

第 3 篇 OSPF

第 7 章 OSPF 协议基本原理

第 8 章 配置和优化 OSPF 协议

第 9 章 配置 OSPF 高级特性

第7章 OSPF 协议基本原理

OSPF（Open Shortest Path First，开放最短路径优先）是 IETF 开发的一个基于链路状态的内部网关协议，目前在互联网上大量地使用。本章主要介绍 OSPF 协议的工作原理，包括其分层结构、网络类型、报文封装、邻居建立和维护等内容。

7.1 本章目标

课程目标

● 学习完本课程，您应该能够：

- 了解OSPF协议的特点
- 掌握OSPF协议分层结构
- 掌握OSPF协议中的网络类型
- 掌握OSPF协议的报文封装
- 掌握OSPF协议状态迁移




www.h3c.com

7.2 OSPF协议概述

7.2.1 OSPF 协议特点

RIP协议存在的问题

- 存在最大15跳的限制，不能适应大规模组网的需求
- 周期性发送全部路由信息，占用大量的带宽资源
- 路由收敛速度慢
- 以跳数作为度量值
- 存在路由环路可能性



核心企业 | 数字化解决方案领导者

www.h3c.com

RIP 协议是一个典型的距离矢量路由协议。在使用过程中，具有以下的限制：

- **网络扩展性不好：**在 RIP 协议中，跳数为 16 跳的路由就被认为是不可达。因此，网络中使用 RIP 协议时，最大直径就被限制为 15 跳，这就决定了 RIP 协议只能在规模较小的网络中使用，不能适应大规模组网的需要。
- **周期性广播消耗了大量带宽资源：**RIP 协议在路由更新的时候，是通过广播（RIP-1）或者组播（RIP-2）的方式，向邻居通告全部路由信息。在路由条目较多的情况下，会消耗大量的有限链路带宽资源。
- **路由收敛速度慢：**由于 RIP 协议采用周期性的路由更新方式，所以在网络拓扑发生变化时，需要经过较长的时间才能完成路由的重新收敛。所以，RIP 协议并不适用于需要路由快速收敛的网络中。
- **以跳数作为度量值：**RIP 协议中，进行路由的度量值计算时只考虑了跳数的因素。而实际上，数据报文在多跳高速链路传输所花费的时间很可能要远比在单跳低速链路上要少。因此，仅仅将跳数作为度量值的因素，而不考虑链路带宽等其他因素，可能会导致协议选路的不合理。
- **存在路由环路：**由于设计机制的原因，RIP 协议无法彻底解决路由环路的问题，只能通过毒性逆转、水平分割等方法降低路由环路产生的可能性。这在一定程度上，也限制了 RIP 协议的使用范围。

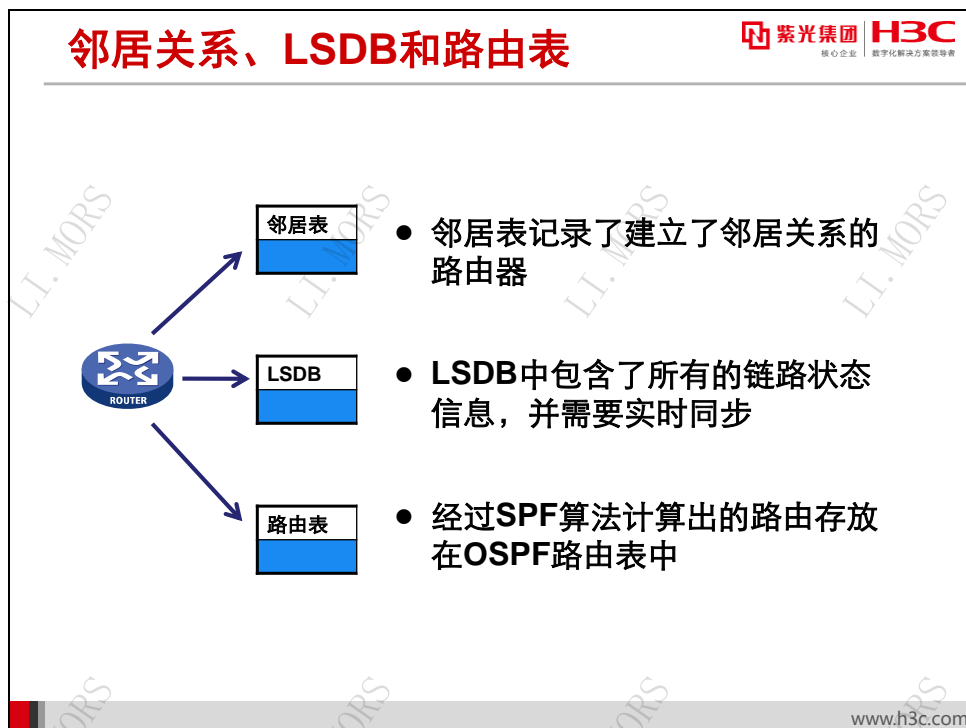
OSPF协议特点

- 没有路由跳数的限制
- 使用组播更新变化的路由和网络信息
- 路由收敛速度较快
- 以开销（Cost）作为度量值
- 采用的SPF算法可以有效地避免环路
- 在互联网上大量使用，是运用最广泛的路由协议

OSPF 协议是典型的链路状态路由协议，和 RIP 协议有很大的不同。它具有以下特点：

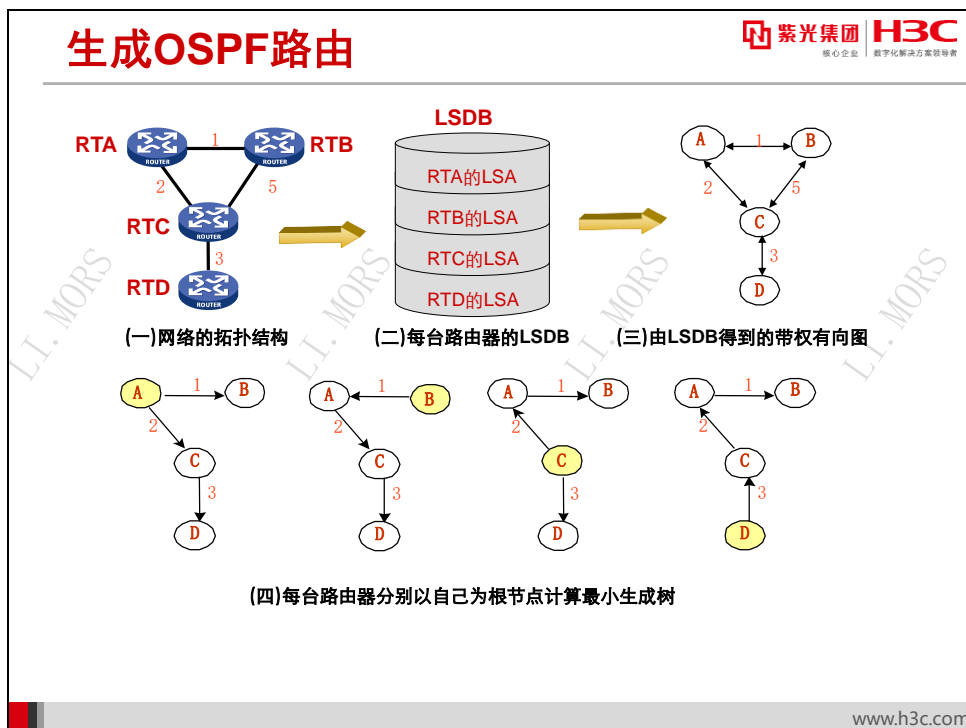
- **支持较大规模的网络：**OSPF 协议无路由跳数限制，所以其适应范围广，支持网络规模更大。在特定的组网环境下，OSPF 单区域甚至可支持几十台路由器。
- **组播触发式更新：**OSPF 协议在收敛完成后，会以触发方式发送拓扑变化的信息给其它路由器，从而占用了较少的链路带宽；同时，在某些类型的链路上以组播方式发送协议报文，减少对其他设备的干扰。
- **收敛速度快：**在网络的拓扑结构发生变化后，OSPF 会立即发送更新报文，从而使拓扑变化很快扩散到整个自治系统；同时，OSPF 采用周期较短的 Hello 报文来维护邻居状态。
- **以开销（Cost）作为度量值：**OSPF 协议在设计时，就考虑到了链路带宽对路由度量值的影响。OSPF 采用链路开销作为度量值，而链路开销与链路带宽成反比，即带宽越高，开销越小。这样，OSPF 选路主要基于带宽因素。
- **协议设计避免路由环路：**由于 OSPF 根据收集到的链路状态用最短路径树算法计算路由，从算法本身保证了不会生成自环路由。
- **应用广泛：**目前在互联网有大量的应用实例，是使用最广泛的 IGP 之一。

7.2.2 OSPF 基本原理



作为典型的链路状态型路由协议，OSPF 协议的工作过程包含了邻居发现、路由交换、路由计算、路由维护等阶段。在这些过程中，主要涉及到以下 3 张表：

- **邻居表：**运行 OSPF 协议的路由器以组播方式（目的地址 224.0.0.5）发送 Hello 报文来发现邻居。收到 Hello 报文的邻居路由器检查报文中所定义参数，如果双方一致就会形成邻居关系。邻居表会记录所有的建立了邻居关系的路由器，包括相关描述和邻居状态。路由器会定时的向自己的邻居发送 Hello 报文，如果在一定的周期内，没有收到邻居的回应报文，就认为邻居路由器已经失效，将它从邻居表中删除。
- **链路状态数据库（LSDB）：**有时也被称作拓扑表。根据协议规定，运行 OSPF 协议的路由器之间并不是交换路由表，而是交换彼此对于链路状态的描述信息。交换完成之后，所有同一区域的路由器的拓扑表中都具有当前区域的所有链路状态信息，并且都是一致的。
- **路由表：**运行 OSPF 协议的路由器在获得完整的链路状态描述之后，运用 SPF 算法进行计算，并且将计算出来的最优路由加入 OSPF 路由表中。



OSPF 基于 Dijkstra 算法，也称为 SPF（Shortest Path First，最短路径优先）算法。这种算法的特点是，路由器收集网络中链路或接口的状态，然后将自己已知的链路状态向该区域的其他路由器通告。这样，区域内的每台路由器都建立了一个本区域的完整的链路状态数据库。然后路由器根据链路状态数据库来创建它自己的网络拓扑图，并计算生成路由。

OSPF 路由的生成过程具体如下：

第1步：生成 LSA 描述自己的接口状态。

每台运行 OSPF 的路由器都根据自己周围的网络拓扑结构生成 LSA（链路状态通告）。LSA 中包含了接口状态（up 或 down）、链路开销、IP 地址/掩码等信息。

OSPF 链路开销值与接口带宽密切相关。缺省情况下，开销值与接口带宽成反比。此外，为了对协议选路的结果进行人工干预，路由器也支持通过命令来指定接口的开销值。

第2步：同步 OSPF 区域内每台路由器的 LSDB

OSPF 路由器通过交换 LSA 实现 LSDB 的同步。

由于一条 LSA 是对一台路由器或一个网段拓扑结构的描述，整个 LSDB 就形成了对整个网络的拓扑结构的描述。LSDB 实质上是一张加权的有向图，这张图便是对整个网络拓扑结构的真实反映。显然，OSPF 区域内所有路由器得到的是一张完全相同的图。

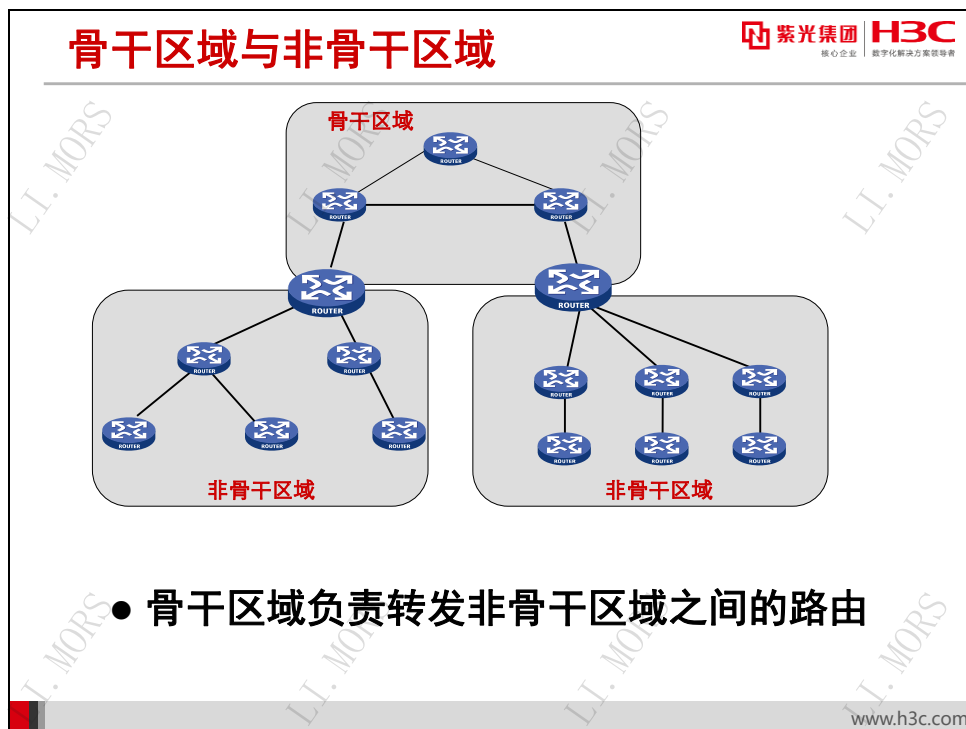
第3步：使用 SPF 计算出路由

OSPF 路由器用 SPF 算法以自身为根节点计算出一棵最短路径树。在这棵树上，由根到各节点的累计开销最小，即由根到各节点的路径在整个网络中都是最优的，这样也就获得了由根去往各个节点的路由。计算完成后，路由器将路由加入 OSPF 路由表。当 SPF 算法发现有

两条到达目标网络的路径的 **Cost** 值相同，就会将这两条路径都将加入 **OSPF** 路由表，形成等价路由。

7.3 分层结构

7.3.1 骨干区域与非骨干区域



随着网络规模日益扩大，当一个大型网络中的路由器都运行 OSPF 路由协议时，路由器数量的增多会导致 LSDB 非常庞大，占用大量的存储空间，并使得运行 SPF 算法的复杂度增加，导致 CPU 负担很重。

在网络规模增大之后，拓扑结构发生变化的概率也增大，网络会经常处于不稳定状态之中，造成网络中有大量的 OSPF 协议报文在传递，降低了网络带宽的利用率。更为严重的是，每一次变化都会导致网络中所有的路由器重新进行路由计算。

OSPF 协议通过将自治系统划分成不同的区域（Area）来解决上述问题。区域是从逻辑上将路由器划分为不同的组，每个组用区域号（Area ID）来标识。区域的边界是路由器，而不是链路。一个网段（链路）只能属于一个区域，或者说每个运行 OSPF 的接口必须属于某个特定区域。

并非所有的 OSPF 区域都是平等的关系。其中有一个区域是与众不同的，它的区域号（Area ID）是 0，通常被称为骨干区域。骨干区域负责区域之间的路由，非骨干区域之间的路由信息必须通过骨干区域来转发。对此，OSPF 有两个规定：

- 所有非骨干区域必须与骨干区域保持连通；
- 骨干区域自身也必须保持连通。

划分区域的优势

- 减少了区域内LSDB中链路状态信息的数量，降低了运行OSPF协议对路由器性能的要求。
- 可以将相同功能性或者地理位置的路由器划分在一个区域内，以便于管理。
- 隔离拓扑变化，减少路由震荡对整个自治系统的影响。

OSPF 协议的区域划分可以带来以下好处：

- **减少区域内 LSA 的数量：**在进行了区域划分之后，OSPF 路由器的 LSDB 就不需要维护所有区域的链路状态信息，而只需要维护本区域内的链路状态信息。LSDB 所维护的 LSA 数量减少了，运行 OSPF 协议对于路由器性能的要求也降低了。这样对于性能不是很好的路由器来说，也同样可以运行 OSPF 协议。
- **便于管理：**功能性和地理位置相同的路由器，往往有着相同的路由选择需求。例如，对于某国家骨干网来说，可以根据地理位置，将各个省份的路由器划分在不同的区域内，也可以根据功能性的需求，将服务器区、测试区、网管区等中的路由器划分在在不同的区域内，对于它们进行集中管理，同时进行路由控制。
- **减少路由震荡的影响：**可以对部分区域进行特殊配置，或者在区域边缘设置路由聚合和路由过滤等策略，将路由震荡控制在区域内，减少对于自治系统内其他区域路由器的影响，降低其他区域路由器 SPF 算法反复计算的次数。

7.3.2 OSPF 路由器类型

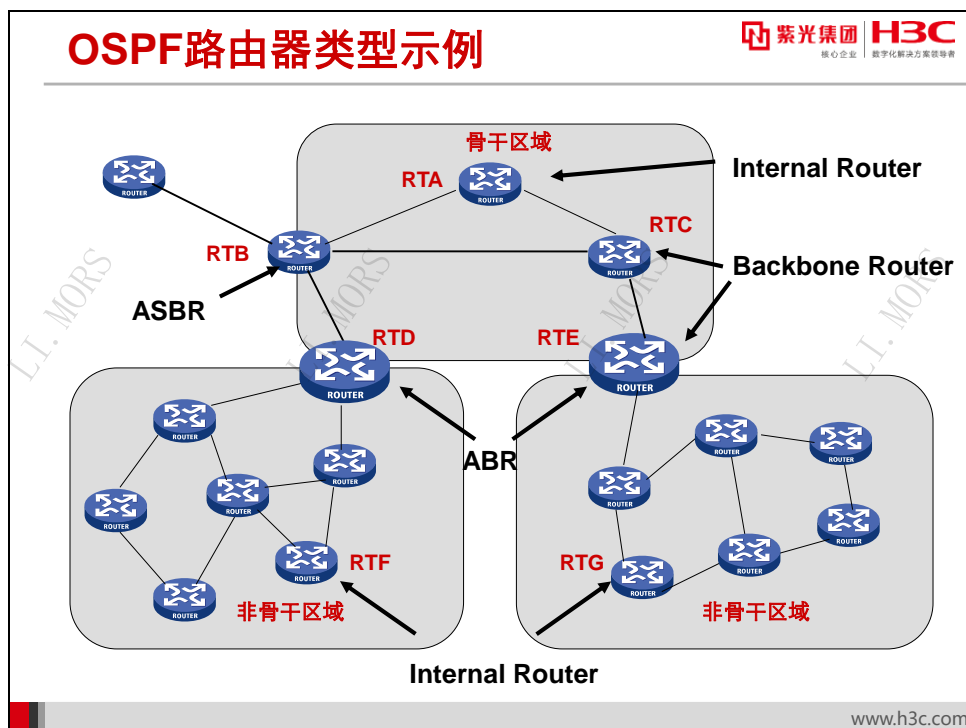
OSPF 路由器类型

- 区域内路由器 (Internal Router)
- 区域边界路由器 (ABR, Area Border Router)
- 骨干路由器 (Backbone Router)
- 自治系统边界路由器 (ASBR, Autonomous System Border Router)

紫光集团 H3C
核心企业 数字化转型方案领导者
www.h3c.com

根据其在 AS 中的不同位置，OSPF 路由器可以分为以下四类：

- **区域内路由器 (Internal Router)：**该类路由器的所有接口都属于同一个 OSPF 区域。
- **区域边界路由器 (ABR, Area Border Router)：**该类路由器可以同时属于两个以上的区域，但其中一个必须是骨干区域。ABR 用来连接骨干区域和非骨干区域，它与骨干区域之间既可以是物理连接，也可以是逻辑上的连接。
- **骨干路由器 (Backbone Router)：**该类路由器至少有一个接口属于骨干区域。因此，所有的 ABR 和位于 Area0 的内部路由器都是骨干路由器。
- **自治系统边界路由器 (ASBR, Autonomous System Border Router)：**与其他 AS 交换路由信息的路由器称为 ASBR。ASBR 并不一定位于 AS 的边界，它有可能是区域内路由器，也有可能是 ABR。只要一台 OSPF 路由器引入了外部路由的信息，它就成为 ASBR。



根据 OSPF 协议当中对于路由器类型的定义，在上图所示网络中：

- RTA、RTF 和 RTG 所有接口都属于同一个 OSPF 区域，为区域内路由器；
- RTD 和 RTE 同时属于两个以上的区域，而且均有一个接口处于骨干区域 Area0，为 ABR；
- RTA、RTB、RTC、RTD 和 RTE 都至少有一个接口属于骨干区域 Area0，为骨干路由器；
- RTB 虽然有一个接口属于骨干区域 Area0，但是该路由器引入了外部路由信息，为 ASBR。

7.4 Router ID与网络类型

7.4.1 Router ID

Router ID



紫光集团 H3C
核心企业 数字化解决方案领导者

- 一台路由器如果要运行OSPF协议，则必须存在Router ID（RID）。RID是一个32比特无符号整数，可以在一个自治系统中唯一的标识一台路由器。
- RID可以手工配置，也可以自动生成。
- 如果没有通过命令指定RID，将按照如下顺序自动生成一个RID：
 - 如果当前设备配置了Loopback接口，将选取所有Loopback接口上数值最大的IP地址作为RID；
 - 如果当前设备没有配置Loopback接口，将选取它所有已经配置IP地址中数值最大的IP地址作为RID。

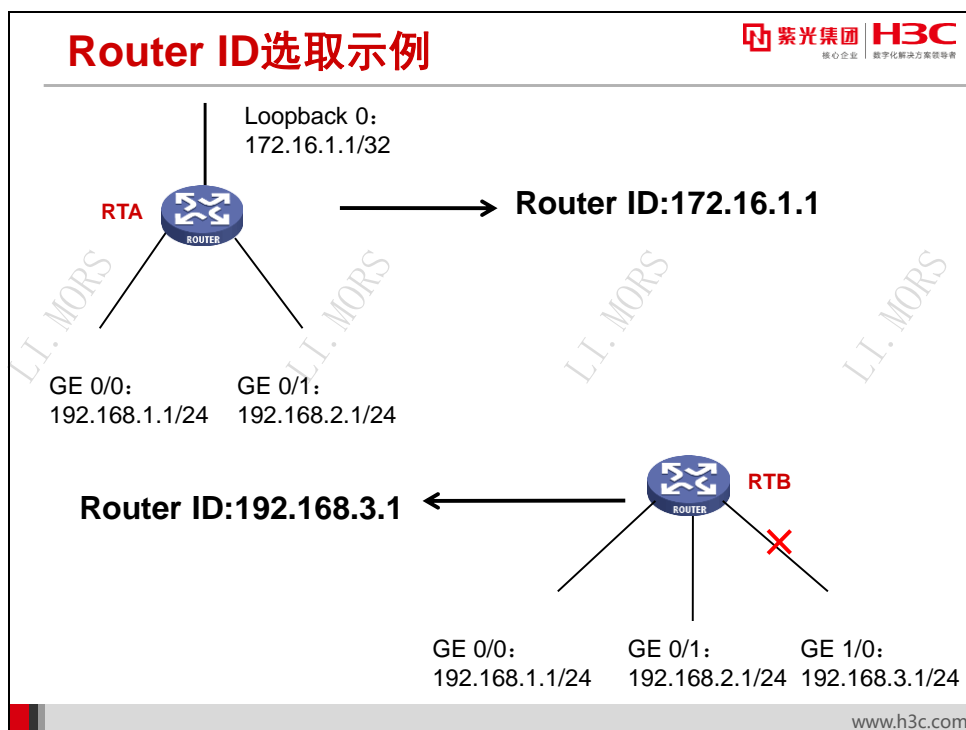
www.h3c.com

Router ID（RID）是一个 32 比特无符号整数，在大部分使用环境下，都可以用来在一个自治系统中唯一地标识一台路由器，以区分其他路由器。路由器在启动 OSPF 协议之前，会首先检查 Router ID 的配置。

如果没有通过相关命令配置 Router ID，路由器会按照以下顺序自动选择一个 Router ID：

- 如果存在配置 IP 地址的 Loopback 接口，则选择 Loopback 接口地址中最大的作为 Router ID；
- 如果没有配置 IP 地址的 Loopback 接口，则从其他接口的 IP 地址中选择最大的作为 Router ID（不考虑接口的 up/down 状态）。

一般情况下，建议配置 Loopback 接口，并且将 Loopback 接口的 IP 地址配置为路由器的 Router ID，以便于统一管理和区分其他路由器。



RTA 配置了 Loopback 接口，使能了 OSPF 协议后，优先选择 Loopback 接口的 IP 地址作为 Router ID，也就是 172.16.1.1，而不考虑其他任何物理接口的 IP 地址配置。

RTB 没有配置 Loopback 接口，使能了 OSPF 协议后，三个物理接口的 IP 地址配置分别为：GE0/0 192.168.1.1/24、GE0/1 192.168.2.1/24、GE1/0 192.168.3.1/24。尽管接口 GE1/0 处于 down 状态，但 OSPF 仍然选择了数值最大的 IP 地址，即 192.168.3.1 作为 Router ID。

7.4.2 OSPF 网络类型

OSPF网络类型

- **Broadcast**
- **NBMA (Non-Broadcast Multi-Access, 非广播多点可达网络)**
- **P2MP (Point-to-MultiPoint, 点到多点)**
- **P2P (Point-to-Point, 点到点)**



核心企业 | 数字化解决方案领导者

www.h3c.com

OSPF 根据链路层协议类型将网络分为下列四种类型：

- **Broadcast**：当链路层协议是 Ethernet、FDDI 时，OSPF 缺省认为网络类型是 Broadcast。在该类型的网络中，通常以组播形式（224.0.0.5 和 224.0.0.6）发送协议报文。
- **NBMA (Non-Broadcast Multi-Access, 非广播多点可达网络)**：当链路层协议是帧中继、ATM 或 X.25 时，OSPF 缺省认为网络类型是 NBMA。在该类型的网络中，以单播形式发送协议报文。
- **P2MP (Point-to-MultiPoint, 点到多点)**：没有一种链路层协议会被缺省的认为是 P2MP 类型。点到多点必须是由其他的网络类型强制更改的。常用做法是将 NBMA 改为点到多点的网络。在该类型的网络中，以组播形式（224.0.0.5）发送协议报文。
- **P2P (Point-to-Point, 点到点)**：当链路层协议是 PPP、HDLC 时，OSPF 缺省认为网络类型是 P2P。在该类型的网络中，以组播形式（224.0.0.5）发送协议报文。

NBMA与P2MP

- **NBMA网络是指那些全连通的、非广播、多点可达网络。而P2MP网络，则并不需要一定是全连通的。**
- **NBMA是一种缺省的网络类型，而P2MP网络必须是由其它的网络强制更改的。**
- **NBMA网络采用单播发送报文，需要手工配置邻居。P2MP网络采用组播方式发送报文。**

NBMA 网络是指非广播、多点可达的网络，比较典型的有 ATM 和帧中继网络。


对于接口的网络类型为 NBMA 的网络需要进行一些特殊的配置。由于无法通过报文的形式发现相邻路由器，必须手工为该接口指定相邻路由器的 IP 地址。

根据 OSPF 协议要求，NBMA 网络必须是全连通的，即网络中任意两台路由器之间都必须有一条虚电路直接可达。如果部分路由器之间没有直接可达的链路时，应将接口配置成 P2MP 类型。如果路由器在 NBMA 网络中只有一个对端，也可将接口类型配置为 P2P 类型。

OSPF 协议中，NBMA 与 P2MP 网络之间的区别如下：

- 从定义上来看，NBMA 网络是指那些全连通的、非广播、多点可达网络。而 P2MP 网络，则并不需要一定是全连通的。
- NBMA 是一种缺省的网络类型，如链路层协议是帧中继、ATM 或 X.25 时，接口默认的网络类型就是 NBMA。而 P2MP 网络必须是由其它的网络强制更改的。最常见的做法是将 NBMA 网络改为 P2MP 网络。
- NBMA 网络采用单播发送报文，需要手工配置邻居，否则无法正常建立邻居关系。P2MP 网络采用组播方式发送报文，不需要手工配置邻居，可以依靠协议自身的机制建立邻居关系。

7.5 报文和封装



OSPF报文类型与封装

| OSPF 报文类型 | 作用 |
|--------------------------------|-------------------------|
| Hello | 建立并维护邻居关系 |
| Database Description (DD) | 数据库内容的汇总（仅包含LSA摘要） |
| Link State Request (LSR) | 请求自己没有的或者比自己更新的链路状态详细信息 |
| Link State Update (LSU) | 链路状态更新信息 |
| Link State Acknowledge (LSAck) | 对LSU的确认 |

● **OSPF报文直接封装在IP报文中，协议号为89。**

链路层帧头
IP Header
OSPF Packet
链路层帧尾

www.h3c.com

OSPF 有五种类型的协议报文：

- **Hello 报文：**周期性发送，用来发现和维持 OSPF 邻居关系。内容包括一些定时器的数值、DR（Designated Router，指定路由器）、BDR（Backup Designated Router，备份指定路由器）以及自己已知的邻居。
- **DD（Database Description，数据库描述）报文：**描述了本地 LSDB 中每一条 LSA 的摘要信息，用于两台路由器进行数据库同步。
- **LSR（Link State Request，链路状态请求）报文：**向对方请求所需的 LSA。两台路由器互相交换 DD 报文之后，得知对端的路由器有哪些 LSA 是本地的 LSDB 所缺少的，这时需要发送 LSR 报文向对方请求所需的 LSA。内容包括所需要的 LSA 的摘要。
- **LSU（Link State Update，链路状态更新）报文：**向对方发送其所需要的 LSA。
- **LSAck（Link State Acknowledgment，链路状态确认）报文：**用来对收到的 LSA 进行确认。内容是需要确认的 LSA 的 Header（一个报文可对多个 LSA 进行确认）。

