

# 一种基于区域地址刷新的以太环网保护方法

王 斌<sup>1,2</sup>, 王文霖<sup>1</sup>

(1. 南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京 210003  
2. 南京邮电大学 宽带无线通信与传感网技术教育部重点实验室, 江苏 南京 210003)

**摘 要:** ITU-T G.8032是目前电信级以太环网保护的最重要标准之一, 其中地址刷新是 ITU-T G.8032 的关键技术之一。针对 ITU-T G.8032地址刷新时会出现广播风暴的问题, 提出了一种基于区域地址刷新的环网保护方案。研究表明, 基于区域地址刷新的方案能够抑制节点不必要的地址刷新动作, 从而有效地提高了环网性能。

**关键词:** 以太环网保护; 地址刷新; 自动保护切换; MAC 地址

**中图分类号:** TN915 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-5439(2011) 05-0012-06

## Ethernet Ring Protection Using FDB Flush Based on Area

WANG Bin<sup>1,2</sup>, WANG Wen-lin<sup>1</sup>

(1. College of Telecommunications & Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China  
2. Key Lab of Broadband Wireless Communication and Sensor Network Technology, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** Ethernet technologies are rapidly becoming a dominant solution for carriers' networks. Ethernet ring protection switching defined in ITU-T G.8032 recommendation provides a means to reliably achieve carrier-class network requirements for Ethernet topologies forming a closed loop. This article proposes an G.8032 Ethernet Ring Protection ERP using FDB flush based on area and explains how its automatic protection switching (APS) protocol works.

**Key words:** ERP; FDB Flush; APS; MAC Address

## 0 引 言

对于大规模商用运营网络, 故障后长时间不能自愈将导致上层协议阻断, 进而导致用户业务中断。电信级要求网络的故障自愈时间小于 50 ms, 特别是对于高服务质量的电信业务, 如 3G/NGN 语音、IPTV 等。当网络在 50 ms 不能自愈时, 就会产生明显的语音、视频抖动, 甚至业务中断等故障。因此迫切需要电信级的以太网保护技术提高网络可靠性, 电信级的以太网保护技术也越来越重要。

在目前电信级的以太环网保护技术中, 最重要的技术标准是 ITU-T G.8032。ITU-T 从 2006 年 2

月开始立项研究, 在 2008 年 3 月成功发布了第一个版本。这个发布的版本比较简单并具有较强的可靠性, 获得了很多厂商和运营商的关注。

地址刷新技术是 ITU-T G.8032 关注的一个关键技术<sup>[1]</sup>, 它的作用防止以太环网由于拓扑发生变化后而继续使用失效的地址, 避免通信中断。目前, ITU-T G.8032 对地址刷新技术展开了深入的研究, 主要有两种观点, 一类是优化地址刷新方案<sup>[2-4]</sup>, 避免不必要的地址刷新; 另一类是选择性地址刷新方案<sup>[5-10]</sup>, 刷新的颗粒度细化到具体的转发条目。选择性地址刷新的刷新精度很高, 彻底地避免了不必要的地址删除, 但是选择性地址刷新需要通过查表来找到失效的条目。众所周知, 查询大量的 MAC 地

收稿日期: 2010-12-27

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX03005-004-03)、江苏省高校优势学科建设工程、江苏省高校自然科学基金基础研究计划重大项目(10KJA510037)、南京邮电大学引进人才科研启动基金(NY209002)、南京邮电大学宽带无线通信与传感网技术重点实验室开放研究基金(NYK1201108)资助项目

通讯作者: 王 斌 电话: 15951964202 E-mail: wangbin7062@sohu.com; wangbin7062@sina.com

址条目是相当耗时的,这不仅增加了设备的硬件成本,而且很难保证环网上受影响的链路在 50 ms 内完成倒换。因此,参与标准制定的大多数厂商反对选择性地址刷新方案,更倾向于采用地址刷新优化方案。

本文主要讨论地址刷新优化方案。主要贡献是在分析传统地址刷新方案缺陷的基础之上,提出了一种基于区域地址刷新的以太网保护方案。仿真分析表明,基于区域地址刷新的以太网保护方案能够使环网在拓扑发生变化后快速收敛,从而提高了环网的性能。

