

# IP 路由基础

## 路由基础知识点：

认识 RIB 与 FIB

RIB：Routing Information Base，路由信息库，路由器的控制平面

FIB：Forwarding Information Base，转发信息库，路由器的数据平面

掌握路由的 3 种来源（直连路由、静态路由、动态路由）

了解路由迭代计算（出一个直连的下一跳）

掌握路由引入（import-route，具有方向性，注意：路由优先级、路由回灌、路由度量值）

掌握常见路由的优先级（direct 0，OSPF 内部 10，OSPF 外部 150，静态 60，ISIS 15，BGP 255）

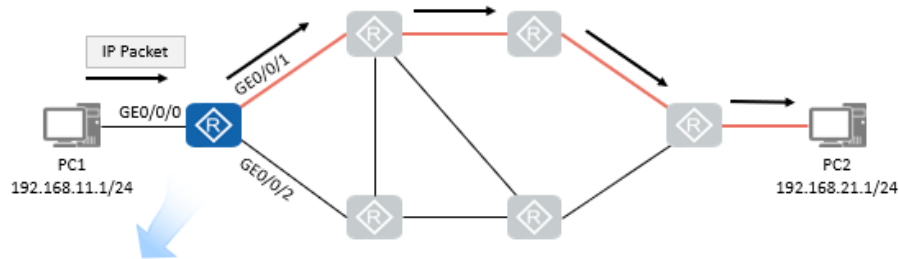
=====

当路由器收到一个 IP 数据包，路由器会根据数据包的目的 IP 地址查找 FIB（Forwarding Information Base，转发信息库）表，找到“最匹配”的路由条目后，将数据包根据路由条目所指示的出接口或下一跳转发出去。

路由器获取路由的方式有三种，分别是动态路由（例如 OSPF）、静态路由、直连路由。一个网络中可能会同时存在这三种方式，那么采用不同方式获取路由的路由器之间如何实现路由可达？

本课程介绍 IP 路由的基础知识，包括路由转发和路由表，以及路由引入的相关知识。

## IP路由概述

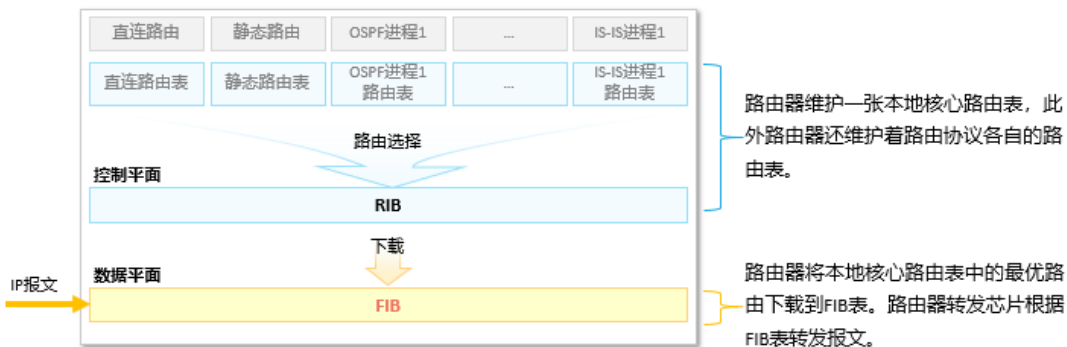


当路由器收到一个IP报文时，路由器根据该IP报文的目的地址匹配路由条目（或路由表项）。

- 若有匹配的路由条目，则依据该条目中的出接口或下一跳等信息进行报文转发；
- 若无匹配的路由条目，则路由器没有相关路由信息用于指导报文转发，此时会丢弃该报文。

## RIB与FIB

具有路由功能的网络设备都维护两种重要的数据表：一是路由表RIB（Routing Information Base，路由信息库）；二是转发表FIB。



- 路由表：
- 可以将路由表视为位于路由器的控制平面，实际上路由表并不直接指导数据转发。路由器在执行路由查询时，并不是在路由表中进行报文目的地址的查询，真正指导数据转发的是FIB表，路由器将路由表中的最优路由下载到FIB表，此后如果路由表中的相关表项发生变化，FIB表也将立即同步。
- 由于两张表的一致性，且路由表阅读起来更直观，因此在绝大多数场合，在阐述路由器数据转发过程时，会用“路由表”这个说法，实际上，路由器查询的是FIB表，位于控制层面的路由表只是提供路由信息。

