RRPP 技术白皮书

Copyright © 2019 紫光恒越技术有限公司 版权所有，保留一切权利。
非经本公司书面许可，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本文档内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。
除紫光恒越技术有限公司的商标外，本手册中出现的其它公司的商标、产品标识及商品名称，由各自权利人拥有。本文中的内容为通用性技术信息，某些信息可能不适用于您所购买的产品。

目 录

1 概述 ····· 1
1.1 产生背景 ····· 1
1.2 技术优点 ····· 1
2 RRPP 技术实现 ····· 1
2.1 RRPP 组成要素 ····· 1
2.1.1 RRPP 域 ····· 1
2.1.2 RRPP 环 ····· 2
2.1.3 控制 VLAN ····· 3
2.1.4 保护 VLAN ····· 3
2.1.5 主节点 ····· 3
2.1.6 传输节点 ····· 3
2.1.7 边缘节点和辅助边缘节点 ····· 4
2.1.8 主端口和副端口 ····· 4
2.1.9 公共端口和边缘端口 ····· 4
2.2 RRPP 协议报文 ····· 5
2.2.1 RRPP 协议报文类型 ····· 5
2.2.2 RRPP 协议报文格式 ····· 6
2.3 单环工作原理 ····· 7
2.3.1 单环检测及故障恢复机制 ····· 7
2.3.2 单环负载分担 ····· 11
2.4 相交环工作原理 ····· 11
2.4.1 相交环检测机制 ····· 11
2.4.2 相交环负载分担 ····· 12
2.4.3 SRPT 状态检测原理 ····· 13
2.5 快速检测机制 ····· 18
2.6 防抖动机制 ····· 18
3 典型组网应用 ····· 19
3.1 单环 ····· 19
3.2 单环负载分担 ····· 19
3.3 相切环 ····· 20
3.4 相交环 ····· 20
3.5 相交环负载分担 ····· 21

3.6 RRPP 与 STP 混合组网 …… 21

1 概述

1.1 产生背景

在实际的网络规划和组网应用中，大多采用环网来提供高可靠性。环网技术简单来说，就是将一些网络设备通过环的形状连接到一起，实现相互通信的一种技术。

为了避免环网中产生广播风暴，最初采用了已被普遍应用的 STP 协议环路保护机制。但实际应用中 STP 协议的收敛时间受网络拓扑的影响，在网络直径较大时收敛时间较长，因而往往不能满足传输质量较高的数据的要求。

为了缩短环网的收敛时间并消除网络大小的影响，UNIS 开发了专门应用于环网保护的 RRPP （Rapid Ring Protection Protocol，快速环网保护协议）协议。

1.2 技术优点

RRPP 是一个专门应用于以太网环的链路层协议。它在以太网环完整时能够防止数据环路引起的广播风暴，而当以太网环上的链路断开时能迅速启用备份链路恢复环网上各个节点之间的通信链路。与 STP 协议相比，RRPP 协议有如下优点：

- 拓扑收敛速度快（低于 50ms）
- 收敛时间与环网上节点数无关，可应用于网络直径较大的网络

UNIS 所实现的 RRPP 协议还有如下特点：

- 在相交环拓扑中，一个环拓扑的变化不会引起其他环的拓扑振荡，数据传输更为稳定。
- 支持 RRPP 环网的负载分担，充分利用了物理链路的带宽。

2 RRPP 技术实现

2.1 RRPP组成要素

2.1.1 RRPP 域

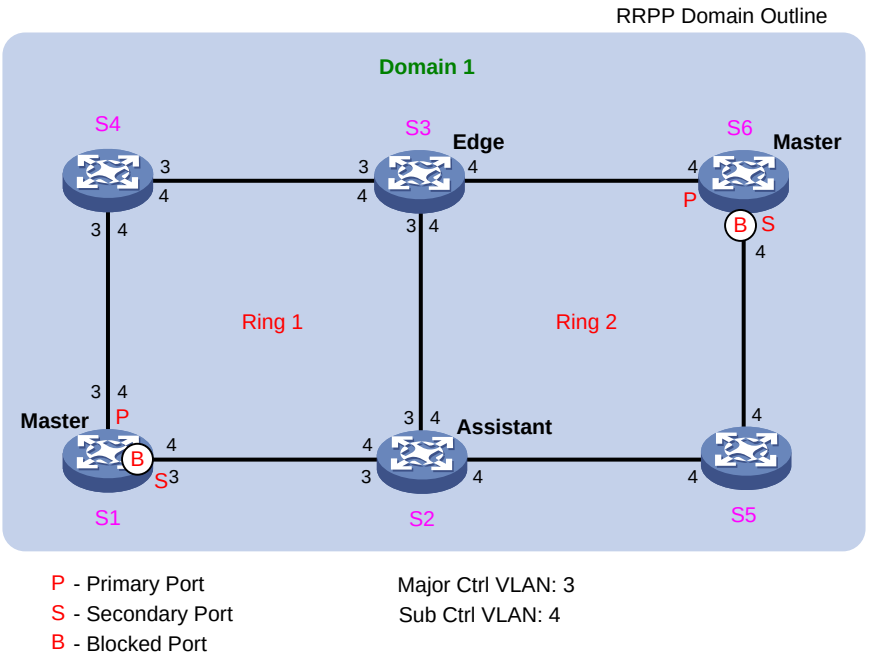
RRPP 域用于标识 RRPP 协议所计算和控制的拓扑范围。域 ID 是 RRPP 域的唯一标识，一个 RRPP 域由具有相同域 ID 和控制 VLAN、且相互连通的设备构成。一台设备上可以创建多个 RRPP 域。

一个 RRPP 域具有如下的组成要素：

- RRPP 环
- RRPP 控制 VLAN
- RRPP 保护 VLAN
- 主节点
- 传输节点
- 边缘节点
- 辅助边缘节点

如图 1 所示 Domain 1 就是一个 RRPP 域，S1～S6 的设备都属于 Domain 1。Domain 1 的主控制 VLAN 和子控制 VLAN 分别为 VLAN 3 和 VLAN 4，域中包含两个 RRPP 环，分别为 Ring 1 和 Ring 2。主环的主节点为 S1，子环的主节点为 S6。S2、S3 和 S4 都是主环的传输节点，S5 是子环的传输节点。S3 和 S2 分别为边缘节点和辅助边缘节点。

图1 RRPP 组网示意图



2.1.2 RRPP 环

每一个 RRPP 环物理上对应一个环形连接的以太网拓扑，RRPP 环由整数表示的 ID 来标识。每个 RRPP 环都是其所在的 RRPP 域的一个局部单元。实际上 RRPP 协议是按 RRPP 环进行拓扑计算。环形物理拓扑常见的三种组网形式为：单环、相交环和相切环。组网形式不同，划分 RRPP 域的方案也不同：

- 单环上的所有设备要配置在相同的 RRPP 域中；
- 相交环上的所有设备也要配置在相同的 RRPP 域中；
- 相切的两个环，每个环上的设备要配置在相同的 RRPP 域中，即相切环相当于两个单环，需要配置两个 RRPP 域，每个 RRPP 域中只有一个环。

在相交环组网的 RRPP 域中为了各环的拓扑计算不相互干扰，并且所有环都不出现环路，需要区分出一个为主环，其他环为子环。主环可以作为一个整体抽象成子环的一个逻辑节点，子环的协议报文通过主环透传，可以对两个相交环形成的大环的拓扑进行计算；主环的协议报文只在主环内部传播，不进入子环。主环和子环通过配置时指定的级别来标识，主环的级别配置为 0，子环的级别配置为 1。

如图 1 所示 RRPP 域 Domain 1 中包含了两个相交的以太网环 Ring 1 和 Ring 2。把 Ring 1 配置为该域的主环，Ring 2 配置为该域的子环。这样 Ring 1 和 Ring 2 就会分别计算出一个无环路的拓扑，从而消除了组网中的环路并保证了各节点的全连通性。

2.1.3 控制 VLAN

控制 VLAN 用来传递 RRPP 协议报文。每个 RRPP 域都有两个控制 VLAN：主控制 VLAN 和子控制 VLAN。主环的控制 VLAN 简称主控制 VLAN，子环的控制 VLAN 简称子控制 VLAN。配置时只需指定主控制 VLAN，系统会自动将主控制 VLAN 的 VLAN ID＋1 作为子控制 VLAN。同一 RRPP 域中所有子环的控制 VLAN 都相同，且主控制 VLAN 和子控制 VLAN 的接口上都不允许配置 IP 地址。主环协议报文和子环 Edge-Hello 报文在主控制 VLAN 中传播，其它的子环协议报文在子控制 VLAN 中传播。

