多出口校园网仿真设计与实现

孙光懿[1] 贾英霞[2]

(1. 天津音乐学院网络安全和信息化办公室,天津 300171; 2. 商丘经济贸易学校教务科,河南 商丘 476000)

摘要:针对当前天津音乐学院校园网存在的问题,本文提出了1套完整的解决方案.包括引入多条出口链路,核心层网络冗余设备之间运行虚拟路由冗余协议,在校园网出口边界路由器中,联合应用策略路由和服务等级协议等应对措施.文中不仅给出了具体的配置方法,而且还模拟了在核心层网络设备或出口链路发生故障情况下,数据包的路由过程.测试后证明该套方案不仅有效增强了校园网对网络故障的自适应性,而且使校园网用户访问互联网资源的速度也有了明显提升.

关键词:策略路由;VRRP;服务等级协议

中图分类号:TP393.18 **DOI**:10.19789/j.1004-9398.2020.06.002

0 引 言

当前天津音乐学院校园网(以下简称校园网)面临2个急需解决的问题:一是校园网整体可靠性不高,三层网关及出口路由均没有备份.无论是出口链路还是核心层网络设备出现故障,都会造成校园网用户无法正常访问互联网资源.二是出口链路单一且网络带宽不足,在用网高峰时段,校园网用户访问互连网资源速度较慢.为了解决上述问题,采取了以下应对措施:保留中国教育科研网出口链路,并引入中国电信、中国联通等互联网服务提供商出口链路;在校园网核心层中部署2台三层交换机,并在二者之间运行虚拟路由冗余协议(virtual router redundancy protocol,VRRP).这样部署不仅可有效解决核心层存在的单点故障问题,还可以为三层网关提供冗余.第三,在校园网与互联网服务提供商互联的边界路由器中,联合应用策略路由和服务等级协议(service-level agreement,SLA).应用策略路由主要是为了使校园网用户访问互联网资源的数据包时,能够按照更为合理的路径进行转发,从而提高访问互联网资源的速度.而应用SLA,不仅可实时监测校园网出口链路的工作状态,而且还可以通过关联路由进程,确保校园网用户访问互联网资源的数据包不受故障链路的影响,即数据包可及时通过另一条备用出口链路进行转发.

收稿日期:2019-09-27

1 相关技术

1.1 VRRP

VRRP是IETP提出的一种具有开放标准的网关容错协议[1-5],因此可部署在多厂商网络设备环境中.其工作原理和特性与热备份路由协议(hot standby router protocol,HSRP)相类似(该协议为思科私有协议),具有快速的故障恢复速度与较高的安全性(支持明文认证、MD5认证、HMAC认证).最多可支持255个VRRP组(HSRP最多只能支持16个组),组内允许存在1台主用路由器和若干台备用路由器.可以将每个VRRP组理解为1台虚拟路由器,虚拟路由器的IP地址(该地址为局域网内主机三层网关IP地址)既可以与组内路由器IP地址相同,又可以不同.VRRP协议不仅可为组内路由器真实IP地址提供冗余,而且还可以为组内成员共享的虚拟IP地址提供冗余.局域网内主机发往三层网关的报文,均由主用路由器负责进行处理.除此之外,主用路由器还负责以每秒1次的频率向组播地址224.0.0.18发送Hello数据包.而备用路由器不负责处理任何报文,仅当主用路由器出现故障时,才会在抢占模式下,通过选举成为新的主用路由器.主用路由器的选择是根据VRRP组内每台路由器的优先级所决定的,优先级最高的路由器成为主用路由器,优先级的缺省值为100.如果VRRP组内某台路由器的优先级为0,那么就意味着该台路由器不再参与VRRP组的运作(该设置可使备用路

由器不必等待主用失效间隔时间,从而快速成为主用路由器).如果 VRRP 组内某台路由器的优先级为255,那么就意味着该台路由器为 IP 地址拥有者(虚拟路由器的 IP 地址与该路由器物理接口的 IP 地址相同).

