

单元 8 链路状态路由协议

主编：钟祥睿等

上海交通大学出版社

目录

项目一

项目描述

项目分析

知识点

项目实施

单元学习目标

知识目标

1. 理解动态路由协议的基本原理
2. 了解静态路由与动态路由的区别
3. 理解 OSPF 路由协议的工作过程

技能目标

1. 掌握 OSPF 路由协议单区域的配置和应用
2. 掌握 OSPF 路由协议多区域的配置和应用
3. 掌握 OSPF 相同区域不同路由设备的认证配置方法

随着计算机的普及化，当前的园区网通常都有几十甚至几百个网段组成；如果整个网络都使用静态路由技术，那么整个网络将可能出现以下几个问题。

1. 每个路由设备都需要让网络管理员设置几十甚至几百个路由表，这个是非常大的工作量，导致网络管理的成本很大。
2. 当网络的拓扑结构出现变化的时候，会导致众多路由设备需要更改原有的路由选择，而这些工作量又需要网络管理员手工完成。

这么繁重的工作量，网络管理员出错的概率会加大，网络的可靠性明显不足，不符合网络通信的基本原则。如此，路由选择技术急需一个可以根据路由设备的路由接口自动生成一个个合适的路由表；既可减少网络管理成本，又可以提高网络的可靠性。这个技术当然就是动态路由技术。

当前园区网中，最为常用且高效的动态路由协议当属链路状态路由协议中的最短路径优先（ Open Shortest Path First ， OSPF ）协议。

OSPF 动态路由协议解决以下几个问题：

1. 网络管理员只需要对路由设备的每个链路网络进行公告，不需要路由器为每个目的网络指明下一跳；这样会大大地减轻网络管理员的工作量、减少了人为操作失误导致地网络故障，提高了网络的可靠性。

2. OSPF 协议主要根据链路的状态属性，用相对成熟的算法计算出整个网络的路由选择，网络整体的路由选择算法较之人工计算更优、更合理高效。

接下来，我们通过对 OSPF 工作过程和配置方法去理解 OSPF 协议的应用场景，以及如何在园区网中如何建立起高效、可靠、安全的路由选择。

8.1 动态路由的概念

动态路由，是指路由器与路由器之间通过路由信息的交换自动建立成各自的路由表；并且路由器会根据链路的状态，节点的变化自动调整路由选择的路径；当链路或者节点出现了故障、性能上或者位置信息出现变化之后，路由器会自动调整新的路由选址路径并生成新的路由表。

8.2 OSPF 路由工作过程

一、SPF 算法

SPF 算法是 OSPF 路由协议的基础，也被称为 Dijkstra 算法；中文意思是最短路径优先算法。SPF 算法把每个路由器作为跟（ROOT）来计算其到每一个目的路由器的距离，每一个路由器根据一个统一的数据库会计算出路由域的拓扑结构图，该结构图类似于一棵树，在 SPF 算法中，被称为最短路径树。在 OSPF 路由协议中，最短路径树的树干长度，就是 OSPF 路由器到每个目的路由器的距离，称为 OSPF 的 Cost。

本文此处链路带宽以 bps 表示； OSPF 路由协议的 Cost 与链路的带宽成反比，带宽越高， Cost 越小，表示 OSPF 到目的地的距离越近。举例来说， FDDI 或快速以太网的 Cost 为 1， 2M 串行链路的 Cost 为 48， 10M 以太网的 Cost 为 10 等。

二、 OSPF 选举 DR/BDR

在广播和 NBMA 类型的网络上，任意两台路由器之间都需要传递路由信息。如果网络中有 N 台路由器，则需要建立 “ $N \times (N-1) / 2$ ” 个邻接关系。任何一台路由器的路由变化，都需要在网段中进行 “ $N \times (N-1) / 2$ ” 次的传递。这是没有必要的，也浪费了宝贵的带宽资源。

为了解决这个问题， OSPF 协议指定一台路由器作为 DR （ Designated Router ） 来负责传递信息。

所有的路由器都只将路由信息发送给 DR，再由 DR 将路由信息发送给本网段内的其他路由器。两台不是 DR 的路由器

（ DR Other ）之间不再建立邻接关系，也不再交换任何路由信息。这样在同一网段内的路由器之间只需建立 N 个邻接关系，每次路由变化只需进行 $2N$ 次的传递即可。

BDR 是 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。一旦 DR 失效，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 BDR 替代 DR 的过程非常短暂。此时还需要再重新选举出一个新的 BDR，这个选举过程不会影响路由的计算。

选举过程如下：

1. 本网段内优先级（ Priority ）大于 0 的 OSPF 路由器。优先级是接口上的参数，可以人为配置，缺省值是 1 。如果一台路由器接口的优先级为 0 ，则它在该接口所连网段上不会被选举为 DR 或 BDR 。
2. 部分优先级大于 0 的 OSPF 路由器认为自己是 DR ，发送 OSPF 的 Hello 报文给其他路由器，公告本路由器是 DR 。
3. 在所有自称是 DR 的路由器中，优先级最大的当选 DR 。若两台路由器的优先级相等，则选 Router-ID 最大的。每台路由器将自己选出的 DR 写入 Hello 报文中，发给网段上的每台路由器。选举过程中，每台路由器与邻居之间完全成网状邻接关系，如图 8-2 所示