## 1 以太网传统的地址刷新方案分析

### 1.1 基本保护机制的概述

G. 8032v1 定义了 2 种状态:空闲态(idle state)及保护状态(protecting state)。前者是环网没有故障时的正常工作状态,后者是环网有链路发生故障导致链路切换的状态。当节点发现 R-APS 消息的状态信息与自身保存的状态信息不同时,节点发生状态迁移。另外,节点发生状态迁移时,还要刷新地址转发表。下面我们就重点地讨论一下两种状态迁移的场景。

#### (1) 链路发生故障的场景

如图 1(a) 所示,环网中的节点 A 为控制节点,与 e 端口直连链路 <F, A> 为 RPL 链路,当环上链路完好时,节点 A 阻塞 RPL 链路的数据报文转发功能,防止网络环路引起的“广播风暴”。网络 M 和 N 的通信路径为:网络 M ↔ 节点 B ↔ 节点 C ↔ 节点 D ↔ 网络 N。

如图 1(b) 所示,环上的 <B, C> 链路发生了故障,节点 B 和 C 检测到 <B, C> 链路发生故障,节点 B 和 C 分别阻塞 w 和 e 端口的数据报文转发功能,并且刷新各自的地址转发表。节点 B(C) 沿 e(w) 端口周期性地发送 SF 报文(故障告警报文),通知环上的其它节点“环上链路发生故障了”。环上的其它节点收到 SF 报文后,发现 SF 的状态信息(protecting)与自身保存的状态信息(idle)不同,节点发生状态迁移,并且刷新地址转发表。另外,节点 A 还要打开 e 端口的数据转发功能。网络 M 和 N 新通信路径为:网络 M ↔ 节点 B ↔ 节点 A ↔ 节点 F ↔ 节点 E ↔ 节点 D ↔ 网络 N。

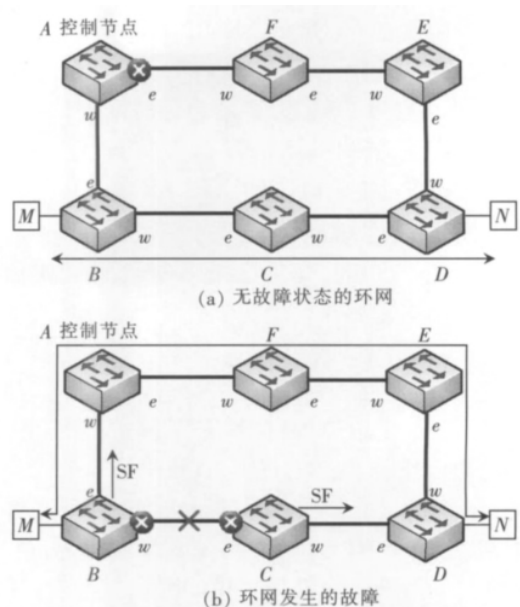


图 1 传统方案中的环网保护过程

#### (2) 故障恢复时的场景

如图 2(a) 所示,环上的 <B, C> 链路故障恢复,节点 B 和 C 检测到 <B, C> 链路故障消失后,继续分别阻塞 w 和 e 端口的数据报文转发功能,并且启动 Guard timer。节点 B 和 C 分别沿环上的两个端口周期性地发送 NR 报文(无请求报文)。当 Guard timer 超时后,节点可以接收和处理新的 R-APS 消息。节点 A 收到 NR 报文后,启动 WTR 定时器。

如图 2(b) 所示,当 WTR 定时器超时后,节点 A 阻塞 e 端口的数据报文转发功能,刷新地址转发表,并且沿环上端口周期性地发送 NR, RB 报文,通知环上的其它节点 RPL 链路阻塞了。