OSPF 报文是直接封装在 IP 报文之中的，其 IP 报文头的协议号为 89。

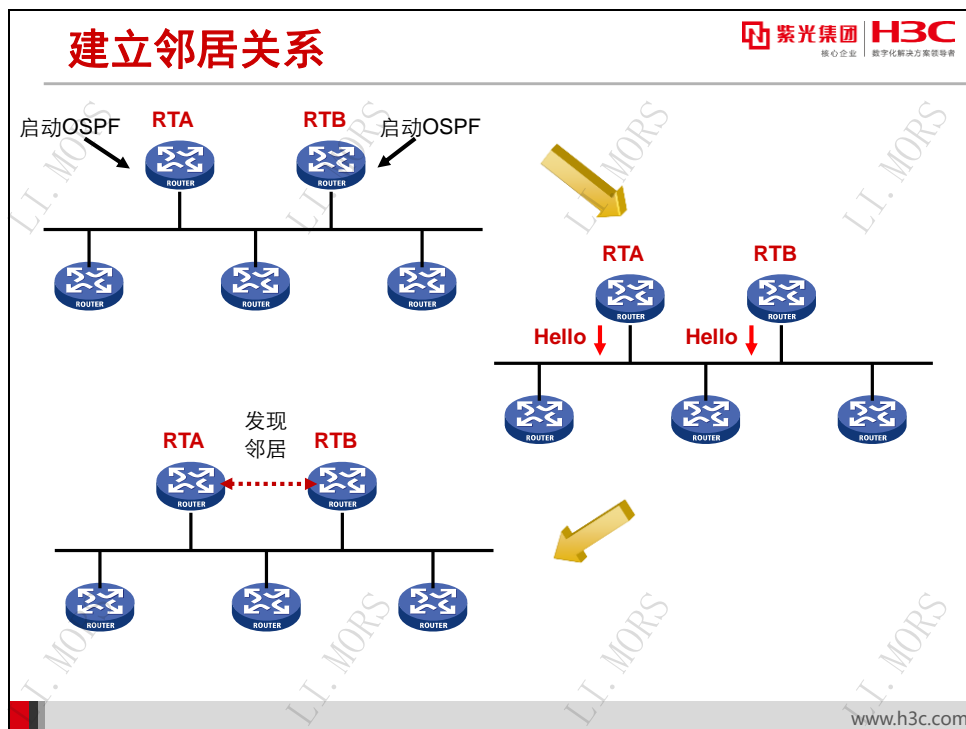
一个 OSPF 报文正常的封装顺序是：

第1步：将 OSPF 协议报文，如 Hello、DD、LSR、LSU 和 LSAck 报文作为净荷封装在 IP 报文中，将协议号设置为 89。

第2步：将收到的 IP 报文进行链路层封装，具体的格式取决于通信的链路层协议。封装上相应的帧头和帧尾之后，就构成一个完整的链路帧。

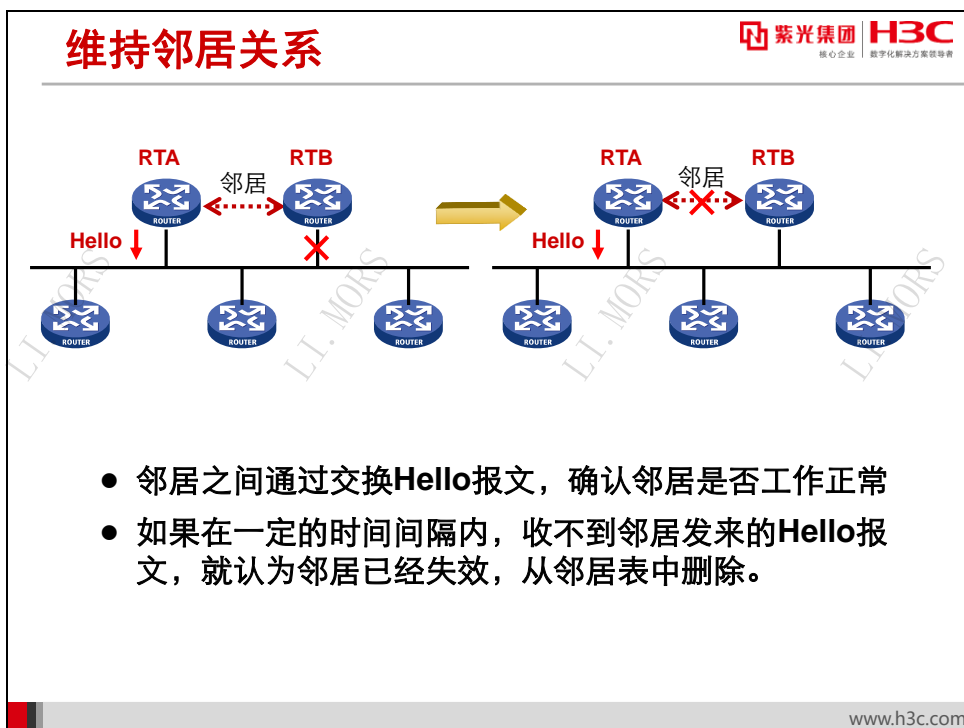
7.6 邻居建立和状态迁移

7.6.1 邻居发现与维护



OSPF 协议中同一链路的两台路由器是通过 Hello 报文互相发现，并且建立邻居关系的。其过程如下：

- 两台路由器分别以组播方式（组播地址为 224.0.0.5）发送 OSPF 的 Hello 报文。Hello 报文中包含自己的 Router ID 以及相关的参数协商信息。
组播地址 224.0.0.5 表示所有运行 OSPF 的路由器都能收到这个报文。
- RTA 和 RTB 根据自己收到的 Hello 报文，判断协商的参数是否通过。如果验证、区域等参数都设置一致，那么互相认为邻居已经发现。



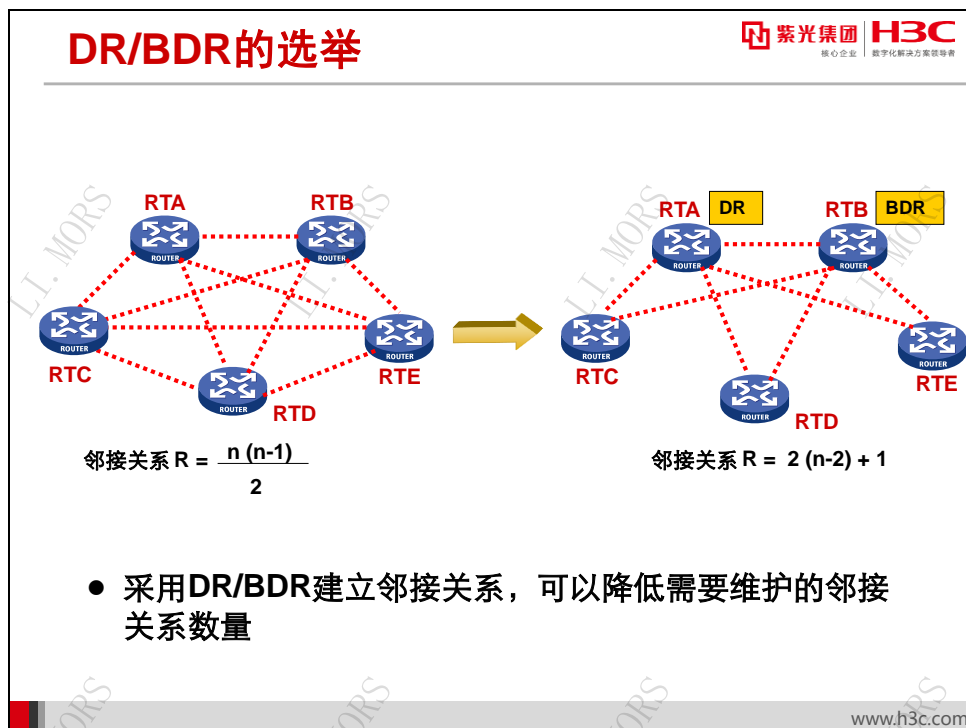
邻居发现之后，Hello 报文还起到了维持邻居关系的作用：

- 邻居之间周期性的交换 Hello 报文，以确认邻居是否工作正常。在一定的时间间隔内，只要能够从邻居中收到 Hello 报文，就可以认为邻居工作正常，继续维持邻居关系。
- 如果在一定的时间间隔内，收不到邻居发来的 Hello 报文，就认为邻居已经失效，从邻居表中删除。

OSPF 协议还定义了两个计时器：

- **Hello 定时器**：接口向邻居发送 Hello 报文的时间间隔，OSPF 邻居之间的 Hello 定时器的值要保持一致，且应与路由收敛速度、网络负荷大小成反比。
- **邻居失效时间**：在邻居失效时间内，如果接口还没有收到邻居发送的 Hello 报文，路由器就会宣告该邻居无效。

7.6.2 DR/BDR 的选举



在广播网和 NBMA 网络中，任意两台路由器之间都要传递路由信息。如果网络中有 n 台路由器，则需要建立 $n(n-1)/2$ 个邻接关系。这使得任何一台路由器的路由变化都会导致多次传递，浪费了带宽资源。为解决这一问题，OSPF 协议定义了 DR（Designated Router，指定路由器），所有路由器都只将信息发送给 DR，由 DR 将网络链路状态发送出去。

如果 DR 由于某种故障而失效，则网络中的路由器必须重新选举 DR，再与新的 DR 同步。这需要较长的时间，在这段时间内，路由的计算是不正确的。为了能够缩短这个过程，OSPF 提出了 BDR（Backup Designated Router，备份指定路由器）的概念。

BDR 实际上是对 DR 的一个备份，在选举 DR 的同时也选举出 BDR，BDR 也和本网段内的所有路由器建立邻接关系并交换路由信息。当 DR 失效后，BDR 会立即成为 DR。由于不需要重新选举，并且邻接关系事先已建立，所以这个过程是非常短暂的。当然这时还需要再重新选举出一个新的 BDR，虽然一样需要较长的时间，但并不会影响路由的计算。

DR 和 BDR 之外的路由器（称为 DROther）之间将不再建立邻接关系，也不再交换任何路由信息。这样就减少了广播网和 NBMA 网络上各路由器之间邻接关系的数量。

在 OSPF 中，邻居（Neighbor）和邻接（Adjacency）是两个不同的概念。

OSPF 路由器启动后，便会通过 OSPF 接口向外发送 Hello 报文。收到 Hello 报文的 OSPF 路由器会检查报文中所定义的参数，如果双方一致就会形成邻居关系。

形成邻居关系的双方不一定都能形成邻接关系，这要根据网络类型而定。只有当双方成功交换 DD 报文，交换 LSA 并达到 LSDB 的同步之后，才形成真正意义上的邻接关系。

DR/BDR的选举原则



- 首先比较Hello报文中携带的优先级
 - 优先级最高的被选举为DR，优先级次高的被选举为BDR
 - 优先级为0的不参与选举
- 优先级一致的情况下，比较Router ID
 - Router ID越大越优先
- 保持稳定原则
 - 当DR/BDR已经选举完毕，就算一台具有更高优先级的路由器变为有效，也不会替换该网段中已经选举的DR/BDR成为新的DR/BDR。

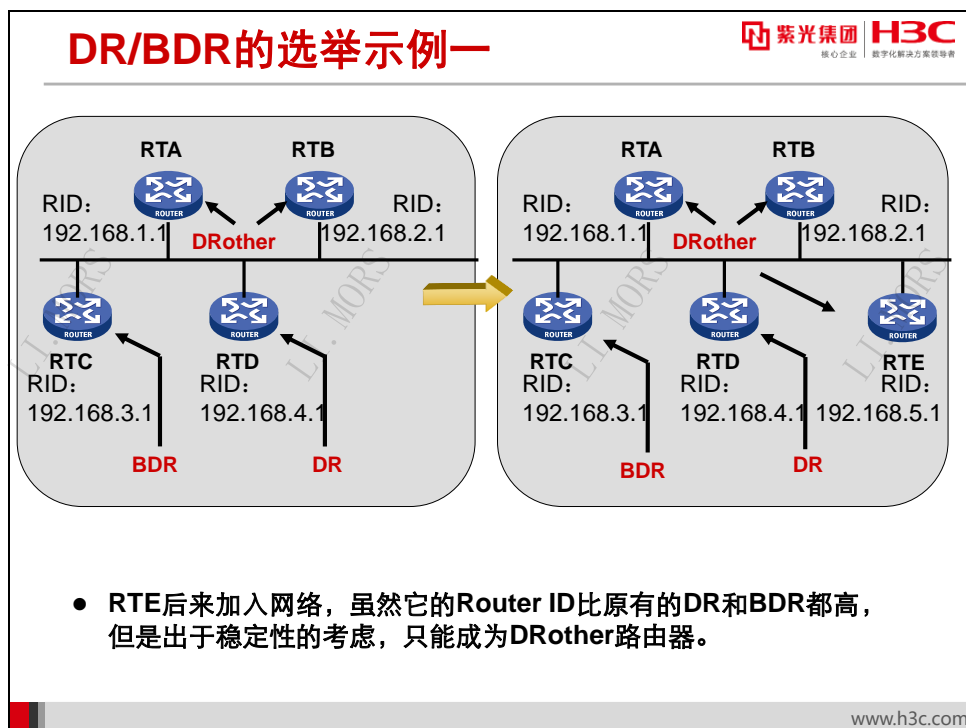
www.h3c.com

DR 和 BDR 是由同一网段中所有的路由器根据路由器优先级、Router ID 通过 Hello 报文选举出来的，只有优先级大于 0 的路由器才具有选举资格。

进行 DR/BDR 选举时每台路由器将自己选出的 DR 写入 Hello 报文中，发给网段上的每台运行 OSPF 协议的路由器。当处于同一网段的两台路由器同时宣布自己是 DR 时，路由器优先级高者胜出。如果优先级相等，则 Router ID 大者胜出。如果一台路由器的优先级为 0，则它不会被选举为 DR 或 BDR。

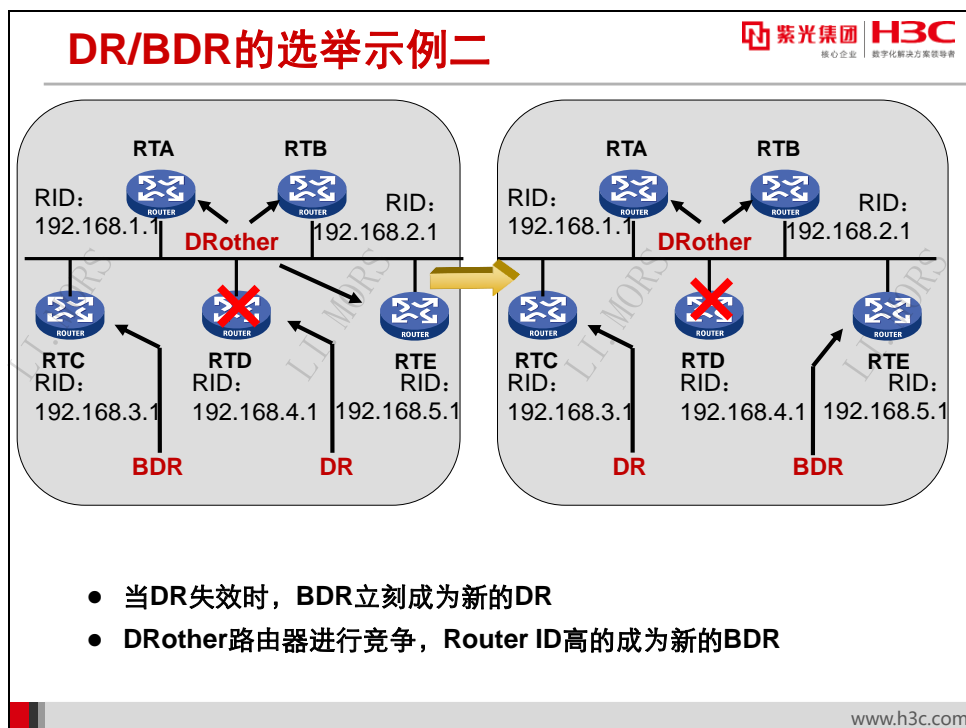
此外，DR/BDR 的选举机制还具有以下特点：

- 只有在广播或 NBMA 类型接口才会选举 DR，在点到点或点到多点类型的接口上不需要选举 DR。
- DR 是某个网段中的概念，是针对路由器的接口而言的。某台路由器在一个接口上可能是 DR，在另一个接口上有可能是 BDR，或者是 DR Other。
- 路由器的优先级可以影响一个选举过程，但是当 DR/BDR 已经选举完毕，就算一台具有更高优先级的路由器变为有效，也不会替换该网段中已经存在的 DR/BDR 成为新的 DR/BDR。
- DR 并不一定就是路由器优先级最高的路由器接口；同理，BDR 也并不一定就是路由器优先级次高的路由器接口。



在上图的示例中，某一网段 192.168.0.0/16 中现有四台路由器 RTA、RTB、RTC 和 RTD，它们的 Router ID 分别为 192.168.1.1、192.168.2.1、192.168.3.1 和 192.168.4.1。

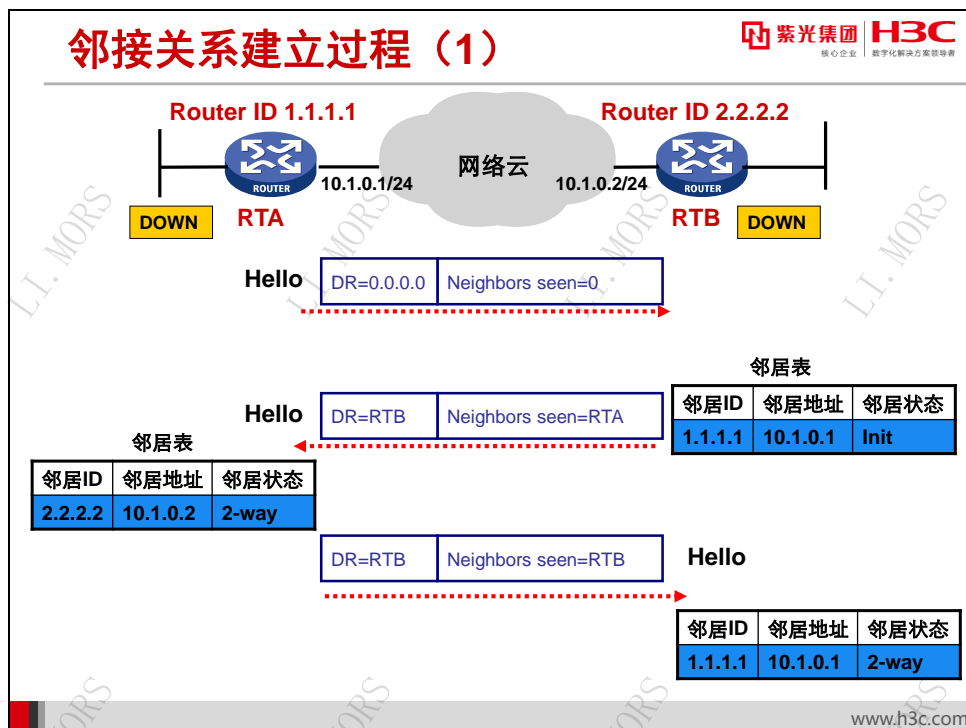
- 假设这四台路由器同时进行 DR/BDR 的选举。在没有对优先级进行配置的情况下，所有路由器的优先级都是一致的，那么对于这四台路由器的 Router ID 进行比较，RTD 的 Router ID 最大，因此被选举为 DR；RTC 的 Router ID 仅次于 RTD，因此被选举为 BDR；RTA 和 RTB 成为 DROther。
- 网络中新增了一台路由器 RTE，它的 Router ID 为 192.168.5.1，此时 DR 的选举已经结束。虽然 RTE 的优先级与其他路由器一致，而它的 Router ID 比 RTD、RTC 都要大，但是出于网络稳定性的考虑，RTE 只能成为 DROther。



在上图所示网络中，RTD 作为 DR，RTC 作为 BDR，RTA、RTB 和 RTE 都作为 DROther。

- 假设 RTD 突然失效，此时作为 BDR 的 RTC 立刻成为 DR。由于之前就已经和 DROther 路由器建立了邻接关系，因此不需要重新建立。
- RTA、RTB、RTE 这些 DROther 路由器需要重新选举一个 BDR，以作为 DR 的备份。在优先级一致的情况下，只需要比较 Router ID 的大小，从而将 RTE 选举成为 BDR，以便和 DROther 路由器建立邻接关系。
- 整个选举过程结束，网络重新稳定。此时如果 RTD 重新恢复，也不能改变整个 DR/BDR 的选举结果，只能成为 DROther 路由器。

7.6.3 邻接关系建立过程



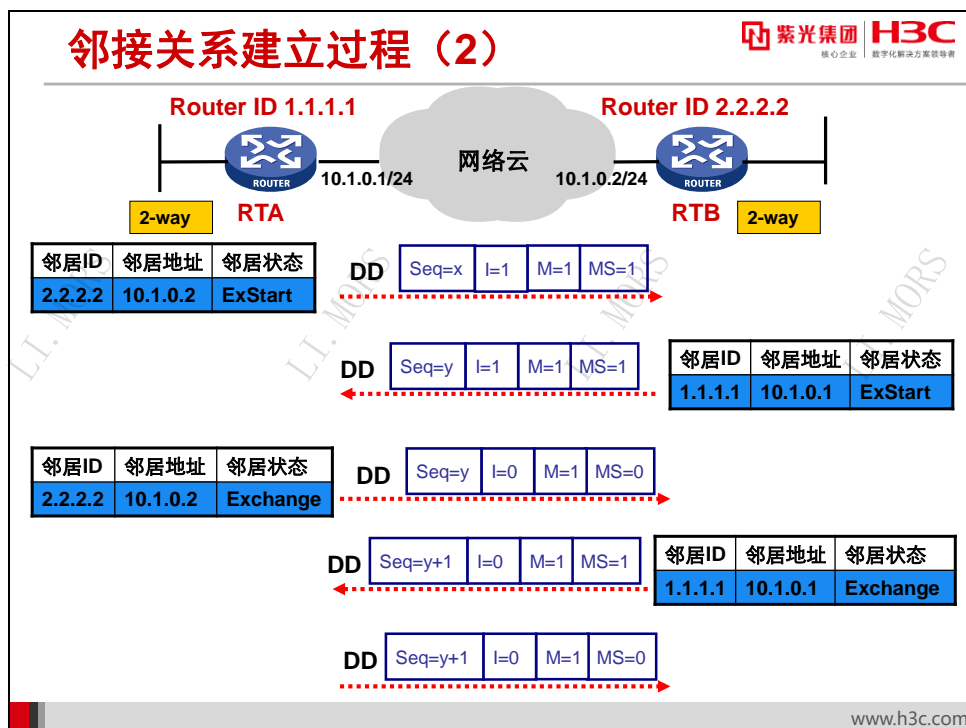
RTA 和 RTB 的 Router ID 分别为 1.1.1.1 和 2.2.2.2，运行 OSPF 协议。它们建立邻接关系的过程如下：

第1步：初始情况下，邻居关系处于 DOWN 的状态。之后 RTA 开始发送 Hello 报文。由于当前没有发现任何邻居，因此它的邻居表项是空的，并且 DR 字段设置为 0.0.0.0。

第2步：RTB 接收到 RTA 的 Hello 报文之后，将 RTA 添加到自己的邻居表中，同时将 RTA 的邻居状态设为 Init。与 RTA 比较 Router ID，由于 RTB 的 Router ID 较大，所以在发送的 Hello 报文中，将 DR 字段设置为自己的 Router ID。

第3步：RTA 收到 RTB 发来的 Hello 报文，在邻居列表中发现了自己的 Router ID，因而将邻居表中 RTB 的状态修改为 2-way。RTA 发送 Hello 报文，其中邻居列表添加 RTB 的 Router ID，将 DR 字段设置为 RTB 的 Router ID。

第4步：RTB 检查 RTA 的 Hello 报文，发现了自己的 Router ID，从而将邻居表中的 RTA 状态也修改为 2-way。如果当前链路上，RTA 和 RTB 都是 DR/other 路由器，它们之间的邻接状态就停留在 2-way 状态。如果 RTA、RTB 有一个是 DR/BDR，它们还需要进一步建立邻接关系。



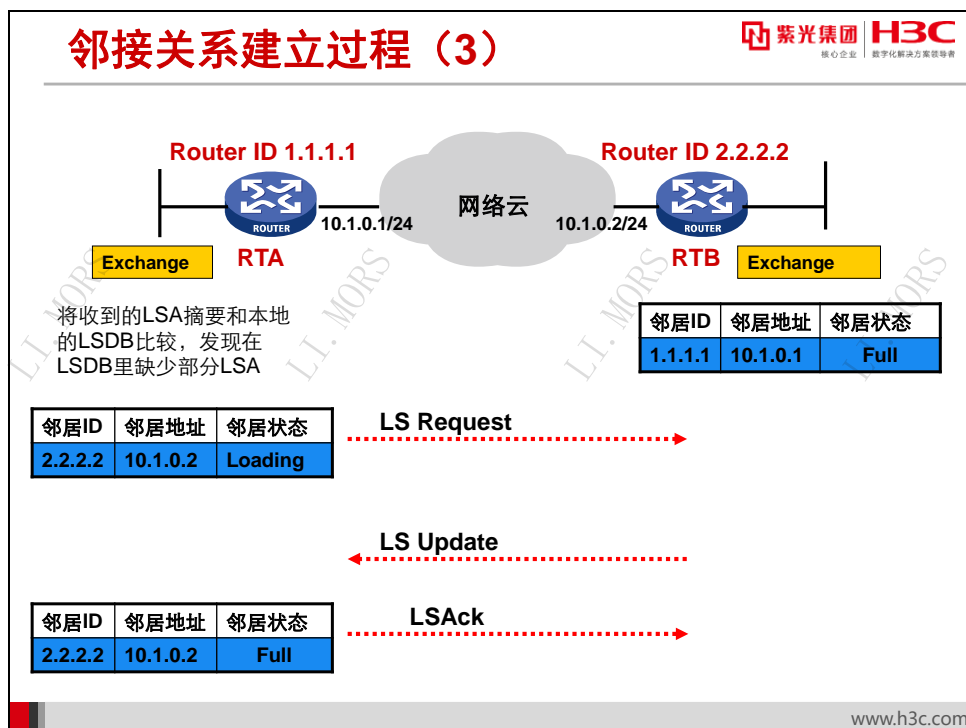
前文讲述了两台运行 OSPF 协议的路由器建立 2-way 状态的过程。如果这两台路由器承担了 DR 或者 BDR 的角色，那么它们还需要进一步建立邻接关系：

第5步：RTA 将邻居表中 RTB 的状态设置为 ExStart 状态，并且发送一个不包含 LSA 摘要的 DD 报文，开始主从关系的协商。这个 DD 报文的序列号由 RTA 决定，设置为 X；I 位被设置为 1，表明这是 RTA 发起的初始化报文；M 位被设置为 1，表明这不是最后一个 DD 报文；MS 位被设置为 1，表明 RTA 首先判断自己是 Master 路由器。这里的 Master 路由器的作用主要是在交换 DD 报文的时候，主动发送 DD 报文，并且控制修改报文序列号，对应的 Slave 路由器只能接受 Master 路由器使用的序列号，被动的发送 DD 报文。

第6步：RTB 收到 RTA 的 DD 报文之后，将邻居表中 RTA 的状态也设置为 ExStart。由于 RTB 的 Router ID 数值要大于 RTA，因此 RTB 认为自己应该作为 Master 路由器，所以它发送的 DD 报文中同样将 MS 位设置为 1，用来表明自己 Master 路由器的身份。RTB 使用的序列号为 Y，同时将 I 位和 M 位也设置为 1，分别表明这是初始化报文以及后续还有更多的 DD 报文。

第7步：RTA 同意 RTB 作为 Master 路由器，因此将 MS 设置为 0，表明自己的 Slave 路由器身份，并且采用 RTB 设置的序列号 Y 开始发送 DD 报文。这时的 DD 报文中包含 LSA 摘要。RTA 将邻居中的 RTB 的状态修改为 Exchange。

第8步：RTB 收到 RTA 发来的 DD 报文，将邻居表中 RTA 的状态修改为 Exchange，接下来采用 Y+1 的序列号和 RTA 交换 LSA 摘要信息。



RTA 和 RTB 对于 DD 报文中包含的 LSA 摘要信息, 与自己的 LSDB 做比较。RTB 发现所有的 LSA 信息在 LSDB 中都存在, 因此直接进入 Full 状态。RTA 比较之后, 发现 LSDB 中缺少部分的 LSA, 需要向 RTB 请求这些 LSA:

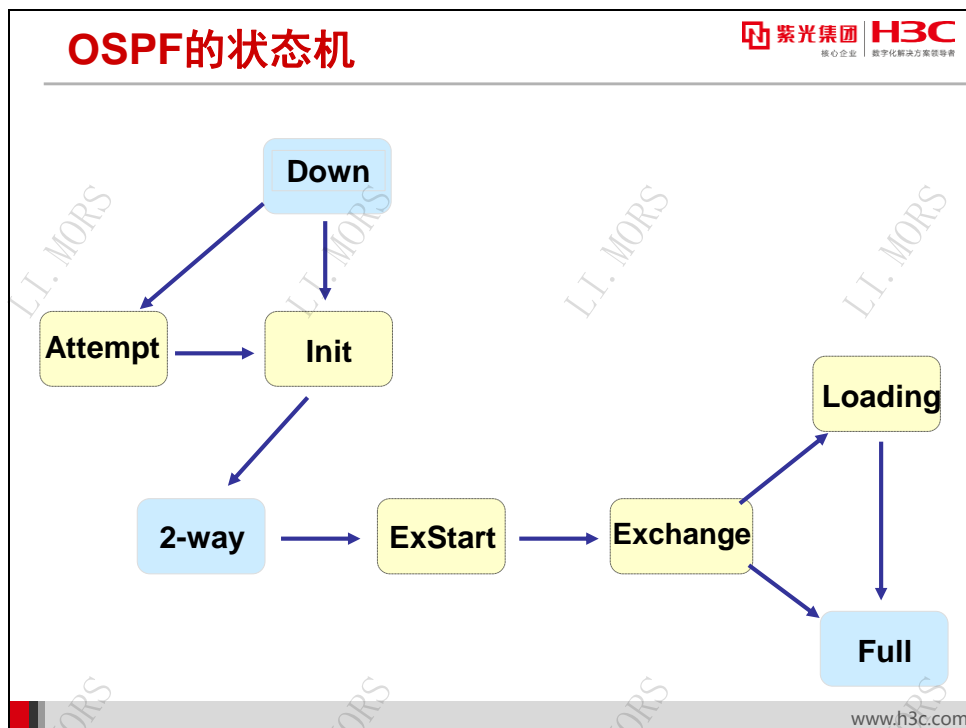
第9步: RTA 将邻居表中 RTB 的状态设置为 Loading, 同时向 RTB 发送 LSR 报文, 请求自己所缺少的 LSA。LSR 报文中也仅仅包含 LSA 摘要。

