DOI:10.19789/j.1004-9398.2019.06.011

基于 OSPF 动态路由协议的优化研究

孙光懿[1] 贾英霞[2] 薛 颖[3]

(1. 天津音乐学院图书与信息中心,天津 300171; 2. 商丘经济贸易学校教务科,河南 商丘 476000;
3. 南开大学滨海学院,天津 300270)

摘要: 本文对 OSPF 动态路由协议进行了深入细致的优化研究. 分析了 OSPF 的路由表及 LSA 的类型,给出了 LSDB 过载保护、传播 OSPF 默认路由、OSPF 路由汇总、修改 OSPF 链路开销及过滤外部路由的详细配置过程并形成了明确的分析结论. 研究表明优化后的 OSPF 网络稳定性与扩展性均有了明显的提高.

关键词: OSPF; LSDB; 路由汇总
中图分类号: TP393.9

0 引 言

OSPF 路由协议[1-5]是一种运行在自治系统内部的链路状态路由协议. 与运行其它链路状态路由协议的路由器一样,OSPF 路由器也同样存在邻居表、拓扑表和路由表等 3 张表,且每张表所负责的任务也不尽相同. 其中,邻居表的任务是负责维护相邻路由器之间的邻接关系,表中存储着邻居路由器的相关信息和邻居状态; 拓扑表的任务则是负责存储自身以及从邻居路由器交换而来的 LSA(链路状态信息). 众所周知的是,运行 OSPF 路由协议的路由器之间交换的不是路由表,而是链路状态信息. 当这种交换完成以后,相同区域中的每台 OSPF 路由器将拥有相同的拓扑表(也称为拓扑数据库),并基于此表利用 SPF 算法,计算出 SPF 树. 而路由表的任务则是为接收到的数据包提供到达目的地址的最优路径. 需要说明的是: OSPF 路由器通常是以占用其内存和 CPU 资源为代价,来存储这 3 张表的(表的大小与 OSPF 网络规模成正比),这也是 OSPF 协议一个显而易见的缺点. 如果在一个大型网络中部署 OSPF 协议,那么就很有可能导致 SPF 运算时间过长、OSPF 设备中拓扑表和路由表过于庞大等现象的出现,这必然会造成网络的稳定性下降. 为了最大限度的避免这种情况的出现,提高网络的稳定性,有必要对在大型网络中部署的 OSPF 路由协议进行优化.

收稿日期: 2018-11-09

1 LSA 的类型[5-6]

OSPF 区域中每台路由器的拓扑表都是基于 LSA 而建立的,它包括了 OSPF 路由器自身所直连链路的一些信息. 当两台 OSPF 路由器确定邻接关系后,就会通过相互交换 LSA 来进行拓扑数据库的同步. 通常情况下,OSPF 路由器会采用多播的方式将自身的 LSA 传播给区域中的所有邻接设备,直到区域中的所有 OSPF 路由器均拥有相同的拓扑数据库为止. 虽然 OSPF 路由协议共有 11 种不同类型的 LSA,但是常见的只有以下 6 种类型的 LSA:

(1) 1 类 LSA: OSPF 区域内的每台路由器都会产生此类 LSA,该类 LSA 只能在最初产生它们的区域内泛洪,它通告了路由器所有的链路以及链路状态.

(2) 2 类 LSA: 该类 LSA 由 DR 所生成,且存在于广播多路访问网络或 NBMA 网络之中,主要用来描述在此网络中的所有 OSPF 路由器. 泛洪的范围与 LSA1 相同,只能在最初产生它们的区域内进行.

(3) 3 类 LSA: 该类 LSA 由 OSPF 区域边界路由器所生成,它可以在骨干区域中进行泛洪,以便可以传播到其它 OSPF 区域边界路由器(LSA3 不会传播到完全末梢区域和完全非纯末梢区域). 其作用主要用来向区域内的路由器通告可到达的区域外部目的地址.

(4) 4 类 LSA: 该类 LSA 同样由 OSPF 区域边界路由器所生成,且不会被传播到任何末节区域. 其作用主要用来向区域中的路由器通告到达 OSPF 自治系统边界路由器的路由,需要注意的是: 其一,该路

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

由的目的地址并不是网络地址,而是 OSPF 自治系统边界路由器主机地址; 其二,区域中存在 OSPF 自治系统边界路由器,是产生 4 类 LSA 的前提条件.

(5) 5 类 LSA: 该类 LSA 由 OSPF 自治系统边界路由器所生成,它可以被传播到除各种末梢区域外的所有区域. 其作用主要用来向 OSPF 自治系统内的路由器通告去往自治系统外部的路由.

(6) 7 类 LSA: 该类 LSA 同样由 OSPF 自治系统边界路由器所生成,LSA7 与 LSA5 除了泛洪范围不同以外(它只能在最初产生它们的非纯末梢区域内进行泛洪,而 LSA5 可以在 OSPF 自治系统内进行泛洪) ,其它几乎都是相同的.

