

## OSPF 域内路由

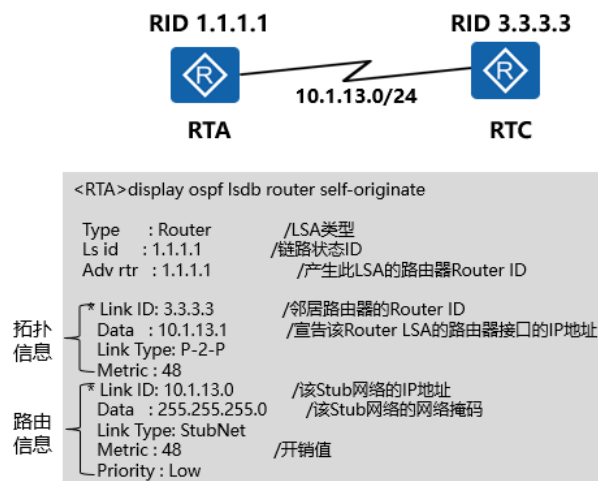


### 前言

- 本课程主要介绍OSPF如何计算区域内路由，内容主要包括如何使用Router-LSA和Network-LSA描述拓扑信息和路由信息，以及如何构建最短路径树。



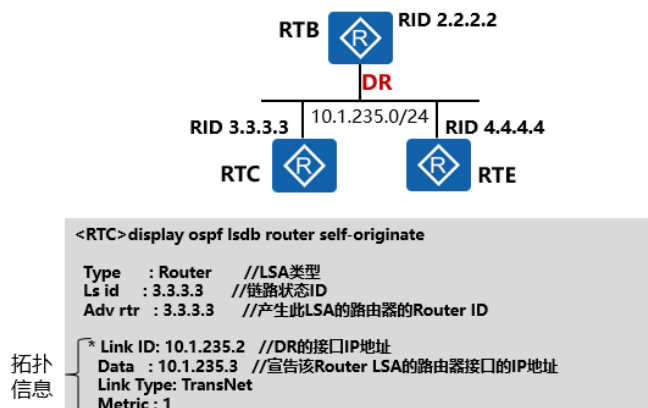
### Router-LSA描述P2P网络



- 每台 OSPF 路由器使用一条 Router-LSA 描述本区域内的链路状态信息。LSA 头部的三个字段含义如下：
  - Type : LSA 类型，Router-LSA 是一类 LSA。
  - LS id : 链路状态 ID。
  - Adv rtr : 产生此 Router-LSA 的路由器 Router ID。
- 一条 Router-LSA 可以描述多条链接，每条链接描述信息由 Link ID，Data，Link Type 和 Metric 组成，其关键字含义如下：
  - Type : 链接类型（并非 OSPF 定义的四种网络类型），Router LSA 描述的链接类型主要有：

- Point-to-Point：描述一个从本路由器到邻居路由器之间的点到点链接，属于拓扑信息。
- TransNet：描述一个从本路由器到一个 Transit 网段（例如 MA 网段或者 NBMA 网段）的链接，属于拓扑信息。
- StubNet：描述一个从本路由器到一个 Stub 网段（例如 Loopback 接口）的链接，属于路由信息。
- Link ID：此链接的对端标识，不同链接类型的 Link ID 表示的意义也不同。
- Data：用于描述此链接的附加信息，不同的链接类型所描述的信息也不同。
- Metric：描述此链接的开销。

## Router-LSA描述MA网络或NBMA网络



- 思考：网络号/掩码在哪里？
- 在描述 MA 或 NBMA 网络类型的 Router-LSA 中，Link ID 为 DR 的接口 IP 地址，Data 为本地接口的 IP 地址。
- 如图所示，RTB、RTC、RTE 之间通过以太网互连，以 RTC 产生的 LSA 为例，Link ID 为 DR 的接口 IP 地址（10.1.235.2），Data 为本地路由器连接此 MA 网络的接口 IP 地址（10.1.235.3），Link Type 为 TransNet，Metric 表示到达 DR 的开销值。

