



## 警示

- 1.实验报告如有雷同，雷同各方当次实验成绩均以 0 分计。
- 2.当次小组成员成绩只计学号、姓名登录在下表中的。
- 3.在规定时间内未上交实验报告的，不得以其他方式补交，当次成绩按 0 分计。
- 4.实验报告文件以 PDF 格式提交。

专业	计算机科学与技术（人工智能与大数据方向）	班 级	行政 1 班	组长	
学号	19335015				
学生	陈恩婷				

## 【实验题目】生成树协议

【实验目的】理解快速生成树协议的配置及原理。使网络在有冗余链路的情况下避免环路产生，避免广播风暴等。

## 【实验内容】

- (1)完成实验教程实例 6-8 的实验，回答实验提出的问题及实验思考。（P204）
- (2)抓取生成树协议数据包，分析桥协议数据单元（BPDU）。
- (3)在实验设备上查看 VLAN 生成树，并学会查看其它相关重要信息。

## 【实验要求】

一些重要信息需给出截图。注意实验步骤的前后对比！

## 【实验设备】

理解快速生成树协议 RSTP 的配置及原理。RSTP 使网络在有冗余链路的情况下避免环路的产生，停止广播风暴等。

## 【实验原理】

生成树协议的作用是在交换网络中提供冗余备份链路，并且解决交换网络中的环路问题。

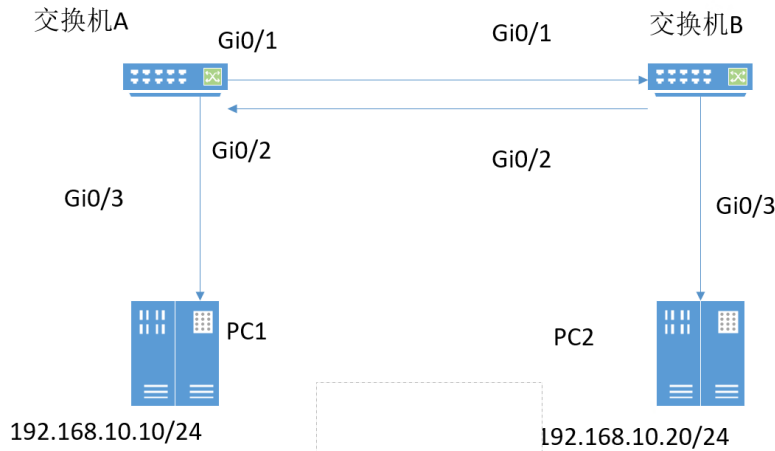
生成树协议利用 SPA 算法（生成树算法），在有交换环路的网络中生成一个没有环路的树形网络。运用该算法将交换网络冗余的备份链路在逻辑上断开，当主要链路出现故障时，能够自动切换到备份链路以保证数据的正常转发。

生成树协议的特点是收敛时间长。从主要链路出现故障到切换到备份链路需要 50s。

快速生成树协议在生成树协议的基础上增加了两种端口角色：替换端口和备份端口，分别作为根端口和指定端口的冗余端口。当根端口或指定端口出现故障时，冗余端口不需要经过 50s 的收敛时间，而是可以直接切换到替换端口或备份端口，从而实现 RSTP 协议的快速收敛。



## 【实验拓扑】



## 【实验记录】

步骤 1: 为 PC1、PC2 配置 IP 地址和掩码，按照实验拓扑将设备连接起来。

在 PC1 上启动 Wireshark 抓包软件，选中监控对象，将界面停留在“Capture Interfaces”窗口上，并注意观察包数量的变化。

(1) 查看两台交换机生成树的配置信息 show spanning-tree，并记录。

```
18-S5750-2>enable 14
Password:
18-S5750-2#show spanning-tree
No spanning tree instance exists.
18-S5750-2#
```

如图，目前还没有配置生成树。

(2) 除保持实验网卡连通外，切断其他网络链路，在没有主动通信的情况下，观察 1~2 分钟，会有广播风暴产生吗？



如图，已禁用校园网。

测量	已捕获	已显示
分组	63296	63296 (100.0%)
时间跨度, s	85.794	85.794
平均 pps	737.8	737.8
平均分组大小, B	1482	1482
字节	93797522	93797522 (100.0%)
平均 字节/秒	1093k	1093k
平均 比特/秒	8746k	8746k

如图，产生了广播风暴，包数量增加得很快，平均每秒 1093k 字节。

(3) 观察下列哪种情况，哪种情况下包增长得更快？



用 PC1 ping PC2 (带参数-t)

在 PC1 或 PC2 上 ping 一个非 PC1 与 PC2 的 IP (用参数-t)

判断交换机是否产生广播风暴以及有无导致计算机死锁。此时若终止 ping 命令, 广播风暴仍存在吗?

