

基于 OSPF 特殊区域和 LSA 的教学设计与实践

章丽玲

(湖北第二师范学院 计算机学院 武汉 430205)

摘 要: 为了使 学生掌握并理解 OSPF 特殊区域和 LSA 类型这两个核心概念,本文首先对 OSPF 多区域、LSA 类型和 OSPF 特殊区域的概念作了深入的分析,然后,在 GNS3 模拟仿真环境中,设计了 OSPF 特殊区域与 LSA 的洪泛范围验证实验,通过理论与实践相结合的方法,加深了学生对 OSPF 协议的理解。

关键词: OSPF; 特殊区域; 教学设计

中图分类号: G642

文献标识码: A

文章编号: 1674-344X(2020)2-0038-05

OSPF(Open Shortest Path First Protocol,开发最短路径优先协议)是一种基于链路状态路由算法的动态路由协议,其典型特点是:支持 CIDR、手动路由汇总、收敛时间快、不会产生路由环路等。OSPF 协议中涉及的概念较多,其中最为复杂和难懂的两个主要的概念为:OSPF 的特殊区域和 LSA 类型,它们是 OSPF 最核心最底层的知识,只有掌握了这两个基本概念,才能算是真正意义上理解了 OSPF 这个协议。本文将针对 OSPF 特殊区域和 LSA 类型进行教学设计和实践,让学生能够高效理解并掌握 OSPF 协议。

1 理解 OSPF 多区域概念

为了适应大规模网络,OSPF 协议通过将 OSPF 网络划分为不同区域,以提高路由的可靠性和网络的可扩展性。多域 OSPF 将自治系统划分为若干个相对独立的区域,其中一个为骨干区域,其他为非骨干区域,每个非骨干区域与骨干区域相连并通过骨干区域交换自治系统的路由信息,即下文所提到的各种 LSA。有了多域的概念后,路由器的类型分为内部路由器(Internal Routers, IR)、骨干路由器(Backbone Routers, BR)、区域边界路由器(Area Border Routers, ABR)和自治系统边界路由器(Autonomous System Boundary

Routers, ASBR)。

2 理解 LSA

LSA(Link-State Advertisement)链路状态通告,是在 OSPF 邻居之间传递的路由信息,OSPF 路由器之间相互学习到的路由信息均是通过 LSA 学习到的。LSA 的类型有 7 种,其中 6 类 LSA 为组成员 LSA,MOFSPF(组播 OSPF)通过允许路由器用它们的链路状态数据库为转发数据流建立组播分发树来增强 OSPF 的功能,在本文不做详细的描述,其他类别的 LSA 的特征详解见表 1 LSA 类型特征描述。

3 理解 OSPF 的特殊区域

根据 OSPF 原理,当网络拓扑发生变化后,相关路由器会立即发送链路状态通告 LSA 信息,使拓扑结构的变化很快扩散到整个 OSPF 网络。为了减少 LSA 在区域间的泛洪的数据量,提高网络性能,非骨干区域进一步划分为标准区域(Standard Area)、末节区域(Stub Area)、完全末节区域(Totally Stub Area)、次末节区域(Not-So-Stubby Areas)和完全次末节区域(Totally Not-So-Stubby Areas)五种类型。

