

1. ospf协议的基础特点

2. ospf的区域分类

当一个大型网络中的设备都运行OSPF路由协议时，设备数量的增多会导致链路状态数据库LSDB（Link-State Database）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，导致设备负担很重。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“动荡”之中，造成网络中会有大量的OSPF协议报文在传递，降低了网络的带宽利用率。更为严重的是，每一次变化都会导致网络中所有的设备重新进行路由计算。

OSPF协议通过将自治系统划分成不同的区域解决LSDB频繁更新的问题，提高网络的利用率。区域是从逻辑上将设备划分为不同的组，每个组用区域号（Area ID）来标识。区域的边界是设备，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的接口必须指明属于哪一个区域**

区域类型	作用	说明
普通区域	缺省情况下，OSPF区域被定义为普通区域。普通区域包括： <ul style="list-style-type: none">标准区域：最通用的区域，它传输区域内路由，区域间路由和外部路由。骨干区域：连接所有其他OSPF区域的中央区域，通常用Area 0表示。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。	<ul style="list-style-type: none">骨干区域自身必须保持连通。所有非骨干区域必须与骨干区域保持连通。
Stub区域	Stub区域是一些特定的区域， Stub区域的ABR不传播它们接收到的自治系统外部路由，因此这些区域中设备的路由表规模以及路由信息传递的数量都会大大减少。 一般情况下，Stub区域位于自治系统的边界，是只有一个ABR的非骨干区域，为保证到自治系统外的路由依旧可达，Stub区域的ABR将生成一条缺省路由，并发布给Stub区域中的其他非ABR设备。 Totally Stub区域允许ABR发布的Type3缺省路由， 不允许发布自治系统外部路由和区域间的路由，只允许发布区域内路由。	<ul style="list-style-type: none">骨干区域不能配置成Stub区域。Stub区域内不能存在ASBR，因此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。
NSSA（Not-So-Stubby Area）区域	NSSA是Stub区域的一个变形，它和Stub区域有许多相似的地方。NSSA区域不允许存在Type5 LSA。NSSA区域允许引入自治系统外部路由，携带这些外部路由信息的Type7 LSA由NSSA的ASBR产生，仅在本NSSA内传播。当Type7 LSA到达NSSA的ABR时，由ABR将Type7 LSA转换成Type5 LSA，泛洪到整个OSPF域中。 Totally NSSA区域不允许发布自治系统外部路由和区域间的路由，只允许发布区域内路由。	<ul style="list-style-type: none">NSSA区域的ABR会发布Type7 LSA缺省路由传播到本区域内。所有域间路由都必须通过ABR才能发布。虚连接不能穿过NSSA区域。

- 普通区域
- 骨干区域
- Stub区域

基本定义与设计目的

Stub区域（末梢区域）是OSPF协议中一种特殊区域类型，**核心功能是通过过滤外部路由（Type-5 LSA）减少区域内路由器的链路状态数据库（LSDB）规模和路由表条目**，从而降低设备计算开销

其设计背景在于：

- **简化末端网络**：适用于处于自治系统（AS）边缘且无需外部路由的区域，例如分支机构或边缘子网。
- **优化性能**：通过默认路由替代外部路由，减少SPF算法计算频率和内存占用

1. Stub区域

- 定义：

Stub区域位于AS系统的边界，**是只有一个ABR的非骨干区域**，为保证自治系统外的路由依旧可达，Stub区域的ABR将生成一条缺省路由，并发布给Stub区域中的其他非ABR设备

Stub区域禁止外部路由（Type-5 LSA）的传播，区域内路由器仅依赖ABR生成的**默认路由（0.0.0.0/0）**访问自治系统（AS）外部网络

- 功能

- 减少LSDB（链路状态数据库）中Type-5 LSA的数量，降低路由计算开销

- 保留区域间路由 (Type-3 LSA) , 允许区域内与区域间通信
- ABR生成一条**Type-3 LSA的默认路由** (0.0.0.0/0) , 替代AS外部路由
- 路由表类型
 - 区域内路由(Type1/2 LSA)

描述本区域内所有直连或者通过DR连接的网络
 - 区域间路由(Type3 LSA)

由ABR通告的其他ospf区域的路由摘要
 - 默认路由(Type3 LSA)

stub区域的ABR接收到TYPE5 LSA, ABR会额外生成一条**Type3默认路由 (0.0.0.0/0)** , 注入给Stub区域内的其他设备, 替代被过滤的外部路由 (Type5 LSA) , 确保Stub区域设备可通过默认路由访问外部网络

2. Totally Stub区域

- 定义

在Stub区域的基础上进一步禁止区域间路由 (Type-3 LSA) , 仅保留ABR下发的默认路由
- 功能
 - 彻底消除Type-3、Type-4、Type-5 LSA, 最小化路由表和LSDB规模
 - 所有非本地区域的路由均通过默认路由访问
 - ABR仅生成一条**Type-3默认路由**, 且禁止其他Type-3 LSA, 区域间路由也被过滤
- 路由表类型
 - 区域内路由(Type1/2 LSA)
 - 默认路由(Type3 LSA)

仅包含**区域内路由(Type)**和**默认路由**, 所有外部及区域间路由均通过默认路径转发

共同特点:

特性	Stub区域	Totally Stub区域
Type3 LSA处理	允许所有Type3 LSA	仅允许默认路由的Type3 LSA
路由表内容	区域间路由 + 默认路由	仅默认路由
适用场景	需要访问其他区域但无需外部路由	极致简化路由表 (如低性能设备)