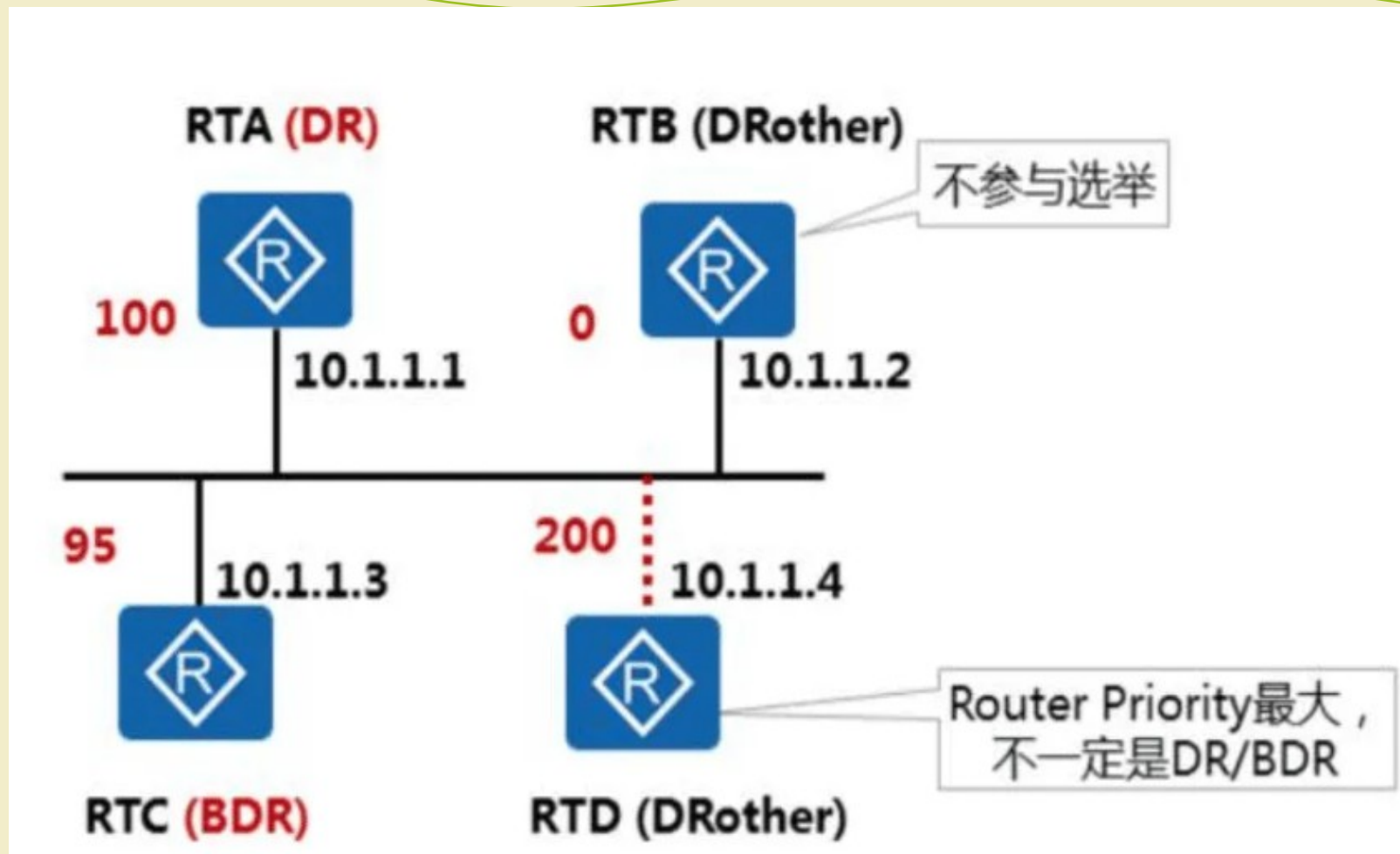


图 8-2 选举 DR 和 BDR

三、邻居关系与邻接关系

邻居关系：在 OSPF 协议中，每台路由器的接口都会周期性地向外发送 Hello 报文。如果“相邻”两台路由器之间发送给对方的 Hello 报文完全一致，那么这两台路由器就会成为彼此的邻居路由器，他们之间才存在“邻居”关系。

邻接关系：在 P2P 或 P2MP 的二层网络类型中，两台互为“邻居”关系的路由器一定会同步彼此的 LSDB，当这两台路由器成功地完成了 LSDB 的同步后，他们之间便建立起了“邻接”关系。

四、链路状态及 LSA

OSPF 是一种基于链路状态的路由协议，链路状态也指路由器的接口状态，其核心思想是，每台路由器都将自己的各个接口的接口状态（链路状态）共享给其他路由器。在此基础上，每台路由器就可以依据自身的接口状态和其他路由器的接口状态计算出去往各个目的地的路由。路由器的链路状态包含了该接口的 IP 地址及子网掩码等信息；