为了使 学生能够正确掌握特殊区域对不同 LSA 类型泛洪信息的过滤规则,笔者设计如下实

收稿日期:2019-12-23

作者简介:章丽玲(1975-),女,湖北咸宁人,讲师,硕士,研究方向为网络安全和网络应用。

验进行验证。

表 1 LSA 类型特征描述

类型	描述	特征
1 类: 路由 LSA	IR 产生,描述了路由器所有接口、链路和 COST 值。	只允许在本区域内泛洪,不允许跨越 ABR 1 类 LSA 学到的路由在路由表中用字母“O”标识
2 类: 网络 LSA	只在广播式多路访问网络和 NBMA 网络中,由该网络的 DR 和 BDR 产生。	只允许在本区域内泛洪,不允许跨越 ABR 2 类 LSA 学到的路由在路由表中用字母“O”标识
3 类: 汇总 LSA	ABR 产生,通俗讲就是 ABR 把一个区域的 1、2 类 LSA 汇总成 3 类 LSA 向别的区域传播	域间泛洪,通过骨干区域被泛洪扩散到外部的 ABR;通过 3 类 LSA 学到的路由在路由表中用字母“O IA”标识
4 类: ASBR 汇总 LSA	由 ABR 产生,是一条主机 LSA 描述到 ASBR 的可达性。通俗讲 4 类 LSA 是其它区域用来定位 ASBR 位置的	把 ASBR 的 Router-id 传播到其他区域,让其他区域的路由器得知 ASBR 的位置,通过 4 类 LSA 学到的路由在路由表中用字母“O IA”标识
5 类: 自治系统外部 LSA	ASBR 产生,描述到自治系统外部的路径。用来通告到达 OSPF 自治系统外部的目的地或者外部的缺省路由的 LSA	域外路由,外部 LSA 通告将在整个自治系统中进行泛洪扩散。通过 5 类 LSA 学到的路由在路由表中用字母“O E1”或“O E2”标识
7 类: NSSA 外部 LSA	由一个连接到 NSSA 区域的 ASBR 产生,描述 NSSA 区域内始发于 ASBR 路由器的 LSA 通告	特殊的域外路由,只存在于 NSSA 区域中泛洪;通过 7 类 LSA 学到的路由在路由表中用字母“O N1”或“O N2”标识

4 特殊区域与 LSA 的洪泛范围实验设计

4.1 实验拓扑

实验拓扑图如图 1: 图中共划分了 4 个区域, 路由器 R3 为外部自治系统路由器, 连接外部网络 10.1.0.0/16。

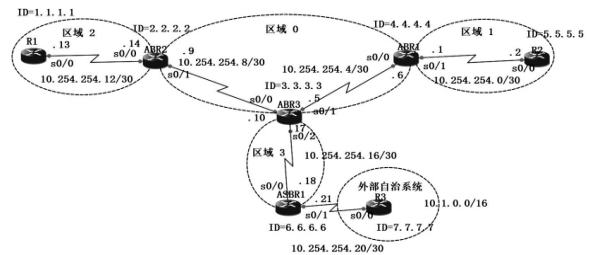


图 1 特殊区域与 LSA 的洪泛范围实验拓扑图

4.2 路由器各接口的 IP 地址分配

表 2 为各个路由器接口 IP 地址分配表

表 2 路由器接口 IP 地址分配表					
名称	接口	IP 地址及子网掩码	名称	接口	IP 地址及子网掩码
R1	S0/0	10.254.254.13/30	R3	S0/0	10.254.254.22/30
	L00	1.1.1.1/24		L00	7.7.7.7/24
R2	S0/0	10.254.254.2/30	ABR3	S0/0	10.254.254.10/30
	L00	5.5.5.5/24		S0/1	10.254.254.5/30
ABR1	S0/1	10.254.254.1/30		S0/2	10.254.254.17/30
	S0/0	10.254.254.6/30		L00	3.3.3.3/24
	L00	4.4.4.4/24	ASBR1	S0/0	10.254.254.18/30
ABR2	S0/0	10.254.254.14/30		S0/1	10.254.254.21/30
	S0/1	10.254.254.9/30		L00	6.6.6.6/24
	L00	2.2.2.2/24	R3	S0/0	10.254.254.22/30

4.3 实验步骤:

(1) 在 GNS3 模拟器中,搭建拓扑,按图配置各台路由器接口的 IP 地址。

(2) 配置各个路由器 ID,发布 OSPF 路由。

• 路由器 R1 的配置

R1(config) #router ospf 1

R1(config - router) #network 10.254.254.12

0.0.0.3 area 2

R1(config - router) #network 1.1.1.0 0.0.0.

255 area 2

#路由器 R2 的配置

R2(config) #router ospf 1

R2(config - router) #network 10.254.254.0

0.0.0.3 area 1

R2(config - router) #network 5.5.5.0 0.0.0.

255 area 1

• 路由器 ABR1 的配置

ABR1(config) #router ospf 1

ABR1(config - router) #network 10.254.254.