测量	已捕获	已显示	标记
分组	2981405	153 (0.0%)	—
时间跨度, s	10.275	4.584	—
平均 pps	290162.1	33.4	—
平均分组大小, B	111	162	—
字节	329849643	24786 (0.0%)	0
平均 字节/秒	32M	5406	—
平均 比特/秒	256M	43k	—

如图为第一种情况, 产生了广播风暴, 计算机出现死锁。此时终止 ping 命令, 广播风暴仍存在。

测量	已捕获	已显示	标记
分组	2345197	—	—
时间跨度, s	7.715	—	—
平均 pps	303996.4	—	—
平均分组大小, B	118	—	—
字节	275694996	0	0
平均 字节/秒	35M	—	—
平均 比特/秒	285M	—	—

如图为第二种情况, 产生了广播风暴, 计算机出现死锁。此时终止 ping 命令, 广播风暴仍存在。

第二种情况下增长得快。

- (4) 在进行(3)的两种操作时, 在交换机上不时查看 MAC 地址表 show mac-address-table, 结果如何? 这是什么现象?

```
18-S5750-2>enable 14
Password:
18-S5750-2#show mac-address-table
Vlan      MAC Address      Type      Interface
-----
1         0088.9900.0761    DYNAMIC   GigabitEthernet 0/2
1         0088.9900.1353    DYNAMIC   GigabitEthernet 0/1
1         5869.6c15.586e    DYNAMIC   GigabitEthernet 0/2
18-S5750-2#show mac-address-table
Vlan      MAC Address      Type      Interface
-----
1         0088.9900.0761    DYNAMIC   GigabitEthernet 0/2
1         0088.9900.1353    DYNAMIC   GigabitEthernet 0/2
1         5869.6c15.586e    DYNAMIC   GigabitEthernet 0/1
18-S5750-2#show mac-address-table
Vlan      MAC Address      Type      Interface
-----
1         0088.9900.0761    DYNAMIC   GigabitEthernet 0/2
1         0088.9900.1353    DYNAMIC   GigabitEthernet 0/1
1         5869.6c15.586e    DYNAMIC   GigabitEthernet 0/1
18-S5750-2#show mac-address-table
Vlan      MAC Address      Type      Interface
-----
1         0088.9900.0761    DYNAMIC   GigabitEthernet 0/2
1         0088.9900.1353    DYNAMIC   GigabitEthernet 0/1
1         5869.6c15.586e    DYNAMIC   GigabitEthernet 0/1
```



如图所示，实验过程中的 MAC 地址表是不断改变的。原因可能是由于网络中存在环路，同一个帧在网络中不断转圈，交换机会从不同的端口收到相同的帧，而地址表根据收到帧内的 MAC 地址不断更新，导致交换机在不同时刻认为同一个设备处于不同端口。

拔下接口 2 的跳线，继续进行以下实验。

步骤 2: 交换机 A 的基本配置，如下图所示

```
✔ 172.16.18.5 ✖
Password:
% Access denied
18-S5750-1>enable 14

Password:*Apr 30 15:38:46: %LINK-3-UPDOWN: Interface GigabitEthernet 0/2, changed state to up.
*Apr 30 15:38:46: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet 0/2, changed state to up.

18-S5750-1#*Apr 30 15:38:50: %LINK-3-UPDOWN: Interface GigabitEthernet 0/1, changed state to up.
*Apr 30 15:38:50: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet 0/1, changed state to up.
*Apr 30 15:39:07: %LINK-3-UPDOWN: Interface GigabitEthernet 0/2, changed state to down.
*Apr 30 15:39:07: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet 0/2, changed state to down.

18-S5750-1#config*Apr 30 15:39:18: %LLDP-4-CREATEREM: Port GigabitEthernet 0/1 created one new neighbor, Chas
re terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
18-S5750-1(Config)#hostname switchA
switchA(config)#vlan 10
switchA(config-vlan)#name sales
switchA(config-vlan)#exit
switchA(config)#interface gigabitethernet 0/3
switchA(config-if-GigabitEthernet 0/3)#switchport access vlan 10
switchA(config-if-GigabitEthernet 0/3)#exit
switchA(config)#interface range gigabitethernet 0/1-2
switchA(config-if-range)#switchport mode trunk
switchA(config-if-range)#
```

