

网 络 工 程

本 科 实 验 报 告

实验名称：生成树协议（STP）配置

学 员 姓 名	王李烜	学 号	202202001046
培 养 类 型	无军籍	年 级	2022
专 业	网络工程	所 属 学 院	计算机学院
指 导 教 员	张军	职 称	工程师
实 验 室	306-707	实 验 时 间	2024.11.07

《本科实验报告》填写说明

实验报告内容编排应符合以下要求：

- (1) 采用 A4 (21cm×29.7cm) 白色复印纸，单面黑字。上下左右各侧的页边距均为 3cm；缺省文档网格：字号为小 4 号，中文为宋体，英文和阿拉伯数字为 Times New Roman，每页 30 行，每行 36 字；页脚距边界为 2.5cm，页码置于页脚、居中，采用小 5 号阿拉伯数字从 1 开始连续编排，封面不编页码。
- (2) 报告正文最多可设四级标题，字体均为黑体，第一级标题字号为 4 号，其余各级标题为小 4 号；标题序号第一级用“一、”、“二、”……，第二级用“（一）”、“（二）”……，第三级用“1.”、“2.”……，第四级用“（1）”、“（2）”……，分别按序连续编排。
- (3) 正文插图、表格中的文字字号均为 5 号。

目录

1 实验目的	5
2 实验原理	5
2.1 STP 概述	5
2.2 STP 工作原理	5
2.2.1 基本概念	5
2.2.2 STP 算法的步骤	6
2.3 BPDU 保护	8
3 实验环境	8
3.1 实验背景	8
3.2 实验设备	9
4 实验步骤及结果	9
4.1 实验拓扑	9
4.2 按照拓扑图接线	9
4.3 配置 PC	10
4.4 配置 STP	10
4.4.1 配置 STP 工作模式	10
4.4.2 配置根桥和备份根桥设备	10
4.4.3 配置端口路径开销	11
4.4.4 使能 STP 破除环路	11
4.5 实验结果验证	11
4.5.1 查看各交换机端口状态	11
4.5.2 查看网络连通性	12
5 实验总结	13
参考文献	14

图目录

Figure 1: 原始有环拓扑	6
Figure 2: 链路成本示例	7
Figure 3: 对端 BID 最小	7
Figure 4: 对端 PID 最小	7
Figure 5: 最终形成的链路拓扑 (绿色粗线为连通的链路)	8
Figure 6: 实验拓扑图	9
Figure 7: 接线图	10
Figure 8: 配置 STP 工作模式	10
Figure 9: 配置根桥 LSW1	10
Figure 10: 配置备份根桥 LSW4	10
Figure 11: 配置端口路径开销	11
Figure 12: 配置 LSW3 的 g0/0/1 口路径开销	11
Figure 13: 配置 LSW2 边缘端口	11
Figure 14: 配置 LSW3 边缘端口并启用 BPDU 保护	11
Figure 15: 全局使能 STP	11
Figure 16: 查看 LSW1 的 STP 状态	12
Figure 17: 查看 LSW2 的 g0/0/1 端口状态	12

Figure 18: 查看 LSW3	12
Figure 19: 查看网络连通性	12

1 实验目的

本实验旨在使学生掌握生成树协议（STP）的基本概念和配置方法，通过实际操作学习如何在网络设备上配置 STP，理解其防止环路、优化网络拓扑的功能，并培养分析和解决网络问题的能力。通过实验，学生将深入理解 STP 在现代网络中的应用，提升实践技能，为未来的网络工程职业生涯和专业认证考试打下坚实的基础。

2 实验原理

2.1 STP 概述

生成树协议（Spanning Tree Protocol，简称 STP）是一种工作在 OSI 模型第二层（数据链路层）的通信协议，其基本应用是防止交换机冗余链路产生的环路，确保以太网中无环路的逻辑拓扑结构，从而避免广播风暴和大量占用交换机资源的问题。

2.2 STP 工作原理

2.2.1 基本概念

STP 通过选举一个根交换机（Root Switch）来确定生成树，其他交换机通过计算到根交换机的最短路径来决定端口的状态，从而实现网络中的环路消除。以下是一些基本概念的解释：

