

通信工程运维技术管理探讨：基于 OTDR 数据与网络拓扑图联动的故障定位及协同抢修机制

叶孝杰

身份证号：210623198708013839

DOI: 10.61369/TACS.2025050011

摘 要： 阐述 OTDR 测试波形与光纤链路质量关联，介绍 OTDR 局限及相关解决方法，包括拓扑发现、GIS 呈现、跨系统融合等技术，还涉及故障定位模型、系统软件架构、告警分析等内容，通过案例说明应用效果，强调其创新价值与应用前景

关 键 词： OTDR；拓扑图；故障定位

Discussion on Operation and Maintenance Technology Management of Communication Engineering: Fault Location and Collaborative Repair Mechanism Based on OTDR Data and Network Topology Diagram

Ye Xiaojie

ID: 210623198708013839

Abstract： This paper explores the correlation between OTDR test waveforms and fiber optic link quality, while addressing limitations of OTDR systems and proposing solutions including topology discovery, GIS visualization, cross-system integration technologies, along with fault location models, system architecture design, and alarm analysis. Case studies demonstrate practical applications, highlighting the innovative value and promising future of these technologies.

Keywords： OTDR; topology diagram; fault location

引言

随着通信技术的不断发展，保障通信工程的稳定运行至关重要。2020年我国发布的《中国通信标准化协会标准体系建设发展规划（2020-2022年）》强调了提升通信网络运维质量的重要性。在此背景下，OTDR 测试波形特征与光纤链路质量的紧密关联成为研究热点。同时，独立 OTDR 检测在复杂网络环境下存在局限，促使基于 SNMP/Netconf 协议的拓扑发现方法及基于 GIS 系统的网络资源立体呈现技术等不断发展，以实现高效故障定位及协同抢修，构建完善的质量评估体系与协同抢修机制成为必然需求。

一、OTDR 技术原理与故障定位机制优化

（一）OTDR 数据特征分析与建模方法

OTDR 测试波形特征与光纤链路质量存在紧密关联性。光纤链路中的连接点、断点等会在 OTDR 测试波形上呈现出特定的反射峰、损耗台阶等特征。通过对大量测试波形的分析，可以总结出不同链路质量状况下的波形规律。基于这些规律，能够建立反射事件自动识别算法，利用算法对测试波形进行智能分析，快速准确地识别出反射事件所对应的光纤链路位置及性质。同时，由于测试环境等因素影响，OTDR 测试数据可能存在偏差。为提高故障定位准确性，需构建测试数据偏差补偿模型。该模型通过对

已知标准链路的测试数据进行学习和分析，建立起偏差补偿的数学关系，从而对实际测试数据进行修正，为后续的故障定位和分析提供更可靠的数据基础^[1]。

（二）传统定位方法的技术瓶颈

独立 OTDR 检测在复杂网络环境下存在诸多局限。在无拓扑信息时，故障点误判率较高，由于缺乏网络整体结构信息，OTDR 可能将反射信号误判为故障点，导致定位不准确^[2]。同时，定位时延问题也较为突出。复杂网络中，需要对大量数据进行分析处理，OTDR 自身检测及分析算法的局限性，使得获取准确结果的时间增加。而且，在面对多条链路和多个节点的复杂情况时，无法快速确定故障所在的具体链路和节点位置，进一步影响了故障定位的效率和准确性。

二、网络拓扑图智能构建与实时更新技术

（一）拓扑数据采集与校验机制

基于 SNMP/Netconf 协议的拓扑发现方法，可有效采集网络拓扑数据。SNMP 协议通过管理信息库（MIB）获取设备信息及连接关系，Netconf 协议则利用 XML 编码进行网络配置和状态数据的获取^[3]。对于采集到的数据，需进行校验。多源数据校核算法通过对比不同数据源的数据，去除冗余和错误信息。例如，对来自不同采集点的同一设备连接信息进行比对，若存在差异，则依据一定规则判断正确数据。拓扑动态更新触发条件设置至关重要。当设备增减、连接关系改变或设备状态变化时，应触发拓扑更新。通过合理设置这些条件，确保网络拓扑图能实时准确反映网络实际情况。

（二）拓扑信息三维可视化建模

基于 GIS 系统的网络资源立体呈现技术，是网络拓扑图智能构建的关键。通过该技术，可将网络中的各类资源以三维立体的形式呈现出来，使运维人员能更直观地了解网络结构^[4]。同时，建立设备逻辑连接与物理路由的映射规则至关重要。这一规则能够准确地反映设备之间的连接关系，无论是在逻辑层面还是物理层面，为拓扑信息的准确呈现提供依据。在此基础上，开发支持多维度检索的拓扑信息模型。该模型允许从不同角度对拓扑信息进行检索，提高了信息获取的效率和准确性，进一步完善了网络拓扑图智能构建与实时更新技术。