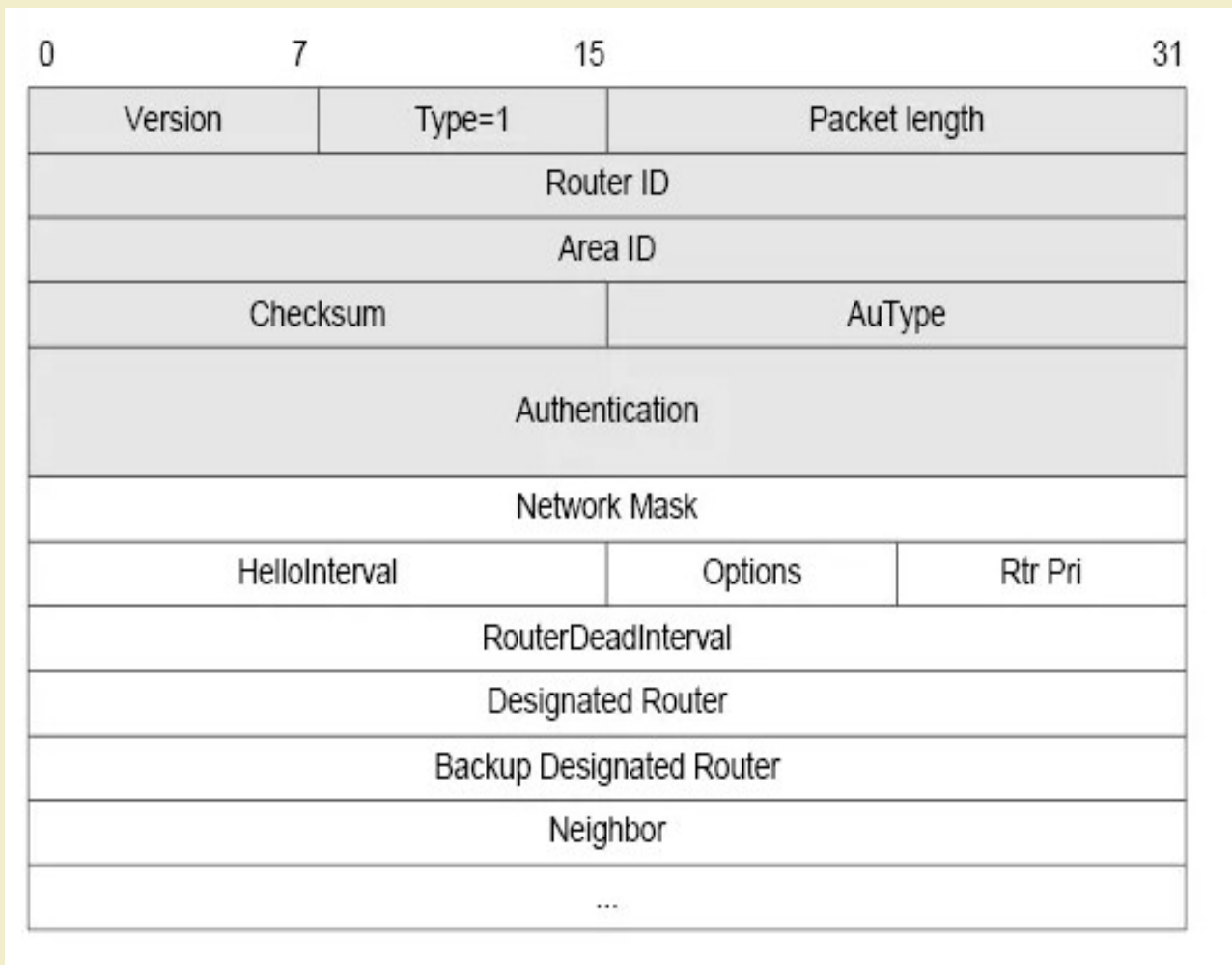
链路状态通告（ Link-State Advertisement ， LSA ）是链路状态信息的主要载体，链路状态信息主要包含在 LSA 中并通过 LSA 的通告（泛洪）来实现共享的。

五、OSPF 报文类型

OSPF 报文是由多重封装构成的，封装在 IP 头部内的是 5 种 OSPF 报文类型的一种，每种报文类型都是由一个 OSPF 报文头部开始，这个 OSPF 报文头部对于所有的报文类型都是相同的。