- 网桥（Bridge）：STP 在 IEEE 标准中提出被提出时，是施用于网桥上的。网桥是一种网络设备，用于连接两个或多个局域网段，能够根据数据帧的目的 MAC 地址来转发数据帧。在 STP 中，网桥负责维护网络的拓扑结构，防止环路的产生。交换机是一种高级的网桥。
- 根桥（Root Bridge）：根桥是 STP 网络中的逻辑中心，负责周期性发送配置 BPDU（桥协议数据单元），以维持生成树的稳定性。根桥的选举基于桥 ID（BID），即桥优先级和桥 MAC 地址的组合，BID 最小的设备会被选举为根桥。
- 桥 ID（BID, Bridge ID）：桥 ID 由两部分组成：桥优先级和桥 MAC 地址。桥优先级是一个 2 字节的数值，其取值范围是 0 到 61440，缺省值通常为 32768，步长为 4096。桥 MAC 地址是网桥的硬件地址。在 STP 网络中，桥 ID 最小的设备会被选举为根桥。
- 端口 ID（PID, Port ID）：端口 ID 由端口优先级和端口编号组成，用于标识每个接口，在选举指定端口（Designated Port）时使用。端口优先级范围是 0 到 240，缺省情况下为 128。
- BPDU：Bridge Protocol Data Unit，交换机之间用于交换信息的数据帧。
- 根端口（Root Port）：根端口是指非根桥上用于连接到根桥的最优路径的端口。每个非根桥只有一个根端口，这个端口提供了到达根桥的最低路径开销。根端口负责将 BPDU（桥协议数据单元）从非根桥传递到根桥。如果一个非根桥有多个端口连接到根桥，那么根据路径开销、BID（桥 ID）、PID（端口 ID）等参数，选择其中的一个作为根端口。
- 指定端口（Designated Port）：指定端口是每个网段上用于转发 BPDU 和用户数据的端口。在每个网段上，只有一个端口可以是指定端口，它负责向所连接的网段转发 BPDU。通常情况下，根桥上的所有端口都是指定端口，因为根桥是 STP 网络的逻辑中心。

- 备用端口(Alternate Port/Backup Port): 备用端口是指那些既不是根端口也不是指定端口的端口。这些端口在 STP 中被阻塞，不参与数据的转发，但它们仍然会接收 BPDU，以便于在网络拓扑发生变化时，可以快速转变为根端口或指定端口，从而提供链路的备份。

2.2.2 STP 算法的步骤

生成树算法有三个步骤，下面以 Figure 1 为例，说明 STP 的工作原理。

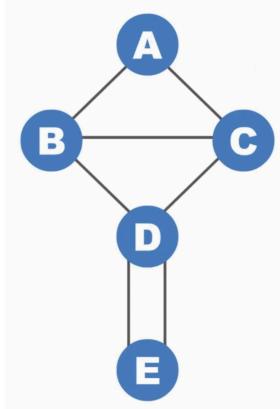


Figure 1: 原始有环拓扑

1. 选举根交换机

拓扑中，BID 最小者当选。

- BID 的比较方法：
 - 优先级取值越小，则网桥 ID 则越小。
 - 若优先级相同，则比较 MAC 地址，从 MAC 地址的左侧开始依次比较，数值小的，则网桥 ID 就越小。
 - 如 A-MAC 前四位是 00-01，B 的前四位是 00-05，那么 A 的 BID 更小，A 当选根交换机。

2. 选举根端口

在每一个非根交换机上选出一个根端口 RP (Root Port)，这个 RP 只能有一个。根端口用于接受根交换机发来的 BPDU，也用来转发普通流量。

- 根端口 RP 的选举：
 - 首先，保证 BPDU 接收端口到根交换机的路径成本最小。链路带宽对应的成本值见下表¹：

端口速率	IEEE 802.1t 标准的路径开销	华为计算方法的路径开销
100Mbps	200 000	200
1000Mbps	20 000	20
10Gbps	2 000	2
40Gbps	500	1

