

## RSTP 原理与配置

### 生成树知识点：

STP 的作用，生成树模式，交换机 Bridge ID，系统优先级 4096 的倍数，端口 ID，端口 cost，端口状态，端口角色，STP 计时器，两种 BPDU 报文，生成树的 4 个选举步骤，STP 端口 30s 和 50s 收敛，RSTP 的 P/A 机制，生成树保护（BPDU 保护，根保护，环路保护，TC 防护），BPDU 过滤，MSTP 同域三要素，MSTP 的基本配置，MSTP 网络层次，STP 与 RSTP 的兼容

STP : IEEE 802.1d

RSTP : IEEE 802.1w

MSTP : IEEE 802.1s

IEEE ( Institute of Electrical and Electronics Engineers ) 电气和电子工程师协会

STP 是一个用于局域网中消除环路的协议。

如果没有生成树协议，会导致广播风暴，MAC 地址表震荡，帧的多个拷贝

一台交换机只能工作在一种模式下，stp mode stp 定义模式按生成树实例与 VLAN 的对应关系，把交换机生成树模式分为单生成树实例模式和多生成树实例模式

单实例模式：SST single STP 所有 VLAN 使用相同的一个拓扑，STP 和 RSTP

多实例模式：MST multiple STP 关联哪些 VLAN 使用哪些实例，MSTP 是华为交换机默认的生成树模式

## 交换机 Bridge ID

BID 是由 16 位的桥 Bridge 优先级(Bridge Priority )与桥 MAC 地址构成的。BID 中优先级占据高 16 位其余的低 48 位是 MAC 2bytes 地址。高 16 位优先级中，低 12 位定义为扩展的 System ID，在 STP 和 RSTP 中该部分取值为 0。

BID 越小越优，优先级默认为 32768

stp priority 4096

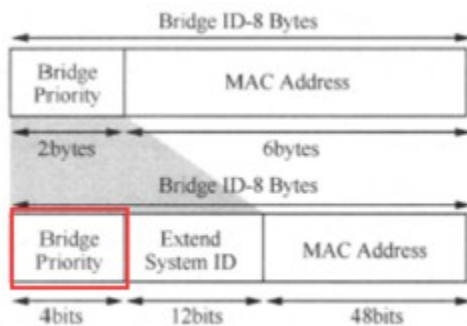
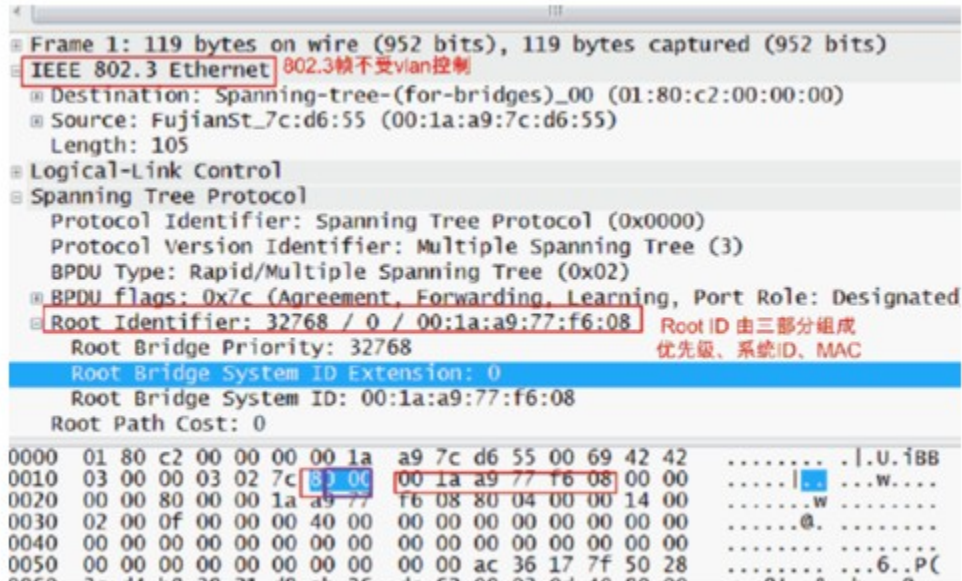


图 9-37 网桥 ID

STP 优先级为什么必须是 4096 的倍数，扩展系统 ID 为 12 位，2 的 12 次方是 4096



整个 Root Identifier 字段一共 16 个十六进制，64 个二进制，8 个字节。

BPD 对应的 Root ID 为 8000 001a a977 f60

设备读取优先级的时候读的是前四位十六进制，但是 8000 中的后面三个 0 是一般不可更改的。

只有 8 对应的位置才能更改。

所以结果就是：

只有 16 种组合，（因为只有一位十六进制可改动）。

必须为 4096 的倍数，后面带了三个 16 进制的 0，16 的三次方为 4096。加权计算就是 4096 的倍数了。

## Port ID ( 端口 ID )

端口 PID 的大小可能会影响到是否被选举为指定端口

端口 ID 是 2 字节，其中，端口优先级占 8 字节，端口号占 8 字节。但在配置时端口优先级仅能配置高 4 位，后 12 位当成端口号(端口号系统自己分配，不可调)

PID 由两部分构成的，高 4 位是端口优先级，低 12 位是端口号



PID 越小越优，端口优先级默认为 128，最大为 240，数值为 16 的倍数

```
int g0/0/0
```

```
stp port priority 16
```

端口 ID 总共占 16bit，其中 8 位是端口优先级，8 位是端口编号，所以端口优先级部分的取值范围是 0-255，缺省值为 128。在实际配置交换机的时候，配置端口 ID 的端口优先级的时候却不是这样，这是因为现在的中高端交换机，端口数量有的已经远超 255 个了，所以原来只有 8 位定义端口编号，显然不够了，从端口优先级部分挪了 4 位来定义端口编号，才能确保交换机的每个端口有唯一的编号

### 端口 cost

交换机每个端口都有自己的端口成本，华为在其交换设备上定义了 3 种端口成本的计算方法，

默认是 IEEE 802.1t 标准，并可使用 `stp pathcost-standard` 命令来修改默认的端口成本的计算方法。

```
[SW1]stp pathcost-standard ?
```

```
dot1d-1998  IEEE 802.1D-1998
```

```
dot1t        IEEE 802.1T
```

legacy

Legacy

表 10-1 接口速率与缺省 cost 的对应关系

接口速率	接口模式	STP Cost		
		IEEE 802.1D-1998 标准方法	IEEE 802.1t 标准方法	华为计算方法
10Mbps	Half-Duplex	100	2,000,000	2000
	Full-Duplex	99	1,999,999	1999
100Mbps	Half-Duplex	19	200,000	200
	Full-Duplex	18	199,999	199
1Gbps	Full-Duplex	4	20,000	20
10Gbps	Full-Duplex	2	2000	2
40Gbps	Full-Duplex	1	500	1

路径开销(PathCost) 或根桥开销，是每个端口记录的到根桥的端到端路径成本，它等于当前交换机到根桥交换机的路径上所有 RP 端口的端口成本之和，路径成本最小的端口是 RP 端口

## 端口角色

根端口 RP，指定端口 DP，替代端口 AP，备份端口 BP，边缘端口 edged port

```
▼ BPDU flags: 0x7c, Agreement, Forwarding, Learning
  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: 0 / 0 / 4c:1f:cc:f6:5f:a1
```

在 BPDU flags 字段中，有 port role 标识位

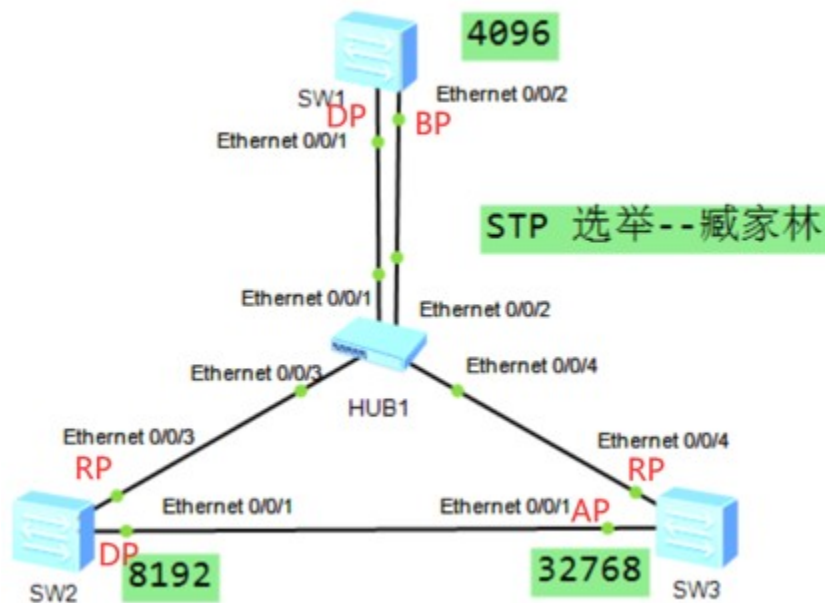
01 代表 AP 或 BP

10 代表 RP

11 代表 DP

华为在 STP/ RSTP / MSTP 模式下的交换机中都使用替代(Alt

ernate) 和备用(Backup) 这两种端口角色，不再有 BlockingPort 这种端口角色。



非根交换机有且只有一个 RP 端口，根交换机没有 RP 端口；  
RP 端口所在网段的上游对应端口一定是 DP 端口；  
每个网段有且只有一个 DP 端口，负责转发到根桥的流量，

**Root Port 根端口**，交换机离根最近的端口，稳定时处于转发状态

**Designated Port 指定端口**，转发所连接的网段发往根交换机方向的数据和从交换机方向发往所连接的网段的数据，稳定时处于转发状态

**Backup Port 备份端口**，处于 Discarding 状态，所属交换机为端口所连网段的指定交换机。是 DP 端口的备份端口

一个网段里通告 BPDU 的端口为指定端口，拥有该端口的交换机是指定交换机。

Alternate Port 替代端口，处于 Discarding 状态，所属交换机不是端口所连接网段的指定交换机。是 RP 端口的备份端口

端口状态

Forwarding 既转发用户流量，也处理 BPDU 报文，只有根端口或指定端口才能进入 Forwarding 状态

Leaming 设备会根据收到的用户流量构建 MAC 地址表但不转发用户流量， 过渡状态增加 Leaming 状态防转发用户流量止临时环路

Listening 确定端口角色， 将选举出根桥、根端口和指定端口，过渡状态

Blocking 端口仅仅接收并处理 BPDU ， 不转发用户流量，阻塞端口的最终状态

Disable 端口不处理 BPDU 报文，不转发用户流量，端口处在非操作状态

表 9-4 802.1w 端口状态			
802.1D-1998	802.1D-2004 802.1w	是否参与生成树计算	是否学习 MAC 地址
Disable	Discarding	否	否
Blocking	Discarding	否	否
Listening	Discarding	是	否
Learning	Learning	是	是
Forwarding	Forwarding	是	是

