

## 2.1 OSPF 基础

OSPF 是基于链路状态的内部网关路由协议

——即开放式最短路径优先

\*所有未收录的知识点不影响使用和理解

### 相关概念

#### ·Area 区域

骨干区以 Area0 命名, 所有的常规区域均要和骨干区域相连, 为了防止环路。

#### ·Router-id 路由器身份证

在唯一的 OSPF 区域中标识唯一一台路由器。

可以手动配置, 也可以自动配置。(1.1.1.1、2.2.2.2 等样式)

如果不手动配置, 则以环回口最大 IP 地址作为 Router-id。

如果没有配置 Loopback 接口, 则使用物理接口中最大的 IP 作为 Router-id

任何情况下 127.0.0.0 网段不会被选为 Router-id!

(华为特有的“全局 Router-id 未收录)

#### ·邻居表

display ospf peer #查看邻居表

知道邻居的 Router-id 和 IP, 在 Hello 报文后建立。

10s 发送一次 Hello 报文(组播, 所有组播 IP 都可以收到, 这里即 224.0.0.5),

如果 40s 未收到 Hello 报文, 路由器就会认为邻居故障了(40s 被称作 Dead time, 即死亡时间)。

#### ·LSDB 表

Display ospf lsdb #查看 LSDB 表

保存从邻居收到的 LSA 信息。

同一区域的 LSDB 完全一致!

### ·OSPF 路由表

Display ospf routing #查看 OSPF 路由表

通过整合 LSDB 中信息获取的路由信息。

### ·度量值

以 Cost (开销) 值作为路由的度量值。每一个激活 OSPF 的端口都会维护一个 Cost 值。缺省时 Cost=100Mbits/接口带宽, 分子 (参考带宽) 可以配置。

路径计算累计路由器间 Cost 值。

接口 Cost 值也可以直接修改。

Cost 值计算结果如果包含小数, 小数部分全部舍去, 而非四舍五入!

### ·版本

OSPFv2——用于 IPv4

OSPFv3——用于 IPv6

### ·进程号

默认为 1

(暂未收录更多作用)

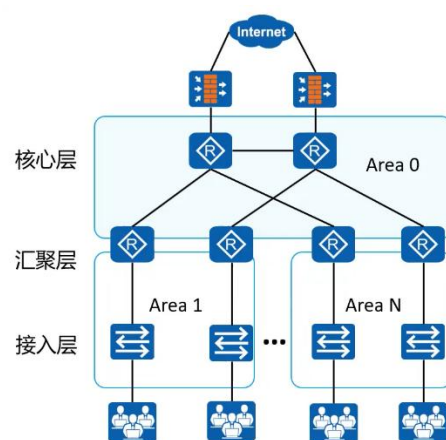
### ·ospf 域

所有 ospf 路由器构成的整个网络被称为 ospf 域 (Domain), 注意不是 Area!

## 重点知识

采用组播的形式收发部分协议报文，地址为 224.0.0.5 和 224.0.0.6 两个组播地址。224.0.0.5——所有运行了 OSPF 的路由器，224.0.0.6——仅 DR 和 BDR 才可以收到。

通常情况下**核心层**和**汇聚层**之间部署在 **OSPF 骨干区域**，**接入层**和**汇聚层**之间部署在**非骨干区域**。



(多数情况跨区域设备被三层交换机取代了)

一个区域内的 LSDB 是完全同步的。——划分区域很大原因是—一个区域内设备数量太多会导致 LSA 泛洪使得网络拥塞。

## OSPF 三大表项

- OSPF 邻居表（我有那些邻居）
- LSDB 表（我的邻居的链路信息 LSA）
- OSPF 路由表（我的路由地图）

## DR 与 BDR 的选举

BDR 可以没有，但班长（DR）要是死了就彻底玩完。

DR 与 BDR 是非抢占式的，除非挂掉。

DR 与 BDR 的选举是基于接口的。

- 接口的 DR 优先级越大越优先。
- DR 优先级一致时，Router ID 越大越优先。
- DR 优先级为 0 时无权参与选举，只能做 DR other。

