



知识图谱在光传送网络智能运维中的应用研究

杨刚刚¹, 邵珠贵¹, 尚逢亮², 许健荣¹, 刘翠²
(1. 中国电信股份有限公司研究院, 北京 102209;
2. 中国电信股份有限公司, 北京 100033)

摘要: 为了解决光传送网络传统运维模式成本高、效率低、智能程度弱等问题, 分析了知识图谱技术在电信行业的研究现状以及面临的挑战。首先, 提出了基于知识图谱的光传送网络智能运维系统架构, 重点研究了网络状态感知、知识图谱构建、搜索能力开放等关键技术以及典型应用场景; 然后, 以智能割接在中国电信某市分公司的应用为案例, 对其应用成效进行了分析, 测试表明智能割接上线后, 整体割接效率提升了约3倍; 最后, 对基于知识图谱的光传送网络智能运维发展趋势进行了展望。

关键词: 知识图谱; 光传送网络; 智能运维

中图分类号: TP393

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2024074

Research on the application of knowledge graph in intelligent operation and maintenance for optical transport network

YANG Ganggang¹, SHAO Zhugui¹, SHANG Fengliang², XU Jianrong¹, LIU Cui²
1. Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Beijing 102209, China
2. China Telecom Co., Ltd., Beijing 100033, China

Abstract: In order to solve the problems of high cost, low efficiency, and weak intelligence in the traditional operation and maintenance mode of optical transport networks, the research status and challenges of knowledge graph technology in the telecom industry were analyzed. Firstly, an intelligent operation and maintenance system architecture for optical transport networks based on knowledge graphs were proposed. Key technologies such as network state perception, knowledge graph construction, and open search capabilities were emphatically studied. Secondly, the application of intelligent cutover in a city branch of China Telecom was taken as an example, the application effect was analyzed, and the test showed that the cutover efficiency was improved by about 3 times. Finally, the development trend of intelligent operation and maintenance of optical transmission networks based on knowledge graphs was discussed.

Key words: knowledge graph, optical transport network, intelligent operation and maintenance

0 引言

随着光缆频谱效率提升、高速调制技术突破以及超低损耗光纤技术的发展,超100 Gbit/s(以下简称100 G)光传送网络(optical transport network, OTN)技术日趋成熟^[1]。单波传输容量的提升意味着外部因素引起的光纤等哑资源故障波及的业务范围更广、对网络安全稳定运行的影响更大^[2]。针对OTN这一发展趋势,智能运维成为提供确定性服务的保障手段之一。

OTN智能运维的数据主要来源于网络管控系统和资源管理系统。网络管控系统采集网元、机架、板卡、端口和拓扑连接(topology link, TL)等基本对象,以及基于上述对象生成的子网连接(sub-network connection, SNC)和流域片段(flow domain fragment, FDFr)等配置数据,并感知OTN的告警、性能等状态信息。经过10多年的SDN化改造,网络管控系统基本完成了南向接口标准化、模型规范化和功能统一化^[3-4],国内三大运营商实现了超大规模网络的集约化管理与数据精准采集,为OTN智能运维奠定了基础。资源管理系统维护了网元及其所在区域、站点、机房等位置信息,纤缆信息以及传输系统等数据。这些数据通常采用人工录入的方式维护,不仅无法满足智能运维对数据采集的准确性、实时性、完整性要求,还无法实现对哑资源状态的精准感知。

网络管控系统和资源管理系统相互孤立,形成了信息“孤岛”,数据模型差异大,二者难以深度融合形成具有价值的OTN知识图谱。以网络管控数据为核心的运维活动难以实现对纤缆等哑资源的精准感知;以资源管理数据为核心的运维活动难以确定对其承载的业务波及影响。此外,集团及各省区市的资源管理系统独立建设,信息模型差异大,实体、属性和关系无法对齐,数据质量良莠不齐。一种OTN和资源数据融合模型示例如图1所示,以光路和TL的关联关系为

例,管理范围小、网络节点密集的直辖市分公司通常直接维护二者的关联关系,而管理范围大、网络节点稀疏的省公司则通过“光路-传输系统-SNC-TL”的关联路径间接维护二者的关联关系。综上所述,OTN智能运维依赖的数据采集面临设备多样化、数据多源化、模型差异化等问题,如何实现网络管控数据和资源管理数据的深度融合,构建具有价值的OTN知识图谱,对提升超大规模OTN的智能运维水平具有迫切的现实意义和理论意义。

知识图谱^[5-6]通过统一数据模型将不同源头、不同类型、不同模态的数据整合在一起,形成一个庞大的网络知识库,可为OTN智慧运维提供数据支撑。文献[7-8]对通信行业知识图谱的需求场景、构建方法和实践案例进行了探索,主要聚焦于智慧化问答、个性化推荐、可视化分析等客服系统应用。文献[9]探讨了空天一体通信网络中的知识图谱构建过程及其在网络数字孪生中的应用。文献[10]将知识图谱引入光网络告警分析流程,并基于图神经网络推理模型对告警知识图谱进行关系推理,确定网络故障位置。文献[11]利用故障报告、产品文档和专家经验构建了面向同步数字体系(synchronous digital hierarchy, SDH)光传输系统的知识图谱,并用于告警排查分析。总体而言,利用历史工单数据、客服问答记录、产品规划文档等数据构建知识图谱,为网络运营提供不确定性的辅助功能的案例比较多,而将知识图谱用于对确定性要求极高的网络运维环节,鲜有成熟的案例。本文将知识图谱引入OTN运维系统,融合网络管控数据和资源管理数据,构建具有价值的知识图谱,为隐患发现、故障定位、网络割接等运维场景提供数据支撑,提升OTN运维的智能化水平。