- TransNet 描述的链接中仅包括与 DR 的连接关系及开销，没有网络号/掩码及共享链路上其他路由器的任何信息。



## Network-LSA描述MA网络或NBMA网络

```

<RTB>display ospf lsdb network self-originate

OSPF Process 1 with Router ID 2.2.2.2
Area: 0.0.0.0
Link State Database

Type      : Network          //LSA类型
LS id     : 10.1.235.2       //DR接口的IP地址
Adv rtr   : 2.2.2.2          //DR的Router ID

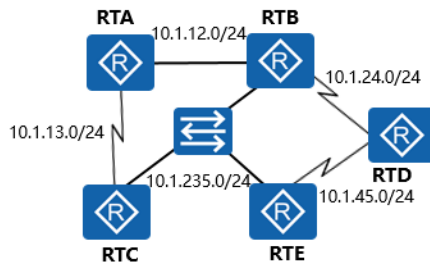
Net mask  : 255.255.255.0    //网络掩码
Priority  : Low
Attached Router 2.2.2.2 //连接到该网段的路由器列表
Attached Router 3.3.3.3
Attached Router 5.5.5.5
  
```

拓扑信息  
路由信息

- MA 共享网段或 NBMA 共享网段中的网络号/掩码及路由器间的链接关系，通过 Network-LSA 来呈现。
- 在 Network-LSA 中关键字的含义如下：
- Type：LSA 类型，Network-LSA 是二类 LSA。
- LS id：DR 的接口 IP 地址。
- Adv rtr：产生此 Network-LSA 的路由器 Router ID，即 DR 的 Router ID。
- Net mask：该网段的网络掩码。
- Attached Router：连接到该网段的路由器列表，呈现了此网段的拓扑信息。
- 基于上述字段表达的信息，LS id 和 Net mask 做与运算，即可得出该网段的 IP 网络号，另外，从 DR 路由器到其所连接的路由器的开销为 0。
- 从 Attached Router 部分可以看出，2.2.2.2、3.3.3.3、5.5.5.5 共同连接到该共享 MA 网段中，DR 路由器为 2.2.2.2，网络号 10.1.235.0，掩码 255.255.255.0。



## OSPF区域内LSDB



```
<RTA> display ospf lsdb
```

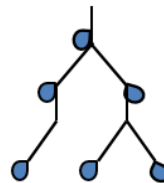
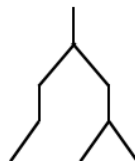
OSPF Process 1 with Router ID 1.1.1.1						
Link State Database						
Area: 0.0.0.0						
Type	LinkState ID	AdvRouter	Age	Len	Sequence	Metric
Router	4.4.4.4	4.4.4.4	1436	72	80000007	48
Router	2.2.2.2	2.2.2.2	1305	72	80000019	1
Router	1.1.1.1	1.1.1.1	1304	60	80000007	1
Router	5.5.5.5	5.5.5.5	1326	60	80000017	1
Router	3.3.3.3	3.3.3.3	1325	60	8000000F	1
Network	10.1.235.2	2.2.2.2	1326	36	80000004	0
Network	10.1.12.2	2.2.2.2	1305	32	80000001	0

- 如图所示，五台路由器互连并运行 OSPF 协议。以 RTA 的 LSDB 为例，其中包括了五个路由器产生的 Router-LSA，以及两个广播型网络中产生的 Network-LSA。
- LSDB：链路状态数据库。



## SPF算法

- Phase 1：构建SPF树。
  - 根据Router-LSA和Network-LSA中的拓扑信息，构建SPF树干。
- Phase 2：计算最优路由。
- 基于SPF树干和Router-LSA、Network-LSA中的路由信息，计算最优路由。