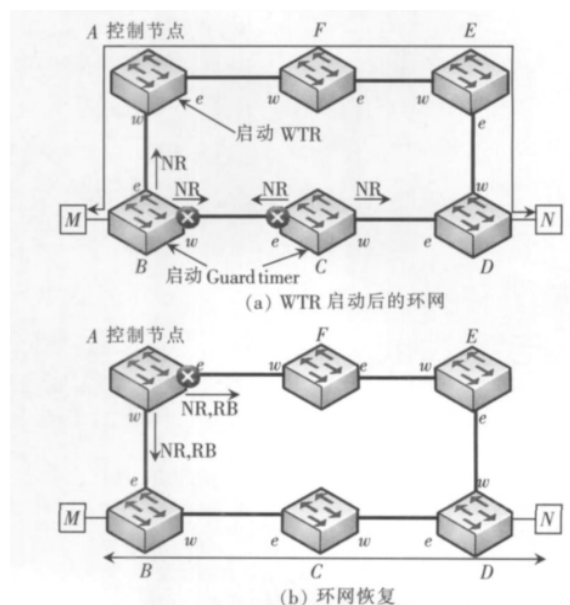


图 2 传统方案中的反转恢复过程

环上的其它节点收到 NR、RB 报文后,发现 NR、RB 报文的状态信息(idle)与保存的状态信息(prottection)不同,发生状态迁移,刷新地址转发表。节点 B 和节点 C 收到 NR、RB 报文后,还要打开阻塞端口的数据报文转发功能,并且停止发送 NR 报文。

## 1.2 传统的地址刷新方案分析

网络在发生拓扑变化时,需要进行地址刷新,防止以太环网由于拓扑发生变化后而继续使用失效的地址,避免通信中断。传统的地址刷新方案没有进行优化,很多节点进行了不必要的地址刷新。如图 3(a)所示,在无故障的情况下,子网  $B_0$  和子网  $E_0$  之间的通信路径为:  $B_0 \leftrightarrow B \leftrightarrow C \leftrightarrow D \leftrightarrow E \leftrightarrow E_0$ 。换句话说,环上节点 B、C 和 D 是通过它们的  $w$  端口学习到子网  $E_0$  的 MAC 地址,节点 E、D 和 C 是通过它们的  $e$  端口学习到子网  $B_0$  的 MAC 地址。

当环网上的链路发生故障时,环网要发生链路倒换,如图 3(b)所示。当环上的链路  $\langle C, D \rangle$  发生故障时,节点 C 阻塞  $w$  端口的数据报文转发,并周期性地沿  $e$  端口发送 SF1 报文,节点 E 阻塞  $e$  端口的数据报文转发,并周期性地沿  $w$  端口发送 SF2 报文,控制节点 A 打开  $e$  端口的数据转发功能。此时,节点 B 和 C 应该删除它们在  $w$  端口上学习的子网  $E_0$  的 MAC 地址,而节点 D 不必删除它在  $w$  端口上学习的子网  $E_0$  的 MAC 地址。节点 E 和 D 应该删除它们在  $e$  端口上学习的子网  $B_0$  的 MAC 地址,而节点 C 不必删除它在  $e$  端口上学习的子网  $B_0$  的 MAC 地址。

