

## 弹性分组环保护倒换策略的研究

柳立峰 韩冰 张雷 程时端

(北京邮电大学网络与交换国家重点实验室 北京 100876)

**摘要:** 保护倒换是弹性分组环中的一项关键技术,目前 IEEE802.17 草案中的保护倒换策略只能够提供小于 50ms 的保护倒换时间,但却无法在保护倒换发生后保证实时业务的服务质量。为解决此问题,针对 RPR MAC 层的两种结构模式——单队列和双队列模式,我们制定了两种不同的保护倒换策略并对它们进行了性能分析。仿真结果表明,这些策略能在保护倒换发生后很好地确保实时业务的服务质量。

**关键词:** 弹性分组环, 保护倒换, 故障环, 倒换环

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2005)06-0973-05

## The Study of Protection Switch Schemes in Resilient Packet Ring

Liu Li-feng Han Bin Zhang Lei Cheng Shi-duan

(State Key Lab. of Networking and Switching, Beijing University of Posts & Telecommunications, Beijing 100876, China)

**Abstract** Protection switching is a key technique in Resilient Packet Ring(RPR). Although current protection switching scheme defined in IEEE802.17 draft can provide sub-50ms protection switching time, it can not ensure QoS of real time service. To solve this problem, two new protection switching schemes are presented in this paper. These two schemes are respectively suitable for the two structures of RPR MAC: single-queue MAC and dual-queue MAC. The performances of these two schemes are also analyzed in this paper. Simulation results show that these schemes can ensure QoS of real-time service when protection switching occurs.

**Key words** Resilient Packet Ring(RPR), Protection switching, Failure ring, Switching ring

### 1 引言

IEEE802.17 弹性分组环(Resilient Packet Ring, RPR)是一种基于包交换的城域网 MAC 层技术。它的拓扑采用双环——外环和内环连接的结构,但不同于传统的 FDDI,Token Ring 技术需要引入令牌机制来决定包发送的顺序<sup>[1, 2]</sup>,而是采用空间重用技术<sup>[3]</sup>,并在目的站点剥离传送数据包,从而提高了带宽的利用率。图 1 给出了 RPR 结构的示意图。

由于 RPR 基于包交换而非电路交换技术,使它比 SDH 在资源分配上更加灵活并且能够支持不同优先级的业务。它同时具备小于 50ms 的保护倒换时间。保护倒换是指当业务流途经的链路发生故障而不可用时,必须改变业务流的传输

路径使它能够避开故障链路而正确到达目的地。目前存在两种保护倒换技术:转向方式(steering)<sup>[3]</sup>与环绕方式(wrapping)。转向方式需要检测到链路故障的站点将一个保护倒换消息发送给环上其他站点。而其他收到此消息的站点将更新自己的拓扑数据库<sup>[4]</sup>,待拓扑数据库更新完毕后,站点将直接发送业务流到另外一个方向的无故障环路上。而在拓扑数据库更新完毕之前站点仍将在有故障的环路上发送数据,这样会导致丢包。而环绕方式不需要发送保护倒换消息,其他站点也不需要维护拓扑数据库,即其他站点对于故障的发生是透明的。当业务流经过检测到链路故障的站点时,该站点将这些业务流切换到另外一个方向的无故障环路上从而避开故障链路。由于环绕方式的丢包率远小于转向方式,因此本文只对环绕方式进行研究,图 2 是链路发生故障前后采用环绕方式的业务流传输路径的变化。目前保护倒换的研究工作主要集中在保护倒换的故障优先级<sup>[4]</sup>以及保护倒换与拓扑发现技术<sup>[4]</sup>的交互上,但对于不同的倒换环绕策略

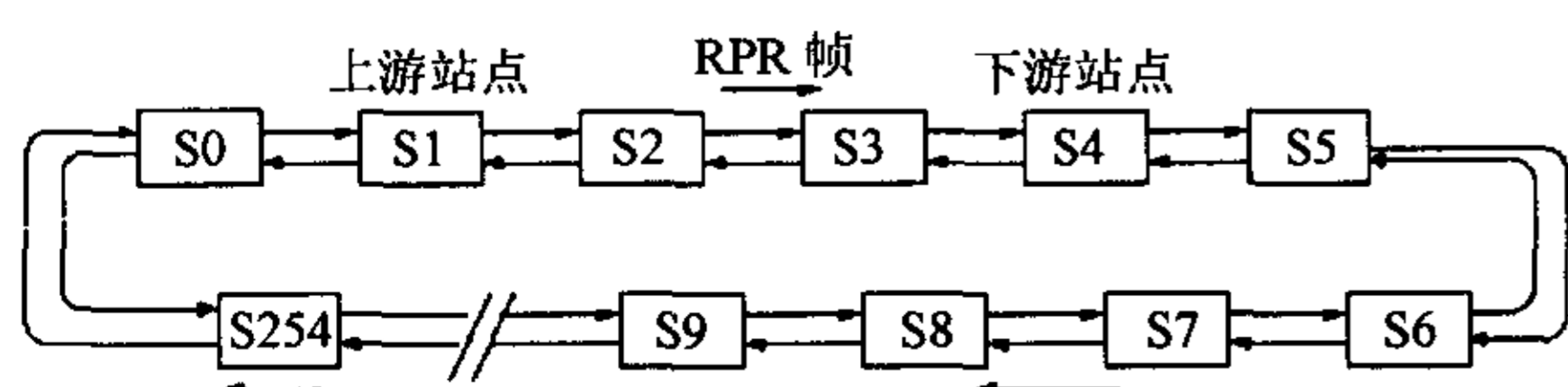


图 1 RPR 结构示意图

对环路上已有业务流造成的影响和发生保护倒换的业务流的服务质量保障问题却很少提及。本文将对这些问题展开研究。本文的组织结构如下：第2节对保护倒换策略的概念和基本原则作一个概述，第3节和第4节分别对单队列模式和双队列模式下的保护倒换策略进行分析和仿真实验，最后给出了总结和未来的工作。