- FIB 表：
- FIB 表位于路由器的数据平面，亦被称为转发表项，每条转发表项都指定要到达某个目的地所需通过的出接口及下一跳 IP 地址等信息。
- 注意：
- 具有路由功能的华为数通产品包括路由器、三层交换机等，本课程以路由器为例进行讲解。
- OSPF ( Open Shortest Path First , 开放式最短路径优先 ) 和 IS-IS ( Intermediate System to Intermediate System , 中间系统到中间系统 ) ，均基于链路状态信息，使用最短路径优先算法进行路由计算。OSPF 及 IS-IS 的详细内容，将在后续课程介绍。
- 路由进程：路由器支持 OSPF 和 IS-IS 多进程，可以根据业务类型划分不同的进程，不同的进程之间相互独立。进程号是本地概念，不影响与其它路由器之间的报文交换。因此，不同的路由器之间，即使进程号不同也可以进行报文交换。

## 路由表

每个路由器都有路由表，而路由表又分为本地核心路由表和协议路由表。

协议路由表	本地核心路由表
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 协议路由表中存放着该协议发现的路由信息。</li> <li>• 以OSPF路由表为例。</li> </ul> <pre>Public routing table : OSPF Destinations : 1    Routes : 1  OSPF routing table status : &lt;Active&gt; Destinations : 1    Routes : 1  Destination/Mask Proto Pre Cost NextHop Interface 10.3.3.3/32 OSPF 10 1 10.0.1.1 GigabitEthernet0/0/0  OSPF routing table status : &lt;inactive&gt; Destinations : 0    Routes : 0</pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 每台路由器中都保存着一张设备的本地核心路由表。路由器对各个协议的路由表中相同的表项进行优选，得到本地核心路由表，并把本地核心路由下发到FIB，指导转发。</li> </ul> <pre>Routing Tables: Public Destinations : 10    Routes : 10  Destination/Mask Proto Pre Cost NextHop Interface 0.0.0.0/0 Static 60 0 10.0.2.2 GigabitEthernet0/0/1 10.3.3.3/32 OSPF 10 1 10.0.1.1 GigabitEthernet0/0/0 10.4.4.4/32 EBGP 255 0 10.0.2.2 GigabitEthernet0/0/1 10.0.1.0/24 Direct 0 0 10.0.1.2 GigabitEthernet0/0/0 10.0.1.2/32 Direct 0 0 127.0.0.1 GigabitEthernet0/0/0 10.0.3.0/24 EBGP 255 0 10.0.2.2 GigabitEthernet0/0/1 127.0.0.0/8 Direct 0 0 127.0.0.1 InLoopBack0 127.0.0.1/32 Direct 0 0 127.0.0.1 InLoopBack0</pre> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 本地核心路由表中的最优路由，是依据各种路由协议的优先级和度量值来选取的。</li> </ul>

- 路由表中的关键字段：
- Destination：表示此路由的目的地址。用来标识 IP 包的目的地地址或目的网络。

- Mask：表示此目的地址的子网掩码长度。与目的地址一起来标识目的主机或路由器所在的网段的地址。
- Proto ( Protocol )：表示学习此路由的路由协议。
- Pre ( Preference )：表示此路由的路由协议优先级。
- 路由器分别定义了外部优先级和内部优先级。外部优先级是指用户可以手工为各路由协议配置的优先级，内部优先级则不能被用户手工修改。
- 选择路由时先比较路由的外部优先级，当不同的路由协议配置了相同的优先级后，系统会通过内部优先级决定哪个路由协议发现的路由将成为最优路由。
- Cost：路由开销。
- NextHop：表示转发到此目的网络的下一跳。指明数据转发的下一个设备。
- Interface：表示转发到此目的网络的出接口。指明数据将从本地路由器哪个接口转发出去。
- Preference 用于不同路由协议间路由优先级的比较，Cost 用于同一种路由协议内部不同路由的优先级的比较。
- 注意：正文内的路由表为截取版，非完整路由表。