华为交换机在任何一种生成树模式下， 端口状态都只有 Forwarding、Learning 和 Discarding



## 生成树计时器

生成树协议中用到 hello , Forward delay 和 max age 这 3 个计时器 , max hop 它们会影响端口状态迁移和收敛时间 , 可在全局使用命令修改。

调整计时器一定要在根交换机上配置 , 其他交换机使用根桥交换机的计时器工作 , 根桥交换机的 BPDU 中的计时器优于交换机本地计时器的配置。

```
[Huawei]stp timer ?
```

```
forward-delay  Specify forward delay
hello          Specify hello time interval
max-age        Specify max age
```

```
[Huawei]dis stp
```

```
-----[CIST Global Info][Mode STP]-----
```

```
CIST Bridge      :32768.4c1f-cc96-6d5b
Config Times     :Hello 2s MaxAge 20s FwDly 15s MaxHop 20
Active Times     :Hello 2s MaxAge 20s FwDly 15s MaxHop 20
```

```
stp timer hello 200          改为 2 S
stp timer forward-delay 1500 改为 15 S
stp timer max-age 2000       改为 20 S
stp max-hops 20              改为 20 跳
```

**hello timer :** 2s root 每 2s 产生 BPDU。根交换机产生的 BPDU 的通告时间间隔

**forward delay :** 15s 设备状态迁移的延迟时间。

链路故障会引发网络重新进行生成树的计算 , 生成树的结构将发生相应的变化。不过重新计算得到的新拓扑信息无法立即传到整个网络。此时若立即将新选出的根端口和指定端口置于数



据转发的状态，则可能会出现临时环路。这时要求新新选出的根端口和指定端口要经过 2 倍的 forward delay 后才能进入转发状态，这个延时足够保证新的配置消息能传遍整个网络。

**max age :** 20s 最大老化时间

储存 BPDU 的时间，spanning-tree 发生故障，20s 后原 blocking 状态->learning 状态

以非根桥的根接口为例，该设备将在这个接口上保存来自上游的最优 BPDU，这个 BPDU 关联着一个最大生存时间，如果在该 BPDU 到达最大生存时间之前，接口再一次收到了 BPDU，那么其最大生存时间将会被重置，而如果接口一直没有再收到 BPDU 从而导致该接口上保存的 BPDU 到达最大生存时间，那么该 BPDU 将被老化，此时设备将重新在接口上选择最优 BPDU，也就是重新进行根接口的选举。

华为交换机不再使用 Max Age 来决定端口角色变化需等待的超时时间。目前，华为交换机 STP/RSTP 实现中，若收到次的 BPDU，端口会立即处理并计算新的端口角色。若接收不到 BPDU，端口角色也会在至少 3 个 Hello 间隔后重新计算，整个过程 Max Age 不再参与。

**max hop :** 20

当一个 BPDU 报文到达一个桥，又被该桥转发称为一跳，当 BPDU 报文的跳数超过 max hop 时，该报文会被丢弃，该参数与网络规模相关。

## BPDU 报文

配置 BPDU ( Configuration BPDU )

拓扑变化通知 BPDU ( TCN BPDU )

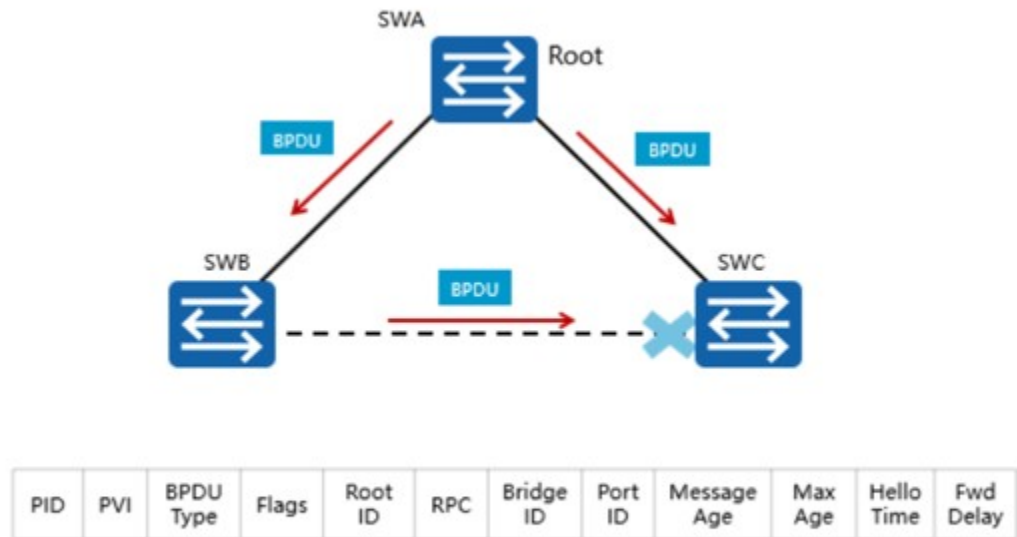
```
Frame 58: 60 bytes on wire (480 bits), 60 bytes captured (480 bits) on interface 0
Ethernet II, Src: H3C-Ethernet-Adaptation-Layer, Dst: 01:00:00:00:00:00, Length: 60
Logical-Link Control, Length: 2
Spanning Tree Protocol
  Protocol Identifier: Spanning Tree Protocol (0x0000)
  Protocol Version Identifier: Spanning Tree (0)
  BPDU Type: Configuration (0x00)
  BPDU flags: 0x81 (Topology Change Acknowledgment, Topology Change)
    1... .... = Topology Change Acknowledgment: Yes
    .... ...1 = Topology Change: Yes
  Root Identifier: 32768 / 0 / 4c:1f:cc:0e:78:e5
  Root Path Cost: 20000
  Bridge Identifier: 32768 / 0 / 4c:1f:cc:1c:40:02
  Port identifier: 0x8002
  Message Age: 1
  Max Age: 20
  Hello Time: 2
  Forward Delay: 15
```

配置 BPDU 从根交换机流出，下游交换机收到并转发，配置 BPDU 是一种心跳报文，只要端口使能 STP，则配置 BPDU 会被周期通告，这份 BPDU 记录最好根桥的信息，并通告到全网。

TCN BPDU 是在设备检测到网络拓扑发生变化时才发出的。

配置 BPDU 在以下 3 种情况下会产生。

- 只要端口使能 STP，配置 BPDU 就会按照 Hello Time 定时器规定的时间间隔从指定端口发出。
- 当根端口收到配置 BPDU 时，根端口所在的设备会向自己的每一个指定端口复制一份配置 BPDU。
- 当指定端口收到比自己差的配置 BPDU 时，立刻触发向下游设备发送自己的 BPDU



BPDU包含桥ID、路径开销、端口ID、计时器等参数。

TCNBPDU 是在下游拓扑发生变化时用来通知根交换机网络某处拓扑发生变化。TCN 是仅用于通告拓扑变化的一种 BPDU，不含有拓扑信息

TCNBPDU 在如下 2 种情况下会产生：

- 端口状态变为 Forwarding 状态，且该设备上至少有一个指定端口：
- 指定端口收到 TCNBPDU，复制 TCNBPDU 并发往根桥。

## 生成树选举

STP 通过 4 个步骤来保证网络中不存在二层环路

- 1.在整个网络选举出一个根桥
- 2.在每个非根桥都选举出一个根端口
- 3.在每个 Segment（网段）上选举一个指定端口
- 4.堵塞非指定端口

根桥选举： BID= 优先级+ mac 地址，优先级默认为 32768，

越小越优

stp priority 4096

stp root primary / secondary

根端口选举：依据该端口的根路径开销、对端 BID ( Bridge ID )、对端 PID ( Port ID ) 和本端 PID

int g0/0/0

stp cost 100

stp port priority 16

指定端口选举：依据该端口的根路径开销、BID、PID

## STP 收敛

STP 端口默认处于堵塞状态，当 STP 根桥选择完成，端口角色计算成功后，端口会进行状态切换为 listening：

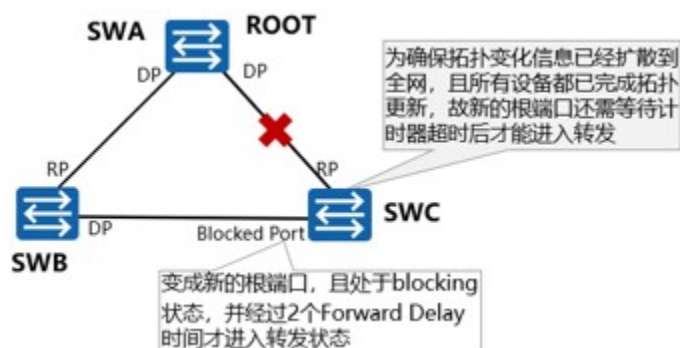
第一个 ForwardDelay，从 listening 切换为 learning，耗时 15S，处于侦听状态。

第二个 ForwardDelay，从 learning 切换为 forwarding，耗时 15S，完成 MAC 学习。

这两个 ForwardDelay，合计耗时 30S，就是 STP 的状态进入转发过程，又称慢收敛。

RP 接口 down 时，STP 收敛为 30S

直接链路失效（链路 DOWN），如果失效链路一边交换机失效的端口是根端口，并且该交换机有预备端口，那么收敛时间是 30S；



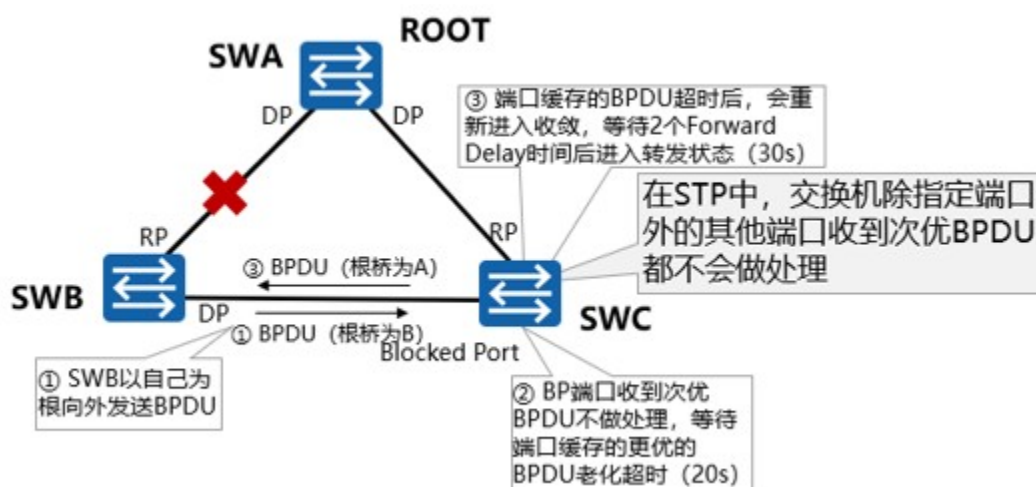
DP 接口 down 时，收敛为 50S，因为 DP 无法发出 BPDU，A P 要等 20S 后才转为监听状态