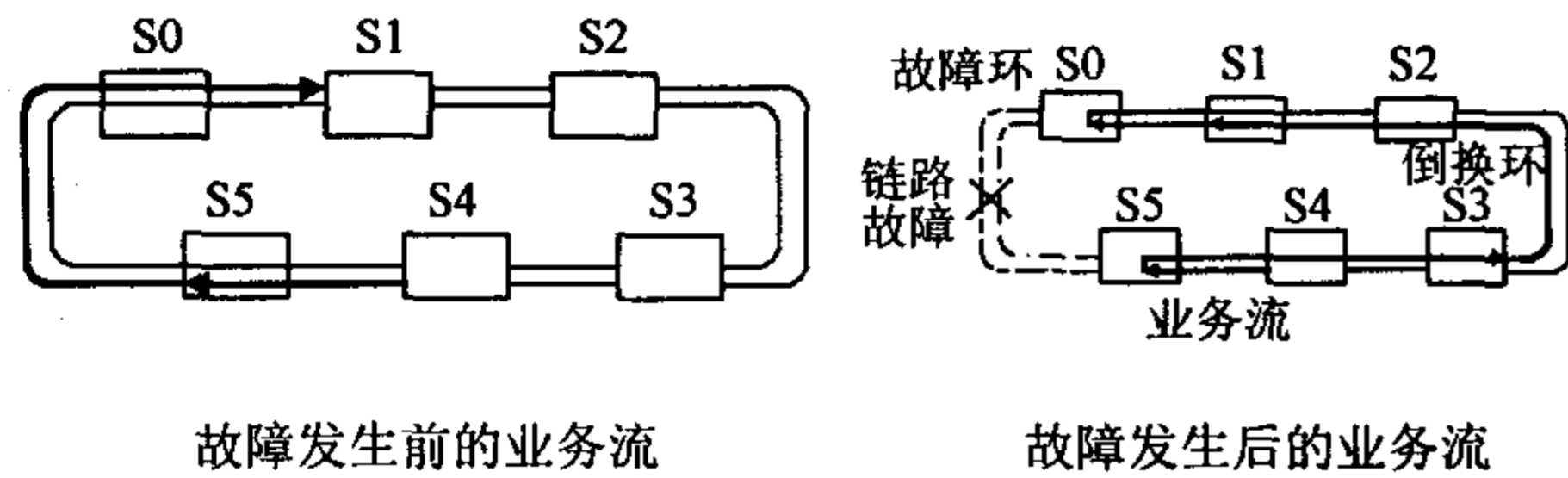


图2 链路故障发生前后业务流传输路径的变化

## 2 合理的保护倒换策略

在基于环绕方式的保护倒换发生后，检测到链路故障的站点(图2中为站点S0与S5)直接将途经故障链路的业务流(图2中为加粗的方向线)切换到另外一个方向的无故障环上，我们称这个环为倒换环，而存在故障链路的环为故障环。当故障环切换过来的流量较大而导致倒换环发生拥塞时，不能对倒换环自身的实时业务流造成影响，同时故障环上的实时业务流也需要尽量确保它的服务质量不会因为保护倒换的发生而严重劣化。在正常情况下，RPR对于实时业务(高优先级)的服务质量保证是通过带宽预留来实现的<sup>[5]</sup>。但当保护倒换发生时，却不能在倒换环上为故障环的实时业务流预留带宽来确保其服务质量。这是因为首先无法预测需要预留多少带宽给故障环上的实时业务流，其次假如不发生链路故障，则这部分预留的带宽因为不能被倒换环上的站点使用而浪费。所以必须在不预留带宽给故障环上的实时业务流的前提下，研究合理的保护倒换策略，来达到既不影响倒换环自身的实时业务流，同时又能给故障环的实时业务流提供必要的服务质量保证。为此我们制定了一个保护倒换原则：

- (1) 由故障环切换到倒换环上的实时业务流可以完全抢占倒换环自身的非实时业务流的带宽。
- (2) 由故障环切换到倒换环上的非实时业务流可以部分抢占倒换环自身非实时业务流的带宽。
- (3) 倒换环自身的实时业务流的带宽不能被任何业务流所抢占。

制定此原则的目标就是要在保护倒换发生时尽量确保实时业务流的服务质量。根据这个原则我们规定了故障环与倒换环上的实时与非实时业务流的服务优先级：

倒换环实时业务流 > 故障环实时业务流 >  
故障环非实时业务流 > 倒换环非实时业务流

我们称能实现上述原则和服务优先级的保护倒换策略为合理的保护倒换策略。在RPR的MAC层中，数据通路子层(data path)对位于不同路径中的业务流调度输出的顺序是不同的，因此业务流的优先级可以通过进入不同的路径来实现<sup>[6]</sup>。图3是RPR MAC层的结构示意图，上边为单队列模式，下边为双队列模式。单队列模式的主要路径包括：PTQ(Primary Transit Queue)和本地始发队列(stage queue)。双队列模式的主要路径包括：PTQ，本地始发队列(stage queue)以及STQ(Secondary Transit Queue)。

在单队列模式中PTQ的调度优先级高于stage queue。双队列模式中PTQ的调度优先级高于stage queue，stage queue的调度优先级又高于STQ。基于RPR的这种调度机制，当保护倒换发生时，合理的保护倒换策略可以通过将故障环上的不同优先级的业务流切换进入倒换环上的不同路径来实现。图4是业务流在故障站点(如图2中的S0和S5)内部发生保护倒换的示意图，图中业务流经过故障环的data path后切换到倒换环上，再经过倒换环的data path后在倒换环上传输，整个构成一个环绕(wrapping)过程。在下面的讨论中我们将具体分析不同结构模式下的保护倒换策略，并通过仿真加以验证。

