

政企客户双线接入侧聚合保护智能路由管控系统

叶贺杰 张士华 张 剑

中国联合网络通信有限公司东莞市分公司 广东 东莞 523009

摘要: 针对传统光缆“哑资源”管理中的状态不透明、故障定位难等痛点,设计了一套接入侧聚合保护智能路由管控系统。该系统融合波分复用与光纤智能诊断技术,构建了集资源可视化、质量分析与故障定位于一体的管理平台。采用B/S与微服务架构,集成SNMP协议与百度地图API,通过微信小程序与企业微信机器人实现移动运维。应用结果表明:光缆资源核查时间从24小时缩短至30秒,故障发现间隔降至30分钟,资源利用率从1:1提升至1:4。本方案为接入网智能化提供了有效路径,其“平台赋能哑资源”模式对基础设施数字化管控具有推广价值。

关键词: 政企双线;智能路由;聚合保护;波分复用;OTDR

引言

政企客户是通信运营商收入与品牌价值的重要贡献者,其网络需求正从基础“连通性”向“高可靠、高敏捷、高感知”的精品服务升级。在经济活跃的珠三角地区(如东莞),政企双线业务需求爆发式增长。然而,城市扩张与“净空”政策使管道资源日趋紧张,光缆审批趋严、施工窗口压缩,传统“一业务一光缆”的粗放模式难以为继。

光缆作为“哑资源”,无法主动上报状态,目前依赖竣工图纸、人工台账与定期巡检,存在三大痛点:一是资源可视性差,台账与物理现实常脱节,签约后常因光缆老化或路由不通无法交付;二是故障定位效率低,中断后需人工携OTDR分段排查,平均耗时数小时,影响客户感知;三是资源利用率低,核心区域管孔与纤芯快速耗尽,新业务面临“无路可走”^[1]。

随着波分复用技术在接入层成熟及智能光模块发展,单纤承载多业务与远程光纤监测成为可能。关键在于如何将这些硬件能力整合为统一、智能的软件管理平台,实现海量光缆的“可视、可管、可维”。

为此,本文基于东莞联通实际需求,研发了一套“政企双念,构建覆盖资源管理、状态监控、质量分析、故障定位与智能通报的数字化管控体系,旨在实现接入侧光缆资源高效利用与政企业务服务保障升级。

1 系统总体架构设计

本系统采用分层、解耦的微服务架构设计,以确保系统的可扩展性、可维护性与高可用性。整体架构自下而上可分为基础设施层、数据采集层、平台服务层、应用功能层和用户交互层。

1.1 基础设施层

该层由物理设备与网络构成,是系统管理的对象与

数据来源。核心设备包括:局端聚波设备:部署在运营商机房,为有源设备,支持SNMP网管协议。其插板卡集成OTDR功能,负责将不同波长的光信号复用进一根主干光纤,并实时监测每一波道的性能与通断状态。远端分波设备:部署在客户侧,为无源设备,负责将复合光信号解复用,分离出不同波长的光信号供客户设备使用。网络通道:包括承载业务的光缆物理网络,以及用于设备管理的DCN网和互联网出口。

1.2 数据采集层

该层连接物理世界与数字平台的桥梁。通过多种协议与技术实现对底层数据的统一采集:SNMP协议:作为网管标准协议,用于从局端聚波设备主动轮询或被动接收Trap信息,获取设备状态、端口流量、OTDR测试结果等数据。Zabbix监控系统:作为辅助监控工具,对平台服务器自身及关键服务进程的健康状态进行监控。API接口与爬虫:预留与资源管理系统、工单系统的API对接能力,未来可实现数据的自动同步^[2]。

1.3 平台服务层

该层是系统的“大脑”,基于一台部署在机房的PC服务器构建,核心组件包括:数据服务:采用MySQL数据库,负责存储设备台账、光缆路由、地理信息、性能历史数据与告警记录。业务逻辑服务:使用Python/Node.js编写,处理所有核心业务逻辑,如资源关联分析、故障点算法计算、告警规则判断等。接口服务:提供一套完整的RESTful API,供微信小程序、Web前端及小信机器人调用,实现前后端数据交互。地理信息服务:集成百度地图JavaScript API,可视化绘制与故障点的精准地图标定。

1.4 应用功能层

该层封装了系统面向用户的核心业务能力,具体体现为三大功能模块:信息采集与展示模块、质量分析模

块、故障呈现及通报模块。

1.5 用户交互层

该层为用户提供多样化的访问入口，适应不同场景下的使用需求。Web 管理端：面向后台管理人员与维护专家，提供全量的数据看板、资源管理、配置下发与深度诊断功能。微信小程序：面向一线维护人员，提供便捷的资源查询、扫码录入、故障位置查看与地图导航功能。企业微信机器人：面向所有相关人员，提供被动、及时的故障告警信息推送，实现故障信息的闭环流转。