- 骨干区域 (Area 0) 不能配置为Stub或Totally Stub区域, 否则会导致路由信息隔离
- 区域内所有路由器必须启用相同配置, 否则邻居关系无法建立
- **禁止存在ASBR**, 否则外部路由无法注入
- Stub区域一般是AS的边缘ospf区域
- Stub区域都会过滤掉Type5 LSA的外部路由
- NSSA区域

基本定义与设计目的

NSSA (Not-So-Stubby Area) 是OSPF协议中一种特殊的末节区域变形, **在保留Stub区域过滤外部路由 (Type-5 LSA) 特性的同时, 允许本区域存在ASBR并引入外部路由, 不允许外部AS路由引入本区域**。其核心设计目的是解决以下场景需求

- **需要引入外部路由**: 如分支机构需通过ASBR将RIP/BGP等外部路由注入OSPF域。

- **限制LSA泛洪范围**：避免外部路由以Type-5 LSA形式直接进入区域，而是通过Type-7 LSA本地化处理，**仅在NSSA区域内传播**。
- **优化网络资源**：减少LSDB（链路状态数据库）的规模，降低设备计算和存储压力

工作机制与LSA交互

1. type7 LSA的生成与传播

- ASBR角色
NSSA区域内的ASBR将外部路由封装为**Type-7 LSA**（NSSA External LSA），仅在本区域内泛洪
- ABR角色
当Type-7 LSA到达NSSA区域的ABR时，ABR会将其转换为**Type-5 LSA**（External LSA），并泛洪到其他普通区域（如Area 0）

2. 默认路由注入

- NSSA区域的ABR会生成一条**Type-3 LSA的默认路由（0.0.0.0/0）**，用于替代外部路由缺失，确保ospf区域内外通信可达
- 在**Totally NSSA区域**中，ABR进一步过滤所有Type-3 LSA（区域间路由），将以转换成默认路由注入区域，实现极致精简

3. LSA类型允许范围

LSA类型	NSSA区域允许	Totally NSSA区域允许
Type-1/2	✓（区域内）	✓（区域内）
Type-3	✓（区域间）	✗（仅默认路由）
Type-7	✓（外部路由）	✓（外部路由）
Type-4/5	✗	✗

4. 隔离性

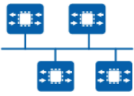
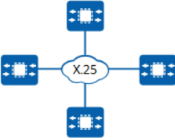
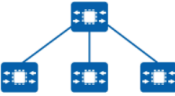

其他区域的Type5 LSA（外部路由）**禁止进入NSSA区域**

5. 与Stub区域对比

特性	Stub区域	NSSA区域
允许ASBR存在	✗（禁止引入外部路由）	✓（允许通过Type-7 LSA引入）
默认路由类型	Type-3 LSA	Type-3 LSA（NSSA） 或Type-7 LSA（Totally NSSA）
外部路由处理	完全过滤Type-5 LSA	通过Type-7 LSA本地化处理
适用场景	纯末端区域（无需外部路由）	需引入外部路由的末端区域

3. ospf支持的网络类型

默认局域网我们使用的ospf网络类型为广播类型

网络类型	链路层协议	图示
广播类型 (Broadcast)	<ul style="list-style-type: none"> Ethernet FDDI 	
NBMA类型 (Non-broadcast multiple access)：非广播且多点可达的网络	X.25	
点到多点P2MP类型 (Point-to-Multipoint)	没有一种链路层协议会被缺省的认为是Point-to-Multipoint类型。点到多点必须是由其他的网络类型强制更改的。常用做法是将非全连通的NBMA改为点到多点的网络。	
点到点P2P类型 (point-to-point)	<ul style="list-style-type: none"> PPP LAPB 	

4. ospf的LSA类型

OSPF以LSA(Link State Advertisement，链路状态通告)的形式来描述路由信息

LSA类型	角色	说明	作用区域 (area)
Router-LSA(Type1)	每个路由器	描述了路由器的链路状态和代价，在始发路由器所在区域内传播	始发路由器所在区域内
Network-LSA(Type2)	DR	由NBMA类型网络上的DR始发，描述本网段的链路状态，在DR所在区域内传播	始发路由器所在区域内
Network-summary-LSA(Type3)	ABR	由ASBR始发，描述到其他区域或到AS的外部路由，通告给非Totally STUB, Totally NSSA区域	非Totally STUB, Totally NSSA区域
ASBR-summary-LSA(Type4)	ABR	由ABR始发，描述到ASBR的路由，通告给除ASBR所在区域外的其他区域，主要作用就是通告ASBR的位置和Type5一起使用，当ASBR在普通区域时候(非AREA 0和非NSSA)	普通区域，骨干区域
AS-external-LSA(Type5)	ASBR	由ASBR始发，描述到AS外部的路由，通告给非STUB，NSSA区域	普通区域，骨干区域
NSSA-LSA(Type7)	ASBR	由ASBR始发，描述到AS外部的路由，仅在NSSA区域内传播	NSSA区域
Opaque LSA9(Type9/10/11)		<p>Opaque LSA提供用于OSPF的拓展的通用机制，其中：</p> <p>Type9 LSA: 仅在接口所在网段范围内传播。用于支持GR的Grace LSA就是Type LSA的一种</p> <p>Type10 LSA: 在区域内传播，用于支持TE的LSA就是Type10 LSA的一种</p> <p>Type11 LSA: 在自治域(AS)内传播，目前没有实际应用</p>	