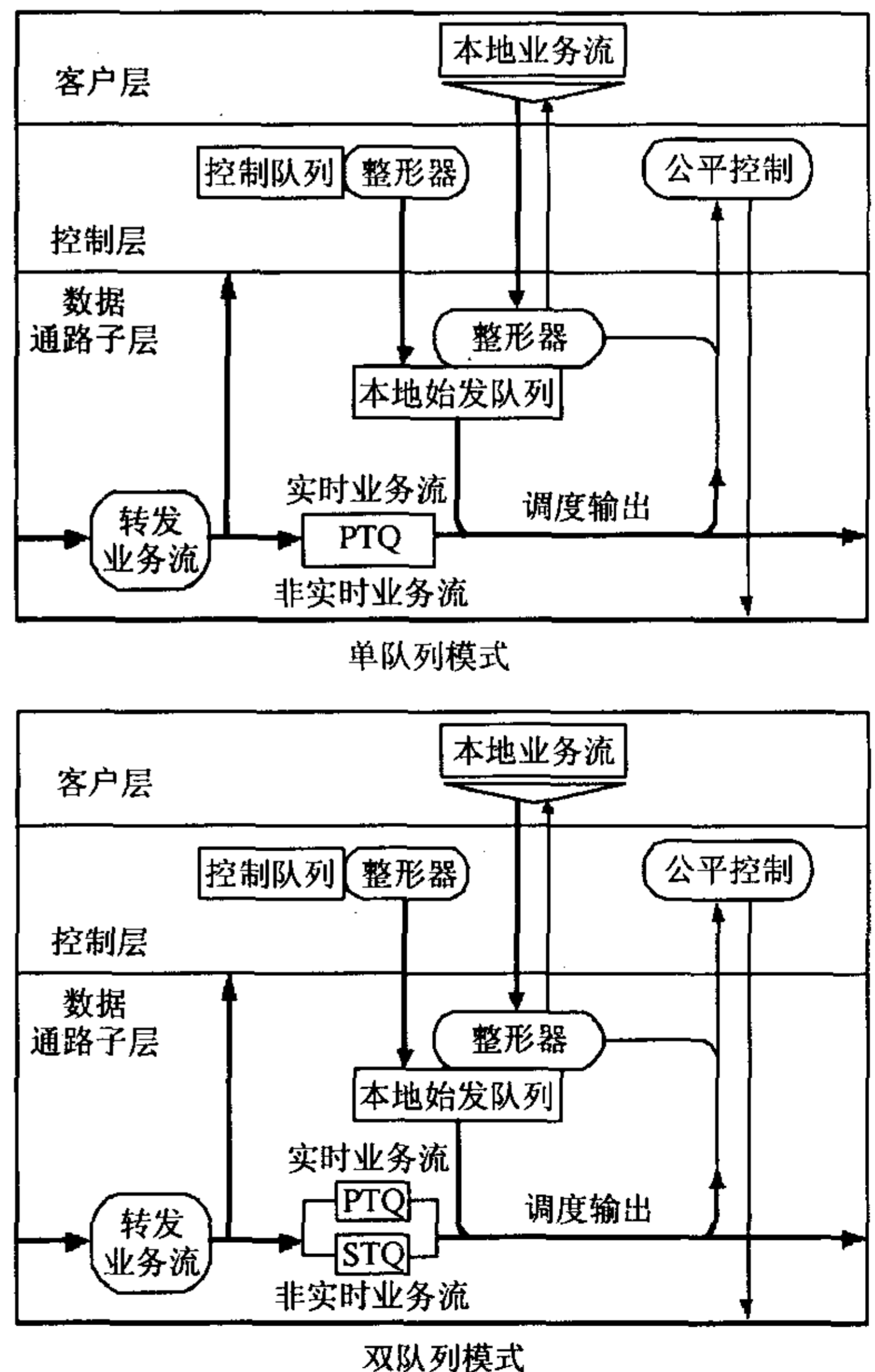


图3 RPR MAC层结构示意图

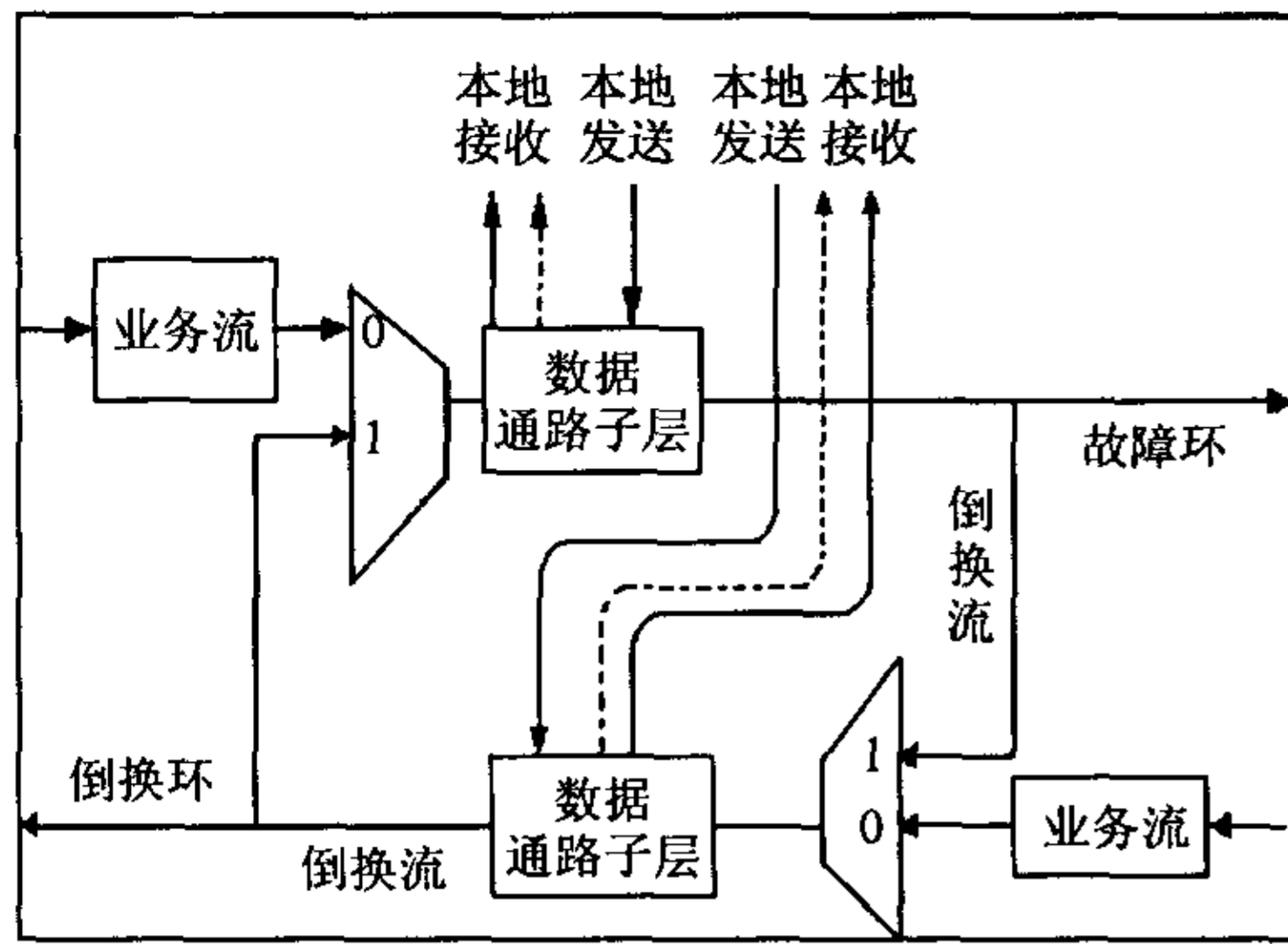


图 4 业务流在故障站点内部发生保护倒换

### 3 单队列模式下的保护倒换策略研究

在单队列模式下发生保护倒换时，由于只有一个转发队列 PTQ，所以基本的保护倒换策略只能是将故障环上的业务流都切换到倒换环上站点的 PTQ 中。

基本的保护倒换策略分析：假设某一时刻故障环发生保护倒换，而此时倒换环自身已经有站点在发送实时业务流，这些实时业务流将进入到站点的 stage queue 中，而故障环上的业务流则切换进入站点的 PTQ 中，故障环切换到倒换环上的业务流被称为倒换流。由于单队列模式下 PTQ 的调度优先级高于 stage queue，所以倒换流优先被调度输出，因此 stage queue 中的实时业务流受到 PTQ 中的倒换流抑制，这与上一节规定的保护倒换原则(3)相违背，即实时业务流的带宽被故障环切换过来的业务流所抢占。仿真实验 1 验证了这种结果。

为了在单队列模式下能够遵循保护倒换原则，同时不破坏现有的 data path 调度优先级，我们提出了一种新的保护倒换策略，即在 data path 中增加额外的转发队列——环绕队列 (wrap queue)，倒换流全部进入此环绕队列中。根据上一节所提出的保护倒换原则和服务优先级，将 data path 中不同路径的调度优先级按如下顺序排列：

PTQ > stage queue 中的实时业务 > wrap queue > stage queue 中的非实时业务

新保护倒换策略分析：由于 wrap queue 的调度优先级低于 PTQ 和 stage queue 中的实时业务流，因此倒换流不会影响到倒换环自身的实时业务流的调度输出；由于 wrap queue 的调度优先级高于 stage queue 中的非实时业务流，因此倒换流可以获得比 stage queue 中倒换环自身的非实时业务流更优先的调度输出。这完全符合保护倒换原则。而且也不违反 data path 中已有的调度优先级。仿真实验 2, 3 的仿真结果可以验证此策略是单队列模式下一种比较理想的保护倒换策略。新增的转发队列 wrap queue 的队列长度一般应设为 PTQ 长度的整数倍。

仿真验证：我们使用仿真工具 OPNET 对保护倒换策略进行仿真。仿真拓扑见图 5，16 个 RPR 站点组成双环。链路速率为 10Gbps，PTQ 的长度为 256kbyte，而 STQ 与 wrap queue 的长度为 1Mbyte，业务流特性为泊松流。4 号站点与 5 号站点之间的链路在 0.06s 发生故障，外环成为故障环，内环成为倒换环。

