

T-MPLS 网络中承载电路业务的最佳包长问题研究

曹 畅 张永军 石 帅 李 彬 黄善国 张 杰 顾婉仪
(北京邮电大学信息光子学与光通信教育部重点实验室 北京 100876)

摘 要: 该文基于 ITU-T 所制定的传送多协议标记交换标准, 对客户端承载基于电路交换类型的业务进行了深入研究, 比较了不同长度的电路业务分组对该业务延时和抖动的影响, 并提出了一种动态改变电路业务封装包长的方案。该方案根据业务接收端数据的时延和方差统计情况, 来计算一定范围内合适的电路业务净荷长度并反馈给源端的业务适配模块进行调整。为分析该方案的有效性, 利用 OPNET 仿真软件搭建平台进行仿真。结果表明, 该方案与固定封装包长方案相比在业务抖动特性和传输效率上具有明显的优势, 能很好地适应电路业务的承载要求。

关键词: 通信网络; 传送多协议标记交换; 电路业务; 封装; 包长

中图分类号: TN915

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2010)03-0666-05

DOI:10.3724/SP.J.1146.2009.00190

Research on the Encapsulations Issues of Circuit Emulation Service for T-MPLS Network

Cao Chang Zhang Yong-jun Shi Shuai Li Bin
Huang Shan-guo Zhang Jie Gu Wan-yi

(Key Laboratory of Information Photonics and Optical Communications, Ministry of Education, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: This paper studies encapsulated packet length of circuit traffic in the multi-service transport multi-protocol label switching network, which based on ITU-T standards. And the paper compared the performance of the network according to different TDM packet length. Then, an adjustment scheme is proposed to change the packet length dynamically. With the consideration of the real-time conditions of the traffic's latency and variance, this scheme calculates the suitable payload sizes in the destination node and feeds back to the source node, in order to adjust this size in the adaptation module. This scheme is implemented in a testbed based on OPNET modeler for performance evaluation. The simulation results show that, compared with traditional constant bit encapsulation scheme, this scheme works more effectively both on the transmission quality and efficiency, and meets the requirement of supporting circuit traffic.

Key words: Communication network; T-MPLS; Circuit traffic; Encapsulation; Packet length

1 引言

传送多协议标记交换 (Transport-MPLS, T-MPLS) 是一种基于 MPLS 面向连接的分组传送技术, 提供了端到端的 OAM, 传送级 QoS 和保护能力。相比于 MPLS, T-MPLS 能够提供类似于 SDH 的承载功能, 并可以支持更多种类的上层网络 (例如 Ethernet, ATM, IP, TDM)^[1-3], 因而被业界视为未来分组传送网的主流技术之一。与运营商对传统承载网络的要求相类似, T-MPLS 技术必须具备对时分电路 (TDM) 业务良好的承载特性。与传统的基于电路交换技术的 TDM 业务不同, T-MPLS 网络对

TDM 业务的传送是基于统计复用的分组交换技术, 即对 TDM 码流进行分组切割和伪线封装之后采用恒定速率数据包的方式进行传送。鉴于目前标准化组织尚未给出分组切割的合理长度, 有必要考察不同分组长度条件下 TDM 业务和其他业务的传输性能, 应保证在业务时延, 方差比较小的情况下, 传输效率尽可能提高。为了达到这一目的, 本文在目前所制定的 T-MPLS 标准体系下, 对电路业务的封装最佳包长问题进行研究。

2 T-MPLS 网络的时延模型

在 T-MPLS 网络中除了少量的 OAM 业务之外主要存在着 IP 业务和 TDM 业务。之前的文献已说明现网中的 IP 业务具有自相似的特性^[4], 而且自相似性越强, 业务流的突发性也越大。而 T-MPLS 网络中的电路业务是固定速率的比特流, 可以参考之

2009-02-17 收到, 2009-09-23 改回

国家 863 计划项目 (2007AA01Z2a4), 国家自然科学基金 (60877052, 60702005), 教育部新世纪优秀人才支持计划 (NCET-05-0112), 教育部长江学者和创新团队发展计划 (IRT0609) 资助课题

