



# RSTP原理与配置



## 前言

- 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。



## 目标

- 学完本课程后，您将能够：
  - 描述STP技术的缺陷
  - 描述RSTP对STP技术的改进
  - 描述RSTP的基本工作原理
  - 完成RSTP的基本配置



# 目录

## 1. 快速生成树协议概述

- STP回顾与STP不足

- RSTP概述

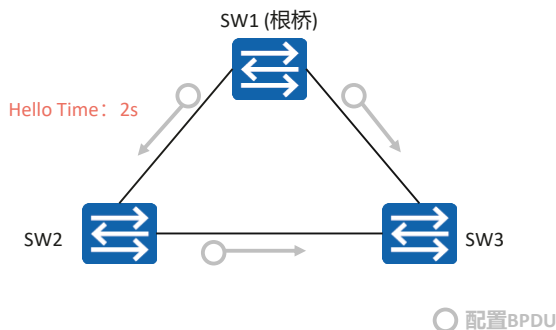
## 2. RSTP对STP的改进

## 3. RSTP的工作过程

## 4. RSTP的基本配置



## 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游传来的配置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：

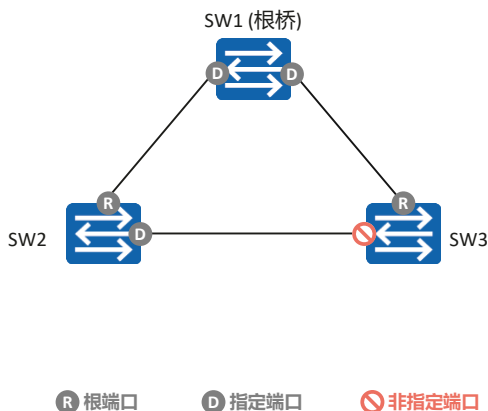
- 配置BPDU携带的参数可以分为3类：
- 第一类，BPDU对自身的标识，包括：协议标识、协议版本号、BPDU类型和标志。
  - 协议标识（Protocol ID, PID），2 Byte，总是0x0000。
  - 协议版本号（Protocol Version ID, PVI），1 Byte，总是0x00。
  - BPDU类型（BPDU Type），1 Byte，配置BPDU的类型值为0x00。
  - 标志（Flag），1 Byte，网络拓扑变化标志，仅使用了最低位和最高位。
- 第二类，用于进行STP计算的参数，包括：当前根桥的BID、根路径开销、发送该BPDU

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, PID) , 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即不是根端口又不是指定端口。

### • 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）：

- 1. 在一个交换网络中选举一个根桥；
- 2. 在每个非根桥上选举一个根端口；
- 3. 为每个网段（链路）选举一个指定端口；
- 4. 阻塞交换机上所有剩余的非根、非指定端口（备用端口）。

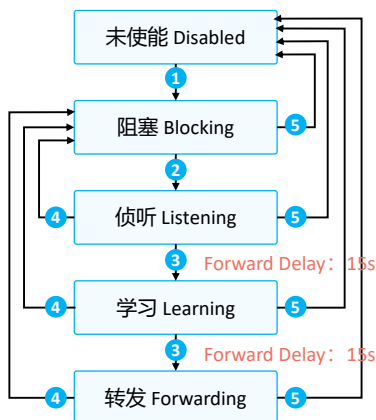
### • 如何生成STP树？

- 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、对端BID、对端PID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：端口不仅不处理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：
  1. 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。
  2. 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。





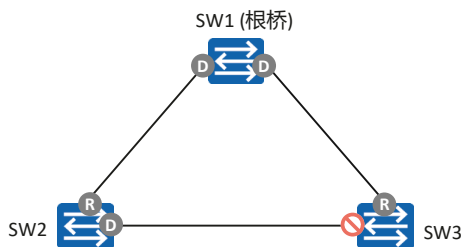
## STP的不足

- 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。



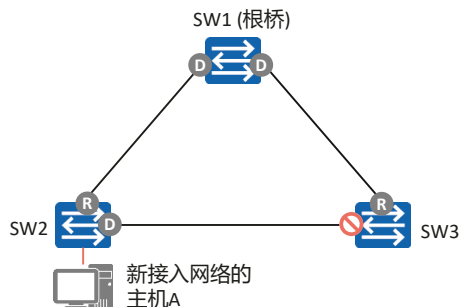
## STP对计时器的依赖

### 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

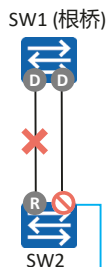


在运行STP的环境下，终端或服务器接入后，由于端口需从 Disabled 状态依次切换到 Blocking、Listening、Learning及Forwarding状态，此时主机A在接入后，需要等待两个Forward Delay时间才能访问网络服务。



