

# 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	程景愉	学号	202302723005
培养类型	无军籍	年 级	2023
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	2025.09.19

## 《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 .....	10
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 .....	12
参考文献 .....	13

## 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 .....	11
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釋：

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。

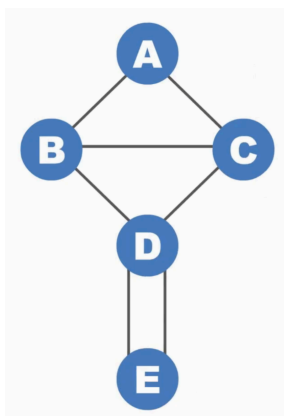


Figure 1: 原始有环拓扑

#### 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<sup>1</sup>：

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

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。

<sup>1</sup>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

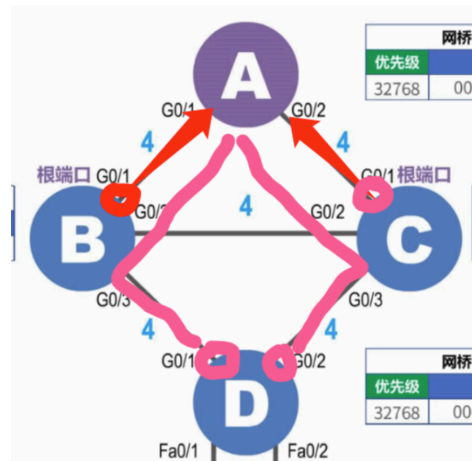


Figure 2: 链路成本示例

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。

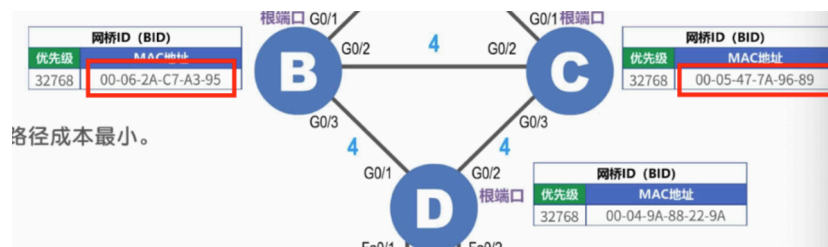


Figure 3: 对端 BID 最小

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。

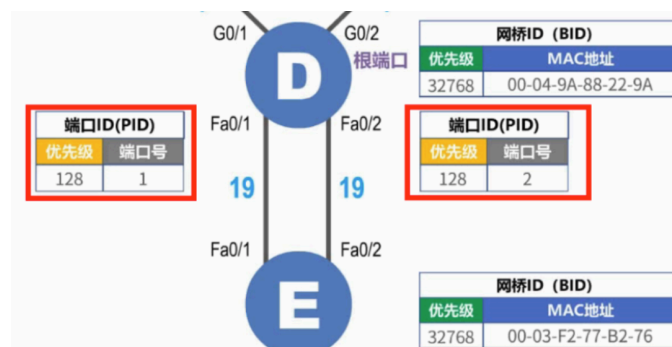


Figure 4: 对端 PID 最小

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 被选举成为了根端口 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且仅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：