如果失效链路一头交换机失效的端口是根端口，它没有预备端口，只有指定端口，那么收敛时间是 50S。

为什么这里会有一个 20 秒的差别？

交换机丢失根端口，会发送以自己为根的配置 BPDU，如果在链路断开以前，本端的接口是 AP，对端是 DP，本端发送的次优 BPDU，对端 DP 收到以后，会立即回应最优 BPDU，所以不必要等待 20 秒超时；

如果在链路断开以前，本端的接口是 DP，对端是 AP，那么本端发送以自己为根的次优 BPDU 以后，对端的原 AP 端口需要等待 20 秒超时才会进行回应，所以需要 50 秒。



## RSTP 的 P/A 机制

RSTP 通过对 STP 协议的改进，实现了快速收敛。

链路为点对点，RSTP 按照 P/A 快速收敛进入转发状态：

- 1.上游设备发送 Proposal 报文，启动等待定时器。
- 2.下游设备堵塞全部其它端口，回应上游 Agreement 报文。
- 3.上游设备收到 Agreement 报文，端口进入转发状态。

通过一层一层的往下游请求，下游同意快速收敛，上游进入转发，实现整个 RSTP 网络快速收敛。

说明：

非点对点链路无法实现 PA 快速收敛。

跟第三方对接，需要接口配置 `stp no-agreement-check` 实现快速收敛。

## 生成树保护

在 RSTP 或 MSTP 交换网络中，为了防止恶意或临时环路的产生，可配置保护功能来增强网络的健壮性和安全性。

BPDU 保护

根保护

环路保护

防止 TC-BPDU 攻击

**BPDU protection**：有边缘端口的交换机，系统视图 配置在交换设备上，通常将直接与用户终端或文件服务器等非交换设备相连的端口配置为边缘端口，边缘端口一般不会收到 BPDU。如果有人伪造 BPDU 恶意攻击交换机，边缘端口接收到 BPDU 后，交换机会自动将边缘端口设置为非边缘端口，并重新进行生成树计算，从而引起网络震荡。

**Root protection :** 交换机的 DP 端口，接口配置（只能在 DP）

对于启用了根保护功能的端口，其端口角色不能成为根端口，一旦启用根保护功能的指定端口收到了优先级更高的 BPDU 时，端口将进入 Discarding 状态，不再转发报文。

**Loop protection:** 有阻塞端口的交换机，接口配置（只能在 R P 或 AP）

当由于链路拥塞或者单向链路故障导致这些端口收不到来自上游交换机的 BPDU 时，交换机就会重新选择根端口。原先的根端口会转变为指定端口，而原先的阻塞端口会迁移到转发状态，从而造成交换机中可能产生环路。在启动了环路保护功能后，如果根端口或 Alternate 端口长时间收不到来自上游的 BPDU，则会向网络管理员发送通知信息，如果是根端口则进入 Discarding 状态，阻塞端口则会一直保持在阻塞状态，不转发报文，从而不会在网络中形成环路。

**TC protection :** 所有交换机，系统视图 配置

交换机在接收到 TC BPDU 后，会执行 MAC 地址表项和 ARP 表项的删除操作。如果有人伪造了 TC BPDU 报文恶意攻击交换机，交换机在短时间内会收到很多 TC BPDU 报文，频繁的删除操作会给设备造成很大的负担，给网络的稳定性带来很大隐患。启用防 TC BPDU 报文攻击功能后，可以配置交换机在单位时间内处理 TC BPDU 报文的次数。

**BPDP 过滤**

对于运行生成树协议的园区网络，边缘端口不再参与生成树计算，但端口仍然会发送 BPDU 报文，这可能导致 BPDU 报文发送到其他网络，引起其他网络产生震荡。BPDU-filter 特性



可使端口不收不发，过滤 BPDU 报文。

```
int g0/0/1  
stp bpdu-filter enable
```

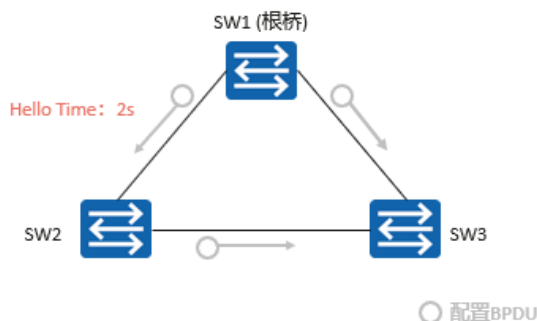
### MSTP 同域三要素

MSTP 同域的三要素就是域名、实例和 vlan 映射、修订级别缺省情况下，MST 域的 MSTP 修订级别为 0

- 以太网交换网络中为了进行链路备份，提高网络可靠性，通常会使用冗余链路，但是这也带来了网络环路的问题。网络环路会引发广播风暴和 MAC 地址表震荡等问题，导致用户通信质量差，甚至通信中断。为了解决交换网络中的环路问题，IEEE 提出了基于 802.1D 标准的 STP ( Spanning Tree Protocol，生成树协议 )。
- 随着局域网规模的不断增长，STP 拓扑收敛速度慢的问题逐渐凸显，因此，IEEE 在 2001 年发布了 802.1W 标准，定义了 RSTP ( Rapid Spanning Tree Protocol，快速生成树协议 )，RSTP 在 STP 的基础上进行了改进，可实现网络拓扑的快速收敛。
- 在本章节中，主要介绍 RSTP 对于 STP 的改进之处，RSTP 的基本工作原理以及 RSTP 的相关配置。



## 回顾：STP的工作原理



配置BPDU报文格式

PID	PVI	BPDU Type	Flag	Root ID	RPC	Bridge ID	Port ID	Message Age	Max Age	Hello Time	Forward Delay
-----	-----	-----------	------	---------	-----	-----------	---------	-------------	---------	------------	---------------

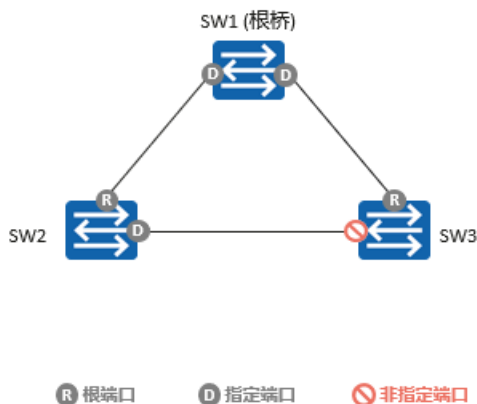
### STP的配置BPDU

- STP通过在交换机之间传递配置BPDU来选举根交换机 (或根桥)，以及确定每个交换机端口的角色和状态。
- 在初始化过程中，每个交换机都主动发送配置BPDU。
- 在网络拓扑稳定以后，只有根桥周期性发送配置BPDU，其他交换机在收到上传来的配置BPDU后，才会发送自己的配置BPDU。
- 配置BPDU包含了桥ID、路径开销和端口ID等参数。

- 配置 BPDU 泛洪：
- 在初始形成 STP 树的过程中，所有 STP 交换机会周期性地 ( Hello Time，缺省为 2s ) 主动产生并发送配置 BPDU，大家都认为自己是根桥。
- 随着 BPDU 的泛洪和收集，各交换机根据 BPDU 包含的信息进行比较，并选举出根桥。
- 在此之后 ( 即 STP 树形成后的稳定期 )，只有根桥会周期性地 ( 缺省为 2s ) 主动产生并发送配置 BPDU。相应的，非根桥交换机会从自己的根端口周期性地接收到配置 BPDU，并立即触发产生自己的配置 BPDU，然后从自己的指定端口发出。——这一过程看起来就像是，根桥发出的配置 BPDU 逐跳地“经过”了其他的交换机。也可以理解为：从根桥倒一盆水下来，水顺着这棵无环的树从上往下不断地往下流。因此如图所示，可以理解为 SW1 与 SW2 间的链路是 SW2 的上游链路，SW2 与 SW3 间的链路是 SW2 的下游链路。
- 报文格式：
- 配置 BPDU 携带的参数可以分为 3 类：
- 第一类，BPDU 对自身的标识，包括：协议标识、协议版本号、BPDU 类型和标志。

- 协议标识 ( Protocol ID , PID ) , 2 Byte , 总是 0x000。
- 协议版本号 ( Protocol Version ID , PVI ) , 1 Byte , 总是 0x00。
- BPDU 类型 ( BPDU Type ) , 1 Byte , 配置 BPDU 的类型值为 0x00。
- 标志 ( Flag ) , 1 Byte , 网络拓扑变化标志 , 仅使用了最低位和最高位。
- 第二类 , 用于进行 STP 计算的参数 , 包括 : 当前根桥的 BID、根路径开销、发送该 BPDU 的交换机的 BID 和发送该 BPDU 的端口的 PID。
- 根桥 ID ( Root ID ) , 8 Byte , 当前根桥的 BID。
- 根路径开销 ( Root Path Cost , RPC ) , 4 Byte , 发送该 BPDU 的端口累计到根桥的开销。
- 网桥 ID ( Bridge ID , BID ) , 8 Byte , 发送该 BPDU 的交换机的 BID。
- 接口 ID ( Port ID , PDID ) , 2 Byte , 发送该 BPDU 的端口 ID。
- 第三类 , 时间参数 , 包括 : 消息寿命、最大寿命、Hello 时间和转发延迟。
- 消息寿命 ( Message Age ) , 2 Byte , 该 BPDU 消息的年龄。从根桥发出的配置 BPDU , Message Age 为 0。在实际的实现中 , 配置 BPDU 每“经过”一个桥 , Message Age 增加 1。
- 最大寿命 ( Max Age ) , 2 Byte , BPDU 的最大生命周期 , 缺省为 20s。
- Hello 时间 ( Hello Time ) , 2 Byte , 根桥发送配置 BPDU 的周期 , 缺省为 2s。
- 转发延迟 ( Forward Delay ) , 2 Byte , 端口在侦听和学习状态 ( 后续会讲 ) 所停留的时间间隔 , 缺省为 15s。