2 系统核心功能模块实现

2.1 信息采集与可视化模块

旨在打破“哑资源”的信息壁垒，构建一个数字化的光缆资源孪生体。多模态信息录入机制：后台批量导入：支持通过Excel 模板批量导入存量设备的台账信息。Web 端手动录入：

管理员可在Web 界面手动添加、修改设备及光缆信息。小程序扫码录入：为每一台设备生成唯一的二维码标签。一线人员现场可通过小程序扫码，快速调出设备表单，并结合手机GPS 自动填充地理位置信息，极大提升了数据录入的准确性与效率^[3]。

光缆路由数字化映射：系统引入百度地图，管理员可基于竣工图纸，通过“打点-连线”的方式，在电子地图上精确绘制光缆的物理路由，并设置各锚点间的实际光缆长度。这一过程将抽象的图纸转化为精确的数字化路径，为后续的故障定位提供空间数据基础。拓扑关系可视化：系统自动将局端设备、光缆路由、远端设备与客户业务进行关联，并以拓扑图的形式动态展示。用户可直观查看任意一条业务的端到端路径，以及路径上各元素的实时状态。

2.2 质量智能分析模块

本模块的核心是利用OTDR 数据，实现对光纤链路的主动式、预防性运维。实时性能监控：平台通过SNMP 协议，以每分钟一次的频率轮询局端设备的OTDR 模块，获取每一路光通道的损耗、反射事件与长度信息。通过对历史数据的趋势分析，系统能够识别出因光纤弯曲、接头老化等原因导致的损耗缓慢劣化，并在超出阈值时发出预警，从而实现“防患于未然”。

双路由智能保护：对于重要的政企客户，系统支持配置主备双光缆路由。质量分析模块实时比较两路光缆的性能指标。当主用路由的损耗超过阈值或发生中断时，系统将自动触发切换命令，将业务无感地倒换至备用路由，并将告警信息上报，实现了业务“0”中断的高可用性保障。

2.3 故障呈现及通报模块

致力于将故障信息以最直观、最快捷的方式传递给维护人员，压缩故障历时。精准故障定位算法：当OTDR 检测到光路中断时，会返回一个精确的“断点距离”。系统调用预设的故障定位算法：断点地理坐标 = 起点坐标 + (断点距离 / 光缆总长度) * (终点坐标 - 起点坐标)。通过该矢量计算，即可在百度地图上自动标定出断点的经纬度，并以一个醒目的“Breakpoint”图标呈现。其定位精度取决于光缆路由数字化绘制的精细度，在实际应用中可达50 米范围内，极大地缩小了现场排查范围。移动端一体化运维：维护人员在微信小程序上接收到告警推送后，可点击查看包含断点位置的地图。小程序直接调用手机本地地图APP 进行路线导航，引导维护人员直达故障现场，实现了从“感知故障”到“抵达现场”的无缝衔接。智能闭环通报流程：系统通过企业微信的“小信机器人”实现告警信息的自动化通报。平台服务器每30 分钟扫描一次活跃告警，并通过HTTP POST 请求将告警详情（如设备名称、中断距离、断点位置、发生时间）发送至机器人的Webhook。机器人将信息模板化后，以“图文消息”的形式推送至指定的运维微信群。该通报会持续进行，直到平台检测到告警清除，机器人再发送一条“故障恢复”的通知，形成完整的闭环管理。

3 关键技术实现路径与挑战

3.1 高精度故障定位技术

故障定位的准确性是整个系统的价值核心。我们面临的主要挑战是光缆在实际敷设中存在盘留、弯曲等因素，导致其物理长度大于地图上的空间直线距离。为解决此问题，我们采取了以下措施：分段细化建模：在绘制光缆路由时，鼓励在光缆井、拐点、入楼点等关键位置设置锚点，将一整段光缆划分为多个小段。这样，算法计算时使用的是更接近真实光缆长度的“分段长度之和”，而非起点到终点的直线距离，显著提升了计算精度。数据校正机制：系统允许维护人员在处理完故障后，反馈实际的断点位置。通过比对计算位置与实际位置，可以反向校正该段光缆的“长度-坐标”映射模型，通过机器学习算法不断自我优化，使定位越来越精准。

