

文章编号: 1005-8451 (2017) 11-0049-05

列车控制与服务网络流量监管研究

赵晋南, 谭献海, 张 华, 刘力浩

(西南交通大学 信息科学与技术学院, 成都 611756)

摘 要: 列车控制与服务网络 (TCSN) 不同于传统的列车通信网络, TCSN在保证列车控制业务传输的同时, 充分考虑应用越来越广泛的旅客服务业务, 实现列车控制与旅客服务业务流量一体化传输。TCSN采用区分服务模式, 针对TCSN网络实际流量到达速率与SLA规定的流量速率可能不相符造成的流量突发, 提出了一种多级令牌桶流量监管方案, 通过两级令牌分配监管AF业务流量, 并对监管后的流量报文进行着色和入队管理, 实现列车控制与服务业务流量的动态监管及网络资源的合理分配。

关键词: 列车控制与服务网络; 区分服务; 令牌桶; 流量监管

中图分类号: U284.482 : U285.5 : TP39 **文献标识码:** A

Traffic monitoring of train control and service network

ZHAO Jinnan, TAN Xianhai, ZHANG Hua, LIU Lihao

(School of Information Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China)

Abstract: The train control and service network (TCSN) is different from the traditional train communication network. Taking full account of the more widely used passenger service business, TCSN ensures the transmission of train control business, implements integrated transmission of train control and service traffic. TCSN uses a differentiated service model, the network can generate traffic bursting because the actual traffic arrival rate of the TCSN may not be correspond to the traffic rate specified by the Service Level Agreement(SLA). This article presented a new multi-level token bucket traffic monitoring scheme, which monitored Assured Forward(AF) business traffic by two-level allocation, tinted traffic packets, tinted traffic packets and managed traffic queue after traffic monitoring, implemented the dynamic monitoring of TCSN traffic and the reasonable distribution of network resources.

Keywords: train control and service network (TCSN); differentiated service; token bucket; traffic monitoring

列车控制与服务网络^[1] (TCSN, Train Control and Service Network) 是列车控制业务与旅客服务业务一体化传输的新型列车通信网络, 负责整个列车控制部分的信息收集与传输的同时为旅客提供丰富而全面的信息。列车控制业务主要包括列车控制命令、车载设备状态信息、故障信息和显示信息^[2], 旅客服务业务主要包括音频流业务, 视频流业务, 交互类业务, 高保真业务, P2P 业务和一般 Web 业务。

TCSN 采用区分服务模式, 服务等级合约 (SLA, Service Level Agreement)^[3] 定义了列车控制与服务业务的流量特性和传输需求特性。流量特性是指业务流量的到达时刻, 报文长度和报文到达间隔。传输需求特性包括业务流量传输时的时延、丢包率

和带宽需求。逐跳行为 (PHB, Per Hop Behavior) 定义了控制与服务业务报文在网络中的处理方式, 包括 EF、AF 和 BE 的 3 种转发方式。加速转发 (EF, Expedited Forward) 主要用于低延迟、抖动和丢包率的业务。确保转发 (AF, Assured Forward) 根据业务优先级为用户提供一定程度上的服务质量。尽力转发 (BE, Best Forward) 用于对时延、抖动和丢包并不敏感的业务^[3]。

已有的列车网络业务流量监管方案, 通过令牌桶实现列车控制业务的流量监管, 并没有充分考虑应用广泛的旅客服务业务, 缺少关于列车控制与服务一体化传输环境下的流量监管方案。在 DiffServ 网络中, 不同业务具有不同流量特性和传输需求, 仅为各种等级的服务类型设置对应的令牌桶监管器, 其性能参数是静态的并不能动态监管列车网络流量。本文综合考虑列车控制业务与服务业务的流量特性及传

收稿日期: 2017-06-08

基金项目: 国家科技支撑计划课题 (2015BAG14B01)。

作者简介: 赵晋南, 在读硕士研究生; 谭献海, 副教授。

输需求, 设计了两级令牌桶监管方案, 实现对 TCSN 网络流量的动态监管。

1 TCSN流量监管方案设计

1.1 TCSN业务流量监管需求分析

在 TCSN 网络中, 根据列车控制与服务业务传输需求特性的不同, 将其分为关键业务和非关键业务, 关键业务包括列车控制命令、车载设备状态信息、故障信息等; 非关键业务是除上述业务的其他控制业务和旅客服务业务, 包括显示信息、空调信息、音频流, 视频流, 交互类业务, 高保真业务, P2P 业务和一般 Web 业务。关键业务用于支撑列车的运行, 在转发时采用 EF 快速转发。一般 Web 业务对时延和丢包要求较低, 采用 BE 方式尽力转发。

