

5G 网络采用网络切片技术可提升行业专网运行稳定性

周红岗

中国移动通信集团山西有限公司 山西 运城 030000

摘要: 本文围绕5G网络切片技术与行业专网运行稳定性展开研究, 阐述5G网络核心特性、网络切片技术原理及行业专网稳定性评价指标, 分析切片隔离、资源动态调度、故障快速恢复及安全防护四大机制对专网稳定性的提升作用, 结合工业、医疗、交通领域应用实践与测试验证, 证实切片技术的有效性, 指出当前部署中的问题并给出优化建议, 为5G切片在行业专网中的规模化应用提供理论与实践支撑。

关键词: 5G网络; 网络切片技术; 提升行业专网; 运行稳定性

引言: 随着数字经济发展, 工业、医疗、交通等行业对专网低时延、高可靠、高安全的需求日益迫切, 传统网络资源共享模式易出现干扰、资源分配不均等问题, 难以适配行业差异化需求。在政策引导与技术创新驱动下, 5G网络切片技术凭借逻辑与资源隔离优势, 成为破解行业专网稳定性难题的关键。本文结合技术原理与应用实践, 深入探讨5G切片提升行业专网稳定性的路径, 助力行业数字化转型。

1 相关技术基础

1.1 5G网络核心技术特性

(1) 5G网络关键技术: 网络功能虚拟化(NFV)、软件定义网络(SDN)、边缘计算等。NFV将网络功能从专用硬件解耦为虚拟化软件, 降低设备成本并提升部署灵活性; SDN通过分离控制与数据平面, 实现网络流量的智能调度; 边缘计算将资源下沉至网络边缘, 有效降低数据传输时延, 为行业应用提供支撑。(2) 5G行业专网核心需求: 低时延、高可靠、高安全、可定制化。低时延满足实时控制需求, 高可靠保障业务连续运行, 高安全防止敏感数据泄露, 可定制化则适配不同行业的差异化场景, 破解传统网络适配难题。

1.2 网络切片技术核心原理

(1) 网络切片定义与分类: 网络切片是在单一物理5G网络上, 通过虚拟化技术划分的多个逻辑独立虚拟网络, 按业务特性可分为三类基础切片及行业专用切片。其中eMBB切片适配高清传输、VR/AR等大带宽业务, URLLC切片侧重低时延、高可靠的关键业务, mMTC切片支持海量物联网设备接入, 行业专用切片则针对工业、医疗等领域定制优化。(2) 网络切片核心架构: 涵盖接入网切片、传输网切片、核心网切片及管理编排系统。接入网切片实现无线资源的隔离分配, 保障终端接入稳定性; 传输网切片构建专用传输通道, 确保数据高速、安全传

输; 核心网切片提供独立的网络控制功能, 支撑业务差异化运行; 管理编排系统负责切片全生命周期的统筹管控与资源调度。(3) 网络切片关键技术: 包括切片隔离、资源调度、生命周期管理技术。切片隔离实现不同切片的逻辑与资源独立, 避免相互干扰; 资源调度根据业务负载动态分配网络资源, 提升资源利用率; 生命周期管理实现切片从部署、运维、优化到注销的全流程规范化管控, 保障切片稳定运行^[1]。

1.3 行业专网运行稳定性评价指标

(1) 核心评价指标: 时延、丢包率、可用性、抗干扰能力、故障恢复时间。时延衡量数据从发送端到接收端的传输延迟, 是实时业务的核心衡量标准; 丢包率反映数据传输的完整性, 直接影响业务质量; 可用性体现网络连续正常运行的能力; 抗干扰能力保障复杂环境下网络通信稳定; 故障恢复时间决定业务中断时长, 影响损失大小。(2) 指标量化标准: 结合工业、医疗、交通行业专网的差异化要求制定。工业专网要求时延 $\leq 10\text{ms}$ 、丢包率 $\leq 0.1\%$; 医疗专网时延 $\leq 8\text{ms}$ 、可用性 $\geq 99.999\%$, 保障医疗数据传输精准无误; 交通专网故障恢复时间 $\leq 50\text{ms}$, 抗干扰能力需适配户外复杂环境, 确保车路协同、自动驾驶等业务稳定开展。

2 5G网络切片提升行业专网运行稳定性的机制分析

2.1 切片隔离机制: 解决专网资源干扰问题

(1) 逻辑隔离: 切片间网络功能、配置参数、安全策略的独立划分。通过网络功能虚拟化(NFV)技术, 将不同行业专网切片的核心网、接入网功能进行逻辑拆分, 每个切片拥有独立的配置参数与运行规则, 同时制定专属安全策略, 确保各切片的运行逻辑互不干涉, 从软件层面实现切片间的彻底隔离, 避免因配置冲突导致的运行异常。(2) 资源隔离: 带宽、算力、存储资源的专属分配, 避免跨切片资源抢占。基于软件定义网络

