下一跳，即最短路径树不变，只在节点R5上新增叶子。
 - 因此R1访问R5的Loopback0时，通过[R1下行链路的出接口，R3上行链路接口的IP地址]到达该目的地。
- 价值：
 - OSPF网络新增网段时，只关注发生变化的路由，加快了路由的计算。

- 注意：在华为设备上，OSPF的PRC功能默认开启。

智能定时器

- 智能定时器是在进行SPF计算和产生LSA的时候用到的一种定时器。
- 智能定时器既可以对少量的外界突发事件进行快速响应，又可以避免过度的占用CPU。

控制LSA的生成与接收

- OSPF通过如下两个规定来避免网络连接或者路由频繁动荡引起的过多占用设备资源的情况。
 - 同一条LSA在1秒内不能再次生成，即LSA的更新时间间隔5秒。
 - LSA被接收的时间间隔为1秒。
- 在网络相对稳定、对路由收敛时间要求较高的组网环境中，可以通过智能定时器指定LSA的更新时间间隔为0来取消LSA的更新时间间隔，使得拓扑或者路由的变化可以立即通过LSA发布到网络中，或者立即被感知到，从而加快网络中路由的收敛速度。

控制路由计算

- 当网络发生变化时，OSPF的LSDB会发生改变，需要重新计算最短路径。如果网络频繁变化，由于不断的计算最短路径，会占用大量系统资源，影响设备的效率。
- 通过配置智能定时器，设置合理的SPF计算的间隔时间，可以避免占用过多的路由器内存和带宽资源。

- 如果触发路由计算的时间间隔较长，同样会影响网络的收敛速度。
- 智能定时器首次超时时间是一个固定的时间。如果在定时器超时前，又有触发定时器的的事件发生，则该定时器下一次的超时时间会增加。



智能定时器的基础配置命令 (1)

概述 > PRC > 智能定时器 > FRR > BFD联动

1. 设置OSPF LSA更新的时间间隔

```
[Huawei-ospf-1] lsa-originate-interval { 0 | { intelligent-timer max-interval start-interval hold-interval | other-type interval } }
```

缺省情况下，使能智能定时器`intelligent-timer`，更新LSA的最长间隔时间`max-interval`为5000毫秒、初始间隔时间`start-interval`为500毫秒、基数间隔时间`hold-interval`为1000毫秒。（以毫秒为单位的时间间隔）

使用智能定时器后：

1. 初次更新LSA的时间间隔由`start-interval`参数指定。
2. 第 n ($n \geq 2$) 次更新LSA的时间间隔为 $hold-interval \times 2^{(n-2)}$ 。
3. 当 $hold-interval \times 2^{(n-2)}$ 达到指定的最长间隔时间`max-interval`时，OSPF连续三次更新LSA的时间间隔都是最长间隔时间，之后，再次返回步骤1，按照初始间隔时间`start-interval`更新LSA。

- 命令：`[Huawei-ospf] lsa-originate-interval { 0 | { intelligent-timer max-interval start-interval hold-interval | other-type interval } }`
- `0`：指定LSA更新的时间间隔为0，即取消LSA的5秒的更新时间间隔。
- `intelligent-timer`：指定通过智能定时器设置OSPF Router LSA和Network LSA的更新时间间隔。
- `max-interval`：指定更新OSPF LSA的最长间隔时间。整数形式，取值范围是1~120000，单位是毫秒。缺省值是5000。
- `start-interval`：指定更新OSPF LSA的初始间隔时间。整数形式，取值范围是0~60000，单位是毫秒。缺省值是500。
- `hold-interval`：指定更新OSPF LSA的基数间隔时间。整数形式，取值范围是1~60000，单位是毫秒。缺省值是1000。
- `other-type`：指定设置除OSPF Router LSA和Network LSA外LSA的更新时间间隔。
- `interval`：指定LSA更新的时间间隔。整数形式，取值范围是0~10，单位是秒。缺省值是5。



智能定时器的基础配置命令 (2)

2. 设置OSPF LSA接收的时间间隔

```
[Huawei-ospf-1] lsa-arrival-interval { interval | intelligent-timer max-interval start-interval hold-interval }
```

缺省情况下，使能智能定时器`intelligent-timer`，接收LSA的最长间隔时间`max-interval`为1000毫秒、初始间隔时间`start-interval`为500毫秒、基数间隔时间`hold-interval`为500毫秒。（以毫秒为单位的时间间隔）

使用智能定时器后：

1. 初次接收LSA的时间间隔由`start-interval`参数指定。
2. 第 n ($n \geq 2$) 次接收LSA的时间间隔为 $hold-interval \times 2^{(n-2)}$ 。
3. 当 $hold-interval \times 2^{(n-2)}$ 达到指定的最长间隔时间`max-interval`时，OSPF连续三次接收LSA的时间间隔都是最长间隔时间，之后，再次返回步骤1，按照初始间隔时间`start-interval`接收LSA。

- 命令：`[Huawei-ospf-1] lsa-arrival-interval { interval | intelligent-timer max-interval start-interval hold-interval }`
- `interval`：指定 LSA 接收的时间间隔。整数形式，取值范围是 0 ~ 10000，单位是毫秒。
- `intelligent-timer`：指定通过智能定时器设置 LSA 接收的间隔时间。
- `max-interval`：指定接收 OSPF LSA 的最长间隔时间。整数形式，取值范围是 1 ~ 120000，单位是毫秒。缺省值是 1000。
- `start-interval`：指定接收 OSPF LSA 的初始间隔时间。整数形式，取值范围是 0 ~ 60000，单位是毫秒。缺省值是 500。
- `hold-interval`：指定接收 OSPF LSA 的基数间隔时间。整数形式，取值范围是 1 ~ 60000，单位是毫秒。缺省值是 500。



智能定时器的基础配置命令 (3)

3. 设置OSPF路由计算时间间隔

```
[Huawei-ospf-1] spf-schedule-interval { interval1 | intelligent-timer max-interval start-interval hold-interval | millisecond interval2 }
```

缺省情况下，使能智能定时器intelligent-timer，SPF计算的最长间隔时间max-interval为10000毫秒、初始间隔时间start-interval为500毫秒、基数间隔时间hold-interval为1000毫秒。（以毫秒为单位的时间间隔）。

使用智能定时器后，SPF计算的时间间隔如下：

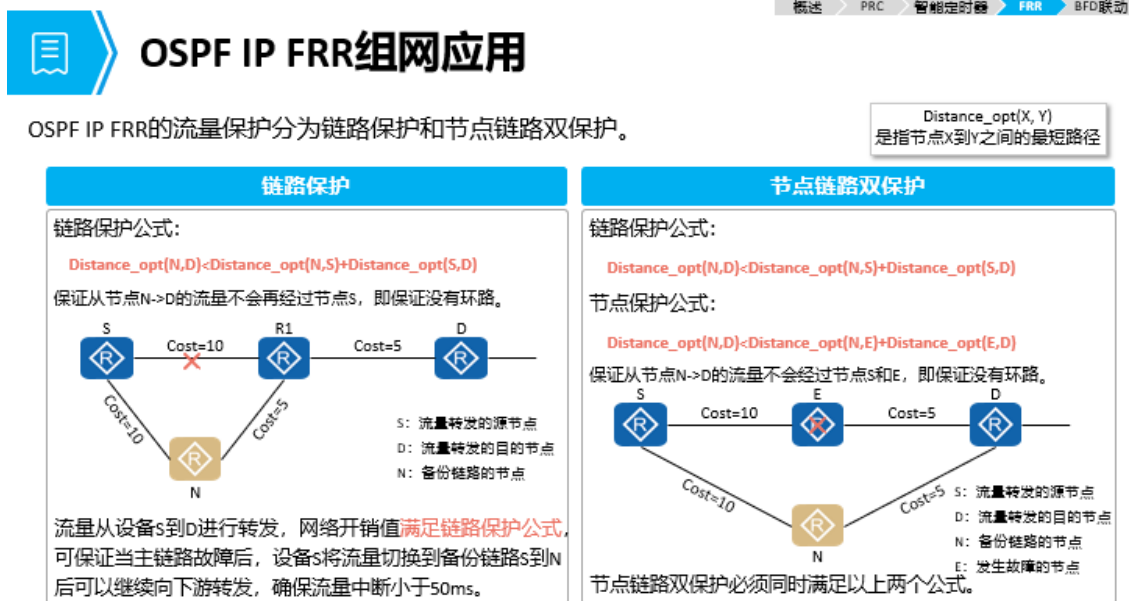
1. 初次计算SPF的间隔时间由start-interval参数指定。
2. 第n（ $n \geq 2$ ）次计算SPF的间隔时间为 $hold-interval \times 2^{(n-2)}$ 。
3. 当 $hold-interval \times 2^{(n-2)}$ 达到指定的最长间隔时间max-interval时，OSPF连续三次计算SPF的时间间隔都是最长间隔时间，之后，再次返回步骤1，按照初始间隔时间start-interval计算SPF。

命令：[Huawei-ospf-1] **spf-schedule-interval** { *interval1* | **intelligent-timer** *max-interval* *start-interval* *hold-interval* | **millisecond** *interval2* }

- *interval1*：指定 OSPF SPF 计算间隔时间。整数形式，取值范围是 1 ~ 10，单位是秒。
- **intelligent-timer**：指定通过智能定时器设置 OSPF SPF 计算的间隔时间。
- *max-interval*：指定 OSPF SPF 计算的最长间隔时间。整数形式，取值范围是 1 ~ 120000，单位是毫秒。缺省值是 10000。
- *start-interval*：指定 OSPF SPF 计算的初始间隔时间。整数形式，取值范围是 1 ~ 60000，单位是毫秒。缺省值是 500。
- *hold-interval*：指定 OSPF SPF 计算的基数间隔时间。整数形式，取值范围是 1 ~ 60000，单位是毫秒。缺省值是 1000。
- **millisecond interval2**：指定 OSPF SPF 计算间隔时间。整数形式，取值范围是 1 ~ 10000，单位是毫秒。

OSPF IP FRR

- OSPF IP FRR (Fast reroute , 快速重路由) 是动态 IP FRR , 利用 LFA (Loop-Free Alternates) 算法预先计算出备份路径 , 保存在转发表中 , 以备在故障时将流量快速切换到备份链路上 , 保证流量不中断 , 从而达到流量保护的目的 , 该功能可将故障恢复时间降低到 50ms 以内。
- LFA 计算备份链路的基本思路是 :
- 以可提供备份链路的邻居为根节点 , 利用 SPF 算法计算出到目的节点的最短距离。然后 , 按照不等式计算出开销最小且无环的备份链路。



- 节点链路双保护 :
- 如图 : 流量从设备 S 到 D 进行转发 , 网络开销值满足节点链路保护公式 , 可保证当主链路故障后 , 设备 S 将流量切换到备份链路 S 到 N 后可以继续向下游转发 , 确保流量中断小于 50ms。
- OSPF IP FRR 的流量保护分为链路保护和节点链路双保

- 护。
- 当需要保护的对象是经过特定链路的流量时，流量保护类型为链路保护。
 - 当需要保护的对象是经过特定设备的流量时，流量保护类型为节点链路双保护。节点保护优先级高于链路保护。