TCSN 网络需要在保证关键业务优先传输的同时, 为旅客提供一定程度上的服务质量保障。因此, 必须对除关键业务和一般 Web 业务外的控制和服务业务流量进行监管, 这些业务采用 AF 方式进行转发。经过监管的 AF 业务流量速率被限制在 SLA 允许的范围之内, 共享网络的剩余带宽, 并按照预定的权值公平的分配给每个 AF 业务流。为避免 AF 业务流量过大造成网络拥塞, TCSN 需要进一步对监管后 AF 流量进行入队管理, 将部分业务流归入优先级较低的 BE 队列。

1.2 多级令牌桶流量监管方案

令牌桶是目前常采用的一种流量测量方法。

TCSN 多级令牌桶流量监管结构由令牌桶、一级令牌分配模块、二级富余令牌重分配模块、分类着色模块和入队管理模块组成。令牌桶是网络设备的内部存储池, 而令牌是根据令牌添加速率填充令牌桶的虚拟信息包。每个到达的令牌都会从数据队列领出相应的数据包进行发送, 发送完数据后令牌被删除^[4]。一级令牌分配模块控制令牌桶的令牌添加速率, 对每个队列的 AF 业务流量进行监管。二级富余令牌分配模块按照富余令牌分配配额, 对一级分配后的富余令牌进行二次分配。分类着色模块负责标记监管后的 AF 业务流。入队管理模块根据标记结果将 AF 业务流归入下一级优先级队列。流量监管总体结构, 如图 1 所示。

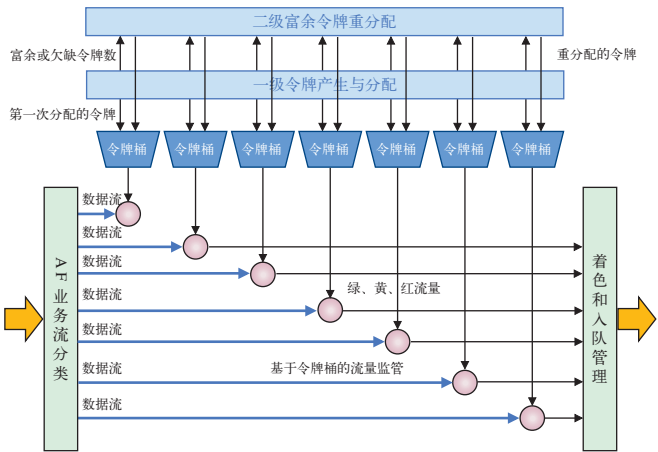


图 1 TCSN多级令牌桶流量监管总体结构

1.3 流量监管原理及流程

流量监管通过监督 AF 业务流量进入 TCSN 网络的速率, 对违反 SLA 的流量进行惩罚, 使进入的流量被限制在一个合理的范围之内, 以保护网络资源和用户的利益^[5]。流量监管通过令牌桶实现, 每传输一个报文, 令牌桶减少一定数量的令牌, 令牌桶的令牌添加速率控制着 AF 业务流在网络中的传输速率。多级令牌桶结构为每个 AF 业务提供一个 AF 队列, 每个 AF 子队列对应一个令牌桶^[6]。流量监管流程如下:

- (1) 分类后的 AF 控制和服务业务流量到达后, 分别进入对应优先级的 AF 队列。
- (2) 一级令牌分配模块为每个 AF 队列分配一个令牌桶, 根据网络负载状态动态调整令牌添加速率, 为每个 AF 队列的令牌桶添加令牌。
- (3) 二级令牌分配模块统计一级分配后 AF 子队列令牌的富余和欠缺情况, 计算富余令牌分配配额, 将富余令牌队列令牌桶的富余令牌等比例公平地分配给各个欠缺令牌子队列的令牌桶。
- (4) 经过监管后的 AF 业务流量, 在分类着色模块被 TSWTCM 算法标记为绿、黄、红 3 色。
- (5) 入队管理模块采用 RIO-C 算法将标记后的 AF 业务流量归入下一级 AF 队列和 BE 队列, 由网络设备进行最终的流量调度。

多级令牌桶流量对 TCSN 网络 AF 业务流量的动态监管, 提高了 TCSN 网络带宽利用率, 在保证控制业务优先传输的同时, 为旅客提供了一定程度上的服务质量保证。

