

电力通信传送网中多业务承载能力优化与调度机制研究

常宛露 王松瑞 杨 洋

国网河南省电力公司郑州供电公司, 河南 郑州 450000

[摘要]电力系统朝着信息化和智能化发展,电力通信传送网不再只用于调度自动化,多种业务类型(像视频监控、远程测控、智能终端通信等)都靠其承载,要保障网络高效运行、提高业务服务质量,就需优化其多业务承载能力并建立高效调度机制。文中从传送网结构入手,分析其当前的承载瓶颈与资源分配问题,探讨融合SDN和智能算法的调度策略并构建动态资源优化模型,希望提高网络灵活性、带宽利用率和可靠性,为电力信息通信系统的稳定运行提供理论支持与技术方

[关键词]电力通信;传送网;多业务承载;资源调度;网络优化

DOI: 10.33142/hst.v8i8.17360

中图分类号: TM73

文献标识码: A

Research on Optimization and Scheduling Mechanism of Multi service Carrying Capacity in Power Communication Transmission Network

CHANG Wanlu, WANG Songrui, YANG Yang

Zhengzhou Power Supply Company of State Grid He'nan Electric Power Company, Zhengzhou, He'nan, 450000, China

Abstract: As the power system develops towards informatization and intelligence, the power communication transmission network is no longer only used for scheduling automation. Multiple business types (such as video surveillance, remote measurement and control, intelligent terminal communication, etc.) rely on it to carry. In order to ensure efficient network operation and improve business service quality, it is necessary to optimize its multi business carrying capacity and establish an efficient scheduling mechanism. Starting from the structure of the transmission network, this article analyzes its current carrying bottlenecks and resource allocation problems, explores scheduling strategies that integrate SDN and intelligent algorithms, and constructs a dynamic resource optimization model, hoping to improve network flexibility, bandwidth utilization, and reliability, and provide theoretical support and technical solutions for the stable operation of power information communication systems.

Keywords: power communication; transmission network; multi service carrying capacity; resource scheduling; network optimization

引言

电网运行和管理以电力通信网络为基础支撑且电力系统的稳定性与安全性直接受其性能影响,当下电力通信传送网正面临业务类型多样、带宽资源紧张、调度效率低等挑战,多业务融合承载不断上升的需求对资源优化与智能调度机制提出更高要求,本文想研究提升传送网承载能力的关键技术并提出一套实用的调度优化策略以给未来电力信息通信架构优化提供技术参考。

1 电力通信传送网的结构与业务特点

1.1 网络拓扑结构分析

电力系统信息流高效传递的核心平台是电力通信传送网,其拓扑结构常采用包含骨干层、汇聚层、接入层的分层架构,各层协同运作以构成高可靠性、高带宽、高灵活性的通信体系。光传送网(OTN)是骨干层的核心技术,骨干层传输能力强,大容量、高速率且抗毁,承载调度控制、远程测控等关键业务以保障电力主干通信链路稳定运行。汇聚层处在中间起承上启下的枢纽作用,负责多个站点的信息整合与调度,通常采用SDH或者MPLS-TP技术,可实现多业务接入、业务隔离和差异化服务管理。变电站、开关站以及继电保护装置、测控终端、智能表计、

高清视频监控系统等现场终端设备直接与接入层相连,接入层支持以太网、光纤直连、4G/5G无线等多种接入方式,兼容性和灵活扩展性很强。电力通信传送网为提高可靠性广泛应用双环网结构、自愈保护机制、多路径动态路由策略,在节点故障或者链路中断时可实现毫秒级倒换和业务快速恢复,从而使电网控制、调度等关键业务的实时性和连续性不受影响。