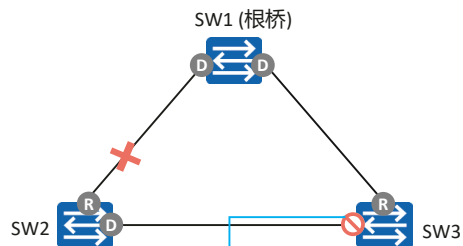
## STP重收敛过程慢

### 直连故障



- 被阻塞的端口会从Blocking状态，依次切换到Listening及Learning状态，最终进入Forwarding状态。
- 直连链路故障，端口状态转换，延时30s后进入Forwarding状态。

### 非直连故障



- 由于被阻塞端口上不再收到更优的BPDU，因此20s后端口开始从Blocking状态依次切换到Listening、Learning及Forwarding状态。
- 非直连故障会导致50s左右的恢复时间，等于Max Age加上2倍的Forward Delay时间。

#### • 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。

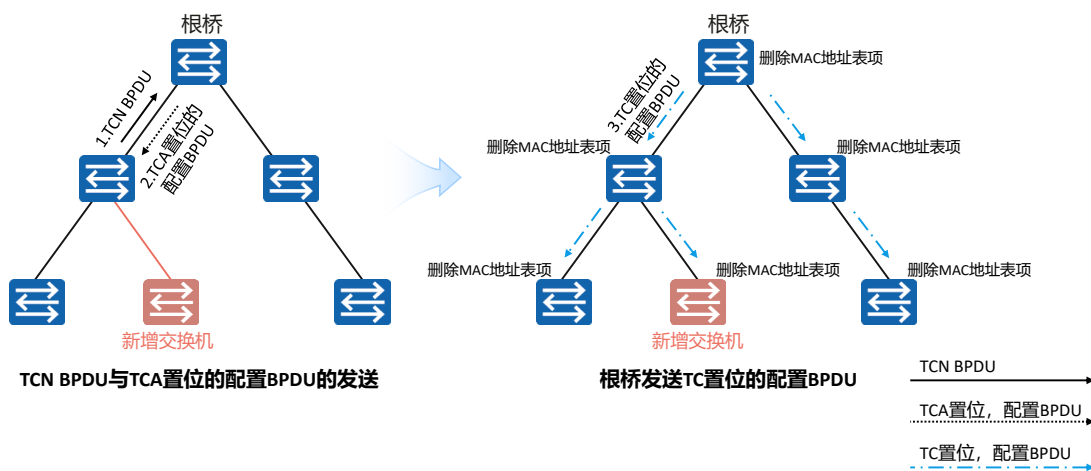
#### • 非直连故障：

- 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。



# 目录

## 1. 快速生成树协议概述

- STP回顾与STP不足

- **RSTP概述**

## 2. RSTP对STP的改进

## 3. RSTP的工作过程

## 4. RSTP的基本配置



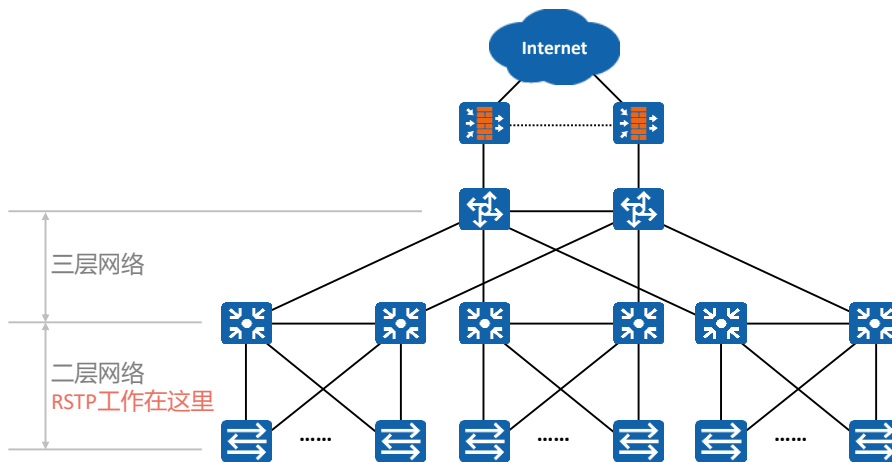