每个设备上接入 RRPP 环的端口都属于控制 VLAN，而且也只有接入 RRPP 环上的端口可以加入控制 VLAN。如图 1 上每个端口旁边的数字 3 和 4 所示，主环的 RRPP 端口既要属于主控制 VLAN，同时也要属于子控制 VLAN；子环的 RRPP 端口只属于子控制 VLAN。

2.1.4 保护 VLAN

保护 VLAN 是用来传递数据报文的 VLAN。保护 VLAN 中可以包含 RRPP 端口，也可以包含非 RRPP 端口。保护 VLAN 的转发状态由其所对应的 RRPP 域控制。同一环网上不同的 RRPP 域配置不同的保护 VLAN，各 RRPP 域分别独立计算自己环上端口的转发状态。

2.1.5 主节点

以太网环上每一台设备都称为一个 RRPP 节点，每个 RRPP 环上必须有一个主节点，而且只能有一个，如图 1 中的 S1 是主环的主节点，S6 是子环的主节点。主节点是环网状态主动检测机制的发起者，也是检测到 RRPP 环故障后执行操作的决策者。

主节点有如下两种状态：

- Complete State（健康状态）

  当环网上所有的链路都处于 UP 状态，主节点可以从副端口收到自己发送的 Hello 报文时，主节点处于 Complete 状态，此时主节点会阻塞副端口以防止数据报文在环形拓扑上形成广播环路。

- Failed State（断裂状态）

  当环网上有链路处于断裂状态时，主节点处于 Failed 状态，此时主节点的副端口放开对数据报文的阻塞，以保证环网上的通信不中断。

说明

主节点的状态代表了整个 RRPP 环的状态。即，主节点处于 Complete（Failed）状态时，RRPP 环也处于 Complete（Failed）状态。

2.1.6 传输节点

RRPP 环上除主节点外的所有其它节点是传输节点，如图 1 中的 S2、S3 和 S4 是主环的传输节点，S5 是子环的传输节点。传输节点负责透传主节点的 Hello 报文，并监测自己的直连 RRPP 链路的状态，把链路 DOWN 事件通知主节点。

传输节点有如下 3 种状态：

- Link-Up State（UP 状态）

  传输节点的主端口和副端口都处于 UP 状态时，传输节点处于 Link-Up 状态。
- Link-Down State（Down 状态）

  传输节点的主端口或副端口处于 Down 状态时，传输节点处于 Link-Down 状态。
- Pre-forwarding State（临时阻塞状态）

  传输节点的主端口或副端口处于阻塞状态时，传输节点处于 Pre-forwarding 状态。

2.1.7 边缘节点和辅助边缘节点

子环和主环相交时有两个交点，这两个交点处的设备其中一个叫做边缘节点，另外一个叫做辅助边缘节点。边缘节点与辅助边缘节点必须成对配置。如图 1 所示，S3 为边缘节点，S2 为辅助边缘节点。

边缘节点或辅助边缘节点是设备在子环上的角色，其在主环上的角色为主节点或传输节点。

边缘节点和辅助边缘节点都是特殊的传输节点，因此具有与传输节点相同的 3 种状态，但定义稍有不同，具体如下：

- Link-Up State（UP 状态）

  边缘端口处于 UP 状态时，边缘节点（辅助边缘节点）处于 Link-Up 状态。
- Link-Down State（Down 状态）

  边缘端口处于 Down 状态时，边缘节点（辅助边缘节点）处于 Link-Down 状态。
- Pre-forwarding State（临时阻塞状态）

  边缘端口处于阻塞状态时，边缘节点（辅助边缘节点）处于 Pre-forwarding 状态。

2.1.8 主端口和副端口

主节点和传输节点接入以太网环的两个端口中，一个为主端口，另一个为副端口，端口的角色由用户的配置决定。

主节点的主端口和副端口在功能上是有区别的。主节点从其主端口发送 Hello 报文，如果能够从副端口收到该报文，说明本节点所在 RRPP 环网处于健康状态，因此需要阻塞副端口以防止数据环路；相反如果在规定时间内收不到该报文，说明环网故障，此时需要放开副端口以保证环上所有节点的正常通信。

传输节点的主端口和副端口在功能上没有区别。端口的角色同样由用户的配置决定。

RRPP 协议理论上把主环看作是子环的一个逻辑节点，子环的协议报文通过主环透传，主环将子环的协议报文（除了 Edge-Hello 报文）视为数据报文。因此，当主环上的端口被阻塞时，数据报文和子环协议报文（除了 Edge-Hello 报文）都不能通过。

2.1.9 公共端口和边缘端口

边缘节点（辅助边缘节点）接入子环的端口为边缘端口，接入主环的两个端口为公共端口，边缘节点上公共端口与辅助边缘节点上公共端口之间的链路被称为公共链路。公共端口和边缘端口的角色由用户的配置决定。

RRPP 协议理论上将整个主环看作是子环上的一个逻辑节点，从而公共链路被看成是主环这个大节点的内部链路，链路的状态变化只通知主环主节点进行处理。

如图 1 所示，在边缘节点 S3 上，与 S6 相连的端口为边缘端口、与 S4 和 S2 分别相连的两个端口为公共端口。边缘节点 S3 与辅助边缘节点 S2 相连的链路为公共链路。

2.2 RRPP协议报文

2.2.1 RRPP 协议报文类型

表1 RRPP 协议报文类型列表

报文类型	说明
Hello	也称Health报文，由主节点发起，对网络进行环路完整性检测
Fast-Hello	应用于快速检测机制中，由主节点发起，对网络进行环路完整性快速检测
Link-Down	由传输节点、边缘节点或者辅助边缘节点发起，在这些节点的自身端口down时向主节点通知环路断裂
Common-Flush-FDB	由主节点发起，在RRPP环迁移到断裂状态时通知传输节点、边缘节点和辅助边缘节点更新各自MAC地址表项和ARP/ND表项。FDB是Forwarding Database（转发数据库）的缩写
Complete-Flush-FDB	由主节点发起，在RRPP环迁移到健康状态时通知传输节点、边缘节点和辅助边缘节点更新各自MAC地址表项和ARP/ND表项，同时通知传输节点解除临时阻塞端口的阻塞状态
Edge-Hello	由边缘节点发起并由辅助边缘节点接收，对边缘节点与辅助边缘节点之间的主环链路进行检测
Fast-Edge-Hello	应用于快速检测机制中，由边缘节点发起，对边缘节点与辅助边缘节点之间的主环链路进行快速检测
Major-Fault	由辅助边缘节点发起，在辅助边缘节点与边缘节点之间的主环链路不连通时，向边缘节点报告主环链路故障

2.2.2 RRPP 协议报文格式

图2 RRPP 协议报文格式

<table>
<tr><td colspan="8">0 7 15 23 31 39 47</td></tr>
<tr><td colspan="8">Destination MAC Address (6 bytes)</td></tr>
<tr><td colspan="8">Source MAC Address (6 bytes)</td></tr>
<tr><td colspan="2">EtherType</td><td colspan="2">PRI</td><td colspan="2">VLAN ID</td><td colspan="2">Frame Length</td></tr>
<tr><td colspan="2">DSAP/SSAP</td><td colspan="2">CONTROL</td><td colspan="4">OUI = 0x00e02b</td></tr>
<tr><td colspan="2">0x00bb</td><td colspan="2">0x99</td><td colspan="2">0x0b</td><td colspan="2">RRPP Length</td></tr>
<tr><td colspan="2">RRPP_VER</td><td colspan="2">RRPP Type</td><td colspan="2">Domain ID</td><td colspan="2">Ring ID</td></tr>
<tr><td colspan="2">0x0000</td><td colspan="6">SYSTEM_MAC_ADDR (6 bytes)</td></tr>
<tr><td colspan="4"></td><td colspan="2">HELLO_TIMER</td><td colspan="2">FAIL_TIMER</td></tr>
<tr><td colspan="2">0x00</td><td colspan="2">LEVEL</td><td colspan="2">0x0000</td><td colspan="2">0x0000</td></tr>
<tr><td colspan="8">RESERVED(0x000000000000)</td></tr>
<tr><td colspan="8">RESERVED(0x000000000000)</td></tr>
<tr><td colspan="8">RESERVED(0x000000000000)</td></tr>
<tr><td colspan="8">RESERVED(0x000000000000)</td></tr>
<tr><td colspan="8">RESERVED(0x000000000000)</td></tr>
<tr><td colspan="8">RESERVED(0x000000000000)</td></tr>
</table>