通信作者: 曹畅 ccaobupt@gmail.com

前文献对分组业务的时延分析^[5,6]来构建时延模型。分组业务的时延又可以分为封包/解包时延,传输时延和交换机的排队时延。封包/解包时延是指实时业务封装成数据包的时延,它主要与边缘路由器的处理能力有关。传输时延并不依赖于传输模式,而是与信息的传送距离有关,与使用的传输媒质也有关。数据包的排队问题是指当各种数据包到达 T-MPLS 路由器的出端口时,同一时刻只能对一个数据包进行处理,其余数据包必须要排队等候处理,所以排队时延与路由器出队列的调度算法和服务速率有关,由于路由器中数据包的交换由高速硬件完成,其时延相对排队时延来说极小,所以也并入排队时延考虑。依照以上分析,设打包/解包时延为 $E(K)$,每条链路上的传输时延为 $E(U)$,传输链路的带宽为 C ,数据包中的净荷长度和开销长度分别为 P 和 S 。假设队列的服务速率为 Q bit/s,由于 TDM 业务通常表现为语音、流媒体等对时延和抖动有极高要求的业务,所以使用低延时排队(Low Latency Queue, LLQ)^[7,8]的调度方式,优先考虑 TDM 业务的调度。

这样,对于 TDM 业务来说,最坏的情况是当其入队列时,刚好有一个 IP 分组开始处理,则 TDM 包在队列中等待的时间为 $E(W) = (P + S)_{IP} / Q$ 。TDM 业务分组的处理时间为 $E(P) = (P + S)_{TDM} / Q$,对于一条具有 n 条链路的业务连接而言,中间经过的路由器个数为 $n-1$ 。则数据包从源节点到目的节点的总时延为

$$E(D) = 2E(K) + nE(U) + \left[\sum_{i=1}^{n-1} E(W_i) + (n-1)E(P) \right] \quad (1)$$

由式(1)可以看出网络中影响 TDM 业务延时的因素有很多,考虑网络设备的实际情况,延时主要集中在排队处理部分,相应地,在一定时间 t 内,TDM 业务的抖动可以限定为

$$J = \{ \max E(D) - \min E(D) \} \in (0, \max E(W_i)) \quad (2)$$

当通过 LLQ 的调度方式进行调度时,IP 业务端到端的延时可以表示为^[7]

$$E(D) \leq \frac{\sigma}{r} + \sum_{i=1}^n E(C_i^s) \quad (3)$$

其中 $E(D)$ 是端到端的延时, σ 是漏桶模型中网络边缘处漏桶的深度,相当于边缘节点输出端口缓存的大小, r 值为给不同等级的 IP 业务预留的带宽值, $E(C_i^s)$ 为数据包在第 i 个节点的延时,结合以上分析,当队列中有多种业务并存时,有 $E(C_i^s) \geq E(P)$ 。当同时有 i 个业务流在网络中并存时,如果每个活动业务流的到达函数受 (σ, λ) 限制,则在 $[s, t]$ 时间间隔内到达的数据位数最大为 $(\sigma + \lambda(t - s))$ 。记系统中当前活动的业务流数为 M ,业务流 i 的权

重参数为 w_i , TDM 业务中的最大数据包长度为 L_{\max} ,该链路的输出带宽为 C 。则服务该业物流的虚拟服务速率为 $C_i = C \times \frac{w_i}{\sum_{j=1}^M w_j}$,相应的,队列延

时:

$$0 \leq d_i \leq \frac{L_{\max}}{C} + \frac{\sigma_i}{C_i} \quad (4)$$

由式(4)可知,当其他条件一样时,随着 TDM 数据包净荷长度的增加,IP 和 TDM 业务的延时也在逐渐增大,而 TDM 业务的抖动与 IP 业务的发生特性也有关系。对于语音和视频信号而言,为确保播放质量,其延时和抖动必须限定在一定的范围内。因此,TDM 数据包的长度不能过长,而为了提高数据的传输效率,数据包的长度又不能太小。在 T-MPLS 网络中,将 TDM 业务看作给定数据速率的纯位流,在码流中按顺序截取一定数量的比特来构成分组的有效载荷,然后加上控制字(分组序列号)和标签交由下层转发^[9]。所以,在不改变业务速率的前提下,协议允许根据性能需求对 TDM 数据包长进行改变,这就需要找到最佳的电路业务分组长度,既保证通信质量,又提高传输效率。

