

煤矿网络传输层平台的环间传输方法

张 林, 徐 钊, 刘 辉

(中国矿业大学 信息与电气工程学院, 江苏 徐州 221116)

摘要: 在分析煤矿通信技术发展需求的基础上, 讨论了作为数据传送载体的煤矿下一代网络传输层平台 MNGN-TLP 的网络拓扑结构及组成以及 MNGN 全局拓扑图谱的建立机制, 研究了多环互连的 MNGN-TLP 中的环间传输方法. 为了改善其跨环传输性能, 提出一种新的近似松散路由的跨环传输算法, 通过在数据帧中按倒序方式实时记录和修正当前分组到达目标结点必须经过的所有子环的环标识号, 将数据准确传送到目标结点. 在 NS2 环境中建立了 MNGN-TLP 跨环传输平台, 实现了改进的跨环传输算法. 结果表明: 采用该算法, 跨环传输的分组能够正确到达目标结点, 监测监控数据的跨环转发平均延时仅 $600 \mu\text{s}$, 语音数据的跨环转发平均延时为 6.40 ms , 满足煤矿安全生产的实时性要求.

关键词: 跨环传输; 煤矿下一代网络; 弹性分组环

中图分类号: TN 915.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1964(2010)06-0891-06

Inter-ring Transmission Method in Mine Network Transmission Layer Platform

ZHANG Lin, XU Zhao, LIU Hui

(School of Information and Electrical Engineering, China University of Mining & Technology,
Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

Abstract: Based on the development requirements of mine communication technology, the network topology and composition of mine next generation network-transmission layer platform (MNGN-TLP), as well as the formation of MNGN global topology pattern were discussed. The inter-ring transmission method of multi-ring connected MNGN-TLP was studied. In order to improve the inter-ring transmission performance, a novel semi-loose routing algorithm was designed for inter-ring transmission. When a data frame is in transmission, the sub-ring labels of all the must-passing sub-rings are recorded and modified in reverse order in the frame simultaneously, and reach destination successfully. The simulation platform for inter-ring transmission in MNGN-TLP platform was built up in NS2 environment for validation, with the proposed inter-ring transmission algorithm implemented. The results show that the packets transmitted among rings can reach the destination correctly with small delay. The average delay of forwarding supervision data is only $600 \mu\text{s}$ and the average delay of forwarding toning data is 6.4 ms , which can meet the requirement of mine safety manufacture.

Key words: inter-ring transmission, mine next generation network, resilient packet ring

目前煤矿井上、下的网络通常是相对独立, 自成体系. 煤矿井下, 各种语音、视频和监测监控系统

均自成体系, 单独敷设通信线缆建立传输通道的情况普遍存在, 尽管目前有工业以太网和无源光网络

收稿日期: 2010-01-22

基金项目: 中国矿业大学启航计划项目

作者简介: 张 林(1981-), 女, 江苏省海安县人, 讲师, 博士, 从事矿区通信网结构及相关技术方面的研究.

E-mail: laurenjie.zhang@gmail.com Tel: 13605213263

等方案,但系统的实时性、可靠性和利用率等问题依然存在;煤矿井上的电话网、计算机网等也仍是各自独立构成系统,在传输制式上互不兼容,形成了普遍的“信息孤岛”现象.在此背景下,文献[1]提出了建立多环互连的“煤矿下一代网络(MNGN)”,并将 RPR 技术作为煤矿下一代网络传输层平台(MNGN-TLP)的重要参考技术.目前,RPR 技术也已在某些煤矿实现了小规模的建设^[2-3].

