

# 基于稳定拓扑的以太环网保护

沈一波<sup>1</sup>, 石旭刚<sup>2</sup>, 张 胜<sup>3</sup>, 吴敏凉<sup>1</sup>

(1. 浙江工业大学 信息工程学院, 浙江 杭州 310014;

2. 浙江工业大学 浙江省光纤重点实验室, 浙江 杭州 310014;

3. 杭州奥博通信有限公司, 浙江 杭州 310012)

**摘要:** 介绍了 RFC3619 和 G.8032 两种主要的以太环网保护切换方案。在此基础上提出了一种基于稳定拓扑的方案, 阐述了其中保护切换的机制。结合两种传统方案的优点, 引入了稳定拓扑的思想, 能有效缩短业务恢复时间, 提高环网可靠性。

**关键词:** RFC3619; G.8032; 保护切换; 稳定拓扑; 业务恢复

中图分类号: TN915.6

文献标识码: A

## Ethernet ring protection switching based on stable topology

SHEN Yi Bo<sup>1</sup>, SHI Xu Gang<sup>2</sup>, ZHANG Sheng<sup>3</sup>, WU Ming Liang<sup>1</sup>

(1. School of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China

2. Zhejiang Province Key Laboratory of Fiber Optic Communication Technology, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;

3. Hangzhou AOBO Telecom CO., LTD., Hangzhou 310012, China)

**Abstract:** This paper describes the primary Ethernet ring protection switching schemes with RFC3619 and G.8032. It rises a new scheme based on stable topology and illustrates the mechanism of protection and switching in detail. The most outstanding characteristic of this scheme is that it shows an idea of stable topology and combines the advantages of RFC3619 and G.8032. Therefore it could shorten the recovery time of business and increase the robustness of Ethernet ring.

**Key words:** RFC3619; G.8032; protection switching; stable topology; recovery of business

城域以太网和工业以太网对网络可靠性都有很高的要求。典型的电信级以太网要求达到 50 ms 的业务自愈时间。工业级的要求稍低, 但也普遍要求满足 200 ms 自愈时间的需求。而传统的用于 LAN 领域的以太网技术(如 STP/RSTP)难以满足要求<sup>[1]</sup>。为此人们不断为提高以太网技术的可靠性而努力。

环形拓扑结构简单, 便于层次化组网, 传输延迟相对确定, 便于网络管理, 它非常适合用来提供快速灵活的保护。目前的城域传送网和工业以太网也都采用环形架构。在此基础上, RFC3619(EAPS)以太网自动保护切换和 G.8032 以太环网保护方案, 日益受到人们的重视, 并逐渐实现了一些应用。

本文在分析 RFC3619 和 G.8032 这两种主流的以太环网保护技术的基础上, 提出了一种基于稳定拓扑的以

以太环网保护切换方案, 以进一步缩短业务恢复时间, 同时提高环网可靠性。

### 1 主流的以太环网保护

#### 1.1 RFC3619(EAPS)

RFC3619<sup>[2]</sup>是互联网工程任务组(IETF)于 2003 年发布的具有较大影响的以太网自动保护切换方案, 如图 1 所示。1 个单独的以太网环上存在 1 个 EAPS 域, 域中所

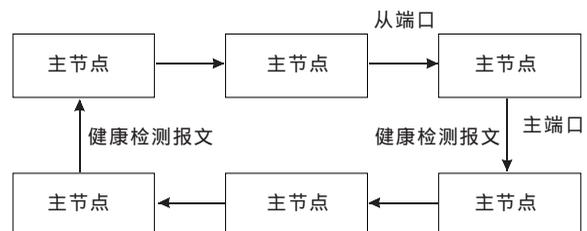


图 1 EAPS 示意图

有的端口是被预先配置的。EAPS 环中节点分为两类,1 个节点被定为主节点(RingMaster),其余节点被定为从节点(RingSlaves)。主节点有 2 个端口,其中 1 个端口被定义为主端口(PrimaryPort),主要负责转发数据;另 1 个端口定义为从端口(SecondaryPort),正常状态下该端口被阻塞(Blocking)。从节点正常状态下端口都处于转发(Forwarding)状态。

RFC3619 提供了 2 种机制检测环路故障。EAPS 环上的从节点监测自己的直连链路状态,如果发现故障,相邻节点发送 1 次故障报文(Linkdown Message)通知主节点。主节点也周期性地从其主端口发送健康检测报文(Hello Message),依次经过各从节点在环上传播。如果主节点从端口能够收到自己发送的健康检测报文,说明该环网链路完整;如果在规定时间内无法收到健康检测报文,则认为环网发生了故障。检测到故障后,主节点会将其从端口置于转发状态,同时向全网发布刷新地址表命令。