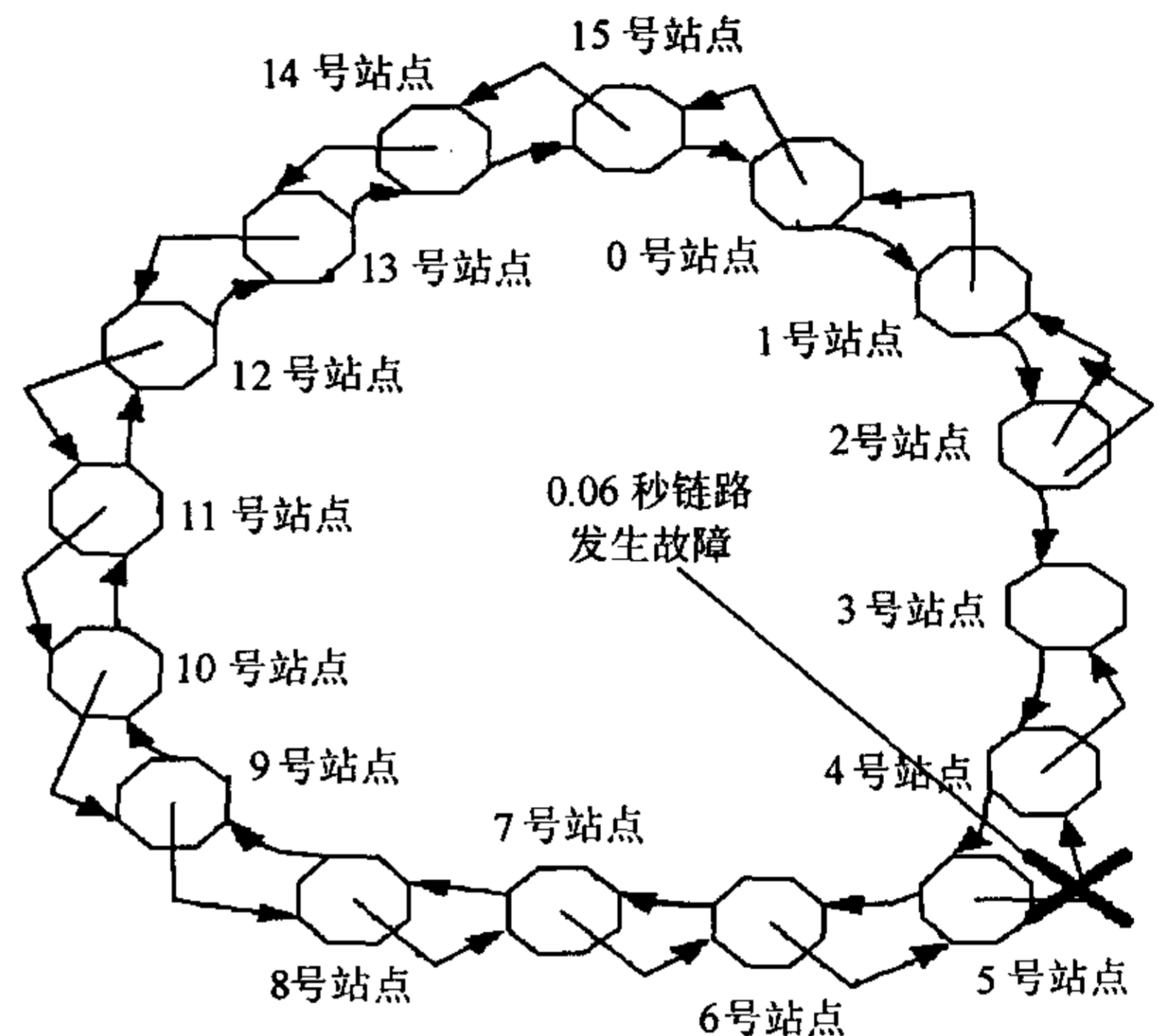


图 5 仿真拓扑图

仿真实验 1 基本的保护倒换策略。1—10 号共 10 个站点都在 RPR 的外环上发送平均速率为 1.5Gbps 的非实时业务流到目的地 15 号站点，站点 9—14 共 6 个站点都在 RPR 的内环上发送平均速率为 1.0Gbps 的实时业务流到目的地 15 号站点。当链路发生故障时，外环上所有途经故障链路去往 15 号站点的业务流都要被 5 号站点倒换到内环上，导致内环发生拥塞。由于在基本的保护倒换策略下倒换流获得最优先的调度输出，因此内环上的实时业务流将受到抑制。图 6 显示了 6 号站点和 12 号站点在发生保护倒换前后的流量变化曲线。12 号站点发出的实时业务流在 0.06s (链路故障发生时刻)后流量受到严重抑制，而 6 号站点发出的非实时业务流由于抢占了倒换环上的实时业务流的带宽所以流量基本未发生变化。

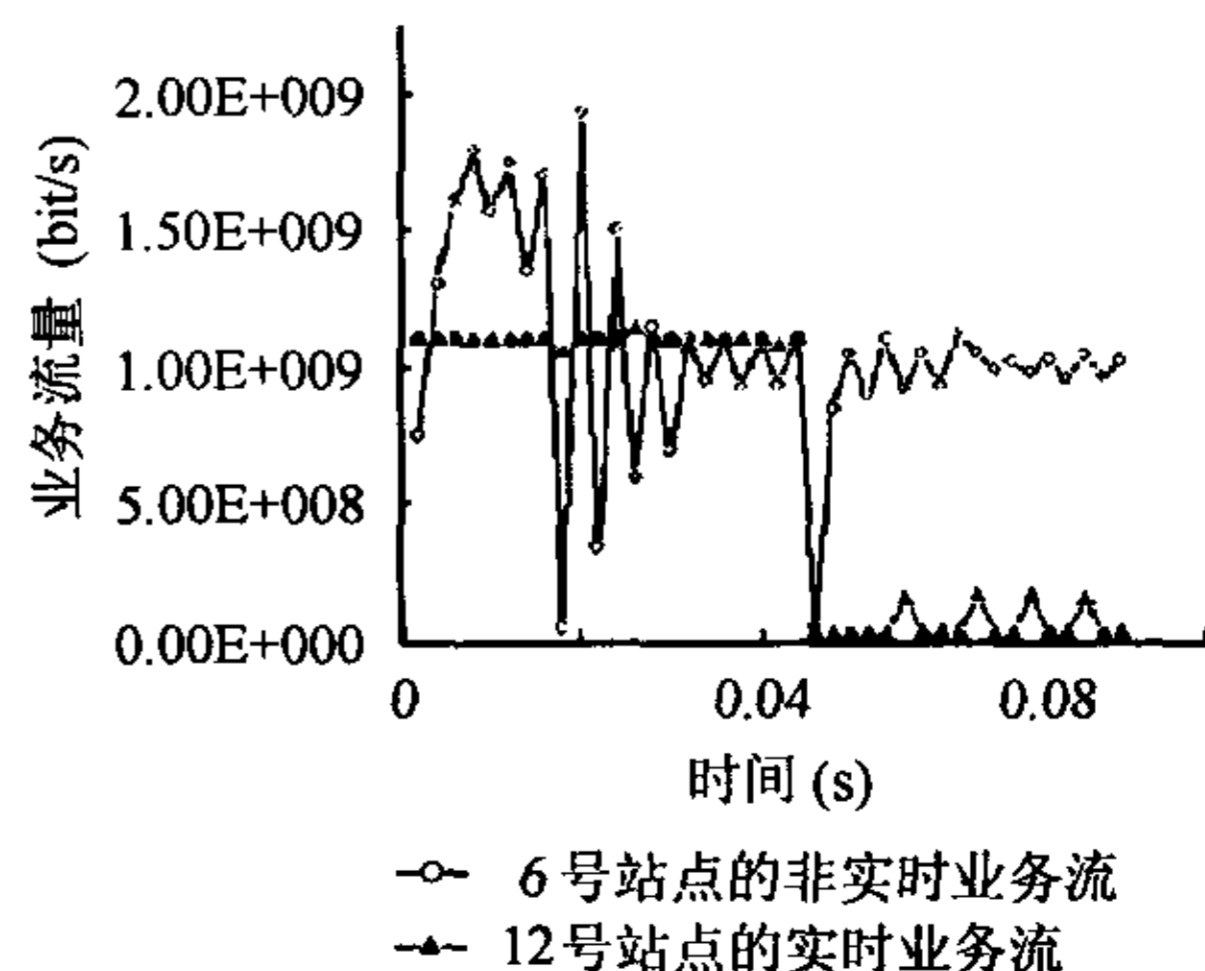


图 6 故障环上的非实时业务流与倒换环上的实时业务流 (单队列模式, 基本的保护倒换策略)