RPR 技术存在着局限性,其最初的设计仅局限在纯环,跨环时必须终结,环间传输性能成为 RPR 技术应用于多环互连网络,尤其是对跨环传输存在较高要求的煤矿下一代网络的瓶颈.因此,在 MNGN-TLP 中采用 RPR 技术,必须加以相应的修正和改进,以实现高效率、高可靠性、低成本的跨环传输.2004 年 10 月 IEEE802.17 WG 出台《IEEE Standards 802.17a Media Access Control (MAC) Bridges Amendment 1: Bridging of IEEE 802.17》对之前给出的 RPR 标准 MAC 层协议给予补充,通过 MAC 层的桥接技术,实现分组的跨环传送^[4],该方法要求结点提供更多的存储资源;法国阿尔卡塔尔公司的米歇尔范塔纳申请的专利“在广域 RPR 网络中互连多个 RPR 环的方法”提出在互连的多个 RPR 环网中创建一个分级树,用来描述一个或多个分级级别的 RPR 环之间的互连关系,实现 RPR 环网的跨环传输^[5],该结点要求增大父环结点容量的无效占用,同时也增大了传输的延时;上海交通大学的赵正福等申请的专利“弹性分组环的多环互连传输方法”利用 IEEE 802.17 标准中给出的扩展帧格式定义了跨环数据帧和跨环控制帧以及 RPR-X 结点的双介质接入控制层的结构,用以改进 RPR 的跨环传输性能^[6],该方法中分组每跨过一个环,均需要额外增加两个字节的开销,当分组跨环级数高时需要增加大量额外的开销以描述跨环传输的路由.

本文提出一种新的近似松散显式路由技术,该技术基于环标识进行寻址,能够实现多环互连网络中数据的跨环传输.网络中每个环都拥有一个独一无二的环标识.对于一个需要跨环传输的数据帧来说,其传输过程中所要经过的每一个环的环标识均按逆序保存于数据帧的帧头中,以便于数据帧每经过一个环,便将相应的环标识从帧头中剥离,从而保证数据帧在传输的过程中实时地更新路由信息.基于上述思路,本文给出 MNGN-TLP 中跨环传输的数据帧的帧格式.该帧格式能够兼容标准的

RPR 帧格式.与 IEEE802.17b 所定义的桥接方案、专利“在广域 RPR 网络中互连多个 RPR 环的方法”及专利“弹性分组环的多环互连传输方法”相比,基于环标识寻址的跨环传输方法更多地考虑硬件上快速转发的实现以及网络层面上的鲁棒性,因而在获得更小延时性能的同时更具灵活性.

1 MNGN-TLP 网络拓扑及组成

1.1 MNGN-TLP 网络拓扑

煤矿企业的生产一般都是以矿井为单位,其纯环(单个环型)网络中结点的数量一般不会太大,基本形式是多环互连^[1,7].受煤矿地理环境以及通信需求的限制,MNGN-TLP 中各环之间均采用相切连接的方式进行互连.整个矿区管辖范围内各个矿井的局部环网与矿区地面主干环网相切,而这些煤矿井下的部分采区因监控结点众多,亦主要采用环型网络汇聚信息.网络基本拓扑结构见图 1.

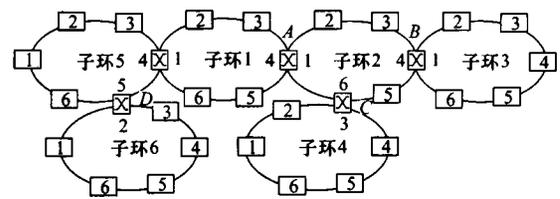


图 1 MNGN-TLP 拓扑结构
Fig. 1 Topology Structure of MNGN-TLP

1.2 MNGN-TLP 网络组成

为描述方便起见,本文给出如下定义.

定义 1 MNGN-TLP 多环网络中每个环型网络不分地理位置和重要程度,均称为子环.一个多环网络中的子环数多于 2,相互之间通过相切的方式互连.每个子环均被预先赋予一个小于 255 的数字作为环标识号,同一个多环网络中各个子环的环标识号不得相同.

定义 2 每个子环中有 2 类网络结点,即标准结点和交叉连接结点.交叉连接结点位于 2 个子环的相切处,起连接 2 个子环的作用.如图 1 所示.每个交叉结点包含 2 个 MAC 模块,分别处于相邻的两个子环中.每个子环中的每个网络结点均被预先赋予一个小于 127 的数字作为结点标识号,同一子环中各个结点的结点标识号不得相同.

定义 3 环网中处于网络边缘的子环称为末端环,作为多环的终结,其上有且仅有一个交叉连接结点.

根据定义可见,图 1 中有 6 个子环,环标识号为 1~6,其中子环 3,4,6 是末端环.子环 2 中有 6 个结点,其中结点 1,4,6 为交叉连接结点.

