

5G+ 智能电网背景下电力通信网络切片技术 优化与可靠性提升策略

李玉娇

国网冀北电力有限公司张家口供电公司, 河北 张家口 075000

DOI:10.61369/EPTSM.2025040007

摘 要 : 网络切片技术是5G的关键技术之一,它通过将物理网络划分为多个虚拟的、相互隔离的逻辑子网络,每个子网络根据不同的业务需求定制相应的网络资源和服务质量(QoS),从而满足多样化的业务场景需求。本文以“5G+ 智慧电网”为研究对象,对其分层优化方法和可靠性增强策略进行研究。在对5G技术特征和智能电网服务需求进行深入研究的基础上,阐明了网络切片的优点和存在的问题。希望本文研究成果将为构建高效、稳定、安全的电力通信网络提供理论依据和技术支撑,促进智能电网的高质量发展。

关 键 词 : 5G; 智能电网; 网络切片; 技术优化; 可靠性提升

5G Smart Grid Background Power Communication Network Slicing Technology Optimization and Reliability Enhancement Strategy

Li Yujiao

State Grid Ji Bei Electric Power Co., Ltd. Zhang Jia Kou Power Supply Company, Zhangjiakou, Hebei 075000

Abstract : Network slicing technology is one of the key technologies of 5G. It can meet the needs of diversified business scenarios by dividing the physical network into multiple virtual and mutually isolated subnets, and each subnet customizes the corresponding network resources and service quality (QoS) according to different business needs. This paper takes “5G Smart Grid” the research object and studies its hierarchical optimization method and reliability enhancement strategy. On the basis of in-depth research on the technical characteristics of 5G and the service needs of smart, the advantages and existing problems of network slicing are clarified. It is hoped that the research results of this paper will provide theoretical basis and technical support for the construction of efficient, and secure power communication network, and promote the high-quality development of smart grid.

Keywords : 5G; smart grid; network slicing; technology optimization; rel enhancement

引言

在世界能源结构变革和信息化快速发展的背景下,智能电网已经成为电力工业的一个重要发展趋势。智能电网是一种集传感、通信、信息等为一体的新型智能电网,它能够有效提高供电可靠性、高效性和安全性。而5G以其高传输速率、低延迟、大容量、高可靠等优点,成为未来智能电网建设的重要支撑。在智能电网中,不同的业务对通信网络的要求差异显著,如电力系统的实时控制业务需要极低的时延和极高的可靠性,电力计量、信息发布等业务则对带宽和数据传输速率有较高要求。本文以5G+ 智能电网为背景,开展面向5G+ 智能电网的电力通信网络切片优化及可靠性增强方法研究。通过对电力通信网络切片的应用现状及面临的问题进行深入剖析,并提出有针对性的优化及可靠性增强策略,从而促进5G与智能电网的深度融合。

一、5G 与智能电网及网络切片技术概述

(一) 5G 技术特点与优势

5G 技术相较于前几代移动通信技术,有着明显的特色与优点。首先,5G 的数据传输速度非常快,理论上可以达到20Gbps以上,可以满足高清视频监控和大数据分析等海量数据的高速传输。其次,5G 网络的端到端时延可以达到1ms以下,这对时延要

求较高的实时控制服务(如继电保护、自动控制等)具有重要意义。另外,5G 具备高可靠、网络切片等特点,采用网络切片技术可以对多个业务进行分区,并对其进行个性化服务,从而提升网络资源利用率,并且提升服务品质。

(二) 智能电网对通信网络的需求

智能电网涵盖发电、输电、变电、配电、用电等多个环节,服务种类多并且应用场景多,对通信网络的质量要求也高。在发电

作者简介:李玉娇(1992.06-),女,汉族,河北唐山人,学历:硕士研究生,职称:电力工程师,研究方向:电力通信技术。

端，要对风电、光伏等新能源发电进行实时传输，才能对其进行精确控制；在输变电过程中，继电保护、遥控等实时控制服务对延迟和可靠度提出了更高的要求，以保证电网的稳定运行。而在配电网中，必须对配电网进行实时监控与故障诊断，这就对通信网提出高带宽、高可靠性的需求；在用电环节，大量智能电表、智能家居设备的接入，需要通信网络支持海量设备的连接和数据交互^[1]。