协议报文各字段的含义如下：

- Destination MAC Address：48bits，RRPP 协议报文目的 MAC 地址，范围为 0x000FE2078217～0x000FE2078416。
- Source Mac Address：48bits，RRPP 协议报文的源 MAC 地址，固定为 0x000fe203fd75。
- EtherType：8bits，报文封装类型域，固定为 0x8100，表示 Tagged 封装。
- PRI：4bits，COS（Class of Service）优先级，固定为 0xe0。
- VLAN ID：12bits，报文所在 VLAN 的 ID。
- Frame Length：16bits，以太网帧的长度，固定为 0x48。
- DSAP/SSAP：16bits，目的服务访问点/源服务访问点，固定为 0xaaaa。
- CONTROL：8bits，固定为 0x03。
- OUI：24bits，固定为 0x00e02b。
- RRPP Length：16bits，RRPP 协议数据单元长度，固定为 0x40。
- RRPP_VER：16bits，RRPP 版本信息，当前版本为 0x0001。
- RRPP Type：8bits，RRPP 协议报文的类型。5 表示 Hello 报文；6 表示 Complete-Flush-FDB 报文；7 表示 Common-Flush-FDB 报文；8 表示 Link-Down 报文；10 表示 Edge-Hello 报文；11 表示 Major-Fault 报文。
- Domain ID：16bits，报文所属 RRPP 域的 ID。
- Ring ID：16bits，报文所属 RRPP 环的 ID。
- SYSTEM_MAC_ADDR：48bits，发送报文节点的桥 MAC。

- HELLO_TIMER：16bits，发送报文节点使用的 Hello 定时器的超时时间，单位为秒。
- FAIL_TIMER：16bits，发送报文节点使用的 Fail 定时器的超时时间，单位为秒。
- LEVEL：8bits，报文所属 RRPP 环的级别。

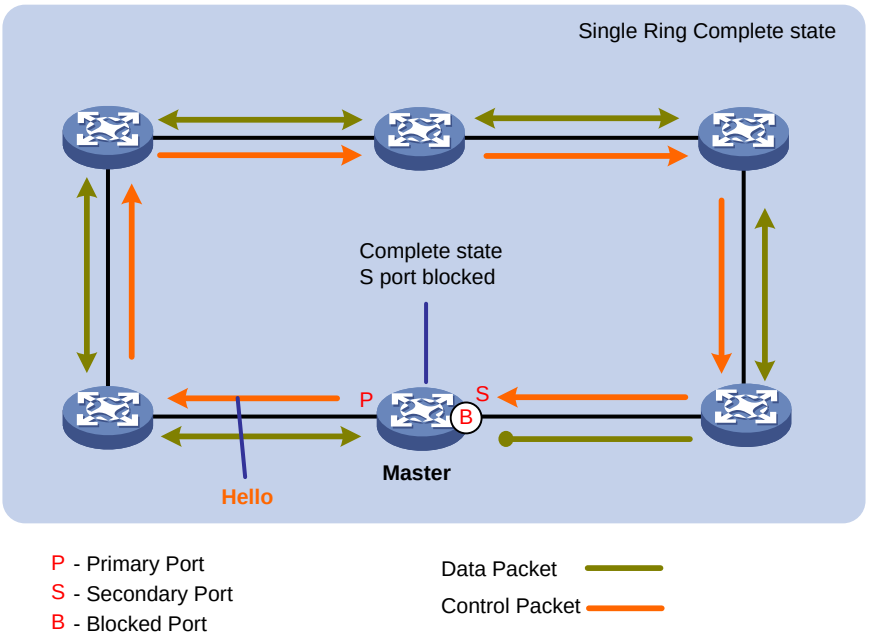
2.3 单环工作原理

2.3.1 单环检测及故障恢复机制

1. 环网健康检测及处理机制

主节点通过轮询机制来主动检测环网状态并进行相应处理：主节点周期性地从主端口发送 Hello 报文，依次经过各传输节点在环上传播。如果环网上所有链路都处于 UP 状态，则主节点能够从副端口收到自己发送的 Hello 报文，说明环网处于健康状态。为了防止环上的数据报文形成广播环路，主节点阻塞其副端口。环网完整时的情况如图 3 所示。

图3 完整状态下的 RRPP 环



2. 环网故障检测及处理机制

环网故障可以通过轮询机制和 Link Down 通知机制两种方式检测出来：

- 轮询机制

  主节点通过轮询机制主动检测环网状态：主节点周期性的从其主端口发送 Hello 报文，依次经过各传输节点在环上传播。如果主节点在规定时间内收不到自己发送的 Hello 报文，认为环网发生链路故障。主节点将状态切换到 Failed 状态，放开副端口，并从主、副端口发送 Common-Flush-FDB 报文通知环上所有传输节点刷新 MAC 表项和 ARP/ND 表项。
- Link Down 通知机制
  - 当主节点主端口 Down 后，主节点直接感知链路故障，立即放开副端口，并从副端口发送 Common-Flush-FDB 报文通知环上所有传输节点刷新 MAC 表项和 ARP/ND 表项。

- 当传输节点上的 RRPP 端口发生链路 DOWN 时，该节点将从与故障端口配对的状态为 UP 的 RRPP 端口发送 Link-Down 报文通知主节点（Link-Down 上报过程如图 4 所示）。主节点收到 Link-Down 报文后，放开副端口，立即将状态切换到 Failed 状态。由于网络拓扑发生改变，为避免报文定向错误，主节点还需要刷新 MAC 表项和 ARP/ND 表项，并从主、副端口发送 Common-Flush-FDB 报文通知所有传输节点刷新 MAC 表项和 ARP/ND 表项（主节点状态向 Failed 状态迁移过程如图 5 所示）。

图4 传输节点链路中断上报示意图

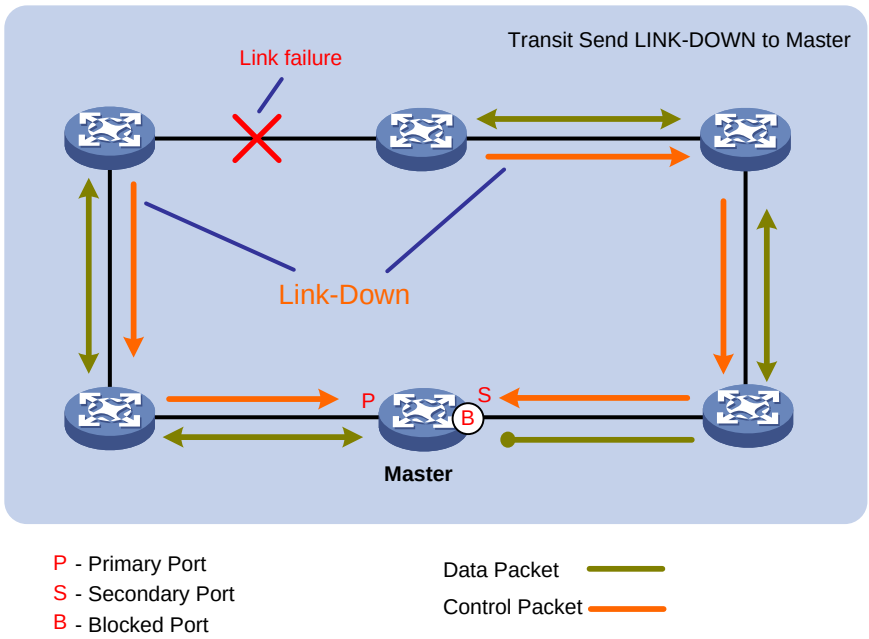
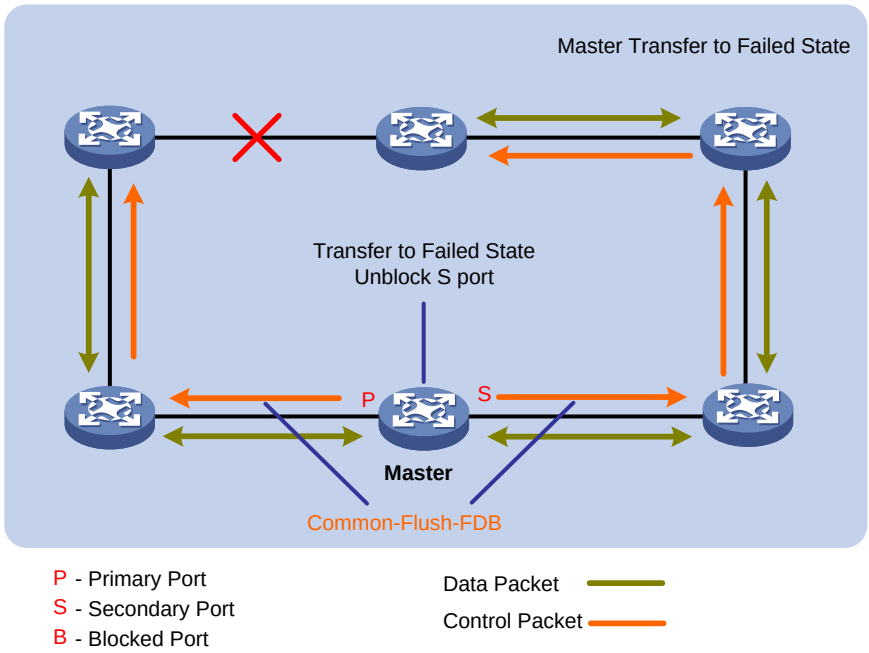