三、OTDR 与拓扑图联动机理研究

（一）跨系统数据融合策略

1. 时间 - 空间维度同步机制

在 OTDR 与拓扑图联动机理研究的跨系统数据融合策略中，时间 - 空间维度同步机制至关重要。设计基于时间戳校准的拓扑状态冻结技术，能够确保在特定时间点获取准确的拓扑状态信息^[5]。通过对时间戳的精确校准，实现不同系统间数据在时间维度上的同步。同时，研究光纤路由与 OTDR 采样点的空间坐标映射算法，建立起空间维度上的关联。这一算法可以将 OTDR 所获取的采样点信息准确地映射到光纤路由的空间坐标上，从而实现空间维度的同步。通过时间 - 空间维度同步机制，为 OTDR 与拓扑图的有效联动提供了基础，有助于提高故障定位及协同抢修的效率。

2. 故障定界算法优化

为实现高效故障定位，开发拓扑加权故障概率计算模型。综合考虑网络拓扑结构及各节点特性，赋予不同权重，更精准计算故障概率^[6]。同时，研究基于动态规划的最优检测路径选择算法。通过分析网络状态与潜在故障点分布，动态规划检测路径，减少检测时间与资源消耗。此外，提出冗余检测点排除机制。识别并排除对故障定位贡献较小的检测点，提高算法效率与准确性。这些方法相互配合，优化故障定界算法，提升通信工程运维效率。

（二）智能诊断系统架构设计

1. 系统功能模块设计

系统软件架构主要包含数据预处理模块、故障特征库模块以

及智能推理引擎模块。数据预处理模块对 OTDR 采集的数据进行清洗、去噪等操作，提高数据质量，为后续分析提供可靠基础^[7]。故障特征库模块负责存储各类故障的特征信息，这些特征信息是通过大量历史故障数据进行分析 and 总结得到的。智能推理引擎模块则是整个系统的核心，它根据数据预处理模块提供的数据以及故障特征库中的特征信息，运用智能算法进行故障诊断和推理。各模块之间通过特定的接口协议进行数据交互，例如，数据预处理模块将处理后的数据传输给智能推理引擎模块，智能推理引擎模块在诊断过程中可能会从故障特征库模块中获取相关故障特征信息，以提高诊断的准确性和效率。

2. 实时告警关联分析

在实时告警关联分析中，研究基于 Kafka 流处理技术的告警关联规则引擎至关重要^[8]。Kafka 具有高吞吐量、低延迟等特性，能高效处理实时告警数据。通过设计合理的告警关联规则，可对大量告警信息进行筛选和关联。同时，设计跨设备告警因果推断模型，考虑不同设备间的告警关联性及因果关系，从而更准确地推断故障根源。开发根因定位可视化组件，将复杂的告警关联和根因推断结果以直观的方式呈现，便于运维人员快速理解和定位故障，提高故障处理效率，保障通信工程的稳定运行。

四、协同抢修机制与质量评估体系

（一）跨部门应急响应流程

1. 抢修资源智能调度

在协同抢修机制中，建立基于强化学习的光缆抢修路径规划模型至关重要。通过该模型，可依据实际情况智能规划出最优抢修路径，提高抢修效率^[9]。同时，开发备品备件库存动态调配算法，能实时监控备品备件的库存情况，根据抢修需求进行合理调配。在跨部门应急响应流程方面，需明确各部门职责，确保信息及时传递与共享，使各部门能快速响应并协同工作。抢修资源智能调度要综合考虑人力、物力等多种资源，实现资源的优化配置，以保障抢修工作的顺利进行。

2. 工单协同处理机制

设计电子化应急工单分发系统，实现工单的快速、准确分发。利用信息技术，根据故障类型和相关部门职责，自动将工单发送至对应的处理人员手中，提高应急响应效率^[10]。同时，研究基于区块链的抢修过程追溯技术，确保抢修过程的透明性和可追溯性。区块链的不可篡改特性可记录抢修的每一个环节，包括人员操作、时间节点、使用的材料和设备等信息，便于后续的质量评估和责任追溯 [10]。开发多角色信息共享平台，打破部门之间的信息壁垒。不同部门的人员可以在平台上实时共享故障信息、抢修进度等，促进协同工作，提高抢修质量和效率 [10]。

（二）运维质量管理体系

1. 抢修时效评估指标

在抢修时效评估指标方面，首先定义 PMTTR（平均修复时间）计算公式。PMTTR 是衡量抢修效率的关键指标，通过对故障发生时间到修复完成时间的统计分析，能直观反映抢修团队的