概述 > PRC > 智能定时器 > **FRR** > BFD联动



OSPF IP FRR的基础配置命令

1. 使能OSPF IP FRR

```
[Huawei-ospf-1] frr
[Huawei-ospf-1-frr]
```

创建并进入OSPF FRR视图。

```
[Huawei-ospf-1-frr] loop-free-alternate
```

使能OSPF IP FRR功能，利用LFA算法计算备份下一跳和备份出接口。

2. (可选) 阻止OSPF接口的FRR能力

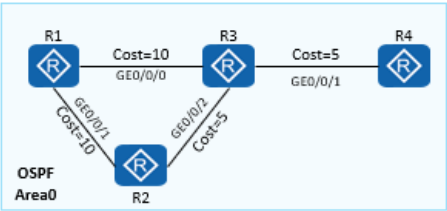
```
[Huawei-GigabitEthernet0/0/1] ospf frr block
```

对于承载重要业务的节点设备，通过该命令在指定接口上禁止OSPF IP FRR功能，从而使此接口相连的对端设备不成为备份链路上的节点设备，避免使能OSPF IP FRR功能后对节点设备上运行的重要业务造成影响。

概述 > PRC > 智能定时器 > **FRR** > BFD联动



OSPF IP FRR配置举例



设备	Router ID	接口	IP地址
R1	10.1.1.1	GEO/0/0	10.1.13.1/24
		GEO/0/1	10.1.12.1/24
R2	10.1.2.2	GEO/0/1	10.1.12.2/24
		GEO/0/2	10.1.23.2/24
R3	10.1.3.3	GEO/0/0	10.1.13.3/24
		GEO/0/1	10.1.34.3/24
R4	10.1.4.4	GEO/0/1	10.1.23.3/24
		GEO/0/2	10.1.34.4/24

当R1与R3之间的链路出现故障时，R1转发的流量能够快速切换到备份链路，通过R2进行流量转发。

- 1、配置各设备接口地址及各设备OSPF部署。（略）
- 2、配置各设备OSPF开销值。

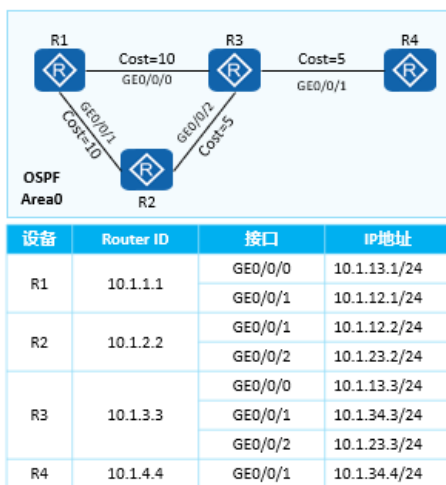
```
[R1] interface GigabitEthernet 0/0/0
[R1-GigabitEthernet 0/0/0] ospf cost 10
[R1-GigabitEthernet 0/0/0] quit
[R1] interface GigabitEthernet 0/0/1
[R1-GigabitEthernet 0/0/1] ospf cost 10
[R1-GigabitEthernet 0/0/1] quit
```

3、在R1上使能OSPF IP FRR。

```
[R1] ospf
[R1-ospf-1] frr
[R1-ospf-1-frr] loop-free-alternate
[R1-ospf-1-frr] quit
[R1-ospf-1] quit
```

R2、R3、R4的开销配置与R1类似，不再赘述。

查看OSPF IP FRR配置结果



当R1与R3之间的链路出现故障时，R1转发的流量能够快速切换到备份链路，通过R2进行流量转发。

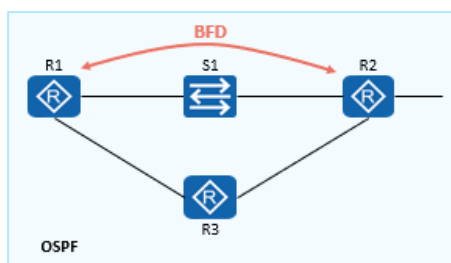
查看R1到R4的GE0/0/1接口地址的路由信息。

```
[R1]display ospf routing 10.1.34.4
OSPF Process 1 with Router ID 10.1.1.1
Destination : 10.1.34.0/24
AdverRouter : 10.1.4.4 Area : 0.0.0.0
Cost : 15 Type : Transit
NextHop : 10.1.13.3 Interface : GigabitEthernet0/0/0
Priority : Low Age : 00h01m59s
Backup Nexthop : 10.1.12.2 Backup Interface:GigabitEthernet0/0/1
Backup Type : LFA LINK
```

由于R1使能了OSPF IP FRR功能，OSPF生成了一条备份链路。

OSPF与BFD联动

- 网络上的链路故障或拓扑变化都会导致设备重新进行路由计算，所以缩短路由协议的收敛时间对于提高网络的性能是非常重要的。
- OSPF与BFD联动就是将BFD和OSPF关联起来，一旦与邻居之间的链路出现故障，BFD对链路故障的快速感应能够加快OSPF对于网络拓扑变化的响应。



OSPF与BFD联动工作原理：

- 三台设备（R1、R2、R3）间建立OSPF邻居关系。邻居状态到达Full时通知BFD建立BFD会话。
- R1到R2间的链路出现故障后，BFD首先感知到并通知R1。R1处理BFD会话Down事件，重新进行路由计算，新的路径为：R1-R3-R2。

OSPF 通过周期性的向邻居发送 Hello 报文来实现邻居检测，检测到故障所需时间比较长，超过 1 秒钟（默认通过 OSPF Dead Timer 超时判断邻居失效，缺省为 40s）。随着科技的发展，语音、视频及其它点播业务应用广泛，而这些业务对于丢包和延时非常敏感，当数据达到吉比特速率级时，较长的检测时间会导致大量数据丢失，无法满足电信级网络高可靠性的需求。

为了解决上述问题，配置指定进程或指定接口的 OSPF

与 BFD 联动功能，可以快速检测链路的状态，故障检测时间可以达到毫秒级，提高链路状态变化时 OSPF 的收敛速度。

概述 > PRC > 智能定时器 > FRR > BFD联动

OSPF与BFD联动的基础配置命令

1. 配置OSPF的BFD特性

```
[Huawei-ospf-1] bfd all-interfaces enable
```

在OSPF进程下使能BFD特性。

```
[Huawei-ospf-1] bfd all-interfaces { min-rx-interval receive-interval | min-tx-interval transmit-interval | detect-multiplier multiplier-value | frr-binding }
```

配置BFD会话的参数值。

2. 配置指定接口的BFD特性

```
[Huawei-GigabitEthernet0/0/1] ospf bfd enable
```

在使能OSPF的特定接口下使能BFD特性。

```
[Huawei-GigabitEthernet0/0/1] ospf bfd { min-rx-interval receive-interval | min-tx-interval transmit-interval | detect-multiplier multiplier-value | frr-binding }
```

在使能OSPF的特定接口下配置BFD会话的参数值。

- 配置前提：
- 如果需要使用 BFD 功能快速检测链路故障，则必须在系统视图下执行 **bfd** 命令，使能全局 BFD 功能。
- 接口配置的 BFD 特性优先级高于进程配置的 BFD 特性优先级。如果打开了接口的 BFD 开关，则按照接口上 BFD 参数建立 BFD 会话。
- 可以配置 OSPF IP FRR 与 BFD 联动：
- 配置 OSPF IP FRR 特性时，需要底层能够快速响应链路变化，以便迅速将流量切换到备份链路。
- 将 OSPF IP FRR 与 BFD 会话绑定可以达到快速感知故障的目的，确保故障后流量切换的及时性。
- 命令：**[Huawei-ospf-1] bfd all-interfaces { min-rx-interval receive-interval | min-tx-interval transmit-interval | detect-multiplier multiplier-value | frr-binding }**
- **min-rx-interval receive-interval**：指定期望从对端接收 BFD 报文的最小接收间隔。整数形式，取值范围是 10 ~ 2000，单位是毫秒。缺省值是 1000 毫秒。

- **min-tx-interval** *transmit-interval* : 指定向对端发送 BFD 报文的最小发送间隔。整数形式，取值范围是 10 ~ 2000，单位是毫秒。缺省值是 1000 毫秒。
- **detect-multiplier** *multiplier-value* : 指定本地检测倍数。整数形式，取值范围是 3 ~ 50，缺省值是 3。
- **frr-binding** : 将 BFD 会话状态与接口的链路状态进行绑定。当 BFD 会话状态变为 Down 时，接口的物理层链路状态也会变为 Down，从而触发流量切换到备份路径。

OSPF 路由控制概述

OSPF 的路由控制包括：

- 调整 OSPF 的接口开销
 - 设置等价路由
 - 引入外部路由
 - 路由聚合
 - 缺省路由通告
 - Filter-Policy
 - 对发送的 LSA 进行过滤
 - 对 ABR Type3 LSA 进行过滤
 - 设置 LSDB 中 External LSA 的最大数量
-
- 本课程只介绍等价路由、缺省路由、对 LSA 的过滤，其他内容请参考《HCIP-Datacom-Core Technology》课程。



等价路由

- 当路由表中存在到达同一目的地址，且同一路由协议发现的多条路由时，若这几条路由的开销值也相同，那么这些路由就是等价路由，可以实现负载分担。
- 设备将按照负载分担的方式从多条等价路由发送报文到同一目的地址。

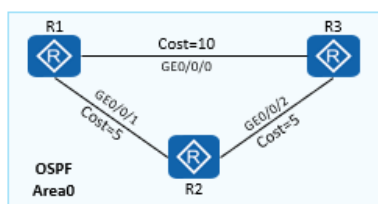
设置进行负载分担的等价路由的最大数量：

```
[Huawei-ospf-1] maximum load-balancing number
```

- 命令：**[Huawei-ospf-1] maximum load-balancing number**
- number*：等价路由的最大数量。设备型号不同，取值范围不同，具体请参考相应设备的产品文档。



等价路由配置举例



设备	接口	IP地址
R1	GE0/0/0	10.1.13.1/24
	GE0/0/1	10.1.12.1/24
R2	GE0/0/1	10.1.12.2/24
	GE0/0/2	10.1.23.2/24
R3	Loopback0	10.1.3.3/32
	GE0/0/0	10.1.13.3/24
	GE0/0/2	10.1.23.3/24

通过配置，要求R1可以通过R1-R3路径访问R3的环回口地址，也可以通过R1-R2-R3路径访问R3的环回口地址。

- 配置各设备接口地址及各设备OSPF部署。（略）
- R1配置路由负载分担。

```
[R1] ospf
[R1-ospf-1] maximum load-balancing 2
```

- 结果验证。

```
[R1]display ip routing-table
Route Flags: R - relay, D - download to fib

-----
Destination/Mask    Proto Pre  Cost  Flags NextHop  Interface
10.1.3.3/32          OSPF  10   10    D    10.1.13.3 GigabitEthernet0/0/0
                    OSPF  10   10    D    10.1.12.2 GigabitEthernet0/0/1
```



缺省路由

- OSPF实际组网应用中，区域边界和自治系统边界通常都是由多个路由器组成的多出口冗余备份或者负载分担。此时，为了减少路由表的容量，可以配置缺省路由，保证网络的高可用性。
- OSPF缺省路由通常应用于下面两种情况：
 - 由区域边界路由器（ABR）发布Type3 LSA，用来指导区域内路由器进行区域之间报文的转发。
 - 由自治系统边界路由器（ASBR）发布Type5 LSA或Type7 LSA，用来指导OSPF路由域内路由器进行域外报文的转发。