Table 1: 链路带宽的成本

¹摘自 IEEE 802.1d-1998 标准方法、IEEE 802.1t 标准方法和华为计算方法中规定的路径开销列表

例如，一系列千兆网口组成的路径，每经过一个设备的成本就是 4。成本最小的口就是根端口。

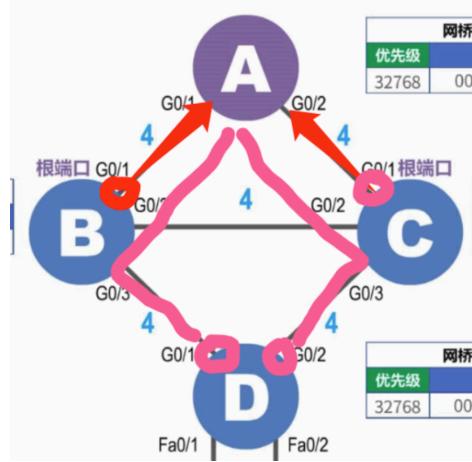


Figure 2: 链路成本示例

如 Figure 2，A 是根交换机，从 B、C 的 G0/1 口到 A 的成本值均为 4，所以它们都被选为根端口。但是 D 的 G0/1 与 G0/2 口成本值都是 $4+4=8$ ，成本值相同，则还需要进行网桥 ID 的比较。

- 对端的网桥 ID (BID) 最小。如上文所述，Figure 2 这种情况中 D 到 A 的无论哪条路成本都是 8，则需要继续比较双方中哪个接口的对端 BID 更小。

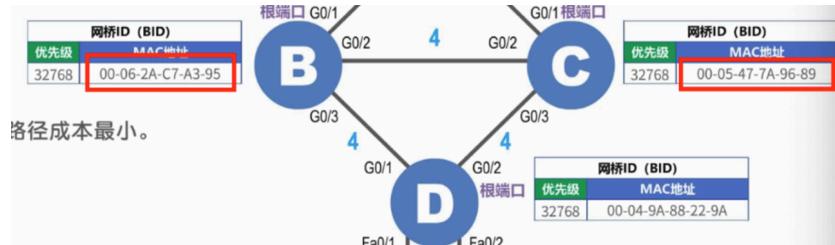


Figure 3: 对端 BID 最小

B 是 00-06，C 是 00-05，即对端 C 的 BID 更小，所以 D 的 G0/2 被选举为了根端口。

- 对端的端口 ID (PID) 最小。在最后，如果路径成本和网桥 ID 都相同，则还要比较端口 ID 的大小。

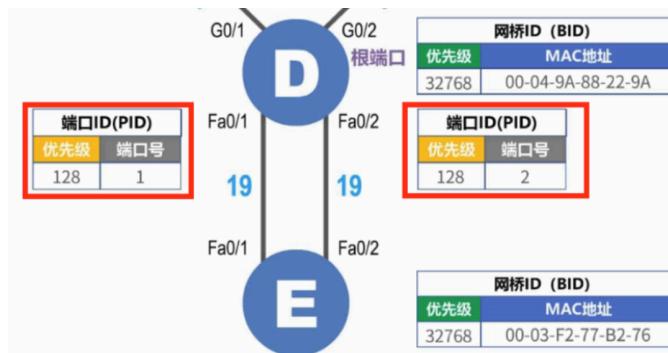


Figure 4: 对端 PID 最小

此处的 PID 优先级都是默认值，为 128。而 Fa0/1 比 Fa0/2 小，所以 Fa0/1 被选举成为根端口 RP。

3. 选举指定端口并阻塞备用端口 AP

每条链路的两个端口中有一个端口需要被选为指定端口 DP (Designated Port)。指定端口 DP 用于转发根交换机发来的 BPDU，也用来转发普通流量

- 指定端口的选举条件

- 根交换机的所有端口都是指定端口 DP。
- 根端口的对端端口一定是指定端口。如交换机 D 的 RP 是 G0/2，G0/2 的对端是 C 的 G0/3，那么，C 的 G0/3 就是指定端口。
- BPDU 转发端口到根交换机的路径成本最小的是指定端口 DP。例如 D、E 之间的两条链路，D 到 A 的成本更低，所以在这两条链路上，DP 均在 D 交换机处。

选举完指定端口，剩余端口就成了备用端口 AP (Alternate Port)，将他们阻塞 (Block) 掉，即可在所有交换机之间形成一条无环的链路。



Figure 5: 最终形成的链路拓扑 (绿色粗线为连通的链路)