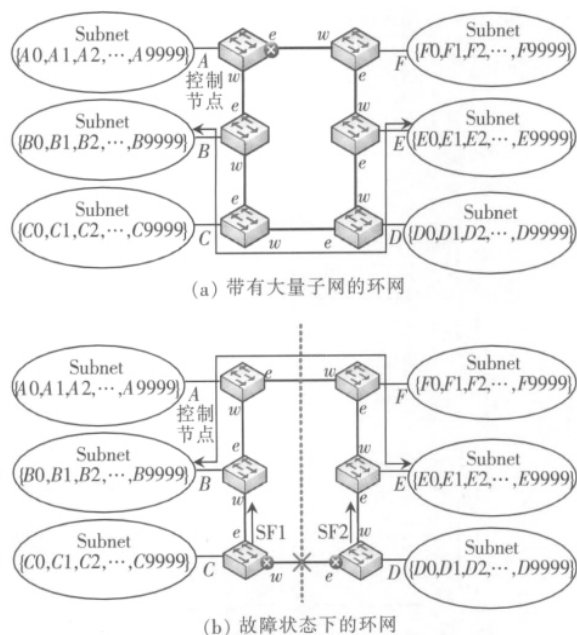


图3 传统方案的地址刷新

如果对该现象做进一步的总结,我们可以用故

障点和 RPL 链路的两个端点将环网分成两个区域:区域 1 包含节点 A、B 和节点 C,区域 2 包含节点 D、E 和节点 F。在环网无故障的情况下,区域 1 上的节点仅仅能从它们的  $w$  端口学习到区域 2 上的节点或它们相连的子网的 MAC 地址,而不能从它们的  $e$  端口学习到区域 2 上的节点或它们相连的子网的 MAC 地址。因此,当链路  $\langle C, D \rangle$  发生故障时,节点 C 发出的 SF1 报文只要刷新区域 1 上的节点的  $w$  端口关联的 MAC。同样,区域 2 上的节点仅仅能从它们的  $e$  端口学习到区域 1 上的节点或它们相连的子网的 MAC 地址,而不能从它们的  $w$  端口学习到区域 2 上的节点或它们相连的子网的 MAC 地址。因此,当链路  $\langle C, D \rangle$  发生故障时,节点 D 发出的 SF2 报文只要刷新区域 2 上的节点的  $e$  端口关联的 MAC 地址。

## 2 基于区域地址刷新的保护方法

### 2.1 基于区域地址刷新保护方法的描述

鉴于上面的分析,本文提出的区域刷新方案的核心设计思想是:若以太环网的拓扑发生变化,环网上会出现新的阻塞端口,这些端口和这次拓扑发生变化之前以太环网的阻塞端口将环网划分为多个区域,这些区域上的节点仅仅刷新在以太环网的拓扑发生变化之前学习其它区域的节点或用户 MAC 地址的端口关联的 MAC 地址。为了实现上述核心思想,本文提出一种全新的环网保护方案,具体如下:

(1) 以太环网维护一个特殊的“区域判定 VLAN”,该 VLAN 仅仅用于环上节点之间的通信,用来判定环上节点在哪个区域。环上节点周期性(周期小于 MAC 地址老化期)地发送广播数据报文,报文携带环上节点的节点号;

(2) 新的阻塞端口(即,由打开变为阻塞)的节点沿完好端口向外周期性地发送带有地址刷新信息的协议报文,并刷新该阻塞端口保存的“端口 MAC 地址表”(地址表中的转发条目与端口关联)。该协议报文带有节点 MAC 地址列表(Node List, NL),NL 列表中的 MAC 地址都是由非发送该协议报文的另一个环上端口从“区域判定 VLAN”上学习来的节点 MAC 地址;

(3) 当环上节点的端口收到携带地址刷新信息的协议报文时,如果该节点的 MAC 地址不在协议报文中的 NL 列表内,该端口刷新“端口 MAC 地址表”;如果该节点的 MAC 地址在协议报文中的 NL

列表内,该端口不刷新“端口 MAC 地址表”。

## 2.2 实例描述

在本节中,我们将讨论环网发生故障和故障恢复情况下的地址刷新情况,需要特别指出的是,为了图画的清晰,下面的图中的节点省去了节点挂载的大量子网。

### (1) 环网故障情况下的地址刷新

如图4(a)所示,节点A为控制节点, $\langle F, A \rangle$ 为环保护链路,节点A的e端口在正常情况下阻塞数据报文的转发。环网配置Vlan Q(区域判定VLAN),环上的节点在Vlan Q上周期性地发送数据报文,数据报文中携带该节点的节点号(节点号可以是节点的MAC地址),如:节点C的w端口能够在Vlan Q上学习到F、E和D的节点号,节点D的e端口能够在Vlan Q上学习到A、B和C的节点号。

在图4(b)中,链路 $\langle C, D \rangle$ 发生故障时,节点C(节点D)阻塞w端口(e端口)的数据报文转发,并且刷新w端口(e端口)的“端口 MAC 地址表”,节点C(节点D)周期性地沿e端口(w端口)发送SF1报文(SF2报文)。其中,SF1报文的NL列表包含了节点F、E和D的节点号,它们是节点C的w端口在环网发生故障之前从Vlan Q上学习到的。同样,SF2报文的NL列表包含了节点A、B和C的节点号,这些节点号是由节点D的e端口在环网发生故障之前从Vlan Q上学习到的。