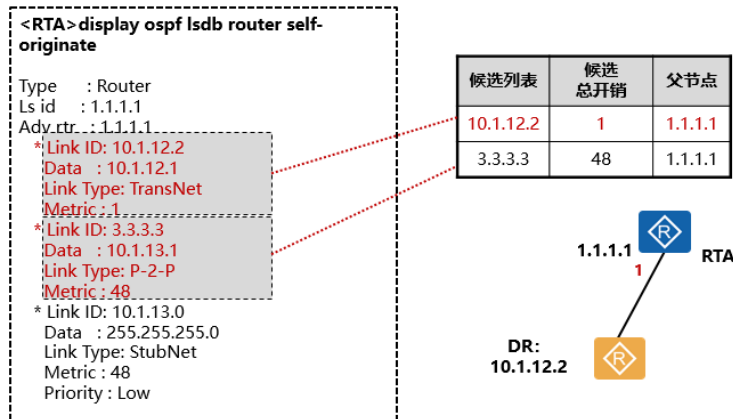


- 在一类 LSA 和二类 LSA 中，包括了拓扑信息和路由信息。
- OSPF 将依据 SPF 算法和各类 LSA 进行最短路径树的计算：

- Phase 1：依据一类 LSA 中的 Point to Point，TransNet 以及二类 LSA，构建 SPF 树。
- Phase 2：依据一类 LSA 中的 Stub 以及二类 LSA，计算最优路由。



## 构建SPF树 (1)



- OSPF 路由器将分别以自身为根节点计算最短路径树。
- 以 RTA 为例，计算过程如下：
- RTA 将自己添加到最短路径树的树根位置，然后检查自己生成的 Router-LSA，对于该 LSA 中所描述的每一个连接，如果不是一个 Stub 连接，就把该连接添加到候选列表中，分节点的候选列表为 Link ID，对应的候选总开销为本 LSA 中描述的 Metric 值和父节点到达根节点开销之和。
- 根节点 RTA 的 Router-LSA 中存在 TransNet 中 Link ID 为 10.1.12.2 Metric=1 和 P-2-P 中 Link ID 为 3.3.3.3 Metric=48 的两个连接，被添加进候选列表中。
- RTA 将候选列表中候选总开销最小的节点 10.1.12.2 移到最短路径树上，并从候选列表中删除。



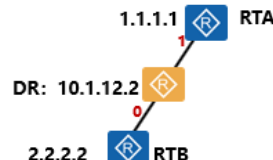
## 构建SPF树 (2)

<RTA>display ospf lsdb network 10.1.12.2

Type : Network  
Ls id : 10.1.12.2  
Adv rtr : 2.2.2.2  
  
Net mask : 255.255.255.0  
Priority : Low

Attached Router : 2.2.2.2  
Attached Router : 1.1.1.1

候选列表	候选总开销	父节点
3.3.3.3	48	1.1.1.1
2.2.2.2	1+0	10.1.12.2



- DR 被加入到 SPF 中，接下来检查 Ls id 为 10.1.12.2 的 Network-LSA。如果 LSA 中所描述的分节点在最短路径树上已经存在，则忽略该分节点。
- 如图所示，在 Attached Router 部分：
- 节点 1.1.1.1 被忽略，因为 1.1.1.1 已经在最短路径树上。
- 将节点 2.2.2.2，Metric=0，父节点到根节点的开销为 1，所以候选总开销为 1，加入候选列表。
- 候选节点列表中有两个候选节点，选择候选总开销最小的节点 2.2.2.2 加入最短路径树并从候选列表中删除。



## 构建SPF树 (3)

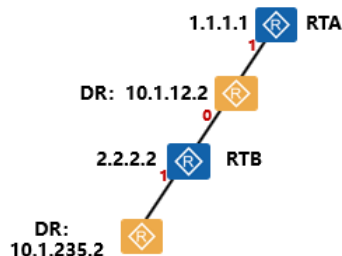
<RTA>display ospf lsdb router 2.2.2.2

Type : Router  
Ls id : 2.2.2.2  
Adv rtr : 2.2.2.2

\* Link ID: 10.1.12.2  
Data : 10.1.12.2  
Link Type: TransNet  
Metric : 1  
\* Link ID: 10.1.235.2  
Data : 10.1.235.2  
Link Type: TransNet  
Metric : 1  
\* Link ID: 4.4.4.4  
Data : 10.1.24.2  
Link Type: P-2-P  
Metric : 48

\* Link ID: 10.1.24.0  
Data : 255.255.255.0  
Link Type: StubNet  
Metric : 48  
Priority : Low