如果所有路由器优先级全为 0，那么 OSPF 根本不工作，有邻居 (2-Way)，但没有路由表生成 (No full)。

## OSPF 状态

Down

Init

2-way——DR Other 到此为止

Exstart

Exchange

Loading

Full——DR 与 BDR

## OSPF 报文（协议号为：89）

Hello 报文——发现和维护邻居关系（目的地址：224.0.0.5）

DD 报文——交换链路状态数据库摘要

LSR 报文——请求特定的链路状态信息

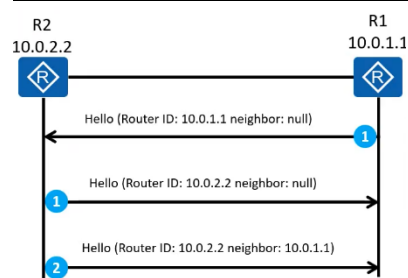
LSU 报文——发送详细的链路状态信息

LSA——确认 LSA

## OSPF 工作原理

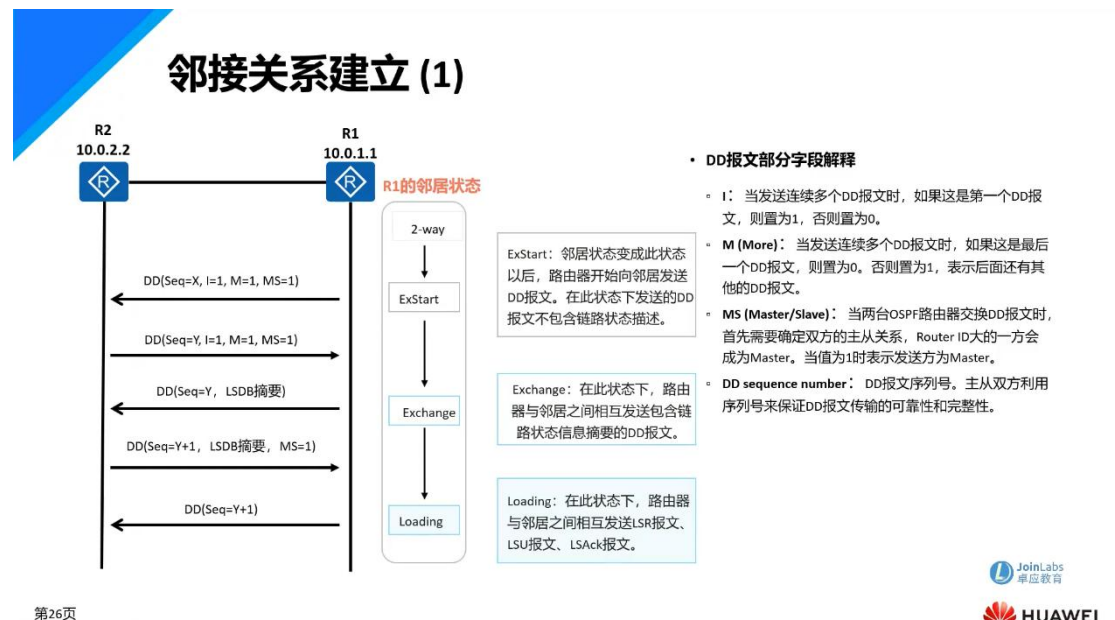
·传递链路状态信息之前，需要先建立 OSPF 邻居关系

R1	报文	R2
Lnit	Hello→	Lnit
2-Way	←Hello (包含 R1 信息)	Lnit
2-Way	Hello (包含 R2 信息) →	



到此 R1 和 R2 成功建立了邻居。

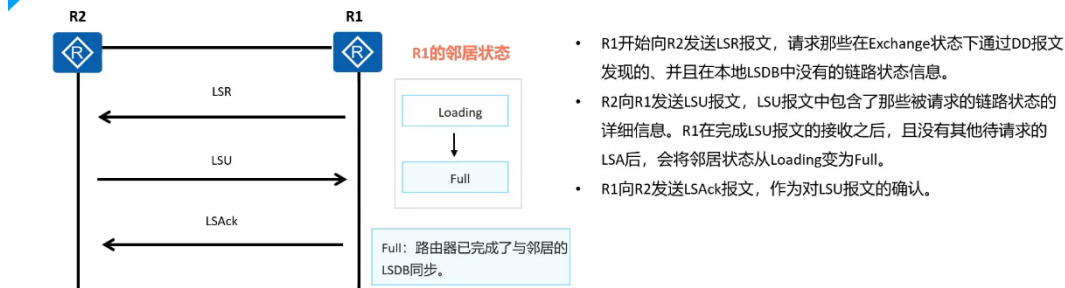
·邻接关系的建立



ExStart 选主从设备（Master/Slave），使用不包含 LSA 的 DD 报文。然后确认主从设备后才开始传递 LSA。

·生成路由表，这是 OSPF 的最后一步

## 邻接关系建立 (2)



思考：如果多台路由器处于同一个广播网络，按照如上方式建立邻接关系存在哪些问题？

第28页

Full 为同步完成。

所有设备（DR、BDR、DRoher）都会和 DR、BDR 完成上述所有步骤，所有设备与 DR 和 BDR 建立邻接关系。DRoher 之间只会建立邻居，即 2-Way 状态，LSDB 全部只和他们的“区域长”DR 和 BDR 同步。这样极大减少了网络拥塞的可能性。