0 0.0.0.3 area 1

ABR1(config - router) #network 10.254.254.

4 0.0.0.3 area 0

• 路由器 ABR2 的配置

ABR2(config) #router ospf 1

ABR2(config - router) #network 10.254.254.

8 0.0.0.3 area 0

ABR2(config - router) #network 10.254.254.

12 0.0.0.3 area 2

• 路由器 ABR3 的配置

ABR3(config) #router ospf 1

```
ABR3( config - router) #network 10.254.254.
8 0.0.0.3 area 0
```

```
ABR3( config - router) #network 10.254.254.
4 0.0.0.3 area 0
```

```
ABR3( config - router) #network 10.254.254.
16 0.0.0.3 area 3
```

• 路由器 ASBR1 的配置

```
ASBR1( config) #router ospf 1
```

```
ASBR1 ( config - router) # network 10.254.
254.16 0.0.0.3 area 3
```

```
ASBR1( config) #ip route 10.1.0.0 255.255.
0.0 10.254.254.22
```

• 在 ASBR1 中进行静态路由重发布 将该静态路由注入到 OSPF 中。

```
ASBR1 ( config - router ) # redistribute
static subnets
```

(3) 用 Show ip route 命令查看各路由器路由表情况 用 Show ip ospf database 命令查看各路由器的链路状态数据库情况。

R1 的路由表如图 2 ,该路由表中有两条直联路由 学习到了 5 条 “O IA”路由 ,学习到了一条到达 10.1.0.0/16 的 “O E2” 路由。

```
1.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C 1.1.1.0 is directly connected, Loopback0
O IA 5.5.5.5 [110/257] via 10.254.254.14, 00:00:03, Serial0/0
O IA 10.0.0.0/8 is variably subnetted, 6 subnets, 2 masks
O IA 10.254.254.8/30 [110/128] via 10.254.254.14, 00:00:03, Serial0/0
C 10.254.254.12/30 is directly connected, Serial0/0
O IA 10.254.254.0/30 [110/256] via 10.254.254.14, 00:00:03, Serial0/0
O E2 10.1.0.0/16 [110/201] via 10.254.254.14, 00:00:05, Serial0/0
O IA 10.254.254.4/30 [110/192] via 10.254.254.14, 00:00:05, Serial0/0
O IA 10.254.254.16/30 [110/192] via 10.254.254.14, 00:00:05, Serial0/0
R1#
```

图 2 路由器 R1 的路由表

路由器 R2 的路由表如图 3 ,该路由表中有两条直联路由 学习到了 5 条 “O IA”路由 ,学习到了一条到达 10.1.0.0/16 的 “O E2” 路由。

```
1.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O IA 1.1.1.1 [110/257] via 10.254.254.1, 00:12:59, Serial0/0
5.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C 5.5.5.0 is directly connected, Loopback0
10.0.0.0/8 is variably subnetted, 6 subnets, 2 masks
O IA 10.254.254.8/30 [110/192] via 10.254.254.1, 00:12:59, Serial0/0
O IA 10.254.254.12/30 [110/256] via 10.254.254.1, 00:12:59, Serial0/0
C 10.254.254.0/30 is directly connected, Serial0/0
O E2 10.1.0.0/16 [110/201] via 10.254.254.1, 00:00:03, Serial0/0
O IA 10.254.254.4/30 [110/192] via 10.254.254.1, 00:13:01, Serial0/0
O IA 10.254.254.16/30 [110/192] via 10.254.254.1, 00:13:01, Serial0/0
R2#
```

图 3 路由器 R2 的路由表

路由器 ABR3 的路由表如图 4 ,该路由表中有三条直联路由 学习到了 4 条 “O IA”路由 ,学习到了一条到达 10.1.0.0/16 的 “O E2” 路由。