1.2 多业务通信类型划分

电网调度、配电自动化和智能终端迅速发展使电力通信传送网承载的业务类型变得多样化,包括传统调度业务、继电保护通信、远程测控、智能电表数据回传、视频监控、语音广播、运维数据上报、内部办公信息传输等,传统调度与继电保护通信对实时性和可靠性要求极高常采用专线隔离传输以避免干扰和丢包,远程测控和智能终端通信带宽适中但要保证低延迟和一定抗干扰能力,视频监控这类大流量业务对带宽要求高且时延容忍度稍强些,语音和办公类业务实时性要求相对低些但大并发场景下容易造成带宽占用不均,业务类型复杂多样通信网络得具备业务识别、优先级控制、带宽调配、服务等级保障等综合承载能力才能满足电力系统多维度的通信需求。

1.3 当前承载能力的技术瓶颈

电力通信网络架构不断升级,但多业务高并发时仍有不少技术瓶颈,如带宽利用率低,关键业务优先独占大量链路资源导致非关键业务不能充分共享带宽而造成资源浪费;缺乏统一调度机制,多数电力通信系统靠传统静态配置,无法实现动态流量识别和灵活资源分配,不能快速响应业务突发变化;网络设备异构性强,不同厂商设备兼容性差、协议标准不同,限制了统一管理和协同调度能力;接入层部分设备使用传统串口或低速以太网接口,新型业务扩展受限,接口速率和并发能力无法满足未来发展需求;没有智能分析和预测机制,对业务流量趋势变化、链路负载状态等关键指标感知滞后,致使资源调度决策不及时、不准确,影响整体网络运行效率和稳定性。

2 多业务承载能力提升策略

2.1 网络资源虚拟化与分层管理

电力通信传送网业务类型多样、资源调度复杂,应对这一情况,提升多业务承载能力的重要途径是实施网络资源虚拟化与分层管理,引入 SDN(软件定义网络)和 NFV(网络功能虚拟化)等新兴技术后,能把物理网络资源抽象成逻辑资源池以支持灵活划分虚拟通道和业务路径,达成对链路带宽、转发节点、缓存资源等关键元素统一编排和精细化控制。在分层管理架构里,控制层和业务层分开,集中控制平台动态感知网络状态并统一下发调度策略,数据转发层只要执行策略就行,这大大简化了协议处理复杂度和设备配置流程,并且按业务等级划分不同虚拟网络,让调度保护类业务在高可靠虚拟专网里运行以确保其低时延和高冗余,普通监控或办公类业务则通过低优先级逻辑通道承载,从而实现“业务分层、路径分离、资源隔离”的目标。这种机制有利于跨设备、跨厂商环境下资源统一配置和升级,对构建弹性高效的网络承载平台有帮助。

2.2 业务识别与优先级分类机制

电力通信网络承载多种业务,要合理识别不同业务并划分优先级才能高效利用资源、保障关键通信质量,传统靠端口或地址识别的方式满足不了现代网络业务动态变化和识别复杂流特征的需求,深度包检测(DPI)技术能深入分析数据包内容、提取应用层特征以精准识别业务类型和行为模式,识别后可根据业务对带宽、时延、抖动、可靠性的不同要求构建权重模型划分优先级,将继电保护和调度控制类业务设为最高优先级以保证零丢包和毫秒级响应,将状态量上传和视频监控类业务设为中等优先级以保证连续性和流畅性,将办公数据和非关键信息类业务设为低优先级并在资源富余时调度,再配合 QoS(服务质量)策略,通过多级队列调度、带宽预留、抖动抑制、拥塞控制等手段增强网络在复杂多变环境中的应对能力并提升整体服务质量。

2.3 承载容量预测与动态扩容机制

多业务高并发环境下,未来发展需求单靠静态容量规

划难以满足,得引入数据驱动的承载容量预测机制和动态扩容能力,采集和建模历史业务流量数据,使用时间序列分析、灰色预测模型或者机器学习算法(像 LSTM、XGBoost 之类的)就能精准预测业务增长趋势、日峰值变化规律以及突发事件影响,进而提前制定扩容计划,预测结果一出来就可能触发系统自动化策略,在资源紧张时启用备用链路、调节虚拟通道带宽或者临时重构业务路径,从而保障业务不中断且性能不下降。按“软扩容”理念,虚拟网络功能模块(像虚拟防火墙、虚拟负载均衡等)可动态加载以提高资源使用灵活性,有“硬扩容”需求时调度系统能给出扩容建议和路径切换策略,达成从规划、部署到调试的一体化管理,该机制不但能提升网络适应能力,还能降低长期运维成本并提高资源投资回报率,是电力通信网智能化、柔性化演进的关键一步。

