

基于SPN的5G+车联网的切片技术 的应用与研究

Application and Research on Slicing Technology of 5G + Internet of Vehicles Based on SPN

陈 骋,南蜀崇(华信咨询设计研究院有限公司,浙江 杭州 310053)
Chen Cheng, Nan Shuchong(Huaxin Consulting and Designing Institute Co.,Ltd.,Hangzhou 310053,China)

摘 要:

SPN是面向5G传输网提出的创新技术体系,可实现大带宽、低时延、高效率的综合业务传输。针对5G+车联网这类垂直行业的业务需求,当前尚存在大量问题亟待解决。通过SPN试验网设计与搭建,对SPN系统中切片功能及业务承载能力进行了研究。研究测试表明:切片功能管控面可大幅度降低业务开通和维护的复杂度,转发面能基于FlexE技术实现车联网业务的隔离和带宽灵活调度功能;业务承载结合分段路由SR能有效降低业务中断风险,提高网络安全性能。


Abstract:

SPN is an innovative technology system proposed for 5G transmission, which can realize comprehensive service transmission with large bandwidth, low delay and high efficiency. For the service needs of vertical industries such as 5G + Internet of vehicles, there are still a lot of problems to be resolved. Through the design and construction of SPN test network, the slicing function and service carrying capacity of SPN system are studied. The research and test show that the management and control planes of the slice function can greatly reduce the complexity of service opening and maintenance, and the forwarding plane can realize the function of isolation and flexible bandwidth scheduling of the Internet of vehicles service based on FlexE technology, and the combination of service bearing and SR can effectively reduce the risk of service interruption and improve the network security performance.

Keywords:

5G; SPN; Internet of vehicles; Slicing technology; FlexE

关键词:

5G; SPN; 车联网; 切片技术; FlexE
doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2021.05.019
文章编号: 1007-3043(2021)05-0087-05
中图分类号: TN913
文献标识码: A
开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

引用格式: 陈骋,南蜀崇. 基于SPN的5G+车联网的切片技术的应用与研究[J]. 邮电设计技术, 2021(5): 87-92.

0 引言

5G正朝着进一步综合化、智能化的方向迈进,并促进着物联网高速发展^[1]。作为端到端业务路径的一部分,基于5G传输承载网需求构建的切片分组网(SPN)可满足大带宽、低时延、高效率的综合业务需求^[2]。同时5G网络需提供面向垂直行业的应用需求,这要求承载网须具备业务隔离和独立运维的能力,使不同类型的业务承载在如同相互独立的物理网络

上^[3-4]。

车联网是5G业务端到端开通方案中重要应用场景之一,是垂直行业中研究的重点课题,且现阶段针对5G+车联网场景的应用测试和研究较少,当前尚存在大量技术问题亟待解决^[5-7]。文献[5]总体分析了车联网产业融合、加速发展的趋势;文献[6]研究了面向车联网的MEC技术并在对应场景进行分析;文献[7]对5G车联网总体架构和车联网重点案例提出解决方案;文献[8]对面向5G/6G的FlexE时隙分配问题进行探讨;文献[9]对FlexE切片技术的主要功能和应用场景进行分析。

收稿日期: 2021-03-22

网络切片功能是5G SPN网络的关键技术之一,可通过有序整合网络资源实现特定场景下的用户和业务需求。从单一业务角度分析,切片技术能够针对性地满足各类型业务对网络的需求。从垂直行业角度分析,切片技术能够带来更加独立的管理模式以及更优的业务能力,促进全新“5G+生态”智慧平台的构建,带来大量全新商业模式。从多业务角度分析,切片技术能够针对性地为各类业务精准划分出独立的逻辑网络资源,实现业务差异化承载并具有独立管理维护能力。本文旨在传输网的分片隔离技术做深度探讨,基于切片技术原理和“5G+车联网”垂直行业网络部署进行重点分析,通过搭建试验网进行实际测试并对测试数据进行分析,验证5G车联网业务的传输网切片功能和业务承载能力。