## RSTP概述

- 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





## 目录

1. 快速生成树协议概述
- 2. RSTP对STP的改进**
3. RSTP的工作过程
4. RSTP的基本配置

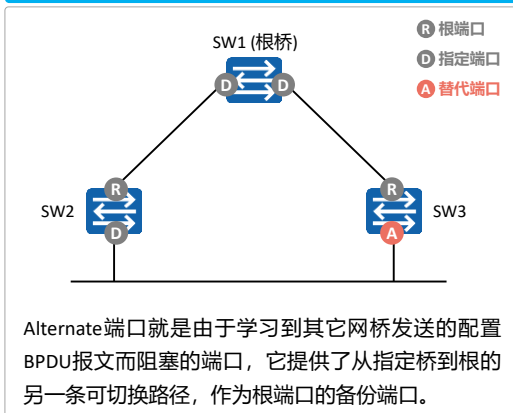




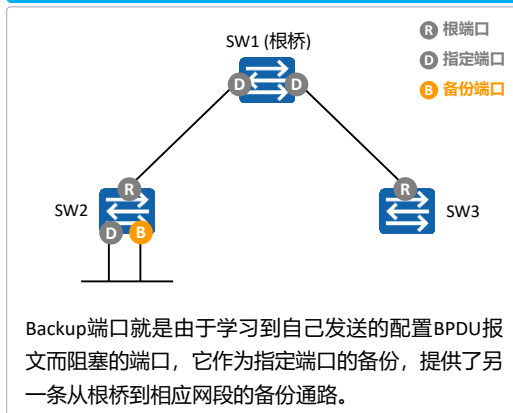
## 改进点1：端口角色

通过端口角色的增补，简化了生成树协议的理解与部署。

### 替代端口 (Alternate)



### 备份端口 (Backup)



- 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。

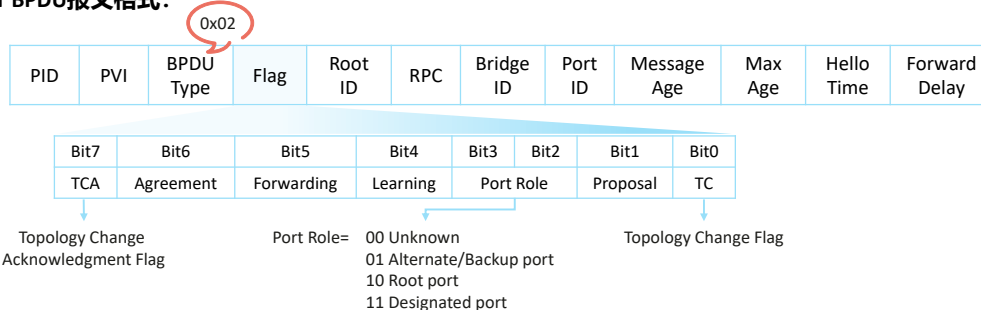
STP端口状态	RSTP端口状态	端口在拓扑中的角色
Forwarding	Forwarding	包括根端口、指定端口
Learning	Learning	包括根端口、指定端口
Listening	Discarding	包括根端口、指定端口
Blocking	Discarding	包括Alternate端口、Backup端口
Disabled	Discarding	包括Disable端口