## IP路由查找的最长匹配原则

- 路由器查找FIB表时，将报文的目的IP地址和FIB表中各表项的掩码进行按位“逻辑与”，得到的地址符合FIB表中的网络地址则匹配。
- 最终选择一个掩码最长的FIB表项转发报文。

```
[Huawei] display fib 0
Route Flags: G - Gateway Route, H - Host Route, U - Up Route
              S - Static Route, D - Dynamic Route, B - Black Hole Route
-----
FIB Table:
Total number of Routes : 8
```

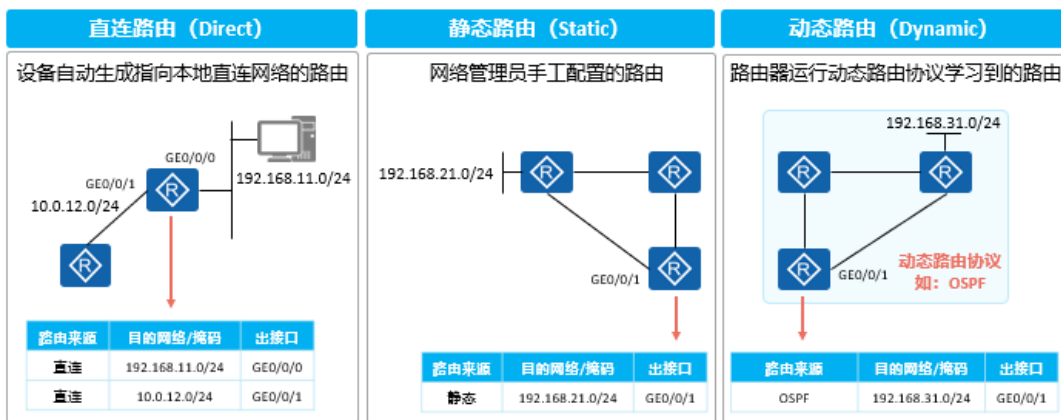
Destination/Mask	Nexthop	Flag	TimeStamp	Interface	TunnelID
10.3.3.3/32	10.0.1.1	DGHU	t[15123]	GE0/0/0	0x0
10.4.4.4/32	10.0.2.2	DGHU	t[11177]	GE0/0/1	0x0
10.0.1.2/32	127.0.0.1	HU	t[9058]	InLoop0	0x0
127.0.0.1/32	127.0.0.1	HU	t[19]	InLoop0	0x0
127.0.0.0/8	127.0.0.1	U	t[19]	InLoop0	0x0
0.0.0.0/0	10.0.2.2	GSU	t[122]	GE0/0/1	0x0
10.0.1.0/24	10.0.1.2	U	t[9058]	GE0/0/0	0x0
10.0.3.0/24	10.0.2.2	DGU	t[11177]	GE0/0/1	0x0