## OSPF 网络类型（拓展）

网络类型决定了 OSPF 的交互速度。常见的 PPP 链路（点到点）和以太网链路（广播式多路访问）。可配置的有 P2P、P2MP、broadcast、nbma。

目前只有广播式多路（broadcast）访问和被淘汰的 NBMA 有 DR 和 BDR 的选举。

如果一个链路上只有两个设备，通过接口视图使用“ospf network p2p”可以极大提高工作效率。

## 2.2 OSPF 路由计算

### 多样的 LSA

这是 LSA 基本概念，有多种不同的 LSA,它被封装在 LSU 报文当中。

### LSA的基本概念

- LSA是OSPF进行路由计算的关键依据。
- OSPF的LSU报文可以携带多种不同类型的LSA。
- 各种类型的LSA拥有相同的报文头部。

IP Header

OSPF Header

LSU Payload

LSAHeader

Payload

LS Age	Options	LS Type
Link State ID		
Advertising Router		
LS sequence number		
LS checksum	length	

#### 重要字段解释

- LS Age** (链路状态老化时间)：此字段表示LSA已经生存的时间，单位是秒。
- Options** (可选项)：每一个bit都对应了OSPF所支持的某种特性。
- LS Type** (链路状态类型)：指示本LSA的类型。
- Link State ID** (链路状态ID)：不同的LSA，对该字段的定义不同。
- Advertising Router** (通告路由器)：产生该LSA的路由器的Router ID。
- LS Sequence Number** (链路状态序列号)：当LSA每次有新的实例产生时，序列号就会增加。
- LS Checksum** (校验和)：用于保证数据的完整性和准确性。
- Length**：是一个包含LSA头部在内的LSA的总长度值。

- 链路状态类型、链路状态ID、通告路由器三元组唯一地标识了一个LSA。
- 链路状态老化时间、链路状态序列号、校验和用于判断LSA的旧品。

第5页

HUAWEI

特别指出 LSA 的老划时间，一般为 1800s，大于这个时间的 LSA 会被删除

(eNSP 存在老化 LSA 没有被删除的 bug)。

记忆 LSA 时，记住“谁产生的”，“干什么的”和“传播区域”。

### 常见LSA的类型

类型	名称	描述
1	路由器LSA (Router LSA)	每个设备都会产生，描述了设备的链路状态和开销，该LSA只能在接口所属的区域内泛洪
2	网络LSA (Network LSA)	由DR产生，描述该DR所接入的MA网络中所有与之形成邻接关系的路由器，以及DR自己。该LSA只能在接口所属区域内泛洪
3	网络汇总LSA (Network Summary LSA)	由ABR产生，描述区域内某个网段的路由，该类LSA主要用于区域间路由的传递
4	ASBR汇总LSA (ASBR Summary LSA)	由ABR产生，描述到ASBR的路由，通告给除ASBR所在区域的其他相关区域。
5	AS外部LSA (AS External LSA)	由ASBR产生，用于描述到达OSPF域外的路由
7	非完全末梢区域LSA (NSSA LSA)	由ASBR产生，用于描述到达OSPF域外的路由。NSSA LSA与AS外部LSA功能类似，但是泛洪范围不同。NSSA LSA只能在始发的NSSA内泛洪，并且不能直接进入Area0。NSSA的ABR会将7类LSA转换成5类LSA注入到Area0

第6页

HUAWEI

## 区域内的 LSA

Router LSA (1 类 LSA) 包含拓扑信息 (本端 IP+对端 Router-id) + 路由信息 (路由信息包含掩码) ——你完全可以想象在填你配置静态路由时“[接口视图]ip route-s <目标网段> <掩码> <下一跳——对端 IP>”，正是因为 1 类 LSA 存在这些关键字段，才产生路由。每一个 Router LSA 都会包含来源，即谁产生的。比如两个属于同一区域的路由器之间运行了 OSPF，一个路由器里会有两条 Router LSA，一个来自自己，一条来自对端。一来一去，两者才能通讯。就像静态路由你要配置一来一回。(以太网接口描述部分链路信息，点到点则为链路和路由信息，环回只有路由信息)

### Router LSA详解 (2)

- Router LSA使用Link来承载路由器直连接口的信息。
- 每条Link均包含“链路类型”、“链路ID”、“链路数据”以及“度量值”这几个关键信息。
- 路由器可能会采用一个或者多个Link来描述某个接口。

LS Age	Options	LS Type
Link State ID		
Advertising Router		
LS sequence number		
LS checksum		length
0	V E B 0	#links
Link ID		
Link Data		
link type	#TOS	metric
...		