表5-5 LSA在各区域中传播的支持情况

区域类型	Router-LSA (Type1)	Network-LSA (Type2)	Network-Summary-LSA (Type3)	ASBR-Summary-LSA (Type4)	AS-external-LSA (Type5)	NSSA LSA (Type7)
普通区域（包括标准区域和骨干区域）	是	是	是	是	是	否
Stub区域	是	是	是	否	否	否
Totally Stub区域	是	是	否	否	否	否
NSSA区域	是	是	是	否	否	是
Totally NSSA区域	是	是	否	否	否	是

4. ospf的路由角色

ospf角色

设备角色	含义
区域内路由器(Internal Router)	该类设备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)	该类设备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。一般用于发布路由给所在ospf区域
骨干路由器(Backbone Router)	该类设备至少有一个接口属于骨干区域。所有的ABR和位于骨干区域的内部路由器都是骨干路由器
自治系统边界路由器ASBR(AS Boundary Router)	与其他AS交换路由信息的设备称为ASBR。 建议配置ASBR在骨干区域 ，减少TYPE4 LSA的生成和传播，优化性能

ospf角色和区域的关系

设备角色	存在区域
Internal Router	所有ospf区域
ABR	所有ospf区域
Backbone Router	骨干区域
ASBR	骨干区域，普通区域，NASS区域，Totally NSSA区域

6. ospf的报文类型

OSPF用IP报文直接封装协议报文，协议号为89。OSPF分为5中报文: Hello报文，DD报文，LSR报文，LSU报文和LSAck报文

报文类型	报文作用
Hello报文	周期性发送，用来发现和维持OSPF邻居关系
DD报文	描述本地LSDB的摘要信息，用于两台设备进行数据库同步和ospf之间协商DR和BDR
LSR报文	用于向对方请求所需的LSA，设备只有在OSPF邻居双方成功交换DD报文后才会向对方发送LSR报文

报文类型	报文作用
LSU报文	用于向对方发送其所需要的LSA
LSAck报文	用于对收到的LSA进行确认

OSPF不同报文在不同网络之间的传播方式，由于目前只能用到广播网络，所以其他三种网络略过

表5-11 Hello报文的属性

网络类型	发送地址类型	发送时间间隔类型	时间间隔缺省值
广播	组播地址	HelloInterval	缺省情况下，接口发送Hello报文的时间间隔的值为10秒。
NBMA	单播地址	<ul style="list-style-type: none"> DR、BDR、有能力成为DR的设备时，发送时间间隔为HelloInterval。 邻居的状态为Down时，发送时间间隔为Pollinterval，其他情况为HelloInterval。 	缺省情况下，接口发送Hello报文的时间间隔的值为30秒。 缺省情况下，接口发送Pollinterval间隔为120秒。
P2P	组播地址	HelloInterval	缺省情况下，接口发送Hello报文的时间间隔的值为10秒。
P2MP	组播地址	HelloInterval	缺省情况下，接口发送Hello报文的时间间隔的值为30秒。

报文/网络类型	广播网络
Hello报文	组播地址 224.0.0.5 周期性发送，DR和BDR监听 224.0.0.6 （仅DR/BDR处理该组播地址）
DD报文	协商主从：通过组播地址224.0.0.5发送空DBD报文 数据交换阶段：主路由器（Router ID较大者）通过单播或组播发送携带LSA摘要的DBD报文
LSR报文	单播发送给DR/BDR，请求缺失的LSA
LSU报文	DR通过组播224.0.0.5向所有邻居转发更新
LSAck报文	通过组播或者单播确认LSU接收

网络类型	DR/BDR选举	Hello传播方式	其他报文传播方式
广播多路访问	✓（需选举）	组播224.0.0.5 ② ④	组播/单播（依赖DR角色）
非广播多路访问	✓（需选举）	单播（静态配置邻居） ②	单播
点对点	✗	组播224.0.0.5 ② ③	组播
点对多点	✗	组播224.0.0.5 ③	单播（模拟P2P链路）

OSPF的5种报文格式和LSA报文格式参考其他文档或者报文，此处省略

7. ospf的DR和BDR选举

在OSPF协议中，DR（Designated Router，指定路由器）和BDR（Backup Designated Router，备份指定路由器）在多路访问网络（如broadcast、NBMA）中承担关键角色，其核心作用可总结为以下四方面

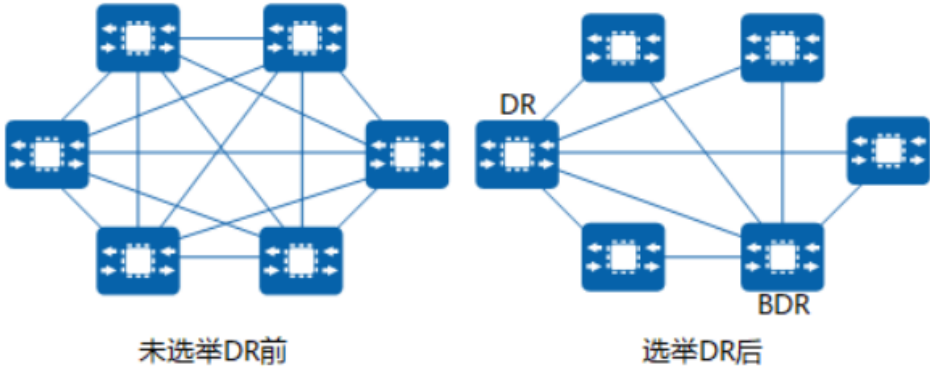
角色	核心作用	关键机制
DR	减少LSA泛洪、集中管理链路状态	生成Type-2 LSA、优化邻接关系
BDR	快速接管DR职责、保障高可用性	实时同步LSDB、非抢占式故障恢复
DROther	仅与DR/BDR交互，降低资源消耗	不参与LSA泛洪、依赖默认邻接关系