如果一个数据包的目的IP地址是10.3.3.3，路由器将会把这个数据包从哪个接口转发出去呢？

- FIB 表中每条转发项都指明到达某网段或某主机的报文应通过路由器的哪个物理接口或逻辑接口发送，然后就可到达该路径的下一个路由器，或者不再经过别的路由器而传送到直接相连的网络中的目的主机。
- FIB 表信息查看命令：**display fib** [ *slot-id* ]
- *slot-id*：显示指定槽位号的 FIB 表信息。整数形式，取值范围请根据设备实际配置选取。
- FIB 表中的字段说明：
- Total number of Routes：路由表总数。
- Destination/Mask：目的地址/掩码长度。
- Nexthop：下一跳。
- Flag：当前标志，G、H、U、S、D、B 的组合。
- G ( Gateway )：网关路由，表示下一跳是网关。
- H ( Host )：主机路由，表示该路由为主机路由。
- U ( Up )：可用路由，表示该路由状态是 Up。
- S ( Static )：静态路由。
- D ( Dynamic )：动态路由。
- B ( Black Hole )：黑洞路由，表示下一跳是空接口。
- TimeStamp：时间戳，表示该表项存在的时间，单位是秒。
- Interface：到目的地址的出接口。
- TunnelID：表示转发表项索引。该值不为 0 时，表示匹配该项的报文通过隧道转发（如：MPLS 隧道转发）。该值为 0 时，表示报文不通过隧道转发。



## 路由的来源



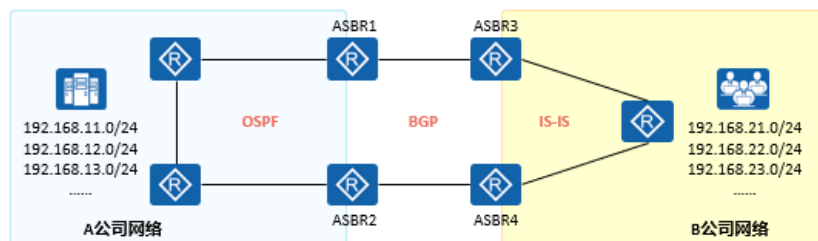
- 直连路由：直连接口所在网段的路由，由设备自动生成。
- 静态路由：由网络管理员手工配置的路由条目。
- 动态路由：路由器通过动态路由协议（如 OSPF、IS-IS、BGP 等）学习到的路由。
- BGP（Border Gateway Protocol，边界网关协议）是一种实现 AS（Autonomous System，自治系统）之间的路由可达，并选择最佳路由的距离矢量路由协议。
- AS 是指在一个实体管辖下的拥有相同选路策略的 IP 网络。



## 动态路由协议

动态路由协议根据作用范围不同，可分为：

- 内部网关协议IGP（Interior Gateway Protocol）：在一个自治系统内部运行。常见的IGP协议包括OSPF和IS-IS。
- 外部网关协议EGP（Exterior Gateway Protocol）：运行于不同自治系统之间。BGP是目前最常用的EGP协议。





## 路由迭代

路由必须有直连的下一跳才能够指导转发，静态路由或BGP路由的下一跳可能不是直连的邻居，因此需要计算出一个直连的下一跳，这个过程就叫做路由迭代。



迭代得到直连的下一跳

在本例中，我们为R1增加一条到达10.0.23.3的路由，使到达192.168.21.0/24的路由能够完成迭代。

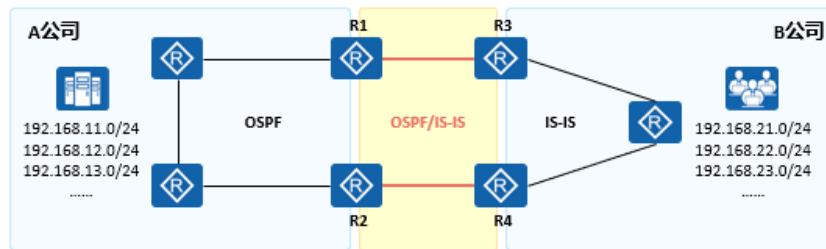


## 数据转发流程



- PC1 发送数据包到 PC2 的流程如下：
- PC1 将报文发往网关设备 R1。
- R1 查找路由表项，确定转发的下一跳、出接口，之后将报文转发给 R2。
- R2 通过查找路由表项转发给 R3。
- R3 收到后查找路由表项，发现 IP 报文的目的 IP 地址属于本地接口所在网段，则直接本地转发，最终该报文被发往目的的主机 PC2。