Link Type	Link ID	Link Data
Point-to-Point (P2P): 描述一个从本路由器到邻居路由器之间的点到点链路，属于拓扑信息	邻居路由器的 Router ID	宣告该Router LSA的路由器接口的IP地址
TransNet: 描述一个从本路由器到一个Transit网段 (例如MA或者NBMA网段) 的连接，属于拓扑信息	DR的接口IP地址	宣告该Router LSA的路由器接口的IP地址
StubNet: 描述一个从本路由器到一个Stub网段 (例如Loopback接口) 的连接，属于网段信息	宣告该Router LSA的路由器接口的网络IP地址	该Stub网络的网络掩码

拓扑

MA 拓扑

环路

第9页

JoinLabs  
卓应教育

HUAWEI

Network LSA 包含整个 MA 网络里的路由和链路状态 (接口信息+网段)。你可以理解为 DR 收集了所有人发出的 Router LSA，然后汇总打包好，在送给所有和自己建立邻接关系的路由器。

补充：假设你配置了一条静态路由，优先级设置为最高。经过 SPF 算法后，即便是被认定为最优的 OSPF 路由也不会被放入公共路由表。



## 区域间的 LSA (3 类 LSA)

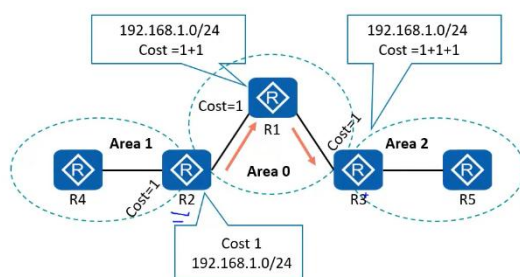
——单区域 OSPF 规模过大时, LSDB 会变得相当臃肿, 徒增性能损耗。其次, 即便是微小的拓扑变化, 这个变更会被扩散到整个区域, 并可能引发路由的重新计算。因此引入了多区域, 区域间便通过 Summary LSA (3 类 LSA) 进行同步。

· ABR 区域边界路由器 (一个接口在骨干区, 一个在非骨干区)

三类 LSA 是由 ABR 路由器产生的, 三类 LSA 只能在本区域内泛洪。三类 LSA 传至 ABR 不相邻区域是, 必须重新生成一份三类 LSA! (比如 Area0 与 Area2 间的 ABR 在 Area0 传递三类 LSA, 由 Area1 与 Area0 的 ABR 收到后, Area1 与 Area0 的 ABR 重新生成一份三类 LSA 传到 Area1。

为什么重新生成, 除了三类 LSA 无法跨区域传播外, Cost 值也需要重新计算。

### R1和R3的路由计算



R2自己到192.168.1.0/24的Cost为1, 因此它向Area0所通告的192.168.1.0/24路由的Cost为1。

1. 通过区域内SPF的计算, R1到达R2的Cost值为1, R3到达R2的Cost值为2。
2. R1和R3根据收到的Network Summary LSA进行路由计算:
  - R1将到达R2的Cost值和Network Summary LSA所携带的Cost值相加, 因此R1到达192.168.1.0/24的Cost值为2。
  - R3将到达R2的Cost值和Network Summary LSA所携带的Cost值相加, 因此R3到达192.168.1.0/24的Cost值为3。