1.2 策略路由

策略路由技术[6-7],为网络管理者提供了一种比传统路由协议(传统路由协议数据包的转发是根据目标地址来进行的)更为灵活、可靠的数据包转发和路由方式.应用策略路由技术,网络管理者可根据源地址、目的地址、报文长度、转发时间、协议类型、IP 优先级等多种方式,对用户数据包进行转发.换句话说,只要在访问控制列表中能够进行设置的条件,都可作为策略路由的匹配规则.需要注意:(1)策略路由的优先级比任何路由协议都高(包括静态路由与直连路由协议);(2)策略路由只在入站接口方向起作用;(3)默认情况下,策略路由对路由器自身所产生的数据包不起作用;(4)在多出口链路的情况下,应用策略路由,可实现出口链路的负载均衡;(5)网络管理者在应用策略路由前,必须预先指定将要使用的路由图,并创建该路由图.路由图可由1或多条策略所组成,每条策略又可定义1或多条匹配规则和对应的动作.当某条策略定义了多条匹配规则时,只有接口收到的数据包同时满足上述所有规则时,策略路由才会执行该条策略相对应的动作;(6)如果数据包与路由图中每条策略所定义的规则都不匹配,那么将按照传统路由转发进行处理;(7)如果网络管理者想丢弃某些数据包而不进行转发,可利用路由图将数据包路由到 NULL0 接口.

1.3 SLA

SLA 可采用主动监视的方式[8-10],对出口链路的可用性与网络性能进行连续探测,并分析生成的数据流.从而使网络管理者不仅能够及时了解出口链路的网络性能,而且还可以预先发现出口链路所存在的网络问题.在实际应用 SLA 的过程中,需要网络管理者在 IP SLA 源指定目标设备的 IP 地址、协议类型以及 TCP 或 UDP 端口号(目标设备的响应信息,存储在源设备的 IP SLA MIB 中).需要注意的是:(1)在源设备启用 IP SLA 后,会向目标设备发送人造数据流.(2)如果目标设备支持运行 IP SLA 响应器(例如思科路由器),那么就可以在不需要进行复杂配置的情况下,提供精确的测量值.

2 网络拓扑构建[11-13]

改造后的校园网,在网络边界处部署了1台思科3700路由器 R1,分别与引入的中国教育科研网、中国联通、中国电信3条互联网服务提供商边界路由器互联(路由器 R2 为中国教育科研网边界路由器、路由器 R3 为中国联通边界路由器、路由器 R4 为中国电信边界路由器).为了使校园网用户访问互联网资源的数据包,能够按照更为合理的路径进行转发,同时也为了使其拥有出口路由备份,在路由器 R1 中联合应用策略路由和 SLA 协议.除此之外,还在校园网核心层部署了2台思科6509三层交换机 SW1 与 SW2,二者之间通过运行 VRRP 协议,为三层网关提供冗余.网络拓扑如图1所示.三层交换机 SW1 既为天音校园网 VLAN11(办公区)和 VLAN12(财务一卡通)网段的主用路由器,又为天音校园网 VLAN13(学生宿舍区)和 VLAN14(教学区)网段的备用路由器.同理,三层交换机 SW2 既为天音校园网 VLAN13 和 VLAN14 网段的主用路由器,又为天音校园网 VLAN11 和 VLAN12 网段的备用路由器.

在校园网正常的情况下,VLAN11 与 VLAN12 这2个网段用户发往网关地址的数据包和数据帧均由 SW1 负责处理;而 VLAN13 与 VLAN14 这2个网段用户发往网关地址的数据包和数据帧则由 SW2 负责处理.当 VLAN11、VLAN13、VLAN14 网段用户访问教育网资源时(VLAN12 网段用户只可对校园网内资源进行访问,禁止访问任何互联网资源),数据包需经中国教育科研网边界路由器 R2,去往目标地址.当 VLAN11 网段用户访问其他互联网资源时,数据包需经中国联通边界路由器 R3,去往目标地址.当 VLAN13 与 VLAN14 网段用户访问其他互联网资源时,数据包需经中国电信边界路由器 R4,去往目标地址.