显而易见,组合(环标识号,结点标识号)可惟一确定 MNGN-TLP 环网中每个结点的拓扑位置,如图 1,组合(m, x)即代表了子环 m 中的结点 x 。在子环相切处部署的交叉连接结点分别在 2 个子环中获得标识号,即一个交叉连接结点有 2 个不同或者相同的结点标识号。

要在不同的子环中的 2 个结点之间传输数据,首先需要建立其间的路由。因此,跨环传输数据的路由的建立必须以 MNGN-TLP 全局拓扑图谱的建立为基础。

2 MNGN-TLP 全局拓扑图谱的建立

MNGN-TLP 的全局拓扑图谱由其中所有子环的拓扑图谱经过组合整理获得。因此,在全局拓扑发现发起之前,网络中每个子环均需完成子环内的本地拓扑发现,已建立相应子环内的本地拓扑图谱。在各子环内本地拓扑图谱已经建立完成之后,各末端环将自动发起全局拓扑发现过程。末端环将向其相邻的各子环发出全局拓扑发现的命令,该命令将被途径的各个子环更新、转发,直至到达另一个末端环。每个子环均要求响应该种全局拓扑发现的命令;当某子环中的交叉结点收到该全局拓扑发现命令后,将该子环的本地拓扑信息追加至全局拓扑图谱记录表中,意即,各结点上存储的全局拓扑图谱的记录在每个全局拓扑发现命令的到达时进行更新。交叉结点的 2 个 MAC 模块均需保存全局拓扑图谱信息。

2.1 跨环自动拓扑发现链表

MNGN-TLP 的全局拓扑图谱是由网络中交叉结点的 2 个 MAC 模块来维护的。如图 1 中,交叉结点 A 将会存储两套自动拓扑发现链表,每套自动拓扑发现链表即存储相应 MAC 模块所在子环的拓扑信息。表 1 给出交叉结点 A 处于子环 2 中的那个 MAC 模块存储的自动拓扑发现链表。

表 1 交叉连接结点 A 在子环 2 中 MAC 对应的跨环自动拓扑状态链

Table 1 Automatic topology discovery chain of the node A MAC in the sub-ring 2

结点标识号	1		
环 0 上的跳数	0	3	5
环 1 上的跳数	0	3	1
当前 MAC	00-10-A4 -97-A8-DE	00-10-A4 -97-A8-AC	00-10-A4 -97-A8-AB
背后 MAC	00-10-A4 -97-A8-EF	00-10-A4 -97-A8-BD	00-10-A4 -97-A8-BC
背后环标识	1	3	4

MNGN-TLP 全局拓扑图谱是由各个子环拓扑状态统计段依次排列构成的,这样的设计使得拓

扑图谱的更新操作相对简单。表 2 给出图 1 中子环 1 的拓扑记录。

表 2 跨环自动拓扑发现状态链表中有关子环 1 的记录
Table 2 Record of first sub-network in inter-ring automatic topology discovery status chain

环标识号	1			
下一子环记录偏移	33			
子环规模	4			
结点标识号	1	2	3	6
当前 MAC	00-10 -A4-97 -A8-CE	00-10 -A4-97 -A8-AD	00-10 -A4-97 -A9-AB	00-10 -A4-97 -A9-CB

跨环自动拓扑发现状态链表中每个子环的拓扑状态统计包括如下内容:

- 1) 环标识号:1 字节,表示相应的子环拓扑状态统计段的记录对应子环的环标识号;
- 2) 下一子环拓扑状态统计段偏移:1 字节,表示从当前偏移指向下一个新的子环拓扑状态统计段的偏移量,目的是为了使网络整体拓扑图中各个子环拓扑状态统计段都能够独立更新,同时便于系统迅速地指向链表中下一子环拓扑状态统计段;
- 3) 子环规模:1 字节,表示该子环中所包含的标准结点的个数;
- 4) 结点标识号:1 字节,表示待描述结点的结点标识号;
- 5) 当前 MAC:6 字节,表示当前“结点标识号”所指向的结点的 MAC 地址。

这里仍以图 1 中多环互连网络中的子环 1 为例加以说明。可以看出,子环 1 中有标准结点 4 个,因而“子环规模”字段取值为 4。相应“结点标识号”对应于其“当前 MAC”分别给予记录,从而可以算出“下一子环拓扑状态统计段偏移”字段取值应为 33。