2.3 BPDU 保护

如果有人伪造 RST BPDU 恶意攻击交换设备，当边缘端口接收到该报文时，会自动设置为非边缘端口，并重新进行生成树计算，引起网络震荡。配置 BPDU 保护功能后，如果边缘端口收到 BPDU 报文，边缘端口将会被立即关闭，防止网络中的恶意攻击。

3 实验环境

3.1 实验背景

网工系的宿舍楼中有一套局域网，各个寝室里有一些 PC，寝室之间有几台交换机，PC 和交换机之间通过网线连接。网工系学生热爱学习，经常开展研讨会，研究学术问题。在要求熄灯就寝之后，网工系学生不能出寝室门，于是他们在寝室的 PC 上开视频研讨会，继续讨论学术问题。为了提高网络的可靠性，他们在交换机之间安装了一些冗余备份链路。但这会形成环路，报文可能在环形网络中不断循环，设备由于重复接收相同的报文，处理能力会下降。所以他们还需要在交换机上配置生成树协议，将环形网络结构修剪成无环路的树形网络结构。

3.2 实验设备

设备名称	设备型号	设备数量
交换机	华为 S5735S	4
PC	联想启天 M410 Windows 10	2

另有网线若干，控制线 1 条。

4 实验步骤及结果

4.1 实验拓扑

按实验背景，绘制拓扑图如下：

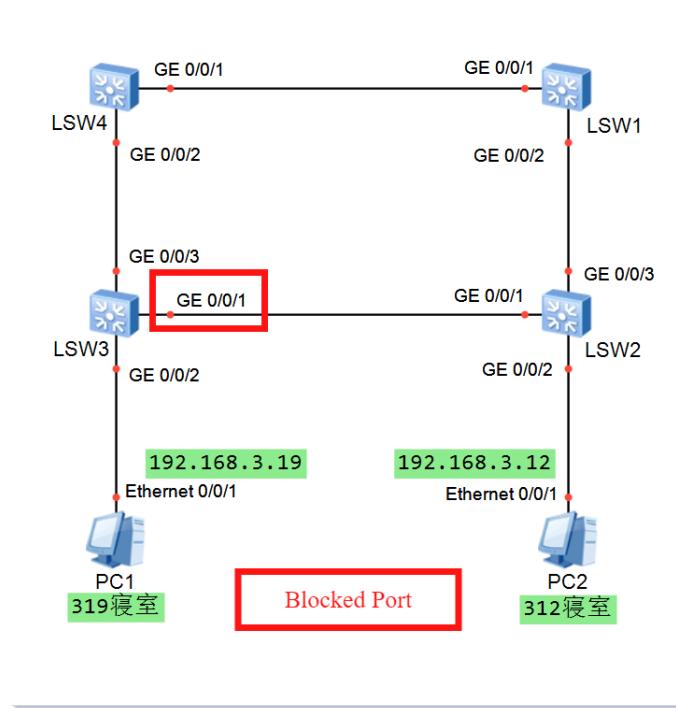


Figure 6: 实验拓扑图

要求在配置好各个端口的路径开销值之后，运行 STP 能将 Figure 6 中的 Blocked Port 端口阻塞。

4.2 按照拓扑图接线

按照拓扑图接线。

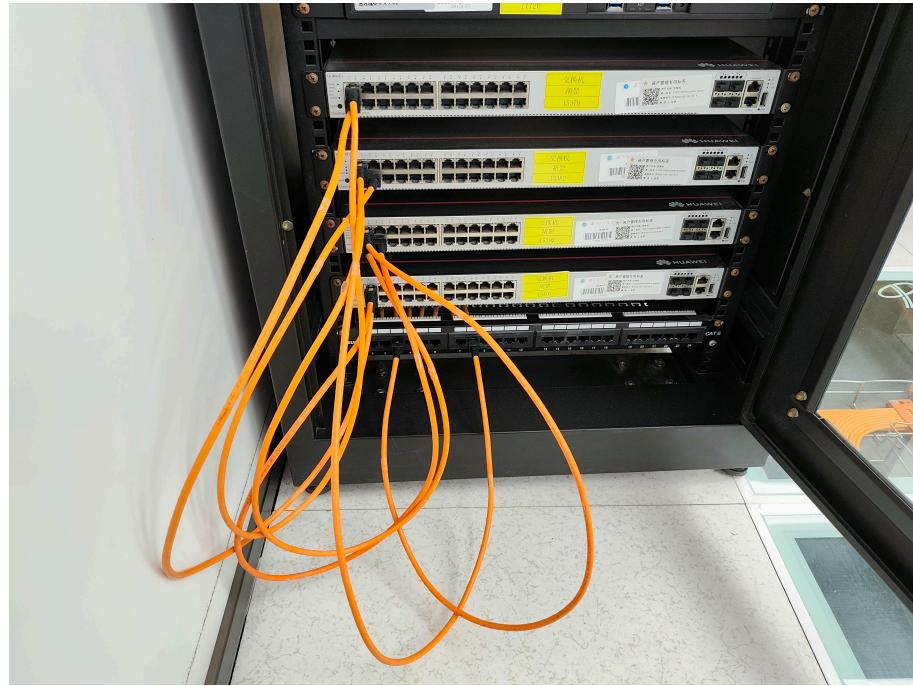


Figure 7: 接线图

4.3 配置 PC

设置 319 寝室的 IP 地址为 192.168.3.19；319 寝室的 IP 地址为 192.168.3.12。

4.4 配置 STP

下列许多步骤在 LSW1、LSW2、LSW3 和 LSW4 上都有相同的操作，这里只列出 **LSW2** 上的操作步骤。

4.4.1 配置 STP 工作模式

配置环网中的设备生成树协议工作在 STP 模式：

```
[LSW2]stp mode stp  
Info: This operation may take a few seconds. Please wait for a moment...done.
```

Figure 8: 配置 STP 工作模式

4.4.2 配置根桥和备份根桥设备

配置根桥设备为 LSW1，备份根桥设备为 LSW4：

```
[LSW1]stp root primary
```

Figure 9: 配置根桥 LSW1

```