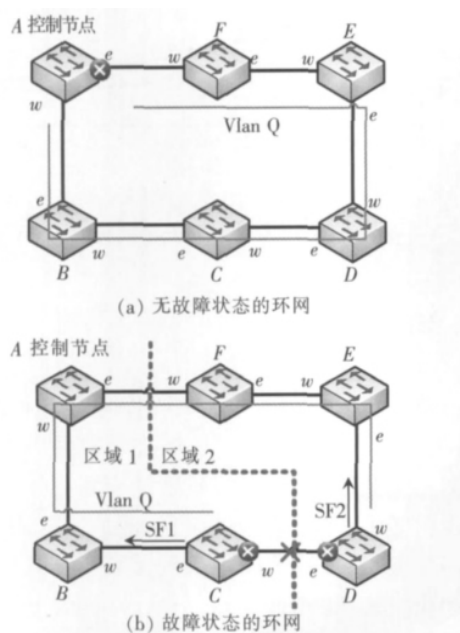


图4 环网发生故障时的区域地址刷新

环上的其它节点收到SF1报文和SF2报文后,将依据报文中的NL列表判断是否刷新地址转发

表。以节点B为例,当节点B的w端口收到SF1报文后,将自身的节点号与报文的NL列表 $\{F, E, D\}$ 进行比较,发现不在该NL列表中,节点B刷新w端口的“端口 MAC 地址表”。当节点B的e端口收到SF2报文后,将自身的节点号与报文的NL列表 $\{A, B, C\}$ 进行比较,发现在该NL列表中,节点B不刷新e端口的“端口 MAC 地址表”。

### (2) 环网故障恢复情况下的地址刷新

在图4(b)中,当环网的状态趋于稳定后,环上节点通过在Vlan Q上周期性地发送数据报文后,各个节点的环上端口学习到了新的节点号。如:节点A的e端口学习到了F、E和D的节点号,w端口学习到了B和C的节点号。

如图5(a)所示,环上的 $\langle C, D \rangle$ 链路故障恢复,节点C和D检测到 $\langle C, D \rangle$ 链路故障消失后,继续分别阻塞w和e端口的数据报文转发功能,并且启动Guard timer。节点C和D分别沿环上的两个端口周期性地发送NR报文。当Guard timer超时后,节点可以接收和处理新的R-APS消息。节点A收到NR报文后,启动WTR定时器。

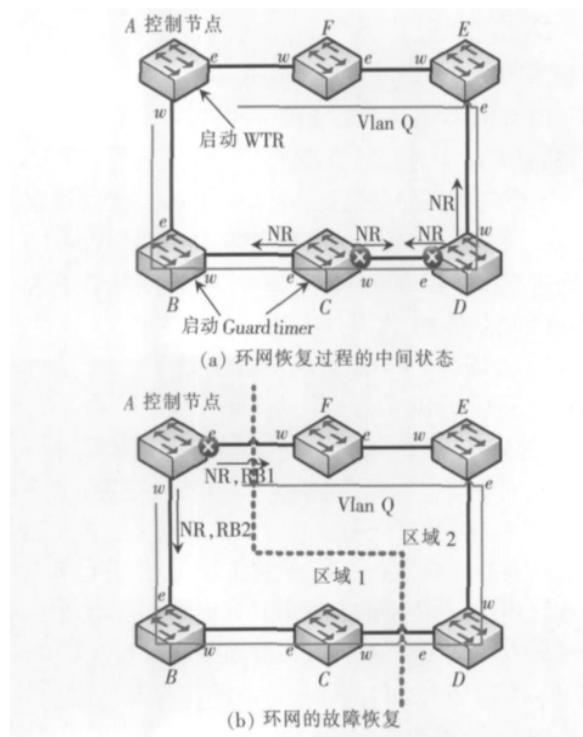


图5 环网反转恢复时的区域地址刷新

在图5(b)中,当WTR定时器超时后,节点A阻塞e端口,刷新e端口的“端口 MAC 地址表”,沿e端口周期性地发送NR(RB)1报文,沿w端口周期性地发送NR(RB)2报文,通知环上其它节点“环保护链路已经阻塞数据报文”,NR(RB)带有地址刷