候选列表	候选总开销	父节点
3.3.3.3	48	1.1.1.1
10.1.235.2	1+0+1	2.2.2.2
4.4.4.4	1+0+48	2.2.2.2



- 节点 2.2.2.2 新添加进最短路径树上，此时继续检查 Ls id 为 2.2.2.2 的 Router-LSA：
- 第一个 TransNet 连接中，Link ID 为 10.1.12.2，此节点已经在最短路径树上，忽略。
- 第二个 TransNet 连接中，Link ID 为 10.1.235.2，Metric=1，父节点到根节点的开销为 1，候选总开销为 2，加入候选列表。
- 第三个 P-2-P 连接中，Link ID 为 4.4.4.4，Metric=48，父节点到根节点的开销为 1，候选总开销为 49，加入候选列表。
- 候选节点列表中有三个候选节点，选择候选总开销最小的节点 10.1.235.2 加入最短路径树并从候选列表中删除。

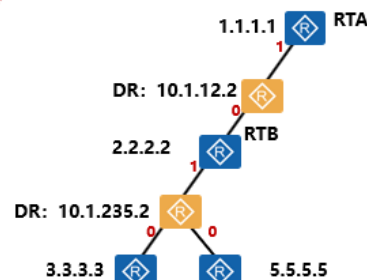
## 构建SPF树 (4)

```
<RTA>display ospf lsdb network
10.1.235.2

Type      : Network
Ls id     : 10.1.235.2
Adv rtr   : 2.2.2.2

Net mask  : 255.255.255.0
Priority  : Low
Attached Router  2.2.2.2
Attached Router  3.3.3.3
Attached Router  5.5.5.5
```

候选列表	候选总开销	父节点
3.3.3.3	48	1.1.1.1
4.4.4.4	1+48	2.2.2.2
3.3.3.3	1+0+1+0	10.1.235.2
5.5.5.5	1+0+1+0	10.1.235.2



- DR 被加入到 SPF 中，接下来检查 Ls id 为 10.1.235.2 的 Network-LSA。
- 如图所示，在 Attached Router 部分：
- 节点 2.2.2.2 被忽略，因为 2.2.2.2 已经在最短路径树上。
- 将节点 3.3.3.3，Metric=0，父节点到根节点的开销为 2，候选总开销为 2，加入候选列表。（如果在候选列表中出现两个节点 ID 一样但是到根节点的开销不一样的节点，则删除到

根节点的开销大的节点。所以删除节点 3.3.3.3 累计开销为 48 的候选项)。

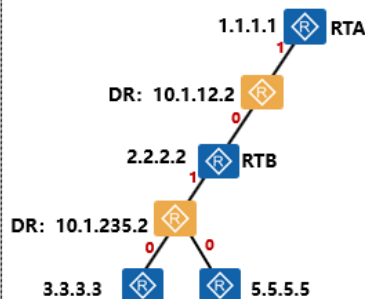
- 将节点 5.5.5.5，Metric=0，父节点到根节点的开销为 2，候选总开销为 2，加入候选列表。
- 候选节点列表中有三个候选节点，选择候选总开销最小的节点 3.3.3.3 和 5.5.5.5 加入最短路径树并从候选列表中删除。

## 构建SPF树 (5)

```
<RTA> display ospf lsdb router 3.3.3.3
```

```
Type      : Router
Ls id     : 3.3.3.3
Adv.rtr   : 3.3.3.3
* Link ID: 10.1.235.2
  Data    : 10.1.235.3
  Link Type: TransNet
  Metric  : 1
* Link ID: 1.1.1.1
  Data    : 10.1.13.3
  Link Type: P-2-P
  Metric  : 48
* Link ID: 10.1.13.0
  Data    : 255.255.255.0
  Link Type: StubNet
  Metric  : 48
  Priority: Low
```