## 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。

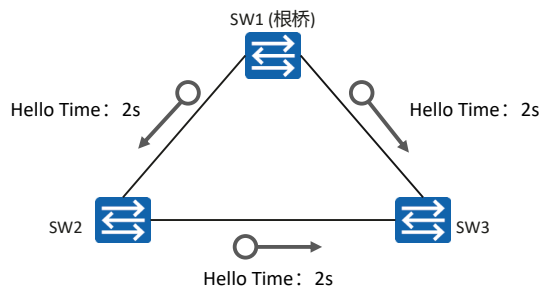
### RST BPDU报文格式：



- 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

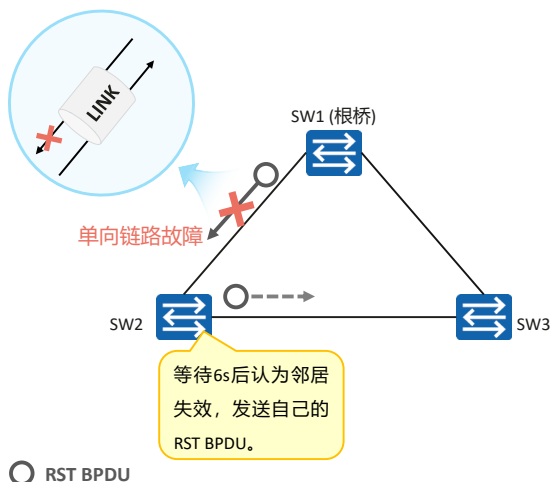
RSTP对配置BPDU的发送方式进行了改进。

- 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

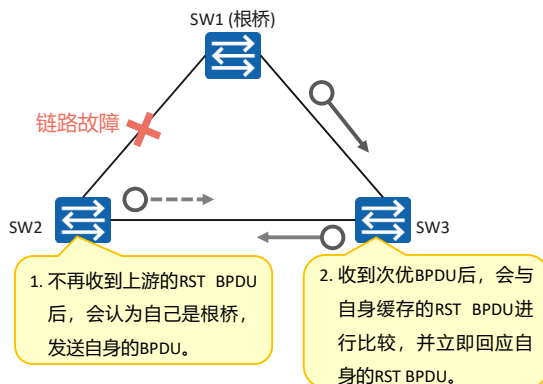
如果一个端口在超时时间（即三个周期，超时时间 = Hello Time × 3）内没有收到上游设备发送过来的配置BPDU，那么该设备认为与此邻居之间的协商失败。

STP需要先等待一个Max Age。

- 在运行生成树算法的网络中，如果交换设备在配置的超时时间内没有收到上游交换设备发送的BPDU，就认为上游交换设备已经出现故障，本设备会重新进行生成树计算。
- 由于上游交换设备繁忙，有时交换设备在较长的时间内收不到上游交换设备发送的BPDU。在这种情况下一般不应该重新进行生成树计算，因此，在稳定的网络中，应将超时时间配置的长一些，以减少网络资源的浪费。
- RSTP不像STP的超时时间为20秒，而是使用连续3个Hello时间即为超时、华为为了增加网络的稳定性。额外增加了一个时间因素的公式，默认为3，那么实际上华为设备上的RSTP直时间是 $2 * 3$  (hello间隔)  $* 3$  (时间因素) = 18秒才超时。如果想要按照理论实验，需要修改时间因素
- [Huawei]stp timer-factor 1



## 改进点4：配置BPDU的处理 (3)



○ RST BPDU

### 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。

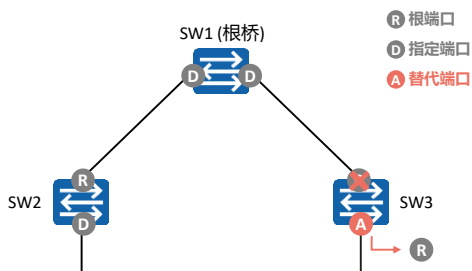
- RSTP：

- 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。



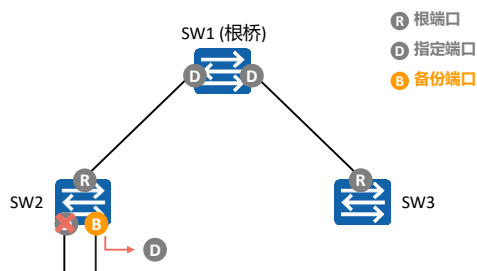
## 改进点5：快速收敛机制 (1)