第10步: RTB 收到 LSR 报文, 将请求的 LSA 全部内容以一条或者多条 LSU 报文发送给 RTA。

第11步: RTA 将收到的 LSA 更新放入自己的 LSDB, 直到所有请求的 LSA 都获得之后, 它将邻居表中 RTB 的状态设置为 Full。

到这个时候, 完整的邻接关系才算是建立完成。

7.6.4 OSPF 邻居状态机

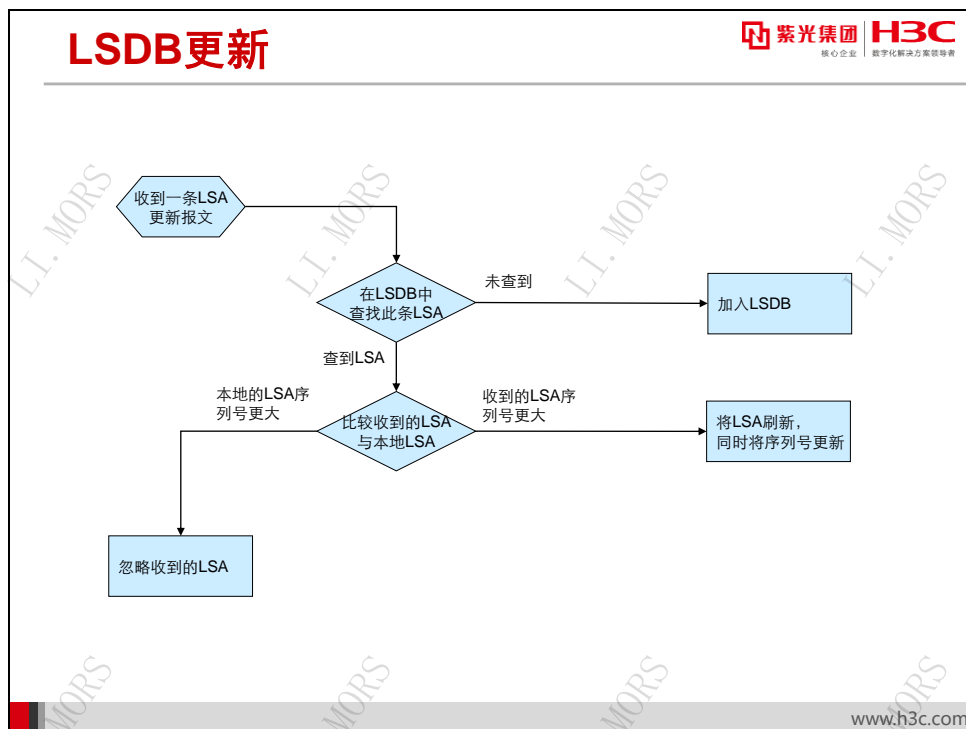


OSPF 协议使用邻居状态机来表示邻居路由器当前的状态。主要有以下几种：

- **Down:** 在上一个邻居失效时间内，在当前的接口没有收到任何 Hello 报文。这个状态是状态机的第一个稳定状态。
- **Attempt:** 这个状态只存在于 NBMA 网络中。当一台设备试图通过 Hello 报文去联系自己的邻居，但是还没有收到回应的报文时，就将它的邻居设置为 Attempt 状态。
- **Init:** 一台路由器收到了其他路由器发送的 Hello 报文，但是在 Hello 中的邻居列表中没有看到自己的 Router ID。
- **2-way:** 一台路由器收到了其他路由器发送的 Hello 报文，并且在 Hello 中的邻居列表中已经看到自己的 Router ID。这是状态机的第二个稳定状态。
- **ExStart:** 一台路由器和它的邻居在这个状态协商主从关系，并且由 Master 路由器决定 DD 交换的序列号。
- **Exchange:** 在这个状态时，路由器邻居之间交换 DD 报文。
- **Loading:** 路由器比较 DD 报文和 LSDB，如果发现 DD 存在 LSDB 中不具有的 LSA，向邻居发送 LSU 请求 LSA。
- **Full:** 在这个状态，路由器结束更新自己的 LSDB，具有完整的 LSDB。这是状态的第三个稳定状态。

在这些状态机中，只有 **Down**、**2-way** 和 **Full** 状态才是稳定的状态，其他状态都是瞬时的中间状态。正常情况下，**DR/BDR** 和 **DRother** 路由器的邻居状态应该稳定在 **Full** 状态，而 **DRother** 路由器之间的邻居状态应该稳定在 **2-way** 状态。

7.7 LSDB更新



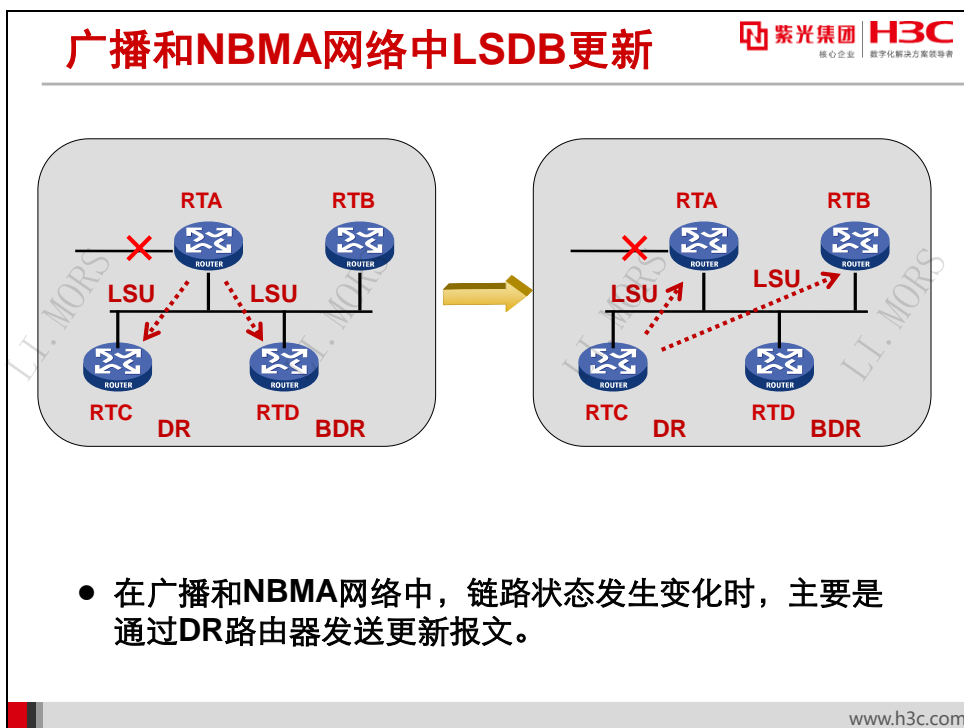
当网络拓扑发生变化时，感知到变化的 OSPF 路由器会生成相应的 LSA 更新报文，发送到区域中。运行 OSPF 协议的路由器收到一条 LSA 更新报文的时候，其工作流程如下：

- 1) 系统会首先在 LSDB 中查找此条 LSA。如果不能查到，就认为是一条新的 LSA，加入 LSDB。
- 2) 如果查到了此条 LSA，那么比较这条 LSA 的序列号。如果收到的新 LSA 序列号更大，那么认为这条 LSA 有了更新，将这条 LSA 的计时器进行刷新，同时更新序列号。
- 3) 如果收到的新 LSA 序列号等于或者小于 LSDB 中 LSA 的序列号，那么就认为收到的 LSA 可能是由于网络拥塞或者重传的陈旧的 LSA，不会对 LSDB 的 LSA 做任何操作，并且将收到的 LSA 更新报文丢弃。

另外，为了保证 LSDB 及时刷新，LSDB 里面的 LSA 都设定有老化时间，缺省为 1 小时。如果 1 个小时 LSA 没有被更新，LSA 将会老化同时被移除。

缺省情况下，LSDB 每隔半个小时刷新一次所有的 LSA。此时，LSA 的序列号会加一，同时老化计时器会重置。

当路由器想把一条 LSA 从 LSDB 中删除，可以将老化时间设置为最大老化时间，然后向所有路由器发送更新。



为了节省网络带宽与降低路由器资源消耗，在广播和 NBMA 网络中，链路状态发生变化时，主要是通过 DR 路由器发送更新报文，以便其他路由器更新自己的 LSDB。

在上图所示网络中，RTC 和 RTD 分别为作为 DR 和 BDR，负责 LSA 更新报文的传播。

- RTA 发现链路状态发生变化，以组播方式（224.0.0.6），将 LSU 报文发送给 RTC 和 RTD。组播地址 224.0.0.6 表示只有 DR 和 BDR 能够接收到这个报文。
- RTC 作为 DR，收到报文后，发送 LSAck 报文确认；同时使用组播地址 224.0.0.5，将 LSU 报文发送给所有的 OSPF 路由器。

7.8 本章总结

本章总结

- OSPF协议的特点和分层结构
- OSPF协议的5类协议报文和4类网络类型
- OSPF协议的邻居建立过程和DR/BDR的选举
- OSPF协议的LSDB更新

7.9 习题和解答

7.9.1 习题

1. OSPF 协议是什么类型的路由协议？（ ）
A. 距离矢量 B. 路径矢量
C. 链路状态 D. 混合类型
2. 在 OSPF 协议中，没有使用的表项是（ ）
A. 邻居表 B. 拓扑表
C. 路由表 D. 会话表
3. 承载 OSPF 协议报文的 IP 协议号为（ ）
A. 88 B. 89
C. 90 D. 91
4. OSPF 协议的邻居状态机中，哪些是稳定的状态？（ ）
A. Down B. 2-way
C. ExStart D. Full
5. OSPF 协议中，如果链路层协议是 Ethernet，其对应的默认网络类型为（ ）
A. Broadcast B. NBMA
C. P2P D. P2MP

7.9.2 习题答案

1. C 2. D 3. B 4. ABD 5. A

第8章 配置和优化 OSPF 协议

掌握 OSPF 协议的配置在协议的学习过程中是非常重要的，可以巩固对于所学知识的了解程度。本章介绍了 OSPF 协议的基本配置步骤，以及 OSPF 的维护调试命令，阐述了如何配置参数优化 OSPF 网络，包括配置 OSPF 网络类型、接口开销、定时器，并且讲解了如何在 OSPF 中引入缺省路由。

8.1 本章目标

课程目标

● 学习完本课程，您应该能够：

- 掌握 OSPF 单区域的配置
- 掌握 OSPF 多区域的配置
- 掌握 OSPF 相关参数的配置
- 掌握 OSPF 引入缺省路由的配置
- 了解 OSPF 显示和调试命令




www.h3c.com

8.2 OSPF基本配置与显示

8.2.1 配置 OSPF 基本功能

配置OSPF基本功能



紫光集团 H3C
核心企业 | 数字化解决方案领导者

- 启动OSPF进程

`[H3C]ospf process-id`
- 配置OSPF区域

`[H3C-ospf-1]area area-id`
- 配置区域所包含的网段并在指定网段的接口上使能OSPF

`[H3C-ospf-1-area-0.0.0.0]network network-address wildcard-mask`

www.h3c.com

路由器默认没有运行 OSPF 协议。如果需要使用 OSPF 协议，进行路由发现和选择，需要在路由器上进行配置。配置 OSPF 基本功能的步骤包括以下几部分：

第1步：启动 OSPF 进程，并指定进程 ID。

[H3C]ospf process-id

如果没有指定 OSPF 进程 ID，系统默认当前运行进程 ID 为 1。

第2步：配置 OSPF 区域，进入 OSPF 区域视图。

[H3C-ospf-1]area area-id

缺省情况下，没有配置 OSPF 区域。如果是在单区域情况下配置区域，可以不配置骨干区域 Area0；如果是在多区域情况下配置区域，必须配置骨干区域 Area0。

第3步：配置区域所包含的网段并在指定网段的接口上使能 OSPF。

[H3C-ospf-1-area-0.0.0.0] network network-address wildcard-mask


缺省情况下，接口不属于任何区域且 OSPF 功能处于关闭状态。一个网段只能属于一个区域，并且必须为每个运行 OSPF 协议的接口指明属于某一个特定的区域。在这个配置过程中，需要使用尽量精确的反掩码。

当在路由器上启动多个 OSPF 进程时，需要指定不同的进程号。OSPF 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。

在配置同一区域内的路由器时，大多数的配置数据都应该以区域为基础来统一考虑。错误的配置可能会导致相邻路由器之间无法相互传递信息，甚至导致路由信息的阻塞或者产生路由环路。例如，在配置 OSPF 区域的时候，如果两台邻居路由器错误地配置了不同的 OSPF 区域，就会导致邻居关系无法建立。

8.2.2 配置 Router ID

Router ID的配置



紫光集团 H3C
核心企业 数字化解决方案领导者


- 配置设备的Router ID

```
[H3C]router id router-id
```

这种配置方法，所有协议的Router ID都被指定。
- 配置OSPF协议的Router ID

```
[H3C]ospf process-id router-id router-id
```

这种配置方法，只配置OSPF协议使用的Router ID。



www.h3c.com

Router ID 的作用就是在 OSPF 自治系统内唯一的表示一台路由器。Router ID 可以由系统自动选择，也可以人为的手工配置。为保证 OSPF 运行的稳定性，在进行网络规划时应该确定路由器 ID 的划分并建议手工配置，以便在网络设计之初就明确了每台路由器对应的 Router ID。手工配置路由器的 ID 时，必须保证自治系统中任意两台路由器的 ID 都不相同。通常的做法是将路由器的 ID 配置为与该路由器某个 Loopback 接口的 IP 地址一致。

手工配置 Router ID 的方法有两种：

- 配置设备的 Router ID。如果使用这种配置方法，这台路由器所有路由协议的 Router ID 都被指定。相关命令为：

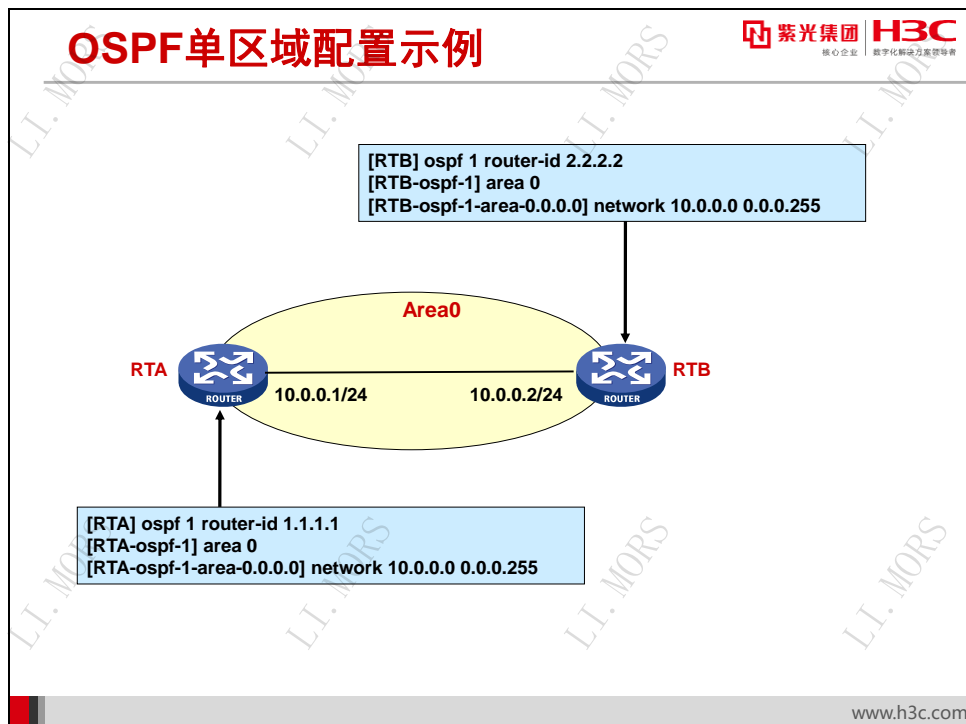
```
[H3C]router id router-id
```

- 配置 OSPF 协议的 Router ID。如果使用这种配置方法，仅仅指定这台路由器上 OSPF 协议的 Router ID。一般情况下，推荐使用这种配置方法。相关命令为：

[H3C]ospf process-id router-id router-id

如果两种配置方法同时使用，而且配置的 Router ID 不一致，系统会采用 OSPF 协议配置的 Router ID。

8.2.3 OSPF 单区域配置示例



如上图所示，RTA 和 RTB 运行 OSPF，并划分在同一区域内。

RTA 使用 loopback 接口 0 的 IP 地址 1.1.1.1 作为 Router ID，并且将接口加入 OSPF 的 Area0。RTB 使用 loopback 接口 0 的 IP 地址 2.2.2.2 作为 Router ID，并且将接口加入 OSPF 的 Area0。完成上述配置后，由于 RTA 的 Ethernet0/0 与 RTB 的 Ethernet0/0 共享同一条数据链路，并且在同一个网段内，故它们互为邻居。

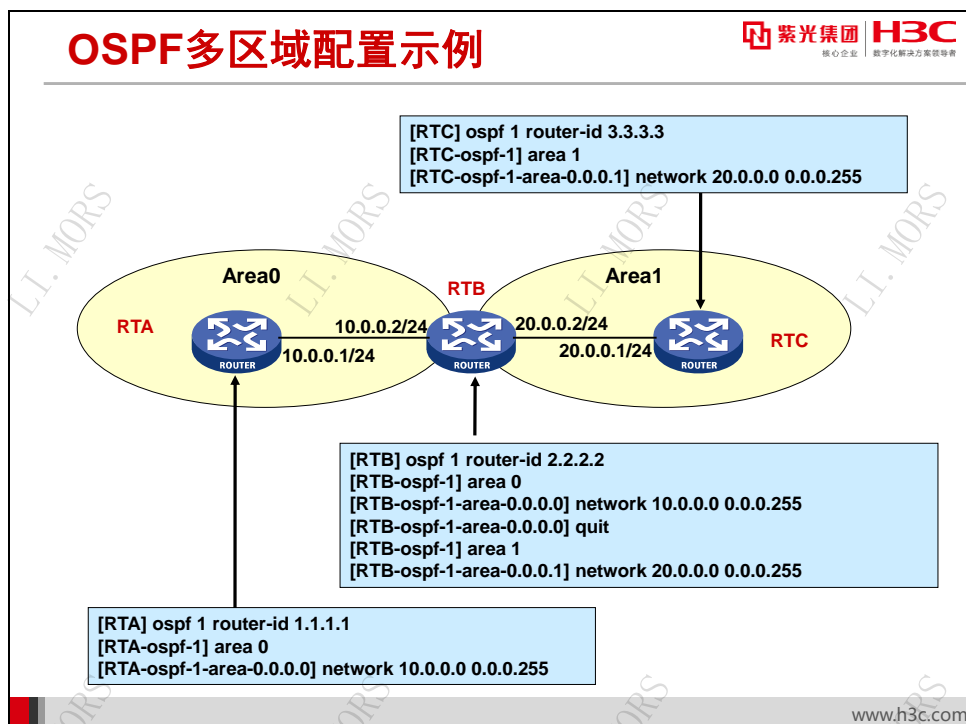
RTA 上配置如下：

```
[RTA]interface loopback 0
[RTA-loopback-0]ip address 1.1.1.1 255.255.255.255
[RTA-loopback-0]quit
[RTA]ospf 1 router-id 1.1.1.1
[RTA-ospf-1]area 0
[RTA-ospf-1-area-0.0.0.0]network 10.0.0.0 0.0.0.255
```

RTB 上配置如下：

```
[RTB]interface loopback 0
[RTB-loopback-0]ip address 2.2.2.2 255.255.255.255
[RTB-loopback-0]quit
[RTB]ospf 1 router-id 2.2.2.2
[RTB-ospf-1]area 0
[RTB-ospf-1-area-0.0.0.0]network 10.0.0.0 0.0.0.255
```

8.2.4 OSPF 多区域配置示例



如上图所示，RTA、RTB 和 RTC 运行 OSPF，规划 RTA 和 RTC 属于不同的区域，RTB 是区域边界路由器，负责在不同区域之间转发报文。

RTA、RTB 和 RTC 使用 loopback 接口地址作为 Router ID。RTB 作为 ABR，在 Area0 内与 RTA 建立邻居，在 Area1 内与 RTC 建立邻居。RTA 和 RTC 配置与单区域情况下相比没有变化，重点关注 RTB 的配置。

RTA 上配置如下：

```
[RTA]interface loopback 0
[RTA-loopback-0]ip address 1.1.1.1 255.255.255.255
[RTA-loopback-0]quit
[RTA]ospf 1 router-id 1.1.1.1
[RTA-ospf-1]area 0
[RTA-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.0.0 0.0.0.255
```

RTB 上配置如下：

```
[RTB]interface loopback 0
[RTB-loopback-0]ip address 2.2.2.2 255.255.255.255
[RTB-loopback-0]quit
[RTB]ospf 1 router-id 2.2.2.2
[RTB-ospf-1]area 0
[RTB-ospf-1-area-0.0.0.0]network 10.0.0.0 0.0.0.255
[RTB-ospf-1-area-0.0.0.0]quit
[RTB-ospf-1]area 1
[RTB-ospf-1-area-0.0.0.1]network 20.0.0.0 0.0.0.255
```

RTC 上配置如下：

```
[RTC]interface loopback 0
```

```
[RTC-loopback-0]ip address 3.3.3.3 255.255.255.255
[RTC-loopback-0]quit
[RTC] ospf 1 router-id 3.3.3.3
[RTC-ospf-1] area 1
[RTC-ospf-1-area-0.0.0.1] network 20.0.0.0 0.0.0.255
```

8.2.5 OSPF 显示与调试

显示OSPF邻居信息

该台路由器的Router ID

```
[H3C]display ospf peer

OSPF Process 1 with Router ID 2.2.2.2
Neighbor Brief Information

Area: 0.0.0.0
Router ID      Address      Pri Dead-Time  State      Interface
1.1.1.1        10.0.0.1     1   33          Full/DR    GE0/0

Area: 0.0.0.1
Router ID      Address      Pri Dead-Time  State      Interface
3.3.3.3        20.0.0.2     1   33          Full/BDR    GE0/1
```

邻居路由器的Router ID

选举DR/BDR采用的优先级

1.1.1.1是10.0.0.0/24网段的DR
3.3.3.3是20.0.0.0/24网段的BDR

www.h3c.com

在完成 OSPF 协议相关配置后，在任意视图下执行 `display` 命令可以显示配置后 OSPF 的运行情况，通过查看显示信息验证配置的效果。

使用 `display ospf peer` 可以用来显示 OSPF 邻居信息。以下是输出示例：

```
[H3C]display ospf peer

OSPF Process 1 with Router ID 2.2.2.2
Neighbor Brief Information

Area: 0.0.0.0
Router ID      Address      Pri Dead-Time  State      Interface
1.1.1.1        10.0.0.1     1   33          Full/DR    GE0/0

Area: 0.0.0.1
Router ID      Address      Pri Dead-Time  State      Interface
3.3.3.3        20.0.0.2     1   30          Full/BDR    GE0/1
```

从输出示例中可以看到本台路由器的 Router ID 是 2.2.2.2。

输出命令中各参数描述如下表：

表8-1 display ospf peer 命令显示信息描述表

| 字段 | 描述 |
|-----------|-------------------------------------------------------------|
| Area | 邻居所属的区域 |
| Router ID | 邻居路由器ID |
| Address | 邻居接口IP地址 |
| Pri | 路由器优先级 |
| DeadTime | OSPF的邻居失效时间 |
| State | 邻居状态（Down、Init、Attempt、2-Way、Exstart、Exchange、Loading、Full） |
| Interface | 与邻居相连的接口 |

显示OSPF接口信息

紫光集团 H3C
核心企业 | 数字化转型方案领导者

```
[H3C]display ospf interface
```

OSPF Process 100 with Router ID 2.2.2.2
Neighbor Brief Information

| Area: 0.0.0.0 | | | | | | | |
|---------------|------|-------|------|-----|---------|---------|--|
| IP Address | Type | State | Cost | Pri | DR | BDR | |
| 10.0.0.2 | PTP | P-2-P | 1562 | 1 | 0.0.0.0 | 0.0.0.0 | |

| Area: 0.0.0.1 | | | | | | | |
|---------------|-----------|-------|------|-----|----------|----------|--|
| IP Address | Type | State | Cost | Pri | DR | BDR | |
| 20.0.0.2 | Broadcast | BDR | 1 | 1 | 20.0.0.1 | 20.0.0.2 | |

链路的OSPF网络类型

该台OSPF路由器在当前
链路上的状态是BDR

P2P链路上没有DR和BDR

www.h3c.com

使用 **display ospf interface** 可以用来显示 OSPF 接口信息。以下是输出示例：

```
[H3C]display ospf interface
OSPF Process 100 with Router ID 2.2.2.2
Neighbor Brief Information

Area: 0.0.0.0
IP Address    Type        State      Cost      Pri      DR          BDR
10.0.0.2      PTP         P-2-P      1562      1        0.0.0.0    0.0.0.0


Area: 0.0.0.1
IP Address    Type        State      Cost      Pri      DR          BDR
20.0.0.2      Broadcast   BDR        1         1        20.0.0.1    20.0.0.2
```

输出命令中各参数描述如下表：

表8-2 display ospf interface 命令显示信息描述表

| 字段 | 描述 |
|------------|---------------------------------------------------------|
| Area | 接口所属的区域ID |
| IP address | 接口IP地址（不管是否使能了流量工程） |
| Type | 接口的网络类型（PTP、PTMP、Broadcast或NBMA） |
| State | 根据OSPF接口状态机确定的当前接口状态（DOWN、Waiting、P-2-P、DR、BDR、DROther） |
| Cost | 接口开销 |
| Pri | 路由器优先级 |
| DR | 接口所属网段的DR |
| BDR | 接口所属网段的BDR |

显示OSPF路由信息




紫光集团 H3C
核心企业 | 数字化解决方案领导者


```
[H3C]display ospf routing

OSPF Process 100 with Router ID 2.2.2.2
Routing Tables

Routing for Network
Destination    Cost      Type      NextHop    AdvRouter   Area
20.0.0.0/24    1         Transit   20.0.0.2    3.3.3.3     0.0.0.1
10.0.0.0/24    1         Transit   10.0.0.2    2.2.2.2     0.0.0.0
10.0.1.1/32    1         Stub      10.0.0.1    1.1.1.1     0.0.0.0
```



路由发布者



OSPF区域

www.h3c.com

使用 **display ospf routing** 可以用来显示 OSPF 路由信息。以下是输出示例：

```
[H3C]display ospf routing


OSPF Process 100 with Router ID 2.2.2.2
Routing Tables

Routing for Network
Destination    Cost      Type      NextHop    AdvRouter   Area
20.0.0.0/24    1         Transit   20.0.0.2    3.3.3.3     0.0.0.1
10.0.0.0/24    1         Transit   10.0.0.2    2.2.2.2     0.0.0.0
10.0.1.1/32    1         Stub      10.0.0.1    1.1.1.1     0.0.0.0
```

输出命令中各参数描述如下表：

表8-3 display ospf routing 命令显示信息描述表

| 字段 | 描述 |
|-------------|------------------------------------------------------------------------|
| Destination | 目的网络 |
| Cost | 到达目的地址的开销 |
| Type | 路由类型（Intra-area、Transit、Stub、Inter-Area、Type1 External和Type2 External） |
| NextHop | 下一跳地址 |
| AdvRouter | 发布路由器 |
| Area | 区域ID |



紫光集团 H3C
核心企业 | 数字化解决方案领导者

显示IP路由表中的OSPF路由

```
[H3C]display ip routing-table
```

Destinations : 8 Routes : 8

| Destination/Mask | Proto | Pre | Cost | NextHop | Interface |
|------------------|---------|-----|------|-----------|-----------|
| 1.1.1.1/32 | O_INTRA | 10 | 1 | 10.0.0.1 | GE0/0 |
| 2.2.2.2/32 | Direct | 0 | 0 | 127.0.0.1 | InLoop0 |
| 3.3.3.3/32 | O_INTRA | 10 | 1 | 20.0.0.1 | GE0/1 |
| 10.0.0.0/24 | Direct | 0 | 0 | 10.0.0.2 | GE0/0 |
| 10.0.1.1/32 | O_INTRA | 10 | 1 | 10.0.0.1 | GE0/0 |
| 20.0.0.0/24 | Direct | 0 | 0 | 20.0.0.2 | GE0/1 |
| 127.0.0.0/8 | Direct | 0 | 0 | 127.0.0.1 | InLoop0 |
| 127.0.0.1/32 | Direct | 0 | 0 | 127.0.0.1 | InLoop0 |

OSPF路由

OSPF协议
优先级为10

www.h3c.com

使用 `display ip routing-table` 可以用来显示 IP 路由信息。以下是输出示例：

```
[H3C]display ip routing-table
```

Destinations : 8 Routes : 8


| Destination/Mask | Proto | Pre | Cost | NextHop | Interface |
|------------------|---------|-----|------|-----------|-----------|
| 1.1.1.1/32 | O_INTRA | 10 | 1 | 10.0.0.1 | GE0/0 |
| 2.2.2.2/32 | Direct | 0 | 0 | 127.0.0.1 | InLoop0 |
| 3.3.3.3/32 | O_INTRA | 10 | 1 | 20.0.0.1 | GE0/1 |
| 10.0.0.0/24 | Direct | 0 | 0 | 10.0.0.2 | GE0/0 |
| 10.0.1.1/32 | O_INTRA | 10 | 1 | 10.0.0.1 | GE0/0 |
| 20.0.0.0/24 | Direct | 0 | 0 | 20.0.0.2 | GE0/1 |
| 127.0.0.0/8 | Direct | 0 | 0 | 127.0.0.1 | InLoop0 |
| 127.0.0.1/32 | Direct | 0 | 0 | 127.0.0.1 | InLoop0 |

从输出示例中可以看出，1.1.1.1/32、3.3.3.3/32 和 10.0.1.1/32 这 3 条路由都是通过 OSPF 协议学习而来的，其中 OSPF 协议的优先级为 10，到达目的地的度量值为 1。

表8-4 display ip routing-table 命令显示信息描述表

| 字段 | 描述 |
|------------------|-------------------------|
| Destinations | 目的地址个数 |
| Routes | 路由条数 |
| Destination/Mask | 目的地址/掩码长度 |
| Proto | 发现该路由的路由协议 |
| Pre | 路由的优先级 |
| Cost | 路由的度量值 |
| Nexthop | 此路由的下一跳地址 |
| Interface | 输出接口，即到该目的网段的数据包将从此接口发出 |

其它OSPF信息显示



紫光集团 H3C
核心企业 数字化解决方案领导者

- 显示OSPF进程详细信息
[H3C]display ospf verbose
- 显示OSPF统计信息
[H3C]display ospf statistics
- 显示OSPF的错误统计信息
[H3C]display ospf statistics error
- 显示OSPF的LSDB信息
[H3C]display ospf lsdb

www.h3c.com

下表列出了其他常用的 OSPF 显示命令。

表8-5 其他 OSPF 显示命令

| 操作 | 命令 |
|---------------|-----------------------------------------|
| 显示OSPF的进程信息 | display ospf [process-id] [verbose] |
| 显示OSPF的统计信息 | display ospf [process-id] statistics |
| 显示OSPF的LSDB信息 | display ospf [process-id] lsdb |


| 操作 | 命令 |
|------------|---------------------------------------------------------|
| 显示OSPF错误信息 | display ospf [<i>process-id</i>] statistics [error] |

在 OSPF 的维护过程中，有时需要重置 OSPF 的进程或计数器。

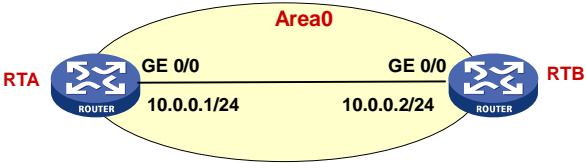
在用户视图下执行 **reset** 命令可以复位 OSPF 计数器或连接，命令如下表所示。

表8-6 OSPF 维护命令

| 操作 | 命令 |
|-----------|---------------------------------------------|
| 清除OSPF计数器 | reset ospf [<i>process-id</i>] statistics |
| 重启OSPF进程 | reset ospf [<i>process-id</i>] process |



OSPF事件调试命令



```

<RTA> debugging ospf event

OSPF 1: Neighbor 10.0.0.2 received HelloReceived and its state from DOWN ->
INIT.
OSPF 1: Neighbor 10.0.0.2 received 2-WayReceived and its state from INIT ->
2-WAY.
OSPF 1: Neighbor 10.0.0.2 received AdjOk? and its state from 2-WAY ->
EXSTART.
OSPF 1: Neighbor 10.0.0.2 received NegotiationDone and its state from
EXSTART -> EXCHANGE.
OSPF 1: Neighbor 10.0.0.2 received ExchangeDone and its state from EXCHANGE
-> LOADING.
OSPF 1: Neighbor 10.0.0.2 received LoadingDone and its state from LOADING ->
FULL.

