

面向 10G 城域以太网带宽管理的 RPR 技术*

庄陵¹,张治中²,张云麟¹,祁媛媛³

(1. 重庆邮电学院,重庆 400065;2. 上海交通大学,上海 200030;
3. 重庆工商大学,重庆 400067)

摘要:弹性分组环(RPR;resilient packet ring)是当前比较热门的组网技术,它为 10 G 城域以太网提供了一个很好的组网方案。从 RPR 在 10 G 城域以太网带宽管理方面的优势出发,介绍了其技术特点、标准化及产业化现状,讨论了城域以太网的 RPR 提案中有利于带宽管理的各种关键技术。

关键词:10 G 城域以太网;RPR;带宽管理
中图分类号:TN915.3 文献标识码:A

0 引言

随着通信网络规模的不断壮大,城域网不仅是传统长途网与接入网的连接桥梁,更是传统电信网络与新兴数据网络的交汇点及今后三网融合的基础。随着光纤技术的突破,骨干网的带宽已经达到了太比特级,而城域网的业务调度和转接远比骨干网多,与此同时,随着 Internet 的普及和电子商务的迅速发展,各类商业用户和住宅用户对带宽的需求越来越大。基于众多的考虑,如可扩展性、可靠性以及技术的成熟性,运营商选择 ATM 和 SDH/SONET 传输 IP,这些方式固然有其众多的优点,但在将 Layer2(L2)层数据映射到 Layer1(L1)层时,带宽的管理上有明显的缺点。从传输的角度来看,它们是基于“专线”的方式,需要预先确定传输所需的带宽。数据进入骨干网遵循传统 TDM 网络的规律,其颗粒度可能是 E1, E3, STM1 或 STM4 等。这些方式导致了光传输带宽的浪费。许多研究表明:专线的带宽平均使用率不足 50%,多数情况下不超过 20%。随着用户需求的不断增加,传输带宽的耗尽必然导致传输网络的扩容。造成了一方面带宽利用率非常低,另一方面必须扩容的矛盾。由此可见,城域网发展的关键在于提高带宽管理能力。

电信网络 99.999% 的可靠性不仅体现在网络设备的可靠性,同时对组网技术、路由选择、拥塞控制、故障恢复、路径保护和流量管理提出了要求。在达到

可靠性要求的前提下,如何合理、科学地配置 10G 城域网的拓扑结构、有效提高带宽利用率,从而经济有效地提高城域网传送性能已成为社会和业界关注的热点和竞争点。笔者介绍了能够较好解决 10 G 城域网带宽管理问题的一种组网技术——弹性分组数据环(RPR;resilient packet ring)技术,包括它的技术特点、产业化现状,并分析了其市场前景。

1 10 G 城域网的结构、面临的问题及解决的方案

10 G Ethernet 宽带城域网的一种解决方案,如图 1 所示。10 G Ethernet 大容量以太网技术将使城

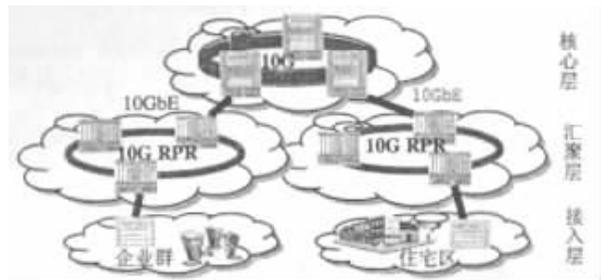


图1 10 G Ethernet 城域网的解决方案

Fig. 1 An example of 10 Gb Ethernet MAN resolution 城域网应用迈上一个新的台阶,IEEE 在 802.3 标准中明确对其进行了定义。这种技术适应了城域网中占据主导地位的 IP 业务的增长需要,且支持附加大带宽、高成本的城域核心网络,可与 TDM 或 DWDM 光纤网络进行无缝连接,满足更大容量组网的需求。该技术的不足之处是占用光纤对数较多;带宽是静

* 收稿日期:2003-03-13

基金项目:重庆市教委自然科学基金资助项目(011704)