### 根端口快速切换



如果网络中一个根端口失效，那么网络中最优的 Alternate 端口将成为根端口，进入 Forwarding 状态。因为通过这个 Alternate 端口连接的网段上必然有个指定端口可以通往根桥。

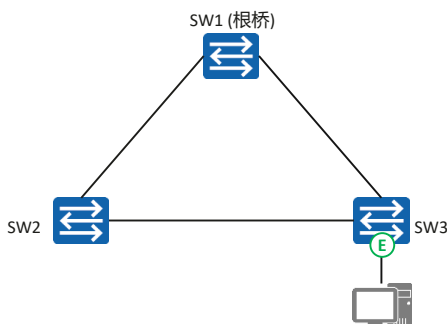
### 指定端口快速切换



如果网络中一指定端口失效，那么网络中最优的 Backup 端口将成为指定端口，进入 Forwarding 状态。因为 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。



## 改进点5：快速收敛机制 (2)



(E) 边缘端口

### 边缘端口 (Edge Port)

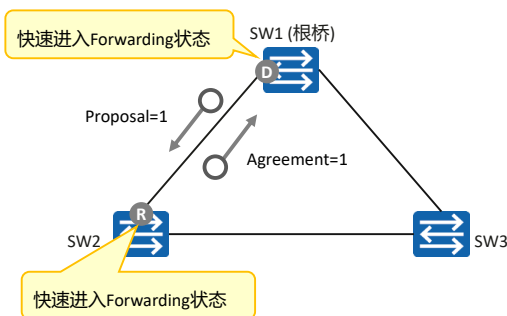
- 在RSTP里面，如果某一个端口位于整个网络的边缘，即不再与其他交换设备连接，而是直接与终端设备直连，这种端口可以设置为边缘端口。
- 边缘端口不参与RSTP计算，可以由Discarding直接进入Forwarding状态。
- 但是一旦边缘端口收到配置BPDU，就丧失了边缘端口属性，成为普通STP端口，并重新进行生成树计算，从而引起网络震荡。

- 边缘端口的UP和Down，不会引起网络拓扑的变动。





## 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。

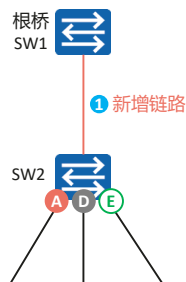
在STP中，该端口至少要等待一个Forward Delay (Learning) 时间才会进入到Forwarding状态。

○ RST BPDU

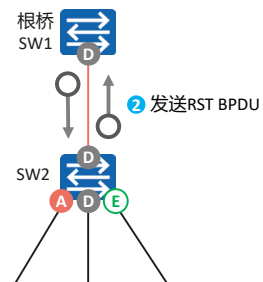
- 事实上对于STP，指定端口的选择可以很快完成，主要的速度瓶颈在于：为了避免环路，必须等待足够长的时间，使全网的端口状态全部确定，也就是说必须要等待至少一个Forward Delay所有端口才能进行转发。
- 而RSTP的主要目的就是消除这个瓶颈，通过阻塞自己的非根端口来保证不会出现环路。而使用P/A机制加快了上游端口进入Forwarding状态的速度。



## P/A机制详解 (1)



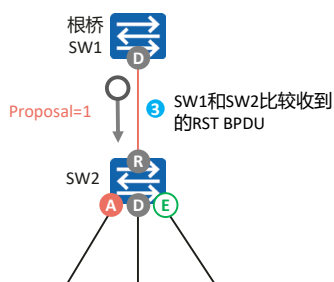
- 根桥SW1和SW2之间新添加了一条链路。
- 在当前状态下，SW2的下游端口分别是Alternate端口、指定端口（处于Forwarding状态）和边缘端口。



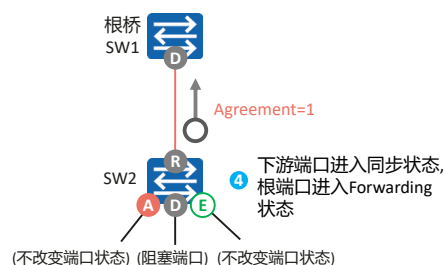
- 一开始BPDU报文还没有交互，SW1和SW2都认为自己是根
- SW1和SW2之间的两个端口都先成为指定端口，发送RST BPDUs。



