

路由协议 OSPF 的研究与仿真^①

马素刚

(西安邮电大学 计算机学院, 西安 710121)

摘要: OSPF 协议是一种典型的链路状态路由协议, 应用非常广泛. 在对 OSPF 协议的分组类型、分组首部格式、工作原理等进行深入研究的基础上, 设计了一种多区域 OSPF 实验网络模型. 在 GNS3 平台上, 搭建了仿真的网络环境, 配置了路由器和计算机, 对设计的网络模型成功地进行了仿真. 仿真结果验证了 OSPF 协议的工作过程, 为 OSPF 协议在实际网络中的正确部署提供了参考.

关键词: 开放最短路径优先协议; 链路状态通告; 自治系统; GNS3; 仿真

Research and Simulation of OSPF Routing Protocol

MA Su-Gang

(Computer School, Xi'an University of Posts and Telecommunications, Xi'an 710121, China)

Abstract: OSPF (Open Shortest Path First) is a typical link state routing protocol, and is widely used. Based on the intensive research of the packet type, packet header format and working principle of OSPF, an experimental network model including multi OSPF areas was designed. On the GNS3 platform, a simulation network environment was built, the routers and computers were configured, and the designed network model was successfully simulated. The simulation results verify the working process of OSPF, and provide a reference for the proper deployment of OSPF in the actual network.

Key words: open shortest path first (OSPF); link-state advertisement (LSA); autonomous system; GNS3; simulation

为了解决 RIP 协议的缺陷^[1], 1988 年 Internet 工程组成立了 OSPF 工作组, 开始着手 OSPF 的研究与制定. 在 1998 年 4 月制定的 RFC 2328^[2]中描述的 OSPF 协议第二版(OSPFv2)是最近的修订. OSPF 标准是对外开放的, 不是封闭的专有路由方案.

OSPF(Open Shortest Path First, 开放最短路径优先)是一种典型的链路状态路由协议, 用于自治系统(Autonomous System, AS)内部, 属于内部网关协议, 适用于大型网络^[3]. 与 RIP 协议(Routing Information Protocol)相比, 具有适用范围广、收敛速度快、无自环、支持验证等优点, 现已成为 Internet 上应用较为广泛的一种路由协议.

本文将对 OSPF 协议进行分析研究, 并用 GNS3 软件对 OSPF 网络进行仿真.

1 OSPF 分组

1.1 分组类型

OSPF 协议依靠五种不同类型的分组来建立邻接关系和交换路由信息, 即问候分组、数据库描述分组、链路状态请求分组、链路状态更新分组和链路状态确认分组.

(1) 问候(Hello)分组

OSPF 使用 Hello 分组建立和维护邻接关系. 在一个路由器能够给其他路由器分发它的邻居信息前, 必须先问候它的邻居们.

(2) 数据库描述(Database Description, DBD)分组

DBD 分组不包含完整的“链路状态数据库”信息, 只包含数据库中每个条目的概要. 当一个路由器首次连入网络, 或者刚刚从故障中恢复时, 它需要完整的

^① 基金项目:陕西省教育厅科研计划项目(14JK1662);陕西省科技统筹创新工程计划项目(2015KTCQ01-14)

收稿时间:2015-09-02;收到修改稿时间:2015-11-02

“链路状态数据库”信息。此时，该路由器首先通过 hello 分组与邻居们建立双向通信关系，然后将会收到每个邻居反馈的 DBD 分组。新连入的这个路由器会检查所有概要，然后发送一个或多个链路状态请求分组，取回完整的条目信息。

(3) 链路状态请求(Link State Request, LSR)分组

LSR 分组用来请求邻居发送其链路状态数据库中某些条目的详细信息。当一个路由器与邻居交换了数据库描述分组后，如果发现它的链路状态数据库缺少某些条目或某些条目已过期，就使用 LSR 分组来取得邻居链路状态数据库中较新的部分。