**仿真实验 2** 其他条件同仿真实验 1,但保护倒换采用新的保护倒换策略。由于 PTQ 和 stage queue 中的实时业务比 wrap queue 的调度优先级更高,因此倒换环自身的实时业务流不会受到抑制。图 7 显示 12 号站点发出的实时业务流的流量未发生变化,而 6 号站点发送的业务流由于不能抢占倒换环上的带宽所以流量受到抑制。

**仿真实验 3** 1-10 号共 10 个站点都在外环上发送平均速率为 1.0Gbps 的实时业务流到目的地 15 号站点,站点 9-14 共 6 个站点都在内环上发送平均速率为 1.0Gbps 的非实时业务流到目的地 15 号站点。保护倒换采用新的保护倒换策略。由于 wrap queue 比 stage queue 中的非实时业务流调度优先级高,因此由故障环切换过来的实时业务流能够获得比倒换环自身非实时业务流更优先的调度输出。图 8 显示 6 号站点发送的实时业务流由于抢占了倒换环自身的非实时业务流的带宽而流量基本未发生变化,而 12 号站点发送的非实时业务流的流量受到倒换流的抑制。

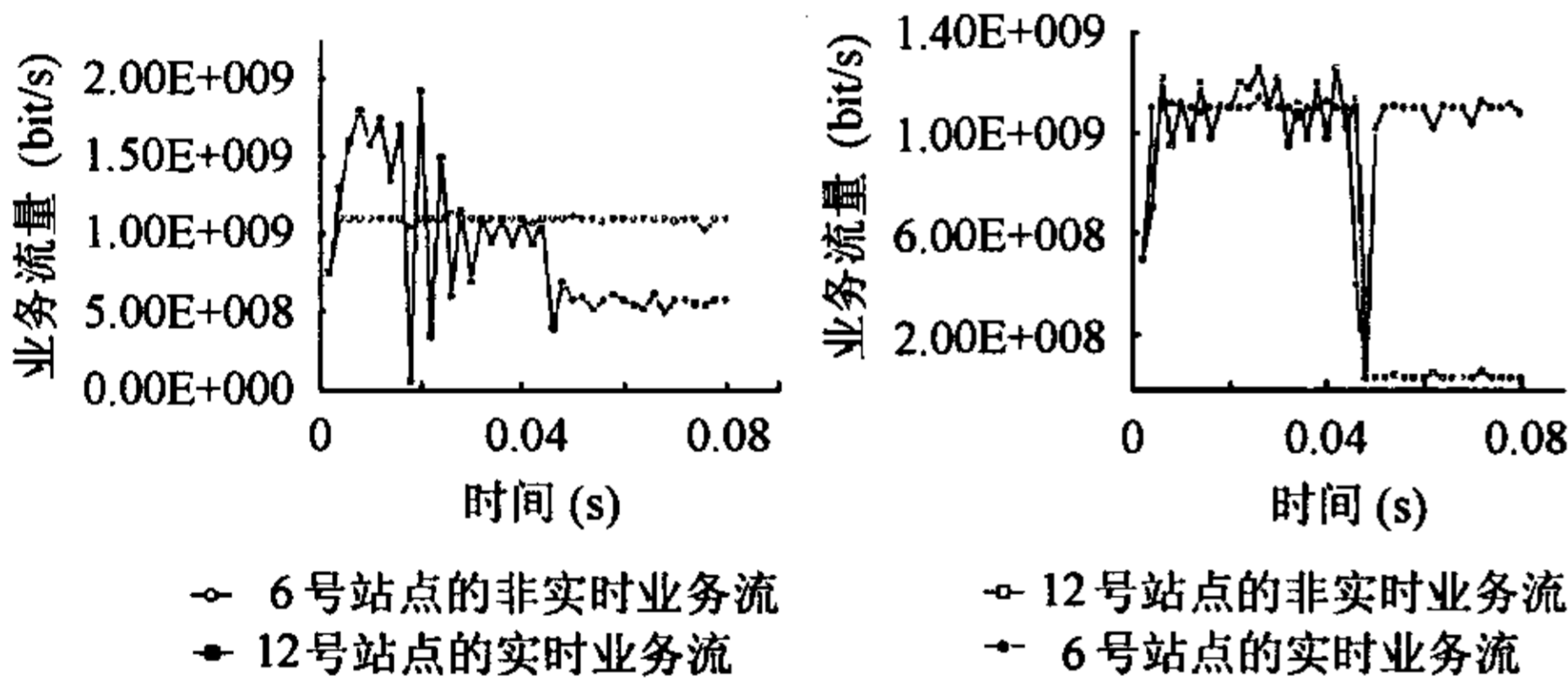


图 7 故障环上的非实时业务流与倒换环上的实时业务流(单队列模式,新的保护倒换策略)

图 8 故障环的实时业务流与倒换环上换环的非实时业务流(单队列模式)

#### 4 双队列模式下的保护倒换策略研究

在双队列模式下, data path 的主要路径包括两个转发队列 PTQ 和 STQ 以及一个始发队列 stage queue。由于存在两个转发队列,因此基本的保护倒换策略可以有以下几种选择:

- (1) 障环上发生保护倒换的实时和非实时业务流都切换到倒换环上站点的 PTQ 中。
- (2) 障环上发生保护倒换的实时和非实时业务流都切换到倒换环上站点的 STQ 中。
- (3) 将故障环上发生保护倒换的实时业务流切换到倒换环上站点的 PTQ 中,而将非实时业务流切换到 STQ 中。