## 回顾：STP树的生成过程



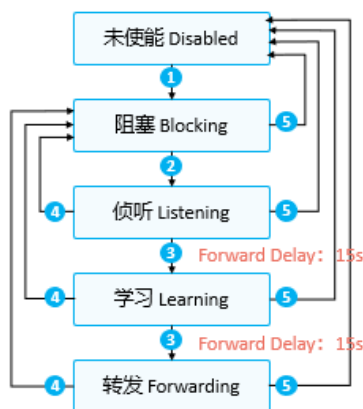
### STP的计算四步骤

- 主要通过比较4个参数进行角色选举：
  - 根桥ID、根路径开销、网桥ID和端口ID。
- 1. 选举根桥 (Root Bridge)
  - 在一个交换网络中选举一个根桥。
- 2. 选举根端口 (Root Port)
  - 在每个非根桥上选举一个根端口。
- 3. 选举指定端口 (Designated Port)
  - 为每个网段选举一个指定端口。
- 4. 阻塞非指定端口
  - 阻塞交换机上所有剩余的非根、非指定端口。

- STP 基本原理：
- 在一个具有物理环路的交换网络中，交换机通过运行 STP，自动生成一个没有环路的工作拓扑，也被称为 STP 树。树节点为某些特定的交换机，树枝为某些特定的链路。
- STP 采用四个步骤来解决二层环路问题（生成一棵 STP 树）：
  - 在一个交换网络中选举一个根桥；在每个非根桥上选举一个根端口；为每个网段选举一个指定端口；阻塞交换机上所有剩余的非根、非指定端口（备用端口）。
- 如何生成 STP 树？
- 主要通过比较 4 个参数：根桥 ID、根路径开销、网桥 ID 和端口 ID，值越小，越优先。而这些参数，都是报文 BPDU 中的字段。
- 根桥选举：比较根桥 ID，最小胜出。
- 根端口选举：依次比较 RPC、对端 BID、对端 PID 和本端 PID，最小胜出。
- 指定端口选举：依次比较 RPC、本端 BID 和本端 PID，最小胜出。

- 在确定了根端口和指定端口之后，交换机上所有剩余的非根端口和非指定端口被阻塞。
- 在华为产品的实现中，被阻塞的非指定端口表现为 Alternate Port。

## 回顾：STP的端口状态迁移



### STP的端口状态迁移

1. 端口初始化或者使能，进入Blocking状态。
2. 端口被选为根端口或者指定端口，进入Listening状态。
3. 端口的Forward Delay时间到，进入Learning状态；再经过一个Forward Delay，进入Forwarding状态。
4. 端口不再是根端口、指定端口，进入Blocking状态。
5. 端口被禁用或者链路失效。

- 根据端口是否接收和发送 STP 协议帧，以及端口是否能转发用户数据帧，STP 定义了五种端口状态：Disabled、Blocking、Listening、Learning 和 Forwarding。
- Disabled 状态：端口无法接收和发出任何帧（即：端口既不处理 BPDU 报文，也不转发用户流量），端口处于关闭（down）状态。
- Blocking 状态：端口只能接收并处理 BPDU，不能发送 BPDU，也不能转发用户数据帧（用户流量），是阻塞端口的最终状态。
- Listening 状态：端口可以接收并发送 BPDU，但不进行 MAC 地址学习，也不能转发用户数据帧。这是过渡状态，用于确定端口角色，将选举出根桥、根端口和指定端口，同时用于防止临时环路。
- Learning 状态：端口可以接收并发送 BPDU，也可以进

行 MAC 地址学习，根据收到的用户流量构建 MAC 地址表，但不能转发用户数据帧（用户流量）。这也是过渡状态，用于防止 MAC 地址表未建立，网络中出现大量数据帧泛洪。

- Forwarding 状态：端口可以接收并发送 BPDU，也可以进行 MAC 地址学习，同时能够转发用户数据帧（用户流量）。只有根端口或指定端口才能进入 Forwarding 状态。

- 端口状态迁移：

- STP 交换机的端口在初始启动时，会从 Disabled 状态进入到 Blocking 状态。在 Blocking 状态，端口只接收和分析 BPDU，但不发送。

- 在整个过程中，端口一旦被关闭或发生了链路故障，就会进入 Disabled 状态。

- 如果端口被选为根端口或指定端口，则会进入 Listening 状态，此时端口接收并发送 BPDU，这种状态会持续一个 Forward Delay 的时间长度，缺省为 15s，是为了防止临时环路：因为此时网络中可能还存在因 STP 树的计算过程不同步而产生的临时环路。

- 在端口状态迁移过程中，如果端口的角色被判定为非根端口或非指定端口，则其端口状态就会立即退回到 Blocking 状态。

- 如果没有因“意外情况”回到 Disabled 状态，那么端口会进入 Learning 状态，此时端口不但可以接收并发送 BPDU，还会开始构建 MAC 地址表，为用户流量的转发做好准备。这个状态也会持续一个 Forward Delay 的时间长度，缺省为 15s，是为了防止此时交换机的 MAC 地址表还未建立，导致大量的数据帧被泛洪。

- 最后，端口进入 Forwarding 状态，开始转发用户流量。



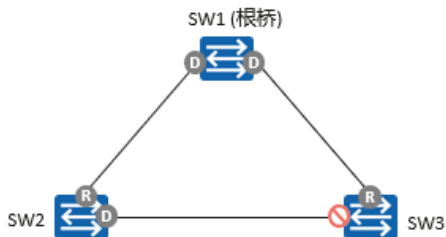
## STP的不足

- STP虽然能够解决环路问题，但是由于网络拓扑收敛慢，影响了用户通信质量。如果网络中的拓扑结构频繁变化，网络也会随之频繁失去连通性，从而导致用户通信频繁中断，这是用户无法忍受的。
- STP的不足：
  - STP没有细致区分端口状态和端口角色，不利于初学者学习及部署。
    - 从用户角度来讲，Listening、Learning和Blocking状态并没有区别，都同样不转发用户流量。
    - 从使用和配置角度来讲，端口之间最本质的区别并不在于端口状态，而是在于端口扮演的角色。
  - STP算法是被动的算法，依赖定时器等待的方式判断拓扑变化，收敛速度慢。
  - STP算法要求在稳定的拓扑中，根桥主动发出配置BPDU报文，而其他设备再进行处理，最终传遍整个STP网络。



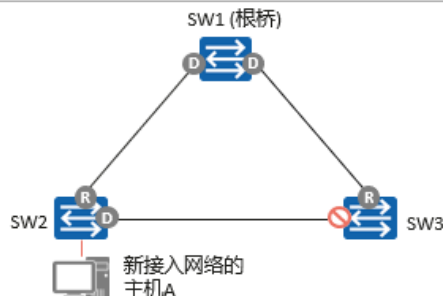
## STP对计时器的依赖

初始化场景



STP采用计时器防止临时环路，当STP选举出端口角色后，即便角色为指定端口和根端口，仍然需要等待两个Forward Delay时间（30s）才能进入转发。

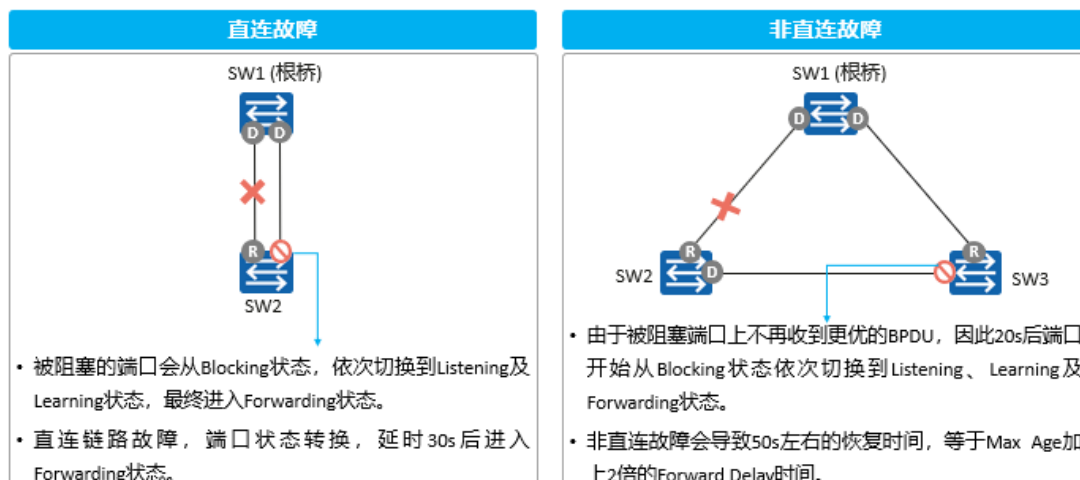
终端接入场景



在运行STP的环境下，终端或服务器接入后，由于端口需要从Disabled状态依次切换到Blocking、Listening、Learning及Forwarding状态，此时主机A在接入后，需要等待两个Forward Delay时间才能访问网络服务。



## STP重收敛过程慢

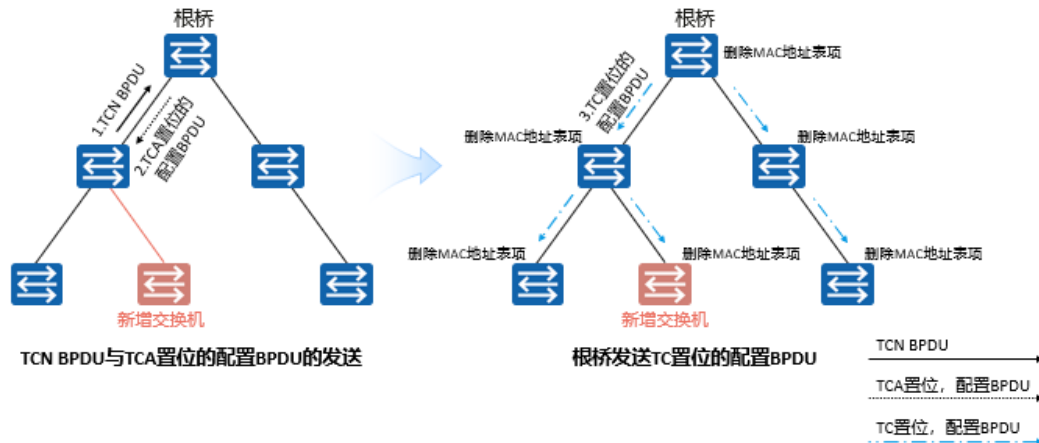


- 直连故障：
- 两台交换机间有两条链路，其中一条是主用链路，另一条为备用链路。
- 当网络稳定时，交换机 SW2 检测到根端口的链路发生故障，则被阻塞的端口会开始端口状态迁移，最终进入用户流量转发状态。
- 非直连故障：
- 当网络正常时，SW3 的被阻塞端口会定期收到来自根桥的 BPDU。
- 当 SW1 与 SW2 之间的链路发生故障时，SW2 能够第一时间检测到故障发生，此时它认为自己成为新的根桥，于是向 SW3 发送自己的配置 BPDU（根桥 ID 为自己的桥 ID）。
- SW3 的被阻塞端口将收到上述配置 BPDU，但该 BPDU 并不比当前端口所缓存的配置 BPDU 更优，因此 SW3 忽略该配置 BPDU。
- 当 Max Age 计时器超时后，SW3 端口上缓存的配置 BPDU 老化，SW3 开始向 SW2 发送配置 BPDU，该配置 BPDU 由根桥 SW1 发送的配置 BPDU 触发，其中的根桥 ID 字段值为 SW1 的桥 ID。

