



IP 路由基础



目录

1. 路由概述

- 路由基本概念
- 路由条目生成
- 最优路由条目优选
- 路由转发

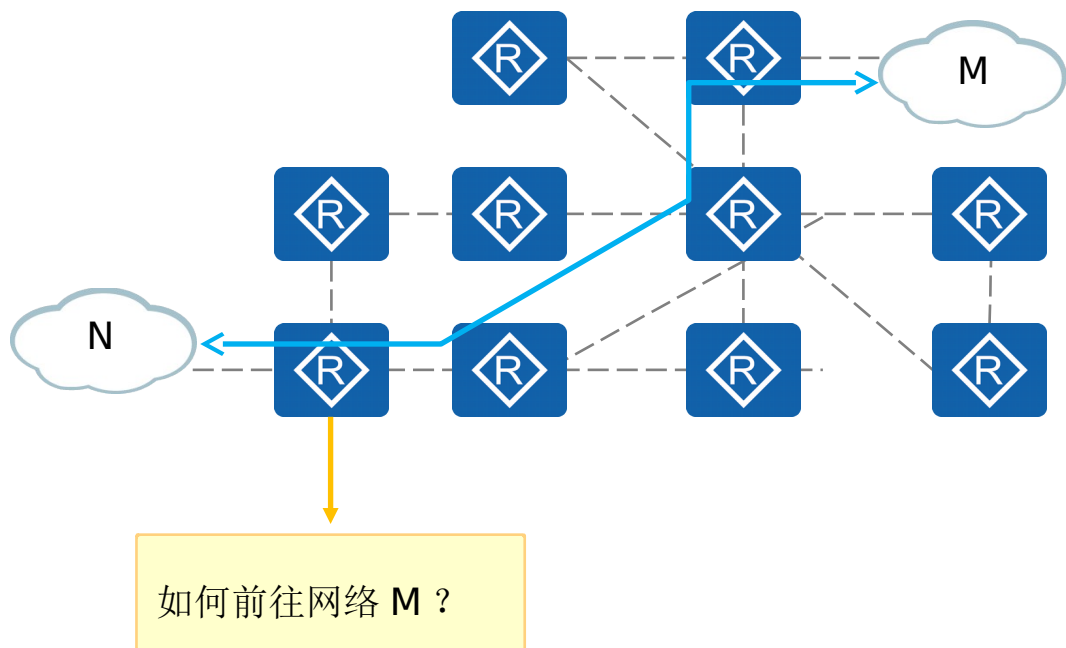
2. 静态路由

3. 动态路由

4. 路由高级特性



背景：网段间通信

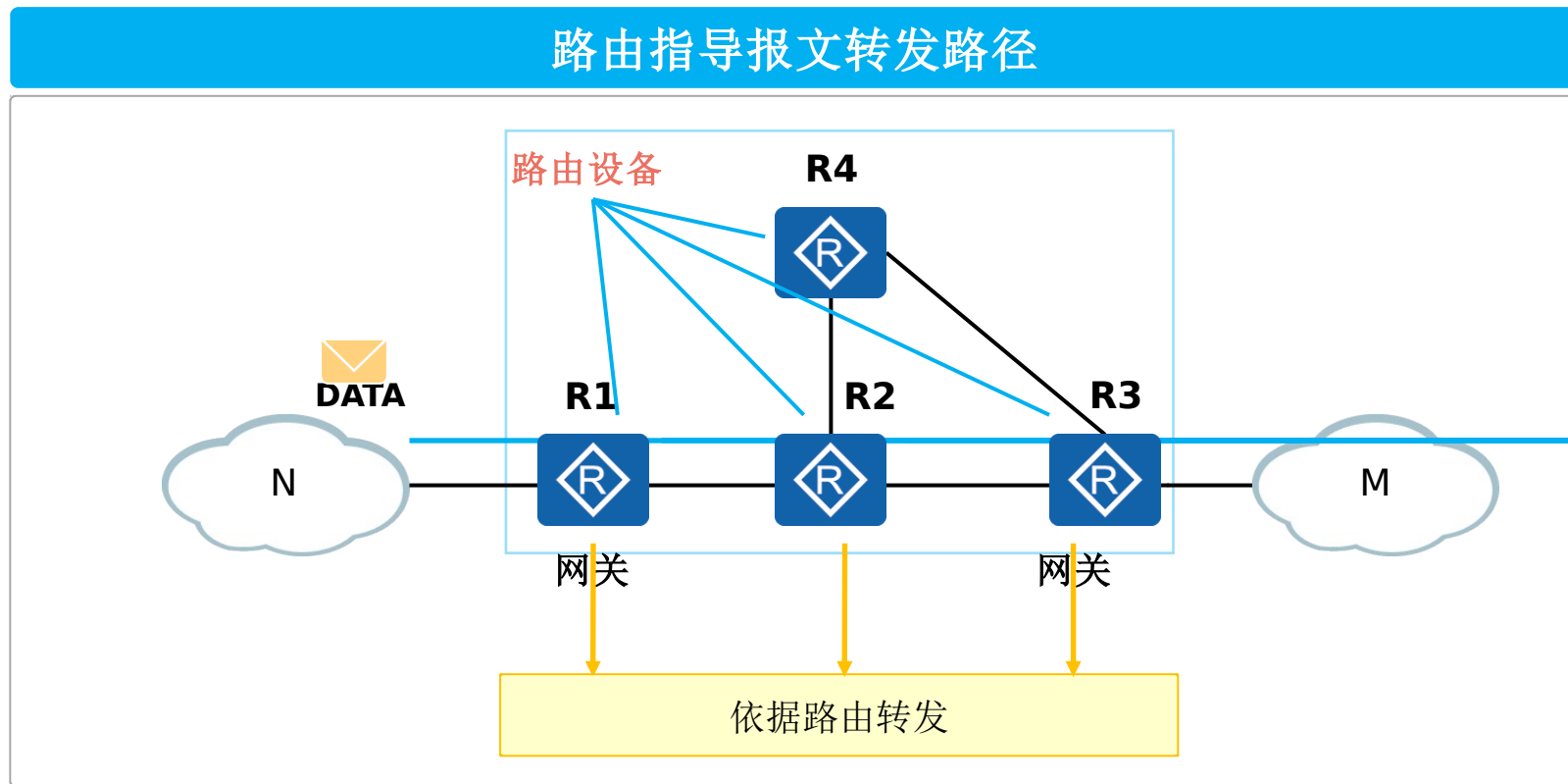


- IP 地址唯一标识了网络中的一个节点，每个 IP 地址都拥有自己的网段，各个网段可能分布在网络的不同区域。
- 为实现 IP 寻址，分布在不同区域的网段之间要能够相互通信。



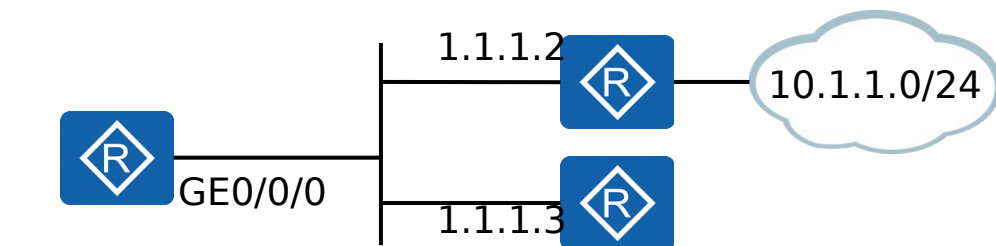
路由

- 路由是指导报文转发的路径信息，通过路由可以确认转发 IP 报文的路径。
- 路由设备是依据路由转发报文到目的网段的网络设备，最常见的路由设备：路由器。
- 路由设备维护着一张路由表，保存着路由信息。





路由信息介绍



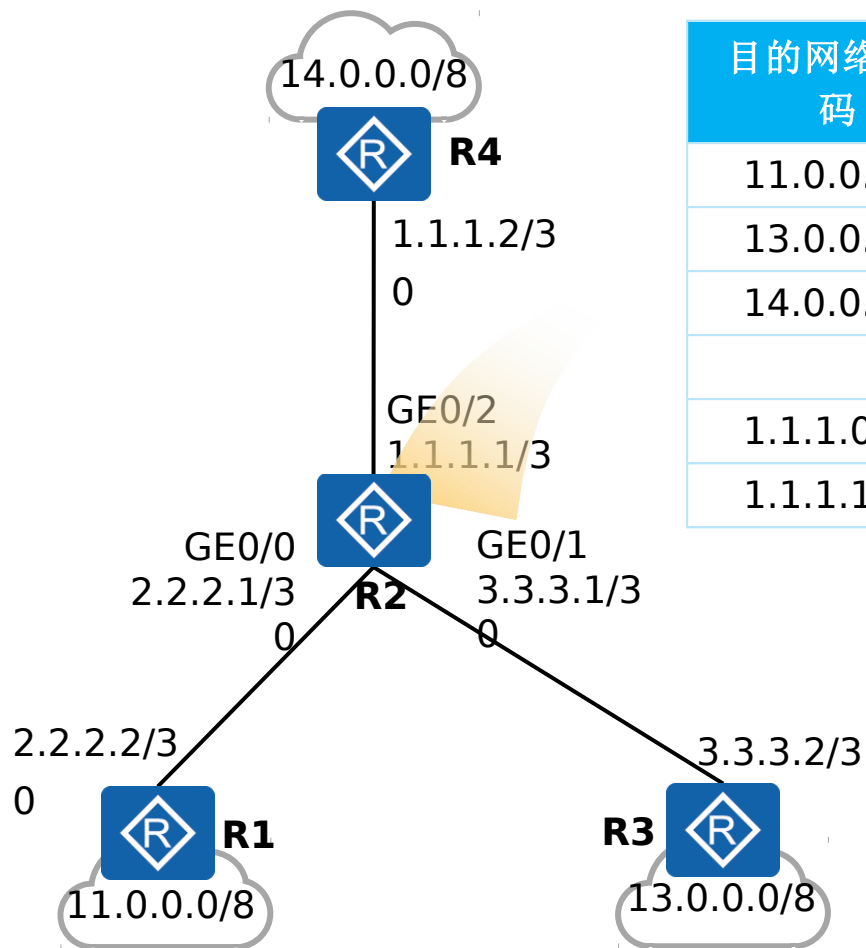
IP 路由

目的网络 / 掩码	出接口	下一跳
10.1.1.0/24	GE0/0/0	1.1.1.2

- 路由中包含以下信息：
 - 目的网络：标识目的网段
 - 掩码：与目的地址共同标识一个网段
 - 出接口：数据包被路由后离开本路由器的接口
 - 下一跳：路由器转发到达目的网段的数据包所使用的下一跳地址
- 这些信息标识了目的网段、明确了转发 IP 报文的路径。



路由表



目的网络 / 掩码	下一跳	出接口
11.0.0.0/8	2.2.2.2	GE0/0
13.0.0.0/8	3.3.3.2	GE0/1
14.0.0.0/8	1.1.1.2	GE0/2
.....		
1.1.1.0/30	1.1.1.1	GE0/2
1.1.1.1/32	127.0.0.1	GE0/2

- 路由器通过各种方式发现路由
- 路由器选择最优的路由条目放入路由表中
- 路由表指导设备对 IP 报文的转发
- 路由器通过对路由表的管理实现对路径信息的管理