**策略分析:** 策略(1)与单队列模式下基本的保护倒换策略类似。根据第 3 节的分析结果,这种策略会由于 PTQ 享有比 stage queue 更高的调度优先级而导致倒换环自身的实时业务流受倒换流的抑制,违反保护倒换原则。所以策略(1)不可取,

同理策略(3)也不可取。策略(2)将倒换流都切换到 STQ 中。根据 RPR 标准<sup>[7]</sup>,由于倒换环自身的实时业务流只能进入 PTQ 和 stage queue 中,而且在双队列模式下 STQ 的调度优先级低于 PTQ 和 stage queue,所以倒换环自身的实时业务流不会由于保护倒换的发生而受到影响。这符合保护倒换原则(3),那么策略(2)是否符合保护倒换原则(1)和(2)呢?如果单从调度优先级上看,由于 STQ 的调度优先级最低,因此倒换流必须在倒换环自身的非实时业务流被调度完毕后才能获得调度的机会。但在 RPR 标准中,为了当网络发生拥塞时保证不同站点发送的非实时业务流能够公平地分享带宽而引入了公平控制算法<sup>[7]</sup>。该算法规定当 STQ 的长度达到一定阈值时,站点将停止发送 stage queue 中的本地非实时业务流,而让 STQ 中转发的非实时业务流获得更多的调度输出机会。具体算法细节可参见 RPR 标准。根据此控制算法,我们可以分析得出,虽然 STQ 的调度优先级低于 stage queue,导致当倒换环发生拥塞时,倒换流会因为得不到调度输出的机会暂时缓存在 STQ 中,导致 STQ 的长度不断增加。当 STQ 的长度增加到一定程度而超过公平控制算法中规定的阈值时,站点本身发送的非实时业务流将被停止发送,将更多的调度输出的机会让给 STQ 中的倒换流,因此倒换流能够抢占部分倒换环自身的非实时业务流的带宽。这符合保护倒换原则(1)和(2)。综上所述,结合双队列模式下 data path 的调度机制和公平控制算法,将倒换流切入到倒换环上站点的 STQ 中是一种合理的保护倒换策略,它不需要类似单队列模式为倒换流新增一个转发队列。下面的仿真结果也验证了此结论。

**仿真实验 4** 其他条件同仿真实验 2。不同的是 data path 采用双队列模式,采用将倒换流入 STQ 的保护倒换策略。由于双队列模式下 STQ 的调度优先级比 PTQ 和 stage queue 的调度优先级都要低,因此倒换环自身的实时业务流的带宽不会受到倒换流的影响。图 9 显示 12 号站点发出的实时业务流流量未受任何影响,而 6 号站点发出的非实时业务流受到抑制。

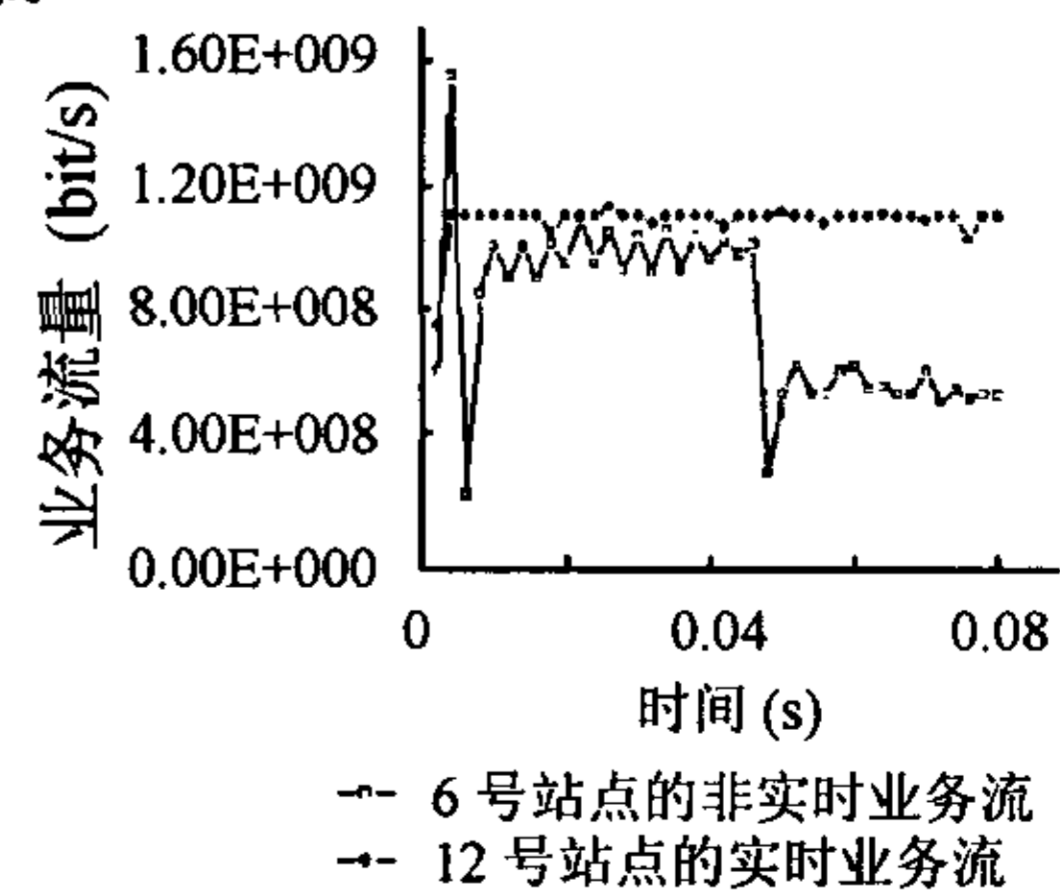


图 9 故障环上的非实时业务流与倒上的实时业务流(双队列模式)

**仿真实验 5,6** 其他条件同仿真实验 3。不同的是 data path 采用双队列模式,采用将倒换流入 STQ 的保护倒换策

略。实验6中外环(故障环)上的10个站点均发送实时业务流,实验7中外环上的站点均发送非实时业务流。而站点9-14共6个站点都在内环(倒换环)上发送非实时业务流到目的地15号站点。图10,11显示12号站点发出的非实时业务流由于带宽被倒换流抢占而流量受到抑制,而6号站点发出的实时或非实时业务流因抢占了部分倒换环自身的非实时业务流的带宽而流量基本未受影响。