在校园网出现故障的情况下(无论是三层交换机出现故障,还是校园网出口链路出现故障),各网段用户对目标地址的访问均不会受到任何影响,只是数据包去往目标地址的路径会发生相应改变.例如:当三层交换机 SW1 发生故障时,校园网内所有网段用户发往网关地址的数据包和数据帧,均会由三层交换机 SW2 来负责进行处理(三层交换机 SW2 成为 VLAN11 与 VLAN12 网段新的主用路由器),当中国教育科研网出口链路发生故障时,

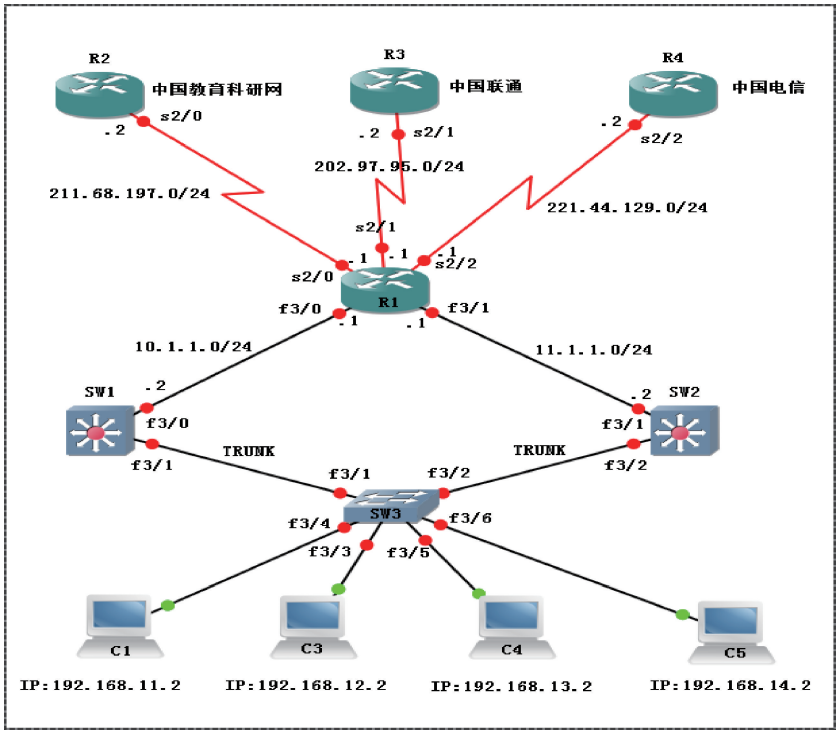


图 1　多出口校园网网络拓扑

VLAN11、VLAN13 和 VLAN14 网段用户,访问教育网资源的数据包会改为经中国联通边界路由器 R3,去往目标地址.

3　网络配置

3.1　校园网相关设备 IP 地址分配

当前校园网有 VLAN11、VLAN12、VLAN13 和 VLAN14 共 4 个网段,各网段用户之间可以互相通信.其中,VLAN11 网段的网关地址为 192.168.11.1,VLAN12 的网关地址为 192.168.12.1,VLAN13 网段的网关地址为 192.168.13.1,VLAN14 网段的网关地址为 192.168.14.1.二层交换机 SW3 的 f3/1、f3/2 接口为 TRUNK 接口,分别与三层交换机 SW1 的 f3/1 接口和 SW2 的 f3/2 接口互联;而 f3/4、f3/3、f3/5、f3/6 接口均为 ACCESS 接口,分别连接 VLAN11 网段所属终端计算机 C1、VLAN12 网段所属终端计算机 C3、VLAN13 网段所属终端计算机 C4、VLAN14 网段所属终端计算机 C5.另外,在互联网服务提供商边界路由器 R2、R3 和 R4 中,建立了 4 个环回接口,分别为 LOOPBACK1、LOOPBACK2、LOOPBACK3 和 LOOPBACK4.这些接口主要用来模拟教育网资源服务器地址、中国联通资源服务器地址、中国电信资源服务器地址以及公网 DNS 114.114.114.114.校园网相关网络设备接口及 IP 地址分配如表 1 所示.