步骤 3: 交换机 B 的基本配置，如下图所示

```
18-S5750-2>enable 14

Password:
18-S5750-2#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
18-S5750-2(Config)#hostname switchB
switchB(config)#vlan 10
switchB(config-vlan)#name sales
switchB(config-vlan)#exit
switchB(config)#interface gigabitethernet 0/3
switchB(config-if-GigabitEthernet 0/3)#switchport access vlan 10
switchB(config-if-GigabitEthernet 0/3)#exit
switchB(config)#interface range gigabitethernet 0/1-2
switchB(config-if-range)#switchport mode trunk
switchB(config-if-range)#
```

步骤 4: 配置快速生成树协议

交换机 A:

```
switchA(config-if-range)#exit
switchA(config)#spanning-tree
Enable spanning-tree.
switchA(config)#*Apr 30 15:43:35: %SPANTREE-6-RCVDTCPDU: Received tc bpd on port GigabitEthernet 0/1 on MST0.
*Apr 30 15:43:35: %SPANTREE-5-ROOTCHANGE: Root Changed for instance 0: New Root Port is GigabitEthernet 0/1. New Root Mac Address is 5869.6c15.5536.
*Apr 30 15:43:36: %SPANTREE-5-TOPOTRAP: Topology Change Trap for instance 0.
*Apr 30 15:43:37: %SPANTREE-6-RCVDTCPDU: Received tc bpd on port GigabitEthernet 0/1 on MST0.

switchA(config)#spanning-tree mode rstp
switchA(config)#*Apr 30 15:43:49: %SPANTREE-5-ROOTCHANGE: Root Changed: New Root Port is GigabitEthernet 0/1. New Root Mac Address is 5869.6c15.5536.
*Apr 30 15:43:50: %SPANTREE-5-TOPOTRAP: Topology Change Trap.

switchA(config)#
switchA(config)#
switchA(config)#*Apr 30 15:44:17: %LINK-3-UPDOWN: Interface GigabitEthernet 0/2, changed state to up.
*Apr 30 15:44:17: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet 0/2, changed state to up.
```

交换机 B:

```
switchB(config-if-range)#exit
switchB(config)#spanning-tree
Enable spanning-tree.
switchB(config)#spanning-tree mode *Apr 30 15:42:18: %SPANTREE-6-PORTFASTCHG: Port GigabitEthernet 0/1 portfast state changed from edge to non-edge.
rstp
switchB(config)#*Apr 30 15:42:20: %SPANTREE-6-RCVDTCPDU: Received tc bpd on port GigabitEthernet 0/1 on MST0.
*Apr 30 15:42:20: %SPANTREE-5-TOPOTRAP: Topology Change Trap.
*Apr 30 15:42:22: %SPANTREE-6-RCVDTCPDU: Received tc bpd on port GigabitEthernet 0/1 on MST0.
*Apr 30 15:42:34: %SPANTREE-6-RCVDTCPDU: Received tc bpd on port GigabitEthernet 0/1 on MST0.
*Apr 30 15:42:36: %SPANTREE-6-RCVDTCPDU: Received tc bpd on port GigabitEthernet 0/1 on MST0.

switchB(config)#*Apr 30 15:43:00: %LINK-3-UPDOWN: Interface GigabitEthernet 0/2, changed state to up.
*Apr 30 15:43:00: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet 0/2, changed state to up.
*Apr 30 15:43:06: %LLDP-4-CREATEREM: Port GigabitEthernet 0/2 created one new neighbor, chassis ID is 5869.6c15.586e, Port ID is Gi0/2.
```