3 包长自适应调整方案

考虑到 TDM 业务的封装结构相对简单,数据包长度偏小,而网络中路由器处理速度通常较高,可以采取闭环控制的方式来寻找固定的最佳包长,并在此基础上动态调整包长。即根据接收端收到业务后的时延和方差统计情况,来计算一定范围内合适的净荷长度并反馈给源端的业务适配模块。当有独立的信令通信网存在时,整个过程可以通过控制平面下达指令,传递信令消息来完成。即使没有控制平面的功能,整个过程也可以通过在网络中快速传递网管消息的方式实现。另一方面,为了平滑接收端时延的统计特性,设置一个存储器,虽然到达接收端的 TDM 数据包时延不同,但可以让这些分组在缓冲器中进行排列,时延小的分组等待的时间长一些,时延大的分组等待的时间短一些,这样从缓冲器中读出时,它们在网络内的时延几乎一样。将以上的两种方式综合起来,就是电路业务包长的自适应调整方案,命名为 SCAW (Self Cutting, Assemble, and Waiting)方案。整个流程如图 1 所示。

图 1 给出了 SCAW 方案的系统实现,在业务封装端维护着一个比特组装订定时器,该定时器有一个初始值,接收端在收到分组后,计算出时延值和时延抖动,据此作为控制参量,动态调整源端切割时钟 t_0 和接收端重组时钟 t_1 ,从而达到动态改变封装

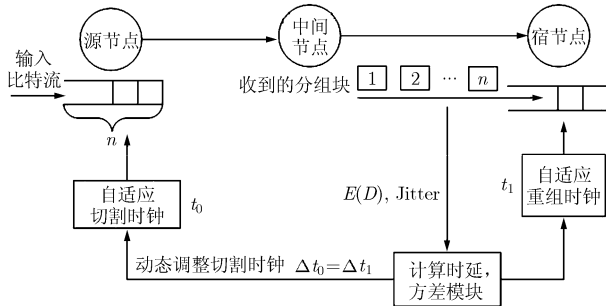


图 1 SCAW 方案实现流程

包长的目的, 在找到最佳包长之后, 时钟不再发生变化, 除非网络状况再次发生变化。接收端的重组定时器的定时间隔也将随着时延和抖动参量而动态调整, 目的是从接收缓存中匀速输出比特流, 从而起到平滑时延和抖动的效果。计算时延和方差模块的功能在宿节点实现, 在实际网络中, 存在着收发两端基准时间不一致的问题, 可以通过 IEEE 1588 等相关协议来实现时钟同步。在仿真中, 选取具有全网统一基准时间的软件进行模拟, 就不再存在该问题。

如果接收端计算出的时延和时延抖动过大, 通过这些参量控制源端切割定时器的定时间隔, 可以选择适当减小间隔, 达到减小包长, 从而减小延时和抖动的效果。反之, 如果时延和时延抖动比较小, 也可以适当增加切割定时器的定时间隔, 适当增加封装包长, 从而达到既保证传输质量, 又提高传输效率的目的。

4 仿真结果分析

为了验证数据包长对 TDM 业务的影响, 搭建仿真平台, 基于 OPNET modeler 仿真软件对不同分组长度下 TDM 数据包的时延和抖动特性进行了仿真。本文设计了 0→7→11→15 作为一条 T-MPLS 业务的传输路径, 其中 0 和 15 节点为 T-MPLS 网络的边缘节点, 7, 11 为核心节点。有两种不同种类的业务源与 0 节点相连, 分别发送 IP 业务和 TDM 业务, OAM 业务在节点中产生, 每隔固定时间发送是否需要调整 TDM 包长的网管信息。仿真拓扑如图 2 所示。

如图 2 所示, 设定 TDM 业务为一条 2 Mbps 的恒定比特流。为了便于分析, 设定 IP 包长服从均值为 1024 bit 的指数分布, 业务是具有弱突发性的自相似业务, 记该业务源为 IP 源 1。同时, 为了考察 IP 业务的突发性对电路业务延时和抖动的影响, 在第 2 个仿真场景中引入一个突发性强的 IP 业务源, 记为 IP 源 2。该业务源突发性的强弱由峰值速