路由器 ASBR1 的路由表如图 5 ,该路由表中

• 40 •

有 3 条直联路由 ,发布了一条目的网络为 10.1.0.0/16 的静态路由 学习到六条 “O IA”路由。

```
1.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O IA 1.1.1.1 [110/129] via 10.254.254.9, 00:00:50, Serial0/0
3.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C 3.3.3.0 is directly connected, Loopback0
5.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O IA 5.5.5.5 [110/129] via 10.254.254.6, 00:00:50, Serial0/1
10.0.0.0/8 is variably subnetted, 6 subnets, 2 masks
C 10.254.254.8/30 is directly connected, Serial0/0
O IA 10.254.254.12/30 [110/128] via 10.254.254.9, 00:00:50, Serial0/0
O IA 10.254.254.0/30 [110/128] via 10.254.254.6, 00:00:52, Serial0/1
O E2 10.1.0.0/16 [110/201] via 10.254.254.18, 00:00:52, Serial0/2
C 10.254.254.4/30 is directly connected, Serial0/1
C 10.254.254.16/30 is directly connected, Serial0/2
ABR3#
```

图 4 路由器 ABR3 的路由表

```
1.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O IA 1.1.1.1 [110/193] via 10.254.254.17, 00:17:46, Serial0/0
5.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O IA 5.5.5.5 [110/193] via 10.254.254.17, 00:08:54, Serial0/0
6.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C 6.6.6.0 is directly connected, Loopback0
10.0.0.0/8 is variably subnetted, 7 subnets, 2 masks
O IA 10.254.254.8/30 [110/128] via 10.254.254.17, 00:17:46, Serial0/0
O IA 10.254.254.12/30 [110/192] via 10.254.254.17, 00:17:46, Serial0/0
O IA 10.254.254.0/30 [110/192] via 10.254.254.17, 00:09:05, Serial0/0
S 10.1.0.0/16 is directly connected, Serial0/1
O IA 10.254.254.4/30 [110/128] via 10.254.254.17, 00:17:48, Serial0/0
C 10.254.254.16/30 is directly connected, Serial0/0
C 10.254.254.20/30 is directly connected, Serial0/1
ASBR1#
```

图 5 路由器 ASBR1 的路由表

从实验结果可知 ,各个路由器均学习到了不同网段的路由 其中 “O” 条目是通过 1 类 LSA 学习到的 , “O IA”条目是通过 3 类 LSA 和 4 类 LSA 学习到的 , “O E2”条目是通过 5 类 LSA 学习到的。为了减少 LSA 的泛洪量 将标准区域配置成特殊区域。

(4) 将区域 1 配置成末节区域(Stub Area) 配置命令如下:

```
R2( config - router) #area 1 stub
```

```
ABR1( config - router) #area 1 stub
```

采用 show ip route 命令查看路由器 R2 的路由表 配置成 Stub 区域后 ,R2 路由表的变化情况如图 6。

```
1.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O IA 1.1.1.1 [110/257] via 10.254.254.1, 00:00:03, Serial0/0
5.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C 5.5.5.0 is directly connected, Loopback0
10.0.0.0/30 is subnetted, 5 subnets
O IA 10.254.254.8 [110/192] via 10.254.254.1, 00:00:03, Serial0/0
O IA 10.254.254.12 [110/256] via 10.254.254.1, 00:00:03, Serial0/0
C 10.254.254.0 is directly connected, Serial0/0
O IA 10.254.254.4 [110/128] via 10.254.254.1, 00:00:04, Serial0/0
O IA 10.254.254.16 [110/192] via 10.254.254.1, 00:00:04, Serial0/0
O IA 0.0.0.0/0 [110/65] via 10.254.254.1, 00:00:04, Serial0/0
R2#
```

图 6 Stub 区域的 R2 路由器的路由表

对比图 3 和图 6 ,发现配置成 Stub Area 末节区域后 ,少了 O E2 的路由条目 ,多了一条 O* IA 的路由条目 ,可以验证对于末节区域来说 路由器屏蔽了 4、5、7 类 LSA ,但会自动下发一条默认路由到达外部自治系统的网络。

(5) 将区域 2 配置成完全末节区域 配置命令如下:

```
R1( config - router) #area 2 stub no - summary
ABR2( config - router) # area 2 stub no
- summary
```