2 OSPF 协议路由表[7-8]

当网络拓扑结构发生变化,OSPF 路由器就会同步更新自己的拓扑表,并在此基础上重新计算自己的路由表. OSPF 协议路由表包含有以下 3 种类型的路由: 区域内部路由、区域间路由和外部路由. 其中,内部路由是基于 LSA1 和 LSA2 而产生,它描述了区域内的网络,可为 OSPF 路由器提供到达区域内目的地址的最优路径,该类路由指示符为“O”; 区域间路由是基于 LSA3 和 LSA4 而产生,它描述了到达 OSPF 自治系统中其它区域的最优路径,该类路由指示符为“IA”; 而外部路由则是基于 LSA5 而产生,它描述了到达 OSPF 外部自治系统目标网络的最优路径. 通常外部路由可进一步分为 1 类外部路由(路由指示符为“OE1”) 和 2 类外部路由(路由指示符为“OE2”) ,二者之间的差别主要在于分别使用不同的方法来计算路由开销(1 类外部路由,其开销为外部路由开销与内部路由开销之和. 2 类外部路由,其开销只包含外部路由开销) . 当 OSPF 网络中只有 1 台自治系统边界路由器将外部路由重分布到自治系统内时,应采用 2 类外部路由. 只有当 OSPF 网络中有多台自治系统边界路由器将同一条外部路由重分布到自治系统内时,才应采用 1 类外部路由,因为这样可以避免次优路由的产生.

3 OSPF 优化技术

3.1 OSPF LSDB 过载保护[9-10]

在 OSPF 网络中,为避免由于拓扑结构发生变化或路由器配置不当等原因产生大量 LSA,从而消耗路由器内存及 CPU 资源现象的出现,网络技术人员有必要对 OSPF 网络进行 LSDB 过载保护设置. LSDB 过载保护设置以后,OSPF 路由器将对 LSDB 中的 LSA 数量进行计算(自身产生的 LSA 数量不在计算之列) . 一旦计算出的 LSA 数量达到所设定的阈值,就会在路由器的操作系统日志中产生 1 条错误信息. 如果 LSA 数量超过所设定的阈值持续 1 分钟以上,OSPF 进程将对所有邻居关系进行终止,并对拓扑数据库做清空处理.

为使读者今后能够熟练掌握 OSPF LSDB 过载保护的具体配置方法并理解其工作原理,通过 3 台路由器 R1、R2、R3 搭建了 1 个小型 OSPF 自治系统,该自治系统由区域 0 和区域 1 所组成,路由器 R2 为区域边界路由器. 网络拓扑如图 1 所示. 在这里以路由器 R1 为例,给出相关配置命令.

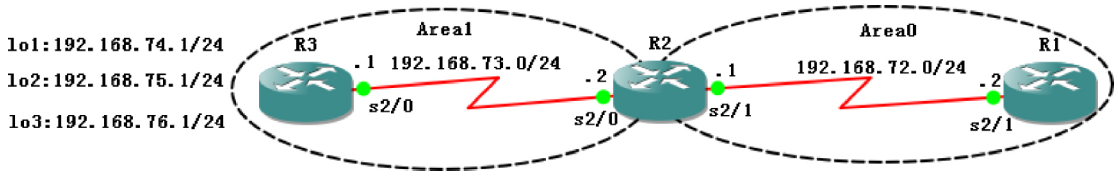


图 1 多区域 OSPF 网络拓扑

路由器 R1 的相关配置

R1(config) #router ospf 55

R1 (config-router) # network 192. 168. 72. 0 0. 0. 0. 255 area 0

R1(config-router) #max-lsa 3 ignore-time 1 ignore-count 2 // 路由器 R1 的 LSDB 可存储的最大 LSA 数量设置为 3; 当 LSA 数量超过所设定的最大值时,路由器 R1 的 OSPF 进程将会进入忽略状态(进入忽略状态的 OSPF 进程不仅会终止所有邻居关系,而且也会对 OSPF 拓扑数据库做清空处理) ; 如果路由器 R1 的 OSPF 进程进入忽略状态的次数达到 3 次,那么 OSPF 进程将永久终止邻居关系(只有在人工干预的情况下,才可对邻居关系进行恢复) .

