

城市轨道交通信号系统有线通信网络的服务质量策略

许永顺

(上海地铁维护保障有限公司通号分公司, 200235, 上海)

摘要 [目的]城市轨道交通信号系统的数据流量增加,数据类型多样化,对可靠性、实时性和安全性提出更高要求,有必要深入研究信号系统有线通信网络的 QoS(服务质量)策略。[方法]基于信号系统的实际数据和有线通信网络架构,从网络带宽、各业务带宽需求、涉及的数据终端等角度,分析了信号系统中 ATP(列车自动防护)及 ATS(列车自动监控)子系统骨干网的业务需求。从有线通信网络的传输能力、数据处理效率和故障容错能力等方面,提出了一套优化的信号系统 QoS 实施策略,并通过测试来验证该策略的实现效果。[结果及结论]QoS 策略通过启用 RSVP(资源预留协议)来建立通信会话前的资源预留;配置相应的 DSCP(差分服务代码点)参数,以保证每个业务终端的带宽使用均为可控的。在骨干网交换机上基于 IEEE 802.1p 协议对业务进行优先级处理。仿真测试结果表明,QoS 策略能在极端流量情况下有效限制单个终端的流量,避免了由于单个终端发生故障而导致的应用不可用情况,有效提升了信号系统的质量和性能,可确保城市轨道交通信号系统能安全、高效地运行。

关键词 城市轨道交通;信号系统;有线通信网络;服务质量

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.11.012

QoS Strategies for Wired Communication Networks in Urban Rail Transit Signaling System

XU Yongshun

(Telecom & Signal Branch, Shanghai Metro Maintenance Support Co., Ltd., 200235, Shanghai, China)

Abstract [Objective] With the increase in data traffic and diversification of data types in urban rail transit signaling systems, higher demands are placed on reliability, real-time performance, and security. It is necessary to thoroughly investigate QoS (quality of service) strategies for wired communication networks in signaling system. [Method] Based on the actual data from signaling systems and the architecture of wired communication networks, an analysis is conducted on the service requirements of ATP (automatic train protection) and ATS (automatic train supervision) subsystem backbone networks in the signaling system, from perspectives of network bandwidth,

bandwidth requirements of each service, and involved data terminals. Considering the transmission capacity, data processing efficiency, and fault tolerance of wired communication networks, an optimized QoS implementation strategy for the signaling system is proposed and tested to validate its effectiveness. [Result & Conclusion] The QoS strategy employs RSVP (resource reservation protocol) to reserve resources before establishing communication sessions, and configures appropriate DSCP (differentiated services code point) parameters to ensure controllable bandwidth usage for each service terminal. Priority processing of services on the backbone network switches is based on the IEEE 802.1p protocol. Simulation test results show that the QoS strategy effectively limits the traffic of individual terminals under extreme traffic conditions, preventing application unavailability caused by single terminal failure. This significantly improves the quality and performance of the signaling system, ensuring the safe and efficient operation of urban rail transit signaling systems.

Key words urban rail transit; signaling system; wired communication network; service quality

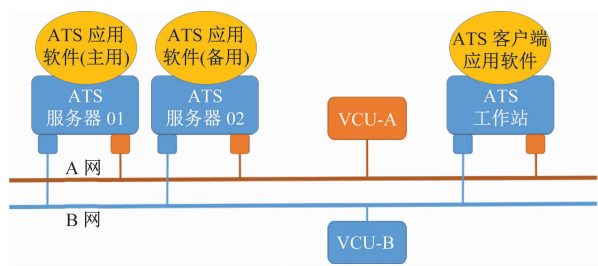
信号系统通常针对不同业务需求来新建不同的骨干网以实现物理分流。一个信号系统往往有 6 张或 8 张骨干网。随着信号系统的快速发展,引入了网络安全、智能运维、大数据分析等新技术,扩展了业务需求,存在突发流量。对此,有必要研究如何基于网络 QoS(服务质量)提高信号系统有线通信网的稳定性。

文献[1]提出的差异化服务架构,为 QoS 实现算法提供了重要的理论基础。文献[2]也为 QoS 提供了实践指导。文献[3]深入研究了有线通信网络流量 QoS 策略。文献[4]在因特网中的 QoS 实现算法方面取得了重要成果。