1. Hello 报文协议，用于发现与维持邻居，后期还可用来进行广播以及 NBMA 网络中 DR 以及 BDR 的选取；根据网络结构的不同，Hello 协议的工作方式也不同。主要目的用来发现邻居路由器并在他们之间建立邻接关系。

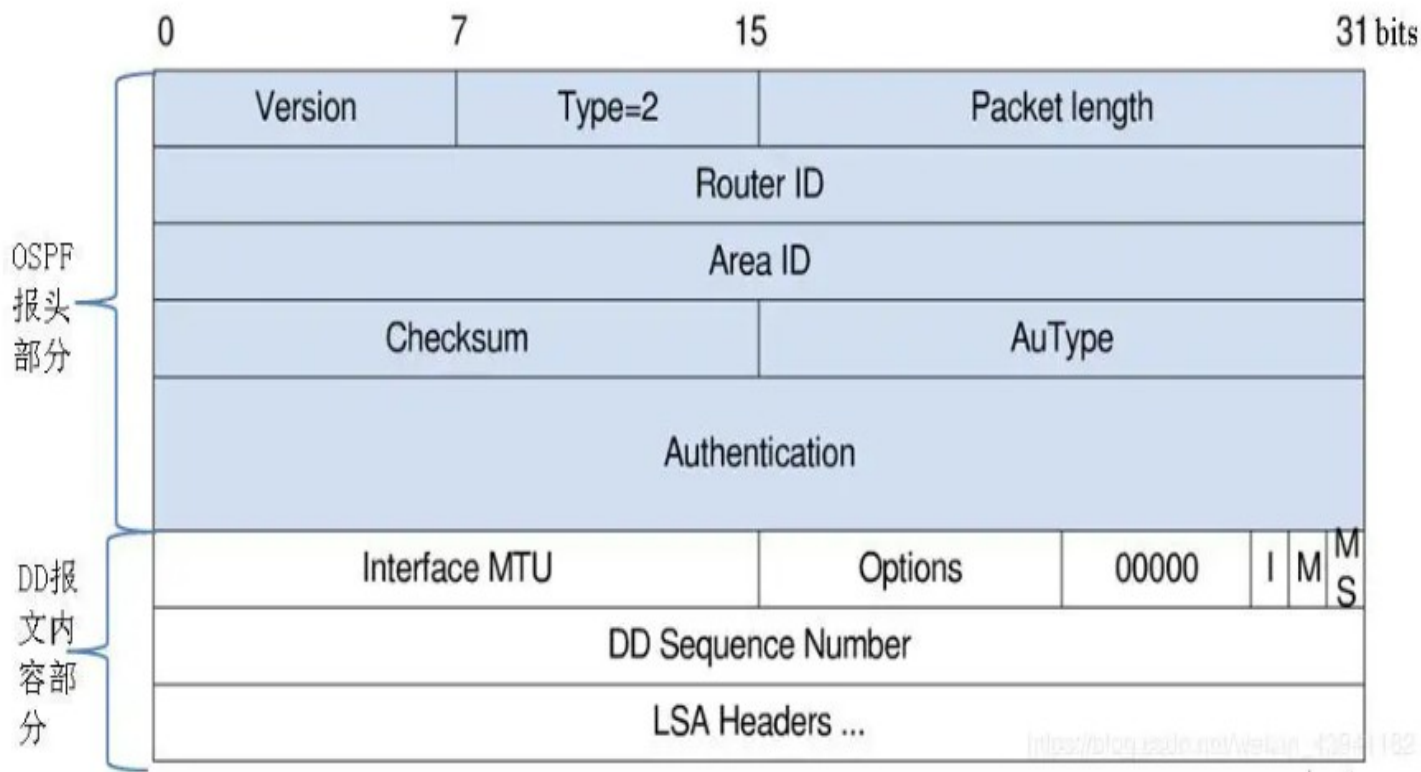
Hello 报文格式如下图 8-3 所示



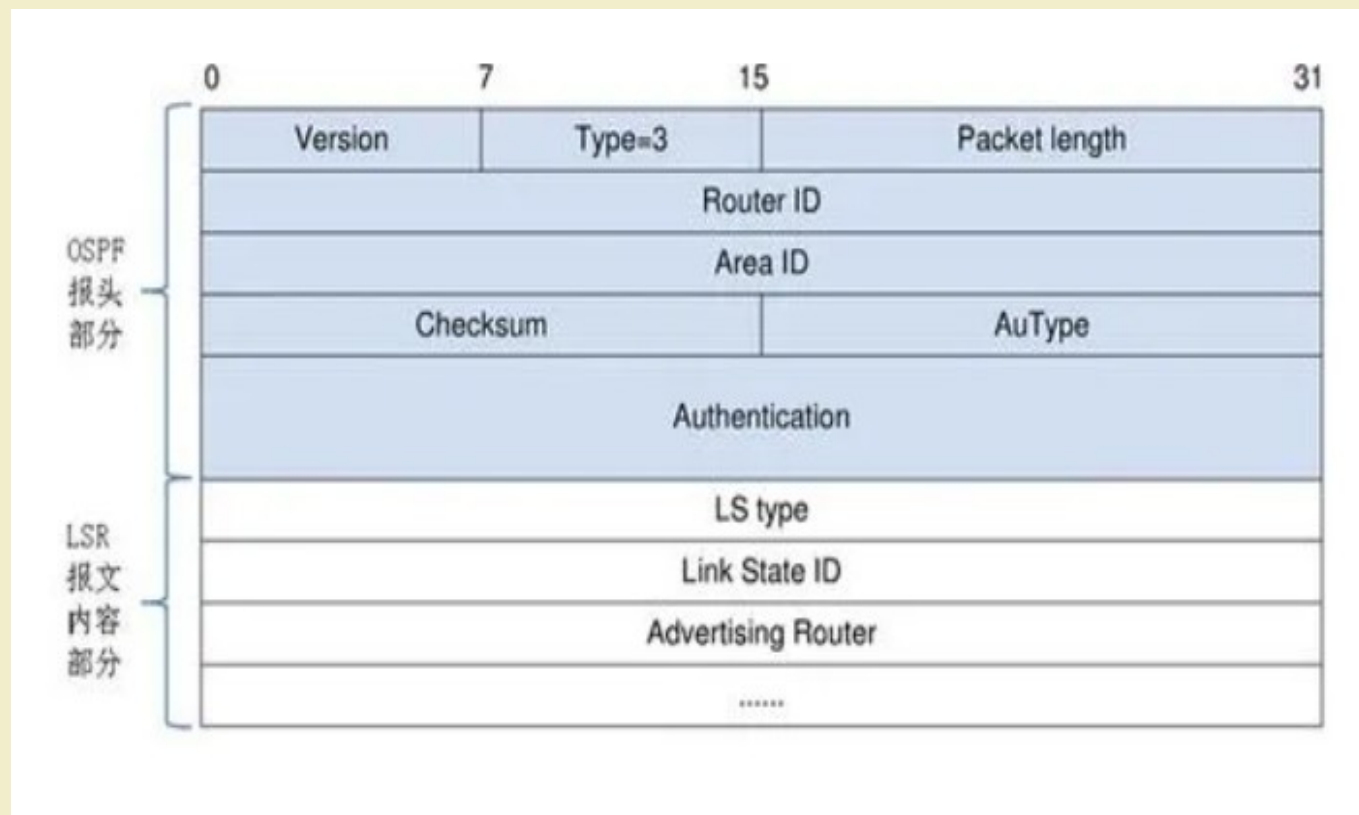
三

相关知识

2.DD（数据库描述）报文，描述本地 LSDB（链路状态数据库）的情况；检查路由器数据库之间是否同步，该报文格式如图 8-4 所示。



3. LSR（链路状态请求）报文，向对端请求本端没有或者对端更新的 LSA；向对端路由器请求特定的链路状态记录。LSR（链路状态请求）报文格式如图 8-5 所示。



三

相关知识

4.LSU（链路状态更新）报文，向对方更新 LSA，发送请求的链路记录，该报文具体格式如图 8-6 所示。