(4) 链路状态更新(Link State Update, LSU)分组

LSU 分组被用来应答链路状态请求分组，也可以在链路状态发生变化时实现洪泛(flooding)^[1]。在网络运行过程中，只要一个路由器的链路状态发生变化，该路由器就要使用 LSU，用洪泛法向全网更新链路状态。

(5) 链路状态确认(Link State Acknowledgment, LSAck)分组

LSAck 分组被用来应答链路状态更新分组，对其进行确认，从而使得链路状态更新分组采用的洪泛法变得可靠。

1.2 分组首部格式

OSPF 协议直接运行于 IP(网际协议)之上，自身具有可靠的传输机制。OSPF 分组具有一个固定长度的首部，如图 1 所示，长度为 24 字节，分组的数据部分依据不同类型分组而包含不同内容^[4]。

0	8	16	31
版本	类型	分组长度	
路由器标识符			
区域标识符			
检验和		认证类型	
认证			
认证			

图 1 OSPF 分组首部格式

(1) 版本: 表明了 OSPF 协议当前版本号，最近的版本是 2。版本 1 和版本 2 不兼容。

(2) 类型: 指明分组的类型，可以是五种类型中

的一种。

(3) 分组长度: 指明整个 OSPF 分组的长度，包含 OSPF 首部在内，以字节为单位。

(4) 路由器标识符: 用路由器接口的 IP 地址来表示，在自治系统中唯一标识该路由器。对一个 Cisco 路由器而言，如果配置了回环接口地址(loopback)，那么最大的回环接口地址即为该路由器的标识符，否则用所有接口 IP 地址的最大值作为路由器标识符。路由器标识符被选定后，将一直不会改变，除非该路由器重启，或者其地址被选作路由器标识符的接口关闭、地址被删除或取代。

(5) 区域标识符: 指定分组所属的区域标识符，用 4 字节编号表示。形成邻接关系的双方，其区域标识符必须相同。

(6) 检验和: 用于对整个 OSPF 分组进行校验。

(7) 认证类型: 目前只有两种认证类型，0 表示不认证，1 表示用口令认证。

(8) 认证: 认证类型为 0 时，该字段填入 0；认证类型为 1 时，填入 8 个字符的口令。

2 OSPF工作原理

OSPF 属于动态路由协议，OSPF 网络中的每个路由器维护一个链路状态数据库(Link State Database, LSDB)，且所有路由器的 LSDB 是相同的，即保存了整个网络的拓扑结构。依据完整的链路状态数据库，利用 SPF(Shortest Path First)算法，即 Dijkstra 算法^[5]，路由器就可以构造路由表。对于较大规模的网络，为了进一步减少路由协议的通信流量，利于管理和计算，OSPF 将整个自治系统分为若干个区域(area)，区域内的路由器维护一个相同的链路状态数据库，保存了该区域的拓扑结构。OSPF 协议可以迅速地检测自治系统内部的拓扑变化，经过一个比较短的收敛期后，重新计算路由。具体来说，OSPF 的工作过程可以分为以下几步^[6]：

1) 建立邻接(adjacent)关系

路由器首先发送具有自身标识(ID)的 Hello 分组，与之相邻的路由器如果收到这个 Hello 分组，就将这个分组内的路由器 ID 信息加入到自己的 Hello 分组中。如果路由器收到了 Hello 分组，并且在该分组的邻居 ID 域中看到了它自己的 ID，则与发送该分组的路由器进入双向通信状态。

对于点对点网络，路由器就与它的唯一链路伙伴建立邻接关系。在类似以太网的多路访问网络中，连接到网络的路由器可以是多台。此时，可以选取一台路由器，作为指定路由器(Designated Router, DR)，DR 会与该多路访问网络中的所有其他路由器建立邻接关系，不必两两路由器建立邻接关系，从而有效降低链路状态更新时的通信开销。考虑到 DR 可能发生故障，需要在选取 DR 的同时，选择另一台路由器作为备份指定路由器(Backup Designated Router, BDR)。