1 基于知识图谱的OTN智能运维系统

1.1 系统架构

OTN是承载上层业务应用的重要基础设施,

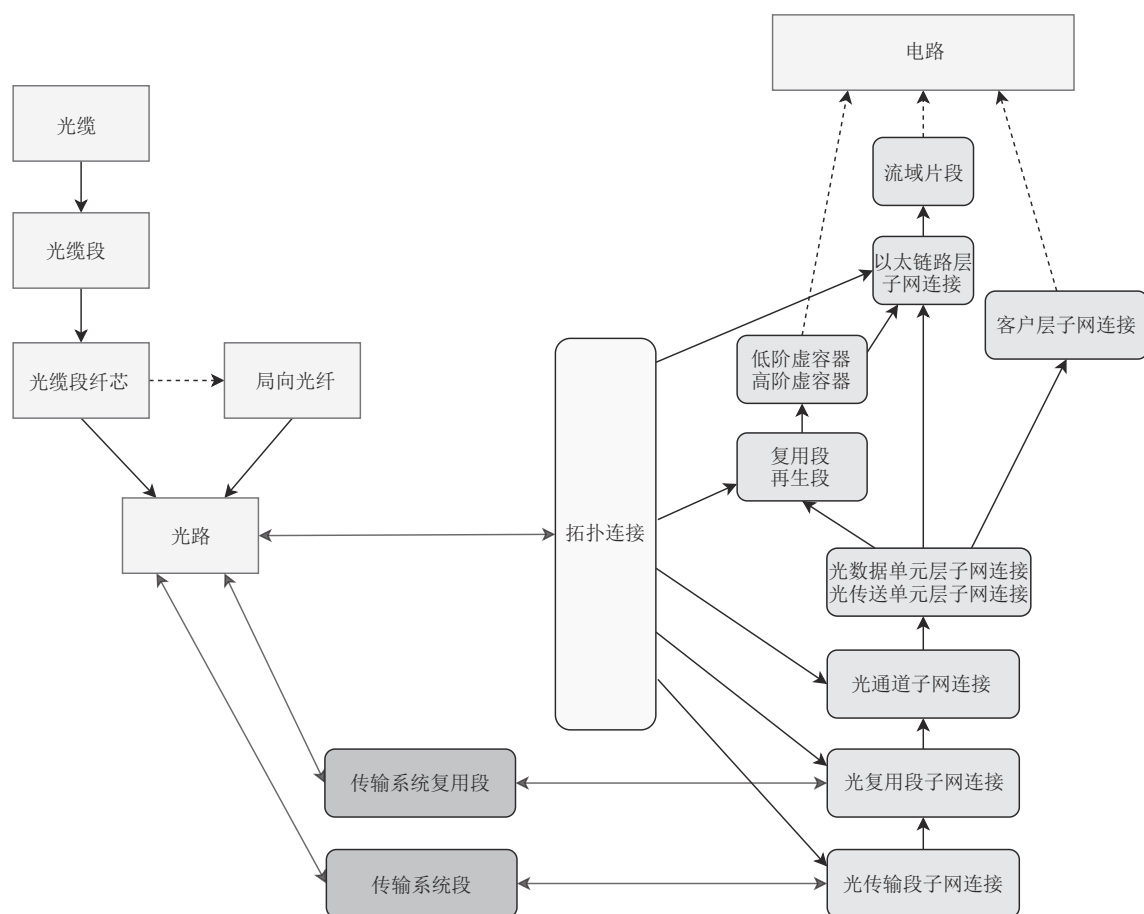


图1 一种OTN和资源数据融合模型示例

具有超高速率、超大容量、超长距离三大特性。OTN一旦出现故障,将对上层业务带来巨大影响,如何构建一张“零故障”的传送网一直是产业界的研究重点。本文提出了一种基于知识图谱的OTN智能运维系统架构,如图2所示。基于知识图谱的OTN智能运维系统架构自下而上分为OTN层、知识图谱管理层和应用层,其中OTN层是物理空间中的传输实体;知识图谱管理层基于资源管理系统和网络管控系统的数据,挖掘OTN层各实体、属性及其关系,构建OTN知识图谱,并提供知识搜索能力;应用层包含OTN规划、建设、维护、优化和运营等全生命周期管理的应用系统。

知识图谱管理层是该系统的核心，包括网络状态感知、知识图谱构建和搜索能力开放。

(1) 网络状态感知：采集、处理和存储 OTN 层的资源管理数据和网络管控数据。其中，资源管理数据包括资产位置、纤缆关系、传输系统等，网络管控数据包括配置数据、告警数据、性能数据等。

(2) 知识图谱构建：包括领域知识图谱构建，构建资源知识图谱和网络知识图谱；知识图谱融合，将资源知识图谱和网络知识图谱深度融合，形成统一的 OTN 知识图谱并存储于图数据库。其中，融合规则包含基于人工经验和机器学习的融合规则。