0	7	15	31
Version	Type=1	Packet length	
Router ID			
Area ID			
Checksum		AuType	
Authentication			
Network Mask			
HelloInterval		Options	Rtr Pri
RouterDeadInterval			
Designated Router			
Backup Designated Router			
Neighbor			
...			

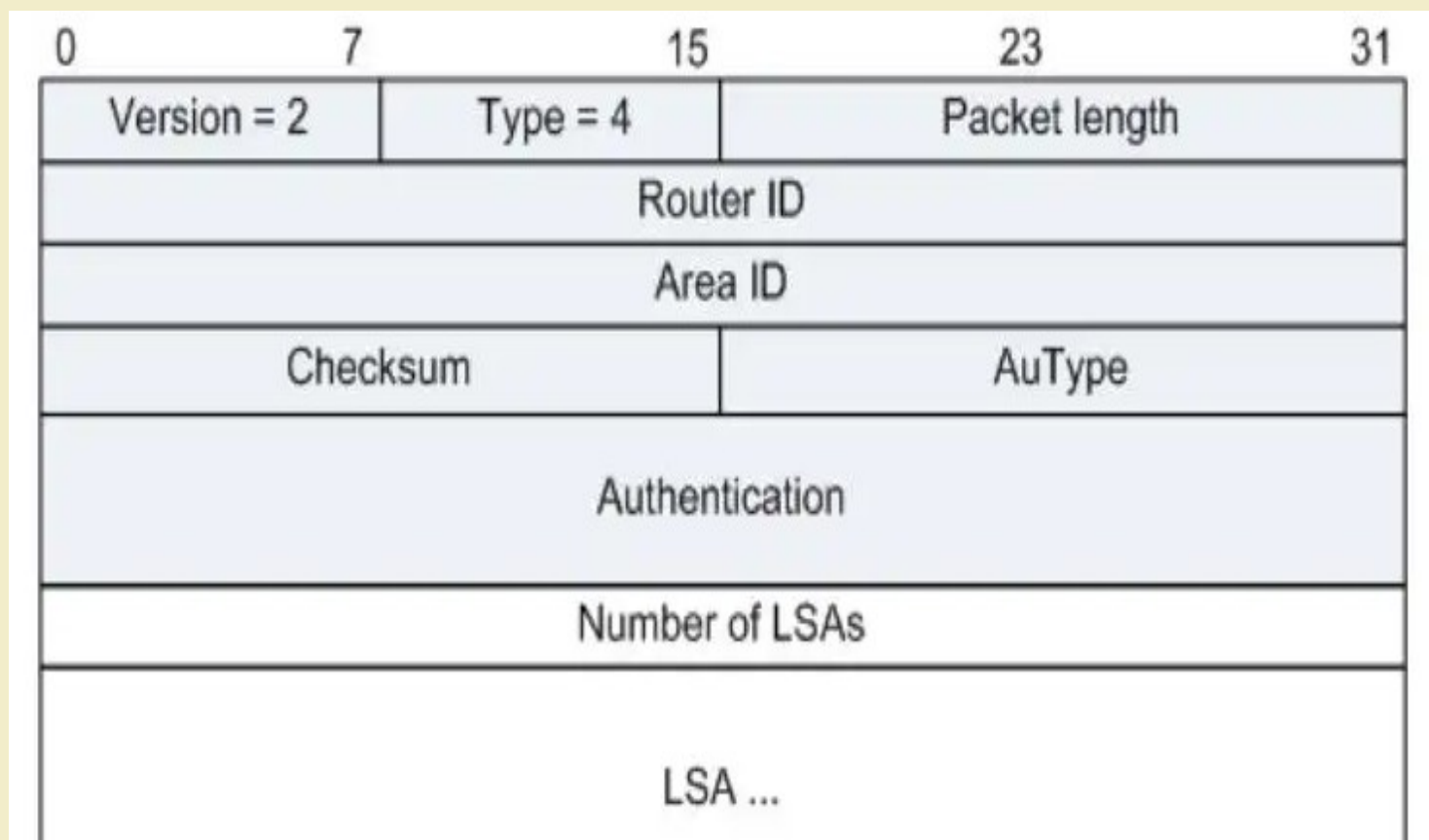
所有的LSA都有相同的报文头：

0	15	23	31
LS age		Options	LS type
Link State ID			
Advertising Router			
LS sequence number			
LS checksum		Length	