1 切片技术

1.1 切片技术的分类

切片技术分别通过管理面、控制面、转发面实现网络资源的逻辑隔离^[10-11]。

管理面隔离后具有功能如下:独立的切片网络管理、独立切片拓扑视图、分片下的业务管理配置、性能监控、告警和日志、故障处理等。控制面隔离后具有功能如下:分配的标签控件,标签分发信令结果,以及切片内的业务转发路径计算等。管控融合平台将隔离后的管理面和控制面功能进行整合,从而实现对业务路径分析与决策,统筹管理业务发放和运维。使SPN系统实现基站上线业务快速开通、基础配置自动化生成与下发、路径自动规划等特性。

承载网转发面的切片技术可分为软切片技术和硬切片技术,其分类如表1所示^[12]。实际建设中,往往

表1 切片技术分类

类型	软切片技术	硬切片技术
层级	二层(Layer 2)或以上	一层(Layer 1)或光层
类型	基于统计复用	基于刚性管道

需要使用多种隔离技术组合,以达到网络切片的端到端隔离的效果。

1.2 基于FlexE技术的原理分析

FlexE技术通过时隙交叉技术无需解析相关节点,做到了基于物理层的用户业务流转发,从而使链路上单跳设备转发的时间间隔不大于 $1\ \mu\text{s}$,以满足开通端到端的低时延高可靠通信(uRLLC)场景的超低时延需求^[14-15]。

FlexE基本结构如图1所示。FlexE Client通过64b/66b的编码方式将数据流传递至FlexE Shim层;然后将编码后的数据块承载在长度为20 Slot的Sub-Calendar逻辑单元上,整合多个逻辑单元形成Calendar组件。其中,每个逻辑单元前均有开销Slot,通过多个开销Slot构成开销帧和开销复帧形成FlexE带内管理通道,具备传递FlexE接口之间的配置、管理和链路信息的功能。最后将Calendar组件映射至FlexE Group层实现数据承载与带宽分配。其中FlexE Group通过多个以太网PHY层绑定形成,使得多路低速率MAC层数据流共享1路或者多路PHY,并实现物理隔离、互不干扰。

图2为FlexE复用/解复用工作机制示意图。FlexE复用过程:将不同速率的业务块通过64b/66b的编码并按照分配算法映射至Calendar组件的指定位置,同时将该业务对应的身份信息映射至FlexE开销配置复帧中。FlexE技术属于刚性管道切片技术,只要有足够