本文基于当前的创新性研究和验证,提出了一种新的网络 QoS 策略,以期提高城市轨道交通信号系统的可靠性和鲁棒性。

1 城市轨道交通信号系统网络架构

目前,主流的城市轨道交通信号系统网络采用 A/B 网架构,设立完全独立的 A 网及 B 网,二者互为冗余。在信号系统中,ATP(列车自动防护)、ATS(列车自动监控)及 LTE(长期演进)骨干网都采用 A/B 网架构。为满足调度及维护的需求,ATS、安全管理、网络管理、数据库及智能运维等应用系统的运维终端服务器需要同时连接到 A/B 网中。信号系统 ATS 子系统应用架构如图 1 所示。



注:VCU 为车载控制器。

图 1 信号系统 ATS 子系统应用架构

Fig. 1 Signaling system ATS subsystem application architecture

A/B 网架构虽能在网络设备出现单点故障时避免出现通信问题,但仍会影响实际运营。经深入分析,信号系统的 A 网及 B 网均受限于运营调度的需求,某些应用服务器仍然需要同时连接到 A/B 网以提供服务,在某些单点故障情况下,这些应用服务器仍然会受故障影响,无法处理相关业务数据。例如,图 1 中 ATS 应用软件(主用)服务器通过不同的网卡连接到了 A 网及 B 网,将形成两份数据并同时在 A 网及 B 网上传输,最终由同一个应用软件处理两份数据的业务。

为进一步分析单点故障对于应用系统的影响,实验室测试对 A 网在接近 ATS 工作站侧出现网络风暴这种单点故障情况进行模拟。此时,ATS 应用软件疲于处理来自 A 网 ATS 工作站接近业务带宽上限的重复报文,导致 ATS 服务器应用软件工作异常。在此情况下,即使 ATS 工作站与 ATS 服务器通过 B 网的通信是正常的,应用软件也无法切换到 B 网或转移到备用 ATS 服务器上为 ATS 工作站提供服务。

通过上述分析可知,应用软件同时连接到 A/B 网时,在单点故障情况下的稳定性已成为信号系统服务质量的短板。

2 信号系统的业务需求

为了解决应用软件的稳定性问题,需要从网络带宽、各业务带宽需求、涉及的数据终端等角度,对信号系统中 ATP 及 ATS 子系统骨干网的业务需求进行分析,结果如表 1 所示。

由表 1 可见:ATS 及 ATP 子系统骨干网都需要集中作业的业务,目前的骨干网带宽完全可以满足信号系统的业务需求。然而,随着技术的发展,智能运维系统的设备状态监控业务对带宽需求越来越多,临时性维护业务也有带宽需求,网络安全管理平台对设备安全日志实时分析的带宽需求也越来越多,从而会对其他业务产生影响。目前在上海轨道交通信号系统中。仅在 LTE 空中接口上针对车地信号调度业务进行了优先级的管控,在其他位置都未使用技术手段对表 1 中的业务及数据进行流量控制。

3 信号系统有线通信网络的 QoS 策略

由分析可知,目前信号系统单个节点的数据冲击可能导致应用层不可用,这是信号系统 QoS 的薄弱点。因此,QoS 策略应以保护应用系统为主,并根据特定的终端业务需求或应用程序需求来定制具体策略。由此,信号系统需要整合差分服务 QoS 模型及集成服务 QoS 模型,对接入交换机及部分与终端连接的骨干网交换机端口实施精细化管理:启用 RSVP(资源预留协议),以建立通信会话前的资源预留;配置相应的 DSCP(差分服务代码点)参数,以保证每个业务终端的带宽使用均为可控的。在骨干网交换机上基于 IEEE 802.1p 协议对业务进行优先级处理。

按照业务类型,信号系统有线通信网络 QoS 配置如表 2 所示。

信号系统 QoS 功能视图如图 2 所示。接入交换机通过 DSCP 参数配置与 RSVP 功能对各终端的流量进行限制,骨干网交换机主要基于 IEEE 802.1p 协议优先级来转发业务,基于 DSCP 参数在连接终端的端口对终端流量进行限制。

信号系统 QoS 策略采用由下而上的分布式网络管理架构,实现了业务差异化的服务质量需求与多维度网络资源之间的高效按需匹配。在实际应用中,QoS 策略还将端口流量监控数据上报至智能运维系统,通过智能运维系统的强化学习算法来统