1. 优化网络流量与资源消耗

- 减少LSA泛洪

在广播网和NBMA网络中，任意两台设备之间都要传递路由信息。如图5-14所示，网络中有n台设备，则需要建立 $n*(n-1)/2$ 个邻接关系。这使得任何一台设备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定义了指定路由器DR和备份指定路由器BDR。通过选举产生DR（Designated Router）后，所有设备都只将信息发送给DR，由DR将网络链路状态LSA广播出去。除DR和BDR之外的设备（称为DR Other）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网络上各设备之间邻接关系的数量。

图5-14 选举DR前后对比图



如果DR由于某种故障而失效，则网络中的设备必须重新选举DR，并与新的DR同步。这需要较长的时间，在这段时间内，路由的计算有可能是不正确的。为了能够缩短这个过程，OSPF提出了BDR（Backup Designated Router）的概念。BDR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设备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，并且邻接关系已建立，所以这个过程非常短暂，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不是人为指定的，而是由本网段中所有的设备共同选举出来的。设备接口的DR优先级决定了该接口在选举DR、BDR时所具有资格。本网段内DR优先级大于0的设备都可作为“候选人”。选举中使用的“选票”就是Hello报文。每台设备将自己选出的DR写入Hello报文中，发给网段上的其他设备。当处于同一网段的两台设备同时宣布自己是DR时，DR优先级高者胜出。如果优先级相等，则Router ID大者胜出。如果一台设备的优先级为0，则它不会被选举为DR或BDR。

- 避免全网装LSA泛洪，降低带宽消耗和路由器的CPU负载

- 简化邻接关系管理

DROther路由器仅与DR和BDR建立邻接关系，无需与其他DROther直接通信，DROther之间仅建立完邻居关系就结束了。减少邻接关系数量，简化拓扑复杂度

2. 提升网络稳定性与连续性

- BDR的快速接管机制

BDR实时同步DR的链路状态信息，当DR失效时，BDR能在毫秒级内接管DR职责，无需重新选举。DROther与BDR已预先建立邻接关系，确保网络快速恢复

- **优势：**避免因DR故障导致网络长时间中断，保障高可用性

- 非抢占式选举机制

DR/BDR选举完成后，即使新增更高优先级的路由器，也不会触发重新选举。这种“终身制”机制避免了频繁选举带来的网络震荡

3. LSA的集中管理与高效分发

- DR的LSA汇总与分发

DR汇总本网段的路由信息生成**Type-2 Network LSA**（描述多路访问网络的拓扑），并通过LSU报文统一泛洪至全区域。其他路由器依赖该LSA构建一致的链路状态数据库（LSDB）

- BDR的备份同步

BDR与DR同步所有LSA更新，确保其LSDB与DR完全一致。当DR失效时，BDR能立即基于最新LSDB生成新的Type-2 LSA，维持路由计算的准确性

4. 选举机制与优先级控制 ---- 重点

- 选举规则

- 接口优先级（默认为1）越高越优先成为DR/BDR，优先级为0的路由器不参与选举
- 优先级相同时，Router ID（通常取最大IP地址）较大的路由器胜出

- 选举顺序

选举时**先选BDR再选DR**。若当前无DR，BDR将自动晋升为DR，随后重新选举新的BDR。例如，当原有DR故障时，BDR立即成为DR，并触发新一轮BDR选举

8. ospf的状态机转换 ---- 复杂

1. 邻居和邻接关系

- 邻居

OSPF设备启动后，会通过OSPF接口向外发送Hello报文，收到Hello报文的OSPF设备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，两端设备互为邻居。

- 邻接

形成邻居关系后，如果两端设备成功交换DD报文和LSA，才建立邻接关系

邻居和邻接状态是通过OSPF状态机表现的，OSPF共有8种邻居状态机，分别是Down、Attempt、Init、2-way、Exstart、Exchange、Loading、Full，如图5-13所示。Down、2-way、Full是稳定状态，Attempt、Init、Exstart、Exchange、Loading是不稳定状态。不稳定状态是在转换过程中瞬间存在的状态，一般不会超过几分钟