2 两级令牌分配

2.1 一级令牌分配

TCSN 网络同用户之间预先制订 SLA, 定义了每类 AF 业务流的流量特性。当 AF 业务流量到达时, 一级令牌分配模块将令牌桶的令牌添加速率定义为 AF 业务流的平均报文间隔, 通过令牌桶将流量传输速率控制在合约规定的流量范围之内。但实际网络状态是不断变化的, 固定的令牌添加速率使得 AF 业务流可能出现持续突发或“饿死”。

在网络带宽一定的情况下, 网络的平均信道利用率反映了网络的负载状态。随着负载不断增大, 网络逐渐处于轻载、中载和重载状态, 此时必须限制网络允许到达的流量, 降低网络拥塞, 保证用户的服务质量。

一级令牌分配模块按比例降低各个 AF 子队列当前按 SLA 允许到达的流量, 动态调整令牌桶的令牌添加速率。当流量进入 AF 子队列, 累计入队的流量数量, 计算每个 AF 子队列的平均流量到达率。如果平均流量到达率小于当前按 SLA 允许到达的流量, 则将令牌添加速率调整为平均流量到达率, 反之将令牌添加速率调整为当前按 SLA 允许到达的流量。

2.2 二级令牌分配

一级令牌分配模块按照 SLA 调节令牌桶的令牌添加速率, 监管 AF 业务流量。然而网络在实际工作中, AF 业务的平均流量到达率与 SLA 定义的令牌添加速率并不匹配, 导致一级令牌分配模块分配的令牌存在富余或者欠缺, 对网络的剩余带宽分配不合理。二级令牌分配模块比对 AF 子队列的平均流量到达率和该队列当前按 SLA 允许到达的流量, 判断对应令牌桶的令牌是否富余或者欠缺。统计所有 AF 子队列的富余令牌数和欠缺数, 根据令牌分配配额等比例公平的将富余令牌动态分配给欠缺令牌子队列的令牌桶, 保证网络剩余带宽的充分利用。

二级令牌分配的关键在于富余令牌分配配额的计算, 在 DiffServ 服务网络中, 富余令牌分配配额应由 AF 业务流的传输服务质量需求确定。SLA 定义了每个 AF 业务流的传输特性, 主要包括时延和丢包率。但当网络处于轻载状态, AF 业务流在网络中传

输的时延和丢包率都几乎不存在, 对富余令牌分配配额的影响很小。因此, AF 欠缺令牌子队列的富余令牌分配配额应由队列的欠缺令牌数、时延优先级和包丢弃优先级共同决定, 并且当网络处于不同的负载状态时, 3 种影响因子对富余令牌分配配额的影响权重不同。基于欠缺令牌数、时延优先级和丢包优先级的富余令牌分配配额之和即为每个 AF 欠缺令牌子队列的富余令牌分配配额。

3 流量分类着色和入队管理

经过监管的 AF 业务流量被标记为 3 色流量后进入入队管理模块。时间滑动窗口 3 色标记器 (TSWTCM) 是目前 DiffServ 中推荐使用的一种标记器。TSWTCM 的参数主要有 CTR (Committed Target Rate) 和 PTR (Peak Target Rate), 两个参数由 SLA 定义的 AF 业务流量特性决定。一个 TSWTCM 包括两个独立的单元: 速率估计器和标记器。速率估计器估计每个 AF 业务流的平均流量到达率。当 AF 业务流的平均流量到达率小于 CTR 时, 标记器将报文标记为绿色, 当平均流量到达率介于 CTR 和 PTR 之间时, 将报文标记为黄色, 反之将报文标记为红色^[7]。

在 TCSN 网络中, 采用 RIO—C (RED with In/Out and Coupled queue) 算法实现对 AF 业务流的入队管理。RIO-C 在 DiffServ 模型中将 RIO 扩展为 3 个丢弃优先级或颜色。RIO-C 算法在传统应用中根据绿、黄、红 3 色分组的平均队长计算各颜色的丢弃概率, 网络出现拥塞时, 按丢弃概率丢弃各色分组^[8]。针对 TCSN 的特性, 在使用 RIO-C 算法时, 通过绿、黄、红 3 色分组的平均队长计算各颜色的入队概率, 各色分组按入队概率进入 BE 队列, 其他分组进入 AF 队列。

4 算法仿真分析

一级令牌分配和二级令牌分配是 TCSN 多级令牌桶监管 AF 业务流量的关键。一级令牌分配按照 SLA 规定速率为令牌桶添加令牌, 令牌分配结果由 AF 业务流的平均流量到达率和令牌添加速率决定。本文采用 MATLAB 仿真工具, 主要计算二级令牌分