当链路或者节点故障恢复的时候,主节点又从从端口收到健康检测报文。主节点又将其从端口置于阻塞状态,再次向全网发布刷新地址表的命令。

## 1.2 G.8032(APS)

继 RFC3619 后,多家通信厂商都向 ITU-T 提出了自己的环网保护方案。ITU-T 于 2008 年 2 月提出了 G.8032<sup>[3]</sup>标准。

G.8032 与 RFC3619 的原理基本相同,它运行在 APS 域之上。如图 2 所示,备用链路称为 RPL,主节点称为 RPL Owner。RPL Owner 不再周期性地发出 Hello Message。每个节点检测 ETH-CC (以太网连续性检查)OAM 消息,ETH-CC OAM 在 ITU-T Y.1731 中定义。一旦节点检测到故障,就会不断发起 Signal Fail(SF)消息。但为了减轻网络负担,发送 SF 消息的时间间隔不是均匀的:开始的 3 个 SF 消息时间间隔很短,短至毫秒级,后面的 SF 消息则以秒级的间隔较快地发送。

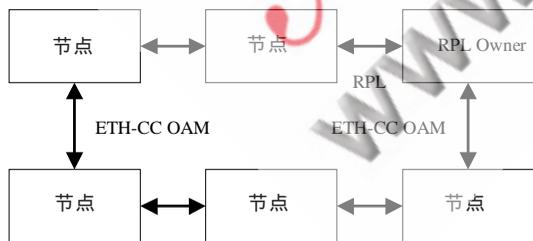


图 2 APS 示意图

同时,为了增加环路的稳定性和协议的可靠性,G.8032 也比 RFC3619 增加了 2 个定时器。1 个称作 Hold-off Timer,用于滤除间歇性故障;另 1 个称为 WTR Timer,用于避免在故障恢复时发生新的故障而导致的误判。

## 2 稳定拓扑保护切换(STPS)

### 2.1 稳定拓扑(Stable Topology)

无论是 RFC3619 草案还是 G.8032 协议,在故障发

生或恢复时,都会将主节点的备用端口状态转移。因为实际传输路径已经切换,要实现报文的正确寻址,每个节点必须刷新 MAC 地址表<sup>[4]</sup>,然后通过泛洪重建,这会导致环路流量的激增。业务恢复时间也不等于保护切换时间,还必须加上这个 MAC 地址表重建的时间<sup>[5]</sup>。如果故障马上恢复,重复执行这个过程,有可能引起振荡。

在环路故障发生时,由于故障点的不可预知,为了保证系统可靠,必须要有以上完整的保护切换过程。但在故障恢复时,我们可以将一个故障端口选为备份端口,故障链路直接选为备份链路。这样可以省去路径的切换,最大程度地维持了原拓扑的稳定,也不再需要业务恢复时间。这样的处理,对频发故障点是很有效的。