（三）网络切片技术原理与应用价值

网络切片（Networkslice）是一种以虚拟化为基础的网络体系结构，其核心思想是将物理网的资源虚拟化，并针对不同的服务需要，灵活地对虚拟化的资源进行配置与组合，构造多个独立的虚拟网络切片。各片网络能够对带宽、时延、可靠性等进行独立的配置，从而满足不同业务对服务质量的需求。

网络切片是智能电网发展的必然趋势。该方案能有效地将各业务分离开来，防止各业务间的互相干扰，从而增强网络的稳定与可靠。比如通过对实时控制服务与非实时服务进行分区，实现对服务质量的高质量保证，从而保证电网安全、稳定地运行。另外，网络切片还可以根据业务的具体要求，对资源进行动态配置，从而有效地减少资源的浪费。

二、5G+ 智能电网背景下电力通信网络切片技术应用现状与问题

（一）应用现状

当前，将5G网络切片技术用于智能电网已经取得了一些成果，在部分试验项目中，已经成功地实现了对电网实时监控、电能计量、用电信息收集等多种业务场景的网络切片。比如在实时控制服务领域，通过构造专用的高可靠低延迟切片，为继电保护、自动控制等服务提供可靠的通讯支持，从而提高电网的控制精度与响应速率。在电能计量及用电信息收集服务中，通过对海量智能仪表及收集装置的网络资源进行合理配置，以达到有效的数据传输与精确收集。

与此同时，各大电力公司也在积极地与电信运营商进行合作，共同探讨5G网络切片在智能电网建设中的更多应用场景与商业模式。多地已成立5G+智能电网协同创新实验室，开展基于网络切片的智能电网关键技术及应用研究，促进5G与智能电网深度融合。

（二）存在的问题

1. 切片资源分配不合理

在实践中，由于缺乏对智能电网服务特征及需求的精确分析，造成网络切片资源配置的不合理。一方面，有些切片对资源进行了过度的配置，导致大量的资源浪费；另一方面，某些服务切片对服务质量有很高的要求，会因为资源的匮乏而导致服务质量下降，从而影响到服务的正常运作。而由于智能电网服务的业务与需求呈现出动态性，使得传统的静态资源配置方法很难自适应服务的动态性，从而降低了网络资源的利用率。

2. 网络管理复杂

5G功率通信网络切片具有多层、多域的特点，包含切片创建、配置、监测与优化等多个环节，具有很高的管理复杂性。当前，由于缺乏统一高效的网络切片管理体系与平台，各切片间的

协作管理难度较大，很难实现整体优化与柔性调度。与此同时，在切片过程中，由于切片失效，无法对其进行快速的定位与修复，从而降低了网络的可靠性与QoS。

3. 安全风险较高

网络切片为企业提供了灵活高效的服务，但也带来了新的安全隐患，当多片片共享物理网络资源时，如果片层间的隔离机制不够完美，就会出现安全漏洞，将一个片层的安全性问题向其它片层传播，从而威胁到整个网络的安全^[2]。另外，智能电网的电力通讯网络关系到国家的能源安全与社会稳定，对其信息系统的安全性提出了更高的要求，但目前的网络切片安全防护技术与手段尚不完善，很难有效应对日趋复杂的网络安全威胁。

4. 技术标准不完善

目前，5G网络切片技术在电力通信领域的应用缺乏统一的技术标准和规范，由于各企业、各机构在设计、实施及管理上的差异，造成各切片间的兼容性与可操作性不强，阻碍了其在智能电网中的广泛应用。另一方面，由于技术标准的不完备，使得网络的构建与运行变得更加困难。