[LSW4]stp instance 0 root secondary
```

Figure 10: 配置备份根桥 LSW4

4.4.3 配置端口路径开销

配置端口的路径开销值：

```
[LSW2]stp pathcost-standard legacy
```

Figure 11: 配置端口路径开销

特别地，LSW3 的 g0/0/1 口的路径开销值为 20000：

```
[LSW3]int g0/0/1  
[LSW3-GigabitEthernet0/0/1]stp instance 0 cost 20000
```

Figure 12: 配置 LSW3 的 g0/0/1 口路径开销

4.4.4 使能 STP 破除环路

- 将与 PC 机相连的端口设置为边缘端口。配置 LSW2：

```
[LSW2]int g0/0/2  
[LSW2-GigabitEthernet0/0/2] stp edged-port enable  
[LSW2-GigabitEthernet0/0/2]return  
<LSW2>
```

Figure 13: 配置 LSW2 边缘端口

配置 LSW3 的 g0/0/1 口为边缘端口，并启用 BPDU 保护功能：

```
[LSW3]un in en  
Info: Information center is disabled.  
[LSW3]stp mode stp  
[LSW3]stp bpdu-protection  
[LSW3]stp pathcost-standard legacy  
[LSW3]int g0/0/1  
[LSW3-GigabitEthernet0/0/1]stp instance 0
```

Figure 14: 配置 LSW3 边缘端口并启用 BPDU 保护

- 设备全局使能 STP：

```
<LSW2>  
<LSW2>sys  
[LSW2] stp enable  
[LSW2]q  
<LSW2>
```

Figure 15: 全局使能 STP

4.5 实验结果验证

4.5.1 查看各交换机端口状态

配置完成后，查看各个交换机的端口状态，确认生成树协议已经生效。在 LSW1 上执行 display stp brief 命令，查看端口状态和端口的保护类型，结果如下：

[LSW1]		[LSW1]disp stp bri			
MSTID	Port	Role	STP State	Protection	
0	GigabitEthernet0/0/1	DESI	FORWARDING	NONE	
0	GigabitEthernet0/0/2	DESI	FORWARDING	NONE	
[LSW1]					