图5 主节点向 Failed 状态迁移过程示意图

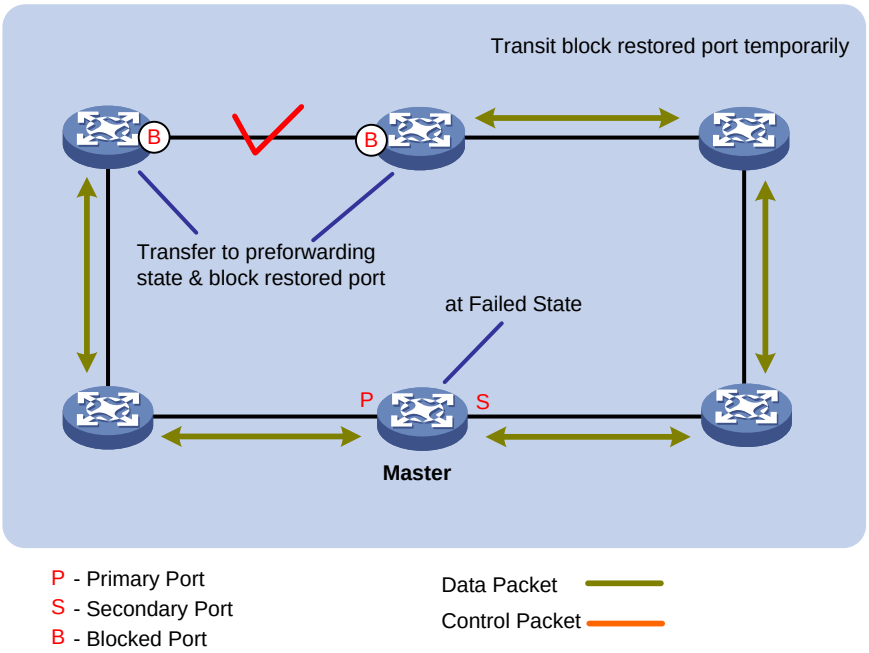


Link Down 通知机制提供了比轮询机制更快的环网故障处理机制，但是，如果 Link-Down 报文在传输过程中不幸丢失时，这时主节点的轮询机制就派上了用场。如果主节点在规定时间内（这一时间由 Fail 定时器定义）仍没有在副端口收到自己的 Hello 报文，则认为环网发生故障，对故障的处理过程与传输节点主动上报完全相同。

3. 环网故障恢复检测及处理机制

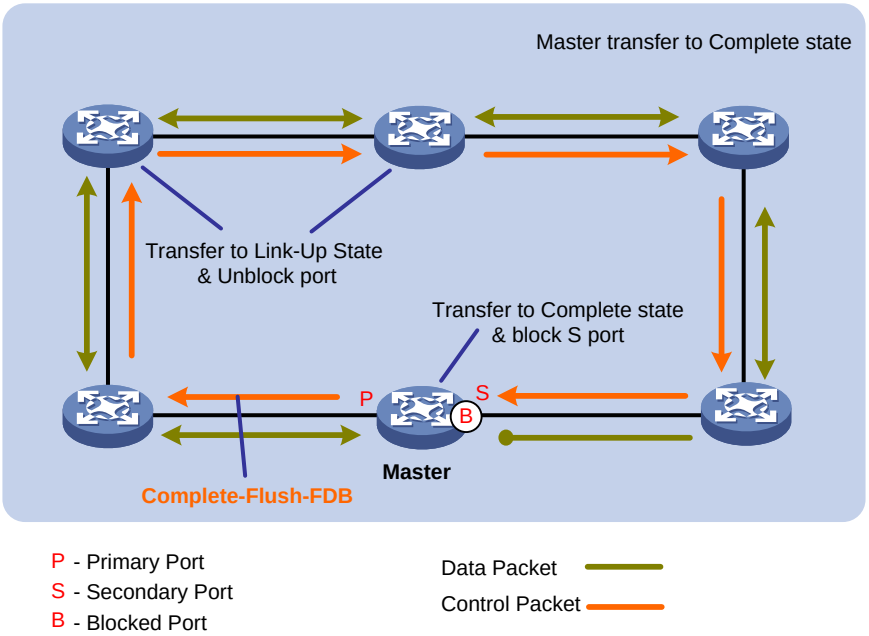
传输节点端口恢复的瞬间，主节点无法立刻感知到此信息，因此其副端口还处于放开状态。这时如果传输节点立即迁移回 Link-Up 状态，势必造成数据报文在环网上形成瞬时环路，因此处于 Link-Down 状态的传输节点的主、副端口都恢复时，传输节点立即阻塞刚刚恢复的端口，迁移到 Pre-forwarding 状态。传输节点端口恢复时的处理过程如图 6 所示。此时整个环网并没有恢复，环网恢复的过程是由主节点主动发起的。

图6 传输节点链路恢复处理过程示意图



环上所有链路恢复正常后，当处于 Failed 状态的主节点重新收到自己发出的 Hello 报文，将阻塞副端口，将状态迁移回 Complete 状态。由于 RRPP 环拓扑已经改变，主节点要刷新 MAC 表项和 ARP/ND 表项，并从主端口发送 Complete-Flush-FDB 报文通知所有传输节点刷新 MAC 表项和 ARP/ND 表项。处于 Pre-forwarding 状态的传输节点收到主节点发送的 Complete-Flush-FDB 报文时，迁移到 Link-Up 状态，这样整个环网就恢复完成了。环网恢复的处理过程如图 7 所示。

图7 环网恢复示意图

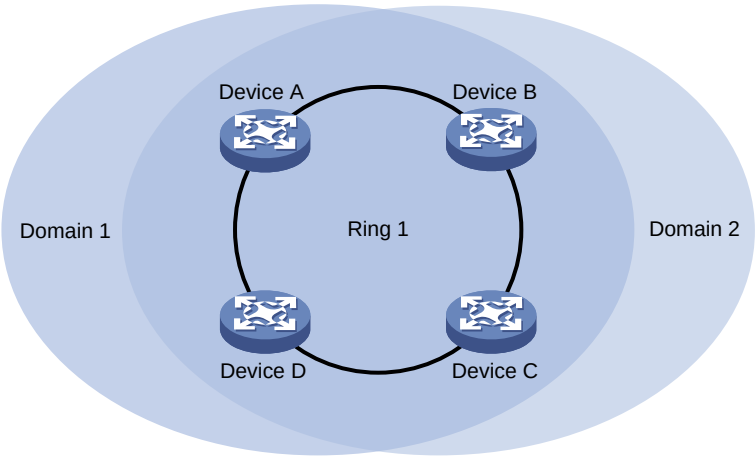


如果 Complete-Flush-FDB 报文在传播过程中丢失，还有一种备份机制来实现传输节点临时阻塞端口的恢复。传输节点处于 Pre-forwarding 状态时，如果在规定时间内（这一时间由 Fail 定时器定义）收不到主节点发来的 Complete-Flush-FDB 报文，自行放开临时阻塞端口，并刷新本节点 MAC 表项和 ARP/ND 表项，恢复数据通信。

2.3.2 单环负载分担

在同一个环网中，如果同时存在多个 VLAN 的数据流量，可以在同一个环网上配置多个 RRPP 域，不同 RRPP 域转发不同 VLAN（称之为保护 VLAN）的流量，实现不同 VLAN 的数据流量在该环网中有不同的转发路径，从而达到负载分担的目的。

图8 单环负载分担组网



如图 8 所示，Domain 1 和 Domain 2 都配置 Ring 1 为主环，两个 RRPP 域保护的 VLAN 不同。Domain 1 的 Ring 1 配置 Device A 为主节点；Domain 2 的 Ring 1 配置 Device B 为主节点。通过配置，可以实现不同 VLAN 分别阻塞不同的链路，从而实现单环的负载分担。