三、5G+ 智能电网背景下电力通信网络切片技术优化策略

（一）切片资源动态分配优化

1. 业务需求精准分析

切片资源需要构建智能电网服务需求分析模型，利用大数据分析对智能电网各服务的业务特性、服务质量要求、时序特征等进行深度分析与预测。通过对历史业务数据、实时监测数据及相关外部数据（如气象、用电习惯等）的采集与分析，精确把握业务的动态变化规律与需求趋势。比如在电力负荷预测方面，可以采用机器学习的方法，结合历史、天气等数据，构建基于机器学习的电力负荷预报模型，实现对各时段内电力负荷的预报，从而为电网调度提供决策依据^[3]。

2. 动态资源分配算法设计

根据业务需求的分析进行动态的资源配置算法，利用遗传算法、粒子群等智能优化算法，并与软件定义网络（SDN）技术相结合，对网络切片进行动态调整与优化配置。在此基础上，结合实际业务的实际需要，对切片的带宽、延迟、可靠性等参数进行动态调整，以保证资源的合理、高效地配置。

3. 资源共享与协同机制构建

建立切片资源共享与协同机制，提高资源的利用效率，在不影响业务QoS的前提下，允许部分切片之间共享闲置资源，实现资源的灵活调配。同时加强不同切片之间的协同工作，通过协同管理平台实现切片资源的统一调度和优化配置。例如，在用电低谷期，可将电力计量切片的部分闲置带宽资源临时分配给电力信息发布切片，提高资源利用率。

（二）切片管理架构优化

1. 分层分级管理架构设计

构建分层分级的网络切片管理架构，将网络片管理划分为全局

管理层、分区管理层和切片实例层三个层次。其中公司整体管理部门主要负责公司的总体规划、战略规划及资源调配；分区管理部门按照公司整体管理战略，管理并监测其所在区域的业务范围；切片执行器层主要负责特定切片的建立、配置与运行。由此采用层次的管理方式，对网络切片进行精细管理，增强管理的有效性和柔性^[4]。

2. 智能化管理平台建设

利用人工智能、大数据等技术，构建智能网络切片管理平台，该系统具有智能决策、自动组态、实时监测以及故障预报等功能。由此基于网络切片的在线诊断方法，并对其进行在线检测和诊断，同时，该系统还可以基于业务需求与网络状况，对切片结构与资源分配策略进行自适应调整，从而达到智能维护与维护的目的。

3. 跨切片协同管理机制建立

建立跨切片协同管理机制，提高各层间的协作与信息共享能力，基于多层网络的通用接口规范与协议。比如在切片失效时，协作管理机制可以将切片上的服务转移到其它的备份切片上，并告知相关切片如何调整资源，以保证服务的持续与稳定。

（三）安全防护体系优化

1. 强化切片隔离技术

采用先进的切片隔离技术，基于虚拟化的隔离技术和网络功能虚拟化（NFV）隔离技术，以强化切片间的隔离效应，采用严格的存取控制与资源隔离机制，保证各层间的安全隔离，避免各层间的安全隐患传播。同时通过对切片过程中的数据流进行实时监控与分析，及时发现并拦截异常数据流，从而保证切片的安全性。

2. 构建端到端安全防护机制

建立端到端的安全防护机制，覆盖从使用者终端机到核心网的全部通讯连接，在用户终端方面，通过身份认证和数据加密来保证数据的安全性。采用 VPN、SSL/TLS 等加密技术，保证网络的安全可靠，而在核心网方面，强化防火墙、入侵检测系统、入侵防御系统（IPS）等网络安全保护装置的配置与管理，以抵御外来的攻击与来自内部的安全威胁。

3. 加强安全风险评估与应急响应

定期对网络切片的安全风险进行评估，找出可能存在的安全隐患及危险部位，并建立相应的对策。同时建立健全的安全事故应急响应机制，使事故的危害最小化，在此基础上，还应加强对员工的安全知识及紧急情况的处理。