图5-13 OSPF邻居状态机

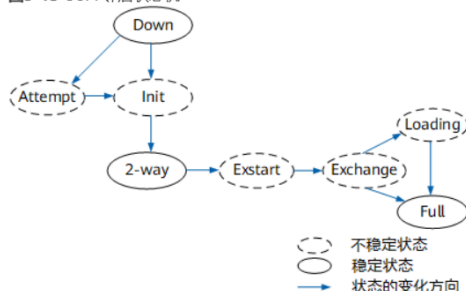


表5-22 OSPF邻居状态机及含义

状态机	含义
Down	邻居会话的初始阶段。表明没有在邻居失效时间间隔内收到来自邻居设备的Hello报文。
Attempt	处于本状态时，定期向手工配置的邻居发送Hello报文。 说明： Attempt状态只适用于NBMA类型的接口。
Init	本状态表示已经收到了邻居的Hello报文，但是对端并没有收到本端发送的Hello报文。
2-way	互为邻居。本状态表示双方互相收到了对端发送的Hello报文，建立了邻居关系。如果不形成邻接关系则邻居状态机就停留在此状态，否则进入Exstart状态。
Exstart	协商主从关系。建立主从关系主要是为了保证在后续的DD报文交换中能够有序地发送。
Exchange	交换DD报文。本端设备将本地的LSDB用DD报文来描述，并发给邻居设备。
Loading	正在同步LSDB。两端设备发送LSR报文向邻居请求对方的LSA，同步LSDB。
Full	建立邻接。两端设备的LSDB已同步，本端设备和邻居设备建立了邻接关系。

2. 邻接关系

在上述邻居状态机的变化中，有两处决定是否建立邻接关系：

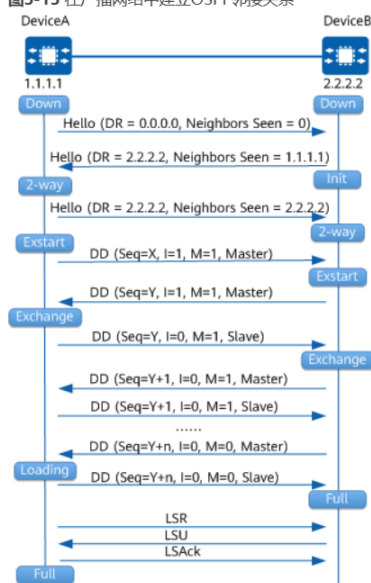
- 当与邻居的双向通讯初次建立时。
- 当网段中的DR和BDR发生变化时。

OSPF在不同网络类型中，OSPF邻接关系建立的过程不同，分为广播网络，NBMA网络，点到点/点到多点网络

3. 在广播网络中建立OSPF邻接关系

在广播网络中，DR、BDR和网段内的每一台设备都形成邻接关系，但DR other之间只形成邻居关系

图5-15 在广播网络中建立OSPF邻接关系



如图5-15所示，在广播网络中建立OSPF邻接关系的过程如下：

1. 建立邻居关系

1. DeviceA的一个连接到广播类型网络的接口上激活了OSPF协议，并发送了一个Hello报文（使用组播地址224.0.0.5）。此时，DeviceA不确定DR是哪台路由器（DR=0.0.0.0），也不确定邻居是哪台设备（Neighbors Seen=0）。
2. DeviceB收到DeviceA发送的Hello报文后，发送一个Hello报文回应给DeviceA，并且在报文中的Neighbors Seen字段中填入DeviceA的Router ID（Neighbors Seen=1.1.1.1），表示已收到DeviceA的Hello报文，并且宣告DR路由器是DeviceB（DR=2.2.2.2），然后DeviceB的邻居状态机置为Init。
3. DeviceA收到DeviceB回应的Hello报文后，将邻居状态机置为2-way状态，下一步双方开始发送各自的链路状态数据库。

在广播网络中，两个接口状态是DR Other的设备之间将停留在此步骤。

2. 主/从关系协商、DD报文交换

1. DeviceA首先发送一个DD报文，宣称自己是Master（MS=1），并规定序列号Seq=x。I=1表示这是第一个DD报文，报文中并不包含LSA的摘要，只是为了协商主从关系。M=1说明这不是最后一个报文。

为了提高发送的效率，DeviceA和DeviceB首先了解对端数据库中哪些LSA是需要更新的，如果某一条LSA在LSDB中已经存在，就不再需要请求更新了。为了达到这个目的，DeviceA和DeviceB先发送DD报文，DD报文中包含了对LSDB中LSA的摘要描述（每一条摘要可以唯一标识一条LSA）。为了保证在传输的过程中报文传输的可靠性，在DD报文的发送过程中需要确定双方的主从关系，作为Master的一方定义一个序列号Seq，每发送一个新的DD报文将Seq加一，作为Slave的一方，每次发送DD报文时使用接收到的上一个Master的DD报文中的Seq。

2. DeviceB在收到DeviceA的DD报文后，将DeviceB的邻居状态机改为Exstart，并且回应了一个DD报文（该报文中同样不包含LSA的摘要信息）。由于DeviceB的Router ID较大，所以在报文中DeviceB认为自己是Master，并且重新规定了序列号Seq=y。
3. DeviceA收到报文后，同意了DeviceB为Master，并将DeviceA的邻居状态机改为Exchange。DeviceA使用DeviceB的序列号Seq=y来发送新的DD报文，该报文开始正式地传送LSA的摘要。在报文中DeviceA将MS=0，说明自己是Slave。
4. DeviceB收到报文后，将DeviceB的邻居状态机改为Exchange，并发送新的DD报文来描述自己的LSA摘要，此时DeviceB将报文的序列号改为Seq=y+1。

上述过程持续进行，DeviceA通过重复DeviceB的序列号来确认已收到DeviceB的报文。DeviceB通过将序列号Seq加1来确认已收到DeviceA的报文。当DeviceB发送最后一个DD报文时，在报文中写上M=0。