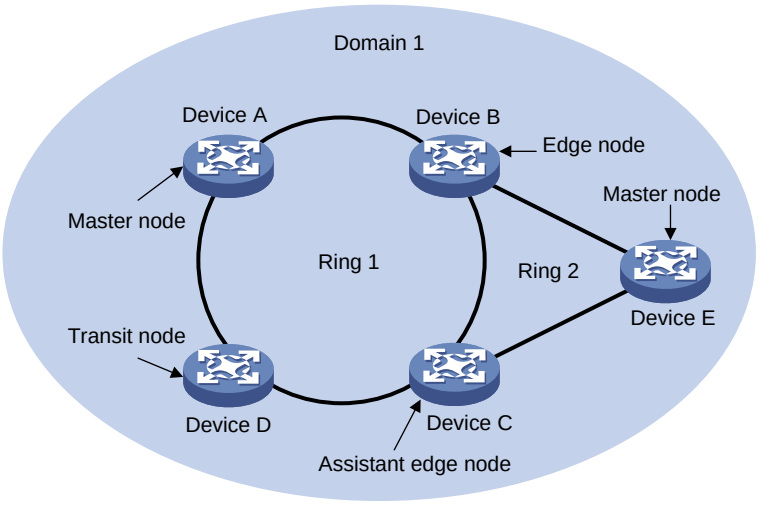
2.4 相交环工作原理

2.4.1 相交环检测机制

相交环实现方式中，主环的实现原理与单环相同，子环主节点的检测机制亦与单环相同。不同之处在于多环引入了 SRPT（Sub Ring Packet Tunnel in major ring，子环协议报文在主环中的通道）检查机制，在子环的 2 条 SRPT 全部中断，子环主节点副端口放开之前，先阻塞边缘节点的边缘端口，以此来防止子环间形成数据广播环路。关于 SRPT 检查机制的详细介绍请参见“2.4.3 SRPT 状态检测原理”。

另外，主环节点收到子环的 Common-Flush-FDB 或者 Complete-Flush-FDB 报文时，都需要刷新 MAC 表项和 ARP/ND 表项；子环的 Complete-Flush-FDB 不会导致主环传输节点放开临时阻塞端口。

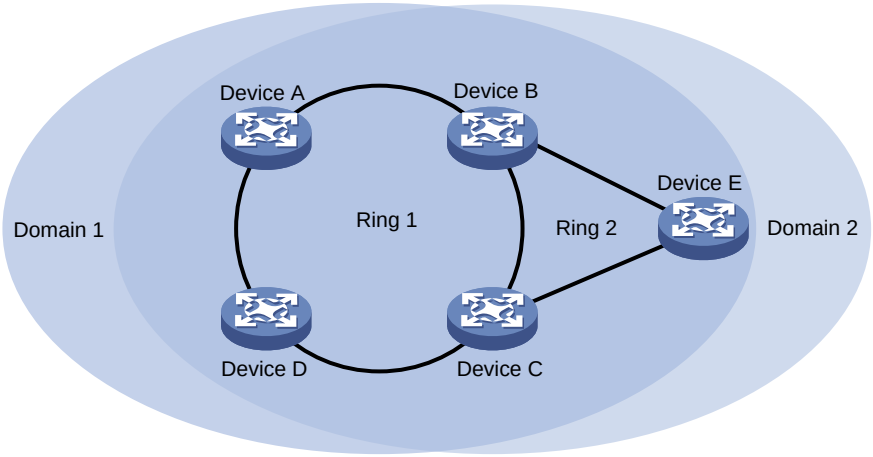
图9 相交环组网



2.4.2 相交环负载分担

在同一相交环组网中，如果同时存在多个 VLAN 的数据流量，可以在同一相交环组网上配置多个 RRPP 域（每个 RRPP 域的工作原理同相交环工作原理），不同 RRPP 域转发不同保护 VLAN 的流量，实现不同 VLAN 的流量在该环网中有不同的转发路径，从而达到负载分担的目的。

图10 相交环负载分担组网



如图 10 所示，Domain 1 和 Domain 2 分别配置 Ring 1 和 Ring 2 为主环和子环，两个域保护的 VLAN 不同。Domain 1 的 Ring 1 配置 Device A 为主节点；Domain 2 的 Ring 1 配置 Device D 为主节点，Domain 1 和 Domain 2 的 Ring 2 都配置 Device E 为子环主节点，但主副端口配成不同的。通过配置，可以使不同 VLAN 的流量通过不同的链路传输，从而实现相交环的负载分担。

2.4.3 SRPT 状态检测原理

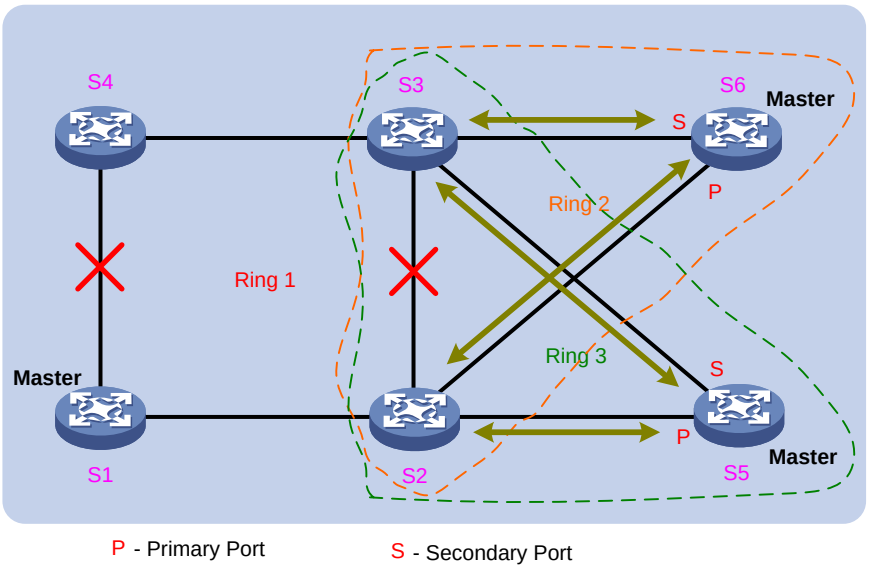
1. SRPT 状态检测机制产生背景

SRPT 是子环协议报文在主环中的通道。RRPP 协议理论上把主环看作是子环的一个逻辑节点，子环的协议报文通过主环透传，主环将子环的协议报文（除了 Edge-Hello 报文）当作数据报文进行转发。

每个子环有 2 条 SRPT，在图 1 中分别为 S3-S2 和 S3-S4-S1-S2。在主环完整时，其主节点副端口处于阻塞状态，只有 S3-S2 是通的。主环故障时，如果故障发生在 S3-S4-S1-S2 上，则 S3-S2 是通的；如果故障发生在 S3-S2 上，则 S3-S4-S1-S2 是通的；因此，在任意时刻，子环的 2 条 SRPT 中，最多只有 1 条是通的，这样就避免了子环协议报文在主环中形成数据环路。如果子环的 2 条 SRPT 全部中断时，子环主节点收不到自己发出的 Hello 报文，于是 Fail 定时器超时，子环主节点放开副端口，这样子环可以获得最大的通信通路，且不会形成环路。

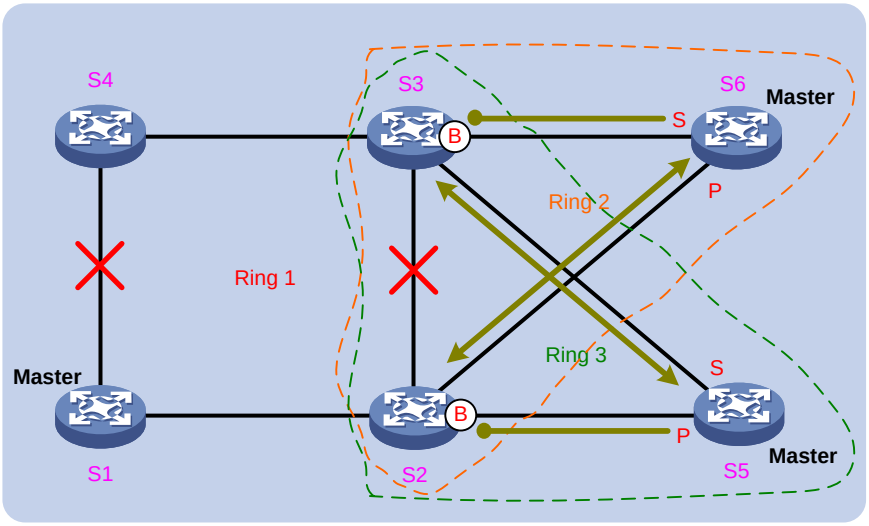
但对于图 11 所示的在实际应用中采用较多的双归属组网中，双归属的两个子环 Ring 2 和 Ring 3 借助边缘节点和辅助边缘节点相互连接，本身就形成了一个环路。当主环 Ring 1 上子环的 2 条 SRPT 全部中断后，所有子环的主节点副端口放开，子环之间势必形成数据环路（数据报文走向如箭头所示）。

图11 多环组网 SRPT 故障时子环间数据环路示意图



为了消除这一缺陷，引入了 SRPT 状态检查机制。由边缘节点和辅助边缘节点配合完成 SRPT 的状态检查，当边缘节点检测到 SRPT 中断后，在两个子环主节点副端口全部放开之前，阻塞两子环边缘节点的边缘端口，避免子环间形成数据环路。主环 SRPT 故障后保护机制产生作用效果如图 12 所示。