为了验证配置效果,在这里使用 sh ip ospf 55 和 sh ip ospf database 命令分别查看路由器 R1 的 OSPF LSDB 过载保护统计情况和拓扑数据库情况. 如图 2 和 3 所示.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

```
R1#SH IP OSPF 55
 Routing Process "ospf 55" with ID 192.168.72.2
 Start time: 00:10:13.088, Time elapsed: 00:08:18.916
 Supports only single TOS(TOS0) routes
 Supports opaque LSA
 Supports Link-local Signaling (LLS)
 Supports area transit capability
 Maximum number of non self-generated LSA allowed 3
    Threshold for warning message 75%
    Ignore-time 1 minutes, reset-time 2 minutes
    Ignore-count allowed 2, current ignore-count 3
    Permanently ignoring all neighbors due to max-lsa limit
 Router is not originating router-LSAs with maximum metric
```

图 2 路由器 R1 OSPF LSDB 过载保护统计情况

```
R1#SH IP OSPF DATAbase

            OSPF Router with ID (192.168.72.2) (Process ID 55)

                Router Link States (Area 0)

Link ID         ADV Router      Age         Seq#       Checksum Link count
192.168.72.2    192.168.72.2    1061        0x80000003 0x008B4C 1
```

图 3 路由器 R1 OSPF LSDB 中包含的 LSA 情况

从图中可以清楚的看到,路由器 R1 的 OSPF 进程进入忽略状态的次数已达到 3 次(超过所设定的最大忽略次数),因此路由器 R1 将永久终止与其它 OSPF 路由器的邻居关系,与此同时其拓扑数据库中只包含自身所产生的 LSA1.

3.2 传播 OSPF 默认路由[10-12]

当 OSPF 自治系统与网络运营商边界路由器互联时,如果采用路由重分布互相通告各自路由的方式,来保证自治系统内用户对互联网资源的正常访问,不仅会增加 OSPF 路由器拓扑表、路由表的规模,而且也会大量消耗其内存及 CPU 资源. 这种做法显然既得不偿失又不现实,最理性的方式就是在 OSPF 自治系统边界路由器中创建一条到达网络运营商边界路由器的静态默认路由,并将其传播到其它 OSPF 区域. 众所周知的是: 除 OSPF 特殊区域中的 ABR(区域边界路由器)以外,其它区域中的路由器是不会生成静态默认路由,并将其在自治系统中传播的. 但是有一种办法可以让 OSPF 其它区域中的路由器,生成静态默认路由并在自治系统中传播,那就是使用命令 default-info origin always. 需要明确的是: 通过这种方法生成的静态默认路由,将在 OSPF 路由器拓扑表中以 5 类 LSA 的方式出现,路由指示符为“OE1”或“OE2”.

为使读者今后能够熟练掌握传播 OSPF 默认路由的具体配置方法并理解其工作原理,通过四台路由器 R1、R2、R3、R4 搭建了一个由 OSPF 自治系统(R1 为自治系统边界路由器)和中国教育科研网边界路由器 R4 组成的小型网络. 网络拓扑如图 4 所示. 在这里给出路由器 R1 的相关配置命令.

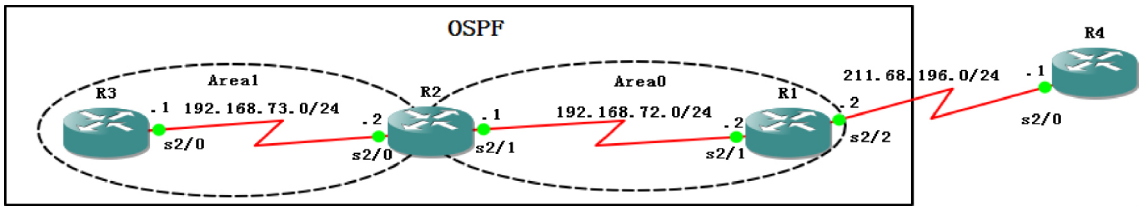


图 4 传播 OSPF 默认路由网络拓扑

路由器 R1 的相关配置 R1(config)#router ospf 55

R1(config-router)#default-info origin always //如不加参数 always,则路由器 R1 内必须存在 1 条默认路由,否则该命令不起任何作用.

为了验证配置效果,以区域 1 中的路由器 R3 为例,使用 sh ip route 和 sh ip ospf database 命令分别查看其路由表和拓扑数据库中包含的 5 类 LSA 情况. 如图 5 和 6 所示.

从图中可以清楚的看到,路由器 R3 的路由器中存在一条路由指示符为“OE2”的静态默认路由,与此同时其拓扑数据库也被从外部注入了 1 条 5 类 LSA.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

```
R3#sh ip route
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is 192.168.73.2 to network 0.0.0.0

O IA 192.168.72.0/24 [110/128] via 192.168.73.2, 00:11:55, Serial2/0
C    192.168.73.0/24 is directly connected, Serial2/0
O*E2 0.0.0.0/0 [110/1] via 192.168.73.2, 00:11:55, Serial2/0
```

图 5 路由器 R3 的路由表

```
                Type-5 AS External Link States

Link ID         ADV Router      Age         Seq#       Checksum Tag
0.0.0.0         211.68.196.2    1112        0x80000001 0x000994 55
```