### 2.2 概念和定义

(1)STPS 域:由指定的环网端口组成的 1 个 VLAN 域,在上面传输 STPS 的 3 种环网报文。

(2)Master:主节点,在 1 个环路中特别指定或者运行其他拓扑发现算法而选举出的唯一节点。

(3)Transit:传输节点,环网中除 Master 以外的节点。

(4)Backup Link:备份链路,不管是环路初始还是环路恢复,均指最后接通形成环路的链路,这样备份链路不一定位于主节点旁边。

(5)PID:环网端口 ID 号=MAC 地址+端口号,这是 1 个端口在环网中的唯一标识。

(6)Backup Port:备份端口,在 1 个环路中唯一被 Master 指定为阻塞的端口。备份端口总是 2 个故障点中拥有最小 PID 值的那 1 个。

(7>Hello Message:健康检测报文,主节点在定时器作用下,不断向两个环网端口发送。

(8)Linkdown Message:故障通告报文,传输节点检测到一侧故障后,向另一侧发起的通告。

(9)Command Message:命令报文,主节点检测到故障恢复后发布命令,指定 1 个 Backup Port。

(10)Send Timer:发送报文的定时器,主节点用其定期发送 Hello Message;故障节点用其定期发送 Linkdown Message。

(11)Alive Timer:各个端口用来监视链路故障的计时器,如果超时,说明环网出现故障。

(12)Hold-off Timer:端口检测到物理断路时才触发,超时后发起 Linkdown Message,这样可以过滤不稳定的物理连接引起的短暂故障。

(13)WTR Timer:主节点在检测到环路恢复时启用,超时后发出 Command Message,这样可以避免故障恢复的同时产生新故障引起的误判和误判。

### 2.3 保护切换机制

#### 2.3.1 健康的环路

如图 3 所示,所有节点在物理拓扑上连接成环;主节点通过将 STPS 域上的 1 个端口置于 Blocking 状态,来

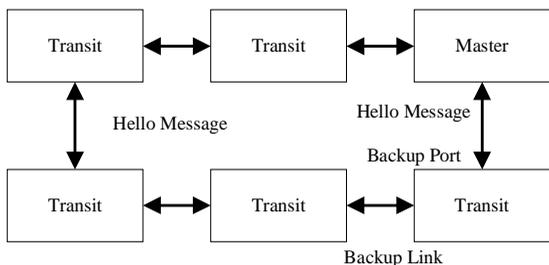


图3 健康的环路

避免在逻辑上成环。主节点在 Send Timer 作用下,向两侧端口定期发送 Hello Message,从节点从 1 个端口收到后重置 Alive Timer,并向另 1 个端口转发。这样在健康环路的两个方向上,充斥着 Hello Message。各个节点通过 Alive Timer 监视相邻的 2 个节点,通过 PHY 监视相邻链路。

### 2.3.2 故障产生

(1)端口检测到 PHY 链路故障后启动 Hold-off Timer,在一定时间内没有检测到 PHY 链路恢复,就触发保护切换机制。端口检测到 Alive Timer 超时,直接触发保护切换机制。

(2)故障节点阻塞故障端口,刷新地址表,当 Send Timer 超时就向另一侧端口发出 Linkdown Message,其中包含故障节点的 PID。

(3)传输节点收到 Linkdown Message,刷新地址表,并将报文向另一个方向转发。如果有端口状态为 Blocking,转至 Forwarding。

(4)主节点收到 Linkdown Message,也要确保环网端口处于转发态,刷新地址表,但不将报文转发。

(5)至此,环网处于保护状态,如图 4 所示,所有的节点在逻辑拓扑中仍为链型结构。

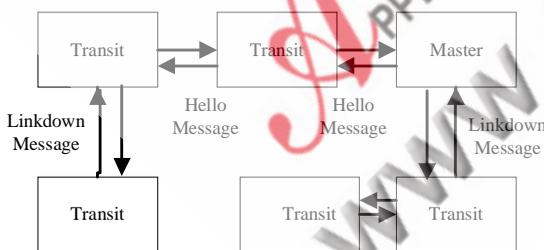


图4 环路发生故障

(6)主节点最终会收到 2 个故障端口的 PID,将其存储。如果从现有的链型拓扑中移去或者加入新的节点,主节点总是根据故障端口发出的 Linkdown Message,记录 2 个最新的 PID。

### 2.3.3 故障恢复

(1)当失效的链路或者节点恢复,故障点端口依然保持阻塞状态。

(2)当主节点的 2 个端口重新收到 Hello Message,就启动 WTR Timer。

(3)在预定时间内,主节点没有收到 Linkdown Message,WTR Timer 过期。主节点可判断故障恢复,向 2 个端口各发送 1 帧 Command Message,里面指定了 1 个备份端口,这个备份端口就是原来记录的 2 个 PID 值中较小的 1 个,如图 5 所示。

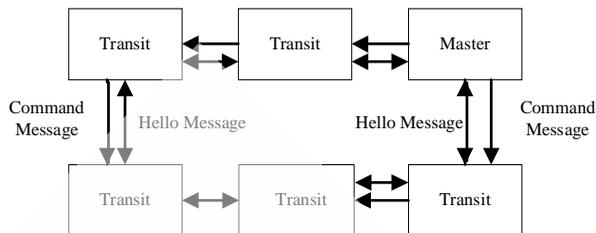


图5 Master 检测到故障恢复

(4)各个端口收到 Command Message 后,如果发现自己不是被指定的备份端口,就确保处于 Forwarding 状态,然后将报文转发;如果发现自己就是被指定的端口,就确保处于 Blocking 状态,不再转发 Command Message。