目录

1. 路由概述

- 路由基本概念
- 路由条目生成
- 最优路由条目优选
- 路由转发

2. 静态路由

3. 动态路由

4. 路由高级特性

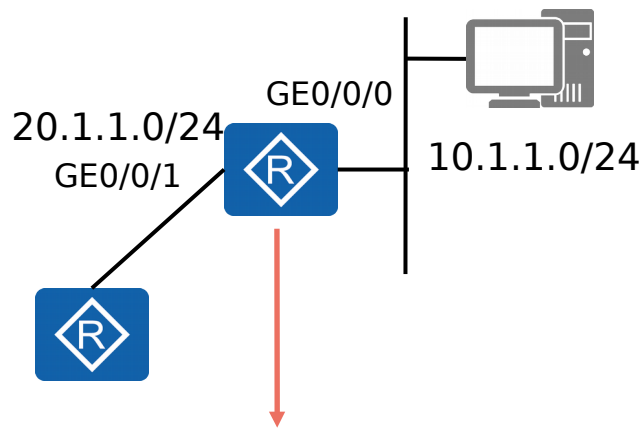


路由信息获取方式

- 路由器依据路由表进行路由转发，为实现路由转发，路由器需要发现路由，以下为常见的路由获取方式。

直连路由

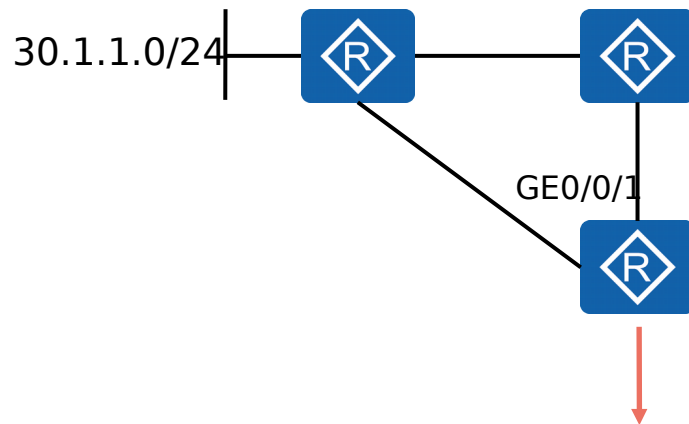
- 由设备自动生成指向本地直连网络



路由来源	目的网络 / 掩码	出接口
直连	10.1.1.0/24	GE0/0/0
直连	20.1.1.0/24	GE0/0/1

静态路由

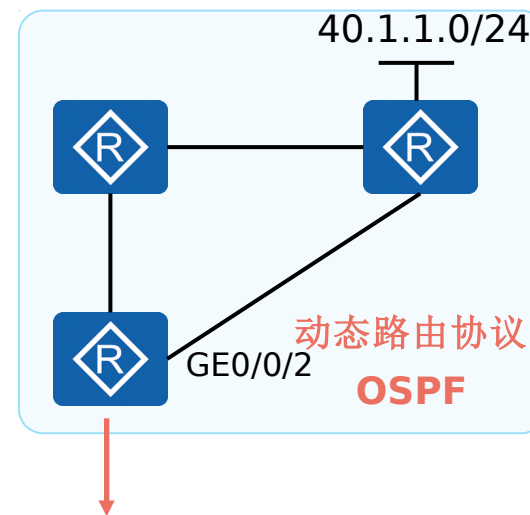
- 由网络管理员手工配置的路由条目



路由来源	目的网络 / 掩码	出接口
静态	30.1.1.0/24	GE0/0/1

动态路由

- 路由器运行动态路由协议学习到的路由

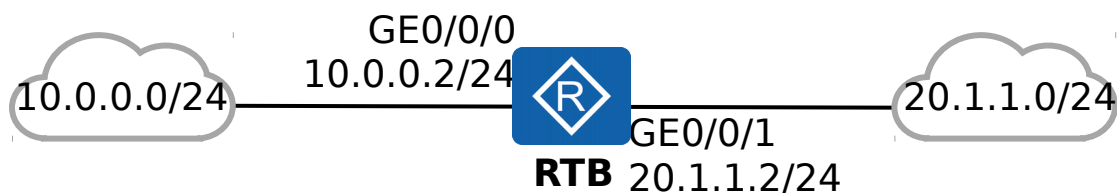


路由来源	目的网络 / 掩码	出接口
动态路由协议	40.1.1.0/24	GE0/0/2



直连路由 (1)

直连路由



RTB 路由表中的直连路由

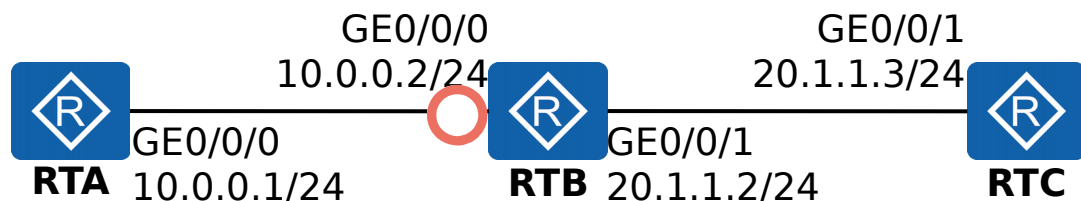
目的网络	来源	下一跳	出接口
10.0.0.0/24	直连	10.0.0.2	GE0/0/0
20.1.1.0/24	直连	20.1.1.2	GE0/0/1

- 直连路由指向本地直连网络的路由，由设备自动生成。
- 当路由器为路由转发的最后一跳路由器时，IP 报文匹配直连路由，路由器转发 IP 报文到目的主机。
- 使用直连路由进行路由转发时，报文的目的 IP 和路由器接口 IP 在一个网段之中。



直连路由 (2)

直连路由



RTB 路由表中的直连路由

目的网络	来源	下一跳	出接口
20.1.1.0/24	直连	20.1.1.2	G0/0/1

- GE0/0/0 接口 down，该接口的直连路由未出现在路由表中

- 并不是所有接口生成的直连路由都会出现在路由表中，直连路由出现在路由表中的前提是该接口的物理状态、协议状态都为 UP。



目录

1. 路由概述

- 路由基本概念
- 路由条目生成
- 最优路由条目优选
- 路由转发

2. 静态路由

3. 动态路由

4. 路由高级特性



查看 IP 路由表

```
<Quidway> display ip routing-table
Route Flags: R - relay, D - download to fib
```

```
-----
Routing Tables: Public
```

```
Destinations : 6      Routes : 6
```

Destination/Mask Interface	Proto	Pre	Cost	Flags	NextHop
1.1.1.1/32	Static	60	0	D	0.0.0.0 NULL0
2.2.2.2/32	Static	60	0	D	100.0.0.2
Vlanif100					
100.0.0.0/24	Direct	0	0	D	100.0.0.1
Vlanif100					
100.0.0.1/32	Direct	0	0	D	127.0.0.1
Vlanif100					
127.0.0.0/8	Direct	0	0	D	127.0.0.1
InLoopBack0					
127.0.0.1/32	Direct	0	0	D	127.0.0.1
InLoopBack0					

目的网络地址 / 网络掩码长度

协议类型

路由优先级

开销 (度量值)

标志

下一跳地址

出接口



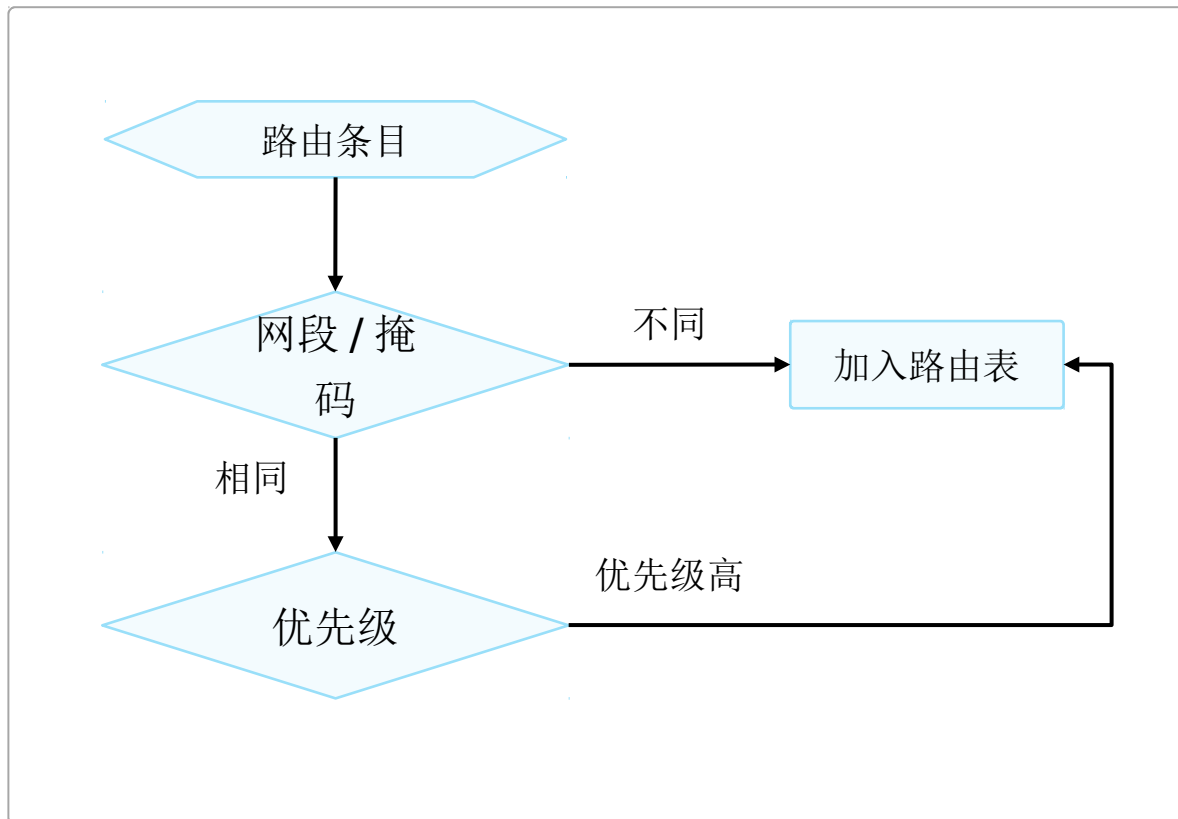
路由表中各个内容的含义

- **Destination/Mask**：表示此路由的目的网络地址与网络掩码。将目的地址和子网掩码“逻辑与”后可得到目的主机或路由器所在网段的地址。例如：目的地址为 **1.1.1.1**，掩码为 **255.255.255.0** 的主机或路由器所在网段的地址为 **1.1.1.0**。
- **Proto (Protocol)**：该路由的协议类型，也即路由器是通过什么协议获知该路由的。
- **Pre (Preference)**：表示此路由的路由协议优先级。针对同一目的地，可能存在不同下一跳、出接口等多条路由，这些不同的路由可能是由不同的路由协议发现的，也可以是手工配置的静态路由。优先级最高（数值最小）者将成为当前的最优路由。
- **Cost**：路由开销。当到达同一目的地的多条路由具有相同的路由优先级时，路由开销最小的将成为当前的最优路由。
- **NextHop**：表示对于本路由器而言，到达该路由指向的目的网络的下一跳地址。该字段指明了数据转发的下一个设备。
- **Interface**：表示此路由的出接口。指明数据将从本路由器的哪个接口转发出去。