## IP路由高级应用场景分析 (1)

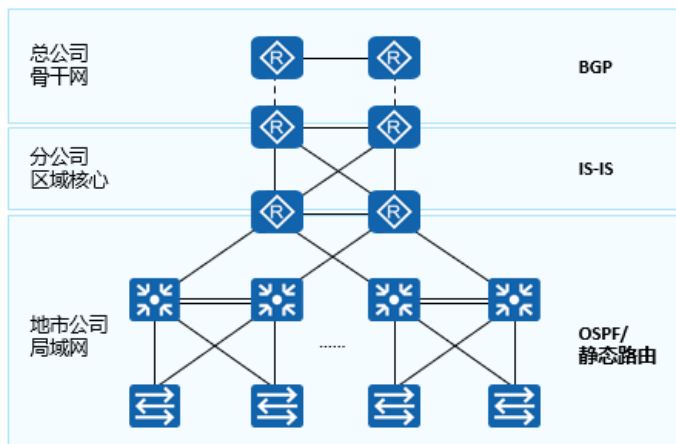


场景描述：

- 假设A公司和B公司各有自己的网络，这两个网络被独立管理及运维，A公司网络使用的路由协议为OSPF，B公司网络使用的路由协议为IS-IS。
- 现在两家公司合并成一家公司，导致原有的两张网络不得不进行整合，为了使合并后的新公司业务流量能够正常在整合后的网络上交互，最重要的就是实现路由互通。

- OSPF 与 IS-IS 是两种不同的动态路由协议，路由信息无法在路由协议之间直接交互。
- 如图所示，A 公司部署 OSPF，边界设备为 R1 和 R2；B 公司部署 IS-IS，边界设备为 R3 和 R4。边界互联部分可以部署 OSPF 或 IS-IS，例如：可以将 R1 与 R3 互联网段、R2 与 R4 互联网段部署进 A 公司的 OSPF，此时边界设备仅为 R3 和 R4。

## IP路由高级应用场景分析 (2)



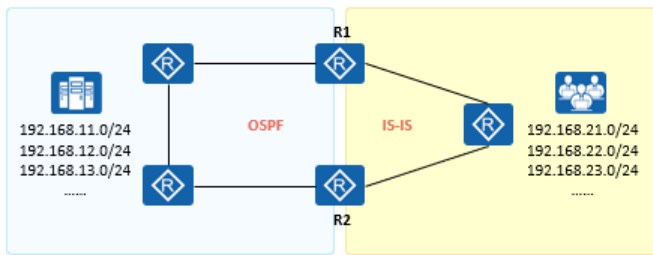
场景描述：

- 在大型企业网络中，网络规模十分庞大，选用单一的路由协议无法满足网络的需求，因此多种路由协议共存的情况十分常见。
- 或者出于业务逻辑或行政管理的考虑，会在不同的网络结构中设计和部署不同的路由协议，使路由的层次结构更加清晰可控。
- 在这样的网络环境下，也需要实现全网路由互通。





## 路由引入的基本概念



两个路由协议之间路由信息彼此隔离

若要实现路由互通，可以通过以下方法：

1. 重新规划及整改全网路由协议，该方案部署复杂。
2. 在OSPF和IS-IS路由域的边界设备上进行操作，使得路由信息在两个动态路由协议之间传递。该方案不需要改变原有拓扑架构，部署较为简单，但可能有环路风险。

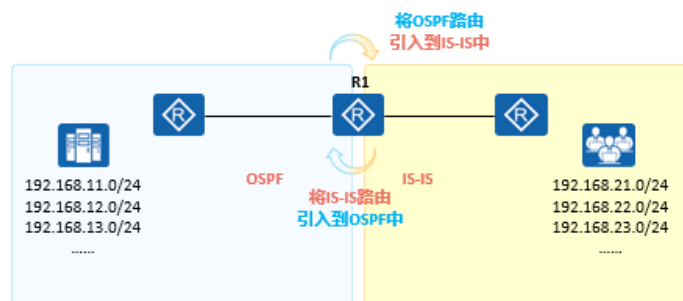
路由引入指的是将路由信息从一种路由协议发布到另一种路由协议的操作。

- 通过路由引入，可以实现路由信息在不同路由协议间传递。
- 执行路由引入时，还可以部署路由控制，从而实现对业务流量的灵活把控。
- 如上图所示，OSPF 和 IS-IS 网络中存在不同的网段，只有 R1 和 R2 同时知道所有路由条目。
- 思考：如何让全部设备都能获取到所有的路由呢？