(5)至此,环网重建完成,不需要刷新地址表。环网中只有 1 个备份端口和一条备份链路,环路恢复到健康状态,如图 6 所示。

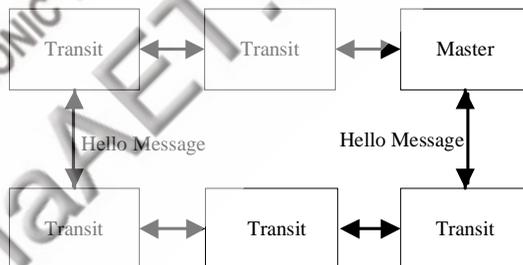


图6 环路恢复到健康

## 2.4 方案的实现

本文基于稳定拓扑的以太环网保护切换方案定义了 4 种节点状态和 8 类事件,使用状态机可以灵活实现状态的转移和事件的处理。

### (1)节点状态

S1: Master/Ring=1;主节点成环状态;

S2: Master/Ring=0;主节点未成环状态;

S3: Transit/Ring=1;传输节点成环状态;

S4: Transit/Ring=0;传输节点未成环状态。

### (2)事件

E1: 收到 Hello Message;

E2: 收到 Linkdown Message;

E3: 收到 Command Message;

E4: PHY 检测到链路故障;

E5: Alive Timer 超时;

E6: Hello Timer 超时;

E7: Hold-off Timer 超时;

E8: WTR Timer 超时。

## (3) 实现框图

如图 7 所示, 报文类型判断模块主要负责从报文队列中取出报文, 然后根据类型号判断是 Hello Message、Linkdown Message 还是 Command Message, 并产生事件请求。

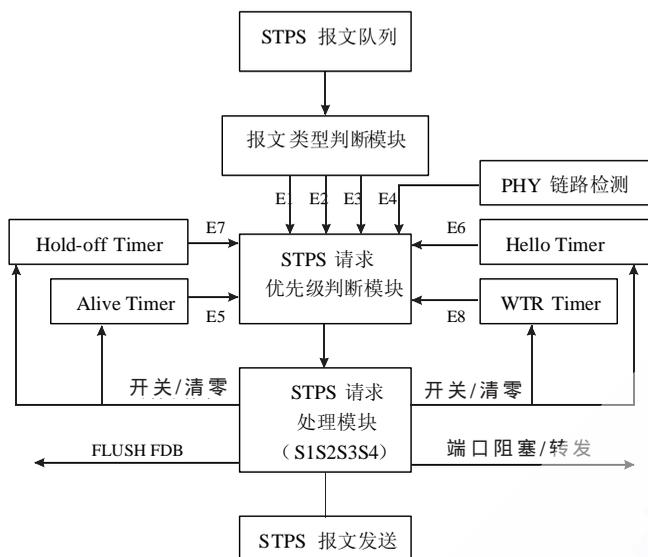


图 7 STPS 实现框图

在接收报文的同时, 各个定时器也可能产生超时事件, 而各种事件对系统的重要性是不同的, STPS 请求优先级判断模块判断所产生事件的优先级, 并交给处理模块。

STPS 处理模块根据请求和节点状态做出相应动作, 并实现状态的转移。主要有对定时器的操作, 对 MAC 地址表的操作及对端口的操作和发送 STPS 报文。

## 3 与传统以太网保护方案的比较

基于稳定拓扑的保护切换(STPS), 以 RFC3619 和 G.8032 技术为蓝本, 并对过程进行了优化, 具有一些鲜明的特点: 引入了拓扑稳定的想法, 使备份端口的选取更灵活, 从而在环网恢复时, 不再需要刷新 MAC 地址表, 最大程度地稳定了拓扑结构, 减少了业务恢复时间, 这对频发故障点特别有效。

本方案保留了 RFC3619 中 Hello Message 的概念, 但做了改进, 由主节点向 2 个端口发送。舍弃了 Y.1731 协议中的 ETH-CC OAM, 减轻了网络开销和 CPU 处理负担。沿用了 G.8032 中 WTR Timer 和 Hold-off Timer, 增加了网络的可靠性。在实现方法上, 可以对同时发生的多事件进行优先级排序处理, 比较适合操作系统实现, 可以有效提高嵌入式系统的实时性。

## 参考文献

- [1] 张琦. 案例精解企业级网络构建[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [2] Etrame network' Ethernet automatic protection switching version1[S]. 2003.
- [3] G.8032 ethernet ring protection overview [S]. ITU-T Q9-SG15, 2008(3).
- [4] 88E6092/6095/6095E Marvell datasheet. 2005.
- [5] 詹翊春. 以太网线性保护与环网保护[J]. 烽火网络, 2008(7).

(收稿日期: 2009-06-11)