新信息。另外, NR(RB) 1 报文带有 NL 列表, 该 NL 列表包含节点 A 的 e 端口在 Vlan Q 上学习到节点 F、E 和 D 的节点号。NR(RB) 2 报文也带有 NL 列表, 该 NL 列表包含节点 A 的 w 端口在 Vlan Q 上学习到节点 B 和 C 的节点号。

环上的其它节点收到 NR(RB) 1 报文和 NR(RB) 2 报文后, 将依据报文中的 NL 列表判断是否刷新地址转发表。以节点 C 为例, 当节点 C 的 w 端口收到 NR(RB) 1 报文后, 将自身的节点号与报文的 NL 列表{F, E, D} 进行比较, 发现不在该 NL 列表中, 节点 C 刷新 w 端口的“端口 MAC 地址表”。当节点 C 的 e 端口收到 NR(RB) 2 报文后, 将自身的节点号与报文的 NL 列表{B, C} 进行比较, 发现在该 NL 列表中, 节点 C 不刷新 e 端口的“端口 MAC 地址表”。

通过对环网的故障发生和故障恢复的两个场景的分析来看, 新方案比传统方案少刷新了一半的“端口 MAC 地址表”, 大大减少了环网拓扑发生变化时数据瞬间广播的影响, 提升了环网的性能。

### 3 仿真分析

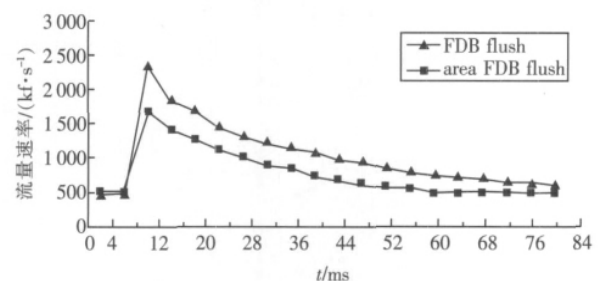
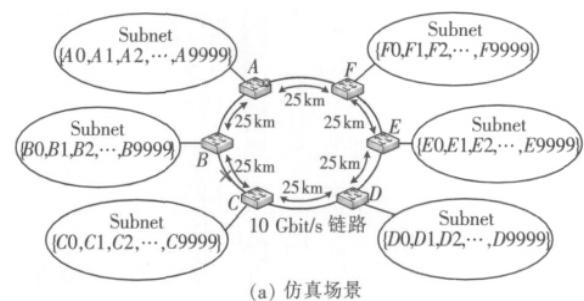
如图 6(a) 的仿真场景所示, 以太环网有 6 个节点, 其中节点 A 为控制节点, 链路 (F, A) 为环保护链路。节点间的链路带宽为 10 Gbit/s, 每个节点挂载 10 000 个客户端, 每个客户端能够产生和接收帧的平均速率为每秒 500 千帧(kf/s), 帧长服从均值为 1 000 bit 的负指数分布。链路的传播时延为 0.125 ms, 即相邻节点间的距离为 25 km。整个仿真时长为 100 ms, 仿真步长为 2 ms。

链路 (B, C) 在 10 ms 发生了故障, 节点 B 和节点 C 沿完好端口周期性地发送 SF 报文, 控制节点 A 收到 SF 报文后, 打开阻塞端口的数据报文的转发功能。环上的其它节点收到 SF 报文后, 将会引起节点的地址刷新。在传统的方案中, 节点会将所有的端口地址转发表全部删除, 而在区域地址刷新的方案中, 仅有一半的环上端口删除端口地址转发表。

图 6(b) 给出了基于区域地址刷新的保护方案与传统的地址刷新方案之间的性能比较。在传统的 FDB flush 方案中, 环上节点收到 SF 报文后, 删除整个地址转发表。随后, 由于到达数据帧的目的地址在转发表中找不到对应的转发条目, 节点以广播的方式转发数据帧。以图 6(b) 的 (A, B) 链路的 A→B 方向的通信为例, 保护倒换暂态期间的通信流量远