作者简介:庄陵(1978-),女,江苏沐阳人,硕士研究生,主要研究方向为宽带通信网络及其信令系统。

态分配的,传送IP数据业务的效率相对较低;不能满足以太网业务对可靠性(链路/路径的保护和故障恢复、拥塞控制、路由选择和流量控制)的要求,QoS没有保障;不支持电路业务的开展等。而且在采用10G Ethernet技术的城域网的组网中,也会出现环路。以前曾设计生成树(spanning tree)用来消除环路,但是这样不仅带宽不能有效利用,并且当链路发生故障时,生成树的重构又需要多达十几秒的时间。与传统的SDH/SONET相比,是无法接受的。那么有什么办法可以弥补这些缺憾呢?其实在一开始涉及到城域网构建的时候,这些问题也都存在,人们也已经有了比较好的解决方法,借鉴这些思想以之融合进10G Ethernet技术达到比较完美的统一无疑将是一条捷径。

旧有的城域网采用为传送话音业务设计的基于TDM(时分复用)的SDH/SONET环网技术,它非常成熟,有着突出的优点。它不仅能够恢复光纤的传输损耗,还能够有效地支持环形拓扑结构。有专门的维护和管理信道,能够实时地监控,并有自愈能力。因此在电路交换时代,SDH/SONET传输方式的特点使它成为一种最具吸引力的选择。

然而,到了分组交换时代,SDH/SONET遇到了很多的挑战。为了承载分组业务,发展了PoS(packet over SDH/SONET)技术,将分组包封后映射进SDH/SONET帧后在环上传送,但是这种映射方式的效率较低,随着分组业务在传送业务中比重逐渐增大,SDH/SONET的成本也随之增加。同时,SDH/SONET的静态带宽分配很难适合分组业务的突发性,从而使数据传输的效率降低。另外,预留的保护光纤的带宽资源也有较大的浪费。传统的SDH/SONET网络中有50%的环带宽是冗余的,如为了在一条SONET链路上提供一个快速以太网连接,需要占用整个155M的STS-3c载荷来支持这种突发型100M业务。很明显,这是一种带宽的浪费。为了能方便地与像路由器这样的数据网络设备相连,新一代的SONET设备配备了以太网业务端口。来自于这些端口的业务被简单地映射到一个通过环的电路连接。底层的SONET传输仍然是面向电路的并基于TDM,当以太网端口上没有业务量时,链路处于空闲状态,这对SONET环的带宽是一种浪费。从网络的角度来看,这种集成的分组交换机的作用相当于一个网桥或路由器。如果交换机充当一个网桥,那么系统就像是一个由网状的STS-N电路连接而成的网桥网络。任何两个网桥之间的STS-N连接的带宽都要在SONET环中留出来,即使当网桥

之间没有业务量时,这些带宽也无法给别人使用。此外,生成树的计算将会导致特定的通路被阻塞,从而产生更多的无法使用的带宽。

IEEE在2000年底批准成立了802.17 RPR工作小组,任务是为局域网/城域网/广域网准备一套全新的物理层和链路层的协议,具备带宽的共享性和可伸缩性、空间的复用性以及容错性,目的是为了满足不同建设城域网和广域网对成本、性能和维护管理的需要。参与竞争的技术是当前大行其道的SDH/SONET/ATM。传统的SDH/SONET如上所述不适合迅猛发展的高速数据业务。ATM的传输单位是信元,采用虚电路方式,同样不适合高速数据业务,运营成本也很高。从而出现了RPR,这种新型协议融合了以太网、ATM和SDH/SONET的优点,成为最合适的组网技术,可以满足基于分组的城域网的要求。