2) 交换链路状态信息

相邻路由器建立邻接关系后，需要使两者的链路状态数据库保持同步。利用空数据库描述分组确定主从路由器后，主路由器首先发送数据库描述分组，从路由器利用 LSAck 分组响应主路由器的数据库描述分组，并向主路由器回发数据库描述分组。路由器对收到的数据库描述分组进行检查，如果有新的内容，则使用 LSR 分组来请求新条目的详细信息。这些步骤完成后，路由器之间建立起完全邻接(full adjacent)关系，链路状态数据库实现了同步。在多路访问网络内，DR 与 BDR 互换信息，同时与本多路访问网络内其他路由器交换链路状态信息。

3) 计算路由表

当一个路由器拥有完整的链路状态数据库，将采用 Dijkstra 算法计算并创建路由表。OSPF 采用成本(cost)度量值来决定到目的网络的最佳路径。缺省的成本度量值是基于传输介质的带宽，一般来说成本度量值随着链路速率的增大而降低。

4) 更新链路状态信息

链路状态发生变化时，OSPF 路由器通过洪泛(flooding)过程将这一变化通知给网络中的其他路由器。另外，即使链路状态没有发生变化，OSPF 路由信息也会被周期性地刷新，缺省的刷新周期为 30 分钟。

3 多区域OSPF协议的仿真实现

GNS3(Graphical Network Simulator)是一款可以仿真复杂网络的图形化网络设备仿真软件，运行真实的 IOS，它提供的虚拟环境较接近于真实的路由交换设备^[7]。在 GNS3 中搭建如图 2 所示网络，其中路由器 R1 ~ R7 型号均为 c3640，加载的 IOS 文件为 C3640-IK.BIN。

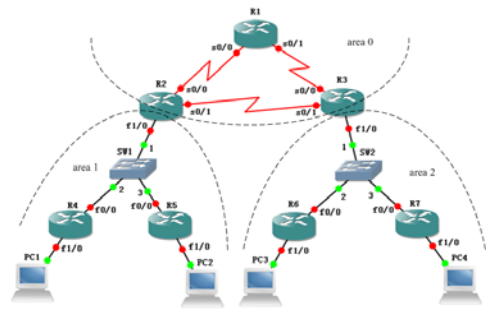


图 2 网络连接图

3.1 路由器的基本配置

按照表 1，分别配置路由器 R1~R7 各端口的 IP 地址、子网掩码。

表 1 路由器的网络连接参数

路由器	接口	IP 地址	子网掩码
R1	s0/0	10.0.0.1	255.255.255.0
	s0/1	10.0.1.1	255.255.255.0
R2	s0/0	10.0.0.2	255.255.255.0
	s0/1	10.0.2.1	255.255.255.0
R3	s0/0	10.0.1.2	255.255.255.0
	s0/1	10.0.2.2	255.255.255.0
R4	f0/0	192.168.0.2	255.255.255.0
	f1/0	192.168.1.1	255.255.255.0
R5	f0/0	192.168.0.3	255.255.255.0
	f1/0	192.168.2.1	255.255.255.0
R6	f0/0	172.16.0.2	255.255.255.0
	f1/0	172.16.1.1	255.255.255.0
R7	f0/0	172.16.0.3	255.255.255.0
	f1/0	172.16.2.1	255.255.255.0

3.2 PC 机的配置

按照表 2，分别配置 PC1~PC4 的 IP 地址、子网掩码、默认网关。

表 2 PC 机的网络连接参数

主机	IP 地址	子网掩码	默认网关
PC1	192.168.1.2	255.255.255.0	192.168.1.1
PC2	192.168.2.2	255.255.255.0	192.168.2.1
PC3	172.16.1.2	255.255.255.0	172.16.1.1
PC4	172.16.2.2	255.255.255.0	172.16.2.1