2.2 跨环自动拓扑发现帧格式

全局拓扑发现的命令通过跨环自动拓扑发现帧传递。跨环自动拓扑发现状态链表中记录的状态信息同时需要作为相应子环内拓扑图案的描述而用于完成各子环间网络整体拓扑图案的建立、维护与更新。简化起见,MNGN 跨环自动拓扑发现控制帧的负载亦采用跨环自动拓扑发现状态链表的结构定义,如图 2 所示。

该控制帧仅在子环内部传输,一旦到达交叉连接结点即被取下并且重新成帧。重新成帧时,交叉连接结点需要将本地维护的跨环自动拓扑发现状态链表与该控制帧中的拓扑状态记录进行比对,通过两者的比对,即可判断前后网络的拓扑状态是否

完整一致。

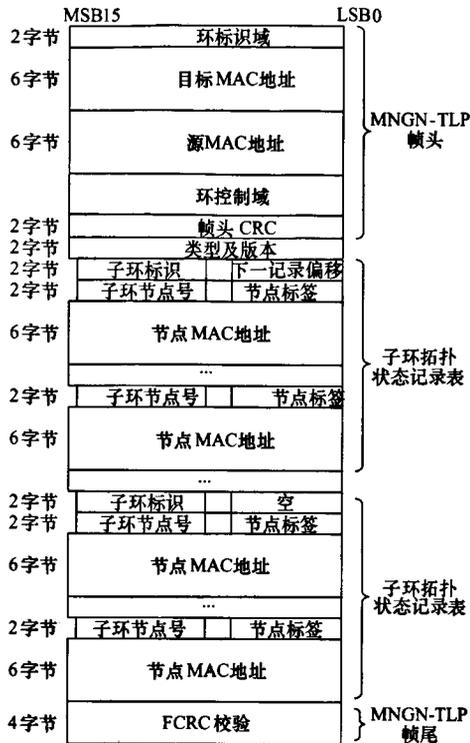


图 2 MNGN-TLP 跨环自动拓扑发现帧格式
Fig. 2 MNGN-TLP inter-ring automatic topology discovery frame format

3 MNGN-TLP 中的跨环传输方法

3.1 MNGN-TLP 环标识路由的跨环传输帧格式

本文在 RPR 标准帧的基础上加以改进,并用于 MNGN-TLP 中的跨环传输^[8-9]。原标准 RPR 帧中定义的 8 比特“TTL”字段的最高比特扩展定义为分组是否跨环传输的指示 XI,对于每个结点,其上经过的每个分组的首比特即标识着该分组的结点是否在环内,若该比特为‘0’,相应的分组无需跨环传输;若该比特为‘1’,各普通结点可以不再对该分组作任何处理,直接直通发送,非常便于硬件实现,在减小环内各标准结点负荷的同时,还能够提高传输的性能。图 3 给出标准 RPR 帧的环控制字段和 MNGN-TLP 的环控制字段。

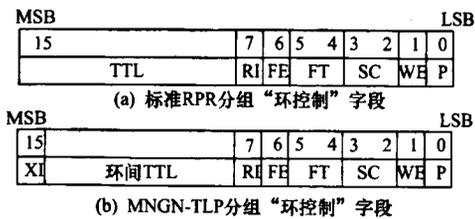


图 3 “环控制”字段改进

Fig. 3 Redefinition of “ring control” field in MNGN-TLP

为了有效提高 MNGN-TLP 的跨环传输性能,更好地满足矿区跨环传输流量大的通信需求,本文

提出对标准 RPR 帧头进一步加以扩展,作出出,如图 4 所示。

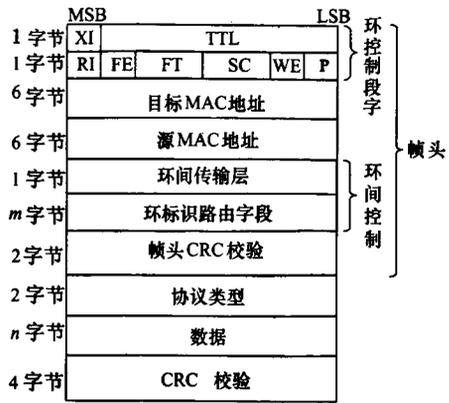


图 4 跨环传输帧格式
Fig. 4 inter-ring frame format

“跨环控制”字段包括“跨环级数”和“环标识路由”两部分,分别记录数据帧由源结点到目的结点跨过子环的次数和子环的标识号。“跨环级数”也可以理解为数据帧的子环间生存时间,每跨过一个子环,该数值减一,若为‘0’后仍不能到达目的子环,即作为无效帧丢弃,避免了数据帧在子环间发生无限循环。

