

Research on SPN Network Rapid Self-healing and Service Continuity Assurance Technology for Heavy Protection and Network Disaster Recovery Scenarios

Zhiqiang Cao¹ Zhenhua Zhou²

1. China Mobile Communications Group Hebei Co., Ltd. Zhangjiakou Branch, Zhangjiakou, Hebei, 075000, China
2. China Mobile Communications Group Hebei Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050021, China

Abstract

With the continuous development of information and communication technology, network security and disaster recovery capabilities have become critical factors in ensuring the stable operation of key information infrastructure. This paper focuses on the application of SPN (Slicing Packet Network) in critical protection and disaster recovery scenarios, proposing a technical solution based on SPN's rapid self-healing and business continuity assurance. By analyzing the re-routing functionality and self-healing mechanisms of SPN networks, a self-healing solution suitable for dual-ring disconnection scenarios is designed, addressing the issue of service interruptions in transmission networks under extreme conditions. This paper combines several typical application scenarios, including important event protection, high-speed railway transmission networks, and disaster-prone areas, providing systematic analysis and effect verification. The solution is not only innovative in terms of technology but also has high practical value, offering new approaches for disaster recovery and security assurance in the information and communication industry.

Keywords

SPN network; self-healing mechanism; business continuity; disaster recovery capability; rapid recovery

面向重保与网络容灾场景的 SPN 网络快速自愈与业务连续性保障技术研究

曹志强¹ 周振华²

1. 中国移动通信集团河北有限公司张家口分公司, 中国·河北 张家口 075000
2. 中国移动通信集团河北有限公司, 中国·河北 石家庄 050021

摘要

随着信息通信技术的不断发展, 网络安全与容灾能力成为保障关键信息基础设施稳定运行的重要因素。本文聚焦于 SPN (Slicing Packet Network) 网络在重保与容灾场景中的应用, 提出了一种基于 SPN 网络快速自愈与业务连续性保障的技术方案。通过分析 SPN 网络的重路由功能与自愈机制, 设计了适用于环网双断场景的自愈方案, 解决了传输网络在极端情况中的业务中断问题。本文结合多个典型应用场景, 包括重要活动保障、高铁沿线传输网络以及易受灾区域, 进行了系统性分析与效果验证, 该方案不仅在技术上具有创新性, 而且具有较高的应用价值, 为信息通信行业的容灾与安全保障提供了新的思路。

关键词

SPN 网络; 自愈机制; 业务连续性; 容灾能力; 快速恢复

1 引言

在现代信息通信系统中, 网络的安全性与稳定性对保障经济社会的正常运转具有重要意义。随着“十四五”规划对信息通信行业发展提出更高要求, 如何提升网络容灾与自愈能力成为当前的技术难题。尤其在重保场景下, 如重要活

动赛事保障、高铁沿线传输网络以及自然灾害频发区域, 网络的快速恢复与业务连续性保障显得尤为重要。SPN 网络作为一种新兴的切片分组网络技术, 其在环网架构中的自愈功能展现了极大的潜力, 能够在网络出现故障时快速恢复业务, 确保传输不间断。本文将重点研究 SPN 网络的重路由功能及其在不同容灾场景中的应用, 提出一种基于 SPN 网络的业务保护与灾难恢复策略, 通过实验验证其在高负荷、高风险环境下的实际效果, 为提升网络安全性与容灾能力提供有力支持。

【作者简介】曹志强 (1980-), 男, 中国河北张家口人, 本科, 高级工程师, 从事传输设备组网研究。

2 网络安全与容灾技术现状

2.1 信息通信行业安全保障的规划与发展

随着信息通信技术的迅速发展，网络安全和容灾能力的提升已成为保障国家经济、社会稳定及信息安全的关键。根据《“十四五”信息通信行业发展规划》，行业对于信息安全的要求进一步提高，要求信息系统具备更强的抗风险能力和应急响应能力，确保网络在面临灾难性事件时的稳定运行。近年来，随着云计算、大数据和5G等新技术的迅猛发展，网络安全体系逐步完善，涵盖了网络传输、数据保护、业务容灾等多个层面。网络架构的安全防护能力也在持续提升，尤其在关键基础设施中，安全保障的标准和措施已从被动防御转向主动应对。与此同时，应急响应和容灾能力的建设也成为各行业发展的重中之重，以提高网络的韧性和稳定性，确保在各种突发情况下，网络能快速恢复，减少系统中断对社会经济活动的影响。

2.2 SPN 网络技术概述

SPN (Slicing Packet Network) 技术是一种基于网络切片概念的新型传输网络架构。它通过将网络资源进行虚拟化划分，提供定制化、灵活的网络服务，以满足不同业务需求。SPN 网络的核心特征是其支持多种业务类型的并行传输，能够根据不同业务的带宽、延迟、可靠性等要求，动态调整资源分配，确保每种业务的质量保障。在这一架构下，网络的冗余性和容灾能力得到了增强，能够在发生故障时迅速恢复数据传输。同时，SPN 技术采用了重路由和快速故障检测等自愈功能，能在发生网络故障时自动切换到备用路径，确保业务不中断。SPN 网络不仅适用于大规模通信网络的建设，也为关键基础设施的安全保障提供了更为灵活、可靠的解决方案，广泛应用于数据中心、云计算、物联网和5G网络等多个领域^[1]。