3. LSDB同步（LSA请求、LSA传输、LSA应答）

1. DeviceA收到最后一个DD报文后，发现DeviceB的数据库中有许多LSA是自己没有的，将邻居状态机改为Loading状态。此时DeviceB也收到了DeviceA的最后一个DD报文，但DeviceA的LSA，DeviceB都已经有了，不需要再请求，所以直接将DeviceA的邻居状态机改为Full状态。
2. DeviceA发送LSR报文向DeviceB请求更新LSA。DeviceB用LSU报文来回应DeviceA的请求。DeviceA收到后，发送LSAck报文确认。

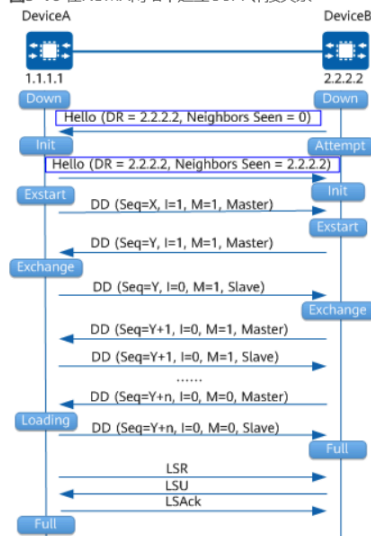
上述过程持续到DeviceA中的LSA与DeviceB的LSA完全同步为止，此时DeviceA将DeviceB的邻居状态机改为Full状态。当设备交换完DD报文并更新所有的LSA后，此时邻接关系建立完成。

4. 在NBMA网络中建立OSPF邻接关系

NBMA网络和广播网络的邻接关系建立过程只在交换DD报文前不一致，如图5-16中的深蓝色标记。

在NBMA网络中，所有设备只与DR和BDR之间形成邻接关系。

图5-16 在NBMA网络中建立OSPF邻接关系



如图5-16所示，在NBMA网络中建立OSPF邻接关系的过程如下：

1. 建立邻居关系

1. DeviceB向DeviceA的一个状态为Down的接口发送Hello报文后，DeviceB的邻居状态机置为Attempt。此时，DeviceB认为自己是DR路由器（DR=2.2.2.2），但不确定邻居是哪台设备（Neighbors Seen=0）。
2. DeviceA收到Hello报文后将邻居状态机置为Init，然后再回复一个Hello报文。此时，DeviceA同意DeviceB是DR路由器（DR=2.2.2.2），并且在Neighbors Seen字段中填入邻居设备的Router ID（Neighbors Seen=2.2.2.2）。

在NBMA网络中，两个接口状态是DR Other的设备之间将停留在此步骤。

2. 主/从关系协商、DD报文交换过程同广播网络的邻接关系建立过程。

3. LSDB同步（LSA请求、LSA传输、LSA应答）过程同广播网络的邻接关系建立过程。

5. 在点到点/点到多点网络中建立OSPF邻接关系

在点到点/点到多点网络中，邻接关系的建立过程和广播网络一样，唯一不同的是不需要选举DR和BDR，DD报文是组播发送的

9. ospf的路由计算

OSPF协议路由的计算过程可简单描述如下：

1. 建立邻接关系，两端设备通过以下步骤建立邻接关系：

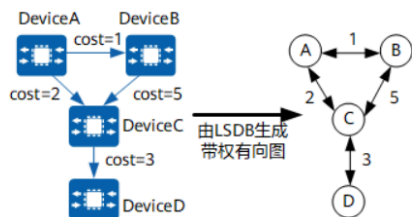
- 本端设备通过接口向外发送Hello报文与对端设备建立邻居关系
- 两端设备尽心主/从关系协商和DD报文交换
- 两端设备通过对比LSDB数据库，更新LSA完成链路状态数据库LSDB的同步

2. 路由计算

OSPF采用SPF（Shortest Path First）算法计算路由，可以达到路由快速收敛的目的。

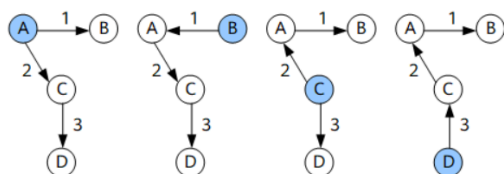
OSPF协议使用链路状态通告LSA描述网路拓扑，即有向图。Router LSA描述设备之间的链接和链路的属性。设备将LSDB转换成一张带权的有向图，这张图便是对整个网络拓扑结构的真实反映。各个设备得到的有向图是完全相同的。如图5-17所示。

图5-17 由LSDB生成带权有向图



每台设备根据有向图，使用SPF算法计算出一棵以自己为根的最短路径树，这棵树给出了到自治系统中各节点的路由。如图5-18所示

图5-18 最短路径树



当OSPF的链路状态数据库LSDB发生改变时，需要重新计算最短路径，如果每次改变都立即计算最短路径，将占用大量资源，并会影响设备的效率，通过调节SPF的计算间隔时间，可以抑制由于网络频繁变化带来的占用过多资源。缺省情况下，SPF时间间隔为5秒钟。

具体的计算过程如下

1. 计算区域内路由

Router LSA和Network LSA可以精确的描述出整个区域内部的网络拓扑，根据SPF算法，可以计算出到各个设备的最短路径。根据Router LSA描述的与设备的网段情况，得到了到达各个网段的具体路径

- 在计算过程中，如果有多条等价路由，SPF算法会将所有等价路径都保留在LSDB中。

2. 计算区域外路由

从一个区域内部看，相邻区域的路由对应的网段好像是直接连接在ABR上，而到ABR的最短路径已经在上一过程中计算完毕，所以直接检查Network Summary LSA，就可以很容易得到这些网段的最短路径。另外，ASBR也可以看成是连接在ABR上，所以ASBR的最短路径也可以在这个阶段计算出来