采用 show ip route 命令查看路由器 R1 的路由表 ,配置成 Totally Stub 区域后 R1 的路由表如图 4-7。

```
1.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C 1.1.1.0 is directly connected, Loopback0
10.0.0.0/30 is subnetted, 1 subnets
C 10.254.254.12 is directly connected, Serial0/0
O*IA 0.0.0.0 [110/65] via 10.254.254.14, 00:01:05, Serial0/0
R1#
```

图 7 Totally Stub 区域的 R1 路由器的路由表

对比图 2 和图 7 两次路由器 R1 的路由表 ,发现路由表 R1 的条路数明显减少 ,只有 2 条直联路由和一条默认路由 ,原因是完全末节区域会屏蔽 3、4、5、7 类 LSA ,因此 ,学习不到相关的路由条目 ,但会用一条默认路由指向区域外网络。

(6) 将区域 3 设置成次末节区域(Not - So - StubbyArea ,NSSA) ,配置命令如下:

```
ASBR1( config - router) #area 3 nssa
ABR3( config - router) #area 3 nssa
```

采用 show ip route 命令查看路由器 ABR3 的路由表 ,配置成 NSSA 区域后 ABR3 的路由表如图 8。

对比图 4 和 8 会发现在 ABR3 路由表中 O E2 的路由条目变成了 O N2 的路由条目 ,原因是 7 类 LSA 只在 NSSA 区域内泛洪 ,并且可以被 ABR 转换为 5 类 LSA 消息 ,通过 7 类 LSA 学到的路由在路由表中用符号 "N" 表示。

```
1.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O IA 1.1.1.1 [110/129] via 10.254.254.9, 00:00:47, Serial0/0
3.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C 3.3.3.0 is directly connected, Loopback0
5.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O IA 5.5.5.5 [110/129] via 10.254.254.6, 00:00:47, Serial0/1
10.0.0.0/8 is variably subnetted, 6 subnets, 2 masks
C 10.254.254.8/30 is directly connected, Serial0/0
O IA 10.254.254.12/30 [110/128] via 10.254.254.9, 00:00:47, Serial0/0
O IA 10.254.254.0/30 [110/128] via 10.254.254.6, 00:00:48, Serial0/1
O N2 10.1.0.0/16 [110/201] via 10.254.254.18, 00:00:48, Serial0/2
C 10.254.254.4/30 is directly connected, Serial0/1
C 10.254.254.16/30 is directly connected, Serial0/2
ABR3#
```

图 8 NSSA 区域的 ABR3 路由器的路由表

(7) 把区域 3 配置成完全次末节区域 ,配置命令如下:

```
ABR3 ( config - router) # area 3 nssa no
- summary
```

查看 ASBR1 的路由表情况如图 9 ,对照图 5 ,发现把区域 3 配置成完全末节区域后 ,ASBR1 的路由器的路由表条目明显减少 ,所有的 "O IA" 条

目都没有了 ,取而代之的为一条 O* IA 的默认路由条目 ,原因是完全末节区域屏蔽了 3、4、5 类 LSA ,并且会自动下发一条默认路由指向区域外网络。

```
6.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C 6.6.6.0 is directly connected, Loopback0
10.0.0.0/8 is variably subnetted, 3 subnets, 2 masks
S 10.1.0.0/16 is directly connected, Serial0/1
C 10.254.254.16/30 is directly connected, Serial0/0
C 10.254.254.20/30 is directly connected, Serial0/1
O*IA 0.0.0.0 [110/65] via 10.254.254.17, 00:00:27, Serial0/1
ASBR1#
```

图 9 Totally NSSA 区域的 ASBR1 路由器的路由表

4.4 实验结果分析

通过实验结果可知 ,特殊区域的配置可以减少路由器上 LSDB 的大小和路由表条目 ,使网络的性能更优、更稳定。

骨干区域 Backbone Area 0 ,本身是一个标准区域 ,负责连接非骨干区域 ,其他区域必须保证和骨干区域有直接的物理连接 ,如果没有 ,必须配置相应的虚链路 ,才能保证他们之间的互连。