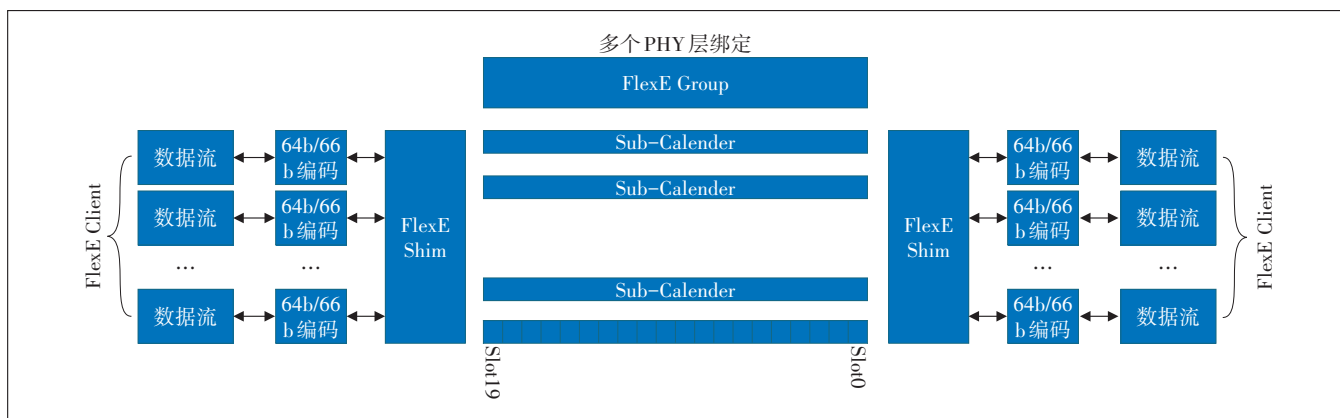


图1 FlexE结构示意图

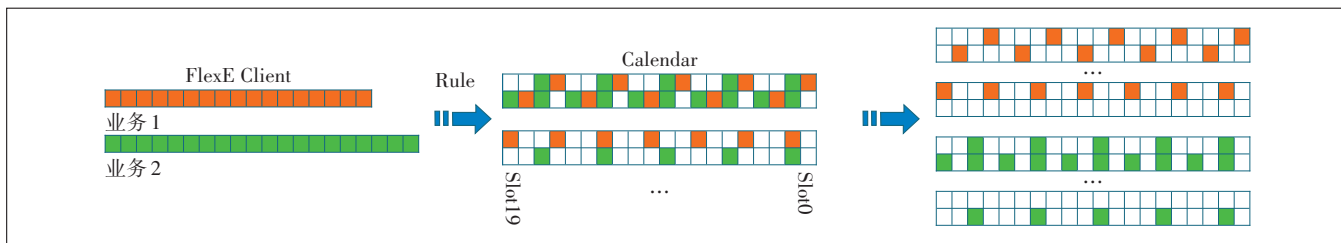


图2 FlexE复用/解复用工作机制示意图

多的空余 Slot,就能够随时复用进新的业务。FlexE 解复用过程中,在接收端分别实现包括同步、删除对齐码和解扰等操作,然后基于 FlexE 开销块中的对应业务位置信息,提取对应 Slot,然后通过 64b/66b 解码模块解析出完整数据包分配到客户侧。

基于 FlexE 切片的复用和解复用机制可以实现带宽的灵活动态调整。通过开销形成的带内管理通道可实现子接口之间的配置调整,从而修改 Calendar 组件中对应业务的 Slot 配置情况,使网络具备动态调整业务带宽功能。

2 试验网设计与实现

2.1 总体 SPN 网络部署

车联网业务属于端到端业务,试验网总体部署采用“FlexE 1G 颗粒度+时间同步+三层到边缘+SR-TP+随流检测(iFIT)”技术方案。参考 uRLLC 以及车联网业务规范指标^[13],本试验网中车联网业务预期低时延目标为:试验车辆-控制仓环回总时延<10 ms,承载网时延<3 ms。车联网总体网络架构如图3所示。

通过搭建 SPN 传输网络,将 L3 虚拟专用网(VPN)^[6]下沉至接入层,5G 基站业务通过 SPN 系统上传至核心网移动边缘计算(MEC)^[11]平台,通过省干传送网将控制信息传送到网络云化引擎(NCE)进行试

验。SPN 系统将 L3 部署至接入层,实现流量的就近转发;分别将城域核心层 SPN-汇聚层 SPN、汇聚层 SPN 接入层划分为内部网关协议(IGP)0 域和 IGP 1 域。传输承载网架构及具体配置分别如图4和表2所示。

2.2 切片功能部署

通过管控融合平台完成业务路径分析与决策,统筹管理业务发放和运维。现网部署的新型网管为“管理+控制+分析”平台,可实现 80K 等效 SPN 网元数的管理。管控融合平台通过实时的网络拓扑搜集及服务等级协议(SLA)数据采集,NCE 完成业务路径分析与决策,再将优化后的路径自动下发给 SPN 设备。相较于传统网管系统,理论上可减少业务开通过程中的时间和人力成本。其中,业务发放和运维的人工复杂度 O 可由式(1)表示:

$$O(a, b) = R \cdot E(N, 4) \cdot A^T \quad (1)$$

式中:

R ——大小为 1×4 的矩阵, $R(k) = (r_1(k), r_2(k, k+1), r_3(k, k+1), r_4(k, k+1))$, 矩阵中 k, r_1, r_2, r_3, r_4 分别表示正序第 $k(1 \leq k \leq N)$ 个基站设备,车联网业务单基站业务开通时间、设备单跳电路配置数、同环路设备电路配置数以及故障时电路配置数

$E(N, 4)$ ——大小为 $N \times 4$ 的单位矩阵,其中, $N = \max[N_1, N_2, N_3, N_4]$, N_1, N_2, N_3, N_4 分别表示业务涉及基