表 1 信号系统 ATP 及 ATS 子系统骨干网的业务需求分析

Tab. 1 Service requirement analysis of ATP & ATS sub-systems in signaling system

骨干网	网络总带宽/ (Mibit/s)	承载的业务类型或数据类型	业务的带宽需求	涉及的数据终端
ATP 子系 统骨干网	1 000	车地信号调度业务	每列车单头 512 Kibit/s	VCU、轨旁 ZC
		ATS 与 VCU 的调度业务	每列车单头 100 Kibit/s	VCU、ATS 服务器
		ATS 与 ZC 的调度业务	每个 ZC 约 1 ~2 Mibit/s	轨旁 ZC、ATS 服务器
		相邻 ZC 之间的调度业务	每个 ZC 约 500 Kibit/s	轨旁 ZC
		网管服务器各 ATP 终端以及车载设备之间的管理类数据	约 5 Mibit/s	网管服务器、ATP 骨干网交换机、车载无线单元等网络设备、VCU、轨旁 ZC
		安全网管平台与各终端以及车载之间的安全日志数据	约 5 Mibit/s	安全管理平台、ATP 骨干网交换机、车载无线单元等网络设备、VCU、轨旁 ZC
ATS 子系 统骨干网	1 000	ATS 服务器与客户端的 ATS 业务数据	每个工作站约 2 Mibit/s, 下发时刻表期间可达到 50 Mibit/s	ATS 服务器、ATS 工作站、维护工作站
		DTI(发车倒计时显示器)数据	每个 DTI 约 30 Kibit/s	ATS 服务器、DTI 终端
		网管服务器各 ATS 终端之间的管理类数据	约 5 Mibit/s	网络管理服务器、ATS 骨干网交换机、ATS 客户端工作站、DTI 显示终端
		ATS 与第三方子系统接口数据	每个第三方子系统数据流应控制在 5 Mibit/s, 部分特殊 FTP/TFTP 协议需求达 10 Mibit/s	ATS、PIS、MC、PA、SCADA 等第三方子系统接口服务器
		ATS 与外部显示工作站	每个工作站应控制带宽在 10 Mibit/s	ATS 服务器、外部工作站
		安全网管平台日志数据	约 20 Mibit/s	安全网管平台、各 ATS 网络设备
		维护类数据	需预留 100 Mibit/s	网管服务器与各终端设备

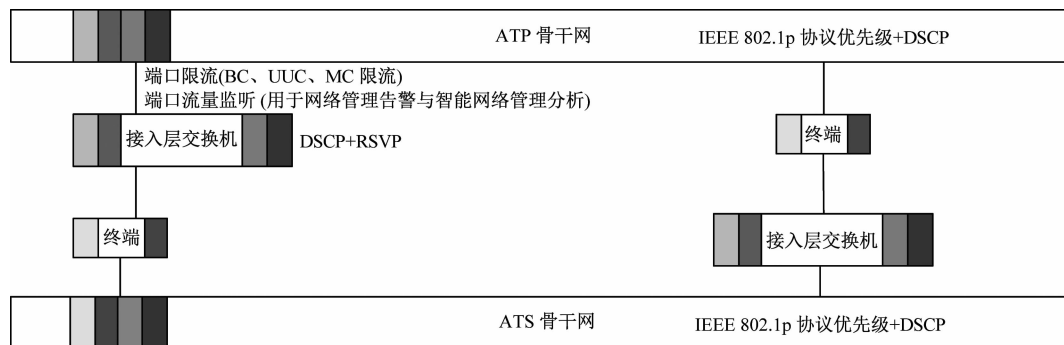
注:ZC 为区域控制器;PIS 为乘客信息系统;MC 为媒体转换器;PA 为广播系统;SCADA 为综合电力监控。

表 2 信号系统有线通信网络 QoS 配置

Tab. 2 QoS configuration for signaling system wired communication network

业务类型	承载的业务类型或数据类型	优先级	DSCP	接入交换机 CIR/ (Mibit/s)	CBS/(Mibit/s)	骨干网交换机 CIR/ (Mibit/s)
1	车地信号调度业务	0	0	1	2	
2	ATS 与 VCU 的调度业务	1	12	1	3	
3	ATS 与 ZC 的调度业务	1	14	5	10	
4	相邻 ZC 之间的调度业务	0	10	3	10	
5	NMS 管理类数据	6	48	10	20	10
6	安全日志数据	4	36	10	20	10
7	ATS 业务数据	5	46	10	30	
8	发车倒计时显示器数据	2	20			1
9	ATS 与第三方子系统接口数据	3	30	20	30	
10	ATS 与外部显示工作站	5	46	10	80	
11	安全网管平台日志数据	4	38	20	30	
12	维护类数据	7	56	100	300	100

