

弹性分组多环互连网络的跨环传输研究

张治中¹, 曾庆济², 雒江涛², 蒋 铭², 赵正福²

(1. 重庆邮电大学通信工程学院南岸区 重庆 400065; 2. 上海交通大学区域光纤通信网与新型光通信系统国家重点实验室 上海 徐汇区 200030)

【摘要】提出了一种新颖的交叉连接节点,它兼容弹性分组环标准节点的功能。多个弹性分组环通过交叉连接节点互连后,可构建弹性分组多环互连网络。为保证数据能可靠、高效地进行跨环传输,对基于单环架构的标准帧格式进行了扩展定义,并基于扩展的帧格式对交叉连接节点的体系结构、跨环帧转发算法进行了设计。研究表明,跨环数据能够可靠、高效地进行传输。

关键词 弹性分组环; 互连; 帧格式; MAC层参考模型; 跨环传输

中图分类号 TP393

文献标识码 A

Packets Cross-Forwarding for Interconnected Resilient Packet Rings

ZHANG Zhi-zhong^{1,2}, ZENG Qing-ji², LUO Jiang-tao², JIANG Ming², ZHAO Zheng-fu²

(1. Department of Communication Engineering, Chongqing University of Posts & Telecommunications Nan'an Chongqing 400065;

2. Key Lab of Advanced Optical Networking Technology, Shanghai Jiaotong University Xuhui Shanghai 200030)

Abstract This paper introduces a new kind of node, namely, RPR-X node, to interconnect multiple Resilient Packet Rings (RPR). To achieve packets cross transmission among RPR sub-networks, and at the same time to guarantee the cross forwarding algorithm to be compatible with the standard forwarding procedure, this paper presents the extended definitions of standard RPR frame, MAC layer reference model of RPR-X node, and the corresponding packet cross forwarding algorithm. Simulation results demonstrate that the proposed method performs well in terms of performance metrics such as network's throughput and end-to-end delay.

Key words resilient packet ring; interconnected; frame format; MAC layer reference model; cross transmission

1 问题描述

IEEE 802.17标准草案^[1]中定义了弹性分组环(Resilient Packet Ring, RPR)与其他802系列MAC层的桥接过程,它是在RPR数据帧的基础上进行扩展的,只支持数据帧的桥接。桥接的实现分基本桥接和增强型桥接两种^[1-3]。基本桥接不能兼容RPR环网的空间重用协议,它采用“Flooding”机制。在桥接过程中,环网上的所有节点均要复制数据帧,因而在环网中会产生很大的负载,造成节点处理的负担^[4]。增强型桥接尽管支持空间重用,也能够大幅度减少网络的负荷,但它要求环网上的节点保存所有远端节点的拓扑信息,同样会占用较多的存储资源^[2,4]。

目前,弹性分组环的帧格式和节点MAC层参考模型只能支持单环架构。因此,基于桥接技术将多个RPR连接起来构成多环互连网络时,RPR单环架构中的一系列技术优势(如小开销的数据转发^[5],自动拓扑发现功能^[6]等)将无法发挥作用。基于此,有必要研究新的RPR多环互连技术,本文在兼容RPR单环网络中的协议和技术规范条件下,较好地解决了数据的跨环转发问题,为将来构建系统级的RPR多环互连网络提供技术支撑。

2 标准帧格式的扩展定义

本文将已标准化的RPR单环网络称作RPR子网(由内环和外环组成),互连两个相邻子网的节点被称作RPR交叉连接(RPR-X)节点。它们除了支持标准的RPR传输外,还支持跨环传输。多环网络上的其他节点叫

收稿日期:2004-05-08

基金项目:重庆市教委自然科学基金资助项目(040504; KJ050504); 重庆市科委自然科学基金资助项目(CSTC2005BB2066)

作者简介:张治中(1972-),男,博士,教授,博士生导师,主要从事光通信网、宽带IP网络和通信测试技术方面的研究。

做RPR标准(RPR-S)节点,它们只能实现IEEE 802.17所定义的标准化传输功能,即只能支持RPR子网传输。图1给出了由这两种节点组成的RPR多环互连网络拓扑。