路由优先级 - 基本概念

优先级比较

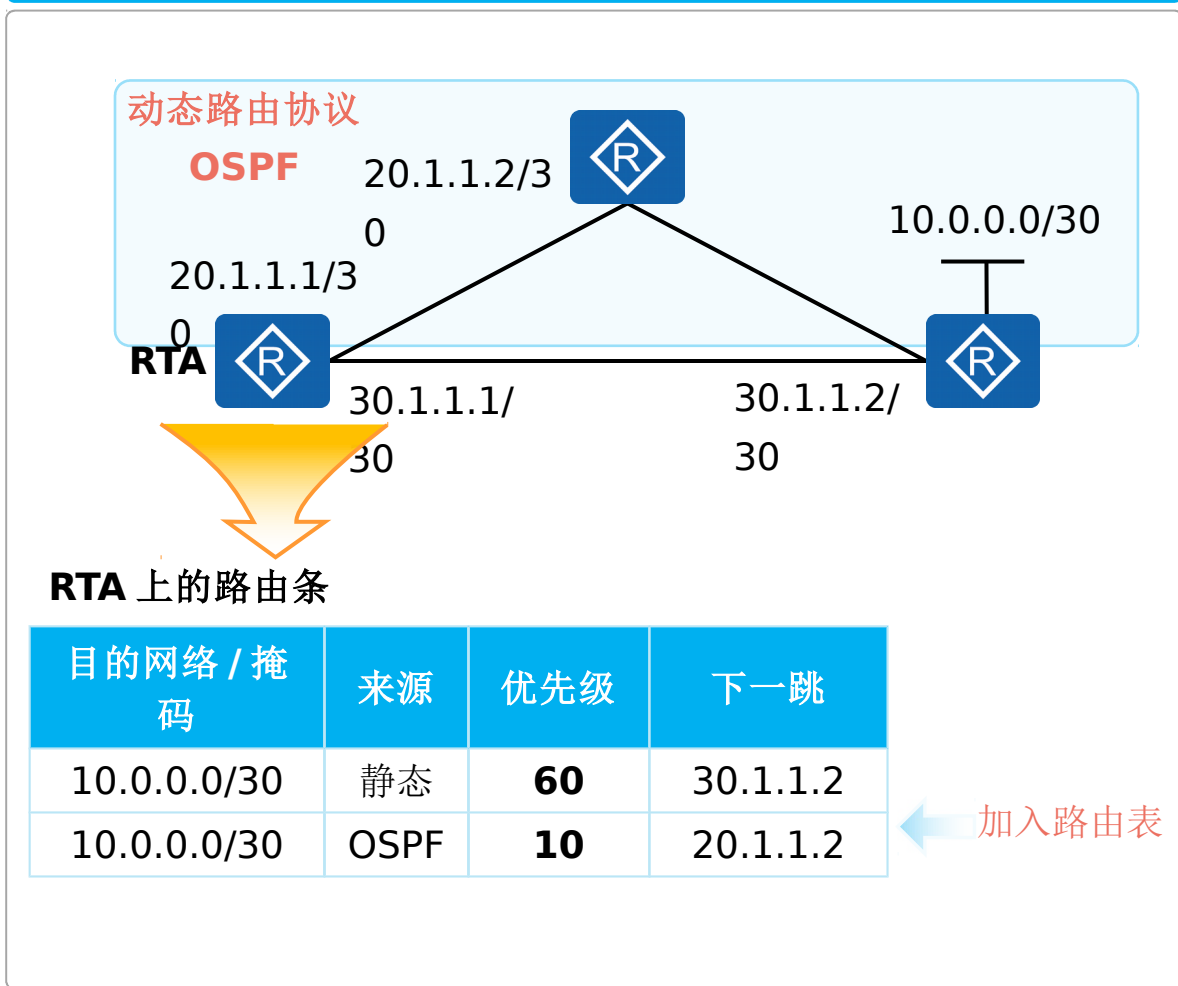


- 当路由器从多种不同的途径获知到达同一个目的网段的路由（这些路由的目的网络地址及网络掩码均相同）时，路由器会比较这些路由的优先级，优选优先级值最小的路由。
- 路由来源的优先级值（ **Preference** ）越小代表加入路由表的优先级越高。
- 拥有最高优先级的路由将被添加进路由表。



路由优先级 - 比较过程

优先级比较示例



- RTA 通过动态路由协议 OSPF 和手动配置的方式都发现了到达 10.0.0.0/30 的路由，此时会比较这两条路由的优先级，优选优先级值最小的路由。
- 每一种路由协议都有相应的优先级。
- OSPF 拥有更优的优先级，因此通过 OSPF 学习到的路由被添加到路由表中。



路由优先级 - 常见默认数值

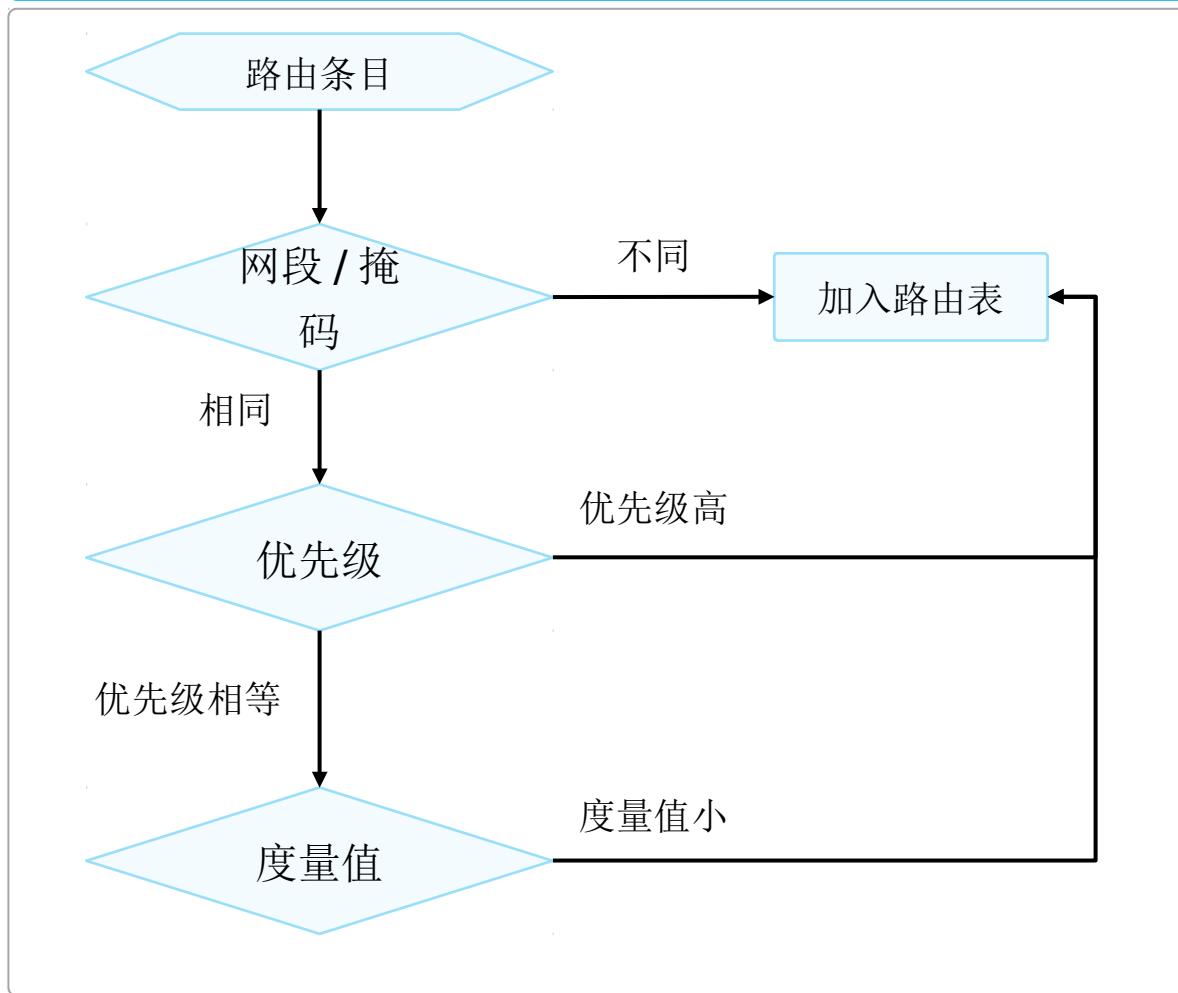
- 常见路由类型的默认优先级如下：

路由来源	路由类型	默认优先级
直连	直连路由	0
静态	静态路由	60
动态路由	OSPF 内部路由	10
	OSPF 外部路由	150



度量值 - 基本概念

度量值比较



- 当路由器通过某种路由协议发现了多条到达同一个目的网络的路由时（拥有相同的路由优先级），度量值将作为路由优选的依据之一。
- 路由度量值表示到达这条路由所指目的地址的代价。
- 一些常用的度量值有：跳数、带宽、时延、代价、负载、可靠性等。
- 度量值数值越小越优先，度量值最小路由将会被添加到路由表中。
- 度量值很多时候被称为开销（**Cost**）。

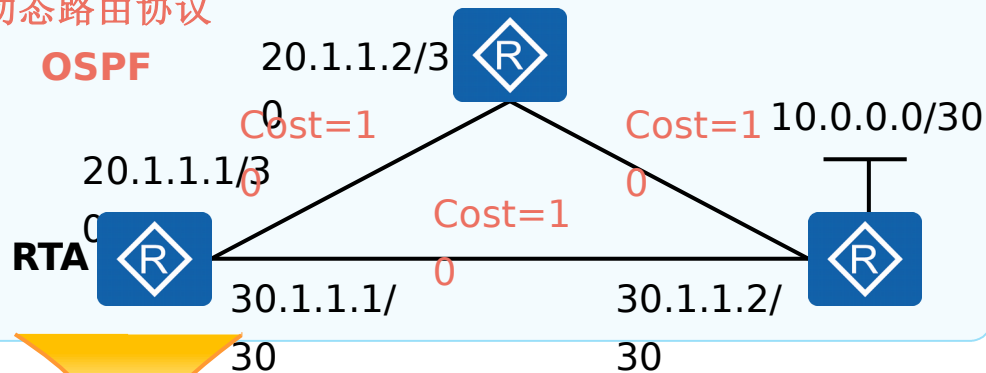


度量值 - 比较过程

度量值比较示例

动态路由协议

OSPF



RTA 上的路由条

目的网络 / 掩码	来源	Cost	下一跳
10.0.0.0/30	OSPF	20	20.1.1.2
10.0.0.0/30	OSPF	10	30.1.1.2

← 加入路由表

- RTA 通过动态路由协议 OSPF 学习到了两条目的地为 10.0.0.0/30 的路由，学习自同一路由协议、优先级相同，因此需要继续比较度量值。
- 两条路由拥有不同的度量值，下一跳为 30.1.1.2 的 OSPF 的路由条目拥有更小的度量值，因此被加入到路由表中。