(3) 搜索能力开放：通过人工智能算法对 OTN 知识图谱进行学习和推理，挖掘新知识，并将其封装成知识搜索能力，提供能力开放接口，供上层应用系统调用。

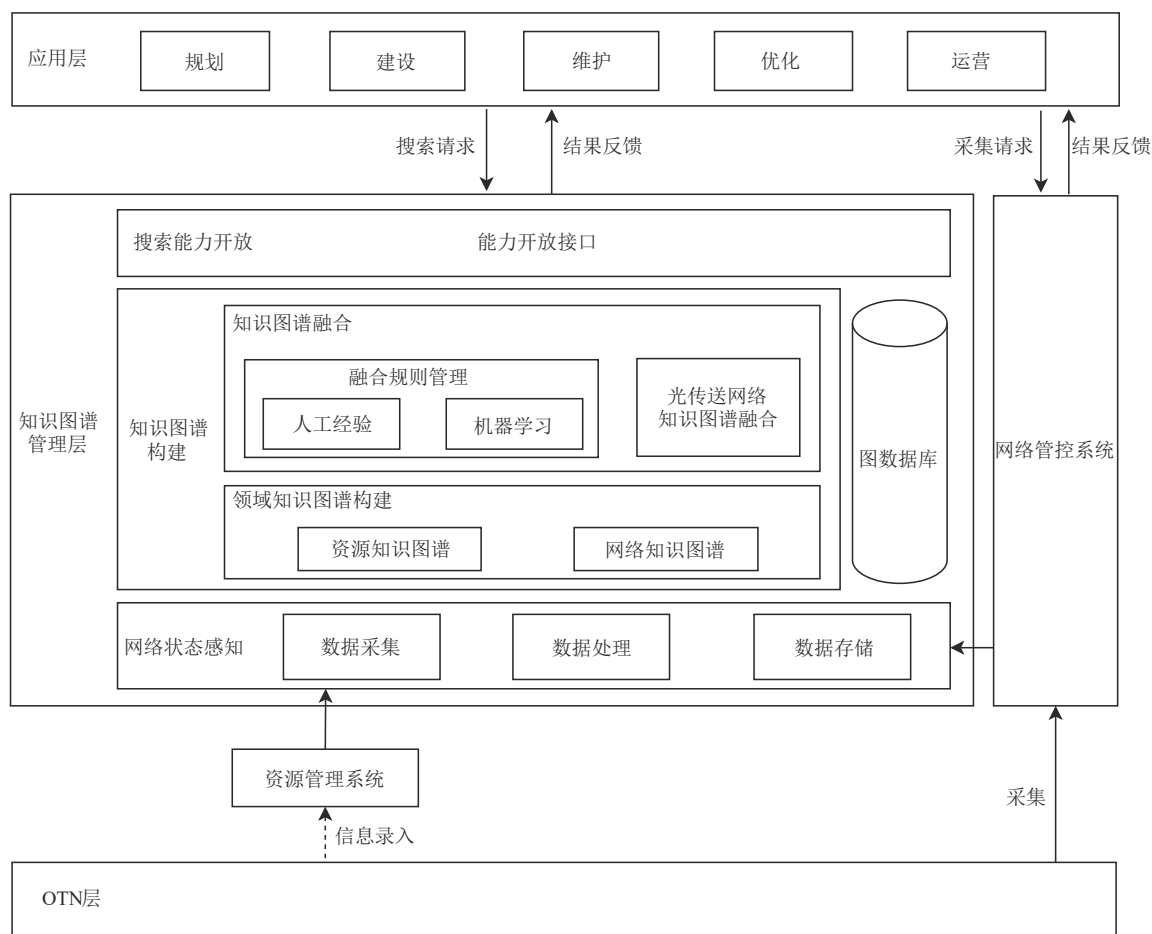


图2 基于知识图谱的OTN智能运维系统架构

1.2 关键技术

OTN是一个庞大、复杂的系统，面向OTN智能运维的知识图谱构建过程面临设备多样化、数据多样化、数据多源化、需求个性化等诸多挑战。本节针对基于知识图谱的OTN智能运维系统核心功能，逐一阐述该系统建设过程中的重/难点和关键技术。

1.2.1 网络状态感知

随着网络建设不断迭代，国内三大运营商各自建成了一张多厂商、多设备、多业务组成的异构型超大规模OTN，如何实现网络状态数据的持续性精准感知，以满足智能运维对网络状态感知的准确性、实时性、完整性要求是一个技术难题。OTN智能运维需要感知的数据既包括设备、拓扑、业务、告警和性能等反映网络运营状态的

有源数据，也包括位置、资产和纤缆等反映光层传输介质的无源数据，还包括功率、噪声和增益等影响光信号传输的光学参数，面向OTN智能运维的关键数据见表1。

有源数据的感知依赖通信设备、厂商管控系统和运营商管控系统三者协同调度。网络管控系统通过引入SDN架构，构建了统一的南向接口管控协议、模型和规范，屏蔽了设备厂商的差异性，解决了异构型OTN的数据统一采集问题，如中国电信制定了I2接口系列规范。针对超大规模OTN数据的采集效率问题，一方面基于各省集约化管控模式实现并行采集，另一方面采用文件推送和消息上报相结合的模式实现差异化采集。配置和性能数据采集以文件推送方式上报，网络告警、配置变更、状态变化等信息以消息推送方式