响应速度和修复能力。其计算公式需综合考虑故障检测时间、维修人员到达现场时间、维修作业时间等多个因素。

同时，建立光缆中断损失量化评估模型也至关重要。该模型要考虑到光缆中断导致的通信业务中断时长、受影响的用户数量、业务类型的重要性等多个维度。通过对这些因素进行量化分析，可以更准确地评估光缆中断所带来的损失，从而为优化抢修机制和提高运维质量提供有力依据。

2. 质量 KPI 监测系统

为确保通信工程运维质量，需构建完善的质量评估体系与协同抢修机制。首先建立质量 KPI 监测系统，通过收集和分析各项关键指标数据，全面了解运维状况。基于大数据分析构建运维质量看板，直观展示运维质量的关键信息，包括故障发生频率、修复时长等。同时开发异常趋势预警模块，利用数据分析技术对潜在的质量问题进行预测，及时发出预警信号。还应建立定期 PDCA 改进机制，对运维过程进行持续优化。在协同抢修方面，建立高效的沟通协调机制，确保各部门在故障发生时能够迅速响应，协同工作，提高抢修效率，保障通信工程的稳定运行。

（三）系统集成实施案例

1. 某省干线网络应用实践

某省干线网络应用实践中，系统部署后故障定位准确率显著提升。通过对大量故障数据的统计分析，发现实施前故障定位存在较大误差，平均修复时间较长。而部署基于 OTDR 数据与网络拓扑图联动的系统后，故障定位准确率大幅提高，平均修复时间明显缩短。从经济性角度分析，虽然系统部署初期投入了一定成本，但由于减少了维修人员的排查时间和工作量，降低了因故障

长时间未修复导致的业务损失，长期来看节省了大量运维成本。同时，该系统的应用提高了网络的可靠性和稳定性，提升了用户体验，为通信运营商带来了良好的经济效益和社会效益。

2. 典型故障处理分析

以某重大光缆中断案例为例，通信网络中的多个系统迅速启动协同处理机制。传输网管系统第一时间监测到告警，通过与 OTDR 数据及网络拓扑图联动，精准定位故障点位于某段光缆。应急抢修团队立即出动，同时携带相关设备及材料赶赴现场。在抢修过程中，利用先进的光纤熔接技术，快速恢复光缆的物理连接。与此同时，后台技术人员密切配合，对恢复后的链路进行实时监测和调试，确保各项指标正常。通过此次案例可以看出，多系统协同处理以及 OTDR 数据与网络拓扑图联动的技术创新，极大地提高了故障定位的准确性和抢修效率，有效减少了通信中断时间，保障了通信网络的稳定运行。

五、总结

OTDR 数据与网络拓扑图联动的故障定位及协同抢修机制具有重要的技术创新价值。它不仅能精准定位故障，提高抢修效率，还能优化通信工程运维管理。通过量化分析实施效果数据，进一步证明了该机制在实际应用中的优势。在新型智能 ODN 网络中，此机制具有广阔的推广路径，可提升网络的可靠性和稳定性。展望未来，AI 算法在光网络自愈领域的应用前景令人期待。它有望进一步提升故障诊断和修复的自动化水平，为通信工程运维带来更多的创新和突破，推动通信行业的持续发展。

参考文献

- [1] 李梦飞. HFC 网络主动运维故障智能定位系统的设计与实现 [D]. 黑龙江大学, 2021.
- [2] 陶玉东. 面向微服务智能运维的异常检测与故障定位方法研究 [D]. 西安电子科技大学, 2022.
- [3] 李宇威. 基于几何特征和拓扑图建模的三维网格模型识别 [D]. 华南理工大学, 2021.
- [4] 薛力源. 基于子结构序列与拓扑图的分子性质预测 [D]. 天津大学, 2021.
- [5] 苏益帆. 基于 P4 的数据中心胖树网络灰色故障检测定位研究 [D]. 电子科技大学, 2022.
- [6] 冯烨. 基于 " 运维大数据 +AI 体系 " 的清算业务数据智能分析和故障发现定位实践 [J]. 中国金融电脑, 2021(9):75-78.
- [7] 任涛, 步雅楠, 周君, 等. 基于电网运维大数据背景下的继电保护故障定位分析 [J]. 电工技术, 2023(17):232-234,239.
- [8] 黄广山. OTDR 测试误差及规避方法探讨 [J]. 数字通信世界, 2021(2):138-140.
- [9] 李建路, 朱珠, 王振乾, 等. 面向电力运维的 SDH 通信网故障定位 [J]. 机械设计与制造工程, 2022,51(11):96-99.
- [10] 王超, 钟林, 罗庆异, 等. 部、省、路段监测运维联动协同探讨 [J]. 中国交通信息化, 2021(2):43-45.