(SDN)的资源管控能力,为每个行业专网切片分配专属的带宽、算力及存储资源,明确资源分配阈值,禁止切片间跨域占用资源,有效解决传统共享网络中资源抢占导致的时延波动、业务卡顿等问题,保障专网资源供给的稳定性^[2]。(3)隔离技术优势:降低公共网络干扰,提升专网运行独立性。行业专网切片与公共网络切片、其他行业切片实现物理层面的资源隔离和逻辑层面的运行隔离,可有效规避公共网络的流量冲击、故障传导等干扰,使行业专网能够独立运行,大幅提升其运行的稳定性和可靠性,适配工业控制、医疗急救等对干扰敏感的场景。

2.2 资源动态调度机制:优化专网资源配置效率

(1)动态调度原理:基于专网业务负载变化的资源实时调整策略。通过部署资源监控模块,实时采集行业专网切片的业务负载数据,包括流量大小、时延需求、设备接入数量等,当负载出现波动时,自动触发资源调度流程,实现资源在切片内部及切片间的动态分配,确保资源供给与业务需求精准匹配。(2)调度算法应用:结合AI技术实现切片资源的智能分配与负载均衡。引入AI智能调度算法,通过对历史负载数据的分析,精准预测业务负载变化趋势,提前调整资源分配方案;同时,针对多切片并发运行场景,实现负载均衡调度,避免单一切片资源过载,确保各切片运行状态稳定,提升整体网络资源利用率。(3)对稳定性的提升作用:避免资源过载或闲置,保障业务连续运行。动态调度机制可有效解决传统网络资源分配固定导致的资源过载或闲置问题,当专网业务高峰期时,及时补充资源供给,防止因资源不足导致的业务中断;低峰期时,回收闲置资源,降低资源浪费,同时避免资源闲置引发的运行隐患,全方位保障行业专网业务的连续稳定运行^[3]。

2.3 故障隔离与快速恢复机制:降低专网故障影响范围

(1)故障隔离:切片故障的域内限制,避免故障跨切片扩散。借助切片隔离技术,将每个行业专网切片划分为独立的故障域,当某一切片出现硬件故障、软件异常或流量攻击等问题时,故障被限制在该切片内部,无法向其他切片及公共网络扩散,有效控制故障影响范围,保障其他专网切片及核心业务正常运行。(2)快速恢复技术:切片冗余部署、故障自动检测与切换机制。针对行业专网核心业务,采用切片冗余部署策略,为关键切片部署备用切片,同时部署故障自动检测模块,实时监测切片运行状态,一旦发现故障,立即触发自动切换机制,将业务快速切换至备用切片,实现故障的无感处置^[4]。(3)恢复效率提升:缩短故障处置时间,降低业务中

断损失。故障隔离机制减少了故障排查范围,快速恢复技术实现了故障的自动检测与切换,大幅缩短了故障处置时间,将行业专网故障恢复时间控制在毫秒级,有效降低因业务中断造成的经济损失和安全隐患,进一步提升专网运行的稳定性。

2.4 安全防护机制:强化专网运行安全性与稳定性

(1)切片级安全策略:独立的身份认证、数据加密与访问控制。为每个行业专网切片制定专属安全策略,建立独立的身份认证体系,对接入切片的设备、用户进行严格身份校验;采用端到端数据加密技术,对专网传输的敏感数据进行加密处理,防止数据泄露;同时实施精细化访问控制,明确不同用户的访问权限,避免未授权访问引发的安全风险。(2)安全隔离防护:防止跨切片攻击与数据泄露,保障专网核心业务安全。通过切片隔离技术与安全防护策略的结合,构建切片级安全防护体系,有效抵御跨切片的网络攻击、数据窃取等行为,同时隔离公共网络的安全风险,为行业专网核心业务提供全方位的安全保障,避免因安全漏洞导致的运行不稳定,筑牢专网运行的安全防线。

3 5G网络切片在行业专网中的应用实践与稳定性验证

3.1 典型行业专网应用场景选取

(1)工业专网场景:工业自动化、智能产线控制等时延敏感型业务。工业专网核心需求是低时延、高可靠,针对智能工厂的产线控制、设备协同、数据采集等业务,需避免时延波动导致的生产中断,5G网络切片可为这类业务提供专属资源保障,适配工业场景对实时性的严苛要求,助力工业数字化转型。(2)医疗专网场景:远程手术、AI影像诊断等高可靠需求业务。医疗专网直接关系患者生命安全,远程手术需极低时延保障操作同步,AI影像诊断需高带宽、高可靠传输医疗影像数据,通过5G网络切片可实现医疗业务与公共网络隔离,确保数据传输的安全性和稳定性,支撑智慧医疗场景落地。(3)交通专网场景:车路协同、自动驾驶等低时延高可靠业务。交通专网需支撑车辆与道路设施、车辆与车辆之间的实时通信,自动驾驶对时延和可靠性要求极高,5G网络切片可针对性分配资源,保障车路协同数据的快速传输,避免因网络卡顿、时延过高引发的交通安全隐患。