## 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。

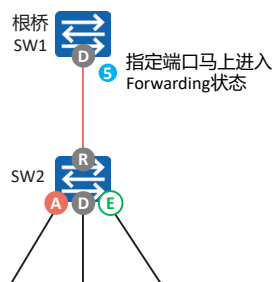


- SW2收到根桥发送来的Proposal位置位的RST BPDU，开始将自己的所有端口进入同步状态。
- 各端口同步后，下游端口（除边缘端口）均进入Discarding状态，上游根端口进入Forwarding状态并向SW1返回Agreement位置位的回应RST BPDU。

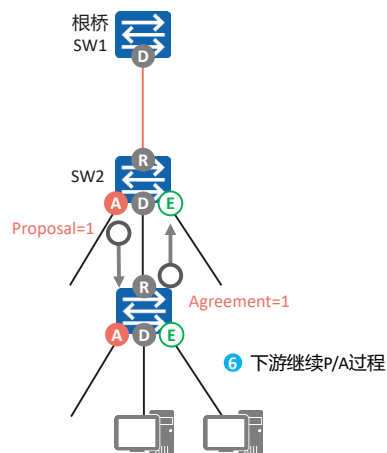
- SW2的下游端口同步过程：替代端口，状态不变；边缘端口，不参与计算；阻塞非边缘指定端口。



## 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。



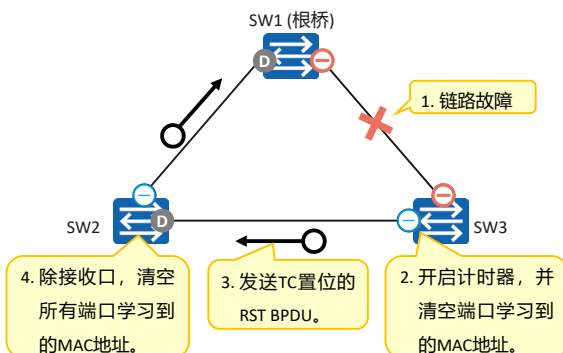
- 下游设备继续执行P/A协商过程。
- 如果没有A位回应，端口进入转发状态则仍然依赖于STP的计时器30s



## 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



RST BPDUs, TC=1



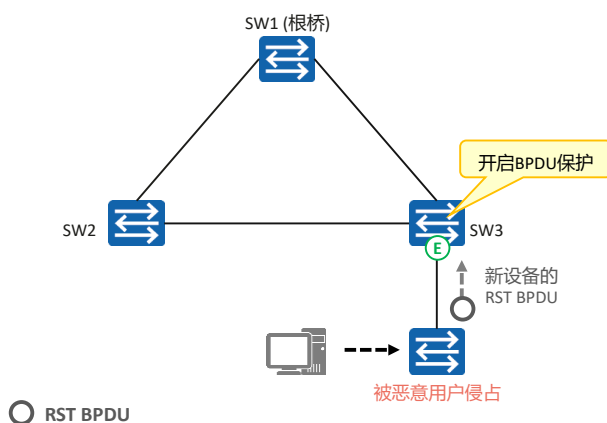
MAC地址删除

- 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，清空状态发生变化的端口上学习到的MAC地址。
  - 同时，由非边缘指定端口和根端口向外发送RST BPDUs，其中TC置位。一旦TC While Timer超时，则停止发送RST BPDUs。
  - 其他交换设备接收到RST BPDUs后，清空所有端口（除了收到RST BPDUs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 BPDUs的泛洪。

- 在STP中，如果拓扑发生了变化，需要先向根桥传递TCN BPDUs，再由根桥来通知拓扑变更，泛洪TC置位的配置BPDUs。
- 在RSTP中，通过新的拓扑变更机制，TC置位的RST BPDUs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 BPDUs后，Alternate端口会快速切换为新的根端口，启动TC While Timer，并清空状态发生变化的端口学习到的MAC地址。然后向外发出TC置位的RST BPDUs。
  - SW2接收到RST BPDUs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 BPDUs。
  - 最终，RST BPDUs会在全网泛洪。