表1 面向OTN智能运维的关键数据

数据类型	采集系统	数据子类	数据详情
有源数据	网络管控系统	设备数据	网元信息、机架信息、板卡信息、端口信息
		拓扑数据	拓扑连接：终端点、网元等连通性信息；时延、带宽、风险等评估信息
		业务数据	业务终端点、业务速率、保护恢复信息、业务路由、交叉连接等
		告警数据	当前告警、历史告警
		性能数据	当前性能、历史性能，包括光系统性能，如光功率、色散、OSNR、中心波长、频偏等；光模块性能，如偏置电流、工作温度等；业务性能，如流量、丢包率、带宽利用率、误码率等
无源数据	资源管理系统	位置数据	站点、机房、管井等及其坐标位置
		资产数据	网元信息、机架信息、板卡信息、端口信息、传输系统、传输系统段、复用段以及波道等
		纤缆数据	纤缆连接：终端点、站点、网元等连通性信息，纤缆长度；光路及其路由；纤芯等

上报。这种方式既保证了网络状态感知的时效性，又增强了网络状态感知的准确性。为满足智能运维对OTN数据采集的精细化要求，引入了网络遥测（telemetry）^[12]技术实现分钟级的性能采集，以支持对流量、时延、误码、丢包、开销等数据的灵活感知。

针对当前网络管控系统对光学参数感知能力弱的问题，通过相干光模块数字信号处理（digital signal process, DSP）芯片、光性能监测仪（optical performance monitor, OPM）^[13]和光时域反射仪（optical time-domain reflectometer, OTDR）^[14]等新技术对其增强。相干光模块DSP芯片可计算色散、偏振损耗、偏振态变化等光层损伤信息。OPM的部署，可实现对单波功率、光信噪比、色散等光层性能的监测。基于 ϕ -OTDR技术可实时探测光纤链路中的异常震动等动态变化事件，实现光纤物理环境的精准感知。基于光标签调顶技术构建完善的光层随路开销，可实现光层连接关系的识别、连接性能监测及故障定位^[15]，其对光信噪比、单波功率的监测能力同时弥补了现网中OPM部署数量不足的问题。同理，这些光学参数的采集可采用网络遥测技术实现，以满足光学参数采集的灵活性要求。

无源数据的感知依赖对集团和各省资源管理系统数据的统一抽取，以解决集团和各省分治的资源管理系统的实现差异化问题。借鉴广义SDN

架构，定义了资源管理系统的数据抽取接口规范，由集团和各省资源管理系统按照接口规范统一上报，以屏蔽模型差异，实现无源数据的标准化和规范化和统一化，并构建统一的中间数据库进行存储。在无源数据采集方式上，采用基于文件的主动推送方式，可实现集团和各省并行采集，保证了数据采集的效率。无源数据的采集通常采用人工录入的方式，面临资源和路由不准确的问题。近年来，无源数据的智能化管理方法也有了一定的发展，提升了无源数据采集的完整性、准确性。例如，借助地理信息系统（geographic information system, GIS）技术实现站点、管井等基础设施位置坐标的精准感知和展示，借助光纤传感探测技术实现光缆路由的探测与感知^[2]等。

1.2.2 知识图谱构建

OTN知识图谱数据模型如图3所示。

OTN的数据对象间具备复杂的关联性和自相关性，如图3（b）所示的子网连接，除与交叉连接、端口、拓扑连接等对象关联外，各层子网连接还具备上下承载关系，且承载关系深度可达10层以上。基于关系型数据库的搜索方式，往往需要复杂的嵌套循环和自连接，搜索效率远不能满足OTN智能运维需求。基于图数据库的知识图谱擅长处理高度互联的数据，更适合OTN智能运维中复杂的关系搜索。