\*192.168.1.0 是 R2 和 R4 之间的网段。

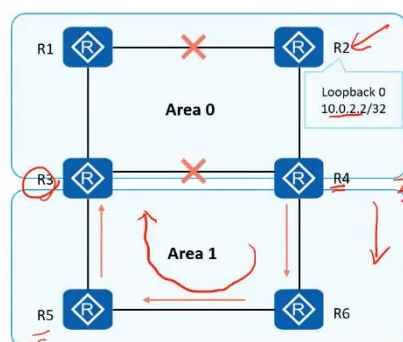
## 区域间路由防环机制

这里建议所有人配置 OSPF 时，所有非骨干区域必须与骨干区域相连！

OSPF 为了防止缺心眼网工搞了一个环，拒绝传出的三类 LSA 重新注入到自己区域（出了门就别想回来了）。

### 区域间路由的防环机制 (3)

ABR从非骨干区域收到的3类LSA不能用于区域间路由的计算。



R1和R2、R3和R4之间的链路中断导致骨干区域不连续。

- R4将10.0.2.2/32路由以3类LSA的形式发送到Area 1。
- R5和R6可以根据上述3类LSA计算出10.0.2.2/32路由。
- R3从非骨干区域收到3类LSA，不进行路由计算，也不会将此3类LSA发送到其他区域。
- 此时，R1和R3都无法和10.0.2.2/32通信。

如图，R3 会拒收来自 Area0 的三类 LSA，所以 R1、R3 和 R2 就这样分开了，除非链路修好，不然它们这辈子都说不了话了。

## 虚链接

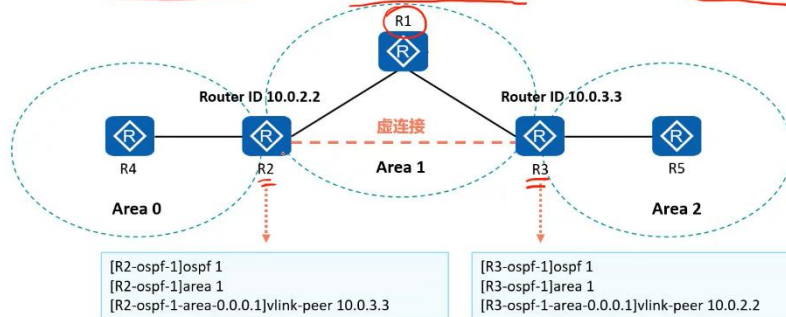
既要求骨干区域和非骨干区域相连，OSPF 又自带防环圣体，但我现在就要非骨干区域和非骨干区域的 ABR 做邻居咋办……

学过 CAPWAP 和 VPN 的你第一反应就是“建隧道”对吧，巧了，OSPF 它有！

### 虚连接的作用及配置

跨跳

- OSPF要求骨干区域必须是连续的，但是并不要求物理上连续，可以使用虚连接使骨干区域在逻辑上连续。
- 虚连接可以在任意两个ABR上建立，但是要求这两个ABR都有端口连接到一个相同的非骨干区域。



第33页

JoinLabs  
卓应教育

HUAWEI

有很多很就要问了，R2 不能直接发 Hello 报文给 R3 嘛！抱歉 OSPF 报文的 TTL=1，一旦被 R1 这么一转发，TTL-1，呕吼~

你把虚连接想象成一根虚拟的线，把 R2 和 R3 连在一起了……但还是建议，拿根物理的线（哈哈，没想到吧，这才是最简单的解决方案！）把 R2 和 R3 连起来效果更好！