三

相关知识

5.LSAck（链路状态确认）报文，收到 LSU 后进行确认，用于对其他分组进行确认；具体报文格式如图 8-7 所示。



六、OSPF 状态

1. Down : 此状态还没有与其他路由器交换信息。首先从其 ospf 接口向外发送 hello 分组, 还并不知道 DR(若为广播网络) 和任何其他路由器。发送 hello 分组是, 使用组播地址 224.0.0.5 。
2. Attempt : 只适于 NBMA 网络, 在 NBMA 网络中邻居是手动指定的, 在该状态下, 路由器将使用 HelloInterval 取代 PollInterval 来发送 Hello 包。
3. Init : 在 DeadInterval 里收到了 Hello 包, two-Way 通信还没有建立起来的状态。
two-way : 双向会话建立, 而 RID 彼此出现在对方的邻居列表中。(若为广播网络: 例如: 以太网。在这个时候应该 **DR,BDR 。)

4. **ExStart**：信息交换初始状态，在这个状态下，本地路由器和邻居将建立 Master/Slave 关系，并确定 DD Sequence Number，路由器 ID 大的成为 Master。
5. **Exchange**：信息交换状态：本地路由器和邻居交换一个或多个 DBD 分组 (也叫 DDP)。DBD 包含有关 LSDB 中 LSA 条目的摘要信息。
6. **Loading**：信息加载状态：收到 DBD 后，使用 LSACK 分组确认已收到 DBD。将收到的信息同 LSDB 中的信息进行比较。如果 DBD 中有更新的链路状态条目，则想对方发送一个 LSR，用于请求新的 LSA。
7. **Full**：完全邻接状态，这种邻接出现在 Router LSA 和 Network LSA 中。

8.3 OSPF 路由配置方法

一、配置过程

表 8-1 OSPF 路由协议配置过程

步骤	命令	作用
第一步	[Router] ospf Process ID [router-id]	创建 OSPF 路由进程
第二步	[Router-ospf-1] area OSPF area ID (Integer)	定义所属区域
第三步	[Router-ospf-1-area-0.0.0.0] network Network number OSPF wild card bits [description]	公告区域内的直连网段

二、OSPF 命令格式

ospf [process-id | router-id router-id] *

undo ospf process-id [flush-waiting-timer time]

参数说明见下表所示。

参数	参数说明	取值
<i>process-id</i>	OSPF 进程号。	整数形式，取值范围是 1 ~ 65535 。缺省值是 1 。
<i>router-id router-id</i>	Router ID 。	点分十进制格式。
<i>flush-waiting-timer time</i>	指定产生老化 LSA 的时间。此配置仅生效一次。	整数形式，取值范围是 1 ~ 40 ，单位是秒。

三、 area 命令格式

area area-id

undo area area-id

参数说明见下表所示。

参数	参数说明	取值
<i>area-id</i>	指定区域的标识。其中区域号 <i>area-id</i> 是 0 的称为骨干区域。	可以是十进制整数或点分十进制格式。采取整数形式时，取值范围是 0 ~ 4294967295。

四、network 命令格式

network address wildcard-mask [description text]

undo network address wildcard-mask

参数说明见下表所示。

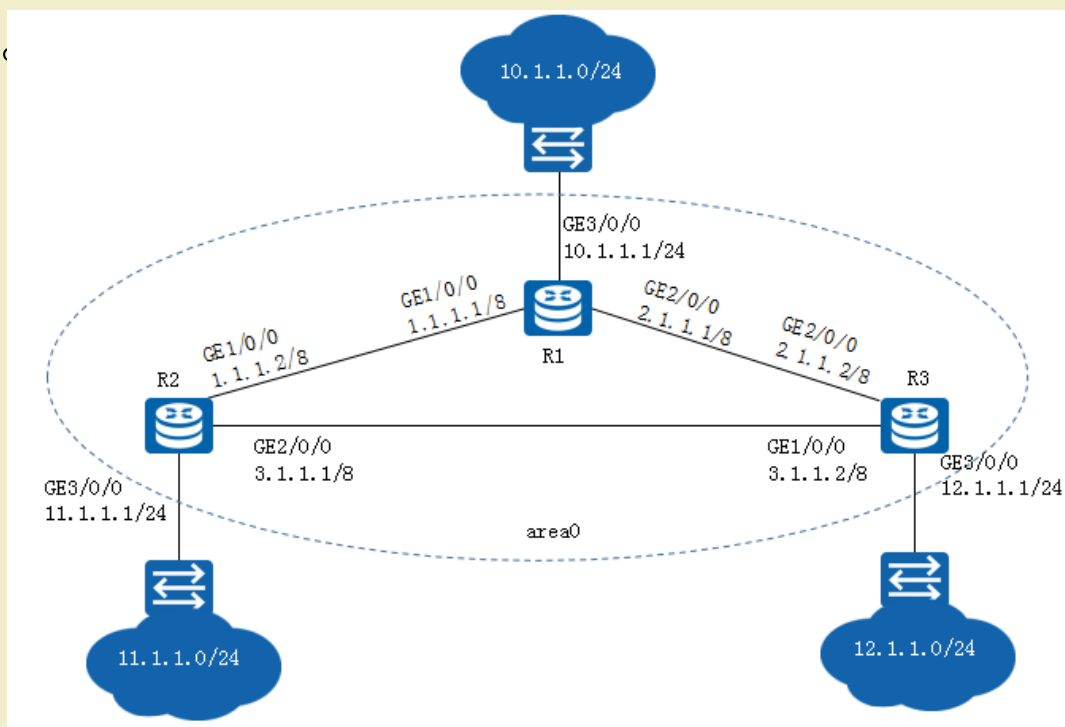
参数	参数说明	取值
<i>address</i>	接口所在的网段地址。	点分十进制格式。
<i>wildcard-mask</i>	IP 地址的反码，相当于将 IP 地址的掩码反转（0 变 1，1 变 0）。其中，“1”表示忽略 IP 地址中对应的位，“0”表示必须保留此位。	点分十进制格式。
<i>description text</i>	OSPF 指定网段的描述信息。	字符串形式，支持空格，区分大小写，取值范围为 1～80。