区域类型	产生条件	发布方式	产生LSA类型	泛洪范围
普通区域	通过default-route-advertise命令配置	ASBR发布	Type5 LSA	普通区域
Stub区域和Totally Stub区域	自动产生	ABR发布	Type3 LSA	Stub区域
NSSA区域	通过nssa [default-route-advertise]	ASBR发布	Type7 LSA	NSSA区域
Totally NSSA区域	自动产生	ABR发布	Type3 LSA	NSSA区域

- 缺省路由是指目的地址和掩码都是 0 的路由。当设备无精确匹配的路由时，就可以通过缺省路由进行报文转发。由于 OSPF 路由的分级管理，Type3 缺省路由的优先级高于 Type5 或 Type7 路由。
- 普通区域：
- 缺省情况下，普通 OSPF 区域内的 OSPF 路由器是不会产生缺省路由的，即使它有缺省路由。当该路由器需要向 OSPF 发布缺省路由时，必须手工执行 **default-route-advertise** 命令，配置完成后，路由器会产生一个缺省 ASE LSA (Type5 LSA)，并且通告到整个 OSPF 自治系统中。
- Stub 区域：
- Stub 区域不允许自治系统外部的路由 (Type5 LSA) 在区域内传播。区域内的路由器必须通过 ABR 学到自治系统外部的路由。
- Stub 区域的 ABR 会自动产生一条缺省的 Type3 LSA 通告到整个 Stub 区域。ABR 通过该缺省路由，将到达 AS 外部的流量吸引到自己这里，然后通过 ABR 转发出去。
- Totally Stub 区域：
- Totally Stub 区域既不允许自治系统外部的路由 (Type5

LSA) 在区域内传播，也不允许区域间路由 (Type3 LSA) 在区域内传播。区域内的路由器必须通过 ABR 学到自治系统外部和其他区域的路由。

- Totally Stub 区域的 ABR 会自动产生一条缺省的 Type3 LSA 通告到整个 Stub 区域。ABR 通过该缺省路由，将到达 AS 外部的流量吸引到自己这里，然后通过 ABR 转发出去。

- NSSA 区域：

- 如果希望到达自治系统外部的路由通过本区域 (NSSA 区域) 的 ASBR 到达，而其它外部路由通过其它区域出去。此时，ABR 会产生一条 Type7 LSA 的缺省路由，通告到整个 NSSA 区域内。这样，除了某少部分路由通过 NSSA 的 ASBR 到达，其它路由都可以通过 NSSA 的 ABR 到达其它区域的 ASBR 出去。这种情况下，在 ABR 上无论路由表中是否存在缺省路由 0.0.0.0，都会产生 Type7 LSA 的缺省路由。

- 如果希望所有的外部路由只通过本区域 (NSSA 区域) 的 ASBR 到达，则必须在 ASBR 上手动执行 **nssa [default-route-advertise]** 命令进行配置，使 ASBR 产生一条缺省的 NSSA LSA (Type7 LSA)，通告到整个 NSSA 区域内。这样，所有的外部路由就只能通过本区域 NSSA 的 ASBR 到达。这种情况下，在 ASBR 上只有当路由表中存在缺省路由 0.0.0.0 时，才会产生 Type7 LSA 的缺省路由。

- 注意：因为缺省路由只是在本 NSSA 区域内泛洪，并没有泛洪到整个 OSPF 域中，所以本 NSSA 区域内的路由器在找不到路由之后可以从该 NSSA 的 ASBR 出去，但不能实现其他 OSPF 域的路由从这个出口出去。Type7 LSA 缺省路由不会在 ABR 上转换成 Type5 LSA 缺省路由泛洪到整个 OSPF 域。

- Totally NSSA 区域：

- Totally NSSA 的 ABR 会自动向该区域下发使用 Type3 LSA 描述的缺省路由，而 Totally NSSA 的 ASBR 则不会自动

下发缺省路由。因此，在该场景下，对于区域内的路由器而言，可以通过 ASBR 引入的外部路由到达相应的外部网段、通过 ABR 下发的缺省路由到达其他网段。

- 如果希望 Totally NSSA 内的路由器选择 ASBR 作为默认出口，而不是 ABR，那么需要让 ASBR 也下发缺省路由，此时必须在 ASBR 上手工执行配置。

概述 等价路由 缺省路由 过滤LSA 配置案例



将缺省路由通告到OSPF路由区域

1. 将缺省路由通告到普通OSPF区域

```
[Huawei-ospf-1] default-route-advertise [[ always | permit-calculate-other ] | cost cost | type type | route-policy route-policy-name [ match-any ]]
```

缺省情况下，在普通OSPF区域内的OSPF设备不产生缺省路由。

2. 指定Type3 Summary-LSA的缺省开销值

```
[Huawei-ospf-1] default-route-advertise summary cost cost
```

• 注意：

- **import-route (OSPF)**命令不能引入外部路由的缺省路由。当需要引入其他协议产生的缺省路由时，必须在ASBR上配置 **default-route-advertise**命令，发布缺省路由到整个普通OSPF区域。
- OSPF路由域中在通告缺省路由前，会比较缺省路由的优先级。如果在某OSPF设备上同时配置了静态缺省路由，要使OSPF通告的缺省路由加入到当前的路由表中，则必须保证所配置的静态缺省路由的优先级比OSPF通告的缺省路由的优先级低。

• 命令：**[Huawei-ospf-1] default-route-advertise [[always | permit-calculate-other] | cost cost | type type | route-policy route-policy-name [match-any]]**

• **always**：无论本机是否存在激活的非本 OSPF 缺省路由，都会产生并发布一个描述缺省路由的 LSA。

• 如果配置了 **always** 参数，设备不再计算来自其他设备的缺省路由。

• 如果没有配置 **always** 参数，本机路由表中必须有激活的非本 OSPF 缺省路由时才生成缺省路由的 LSA。

• **permit-calculate-other**：本机必须存在激活的非本 OSPF 缺省路由时才会产生并发布一个缺省路由的 LSA，且设备仍

然计算来自于其他设备的缺省路由。

- **type type** : 指定外部路由的类型。整数形式，取值为 1 或 2。缺省值是 2。
 - 1 : 第一类外部路由
 - 2 : 第二类外部路由
- **route-policy route-policy-name** : 通过路由策略，实现在路由表中有匹配的非 OSPF 产生的缺省路由表项时，按路由策略所配置参数发布缺省路由。字符串形式，区分大小写，不支持空格，长度范围是 1~40。当输入的字符串两端使用双引号时，可在字符串中输入空格。
- **match-any** : 通过路由策略，实现在路由表中有匹配的路由表项时，按路由策略所配置参数发布缺省路由。

- 命令 : [Huawei-ospf-1] **default-route-advertise summary cost cost**

- **summary** : 发布指定缺省路由的 Type3 LSA。在选用该参数时，必须首先使能 VPN，否则路由不能发布。
- **cost cost** : 指定该 LSA 的开销值。整数形式，取值范围是 0~16777214。缺省值是 1。

- **always** 参数 :

- ASBR 已经有缺省路由，执行 default-route-advertise 命令，将在整个 OSPF 区域中通告缺省路由 0.0.0.0。

- ASBR 没有缺省路由，执行 default-route-advertise 命令时按照以下需求选择是否配置 always 参数。

- 如果配置 always 参数，无论 ASBR 是否有缺省路由都将在整个 OSPF 区域中通告缺省路由 0.0.0.0，并且不再计算来自其他设备的缺省路由。

- 如果没有配置 always 参数，ASBR 的路由表中必须有激

活的非 OSPF (BGP 除外) 缺省路由时才生成缺省路由的 LSA。

- **match-any** 参数：
- 使用带 **match-any** 参数的路由策略时，如果有多条路由通过策略，选取最优者来生成缺省 LSA。路由通过策略时，选取最优者的原则按照优先级从高到低的顺序如下：
- 路由设置了 **type** 的优先于未设置的，如果都设置了 **type**，值越小越优先。
- 路由设置了 **cost** 的优先于未设置的，如果都设置了 **cost**，值越小越优先。
- 路由设置了 **tag** 的优先于未设置的，如果都设置了 **tag**，值越小越优先。

概述 等价路由 缺省路由 过滤LSA 配置案例

对发送的LSA进行过滤

- 当两台路由器之间存在多条链路时，可以在某些链路上通过对发送的LSA进行过滤，减少不必要的重传，节省带宽资源。
- 通过对OSPF接口出方向的LSA进行过滤可以不向邻居发送无用的LSA，从而减少邻居LSDB的大小，提高网络收敛速度。

配置对OSPF接口出方向的LSA进行过滤：

```
[Huawei-GigabitEthernet0/0/1] ospf filter-lsa-out { all | { summary [ acl { acl-number | acl-name } ] | ase [ acl { acl-number | acl-name } ] | nssa [ acl { acl-number | acl-name } ] } }
```

对于已经发送的LSA，要到3600秒才能达到老化时间。

- **命令**：[Huawei-GigabitEthernet0/0/1] **ospf filter-lsa-out** { **all** | { **summary** [**acl** { *acl-number* | *acl-name* }] | **ase** [**acl** { *acl-number* | *acl-name* }] | **nssa** [**acl** { *acl-number* | *acl-name* }] } }
- **all**：对除 Grace LSA 外的所有 LSA 进行过滤。
- **summary**：对 Network Summary LSA (Type3 LSA) 进行过滤。
- **ase**：对 AS External LSA (Type5 LSA) 进行过滤。

- **nssa** : 对 NSSA LSA (Type7 LSA) 进行过滤。
- **acl acl-number** : 指定基本访问控制列表编号。整数形式 , 取值范围是 2000 ~ 2999。
- **acl acl-name** : 指定访问控制列表名称。字符串形式 , 不支持空格 , 区分大小写 , 长度范围是 1 ~ 32 , 以英文字母 a ~ z 或 A ~ Z 开始。



对ABR Type3 LSA进行过滤

概述 等价路由 缺省路由 过滤LSA 配置

- 对区域内出、入方向ABR Type3 LSA (Summary LSA) 设置过滤条件, 只有通过过滤的LSA才能被发布和接收。
- 通过对区域内的LSA进行过滤可以不向邻居发送无用的LSA, 从而减少LSDB的大小, 提高网络收敛速度。

配置对区域内出方向的Type3 LSA进行过滤:

```
[Huawei-ospf-1-area-0.0.0.1] filter { acl-number | acl-name acl-name | ip-prefix ip-prefix-name | route-policy route-policy-name } export
```

配置对区域内入方向的Type3 LSA进行过滤

```
[Huawei-ospf-1-area-0.0.0.1] filter { acl-number | acl-name acl-name | ip-prefix ip-prefix-name | route-policy route-policy-name } import
```

- 命令 : [Huawei-ospf-1-area-0.0.0.1] **filter** { *acl-number* | **acl-name** *acl-name* | **ip-prefix** *ip-prefix-name* | **route-policy** *route-policy-name* } **export**
- *acl-number* : 指定基本访问控制列表号。整数形式 , 取值范围是 2000 ~ 2999。



OSPF Database Overflow概述

- OSPF要求同一个区域中的路由器保存相同的LSDB。随着网络上路由数量不断增加，一些路由器由于系统资源有限，不能再承载如此多的路由信息，这种状态就被称为数据库超限（OSPF Database Overflow）。
- 对于路由信息不断增加导致路由器系统资源耗尽而失效的问题，可以通过配置Stub或NSSA区域来解决，但Stub或NSSA区域的方案不能解决动态路由增长导致的数据库超限问题。为了解决数据库超限引发的问题，通过设置LSDB中External LSA的最大条目数，可以动态限制链路数据库的规模。