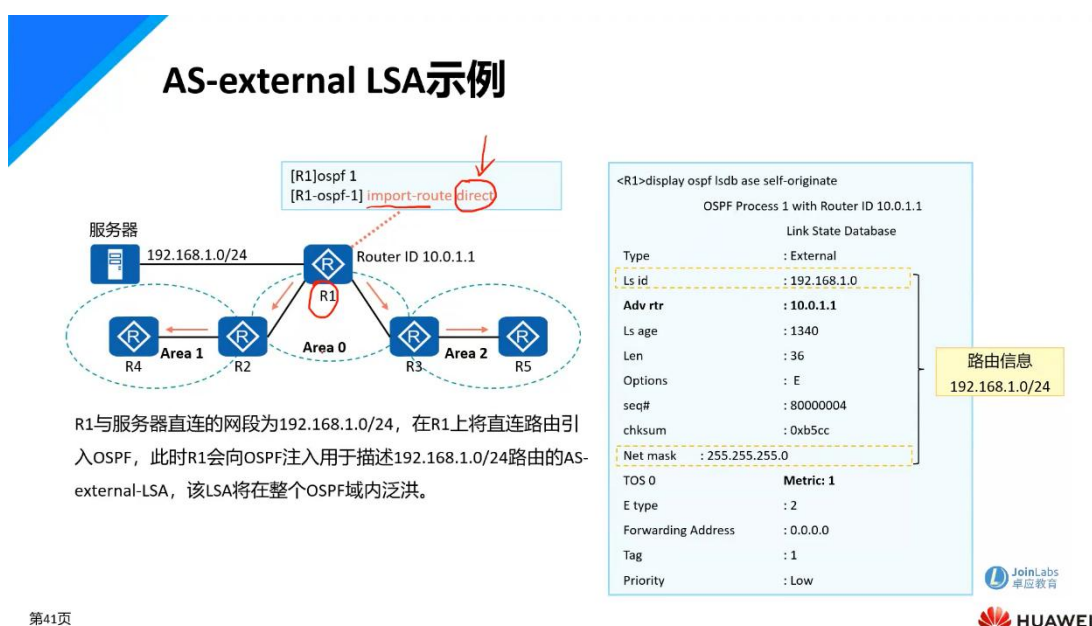
## OSPF 路由引入（5 类 LSA）

因为一些特殊原因，整个网络区域并非所有链路都运行了 OSPF（这也说明了 OSPF 域不等于整个网络）。常见的是边缘服务器（FTP 服务器这种），使用静态路由前往网络的其它地方的设备。为了解决动态路由无法自动获取这部分链路和路由的情况，便有了 OSPF 路由引入。

·AS 自治系统（暂未收入更多信息）

·ASBR 自治系统边界路由器——只要一台 OSPF 设备引入了外部路由，他就成为了 ASBR。

ASBR 将外部路由以 AS-external LSA（五类 LSA）的形式在 OSPF 域中泛洪，描述外部的路由信息。



第41页

OSPF 外部路由的开销有两种情况，Metric-Type-1 和 Metric-Type-2。当外部路由度量值，即参考带宽和内部一致时，ASBR 会认为其具有可比性，使用 type-1，会连同 OSPF 内部的开销一起计算。倘若外部计算开销的方式不一样或度量值不同，则会用 type-2，仅计算外部路由开销。多数情况下为 Metric-Type-2。

## 四类 LSA（AS-sum LSA）

你一定很好奇为什么 4 类 LSA 会放到 5 类 LSA 后面来说。5 类 LSA 告知所有 OSPF 路由器外部路由状况后，OSPF 仍无法前往，这是因为路由器们根本就不知道出口在哪里。4 类 LSA 则描述了前往 ASBR 的路由，你可以理解为 OSPF 域“网关”。和三类 LSA 一样，四类 LSA 只在 Area 内传播，并且跨区会由 ABR 制作一

个新的在下一个区域泛洪，倒不是开销的问题，只是告诉自己所在区域去，你想去那个地方，可以找我。

## SPF 算法

### 一、SPF 算法的基本原理

SPF 算法是一种用于解决图论中单源最短路径问题的算法，最初由荷兰计算机科学家 Edsger W. Dijkstra 提出。在 OSPF 中，SPF 算法用于计算路由器到网络中其他节点的最短路径。具体来说，每个运行 OSPF 的路由器都会维护一个链路状态数据库（LSDB），该数据库中存储了网络中所有路由器的链路状态信息。当 LSDB 更新完成后，路由器会运行 SPF 算法，生成一棵以该路由器为根的最短路径树（Shortest Path Tree, SPT），从而确定数据包转发的最佳路径。