注:CIR 为约定信息速率;CBS 为承诺突发尺寸。



注:UUC 为未知单播报文;BC 为广播报文。

图2 信号系统 QoS 功能视图

Fig. 2 Function view diagram of signaling system QoS

计分析端口流量数据,进而优化调度路径。

4 仿真测试

为了验证信号系统 QoS 策略的应用效果,本研究针对城市轨道交通信号系统的不同业务数据(如车地信号调度业务数据及 NMS(网络管理系统)的管理类业务数据等),2023 年底在上海地铁维护保障有限公司通号分公司实验室建立业务数据分析模型,对信号系统 QoS 策略下的可行性及稳定性进行仿真测试。

业务分析模型包含 30 列列车,20 台 ATS 工作

站及 6 个集中站,其网络环境仿真实施了 QoS 策略。

信号系统的 QoS 测试结果如图 3 及图 4 所示。由图 3 可见,在模拟 2 台工作站流量风暴的过程中,约在 01:00 时,带宽已达到了 ATS 应用的处理上限带宽(200 Mbit/s)。由图 4 可见,QoS 策略可以有效限制保证每条业务带宽的上限,即使模拟全部的工作站流量已到达其带宽峰值,其流量也仍被限制在 120 Mbit/s 左右,ATS 应用仍然可以保持正常工作。