设置OSPF的LSDB中External LSA的最大条目数

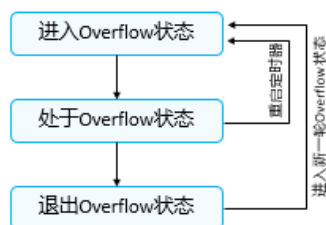
```
[Huawei-ospf-1] lsdb-overflow-limit number
```

- 当 OSPF 引入的外部路由（Type5 LSA 和 Type7 LSA）数量超过允许的范围，会导致超出的外部路由无法得到正常处理，丢失引入的路由。为了解决上述问题，通过配置 OSPF 的 LSDB 中 External LSA 的最大条目数，保证引入的外部路由在一个合理的范围内，调整和优化 OSPF 网络。
- 命令：**[Huawei-ospf-1] lsdb-overflow-limit number**
- *number*：指定 LSDB 中 External LSA 的最大条目数。整数形式，取值范围是 1 ~ 1000000。



避免OSPF Database Overflow工作原理

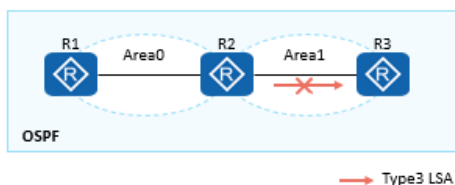
- 为了避免数据库超限，可以设置路由器上非缺省外部路由数量的上限。
- OSPF网络中所有路由器都配置相同的上限值，只要路由器上外部路由的数量达到该上限，路由器就进入Overflow状态，并同时启动Overflow状态定时器（默认超时时间为5秒），路由器在定时器超过5秒后自动退出Overflow状态。



Overflow状态阶段	OSPF处理流程
进入Overflow状态时	<ul style="list-style-type: none"> 路由器删除所有自己产生的非缺省外部路由 启动Overflow状态定时器
处于Overflow状态中	<ul style="list-style-type: none"> 不产生非缺省外部路由 丢弃新收到的非缺省外部路由，不回复确认报文 当Overflow状态定时器超时，检查外部路由数量是否仍然超过上限 <ul style="list-style-type: none"> N=>退出Overflow状态 Y=>重启Overflow定时器
退出Overflow状态时	<ul style="list-style-type: none"> 删除Overflow状态定时器 产生非缺省外部路由 接收新收到的非缺省外部路由，回复确认报文 准备下一次进入Overflow状态



OSPF路由控制配置举例 (1)



如图所示，为减少R3的LSA数量，同时确保R3可以和其它区域内的路由器正常通行，要求：

- R2不向Area1中注入Type3 LSA。
- R2发布缺省路由。

1、配置各设备接口地址及各设备OSPF部署。（略）

2、配置R2过滤Type3 LSA。

```

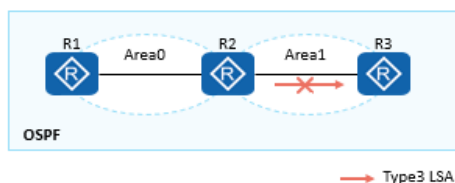
[R2] acl 2000
[R2-acl-basic-2000] rule deny
[R2-acl-basic-2000] quit
[R2] ospf
[R2-ospf-1] area 1
[R2-ospf-1-area-0.0.0.1] filter 2000 import
  
```

3、配置R2发布缺省路由。

```

[R2] ospf
[R2-ospf-1] default-route-advertise always
  
```

OSPF路由控制配置举例 (2)



- 可以看到Area1内设备R3的LSDB中没有Type3 LSA，但是有Type5缺省LSA。
- R3可以通过缺省路由访问其他区域设备。

1、查看R3的LSDB。

```
[R3]display ospf lsdb
OSPF Process 1 with Router ID 10.1.23.3
Link State Database
Area: 0.0.0.1
```

Type	LinkState ID	AdvRouter	Age	Len	Sequence	Metric
Router	10.1.23.3	10.1.23.3	731	48	80000004	1
Router	10.1.12.2	10.1.12.2	406	36	80000008	1
Network	10.1.23.2	10.1.12.2	730	32	80000002	0

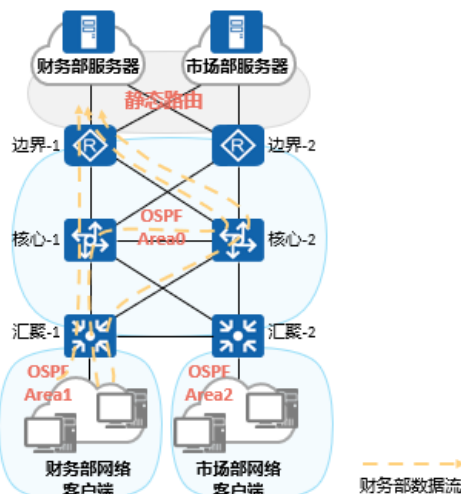
```
AS External Database
Type LinkState ID AdvRouter Age Len Sequence Metric
External 0.0.0.0 10.1.12.2 406 36 80000001 1
```

2、查看R3的路由表。

```
[R3]dis ip routing-table
Route Flags: R - relay, D - download to fib
```

Routing Tables: Public	Destinations : 9	Routes : 9	
Destination/Mask	Proto	Pre Cost	Flags NextHop Interface
0.0.0.0/0	O_ASE	150 1	D 10.1.23.2 GigabitEthernet0/0/1

OSPF路由控制案例分析

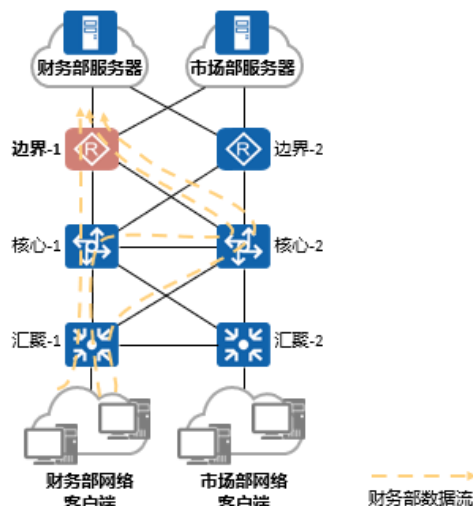


- 网络部署：
 - 某企业网络内有财务部和市场部两张网络。
 - 该企业网络通过OSPF实现内部网络的互联互通，其中骨干网络部署在Area0，财务部网络客户端部署在Area1，市场部网络客户端部署在Area2。
 - 边界设备通过静态路由访问各部门服务器，并在OSPF进程内引入该静态路由。
- 需求：
 - 只要边界-1路由器及其上联链路正常运行，财务部数据流就只会通过边界-1路由器进行数据转发。
 - 只要核心-1路由器及其上联链路正常运行，财务部数据流就只会通过核心-1路由器进行数据转发。
 - 市场部数据转发需求详见备注。

- 市场部数据转发需求：
- 只要边界-2 路由器及其上联链路正常运行，市场部数据流就只会通过边界-2 路由器进行数据转发。
- 只要核心-2 路由器及其上联链路正常运行，市场部数据流就只会通过核心-2 路由器进行数据转发。
- 本案例以分析财务部数据转发路径为例，市场部相关内容不再赘述。



需求分析



1. 控制数据转发的网络出口：

- 财务部数据始终向边界-1的方向进行转发；
- 市场部数据始终向边界-2的方向进行转发。

要保证网络会选择固定的ASBR执行数据转发，要求忽略内部网络变化，即不计算内部路由开销。

——使用OSPF的Type2外部路由

2. 控制数据流在内部的精确路径：

- 不出现负载均衡路径。

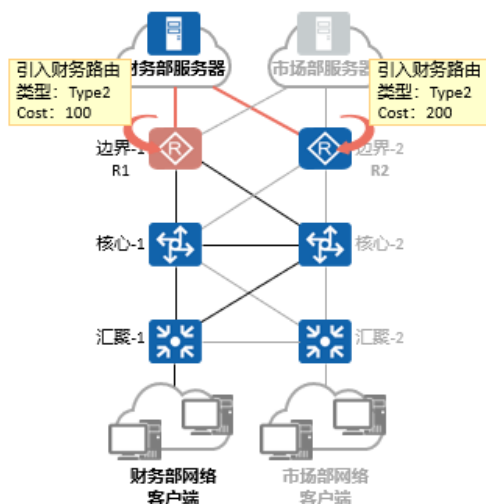
要在网络内部按照规划路径将数据发往特定的ASBR。

——调整内部路径开销

- 第二类外部路由（Type2 External）：
- 这类路由的可信度比较低，所以 OSPF 认为从 ASBR 到自治系统之外的开销远远大于在自治系统之内到达 ASBR 的开销。
- OSPF 计算路由开销时只考虑 ASBR 到自治系统之外的开销，即到第二类外部路由的开销=ASBR 到该路由目的地址的开销。



控制流量出口



• 实现方式：

- 在R1（边界-1）和R2（边界-2）的OSPF进程内引入去往财务部服务器的静态路由，实现出口备份（可以通过路由策略实现）；
- 设置引入外部路由类型为Type2；
- 在R1上设置外部路由开销为100，在R2上设置外部路由开销为200。

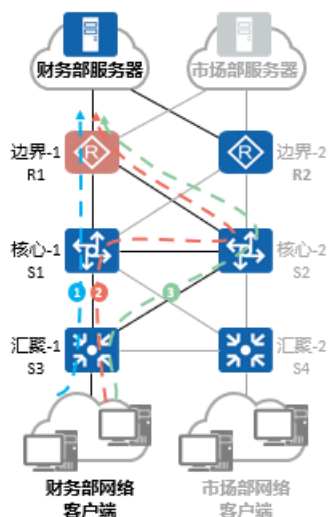
• 配置结果：

- 网络中存在2条同一网段不同开销的Type2外部路由时，网络设备会优选开销较小的路由。此时，网络中各设备会优选R1作为出口。

- 控制流量出口时，不考虑到达各 ASBR 的内部路径开销。

概述 等价路由 缺省路由 过滤LSA 配置

控制内部路径

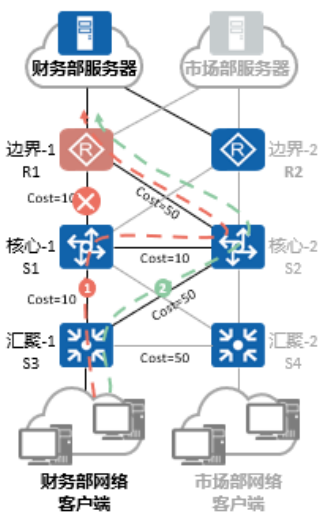


- 网络需求分析：
 - 若网络正常运行，则S3（汇聚-1）会选择路径1。
 - 若S1（核心-1）与R1间链路故障，则S3会选择路径2。
 - 若S1设备故障，则S3会选择路径3。
- 实现方式：
 - 路径1-Cost < 路径2-Cost < 路径3-Cost。