## 路由引入的方向性

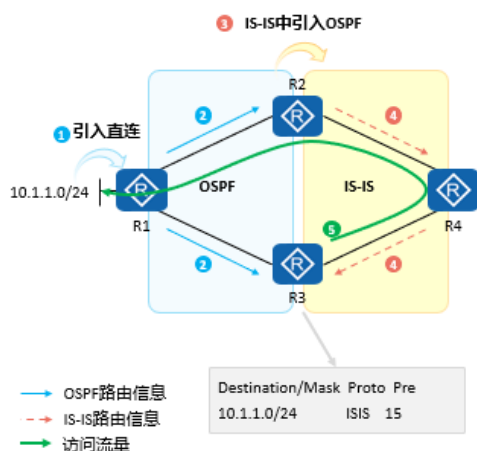
- 路由引入是具有方向性的，将路由信息从路由协议A引入到路由协议B（A-to-B），则路由协议B可获知A中的路由信息，但是此时，A还并不知晓B路由协议中的路由信息，除非配置B-to-A的路由引入。
- 路由引入时需要注意以下几点：
  - 路由优先级
  - 路由回灌
  - 路由度量值



思考：如果只将OSPF路由引入到IS-IS中是否可以实现两个网络相互通信？

- 路由引入时，还需要注意路由收敛时间的把控，本课程不做详细介绍。
- 更多路由引入相关的理论和配置，将会在 HCIP-Datacom 认证课程的后续章节中详细介绍。

## 路由引入：路由优先级



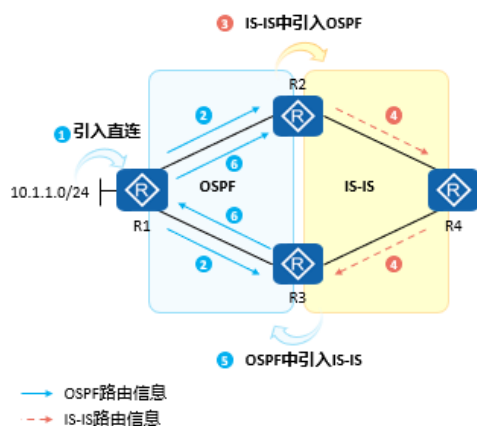
### 场景描述：

1. R1将直连路由10.1.1.0/24引入到OSPF中。
  2. R3通过OSPF学习到10.1.1.0/24网段路由（OSPF外部路由，路由优先级为150）。
  3. R2在IS-IS进程中引入OSPF路由。
  4. R3也会通过IS-IS学习到10.1.1.0/24网段路由（路由优先级为15）。
  5. 对R3而言，IS-IS路由优于OSPF外部路由，因此优选来自R4的IS-IS路由。
- 后续R3访问10.1.1.0/24网段的路径为：R3->R4->R2->R1，这是次优路径。

### 华为定义的路由优先级：

- Direct : 0
- OSPF : 10
- IS-IS : 15
- Static : 60
- OSPF ASE : 150
- OSPF NSSA : 150
- IBGP : 255
- EBGP : 255
- 注意：不同的厂商路由优先级的协定可能不同。