## 改进点7：保护功能 (1)



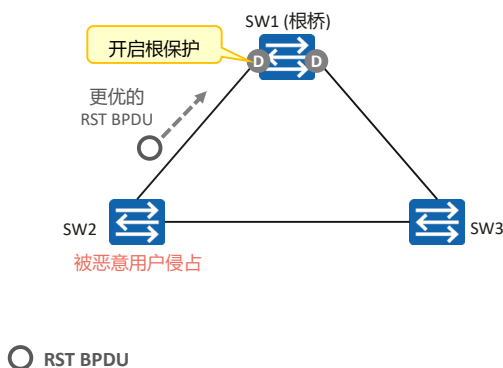
### BPDU保护

- 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)



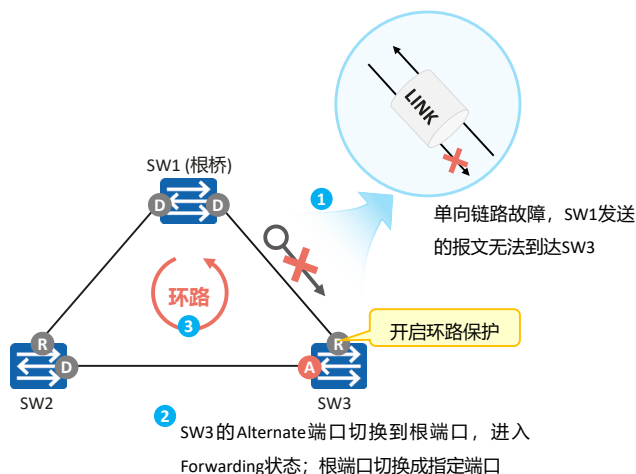
### 根保护 (Root保护)

- 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 BPDU。
  - 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)



RST BPDU

### 环路保护

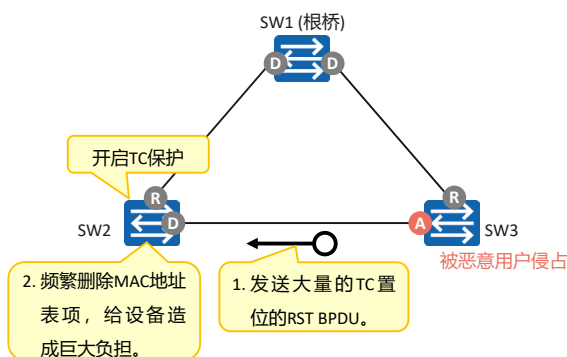
- 在启动了环路保护功能后，如果根端口或Alternate端口长时间收不到来自上游设备的BPDU报文时，则向网管发出通知信息（此时根端口会进入Discarding状态，角色切换为指定端口），而Alternate端口则会一直保持在Discarding状态（角色也会切换为指定端口），不转发报文，从而不会在网络中形成环路。
- 直到链路不再拥塞或单向链路故障恢复，端口重新收到BPDU报文进行协商，并恢复到链路拥塞或者单向链路故障前的角色和状态。