目录

1. 路由概述

- 路由基本概念
- 路由条目生成
- 最优路由条目优选
- 路由转发

2. 静态路由

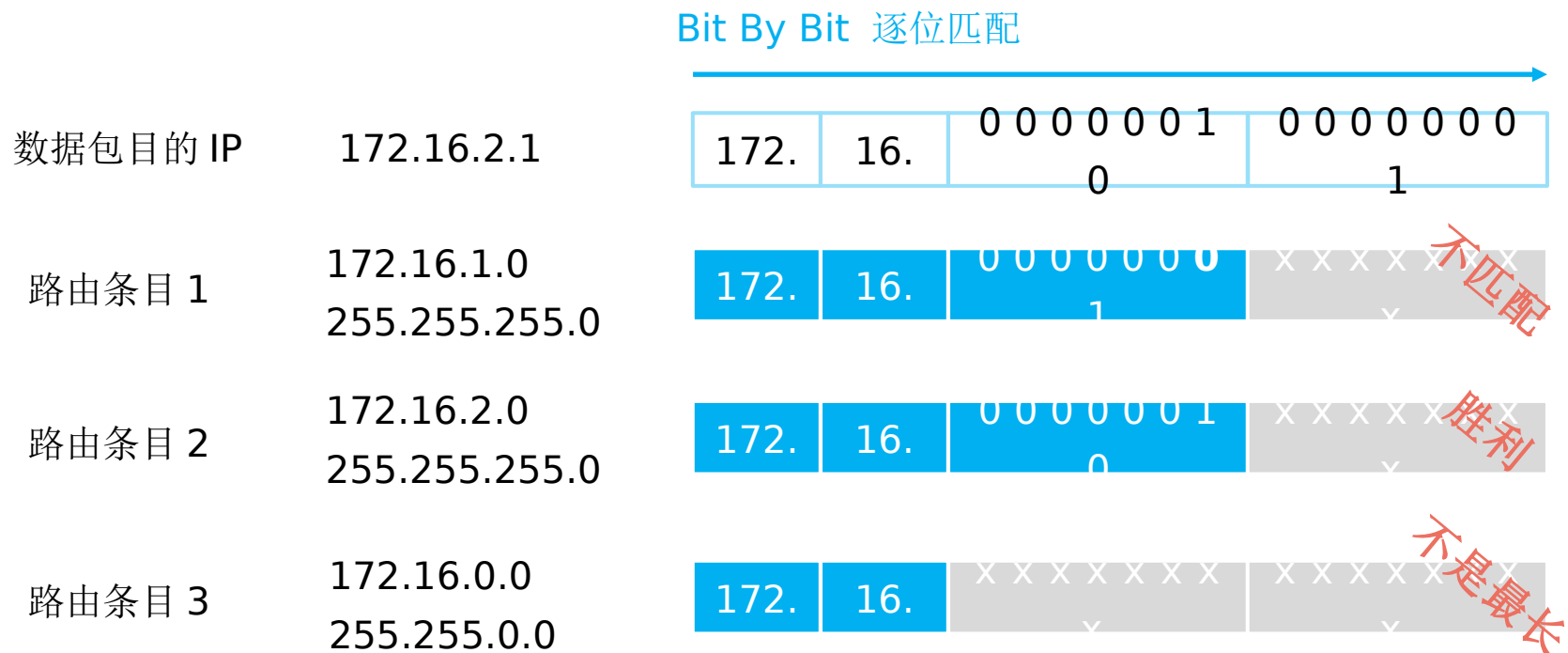
3. 动态路由

4. 路由高级特性



最长匹配原则

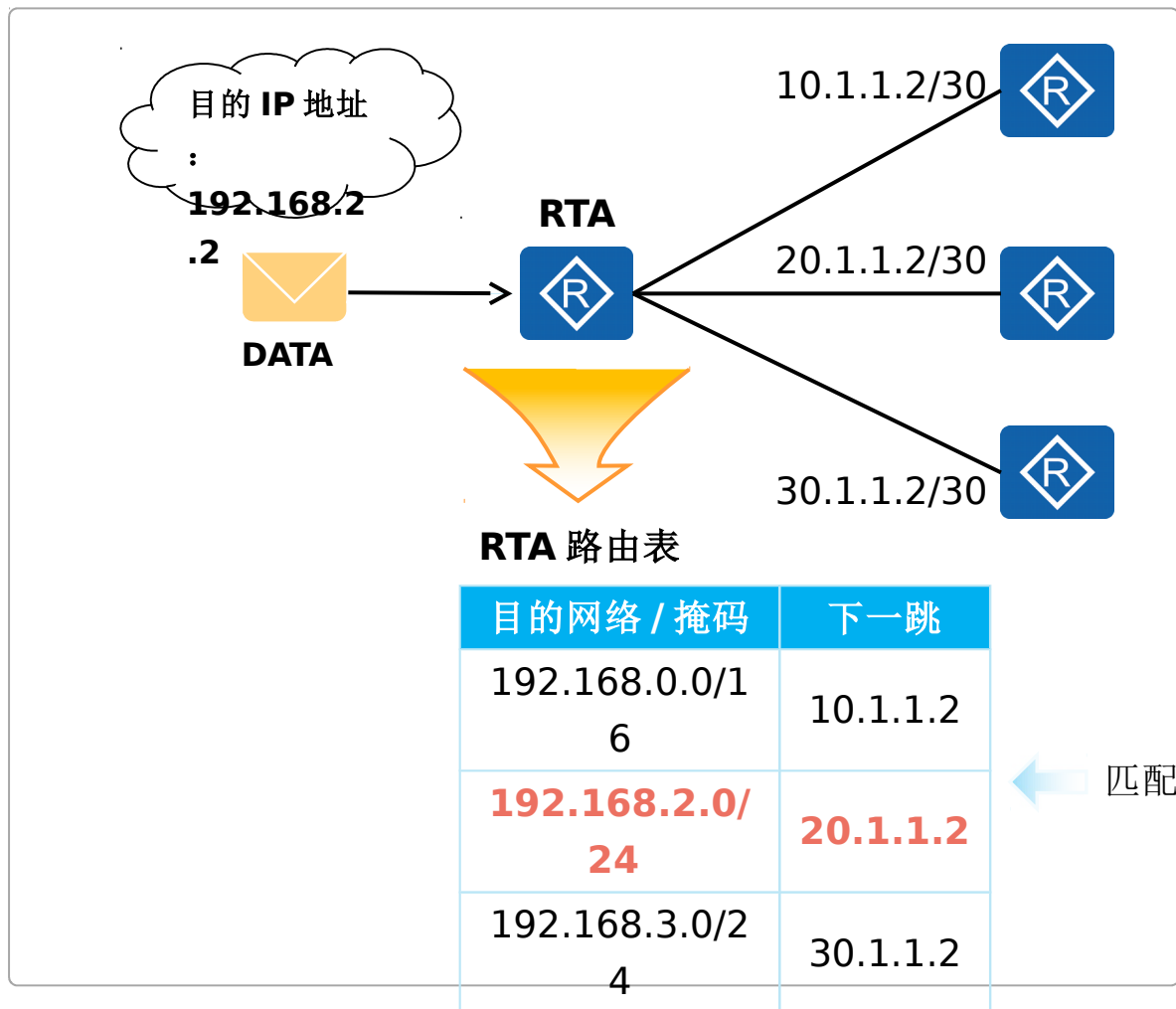
- 当路由器收到一个 IP 数据包时，会将数据包的目的 IP 地址与自己本地路由表中的所有路由表项进行逐位（Bit-By-Bit）比对，直到找到匹配度最长的条目，这就是最长前缀匹配机制。





最长匹配示例 (1)

最长匹配示例

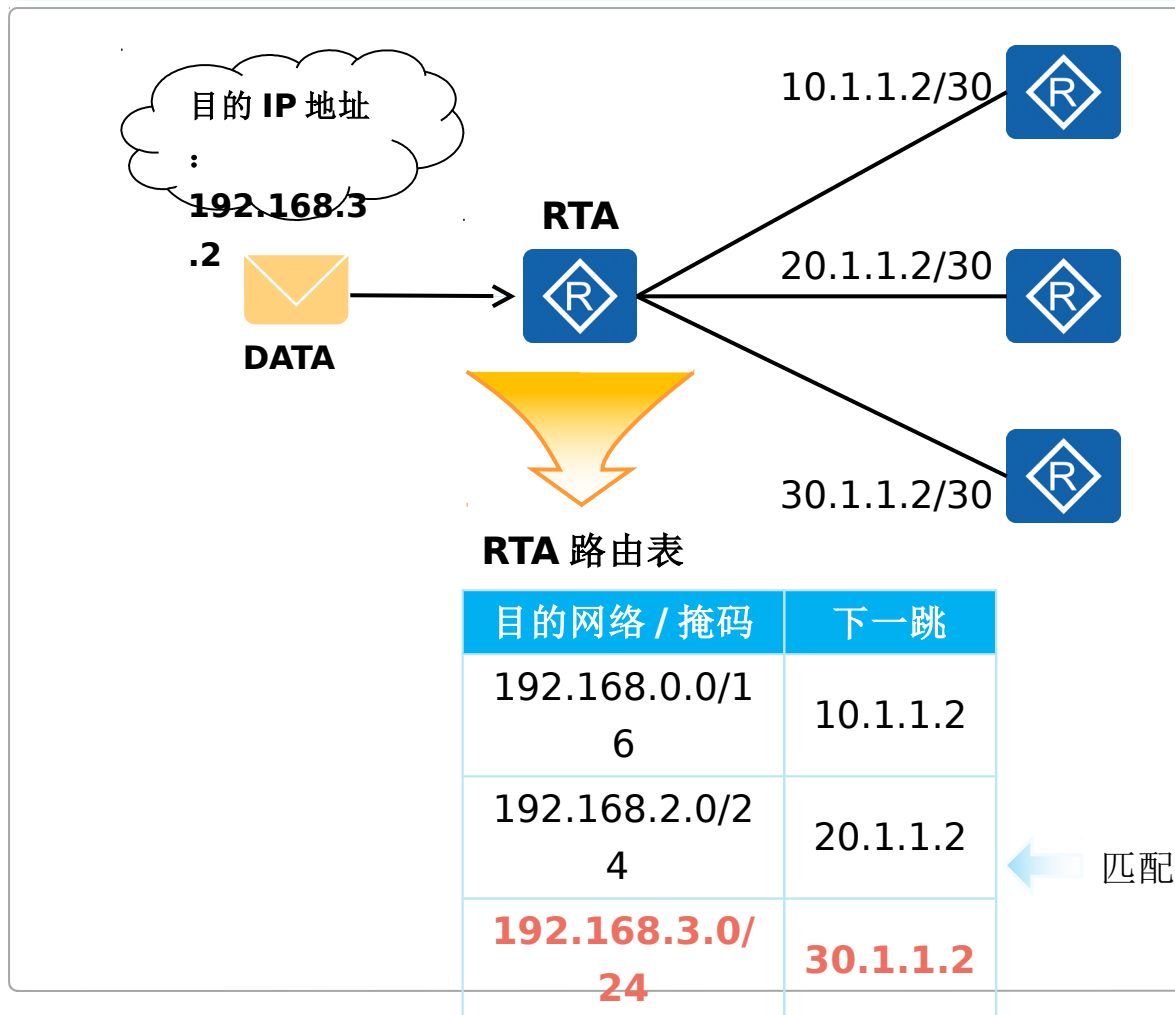


- 根据最长匹配原则进行匹配，能够匹配 192.168.2.2 的路由存在两条，但是路由的掩码长度中，一个为 16 bit，另一个为 24 bit，掩码长度为 24 bit 的路由满足最长匹配原则，因此被选择来指导发往 192.168.2.2 的报文转发。



最长匹配示例 (2)

最长匹配示例



- 根据最长匹配原则匹配，能够匹配到 192.168.3.2 的路由只有一条，此路由为最终转发依据。

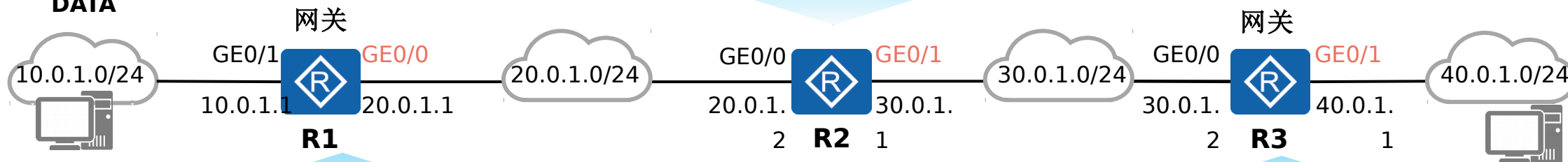


路由转发流程

目的 IP 地址
:
40.0.1.2



DATA



目的网络 / 掩码	下一跳	出接口
20.0.1.0/24	20.0.1.2	GE0/0
30.0.1.0/24	30.0.1.1	GE0/1
10.0.1.0/24	20.0.1.1	GE0/0
40.0.1.0/24	30.0.1.2	GE0/1

R2 路由表

R1 路由表

目的网络 / 掩码	下一跳	出接口
10.0.1.0/24	10.0.1.1	GE0/1
20.0.1.0/24	20.0.1.1	GE0/0
30.0.1.0/24	20.0.1.2	GE0/0
40.0.1.0/24	20.0.1.2	GE0/0

R3 路由表

目的网络 / 掩码	下一跳	出接口
40.0.1.0/24	40.0.1.1	GE0/1
30.0.1.0/24	30.0.1.2	GE0/0
10.0.1.0/24	30.0.1.1	GE0/0
20.0.1.0/24	30.0.1.1	GE0/0