图 6 路由器 R3 的拓扑数据库中包含的 5 类 LSA

3.3 OSPF 路由汇总[13-16]

配置 OSPF 路由汇总对于减少 LSA 在整个 OSPF 自治系统中泛洪总量,控制路由器中拓扑数据库以及路由表的规模,降低路由器 CPU 及内存开销,提高网络的稳定性都至关重要. OSPF 路由汇总有两种类型: 一种是在区域边界路由器上进行的路由汇总,该类型的路由汇总主要负责汇总 3 类 LSA(通常情况下区域中的 1 类 LSA 和 2 类 LSA,都需要转换为 3 类 LSA). 只要区域内的网络地址是连续的,网络技术人员就可以采用该方式的路由汇总. 在区域边界路由器上进行路由汇总后,即使区域中的拓扑结构有所变化,其发生改变的链路状态信息也不会传播到区域 0,从而使其它区域中的 OSPF 路由器不必再对自己的路由表进行更新,近而提高网络的稳定性. 另一种是在自治系统边界路由器上进行路由汇总,这种类型的路由汇总主要负责汇总 5 类 LSA,然后将其注入到自治系统内部. 默认情况下,任何重分发到 OSPF 自治系统内的外部路由,都将使用一个 5 类 LSA 进行通告. 需要注意的是: 在实际应用中,无论是采用哪种类型的路由汇总,都将会自动产生一条指向黑洞接口(发送到此接口的数据包将被丢弃)的路由. 这样做的目的就是为了最大限度的避免,OSPF 路由器使用默认路由转发数据包,近而造成路由环路的产生.

为使读者今后能够熟练掌握传播 OSPF 路由汇总的具体配置方法并理解其工作原理,通过 4 台路由器 R1、R2、R3、R4 搭建了 1 个小型网络,并在 R1、R2 上手动配置路由汇总. 其中,R1、R2、R3 为 OSPF 自治系统内路由器,R4 为外部自治系统边界路由器. 网络拓扑如图 7 所示. 在这里给出路由器 R1 与 R2 的相关配置命令.

(1) 路由器 R1 的相关配置.

R1(config)#router ospf 55

R1(config-router)# network 211.68.202.0 0.0.0.255 area 0

R1(config-router)#summary-address202.68.0.0 255.255.252.0 //配置 OSPF 外部路由汇总

R1(config-router)#redist rip sub metic 12

R1(config)#router rip

R1(config-router)#network 211.68.196.0

(2) 路由器 R2 的配置

R2(config)#router ospf 55

R2(config-router)# network 211.68.195.0 0.0.0.255 area 1

R2(config-router)# network 211.68.202.0 0.0.0.255 area 0

R2(config-router)#area 1 range 211.68.204.0

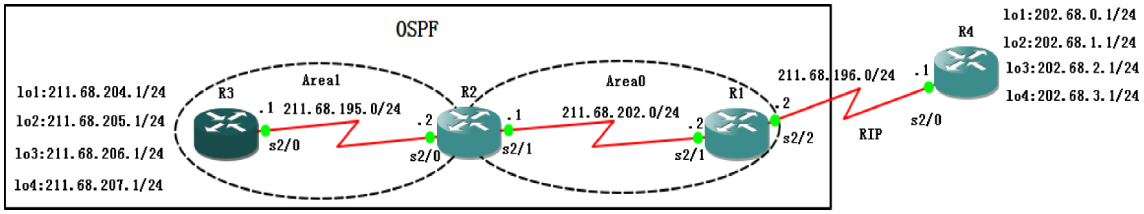


图 7 OSPF 路由汇总

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

255.255.252.0 //配置 OSPF 域间路由汇总

为了验证在路由器 R1、R2 上配置 OSPF 路由汇总的效果,使用 sh ip route 命令分别查看以上两台路由器的路由表. 如图 8 和 9 所示.

```
R1#sh ip route
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

O IA 211.68.195.0/24 [110/128] via 211.68.202.1, 00:16:04, Serial2/1
R    202.68.2.0/24 [120/1] via 211.68.196.1, 00:00:03, Serial2/2
R    202.68.3.0/24 [120/1] via 211.68.196.1, 00:00:03, Serial2/2
C    211.68.196.0/24 is directly connected, Serial2/2
R    202.68.0.0/24 [120/1] via 211.68.196.1, 00:00:03, Serial2/2
R    202.68.1.0/24 [120/1] via 211.68.196.1, 00:00:03, Serial2/2
C    211.68.202.0/24 is directly connected, Serial2/1
O    202.68.0.0/22 is a summary, 00:04:46, Null0
O IA 211.68.204.0/22 [110/129] via 211.68.202.1, 00:16:06, Serial2/1
```