在OTN资源知识图谱构建过程中，由于集团

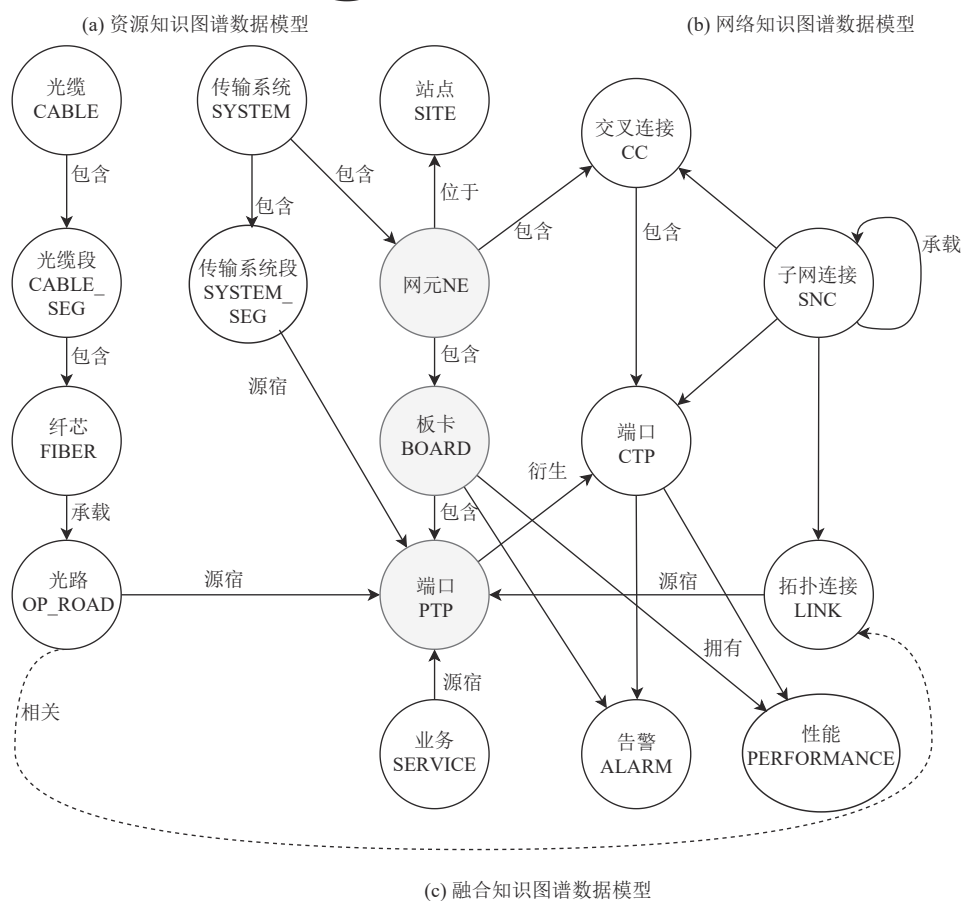
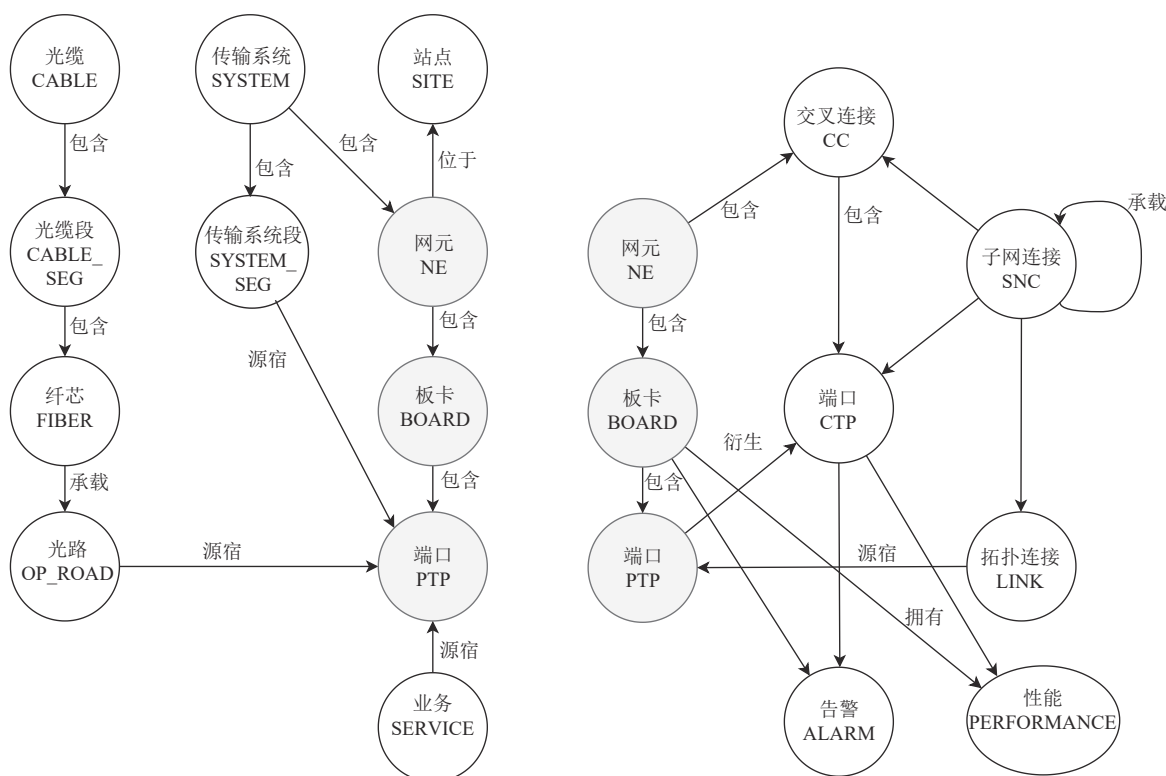


图3 OTN知识图谱数据模型



和各省资源模型的差异性，需要采用人工和自研工具相结合的方式完成实体、属性、关系的对齐。补齐缺失数据、修正错误数据，并存储于中间库，然后借助自研关系型数据库和图数据库转换工具，快速完成资源知识图谱构建。资源知识图谱抽取的主要本体及其关系如图3（a）所示，其中资产相关本体有网元、单板、端口，传输系统、系统段、复用段和波道等，位置相关本体有站点、机房、光纤配线架（optical distribution frame, ODF）等，纤缆相关本体有光缆、光缆段、纤芯和光路等，各本体的属性丰富，本体间的关系复杂。在OTN知识图谱构建中，由于网络管控系统中本体、属性以及关系之间的模型比较完善，数据质量比较高，只需要对少量的实体、属性和关系进行补齐即可，借助自研关系型数据库和图数据库转换工具，快速完成网络知识图谱构建。网络知识图谱抽取的主要本体及其关系如图3（b）所示。