3.2　VRRP 部署[14]

在三层交换机 SW1 与 SW2 中部署 VRRP,不仅可实现三层网关的冗余(有助于提高校园网故障快速恢复能力),而且还可以对校园网中的流量实施负载均衡.在实际部署 VRRP 协议的过程中,网络管理者一定要确保 2 台三层交换机在二层链路中可以互相通信.否则,VRRP 组中的备用路由器,就无法收到主用路由器所发送的 HELLO 通告.另外,还需要网络管理者为部署 VRRP 协议的每台三层交换机配置抢占特性.这样既能确保当 VRRP 组中的主用路由器发生故障时,拥有最高优先级的备用路由器成为新的主用路由器(校园网用户发往网关地址的数据包和数据帧,则由该路由器负责处理),又能确保当原主用路由器从故障中恢复时,重新成为主用路由器.在这里只给出在三层交换机 SW1 中建立 VRRP 11 组的相关配置命令:

```
SW1(config)#int vlan 11
SW1(config-if)#ip addre 192.168.11.3 255.255.255.0
SW1(config-if)#vrrp 11 ip 192.168.11.1 //建立 VRRP 11 组,虚拟路由器的 IP 地址为 192.168.11.1,该地址既为校园网 VLAN11 网段用户网关地址
```

表 1 校园网相关网络设备接口及 IP 地址分配

设备名称	接口	IP 地址	网关地址	子网掩码
C1	SW3 f3/4	192.168.11.2	192.168.11.1	255.255.255.0
C3	SW3 f3/3	192.168.12.2	192.168.12.1	255.255.255.0
C4	SW3 f3/5	192.168.13.2	192.168.13.1	255.255.255.0
C5	SW3 f3/6	192.168.14.2	192.168.14.1	255.255.255.0
R1	s2/0	211.68.197.1	—	255.255.255.0
	s2/1	202.97.95.1	—	255.255.255.0
	s2/2	221.44.129.1	—	255.255.255.0
	f3/0	10.1.1.1	—	255.255.255.0
	f3/1	11.1.1.1	—	255.255.255.0
R2	Loopback1	211.65.170.1	—	255.255.240.0
	Loopback2	202.97.96.1	—	255.255.255.0
	Loopback3	221.44.130.1	—	255.255.255.0
	s2/0	221.68.197.2	—	255.255.255.0
R3	Loopback1	211.65.170.1	—	255.255.240.0
	Loopback2	202.97.96.1	—	255.255.255.0
	Loopback3	221.44.130.1	—	255.255.255.0
	s2/1	202.97.95.2	—	255.255.255.0
R4	Loopback1	211.65.170.1	—	255.255.240.0
	Loopback2	202.97.96.1	—	255.255.255.0
	Loopback3	221.44.130.1	—	255.255.255.0
	s2/1	221.44.129.2	—	255.255.255.0
SV1	vlanl1	192.168.11.3	—	255.255.255.0
	vlanl2	192.168.12.3	—	255.255.255.0
	vlanl3	192.168.13.3	—	255.255.255.0
	vlanl4	192.168.14.3	—	255.255.255.0
	f3/0	10.1.1.2	—	255.255.255.0
SV2	vlanl1	192.168.11.4	—	255.255.255.0
	vlanl2	192.168.12.4	—	255.255.255.0
	vlanl3	192.168.13.4	—	255.255.255.0
	vlanl4	192.168.14.4	—	255.255.255.0
	f3/1	11.1.1.2	—	255.255.255.0

注:“—”表示不适用.

SW1(config-if)#vrrp 11 priority 190 //将三层交换机 SW1 在 VRRP11 组中的优先级设置为 190(此值大于 SW2 在 VRRP11 组中所设置的优先级),此举将使 SW1 成为 VRRP11 组的主用路由器

SW1(config-subif)#vrrp 11 pree //配置三层交换机 SW1 在 VRRP11 组中的抢占特性

3.3 RIP 动态路由协议部署

校园网各网段网关建立在三层交换机 SW1 与 SW2 之中,而 VLAN11、VLAN13 和 VLAN14 网段用户访问互联网资源的数据包,需经路由器 R1 向互联网服务提供商边界路由器进行转发,才可到达目的地址.为确保上述网段用户能够正常对互联网资源进行访问,在这里有必要在三层交换机 SW1、SW2 以及路由器 R1 中部署 RIP 动态路由协议.三层交换机 SW2 的配置命令与 SW1 相类似,故省略.