候选列表	候选总开销	父节点
4.4.4.4	1+48	2.2.2.2



- 节点 3.3.3.3 和 5.5.5.5 新添加进最短路径树上，此时继续检查 Ls id 分别为 3.3.3.3 和 5.5.5.5 的 Router-LSA。
- Ls id 为 3.3.3.3 的 LSA：
- Link ID 为 10.1.235.2 的节点已经在最短路径树上，忽略。
- Link ID 为 1.1.1.1 的节点已经在最短路径树上，忽略。



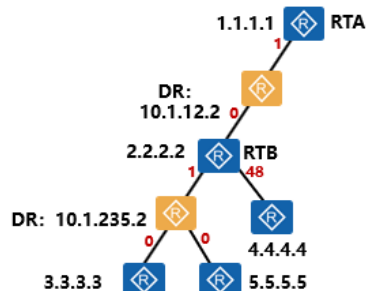


## 构建SPF树 (6)

<RTA> display ospf lsdb router 5.5.5.5

```
Type : Router
Ls id : 5.5.5.5
Adv_rtr : 5.5.5.5
* Link ID: 10.1.235.2
  Data : 10.1.235.5
  Link Type: TransNet
  Metric : 1
* Link ID: 4.4.4.4
  Data : 10.1.45.5
  Link Type: P-2-P
  Metric : 48
* Link ID: 10.1.45.0
  Data : 255.255.255.0
  Link Type: StubNet
  Metric : 48
Priority : Low
```

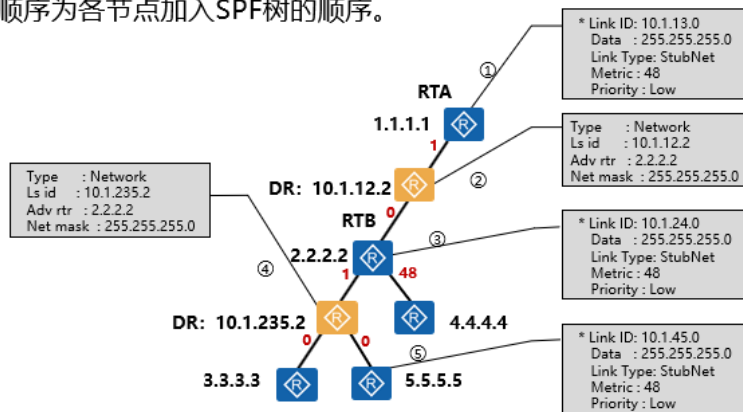
候选列表	候选总开销	父节点
4.4.4.4	1+48	2.2.2.2
4.4.4.4	1+0+1+0+48	5.5.5.5



- Ls id 为 5.5.5.5 的 LSA :
- Link ID 为 10.1.235.2 的节点已经在最短路径树上，忽略。
- Link ID 为 4.4.4.4 的 P-2-P 连接，Metric=48，父节点到根节点的开销为 2，候选总开销为 50。因为节点 4.4.4.4 已经在候选列表中出现，且候选总开销为 49。49<50，所以子节点 4.4.4.4 的父节点选择 2.2.2.2。
- 至此，再通过命令 display ospf lsdb router 4.4.4.4 发现，LSA 中的连接所描述的相邻节点都已经添加到了 SPF 树中。
- 这时候选列表为空，完成 SPF 计算，其中 10.1.12.2 和 10.1.235.2 是虚节点 (DR)。