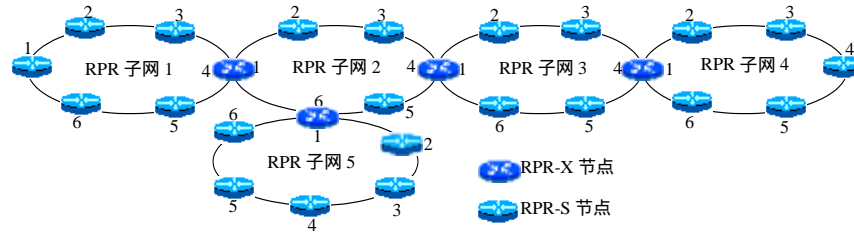


图1 RPR多环互连网络拓扑

在RPR标准草案中^[1],6字节长度的源、目的MAC地址至少有一个字节可以采用默认值。所以,本文对标准帧进行了扩展定义,以实现数据的跨环转发。扩展定义方法为:

(1) 标准帧的帧头中保留未用的 R 比特被扩展定义为跨环帧标记比特 R_{RX} ,用 $R_{RX}=1$ 表示跨环帧,用 $R_{RX}=0$ 表示标准帧,该比特仅能为RPR-X节点识别。RPR-S节点不会识别和处理该比特,它只是简单地把所有帧都当作标准帧来处理;(2) 目的MAC地址的最高字节被扩展定义为 $nttl_D$ 域,表示网络TTL递减值。跨环帧每跨越一个子网,其值将被减2。当RPR-X节点检测到跨环帧中 $nttl_D$ 的值为0时,该帧将被剥离;(3) 源MAC地址的最高字节被扩展定义为 $nttl_I$ 域,表示网络TTL递增值。跨环帧每跨越一个子网,其值将被加2。 $nttl_D$ 与 $nttl_I$ 之和为一个恒定值,它们均在帧初始化时被设定;(4) 源、目的MAC地址的最高字节被扩展定义后,它们剩余的5个字节在逻辑上被分为两部分:最低字节为逻辑域0(分别为 DA_0 和 SA_0),表示RPR子网中的节点地址;其余4个字节为逻辑域1(分别为 DA_1 和 SA_1),表示节点所属的RPR子网的网络地址;(5) 净负荷(Payload)与头部校验和(HEC)之间的可变长地址域中,顺序存放了跨环帧在传输过程中所经过的RPR-X节点地址;(6) 在标准RPR子网传输中,控制类型1/2/3都已经被定义了。为了保证与标准RPR子网兼容,跨环控制帧(Control Type)的值从4开始,依次为: $C_{Control\ Type}=4$ 为跨环自动拓扑发现查询控制帧; $C_{Control\ Type}=5$ 为跨环自动拓扑发现响应控制帧; $C_{Control\ Type}=6$ 为跨环保护倒换控制帧; $C_{Control\ Type}=7$ 为跨环维护管理(OAM)控制帧。

图2给出了经扩展定义后所得出的跨环帧结构。

Byte	MSB		Definition				LSB	
1	TTL							
1	RI	FE	FT(2b)	SC(2b)	WE	RX		
6	$nttl-D$		Destination MAC				DA_1	DA_0
6	$nttl-I$		Source MAC				SA_1	SA_0
1	TTL-Base							
1	EF	FF(2b)	PS	SO	Rev(3b)			
2	HEC							
2	Protocol Type							
1	Address_0							
1	Address_1							
n	⋮							
N	Payload							
4	FCS							

Byte	MSB		Definition				LSB	
1	TTL							
1	RI	FE	FT(2b)	SC(2b)	WE	RX		
6	$nttl-D$		Destination MAC				DA_1	DA_0
6	$nttl-I$		Source MAC				SA_1	SA_0
1	Control Version							
1	Control Type							
2	HEC							
1	Address_0							
1	Address_1							
1	Address_2							
n	⋮							
N	Control Payload							
4	FCS							

a. 跨环数据帧格式

b. 跨环控制帧格式

图2 RPR多环互连网络的跨环帧格式

根据上述扩展定义可知,节点中的数据如果仅仅面向本地RPR子网,则采用标准的帧格式,否则需采用跨环帧格式。RPR标准中还定义了一类帧,即公平性帧^[1-2,6],多环互连网络在进行跨环传输时,由于公平性控制可以由每个RPR子网独立完成,因此毋需扩展定义跨环公平性帧。