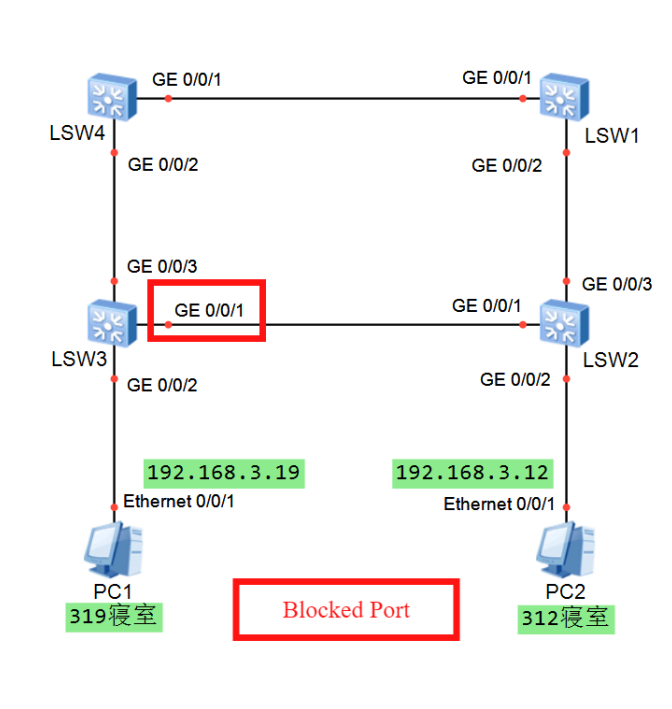


Figure 6: 实验拓扑图

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。

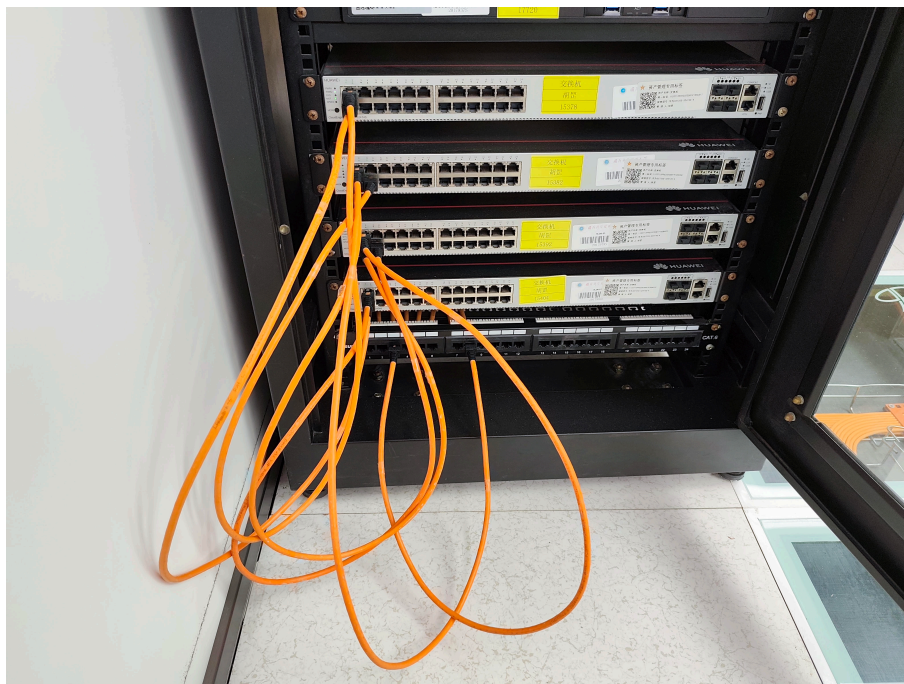


Figure 7: 接线图

### 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]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
MSTID  Port                Role  STP State  Protection
0      GigabitEthernet0/0/1  DESI  FORWARDING  NONE
<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
MSTID  Port                Role  STP State  Protection
0      GigabitEthernet0/0/1  ALTE  DISCARDING  NONE
0      GigabitEthernet0/0/2  DESI  FORWARDING  BPDU
0      GigabitEthernet0/0/3  ROOT  FORWARDING  NONE
<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：

```
管理员: C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [版本 10.0.18362.175]
(c) 2019 Microsoft Corporation. 保留所有权利。

C:\Users\Administrator>ping 192.168.3.12

正在 Ping 192.168.3.12 具有 32 字节的数据:
来自 192.168.3.12 的回复: 字节=32 时间<1ms TTL=128
来自 192.168.3.12 的回复: 字节=32 时间<1ms TTL=128
来自 192.168.3.12 的回复: 字节=32 时间<1ms TTL=128
来自 192.168.3.12 的回复: 字节=32 时间<1ms TTL=128

192.168.3.12 的 Ping 统计信息:
    数据包: 已发送 = 4, 已接收 = 4, 丢失 = 0 (0% 丢失),
    往返行程的估计时间(以毫秒为单位):
        最短 = 0ms, 最长 = 0ms, 平均 = 0ms

C:\Users\Administrator>
```

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>.