(1)在三层交换机 SW1 中部署如下 RIP 路由协议.

SW1(config)#router rip //在 SW1 中创建 RIP 路由进程

SW1(config-rip)#ver 2

SW1(config-rip)#network 10.1.1.0 //宣告网络

SW1(config-rip)#network 192.168.11.0

SW1(config-rip)#network 192.168.12.0

SW1(config-rip)#network 192.168.13.0

SW1(config-rip)#network 192.168.14.0

(2)在路由器 R1 中部署 RIP 路由协议.

R1(config)#router rip //在 R1 中创建 RIP 路由进程

R1(config-rip)#ver 2

R1(config-rip)#network 10.1.1.0 //宣告网络

R1(config-rip)#network 11.1.1.0

3.4 访问控制列表部署

为了确保在路由器 R1 中,联合应用策略路由和 SLA 协议的方案能够顺利实施,不仅需要在路由器 R1 中部署,基于源地址的标准访问控制列表(标准访问控制列表的编号 1 ~ 99 或 1 300 ~ 1 999),而且还需要部署基于目的地址的扩展访问控制列表(扩展访问控制列表的编号 100 ~ 199 或 2 000 ~ 2 699).

R1(config)#access-list 10 permit 192.168.12.0 0.0.0.255

R1(config)#access-list 170 permit ip any 211.65.170.0 0.0.0.255

R1(config)# access-list 171 permit ip 192.168.11.0 0.0.0.255 any

R1(config)# access-list 172 permit ip 192.168.13.0 0.0.0.255 any

R1(config)# access-list 173 permit ip 192.168.14.0 0.0.0.255 any

R1(config)#access-list 180 permit ip any any

3.5 SLA 部署

在路由器 R1 中部署 SLA,可对校园网 3 条出口链路的可用性进行连续、可靠的有效监测(主要通过在 3 条出口链路上监测公网 114.114.114.114 DNS 服务器来实现),所监测的对象也与路由进程相关联. 只有在监测对象可达的情况下,校园网用户访问外网资源的数据包才会按照与其相关联的路由进程进行转发. 当发现监测对象不可达时,校园网访问互联网资源的数据包,就会按照网络管理者预先制定的路由策略,从另一条出口链路对互联网资源进行正常访问. 在这里以对中国教育科研网出口链路为例,给出相关配置命令:

R1(config)#ip sla monitor 10//设置 SLA 条目

R1(config-sla-monitor)#type echo protocol ipIcmpEcho 114.114.144.114 source-ip 211.68.197.1 //测试访问公网 114DNS 地址的可达性,源 IP 地址为 211.68.197.1(该地址为路由器 R1 的 s2/0 接口地址)

R1(config)#ip sla monitor schedule 10 life forevstart-time now // 上述对公网 114DNS 地址的可达性测试立即生效,并一直持续

R1(config)#track 10 ip sla 10 reachability //定义所跟踪的对象

3.6 网络地址转换技术部署

为了最大限度地保护校园网的安全,也为了节省有限的公网 IPv4 地址资源,校园网各网段均使用了私有 IPv4 地址. 任何主机必须拥有合法的公有 IP 地址,才可正常访问互联网资源. 因此,有必要在路由器 R1 中部署网络地址转换(network address translation,NAT)技术,当校园网用户访问互联网资源时,将其私有地址转换为合法的公有 IP 地址. NAT 技术通常有以下 3 种实现方式:静态 NAT(1 个私有 IP 地址,对应转换为 1 个固定的公有 IP 地址);动态 NAT(私有 IP 地址对应转换为随机的公有 IP 地址);端口多路复用(通过改变数据包源端口并进行转换的方式,内部网络的所有私有 IP 地址,可共享 1 个合法公有 IP 地址,从而实现对互联网资源的访问). 在这里只给出中国联通出口链路的 NAT 相关配置:

R1(config)#route-map cu permit 10//配置从中国联通出口链路,访问互联网资源的 NAT 源地址来源

R1(config-route-map)#match ip address 180

R1(config-route-map)#match interface s2/1

R1(config)#ip nat pool cu 202.97.95.3 202.97.95.12 netmask 255.255.255.0 //指定中国联通出口链路 NAT 地址池