测试：用 2 根跳线将 2 台交换机按实验拓扑连接起来。将步骤 1 再做一遍，比较配置前后的实验效果。生成树协议起到什么作用？

- (1) 除保持实验网卡连通外，切断其他网络链路，在没有主动通信的情况下，观察 1~2 分钟，会有广播风暴产生吗？

测量	已捕获	已显示	标记
分组	548	548 (100.0%)	—
时间跨度, s	382.058	382.058	—
平均 pps	1.4	1.4	—
平均分组大小, B	235	235	—
字节	128829	128829 (100.0%)	0
平均 字节/秒	337	337	—
平均 比特/秒	2697	2697	—

如图，没有广播风暴产生。

- (2) 观察下列哪种情况，哪种情况下包增长得更快？

用 PC1 ping PC2（带参数-t）

在 PC1 或 PC2 上 ping 一个非 PC1 与 PC2 的 IP（用参数-t）

判断交换机是否产生广播风暴以及有无导致计算机死锁。

## 统计

测量	已捕获	已显示
分组	51	51 (100.0%)
时间跨度, s	15.211	15.211
平均 pps	3.4	3.4
平均分组大小, B	190	190
字节	9678	9678 (100.0%)
平均 字节/秒	636	636
平均 比特/秒	5089	5089

如图为第一种情况，没有产生广播风暴，计算机没有出现死锁。

测量	已捕获	已显示
分组	52	52 (100.0%)
时间跨度, s	28.282	28.282
平均 pps	1.8	1.8
平均分组大小, B	248	248
字节	12876	12876 (100.0%)
平均 字节/秒	455	455
平均 比特/秒	3642	3642

如图为第二种情况，也没有产生广播风暴，计算机没有出现死锁。

两种情况增长速度相近。

- (3) 在进行(3)的两种操作时，在交换机上不时查看 MAC 地址表 show mac-address-table，结果如何？

```
switchB(config)#show mac*Apr 30 15:56:13: %SPANTREE-5-TOPOTRAP: Topology Change Trap.
-address-table
Vlan      MAC Address      Type      Interface
-----
1         5869.6c15.586e   DYNAMIC   GigabitEthernet 0/2
10        0088.9900.1353   DYNAMIC   GigabitEthernet 0/3
switchB(config)#show mac-address-table
Vlan      MAC Address      Type      Interface
-----
1         5869.6c15.586e   DYNAMIC   GigabitEthernet 0/2
10        0088.9900.1353   DYNAMIC   GigabitEthernet 0/3
switchB(config)#show mac-address-table
Vlan      MAC Address      Type      Interface
-----
1         5869.6c15.586e   DYNAMIC   GigabitEthernet 0/2
10        0088.9900.1353   DYNAMIC   GigabitEthernet 0/3
switchB(config)#show mac-address-table
Vlan      MAC Address      Type      Interface
-----
1         5869.6c15.586e   DYNAMIC   GigabitEthernet 0/2
10        0088.9900.1353   DYNAMIC   GigabitEthernet 0/3
```



如图所示，MAC 地址表保持稳定。

可见生成树协议解决了网络中的环路带来的一系列问题，并提供了冗余备份链路。

步骤 5：验证测试。在一台非根交换机上使用 `show spanning-tree interface gigabitethernet 0/1` 命令和 `show spanning-tree interface gigabitethernet 0/2` 命令查看，判断哪一个端口的 PortState 处于丢弃状态？哪一个端口的 PortState 处于转发状态？

```
switchA(config)#show spanning-tree interface gigabitethernet 0/1
PortAdminPortFast : Disabled
PortOperPortFast : Disabled
PortAdminAutoEdge : Enabled
PortOperAutoEdge : Disabled
PortAdminLinkType : auto
PortOperLinkType : point-to-point
PortBPDUGuard : Disabled
PortBPDUFilter : Disabled
PortGuardmode : None
PortState : forwarding
PortPriority : 128
PortDesignatedRoot : 32768.5869.6c15.5536
PortDesignatedCost : 0
PortDesignatedBridge : 32768.5869.6c15.5536
PortDesignatedPortPriority : 128
PortDesignatedPort : 1
PortForwardTransitions : 4
PortAdminPathCost : 20000
PortOperPathCost : 20000
Inconsistent states : normal
PortRole : rootPort
switchA(config)#show spanning-tree interface gigabitethernet 0/2
PortAdminPortFast : Disabled
PortOperPortFast : Disabled
PortAdminAutoEdge : Enabled
PortOperAutoEdge : Disabled
PortAdminLinkType : auto
PortOperLinkType : point-to-point
PortBPDUGuard : Disabled
PortBPDUFilter : Disabled
PortGuardmode : None
PortState : discarding
PortPriority : 128
PortDesignatedRoot : 32768.5869.6c15.5536
PortDesignatedCost : 0
PortDesignatedBridge : 32768.5869.6c15.5536
PortDesignatedPortPriority : 128
PortDesignatedPort : 2
PortForwardTransitions : 3
PortAdminPathCost : 20000
PortOperPathCost : 20000
Inconsistent states : normal
PortRole : alternatePort
switchA(config)#
```