配的富余令牌分配结果。二级令牌分配模块根据 AF 欠缺令牌子队列的富余令牌分配配额为每个令牌桶分配令牌。基于欠缺令牌数、时延优先级和包丢弃优先级的富余令牌分配配额之和即为 AF 欠缺令牌子队列的富余令牌分配配额。为保证富余令牌分配的比例公平性，分别在分段权值和连续权值下计算 AF 子队列的富余令牌分配配额。随着仿真时间的延长，网络的平均信道利用率 η 不断增大，网络负载也随之增大。AF 子队列参数设置，如表 1 所示。

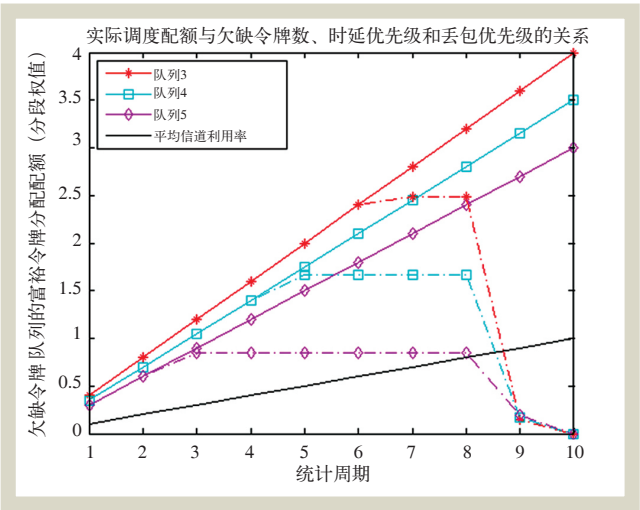
表 1 仿真参数

队列编号		AF子队列令牌富余和欠缺情况	时延优先级	包丢弃优先级
1		富余	5	1
2		富余	4	2
3		欠缺	3	3
4		欠缺	2	4
5		欠缺	1	5
权值因子		W_1	W_2	W_3
分段权值	轻载	0.8	0.15	0.05
	中载	0.01	0.98	0.01
	重载	0.1	0.1	0.8
连续权值		$1-\eta$	$(1-\eta) \cdot \eta$	$\eta \cdot \eta$

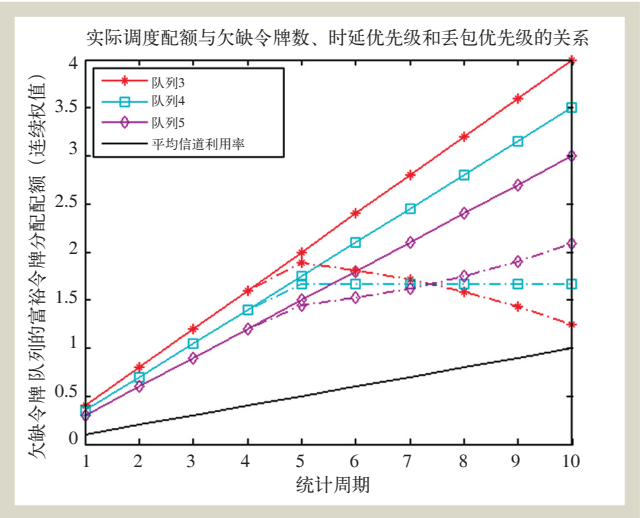
富余令牌分配额计算结果，如图 2 所示。图中实线表示 3 个欠缺令牌子队列的欠缺令牌数，虚线表示 3 个队列的富余令牌分配配额。

图 2a 为分段权值下的富余令牌重分配配额计算结果。(1) 网络轻载时，子队列的富余令牌分配配额随队列欠缺令牌数递增；(2) 网络中载时，队列的时延优先级越高，对应的富余令牌重分配配额越大，此时 AF 子队列的富余令牌比较充足，富余令牌分配配额变化比较均匀；(3) 网络重载时，队列的包丢弃优先级越高，对应的富余令牌重分配配额越大，但随着 AF 业务流不断到达，网络负载逐渐增大，队列的富余令牌越来越少，欠缺令牌越来越多，导致各个子队列的富余令牌分配配额持续减少。