## 计算最优路由

- 从根节点开始依次添加各节点LSA中的路由信息。
- 添加顺序为各节点加入SPF树的顺序。



- 第二阶段根据 Router LSA 中的 Stub、Network LSA 中的路由信息，完成最优路由的计算。
- 从根节点开始，依次添加 LSA 中的路由信息（添加顺序按照每个节点加入 SPF 树的顺序）：
  - 1.1.1.1 ( RTA ) 的 Router LSA 中，共 1 个 Stub 连接，网络号/掩码 10.1.13.0/24，Metric=48；
  - 10.1.12.2 ( DR ) 的 Network LSA 中，网络号/掩码 10.1.12.0/24，Metric=1+0=1；
  - 2.2.2.2 ( RTB ) 的 Router LSA 中，共 1 个 Stub 连接，网络号/掩码 10.1.24.0/24，Metric=1+0+48=49；
  - 10.1.235.2 ( DR ) 的 Network LSA 中，网络号/掩码 10.1.235.0/24，Metric=1+0+1=2；
  - 3.3.3.3 ( RTC ) 的 Router LSA 中，共 1 个 Stub 连接，网络号/掩码 10.1.13.0/24，已在 RTA 上，忽略；
  - 5.5.5.5 ( RTE ) 的 Router LSA 中，共 1 个 Stub 连接，网络号/掩码 10.1.45.0/24，Metric=1+0+0+1+48=50；
  - 4.4.4.4 ( RTD ) 的 Router LSA 中，共 2 个 Stub 连接，网络号/掩码 10.1.24.0/24，已在 RTB 上，忽略；网络号/掩码 10.1.45.0/24，已在 RTE 上，忽略。



## 查看OSPF路由表

<RTA>display ospf routing

OSPF Process 1 with Router ID 1.1.1.1  
Routing Tables

Routing for Network

Destination	Cost	Type	NextHop	AdvRoute	Area
10.1.12.0/24	1	Transit	10.1.12.1	1.1.1.1	0.0.0.0
10.1.13.0/24	48	Stub	10.1.13.1	1.1.1.1	0.0.0.0
10.1.24.0/24	49	Stub	10.1.12.2	2.2.2.2	0.0.0.0
10.1.45.0/24	50	Stub	10.1.12.2	5.5.5.5	0.0.0.0
10.1.235.0/24	2	Transit	10.1.12.2	2.2.2.2	0.0.0.0

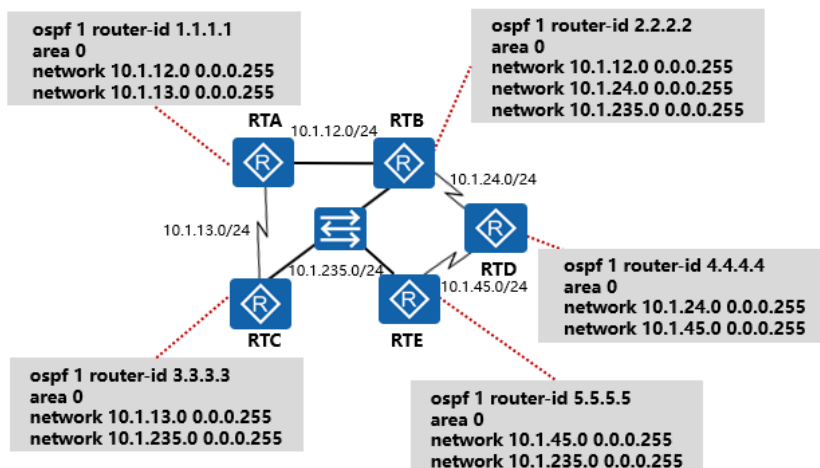
Total Nets: 5

Intra Area: 5 Inter Area: 0 ASE: 0 NSSA: 0

- 经历上述两个阶段的计算，RTA 生成的 OSPF 路由如上图所示。
- 经过 OSPF 优选后的路由并不一定会安装进系统路由表，因为路由器还可以通过其他协议获得路由，通过不同方式获得的路由需要进行优先级比较。



## 单区域OSPF配置实现





## 查看OSPF邻居状态

<RTA> display ospf peer brief

OSPF Process 1 with Router ID 1.1.1.1  
Peer Statistic Information

Area Id	Interface	Neighbor id	State
0.0.0.0	GigabitEthernet0/0/0	2.2.2.2	Full
0.0.0.0	Serial1/0/0/0	3.3.3.3	Full

- 以 RTA 为例，RTA 分别和 RTB、RTC 建立了邻接关系。



## 思考题

1. Router-LSA中主要包含哪几种链路类型？
2. 经过SPF算法计算后，被认为是最优的OSPF路由是否一定会被放入路由器的路由表中？

- 答案：P2P、TransNet、StubNet、vlink。
- 答案：不一定，路由器可能通过多种路由协议获得同一路由前缀的路由信息，还需要通过路由优先级比较确定通过哪个路由协议获得的路由会放入路由表。
-