Figure 16: 查看 LSW1 的 STP 状态

将 LSW1 配置为根桥后，与 LSW2、LSW4 相连的端口 g0/0/2 和 g0/0/1 在生成树计算中被选举为指定端口。

在 LSW2 上执行 display stp interface g0/0/1 brief 命令，查看端口 g0/0/1 状态，结果如下：

<LSW2>disp stp int g0/0/1 br		Role	STP State	Protection	
MSTID	Port	DESI	FORWARDING	NONE	
0	GigabitEthernet0/0/1	<LSW2>			

Figure 17: 查看 LSW2 的 g0/0/1 端口状态

端口 g0/0/1 在生成树选举中成为指定端口，处于 **FORWARDING** 状态。

在 LSW3 上执行 display stp brief 命令，查看端口状态，结果如下：

<LSW3>disp stp br		Role	STP State	Protection	
MSTID	Port	ALTE	DISCARDING	NONE	
0	GigabitEthernet0/0/1	DESI	FORWARDING	BPDU	
0	GigabitEthernet0/0/2	ROOT	FORWARDING	NONE	
0	GigabitEthernet0/0/3	<LSW3>			

Figure 18: 查看 LSW3

端口 g0/0/3 在生成树选举中成为根端口，处于 **FORWARDING** 状态；端口 g0/0/1 在生成树选举中成为 Alternate 端口，处于 **DISCARDING** 状态。此外，由于我们配置了 BPDU 保护，g0/0/1 状态的 Protection 字段显示为 **BPDU**。

4.5.2 查看网络连通性

在 319 寝室的 PC1 上执行 ping 命令，查看与 312 寝室 PC2 的网络连通性，结果如下：

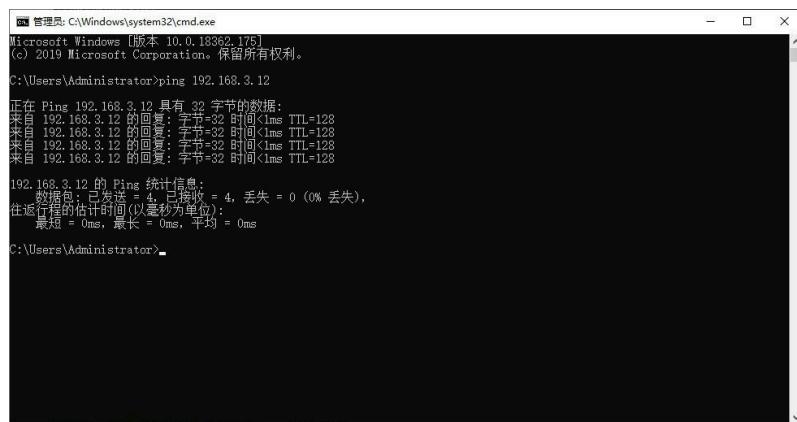


Figure 19: 查看网络连通性

两台 PC 之间可以正常通信，网络连通性正常。至此，319 与 312 寝室的学生可以在熄灯后继续通过视频研讨会进行学术讨论。

5 实验总结

本次实验通过配置生成树协议(STP),实现了对网络中的环路进行消除,保证了网络的稳定性和可靠性。通过实验,我掌握了生成树协议的基本概念和工作原理,学会了如何在网络设备上配置 STP ,理解了 STP 的防止环路、优化网络拓扑的功能。实验中,我通过实际操作,深入理解了 STP 在现代网络中的应用,提升了实践技能,为未来的网络工程职业生涯和专业认证考试打下了坚实基础。

参考文献

- [1] MRSPE. STP 原理与配置 [EB/OL](2024-11-07). <https://www.cnblogs.com/Mrspe/articles/12376505.html>
- [2] 华为. 华为 STP 文档 1[EB/OL](2024-11-07). <https://support.huawei.com/enterprise/zh/doc/EDOC1000128401/33f9bf9d>
- [3] 华为. 华为 RSTP 文档 2[EB/OL](2024-11-07). <https://support.huawei.com/enterprise/zh/doc/EDOC1000047406/8f9e150?idPath=24030814|21782164|21782167|259602657#table72246468367>