```

www.h3c.com

除了上文介绍的显示和维护命令外，系统还提供丰富的调试命令，来显示 OSPF 协议动态过程。

如上图所示，RTA 和 RTB 运行 OSPF 协议。在 RTA 上的用户视图下用 **debugging ospf event** 命令打开 OSPF 协议的事件调试信息开关，以下是输出示例：

```
<H3C> debugging ospf event
```

```
OSPF 1: Neighbor 10.0.0.2 received HelloReceived and its state from DOWN ->
INIT.
```

```
OSPF 1: Neighbor 10.0.0.2 received 2-WayReceived and its state from INIT ->
2-WAY.
```

```
OSPF 1: Neighbor 10.0.0.2 received AdjOk? and its state from 2-WAY ->
```

EXSTART.

OSPF 1: Neighbor 10.0.0.2 received NegotiationDone and its state from EXSTART
-> EXCHANGE.

OSPF 1: Neighbor 10.0.0.2 received ExchangeDone and its state from EXCHANGE
-> LOADING.

OSPF 1: Neighbor 10.0.0.2 received LoadingDone and its state from LOADING ->
FULL.

经命令输出可以看到 OSPF 邻居间建立邻接关系的全过程。可以从中观察邻居状态从 DOWN 开始，经过 Init、2-way、ExStart、Exchange、loading 直到 Full。

其它 OSPF 调试命令

紫光集团
核心企业 | 数字化转型领导者

- OSPF 链路状态通告调试信息
- <H3C>debugging ospf lsa
- OSPF 报文调试信息
- <H3C>debugging ospf packet
- OSPF 路由计算调试信息
- <H3C>debugging ospf spf
- OSPF 进程调试信息
- <H3C>debugging ospf INTEGER<1-65535>

www.h3c.com

另外，OSPF 协议还具有其它大量的调试命令，可以用来观察 OSPF 协议的链路状态调试信息、报文调试信息、OSPF 路由计算调试信息以及进程调试信息等。

一般情况下，建议根据需要输入相应的调试命令，观察 OSPF 协议的报文交互。在正常状态时，不建议配置任何调试命令，以防止对于系统运行造成不必要的影响。

表8-7 其他 OSPF 显示命令

| 操作 | 命令 |
|-----------------|---------------------------------|
| OSPF 链路状态通告调试信息 | debugging ospf lsa |
| OSPF 报文调试信息 | debugging ospf packet |
| OSPF 路由计算调试信息 | debugging ospf spf |
| OSPF 进程调试信息 | debugging ospf INTEGER<1-65535> |

8.3 优化 OSPF 网络

8.3.1 配置 OSPF 网络类型

OSPF网络类型及选举优先级配置

- 配置OSPF接口的网络类型

```
[H3C-GigabitEthernet0/0]ospf network-type  
{ broadcast | nbma | p2mp [ unicast ] | p2p [ peer-address-check ] }
```

- 配置OSPF接口的路由器优先级

```
[H3C-GigabitEthernet0/0]ospf dr-priority priority
```

紫光集团 H3C
核心企业 数字化解决方案领导者

www.h3c.com

缺省情况下，OSPF 根据接口的链路层协议来确定接口网络类型。在不同的网络类型下，OSPF 工作机制会有所不同。可以根据链路层协议和网络拓扑来配置相应的网络类型。

在接口视图下，配置 OSPF 接口网络类型的命令如下：

```
ospf network-type { broadcast | nbma | p2mp [ unicast ] | p2p [ peer-address-check ] }
```

在 ATM、帧中继等 NBMA 网络中，如果任意两台路由器之间都有一条虚电路直接可达，那么可以把 OSPF 接口的网路类型配置为 NBMA；否则，需要把 OSPF 接口的网络类型配置为 P2MP；如果路由器在 NBMA 网络中只有一个对端，也可将接口类型改为 P2P 方式。

另外，在配置广播网络和 NBMA 网络时，还可以指定各接口的路由器优先级，以此来影响网络中的 DR/BDR 选择。一般情况下，应该选择性能和可靠性较高的路由器作为 DR 和 BDR。


当网络类型为广播网或 NBMA 类型时，可以通过配置接口的路由器优先级来影响网络中 DR/BDR 的选择。默认的路由器优先级为 1，可以根据需要将性能和可靠性较高的路由器优先级调整的较高。

在接口视图下，配置 OSPF 接口的路由器优先级的命令如下：

```
ospf dr-priority priority
```

8.3.2 配置 OSPF 接口开销

配置 OSPF 接口开销



紫光集团 H3C
核心企业 数字化解决方案领导者

- 配置 OSPF 接口的开销值

`[H3C-GigabitEthernet0/0]ospf cost value`

缺省情况下，接口按照当前的波特率自动计算开销。
- 配置 OSPF 接口的参考带宽

`[H3C-ospf-1]bandwidth-reference value`

缺省情况下，带宽参考值为 100Mbps，因此百兆和千兆以太网的接口开销都被计算为 1。

www.h3c.com

OSPF 路由以到达目的地址的开销作为度量值，而到达目的地的开销是路径上所有路由器接口开销之和。所以，通过配置路由器接口开销，可以改变 OSPF 路由开销，从而达到控制路由选路的目的。

配置 OSPF 接口开销有两种方式：

- 第一种方式，在接口视图下，配置 OSPF 接口的开销值。配置命令如下：

ospf cost value

使用上述命令后，OSPF 协议仅对当前接口的开销值进行了修改。此配置命令简单易用，是推荐的方式。

- 第二种方式，在 OSPF 视图下，配置 OSPF 接口的参考带宽。配置命令如下：

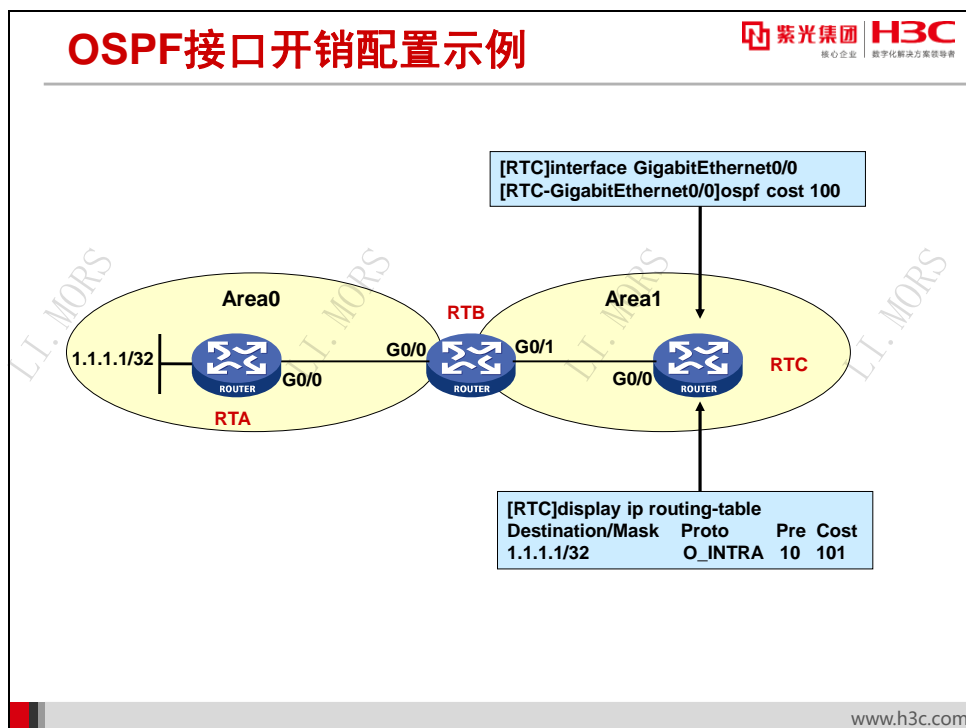
bandwidth-reference value

使用上述命令后，OSPF 协议会根据该接口的带宽自动计算其开销值，计算公式为：

接口开销 = 带宽参考值 ÷ 接口带宽

缺省情况下，带宽参考值为 100M。意味着所有链路带宽大于 100M 的接口开销都被计算为 1，不能反馈链路带宽的真实情况。所以，可以根据网络情况将参考带宽修改为 1000M 或者更大。推荐配置带宽参考值为网络中所有链路带宽中的最大值。

配置了 OSPF 参考带宽之后，路由器上所有接口的开销都被重新计算。



在上图所示网络中，RTA、RTB、RTC 之间通过 GE 接口互连。缺省情况下，GE 接口的开销值为 1。所以，在 RTC 上进行路由查看时，可以发现路由 1.1.1.1/32 的开销值为 2。如果要改变此路由的开销，可以在 RTC 上修改接口 G0/0 的接口开销。

RTC 上配置如下：

```

[RTC]interface GigabitEthernet0/0
[RTC-GigabitEthernet0/0]ospf cost 100
  
```

这时在 RTC 上的路由 1.1.1.1/32 开销值已经变为 101：

```
[RTC]display ip routing-table
```

Destinations : 4 Routes : 4

| Destination/Mask | Proto | Pre | Cost | NextHop | Interface |
|------------------|---------|-----|------|-----------|-----------|
| 1.1.1.1/32 | O_INTRA | 10 | 101 | 20.0.0.2 | GE0/0 |
| 20.0.0.0/24 | Direct | 0 | 0 | 20.0.0.2 | GE0/0 |
| 127.0.0.0/8 | Direct | 0 | 0 | 127.0.0.1 | InLoop0 |
| 127.0.0.1/32 | Direct | 0 | 0 | 127.0.0.1 | InLoop0 |

如果在 RTB 上配置接口 G0/0 的接口开销值为 100，则可以发现 RTC 上的路由 1.1.1.1/32 开销值变为 200。

8.3.3 配置 OSPF 报文定时器

配置 OSPF 报文定时器

- 配置 OSPF 的 Hello 定时器

[H3C-GigabitEthernet0/0]ospf timer hello seconds

- 配置 OSPF 的邻居失效时间

[H3C-GigabitEthernet0/0]ospf timer dead seconds

紫光集团 H3C
核心企业 | 数字化转型方案领导者

```
[H3C]display ospf peer
                        OSPF Process 100 with Router ID 2.2.2.2
                        Neighbor Brief Information
Area: 0.0.0.0
Router ID   Address      Pri   Dead-Time   State   Interface
1.1.1.1     10.0.0.1    1     35          Full/BDR GE0/0
```

↑
邻居失效定时器

www.h3c.com

OSPF 协议的 Hello 定时器是指接口发送 Hello 报文的时间间隔。OSPF 邻居的失效时间是指，在该时间间隔内，若未收到邻居的 Hello 报文，就认为该邻居已失效。

除此之外，还有其他的定时器：

- Poll 定时器：在 NBMA 网络中，路由器向状态为 Down 的邻居路由器发送轮询 Hello 报文的时间间隔。
- 接口重传 LSA 的时间间隔：路由器向它的邻居通告一条 LSA 后，需要对方进行确认。若在重传间隔时间内没有收到对方的确认报文，就会向邻居重传这条 LSA。

表8-8 配置 OSPF 定时器

| 操作 | 命令 |
|----------------|-------------------------------|
| 配置Hello定时器 | ospf timer hello seconds |
| 配置Poll定时器 | ospf timer poll seconds |
| 配置邻居失效时间 | ospf timer dead seconds |
| 配置接口重传LSA的时间间隔 | ospf timer retransmit seconds |

修改了网络类型后，Hello 定时器与邻居失效时间都将恢复缺省值。另外，相邻路由器重传 LSA 时间间隔的值不要设置得太小，否则将会引起不必要的重传。通常应该大于一个报文在两台路由器之间传送一个来回的时间。

报文定时器默认值

| 网络类型 | Hello定时器 (S) | 邻居失效时间 (S) |
|-----------|--------------|------------|
| Broadcast | 10 | 40 |
| P2P | 10 | 40 |
| NBMA | 30 | 120 |
| P2MP | 30 | 120 |


缺省情况下，P2P、Broadcast 类型接口发送 Hello 报文的时间间隔为 10 秒；P2MP、NBMA 类型接口发送 Hello 报文的时间间隔为 30 秒。Hello 定时器的值越小，发现网络拓扑改变的速度越快，对系统资源的开销也就越大。同一网段上的接口的 Hello 定时器的值必须相同。

缺省情况下，P2P、Broadcast 类型接口的 OSPF 邻居失效的时间为 40 秒；P2MP、NBMA 类型接口的 OSPF 邻居失效的时间为 120 秒。邻居失效时间值至少应为 Hello 计时器值的 4 倍，同一网段上的接口的邻居失效时间也必须相同。

在 OSPF 中，如果双方的 Hello 定时器和邻居失效时间不一致，就不能建立邻居。因此，一般情况下不建议对于 OSPF 协议的 Hello 计时器和邻居失效时间进行修改。

8.3.4 配置 OSPF 引入缺省路由

配置 OSPF 引入缺省路由



```
[H3C-ospf-1] default-route-advertise [ [ always |
permit-calculate-other ] | cost cost | route-policy
route-policy-name | type type ] * | summary cost cost ]
```

- 在 OSPF 视图下使用
- 此命令用于将默认路由引入到 OSPF 路由区域
- **always**: 如果本机没有配置默认路由, 使用此参数可产生一个描述默认路由的 LSA 发布出去
- **cost**: 该默认路由的度量值
- **type**: 该 LSA 的类型

www.h3c.com

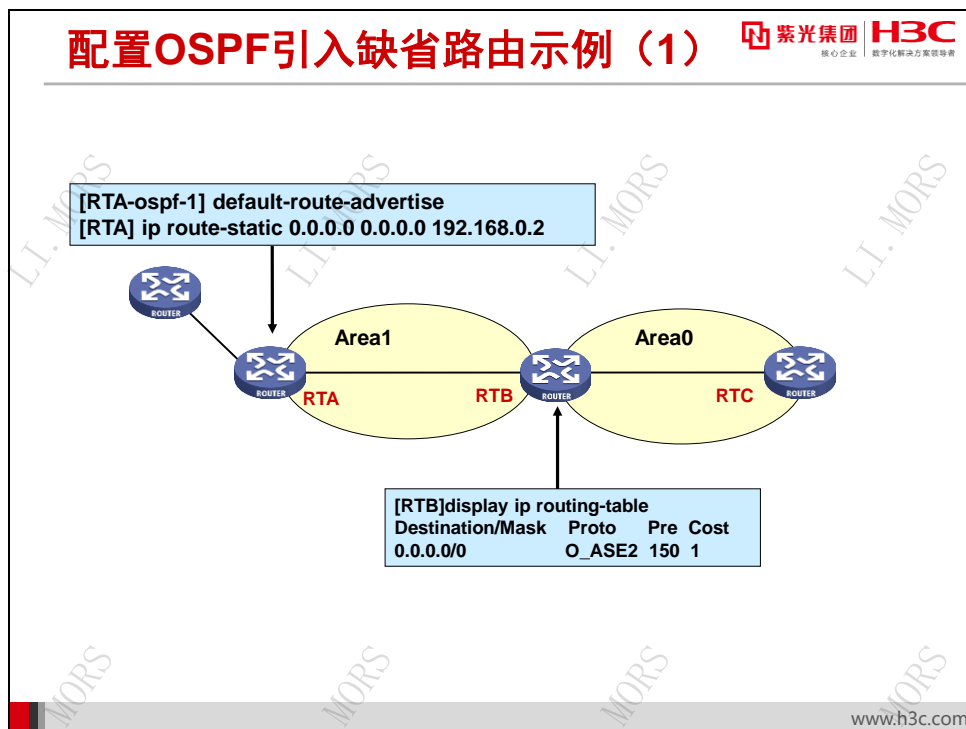
在 OSPF 中, 使用 **import-route** 命令不能引入缺省路由, 如果要引入缺省路由, 必须使用该命令。配置 OSPF 引入缺省路由的命令如下:

```
default-route-advertise [ [ always | permit-calculate-other ] | cost cost | route-policy route-policy-name | type type ] * | summary cost cost ]
```

主要参数含义如下:

- **always**: 如果当前路由器的路由表中没有缺省路由, 使用此参数可产生一个描述缺省路由的 Type-5 LSA 发布出去。如果没有指定该关键字, 仅当本地路由器的路由表中存在缺省路由时, 才可以产生一个描述缺省路由的 Type-5 LSA 发布出去。
- **cost cost**: 该缺省路由的度量值, 取值范围为 0~16777214, 如果没有指定, 缺省路由的度量值将取 **default cost** 命令配置的值。
- **route-policy route-policy-name**: 路由策略名, 为 1~63 个字符的字符串, 区分大小写。只有当前路由器的路由表中存在缺省路由, 并且有路由匹配 **route-policy-name** 指定的路由策略, 才可以产生一个描述缺省路由的 Type-5 LSA 发布出去, 指定的路由策略会影响 Type-5 LSA 中的值。如果同时指定 **always** 参数, 不论当前路由器的路由表中是否有缺省路由, 只要有路由匹配指定的路由策略, 就将产生一个描述缺省路由的 Type-5 LSA 发布出去, 指定的路由策略会影响 Type-5 LSA 中的值。
- **type type**: 该 Type-5 LSA 的类型, 取值范围为 1~2, 如果没有指定, Type-5 LSA 的缺省类型将取 **default type** 命令配置的值。

- **summary:** 发布指定缺省路由的 Type-3 LSA。在选用该参数时，必须首先使能 VPN，否则路由不能发布。



在上图所示网络中，RTA 作为 ASBR，希望可以引入缺省路由，以便 RTB 和 RTC 使用访问外部网络。由于在 RTA 上已经配置一条缺省静态路由，因此在 OSPF 协议中引入缺省路由的时候，不需要使用 **always** 参数。

RTA 上的配置如下：

```

[RTA]ospf 1 router-id 1.1.1.1
[RTA-ospf-1]default-route-advertise
[RTA]ip route-static 0.0.0.0 0.0.0.0 192.168.0.2
  
```

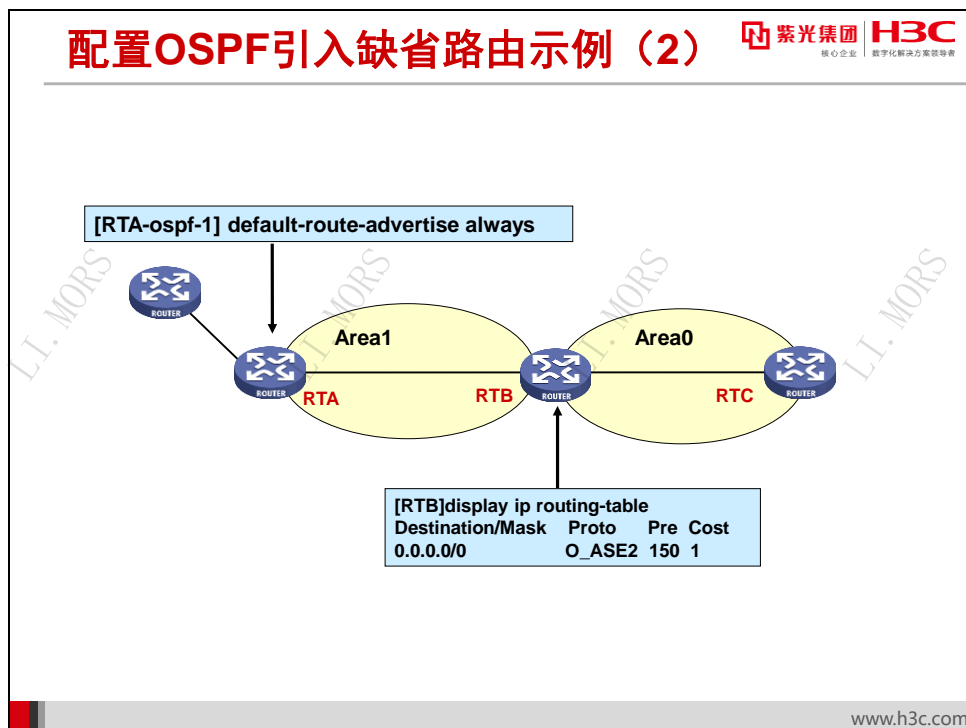
这时在 RTB 上发现 OSPF 协议中已经学习到了一条缺省路由。

```
[RTB]display ip routing-table
```

```

Destinations : 4    Routes : 4

Destination/Mask  Proto  Pre  Cost  NextHop  Interface
0.0.0.0/0         O_ASE2 150  1      20.0.0.2  GE0/0
20.0.0.0/24       Direct  0    0      20.0.0.2  GE0/0
127.0.0.0/8       Direct  0    0      127.0.0.1 InLoop0
127.0.0.1/32      Direct  0    0      127.0.0.1 InLoop0
  
```



类似的，在上图所示网络中，需要 RTA 引入缺省路由并在自治系统中发布。由于 RTA 上没有缺省路由，因此需要在配置时使用 **always** 参数来使 OSPF 强制生成缺省路由。

RTA 上的配置如下：

```

[RTA]ospf 1 router-id 1.1.1.1
[RTA-ospf-1]default-route-advertise always
  
```

这时在 RTB 上发现 OSPF 协议中已经学习到了一条缺省路由。

```

[RTB]display ip routing-table
  
```

```

Destinations : 4      Routes : 4
  
```

| Destination/Mask | Proto | Pre | Cost | NextHop | Interface |
|------------------|--------|-----|------|-----------|-----------|
| 0.0.0.0/0 | O_ASE2 | 150 | 1 | 20.0.0.2 | GE0/0 |
| 20.0.0.0/24 | Direct | 0 | 0 | 20.0.0.2 | GE0/0 |
| 127.0.0.0/8 | Direct | 0 | 0 | 127.0.0.1 | InLoop0 |
| 127.0.0.1/32 | Direct | 0 | 0 | 127.0.0.1 | InLoop0 |

8.4 本章总结

本章总结

- OSPF协议单区域和多区域的基本配置
- OSPF协议的查看和调试命令
- 调整OSPF协议相关参数以优化网络
- OSPF协议缺省路由的配置

www.h3c.com

8.5 习题和解答

8.5.1 习题

1. OSPF 协议中，用来在指定网段的接口上使能 OSPF 协议的命令是（ ）？
A. **[H3C] network network-address wildcard-mask**
B. **[H3C-ospf-1] network network-address wildcard-mask**
C. **[H3C-ospf-1-area-0.0.0.0] network network-address wildcard-mask**
D. **[H3C-ospf-1-area-0.0.0.0] network network-address mask wildcard-mask**
2. OSPF 协议中，用来配置 Router ID 的命令是（ ）？
A. **[H3C]router id router-id**
B. **[H3C]router-id router-id**
C. **[H3C]router-id router-id ospf process-id**
D. **[H3C]ospf process-id router-id router-id**
3. 在 OSPF 协议中，接口默认的路由器优先级为（ ）？
A. 0 B. 1 C. 100 D. 256
4. OSPF 协议中，通过 **display ospf peer** 命令，可以观察到（ ）？
A. 本台路由器的 Router ID B. 邻居路由器的 Router ID
C. 本台路由器用来参加 DR 选举的优先级 D. 邻居失效时间
5. OSPF 协议中，如果需要调整接口开销，使用的命令为（ ）？
A. **[H3C] ospf cost value**
B. **[H3C-ospf-1] ospf cost value**
C. **[H3C-ospf-1-area-0.0.0.0] ospf cost value**
D. **[H3C-GigabitEthernet0/0] ospf cost value**

8.5.2 习题答案

1. C 2. AD 3. B 4. ABCD 5. D

第9章 配置 OSPF 高级特性

要深入地掌握 OSPF 协议原理，就必须对于 OSPF 协议的 LSA 和各种区域有一定的了解。本章主要是讲述了 OSPF 协议中虚连接的应用，着重介绍了各种 LSA 类型以及相应的特点，并且结合 LSA 的传播也讲解了各种区域的特性，最后还阐述了在 OSPF 协议中如何做路由选择和路由控制，以及部分的安全特性。

9.1 本章目标

课程目标

● 学习完本课程，您应该能够：

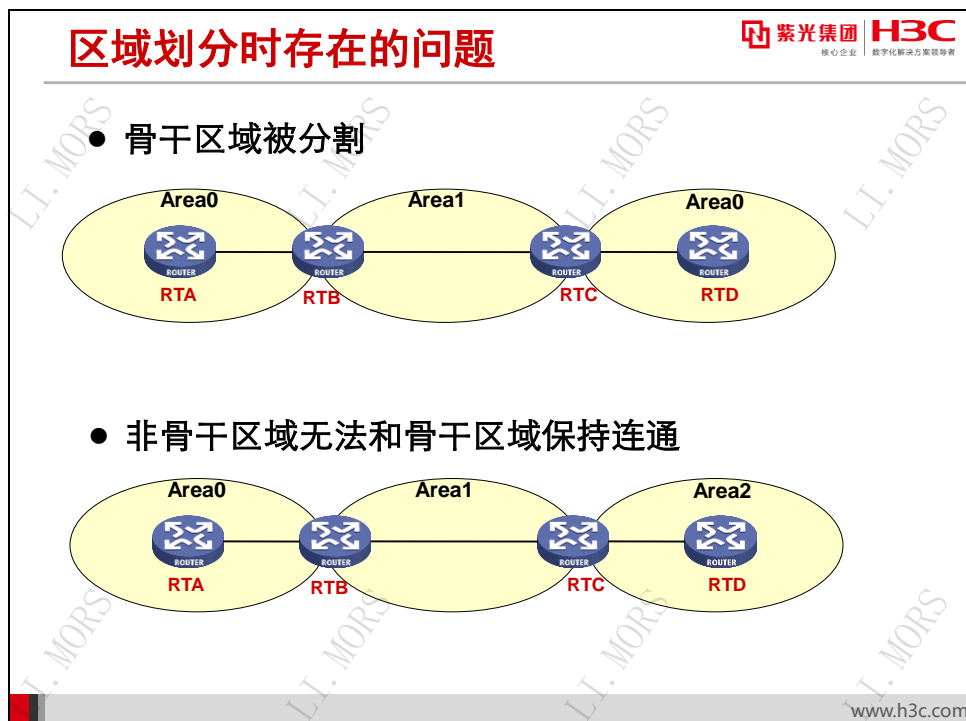
- 掌握 OSPF 虚连接的应用
- 掌握 OSPF 协议的 LSA 类型及特点
- 掌握 OSPF 特殊区域的配置与应用
- 掌握如何控制 OSPF 路由选路
- 掌握 OSPF 安全特性的配置和应用



www.h3c.com

9.2 OSPF虚连接

9.2.1 区域划分时存在问题和解决方法

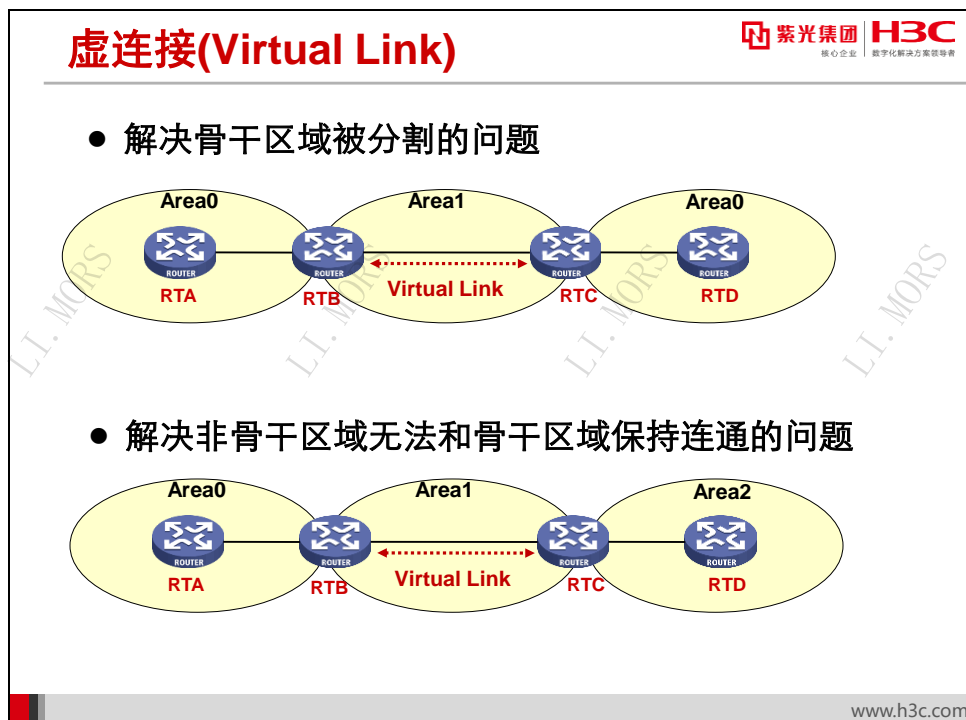


OSPF 网络中，通过划分区域能够减少区域中 LSA 数量，降低拓扑变化导致的路由震荡。在区域划分时，为了保证路由学习正常，需要注意遵守以下两个规则：

- 骨干区域必须连续；
- 所有非骨干区域都必须和骨干区域相连接。

如果骨干区域不是连续的，则会导致骨干区域路由无法正常学习。在上图所示网络中，骨干区域被分割后，RTB 和 RTC 都认为自己是 ABR。而 OSPF 协议为了防止路由环路，规定 ABR 从骨干区域学到的路由不能再向骨干区域传播。因此，RTB 不会向 RTA 传播从 RTD 学来的路由，RTC 也不会向 RTD 传播从 RTA 学来的路由，这样同处于骨干区域的 RTA 与 RTD 之间就无法交换路由信息，导致 OSPF 学习路由不正常。

如果非骨干区域没有与骨干区域相连接，也会导致 OSPF 无法正常学习路由。OSPF 协议规定，所有非骨干区域的路由转发必须通过骨干区域进行。所以，在图中所示网络中，RTC 不会在 2 个非骨干区域间交换路由，导致 RTD 无法学习到 Area0 和 Area1 中的路由；RTA 和 RTB 与无法学习到 Area2 中的路由。




如果出现骨干区域被分割，或者非骨干区域无法和骨干区域保持连通的问题时，可以通过配置 OSPF 虚连接（Virtual Link）予以解决。

虚连接是指在两台 ABR 之间通过一个非骨干区域而建立一条逻辑连接通道。它的两端必须是 ABR，而且必须在两端同时配置方可生效。为虚连接两端提供一条非骨干区域内部路由的区域称为传输区域（Transit Area）。

虚连接相当于在两个 ABR 之间形成了一个点到点的逻辑连接。在这个连接上，和物理接口一样可以配置接口的各参数，如发送 Hello 报文间隔等。虚连接建立后，两台 ABR 间通过单播方式直接传递 OSPF 协议报文。对于传输区域内的路由器来说，虚连接所传输的协议报文是透明的，只是当作普通的 IP 报文来转发。