2 基于RPR带宽管理的关键技术

2.1 RPR带宽管理及其优势

RPR网络是一种环形结构,是由分组交换节点组成的,相邻节点通过一对光纤连接。网络拓扑是基于两个反向传输的环。节点间的链路是基于光纤的并可采用WDM来扩容。

RPR综合了以太网和SDH/SONET的优点,使设备能共享环上的所有或部分的带宽;它定义了一个独立的物理层——弹性分组环媒介访问控制层(MAC),给各个厂商提供互通性,从而增加竞争,降低了用户的投资;它在环上传送反方向的信号,并提供小于50ms的保护倒换。在业务方面,RPR可以结合MPLS协议,利用帧结构中的MPLS标签的CoS字节标识,提供4种等级的业务:快速传送业务(具有严格的时延、抖动和保护、时钟同步。如实时性E1语音业务和图像业务)、保障传输业务1(对时延和抖动无特殊要求,但有带宽承诺,无突发的图像、数据业务)、保障传输业务2(有带宽承诺,属突发型数据业务,采用尽力传送机制)、尽力传送业务。这种技术如果得到大范围应用,将解决城域网中多业务传输问题。RPR网络将在城域网中作为馈线环(也称为集环)。这些馈线环的用法与当前的SONET环十分相似,但它是用于分组业务的。像电缆调制解调器系统和固定无线网络这样的分组接入网络均将形成RPR网络的馈线。RPR网络将来自于环路周围的分组业务量聚合到与网络边缘相连的一条或多条高度集中的链路中。在网络边缘,这些链路与

DWDM 和路由器网络直接相连并通过它们将业务量转移到最终目的地。RPR 接入环可以是一种重叠网络,可以利用现有的光纤并与承载电路业务(SOENT/SDH 链路)的光纤设备并行。现有的 SONET 基础将继续被用于专线,电路交换的语音、电路交换的数据、以及像帧中继和 ATM 这样的窄带和宽带数据虚拟专用网络业务的网络接入。弹性分组环技术的部署相对来说比较灵活,不仅可以方便地实现与传统技术的有效整合,而且能够采取多种不同的部署方式,如这一技术可部署于原有基于 SONET/SDH 技术的所有链路或部分链路中。

RPR 物理层的灵活性允许它与旧的技术(SDH/SONET、DWDM 甚至裸光纤)很好地集成。在有 SONET/SDH 环存在的地方,RPR 能在 SONET 环上全部或者部分地被部署。在运营商安装了 DWDM 设备的情况下,RPR 能简单运行在 1 个或者几个波长上。最后,在只有裸光纤的情况下,RPR 也能直接运行。所有情况中,在建立一个为数据优化网络的同时,它都保持了一个独立的基础设施以支持语音业务,这样就可以认为基础设施在物理层“收敛”了。这是一种既切合实际又成本低廉的声音和数据融合方法。

2.2 RPR 的 MAC 层及帧格式

RPR 通过在环网上增加一个新的 MAC 层来解决城域网的瓶颈问题,它位于 OSI 第 2 层,定义了如何向不同的业务提供不同服务策略和保护机制,及其环形拓扑结构和在环形结构中如何对带宽进行统计复用。在一个共享媒介上传输分组通常是由 MAC 层的一套协议来处理的。以一个 10 G 的光纤环为例,通过控制对媒介的访问并裁定要求,即 RPR 每一个节点的 MAC 层一直观测紧靠它的链路的利用情况,然后把这些信息告知环上所有的节点。每个节点可据此向环上增加或减少发送的数据量,这可使 RPR 环的带宽利用率比 TDM 网络提高 3~4 倍,这样 MAC 层就能够保证服务质量(时延和抖动)和带宽管理。

此外,RPR 的 MAC 实现了一种服务保护机制来避免光纤环失效,它还实现了一种避免阻塞的机制使系统在充分利用资源的同时又能确保所有配置业务的 QoS。

RPR 的 MAC 层采用存储转发(store and forward)或虚电路直通(cut through)模式,因此帧间不需要前导或间隔字节,这样就提高了带宽利用率,减少了转发延迟。RPR 属于广播型网络,一个数据包可以到达环上所有节点。这意味着多种施用

于广播型网的技术能够继续施用于 RPR 上,如地址解析协议(ARP)、生成树协议(802.1D)和三层协议等。RPR 的基本数据单元是数据帧,这继承了 IEEE 802.5 令牌环和 FDDI 环,但不同于 802.6,其数据单元是信元;也不同于使用 TDM 技术的 SDH/Sonet,其数据单元是 8 位位组,RPR 的分组帧格式见表 1。RPR 帧的最大长度是 9 216 字节,数据帧的格式类似于 Ge 以太网帧,开始是 2 个帧头,后接目的地址和源地址(和以太网一样,都是 6 字节长),然后是 2 字节的协议类型和 2 字节的帧头校验和,然后是不定长的负载,最后是帧校验。帧头校验和是为了电信运营的需要。带宽管理是 RPR 的一个重点,节点维护通过自己的负载量数据,并把这些数据发送给环上其它的节点,其它节点根据这些信息就知道在源节点上有多少带宽可以利用。此外,RPR 还实现了媒介访问的公平性,以便归一化时延参数。