将资源知识图谱和网络知识图谱进行深度融合，是构建OTN知识图谱的关键。本文采用以下两种方式进行深度融合。

- 基于专家经验的OTN知识图谱融合方式。根据OTN运维专家的实际经验，利用确定性的维护规则完成OTN资源知识图谱和网络知识图谱融合。例如，通过判断光路和拓扑连接的别名是否相同，可以自动关联部分光路和拓扑连接；也可以由运维人员补全系统段与光传输段（optical transport section, OTS）SNC的关联、复用段与光复用段（optical multiple section, OMS）SNC的关联、波道与光通道（optical channel, OCh）SNC的关联。
- 引入机器学习技术，挖掘周边系统的历史数据，获得资源管理数据与网络管控数据的关联关系。例如，对工单系统故障处理历史数据进行挖掘，可以学习到部分光路

与拓扑连接的关系。同时，从两个领域知识图谱的本体数据模型看，网元、板卡、端口是资源管理数据和网络管控数据之间的潜在关联介质，可以借助机器学习技术确定实体对齐规则，建立两个领域知识图谱中对同一物理对象的统一描述，完成领域知识图谱的深度融合。构建的OTN融合知识图谱的主要本体及其关系如图3（c）所示。

在知识搜索需求的驱动下，通过知识推理方法生成新关系，进一步完善支撑OTN智能运维的知识体系。如图3（c）所示，光路与拓扑连接的关系可通过二者源宿端口的关联一致性推理得到；此外，还可以推理传输系统段与OTS层SNC、光路与传输系统段的关系。基于上述技术构建的OTN知识图谱可视化示例如图4所示。

1.2.3 搜索能力开放

面向OTN智能运维的知识图谱规模庞大、关系复杂，且服务的应用众多。各应用具有个性化需求，同时也存在大量的共性需求，将复杂的关系搜索逻辑暴露给应用层无疑增加了知识图谱的使用难度，不利于智能运维应用的实施和推广。为此，需要将逻辑复杂的知识搜索能力封装在知识图谱管理层，并向各应用提供开放接口。为满足应用的个性化需求，还需要保留一定的原子搜索能力开放接口。常见的面向OTN智能运维的知识图谱搜索能力见表2。

1.3 典型应用场景

OTN全生命周期管理正加速向智能化演进，通过建立OTN知识图谱，并将其应用于隐患发现、故障定位、网络割接等运维场景，增强运营智能，提高运营效率，降低运营成本。

基于OTN知识图谱，快速搜索无源数据对象与有源数据对象的联系，借助有源数据对象的实时监控能力，识别无源数据对象的隐患，消除潜



预测纤缆劣化趋势。同路由分析应用调用表2接口3, 获取业务主备路由关联的站点、设备和纤缆等信息, 并结合GIS信息判断业务主备路由是否存在共站、共缆和共沟等同路由风险。

OTN的告警存在横向和纵向衍生关系, 纤缆故障会导致同一时间窗内上报大量的衍生告警。如何快速找出根源告警, 确定纤缆故障发生的具体位置, 并启动自处置任务是降低故障影响的关键。客服系统接到客户的申告后, 故障定位应用调用表2接口2查询故障业务的路由及其承载关系, 遍历路由中网元、单板和端口的告警、性能, 并逐级下钻, 确定发生故障的光缆、光缆段和纤芯信息; 借助OTDR测量技术确定断点距离, 并根据GIS信息标识断点位置, 启动自处置任务, 实现OTN的故障自修复。

纤缆割接、网元迁址、设备和光模块替换是常见的OTN割接场景, 如何识别割接操作对业务的影响是网络割接应用的技术难点。网络割接应

用调用表2接口5~接口9, 分析不同类型的网络割接对象波及的业务范围及其影响程度。对存在中断风险的业务进行路由调整, 将网络割接对业务的影响降低到可接受的程度后, 再执行割接操作。同时, 自动获取、对比割接对象关联的业务在割接前后的告警、性能, 判断割接操作是否成功。

2 案例分析

本文以网络割接操作中的光缆割接为例, 阐述知识图谱在OTN智能运维中的应用, 基于知识图谱的OTN智能割接如图5所示。

知识图谱作为OTN智能运维的数字底座, 需要在割接任务启动前完成构建。割接前, 以光缆段为请求对象调用搜索能力开放接口, 获取其关联的光路以及源宿端口, 并继续以光路对象为请求对象, 搜索其关联的业务、业务路由、保护组等, 综合判断对业务的影响程度, 并采集光路源