财务部数据流

概述 等价路由 缺省路由 过滤LSA 配置

控制内部路径：调整汇聚到核心开销



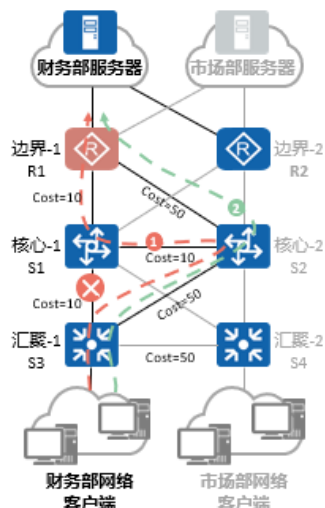
财务部数据流

- 若S1与R1间链路故障，由于S1运行正常，则要求S3优选路径1，次选路径2。
- 实现方式：
 - 路径1-Cost < 路径2-Cost，即：

$$[Cost(S3-S1) + Cost(S1-S2) + Cost(S2-R1)] < [Cost(S3-S2) + Cost(S2-R1)]$$
 - 通过调整汇聚到核心设备间的路径开销可以实现路径1。



控制内部路径：调整核心到边界开销



- 若S3与S1间链路故障，由于S1运行正常，则要求S3优选路径1，次选路径2。

- 实现方式：

- 路径1-Cost < 路径2-Cost，即：

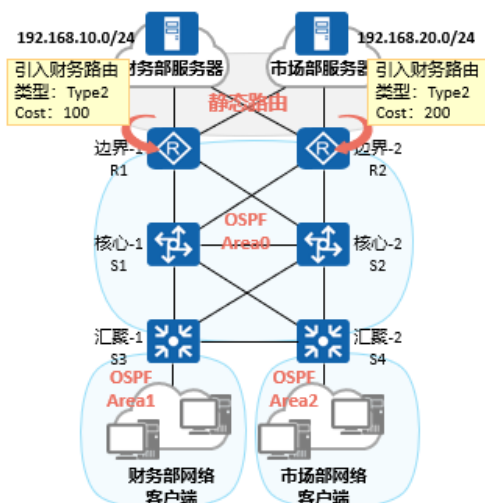
$$[\text{Cost}(S3-S2) + \text{Cost}(S2-S1) + \text{Cost}(S1-R1)] < [\text{Cost}(S3-S2) + \text{Cost}(S2-R1)]$$

- 通过调整核心到边界设备间的路径开销可以实现优选路径1。

财务部数据流



OSPF路由控制案例主要配置 (1)



R1部署路由策略应用开销值100:

```
[R1] acl 2000
[R1-acl-basic-2000] rule permit source 192.168.10.0 0.0.0.255
[R1-acl-basic-2000] quit
```

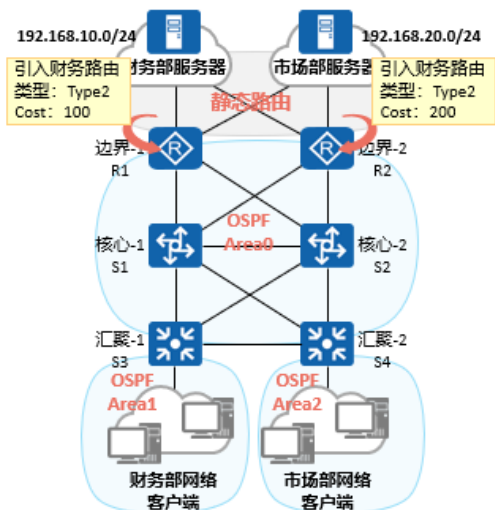
```
[R1] route-policy static2ospf permit node 10
[R1-route-policy] if-match acl 2000
[R1-route-policy] apply cost 100
[R1-route-policy] quit
[R1] route-policy static2ospf permit node 20
[R1-route-policy] quit
```

R1在OSPF进程中引入静态路由:

```
[R1] ospf
[R1-ospf-1] import-route static route-policy static2ospf type 2
```




OSPF路由控制案例主要配置 (2)



R2部署路由策略应用开销值200:

```
[R2] acl 2000
[R2-acl-basic-2000] rule permit source 192.168.10.0 0.0.0.255
[R2-acl-basic-2000] quit

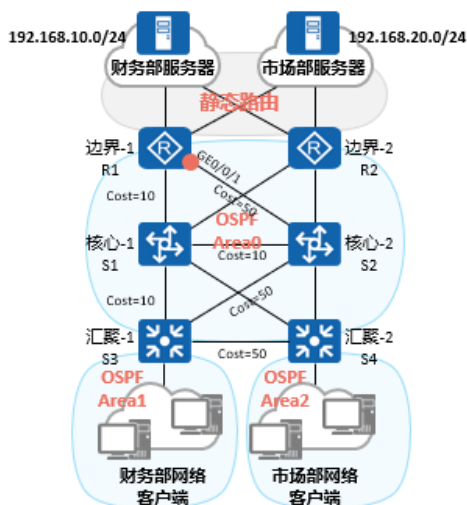
[R2] route-policy static2ospf permit node 10
[R2-route-policy] if-match acl 2000
[R2-route-policy] apply cost 200
[R2-route-policy] quit
[R2] route-policy static2ospf permit node 20
[R2-route-policy] quit
```

R2在OSPF进程中引入静态路由:

```
[R2] ospf
[R2-ospf-1] import-route static route-policy static2ospf type 2
```



OSPF路由控制案例主要配置 (3)



设置接口OSPF开销 (以R1的GE0/0/1口为例):

```
[R1] interface GigabitEthernet 0/0/1
[R1-GigabitEthernet0/0/1] ospf cost 50
```

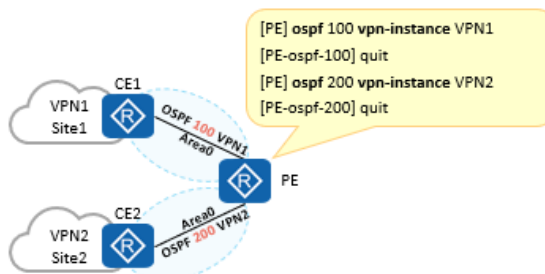


OSPF多进程

- OSPF支持多进程，在同一台路由器上可以运行多个不同的OSPF进程，它们之间互不影响，彼此独立。不同OSPF进程之间的路由交互相当于不同路由协议之间的路由交互。
- 路由器的一个接口只能属于某一个OSPF进程。

应用场景：

- OSPF多进程的一个典型应用就是在VPN场景。
- 如图，同一台PE设备连接了两个不同的VPN客户，并且PE和CE之间均部署OSPF，因此可以通过在PE设备上部署多进程实现VPN客户之间的隔离。

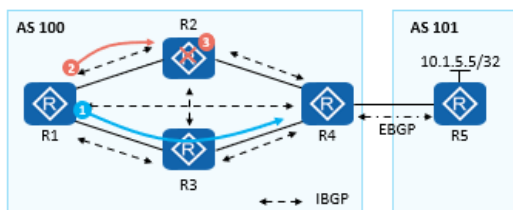


- VPN (Virtual Private Network)：虚拟专用网络。
- 创建 OSPF 进程时，如果指定了 VPN 实例，那么 OSPF 进程属于此实例，否则属于全局实例。



OSPF与BGP联动 (1)

当有新的设备加入到网络中，或者设备重启时，可能会出现在BGP收敛期间内网络流量丢失的现象。这是由于IGP收敛速度比BGP快而造成的。



R1、R2、R3和R4运行OSPF，并建立IBGP全互联。其中R3是R2的备份设备。

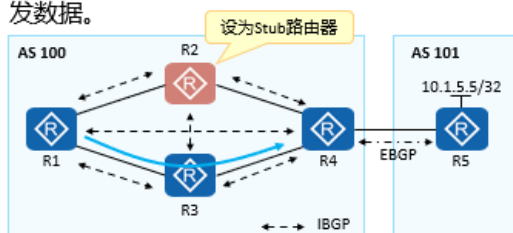
当网络环境稳定时，R1访问10.1.5.5/32的流量路径为：R1-R2-R4-R5。

1. 当R2故障时，流量路径切换到：R1-R3-R4-R5。
2. 当R2故障恢复后，由于IGP收敛速度比BGP快，因此OSPF先收敛。此时R1若要访问10.1.5.5/32，先查BGP路由，下一跳为R5；再查IGP路由，会根据IGP路由传递给R2。
3. R2收到该流量后，会查BGP路由。由于BGP还未完成收敛，发现没有到达10.1.5.5/32的路由，则不会转发数据，造成流量丢失。



OSPF与BGP联动 (2)

- 通过使能OSPF与BGP联动特性，可以解决流量丢失问题。
- 使能了OSPF与BGP联动特性的设备会在设定的联动时间内保持为**Stub路由器**，也就是说，该设备发布的LSA中的链路度量值为最大值（65535），从而告知其它OSPF设备不要使用这个路由器来转发数据。



在R2上使能BGP联动，这样，在BGP收敛完成前，R1不把流量转发到R2上，而是继续使用备份设备R3转发流量，直到R2上的BGP路由完成收敛。

配置Stub路由器：

```
[Huawei-ospf-1] stub-router [ on-startup [ interval ] ]
```

- 配置Stub路由器是一种特殊的路由选路，配置了Stub路由器的路径不被优选。
- 实现方法是将度量值设为最大（65535），尽量避免数据从此路由器转发。用于保护此路由器链路，通常使用在升级等维护操作的场景。

- 命令：`[Huawei-ospf-1] stub-router [on-startup [interval]]`
- `on-startup [interval]`：设备在发生重启或故障时保持为Stub路由器的时间间隔。整数形式，取值范围是 5 ~ 65535，单位是 s，缺省值是 500s。
- 如果未配置 `on-startup` 参数，则表示该设备始终保持为Stub路由器，即所有来自这个设备的路由条目 Cost 值均设为 65535。
- 如果配置了 `on-startup` 参数，则表示该设备仅在重启或者故障时保持为Stub路由器，保持时间由 `interval` 参数决定。此时若未配置 `interval` 参数，则使用 `interval` 的缺省值 500s。



OSPF转发地址

FA (Forwarding Address, 转发地址) :

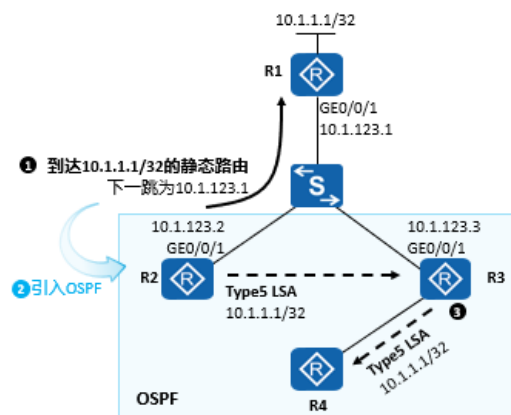
- 到达所通告的目的地的数据包应该被转发到的地址, 如果转发地址为0.0.0.0, 那么数据包将被转发到始发ASBR上。
- Type5 AS-External-LSA 和 Type7 NSSA LSA:

LS Age		Options		LS Type	
Link State ID					
Advertising Router					
LS Sequence Number					
LS Checksum			Length		
Network Mask					
E	0	Metric			
Forwarding Address					
External Route Tag					
.....					