表 1 RPR 分组格式
Tab. 1 RPR packet format definition

Bytes	RPR Packet Format Definition	
1	Address Mode	Version
1	Header Checksum	
1 or 6	Destination Address	
1 or 6	Source Address	
2	Type	
2	Tag	
1	<i>Additional Tag</i>	<i>Class of Service 3bit</i> <i>Stack 1bit</i>
1	<i>Time To Live</i>	
0 to 1600	Payload	
4	Payload Frame Check Sequence	

注:表 1 中斜体的 3 行标志 MPLS 标签。

2.3 RPR 带宽管理的关键技术

(1) 环形拓扑:典型的 RPR 环由 2 根光纤组成,沿顺时针传送数据的叫外环(outer ring),沿逆时针传送数据的叫内环(inner ring)。RPR 在一条光纤上既发送数据,也传输同向控制信号,作为最高优先级业务的控制信号不受低优先级数据业务影响,同时也不依靠反向光纤,所以 RPR 也支持单纤组环。RPR 没有像基于电路方式那样为保护预留带宽,它的 2 根光纤同时传输数据,使带宽提高 1 倍。对于保护,IEEE 802.17 Darwin Draft 建议 2 种环保护机制,缺省方式为源路由方式(steering),可选择方式为折回方式(wrap)。当采用源路由方式时,光纤中断点两端的节点会发送拓扑更新信息,各个业务的源节点会根据拓扑更新信息向反向倒换业务,业务就根据 RPR 的 MAC 层终点地址到达环路出口。源路由方式大大提高了环路带宽利用率,且一条光纤上的业务保护倒换对另一条光纤上的业务没有任何影响。折回方式可对 RPR MAC 层设置旁路,直接采用物理层的环回,如图 2 所示。这 2 种方式的保护倒

换时间都小于50 ms。基于源路由的保护倒换机制比单纯的折回方式更节约带宽。

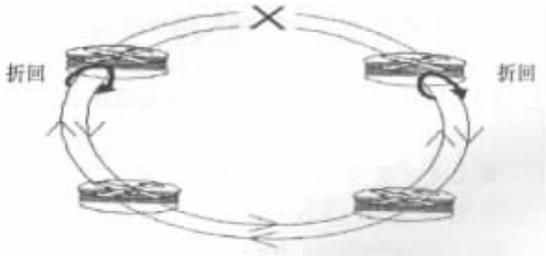


图2 RPR的折回保护

Fig. 2 RPR wrapping

(2) 空间复用技术 SRP (spatial reuse protocol): SRP 是一种与媒体无关的 MAC 层协议, 可以用于各种物理层技术之上。空间复用技术最初应用于 SDH 复用段保护 (MSP) 或 SONET BLSR, 指环上的带宽可被各个节点公平使用。应用在 RPT 上指不依赖于物理层媒质, 可以使用以太网物理层、SDH 物理层或支持 DWDM 系统的波长。SRP 的本质是将链路上的资源分为若干通路, 由 IP 分组到达节点来决定通路的建立和选路, 源节点在环内某一段上通过分配带宽产生通路, 通过寻址 IP 分组的目的地和利用分配的带宽在通路上传送 IP 包, 特定通路上业务流与链路上其他业务流隔离, 因此, 一旦通路被分配, 对这一通路就不存在网络资源竞争。这意味着在目的地节点收到净荷后即卸载净荷, 以便带宽再用。如图3所示, 业务经过 a 点到达 b 节点下环, SRP 允许新业务从 b 节点插入并经 c 传送到 d 节点。