“环标识路由”字段存放的环标识号按倒序排列,以便跨环传输时逐环剥离已通过的子环的标识号。

3.2 近似松散路由由技术实现跨环传输

“环标识路由”字段记录着该分组要达到目标结点需要经过的所有子环的环标识号,这些环标识号按倒序方式排列,以便跨环传输时逐环剥离已通过的子环的标识号,当分组到达目的结点所在子环时,扩展帧的跨环控制部分将全部被剥离,分组即可恢复为 RPR 标准帧格式。从而跨环帧在环内传输时兼容标准 RPR 帧结构^[10-11]。

仍以图 1 为例,设数据帧从子环 5 中的结点 6 入环,需要传送至子环 4 中的结点 5,其入环时的初始帧格式首部如图 4 所示。其中, XI=1, TTL=2。数据帧的传输需要跨过 3 个环(经过 3 个交叉连接结点跨环转发),故“跨环级数”为 3;“环标识路由”是(子环 1)→(子环 2)→(子环 4),共 3 字节,按倒序从上到下排列为 4, 2, 1。在传输过程中,每跨过一个环,“TTL”值和“跨环控制”字段就要改变一次。当该数据帧到达子环 4 后,将清空“跨环控制”字段,并置 XI=0,同时根据目的 MAC 地址,确定 RI=0, TTL=1,数据帧在格式上与 RPR 标准帧完全相同,最终被顺利传送至目的结点。数据帧传输进入各子环时,其首部的变化如图 5 所示。



图 5 跨环传输帧在进入各子环时首部的变化
Fig. 5 Changing of frame head along with each must-passing ring

4 结果与讨论

通过在 NS2 中实现了 NGN-TLP, 同时根据

cbr: 1500 字节; 1 ms; 子环 I0 节点到子环 II2 节点 左MAC 右MAC Exp: 512 字节; 3 ms; 子环 II0 节点到子环 I2 节点

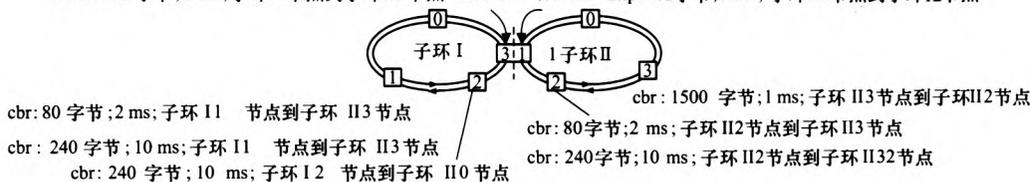
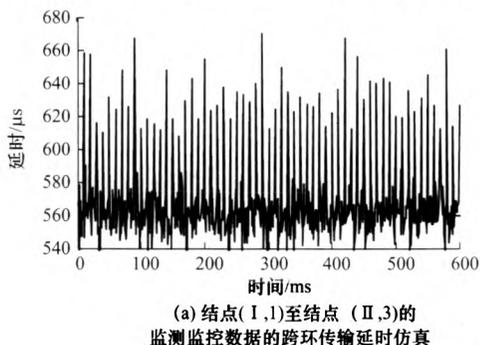


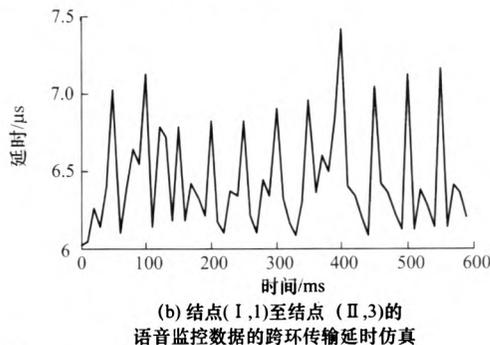
图 6 MNGN-TLP 跨环传输延时性能仿真平台
Fig. 6 Simulation platform of MNGN-TLP inter-ring transmission delay

通过实现本文所提出的“基于环标识路由寻址的跨环传输方法”, 得到如图 7 所示的仿真结果. 图

MNGN-TLP 中流量的特征建立业务模型, 模拟仿真平台中的各种业务流量, 并使 MNGN-TLP 处于满载工作状态运行 100 min, 如图 6 中所示.