R1(config)#ip nat inside source route-map cu pool cu overload //定义 NAT 工作方式为 PAT

3.7 策略路由部署[15]

由于校园网边界路由器 R1 的 f3/0 接口与 f3/1 接口,分别与三层交换机 SW1、SW2 互连,因此将所制定的策略路由应用于上述 2 个接口(为接收数据包的入站接口)之中. 在实际部署策略路由时,如果路由图语句被标记为 deny,那么将不会按照基于策略的路由转发满足匹配条件的数据包,而是按照基于目的地址的传统路由进行转发. 在这里只给出在 f3/0 接口应用策略路由的过程(在 f3/1 接口应用策略路由的过程与其类似,故省略):

R1(config)#route-map sgy permit 10

R1(config-route-map)#match ip address 10 //判断数据包的源地址是否为 VLAN12 网段用户

R1(config-route-map)#set default interface null0 //丢弃来自 VLAN12 网段用户的数据包

R1(config)#route-map sgy permit 15

R1(config-route-map)#match ip address 170 //判断是否访问教育网资源

R1(config-route-map)#set ip next-hop verify-availability 211.68.197.2 track 10 //当中国教育科研

网出口链路工作状态正常时,校园网 VLAN11、VLAN13 和 VLAN14 网段用户,访问教育网资源的下一跳地址为 211.68.197.2.

R1(config-route-map)#set ip next-hop verify-availability 202.97.952 track 15 //当中国教育科研网出口链路出现故障时,校园网 VLAN11、VLAN13、VLAN14 网段用户,访问教育网资源的下一跳地址为 202.97.95.2.

R1(config)#route-map sgy permit 18

R1(config-route-map)#match ip address 171

R1(config-route-map)#set ip next-hop verify-availability 202.97.95.2 track 15 //当中国联通出口链路工作状态正常时,校园网 VLAN11 网段用户访问其他互联网资源的下一跳地址为 202.97.95.2.

R1(config-route-map)#set ip next-hop verify-availability 221.44.129.2 track 16 //当中国联通出口链路出现故障时,校园网 VLAN11 网段用户访问其他互联网资源的下一跳地址为 221.44.129.2.

R1(config)#route-map sgy permit 20

R1(config-route-map)#match ip address 172

R1(config-route-map)#set ip next-hop verify-availability 221.44.129.2 track 16 //当中国电信出口链路工作状态正常时,校园网 VLAN13 网段用户访问其他互联网资源的下一跳地址为 221.44.129.2.

R1(config-route-map)#set ip next-hop verify-availability 202.97.95.2 track 15 //当中国电信出口链路出现故障时,校园网 VLAN13 网段用户访问其他互联网资源的下一跳地址为 202.97.95.2.

R1(config)#route-map sgy permit 25

R1(config-route-map)#match ip address 173

R1(config-route-map)#set ip next-hop verify-availability 221.44.129.2 track 16 //当中国电信出口链路工作状态正常时,校园网 VLAN14 网段用户访问其他互联网资源的下一跳地址为 221.44.129.2.

R1(config-route-map)#set ip next-hop verify-availability 202.97.95.2 track 15 //当中国电信出口链路出现故障时,校园网 VLAN14 网段用户访问其他互联网资源的下一跳地址为 202.97.95.2.

R1(config-if)#int f3/0

R1(config-subif)#ip policy route-map sgy //在 f3/0 接口应用策略路由

4 网络测试

4.1 在校园网正常的情况下进行测试

首先,使用 show vrrp brief 命令查看,校园网三层交换机 SW1、SW2 中 VRRP 的工作状态(图 2、图 3).其次,以校园网 VLAN11 网段所属终端计算机 C1 及 VLAN13 网段所属终端计算机 C4 为例,使用 trace 命令分别查看访问教育网资源服务器(IP 地址为:211.68.170.1/24)以及中国电信资源服务器(IP 地址为:221.44.130.1/24)的路由过程.

```
SW1#sh vrrp bri
Interface          Grp Pri Time  Own Pre State   Master addr     Group addr
Vl11               11  190 3257        Y  Master  192.168.11.3    192.168.11.1
Vl12               12  190 3257        Y  Master  192.168.12.3    192.168.12.1
Vl13               13  150 3414        Y  Backup  192.168.13.4    192.168.13.1
Vl14               14  150 3414        Y  Backup  192.168.14.4    192.168.14.1
```