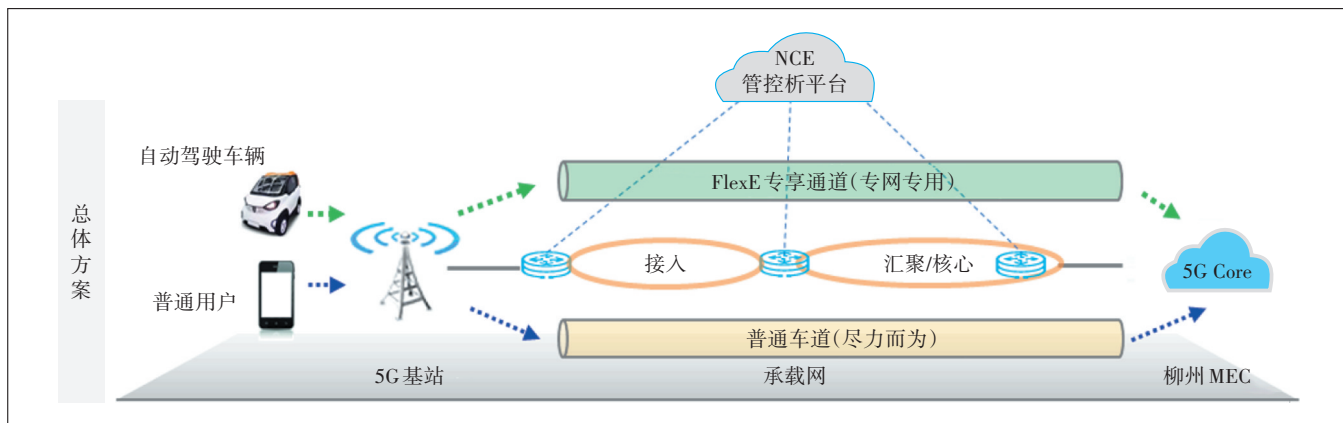


图3 车联网总体网络架构

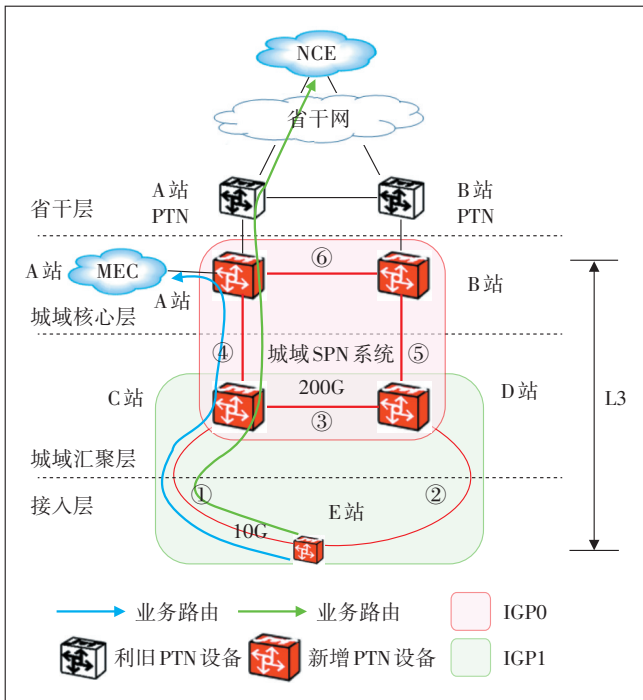


图4 传输承载网架构

表2 SPN系统硬件配置

层级	硬件配置	系统容量
省干层	利旧现网PTN系统	/
城域核心层	新增2端SPN设备	200G
城域汇聚层	新增2端SPN设备	200G
接入层	新增1端SPN设备	10G

站总数、工作路径需配置电路数、同环路需配置电路数以及故障时需处理的电路数

A—— r_1, r_2, r_3, r_4 分别对应的复杂度系数, $A^T=(a, b, c, d)$

转发面采用FlexE 1G颗粒分片技术,实现物理隔离差异化承载。通过FlexE切片配置在城域汇聚层至城域核心层给车联网专享通道1GE的同时,分配1G颗粒普通通道给模拟业务作为参照。正常工作路径传输距离如图5所示,工作路由为①—④—⑦,备用路由按照SR计算得出最短路径。

理论单跳传输链路时延可表示为 $T = Lv_{\text{光纤}}$ 。其中,光纤中光速降低31%,约为 $v_{\text{光纤}} = 2 \times 10^8 \text{ km/s}$ 。则业务理论单向时延 T_{sum} 可表示为:

$$T_{\text{sum}} = \left[\sum_{i=1}^{n-1} L(i, i+1) \right] / v_{\text{光纤}} + \sum_{i=1}^n t_i \quad (2)$$