如图，0/1 处于转发状态，0/2 处于丢弃状态。

交换机 A:

```
switchA(config)#show spanning-tree
StpVersion : RSTP
SysStpStatus : ENABLED
MaxAge : 20
HelloTime : 2
ForwardDelay : 15
BridgeMaxAge : 20
BridgeHelloTime : 2
BridgeForwardDelay : 15
MaxHops : 20
TxHoldCount : 3
PathCostMethod : Long
BPDUGuard : Disabled
BPDUFilter : Disabled
LoopGuardDef : Disabled
BridgeAddr : 5869.6c15.586e
Priority : 32768
TimeSinceTopologyChange : 0d:0h:6m:41s
TopologyChanges : 6
DesignatedRoot : 32768.5869.6c15.5536
RootCost : 20000
RootPort : GigabitEthernet 0/1
switchA(config)#show spanning-tree interface gigabitethernet 0/1
```





## 交换机 B:

```
switchB(config)#show spanning-tree
*Apr 30 15:46:10: %SPANTREE-5-TOPOTRAP: Topology Change Trap.
StpVersion : RSTP
SysStpStatus : ENABLED
MaxAge : 20
HelloTime : 2
ForwardDelay : 15
BridgeMaxAge : 20
BridgeHelloTime : 2
BridgeForwardDelay : 15
MaxHops : 20
TxHoldCount : 3
PathCostMethod : Long
BPDUGuard : Disabled
BPDUFilter : Disabled
LoopGuardDef : Disabled
BridgeAddr : 5869.6c15.5536
Priority: 32768
TimesinceTopologyChange : 0d:0h:2m:38s
TopologyChanges : 2
DesignatedRoot : 32768.5869.6c15.5536
RootCost : 0
RootPort : 0
switchB(config)#*Apr 30 15:46:12: %LINK-3-UPDOWN: Interface GigabitEthernet 0/1, changed state to down.
*Apr 30 15:46:12: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet 0/1, changed state to down.
*Apr 30 15:46:12: %SPANTREE-6-RCVDTCPDU: Received tc bpdu on port GigabitEthernet 0/2 on MST0.
```

如图所示，可见此时交换机 B 为根交换机。交换机 A 的根端口为 0/1。

步骤 6: 设置交换机的优先级

步骤 7: 验证交换机 A 的优先级

```
switchA(config)#spanning-tree priority 4096
switchA(config)#*Apr 30 16:07:35: %SPANTREE-5-EVENT: The device has been selected as the Root Bridge.
*Apr 30 16:07:35: %SPANTREE-6-RX_INFBPDU: Received inferior BPDU on port GigabitEthernet 0/1.
*Apr 30 16:07:36: %SPANTREE-5-TOPOTRAP: Topology Change Trap.
*Apr 30 16:07:38: %SPANTREE-5-TOPOTRAP: Topology Change Trap.

switchA(config)#show spanning-tree
StpVersion : RSTP
SysStpStatus : ENABLED
MaxAge : 20
HelloTime : 2
ForwardDelay : 15
BridgeMaxAge : 20
BridgeHelloTime : 2
BridgeForwardDelay : 15
MaxHops : 20
TxHoldCount : 3
PathCostMethod : Long
BPDUGuard : Disabled
BPDUFilter : Disabled
LoopGuardDef : Disabled
BridgeAddr : 5869.6c15.586e
Priority: 4096
TimesinceTopologyChange : 0d:0h:0m:25s
TopologyChanges : 7
DesignatedRoot : 4096.5869.6c15.586e
RootCost : 0
RootPort : 0
switchA(config)#
```