图 2 三层交换机 SW1 中 VRRP 协议的工作状态

```
SW2#sh vrrp bri
Interface          Grp Pri Time  Own Pre State   Master addr     Group addr
Vl11               11  150 3414        Y  Backup  192.168.11.3    192.168.11.1
Vl12               12  150 3414        Y  Backup  192.168.12.3    192.168.12.1
Vl13               13  190 3257        Y  Master  192.168.13.4    192.168.13.1
Vl14               14  190 3257        Y  Master  192.168.14.4    192.168.14.1
```

图 3 三层交换机 SW2 中 VRRP 协议的工作状态

(1)终端计算机 C1 访问教育网资源服务器以及中国联通资源服务器路由过程.

VPCS[1] > trace 211.65.170.1 //访问教育网资源服务器

trace to 211.65.170.1, 8 hops max, press Ctrl + C to stop

1 192.168.11.1 15.431ms 9.770ms 10.540ms

2 10.1.1.1 12.376ms 7.53ms 8.69ms

3211.65.197.2 19.528 ms //到达目的地址前,最后一跳的 IP 地址为中国教育科研网边界路由器

R2 与校园网边界路由器 R1 互联的接口地址.

VPCS[1] > trace 221.44.130.1 //访问电信资源服务器

trace to 221.44.130.1, 8 hops max, press Ctrl + C to stop

1 192.168.11.1 11.631ms 7.570ms 16.931ms

2 10.1.1.1 10.522ms 8.73ms 9.59ms

3 202.97.95.2 16.129ms //到达目的地址前,最后一跳的 IP 地址为中国联通边界路由器 R3 与校园网边界路由器 R1 互联的接口地址.

(2)终端计算机 C4 访问教育网资源服务器以及中国联通资源服务器路由过程.

VPCS[4] > trace 211.65.170.1 //访问教育网资源服务器

trace to 211.65.170.1, 8 hops max, press Ctrl + C to stop

1 192.168.13.1 17.094ms 6.170ms 13.590ms

2 11.1.1.1 11.146ms 5.63ms 7.29s

3 211.65.197.2 19.528ms //到达目的地址前,最后一跳的 IP 地址为中国教育科研网边界路由器 R2 与校园网边界路由器 R1 互联的接口地址.

VPCS[4] > trace 221.44.130.1 //访问电信资源服务器

trace to 221.44.130.1, 8 hops max, press Ctrl + C to stop

1 192.168.13.1 9.541ms 8.773ms 12.011ms

2 11.1.1.1 9.552ms 7.33ms 8.16ms

3 221.44.129.2 11.539ms //到达目的地址前,最后一跳的 IP 地址为中国电信边界路由器 R4 与校园网边界路由器 R1 互联的接口地址.

通过上述测试发现:校园网不仅实现了三层网关的冗余,而且还实现了出口流量的负载均衡. 其一,校园网三层交换机 SW1 既为 VLAN11、VLAN12 网段的主用路由器,又为 VLAN13 和 VLAN14 网段的备用路由器. 与此同时,校园网三层交换机 SW2 既为 VLAN11、VLAN12 网段的备用路由器,又为 VLAN13、VLAN14 网段的主用路由器. 其二,当 VLAN11、VLAN13 和 VLAN14 网段用户访问教育网资源时,数据包经中国教育科研网边界路由器 R2 去往目标地址. 其三,当 VLAN11 网段用户访问其他互联网资源时,数据包经中国联通边界路由器 R3 去往目标地址. 其四,当 VLAN13、VLAN14 网段用户访问其他互联网资源时,数据包经中国电信边界路由器 R4 去往目标地址.