虚连接的另外一个应用是提供冗余的备份链路。当骨干区域因链路故障不能保持连通时，通过虚连接仍然可以保证骨干区域在逻辑上的连通性。

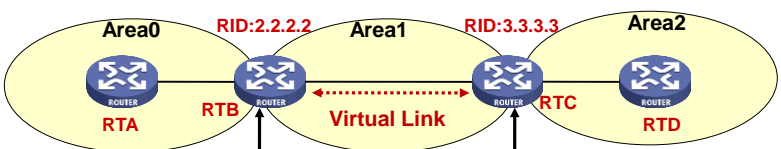
9.2.2 配置 OSPF 虚连接



配置 OSPF 虚连接

- 配置虚连接命令

```
[H3C-ospf-1-area-0.0.0.1] vlink-peer router-id [ dead seconds | hello seconds | { { hmac-md5 | md5 } key-id { cipher cipher-string | plain plain-string } | simple { cipher cipher-string | plain plain-string } } | retransmit seconds | trans-delay seconds ]
```



```
[RTB]ospf 1 router-id 2.2.2.2
[RTB-ospf-1]area 1
[RTB-ospf-1-area-0.0.0.1]vlink-peer 3.3.3.3
```

```
[RTC]ospf 1 router-id 3.3.3.3
[RTC-ospf-1]area 1
[RTC-ospf-1-area-0.0.0.1]vlink-peer 2.2.2.2
```

www.h3c.com

在 OSPF 视图下，配置虚连接的命令如下：

```
vlink-peer router-id [ dead seconds | hello seconds | { { hmac-md5 | md5 } key-id { cipher cipher-string | plain plain-string } | simple { cipher cipher-string | plain plain-string } } | retransmit seconds | trans-delay seconds ]
```

其中主要参数含义如下：

- **router-id**: 虚连接邻居的路由器 ID。
- **dead seconds**: 失效时间间隔，取值范围为 1~32768，单位为秒，缺省值为 40 秒。该值必须和与其建立虚连接路由器的 **dead seconds** 值相等，并至少为 **hello seconds** 值的 4 倍。
- **hello seconds**: 接口发送 Hello 报文的时间间隔，取值范围为 1~8192，单位为秒，缺省值为 10 秒。该值必须和与其建立虚连接路由器上的 **hello seconds** 值相等。
- **hmac-md5**: HMAC-MD5 验证模式。
- **md5**: MD5 验证模式。
- **simple**: 简单验证模式。
- **key-id**: MD5/HMAC-MD5 验证字标识符，取值范围为 1~255。
- **cipher**: 表示输入的密码为密文。

- **cipher-string**: 表示设置的密文密码, 对于简单验证模式, 为 33~41 个字符的字符串, 对于 MD5/HMAC-MD5 验证模式, 为 33~53 个字符的字符串。
- **plain**: 表示输入的密码为明文。
- **plain-string**: 表示设置的明文密码, 对于简单验证模式, 为 1~8 个字符的字符串, 对于 MD5/HMAC-MD5 验证模式, 为 1~16 个字符的字符串。
- **retransmit seconds**: 接口重传 LSA 报文的时间间隔, 取值范围为 1~3600, 单位为秒, 缺省值为 5 秒。
- **trans-delay seconds**: 接口延迟发送 LSA 报文的时间间隔, 取值范围为 1~3600, 单位为秒, 缺省值为 1 秒。

在上图所示网络中, Area2 没有和 Area0 直接连接, 导致路由学习不正常。可以在 RTB 和 RTC 上配置虚连接来解决。配置时, 要注意虚连接的目的地址必须是传输区域内可达。

RTB 上配置如下:

```
[RTB]ospf 1 router-id 2.2.2.2
[RTB-ospf-1]area 1
[RTB-ospf-1-area-0.0.0.1]vlink-peer 3.3.3.3
```

RTC 上配置如下:

```
[RTC]ospf 1 router-id 3.3.3.3
[RTC-ospf-1]area 1
[RTC-ospf-1-area-0.0.0.1]vlink-peer 2.2.2.2
```

9.2.3 OSPF 虚连接显示

显示OSPF虚连接信息

紫光集团 H3C
核心企业 数字化解决方案领导者

```
[H3C-ospf-1]display ospf vlink

      OSPF Process 100 with Router ID 3.3.3.3
      Virtual Links

Virtual-link Neighbor-ID -> 2.2.2.2, Neighbor-State: Full
Interface: 20.0.0.1 (GigabitEthernet0/1)
Cost: 1  State: P-2-P  Type: Virtual
Transit Area: 0.0.0.1
Timers: Hello 10, Dead 40, Retransmit 5, Transmit Delay 1
MD5 authentication enabled.
The last key is 3.
The rollover is in progress, 2 neighbor(s) left.
```

虚连接传输区域为Area 1

虚连接邻居地址

邻居状态已经Full

www.h3c.com

使用 **display ospf vlink** 可以用来显示 OSPF 虚连接信息。以下是输出示例：

```
[H3C-ospf-1]display ospf vlink

OSPF Process 100 with Router ID 3.3.3.3
Virtual Links

Virtual-link Neighbor-ID -> 2.2.2.2, Neighbor-State: Full
Interface: 20.0.0.1 (GigabitEthernet0/1)
Cost: 1 State: P-2-P Type: Virtual
Transit Area: 0.0.0.1
Timers: Hello 10, Dead 40, Retransmit 5, Transmit Delay 1
MD5 authentication enabled.
The last key is 3.
The rollover is in progress, 2 neighbor(s) left.
```

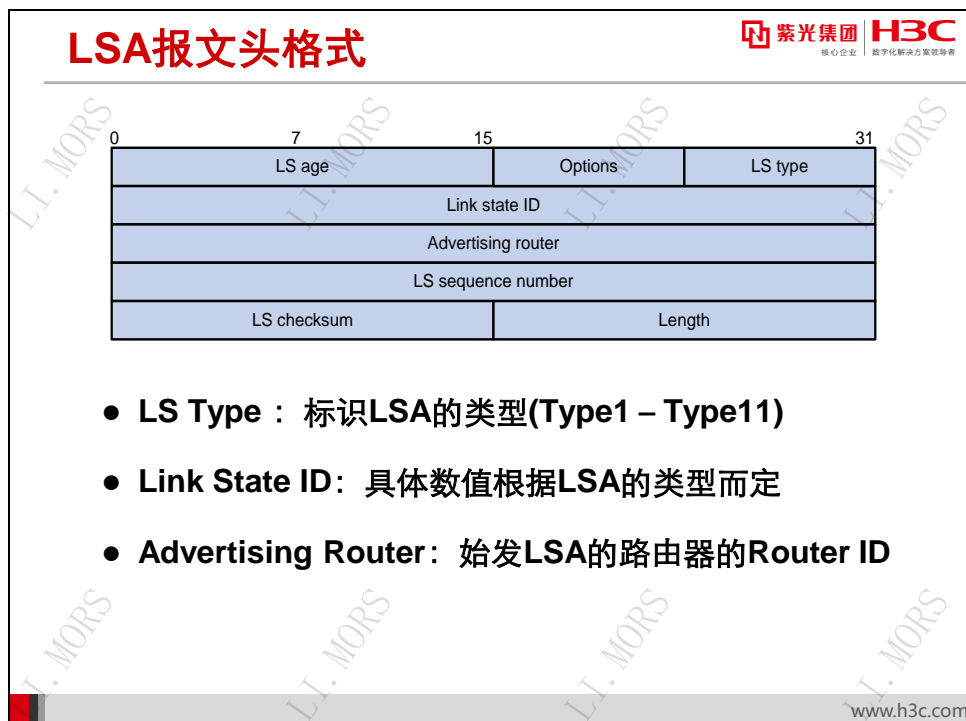
输出命令中各参数描述如下表：

表9-1 display ospf vlink 命令显示信息描述表

| 字段 | 描述 | |
|----------------------------|------------------------------------------------------|------------------|
| Virtual-link Neighbor-id | 通过虚连接相连的邻居路由器的Router ID | |
| Neighbor-State | 邻居状态，包括Down、Init、2-Way、ExStart、Exchange、Loading和Full | |
| Interface | 此虚连接的本端接口的IP地址和名称 | |
| Cost | 接口的路由开销 | |
| State | 接口状态 | |
| Type | 类型：虚连接 | |
| Transit Area | 传输区域ID（如果当前接口为虚连接，则显示） | |
| Timers | OSPF定时器，分别定义如下： | |
| | Hello | 接口发送Hello报文的时间间隔 |
| | Dead | 邻居的失效时间 |
| | Retransmit | 接口重传LSA时间间隔 |
| Transmit Delay | 接口对LSA的传输延迟时间 | |
| MD5 authentication enabled | 验证模式 | |
| The last key | 最新的MD5验证字标识符 | |
| neighbor(s) | 尚未完成MD5验证平滑迁移的邻居个数 | |

9.3 OSPF的LSA和路由选择

9.3.1 LSA 报文头格式



OSPF 协议作为典型的链路状态协议，邻居之间传递的并不是路由表，而是链路状态描述信息。

所有的 LSA 都有相同的报文头，其格式上图所示。

其中主要字段含义如下：

- **LS age**: LSA 产生后所经过的时间，以秒为单位。LSA 在本路由器的链路状态数据库（LSDB）中会随时间老化（每秒钟加 1），但在网络的传输过程中却不会。
- **LS type**: LSA 的类型。
- **Link State ID**: 具体数值根据 LSA 的类型而定。
- **Advertising Router**: 始发 LSA 的路由器的 ID。
- **LS sequence number**: LSA 的序列号，其他路由器根据这个值可以判断哪个 LSA 是最新的。
- **LS checksum**: 除了 LS age 字段外，关于 LSA 的全部信息的校验和。
- **length**: LSA 的总长度，包括 LSA Header，以字节为单位。

其中 LS Type、Link State ID 和 Advertising Router 三个字段最为重要，可以唯一的标识一条 LSA。

9.3.2 LSA 类型

| LSA类型 | | | |
|----------|---------------------|--------------------|-------------------------|
| LSA Type | LSA 名称 | Advertising Router | 说明 |
| 1 | Router LSA | All Routers | Intra-Area Link |
| 2 | Network LSA | DR | Network Link |
| 3 | Network Summary LSA | ABR | Inter-Area Link |
| 4 | ASBR Summary LSA | ABR | ASBR Summary Link |
| 5 | AS External LSA | ASBR | AS External Link |
| 6 | | All Routers | Group Membership Link |
| 7 | NSSA External LSA | ASBR | NSSA AS External Link |
| 8 | | | External Attributes LSA |
| 9 | | | Opaque LSA(Link-Local) |
| 10 | | | Opaque LSA(Area-Local) |
| 11 | | | Opaque LSA(AS-Local) |

OSPF 协议中定义了不同类型的 LSA。OSPF 就是通过这些不同类型的 LSA 来完成 LSDB 同步，并且做出路由选择的。

通常情况下，我们使用较多的 LSA 类型有第一类、第二类、第三类、第四类、第五类和第七类 LSA。

- **第一类 LSA：**描述区域内部与路由器直连的链路的信息。
- **第二类 LSA：**记录了广播或者 NBMA 网段上所有路由器的 Router ID。
- **第三类 LSA：**将所连接区域内部的链路信息以子网的形式传播到邻区域。
- **第四类 LSA：**描述的目标网络是一个 ASBR 的 Router ID。
- **第五类 LSA：**描述到 AS 外部的路由信息。
- **第七类 LSA：**只在 NSSA 区域内传播，描述到 AS 外部的路由信息。

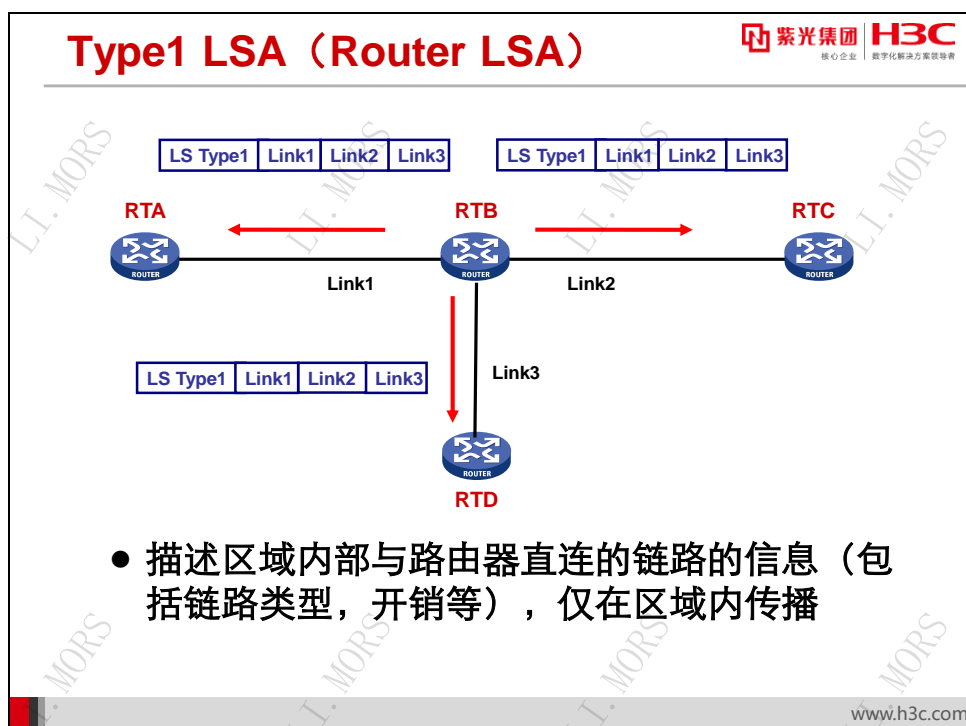
这几类 LSA 是 OSPF 协议最重要的几种类型的 LSA。

另外，其他类型的 LSA 仅仅在协议中定义，很少被使用。

- **第六类 LSA：**在 MOSPF（组播扩展 OSPF）协议中使用的组播 LSA。
- **第八类 LSA：**在 OSPF 域内传播 BGP 属性时使用的外部属性 LSA。
- **第九类 LSA：**本地链路范围的 opaque（不透明）LSA。
- **第十类 LSA：**本地区域范围的 opaque LSA。

- 第十一类 LSA：本自治系统范围的 opaque LSA。

9.3.3 Type1 LSA (Router LSA)

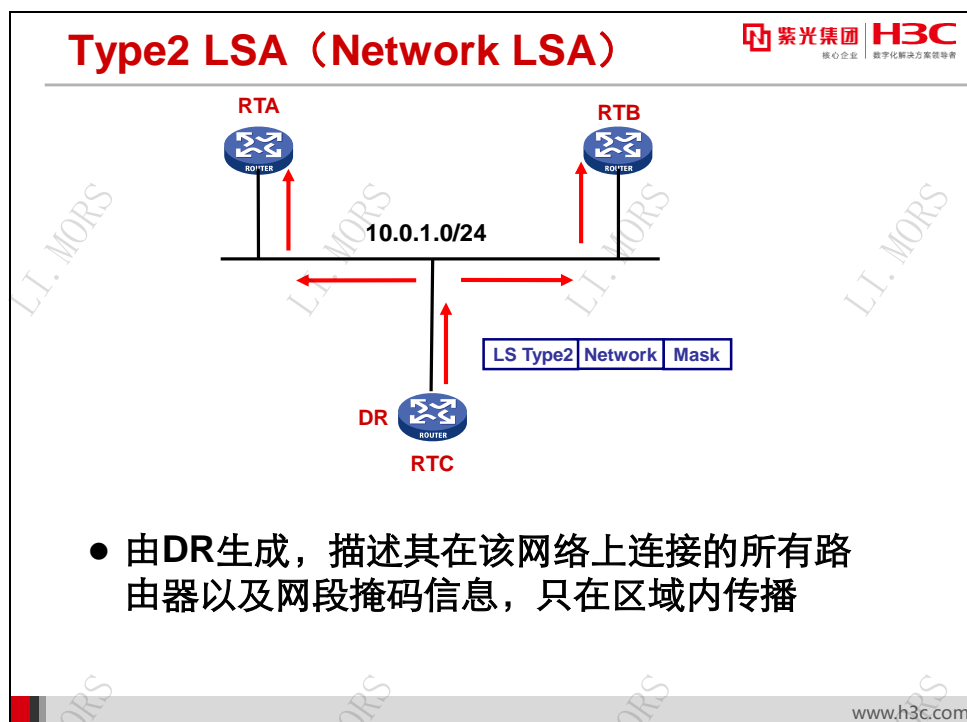


第一类 LSA，即 Router LSA，描述了区域内部与路由器直连的链路的信息。这种类型的 LSA 每一台路由器都会产生，它的内容中包括了这台路由器所有直连的链路类型和链路开销等信息，并且向它的邻居传播。

这台路由器的所有链路信息都放在一个 Router LSA 内，并且只在此台路由器始发的区域内传播。

如上图所示，RTB 有三条链路 Link1、Link2 和 Link3，因此它需要产生一条 Router LSA，里面包含了 Link1、Link2 和 Link3 这三条链路的信息，包括它们的链路标识、链路数据和链路开销等等，向它的直连邻居 RTA、RTC 和 RTD 发送。

9.3.4 Type2 LSA (Network LSA)



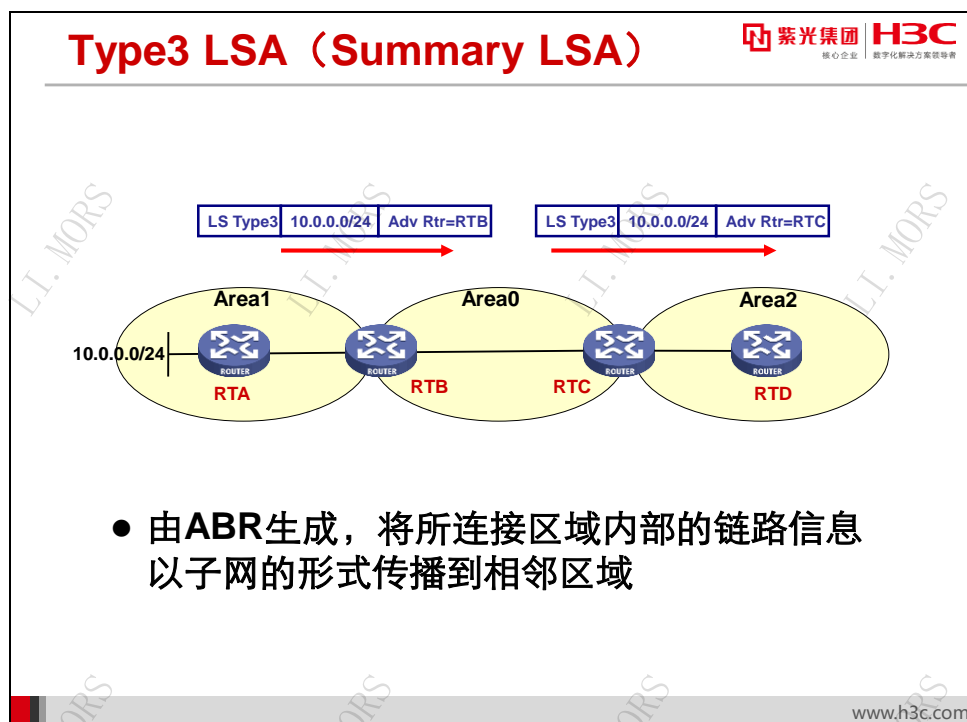
第二类 LSA，即 Network LSA，是由 DR 产生，它描述的是连接到一个特定的广播网络或者 NBMA 网络的所有路由器的链路状态。与 Router LSA 不同，Network LSA 的作用是保证对于广播网络或者 NBMA 网络只产生一条 LSA。

这条 LSA 内描述其在该网络上连接的所有路由器以及网段掩码信息，记录了这一网段上所有路由器的 Router ID，甚至包括 DR 自己的 Router ID。Network LSA 也只在区域内传播。

由于 Network LSA 是由 DR 产生的描述网络信息的 LSA，因此对于 P2P 和 P2MP 网络类型的链路，不产生 Network LSA。

如上图所示，在 10.0.1.0/24 这个网络中，存在三条路由器 RTA、RTB 和 RTC，其中 RTC 作为这个网络的 DR。所以，RTC 负责产生 Network LSA，包括这条链路的网段掩码信息，以及 RTA、RTB 和 RTC 的 Router ID。

9.3.5 Type3 LSA (Summary LSA)



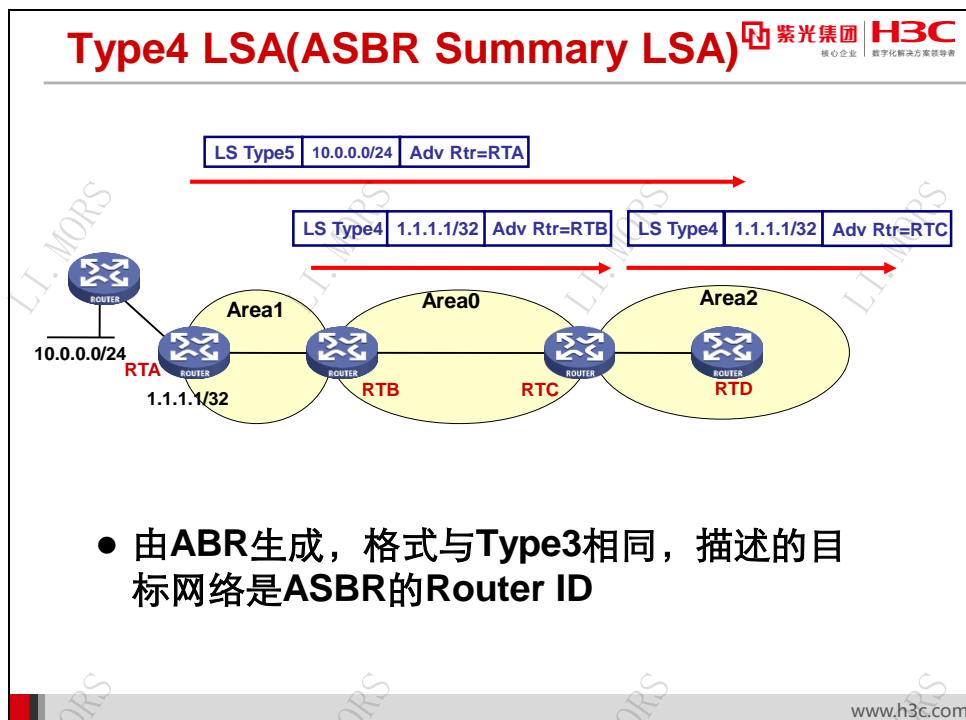
第三类 LSA，即 Summary LSA，是由 ABR 生成，将所连接区域内部的链路信息以子网的形式传播到相邻区域。Summary LSA 实际上就是将区域内部的 Type1 和 Type2 的 LSA 信息收集起来以路由子网的形式进行传播。

ABR 收到来自同区域其它 ABR 传来的 Summary LSA 后，重新生成新的 Summary LSA（Advertising Router 改为自己）后继续在整个 OSPF 系统内传播。一般情况下，第三类 LSA 的传播范围是除了生成这条 LSA 的区域外的其他区域。例如，一台 ABR 路由器连接 Area0 和 Area1，在 Area1 里面有一个网段 192.168.1.0/24，则 ABR 生成的描述 192.168.1.0/24 这个网段的第三类 LSA 只会在 Area0 里面传播。

在第三类 LSA 中，由于直接传递的是路由条目，而不是链路状态描述，因此，路由器在处理第三类 LSA 的时候，并不是运用 SPF 算法进行计算，而且直接作为路由条目加入路由表中，沿途的路由器也仅仅是修改链路开销，这就导致了在某些设计不合理的情况下，同样可能导致路由环路。这也就是 OSPF 协议要求非骨干区域必须通过骨干区域才能转发的原因。在某些情况下，Summary LSA 也可以用来生成缺省路由，或者用来过滤明细路由。

如上图所示，Area1 中的 RTA 运行了 OSPF 协议，RTB 作为 ABR，产生一条描述该网段的第三类 LSA，携带有路由 10.0.0.0/24，并设置 Advertising Router 字段为 RTB 的 Router ID，然后发送到骨干区域中。这条 LSA 传播到 RTC 时，RTC 作为 ABR，同样会重新产生一条第三类 LSA，并将 Advertising Router 改为 RTC 的 Router ID，然后发送到 Area2 中。这样，路由 10.0.0.0/24 以第三类 LSA 的形式传播到整个 OSPF 系统内。

9.3.6 Type4 LSA(ASBR Summary LSA)

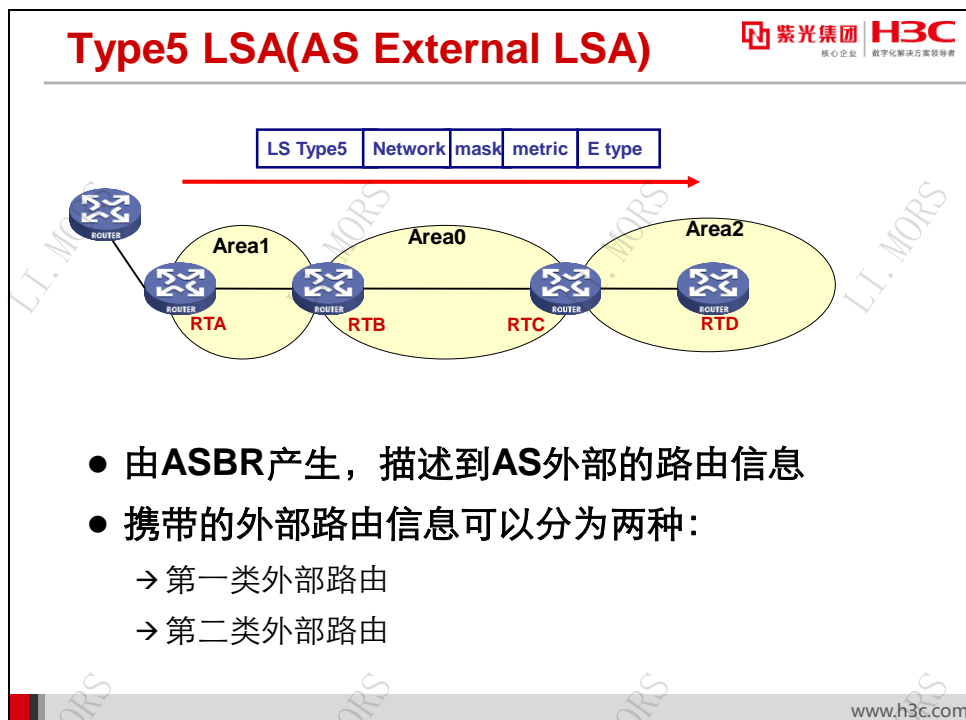


第四类 LSA，即 ASBR Summary LSA，是由 ABR 生成，格式与第三类 LSA 相同，描述的目标网络是一个 ASBR 的 Router ID。它不会主动产生，触发条件为 ABR 收到一个第五类 LSA，意义在于让区域内部路由器知道如何到达 ASBR。

第三类 LSA 和第四类 LSA 在结构上非常类似。第三类 LSA 描述的是区域外的网络地址和网络掩码，而第四类 LSA 在相应的字段填充的是 ASBR 的 Router ID，网络掩码字段全部设置为 0。

如上图所示，Area1 中的 RTA 作为 ASBR，引入了外部路由 10.0.0.0/24，以第五类 LSA 的形式向 OSPF 系统内传播。当这条第五类 LSA 到达 RTB 后，RTB 作为 ABR，会产生一条描述 RTA 这个 ASBR 的第四类 LSA，使其在 Area0 中传播，其中这条 LSA 的 Advertising Router 字段设置为 RTB 的 Router ID。这条 LSA 在传播到 RTC 时，RTC 同样作为 ABR，会重新产生一条第四类 LSA，并将 Advertising Router 改为 RTC 的 Router ID，使其在 Area2 中继续传播。位于 Area2 中的 RTD 收到这条 LSA 之后，就知道可以通过 RTA 访问 OSPF 系统以外的外部网络。

9.3.7 Type5 LSA(AS External LSA)



第五类 LSA，即 AS External LSA，是由 ASBR 产生，描述到 AS 外部的路由信息。它一旦生成，将在整个 OSPF 系统内扩散，除非个别特殊区域做了相关配置。AS 外部的路由信息来源一般是通过路由引入的方式，将外部路由在 OSPF 区域内部发布。

如上图所示，Area1 中的 RTA 作为 ASBR，引入了外部路由。由 RTA 产生了第五类 LSA，描述的是 AS 外部的路由信息。这条第五类的 LSA 会传播到 Area1、Area0 和 Area2，沿途的路由器都会收到这条 LSA。

第五类 LSA 和第三类 LSA 非常类似，传递也都是路由信息，而不是链路状态信息。同样的，路由器在处理第五类 LSA 的时候，也不会运用 SPF 算法，而是作为路由条目加入路由表中。

第五类 LSA 携带的外部路由信息可以分为两种：

- **第一类外部路由：**是指接收路由的可信程度较高，并且和 OSPF 自身路由的开销具有可比性，如 RIP 路由或者静态路由等，所以到第一类外部路由的开销等于本路由器到相应的 ASBR 的开销与 ASBR 到该路由目的地址的开销之和。
- **第二类外部路由：**是指接收路由的可信度比较低，如 BGP 路由等，所以 OSPF 协议认为从 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。所以计算路由开销时将主要考虑前者，即到第二类外部路由的开销等于 ASBR 到该路由目的地址的开销。如果计算出开销值相等的两条路由，再考虑本路由器到相应的 ASBR 的开销。

在第五类 LSA 中，专门有一个字段 E 位标识引入的是第一类外部路由还是第二类外部路由。默认情况下，引入 OSPF 协议的都是第二类外部路由。

显示 OSPF 的链路状态数据库信息



 紫光集团 H3C

核心企业 | 数字化解决方案提供者


```

<H3C>display ospf lsdb


      OSPF Process 1 with Router ID 2.2.2.2
      Link State Database

      Area: 0.0.0.0.1
      Type      LinkState ID      AdvRouter      Age  Len  Sequence  Metric
      Router    3.3.3.3            3.3.3.3        986  36   8000001B  0
      Router    2.2.2.2            2.2.2.2        1064 36   80000018  0
      Network   20.0.0.2            3.3.3.3        1254 32   80000011  0
      Sum-Net   10.0.0.0            2.2.2.2        424  28   80000012  1
      Sum-Net   1.1.1.1            2.2.2.2        1224 28   8000000A  1
      Sum-Asbr  1.1.1.1            2.2.2.2        1160 28   80000009  1


      AS External Database
      Type      LinkState ID      AdvRouter      Age  Len  Sequence  Metric
      External  0.0.0.0            1.1.1.1        934  36   80000009  1
    
```



LSA 类型



链路状态ID



LSA发布路由器

www.h3c.com

使用 `display ospf lsdb` 可以用来显示 OSPF 数据库信息。以下是输出示例：

```

<H3C>display ospf lsdb

      OSPF Process 1 with Router ID 2.2.2.2
      Link State Database

      Area: 0.0.0.0
      Type      LinkState ID      AdvRouter      Age  Len  Sequence  Metric
      Router    3.3.3.3            3.3.3.3        986  36   8000001B  0
      Router    2.2.2.2            2.2.2.2        1064 36   80000018  0
      Network   20.0.0.2            3.3.3.3        1254 32   80000011  0
      Sum-Net   10.0.0.0            2.2.2.2        424  28   80000012  1
      Sum-Net   1.1.1.1            2.2.2.2        1224 28   8000000A  1
      Sum-Asbr  1.1.1.1            2.2.2.2        1160 28   80000009  1

      AS External Database
      Type      LinkState ID      AdvRouter      Age  Len  Sequence  Metric
      External  0.0.0.0            1.1.1.1        934  36   80000009  1
    
```