图 8 路由器 R1 的路由表

```
R2#sh ip route
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

C    211.68.195.0/24 is directly connected, Serial2/0
O E2 211.68.196.0/24 [110/12] via 211.68.202.2, 00:11:29, Serial2/1
C    211.68.202.0/24 is directly connected, Serial2/1
     211.68.206.0/32 is subnetted, 1 subnets
O       211.68.206.1 [110/65] via 211.68.195.1, 01:06:00, Serial2/0
     211.68.207.0/32 is subnetted, 1 subnets
O       211.68.207.1 [110/65] via 211.68.195.1, 01:06:00, Serial2/0
     211.68.204.0/32 is subnetted, 1 subnets
O       211.68.204.1 [110/65] via 211.68.195.1, 01:06:00, Serial2/0
     211.68.205.0/32 is subnetted, 1 subnets
O       211.68.205.1 [110/65] via 211.68.195.1, 01:06:01, Serial2/0
O E2 202.68.0.0/22 [110/12] via 211.68.202.2, 00:11:31, Serial2/1
O    211.68.204.0/22 is a summary, 01:06:01, Null0
```

图 9 路由器 R2 的路由表

从图 8 中可以清楚的看到,在路由器 R1 的路由表中存在一条指示符为“O”,下一跳接口为 NULL0 的路由. 该条路由既为路由器 R1 对 OSPF 自治系统外部路由进行汇总后而生成的路由. 另外,在路由器 R1 的路由表中还存在 1 条指示符为“O IA”,目标地址为“211.68.204.0/22”,且下一跳的 IP 地址为 211.68.202.1 的路由. 该条路由既为经路由器 R2 汇总的 OSPF 域间路由.

从图 9 中可以清楚的看到,在路由器 R2 的路由表中存在 1 条指示符为“O E2”,目标地址为“202.68.0.0/22”,且下一跳的 IP 地址为 211.68.202.2 的路由. 该条路由既为经路由器 R1 汇总的 OSPF 自治系统外部路由. 另外,在路由器 R2 的路由表中还存在 1 条指示符为“O”,目标地址为“211.68.204.0/22”,下一跳接口为 NULL0 的路由. 该条路由既为路由器 R2 对路由器 R3 的 4 个环回接口所在网络进行路由汇总后而生成的路由.

3.4 修改 OSPF 链路开销

当 OSPF 区域中的路由器完成了拓扑数据库的同步工作后,SPF 算法就会通过比较每条可到达目的网络路径的开销值总和,来确定哪条路径为最佳路径. 众所周知,OSPF 开销值的计算是基于链路带宽且与其成反比(既链路带宽越高,开销值就越小),拥有最小开销值的路径会被选为最优路径. 通常情况下,串行链路的开销值为 64,以太网链路的开销值为 10. 如果所在网络为高速网络(链路带宽为 100 Mbit/s 及以上),链路开销值均会被默认为 1. 但是这样以来,就可能造成 OSPF 无法选择最优路径情况的出现(多条去往目的网络的路径拥有相同开销). 为了避免出现上述情况,网络技术人员可以通过调整参考带宽或者直接修改接口链路开销的方式来保证每条去往目的网络的路径都拥有不同的开销值.

为使读者今后能够熟练掌握修改 OSPF 开销的具体配置方法并理解其工作原理,通过四台路由器 R1、R2、R3、R4 搭建了一个由区域 0 和区域 1 组成的小型 OSPF 自治系统. 其中,路由器 R1、R2 为区域边界路由器,路由器 R3 为骨干区域内部路由器,路由器 R4 为区域 1 内部路由器. 路由器 R3 访问路由器 R4 所在子网 192.168.10.0/24 有两条路径可供选择,既 R3-R1-R4-目标地址与 R3-R2-R4-目标地址. 拟计划通过修改路由器 R2 中的 s2/2 接口链路开销的方式,将 R3-R2-R4-目标地址这条路径作为开销最低的路由加入到路由器 R3 的路由表中. 网络拓扑如图 10 所示. 在这里给出相关的配置命令.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