3 面向重保与容灾的 SPN 网络自愈机制

3.1 SPN 网络重路由功能的基本原理

SPN 网络的重路由功能基于网络拓扑的动态调整与路径选择机制。通过预先规划好多个备份路径，当网络发生故障或主要路径中断时，系统能够自动切换到备用路径，从而确保数据传输不中断。重路由的核心是基于网络控制器对网络拓扑的实时感知，利用流量工程算法动态调整网络流量分布。在故障发生后，SPN 网络能够通过控制器的集中计算功能，迅速选择最佳备份路径进行业务恢复，从而实现无感知的故障切换。该机制不仅提高了网络的可靠性，还提升了容灾能力，特别是在环网结构中，能够有效避免单点故障对整个网络的影响。通过重路由，SPN 网络能够确保在任何突发情况下，业务都能通过其他路径完成传输，保障业务的连续性和稳定性^[2]。

3.2 环网双断场景下的 SPN 网络自愈方案设计

在环网架构中，传统的容灾技术往往依赖于单一的冗

余路径设计，一旦出现环网首尾两端断缆的情况，可能会导致整个环网的服务中断。SPN 网络的自愈方案通过在环网结构中部署多条逃生路由，并利用重路由功能进行快速切换，解决了传统容灾方案的不足。具体来说，在环网设计阶段，通过计算机算法优化光纤路径，选择合适的备份链路，确保在出现环网双断时，系统能够自动将流量引导至这些预设的逃生路由。该方案的关键在于通过在 SPN 网络设备中部署支持 SR-TP (Segment Routing Traffic Protection) 隧道技术，来实现快速路径切换和流量转移。通过这一设计，SPN 网络能够在环网双断场景下实现业务的无感知恢复，最大程度地减少故障恢复时间和网络停机时间，提高了网络的容灾能力和服务可靠性^[3]。

4 SPN 网络快速自愈与业务连续性保障方案

4.1 重路由功能在业务连续性中的关键作用

SPN 网络的重路由功能是保障业务连续性的核心技术。该功能能够在发生网络故障时迅速识别并切换至备用路径，确保数据流在不中断的情况下持续传输。通过预先规划多个备份路径，SPN 网络可以在故障发生时自动进行流量重定向。重路由由通过集中控制器进行路径计算，并依据网络拓扑结构优化流量路径，保障各项业务的正常运行。重路由功能的高效性来源于其对环网拓扑的深刻理解和动态调整能力。在 SPN 网络中，利用 SR-TP 隧道技术，能够在环网双断等复杂场景下快速恢复网络服务，避免长时间的业务中断^[4]。与传统的冗余方案相比，SPN 网络的重路由功能不仅提升了故障恢复的速度，也大大减少了人工干预和操作风险。该技术在多个场景中得到了验证，特别是在重要活动保障、高铁高速及易受灾区域，确保了业务的快速恢复并提升了用户体验。

4.2 环网双断场景下的自愈机制与解决方案

在环网结构中，环网双断是一个常见的故障场景，传统的环网设计往往只能依赖于单一路由的冗余，一旦发生环网首尾两端的断缆，将导致业务中断。针对这一问题，SPN 网络的自愈机制通过引入多路由冗余和智能重路由技术，解决了环网双断故障恢复的难题。SPN 网络自愈机制在环网结构中预设多个备份路径，并利用 SR-TP 隧道技术实时检测和切换流量。当环网发生双断时，控制器能够快速计算出最优备份路径，并将流量无缝切换至新的路径，避免业务的中断。该机制的关键技术在于其能够智能识别故障位置，并动态选择最佳路径进行流量恢复，不仅提高了容灾能力，也优化了网络资源的使用效率。在实际应用中，该方案已在多个高风险区域和重要场景中部署，验证了其在复杂环境下的高效性和可靠性，显著提高了网络的可用性和业务连续性。

4.3 基于 SPN 网络的业务保护与灾难恢复策略

SPN 网络的业务保护与灾难恢复策略结合了重路由技术、智能流量调度和容灾备份机制。该策略的核心是通过分

布式资源管理和冗余路径设计,在网络故障发生时实现业务的快速切换与恢复。具体来说,SPN网络在重要业务场景中通过动态调整带宽和时延要求,保障每条业务流的正常传输。当出现故障时,SPN网络能够通过预设的备份链路将业务流量迅速引导至备用路径,确保关键业务的无缝衔接。同时,SPN网络利用智能化的流量调度和容灾功能,支持多种业务类型的并行传输,在灾难发生时优先保障关键业务的稳定运行。通过引入跨环路的逃生路由方案,SPN网络能够在极端天气、突发事件等情况下,保证通信的可靠性和及时性。该策略不仅提升了网络的灾难恢复能力,也减少了运维成本和人工干预,实现了网络的自动化恢复。通过实践应用,SPN网络的业务保护与灾难恢复策略在多种场景下取得了显著成效,确保了网络的高可用性和业务的连续性^[5]。