- SW2 收到上述配置 BPDU 后，解析该报文并认定 SW1 为根桥，于是将其连接 SW3 的端口切换为根端口。

## STP 拓扑变更机制

STP 的拓扑变更机制，需要先将拓扑变化信息传递给根桥，再由根桥向下游泛洪拓扑变化信息。



- 拓扑变更，STP 处理过程：
- 当交换机检测到拓扑更改时，会通知生成树的根桥，然后根桥将该拓扑更改信息泛洪到整个网络。
- 拓扑变化过程，如图：
- 如果网络中新增一台交换机，导致工作拓扑发生了变化，则位于变化点的交换机可以通过端口状态直接感知到这种变化，但是其他的交换机是无法直接感知到的。
- 位于变化点的交换机会以 Hello Time ( 缺省 2s ) 为周期通过其根端口不断向上游发送 TCN BPDU，直到接收到从上游交换机发来的、TCA 位置 1 的配置 BPDU。TCA 位置 1 是为了通知下游设备停止发送 TCN BPDU 报文。
- 上游交换机收到 TCN BPDU 后，一方面会通过其指定端口回复 TCA 位置 1 的配置 BPDU，另一方面会以 Hello Time 为周期通过其根端口不断向它的上游发送 TCN BPDU。
- 这个过程一直重复，直到根桥收到 TCN BPDU。
- 根桥收到 TCN BPDU 后，会发送 TC 位置 1 的配置 BPDU，通告所有交换机网络拓扑发生了变化，通知下游设备直接

删除桥 MAC 地址表项。

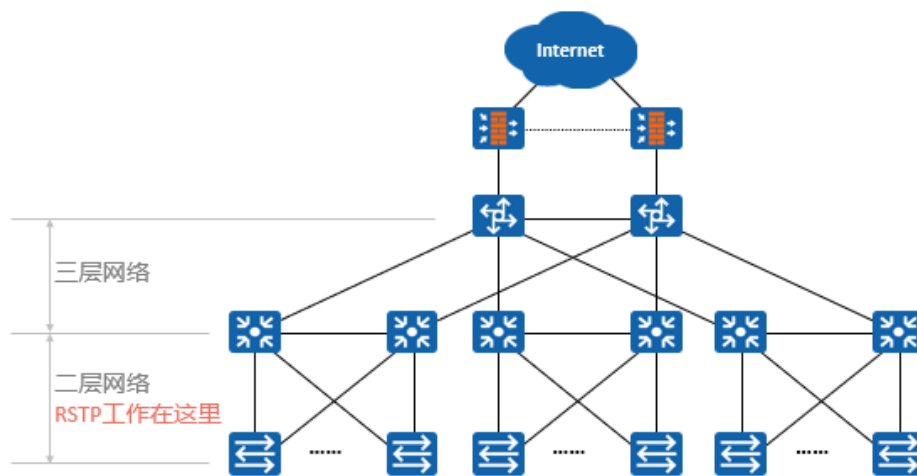


## RSTP概述

- IEEE 802.1W中定义的RSTP可以视为STP的改进版本，RSTP在许多方面对STP进行了优化，它的收敛速度更快，而且能够兼容STP。
- RSTP对STP的改进：
  - 通过端口角色的增补，简化了生成树协议的理解及部署；
  - 端口状态的重新划分；
  - 配置BPDU格式的改变，充分利用了STP协议报文中的Flag字段，明确了端口角色；
  - 配置BPDU的处理发生变化；
  - 快速收敛；
  - 增加保护功能。
- RSTP 可以兼容 STP：RSTP 可以和 STP 互操作，但是此时会丧失快速收敛等 RSTP 优势。
- 当一个网段里既有运行 STP 的交换设备又有运行 RSTP 的交换设备，STP 交换设备会忽略 RSTP 的 BPDU。运行 RSTP 的交换设备在某端口上接收到运行 STP 的交换设备发出的配置 BPDU，在两个 Hello Time 时间之后，便把自己的端口转换到 STP 工作模式，发送配置 BPDU，从而实现了互操作。
- 在华为技术有限公司的数据通信设备上可以配置运行 STP 的交换设备被撤离网络后，运行 RSTP 的交换设备可迁移回到 RSTP 工作模式。

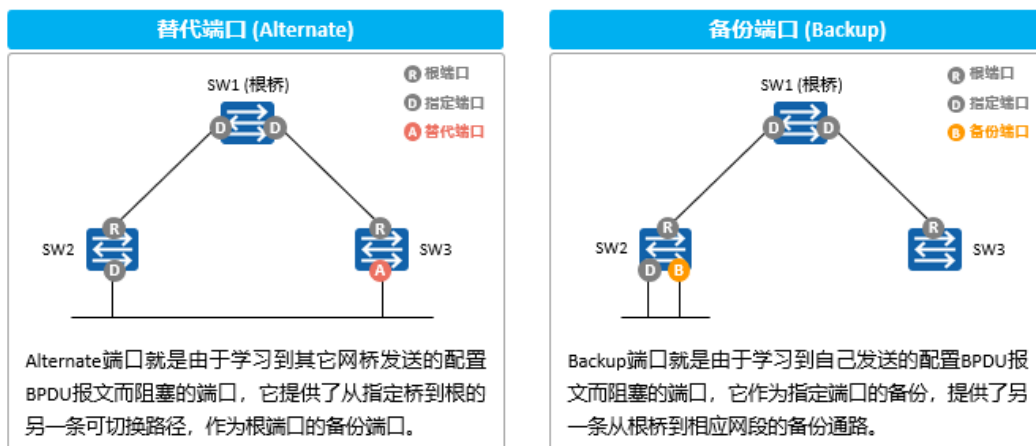


## RSTP在园区网络中的应用位置



### 改进点1：端口角色

通过端口角色的增补，简化了生成树协议的理解与部署。



- RSTP 的端口角色共有 4 种：根端口、指定端口、Alternate 端口和 Backup 端口。
- 根端口和指定端口的作用同 STP 中定义，Alternate 端口和 Backup 端口的描述如下：
- 从配置 BPDU 报文发送角度来看：
- Alternate 端口就是由于学习到其它网桥发送的配置 BPDU 报文而阻塞的端口。
- Backup 端口就是由于学习到自己发送的配置 BPDU 报文

而阻塞的端口。

- 从用户流量角度来看：
- Alternate 端口提供了从指定桥到根的另一条可切换路径，作为根端口的备份端口。
- Backup 端口作为指定端口的备份，提供了另一条从根桥到相应网段的备份通路。
- 给一个 RSTP 域内所有端口分配角色的过程就是整个拓扑收敛的过程。



## 改进点2：端口状态

RSTP的状态规范缩减为3种，根据端口是否转发用户流量和学习MAC地址来划分：

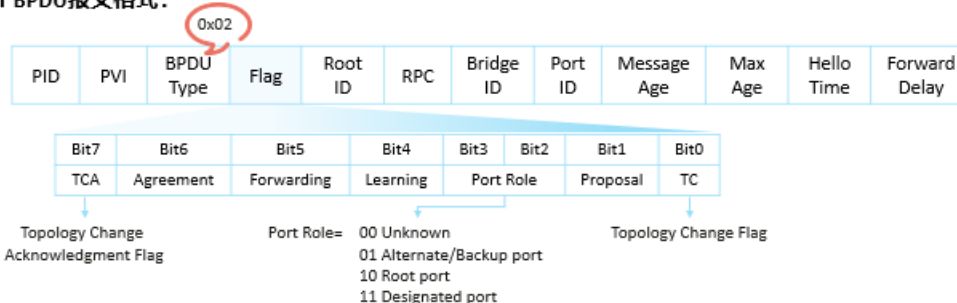
- Discarding状态：不转发用户流量也不学习MAC地址；
- Learning状态：不转发用户流量但是学习MAC地址；
- Forwarding状：既转发用户流量又学习MAC地址。

STP端口状态	RSTP端口状态	端口在拓扑中的角色
Forwarding	Forwarding	包括根端口、指定端口
Learning	Learning	包括根端口、指定端口
Listening	Discarding	包括根端口、指定端口
Blocking	Discarding	包括Alternate端口、Backup端口
Disabled	Discarding	包括Disable端口



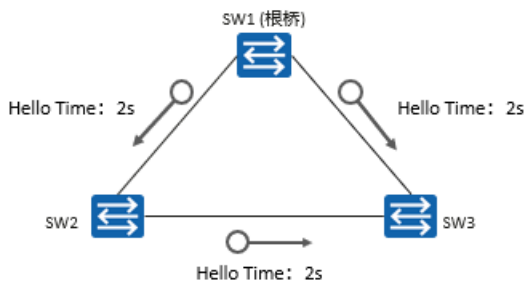
## 改进点3：配置BPDU - RST BPDU

- RSTP的配置BPDU充分利用了STP报文中的Flag字段，明确了端口角色。
- 除了保证和STP格式基本一致之外，RSTP作了如下变化：
  - Type字段：配置BPDU类型不再是0而是2，所以运行STP的设备收到RSTP的配置BPDU时会丢弃。
  - Flag字段：使用了原来保留的中间6位，这样改变的配置BPDU叫做RST BPDU。
- RST BPDU报文格式：