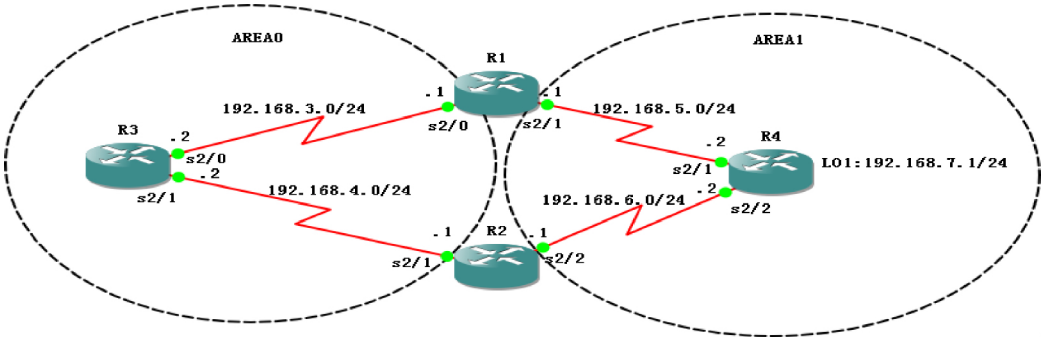


图 10　修改 OSPF 链路开销网络拓扑

在修改路由器 R2 中的 s2/2 接口链路开销前，使用 sh ip route 命令查看路由器 R3 的路由表，如图 11 所示. 从中不难发现路由器 R3 的路由表中存在两条到达目标地址 192. 168. 7. 1 的域间路由(即 R3-R1-R4-目的地址与 R3-R2-R4-目的地址) ，并且这两条路由的开销值相同. 如此时对目标地址 192. 168. 7. 1 进行访问，路由器 R3 将执行等价负载均衡的访问方式.

```
R3#sh ip route
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

C    192.168.4.0/24 is directly connected, Serial2/1
O IA 192.168.5.0/24 [110/128] via 192.168.3.1, 00:00:18, Serial2/0
O IA 192.168.6.0/24 [110/128] via 192.168.4.1, 00:00:18, Serial2/1
     192.168.7.0/32 is subnetted, 1 subnets
O IA    192.168.7.1 [110/129] via 192.168.4.1, 00:00:20, Serial2/1
                    [110/129] via 192.168.3.1, 00:00:20, Serial2/0
C    192.168.3.0/24 is directly connected, Serial2/0
```

图 11　修改链路开销前路由器 R3 的路由表

路由器 R2 的配置

R2(config) #int s2/2

R2(config-if) #ip ospf cost 15

为了验证修改路由器 R2 中的 s2/2 接口链路开销效果，使用 sh ip route 命令再次查看路由器 R3 的路由表. 如图 12 所示，从中不难发现路由器 R3 的路由表中只存在一条路由指示符为“O IA”且目标地址为 192. 168. 7. 1 的域间路由(既 R3-R2-R4-目标地址) . 这是由于该条可到达目标网络路径的总开销只有 80(R3-R2 之间的链路为串行链路，因此该条链路的开销默认为 64; R2-R4 之间的串行链路开销为 15，这是将路由器 R2 中的 s2/2 接口链路开销修改为 15 所致; 另外，R4-目的地址 192. 168. 7. 1 的默认开销为 1，这是因为该目的地址为路由器 R4 中 LOOPBACK 1 的接口地址. 因此该条路径总开销为 64 + 15 + 1 = 80，相比另一条可到达目标网络路径(R3-R1-R4-目标地址) 的总开销(129) 更低.

SPF 算法通过比较两条路径的总开销，最终确

```
R3#sh ip route
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

C    192.168.4.0/24 is directly connected, Serial2/1
O IA 192.168.5.0/24 [110/128] via 192.168.3.1, 00:00:20, Serial2/0
O IA 192.168.6.0/24 [110/79] via 192.168.4.1, 00:00:20, Serial2/1
     192.168.7.0/32 is subnetted, 1 subnets
O IA    192.168.7.1 [110/80] via 192.168.4.1, 00:00:20, Serial2/1
C    192.168.3.0/24 is directly connected, Serial2/0
```

图 12　修改链路开销后路由器 R3 的路由表

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

定 R3-R2-R4-目标地址为最优路径,因此将其加入到路由器 R3 的路由表中.

3.5 使用分发列表过滤外部路由[17]

在大型网络中,进行路由信息过滤对于保证网络高效稳定运行,避免与用户抢占网络带宽、减少路由器资源占用率至关重要. 通常情况下,某些路由信息并不需要在网络中进行传播(例如:在路由重分布的过程中,只有某些特定外部路由信息才需要在自治系统内部进行传播),因此网络技术人员往往会对这些外部路由信息进行过滤. 众所周知的是:进行路由过滤可采用多种方式进行,其中采用分发列表的方式则显得更为灵活且简单易行. 应用分发列表技术不仅可以让网络技术人员对从路由器特定接口进入或离开的路由信息进行过滤,而且还可以对重分布而来的外部路由信息进行过滤. 下面就在网络中应用该技术需要特别注意的几个方面做一下说明:首先,在距离矢量路由协议中应用分发列表技术,无论将其部署在 IN 方向或 OUT 方向,都可以对路由信息进行正常过滤;其次,如在 OSPF 路由协议的 IN 方向中应用分发列表技术,由于分发列表无法过滤 LSA 信息的特性,使得本地路由器已过滤掉的路由,仍旧存在于邻居路由器的路由表中. 如在 OSPF 路由协议的 OUT 方向中应用分发列表技术,只能将其部署在 ASBR 上,并只对重分布到自治系统内的外部路由起作用.