图12 多环 SRPT 状态检查机制结果示意图



P - Primary Port　　S - Secondary Port

2. SRPT 状态检测机制工作过程

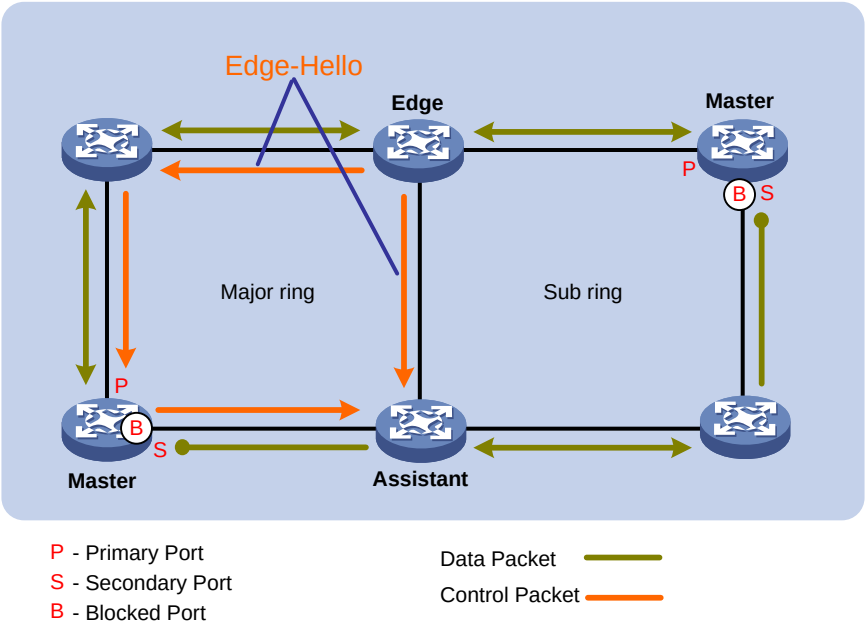
边缘节点是检查活动的发起者和决策者，辅助边缘节点是通道状态的监听者，并负责在通道状态改变时及时通知边缘节点。整个机制的过程描述如下。

(1) 检查 SRPT 状态

子环的边缘节点通过连入 SRPT 的两个端口周期性向主环内发送 Edge-Hello 报文，依次经过环上各节点发往辅助边缘节点，如图 13 所示。

如果辅助边缘节点在规定时间内能够收到 Edge-Hello 报文，表明至少有 1 条 SRPT 正常，子环报文可以正常通过。反之，辅助边缘节点如果收不到 Edge-Hello 报文，说明 2 条 SRPT 全部中断，子环报文无法通过。

图13 边缘节点发送 Edge-Hello 报文

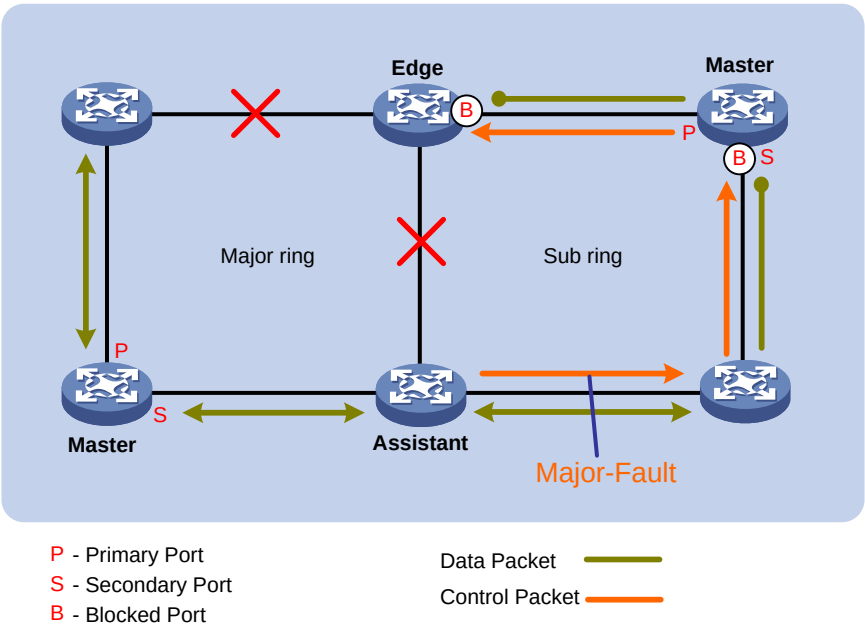


(2) SRPT 中断，阻塞边缘节点的边缘端口

辅助边缘节点检测到 2 条 SRPT 全部中断后，立即从边缘端口通过子环链路向边缘节点发送 Major-Fault 报文。如果此时子环上无故障，边缘节点能够收到 Major-Fault，立即阻塞自己的边缘端口，如图 14 所示；如果子环上存在故障，边缘节点的边缘端口不会被阻塞。

Major-Fault 报文是周期性发送的，如果边缘节点收到，其边缘端口继续阻塞；如果在规定时间内收不到报文，边缘端口自行放开。

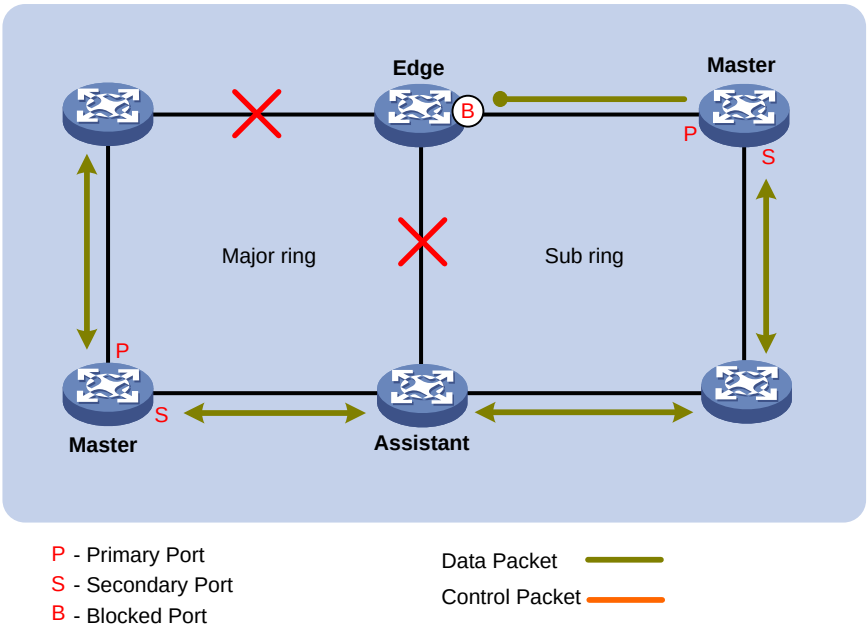
图14 边缘节点响应 Major-Fault 报文阻塞边缘端口示意图



(3) 子环故障，状态迁移到 Failed

由于子环的两条 SRPT 全部中断，因此子环协议报文无法在主环中透传，主节点收不到自己发出的 Hello 报文，于是，放开副端口，迁移到 Failed 状态。如图 15 所示。