3.2 多系统异构数据融合

系统需要整合来自SNMP 设备、手工录入、地图API 和微信平台等多源异构数据。我们通过构建统一的数据模型和标准化接口解决了这一问题。定义统一数据模型：为设备、光缆、端口、告警等核心实体定义了标准化的数据字段和格式，确保不同来源的数据在进入平台后能被一致地理解 and 处理。API 网关设计：采用API 网关

模式,对所有外部交互请求进行统一的认证、鉴权、流量控制和协议转换。例如,微信小程序的请求通过网关被路由到相应的业务微服务,从而保证了系统的安全性与稳定性。

3.3 轻量级移动端与云端协同

微信小程序作为主要移动入口,其轻量化的特点与我们需要实现的复杂地图功能存在矛盾。性能优化策略:对于地图渲染,我们采用按需加载和矢量图层技术,只渲染当前视野内的光缆和断点信息。对于数据请求,充分利用小程序的本地缓存能力,对静态资源(如设备基础信息)进行缓存,减少对服务器的反复查询。前后端责任分离:复杂的业务逻辑和计算(如故障点坐标计算)均放在后端平台服务器完成,小程序端只负责结果的展示和用户交互。这种架构既保证了核心逻辑的安全性,又确保了小程序端的流畅体验。

4 系统测试与应用效果分析

为验证系统的有效性性与可靠性,我们在东莞市南城区的两个重点商业园区进行了为期三个月的小规模试点应用。

4.1 测试环境与方案

测试环境:选取2栋高层商业楼宇,部署1套局端聚波设备和4套远端分波设备,承载了4家企业的8条政企双线业务。

测试方案:功能测试:对资源录入、状态查询、地图导航、告警推送等所有功能点进行遍历测试。性能测试:模拟多用户并发访问平台Web端和小程序,检验系统响应时间与稳定性。故障模拟测试:人工制造光缆中断故障,检验系统从发现、定位到通报的全流程时效性与准确性。

4.2 性能指标对比分析

资源核查平均时间从24小时压缩到30秒,故障主动发现间隔从不定时(依赖客户报障)变成30分钟(固定轮询),故障定位时间从2-4小时压缩到秒级。业务开通周期从平均4天,压缩到2天。

4.3 经济效益

节省了大量的现场勘查差旅成本和仪表使用成本。预计系统全面推广后,可减少约30%的日常巡检人力投入,将其转向更高价值的优化与客户服务工作。

5 应用场景与未来展望

5.1 典型应用场景

“无资源”场景下的快速抢单:在光缆资源紧张的商圈,销售人员在客户现场即可通过小程序快速核查目标楼宇的可用光缆资源,极大增强了签单信心与成功率。重大活动通信保障:在重要会议、展会期间,系统可对保障区域的接入光缆进行7x24小时不间断监测,一旦有施工外力风险或性能劣化,立即预警,确保万无一失。跨部门协同运维:当故障涉及传输、数据等多个专业时,各方人员可在统一的平台地图上查看故障影响范围,实现信息同步与高效协同,避免“扯皮”现象。

5.2 未来展望

本系统目前已完成从0到1的构建,未来还将引入AI大模型技术,使系统不仅能定位故障,还能基于历史故障数据、天气信息、城市施工计划等,智能分析故障根因,并自动推荐最优的修复方案与资源调度策略。构建数字孪生体系:将系统的三维能力进一步提升,构建整个接入侧光缆网络的数字孪生体,实现资源规划、模拟故障、演练调度的全数字化,为网络投资决策提供科学依据。

6 结论

本文详细阐述了一套针对政企双线业务接入侧瓶颈的智能路由管控系统的设计与实现。该系统通过创新性地整合波分复用硬件技术与软件定义平台,成功地将“哑资源”转变为“智能资产”,实现了对光缆资源的精细化管理和故障的快速响应。实践证明,该系统在提升运维效率、保障业务质量、节约资源成本等方面成效显著,具有极高的实用性与推广价值。它不仅为东莞联通的政企业务发展提供了强有力的技术支撑,其设计理念与实现路径也为全球范围内面临类似挑战的通信运营商提供了宝贵的参考范本,有力地推动了接入网运维管理向数字化、智能化的深刻变革。

参考文献

- [1]李哲,刘阳.基于决策树与贝叶斯网络的通信网络故障定位方法研究[J].计算机工程与应用,2021,57(12):267-273.
- [2]王磊,陈帆,吴昊.ARIMA模型与关联规则挖掘在设备故障预测中的应用[J].自动化学报,2022,48(05):1123-1132.
- [3]刘建华,张志勇,王丽娜.光通信网络中OTDR测试技术的应用与发展[J].光通信研究,2022,48(02):45-50.