8.4 OSPF 应用场景分析及配置过程

一、OSPF 单区域配置

以下图 8-8 为例，由于每个路由设备的配置相类似，下面操作仅以 R1 为例。

当整个网络拓扑结构中，路由设备并非特别多的时候，可以使用 OSPF 中较为简单的单区域模式，需要注意的是，单区域中只有一个主干域 area 0。



1. 为各个拓扑图的各个路由器启动 OSPF 路由协议，启用 OSPF 的进程号（默认值为 1），并为路由设备设置 OSPF 的 route-id（这个操作为必要选项，当网络的设备数目不多的情况下可以选择忽略）。

```
[Huawei] ospf 1 router-id 10.1.1.1
```

其中 route-id 10.1.1.1 为非必要选项，也可以省略。

2. 并进入 OSPF 协议的主干域 area 0。

```
[HUAWEI-OSPF-1] area 0
```

3. 根据路由设备已经配置且生效的接口逻辑地址，在 OSPF 路由协议中公告本路由设备的直连网段。

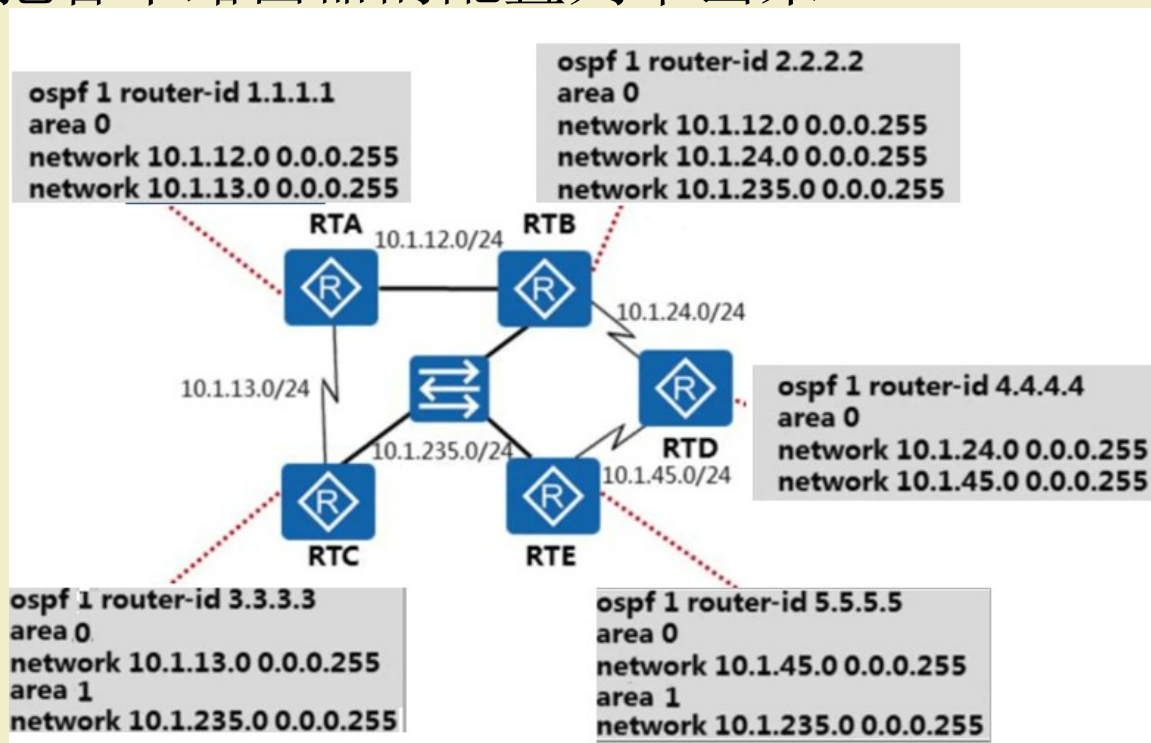
```
[HUAWEI-OSPF-1-area-0.0.0.0] network 1.0.0.0 0.255.255.255
```

```
[HUAWEI-OSPF-1-area-0.0.0.0] network 2.0.0.0 0.255.255.255
```

```
[HUAWEI-OSPF-1-area-0.0.0.0] network 10.1.1.0 0.0.0.255
```

二、OSPF 多区域配置

多区域的应用主要是在相对复杂拓扑结构的情境下应用，可以减少部分非主干域设备的多播数据包传播，提高路由设备的工作效率和性能；多区域的操作过程与单区域相类似，下面就把各个路由器的配置列举出来。



1. 路由器 RTA

```
[RTA] ospf 1 router-id 1.1.1.1
```

```
[RTA-OSPF-1] area 0
```

```
[RTA-OSPF-1-area-0.0.0.0] network 10.1.12.0 0.255.255.255
```

```
[RTA-OSPF-1-area-0.0.0.0] network 10.1.13.0 0.255.255.255
```

```
[RTA-OSPF-1-area-0.0.0.0] network 1.1.1.1 0.0.0.0
```