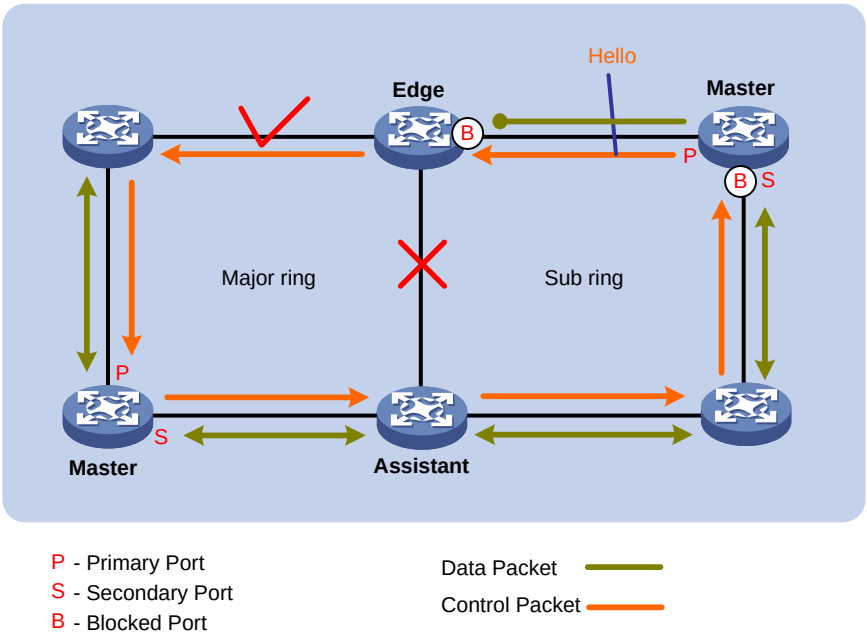
图15 单环负载分担主环通道中断导致子环 Failed 示意图



(4) SRPT 恢复

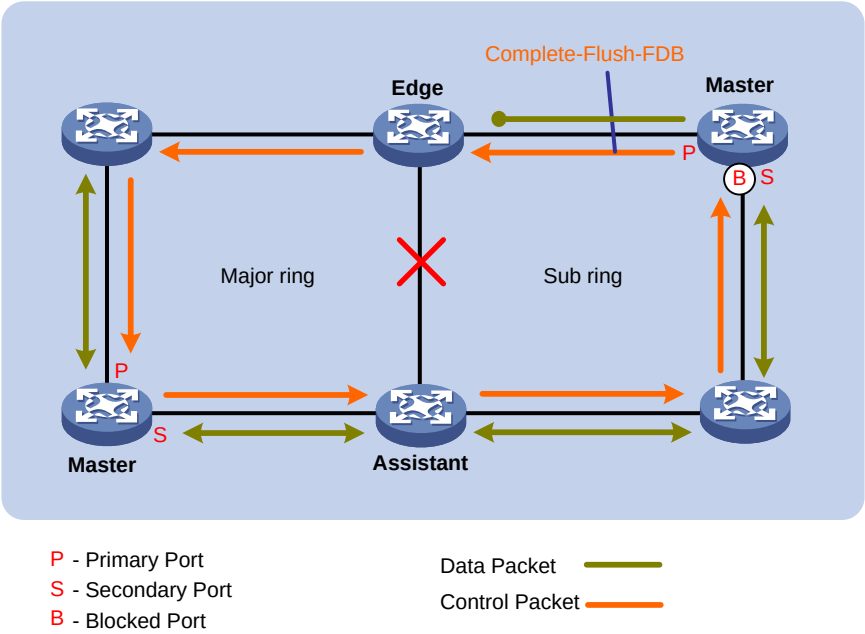
主环故障恢复的同时，子环的 SRPT 得到恢复，辅助边缘节点不再报告 Major-Fault 报文。如果子环本身没有故障，其主节点重新收到自己发出的 Hello 报文，于是阻塞副端口，切换到 Complete 状态，如图 16 所示。

图16 子环协议通道恢复示意图



子环恢复后，主节点会从主端口发送 Complete-Flush-FDB 报文。边缘节点收到报文后，如果其边缘端口处于阻塞状态，立即放开边缘端口，全网通信恢复。如图 17 所示。

图17 子环边缘节点放开边缘端口示意图



SRPT 恢复时，如果此时子环存在故障，则子环无法恢复。此种情况下子环主节点不会发送 Complete-Flush-FDB 报文，如果边缘节点的边缘端口处于阻塞状态，该端口只能在 Fail 定时器超时后自行放开。

3. 环组机制

在 SRPT 状态检查过程中，子环边缘节点和辅助边缘节点分别要持续频繁地发送和接收 Edge-Hello 报文。如图 11 所示的多个子环双归属的组网中，如果分别配置 S2 和 S3 为 Ring 2 和 Ring3 的边缘节点和辅助边缘节点。S2 上 Ring 2 和 Ring 3 都需要频繁发送 Edge-Hello 报文，而 S3 上 Ring 2 和 Ring3 都需要频繁接收 Edge-Hello 报文。如果配置更多的子环，将会收发大量的 Edge-Hello 报文，势必增加设备 CPU 的负荷。

为了减少 Edge-Hello 报文的收发数量，引入了环组机制。在边缘节点或辅助边缘节点上配置的一组子环的集合作为一个环组。在边缘节点上配置的环组称为边缘节点环组，在辅助边缘节点上配置的环组称为辅助边缘节点环组。在边缘节点配置的环组内，只有域 ID 和环 ID 最小的激活子环才发送 Edge-Hello 报文。在辅助边缘节点环组内，任意激活子环收到 Edge-Hello 报文会通知给其它激活子环。这样在边缘节点和辅助边缘节点上分别配置对应的环组后，只有一个子环发送/接收 Edge-Hello 报文，从而减少了对设备 CPU 的冲击。

需要注意的是，环组中所有子环的边缘节点必须都配置在同一台设备上、辅助边缘节点也都必须配置在同一台设备上，而且这些子环的 SRPT 必须相同。

2.5 快速检测机制

说明

要实现快速检测功能，要求 RRPP 环的主节点、边缘节点和辅助边缘节点都支持快速检测机制。

RRPP 的快速收敛依赖于传输节点能够快速检测到链路故障，并立即发出通知。而在 RRPP 的实际运用中，环网中的某些设备并不支持 RRPP 协议，由于无法感知到这些设备之间的链路故障，RRPP 只能通过超时机制进行链路切换，但这将导致流量中断时间过长，不能达到用户毫秒级切换的需要。

RRPP 快速检测机制可以解决上述问题。在配置了快速检测功能之后，当 RRPP 在检测以太网环的链路状况时：

- 主节点会以 Fast-Hello 定时器周期性地从主端口发送 Fast-Hello 报文：在 Fast-Fail 定时器超时前，若其副端口收到了该报文，就认为环路处于健康状态；否则，认为环路处于断裂状态。
- 边缘节点会以最高精度定时器周期性地从公共端口发送 Fast-Edge-Hello 报文：在三倍于最高精度定时器值的时间间隔内，若辅助边缘节点没有收到该报文，就认为子环在主环上的传输通道处于断裂状态。

2.6 防抖动机制

RRPP 端口状态不稳定或者丢包导致超时的情况下，环网状态会在 Complete 和 Failed 之间来回切换，导致 RRPP 环流量转发路径频繁变化，导致丢包过多，可以通过配置 Linkup-Delay 来避免该情况的发生。

配置 Linkup-Delay 定时器但未开启扩散功能，当 RRPP 链路的故障端口变为 UP 状态，且主节点从副端口收到 Hello 报文时，主节点会启动 Linkup-Delay 定时器，此时：

- 若在 Linkup-Delay 定时器超时后主节点依然能够从副端口收到 Hello 报文，则主节点才会切换 RRPP 环的断裂状态到健康状态，将从副端口转发的流量切换至主端口进行转发。
- 若在 Linkup-Delay 定时器超时前，及在 Fail 定时器超时后主节点未能从副端口收到 Hello 报文，则主节点停止 Linkup-Delay 定时器且保持 RRPP 环处于断裂状态。

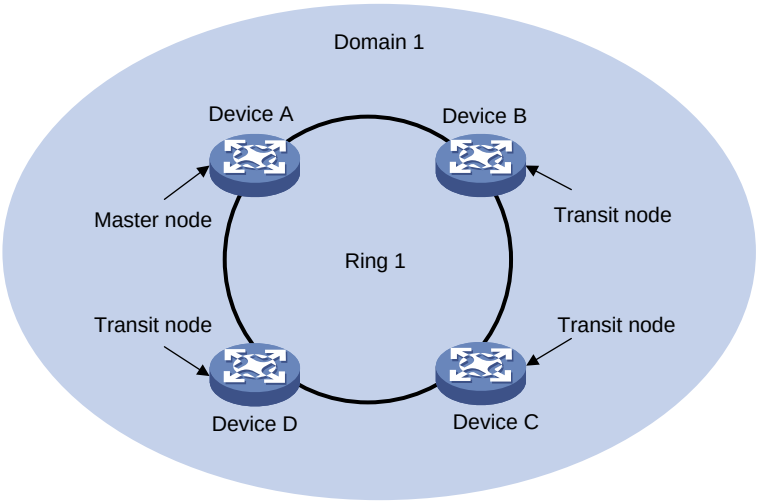
配置 Linkup-Delay 定时器和开启扩散功能，RRPP 域中所有节点会通过收到的 Hello 报文学习到 Linkup-Delay 定时器的值。当 RRPP 链路的故障端口变为 UP 状态时，该端口所在 RRPP 节点设备会临时阻塞该端口（数据报文和协议报文均不能收发），并启动 Linkup-Delay 定时器，此时：

- 若在 Linkup-Delay 定时器超时后该端口没有发生故障，则该节点设备恢复该端口为 UP 状态。从而使得主节点发送 Hello 报文能通过该端口转发至主节点的副端口，然后主节点立即切换 RRPP 环的断裂状态到健康状态，将从副端口转发的流量切换至主端口进行转发。
- 若在 Linkup-Delay 定时器超时前，该端口又发生故障，则阻塞该端口，所在节点设备停止 Linkup-Delay 定时器。