IP 路由表小结

- 当路由器从多种不同的途径获知到达同一个目的网段的路由（这些路由的目的网络地址及网络掩码均相同）时，会选择路由优先级值最小的路由；如果这些路由学习自相同的路由协议，则优选度量值最优的。总之，最优的路由加入路由表。
- 当路由器收到一个数据包时，会在自己的路由表中查询数据包的目的 IP 地址。如果能够找到匹配的路由表项，则依据表项所指示的出接口及下一跳来转发数据；如果没有匹配的表项，则丢弃该数据包。
- 路由器的行为是逐跳的，数据包从源到目的地沿路径每个路由器都必须有关于目标网段的路由，否则就会造成丢包。
- 数据通信往往是双向的，因此要关注流量的往返（往返路由）。



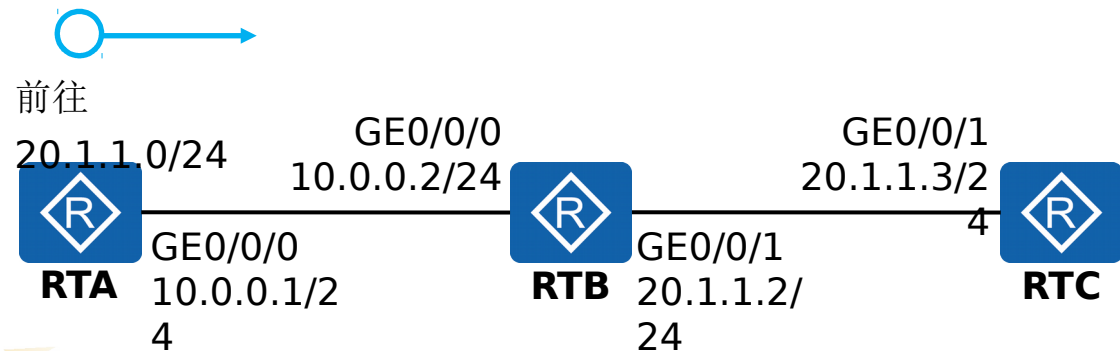
目录

1. 路由概述
- 2. 静态路由**
3. 动态路由
4. 路由高级特性



静态路由应用场景

静态路由



目的网络	来源	下一跳
20.1.1.0	静态	10.0.0.2
10.0.0.0	直连	10.0.0.1

- 静态路由由网络管理员手动配置，配置方便，对系统要求低，适用于拓扑结构简单并且稳定的小型网络。
- 缺点是不能自动适应网络拓扑的变化，需要人工干预。
- RTA 上转发目的地址属于 20.1.1.0/24 的报文，在只有直连路由的情况下没有路由匹配。此时可以通过手动配置静态路由，使 RTA 发送前往 20.1.1.0/24 网段的报文交给下一跳 10.0.0.2 转发。



静态路由配置

1. 关联下一跳 IP 的方式

```
[Huawei] ip route-static ip-address { mask | mask-length } nexthop-address
```

2. 关联出接口的方式

```
[Huawei] ip route-static ip-address { mask | mask-length } interface-type interface-number
```

3. 关联出接口和下一跳 IP 方式

```
[Huawei] ip route-static ip-address { mask | mask-length } interface-type interface-number  
[nexthop-address]
```

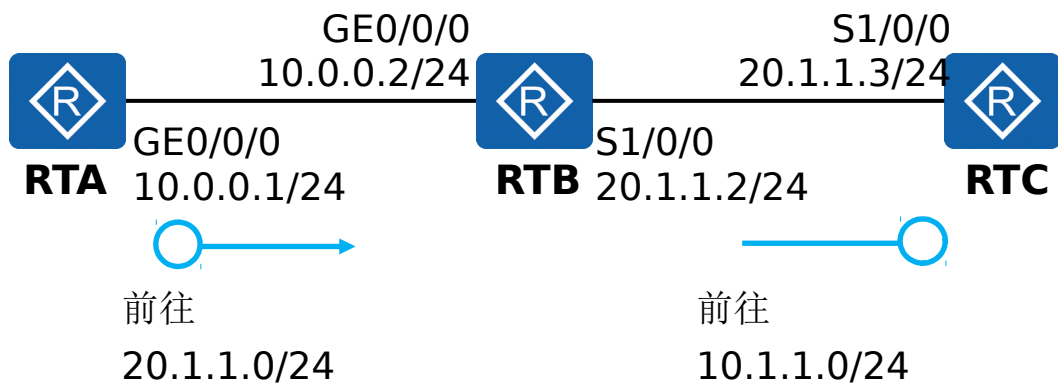
在创建静态路由时，可以同时指定出接口和下一跳。对于不同的出接口类型，也可以只指定出接口或只指定下一跳。

对于点到点接口（如串口），必须指定出接口。

对于广播接口（如以太网接口）和 VT（Virtual-template）接口，必须指定下一跳。



配置举例



- RTA 与 RTC 上配置静态路由，实现 10.0.0.0/24 与 20.1.1.0/24 的互通。
- 因为报文是逐跳转发的，所以每一跳路由设备上都需要配置到达相应目的地址的路由。
- 另外需要注意通信是双向的，针对通信过程中的往返流量，都需要关注途径设备上的路由配置。

RTA 的配置如下：

```
[RTA] ip route-static 20.1.1.0 255.255.255.0  
10.0.0.2
```

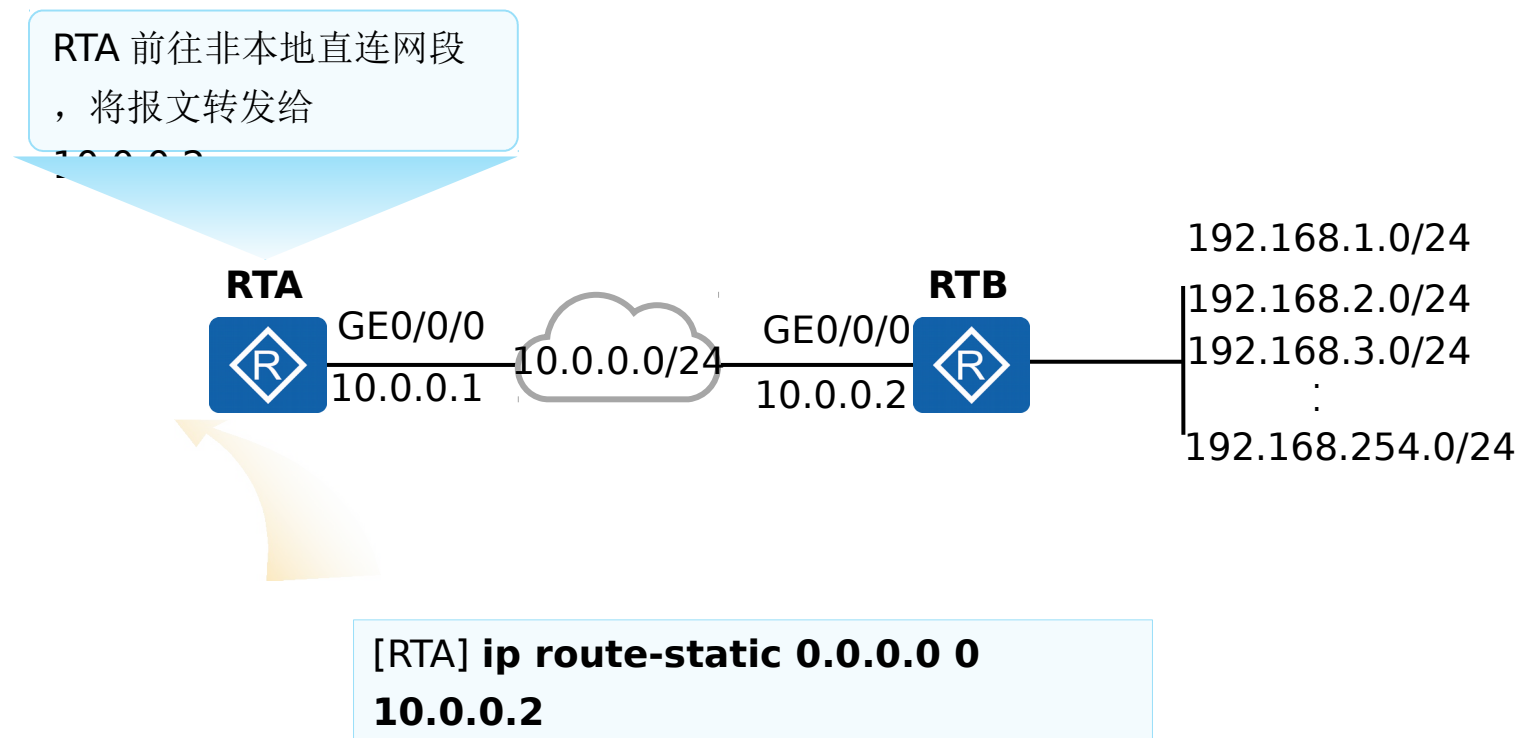
RTC 的配置如下：

```
[RTC] ip route-static 10.0.0.0 255.255.255.0  
S1/0/0
```



缺省路由

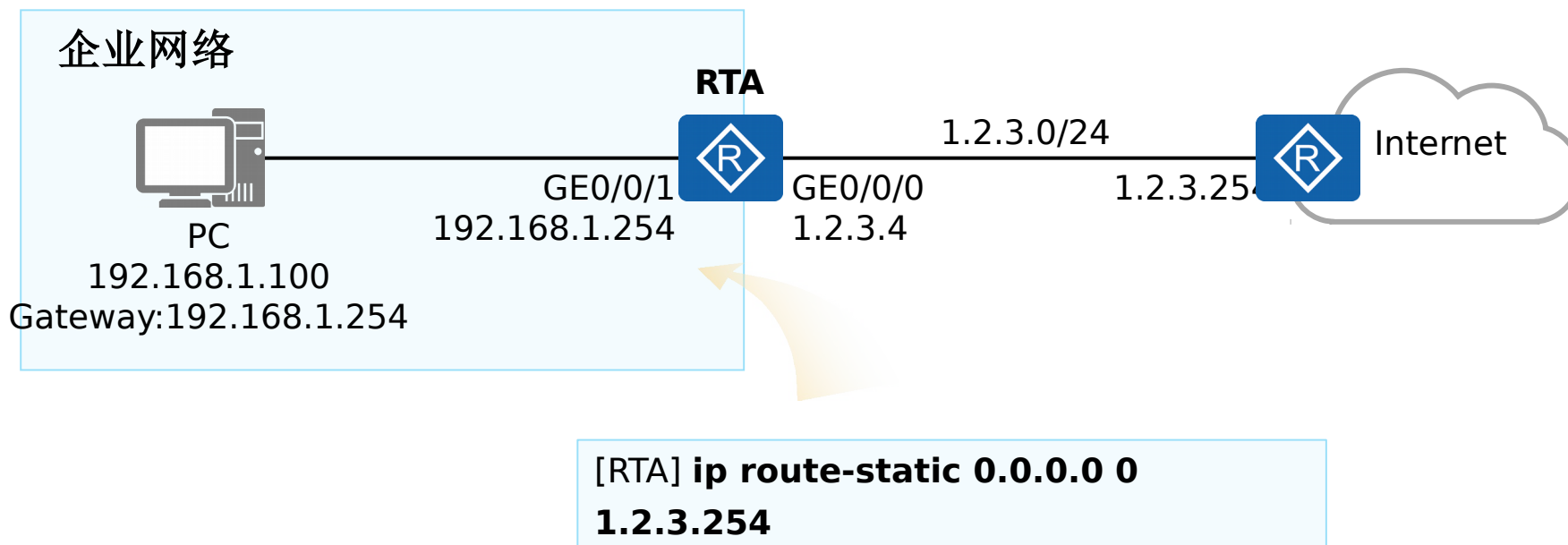
- 缺省路由是一种特殊的路由，当报文没有在路由表中找到匹配的具体路由表项时才使用的路由。如果报文的地址不能与路由表的任何目的地址相匹配，那么该报文将选取缺省路由进行转发。
- 缺省路由在路由表中的形式为 **0.0.0.0/0**，缺省路由也被叫做默认路由。