### 二、SPF 算法的实现步骤

初始化：

选择一个起点（通常是运行 SPF 算法的路由器本身），并将起点的最短路径距离设为 0。

将所有其他节点的最短路径距离设为无穷大。

创建一个未处理节点列表，将所有节点加入该列表。

选择最近节点：

从未处理节点列表选择一个距离起点最近的节点，标记为已处理。

将该节点从未处理节点列表中移除。

更新邻居节点的距离：

对于已处理节点的所有邻居节点，计算从起点到这些邻居节点的路径距离。

如果新计算的距离小于当前记录的距离，则更新邻居节点的最短路径距离，并记录前驱节点（即从起点到该邻居节点的上一个节点）。

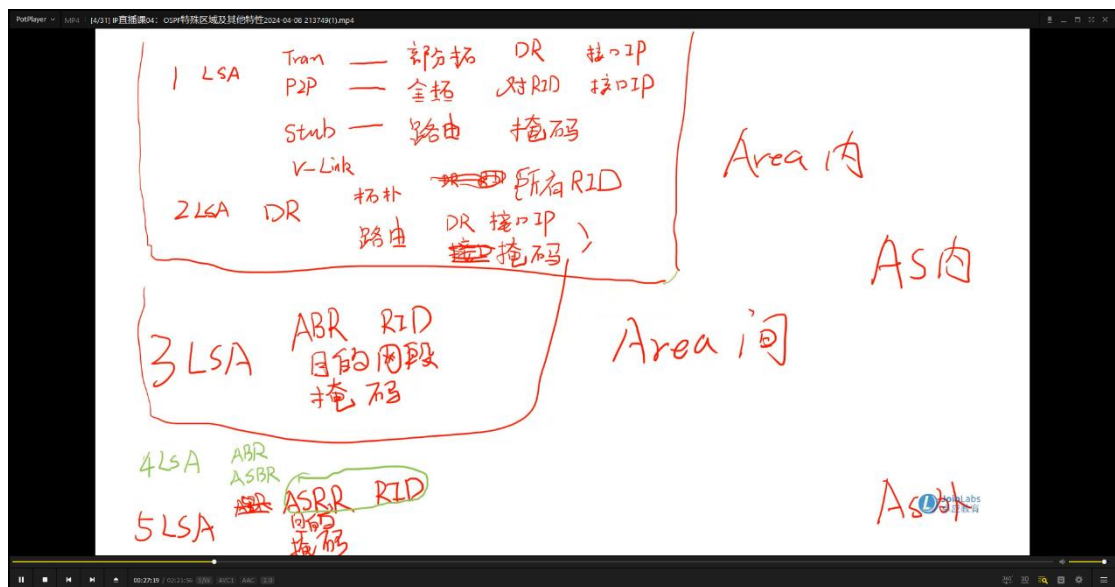
重复步骤 2 和 3：

重复上述步骤，直到所有节点都被标记为已处理。

生成最短路径树（SPT）：

SPF 算法执行完毕后，会生成一棵以该路由器为根的最短路径树（SPT）。

SPT 描述了从该路由器到网络中所有其他节点的最优路径，路由器根据 SPT 中的信息更新其路由表，从而确定数据包转发的最佳路由。



## OSPF 特俗区域

——上世纪的设备就不要拿到今天用了喵……

### Stub 与 Totally Stub

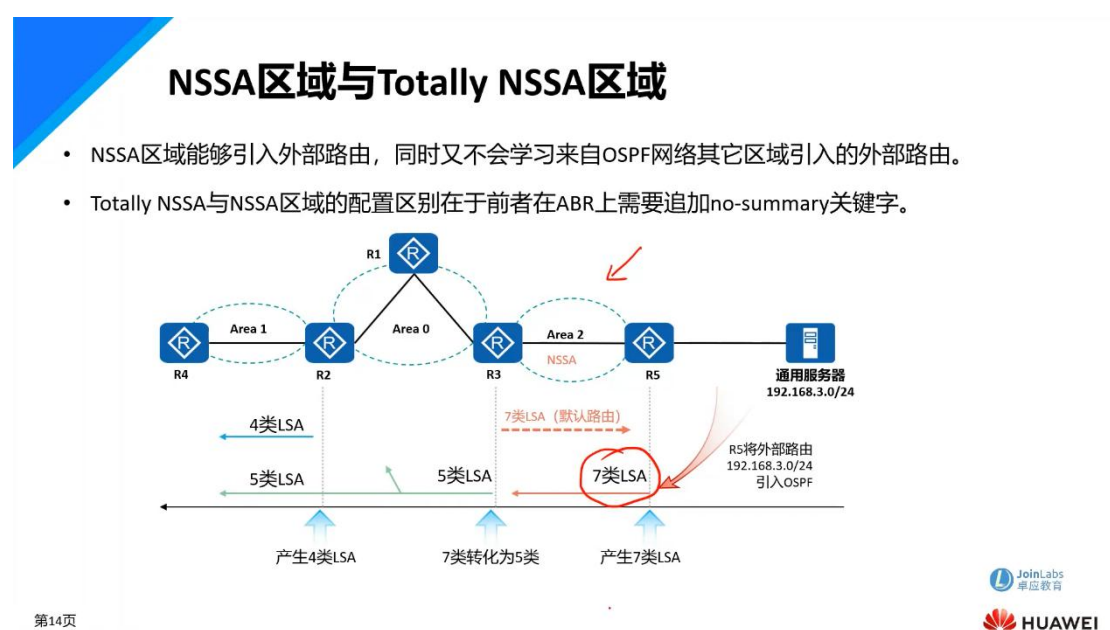
末端路由器的性能可能不如骨干区域的路由器，难以承载庞大的 LSA，即便已经划分过区域……这个时候就引入一个 Stub 区域，Stub 针对那些没有大量区域间流量转发而设计。Stub 下的路由器会删除区域内除 ABR 所有 4、5 类 LSA (即不能引入 AS 外部路由也不接受 AS 外部路由)，但会留下一条缺省路由前往 ABR，即一个报文源目 IP 都匹配不上时，默认给 ABR，这样可以极大减小末端路由的压力。此外，骨干区域不可以被设定为 Stub 区域、虚连接也不能穿过 Stub 区域。