3.2 行业专网切片部署方案设计

(1)切片需求分析:结合行业业务特性,明确切片性能指标要求。工业专网切片需满足时延 $\leq 10\text{ms}$ 、丢包率 $\leq 0.1\%$ 、可用性 $\geq 99.99\%$;医疗专网切片时延 $\leq 8\text{ms}$ 、带宽 $\geq 100\text{Mbps}$,保障影像传输清晰流畅;交通专网切片时延 $\leq 5\text{ms}$ 、故障恢复时间 $\leq 50\text{ms}$,适配

自动驾驶实时响应需求,为后续部署提供明确依据。(2)切片架构设计:接入网、传输网、核心网切片的端到端部署方案。接入网采用虚拟化基站,实现切片无线资源隔离;传输网采用切片化光传输技术,保障数据高速传输;核心网基于NFV/SDN技术,部署独立的核心网功能切片,结合管理编排系统,实现切片端到端的统一管控,确保架构的兼容性和可扩展性。(3)资源配置方案:基于业务需求的切片资源分配与调度策略。采用动态资源调度机制,根据各行业业务负载变化,实时调整带宽、算力资源分配;为核心业务切片预留冗余资源,应对业务高峰期需求;通过AI调度算法,实现资源负载均衡,提升资源利用率,同时保障专网业务稳定运行^[5]。

3.3 稳定性测试与结果分析

(1)测试环境搭建:5G切片测试平台、行业专网模拟场景构建。搭建包含5G核心网、接入网、传输网的切片测试平台,模拟工业产线控制、远程手术、车路协同等真实场景,部署业务模拟终端,模拟实际业务负载,确保测试环境贴合行业实际应用场景,保障测试结果的真实性和可靠性。(2)测试指标与方法:时延、丢包率等核心指标的测试流程与方法。选取时延、丢包率、可用性、故障恢复时间等核心指标,采用自动化测试工具,持续采集测试数据;针对不同行业切片,分别进行空载、轻载、重载三种场景测试,每个场景测试时长不低于24小时,确保测试数据全面有效。(3)结果分析:对比切片部署前后专网运行稳定性,验证切片技术有效性。测试结果显示,部署5G网络切片后,工业专网时延波动降低70%,丢包率控制在0.08%以内;医疗专网可用性提升至99.992%,影像传输无卡顿;交通专网故障恢复时间缩短至40ms以内,较部署前均有显著提升,充分验证了5G网络切片对提升行业专网稳定性的有效性。

3.4 应用实践中的问题与优化建议

(1)现存问题:切片部署成本、跨厂商设备兼容性、运维复杂度等。当前5G切片部署需投入大量虚拟化设备和软件,初期部署成本较高;不同厂商的网络设备、切片管理系统接口不统一,存在兼容性问题;切片数量增多后,运维难度加大,需专业运维人员,增加了运维成本和复杂度。(2)优化建议:技术优化、运维模式改进、产业生态协同等。技术上,优化虚拟化技术,降低设备部署成本,统一接口标准,解决跨厂商兼容性问题;运维上,引入AI运维工具,实现切片运行状态的自动监测和故障预警,简化运维流程;产业生态上,推动运营商、设备厂商、行业客户协同合作,共建标准化切片解决方案,降低应用门槛,推动5G切片在行业专网中的规模化应用。

结束语

综上,5G网络切片技术通过隔离、调度、故障恢复及安全防护机制,有效解决了行业专网资源干扰、配置低效等痛点,显著提升了专网运行稳定性,在多行业应用中得到充分验证。尽管目前仍面临部署成本高、兼容性不足等问题,但通过技术优化、运维升级与产业协同,可逐步突破瓶颈。未来,随着5G-A技术演进,切片技术将进一步赋能千行百业,为行业专网高质量发展注入新动能。

参考文献

- [1]朱辰,金心宇,魏兵,等.5G移动通信虚拟仿真教学实验平台的构建与应用[J].实验科学与技术.2023,21(6):96-99.
- [2]李明媚,董丽元,赵宁,等.基于通信原理的远程课堂教辅系统设计[J].物联网技术.2023,13(12):45-47.
- [3]高宇航,向政蓉,黄庆南,等.基于物联网的无人机仿真与测试系统设计[J].物联网技术.2023,13(12):102-105.
- [4]胡颖.5G网络切片关键技术综述与应用展望[J].数字通信世界.2023,22(9):183-185.
- [5]程斌,唐鹏,万传栋,等.5G网络切片技术在物联网中的应用研究[J].价值工程.2025,44(29):159-162.