如图所示，交换机 A 由于优先级较高（数值小），被更新为根交换机。

```
switchB(config)#*Apr 30 16:06:19: %SPANTREE-5-ROOTCHANGE: Root Changed: New Root Port is GigabitEthernet 0/2. New Root Mac Address is 5869.6c15.586e.
*Apr 30 16:06:19: %SPANTREE-5-ROOTCHANGE: Root Changed: New Root Port is GigabitEthernet 0/1. New Root Mac Address is 5869.6c15.586e.
*Apr 30 16:06:19: %SPANTREE-6-RCVDTCPDU: Received tc bpdu on port GigabitEthernet 0/1 on MST0.
*Apr 30 16:06:20: %SPANTREE-5-TOPOTRAP: Topology Change Trap.
*Apr 30 16:06:21: %SPANTREE-6-RCVDTCPDU: Received tc bpdu on port GigabitEthernet 0/2 on MST0.
*Apr 30 16:06:21: %SPANTREE-6-RCVDTCPDU: Received tc bpdu on port GigabitEthernet 0/1 on MST0.
switchB(config)#show spanning-tree
StpVersion : RSTP
SysStpStatus : ENABLED
MaxAge : 20
HelloTime : 2
ForwardDelay : 15
BridgeMaxAge : 20
BridgeHelloTime : 2
BridgeForwardDelay : 15
MaxHops : 20
TxHoldCount : 3
PathCostMethod : Long
BPDUGuard : Disabled
BPDUFilter : Disabled
LoopGuardDef : Disabled
BridgeAddr : 5869.6c15.5536
Priority: 32768
TimesinceTopologyChange : 0d:0h:10m:56s
TopologyChanges : 6
DesignatedRoot : 4096.5869.6c15.586e
RootCost : 20000
RootPort : GigabitEthernet 0/1
switchB(config)#
```

如图所示，此时交换机 B 为非根交换机，根端口为 0/1。



步骤 8: 验证交换机 B 的端口 0/1 和 0/2 的状态。

```
switchB(config)#show spanning-tree interface gigabitethernet 0/1
PortAdminPortFast : Disabled
PortOperPortFast : Disabled
PortAdminAutoEdge : Enabled
PortOperAutoEdge : Disabled
PortAdminLinkType : auto
PortOperLinkType : point-to-point
PortBPDUGuard : Disabled
PortBPDUFilter : Disabled
PortGuardmode : None
PortState : forwarding
PortPriority : 128
PortDesignatedRoot : 4096.5869.6c15.586e
PortDesignatedCost : 0
PortDesignatedBridge :4096.5869.6c15.586e
PortDesignatedPortPriority : 128
PortDesignatedPort : 1
PortForwardTransitions : 4
PortAdminPathCost : 20000
PortOperPathCost : 20000
Inconsistent states : normal
PortRole : rootPort
switchB(config)#
```

如图所示，交换机 B 的端口 0/1 处于转发状态，角色为根端口。

```
switchB(config)#show spanning-tree interface gigabitethernet 0/2
PortAdminPortFast : Disabled
PortOperPortFast : Disabled
PortAdminAutoEdge : Enabled
PortOperAutoEdge : Disabled
PortAdminLinkType : auto
PortOperLinkType : point-to-point
PortBPDUGuard : Disabled
PortBPDUFilter : Disabled
PortGuardmode : None
PortState : discarding
PortPriority : 128
PortDesignatedRoot : 4096.5869.6c15.586e
PortDesignatedCost : 0
PortDesignatedBridge :4096.5869.6c15.586e
PortDesignatedPortPriority : 128
PortDesignatedPort : 2
PortForwardTransitions : 3
PortAdminPathCost : 20000
PortOperPathCost : 20000
Inconsistent states : normal
PortRole : alternatePort
```

如图所示，交换机 B 的端口 0/2 处于丢弃状态，角色为替换端口。

步骤 9: 实验分析

(1) 记录经过步骤 7 后每台交换机的 BridgeAddr、Priority、DesignatedRoot、RootCost 以及 RootPort，填入下表。