图 2b 为连续权值下的富余令牌重分配配额计算结果，网络状态不同，AF 子队列的欠缺令牌数、时延和丢包率对分配配额的影响趋势与图 2a 大体相同，但 3 种影响因子的权值是随平均信道利用率实时变化的，因而队列的富余令牌分配配额变化趋势不同于图 2a。



a 分段权值



b 连续权值

图 2 富余令牌分配配额计算结果

5 结束语

目前，列车控制业务和旅客服务业务数据量越来越大，导致大量业务在列车通信网络中传输时极易出现拥塞，特别是旅客服务业务的迅速增加，容易对控制业务的正常传输产生影响，降低系统的实时性和可靠性，难以保障用户的服务质量需求。本文针对列车控制与服务业务一体化传输的 TCSN 网络，设计了多级令牌分配的流量监管方案，通过动态调节 AF 业务流对应令牌桶的令牌添加速率，和对一级令牌分配后的富余令牌进行重新分配，实现 AF 业务流量的动态监管，保证关键业务优先传输的同时其他控制业务和服务业务也能得到一定程度上的服务质量保障。通过仿真计算分段权值和连续权值

下的各个 AF 欠缺令牌子队列的富余令牌分配配额，验证了不同网络状态下 AF 子队列的令牌富余欠缺情况以及 AF 业务流的传输特性对富余令牌分配配额的影响。

参考文献：

- [1] 钟 廷. 基于业务的 TCSN 网络调度算法研究 [D]. 成都：西南交通大学，2016.
- [2] 裴子秀. 基于以太网的列车通信网络性能研究 [D]. 成都：西南交通大学，2014.
- [3] 刘 辰. 基于 DiffServ 模型的层次化 QoS 研究 [D]. 杭州：浙江大学，2003.
- [4] 李晓利，郭宇春. QoS 技术中令牌桶算法实现方式比较 [J]. 中兴通讯技术，2007，13（3）：56-60.
- [5] 张圆圆，郭裕顺. 流量监管和流量整形的实现和应用 [J]. 中国水运，2003，10（11）：78-80.
- [6] 涂文伟，张 进，张兴明. 分级统筹令牌参数的流量整形算法 [J]. 计算机应用，2006，26（9）：2175-2177.
- [7] 韩 冰. 网络公平性的区分服务分组标记和队列调度策略研究 [D]. 长春：吉林大学，2007.
- [8] 胡 啸. 基于区分服务网络的改进 RIO-C 算法的研究与仿真 [D]. 沈阳：东北大学，2009.

责任编辑 徐侃春

（上接 P44）

widget->winId());

若设置成功，则使播放器进入循环状态。g_main_loop_run(bus_data.m_Loop)。

（2）暂停

调用 gst_element_set_state 对管道设置暂停状态。

gst_element_set_state(m_Pipeline, GST_STATE_PAUSED)。

（3）停止

调用 gst_element_set_state 对管道设置空。

gst_element_set_state(m_Pipeline, GST_STATE_NULL)。

（4）快进

a. 调用 gst_element_query_position 查询管道当前的播放时间；

b. 将当前播放时间加上一定的值；

c. gst_element_seek 接口函数设置指定的播放时间，从而实现快进操作。

（5）快退

a. 调用 gst_element_query_position 查询管道当前的播放时间；

b. 将当前播放时间减去一定的值；

c. gst_element_seek 接口函数设置指定的播放时间，从而实现快退操作。

（6）音量调节

a. 设置当前音量 m_Volume 的值；

b. 调用 g_object_set 接口对播放器设置音量，

g_object_set(m_Pipeline, "volume", m_Volume, NULL)。

（7）时间查询

调用接口 gst_element_query_position 进行播放进度的查询；

gst_element_query_position(m_Pipeline, &fmt, &pos))。

3 结束语

利用 GStreamer 框架提供的 API 接口以及数据结构，能够快速在目标系统下开发出满足要求的播放器。目前本系统已在铁路客车上装车验证，经试验表明，在 GStreamer 框架下构建的音视频播放器的播放效果清晰、稳定，开发周期短，实用性较强。

参考文献：

- [1] 王 蕊. 基于 GStreamer 的媒体播放研究 [J]. 电子设计工程，2012（3）：28-30.
- [2] 孟凡飞. 基于 GStreamer 的嵌入式流媒体播放器的设计 [J]. 嵌入式系统应用，2010（7）：31-32.
- [3] 陈 玲. 基于 GStreamer 的 MP3 播放器开发 [J]. 电脑编程技巧与维护，2010（8）：110-112.
- [4] 秦端振. Linux 下基于 Gstreamer 的流媒体播放器设计 [J]. 科学大众（科学教育），2014（3）：149-151.
- [5] 张海滨. 嵌入式高清播放器的设计与实现 [J]. 计算机工程与设计，2010，31（13）：3084-3087.

责任编辑 徐侃春