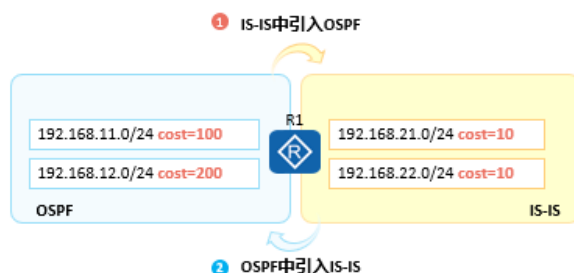
## 路由引入：路由回灌



### 场景描述:

1. R1将直连路由由10.1.1.0/24引入到OSPF中。
2. 10.1.1.0/24网段路由由全OSPF域内通告。
3. R2在IS-IS进程中引入OSPF路由。
4. 10.1.1.0/24网段路由由全IS-IS域内通告。
5. R3在OSPF进程中引入IS-IS路由。
6. 10.1.1.0/24网段路由由再次被通告进OSPF域内，形成路由回灌。

## 路由引入：路由度量值



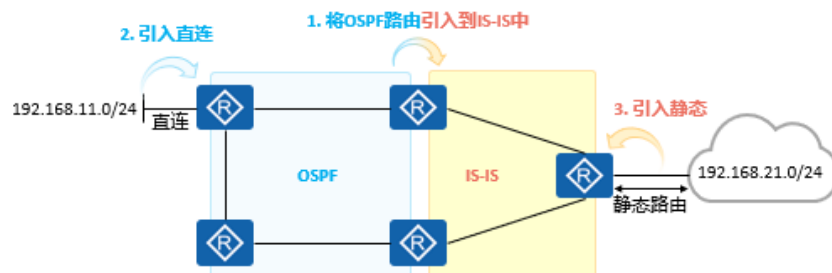
### 场景描述:

1. 在IS-IS中引入OSPF路由。
  2. 在OSPF中引入IS-IS路由。
- 不同的路由协议对路由度量值的定义不同，那么在路由协议之间进行路由引入时，被引入的路由的度量值该如何定义？定义成多少？

## 路由引入场景

路由引入主要涉及以下几种场景：

1. 动态路由协议之间的路由引入
2. 引入直连路由到动态路由协议
3. 引入静态路由到动态路由协议



•

## 路由引入的基础配置命令

### 1. 配置OSPF引入外部路由

```
[Huawei-ospf-100] import-route { bgp | direct | static | isis [ process-id isis ] | ospf [ process-id ospf ] }
```

在OSPF视图下，引入BGP路由/直连路由/静态路由/IS-IS路由/OSPF其他进程路由。

说明：当 OSPF 网络中的设备需要访问运行其他协议的网络中的设备时，需要将其他协议的路由引入到 OSPF 网络中。

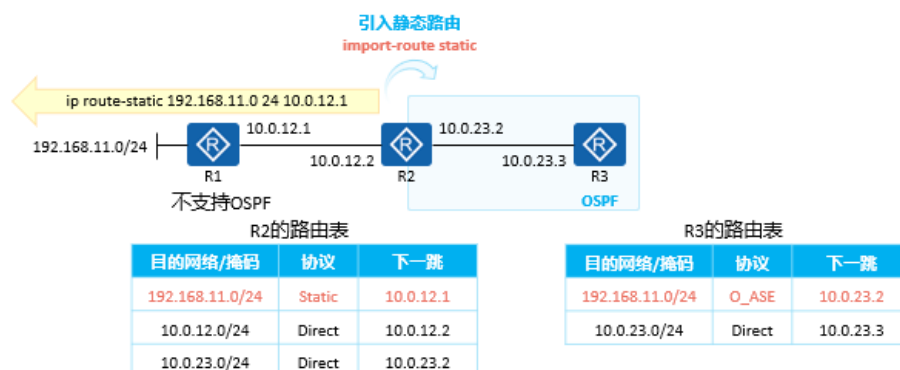
## 案例1：引入直连路由到OSPF



- 可以通过使用import-route direct命令，将路由表中所有直连路由引入到动态路由协议。
- 引入后的路由会作为OSPF外部路由，在整个OSPF网络内通告。
- 在设备上部署动态路由协议，如果希望该设备的直连接口路由能够被发布到动态路由协议中，则需要激活该端口相应的动态路由协议。除此之外，也可以通过将直连路由引入到动态路由协议实现该目的。
- 如图所示：
- R1、R2 及 R3 运行 OSPF，R1 存在一个直连网段 192.168.11.0/24，为了让 R2 和 R3 生成 192.168.11.0/24 的路由，可以在 R1 上将直连路由引入到 OSPF。