OSPF的Type5 LSA和Type7 LSA中包含一个特别的字段FA, FA的引入使得OSPF在某些特殊的场景下可以避免次优路径问题。

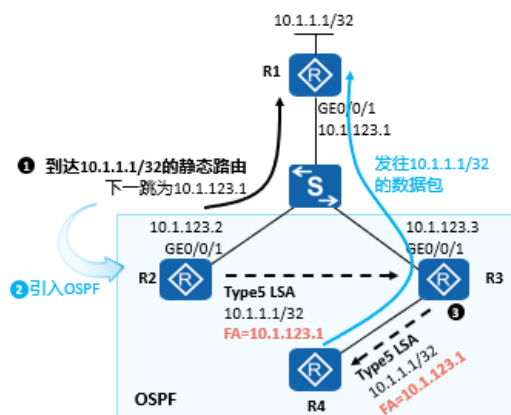


没有FA引发的问题



- R2、R3和R4运行OSPF, 均部署在Area0中。其中R2和R3的GE0/0/1接口都激活OSPF并建立邻接关系, 但是两者与外部路由器R1并不建立OSPF邻接关系。
 - R2配置到达10.1.1.1/32的静态路由, 下一跳为10.1.123.1。
 - R2将静态路由引入OSPF, 产生Type5 LSA在区域内泛洪。
 - R3接收到R2产生的5类LSA, 计算出到达10.1.1.1/32的外部路由, 并且将路由的下一跳指定为R2 (10.1.123.2)。
- OSPF域内的路由器如R4到达10.1.1.1/32的路径是: R4-R3-R2-R1, 该路径是次优路径的。

利用FA解决次优路径问题



- R2向OSPF域内通告到达10.1.1.1/32的外部路由时，为对应的Type5 LSA设置FA，值为其自己到达该外部路由的下一跳：10.1.123.1。
- 当R3收到该LSA后，计算到达10.1.1.1/32的路由时，发现FA为非0，因此它认为到达目标地址10.1.1.1/32的下一跳为FA所指定的地址，即：10.1.123.1。

FA 的取值

- 当 ASBR 引入外部路由时，若 Type5 LSA 中的 FA 字段为 0，表示路由器认为到达目的网段的数据包应该发往该 ASBR；若 Type5 LSA 中的 FA 字段不为 0，表示路由器认为到达目的网段的数据包应该发往这个 FA 所标识的设备。
- 当以下条件全部满足时，FA 字段才可以被设置为非 0：
- ASBR 在其连接外部网络的接口（外部路由的出接口）上激活了 OSPF；
- 该接口没有被配置为 Silent-Interface；
- 该接口的 OSPF 网络类型为 Broadcast 或 NBMA；
- 该接口的 IP 地址在 OSPF 配置的 network 命令指定的网段范围内。
- 到达 FA 地址的路由必须是 OSPF 区域内部路由或区域间路由，这样接收到该外部 LSA 的路由器才能够加载该 LSA 进入路由表。加载的外部 LSA 生成的路由条目下一跳与到达 FA 地址的下一跳相同。
- NSSA 区域 Type7 LSA 转化为 Type5 LSA：
- 为了将 NSSA 区域引入的外部路由发布到其它区域，需要把 Type7 LSA 转化为 Type5 LSA 以便在整个 OSPF 网络中

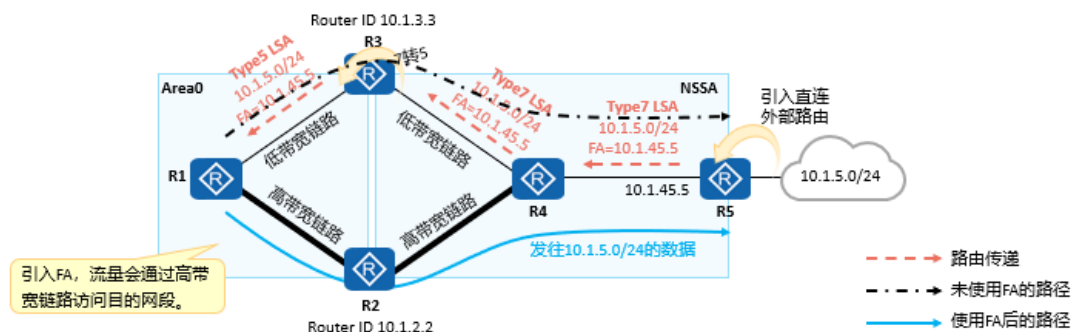
通告。缺省情况下，转换路由器是 NSSA 区域中 Router ID 最大的区域边界路由器（ABR）。

- LSA 头部 Options 字段中的 P-bit（Propagate bit）用于告知转化路由器该条 Type7 LSA 是否需要转化为 Type5 LSA。只有 P-bit 置位并且 FA 不为 0 的 Type7 LSA 才能转化为 Type 5 LSA。
- 区域边界路由器产生的 Type7 LSA 不会置位 P-bit。
- 注意：所有的 OSPF LSA 有相同的 LSA 头部，P-bit 在 LSA 头部中的 Options 字段。

案例：NSSA场景下FA的典型应用

多进程 与BGP联动 转发地址

- 当NSSA区域中有多个ABR时，系统会根据规则自动选择一个ABR作为转换器，将Type7 LSA转换为Type5 LSA，其他ABR不做LSA转换。
- 如图所示，如果不考虑FA，由于R3的Router ID比R2大，因此它将执行7转5的动作，如此一来，R1将认为必须经由ABR（R3）到达目的网络。这样，流量便会被引导到低带宽链路，即R1-R3-R4-R5。



IS-IS 快速收敛概述

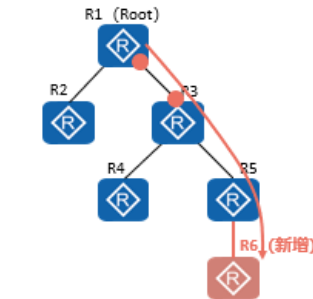
- IS-IS 快速收敛是为了提高路由的收敛速度而做的扩展特性，包括：I-SPF（Incremental SPF，增量最短路径优先算法）、PRC、智能定时器、LSP 快速扩散。
- 同时，IS-IS 支持故障恢复快速收敛，例如通过 IS-IS Auto FRR 实现备份链路的快速切换，也可以与 BFD 联动实现对故障的快速感知。
- IS-IS 的 PRC、智能定时器、FRR 等功能与 OSPF 类似，

不再赘述。

快速收敛 路由控制 其他特性

I-SPF

I-SPF的工作原理：当网络拓扑改变的时候，只对受影响的节点进行路由计算，而不是对全部节点重新进行路由计算，从而加快了路由的计算。



在路由计算中，节点则代表路由器，叶子代表路由，I-SPF只处理变化的节点信息。

- 场景介绍：
 - 某网络运行IS-IS，网络收敛后，左图是以R1为根的最短路径树。此时R1访问节点R5时，通过[R1下行链路的出接口，R3上行链路接口的IP地址]到达该目的地。
 - R5下游新增设备R6，R6开启IS-IS，即IS-IS网络内有新增网络节点。
- I-SPF计算：
 - R5和R6全网泛洪LSP，包含新增邻居关系。
 - R1收到该LSP后会对变化的节点R5和R6进行I-SPF计算，生成新的最短路径树节点，而其他节点不变。
 - 因此R1访问节点R5和R6时，通过[R1下行链路的出接口，R3上行链路接口的IP地址]到达该目的地。

- 使用 SPF 算法进行路由计算：当网络拓扑中有一个节点发生变化时，SPF 算法需要重新计算网络中的所有节点，计算时间长，占用过多的 CPU 资源，影响整个网络的收敛速度。
- I-SPF 改进了 SPF 算法，除了第一次 SPF 计算时需要计算全部节点外，之后每次都通过 I-SPF 计算受到影响的节点，而最后生成的最短路径树与原来的算法所计算的结果相同，大大降低了 CPU 的占用率，提高了网络收敛速度。
- 在 IS-IS 网络中，I-SPF 和 PRC 结合使用。
- 如果 I-SPF 计算后的最短路径树改变，PRC 会只处理那个变化的节点上的所有叶子（路由）。
- 如果经过 I-SPF 计算后的最短路径树并没有变化，则 PRC 只处理变化的叶子信息。比如一个节点使能一个 IS-IS 接口，则整个网络拓扑的最短路径树是不变的，这时 PRC 只更新这个节点的接口路由，从而节省 CPU 占用率。



LSP快速扩散

LSP快速扩散：此特性可以加快LSP的扩散速度。

- 正常情况下，当IS-IS路由器收到其它路由器发来的LSP时，如果此LSP比本地LSDB中相应的LSP要新，则更新LSDB中的LSP，并用一个定时器定期将LSDB内已更新的LSP扩散出去。
- LSP快速扩散特性改进了这种方式，使能了此特性的设备收到一个或多个较新的LSP时，在路由计算之前，先将小于指定数目的LSP扩散出去，加快LSDB的同步过程。这种方式在很大程度上可以提高整个网络的收敛速度。

配置LSP快速扩散

```
[Huawei-isis-1] flash-flood [ /lsp-count | max-timer-interval interval | [ level-1 | level-2 ] ]
```

注意：用户可以指定每次扩散的LSP数量，这个数量是针对所有IS-IS接口的。如果需要发送的LSP的数量大于这个数，则就发送`lsp-count`个LSP。如果配置了定时器，在路由计算之前如果这个定时器未超时，则立即扩散；否则在该定时器超时后发送。

- **命令：**`[Huawei-isis-1] flash-flood [/lsp-count | max-timer-interval interval | [level-1 | level-2]]`
- **`lsp-count`：**指定每个接口一次扩散 LSP 的最大数量。整数形式，取值范围是 1 ~ 15。缺省值是 5。
- **`max-timer-interval interval`：**指定 LSP 扩散的最大间隔时间。整数形式，取值范围是 10 ~ 50000，单位是毫秒。缺省值是 10 毫秒。
- **`level-1`：**表示在 Level-1 中使能此特性。如果命令中没有指定级别，则缺省同时在 Level-1 和 Level-2 中使能此功能。
- **`level-2`：**表示在 Level-2 中使能此特性。如果命令中没有指定级别，则缺省同时在 Level-1 和 Level-2 中使能此功能。

IS-IS 路由控制概述

在实际应用中，IS-IS 根据 SPF 算法计算出来的路由有时并不能满足网络所需，可能出现如下弊端：如路由表中条目过多降低路由查找的速度、网络中链路利用率不均衡等，这些都不能很好地满足网络规划和流量管理的需要。为了达到优化 IS-IS 网络和便于流量管理的目的，需要对网络中的路由进行更加精

确的控制。IS-IS 的路由控制包括：

- 调整 IS-IS 的优先级
- 调整 IS-IS 的接口开销
- 设置等价路由
- IS-IS 路由渗透
- 通告缺省路由
- 引入外部路由
- Filter-Policy

等价路由

当 IS-IS 网络中有多条冗余链路时，可能会出现多条等价路由，此时可以采取两种方式：

- 配置负载分担。流量会被均匀的分配到每条链路上。
- 该方式可以提高网络中链路的利用率及减少某些链路负担过重造成阻塞发生的情况。但是由于对流量转发具有一定的随机性，因此可能不利于对业务流量的管理。
- 配置等价路由优先级。针对等价路由中的每一条路由，明确指定其优先级，优先级高的路由将被优选，优先级低的路由可以作为备用链路。
- 当 IS-IS 网络中有多条冗余链路时，可能会出现多条等价路由，即达到某一目的网段有多条等开销路径。配置等价路由优先级可以在不修改原有配置的基础上，指定某条路由被优选，便于业务的管理，同时提高网络的可靠性。
- 注意：配置等价路由优先级后，IS-IS 设备在转发到达目的网段的流量时，将不采用负载分担方式，而是将流量转发到优先级最高的下一跳。