4.2 在校园网发生故障的情况下进行测试

首先,手动关闭三层交换机 SW1,模拟校园网核心层网络设备出现故障. 并再次使用 show vrrp brief 命令对三层交换机 SW2 中 VRPP 的工作状态进行测试. 测试后,三层交换机 SW2 已成为校园网所有网段的主用路由器(校园网各网段用户发往网关的流量,均由其进行处理). 其次,手动关闭中国教育科研网边界路由器 R2,模拟教育网出口链路出现故障. 并再次以校园网 VLAN11 网段所属终端计算机 C1 及 VLAN13 网段所属终端计算机 C4 为例,使用 trace 命令查看访问教育网资源服务器(IP 地址为:211.68.170.1/24)的路由过程. 测试后发现,VLAN11、VLAN13、VLAN14 网段用户仍可对教育网资源进行正常访问. 只是去往目标地址,所经的互联网服务提供商边界路由器变为了中国联通边界路由器 R3.

5 结束语

此次网络改造,不仅有效增强了天音校园网的可靠性,而且使校园网用户访问互联网资源的速度也有了明显提升. 既使某台三层交换机或某条出口链路发生故障,也不会对校园网用户访问互联网业务造成任何影响.

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 ROUTE (642 - 902)学习指南[M]. 北京:人民邮电出版社, 2010.

[3] 汪海涛,余松森. 基于策略路由网络系统的设计与实践[J]. 吉林师范大学学报(自然科学版),2018,39(1):116 - 120.

[4] 孙光懿. 基于 HSRP 和 STP 协议的网络冗余仿真[J]. 首都师范大学学报(自然科学版),2018,39(3):16 - 23.

[5] 龚文涛,郎颖莹. 基于路由策略和策略路由的 Web 应用防护架构设计[J]. 计算技术与自动化,2018,37(2):95 - 99.

[6] 田爱宝. 高校多运营商网络出口策略的分析与研究[J]. 微型电脑应用,2017,33(12):58 - 60.
[7] 俞海. 多种验证方式的虚拟路由冗余协议仿真实验[J]. 绍兴文理学院学报(教育版),2018,38(1):61 - 67.
[8] 耿娟. 基于双核心动态路由网络系统设计探究[J]. 西安文理学院学报(自然科学版),2015,18(3):79 - 82.
[9] 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),2018,12(3):53 - 58.
[10] 雷显玉,刘勇,黄广君. 面向 SLA 的云计算负载均衡策略[J]. 计算机测量与控制,2016,24(7):219 - 223.
[11] 孙光懿. 基于 GNS3 的 EIGRP 路由设计与实现[J]. 首都师范大学学报(自然科学版),2019,40(2):16 - 23.
[12] 路景贵,成树岗,寇超军,等. VLAN 划分与 NAT 地址转换教学实验设计[J]. 实验室科学,2018,21(6):51 - 56 + 60.
[13] 付承彪,田安红,于龙,等. 高校网络在虚拟仿真器中的设计与实现[J]. 实验室研究与探索,2018,37(6):91 - 95 + 128.
[14] 彭伟. 基于策略路由部署的网络多出口设计研究[J]. 湖南工程学院学报(自然科学版),2019,29(3):48 - 52.
[15] 朱锋. 策略路由在数字校园中的应用:以长江职业学院为例[J]. 湖北成人教育学院学报,2016,22(1):76 - 78 + 82.

Simulation Design and Implementation of Multi-export Campus Network

SUN Guangyi[1] JIA Yingxia[2]

(1. Office of Network Security and Information, Tianjin Conservatory of Music, Tianjin 300171;
2. Office of Educational Administration, Shangqiu Economic and Trade School, Shangqiu Henan 476000)

Abstract: In view of the current auditions problems of campus network, this paper puts forward a complete set of solutions including introducing multiple export links, running VRRP protocol among core layer network redundancy devices, and jointing application of policy based routing and SLA agreement in campus network export border router. In this paper, the specific configuration methods are given, and the routing process of packets in the case of failure of core layer network devices or export links is simulated. After testing, it is proved that this scheme not only effectively enhances the adaptability of Tianyin campus network to network faults, but also significantly improves the speed of users to access internet resources.

Keywords: policy based routing; VRRP; service-level agreement(SLA)