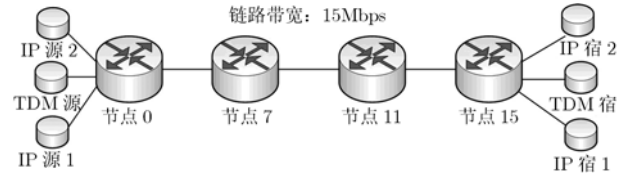


图 2 仿真拓扑结构

率和平均速率的比 N 决定。表 1 列出了仿真中所用到的业务源参数。

基于以上参数进行仿真, 共设两个场景: 第 1 个场景验证在引入 SCAW 机制的前后 TDM 业务延时和抖动的变化情况。第 2 个场景验证当高突发性的 IP 业务源加入网络之后, SCAW 机制对 TDM 业务抖动的影响。在两个场景中 TDM 业务的净荷数量从 $5 \times 256 \rightarrow 10 \times 256 \rightarrow 15 \times 256 \rightarrow 20 \times 256 \rightarrow 25 \times 256$ 逐渐增加。当没有引入 SCAW 机制时, TDM 包长在仿真过程中保持不变, 而引入该机制后设定封装的净荷长度在仿真过程中最多可以有 20% 的浮动。两个仿真场景均维持 TDM 业务的速率不变, 路由器出队列都采用 LLQ 的调度方式。

表 1 业务源参数

业务类型	业务等级 (EXP)	流量特征	平均速率 (bps)	峰值速率 (bps)
OAM	7	定时发送	5 k	10 k
TDM	6	恒定速率	2 M	2 M
IP 源 1	4-1	自相似, 突发性弱	5.2 M	5.5 M
IP 源 2	5	自相似, 突发性强	1 M	(1×M)M

4.1 仿真场景 1

在网络中只有 TDM 和 IP 源 1 这 2 个业务源的情况下, 观察 0 至 15 的 TDM 业务在 90 s 的仿真时间内的延时变化情况。设置 256 bit 的净荷大小为一个单元, 不同的曲线表示 TDM 业务不同包长下的延时。图 3(a)和 3(b)均可看出, 当包长增加时, 延时和抖动都有所增加, 特别是包长达到 15 单元之后这种增加的趋势更加明显。但通过对比两幅图也可看出, 当引入了 SCAW 机制以后, 一方面, 由于增加了路由器处理的复杂程度和反馈时使用 OAM 包的数量, 导致各种长度数据包的延时都有不同程度的增加, 但增量并不太大。另一方面, 数据包的抖动特性却随着 SCAW 机制的引入得到了良好的改善, 特别是当数据包净荷长度大于 15 单元时, 可从图上看这种改善是非常明显的。同时, 由于开销

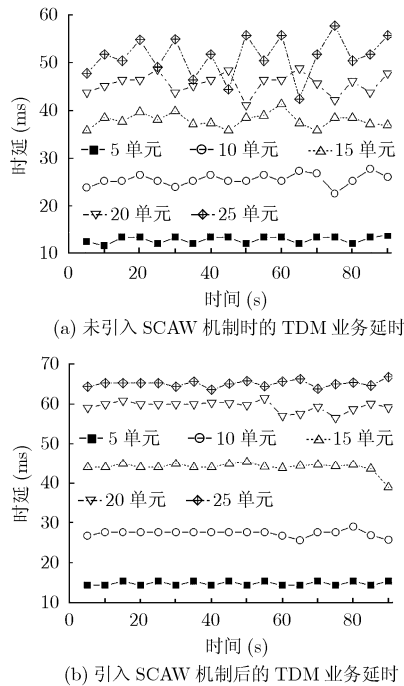


图 3

比特是固定的 96 bit, 所以当净荷由 5 单元增加到 25 单元时, 其开销所占比例由 6.9% 下降至 1.47%, 传输效率有了较大提高。

4.2 仿真场景 2

当网络中引入一个突发性强的业务源后, 测试突发强度 N 为 4, 6, 8, 10, 即峰值速率分别为 4 M-10 Mbps 情况下的 TDM 业务的抖动情况。与仿真场景 1 相类似, 取数据包净荷长度的范围为 5×256 至 25×256 bit, 仿真结果如图 4(a)和 4(b)所示。

由图 4(a)和 4(b)的结果可以看出, IP 业务的突发特性对电路业务的抖动有一定影响, 突发性越强, 电路业务的抖动会越大, 这与第 2 节的分析相一致。同时, TDM 包长的增加也会带来业务抖动的增加, 而且抖动特性都在某一包长之后迅速恶化, 设该包长为抖动恶化门限, 也是 TDM 业务传输的最佳包长。两幅图所不同的是, 引入 SCAW 机制之后, 除了相同净荷长度下电路业务的抖动明显降低之外, 抖动恶化门限, 即最佳包长也比未引入该机制时有所提高。具体来说, 由 15×256 bit 提高至 20×256 bit。说明当电路业务都选择最佳包长传输时, 引入 SCAW 机制可以提高传输的效率。