缺省路由应用场景

- 缺省路由一般用于企业网络出口，配置一条缺省路由让出口设备能够转发前往 Internet 上任意地址的 IP 报文。





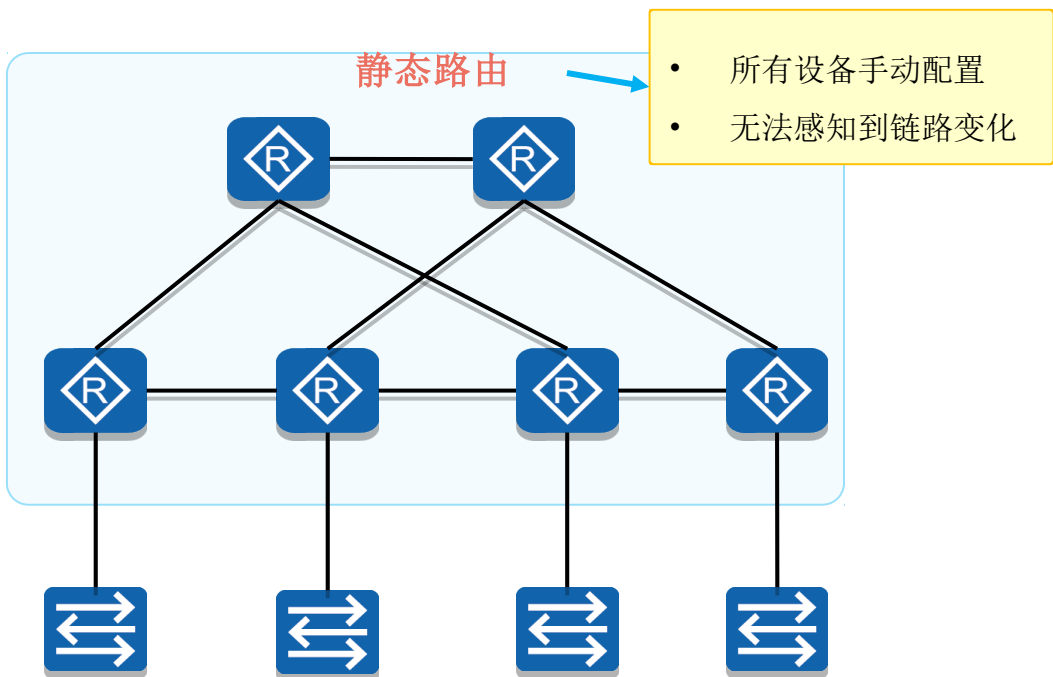
目录

1. 路由概述
2. 静态路由
- 3. 动态路由**
4. 路由高级特性



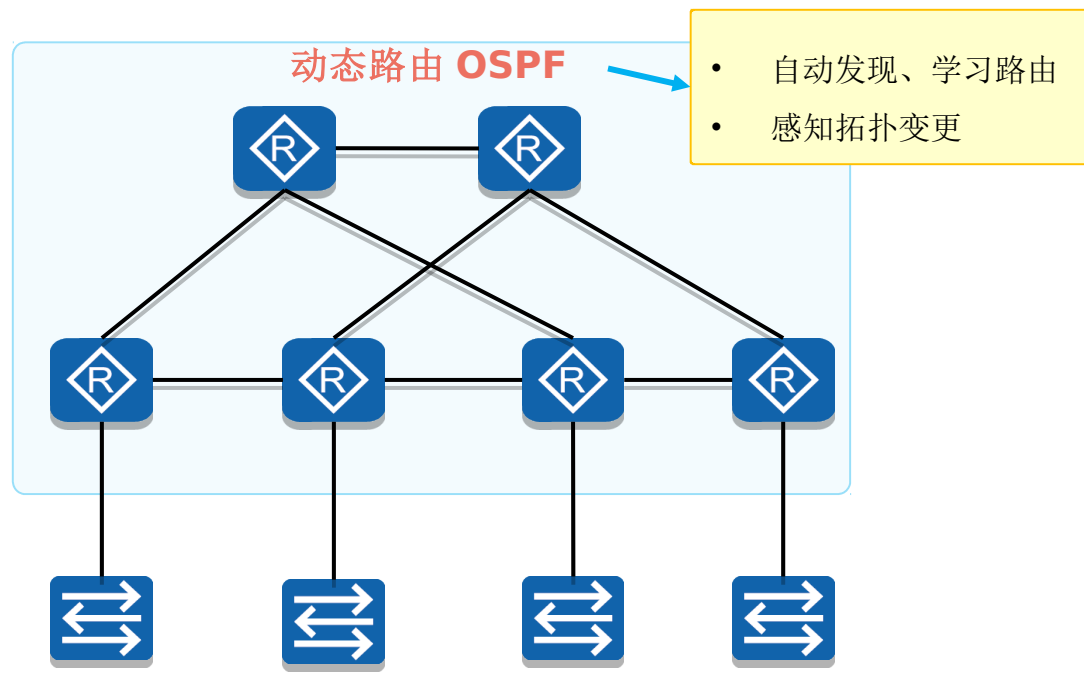
动态路由概述

静态路由



- 当网络规模越来越大时，使用手动配置静态路由的方式获取路由条目将变得越发复杂，同时在拓扑发生变化时不能及时、灵活响应。

动态路由



- 动态路由协议能够自动发现和生成路由，并在拓扑变化时及时更新路由，可以有效减少管理人員工作量，更适用于大规模网络。



动态路由分类

按工作区域分类

IGP (Interior Gateway Protocols ,
内部网关协议)

RIP

OSPF

IS-IS

EGP (Exterior Gateway Protocols ,
外部网关协议)

BGP

按工作机制及算法分类

(Distance Vector Routing
Protocols , 距离矢量路由协议)

RIP

(Link-State Routing Protocols , 链
路状态路由协议)

OSPF

IS-IS



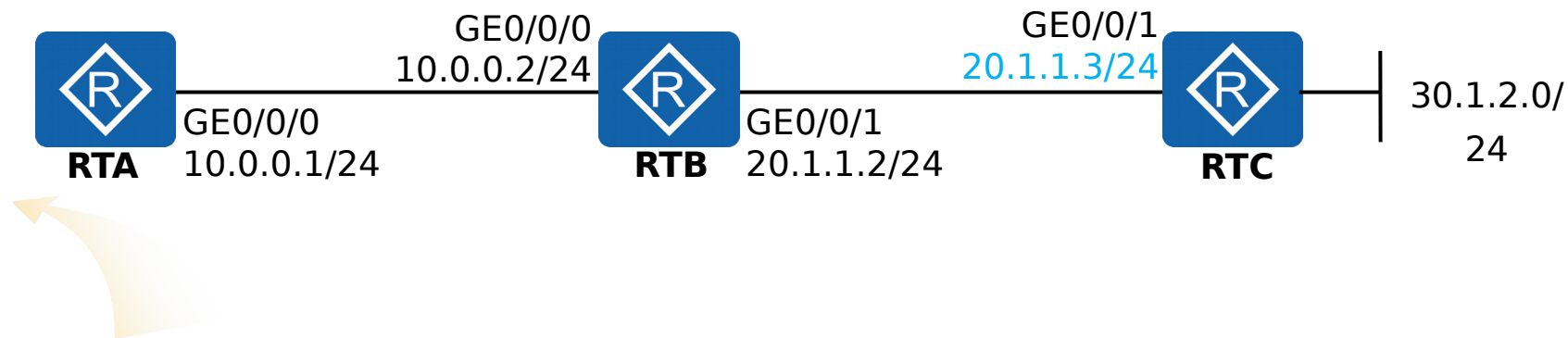
目录

1. 路由概述
2. 静态路由
3. 动态路由简介
- 4. 路由高级特性**



路由递归 (1)

- 路由必须有直连的下一跳才能够指导转发，但是路由生成时下一跳可能不是直连的，因此需要计算出一个直连的下一跳和对应的出接口，这个过程就叫做路由递归。
- 路由递归也被称为路由迭代。

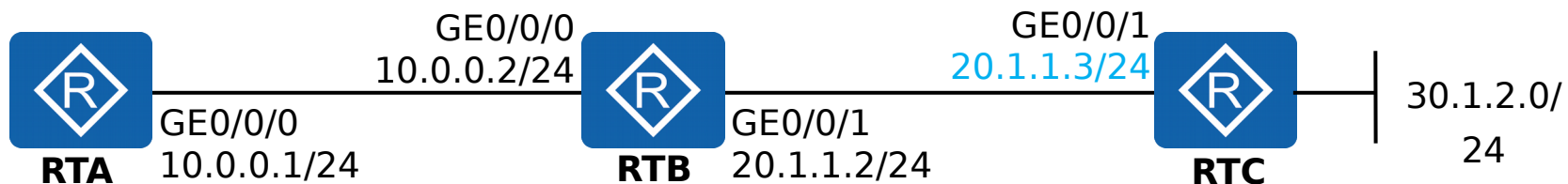


```
[RTA] ip route-static 30.1.2.0 24 20.1.1.3
```

去往 30.1.2.0/24 的路由，下一跳为 20.1.1.3，非本地直连网络，如果路由表中没有去往 20.1.1.3 的路由，该静态路由将不会生效，无法作为有效路由条目，并不会出现在路由表。



路由递归 (2)



```
[RTA] ip route-static 30.1.2.0 24
20.1.1.3
```

递归

```
[RTA] ip route-static 20.1.1.0 24
10.0.0.2
```

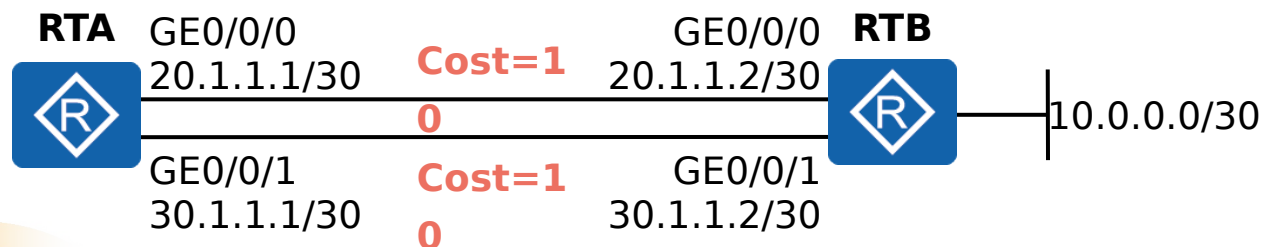
目的网络	下一跳	出接口
30.1.2.0/24	20.1.1.3	GE0/0/0
20.1.1.0/24	10.0.0.2	GE0/0/0

添加一条去往 20.1.1.3 的路由，下一跳为直连网络内的 IP 地址 10.0.0.2。
 去往 30.1.2.0/24 的路由通过递归查询得到一个直连的下一跳，该路由因此生效。



等价路由 (1)