其中 **Type** 参数下，可以观察到 Router、Network、Sum-net、Sum-Asbr、External 等五种类型，分别对应第一类到第五类 LSA。

输出命令中各参数描述如下表：


表9-2 display ospf lsdb 命令显示信息描述表

| 字段 | 描述 |
|------|-------------|
| Area | 显示LSDB信息的区域 |
| Type | LSA类型 |

| 字段 | 描述 |
|--------------|-----------|
| LinkState ID | LSA链路状态ID |
| AdvRouter | LSA发布路由器 |
| Age | LSA的老化时间 |
| Len | LSA的长度 |
| Sequence | LSA序列号 |
| Metric | 度量值 |

9.3.8 OSPF 选路原则

OSPF选路原则



紫光集团 H3C
核心企业 数字化解决方案领导者

- 按照路由类型的优先级选择
 - 区域内路由 (Intra Area)
 - 区域间路由 (Inter Area)
 - 第一类外部路由 (Type1 External)
 - 第二类外部路由 (Type2 External)
- 在类型相同的情况下，选择路由开销 (Cost) 较小的路由。

www.h3c.com

对于相同的目的地，不同的路由协议（包括静态路由）可能会发现不同的路由，但这些路由并不都是最优的。事实上，在某一时刻，到某一目的地的当前路由仅能由唯一的路由协议来决定。为了判断最优路由，各路由协议（包括静态路由）都被赋予了一个优先级，当存在多个路由信息源时，具有较高优先级的路由协议发现的路由将成为当前路由，其中 OSPF 内部路由的协议优先级为 10，外部路由的协议优先级为 150。

如果都是 OSPF 路由，那么将按照以下的原则进行原则：

第1步：按照路由类型的优先级选择，优先级从高到低的顺序依次为：

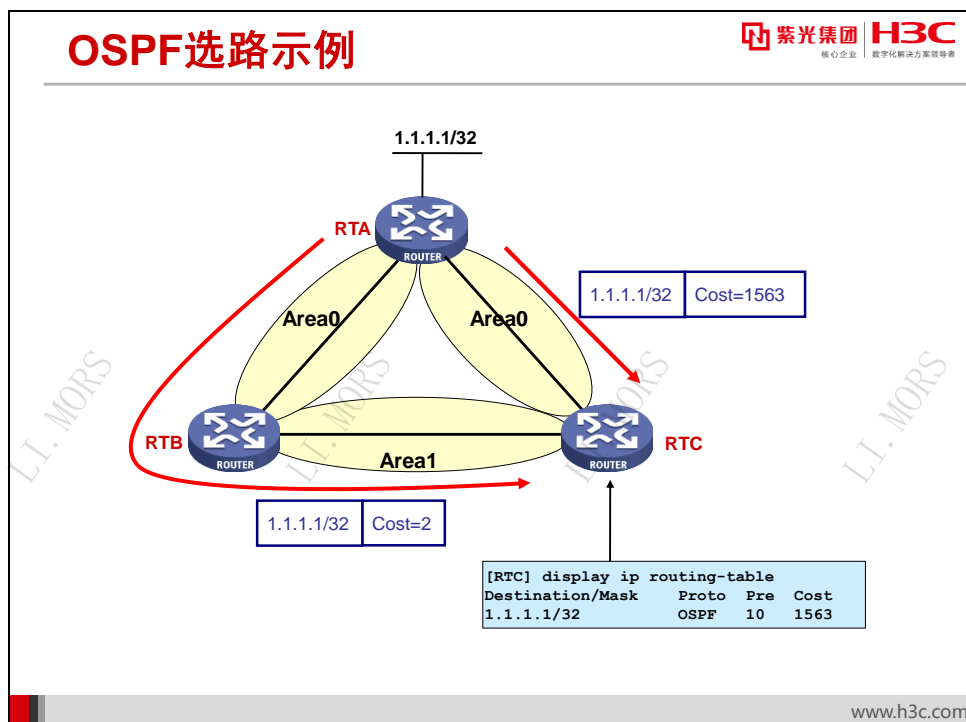
- 区域内路由 (Intra Area)
- 区域间路由 (Inter Area)
- 第一类外部路由 (Type1 External)

● 第二类外部路由（Type2 External）

区域内和区域间路由描述的是 AS 内部的网络结构，外部路由则描述了应该如何选择到 AS 以外目的地址的路由。OSPF 将引入的 AS 外部路由分为两类：Type1 和 Type2，也就是上文介绍的第一类外部路由和第二类外部路由。第一类外部路由是指接收的是 IGP 路由，开销等于本路由器到相应的 ASBR 的开销与 ASBR 到该路由目的地址的开销之和。第二类外部路由是指接收的是 EGP 路由，开销等于 ASBR 到该路由目的地址的开销。

第2步：在类型相同的情况下，选择路由开销值较小的路由。

第3步：如果路由类型和链路开销都相等，那么这两条或者多条路由就形成等价路由。



如上图所示，RTA 位于 Area0，RTB 和 RTC 作为 Area0 和 Area1 的 ABR。在 RTA 上，通过 network 命令将其 LoopBack 地址 1.1.1.1/32 发布到 Area0 中。

这时，在 RTC 上可以学习到两条 1.1.1.1/32 的路由，一条是 RTA 通过 Area0 直接发送给 RTC 的区域内路由，开销为 1563；另外一条是 RTA 先发送给 RTB，然后由 RTB 通过 Area1 再转发至 RTC 的区域间路由，链路开销为 2。虽然通过 RTA 学到的路由开销较大，但是由于其为区域内路由，所以在 RTC 上仍然会优选 RTA 进行报文转发。

RTC 上路由表如下所示：

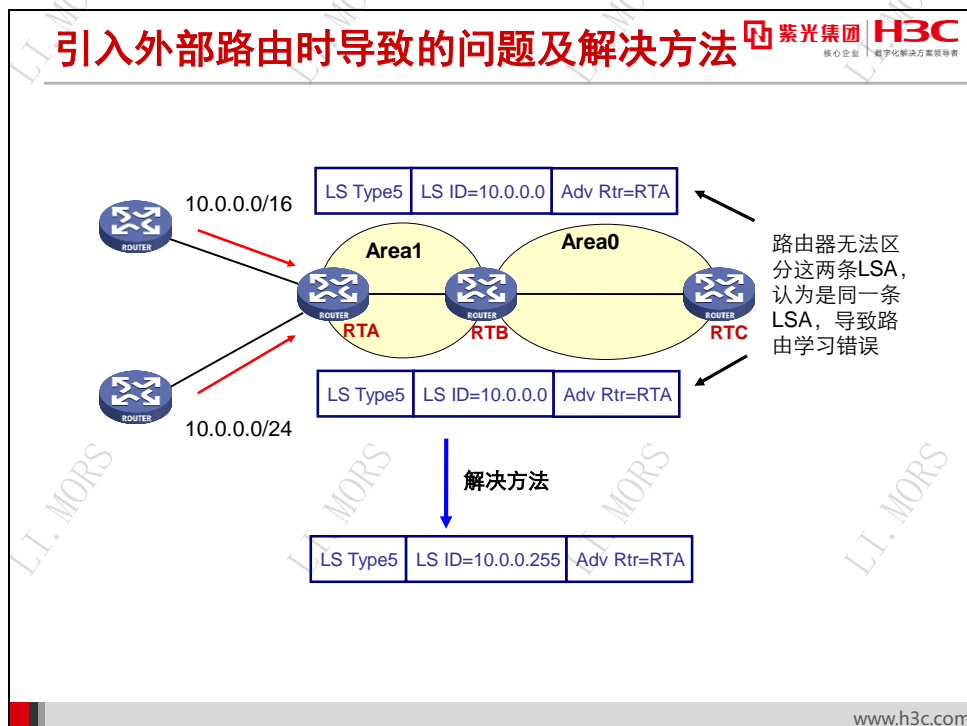
```
[RTC]display ip routing-table
Routing Tables: Public
Destinations : 5      Routes : 5
```

| Destination/Mask | Proto | Pre | Cost | NextHop | Interface |
|------------------|---------|-----|------|----------|-----------|
| 1.1.1.1/32 | O INTRA | 10 | 1563 | 10.0.0.1 | GE0/0 |
| 10.0.0.0/24 | Direct | 0 | 0 | 10.0.0.2 | GE0/0 |

| | | | | | |
|--------------|--------|---|---|-----------|---------|
| 20.0.0.0/24 | Direct | 0 | 0 | 20.0.0.2 | GE0/1 |
| 127.0.0.0/8 | Direct | 0 | 0 | 127.0.0.1 | InLoop0 |
| 127.0.0.1/32 | Direct | 0 | 0 | 127.0.0.1 | InLoop0 |

如要解决以上问题，可以在 RTA 上配置将 LoopBack 地址 1.1.1.1/32 通过外部路由的方式引入。这样，RTC 学到的路由 1.1.1.1/32 的类型会相同，此时会优选开销值小的路径转发。

9.3.9 OSPF 引入外部路由时导致的问题及解决方法



在早期的 OSPF 协议网络中，如果同时引入 2 条前缀相同但掩码不同的路由时，可能会存在路由学习错误。


如上图所示网络中，RTA 作为 ASBR，同时向 OSPF 中引入 2 条路由，分别是 10.0.0.0/16 和 10.0.0.0/24。这 2 条路由前缀一样，但是网络掩码长度不一样。RTA 作为 ASBR，会为这 2 条路由分别产生 2 条第五类 LSA，其 LS ID 都是 10.0.0.0，Advertising Router 也都是 RTA。OSPF 区域内的其他路由器在接收到这 2 条 LSA 的时候，会认为它们是同一条 LSA，这样就会导致在路由学习中出现错误。

随着 OSPF 协议的自身演进，这个问题已经得到了很好的解决。在 RFC2328 的附录 E 中规定，当 OSPF 同时引入多条前缀相同，但掩码不同的外部路由时，需要将掩码较长的 LSA 进行特殊处理，将它的主机位全部置 1，以子网广播地址作为它的 LS ID。这样，在上图所示网络中，RTA 所产生的 2 条第五类 LSA 的 LS ID 就会分别是 10.0.0.0 和 10.0.0.255。其它 OSPF 路由器收到 LSA 后，因其 LS ID 不同，就可以认为是 2 条不同的 LSA 而进行分别处理。

9.4 OSPF特殊区域

9.4.1 概述

OSPF特殊区域



紫光集团 H3C
核心企业 数字化解决方案领导者

- 特殊区域是指人为定义的一些区域，它们在逻辑中一般位于OSPF区域的边缘，只与骨干区域相连。
- 常见的特殊区域有以下几类：
 - Stub区域
 - Totally Stub区域
 - NSSA区域

www.h3c.com

OSPF 中，除了常见的骨干区域和非骨干区域之外，还定义了一些特殊的区域。

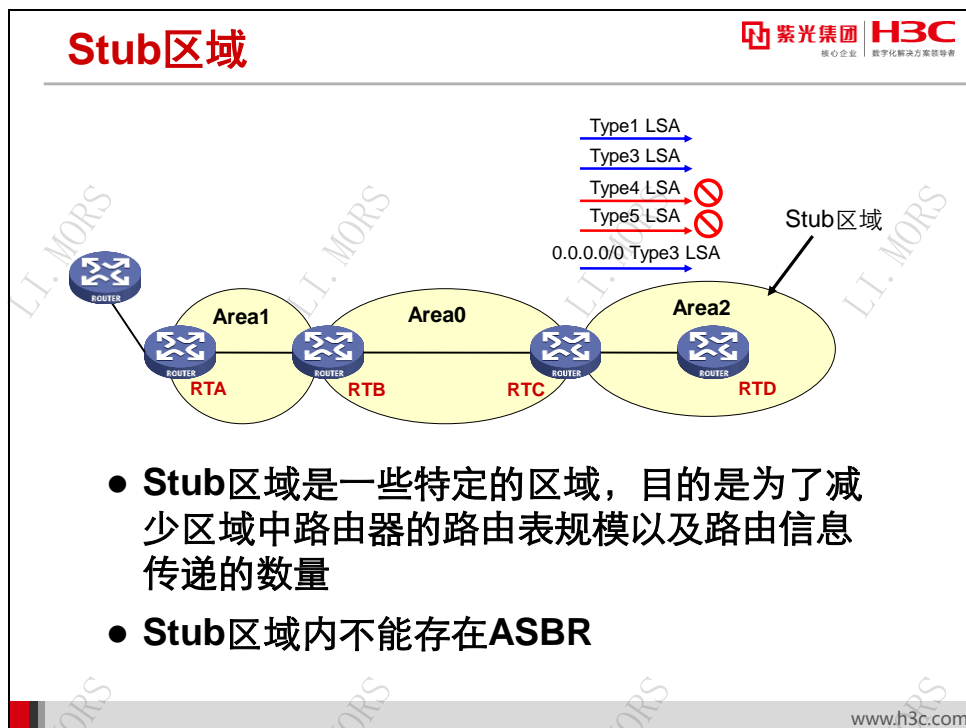
常见的特殊区域有以下几种：

- **Stub 区域：**在这个区域内，不允许注入第四类和第五类 LSA。
- **Totally Stub 区域：**是 Stub 区域的一种改进区域，不仅不允许注入第四类和第五类 LSA，连第三类 LSA 也不允许注入。
- **NSSA 区域：**也是 Stub 区域的一种改进区域，也不允许第五类 LSA 注入，但是允许第七类 LSA 注入。

这些区域具有如下的优势：

- 控制外部路由；
- 可以减少区域内 LSDB 的规模，降低区域内部路由器路由表的大小和容量，并且减少区域内路由器对于存储器的需求，降低设备的压力；
- 网络的安全性有所增强。

9.4.2 配置 Stub 区域

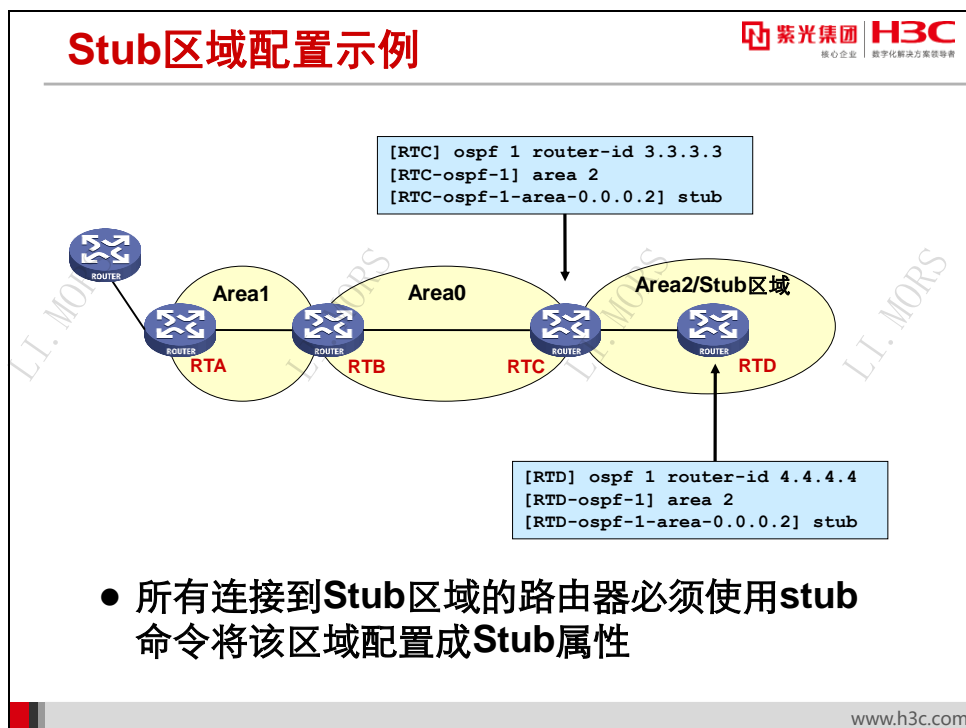


在 **Stub** 区域中，ABR 不允许注入第五类 LSA，所以区域中路由器的路由表规模以及路由信息传递的数量都会大大减少。因为没有第五类 LSA，因此第四类 LSA 也没有必要存在，所以同样不允许注入。

在配置某区域成为 **Stub** 区域后，为保证自治系统外的路由依旧可达，ABR 会产生一条 0.0.0.0/0 的第三类 LSA，发布给区域内的其他路由器，通知它们如果要访问外部网络，可以通过 ABR。所以，区域内的其他路由器不用记录外部路由，从而大大的降低了对于路由器的性能要求。

在配置 OSPF 区域成为 **Stub** 区域时，需要注意的是：

- 骨干区域不能配置成 **Stub** 区域；
- **Stub** 区域内不能存在 ASBR，即自治系统外部的路由不能在本区域内传播；
- 虚连接不能穿过 **Stub** 区域；
- 区域内如果有多个 ABR，可能会产生次优路由。



在 OSPF 区域视图下，配置 Stub 区域的命令如下：

stub

需要注意的是，如果使用 Stub 区域，区域内部的所有路由器都必须同时配置为 Stub 区域。因为在路由器交互 Hello 报文时，会检查 Stub 属性是否设置，如果有部分路由器没有配置 Stub 属性，就将无法和其他路由器建立邻居。

如上图所示，要将 Area2 配置成为 Stub 区域，就需要在 RTC 和 RTD 上分别配置。

RTC 上配置如下：

```

[RTC]ospf 1 router-id 3.3.3.3
[RTC-ospf-1]area 2
[RTC-ospf-1-area-0.0.0.2]stub
    
```

RTD 上配置如下：

```

[RTD]ospf 1 router-id 4.4.4.4
[RTD-ospf-1]area 2
[RTD-ospf-1-area-0.0.0.2]stub
    
```

未配置 Stub 区域时，观察 RTD 的链路状态数据库如下：

```
[RTD]display ospf lsdb
```

```

OSPF Process 1 with Router ID 4.4.4.4
  Link State Database
    
```

```

          Area: 0.0.0.2
Type      LinkState ID    AdvRouter      Age  Len  Sequence      Metric
Router    4.4.4.4          4.4.4.4        307  48   80000004       0
Network   10.0.3.2              4.4.4.4        305  32   80000002       0
Sum-Net    10.0.2.0              3.3.3.3        356  28   80000001       1
    
```

| | | | | | | |
|----------|----------|---------|-----|----|----------|---|
| Sum-Net | 10.0.1.0 | 3.3.3.3 | 356 | 28 | 80000001 | 2 |
| Sum-Net | 1.1.1.1 | 3.3.3.3 | 356 | 28 | 80000001 | 2 |
| Sum-Asbr | 1.1.1.1 | 3.3.3.3 | 356 | 28 | 80000001 | 2 |

| AS External Database | | | | | | |
|----------------------|--------------|-----------|------|-----|----------|--------|
| Type | LinkState ID | AdvRouter | Age | Len | Sequence | Metric |
| External | 192.168.1.0 | 1.1.1.1 | 1369 | 36 | 80000002 | 1 |

从链路状态数据库中，可以观察到存在第四类和第五类的 LSA。配置 Stub 区域后，观察 RTD 的链路状态数据库如下：

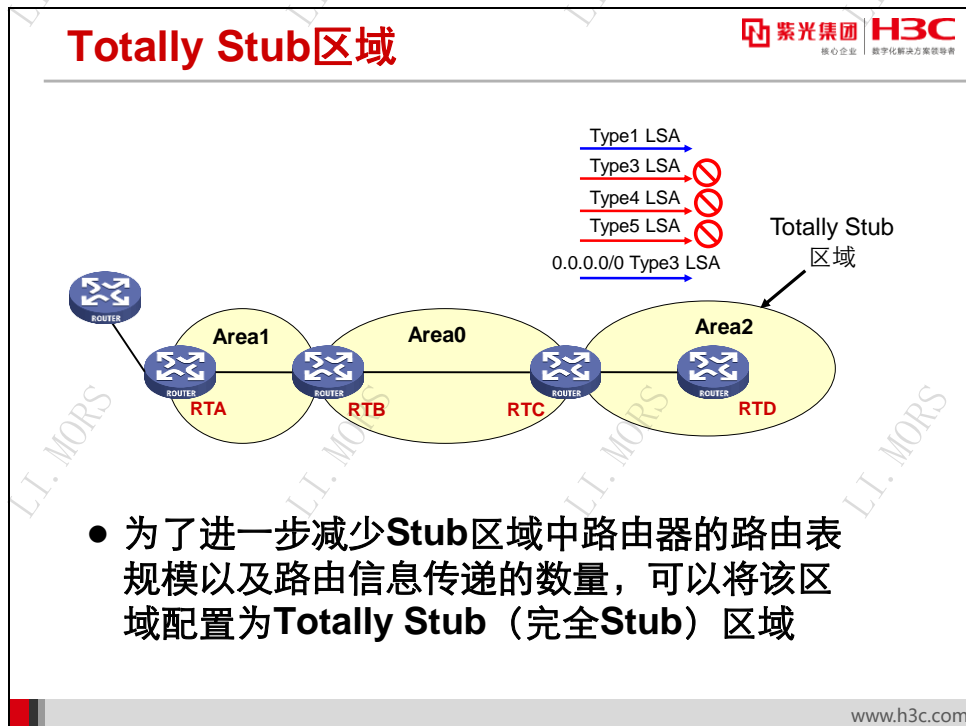
```
[RTD]display ospf lsdb
```

```
OSPF Process 1 with Router ID 4.4.4.4
Link State Database
```

| Area: 0.0.0.2 | | | | | | |
|---------------|--------------|-----------|-----|-----|----------|--------|
| Type | LinkState ID | AdvRouter | Age | Len | Sequence | Metric |
| Router | 4.4.4.4 | 4.4.4.4 | 57 | 48 | 80000004 | 0 |
| Network | 10.0.3.2 | 4.4.4.4 | 57 | 32 | 80000001 | 0 |
| Sum-Net | 0.0.0.0 | 3.3.3.3 | 98 | 28 | 80000001 | 1 |
| Sum-Net | 10.0.2.0 | 3.3.3.3 | 93 | 28 | 80000001 | 1 |
| Sum-Net | 10.0.1.0 | 3.3.3.3 | 93 | 28 | 80000001 | 2 |
| Sum-Net | 1.1.1.1 | 3.3.3.3 | 93 | 28 | 80000001 | 2 |

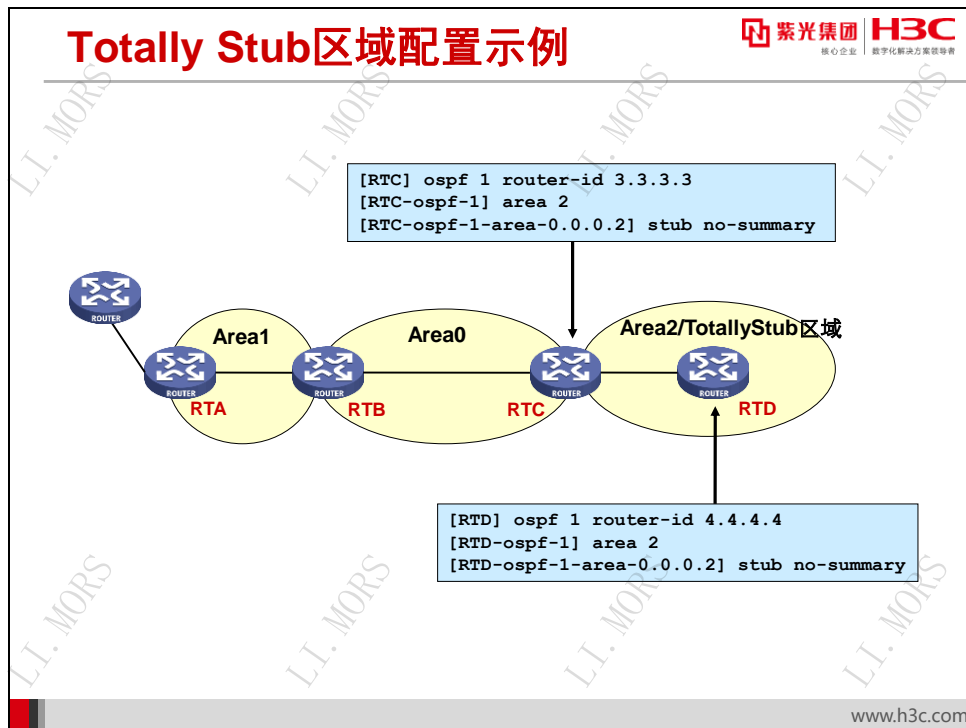
从这次的链路状态数据库中，可以观察到第四类和第五类 LSA 已经不存在，取而代之的是新增加了一条 ABR 产生的第三类 LSA，LS ID 是 0.0.0.0，用来将数据转发到本 OSPF 自治系统之外的外部网络。

9.4.3 配置 Totally Stub 区域



为了进一步减少 Stub 区域中路由器的路由表规模以及路由信息传递的数量，可以将该区域配置为 **Totally Stub**（完全 Stub）区域，该区域的 ABR 不会将区域间的路由信息和外部路

由信息传递到本区域。在 **Totally Stub** 区域中，不仅类似于 **Stub** 区域，不允许第四类 LSA 和第五类 LSA 的注入，为了进一步降低链路状态库的大小，还不允许第三类 LSA 注入。同样地，ABR 会重新产生一条 0.0.0.0/0 的第三类 LSA，以保证到本自治系统的其他区域或者自治系统外的路由依旧可达。



在 OSPF 区域视图下，配置 **Totally Stub** 区域的命令如下：

stub no-summary

如上图所示，为了减小 LSDB 的规模，需要将 Area2 配置成为 **Totally Stub** 区域，就需要在 RTC 和 RTD 上分别配置。

RTC 上配置如下：

```
[RTC]ospf 1 router-id 3.3.3.3
[RTC-ospf-1]area 2
[RTC-ospf-1-area-0.0.0.2]stub no-summary
```

RTD 上配置如下：

```
[RTD]ospf 1 router-id 4.4.4.4
[RTD-ospf-1]area 2
[RTD-ospf-1-area-0.0.0.2]stub no-summary
```

配置了 **Totally Stub** 区域之后，观察 RTD 的链路状态数据库如下：

```
[RTD]display ospf lsdb
```

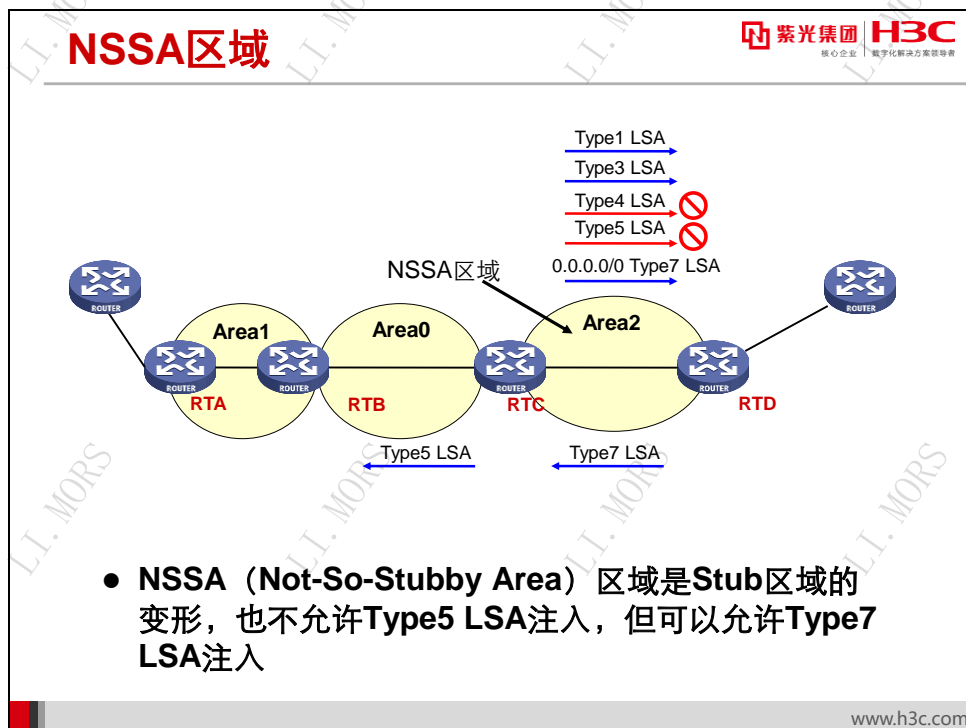
```
OSPF Process 1 with Router ID 4.4.4.4
Link State Database
```

```
Area: 0.0.0.2
Type      LinkState ID    AdvRouter      Age  Len  Sequence      Metric
```

| | | | | | | |
|---------|----------|---------|-----|----|----------|---|
| Router | 4.4.4.4 | 4.4.4.4 | 79 | 48 | 80000009 | 0 |
| Network | 10.0.3.2 | 4.4.4.4 | 78 | 32 | 80000002 | 0 |
| Sum-Net | 0.0.0.0 | 3.3.3.3 | 541 | 28 | 80000001 | 1 |

从链路状态数据库中可以观察到，第三类、第四类和第五类 LSA 已经不存在，取而代之的是新增加了一条 ABR 产生的第三类 LSA，LS ID 是 0.0.0.0，用来将数据转发到其他区域和自治系统之外的外部网络。

9.4.4 配置 NSSA 区域



NSSA (Not-So-Stubby Area) 区域产生的背景：

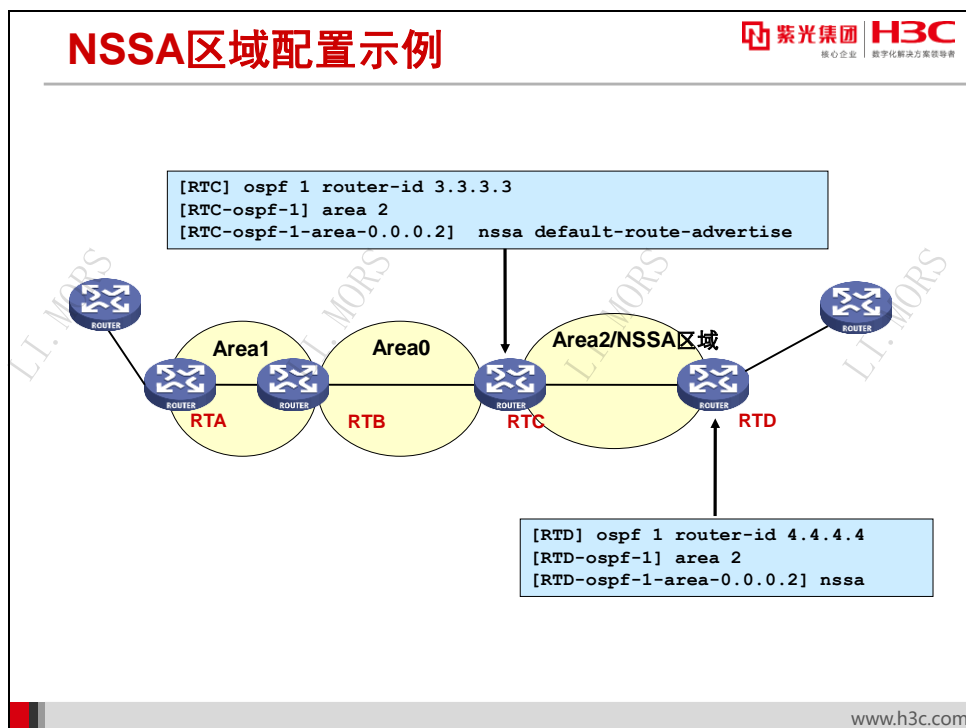
- 该区域存在一个 ASBR，其产生的外部路由需要在整个 OSPF 域内扩散；
- 该区域不希望接收其它 ASBR 产生的外部路由。