综上所述, SCAW 机制的引入虽然增加了电路业务的一部分延时, 却换来了业务更好的抖动特性, 并且在 IP 业务突发性较强时具有更大的最佳包长, 因而提高了传输效率。需要说明的是, 封装的最佳包长在不同的网络环境中是不断变化的, 引入

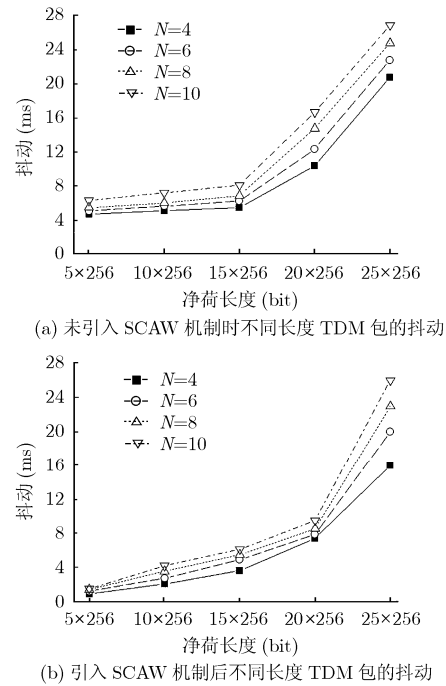


图 4

SCAW 的目的就是通过动态调整切割和重组定时器, 寻找封装的最佳包长。

5 结束语

本文研究了 T-MPLS 分组网络中承载电路业务时封装包长对业务的延时和抖动的影响。针对传统固定包长封装方法的问题, 提出了根据网络状况, 动态地调整分组长度来适应分组传送环境的方案, 进一步提高了传输效率。通过利用符合 ITU-T 协议标准的仿真平台进行测试, 验证了所提出方法的有效性, 下一步的研究考虑在 SCAW 方案的基础上结合改进的调度算法来分析不同类型 IP 业务的传输性能。

参考文献

- [1] ITU-T Recommendation G.8110.1/Y.1370.1, Architecture of Transport MPLS (T-MPLS) Layer Network[S]. 2006: 8-15.
- [2] Enrique Hernandez-Valencia. T-MPLS: Carrier-class transport for converged optical/packet networks[C]. Optical Fiber Communication Conference (OFC). Anaheim, CA, 2007: 1-8.
- [3] Rouskas G N and Baradwaj N. TDM emulation in packet-switched networks[C]. IEEE International Conference on Communications (ICC). Glasgow, 2007: 1911-1916.
- [4] Sahinoglu Z and Tekinay S. On multimedia networks: self-similar traffic and network performance [J]. *IEEE Communication Magazine*, 1999, 37(1): 48-52.
- [5] Gulliver S R and Ghinea G. The perceptual and attentive

- impact of delay and jitter in multimedia delivery[J]. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 2007, 53(2): 449-458.
- [6] Gulliver S R and Ghinea G. The perceptual influence of multimedia delay and jitter[C]. *IEEE International Conference on Multimedia and Expo*. Beijing, 2007: 2214-2217.
- [7] Stiliadis D and Varma A. Rate-proportional servers: A design methodology for fair queueing algorithms[J]. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 1998, 6(2): 164-174.
- [8] 徐斌阳, 蒲和平, 李少谦. 公平调度的分组调度算法设计[J]. *电子与信息学报*, 2008, 30(6): 1462-1465.
- Xu Bin-yang, Pu He-ping, and Li Shao-qian. Scheduling algorithm design for enhanced scheduling fairness[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2008, 30(6): 1462-1465.
- [9] IETF RFC 4623: PWEE3 Fragmentation and Reassembly, 2006, 8.
- 曹 畅: 男, 1984 年生, 博士生, 研究方向为下一代网络与宽带互联技术.
- 张永军: 男, 1969年生, 副教授, 研究方向为光通信与接入网技术.
- 石 帅: 男, 1983年生, 硕士生, 研究方向为下一代网络与宽带互联技术.
- 顾晓仪: 女, 1946年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为下一代光网络.