3 RPR-X节点的MAC层参考模型及跨环转发算法

RPR-X节点的MAC层参考模型是在RPR-S节点MAC层的基础上进行扩展后得到的,因此,其实现的功能兼容RPR-S节点。MAC层结构包括两部分:“左MAC”和“右MAC”。两者的通信过程由“交叉MAC端口”

进行。左、右MAC分属于两个相邻的RPR子网,分别拥有各自的MAC控制模块。MAC控制模块除了完成RPR标准草案中所定义的基本功能外,还支持跨环的控制,如跨环自动拓扑发现算法等。图3给出了RPR-X节点MAC层的参考模型。

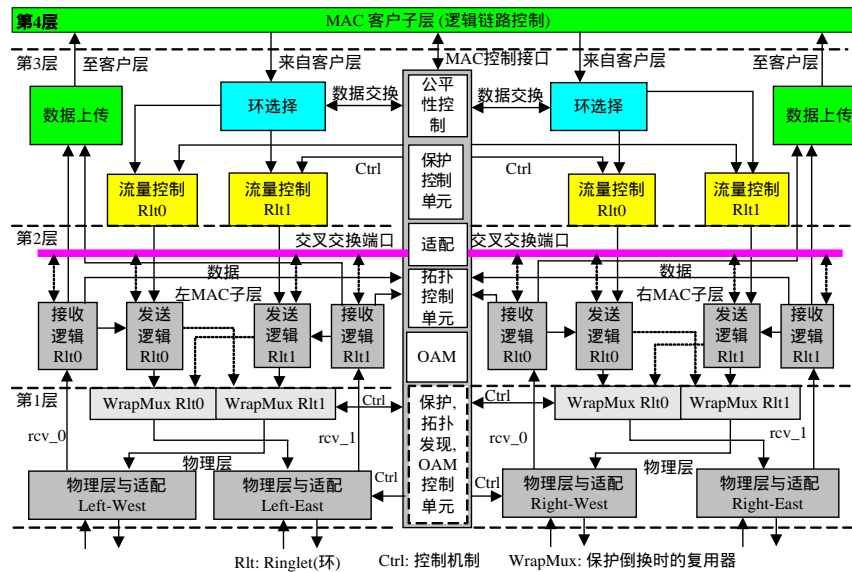


图3 RPR-X节点的MAC层参考模型

由图3可见,MAC层参考模型从下至上共由4个层次组成:

(1) 物理层及其适配子层:该层屏蔽了不同物理层间的差别,使RPR MAC子层的数据能在现有的物理层上传输,可与不同的物理层无缝兼容;(2) MAC数据子层:完成RPR MAC层的数据收发、故障保护时的倒换,以及左、右MAC间的跨环数据交互功能等;(3) MAC控制子层:完成MAC子层的控制功能,包括标准的、多环的自动拓扑发现控制,保护倒换控制,OAM(运行/维护/管理)控制,最优环路选择,以及MAC子层数据业务接入的流量控制等;(4) MAC客户子层:对来自网络层的数据进行RPR帧格式的封装,对各种不同的业务数据进行不同优先级适配,以及处理来自或者发往相邻网络的业务。当RPR子网中出现链路阻塞时,还要实现虚输出队列算法。该层还完成高优先级业务的承诺信息速率控制。

本文采用了多协议标记交换^[7]的显式路由思想来实现RPR-X节点对帧的跨环转发,算法步骤如下:

1) 当RPR-X节点当前的MAC从子网中接收到帧时,根据下述条件判断是否需要跨环传输:(1)若该帧不是来自于本节点的MAC客户层,则若 $R_{RX}=1$,且目的MAC地址域中的节点地址(DA₀)部分与本节点地址相同时;(2)若该帧来自于本节点的MAC客户层,且目的MAC地址域中的网络地址(DA₁)部分不等于本节点的网络地址时。如果条件(1)和(2)之一满足,转步骤2)。否则,执行标准的RPR MAC层转发算法,该帧在本地RPR子网中传输,转步骤4)。

2) 如果 $nttl_D=0$,剥离该帧(如果是控制帧,上传到MAC控制层;如果是数据帧,上传到MAC客户层),转步骤4);否则,转步骤3)。

3) 从该帧可变长地址域中取出下一跳节点地址,装配到目的MAC地址域。对 $nttl_D$ 减1,对 $nttl_I$ 加1。如果该帧来自于交叉MAC端口,则计算该帧在本地RPR子网的最优传输环路(即执行标准的RPR环路选择算法),设定帧头的TTL值,计算HEC值,区分优先级后存入转发缓冲区以等待续传。否则,即若该帧来自于本MAC的接收端口或客户层,则把处理完的帧通过交叉MAC端口转发到交叉MAC。转步骤4)。