- RST BPDU 与 STP 配置 BPDU 报文格式不同点，包括：BPDU 类型和 Flag 字段。
- BPDU 类型，1 Byte，RST BPDU 的类型值为 0x02。
- 标志，1 Byte，包括：
  - bit 7：TCA，表示拓扑变化确认；
  - bit 6：Agreement，表示同意，用于 P/A 机制；
  - bit 5：Forwarding，表示转发状态；
  - bit 4：Learning，表示学习状态；
  - bit 3 和 bit 2：表示端口角色，00 表示未知端口，01 表示替代或备份端口，10 表示根端口，11 表示指定端口；
  - bit 1：Proposal，表示提议，用于 P/A 机制；
  - bit 0：TC，表示拓扑变化。

#### 改进点4：配置BPDU的处理 (1)



 RST BPDU

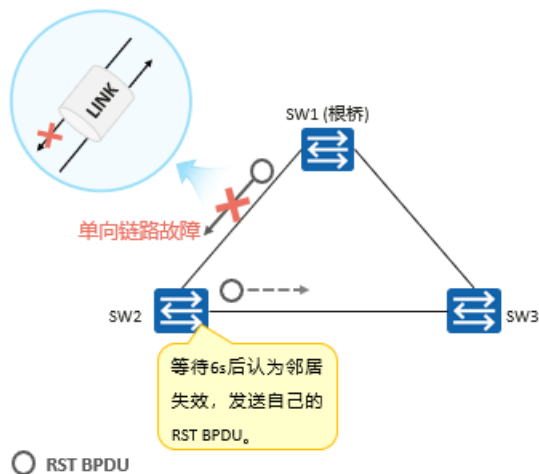
##### 拓扑稳定后，配置BPDU报文的发送方式

RST对配置BPDU的发送方式进行了改进。

- 在拓扑稳定后，无论非根桥设备是否接收到根桥传来的配置BPDU报文，非根桥设备仍然按照 Hello Time规定的时间间隔发送配置BPDU，该行为完全由每台设备自主进行。

STP拓扑稳定后，根桥按照Hello Time规定的时间间隔发送配置BPDU。其他非根桥设备在收到上游设备发送过来的配置BPDU后，才会触发出配置BPDU，此方式使得STP计算复杂且缓慢。

## 改进点4：配置BPDU的处理 (2)

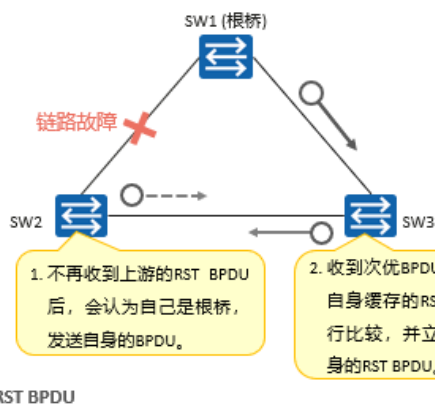


### 更短的BPDU超时时间

如果一个端口在超时时间（即三个周期，超时时间 = Hello Time × 3）内没有收到上游设备发送过来的配置BPDU，那么该设备认为与此邻居之间的协商失败。

STP需要先等待一个Max Age。

## 改进点4：配置BPDU的处理 (3)



### 处理次优BPDU

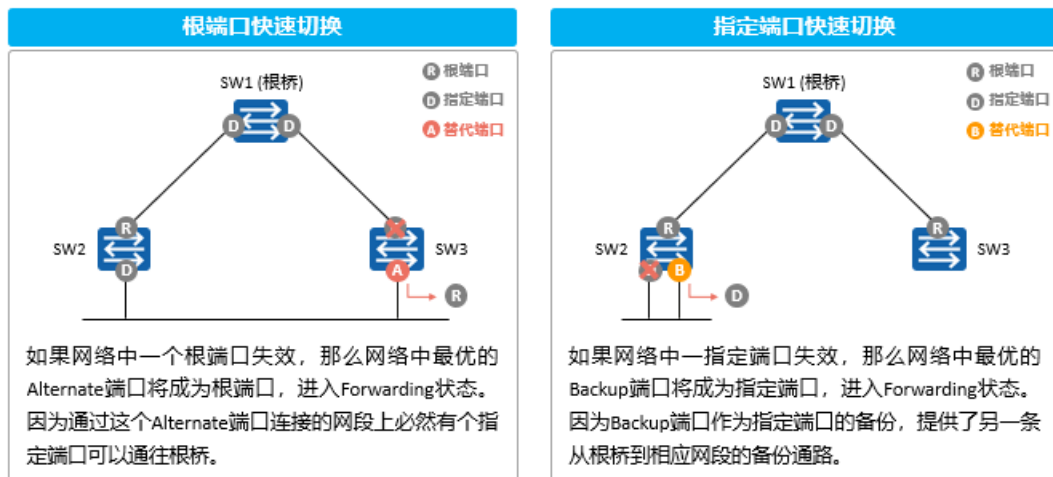
- 当一个端口收到上游的指定桥发来的RST BPDU报文时，该端口会将自身缓存的RST BPDU与收到的RST BPDU进行比较。
- 如果该端口缓存的RST BPDU优于收到的RST BPDU，那么该端口会直接丢弃收到的RST BPDU，立即回应自身缓存的RST BPDU，从而加快收敛速度。

STP协议只有指定端口会立即处理次优BPDU。

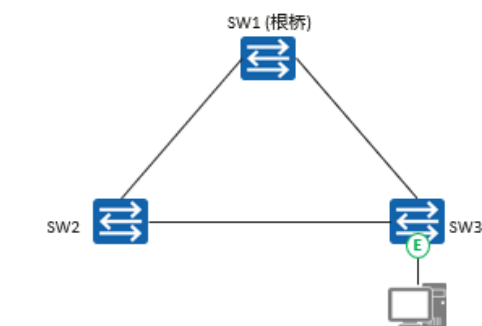
- STP :
- STP 只有指定端口会立即处理次优 BPDU，其他端口会忽略次优 BPDU，等到 Max Age 计时器超时后，缓存的次优 BPDU 才会老化，然后发送自身更优的 BPDU，进行新一轮的拓扑收敛。
- RSTP :
- RSTP 处理次优 BPDU 报文不再依赖于任何定时器（即不再依赖于 BPDU 老化）解决拓扑收敛，同时 RSTP 的任何端口角色都会处理次优 BPDU，从而加快了拓扑收敛。



## 改进点5：快速收敛机制 (1)



## 改进点5：快速收敛机制 (2)

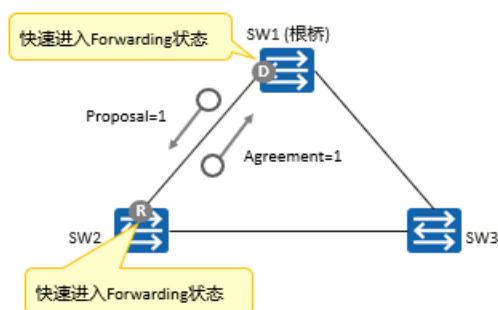


(E) 边缘端口

### 边缘端口 (Edge Port)

- 在RSTP里面，如果某一个端口位于整个网络的边缘，即不再与其他交换设备连接，而是直接与终端设备直连，这种端口可以设置为边缘端口。
- 边缘端口不参与RSTP计算，可以由Discarding直接进入Forwarding状态。
- 但是一旦边缘端口收到配置BPDU，就丧失了边缘端口属性，成为普通STP端口，并重新进行生成树计算，从而引起网络震荡。

## 改进点5：快速收敛机制 (3)



### Proposal/Agreement机制

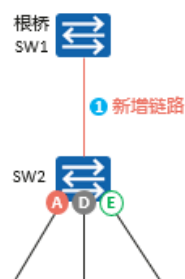
- 简称P/A机制。
- RSTP通过P/A机制加快了上游端口进入Forwarding状态的速度。
- 在RSTP中，当一个端口被选举成为指定端口之后，会先进入Discarding状态，再通过P/A机制快速进入Forwarding状态。

在STP中，该端口至少要等待一个Forward Delay (Learning) 时间才会进入到Forwarding状态。

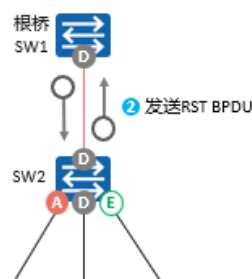
○ RST BPDU

- 事实上对于 STP，指定端口的选择可以很快完成，主要的速度瓶颈在于：为了避免环路，必须等待足够长的时间，使全网的端口状态全部确定，也就是说必须要等待至少一个 Forward Delay 所有端口才能进行转发。
- 而 RSTP 的主要目的就是消除这个瓶颈，通过阻塞自己的非根端口来保证不会出现环路。而使用 P/A 机制加快了上游端口进入 Forwarding 状态的速度。

## P/A机制详解 (1)



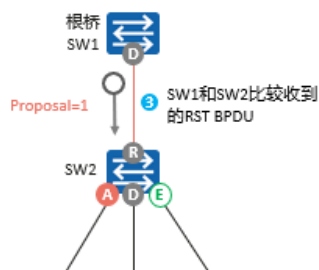
- 根桥SW1和SW2之间新添加了一条链路。
- 在当前状态下，SW2的下游端口分别是Alternate端口、指定端口（处于Forwarding状态）和边缘端口。



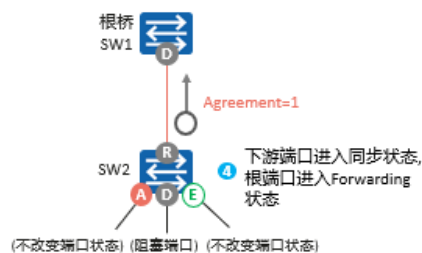
- SW1和SW2之间的两个端口都先成为指定端口，发送RST BPDU。



## P/A机制详解 (2)



- SW2与SW1互联的端口收到更优的RST BPDU后，马上意识到自己将成为根端口，而不是指定端口，停止发送RST BPDU。
- SW1的指定端口进入Discarding状态，发送Proposal位置位的RST BPDU。

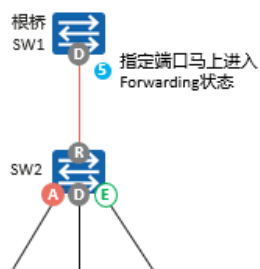


- SW2收到根桥发送来的Proposal位置位的RST BPDU，开始将自己的所有端口进入同步状态。
- 各端口同步后，下游端口（除边缘端口）均进入Discarding状态，上游根端口进入Forwarding状态并向SW1返回Agreement位置位的回应RST BPDU。

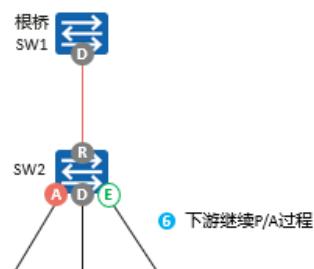
- SW2 的下游端口同步过程：替代端口，状态不变；边缘端口，不参与计算；阻塞非边缘指定端口。