配置IS-IS对等价路由的处理方式

1. 配置IS-IS路由负载分担

```
[Huawei-isis-1] maximum load-balancing number
```

配置在负载分担方式下的等价路由的最大数量。

2. 配置IS-IS等价路由的优先级

```
[Huawei-isis-1] nexthop ip-address weight value
```

缺省情况下，不设置IS-IS等价路由的优先级。*value*值越小，表示优先级越高。

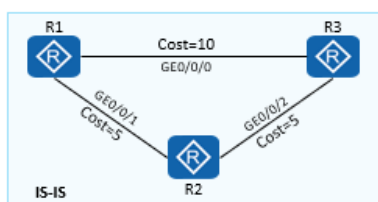
当组网中存在的等价路由数量大于`maximum load-balancing`命令配置的等价路由数量时，按照下面原则选取有效路由进行负载分担：

- 路由优先级：选取优先级小（优先级高）的路由进行负载分担。
- 下一跳设备的System ID：如果路由的优先级相同，则比较下一跳设备的System ID，选取System ID小的路由进行负载分担。
- 本地设备出接口索引：如果路由由优先级和下一跳设备的System ID都相同，则比较出接口的接口索引，选取接口索引较小的路由进行负载分担。

- 命令：`[Huawei-isis-1] maximum load-balancing number`
- number*：指定在负载分担方式下等价路由的最大数量。不同设备型号取值不同。
- 命令：`[Huawei-isis-1] nexthop ip-address weight value`
- ip-address*：指定下一跳的IP地址。点分十进制格式。
- weight value*：指定下一跳权重。*value*越小则优先级越高。*value*是整数形式，取值范围是1~254。



等价路由配置举例 (1)



设备	接口	IP地址
R1	GE0/0/0	10.1.13.1/24
	GE0/0/1	10.1.12.1/24
R2	GE0/0/1	10.1.12.2/24
	GE0/0/2	10.1.23.2/24
R3	Loopback0	10.1.3.3/32
	GE0/0/0	10.1.13.3/24
	GE0/0/2	10.1.23.3/24

如图R1、R2、R3运行IS-IS，通过配置，要求R1可以通过R1-R3路径访问R3的环回口地址，也可以通过R1-R2-R3路径访问R3的环回口地址。

- 配置各设备接口地址及各设备IS-IS部署。（略）
- R1配置路由负载分担。

```
[R1] isis
[R1-isis-1] maximum load-balancing 2
```

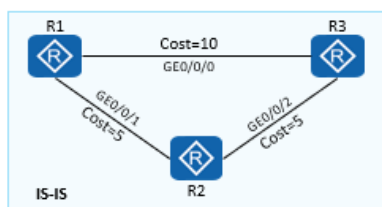
3. 结果验证。

```
[R1]display ip routing-table
Route Flags: R - relay, D - download to fib

-----
Destination/Mask    Proto Pre  Cost  Flags NextHop  Interface
10.1.3.3/32         ISIS-L2 15   10    D   10.1.13.3 GigabitEthernet0/0/0
                    ISIS-L2 15   10    D   10.1.12.2 GigabitEthernet0/0/1
```



等价路由配置举例 (2)



设备	接口	IP地址
R1	GE0/0/0	10.1.13.1/24
	GE0/0/1	10.1.12.1/24
R2	GE0/0/1	10.1.12.2/24
	GE0/0/2	10.1.23.2/24
R3	Loopback0	10.1.3.3/32
	GE0/0/0	10.1.13.3/24
	GE0/0/2	10.1.23.3/24

如图R1、R2、R3运行IS-IS，通过配置，要求R1优选R1-R3路径访问R3的环回口地址。

- 1、配置各设备接口地址及各设备IS-IS部署。（略）
- 2、R1配置等价路由优先级。

```
[R1] isis
[R1-isis-1] nexthop 10.1.13.3 weight 1
[R1-isis-1] nexthop 10.1.12.2 weight 2
```

- 3、结果验证。

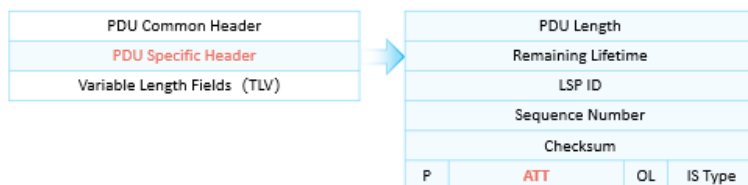
```
[R1]display ip routing-table
Route Flags: R - relay, D - download to fib

Destination/Mask    Proto Pre  Cost  Flags NextHop  Interface
10.1.3.3/32         ISIS-L2 15   10    D   10.1.13.3  GigabitEthernet0/0/0
```



缺省路由

- 在IS-IS中，主要通过以下3种方式控制缺省路由的生成和发布。
 - 在Level-1-2设备上，控制其产生的Level-1 LSP中ATT位的置位情况。
 - 在Level-1设备上，通过配置使其即使收到ATT位置位的Level-1 LSP也不会自动产生缺省路由。
 - 在IS-IS中发布缺省路由。
- LSP的报文格式：
 - ATT（Attachment）：由Level-1-2路由器产生，用来指明始发路由器是否与其它区域相连。此字段有4bit，华为数通产品只使用了其中1bit。





通过设置ATT位控制缺省路由生成

- IS-IS规定，如果IS-IS Level-1-2设备根据LSDB判断通过Level-2区域比Level-1区域能够到达更多的区域，该设备会在所发布的Level-1 LSP内将ATT位置位。对于收到ATT位置位的LSP报文的Level-1设备，会生成一条目的地为发送该LSP的Level-1-2设备地址的缺省路由。
- 以上是协议的默认原则，在实际应用中，可以根据需要对ATT比特位进行手动配置以更好地为网络服务。

1. (Level-1-2设备) 设置IS-IS LSP报文的ATT比特位置位规则。

```
[Huawei-isis-1] attached-bit advertise { always | never }
```

缺省情况下，Level-1-2设备发布的LSP的ATT位根据缺省置位规则来决定置位情况。

2. (Level-1设备) 控制Level-1设备不因为ATT位下发缺省路由到路由表。

```
[Huawei-isis-1] attached-bit avoid-learning
```

缺省情况下，IS-IS按ATT位缺省使用规则生成缺省路由。

- **命令：**`[Huawei-isis-1] attached-bit advertise { always | never }`
- **always：**指定 ATT 位永远置位，收到该 LSP 的 Level-1 设备会生成缺省路由。
- **never：**指定 ATT 位永不置位，可以避免 Level-1 设备生成缺省路由，减小路由表的规模。
- 虽然 ATT 位同时在 Level-1 LSP 和 Level-2 LSP 中进行了定义，但是它只会在 Level-1 LSP 中被置位，并且只有 Level-1-2 设备会设置这个字段，因此，该命令仅对 Level-1-2 设备生效。
- **配置 Level-1 设备不将缺省路由下发到路由表，有以下两种方式可以实现：**
 - 在 Level-1-2 设备上配置 **attached-bit advertise never** 命令，使得其不会发布 ATT 位置位的 LSP。
 - 在与 Level-1-2 设备相连的 Level-1 设备上配置 **attached-bit avoid-learning** 命令。
 - 其中，**attached-bit avoid-learning** 命令适用于需要针对指定设备配置的情况。



IS-IS发布缺省路由

- 在具有外部路由的边界设备上配置IS-IS发布缺省路由可以使该设备在IS-IS路由域内发布一条0.0.0.0/0的缺省路由。在执行此配置后，IS-IS域内的其他设备在转发流量时，将所有去往外部路由域的流量首先转发到该设备，然后通过该设备去往外部路由域。
- 通常，当网络中部署了IS-IS和其他路由协议时，为了实现IS-IS域内的流量可以到达IS-IS域外，通常有如下两种方式：
 - 在边界设备上配置IS-IS设备向IS-IS域发布缺省路由。该方式较为简单，不需要学习外部路由。
 - 在边界设备上将其他路由域的路由引入到IS-IS中。

配置运行IS-IS的设备生成缺省路由

```
[Huawei-isis-1] default-route-advertise [ always | match default | route-policy route-policy-name ] [ cost cost | tag tag | level-1 | level-1-2 | level-2 ] [ avoid-learning ]
```

缺省情况下，运行IS-IS协议的设备不生成缺省路由。

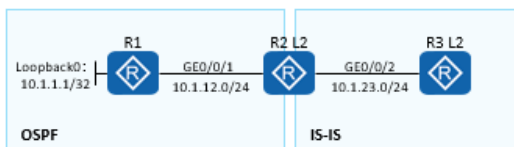
- **命令：**`[Huawei-isis-1] default-route-advertise [always | match default | route-policy route-policy-name] [cost cost | tag tag | [level-1 | level-1-2 | level-2]] [avoid-learning]`
- **always：**指定设备无条件的发布缺省路由，且发布的缺省路由中将自己作为下一跳。
- **match default：**如果在路由表中存在其他路由协议或其它IS-IS进程生成的缺省路由，则在LSP中发布该缺省路由。
- **route-policy route-policy-name：**指定路由策略名称。当该边界设备的路由表中存在满足路由策略的外部路由时，才向IS-IS域发布缺省路由，避免由于链路故障等原因造成该设备已经不存在某些重要的外部路由时，仍然发布缺省路由从而造成路由黑洞。此处的路由策略不影响IS-IS引入外部路由。字符串形式，区分大小写，不支持空格，长度范围是1~40。当输入的字符串两端使用双引号时，可在字符串中输入空格。
- **cost cost：**指定缺省路由的开销值。整数形式。取值范围根据cost-style而定：当cost-style为narrow、narrow-compatible或compatible时，取值范围是0~63；当cost-style为wide或wide-compatible时，取值范围是0~4261412864。
- **tag tag：**指定发布的缺省路由的标记值。只有当IS-IS的开销类型为wide、wide-compatible或compatible时，发布的

LSP 中才会携带 tag 值。整数形式，取值范围为 1 ~ 4294967 295。

- **level-1**：指定发布的缺省路由级别为 Level-1。如果不指定级别，则默认为生成 Level-2 级别的缺省路由。
- **level-2**：指定发布的缺省路由级别为 Level-2。如果不指定级别，则默认为生成 Level-2 级别的缺省路由。
- **level-1-2**：指定发布的缺省路由级别为 Level-1-2。如果不指定级别，则默认为生成 Level-2 级别的缺省路由。
- **avoid-learning**：避免 IS-IS 进程学到其他路由协议或其它 IS-IS 进程生成的缺省路由并添加到路由表。如果路由表中已存在学到的缺省路由为活跃状态，则将此路由置为不活跃状态。
- 配置该命令后，IS-IS 域内所有去往外部的流量将首先会被转发到该设备来进行转发。相比于在每台设备上配置静态缺省路由，使用该命令可以简化操作，即只需在边界设备配置即可。此外，该命令是动态发布缺省路由，使用更加灵活，有多种发布缺省路由的方式可供选择。
- 如果在 Level-1 设备上配置了该命令，那么该设备只会向 Level-1 区域发布缺省路由，不会将缺省路由发布到 Level-2 区域。