- 说明：在 OSPF 网络中，若路由表的协议字段显示为 O\_ASE，表明该路由为 OSPF 的外部路由。

## 案例2：引入静态路由到OSPF



- 可以通过使用import-route static命令，将路由表中所有静态路由引入到动态路由协议。
- 引入后的路由会作为OSPF外部路由，在整个OSPF网络内通告。
- 对于动态路由协议而言，静态路由被视为域外的路由信息，这些路由并不被动态路由协议直接感知。如果希望动态路由协议域内所有设备都能学习到该静态路由，则需要将静态路由引入到动态路由协议中。
- 如图所示：
- R2 及 R3 运行了 OSPF，而 R1 不支持 OSPF。在 R2 上添加静态路由指向 192.168.11.0/24 网段，并且在 R2 上将静态路由引入到 OSPF，从而使 R2 和 R3 均能生成 192.168.11.0/24 的路由。

## 案例3：将IS-IS路由引入到OSPF



- 可以通过使用import-route isis 1命令，将路由表中所有IS-IS路由引入到动态路由协议。
  - 引入后的路由会作为OSPF外部路由，在整个OSPF网络内通告。
  - 在两个动态路由协议域的边界执行路由引入操作，是最常见的场景之一，就是将路由信息从一个动态路由协议引入另一个动态路由协议中。
  - 如图所示：
  - R1 及 R2 运行了 IS-IS，R2 及 R3 运行了 OSPF，两个协议维护的路由信息是完全隔离的。因此，此时 R1 有 IS-IS 网络内全部路由，但无法访问到 OSPF 网络；R3 有 OSPF 网络内全部路由，但无法访问到 IS-IS 网络。在 R2 上执行路由引入，将 IS-IS 路由引入到 OSPF 中。
- 本章总结：**
- 由于不同路由协议工作原理不同，因此到达同一目的网段可能会生成多个路由条目，路由器根据路由协议的优先级以及路由开销选择最优路由，并且把最优路由放入 FIB 表。路由器根据 FIB 表执行数据转发。
  - 当网络规模较大且使用多种路由协议时，路由协议间通过路由引入的方式实现路由的相互通告。由于路由引入可能会引入大量路由，并导致部分性能较低的设备无法承受，因此在

进行路由引入时需要进行路由控制来实现路由的按需分发。

本课程所列举的 OSPF 路由协议，IS-IS 路由协议以及路由控制将在后续课程中详细介绍

### 思考题：

- (单选题) 在某路由器的 FIB 表中存在以下 4 条路由转发表项，那么该路由器对于目的 IP 地址为 10.0.1.1 的 IP 报文将根据哪条路由进行转发？( )
  - 0.0.0.0/0
  - 10.0.0.0/16
  - 10.0.1.0/24
  - 10.0.2.0/24
- (多选题) 以下关于路由引入的说法，错误的有( )。
- 在某路由器的 OSPF 进程中，执行 **import-route direct** 命令，则该路由器会把路由表中的所有直连路由都引入 OSPF
- 在某路由器的 OSPF 进程中，执行 **import-route static** 命令，则该路由器会把路由表中的所有静态路由都引入 OSPF
- 在某路由器上，将路由表中来源于 X 路由协议的路由引入 Y 路由协议，需要在 X 路由协议视图下执行 **import-route** 命令
- 在某路由器上执行了 **import-route** 命令并成功将其 GE0/0/1 的直连路由引入 OSPF，该接口也就激活了 OSPF，并开始周期性地发送 Hello 报文

### 答案

- C
- CD
-