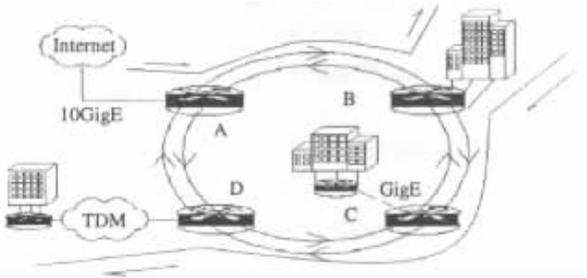


图3 SPR 示例

Fig. 3 An example of SPR

(3) 动态带宽管理: 动态带宽管理指用户业务不是速率固定不变的, 这意味着当以太网用户专线空闲时, 即没有数据流量时, 这些未用的容量可以被重新分配给环网中其它业务使用。通过动态带宽管理机制, 可不断地将不用的容量重新分配到活动的流量上, 从而使运营商可以利用同样的网络提供更多的业务。RPR 根据用户需求分配带宽, 不像 SDH 那样分配固定时隙, 而是以 1 Mbit/s 的粒度来公平地动态地扩展每个用户的最大带宽。也就是说, 在任何时候只要一些用户的实际使用带宽没达到分配给他们的带宽, 其他用户

可以占用这些空闲的带宽扩展到已约定的最大带宽。这样可大大提高带宽利用率。

(4) 支持 CoS: 基于 RPR MAC 帧格式的 MPLS 标签, 3 比特 CoS 位可提供 8 个 CoS 服务类, 以支持环上的多种流量优先级, 有效支持 IP 突发业务和语音传送业务。这 8 种服务类别包括快速前传—expedited forwarding (EF), 6 种保障前传—assured forwarding (AF1 到 AF6), 及尽力传送—best effort (BE)。RPR 技术为数据业务和语音业务提供了一个 L2 统计复用的平台, 无论是语音业务还是数据业务, 接入之后, 可在同一带宽上传送, 由于所有业务共享带宽, 大大提高了网络带宽利用率。

(5) 公平机制: RPR 环上所有用户及节点对带宽具有同等控制权, 从而为带宽的统计复用提供最佳保证。如图 4a, 以太网中, 如果某一段时间每个节点都希望送 2 Gbit/s 的业务到 Internet, 节点 A 将只能送 1 Gbit/s, 节点 B 将只能送 500 Mbit/s, 节点 C 和 D 将只能送 250 Mbit/s。链上节点越多, 上游节点带宽越拥挤; 对 RPR 链环, 公平策略更易实现, 如图 4b, 服务器可以根据分组包大小对每个节点分配上传或下传速率。就是说, 如果环空闲, 节点 D 将可以占用环上的所有带宽, 且如果节点 A, B, C 开始传输数据, 环将自动限制 D 的传输速率。

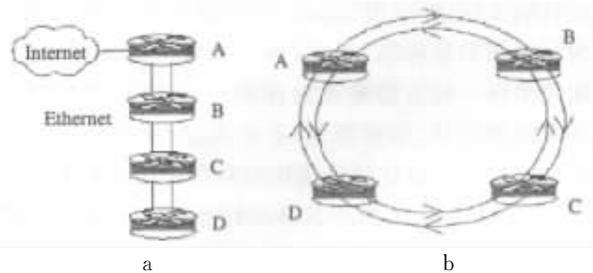


图4 公平机制

Fig. 4 Fairness

3 RPR 的 10G 城域网带宽管理策略

在城域网中引入 10 G 的 RPR 将会促进一批新业务的出现, 这些业务在价格和带宽效率上是以电路为核心的解决方案所无法比拟的。RPR 能为新出现的光互联网提供一个可扩充且有效的分组边缘, 它将在公共网络的演进过程中发挥重要的作用。

著名国际电信与数据通信设备商 Cisco, Nortel 和 AMCC 等芯片制造商均看好 RPR 技术的前景, 认为 RPR 将成为未来城域网的主流技术, 并投入 RPR 相关技术的研究。在电信市场极不景气的 2001 年 7 月, Cisco 为加速发展其 10 Gbit/s RPR 城域网设备, 以 1.5 亿美金并购了研发 10 Gbit/s 城域网芯片