为使读者今后能够熟练掌握使用分发列表技术过滤 OSPF 自治系统外部路由信息的具体配置方法并理解其工作原理,通过 3 台路由器 R1、R2、R3 搭建了一个小型网络. 其中,路由器 R1 与 R2 之间运行 OSPF 路由协议(R2 为 ASBR),路由器 R2 与 R3 之间运行 RIP 路由协议. 为使全网能够互联互通,在路由器 R2 上应用双向路由重分发技术,但是禁止源自 RIP 协议的路由 192.168.20.0/24 重分发到 OSPF 自治系统中. 网络拓扑如图 13 所示. 在这里给出路由器 R2 的相关配置命令.

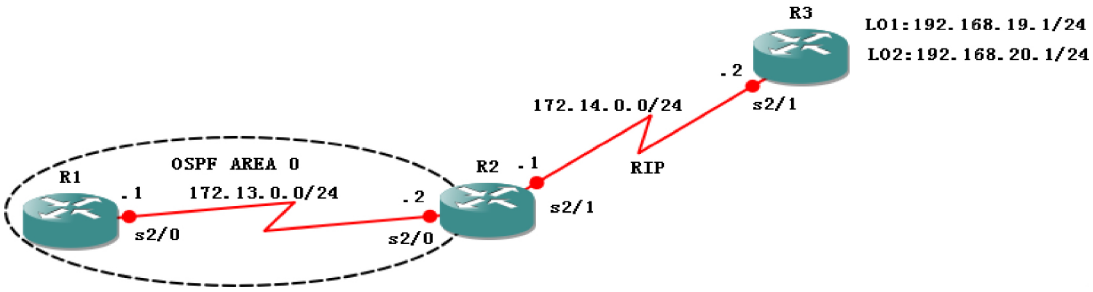


图 13 使用分发列表过滤 OSPF 外部路由

路由器 R2 的配置

```
R2(config)#access-list 8 deny 192.168.20.0 0.0.0.255 //建立编号为 8 的访问控制列表
R2(config)#access-list 8 petmit any
R2(config)#router ospf 55
R2(config-router)#network 172.13.0.0 0.0.0.255 area 0
R2(config-router)#redist rip subnets metic 13
R2(config-router)#distribute-list 8 out rip
R2(config)#router rip
R2(config-router)#network 172.14.0.0
R2(config-router)#redist ospf 55 metic 13
```

为了验证在路由器 R2 上所做的配置是否正确,分别使用 sh ip ospf data 命令和 sh ip route 命令查看路由器 R2 中的 OSPF 拓扑数据库和路由器 R1 中的路由表. 如图 14 和 15 所示. 从中不难发现:其一,路由器 R2 为 ASBR,区域 0 中的拓扑数据库包含有 5 类 LSA(其中不存在到达 192.168.20.0 的链路状态信息). 默认情况下,路由器 R1 与路由器 R2 的拓扑数据库一致. 其二,路由器 R1 的路由表中只存在两条路由指示符为“O E2”,且目标地址分别为 172.14.0.0 和 192.168.19.0/24 的外部路由(该路由既为重分布到 OSPF 自治系统内的外部路由). 这充分说明,源自 RIP 协议的路由 192.168.20.0/24 没有被重分发到 OSPF 自治系统中.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

```
R2#sh ip ospf data

            OSPF Router with ID (172.14.0.1) (Process ID 55)

                Router Link States (Area 0)

Link ID         ADV Router      Age         Seq#       Checksum Link count
172.13.0.1      172.13.0.1      765         0x8000000B 0x00658F 2
172.14.0.1      172.14.0.1      629         0x8000000A 0x005F92 2

                Type-5 AS External Link States

Link ID         ADV Router      Age         Seq#       Checksum Tag
172.14.0.0      172.14.0.1      379         0x80000009 0x009B8D 0
192.168.19.0    172.14.0.1      379         0x80000009 0x0085E1 0
```

图 14 路由器 R2 的拓扑数据库

```
R1#
R1#sh ip route
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

     172.13.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C       172.13.0.0 is directly connected, Serial2/0
     172.14.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
O E2    172.14.0.0 [110/13] via 172.13.0.2, 00:01:03, Serial2/0
O E2 192.168.19.0/24 [110/13] via 172.13.0.2, 00:01:02, Serial2/0
```

图 15 路由器 R1 的路由表

4 结束语

当前 OSPF 路由协议已成为大中型网络最常用的内部网关协议. 它虽然在普通有线网络中表现良好,但是并不能很好的在特定网络环境下工作. 网络技术人员在部署 OSPF 路由协议之前,往往会对其进行一系列的规划与优化设计. 这样做不仅有助于提升网络的稳定性与可扩展性,而且也有助于提升路由器的综合性能.

参 考 文 献

[1] 王隆杰. 思科网络实验室 CCNP 实验指南 [M]. 北京: 电子工业出版社,2012.

[2] TEARE D. CCNP router(642-902) [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2011.

[3] TEARE D,VACHON B. CCNP router 300 – 301 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2016.

[4] 孙光懿. 基于 HSRP 和 RIP 协议实现校园网出口多组负载均衡 [J]. 实验室研究与探索,2017,36(12):152 – 156.