(a) 结点 (I,1) 至结点 (II,3) 的监测监控数据的跨环传输延时仿真



(b) 结点 (I,1) 至结点 (II,3) 的语音监控数据的跨环传输延时仿真

图 7 仿真结果

Fig. 7 Simulation result

从上述仿真结果可知, 即使在 MNGN-TLP 中交叉连接结点工作于满负载状态时, 监测监控数据的跨环转发平均延时也仅为 600 μ s, 语音数据的跨环转发平均延时则为 6.4 ms, 完全能够满足煤矿安全生产的实时性要求.

5 结论

1) 本文提出一种于煤矿网络传输层平台的环间传输方法, 通过建立煤矿网络的全局拓扑图谱, 采用一种新的近似松散显式路由算法, 于利用网络中的子环标识实现寻址, 在多环互连的煤矿网络中实现数据的跨环传输.

2) 该算法能够有效地解决标准 RPR 网络中数据传输跨环必须终结, 而无法直接应用于建立煤

矿下一代网络的缺点. 同时, 该算法的设计更有利于硬件上快速转发的实现, 从而有助于保证环间传输的延时性能.

3) 仿真实验结果表明, 该方法传输监测监控数据和语音数据完全满足煤矿安全生产的实时性要求, 可作为煤矿网络传输层平台的环间传输方法.

矿下一代网络的缺点. 同时, 该算法的设计更有利于硬件上快速转发的实现, 从而有助于保证环间传输的延时性能.

3) 仿真实验结果表明, 该方法传输监测监控数据和语音数据完全满足煤矿安全生产的实时性要求, 可作为煤矿网络传输层平台的环间传输方法.

参考文献:

[1] 张 林. 矿区下一代网络体系结构和传输层关键技术研究[D]. 徐州: 中国矿业大学信息与电气工程学院, 2007.
[2] 苏玉勤, 刘东林. RPR 技术在潞安集团宽带 ADSL 网络优化中的应用研究[J]. 煤, 2009, 18(6): 57-58, 92.

- SU Yu-qin, LIU Dong-lin. Application of RPR technology in broadband ADSL networks optimizing of Lu'an group[J]. Coal, 2009, 18(6): 57-58, 92.
- [3] 戴平. RPR 技术在兖矿集团 IP 宽带城域网中的应用[J]. 山东煤炭科技, 2006(2): 4-6.
- DAI Ping. Application of RPR technology in IP wide band city area network in Yanzhou uineral group[J]. Shandong Coal Science and Technology, 2006(2): 4-6.
- [4] IEEE 802.17 Resilient Packet Ring Working Group. IEEE standard for local and metropolitan area networks: media access control (MAC) bridges amendment 1: bridging of IEEE 802.17 [EB/OL]. [2010-01-12] <http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=9376>.
- [5] 米歇尔范塔纳, 伊塔洛布斯, 皮特罗杰兰迪, 等. 在广域网 RPR 网络中互连多个 RPR 环的方法: 中国, 1428979A[P]. 2003-07-09.
- [6] 赵正福, 张治中, 曾庆济, 等. 弹性分组环网的多环互连传输方法: 中国, 1547362A[P]. 2004-11-17.
- [7] ZHANG Lin, XU Zhao, YUAN Wei-chen. Study on key technology of digital mine integrated transmission platform[C]//LEE Soo-young. IEEE International Conference on Information Acquisition. Korea: IEEE, 2007: 75-78.
- [8] 陶智勇, 张继军, 包立明, 等. 弹性分组环[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2003.
- [9] IEEE 802.17 Resilient Packet Ring Working Group. IEEE standard for information technology-telecommunications and information exchange between systems-local and metropolitan area networks-specific requirements-part 17: resilient packet ring (RPR) access method and physical layer specifications [EB/OL]. [2010-01-12] <http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=9310>.
- [10] REUVEN C, YORAM O, ADRIAN S. New label-based source routing for multi-ring networks[J]. IEEE/ACM Transaction on Networking, 1995, 3(3): 1-328.
- [11] 徐钊, 张林, 吴建新, 等. 基于环标识路由的弹性分组环多环互连传输方法: 中国, 200710019927[P]. 2009-01-09.

(责任编辑 姚志昌)