等价路由



RTA 路由表

目的网络 / 掩码	下一跳
10.0.0.0/30	20.1.1.2
	30.1.1.2

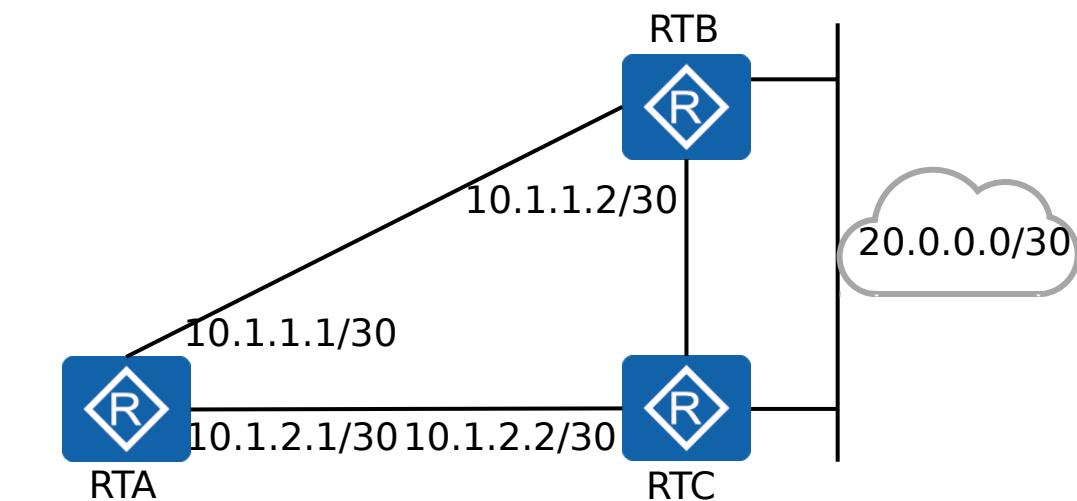
来源相同、开销相同的路由都会被加入路由表，形成的路由为等价路由（两个路由条目指向的目的网段相同，但是具有不同的下一跳地址），路由转发会将流量分布到多条路径上。

- 路由表中存在等价路由之后，前往该目的网段的 IP 报文路由器会通过所有有效的接口、下一跳转发，这种转发行为被称为负载分担。



浮动路由 - 基本概念

浮动路由



RTA 上配置浮动路由

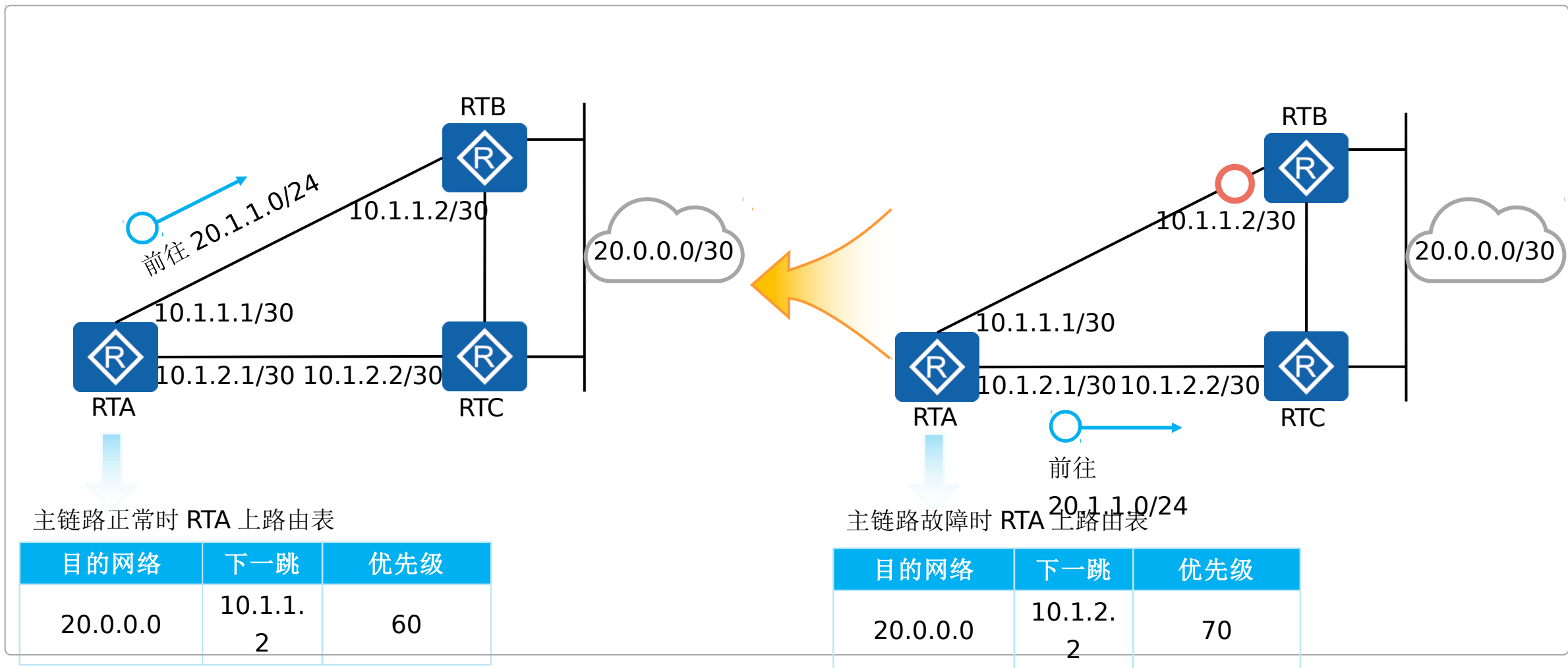
```
[RTA] ip route-static 20.0.0.0 30 10.1.1.2
[RTA] ip route-static 20.0.0.0 30 10.1.2.2
      preference 70
```

- 静态路由支持配置时手动指定优先级，可以通过配置目的地址 / 掩码相同、优先级不同、下一跳不同的静态路由，实现转发路径的备份。
- 浮动路由是主用路由的备份，保证链路故障时提供备份路由。主用路由下一跳可达时该备份路由不会出现在路由表。



浮动路由 - 示例

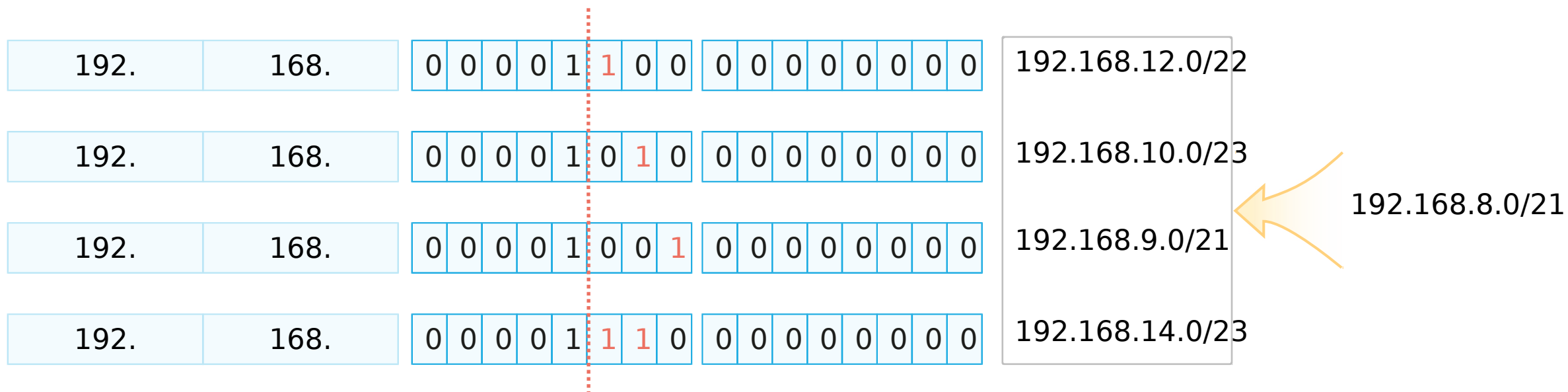
浮动路由切换





CIDR

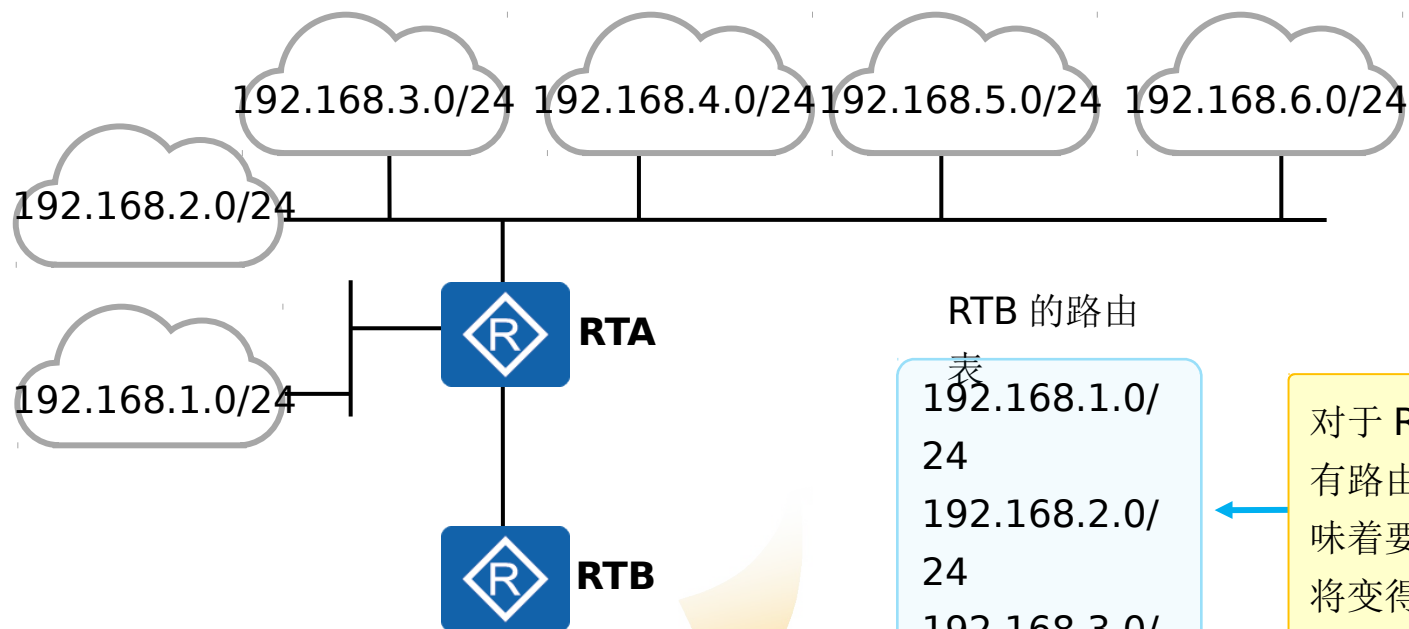
- CIDR（classless inter-domain routing，无类别域间路由）采用 IP 地址加掩码长度来标识网络和子网，而不是按照传统 A、B、C 等类型对网络地址进行划分。
- CIDR 容许任意长度的掩码长度，将 IP 地址看成连续的地址空间，可以使用任意长度的前缀分配，多个连续的前缀可以聚合成一个网络，该特性可以有效减少路由表条目数量。