*在 OSPF 区域视图下输入“Stub”设定区域，一个 area 内所有路由器都必须设置 stub。注意 stub 开始执行命令后所有路由器需要重新建立邻居关系！*

别急，有那么些时候，末端路由器菜的超乎你想象，哪怕抹去了 4、5 内 LSA，他还嫌多……（这边建议直接扔掉换新的）。在 Stub 的基础上，多了一个 Totally Stub，进一步削减三类 LSA，转发的工作全部扔给 ABR（ABR：6），只要是报文统统扔给 ABR 去转发就行啦！

## NSSA 与 Totally NSSA

为了解决 Stub 无法引入外部路由的问题，创造了 NSSA。就是在删除 4、5 类 LSA 的前提下允许引入外部路由。外部路由的传递引入了 7 类 LSA——即在 NSSA 区域的 ASBR 产生，发送给 ABR（仅在 NSSA 区域中泛洪）。7 类 LSA 会被 ABR 转化为 5 类 LSA 发往其它区域。同时 ABR 会生成一条缺省的 7 类 LSA 在 NSSA 区域内泛洪，用于描述外部路由。



当然 Totals NSSA 和 Stub、totally Stub 一致，进一步削减 3 类 LSA，缺省交给 ABR 中转。

## 路由汇总

比特殊区域温和一点的处理方式，不是直接删除，而是聚合到一个网段内。

### ABR 路由汇总

比如说一个 Area 内存在 172.16.1.0,172.16.2.0,172.16.3.0……他们都是实在存在网段。如果不启用路由汇总，那么会产生很多三类 LSA 去描述前往每一个网段的路由。ABR 路由汇总则是将上述网段全汇总到 172.16.0.0 255.255.0.0 这个



大网段中，这样就只会产生 1 条三类 LSA。

*ABR 路由器在 ospf 区域视图下输入“abr-summary <汇总的网络地址> <汇总的电子掩码>”——汇总前你需要自行根据主机数量去计算掩码。*

## ASBR 路由汇总

在理解汇总的基础上，ASBR 汇总就是将外部区域所有相同的网段汇总到一个大网段。

*和 ABR 路由引入不太一样的是，在 ospf 进程视图下配置。*

## OSPF 其它特性

### Silent-Interface 静默接口

有些时候，一台 OSPF 路由器的下游是一些服务器和 PC，但为了能够访问这个网段，路由器面向此网段的接口仍需要激活 OSPF。这造成一个问题，该端口上路由器仍会发送 Hello 报文，终端设备们仍需要处理这些报文（丢弃也消耗性能）。这多出来的 Hello 报文就是无用的，而且还不利于安全。这个时候我们就可以将该端口配置为静默端口，宣告网段（直连路由仍会给出），但不发出也不接收 OSPF 报文。

*在 ospf 区域视图下，输入“silent <接口>”进行配置。*

## Ospf 报文认证

OSPF 共有两种认证方式

·区域认证

·接口认证

### OSPF报文认证

- OSPF支持报文认证功能，只有通过认证的OSPF报文才能被接收。
- 路由器支持两种OSPF报文认证方式，当两种认证方式都存在时，优先使用接口认证方式：
  - 区域认证方式：一个OSPF区域中所有的路由器在该区域下的认证模式和口令必须一致。
  - 接口认证方式：相邻路由器直连接口下的认证模式和口令必须一致。

```
[R2]interface GigabitEthernet 0/0/1  
[R2-GigabitEthernet0/0/1]ospf authentication-mode md5 1 cipher Huawei
```

在R2的GE0/0/1接口上配置接口认证方式

```
[R2]ospf  
[R2-ospf-1]area 0  
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0]authentication-mode simple cipher Huawei
```

在R2上将Area 0使能区域认证方式



在本例中，R2分别配置了接口认证及区域认证，为了正常建立OSPF邻居关系，R3及R1也需完成相关配置

JoinLab's  
卓应教育

第23页

HUAWEI

命令如图所示。

(Wireshark 抓包会显示密文)

====我也是有底线的====