远高于稳定状态下的 500 kf/s, 并且流量速率在 12 ms 时达到最高值 2 410 kf/s, 保护倒换的暂态持续时间达到 46 ms。保护倒换暂态时的流量暴增对环网性能的影响是非常大的, 如果链路的带宽小于暴增的流量, 数据帧将在缓存中存储, 这进一步影响节点的地址学习速度, 从而拉长保护倒换暂态的时长, 环网在 50 ms 内很难收敛到稳定状态。

图 6(b) 中的区域地址刷新方案大大减少了不必要的地址刷新, 在保护倒换暂态期间, (A, B) 链路的 A→B 方向的通信流量暴增的数值大大降低。在 12 ms 时, 流量的峰值速率是 1 720 kf/s, 比传统的 FDB flush 方案降低了 690 kf/s。保护倒换的暂态持续时间达到 32 ms, 这一数值也比传统的 FDB flush 方案降低了 14 ms。因此, 区域地址刷新方案在性能上是远远优于传统的 FDB flush 方案。



(b) 区域地址刷新方案与传统地址刷新方案的比较

图 6 仿真场景与方案比较

### 4 结论

为了解决环网在保护倒换时出现的流量暴增问题, 本文提出了一种基于区域地址刷新的环网保护方案。实例分析表明, 区域地址刷新方案比传统方案少刷新了一半的“端口 MAC 地址表”。仿真分析进一步表明, 区域地址刷新大大减少了环网拓扑发生变化时数据瞬间广播的影响, 环网在暂态的收敛时间远远小于传统方案, 可以保证环网在 50ms 内完成快速倒换。另外, 区域地址刷新方案很好地兼容 ITU-T G. 8032 的节点架构和 APS 协议, 是一种可以迅速部署的保护方案。

## 参考文献:

- [1] ITU-T. SG15 WP3 Q9/15 wd02r3 ,Draft ITU-T Recommendation G.8032/Y.1344 version 2 [S]. 2008.
- [2] ITU-T. SG15 Q9/15 WD24 ,Multiple shared link support for G.8032 version 2 [S]. 2009.
- [3] ITU-T. SG15 Q9/15 WD25 ,FDB flush propagation for interconnected rings for G.8032 version 2 [S]. 2009.
- [4] ITU-T. SG15 Q9/15 WD25 ,Ring ID based FDB flush for interconnected rings in G.8032 version 2 [S]. 2009.
- [5] ITU-T. SG15 Q9/15 WD47 ,Ethernet ring protection mechanism by use of FDB flipping method [S]. 2007.
- [6] IM Jinsung ,RYOO J D ,KEVIN-RHEE J K. Managed FDB Algorithm and Protection in Ethernet Ring Topology [C]//Proc of COIN-ACOF. 2007.
- [7] ITU-T. SG15 Q9/15 WD48 ,Link capacity requirement comparison between FDB flush and FDB flip schemes [S]. 2007.
- [8] ITU-T. SG15 Q9 WD41 ,Managed FDB APS scheme for Ethernet ring protection [S]. 2007.
- [9] ITU-T. SG15 Q9/15 C278 ,FDB-delete scheme for fast protection switching in G.8032 Ethernet ring protection [S]. 2008.
- [10] ITU-T. SG15 Q9/15 WD33 ,Selective FDB advertisement to minimize traffic overshoot for G.8032 [S]. 2010.

## 作者简介:



王 斌(1970 -),男,江西九江人。南京邮电大学通信与信息工程学院副教授。2005 年获北京邮电大学工学博士学位。研究方向为低轨道卫星通信、LTE 移动通信、电信级以太网保护和高性能交换等方面。

王文翔(1966 -),男,江苏南京人。南京邮电大学通信与信息工程学院教授。研究方向为通信网与泛在技术。

(本文责任编辑:潘雪松)

(上接第 11 页)

## 作者简介:



何雪云(1978 -),女,安徽铜陵人。南京邮电大学通信与信息工程学院讲师,博士研究生。主要研究方向为宽带无线通信理论与技术。

宋荣方(1964 -),男,江苏武进人。南京邮电大学通信与信息工程学院教授,博士生导师。(见本刊 2011 年第 4 期第 56 页)

周克琴(1975 -),女,四川成都人。南京邮电大学通信与信息工程学院讲师,博士研究生。主要研究方向为宽带无线通信理论与技术。

(本文责任编辑:宋福明)