## P/A机制详解 (3)



- SW1收到的Agreement位置位的RST BPDU是对刚刚自己发出的Proposal的回应，于是指定端口马上进入Forwarding状态。

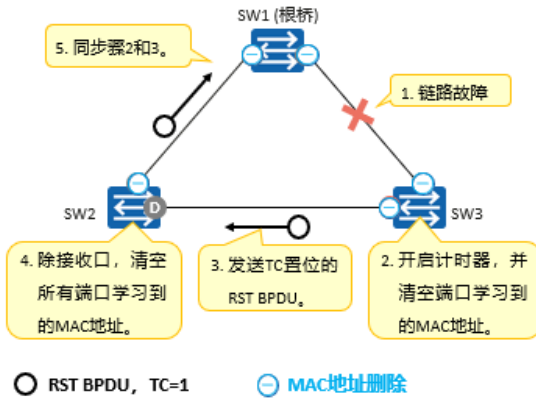


- 下游设备继续执行P/A协商过程。



## 改进点6：拓扑变更机制

在RSTP中检测拓扑是否发生变化只有一个标准：一个非边缘端口迁移到Forwarding状态。

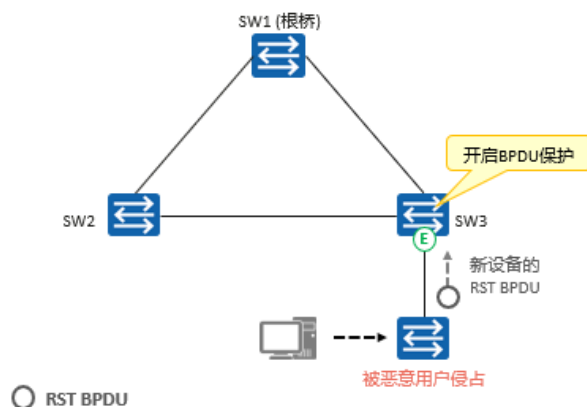


### 拓扑变更机制

- 一旦检测到拓扑发生变化，将进行如下处理：
  - 为本交换设备的所有非边缘指定端口和根端口启动一个TC While Timer，该计时器值是Hello Time的两倍。在这个时间内，清空所有端口上学习到的MAC地址。
  - 同时，由非边缘指定端口和根端口向外发送RST BPDU，其中TC置位。一旦TC While Timer超时，则停止发送RST BPDU。
  - 其他交换设备接收到RST BPDU后，清空所有端口（除了收到RST BPDU的端口和边缘端口）学习到MAC地址，然后也为自己所有的非边缘指定端口和根端口启动TC While Timer，重复上述过程。
- 如此，网络中就会产生RST BPDU的泛洪。

- 在STP中，如果拓扑发生了变化，需要先向根桥传递TCN BPDU，再由根桥来通知拓扑变更，泛洪TC置位的配置BPDU。
- 在RSTP中，通过新的拓扑变更机制，TC置位的RST BPDU会快速的在网络中泛洪。
- 如上图所示：
- SW3的根端口收不到从根桥发来的RST BPDU后，Alternate端口会快速切换为新的根端口，启动TC While Timer，并清空所有端口学习到的MAC地址。然后向外发出TC置位的RST BPDU。
- SW2接收到RST BPDU后，会清空接收口以外所有端口学习到的MAC地址，同时开启计时器，并向外发送TC置位的RST BPDU。
- 最终，RST BPDU会在全网泛洪。

## 改进点7：保护功能 (1)

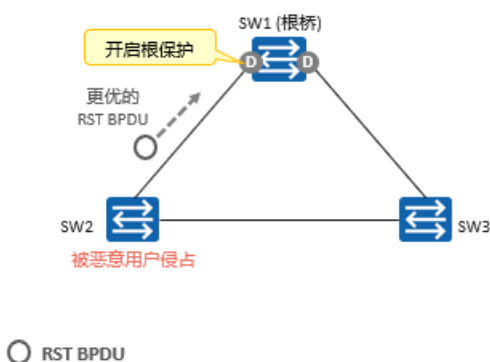


### BPDU保护

- 正常情况下，边缘端口不会收到RST BPDU。如果有人伪造RST BPDU恶意攻击交换设备，当边缘端口接收到RST BPDU时，交换设备会自动将边缘端口设置为非边缘端口，并重新进行生成树计算，从而引起网络震荡。
- 交换设备上启动了BPDU保护功能后，如果边缘端口收到RST BPDU，边缘端口将被error-down，但是边缘端口属性不变，同时通知网管系统。

- 在交换设备上，通常将直接与用户终端（如PC机）或文件服务器等非交换设备相连的端口配置为边缘端口。
- 如上图所示：
- SW3与某主机互联，并设置该互联端口为边缘端口。
- 后来该主机被恶意用户侵占，并伪造RST BPDU攻击SW3，因此边缘端口会收到RST BPDU，失去边缘端口特性，并进行生成树计算。

## 改进点7：保护功能 (2)



### 根保护 (Root保护)

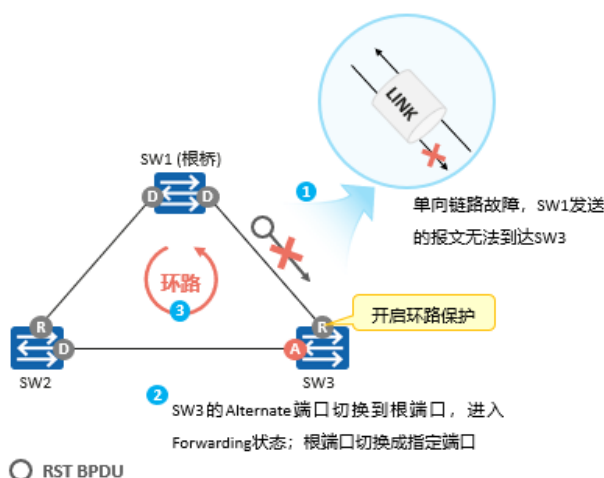
- 对于启用根保护功能的指定端口，其端口角色只能保持为指定端口。
- 一旦启用根保护功能的指定端口收到优先级更高的RST BPDU时，端口将进入Discarding状态，不再转发报文。经过一段时间（通常为两倍的Forward Delay），如果端口一直没有再收到优先级较高的RST BPDU，端口会自动恢复到正常的Forwarding状态。
- 根保护功能确保了根桥的角色不会因为一些网络问题而改变。

- 由于维护人员的错误配置或网络中的恶意攻击，根桥有可能会收到优先级更高的RST BPDU，使得根桥失去根地位，

从而引起网络拓扑结构的错误变动。这种拓扑变化，会导致原来应该通过高速链路的流量被牵引到低速链路上，造成网络拥塞。

- 如上图所示：
- 网络稳定时，SW1 为根桥，向下游设备发送最优 RST B PDU。
- 如果 SW2 被恶意用户侵占，例如恶意修改 SW2 的桥优先级，使得 SW2 的桥优先级优于 SW1，此时 SW2 会主动发送自己的 RST BPDU。
- 当 SW1 的指定端口收到该 RST BPDU 后，会重新进行生成树计算，而 SW1 也会失去根桥的地位，引起拓扑变动。

## 改进点7：保护功能 (3)

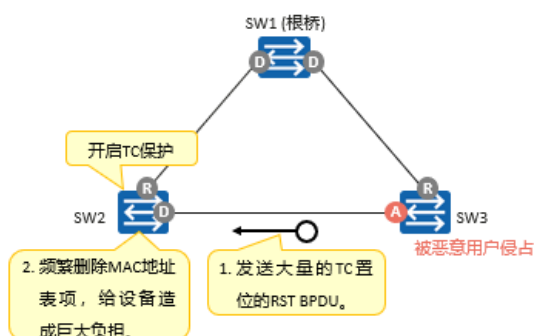


### 环路保护

- 在启动了环路保护功能后，如果根端口或Alternate端口长时间收不到来自上游设备的BPDU报文时，则向网管发出通知信息（此时根端口会进入Discarding状态，角色切换为指定端口），而Alternate端口则会一直保持在Discarding状态（角色也会切换为指定端口），不转发报文，从而不会在网络中形成环路。
- 直到链路不再拥塞或单向链路故障恢复，端口重新收到BPDU报文进行协商，并恢复到链路拥塞或者单向链路故障前的角色和状态。

- 在运行 RSTP 的网络中，根端口状态是依靠不断接收来自上游交换设备的 RST BPDU 维持。当由于链路拥塞或者单向链路故障导致根端口收不到来自上游交换设备的 RST BPDU 时，此时交换设备会重新选择根端口。
- 如图所示，当 SW1 和 SW3 之间的链路发生单向链路故障时，SW3 由于根端口在超时时间内收不到来自上游设备的 BPDU 报文，Alternate 端口切换成根端口，根端口切换成指定端口，从而形成了环路。

## 改进点7：保护功能 (4)



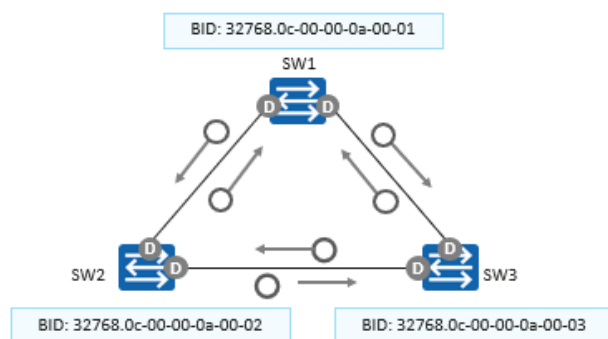
### 防TC-BPDU攻击

- 启用防TC-BPDU报文攻击功能后，在单位时间内，交换设备处理TC BPDU报文的次数可配置。
- 如果在单位时间内，交换设备在收到TC BPDU报文数量大于配置的阈值，那么设备只会处理阈值指定的次数。
- 对于其他超出阈值的TC BPDU报文，定时器到期后设备只对其统一处理一次。这样可以避免频繁的删除MAC地址表项，从而达到保护设备的目的。

- 交换设备在接收到 TC 置位的 RST BPDU 报文后，会执行 MAC 地址表项的删除操作。如果有人伪造 TC 置位的 RST BPDU 报文恶意攻击交换设备时，交换设备短时间内会收到很多 RST BPDU 报文，频繁的删除操作会给设备造成很大的负担，给网络的稳定带来很大隐患。
- 如上图所示：
- 如果 SW3 被恶意用户侵占，伪造大量 TC 置位的 RST BPDU 并向外发送。SW2 收到这些 RST BPDU 后，会频繁执行 MAC 地址表项的删除操作，形成巨大负担。