厂商 AuroraNetics, 业界轰动一时。同样, 由于看好 RPR 良好的前景, 以 Nortel 为首的利益集团与 Cisco 在 IEEE 802.17 实施 RPR 标准化的过程中针锋相对, 致使 RPR 草案的 1.0 版本的推出一度陷入僵局。经过协调, 2002 年 1 月底, IEEE 802.17 终于推出 RPR 的 1.0 版本。这为广泛开展 RPR 研发提供了良好基础。2002 年 1 月到 9 月是标准草案的修正期。最终的标准化弹性分组传输 (RPT) 协议已于 2003 年 3 月出台。中国已经开始实施世界一流的城域网的建设。Luminous Networks 的 PacketWave 城域网产品近日已率先通过我国信息产业部的入网认可, 并施用于我国城域网建设。Luminous 的产品可以说体现了当今城域网解决方案的最高水平: 它基于 RPT (resilient packet transport) 技术, 而 RPT 的功能是 RPR 的超集。中国网通在上海、大连、广州等省市采用了 Luminous 的城域网平台, 并已从上海证券交易所等广大用户中获得利润, 虽然这还不是纯粹的 RPR 网, 但已经可以感受到 RPR 为未来规划出的全 IP 网景象。

4 结束语

在光网络上通过弹性分组环 RPR 直接架构 10G 比特以太网, 同时有支持透明电路能力的方案将成为城域网的新标准, 当然, 由于城域网的多样性, 不能简单以一种方法来建设各地的城域网, 而要根据各地网络现状、建网规模、业务类型、用户需求及分布来选取技术以达到最优化的网络架构。由于 RPR 远远优于 SDH, 也由于其环形特点制约了其环上节点数量, 使得 RPR 更适合于以数据业务为主的中小规模网络。RPR 的灵活性使它可以由现有的 SDH 网改造而成, 大大节省建网成本。

参考文献:

- [1] 朱栩. 面向城域网的新型弹性分组数据环技术[J]. 电信科学, 2001, 11(12): 12-16.
- [2] 10G Ethernet Alliance. 10 Gigabit Ethernet Technology Overview White Paper[Z].
- [3] 高文龙. 宽带城域网新技术——10GRPR 的研究与探讨[EB/OL]. <http://www.cww.net.cn/zz020628c.htm>, 2002-08.
- [4] 方亮. 弹性分组环(RPR)协议简介[EB/OL]. <http://cooltang.com/box/topic/character/document/c114/755.htm>.
- [5] IETF, RFC2892-2000. The Cisco SRP MAC Layer Protocol[S].
- [6] 光桥科技(中国)有限公司-2001. 弹性分组数据传送技术(RPT)技术白皮书[S].
- [7] 张志刚. Ethernet 向城域网靠拢[EB/OL]. <http://www.ccidnet.com/tech/network/2001/09/05/58.3188.html>, 2001-09.
- [8] 陈强. 光网络基础结构的延伸[EB/OL]. <http://www.sciencesf.org/chinese/newsbrief/2001-04.htm>, 2002-03.
- [9] 提姆·伍. 10G 以太网 RPR 和 MPLS 共同协作创造城域网的未来[N]. 人民邮电报, 2002, 6.
- [10] SCHIFF Bob, VASANI Kanaiya. Resilient packet rings for optical Internet edge Lightwave [EB/OL]. <http://www.leap-comm.com/China/C-news/Doc/tdoc-1.htm>, 2001-11.
- [11] Resilient Packet Ring Alliance-2001. An Introduction to Resilient Packet Ring Technology[Z]. (编辑: 刘勇)

Resilient packet ring technology for managing bandwidth of 10G metro Ethernet

ZHUANG Ling¹, ZHANG Zhi-zhong², ZHANG Yun-lin¹, QI Yuan-yuan³

(1. Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, P. R. China;

2. Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, P. R. China;

3. Chongqing University of Technology and Business, Chongqing 400067, P. R. China)

Abstract: Resilient Packet Ring (RPR) is a popular aggregation technology at present. It provides a fairly well metro aggregation solution for 10G metro Ethernet. To show the advantage of RPR in bandwidth management of 10G metro Ethernet, this paper selectively introduces its technology characteristics, standardization and industrialization progress, and the key technologies which play important roles in bandwidth management.

Key words: 10G metro Ethernet; RPR; bandwidth management