缺省路由配置举例



如图所示，R1和R2的GE0/0/1接口运行OSPF，R2的GE0/0/2接口和R3运行IS-IS。

为了让R3能够访问OSPF网络，需要在R2的IS-IS中发布缺省路由。

同理，在R2的OSPF中也需要发布缺省路由。

1、配置各设备接口地址及各设备OSPF/IS-IS部署。（略）

2、配置R2在IS-IS中发布缺省路由。

```
[R2] isis
[R2-isis-1] default-route-advertise always
```

3、配置R2在OSPF中发布缺省路由。

```
[R2] ospf
[R2-ospf-1] default-route-advertise always
```

4、查看R3的路由表项。

```
[R3]display ip routing-table
Route Flags: R - relay, D - download to fib

Routing Tables: Public
  Destinations : 8      Routes : 8
Destination/Mask    Proto    Pre  Cost  Flags NextHop  Interface
0.0.0.0/0           ISIS-L2  15    10    D    10.1.23.2  GigabitEthernet0/0/2
.....
```

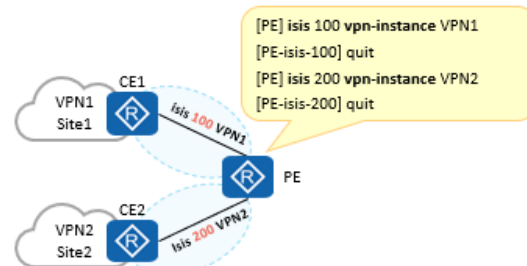


IS-IS多实例和多进程

- IS-IS多实例是指在同一台路由器上，可以配置多个VPN实例与多个IS-IS进程相关联。
- IS-IS多进程指在同一个VPN下（或者同在公网下）可以创建多个IS-IS进程，每个进程之间互不影响，彼此独立。不同进程之间的路由交互相当于不同路由协议之间的路由交互。
- 网络中可能需要同时承载不同的业务，为保证各业务的安全性，需要将业务进行隔离，此时，可以配置与VPN实例绑定。

• 应用场景：

- IS-IS多实例和多进程的典型应用是在VPN场景。
- 如图，同一台PE设备连接了两个不同的VPN客户，并且PE和CE之间均部署IS-IS，因此可以通过在PE设备上部署多进程实现VPN客户之间的隔离。



- IS-IS多实例和多进程的特点如下：
- IS-IS多进程共用同一个全局路由表。而IS-IS多实例使用VPN中的路由表，并且每个VPN都有自己单独的路由表。
- IS-IS多进程允许为一个指定的IS-IS进程关联一组接口，从而保证该进程进行的所有协议操作都仅限于这一组接口。这样，就可以实现一台路由器有多个IS-IS协议进程，每个进程负责唯一的一组接口。
- IS-IS进程在创建时可以选择绑定一个VPN实例，于是这个IS-IS进程就与此VPN实例相关联，并且只接收和处理

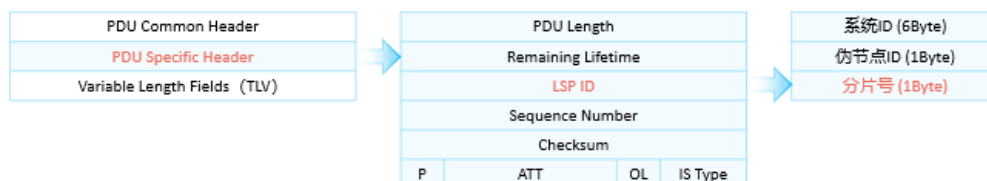
此 VPN 实例内的事件。当 VPN 实例删除时，IS-IS 进程也会跟着被删除。

- 命令：[Huawei] isis [*process-id*] [vpn-instance *vpn-instance-name*]
- *process-id*：指定 IS-IS 进程号。如果不指定进程，则启动进程号为 1 的 IS-IS 进程。整数形式，取值范围是 1 ~ 65535。缺省值是 1。
- **vpn-instance** *vpn-instance-name*：指定 VPN 实例名。如果不指定此参数，则就不会配置 VPN 实例与相应的 IS-IS 进程相关联。字符串形式，区分大小写，不支持空格，长度范围是 1 ~ 31。当输入的字符串两端使用双引号时，可在字符串中输入空格。

LSP分片

快速收敛 路由控制 其他特性

- 当IS-IS要发布的PDU中信息量太大时，IS-IS路由器将会生成多个LSP分片，用来携带更多的IS-IS信息。
- LSP的报文格式为：



- IS-IS LSP分片由LSP ID中的分片号（LSP Number）字段进行标识，这个字段的长度是1Byte。因此，一个IS-IS进程最多可产生256个LSP分片，携带的信息量有限。



LSP分片扩展基本概念

- IS-IS可以配置虚拟的系统ID，并生成虚拟IS-IS的LSP报文来携带路由等信息。
 - 初始系统（Originating System）：初始系统是实际运行IS-IS的路由器。允许一个单独的IS-IS进程像多个虚拟路由器一样发布LSP，而“Originating System”指的是那个“真正”的IS-IS进程。
 - 系统ID（Normal System-ID）：初始系统的系统ID。
 - 虚拟系统（Virtual System）：由附加系统ID标识的系统，生成扩展LSP分片。这些分片在其LSP ID中携带附加系统ID。
 - 附加系统ID（Additional System-ID）：虚拟系统的系统ID，由网络管理器统一分配。每个附加系统ID都允许生成256个扩展的LSP分片。
 - 24号TLV（IS Alias ID TLV）：LSP分片携带该TLV信息，用来表示初始系统与虚拟系统的关系。
- 使能分片扩展功能之后，如果存在由于报文装满而丢失的信息，系统会提醒重启IS-IS。重启之后，初始系统会尽最大能力装载路由信息，装不下的信息将放入虚拟系统的LSP中发送出去，并通过24号TLV来告知其他路由器此虚拟系统和自己的关系。

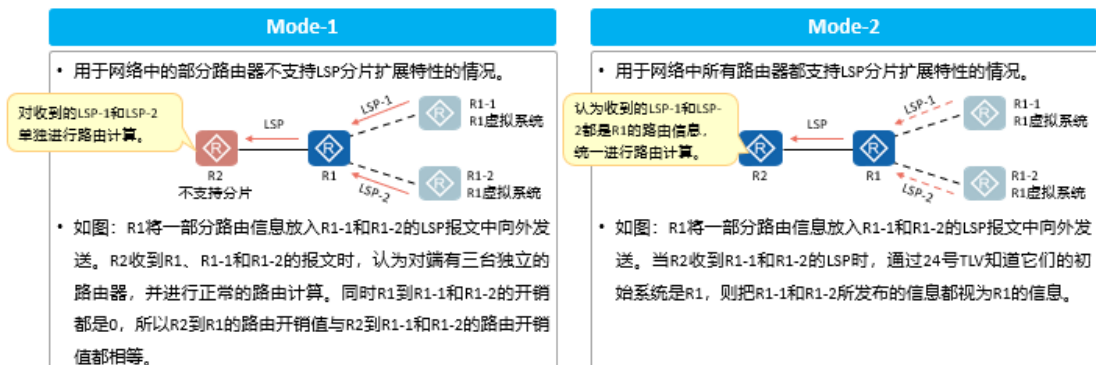
Type=24
Length
Value:
Normal System-ID

- 附加系统ID和系统ID都必须在整个路由域中唯一。



LSP分片扩展工作原理

- 在IS-IS中，每个系统ID都标识一个系统，每个系统都最多可生成256个LSP分片。通过增加附加系统ID，可以最多配置50个虚拟系统，从而使得IS-IS进程最多可生成13056个LSP分片。
- IS-IS路由器可以在两种模式下运行LSP分片扩展特性：



- Mode-1 工作原理：
- 虚拟系统参与路由 SPF 计算，初始系统发布的 LSP 中携带了到每个虚拟系统的链路信息。类似地，虚拟系统发布的 LSP 也包含到初始系统的链路信息。这样，在网络中虚拟系统看起来与初始系统相连的真实路由器是一样的。
- 这种方式是为了兼容不支持分片扩展的老版本所做的一个过渡模式。在老版本中，IS-IS 无法识别 24 号 TLV，所以虚

拟系统的 LSP 必须表现的像一个普通 IS-IS 发出的报文。

- 注意事项：
- 虚拟系统的 LSP 中包含和原 LSP 中相同的区域地址和过载标志位。如果还有其它特性的 TLV，也必须保持一致。
- 虚拟系统的邻居信息指向初始系统，metric 为最大值减 1；初始系统的邻居信息指向虚拟系统，metric 必须为 0。这样就保证了其它路由器在进行路由计算的时候，虚拟系统一定会成为初始系统的下游节点。
- Mode-2 工作原理：
- 虚拟系统不参与路由 SPF 计算，网络中所有路由器都知道虚拟系统生成的 LSP 实际属于初始系统。
- 在该模式下工作的 IS-IS，可以识别 24 号 TLV 的内容，并作为计算树和路由的依据。
- 注意：无论在哪种方式下，初始系统和虚拟系统的 LSP 零分片中，都必须包含 IS Alias ID TLV 来表示初始系统是谁。

快速收敛 路由控制 其他特性



LSP分片扩展的基本配置命令

1. 使能IS-IS进程的LSP分片扩展

```
[Huawei-isis-1] lsp-fragments-extend [ [ level-1 | level-2 | level-1-2 ] | [ mode-1 | mode-2 ] ]
```

缺省情况下，设备未使能IS-IS进程的LSP分片扩展功能。

配置LSP分片扩展时，如果不指定mode和level级别，则默认为mode-1和level-1-2。

2. 配置一个虚拟系统

```
[Huawei-isis-1] virtual-system virtual-system-id
```

缺省情况下，设备没有配置虚拟系统。

为了使设备生成扩展LSP分片，应至少配置一个虚拟系统的系统ID。这个虚拟系统的系统ID在整个路由域中必须唯一。

一个IS-IS进程最多可配置50个虚拟系统的System ID。

注意：以上两条命令是配合使用的，只有使能了LSP分片扩展，并用reset isis all命令重启了IS-IS进程后，配置的虚拟系统ID才会生效。

- 命令：**[Huawei-isis-1] lsp-fragments-extend [[level-1 | level-2 | level-1-2] | [mode-1 | mode-2]]**
- **level-1**：指定在 Level-1 级别使能分片扩展。
- **level-2**：指定在 Level-2 级别使能分片扩展。

- **level-1-2**：指定在 Level-1-2 级别使能分片扩展。
- **mode-1**：该模式可以兼容以前老版本不支持 LSP 分片扩展特性的情况。
- **mode-2**：该模式要求所有路由器都支持 LSP 分片扩展特性。
- 命令：[Huawei-isis-1] **virtual-system** *virtual-system-id*
- *virtual-system-id*：指定 IS-IS 进程的虚拟系统 ID。长度是 6 字节（48 比特），格式是 XXXX.XXXX.XXXX。

思考题：

- （多选题）OSPF 有哪些快速收敛机制？（ ）
- I-SPF
- LSP 快速扩散
- 智能定时器
- OSPF IP FRR
- （判断题）OSPF 的 Type5 LSA 中 FA 字段一定为 0.0.0.0。（ ）
- 正确
- 错误
- （判断题）在 IS-IS 网络中，若设备运行 Mode-2 的 LSP 分片扩展，则虚拟系统不参与路由 SPF 计算，网络中所有路由器都知道虚拟系统生成的 LSP 实际属于初始系统。（ ）
- 正确
- 错误
-

参考答案：

- CD
- B
- A