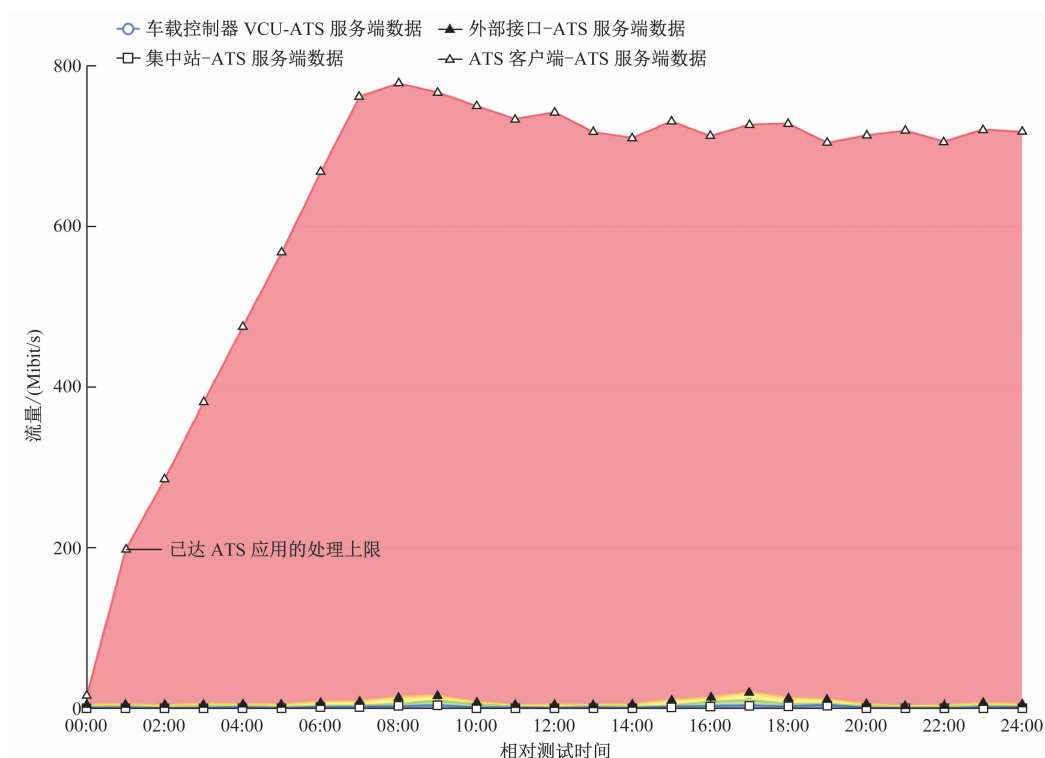


图3 部署 QoS 策略前信号系统带宽测试结果

Fig. 3 Test results of signaling system bandwidth before QoS policy deployment

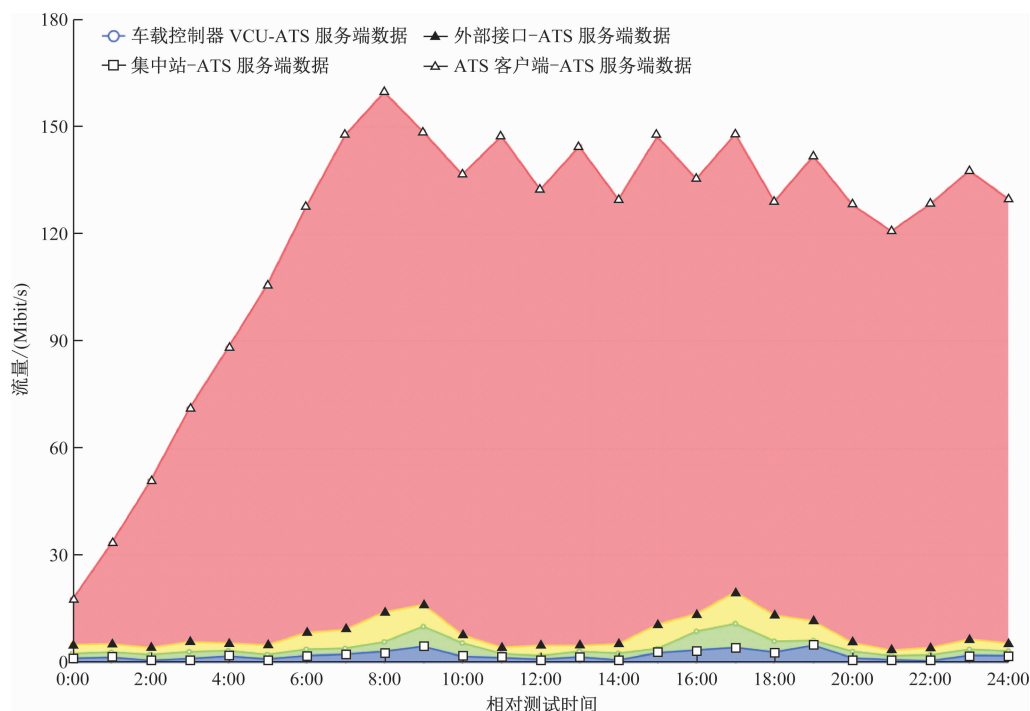


图 4 部署 QoS 策略后信号系统带宽测试结果

Fig. 4 Test results of signaling system bandwidth after QoS policy deployment

实验室试验的测试结果显示,QoS 策略能有效保证在极端流量控制下各终端的流量均被有效限制,单个终端的故障将不再对应用造成不可用的影响,信号系统的稳定性和服务质量得以提高。

进一步分析图 3 及图 4 可知:

1) 针对列车调度信息和故障报警信息等不同业务数据,QoS 策略有效限制了单个终端的流量。即使 10 台 ATS 客户端工作站模拟流量达到带宽峰值,信号系统也仍能有效控制流量,避免了由于单个终端发生故障而导致的应用不可用情况。

2) 通过实验室测试验证 QoS 策略的有效性,城市轨道交通信号系统的稳定性和服务质量得到提高。即使在极端流量控制下,系统仍能保证各终端正常运行,从而提升了系统的鲁棒性和可靠性。

5 结语

在城市轨道交通信号系统中,通过融合集成服务模型与差分服务模型 QoS 策略,可以有效提高系统的可靠性,解决了分布式环境下的单点故障对于应用层的影响,有效保证信号系统网络的健壮性。后续智能网管还可以通过收集的端口数据基于强化学习算法持续优化 QoS 调度策略,提高资源利用率和服务质量。保证信号系统网络在各种情况下的稳定性和可靠性。

参考文献

- [1] BLAKE S, BLACK D, CARLSON M, et al. An architecture for differentiated services: RFC 2475[S]. Wilmington: IETF (Internet Engineering Task Force), 1998: 14.
- [2] SZIGETI Tim, BARTON Robert, HATTINGH Christina, 等. 端到端 QoS 网络设计[M]. 2 版. 北京:人民邮电出版社,2015:29. SZIGETI Tim, BARTON Robert, HATTINGH Christina, et al. End-to-end QoS network design[M]. 2nd ed. Beijing: Posts & Telecom Press, 2015:29.
- [3] 杨颖, 汪学舜. 因特网中 QoS 实现算法研究[J]. 计算机与数字工程, 2008, 36(5): 46. YANG Ying, WANG Xueshun. Research on algorithms of QoS on terabit switcher[J]. Computer & Digital Engineering, 2008, 36(5): 46.
- [4] 牛妍华, 赵翠, 欧阳峰. 有线网络流量 QoS 策略研究[J]. 广播与电视技术, 2019, 46(7): 82. NIU Yanhua, ZHAO Cui, OUYANG Feng. Research of cable network traffic QoS policy[J]. Radio & TV Broadcast Engineering, 2019, 46(7): 82.

· 收稿日期:2024-05-08 修回日期:2024-05-27 出版日期:2024-11-10
Received:2024-05-08 Revised:2024-05-27 Published:2024-11-10
· 通信作者:许永顺,工程师,230239233@qq.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license