## RSTP拓扑收敛过程 (1)

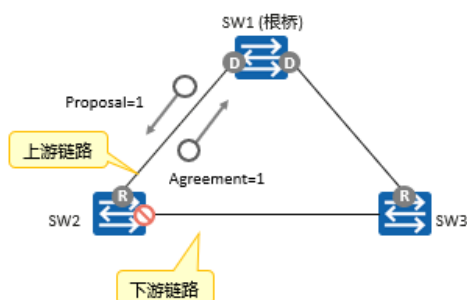


1. 每一台交换机启动RSTP后，都认为自己是“根桥”并且发送RST BPDU。
  - 所有端口都为指定端口，处于Discarding状态。

○ RST BPDU    D 指定端口

- RSTP 收敛与 STP 收敛过程类似。
- 网络初始化时，网络中所有的 RSTP 交换机都认为自己是“根桥”，并设置每个端口都为指定端口，发送 RST BPDU。其中 SW1 的桥 ID 最优，最终会被选举为根桥。

## RSTP拓扑收敛过程 (2)



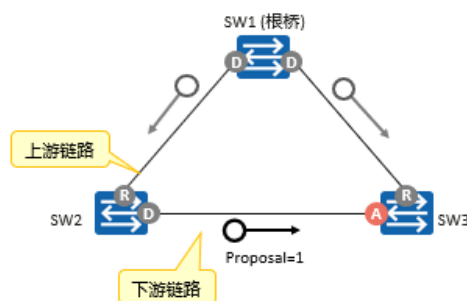
2. 上游链路的设备互联端口通过P/A机制，快速进入转发状态。
  - SW2收到更优的RST BPDU后，经比较认为SW1才是当前根桥，此时SW2的端口将成为根端口，而不是指定端口，停止发送RST BPDU。
  - SW1的端口进入Discarding状态，发送Proposal位置位的RST BPDU。SW2收到后阻塞除边缘端口以外的所有其他端口（该过程称为同步过程）。
  - SW2的各端口同步后，根端口立即进入Forwarding状态，并向SW1返回Agreement位置位的RST BPDU。SW1收到该报文后，会让指定端口立即进入Forwarding状态。

○ RST BPDU    R 根端口    D 指定端口    端口阻塞

- 每个认为自己是“根桥”的交换机生成一个 RST BPDU 报文来协商指定网段的端口状态，此 RST BPDU 报文 Flag 字段里面的 Proposal 位需要置位。

- 当一个端口收到 RST BPDU 报文时，此端口会比较收到的 RST BPDU 报文和本地的 RST BPDU 报文。如果本地的 RST BPDU 报文优于接收的 RST BPDU 报文，则端口会丢弃接收的 RST BPDU 报文，并发送 Proposal 置位的本地 RST BPDU 报文来回复对端设备。
- 如图，RSTP 上游链路的设备互联端口收敛过程，以 SW1 与 SW2 为例。

### RSTP拓扑收敛过程 (3)



- 下游链路的设备互联端口会进行新一轮的P/A协商。
  - SW2的下游端口设置为指定端口，持续发送Proposal位置位的RST BPDU。
  - SW3的下游端口收到该BPDU后，发现不是本设备收到的最优BPDU，则会忽略，不会发送Agreement位置位的RST BPDU。
  - SW2的下游端口一直收不到Agreement位置位的回应报文，等待2倍的Forward Delay后，进入转发状态。

- 如图，RSTP 下游链路的设备互联端口会进入慢收敛过程，以 SW2 与 SW3 为例。

### RSTP的基础配置命令 (1)

1. 配置生成树工作模式

```
[Huawei] stp mode { stp | rstp | mstp }
```

交换机支持STP、RSTP和MSTP三种生成树工作模式。默认情况工作在MSTP模式。

2. (可选) 配置当前设备为根桥

```
[Huawei] stp root primary
```

缺省情况下，交换机不作为任何生成树的根桥。配置后该设备优先级数值自动为0，并且不能更改设备优先级。

3. (可选) 配置当前设备为备份根桥

```
[Huawei] stp root Secondary
```

缺省情况下，交换设备不作为任何生成树的备份根桥。配置后该设备优先级数值为4096，并且不能更改设备优先级。



## RSTP的基础配置命令 (2)

1. (可选) 配置交换机的STP优先级

```
[Huawei] stp priority priority
```

取值范围是0 ~ 61440，步长为4096。缺省情况下，交换机的优先级取值是32768。

2. (可选) 配置接口路径开销

```
[Huawei] stp pathcost-standard { dot1d-1998 | dot1t | legacy }
```

配置接口路径开销计算方法。缺省情况下，路径开销值的计算方法为IEEE 802.1t (dot1t) 标准方法。同一网络内所有交换机的接口路径开销应使用相同的计算方法。

```
[Huawei-GigabitEthernet0/0/1] stp cost cost
```

设置当前接口的路径开销值。

- 配置接口路径开销：
- dot1d-1998：指定路径开销值的计算方法是 IEEE 802.1d-1998 标准方法。使用 IEEE 802.1d-1998 标准方法时取值范围是 1 ~ 65535。
- dot1t：指定路径开销值的计算方法是 IEEE 802.1t 标准方法。使用 IEEE 802.1t 标准方法时取值范围是 1 ~ 200,000,000。
- legacy：指定路径开销值的计算方法是华为计算方法。使用华为计算方法时取值范围是 1 ~ 200,000。



## RSTP的基础配置命令 (3)

1. (可选) 配置接口优先级

```
[Huawei-GigabitEthernet0/0/1] stp priority priority
```

整数形式，取值范围是0 ~ 240，步长为16。缺省情况下，交换机接口的优先级取值是128。

2. 启用STP/RSTP

```
[Huawei] stp enable
```

使能交换机的STP/RSTP功能。缺省情况下，设备的STP/RSTP功能处于启用状态。

3. 配置当前接口为边缘端口

```
[Huawei-GigabitEthernet0/0/1] stp edged-port enable
```

缺省情况下，交换设备的所有端口都是非边缘端口。



## RSTP的保护功能配置命令 (1)

### 1. 配置BPDU保护功能

```
[Huawei] stp bpdu-protection
```

配置交换设备边缘端口的BPDU保护功能。缺省情况下，交换设备的BPDU保护功能处于禁用状态。

### 2. 配置根保护功能

```
[Huawei-GigabitEthernet0/0/1] stp root-protection
```

配置交换设备的根保护功能。缺省情况下，端口的根保护功能处于去使能状态。当端口的角色是指定端口时，配置的根保护功能才生效。配置了根保护的端口，不可以配置环路保护。

### 3. 配置环路保护功能

```
[Huawei-GigabitEthernet0/0/1] stp loop-protection
```

配置交换设备根端口或Alternate端口的环路保护功能。缺省情况下，端口的环路保护功能处于关闭状态。



## RSTP的保护功能配置命令 (2)

### 1. 配置TC保护功能

```
[Huawei] stp tc-protection interval interval-value
```

配置设备处理阈值指定数量的拓扑变化报文所需的时间。缺省情况下，设备处理最大数量的拓扑变化报文所需的时间是Hello Time。

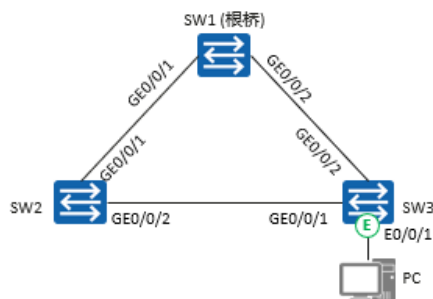
```
[Huawei] stp tc-protection threshold threshold
```

配置交换设备在收到TC类型BPDU报文后，单位时间内，处理TC类型BPDU报文并立即刷新转发表项的阈值。省情况下，设备在指定时间内处理拓扑变化报文的最大数量是1。

- 配置后，在 **stp tc-protection interval** 指定的时间内，设备只会处理 **stp tc-protection threshold** 指定数量的拓扑变化报文，对于其他的报文会延迟处理，所以可能会影响生成树的收敛速度。例如，时间设定为 10 秒，阈值设定为 5，则设备收到拓扑变化报文后，在 10 秒内只会处理最开始收到的 5 个拓扑变化报文，对于后面收到的报文则会等 10 秒超时后再统一处理。



## 案例：RSTP的基础配置



- 在上述三台交换机上部署RSTP，以便消除网络中的二层环路。
- 通过配置实现：
  - 将SW1指定为根桥，SW2为备份根桥。
  - 与PC相连的端口不参与RSTP计算，将其设置为边缘端口。
  - 配置根保护和BPDU保护功能，实现对设备或链路的保护。

### SW1开启RSTP功能:

```
[SW1] stp mode rstp
[SW1] stp enable
[SW1] stp root primary
```

### SW2开启RSTP功能:

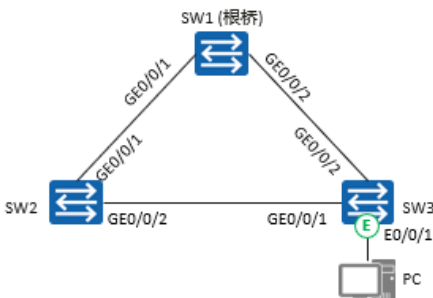
```
[SW2] stp mode rstp
[SW2] stp enable
[SW2] stp root secondary
```

### SW3开启RSTP功能:

```
[SW3] stp mode rstp
[SW3] stp enable
```



## 案例：RSTP的基础配置



- 在上述三台交换机上部署RSTP，以便消除网络中的二层环路。
- 通过配置实现：
  - 将SW1指定为根桥，SW2为备份根桥。
  - 与PC相连的端口不参与RSTP计算，将其设置为边缘端口。
  - 配置根保护和BPDU保护功能，实现对设备或链路的保护。

### SW3开启边缘端口:

```
[SW3-Ethernet0/0/1] stp edged-port enable
```

### SW1开启根保护功能:

```
[SW1-GigabitEthernet0/0/1] stp root-protection
[SW1-GigabitEthernet0/0/2] stp root-protection
```

### SW3开启BPDU保护功能:

```
[SW3] stp bpdu-protection
```

### 思考题：

- (多选题) 以下哪些是 RSTP 的端口状态？( )
- Idle
- Discarding
- Forwarding
- Learning
- (单选题) RSTP 的根保护必须配置在设备的根端口上。

- (     )
- 对
  - 错

答案：

- BCD
- B