- 如果进行SPF计算的设备是ABR，那么只需要检查骨干区域的Network Summary LSA。
- 如果存在多个到ASBR的路径，需要注意各设备类型上intra和inter类型ASBR的优选规则是否一致，如果存在不一致可能发生环路。

RFC1583兼容模式和不兼容模式会影响选路规则，另外在相同模式下，不同厂商设备对该场景的选路规则的也可能存细微差异，在已知选路规则存在差异的情况下，本产品提供了命令行对ASBR在RFC1583兼容模式和不兼容模式的选路规则进行调整，可以在一定程度上避免环路。

3. 计算自治系统外路由

由于自治系统外部的路由可以看成是直接连接在ASBR上，而到ASBR的最短路径在上一过程中已经计算完毕，所以逐条检查AS External LSA就可以得到到达各个外部网络的最短路径

10. ospf的路由类型

OSPF 的路由简单可以分为，区域内的路由，区域间的路由，AS 域外部路由

自治系统AS区域内和区域间路由描述的是AS内部的网络结构，AS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Type1和Type2两类**

OSPF 的路由简单可以分为，区域内的路由，区域间的路由，AS 域外部路由。

一般而言，区域内的路由不做标识，区域间的路由标识为“IA”。AS 域外部路由根据路由代价的计算方式不同分为两类：“E1”和“E2”。

FRRouting 配置指南

第一类外部路由 E1：路由代价=本地到 ASBR 的代价+ASBR 到目标网络的代价。第二类外部路由 E2：路由代价=ASBR 到目标网络的代价。

在 redistribute 的时候通过 metric-type 指定引入的外部路由为哪类。默认为 E1

表5-7 OSPF路由类型

路由类型	含义
Intra Area	区域内路由。
Inter Area	区域间路由。
第一类外部路由（Type1 External）	这类路由的可信程度高一些。 到第一类外部路由的开销=本设备到相应的ASBR的开销+ASBR到该路由目的地址的开销。 存在多个ASBR时，每条路径的开销值分别按照“第一类外部路由的开销=本设备到相应的ASBR的开销+ASBR到该路由目的地址的开销”计算，得到的开销值用于路由选路。
第二类外部路由（Type2 External）	这类路由的可信度比较低，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，OSPF计算路由开销时只考虑ASBR到自治系统之外的开销，即到第二类外部路由的开销=ASBR到该路由目的地址的开销。 存在多个ASBR时，先比较引入路由的开销值，选取开销值最小的ASBR路径进行路由引入。如果引入路由的开销值相同，再比较本设备到相应的ASBR的开销值，选取开销值最小的路径进行路由引入。

针对不同的区域，其中路由器存在的路由情况如下表：（区域内的路由都存在，因此下表中只说明区域外的路由）

区域	区域内路由器的路由表中存在那些本区域外的路由
普通区域	IA； E1 或者 E2。
Stub 区域	IA。
NSSA 区域	IA； E1 或者 E2。（仅包含本区域 ASBR 发布的路由）
Totally Stub 区域	IA:仅缺省路由
Totally NSSA 区域	IA:仅缺省路由； E1 或者 E2。（仅包含本区域 ASBR 发布的路由）

11. 外部AS路由注入ospf的area的过程

建议把ASBR直接配置在area0区域，减少Type4 LSA的生成和传递开销，因为在area0区域的ospf路由器的位置是其他区域都可以获得的

建议在ASBR上进行路由重发布的时候，在ABR上配置路由聚合功能，减少区域间路由条目数量

场景	Type3 LSA需求	Type4 LSA需求
ASBR位于Area 0	不需要 (Type5直接泛洪)	不需要 (ASBR位置已通过Area 0泛洪)
ASBR位于普通区域	不需要 (Type5直接泛洪)	需要 (ABR生成Type4通告ASBR位置)

- **Type3 LSA与外部路由无关**: Type3 LSA仅用于区域间内部路由摘要, 外部路由通过Type5 LSA独立泛洪 3 6。
- **Type4 LSA的必要性**: 当ASBR不在骨干区域时, 必须通过Type4 LSA跨区域通告ASBR位置, 否则外部路由可能因无法解析ASBR而不可达 6 7。
- **特殊区域例外**: 在Stub/NSSA区域中, Type5 LSA会被过滤, 由ABR下发默认路由或通过Type7 LSA转换 2 3。

3. 关键限制

- 若未配置4类LSA, 其他区域的路由器即使收到5类LSA, 也可能因无法解析ASBR的位置而导致外部路由不可达 1 6。
- 在**Stub/NSSA区域**中, ABR会过滤5类LSA, 改为下发默认路由 (0.0.0.0/0) 或通过7类LSA (NSSA专用) 转换外部路由 3 6。

x. 盲区解释

- **AREA和AS不是一个东西**

AS(自治系统)定义: AS是一个独立管理的网络域, 通常由单一组织或运营商控制, 具有统一的路由策略。例如, 一个大型企业的内网或ISP的网络可视为一个AS

AREA(区域)定义: Area是OSPF协议内部的逻辑分区, 用于优化链路状态数据库 (LSDB) 的规模及路由计算效率。例如, 骨干区域 (Area 0) 和其他普通区域 (如Area 1、Area 2)