式中:

$L(i, i+1)$ ——设备 i 和设备 $i+1$ 之间单跳链路距

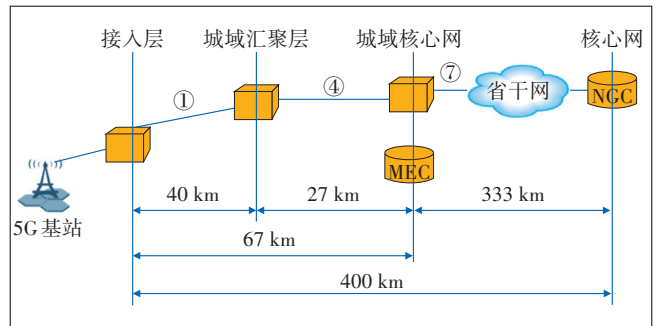


图5 工作路径传输距离

离

t_i ——单向链路中第 i 个设备的时延, $1 \leq i \leq n, n$ 为单向链路上设备总数。通过图5可计算接入层至MEC的理论最小传输链路时延为 $335 \mu\text{s}$, 满足5G uRLLC业务标准

切片功能部署后,通过NCE将车联网业务分片从1G颗粒提升至2G颗粒,实现FlexE带宽调整。基于FlexE复用/解复用工作机制可以知道FlexE切片技术能实现带宽动态调整功能。并在带宽动态调整前后对时延、丢包率以及抖动敏感度等影响车联网业务的正常开通的参数进行测试和分析。

2.3 业务承载部署

传统核心网的配置方案难以满足车联网等低时延业务场景的需求,同时会造成带宽的浪费。因此,核心网通过云化+CU分离方式并将U面下沉实现带宽的高效利用。此时的低时延业务便能通过下沉至城域核心层的MEC进行处理。

针对上述试验网,将系统设置①、②、③、④、⑤、⑥共6个链路故障点,对SPN网络结构中所有故障场景进行理论分析,并验证SR技术降低业务中断风险的功能。共计存在 $C_6^1 + C_6^2 + C_6^3 + C_6^4 + C_6^5 + C_6^6 = 63$ 种链路中断场景。假设单链路发生中断概率均为 P , 则各场景发生概率为 $p = P^N(1 - P)^{6-N}$ 。则所有链路中断场景下车联网业务不中断概率的数学期望 Q , 如式(3)所示。

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{\sum_{i=1}^N p_i} \quad (3)$$

式中:

p_i ——第 i 场景发生的概率

n ——车联网业务不中断总场景数

N ——链路中断的总场景数

3 试验网测试结果及分析

3.1 切片功能测试

对比传统网管和管控融合平台上端到端业务配置,相关对比参数如表3所示。

表3 业务配置情况

管理平台	传统网管	NCE管控融合平台
单基站业务开通时间	≥2 h	≤10 min
配置电路	逐条配置	仅配置业务两端
同环路电路配置	逐条配置	自动开通,无需再次配置
故障处理	逐条重新配置电路	SR功能自动倒换

从表3中分析可知,管控融合平台可提高业务开通效率,业务开通时间降低91.6%,大幅度降低配置时间;管控融合平台配置电路复杂度较传统网管系统大大降低,仅需考虑端到端业务的两端端点,且NCE自动管理接入层同环路的基站,无需再次配置,试验网的业务配置人工复杂度降低60%;提高业务稳定性,业务开通以及故障处理均大幅降低人工操作频率。综上,总体业务开通配置人工复杂度大幅减小,测试结果符合部署预期。

图6为可视化业务时延链路。设置工作路径距离3跳,通过管控融合平台可实现业务逐跳、单跳设备和链路时延、丢包率可视,故障定位从原本的50 min缩短至约15 min,故障排查效率大幅提升。