3 智能化调度机制的优化设计

3.1 调度机制演进路径分析

电力通信传送网的调度机制从静态配置发展演进到半动态调度,再到智能动态调度。传统的调度机制以静态配置为主,靠人工确定固定路径和优先规则,虽然稳定可靠,但难以应对网络状态动态变化和多业务并发场景的复杂需求。随着网络设备智能化以及协议标准的完善,基于策略的半动态调度机制逐渐被引入,在预定义策略下能够在一定范围内进行路径选择和资源分配,但仍无法做到全局最优控制。如今,随着大数据、SDN 和 AI 技术的融合应用,调度机制朝着全局感知、实时响应、自主学习的发展方向发展。以后的调度模型需要具备动态路径选择和链路重构能力,根据历史数据和当前业务状态做出智能决策,从“被动响应”转变为“主动预测”。由于多业务并发调度存在冲突、资源抢占、服务等级差异等问题,调度策略需要从单一规则向多因子、多目标优化发展,以提升调度智能化和精细化水平。

3.2 基于 AI 的智能调度算法

电力通信网络调度机制被人工智能技术注入新活力,在网络状态复杂多变、设备异构、多业务承载场景下,AI 算法的决策优化与自适应能力很出色,常见的智能调度算法有强化学习、遗传算法、蚁群算法、粒子群优化等,拿基于强化学习的调度模型来说,可把电力通信网络建为马尔可夫决策过程(MDP),通过不断与环境交互学习调度策略以让服务效能与资源利用率最大化,蚁群算法模拟蚂蚁觅食行为,能在多条路径里找最短路径或者最优资源分配方案,适合多目标优化问题,遗传算法靠种群进化机制全局搜索调度方案,可避开局部最优陷阱,适用于业务波动大、调度频繁场景,AI 算法还能结合实时网络监测数据,实时分析链路状态、节点负载、业务流向等并动态调整转发路径和资源占用策略,引入多智能体协作机制后,不同调度节点就能自治协同,全网调度效率和服务连续性有效提升,从而真正实现“智能调度”体系。

3.3 服务质量 (QoS) 保障策略设计

电力通信网络稳定运行,多业务并发、动态调度时,服务质量(QoS)保障是重要支撑机制,QoS策略需从业务识别、性能评估、资源分配、反馈调节等多维度系统构建。由于业务对带宽、时延、丢包率和抖动需求存在差异,应据此制定服务等级划分机制,调度控制类业务因需保障带宽和低时延需求,可设为最高等级,视频监控类业务因关注流畅性和稳定性,设为中等等级,办公类业务因在网络空闲时才分配资源,设为低等级;可采用队列调度机制优先转发,像加权公平队列(WFQ)、加权轮询(WRR)等算法可选,这样既能兼顾高优先业务的及时响应,又能兼顾低优先业务的公平性,部署带宽管理与拥塞控制策略,基于TokenBucket或者LeakyBucket的速率限制机制可保障链路负载均衡,而且QoS要动态调节,需引入反馈控制机制,通过网络性能指标实时监测,在某业务服务质量下降时自动提升优先级或者重规划传输路径,确保关键业务不受影响,网络可编程接口和策略控制协议相配合,QoS机制就能实现跨设备统一调度与协同保障,从而为电力通信网构建稳定可靠高效的业务承载环境。