1. AS的核心功能

- **路由策略独立性**: 不同AS可独立选择内部路由协议 (如OSPF、EIGRP) 和外部路由协议 (如BGP) 6 10。
- **外部路由引入**: AS边界路由器 (ASBR) 负责将外部路由 (如BGP或静态路由) 注入OSPF域, 通过5类LSA或7类LSA (NSSA专用) 传播 1 8。

2. Area的核心功能

- **LSDB优化**: 通过划分Area, 限制LSA泛洪范围。例如, 普通区域的路由器仅需维护本区域的LSDB, 减少存储和计算开销 3 5。
- **路由控制**: 特殊区域 (如Stub、NSSA) 通过过滤特定LSA类型 (如5类LSA) 简化路由表。例如, Stub区域仅接收默认路由, 不处理外部路由 3 5 8。

- **AS是自治系统级概念**, 用于区分不同管理域, 依赖BGP实现跨域路由。
 - **Area是OSPF内部子域**, 用于优化路由计算和LSDB管理, 依赖ABR/ASBR实现跨区域/跨协议路由交互。
 - **两者层级不同**: AS是全局逻辑边界, Area是局部优化结构, 共同支撑OSPF在大规模网络中的高效运行
- **外部AS路由注入ospf的area的过程**

手动配置ASBR进行路由重发布

二、区域外路由的传递流程

1. 外部路由的注入

ASBR将外部路由转换为5类LSA，并泛洪到**所在区域**。若ASBR位于非骨干区域，该5类LSA需通过本区域的ABR传递到骨干区域（Area 0） 1 5 。

2. ABR的辅助角色

- **4类LSA的生成**：当ASBR所在区域与其他区域隔离时，ABR会生成**4类LSA（ASBR Summary LSA）**，向其他区域通告如何到达ASBR的Router-ID 1 7 。
- **路由可达性保障**：其他区域的路由器通过4类LSA学习到ASBR的位置后，再结合5类LSA中的外部路由信息，最终形成完整的外部路由表项 5 6 。

3. 关键限制

- 若未配置4类LSA，其他区域的路由器即使收到5类LSA，也可能因无法解析ASBR的位置而导致外部路由不可达 1 6 。
- 在**Stub/NSSA区域**中，ABR会过滤5类LSA，改为下发默认路由（0.0.0.0/0）或通过7类LSA（NSSA专用）转换外部路由 3 6 。



- **ABR不直接向ASBR传递路由**，而是负责将ASBR的位置信息（通过4类LSA）和外部路由（通过5类LSA）**转发至其他区域**。
- **ASBR独立完成外部路由的生成**，但需依赖ABR的4类LSA确保跨区域可达性。
- 特殊区域（如Stub/NSSA）通过限制LSA类型简化路由表，但需ABR额外下发默认路由或转换LSA类型 3 6 。

简单回答：

OSPF的区域外路由传递不需要ABR直接传递给ASBR，而是需要ABR将ASBR的位置信息（4类LSA）和外部路由本身（5类LSA）传递到其他区域，以此实现跨区域的外部路由可达 1 5 6 。

- 如何确定ASBR角色？

哪个ospf路由器进行路由重发布引入外部路由，认为此路由器就是ASBR路由器，但ASBR仅存在普通区域，骨干区域，NSSA区域，Totally NSSA区域，**一般仅配置ASBR放在骨干区域和NSSA区域**

- ASBR位于骨干区域

可以减少Type4 LSA传播，因为如果ASBR位于骨干区域内，ASBR位置对其他区域是可知的，不需要骨干区域的ABR额外使用Type4 LSA来通告ASBR的位置

- ASBR位于普通区域

ASBR位于普通区域，需要该区域的ABR发送Type4 LSA报文来向其他普通区域，骨干区域来通告ASBR的位置，防止这两个区域即使收到了外部AS路由，但是由于到ASBR位置不可知，导致无法生成可达路由

其他区域的路由器需**同时接收Type4 LSA和Type5 LSA**，才能构建完整的外部路由表项

- ASBR位于NSSA区域(包括Totally NSSA区域)

- DR和BDR选举具体过程

DR（Designated Router）和BDR（Backup Designated Router）的选举和作用范围确实限定在同一个网段内，这里的“网段”指的是一个**广播域或子网**，而不是整个OSPF区域或自治系统

每个网段都有一个DR和BDR

1. 基于网段的选举

DR/BDR的选举是针对**同一广播域内的所有路由器接口**进行的。例如，若多个OSPF路由器通过以太网交换机连接在同一子网（如 192.168.1.0/24），则该子网构成一个独立的选举单元，会选出一个DR和一个BDR

- 关键特性

同一网段内的所有路由器接口参与选举，不同网段的接口各自独立选举

- 示例

若一个OSPF区域包含两个子网（如10.1.1.0/24和10.2.2.0/24），每个子网会分别选举自己的DR和BDR

2. 与OSPF区域无关

OSPF区域（Area 0或其他区域）可能包含多个网段，每个网段都有自己的DR和BDR。因此，**一个区域内可以存在多个DR和BDR**，每个对应不同的网段

DR和BDR选举依赖

ospf接口的优先级

```
interface eth1
ip ospf priority ?
```

ospf路由器的router-id

```
ospf router-id ?
```

当处于同一网段的两台设备同时宣布自己是DR时，DR优先级高者胜出；

如果优先级相等，则Router ID大者胜出。如果一台设备的优先级为0，则它不会被选举为DR或BDR