2. 路由器 RTB

```
[RTB] ospf 1 router-id 2.2.2.2
```

```
[RTB-OSPF-1] area 0
```

```
[RTB-OSPF-1-area-0.0.0.0] network 10.1.12.0 0.255.255.255
```

```
[RTB-OSPF-1-area-0.0.0.0] network 10.1.24.0 0.255.255.255
```

```
[RTB-OSPF-1-area-0.0.0.0] network 10.1.235.0 0.255.255.255
```

```
[RTB-OSPF-1-area-0.0.0.0] network 2.2.2.2 0.0.0.0
```

3. 路由器 RTD

```
[RTD] ospf 1 router-id 4.4.4.4
```

```
[RTD-OSPF-1] area 0
```

```
[RTD-OSPF-1-area-0.0.0.0] network 10.1.24.0 0.255.255.255
```

```
[RTD-OSPF-1-area-0.0.0.0] network 10.1.45.0 0.255.255.255
```

```
[RTD-OSPF-1-area-0.0.0.0] network 4.4.4.4 0.0.0.0
```

4. 路由器 RTC

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

```
[RTC-OSPF-1] area 0
```

```
[RTC-OSPF-1-area-0.0.0.0] network 10.1.13.0 0.255.255.255
```

```
[RTC-OSPF-1] area 1
```

```
[RTC-OSPF-1-area-1.1.1.1] network 10.1.235.0 0.255.255.255
```

```
[RTC-OSPF-1-area-0.0.0.0] network 3.3.3.3 0.0.0.0
```

5. 路由器 RTE

[RTE] ospf 1 router-id 5.5.5.5

[RTE-OSPF-1] area 0

[RTE-OSPF-1-area-0.0.0.0] network 10.1.45.0 0.255.255.255

[RTE-OSPF-1] area 1

[RTE-OSPF-1-area-1.1.1.1] network 10.1.235.0 0.255.255.255

[RTE-OSPF-1-area-0.0.0.0] network 5.5.5.5 0.0.0.0

三、相同区域设备的认证

当网络拓扑结构比较复杂且大的时候，必定有部分非核心路由设备会架设在公共空间内，为了保证网络的接入安全，路由设备之间可以设置同区域的安全认证：

以图 8-9 为示例，路由器 RTC 和路由器 RTE 之间的 area 1 之间使用 MD5 加密，密码设置为” huawei123”。

1. 路由器 RTC 配置如下。

```
[RTC-ospf-1] area 1
```

```
[RTC-ospf-1-area-0.0.0.1] authentication-mode md5 1 huawei123
```

2. 路由器 RTE 配置如下。

```
[RTE-ospf-1] area 1
```

```
[RTE-ospf-1-area-0.0.0.1] authentication-mode md5 1 huawei123
```

8.5 OSPF 路由协议特点

OSPF 是最常见的链路状态路由协议，属于单个自治系统（AS）的路由器之间连接的路由选择；它也是内部网络网关协议 IGP 的一种。

1. 不受路由器的跳数限制。常见的距离矢量路由协议中，路由跳数通常有限制例如 RIP 协议路由器最大跳数为 15。路由器的跳数限制，也会限制网络的复杂度和容量；而 OSPF 协议没有这方面的问题。
2. 支持网络地址变长的子网掩码（VLSM）。各类网络做内网规划时候，有大量的 A 类和 B 类地址会使用，只有支持 VLSM 才能够适应当前的中大型网络的规划需求。

8.5 OSPF 路由协议特点

3. 收敛速度较快。距离矢量路由协议的路由器会周期性地广播路由信息数据包，各个路由器也需要一直对这些广播包进行计算，会影响路由器的性能和路由表收敛的时间。OSPF 路由协议在链路状态没有发生变化的时候，是不需要周期发送广播包的，这样能够提高路由器的工作性能和路由表收敛速度。
4. 支持路由验证。不同的路由器如果设置了协议的验证，只有通过验证的路由器之间才会交换相关的路由信息。OSPF 路由协议可以对不同的区域定义不同的验证方式，从而提高网络的安全行。每个区域可以设置自己的验证密码，密码的加密模式等。

8.5 OSPF 路由协议特点

5. 较好的负载分担支持。OSPF 路由协议支持多条 Cost 值相同的链路的负载分担，如果到相同的目的网络地址有多个路径，且花费值相同，那么不同的链路都会显示在路由表中。
6. 使用组播地址发送报文。矢量距离路由协议 RIP 是通过广播数据包来寻找网络邻居路由器，而且还有周期性地通过广播的方式发送路由信息给网络的其他路由设备。OSPF 路由协议则是使用组播地址 224.0.0.5 来发送组播数据包给相同区域内的其他路由器，没有使用 OSPF 协议的路由器是不会接受到该数据的，这个技术能够较大地提高路由器的性能。

具体实施过程参考实训报告

【项目总结】

本项目详细介绍了链路状态路由协议的工作原理及应用，主要学习了以下知识内容。

1. OSPF 路由协议可以应用于小型网络的动态路由协议，也可以用于中大型网络的动态路由选择协议。
2. OSPF 路由协议默认的区域是区域 0，是 OSPF 路由协议的骨干区域，这个区域不能缺少。
3. 当网络拓扑比较复杂的时候，OSPF 路由协议可以使用启用多区域网络，包含一个骨干区域 area0；还可以有若干个其他区域。划分多个区域，能够减少路由器组播数据包的数量，从而提高路由器的性能。

A thin, light green wavy line starts at the top left, has a small peak and dip, and then flows horizontally across the top of the slide.

谢谢！

Two thin, light green wavy lines start from the left edge and flow diagonally downwards across the bottom of the slide.