4) 进入新的帧接收状态。

4 仿真研究

本文用ns-2仿真软件^[8]研究了图1所示互连网络的跨环传输特性。各节点间的光纤间距取为15 km,链路速率为2 Gb/s。仿真中假设了3个“Best Effort”类型的业务流:子网1中的节点1(Sub₁/Nd₁)在时刻0 s产生均

值为100 M/s、成指数分布的数据业务，目的地为Sub₄/Nd₄；Sub₄/Nd₅在时刻0.1 s产生均值为50 M/s、成指数分布的数据业务，目的地为Sub₁/Nd₂；Sub₅/Nd₅在时刻0.15 s产生均值为80 M/s、成指数分布的数据业务，目的地为Sub₄/Nd₄。仿真时间持续了0.3 s。

图4所示为Sub₃/Nd₄-Sub₄/Nd₁所构成的RPR-X节点的转发速率。图5统计了目的节点所接收业务的端到端平均时延。跨环转发算法可以保证跨环数据帧的收发和单环网络的收发过程一样，即采用最短路由和单播方式，相对于IEEE 802.17草案中的桥接技术来说，完全可以解决网络负荷严重，以及选路速度慢等方面的问题。

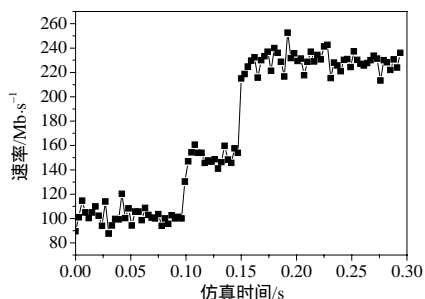


图4 节点(Sub₃/Nd₄-Sub₄/Nd₁)的转发速率

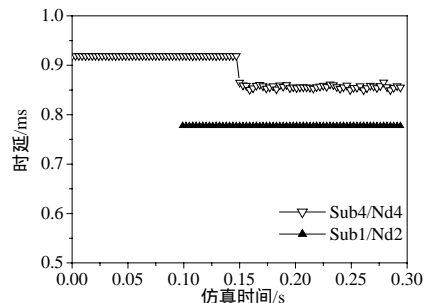


图5 目的节点所接收业务的端到端传输时延

5 结论

通过对RPR标准帧格式进行扩展定义，并基于此实现RPR-X节点的MAC层参考模型和跨环转发算法，能够克服桥接方式会带来严重的网络负荷，所有节点均要维护大量拓扑信息，以及选路速度慢等缺陷。更重要的是，可以在此基础上实现RPR自动拓扑发现功能，并继承RPR单环架构设计中的一系列技术优势，因而可以构建系统级的RPR多环互连网络。

参考文献

- [1] IEEE802.17 WorkGroup. RPR draft standard version 3.1[S]. IEEE draft, 2004.
- [2] Spadaro S, Pareta J S, Careglio D. Positioning of the RPR standard in contemporary operator environments[J]. IEEE Network, 2004, 2: 35-40.
- [3] RPR Alliance. A summary and overview of the IEEE 802.17 resilient packet ring standard[R/OL]. www.RPRAlliance.org, 2004-01-25.
- [4] Kvalbein A. Simulation results for enhanced vs. basic bridging[R/OL]. www.ieee802.org/17/documents/presentations/, 2002-09-05.
- [5] 蒋 铭, 曾庆济, 朱 栩, 等. 弹性分组环网的延时性能研究[J]. 光子学报, 2004, 33(1): 47-51.
- [6] Gambiroza V, Ping Yuan, Balzano L, et al. Design, analysis, and implementation of DVSR: A fair high-performance protocol for packet rings[J]. IEEE/ACM Trans. on Networking, 2004, 12(1): 85-102.
- [7] Rosen E. Multiprotocol label switching architecture[S]. RFC 3031, 2001.
- [8] The Network Simulator - ns-2[DB/OL]. www.isi.edu/nsnam/ns, 2003-11-07.

编辑 漆 蓉