	交换机 A	交换机 B
Priority	4096	32768
BridgeAddr	5869.6c15.586e	5869.6c15.5536
DesignatedRoot	4096.5869.6c15.586e	4096.5869.6c15.586e
RootCost	0	20000
RootPort	无	GigabitEthernet 0/1







如图所示，PC1 与 PC2 能互相 ping 通，ping 未出现丢包情况。

(5) 启动监控软件 Wireshark，捕获 BPDU，并进行协议分析。

```
> Frame 8: 60 bytes on wire (480 bits), 60 bytes captured (480 bits) on interface \Device\NPF_{EBC28BE2-6340-4CBB-87CD-F4EB4A236F0F}, id 0
> IEEE 802.3 Ethernet
< Logical-Link Control
  < DSAP: Spanning Tree BPDU (0x42)
    0100 001. = SAP: Spanning Tree BPDU
    ....0 = IG Bit: Individual
  < SSAP: Spanning Tree BPDU (0x42)
    0100 001. = SAP: Spanning Tree BPDU
    ....0 = CR Bit: Command
  < Control field: U, func=UI (0x03)
    000. 00.. = Command: Unnumbered Information (0x00)
    ....11 = Frame type: Unnumbered frame (0x3)
< Spanning Tree Protocol
  Protocol Identifier: Spanning Tree Protocol (0x0000)
  Protocol Version Identifier: Rapid Spanning Tree (2)
  BPDU Type: Rapid/Multiple Spanning Tree (0x02)
  < BPDU flags: 0x7c, Agreement, Forwarding, Learning, Port Role: Designated
    0... .. = Topology Change Acknowledgment: No
    .1... .. = Agreement: Yes
    ..1... .. = Forwarding: Yes
    ...1... .. = Learning: Yes
    ....11.. = Port Role: Designated (3)
    ....0. = Proposal: No
    ....0. = Topology Change: No
  < Root Identifier: 4096 / 0 / 58:69:6c:15:58:6e
    Root Bridge Priority: 4096
    Root Bridge System ID Extension: 0
    Root Bridge System ID: RuijieNe_15:58:6e (58:69:6c:15:58:6e)
    Root Path Cost: 20000
  < Bridge Identifier: 32768 / 0 / 58:69:6c:15:55:36
    Bridge Priority: 32768
    Bridge System ID Extension: 0
    Bridge System ID: RuijieNe_15:55:36 (58:69:6c:15:55:36)
  Port identifier: 0x8003
  Message Age: 1
  Max Age: 20
  Hello Time: 2
  Forward Delay: 15
  Version 1 Length: 0
```

如图所示，可见协议与生成树的相关信息与前面步骤的结果相同。

- 协议标识符为 0，协议版本为 2（快速生成树协议）
- BPDU 类型表明是一个快速/多生成树 BPDU
- BPDU 标志字段表明这既不是一个拓扑变更帧也不是一个拓扑变更确认帧

随后是根网桥标识，其中：

- 优先级是 4096
- MAC 基地址：58::69::6c::15::58::6e

随后是根网桥代价：20000（本交换机不是根网桥）

随后是发送网桥 ID，其中：

- 优先级是 32768（默认值）
- MAC 基地址：58::69::6c::15::55::36

最后是一些定时器的值：

- 消息年龄：当前为 1
- 消息寿命：20 秒（默认值）



- 根 hello 时间：2 秒（发送 BPDU 的时间间隔）
- 转发延迟：15 秒（交换机端口处于侦听、学习状态的时间）

## 【实验思考】

- (1) 实验中有环路。交换机通过快速生成树协议，将冗余链路置为丢弃状态来避免环路。
- (2) 冗余链路不会出现 MAC 地址表不稳定和多帧复制的问题。
- (3) 没有配置快速生成树协议时，多接一根跳线，会出现广播风暴。

## 【实验总结】

在本次实验中，我们成功地利用快速生成树协议避免了环路的产生与广播风暴，其中也遇到了不少困难，锻炼了在小队内与同学合作、分析问题、解决问题与请教他人的能力，将困难一一解决，体会到了团队协作的快乐和完成实验的成就感。

这次的实验也让我感受到了自己在计算机网络方面的知识储备还仅仅是入门水平，我希望再接再厉，向老师请教，向同学学习，掌握好这门课程。