[5] 李彦刚,邓文平,王宏,等. 域内路由协议 OSPF 与 IS-IS 差异性的研究与分析 [J]. 计算机科学,2015,42(S1):256 – 259.

[6] 王琦进,经默然. 基于 OSPF 协议的 NSSA-External-LSA 携带 Forwording Address 的优化 [J]. 西华大学学报(自然科学版),2018,37(2):51 – 57.

[7] 肖涛,何怀文,彭政. 基于虚拟仿真的 OSPF 动态路由协议中 LSA 类型的实验教学设计 [J]. 实验室科学,2018,21(3):86 – 89.

[8] 马素刚. 路由协议 OSPF 的研究与仿真 [J]. 计算机系统应用,2016,25(5):228 – 231.

[9] 覃遵颖,李国栋,李卫,等. OSPF 协议脆弱性分析与检测系统的设计和实现 [J]. 通信学报,2013,34(S2):58 – 63.

[10] 李祝红,赵灿明,周方,等. 电力通信网络中高效的 OSPF 流量负载均衡协议 [J]. 计算机应用,2017,37(7):1873 – 1876 + 1882.

[11] 曹雪峰,孟伟,傅冬颖. 虚拟网络环境下路由综合实验设计与实现 [J]. 实验室研究与探索,2017,36(6):98 – 102.

[12] 付承彪,田安红. 两种动态路由协议分析及其实验设计与仿真 [J]. 实验技术与管理,2016,33(7):140 – 144.

[13] 安宁刚,李国栋,覃尊颖,等. OSPF 协议 DD 报文的脆弱性分析与验证 [J]. 微电子学与计算机,2015,32(2):52 – 55.

(下转第 58 页)

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Study on Terahertz Spectral Difference of Solid Samples under Different Compression and Preparation Conditions

LI Shuai[1,2,3,4] ZHAO Guozhong[1,2,3,4]

(1. Department of Physics, Capital Normal University, Beijing 100048; 2. Beijing Key Laboratory of Terahertz Spectroscopy and Imaging, Beijing 100048; 3. Beijing Advanced Innovation Center of Imaging Technology, Capital Normal University, Beijing 100048; 4. Key Laboratory of Terahertz Optoelectronics, Ministry of Education, Capital Normal University, Beijing 100048)

Abstract: In this paper, the differences of terahertz spectra of samples prepared and measured under the preparation conditions of three different samples are studied, and the differences of terahertz spectra caused by different sampling methods are analyzed. The results show that: the solid powder is placed directly into the sample pool, and the effective spectrum of the absorption spectrum is in the range of 0.2 to 1.2 THz, which is smaller than the 0.2 to 2.6 THz bandwidth prepared by the pressure sheet, and only half of the pressure sheet sample, and the absorption peak is confused at high frequencies, which affects the normal absorption peak. With the increase of sample concentration, the corresponding absorption peaks also show a positive increasing trend. No significant change is found during the increase in laminate pressure from 3 to 12 tons. Through experiments, it is verified that the terahertz spectrum for measuring solid powders has a good measuring effect after preparing the laminate. The sample concentration of the laminate is not less than 20%, and the recommended sample concentration is 80%, and the effect of pressing 3 minutes at 6 tons of pressure is better.

Keywords: solid samples; laminate; terahertz; spectrum; differences

---

(上接第 51 页)

[14] 严尔军,廖春生. 基于 H3C Cloud Lab 的 OSPF 多区域路由仿真实验设计及实现[J]. 青海师范大学学报(自然科学版),2018,34(2):16-19.

[15] 孙光懿. 基于访问控制列表技术的仿真实验设计[J]. 伊犁师范学院学报(自然科学版),2018(3):53-58.

[16] 胡继雷. OSPF 不间断路由技术研究及实现[D]. 西安:西安电子科技大学,2011.

[17] 孙光懿. 基于 GNS3 的 OSPF 路由设计与实现[J]. 新疆师范大学学报(自然科学版),2018,37(2):86-96.

Optimization Research of Routing Protocol Based on OSPF

SUN Guangyi[1] JIA Yingxia[2] XUE Ying[3]

(1. Library Information Center, Tianjin Conservatory of Music, Tianjin 300171; 2. Educational Branch, Shangqiu Econamic and Trade School, Shangqiu Henan 476000; 3. Nankai University Binhai College, Tianjin 300270)

Abstract: This paper studied the OSPF protocol deeply. The routing tables of OSPF and types of LSA were analyzed. The detailed configuration process of LSDB overload protection, propagation OSPF default routing, OSPF routing summary, modifying OSPF link cost and filtering external routes were given and a clear analysis conclusion was formed. The research showed that the stability and expansibility of the optimized OSPF network were obviously improved.

Keywords: OSPF; LSDB; routing summary

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net