5 SPN网络自愈方案的实践应用与效果分析

5.1 重要活动保障场景中的网络优化与故障恢复

在保障重要活动时,SPN网络自愈方案的应用能够显著提高网络的稳定性和故障恢复能力。例如,在2022年冬奥会期间,SPN网络通过部署重路由技术和逃生路由链路,确保了赛事期间传输网络的高可用性。在冬奥会核心赛区的7个接入环中,每个环路通过SPN重路由方案的支持,可以在环网双断发生时,确保无线和集客业务的秒级恢复。通过对比未使用重路由前后的故障恢复数据,在环网双断情况下,传统方案的恢复时间约为1.2小时,而SPN网络的恢复时间缩短至1秒内,成功提升了故障恢复效率。通过此优化,业务中断时间减少了99%以上,确保了赛事期间的业务不中断,保障了重要通信任务的顺利进行。此外,针对活动期间的高流量需求,SPN网络智能流量调度技术能够有效分配网络资源,避免因高负载导致的带宽瓶颈,从而实现了高效的数据传输与业务保护。

5.2 高铁沿线传输网络的容灾能力与应急响应

高铁沿线的SPN网络部署同样验证了其强大的容灾能力和快速应急响应能力。京张高铁沿线的SPN网络包含5个接入环路,通过SPN的重路由技术和跨环路逃生路由机制,实现了即使在极端天气或突发事件发生时,也能快速恢复网络服务。在2023年冬季,京张高铁因大雪天气导致部分环网出现物理断缆的情况,但得益于SPN网络的自愈方案,整个网络的故障恢复时间仅为3秒,业务无感知地切换至备用路径。相比传统的网络结构,SPN网络的应急响应时间减少了90%以上。通过部署10GE端口与高冗余链路,在高铁高速的传输网络中,SPN网络有效保证了沿线22个5G高铁VIP信源机房的业务稳定运行,避免了高端客户集

中投诉和服务中断的问题。此外,SPN网络的部署不仅提升了高铁沿线网络的可靠性,也为后续的跨地市、跨县区域的容灾提供了可参考的技术路径。

5.3 易受灾区域的网络恢复效率与容灾效果

在自然灾害频发的易受灾区域,SPN网络的自愈方案显著提升了网络的恢复效率和容灾效果。以张家口涿鹿县为例,该地区在2023年经历了连续几轮山洪灾害,导致部分区域通信中断,从2024年后在该地区部署SPN网络自愈方案后,采用跨环路逃生路由与重路由技术,确保了后期汛期网络恢复的快速性。在灾害发生后的60秒内,网络流量自动转移至备用路径,避免了大范围的通信中断。特别是在涿鹿县谢家堡、赵家蓬、棋尚地、大河南等灾区,SPN网络的智能路径选择和流量调度系统成功优化了有限的网络资源,确保了当地居民的通信需求得到及时响应,减少了因灾害带来的社会影响。在灾后评估中,SPN网络的恢复效率比传统网络方案提高了80%,故障恢复时间从原来的2小时缩短至10分钟以内,极大提升了灾后恢复的速度与效率,确保了紧急救援与社会秩序的有效维护。

6 结语

通过本文的研究与分析,SPN网络自愈方案在提升网络安全性和业务连续性方面展现了显著优势。在重要活动保障、高铁沿线传输及易受灾区域的应用案例中,SPN网络不仅成功应对了复杂的网络故障,还实现了业务的无感知恢复,显著缩短了故障恢复时间,提升了网络的容灾能力。尤其在高流量和高风险的场景下,SPN网络通过智能流量调度和重路由技术,确保了业务的高效传输与稳定运行。通过实践验证,SPN网络的自愈机制不仅优化了网络资源配置,也为未来的信息通信行业提供了强有力的技术支持。随着技术的不断进步,SPN网络将在更多领域得到广泛应用,为网络的高可用性和容灾能力提供坚实保障。

参考文献

- [1] 李鑫.切片分组网SPN设备安全机制与防护优化研究[J].通信与信息技术,2026,(01):116-119.
- [2] 高源,邱萍,吴军,马一丹.面向铁路5G-R的SPN组网及业务承载方案研究[J].铁路通信信号工程技术,2026,23(01):59-65.
- [3] 杨昊平,叶珈好,秦海波,徐鹏,曹子卿,张越,迟立忠,姜林,吴斌.睡眠剥夺前后不同耐受组脑电网络功能链接特征差异性分析[J].航天医学与医学工程,2025,36(06):513-520.
- [4] 荆业楚,李岩石,赵睿,杨双坤.全国通信网络韧性构建与智能防灾体系研究[J].电信工程技术与标准化,2025,38(11):59-63.
- [5] 李旭,杨哲,王德松.双向转发检测在电力调度数据网网络快速自愈与恢复中的应用分析[J].云南电力技术,2020,48(06):35-38.