要满足第一个条件，标准区域即可，但此时第二个条件不满足；要满足第二个条件，区域必须为 Stub，但此时第一个条件又不满足；为了同时满足第二个条件，OSPF 设计了 NSSA 这个区域。

NSSA 区域是 Stub 区域的变形，与 Stub 区域有许多相似的地方。NSSA 区域也不允许第五类 LSA 注入，但可以允许第七类 LSA 注入。来源于外部路由的第七类 LSA 由 NSSA 区域的 ASBR 产生，在 NSSA 区域内传播。当第七类 LSA 到达 NSSA 的 ABR 时，由 ABR 将第七类 LSA 转换成第五类 LSA，传播到其他区域。

同时，ABR 会产生一条 0.0.0.0/0 的第七类 LSA，在 NSSA 区域内传播。

与 Stub 区域一样，虚连接也不能穿过 NSSA 区域。



在 OSPF 区域视图下，配置 NSSA 区域的命令如下：

```
nssa [ default-route-advertise [ cost cost | nssa-only | route-policy route-policy-name | type type ] * | no-import-route | no-summary | suppress-fa | [ translate-always | translate-never ] | translator-stability-interval value ] *
```

其中主要参数含义如下：

- **default-route-advertise**: 该参数只用于 NSSA 区域的 ABR 或 ASBR，配置后，对于 ABR，不论本地是否存在缺省路由，都将生成一条 Type7 LSA 向区域内发布缺省路由；对于 ASBR，只有当本地存在缺省路由时，才产生 Type7 LSA 向区域内发布缺省路由。
- **no-import-route**: 该参数用于禁止将 AS 外部路由以 Type7 LSA 的形式引入到 NSSA 区域中，这个参数通常只用在既是 NSSA 区域的 ABR，也是 OSPF 自治系统的 ASBR 的路由器上，以保证所有外部路由信息能正确地进入 OSPF 路由域。
- **no-summary**: 该参数只用于 NSSA 区域的 ABR，配置后，NSSA ABR 只通过 Type3 的 Summary-LSA 向区域内发布一条缺省路由，不再向区域内发布任何其它 Summary-LSA。

如上图所示，为了减小 LSDB 的规模，同时又允许 RTD 将外部路由引入 OSPF 域内，需要将 Area2 配置成为 NSSA 区域，就需要在 RTC 和 RTD 上分别配置。

RTC 上配置如下：

```
[RTC]ospf 1 router-id 3.3.3.3
[RTC-ospf-1]area 2
```

```
[RTC-ospf-1-area-0.0.0.2]nssa default-route-advertise
```

在 RTD 上配置如下：

```
[RTD]ospf 1 router-id 4.4.4.4
[RTD-ospf-1]area 2
[RTD-ospf-1-area-0.0.0.2]nssa
```

配置了 **Totally Stub** 区域之后，观察 RTD 的链路状态数据库如下：

```
[RTD]display ospf lsdb
```

```

      OSPF Process 1 with Router ID 4.4.4.4
      Link State Database

      Area: 0.0.0.2

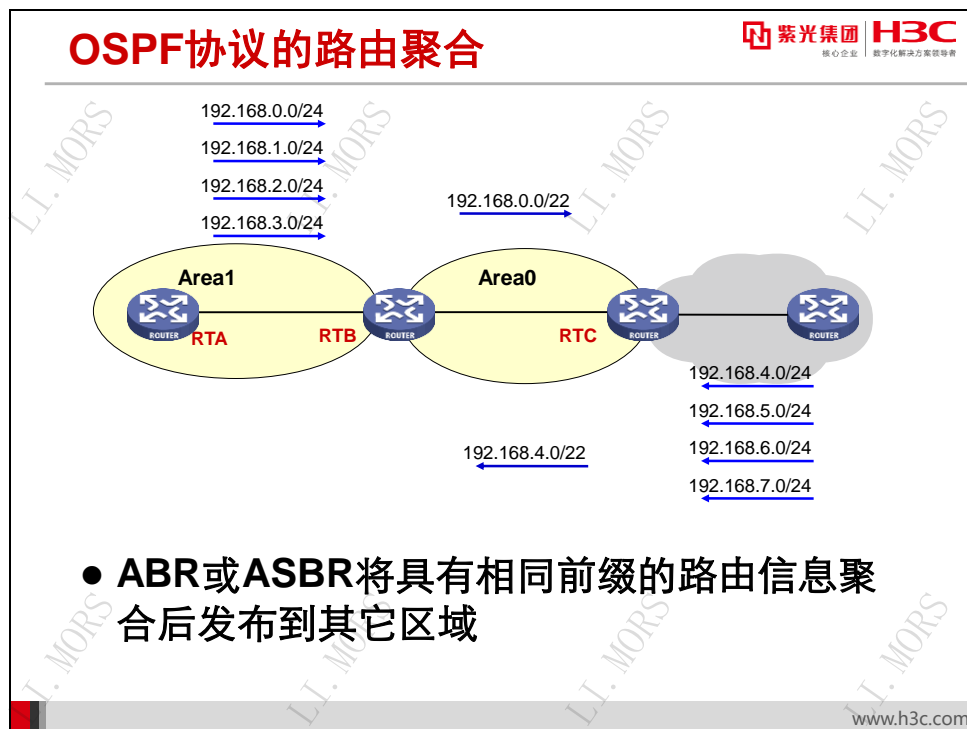
```

| Type | LinkState ID | AdvRouter | Age | Len | Sequence | Metric |
|---------|--------------|-----------|-----|-----|----------|--------|
| Router | 4.4.4.4 | 4.4.4.4 | 146 | 48 | 80000005 | 0 |
| Network | 10.0.3.2 | 4.4.4.4 | 208 | 32 | 80000001 | 0 |
| Sum-Net | 10.0.2.0 | 3.3.3.3 | 244 | 28 | 80000001 | 1 |
| Sum-Net | 10.0.1.0 | 3.3.3.3 | 244 | 28 | 80000001 | 2 |
| Sum-Net | 2.2.2.2 | 3.3.3.3 | 244 | 28 | 80000001 | 1 |
| Sum-Net | 1.1.1.1 | 3.3.3.3 | 244 | 28 | 80000001 | 2 |
| NSSA | 192.168.2.0 | 4.4.4.4 | 146 | 36 | 80000001 | 1 |
| NSSA | 0.0.0.0 | 3.3.3.3 | 74 | 36 | 80000001 | 1 |

从链路状态数据库中可以观察到，第四类和第五类 **LSA** 已经不存在，取而代之的是新增加了一条 **ABR** 产生的第七类 **LSA**，**LS ID** 是 **0.0.0.0**，用来将数据转发到其他区域和自治系统之外的外部网络。另外，还有一条第七类 **LSA**，**LS ID** 为 **192.168.2.0**，这就是 **RTD** 注入的外部路由，由 **RTD** 产生第七类 **LSA**，在 **Area2** 内传播。

9.5 OSPF路由聚合

9.5.1 概述



路由聚合是指 ABR 或 ASBR 将具有相同前缀的路由信息聚合，只发布聚合后路由到其它区域。AS 被划分成不同的区域后，区域间可以通过路由聚合来减少路由信息，减小路由表的规模，提高路由器的运算速度。

OSPF 的聚合有两种：

- **ABR 聚合：**ABR 向其它区域发送路由信息时，以网段为单位生成 Type3 LSA。如果该区域中存在一些连续的网段，则可以将这些连续的网段聚合成一个网段。这样 ABR 只发送一条聚合后的 LSA，所有属于聚合网段范围的 LSA 将不再会被单独发送出去，这样可减少其它区域中 LSDB 的规模。
- **ASBR 聚合：**配置引入路由聚合后，如果本地路由器是自治系统边界路由器 ASBR，将对引入的聚合地址范围内的 Type5 LSA 进行聚合。当配置了 NSSA 区域时，还可以对引入的聚合地址范围内的 Type7 LSA 进行聚合。

如上图所示，Area 1 内有 4 条区域内路由 192.168.0.0/24、192.168.1.0/24、192.168.2.0/24 和 192.168.3.0/24，如果此时在 RTB 上配置了路由聚合，将 4 条路由聚合成一条 192.168.0.0/22，则 RTB 就只生成一条聚合后的 LSA，并发布给 Area0 中的其他路由器。RTC 作为 ASBR，也可以配置路由聚合，将注入 OSPF 域内的 4 条外部路由 192.168.4.0/24、192.168.5.0/24、192.168.6.0/24 和 192.168.7.0/24 进行聚合，生成一条聚合后的路由 192.168.4.0/22，并发布给 Area0 的其他路由器。

9.5.2 在 ABR 上配置路由聚合

ABR上配置路由聚合的命令

```
abr-summary ip-address { mask | mask-length }  
[ advertise | not-advertise ] [ cost cost ]
```

- 在OSPF区域视图下使用
- 此命令用于在ABR上配置一条聚合路由
- **advertise | not-advertise**: 是否发布这条聚合路由
- **cost**: 该缺省路由的度量值

www.h3c.com

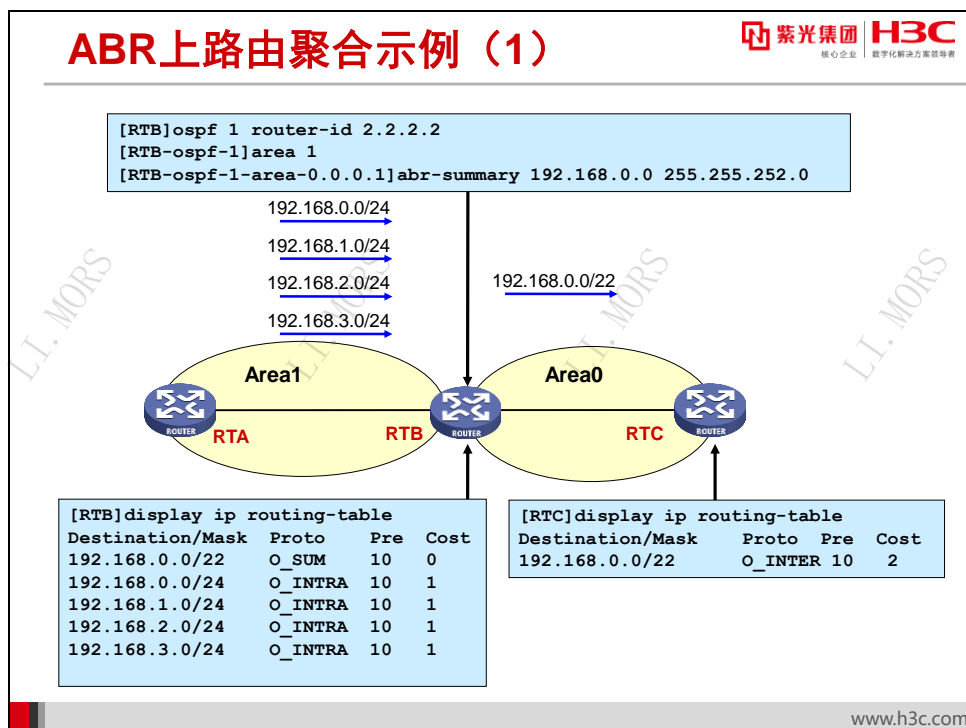
在 OSPF 区域视图下，ABR 上配置路由聚合的命令如下：

```
abr-summary ip-address { mask | mask-length } [ advertise | not-advertise ] [ cost  
cost ]
```

本命令只适用于区域边界路由器（ABR），用来对某一个区域内的路由信息进行聚合。对于落入该聚合网段的路由，ABR 向其它区域只发送一条聚合后的路由。一个区域可配置多条聚合网段，这样 OSPF 可对多个网段进行聚合。

其中主要参数含义如下：

- **ip-address**: 聚合路由的目的 IP 地址。
- **mask**: 聚合路由的网络掩码，点分十进制形式。
- **mask-length**: 聚合路由的网络掩码长度，取值范围为 0~32。
- **advertise | not-advertise**: 是否发布这条聚合路由。缺省为发布聚合路由。
- **cost cost**: 聚合路由的开销，取值范围为 1~16777215，缺省值为所有被聚合的路由中最大的开销值。



如上图所示，Area 1 内有 4 条区域内路由 192.168.0.0/24、192.168.1.0/24、192.168.2.0/24 和 192.168.3.0/24，此时在 RTB 上配置了路由聚合，将 4 条路由聚合成一条 192.168.0.0/22，则 RTB 就只生成一条聚合后的 LSA，并发布给 Area0 中的其他路由器。

RTB 上配置如下：

```

[RTB]ospf 1 router-id 2.2.2.2
[RTB-ospf-1]area 1
[RTB-ospf-1-area-0.0.0.1]abr-summary 192.168.0.0 255.255.252.0
  
```

配置了 ABR 路由聚合之后，观察 RTB 的路由表如下：

[RTB]display ip routing-table

| Destination/Mask | Proto | Pre | Cost | NextHop | Interface |
|------------------|---------|-----|------|----------|-----------|
| 192.168.0.0/22 | O_SUM | 255 | 0 | 0.0.0.0 | NULL0 |
| 192.168.0.1/32 | O_INTRA | 10 | 1 | 20.0.0.2 | GE0/1 |
| 192.168.1.1/32 | O_INTRA | 10 | 1 | 20.0.0.2 | GE0/1 |
| 192.168.2.1/32 | O_INTRA | 10 | 1 | 20.0.0.2 | GE0/1 |
| 192.168.3.1/32 | O_INTRA | 10 | 1 | 20.0.0.2 | GE0/1 |

从路由表中，不仅可以观察到 192.168.0.0/22 这条聚合路由，还可以观察到 4 条明细路由。

观察 RTC 的路由表如下：

[RTC]display ip routing-table

| Destination/Mask | Proto | Pre | Cost | NextHop | Interface |
|--------------------|---------|-----|------|-----------|-----------|
| 20.0.0.0/24 | O_INTER | 10 | 2 | 10.0.0.2 | GE0/0 |
| 127.0.0.0/8 | Direct | 0 | 0 | 127.0.0.1 | InLoop0 |
| 127.0.0.0/32 | Direct | 0 | 0 | 127.0.0.1 | InLoop0 |
| 127.0.0.1/32 | Direct | 0 | 0 | 127.0.0.1 | InLoop0 |
| 127.255.255.255/32 | Direct | 0 | 0 | 127.0.0.1 | InLoop0 |

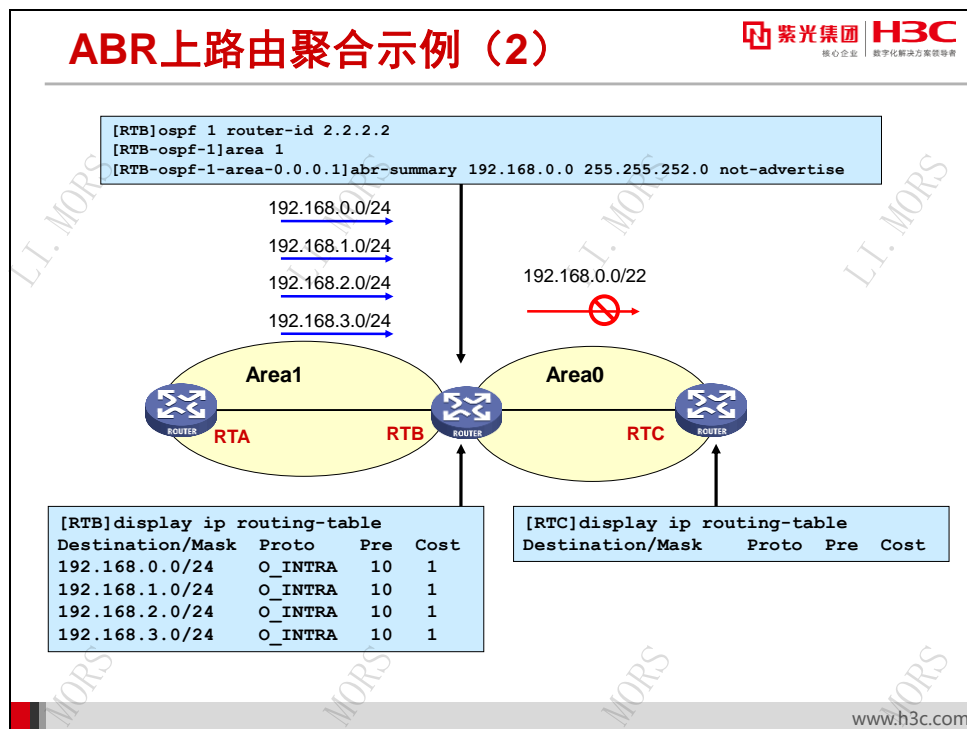
192.168.0.0/22

O_INTER 10 2

10.0.0.2

GE0/0

从路由表中，可以观察到 RTC 已经收到了这条聚合路由。



如上图所示，Area 1 内有 4 条区域内路由 192.168.0.0/24、192.168.1.0/24、192.168.2.0/24 和 192.168.3.0/24，此时在 RTB 上配置了路由聚合，将 4 条路由聚合成一条 192.168.0.0/22，并且在 RTB 上对于聚合后的路由进行抑制，不发布给 Area0 中的其他路由器。

应当在 RTB 上配置如下：

```

[RTB]ospf 1 router-id 2.2.2.2
[RTB-ospf-1]area 1
[RTB-ospf-1-area-0.0.0.1]abr-summary 192.168.0.0 255.255.252.0 not-advertise
  
```

配置了 ABR 路由聚合之后，观察 RTB 的路由表如下：

```

[RTB]display ip routing-table
  
```

| Destination/Mask | Proto | Pre | Cost | NextHop | Interface |
|------------------|---------|-----|------|----------|-----------|
| 192.168.0.1/32 | O_INTRA | 10 | 1 | 20.0.0.2 | GE0/1 |
| 192.168.1.1/32 | O_INTRA | 10 | 1 | 20.0.0.2 | GE0/1 |
| 192.168.2.1/32 | O_INTRA | 10 | 1 | 20.0.0.2 | GE0/1 |
| 192.168.3.1/32 | O_INTRA | 10 | 1 | 20.0.0.2 | GE0/1 |

从路由表中，观察到 4 条明细路由。

观察 RTC 的路由表如下：

```

[RTC]display ip routing-table
  
```

| Destination/Mask | Proto | Pre | Cost | NextHop | Interface |
|------------------|--------|-----|------|-----------|-----------|
| 127.0.0.0/8 | Direct | 0 | 0 | 127.0.0.1 | InLoop0 |

| | | | | | |
|--------------------|--------|---|---|-----------|---------|
| 127.0.0.0/32 | Direct | 0 | 0 | 127.0.0.1 | InLoop0 |
| 127.0.0.1/32 | Direct | 0 | 0 | 127.0.0.1 | InLoop0 |
| 127.255.255.255/32 | Direct | 0 | 0 | 127.0.0.1 | InLoop0 |

从路由表中，可以观察到 RTC 无法收到聚合后的路由和明细路由，所有相关网段的路由都被过滤掉。

通常，上述配置聚合路由但并不发布的方法在 OSPF 路由过滤中较常使用，用来在 ABR 上过滤区域间路由。

9.5.3 在 ASBR 上配置路由聚合

ASBR上配置路由聚合的命令

紫光集团 H3C
核心企业 数字化转型领导者

```
asbr-summary ip-address { mask-length | mask } [ cost cost | not-advertise | nssa-only | tag tag ]
```

- 在OSPF视图下使用
- 此命令用于在ASBR上配置一条聚合路由
- **cost**: 该缺省路由的度量值
- **not-advertise**: 不发布这条聚合路由
- **nssa-only**: 设置Type-7 LSA的P比特位为不置位
- **tag**: 聚合路由的标识

www.h3c.com

在 OSPF 视图下，ASBR 上配置路由聚合的命令如下：

```
asbr-summary ip-address { mask-length | mask } [ cost cost | not-advertise | nssa-only | tag tag ]
```

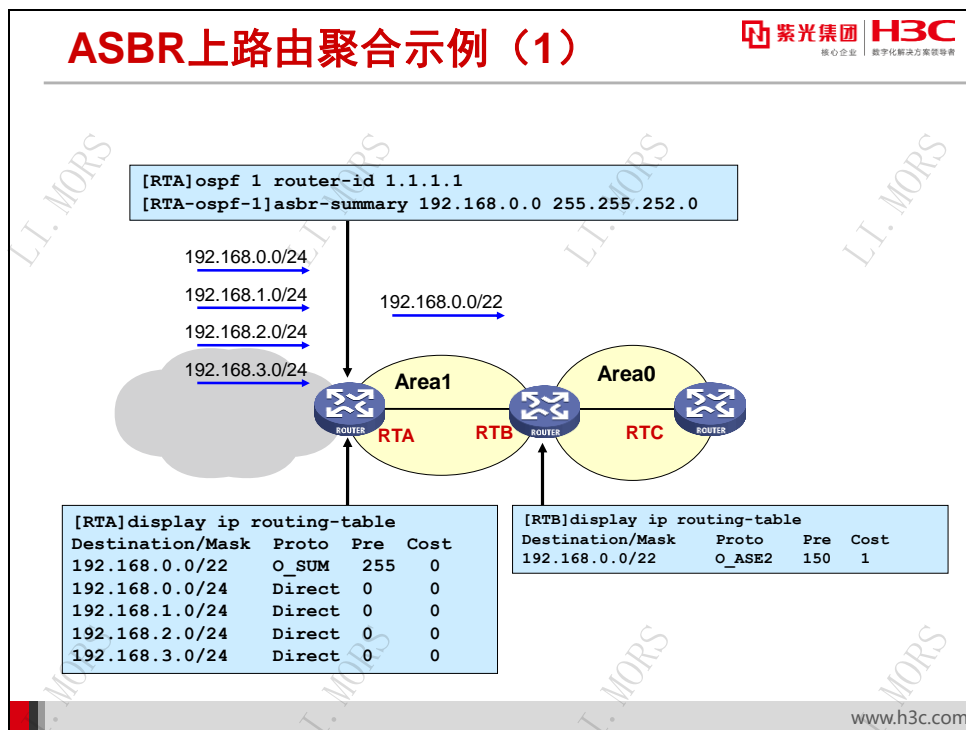
如果本地路由器是自治系统边界路由器（ASBR），使用 **asbr-summary** 命令可对引入的聚合地址范围内的第五类 LSA 描述的路由进行聚合；当配置了 NSSA 区域时，还要对引入的聚合地址范围内的第七类 LSA 描述的路由进行聚合。

如果本地路由器是区域边界路由器（ABR），且是 NSSA 区域的转换路由器，则对由第七类 LSA 转化成的第五类 LSA 描述的路由进行聚合处理；对于不是 NSSA 区域的转换路由器，则不进行聚合处理。

其中主要参数含义如下：

- **ip-address**: 聚合路由的目的 IP 地址。

- **mask-length**: 聚合路由的网络掩码长度，取值范围为 0~32。
- **mask**: 聚合路由的网络掩码，点分十进制格式。
- **cost cost**: 聚合路由的开销，取值范围为 1~16777214。如果未指定本参数，对于 Type-1 外部路由，**cost** 取所有被聚合的路由中最大的开销值作为聚合路由的开销；对于 Type-2 外部路由，**cost** 取所有被聚合的路由中最大的开销值加 1 作为聚合路由的开销。
- **not-advertise**: 不通告聚合路由。如果未指定本参数，将通告聚合路由。
- **nssa-only**: 设置 Type-7 LSA 的 P 比特位为不置位，即在对端路由器上不能转为 Type-5 LSA。缺省时，Type-7 LSA 的 P 比特位被置位，即在对端路由器上可以转为 Type-5 LSA（如果本地路由器是 ABR，则会检查骨干区域是否存在 FULL 状态的邻居，当 FULL 状态的邻居存在时，产生的 Type-7 LSA 中 P 比特位不置位）。
- **tag tag**: 聚合路由的标识，可以通过路由策略控制聚合路由的发布，取值范围为 0~4294967295，缺省值为 1。



如上图所示，Area 1 内 RTA 作为 ASBR，注入 4 条路由 192.168.0.0/24、192.168.1.0/24、192.168.2.0/24 和 192.168.3.0/24，此时在 RTA 上配置了路由聚合，将 4 条路由聚合成一条 192.168.0.0/22，则 RTA 就只生成一条聚合后的 LSA，并发布给其他路由器。

RTA 上配置如下：

```
[RTA]ospf 1 router-id 1.1.1.1
[RTA-ospf-1]asbr-summary 192.168.0.0 255.255.252.0
```

配置了 ASBR 路由聚合之后，观察 RTA 的路由表如下：

```
[RTA]display ip routing-table
```

| Destination/Mask | Proto | Pre | Cost | NextHop | Interface |
|------------------|--------|-----|------|---------|-----------|
| 192.168.0.0/22 | O_SUM | 255 | 0 | 0.0.0.0 | NULL0 |
| 192.168.0.0/24 | Direct | 0 | 0 | 0.0.0.0 | Loop1 |
| 192.168.1.0/24 | Direct | 0 | 0 | 0.0.0.0 | Loop2 |
| 192.168.2.0/24 | Direct | 0 | 0 | 0.0.0.0 | Loop3 |
| 192.168.3.0/24 | Direct | 0 | 0 | 0.0.0.0 | Loop4 |

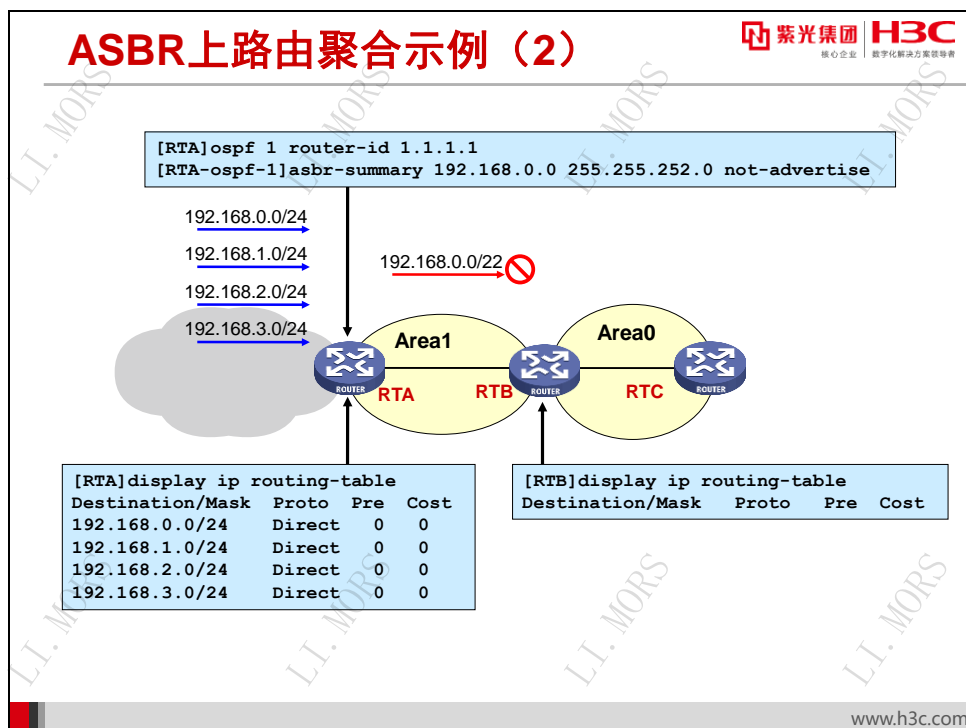
从路由表中，不仅可以观察到 192.168.0.0/22 这条聚合路由，还可以观察到 4 条明细路由。

观察 RTB 的路由表如下：

```
[RTB]display ip routing-table
```

| Destination/Mask | Proto | Pre | Cost | NextHop | Interface |
|------------------|--------|-----|------|-----------|-----------|
| 192.168.0.0/22 | O_ASE2 | 150 | 1 | 20.0.0.2 | GE0/1 |
| 20.0.0.0/24 | Direct | 0 | 0 | 20.0.0.1 | GE0/1 |
| 127.0.0.0/8 | Direct | 0 | 0 | 127.0.0.1 | InLoop0 |
| 127.0.0.1/32 | Direct | 0 | 0 | 127.0.0.1 | InLoop0 |

从路由表中，可以观察到 RTB 已经收到了这条聚合路由。



如上图所示，Area 1 内 RTA 作为 ASBR，注入 4 条路由 192.168.0.0/24、192.168.1.0/24、192.168.2.0/24 和 192.168.3.0/24，此时在 RTA 上配置了路由聚合，将 4 条路由聚合成 1 条路由 192.168.0.0/22，并且配置 RTA 对于聚合后的路由进行抑制，不发布给其他路由器。

RTA 上配置如下：

```
[RTA]ospf 1 router-id 1.1.1.1
[RTA-ospf-1]asbr-summary 192.168.0.0 255.255.252.0 not-advertise
```

配置了 ASBR 路由聚合之后，观察 RTA 的路由表如下：

```
[RTA]display ip routing-table
```

| Destination/Mask | Proto | Pre | Cost | NextHop | Interface |
|------------------|--------|-----|------|---------|-----------|
| 192.168.0.0/24 | Direct | 0 | 0 | 0.0.0.0 | Loop1 |
| 192.168.1.0/24 | Direct | 0 | 0 | 0.0.0.0 | Loop2 |
| 192.168.2.0/24 | Direct | 0 | 0 | 0.0.0.0 | Loop3 |
| 192.168.3.0/24 | Direct | 0 | 0 | 0.0.0.0 | Loop4 |