Stub Area 区域 ,可以阻挡不必要的 LSA4/5 类信息进入本地区域 ,从而精简路由表。ABR 会生成 0/0 的缺省路由通过进 Stub 区域内部。

Totally Stub Area 区域是对 Stub Area 的改进 ,可以阻挡不必要的 LSA3/4/5 类信息进入本地区域 ,进一步精简路由表。

Not - So - Stubby Area 区域是 Stub 区域的变种 ,即想阻挡 LSA5 ,自身又想引入外部路由; NSSA 既阻挡了外部 LSA5 的进入 ,同时它的 ASBR 又可以引入外部路由 LSA7 ,LSA7 在 NSSA 内洪泛 ,通过 ABR 时转换为 LSA5。

Totally NSSA 是对 NSSA 区域的改进 ,进一步阻挡 LSA3 进入 NSSA 区域内 ,同时 ABR 自动生成 0/0 默认路由进入 NSSA 区域。OSPF 区域的类型与 LSA 的洪泛范围如图 10 所示。

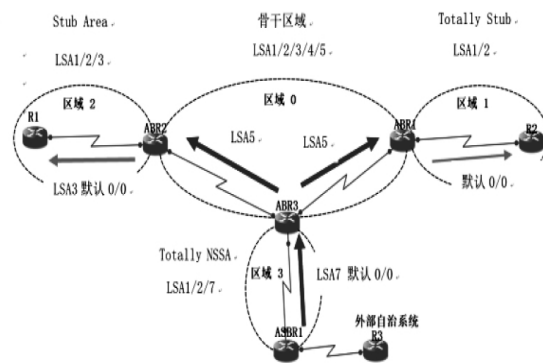


图 10 OSPF 区域类型与 LSA 的洪泛范围

5 总结

通过教学设计与实践,学生均能深入了解 OSPF 特殊区域和 LSA 类型之间的关系,能够熟练进行特殊区域的配置,同时,借助 GNS3 模拟仿真平台,学生能够自主搭建不同企业网络环境,开展创新实验,自主地把所学的知识应用到实践中。

参考文献:

- [1]曹雪峰,孟伟,等. 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(6).
- [2]史玉锋,赵燕等. 解析 ospf 协议中常用的 7 类 LSA [J]. 理论与算法 2016(1).
- [3]张纯容,施晓秋,等. 网络互联技术[M]. 北京:中国工信出版集团 2015 年 2 月.
- [4]谢希仁. 计算机网络(第 7 版)[M]. 北京:中国工信出版集团 2017 年 1 月.
- [5]肖涛,何怀文,等. 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(6).
- [6]罗俊星. 基于 Packet Tracer 的 OSPF 特殊区域网络设

计研究[J]. 长沙通信职业技术学院学报 2013(6).

[7]李洁,胡士斌,陈震,等. 基于华为 eNSP 仿真的企业专网 OSPF 多区域划分的构想和关键技术研究[J]. 软件,2018(8).

[8]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(2).

[9] Magnani D B, Carvalho I A, Noronha T F. Robust Optimization for OSPF Routing [J]. IFAC - Papers (OnLine), 2016, 49(12): 461-466.

[10]TANTSURA J, GREDLER H, GINSBERG L, et al. OSPFv2 Link traffic engineering(TE) attribute reuse [EB/OL]. (2017-06-23). [2017-10-26]. <https://tools.ietf.org/html/draft-pppsnak-ospf-te-link-attr-reuse-05>.

[11]王琦进,经默然. 基于 OSPF 协议的 NSSA - External - LSA 携带 Forwarding Address 的优化[J]. 西华大学学报(自然科学版) 2018(2).

[12]蒋磊. 论 OSPF 协议的基本原理与实现[J]. 计算机教学 2018(11).

Teaching Design and Practice Based on OSPF Special Area and LSA

ZHANG Li-ling

(School of Computer Science and Engineering, Hubei University of Education, Wuhan 430205, China)

Abstract: In order to enable students to master and understand the OSPF special area and LSA type, two core and most difficult knowledge points, an in-depth explanation is given of the concepts of multiarea, LSA and special area. Then relevant experiments are creatively designed in GNS3 simulation environment in order to verify the relationship between the special area and LSA type. Students' understanding of OSPF protocol is greatly deepened through the combination of theory and practice.

Key words: OSPF; special area; teaching design