对比相同条件下的普通业务和车联网业务的性能指标,车联网业务性能是否发生拥塞导致时延增加,对FlexE隔离功能进行测试。

由表4可以知道,车联网业务时延基本符合理论推导时延结果。常规场景下的车联网业务和普通业

务的时延和丢包率相差不大;但在拥塞场景下,普通业务的时延极速增大,虽L1层的平均速率上升但出现较高丢包情况,通道出现了明显的劣化,业务的可靠性大大降低。而拥塞场景下的车联网业务时延几乎不变,抖动小,且L1层平均速率稳定,依旧未出现丢包。验证了车联网业务中FlexE切片能够做到很好的转发面隔离。车联网业务中,最大单向时延与平均单向时延之差小于 $2\ \mu\text{s}$,保证了专享通道中的业务具有超低时延和时延抖动不敏感的特性,且具有极高的可靠性保障。

表4 不同场景下的不同业务带宽性能

参数	车联网业务		普通业务	
	常规场景	拥塞场景	常规场景	拥塞场景
平均单向时延	350.620 μs	350.771 μs	350.635 μs	10.914 ms
最大单向时延	352.436 μs	352.078 μs	352.261 μs	10.924 ms
丢包率/%	0	0	0	15.12
L1层平均速率	636.91 bit/s	632.27 bit/s	625.71 bit/s	99.35 Mbit/s

调整前后业务各参数变化如表5所示。FlexE带宽调整过程中业务L1层平均速率基本不变,业务无中断、丢包率仍为0%,具有优良的可靠性;最大单向时延与平均单向时延之差小于 $2\ \mu\text{s}$,约占总时延的0.5%,保持对抖动不敏感性,FlexE带宽动态调整性能完全满足车联网业务标准。

表5 FlexE带宽调整表

颗粒	1G(调整前)	2G(调整后)
平均单向时延/ μs	350.620	355.106
最大单向时延/ μs	352.436	356.696
丢包率/%	0	0
L1层平均速率/(bit/s)	636.91	621.07

3.2 业务承载测试

理论推导共计64种场景,其中,24种场景不会发

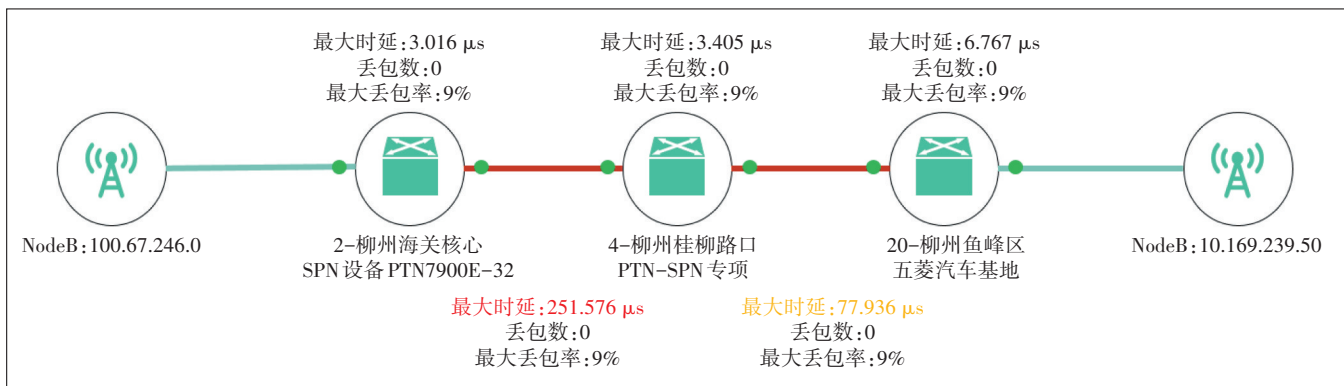


图6 可视化业务链路

生业务中断,40种场景会发生业务中断。假设单链路故障概率 P 为10%,表6为链路断点和业务不中断概率情况。

表6 链路断点和业务不中断概率情况

链路断点数	存在场景数	单场景发生概率/%	业务不中断概率/%
0	1	53	100
1	6	35	100
2	15	10	67
3	20	1	30
4	15	0	7
5	6	0	0
6	1	0	0

测试结果显示,链路不中断概率为53%,所有链路中断场景下业务不中断概率的数学期望 $Q=42.4\%$ 。当链路故障点为1时,均能通过自动倒换保证物联网业务正常开通;当链路故障点大于等于4时(大部分由重大灾难引发),车联网业务无法开通。这里主要分析链路断点为2或3时的情况。