四、5G+ 智能电网背景下电力通信网络可靠性提升策略

（一）引入边缘计算技术

将边缘计算技术与网络切片技术相结合，将边缘计算节点部

署在接近用户端或电源装置端。边缘计算节点能够对局部数据进行实时处理与分析，降低向核心网传送数据时延与带宽的负荷，提升服务的响应速率与可靠性。比如在配电网侧，通过在配变附近布设边缘计算节点，实时监控与分析配电网的运行状况，一旦发现异常，可在当地即时诊断与处置，并将重要信息上传至核心网，以达到快速隔离与恢复的目的。

（二）应用人工智能技术

利用人工智能技术，采用机器学习、深度学习等方法，通过对电网切片运行数据的分析与处理，达到对电网运行状态的智能化监控与预警。由此基于多层网络结构的多层网络拓扑优化方法，比如通过对电网业务数据的挖掘，发现电网中的异常业务，并对可能出现的拥堵、失效等情况进行预测，从而实现对电网资源的合理配置与疏导^[5]。

（三）构建冗余备份机制

为提高网络切片的可靠性，建立多余的备份机构，在体系结构的设计上，通过使用冗余器件、冗余链路、冗余切片等手段，保证当某一设备或某一链路发生故障时，整个网络仍然可以正常工作。比如对重要服务片进行备份，在主片失效后可以迅速切换到备份，从而保证服务的连续性。

（四）完善技术标准与规范

加快制定和完善 5G 网络切片技术在电力通信领域的技术标准 and 规范，相关部门和行业组织应联合电力企业、通信运营商、科研机构等，共同研究和制定网络切片的设计、实现、管理、安全等方面的标准，确保不同企业和机构的网络切片产品和系统具有良好的兼容性和互操作性。由此为 5G 网络切片技术在智能电网中的规模化应用奠定基础，减少网络构建、运行维护费用，提升系统可靠性与稳定性。通过对 5G 功率通信技术的深入研究，提高我国 5G 功率通信技术在世界上的话语权与竞争能力。

五、结论

网络切片技术是我国“5G+ 智能电网”深度融合发展中迫切需要解决的关键科学问题，但是目前电网切片技术仍然存在着资源配置不合理、网络管理复杂、安全风险高、技术标准不健全等问题，严重制约着电网的可靠性与 QoS。本文通过开展动态切片资源配置优化、切片管理结构优化、安全防护体系优化等技术优化，并结合边缘计算、人工智能技术、冗余备份机制构建、技术标准规范等手段，有效地解决现有技术难题，提高电网切片技术的性能与可靠性。未来，在 5G 技术与智能电网的快速发展下，需要对新技术与新需求进行持续关注，并对其进行深入的研究与应用，促进其向更高效率、更稳定、更安全的方向发展。

参考文献

- [1] 王志伟, 张立杨, 王志鹏, 等. 配电网无线与电力线融合通信覆盖优化技术 [J]. 电波科学学报, 2025, 40(02): 301–312. DOI: 10.12265/j.cjors.2024086.
- [2] 侯文鹏. 5G 通信系统中的网络切片技术及实施策略研究 [J]. 消费电子, 2025, (05): 242–244.
- [3] 阚拓, 赵天剑, 马琳娜, 等. 5G 网络切片技术在电力通信中的研究与应用 [J]. 电工技术, 2023, (13): 214–217. DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2023.13.058.
- [4] 冯妍妍, 陈若男, 刘妍, 等. 电力通信网络的可靠性分析与优化设计 [J]. 智能城市应用, 2025, 8(02): 41–43. DOI: 10.33142/sca.v8i2.15437.
- [5] 蒲媛媛, 解鹏, 罗凯, 等. 电力通信中确定性网络流量调度机制的优化与延时性能评估 [J]. 中国高新科技, 2025, (01): 29–31. DOI: 10.13535/j.cnki.10-1507/n.2025.01.07.