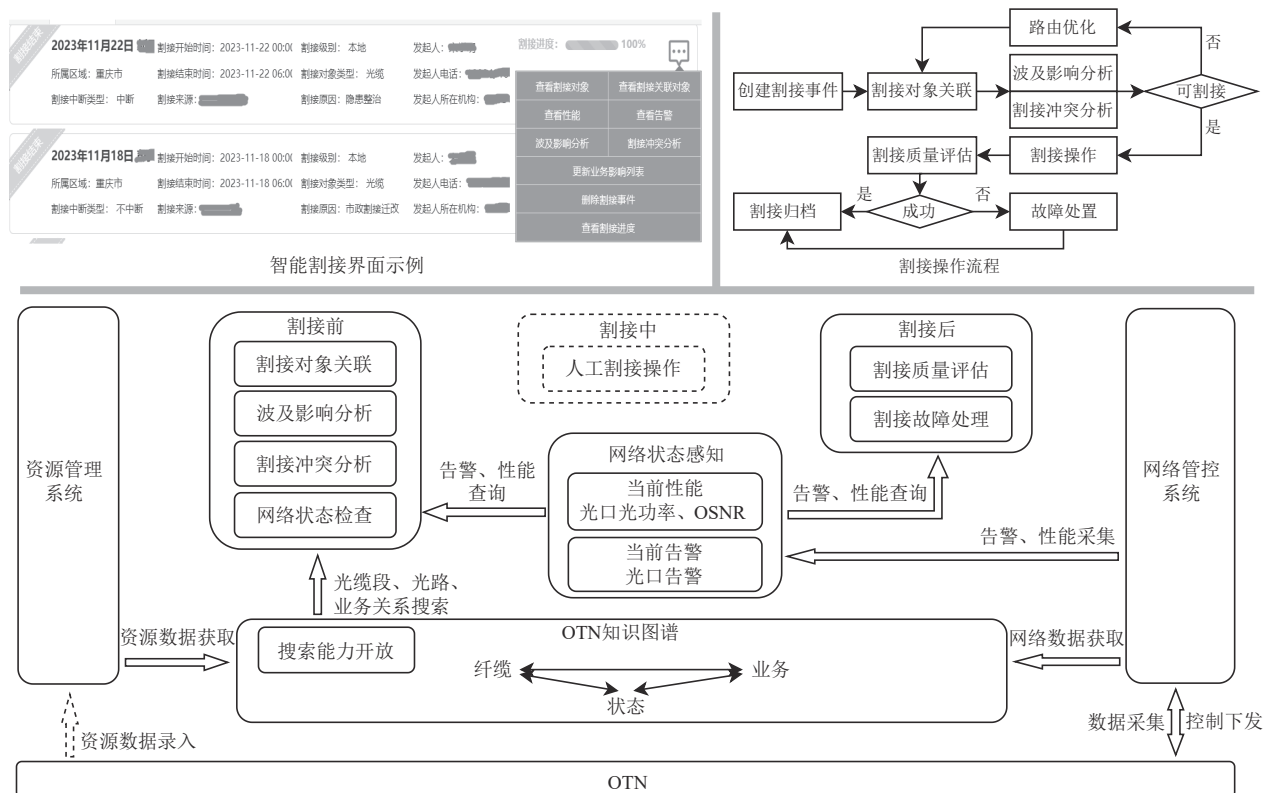


图5 基于知识图谱的OTN智能割接

宿端口的告警和光功率、信噪比等性能。同时,分析是否与同时时间窗其他割接任务存在冲突。割接中,由运维工程师完成光缆割接操作。割接后,采集光缆段关联光口的告警和光功率、信噪比等性能,若无新增告警或未出现性能劣化则认为割接操作成功,否则需要启动自处置任务。

本文以智能割接在中国电信某市的落地为例,分析智能割接的成效。该市地处山区,自然灾害频发,光缆割接是OTN典型的日常运维活动,据统计,该市一年进行约370次光缆割接,几乎每天都有割接任务。智能割接上线前,无法精确分析割接波及影响和任务冲突,全程依赖人工分析,每次割接需要安排3人,执行时间约3h,还经常出现割接故障。智能割接上线后,从割接波及分析、割接冲突判断和割接任务排期都实现了自动化,并自动评估割接活动是否成功,每次割接只需要安排1人,割接执行时间降低到约1h内。综合来看,智能割接上线后,整体效率提升了约3倍。

光缆由于无源特性,处于难以监管的哑资源状态,通过引入知识图谱将光缆与可监测的有源对象快速关联,实现光缆割接过程的可视、可管、可控,不仅提升了割接效率,还减少了割接故障。

3 结束语

综上所述,融合了资源管理数据和网络管控数据的OTN知识图谱为智能运维系统注入了活力,依赖知识图谱的高效搜索能力,实现了无源数据对象与有源数据对象的快速映射,为隐患发现、故障诊断、网络割接等运维场景注智,为构建高可靠的“零故障”OTN提供技术支撑。规划设计文档、故障处理工单和设备技术资料等非结构化数据亦可作为数据源用于强化OTN知识图谱,增强OTN知识图谱在规划建设、故障处理和性能优化等自助服务场景的应用。

OTN知识图谱依赖对OTN的全面、精确和实时感知,依赖人工维护的无源数据在准确性、实时性、完整性等方面有所欠缺,如何实现对无源数据的自动感知,尚待进一步研究。

参考文献:

- [1] 闫飞. 面向下一代骨干光传送的400 G技术及应用研究[J]. 邮电设计技术, 2023(12): 67-72.
YAN F. Research on next generation backbone optical transport 400 G technology and its application[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2023(12): 67-72.
- [2] 陈军波, 周晓峰. 纤芯震动智能监测和路由定位在光缆网中的应用[J]. 中国电信业, 2023(7): 77-80.
CHEN J B, ZHOU X F. Application of intelligent monitoring and routing positioning of fiber core vibration in optical cable network[J]. China Telecommunications Trade, 2023(7): 77-80.
- [3] 荆瑞泉, 胡骞, 赵国永. 基于传送API的POTN设备建模方法研究和实践[J]. 电信科学, 2017, 33(3): 100-106.
JING R Q, HU Q, ZHAO G Y. Research and practice of POTN equipment modeling method based on transport API[J]. Telecommunications Science, 2017, 33(3): 100-106.
- [4] 唐雄燕, 王海军, 杨宏博. 面向专线业务的光传送网(OTN)关键技术与应用[J]. 电信科学, 2020, 36(7): 18-25.
TANG X Y, WANG H J, YANG H B. Key technologies and application of optical transport network for leased line services[J]. Telecommunications Science, 2020, 36(7): 18-25.
- [5] SINGHAL A. Introducing the knowledge graph: things, not strings[R]. Official Google Blog, 2012, 5(16): 3.
- [6] 高云君, 葛丛丛, 郭宇翔, 等. 面向关系型数据与知识图谱的数据集成技术综述[J]. 软件学报, 2023, 34(5): 2365-2391.
GAO Y J, GE C C, GUO Y X, et al. Survey on data integration technologies for relational data and knowledge graph[J]. Journal of Software, 2023, 34(5): 2365-2391.
- [7] 张倩, 李国庆. 企业知识图谱在通信行业的应用探索[J]. 邮电设计技术, 2023(7): 75-80.
ZHANG Q, LI G Q. Exploration of enterprise knowledge graph application in telecommunications industry[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2023(7): 75-80.
- [8] 赵东明. 电信运营商知识图谱技术体系研究及应用实践[J]. 电信科学, 2022, 38(8): 151-162.
ZHAO D M. Research and application practice of knowledge graph technology system for telecom-operators[J]. Telecommunications Science, 2022, 38(8): 151-162.



- [9] 陈新宇, 张强, 陆光辉. 天地一体网络场景下的数字孪生关键技术[J]. 中兴通讯技术, 2023, 29(3): 51-58.
CHEN X Y, ZHANG Q, LU G H. Digital twin key technologies for satellite and mobile communication network[J]. ZTE Technology Journal, 2023, 29(3): 51-58.
- [10] LI Z T, ZHAO Y L, LI Y J, et al. Fault localization based on knowledge graph in software-defined optical networks[J]. Journal of Lightwave Technology, 2021, 39(13): 4236-4246.
- [11] 高德荃, 刘广旭, 冯宝, 等. 面向SDH光传输系统告警排查的领域知识图谱构建方法[J]. 电力信息与通信技术, 2023, 21(9): 60-66.
GAO D Q, LIU G X, FENG B, et al. Domain knowledge graph construction method for SDH optical transmission system alarm troubleshooting[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2023, 21(9): 60-66.
- [12] 吕鸿润, 李清, 沈耿彪, 等. 带内网络遥测方法综述[J]. 软件学报, 2023, 34(8): 3870-3890.
LYU H R, LI Q, SHEN G B, et al. Survey on in-band network telemetry[J]. Journal of Software, 2023, 34(8): 3870-3890.
- [13] 薛成名, 黄丽艳, 陈文. 基于OPM的光信道性能监测系统的设计[J]. 电子设计工程, 2023, 31(16): 130-133.
XUE C M, HUANG L Y, CHEN W. Design of optical channel performance monitoring system based on OPM[J]. Electronic Design Engineering, 2023, 31(16): 130-133.
- [14] 刘中华, 龚浩敏, 吴岩, 等. 相干光时域反射仪技术与应用[J]. 光通信研究, 2022(5): 43-48, 65.
LIU Z H, GONG H M, WU Y, et al. Principle and application of the C-OTDR[J]. Study on Optical Communications, 2022 (5): 43-48, 65.
- [15] 冯振华, 方瑜, 施鹤. 大容量、智能化光传输系统: 机遇、挑战与应对策略[J]. 中兴通讯技术, 2022, 28(1): 62-69.
FENG Z H, FANG Y, SHI H. Towards large-capacity and intelligent optical transmission systems: opportunities, challenges, and solutions[J]. ZTE Technology Journal, 2022, 28(1): 62-69.

[作者简介]



杨刚刚 (1982-), 男, 中国电信股份有限公司研究院工程师, 主要研究方向为光传送网络智慧运营、云网自智、数字孪生等。



邵珠贵 (1991-), 男, 中国电信股份有限公司研究院工程师, 主要研究方向为光传送网络管控技术、自智网络等。



尚逢亮 (1980-), 男, 中国电信股份有限公司高级工程师, 主要研究方向为全光网智慧运营场景解决方案、网络管控技术、数字孪生技术等。



许健荣 (1978-), 男, 中国电信股份有限公司研究院工程师, 主要研究方向为光传送网络管控技术。



刘翠 (1984-), 女, 中国电信股份有限公司工程师, 主要研究方向为光传送网络管控技术。