3 典型组网应用

3.1 单环

图18 单环典型组网

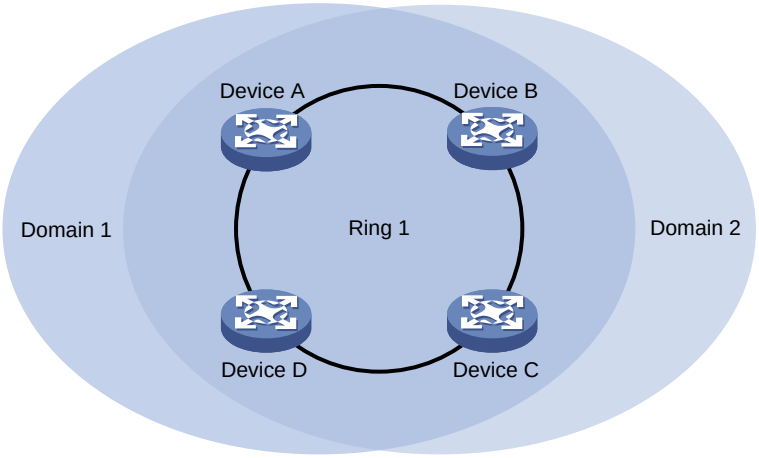


物理网络拓扑中只有一个环，此时可以定义一个 RRPP 域和一个 RRPP 环。

这种组网的特征是拓扑改变时反应速度快，收敛时间短。

3.2 单环负载分担

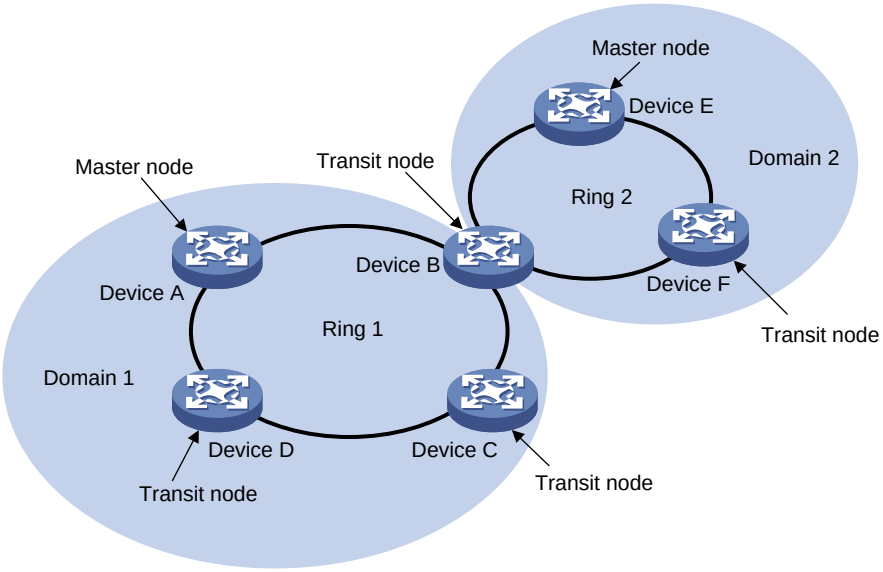
图19 单环负载分担典型组网



物理网络拓扑中只有一个环，但同时存在多个 VLAN 的数据流量，为了实现负载分担，可以在物理拓扑环上定义多个 RRPP 域，每个 RRPP 域的保护 VLAN 不同，并且不同 RRPP 域的 RRPP 环的主节点不同或主节点相同而主副端口不同，从而实现不同 RRPP 域的保护 VLAN 有不同的逻辑拓扑。

3.3 相切环

图20 相切环典型组网

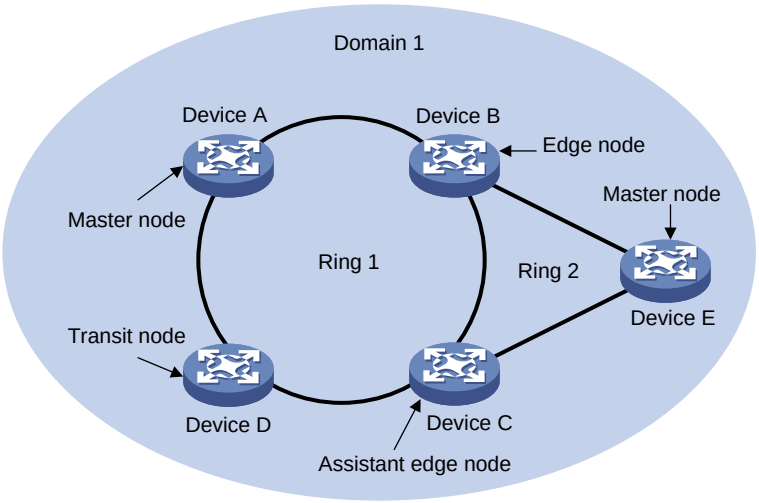


物理网络拓扑中有两个及两个以上的环，但是各个环之间只有一个公共节点。此时每个环要配置成属于不同的 RRPP 域。

当网络规模较大，同级网络需要分区域管理时，可以采用这种组网。

3.4 相交环

图21 相交环典型组网

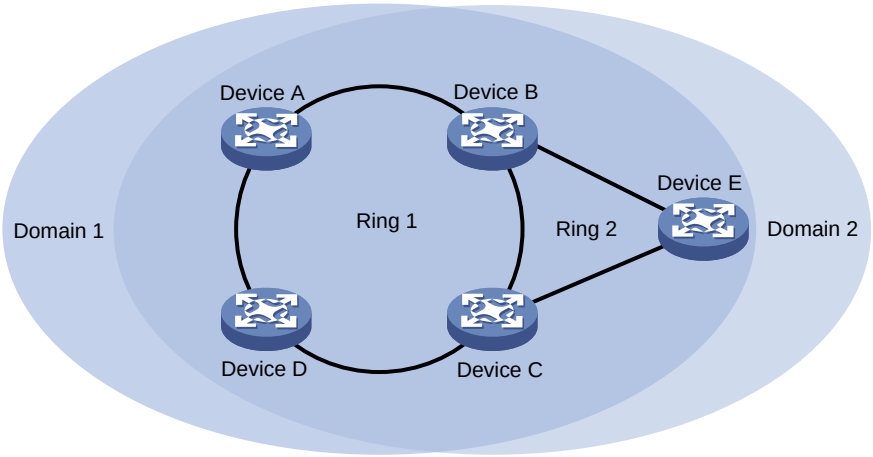


物理网络拓扑中有两个及两个以上的环，但是各个环之间有两个公共节点。此时可以只定义一个 RRPP 域，选择其中一个环为主环，其他环为子环。

这种组网最典型的应用就是子环主节点可以通过边缘节点和辅助边缘节点双归属上行，提供上行链路备份。

3.5 相交环负载分担

图22 相交环负载分担典型组网



物理网络拓扑中有两个及两个以上的环，但是各个环之间有两个公共节点。如果网络中存在多个 VLAN 的数据流量，为了实现负载分担，可以定义多个 RRPP 域，每个 RRPP 域的保护 VLAN 不同，并且不同 RRPP 域的 RRPP 环的主节点不同或主节点相同而主副端口不同，从而实现不同 RRPP 域的保护 VLAN 有不同的逻辑拓扑。

3.6 RRPP与STP混合组网

RRPP 协议与 STP 协议在端口上使能是互斥的，这是为了避免 RRPP 与 STP 在计算端口阻塞/放开状态时产生冲突。当 RRPP 环与 STP 环邻接时，只支持 RRPP 环与 STP 环相切的组网，不支持二者相交的组网，也就是两种协议不能有公共的端口。

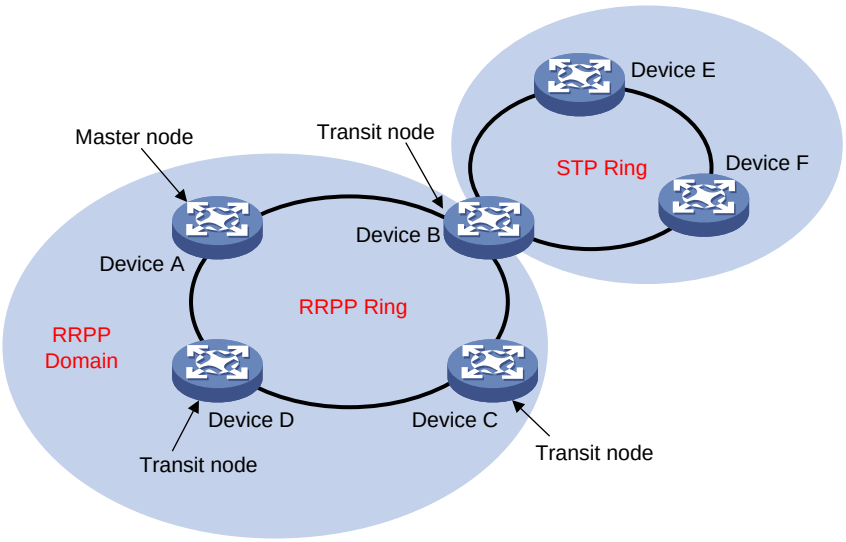



图23 RRPP 与 STP 混合组网示意图