3.3 OSPF 协议配置

整个网络被分为 3 个区域，分别为 area 0、area 1、area 2，如图 2 所示。

(1) 路由器 R1 配置^[8]

```
R1(config)#router ospf 1 // 启用 OSPF 协议
R1(config-router)#network 10.0.0.0 0.0.0.255 area 0
```

// 指定直连网络及所在区域

```
R1(config-router)#network 10.0.1.0 0.0.0.255 area 0
```

(2) 路由器 R2 配置

```
R2(config)#router ospf 1
R2(config-router)#network 10.0.0.0 0.0.0.255 area 0
R2(config-router)#network 10.0.2.0 0.0.0.255
```

```
area 1
R2(config-router)#network 192.168.0.0 0.0.0.255
```

(3) 按照同样的方法配置路由器 R3~R7.

3.4 测试结果分析

(1) 用 ping 命令测试 PC1~PC4 之间的连通性. 正确连接网络并完成路由器(R1~R7)、PC 机(PC1~PC4)的基本配置后, 由于路由器上没有启用路由协议, 无法实现任意两台 PC 之间的连通. 分别为 R1~R7 正确配置 OSPF 路由协议后, 可以实现整个网络的连通, PC1~PC4 之间可以相互连通.

(2) 用命令“show ip route”可以查看各路由器的路由表.

(3) 分别在路由器 R1、R2、R4、R3、R6 上, 用命令“show ip ospf neighbor”查看邻居关系. 可以得到如下结果:

R1 分别与 R2、R3 形成了全邻接(FULL)关系. 由于 R1、R2、R3 之间连接的是点对点网络, 因此没有经过 DR(BDR)的选举过程.

R2 分别与 R1、R3、R4、R5 形成了全邻接(FULL)关系, 同时 R4 为备份指定路由器(BDR), R5 为其他路由器(DROTHER). R4 分别与 R2、R5 形成了全邻接(FULL)关系, 同时 R2 为指定路由器(DR), R5 为其他路由器(DROTHER). 可以看出, 由于连接 R2、R4、R5 的是多路访问网络, 因此需要在 R2、R4、R5 中选取

DR 和 BDR. 在 R2 上执行 OSPF 的“network”命令时, 虽然 R4、R5 的 OSPF 进程还未启动, 但是 DR 和 BDR 的选举过程已经开始了, 所以最终把标识符 (192.168.0.1)并不是最大的 R2 选作了 DR.

R3 分别与 R1、R2、R6、R7 形成了全邻接(FULL)关系, 同时 R6 为备份指定路由器(BDR), R7 为其他路由器(DROTHER). R6 分别与 R3、R7 形成了全邻接(FULL)关系, 同时 R3 为指定路由器(DR), R7 为其他路由器(DROTHER).

4 结论

OSPF 协议是计算机网络中的一个核心协议, 其工作原理复杂难懂. 通过对多区域 OSPF 网络仿真过程的分析, 加深了对 OSPF 协议的理解, 有助于我们更好地掌握 OSPF 的工作过程. 搭建的网络拓扑及配置过程比较简单, 但是对于 OSPF 协议在实际网络中的部署具有一定的现实指导意义.

参考文献

- 1 谢希仁. 计算机网络. 北京: 电子工业出版社, 2013.
- 2 J. Moy. RFC2328 - OSPF Version 2. 1998,4.
- 3 Tanenbaum AS, Wetherall DJ. 严伟, 潘爱民, 译. 计算机网络. 北京: 清华大学出版社, 2012.
- 4 寇晓蓁, 罗军勇, 蔡延荣. 网络协议分析. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- 5 王曙燕, 王春梅. 数据结构与算法. 北京: 人民邮电出版社, 2013.
- 6 McGregor M. 李逢天, 张帆, 程实, 译. CCNP 思科网络技术学院教程(第五学期)高级路由. 北京: 人民邮电出版社, 2001.
- 7 马素刚, 赵婧如, 孙韩林. 计算机组网实验教程. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2014.
- 8 杨松, 李开海. 思科交换机和路由器配置案例教程. 北京: 北京理工大学出版社, 2014.