4 应用仿真与策略评估分析

4.1 仿真平台与网络建模

要验证多业务承载能力优化和调度机制是否有效需要依靠仿真平台构建可控且可重复的测试环境,NS-3、OPNET、OMNeT++等常用网络仿真工具能灵活配置网络拓扑、对多协议栈建模并进行高精度的事件驱动仿真,NS-3可模块化配置以创建包含核心路由器、汇聚节点、接入设备等多层级的电力通信网络结构且传输方式有OTN骨干、SDH中继、以太网接入等并能部署实时调度、监控视频、状态量上传、办公数据等多种业务流,在网络模型中添加SDN控制器可动态调用集中调度策略,添加DPI模块识别和分类业务后与智能算法调度模块一起进行路径优化、带宽分配、优先级调度,仿真系统的实时性能监测模块采集数据包传输状态、链路利用率、队列延迟等核心参数以便为后续性能对比提供详细依据,通过设置不同业务负载、网络拓扑变化、链路失效等场景可全面测试优化机制在多种工况下的响应能力和适应性。

4.2 优化效果的关键指标评估

网络优化策略效果的评估要靠一组综合性能指标来量化分析,像带宽利用率、平均传输时延、数据丢包率、业务响应时间、网络拥塞频次、服务质量等级满足率等都是核心指标,仿真测试显示,引入虚拟化资源分层管理和AI调度算法之后,整体带宽利用率平均提升超20%且空闲链路资源调度更合理、冗余减少,关键业务路径优化重构后平均传输时延降到原有系统的60%左右且网络高负载时响应也稳定,丢包率大幅下降,保护与控制类业务敏感性高且其端到端丢包率控制在0.01%以下,比传统静态

调度方案强很多,突发业务涌入或者链路切换时AI调度机制能在毫秒级完成路径重规划和带宽调整使业务恢复时间缩短到原有方案的一半以内,并且QoS等级满足率明显提高,关键业务在99.9%的时间段能保持设定服务等级,整体系统服务稳定性和用户体验大大提升,这些数据足以表明优化策略在承载性能、调度效率和服务保障等方面全面提升。

4.3 方案可行性与推广性分析

从应用实践来讲,所提的多业务承载优化与调度机制具有不错的可实施性与推广价值,在软硬件适配方面,此方案以标准化协议和开放接口为设计依据,能兼容接入现有的OTN、SDH、以太网设备且不依靠特定厂商设备,在存量网络分阶段部署很方便,智能调度与资源管理模块能灵活安置于控制层,通过与现有网络管理系统(NMS)或者SDN控制平台集成来完成调度策略在线调用与动态调整,从而降低实施门槛,再次在像智能变电站、主网调度中心、配电自动化系统这些典型场景中,该机制可直接用于现有通信网络,提升网络对多类型业务的融合承载与突发响应能力,让网络更智能、更具柔性,并且经过系统培训,通过功能模块逐步安置能实现平滑升级,使现有业务运行不受影响,将来与5G、边缘计算、TSN(时间敏感网络)等新技术相结合,该策略有向超低时延、高同步性网络架构拓展的潜力,是推动电力通信网络朝着“智能感知—精准调度—弹性承载”方向演进的重要基础技术方案。

5 结束语

电力通信传送网多业务承载能力的优化与调度机制是本文系统研究的对象,从网络结构特性入手,对资源虚拟化管理、业务分类调度、智能算法应用以及QoS保障策略进行深入探讨,其有效性和可行性通过仿真平台得以验证,结果显示这个优化方案在提高带宽利用率、减少时延、提升服务稳定性上优势明显且推广应用前景良好,未来会进一步结合新技术深化实践探索。

【参考文献】

- [1]刘保菊.智能电网通信网中业务驱动的高可靠路由算法研究[D].北京:北京邮电大学,2021.
 - [2]李永嫚,朱蔚然.现代光传送网技术及其在电力传输网中应用的探讨[J].通信技术,2020,53(6):1569-1574.
 - [3]涂昕.电力通信网IP与光层融合模型及协同控制技术研究[D].北京:华北电力大学(北京),2020.
 - [4]王耀声.巴彦淖尔地区电力通信网规划研究[D].呼和浩特:内蒙古大学,2020.
 - [5]崔翔,王凯亮,庞思睿.信通公司省地县光传送网实现电力广域资源调度[J].华北电业,2025(2):68-69.
- 作者简介:常宛露(1994.8—)女,河南省周口人,汉族,研究生学历,工程师,就职于国网郑州供电公司,从事电力通信网运维工作。