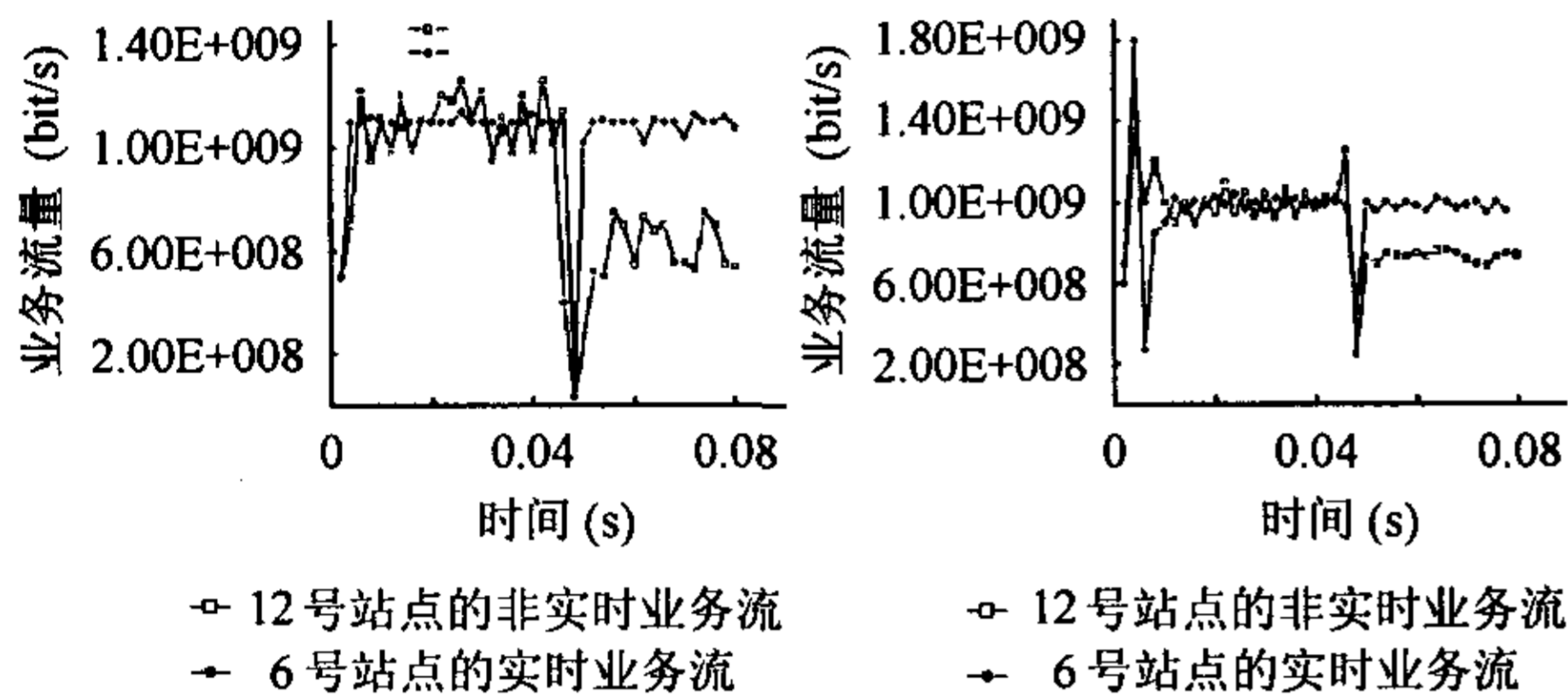


图10 故障环上的实时业务流  
与倒换环上的非实时业务流  
(双队列模式)

图11 故障环与倒换环上的  
非实时业务流  
(双队列模式)

## 5 结论

本文着重研究了弹性分组环 RPR 在发生保护倒换时的各种策略。基于 RPR 的数据通路子层对来自不同路径的业务流的调度优先级和公平控制算法,将故障环上发生保护倒换的业务流切换到倒换环上的不同路径来实现保护倒换原则和服务优先级,即要在保护倒换发生时尽量确保实时业务流的服务质量。通过分析和仿真实验得出了适合不同结构模式下的最佳保护倒换策略。单队列模式下的最佳保护倒换策略是增加一个新的转发队列——环绕队列 wrap queue 来接纳倒换流,并相应地设置此队列的调度优先级。双队列模式下的

最佳保护倒换策略是将倒换流都切入到 STQ 中。在后续的工作中我们将研究适合于 RPR 的另外一种保护倒换技术——转向方式(steering)的最佳保护倒换策略。

## 参考文献

- [1] IEEE Standard 802.5-1989, IEEE Standard for Token Ring.
- [2] Ross F E. Overview of FDDI: The fiber distributed data interface. *IEEE J. on Selected Areas in Communications*, 1989, 7(7): 1043 - 1051.
- [3] IEEE 802.17 Working Group. Proposed IEEE Standard 802.17 draft. [http://www.ieee802.org/17/documents/drafts/Darwin\\_v1\\_0.pdf](http://www.ieee802.org/17/documents/drafts/Darwin_v1_0.pdf) 2002, 1: 18 - 19.
- [4] IEEE 802.17 Working Group. IEEE Draft P802.17/D3.0 2003, 11: 307 - 309.
- [5] IEEE 802.17 Working Group. IEEE Draft P802.17/D2.4 2003, 8: 92 - 93.
- [6] IEEE 802.17 Working Group. IEEE Draft P802.17/D2.4 2003, 8: 141 - 173.
- [7] IEEE 802.17 Working Group. IEEE Draft P802.17/D2.0 2002, 12: 158 - 186.

柳立峰: 男, 1974年生, 博士生, 研究方向为无线自组织网络与无线传感器网络。

张雷: 男, 1971年生, 讲师, 博士, 主要研究方向为城域宽带网络与无线网络。

程时端: 女, 1940年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为无线网络、互联网的服务质量等。