从路由表中，可以观察到 4 条明细路由。

观察 RTB 的路由表如下：

```
[RTB]display ip routing-table
```

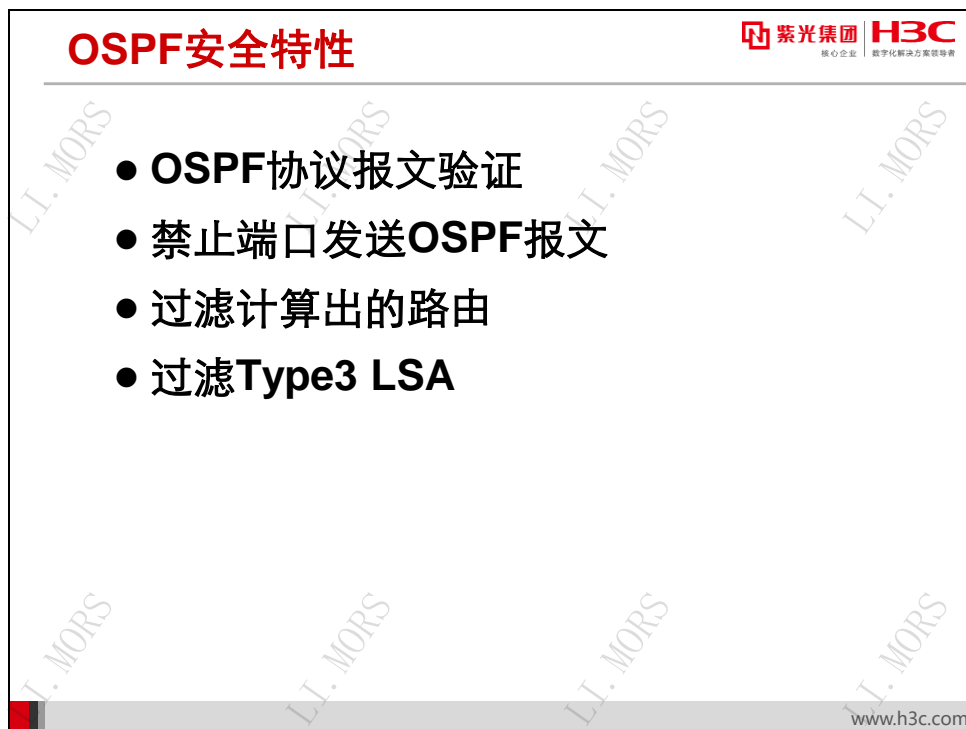
| Destination/Mask | Proto | Pre | Cost | NextHop | Interface |
|------------------|--------|-----|------|-----------|-----------|
| 20.0.0.0/24 | Direct | 0 | 0 | 20.0.0.1 | GE0/1 |
| 127.0.0.0/8 | Direct | 0 | 0 | 127.0.0.1 | InLoop0 |
| 127.0.0.1/32 | Direct | 0 | 0 | 127.0.0.1 | InLoop0 |

从路由表中，可以观察到 RTB 无法收到聚合路由和明细路由，所有相关网络的路由都被过滤掉。

通常，上述配置聚合路由但并不发布的方法在 OSPF 路由过滤中较常使用，用来在 ASBR 上过滤外部引入的路由。

9.6 OSPF安全特性

9.6.1 概述



随着越来越多的用户接入 Internet，以及公司扩展他们的网络，网络安全特性变得尤为重要。OSPF 作为路由协议，它并不保护通过网络的数据报文，仅仅对 OSPF 协议本身进行保护，以及对 OSPF 路由进行过滤。

常见的 OSPF 安全特性主要包括以下方面：

- **协议报文验证：**OSPF 支持报文验证功能，只有通过验证的 OSPF 报文才能被接受并正常建立邻居关系。
- **禁止端口发送 OSPF 报文：**禁止接口发送 OSPF 报文后，它将成为被动接口（Passive interface），不再发送 Hello 报文。
- **过滤计算出的路由：**可以设置路由信息的过滤条件。经过 SPF 计算后，只有通过过滤条件的路由信息才可以加入路由表。
- **过滤 Type3 LSA：**可以设置第三类 LSA 的过滤条件，只有通过过滤的 LSA 才能被接收或者发送。

9.6.2 配置 OSPF 报文验证

OSPF报文验证



紫光集团 H3C
核心企业 数字化转型方案领导者

- 区域中路由器的验证模式
 - Simple
 - MD5
- 接口验证模式
 - Simple
 - MD5

www.h3c.com

从安全性角度来考虑，为了避免路由信息外泄或者对 OSPF 路由器进行恶意攻击，OSPF 提供了报文验证功能。

OSPF 路由器建立邻居关系时，在发送的报文中会携带配置好的口令，接收报文时进行密码验证，只有通过验证的报文才能接收，否则将不会接收报文，不能正常建立邻居。

配置 OSPF 区域验证时，一个区域中所有路由器的验证模式和验证密码必须一致，配置 OSPF 接口验证时，同一个网段内的路由器需要配置相同的接口验证模式和口令。

每种验证模式都可以分为两种：

- **Simple:** 使用这种方法，设备将会在链路上直接发送预配置的验证密码。接收路由器处理报文时，会比较报文中的验证密码和自己与配置的是否相同。如果相同，就接收报文；否则直接丢弃报文。
- **MD5:** 使用这种方法，设备不会在链路上直接发送预配置的验证密码，而是根据预配置的密钥生成一个散列值，在链路上发送的仅仅是这个散列值。接收路由器处理报文时，会根据自己的密钥也生成一个散列值，并与报文携带的散列值比较是否相同。如果相同，就接收报文；否则就丢弃报文。

配置 OSPF 接口验证



● 配置 OSPF 接口的验证模式（简单验证）

```
[H3C-GigabitEthernet0/0] ospf authentication-mode simple { cipher cipher-string | plain plain-string }
```

● 配置 OSPF 接口的验证模式（MD5 验证）

```
[H3C-GigabitEthernet0/0] ospf authentication-mode { hmac-md5 | md5 } key-id { cipher cipher-string | plain plain-string }
```

www.h3c.com

配置接口验证模式。在接口视图下，配置 OSPF 接口的验证模式（简单验证）命令如下：

```
ospf authentication-mode simple { cipher cipher-string | plain plain-string }
```

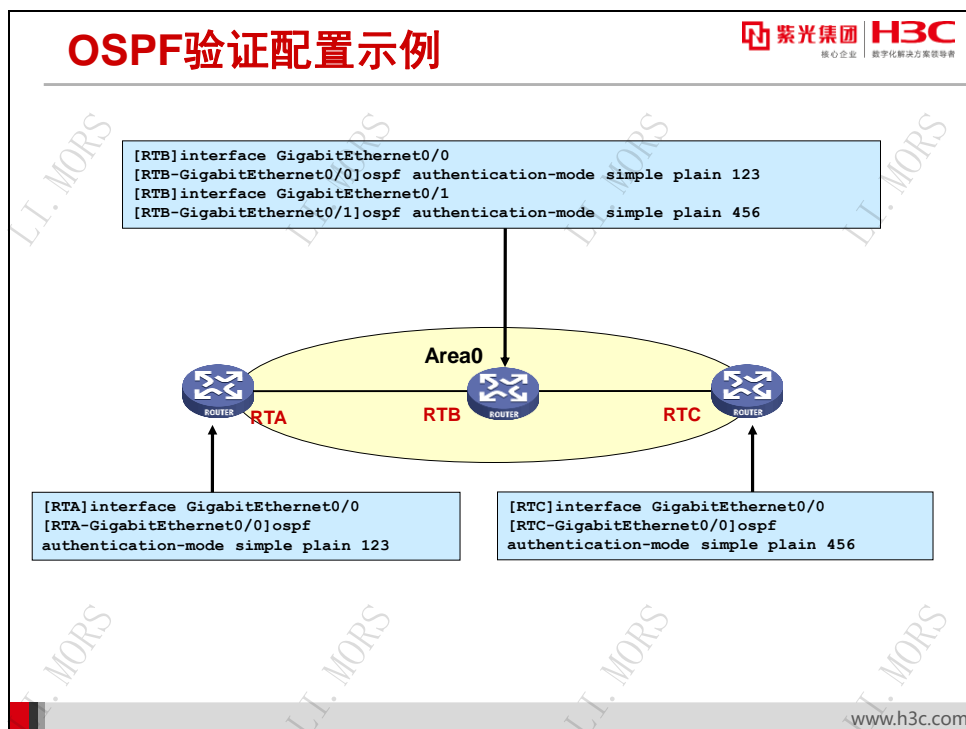
在接口视图下，配置 OSPF 接口的验证模式（MD5）命令如下：

```
ospf authentication-mode { hmac-md5 | md5 } key-id { cipher cipher-string | plain plain-string }
```

其中主要参数含义如下：

- **hmac-md5**：HMAC-MD5 验证模式。
- **md5**：MD5 验证模式。
- **simple**：简单验证模式。
- **key-id**：验证字标识符，取值范围为 1~255。
- **cipher**：表示输入的密码为密文。
- **cipher-string**：表示设置的密文密码，区分大小写。对于简单验证模式，可以是长度为 33~41 个字符的字符串，对于 MD5/HMAC-MD5 验证模式，可以是长度为 33~53 个字符的字符串。
- **plain**：表示输入的密码为明文。

- **plain-string**: 表示设置的明文密码，区分大小写。对于简单验证模式，可以是长度为 1~8 个字符的字符串，对于 MD5/HMAC-MD5 验证模式，可以是长度为 1~16 个字符的字符串。



OSPF 的骨干区域 Area0 中，运行了 3 台路由 RTA、RTB 和 RTC。出于安全性的考虑，需要在 Area0 中启用 OSPF 验证，验证模式采用简单验证，但是不同接口的验证密码不同。RTA 与 RTB 之间接口验证密码为 123，RTB 与 RTC 之间的接口验证密码为 456。

RTA 上配置如下：

```

[RTA-ospf-1-area-0.0.0.0] authentication-mode simple
[RTA] interface GigabitEthernet0/0
[RTA-GigabitEthernet0/0] ospf authentication-mode simple plain 123
  
```

RTB 上配置如下：

```

[RTB] interface GigabitEthernet0/0
[RTB-GigabitEthernet0/0] ospf authentication-mode simple plain 123
[RTB] interface GigabitEthernet0/1
[RTB-GigabitEthernet0/1] ospf authentication-mode simple plain 456
  
```

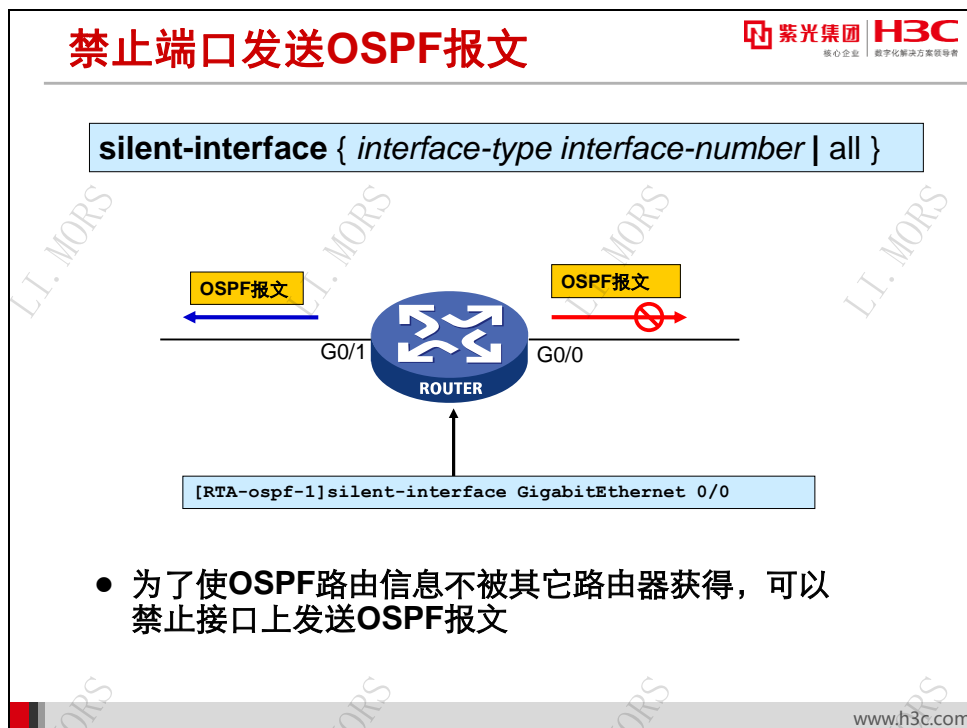
RTC 上配置如下：

```

[RTC] interface GigabitEthernet0/0
[RTC-GigabitEthernet0/0] ospf authentication-mode simple plain 456
  
```

配置结束后，可以在路由器上通过 **display ospf peer** 命令观察邻居已经建立。

9.6.3 配置禁止接口发送 OSPF 报文



为了使 OSPF 路由信息不被其它路由器获得，可以禁止接口上发送 OSPF 报文。接口禁止发送协议报文后，此接口称为静默接口，也称为被动接口（Passive interface）

在 OSPF 视图下，禁止接口发送 OSPF 报文配置命令如下：

silent-interface { interface-type interface-number | all }

其中主要参数含义如下：

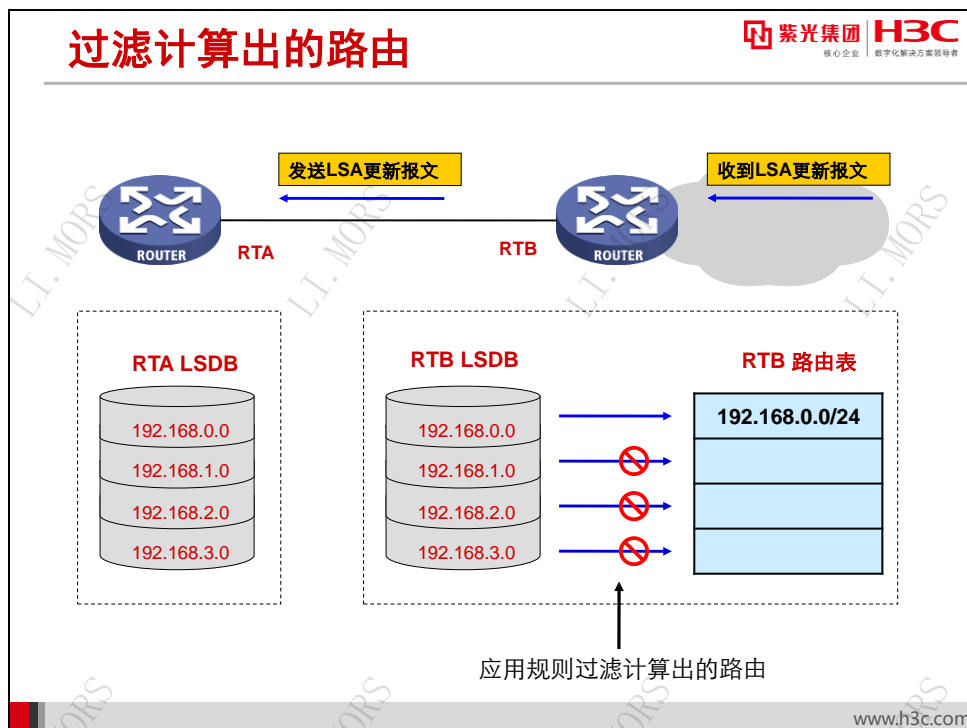
- **all**：指定所有 OSPF 接口。
- **interface-type interface-number**：指定接口类型和接口号。

在上图所示网络中，在路由器 RTA 上配置禁止接口 G0/0 发送 OSPF 报文。此时，RTA 不在接口 G0/0 上发送 OSPF 的 Hello 报文，这样就无法与其它路由器建立邻居关系，更无法发送 LSA 出去。

注意：

在运行 OSPF 协议的接口禁止发送 OSPF 报文后，该接口的直连路由仍可以由路由器的其它接口发布出去。

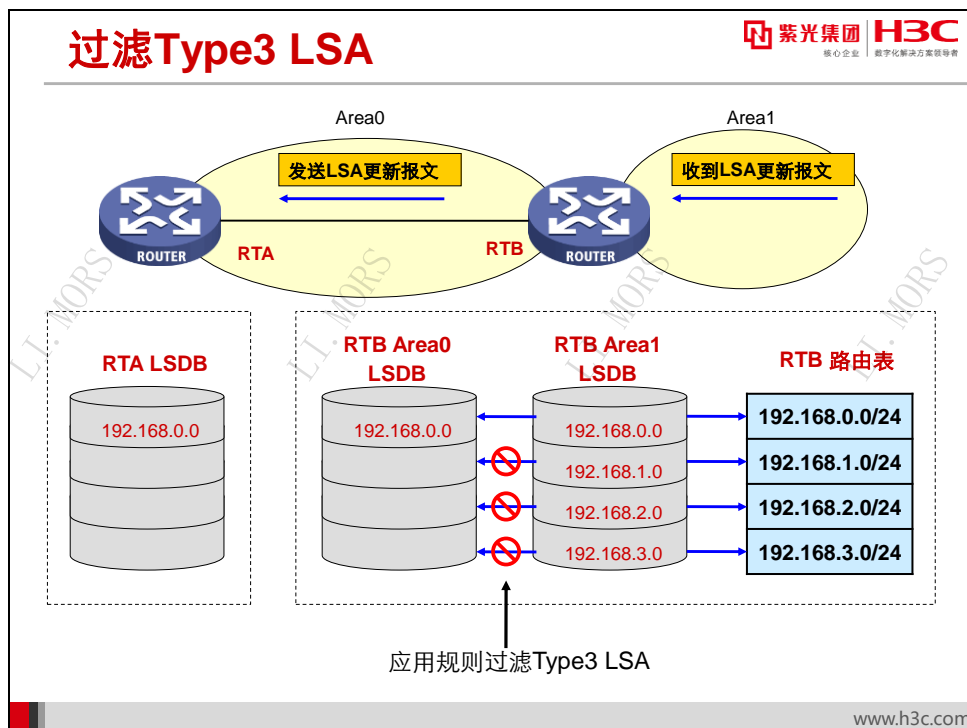
9.6.4 配置过滤 OSPF 的路由和 LSA



由于 OSPF 是基于链路状态的动态路由协议，邻居之间传递的仅仅是链路状态通告，而不是路由信息，所以不能简单的在邻居之间对发布和接收的 LSA 进行过滤。过滤计算出的路由的方法实际上是对 SPF 算法计算后的路由进行过滤，只有通过过滤的路由才被添加到路由表中。

如上图所示，RTB 收到了 LSA 更新报文，4 条新增的网段 192.168.0.0/24、192.168.1.0/24、192.168.2.0/24 和 192.168.3.0/24 被包含在 LSA 更新报文内。RTB 更新 LSDB，将这 4 条 LSA 增加进来。经过 SPF 计算，准备加入路由表时，之前定义的过滤规则生效，将 192.168.1.0/24、192.168.2.0/24 和 192.168.3.0/24 这 3 条路由过滤，仅仅将 192.168.0.0/24 加入路由表。因此，在 RTB 上观察路由表，只能够观察到 192.168.0.0/24 这条路由。

RTA 和 RTB 互相之间交换链路状态通告，RTB 将自己的 LSA 更新报文发送给 RTA。因为过滤规则是应用于计算后的路由中，而不影响 LSDB。因此在发送更新报文的时候，RTB 会将 4 条 LSA 都发送给 RTA。这样 RTA 的 LSDB 也会存在这 4 条 LSA，而 RTA 的路由表也存在 192.168.0.0/24 等 4 条路由。



OSPF 虽然在区域内传递的是链路状态信息，但是在区域之间传递的第三类 LSA 中仅仅包含相关的路由信息，在区域之间传递的时候，是可以通过规则进行过滤的。

如上图所示，RTB 作为 Area0 和 Area1 的 ABR，在 Area1 内收到了 LSA 更新报文，4 条新增的路由 192.168.0.0/24、192.168.1.0/24、192.168.2.0/24 和 192.168.3.0/24 被包含在 LSA 更新报文内。RTB 更新 LSDB，将这 4 条 LSA 添加进入 LSDB 中。在这些 LSA 从 Area1 向 Area0 传递的时候，应用规则过滤第三类 LSA，仅仅允许 192.168.0.0/24 这条 LSA 通过，而将其它的第三类 LSA 过滤，因此在 Area0 中就不会存在这些被过滤的 LSA。

RTA 作为 Area0 的区域内部路由器，和 RTB 交换链路状态通告。由于 RTB 向 Area0 中仅仅传播了 1 条 192.168.0.0/24 的 LSA，因此在 RTA 的 LSDB 中也仅仅只能学习到这 1 条 LSA，而 RTA 的路由表中也仅存在这 1 条路由 192.168.0.0/24。

配置过滤计算出的路由和Type3 LSA

紫光集团 H3C
核心企业 数字化转型领导者

● 配置OSPF对计算出的路由进行过滤

```
[H3C-ospf-1]filter-policy { acl-number [ gateway prefix-list-name ] | gateway prefix-list-name | prefix-list prefix-list-name [ gateway prefix-list-name ] | route-policy route-policy-name } import
```

● 配置对Type3 LSA进行过滤

```
[H3C-ospf-1-area-0.0.0.0] filter { acl-number | prefix-list prefix-list-name | route-policy route-policy-name } { export | import }
```

www.h3c.com

在 OSPF 视图下，配置 OSPF 对于计算出的路由进行过滤的命令如下：

```
filter-policy { acl-number [ gateway prefix-list-name ] | gateway prefix-list-name | prefix-list prefix-list-name [ gateway prefix-list-name ] | route-policy route-policy-name } import
```

其中主要参数含义如下：

- **acl-number**: 用于过滤路由信息目的地址的基本或高级访问控制列表编号，取值范围为 2000~3999。
- **gateway prefix-list-name**: 指定的地址前缀列表，基于要加入到路由表的路由信息的下一跳进行过滤。*prefix-list-name* 为 1~63 个字符的字符串，区分大小写。
- **prefix-list prefix-list-name**: 指定的地址前缀列表，基于目的地址对接收的路由信息进行过滤。*prefix-list-name* 为 1~63 个字符的字符串，区分大小写。
- **route-policy route-policy-name**: 指定路由策略名，基于路由策略对接收的路由信息进行过滤。*route-policy-name* 为 1~63 个字符的字符串，区分大小写。

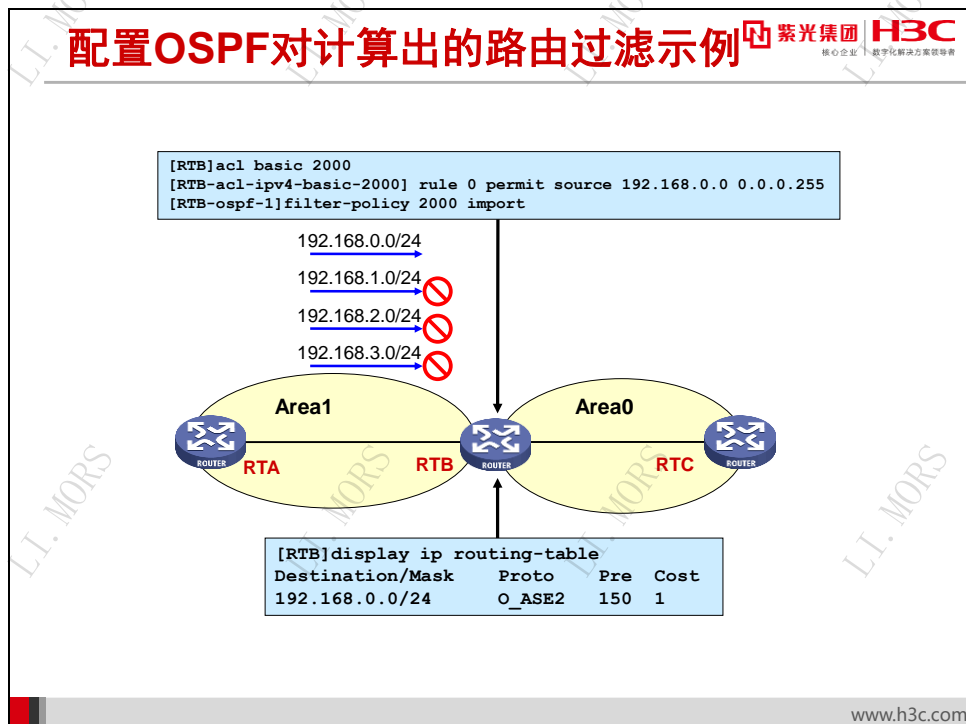
在 OSPF 区域视图下，配置 OSPF 对于 Type3 LSA 进行过滤的命令如下：

```
filter { acl-number | prefix-list prefix-list-name | route-policy route-policy-name } { export | import }
```

其中主要参数含义如下：

- **acl-number**: 指定的基本或高级访问控制列表，对进出本区域的 Type-3 LSA 进行过滤，取值范围为 2000~3999。

- **prefix-list-name**: 指定的地址前缀列表, 对进出本区域的 Type-3 LSA 进行过滤, 为 1~63 个字符的字符串, 区分大小写。
- **route-policy-name**: 指定的路由策略, 对进出本区域的 Type-3 LSA 进行过滤, 为 1~63 个字符的字符串, 区分大小写。
- **export**: 对 ABR 向其它区域发布的 Type-3 LSA 进行过滤。
- **import**: 对 ABR 向本区域发布的 Type-3 LSA 进行过滤。



上图所示网络中, RTA 向 RTB 发送了 192.168.0.0/24、192.168.1.0/24、192.168.2.0/24 和 192.168.3.0/24 这 4 条 LSA。出于安全性的考虑, RTB 的路由表中只能存在 192.168.0.0/24 这条路由。所以, 在 RTB 上配置对计算出的路由进行过滤。

RTB 上配置如下:

```
[RTB]acl basic 2000
[RTB-acl-ipv4-basic-2000]rule 0 permit source 192.168.0.0 0.0.0.255
[RTB]ospf 1 router-id 2.2.2.2
[RTB-ospf-1]filter-policy 2000 import
```

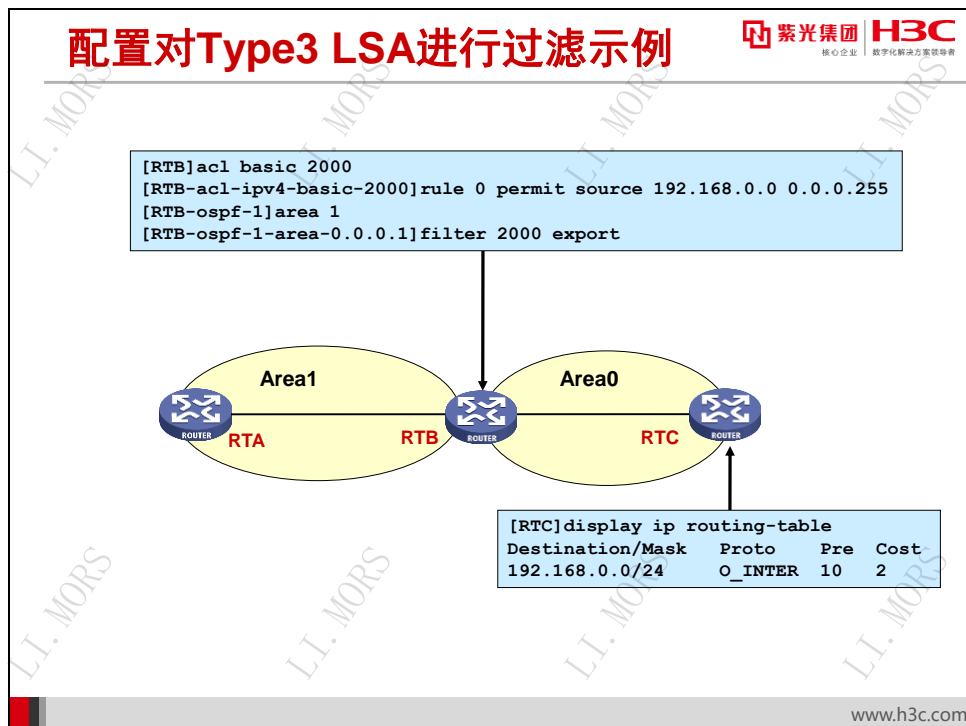
此时 RTB 的 LSDB 中存在所有的 4 条 LSA:

```
[RTB]display ospf ldsb
AS External Database
Type      LinkState ID    AdvRouter      Age
External  192.168.2.0     1.1.1.1        188
External  192.168.3.0     1.1.1.1        188
External  192.168.0.0     1.1.1.1        186
External  192.168.1.0     1.1.1.1        184
```

但是 RTB 的路由表中仅存在 1 条新学习到的路由:


```
[RTB]display ip routing-table
```

| Destination/Mask | Proto | Pre | Cost | NextHop | Interface |
|------------------|--------|-----|------|-----------|-----------|
| 127.0.0.0/8 | Direct | 0 | 0 | 127.0.0.1 | InLoop0 |
| 127.0.0.1/32 | Direct | 0 | 0 | 127.0.0.1 | InLoop0 |
| 192.168.0.0/24 | O_ASE2 | 150 | 1 | 10.0.0.1 | GE0/0 |



在上图所示网络中，RTA 向 RTB 发送了 192.168.0.0/24、192.168.1.0/24、192.168.2.0/24 和 192.168.3.0/24 这 4 条 LSA。出于安全性的考虑，RTB 只能向 RTC 发送 1 条 192.168.0.0/24 的 LSA。此时，应当配置对 Type3 LSA 进行过滤。

RTB 上配置如下：

```

[RTB]acl basic 2000
[RTB-acl-ipv4-basic-2000]rule 0 permit source 192.168.0.0 0.0.0.255
[RTB]ospf 1 router-id 2.2.2.2
[RTB-ospf-1]area 1
[RTB-ospf-1-area-0.0.0.1]filter 2000 export
  
```

此时 RTB 的 LSDB 中，Area0 中仅存在 1 条新学习到的 LSA：

```

[RTB]display ospf ldsb
Area: 0.0.0.0
Type      LinkState ID  AdvRouter      Age
Sum-Net    192.168.0.0   2.2.2.2        226
  
```

相应的，RTC 的路由表中仅存在 1 条新学习到的路由：

```
[RTC]display ip routing-table
```

| Destination/Mask | Proto | Pre | Cost | NextHop | Interface |
|------------------|---------|-----|------|-----------|-----------|
| 127.0.0.0/8 | Direct | 0 | 0 | 127.0.0.1 | InLoop0 |
| 127.0.0.1/32 | Direct | 0 | 0 | 127.0.0.1 | InLoop0 |
| 192.168.0.0/24 | O_INTER | 10 | 2 | 10.0.0.1 | GE0/0 |

9.7 本章总结

本章总结

- OSPF中虚连接的配置和应用
- OSPF中的LSA类型及作用
- OSPF中路由的选路原则
- OSPF中特殊区域的配置和应用
- OSPF中的验证、过滤等安全特性

9.8 习题和解答

9.8.1 习题

1. 第二类 LSA 是由什么设备产生的？（ ）
A. DR B. BDR
C. ABR D. ASBR
2. OSPF 协议中，内部路由的协议优先级为（ ），外部路由的协议优先级为（ ）
A. 10, 10 B. 10, 150
C. 150, 150 D. 10, 60
3. OSPF 协议中，常见的特殊区域包括（ ）
A. Stub 区域 B. Totally Stub 区域
C. NSSA 区域 D. 骨干区域
4. OSPF 协议中，在 ABR 上将 192.168.0.0/24,192.168.1.0/24,192.168.2.0/24 和 192.168.3.0/24 共 4 条路由进行聚合的配置命令为（ ）
A. [H3C-ospf-1] abr-summary 192.168.0.0 255.255.252.0
B. [H3C-ospf-1-area-0.0.0.1] abr-summary 192.168.0.0 255.255.252.0
C. [H3C-ospf-1-area-0.0.0.1] abr-summary 192.168.0.0 mask 255.255.252.0
D. [H3C] abr-summary 192.168.0.0 255.255.252.0
5. OSPF 协议常见的安全特性有（ ）
A. 报文验证
B. 禁止端口发送 OSPF 报文
C. 过滤 Type3 LSA
D. 过滤计算出的路由

9.8.2 习题答案

1. A 2. B 3. ABC 4. B 5. ABCD