路由汇总需求

- 子网划分、VLSM 解决了地址空间浪费的问题，但同时也带了新的问题：路由表中的路由条目数量增加。
- 为减少路由条目数量可以使用路由汇总。



RTB 的路由

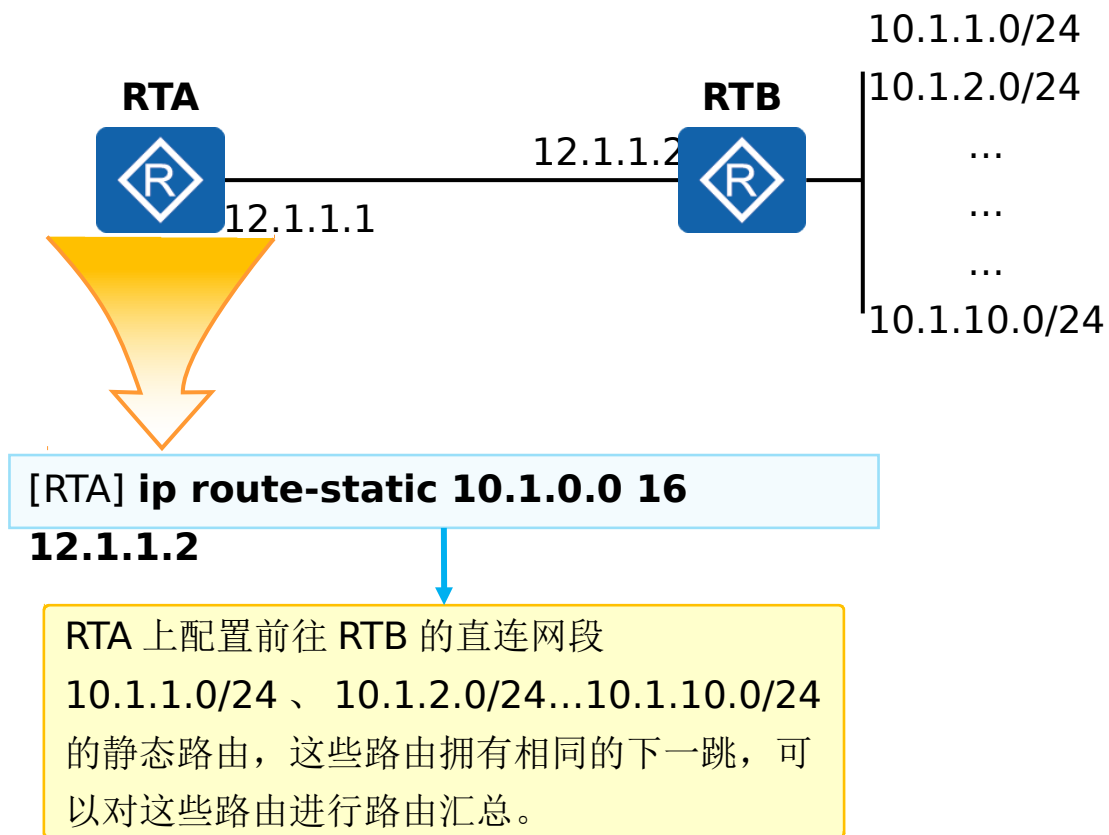
表

```
192.168.1.0/24
192.168.2.0/24
192.168.3.0/24
192.168.4.0/24
192.168.5.0/24
```

对于 RTB 而言，如果要到达 RTA 的直连网段，自然是要有路由的，若手工为每个网段配置一条静态路由，这就意味着要配置大量静态路由，工作量太大，RTB 的路由表也将变得非常臃肿。



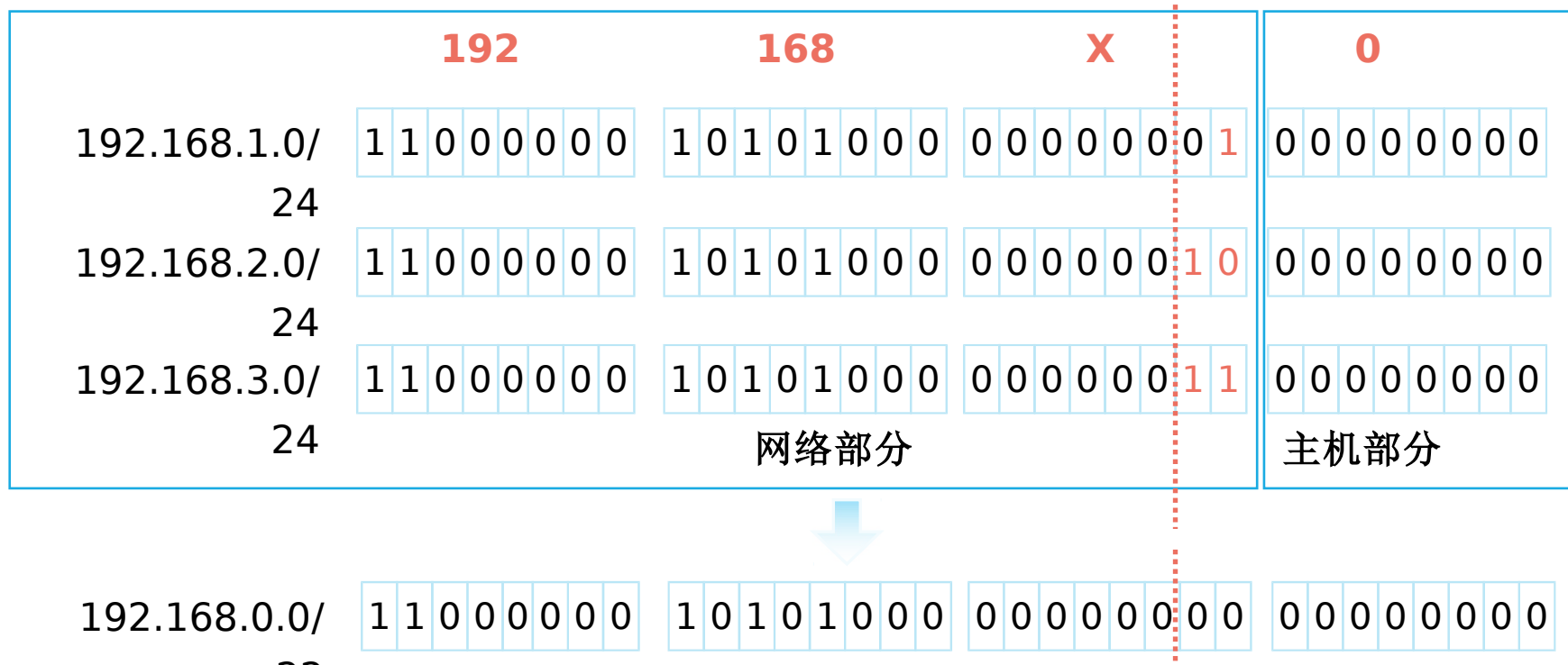
路由汇总简介



- 路由汇总将一组具有相同前缀的路由汇聚成一条路由，从而达到减小路由表规模以及优化设备资源利用率的目的。
- 路由汇总采用了 CIDR 的思想：将相同前缀的地址聚合成一个。
- 我们把汇聚之前的这组路由称为精细路由或明细路由，把汇聚之后的这条路由称为汇总路由或聚合路由。



汇总计算



- 基于一系列连续的、有规律的 IP 网段，如果需计算相应的汇总路由，且确保得出的汇总路由刚好“囊括”上述 IP 网段，则需保证汇总路由的掩码长度尽可能长。
- 诀窍在于：将明细路由的目的网络地址都换算成二进制，然后排列起来，找出所有目的网络地址中“相同的比特位”。



汇总引发的问题 (1)

路由汇总带来的环路问题

```
[RTB] ip route-static 0.0.0.0 0 12.1.1.2
```

```
[RTA] ip route-static 10.1.0.0 16  
12.1.1.1
```

10.1.1.0/24
10.1.2.0/24
...
...
...
10.1.10.0/24

RTB



12.1.1.1

1

12.1.1.2

RTA



Internet

2

RTB 收到前往 10.1.20.0/24
的流量，流量匹配默认路由，
转发给 RTA

RTA 上对路由进行了汇总，因
此该流量匹配汇总路由
10.1.0.0/16，被转发给 RTB

环路

3



汇总引发的问题 (2)

路由汇总带来的环路问题 - 解决方案

```
[RTB] ip route-static 0.0.0.0 0 12.1.1.2
```

```
[RTA] ip route-static 10.1.0.0 16  
12.1.1.1
```

10.1.1.0/24
10.1.2.0/24
...
...
...
10.1.10.0/24

RTB



12.1.1.1

12.1.1.2

RTA



Internet

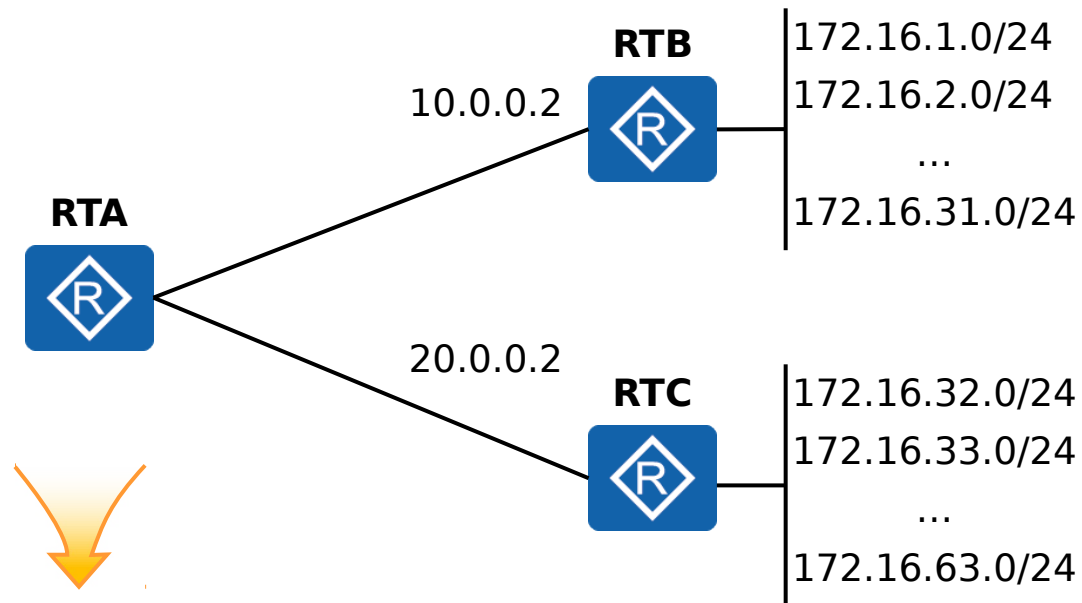
```
[RTB] ip route-static 10.1.0.0 16 0  
NULL0
```

- 在 RTB 上增加一条指向 Null0 的路由，即可解决上述问题。因此，在部署路由汇总的时候要格外注意，要规避环路问题。



精确汇总 (1)

精确进行路由汇总



```
[RTA] ip route-static 172.16.0 16  
10.0.0.2
```

- 为了让 RTA 能够到达 RTB 上的 172.16.1.0/24-172.16.31.0/24 网段，配置了一条静态的汇总路由，这条网段虽然优化了网络配置，但是汇总的范围太广，将 RTC 上的网段也包括在内，导致前往 RTC 上网段的流量到达 RTA 之后会被发往 RTB，造成数据包的丢失，这种路由为不精确的路由。为此配置汇总路由时要尽量精确，刚好包括所有明细路由。



精确汇总 (2)

精确进行路由汇总

	10	1	0	0
10.1.1.0/ 24	0 0 0 0 1 0 1 0	0 0 0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0 0 0 0
10.1.2.0/ 24	0 0 0 0 1 0 1 0	0 0 0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0 0 1 0	0 0 0 0 0 0 0 0
10.1.3.0/ 24	0 0 0 0 1 0 1 0	0 0 0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0 0 1 1	0 0 0 0 0 0 0 0

/22

```
ip route-static 10.1.1.0 24
12.1.1.2
ip route-static 10.1.2.0 24
12.1.1.2
ip route-static 10.1.3.0 24
12.1.1.2
```



```
ip route-static 10.1.1.0 22 12.1.1.2
```

精确计算汇总后的网络号、掩码，避免汇总后掩码过小。



思考题

1. 路由器如何优选路由条目？
2. 如何配置实现浮动路由？
3. 将 10.1.1.0/24、10.1.3.0/24、10.1.9.0/24 汇总之后的网段是？

The image features a blue-tinted background with silhouettes of several groups of business professionals in a modern office environment. They are engaged in various activities like talking, looking at documents, and holding briefcases. The scene is reflected on a glossy floor. In the center, the Chinese characters '谢谢' (Thank you) are written in white, with the website address 'www.huawei.com' below it.

谢谢

www.huawei.com