当链路断点为2时,共计存在15断点情况,其中5种业务中断,存在33.3%业务中断概率。当链路断点为3时,共计20种断点方式,其中14种业务中断,存在70%业务中断概率。其中,部分场景可通过在接入域增加备用路由、将MEC双归在2个核心节点等方式,提升业务不中断概率,进一步降低中断风险,提升网络安全性。

4 结论

本文通过搭建SPN试验网系统,针对车联网这类5G商用化重点开通业务,对切片功能以及车联网业务承载功能进行研究。采用“FlexE 1G颗粒度+时间同步+三层到边缘+SR-TP+iFIT”技术方案对车联网业务进行部署。

测试结果表明:试验网的车联网业务满足本文预期时延目标;FlexE隔离和带宽调整功能真实有效,且具有较好的低时延和抖动敏感度低的特点;业务承载通过SR保护倒换功能使网络连接灵活,降低业务中断风险。本文搭建的SPN试验网系统能有效满足以车联网业务为主的低时延、高可靠连接的uRLLC业务开通需求。试验网部署方案可为后期5G SPN大规模建设及端到端业务开通打下坚实的基础,为车联网业务发展和相关新型交通体系积累实践经验。

根据测试结果,针对车联网这类垂直行业5G应用

场景需求,后期计划根据测试结果调整SPN网络部署,进一步提高业务稳定性,降低中断风险,并在其他地(市)逐步搭建SPN网络,促进5G业务规模化开通,构建“5G+生态”智慧平台。

参考文献:

- [1] 邬贺铨. 大数据驱动5G网络与服务优化[J]. 大数据, 2018, 4(6): 1-8.
- [2] 李哈. 面向5G的传送网新架构及关键技术[J]. 中兴通讯技术, 2018, 24(1): 53-57.
- [3] 王炯. 5G网络架构下物联网的发展分析[J]. 信息与电脑(理论版), 2019, 31(22): 156-158.
- [4] 堵久辉, 王维星, 李北斗. 5G网络切片端到端管理与编排[J]. 邮电设计技术, 2019(5): 57-63.
- [5] 汤立波, 康陈. 车联网产业融合发展趋势[J]. 电信科学, 2019, 35(11): 96-100.
- [6] 黄梅青, 李宁. 向5G演进的基于边缘计算的车联网应用[J]. 电信科学, 2019, 35(S2): 169-175.
- [7] 刘琪, 洪高风, 邱佳慧, 等. 基于5G的车联网体系架构及其应用研究[J]. 移动通信, 2019, 43(11): 57-64.
- [8] 祁亚超, 徐旺生. 面向5G/6G的FlexE时隙分配算法的研究[J]. 光通信技术, 2020, 44(4): 13-17.
- [9] 段宏, 郭昌华, 刘文钊. FlexE技术及其在5G承载网中的应用探析[J]. 邮电设计技术, 2020(3): 80-85.
- [10] 王睿, 张克落. 5G网络切片综述[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版), 2018, 38(5): 19-27.
- [11] 项弘禹, 肖扬文, 张贤, 等. 5G边缘计算和网络切片技术[J]. 电信科学, 2017, 33(6): 54-63.
- [12] 王丽莉, 姚军. 5G传输网络承载方案分析[J]. 电信科学, 2019, 35(7): 145-151.
- [13] 方琰璇, 陈亚权, 李立平, 等. 5G网络切片解决方案和关键技术[J]. 邮电设计技术, 2020(3): 70-74.
- [14] Enhancement of 3GPP support for V2X scenarios: 3GPP TS 22.186 V16.2.0[S/OL]. [2020-06-14]. https://www.3gpp.org/ftp/specs/archive/22_series/22.186/.
- [15] 夏洪伟, 尹霞, 邓巍. 5G网络切片技术研究[J]. 邮电设计技术, 2020(3): 54-59.
- [16] 王良民, 刘晓龙, 李春晓, 等. 5G车联网展望[J]. 网络与信息安全学报, 2016(6): 1-12.

作者简介:

陈骋, 工程师, 硕士, 主要研究方向为传输网络规划与设计; 南蜀崇, 助理工程师, 硕士, 主要研究方向为传输网络设计。