- 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。

○ RST BPDU, TC=1

- 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。

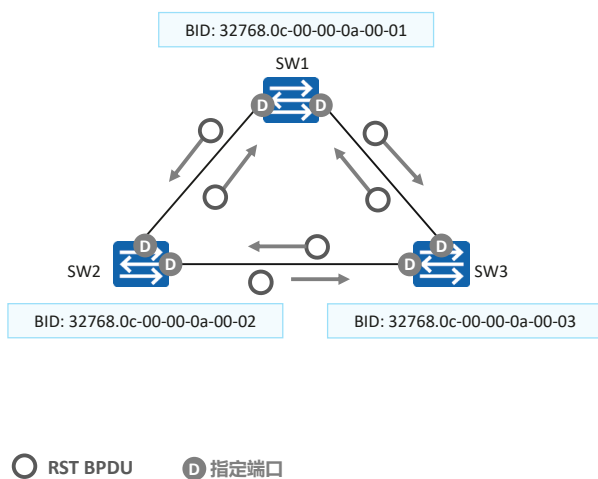


## 目录

1. 快速生成树协议概述
2. RSTP的基本概念和工作原理
- 3. RSTP的工作过程**
4. RSTP的基本配置



## RSTP拓扑收敛过程 (1)

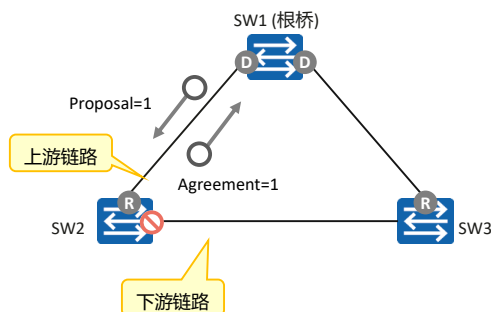


1. 每一台交换机启动RSTP后，都认为自己是“根桥”，并且发送RST BPDU。
  - 所有端口都为指定端口，处于Discarding状态。

- 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）。

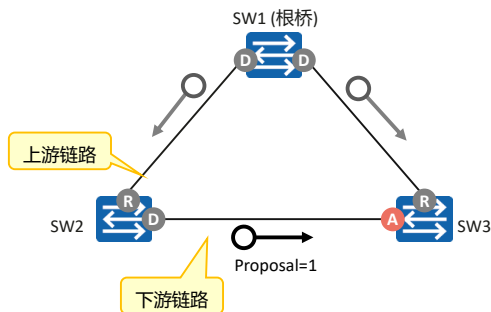
- SW2的各端口同步后，根端口立即进入Forwarding状态，并向SW1返回Agreement位置位的RST BPDU。SW1收到该报文后，会让指定端口立即进入Forwarding状态。

○ RST BPDUs    ● 根端口    ● 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)



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 BPDUs。
- 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 BPDUs。
- SW2的下游端口一直收不到Agreement位置位的响应报文，等待2倍的Forward Delay后，进入转发状态。

○ RST BPDUs

Ⓡ 根端口

ⓓ 指定端口

ⓐ 替代端口

- 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。



## 目录

1. 快速生成树协议概述
2. RSTP的基本概念和工作原理
3. RSTP的工作过程
- 4. RSTP的基本配置**



## 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。

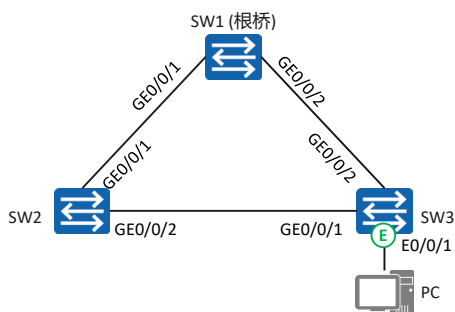
```
[Huawei] stp tc-protection threshold threshold
```

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:

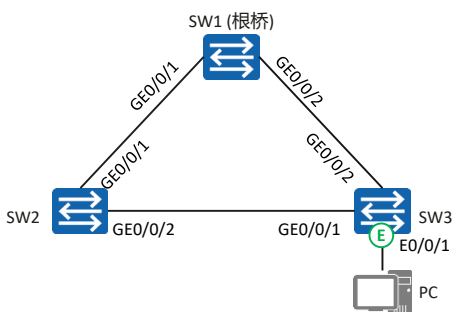
```
[SW2] stp mode rstp
[SW2] stp enable
[SW2] stp root secondary
```

### 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

1. （多选题）以下哪些是RSTP的端口状态？（ ）
  - A. Idle
  - B. Discarding
  - C. Forwarding
  - D. Learning
2. （单选题）RSTP的根保护必须配置在设备的根端口上。（ ）
  - A. 对
  - B. 错

1. BCD

2. B



## 本章总结

- 生成树是一个用于局域网中消除环路的协议。运行该协议的设备通过彼此交互信息而发现网络中的环路，并对某些接口进行阻塞以消除环路。由于局域网规模的不断增长，生成树协议已经成为重要的局域网协议之一。
- RSTP是生成树协议中的其中一个版本，它在STP的基础上，做了很多的改进，大大加快了网络收敛的速度。
- 本章节，主要介绍了RSTP对STP的七个改进点，包括：端口角色、端口状态、配置BPDU格式、配置BPDU的处理方式、快速收敛机制、拓扑变更机制和4种保护特性。

