

AI 赋能的通信网络运维自动化技术研究

关慧春

国网长治供电分公司信息通信公司（数据中心），山西 长治 046000

[摘要]伴随着 5G 大规模部署和 6G 发展，通信网络出现多域协同、动态拓扑以及异构并存的特点，传统依靠人工的运维已经不能满足高实时性的需求了。文中对 AI 赋能网络运维自动化技术的基础进行了系统的梳理，从运维数据质量参差不齐、AI 模型泛化能力差、多厂商异构网络协同难、自动化运维可靠性低、网络安全和数据隐私风险大这五个方面入手，提出了统一数据治理体系、持续学习优化机制、异构网络协同管理、智能运维闭环控制、安全可信保障体系这五个方面的改进措施。经过研究发现，创建以 AI 为依托的智能运维体系，就是达成通信网络由“自动化”走向“自治化”的主要途径。

[关键词]通信网络；智能运维；AI 赋能；自智网络；自动化运维

DOI: 10.33142/sca.v9i7.20021

中图分类号: TN915

文献标识码: A

Research on AI Empowered Communication Network Operation and Maintenance Automation Technology

GUAN Huichun

Information and Communication Company of State Grid Changzhi Power Supply Company (Data Center), Changye, Shanxi, 046000, China

Abstract: With the large-scale deployment of 5G and the development of 6G, communication networks have become characterized by multi domain collaboration, dynamic topology, and heterogeneous coexistence. Traditional manual operation and maintenance can no longer meet the high real-time requirements. The article systematically summarizes the foundation of AI enabled network operation and maintenance automation technology, starting from five aspects: uneven quality of operation and maintenance data, poor generalization ability of AI models, difficulty in coordinating heterogeneous networks among multiple vendors, low reliability of automated operation and maintenance, and high risks of network security and data privacy. Improvement measures are proposed in five aspects: unified data governance system, continuous learning optimization mechanism, heterogeneous network collaborative management, intelligent operation and maintenance closed-loop control, and security and trust guarantee system. After research, it has been found that creating an intelligent operation and maintenance system based on AI is the main way to achieve the transition of communication networks from "automation" to "autonomy".

Keywords: communication network; intelligent operation and maintenance; AI empowerment; self intelligence network; automated operations

引言

通信网络已经从原来的“信息传输通道”属性中脱离出来，成为数字经济运转的“数字神经中枢”，它的稳定直接影响到产业链供应链安全、民生服务保障和国家安全。自智网络是 5G-A、F5G-A 以及通信网络 2030 这三个重大战略方向之一，中国移动、中国电信、中国联通在 2025 年都将实现价值场景 L4 级网络自智。网络运营运维依靠 AI 技术开展智能运维工作，有效地提高了网络运维管理效率，成了运营商进行数字化转型的主要途径。但是传统的依靠经验的运维模式已经不能适应 2/4/5G 异构共存、

跨厂家设备互联的复杂网络环境了。传统的依靠专家经验、多种工具配合使用的运维模式已经不能满足日益增长的业务发展需求了。本文主要研究 AI 赋能通信网络运维自动化存在的主要问题并提出相应的优化措施，给行业的智能化转型提供一定的借鉴。

1 AI 赋能通信网络运维自动化的关键技术基础

AI 赋能通信网络运维自动化要依靠诸多关键技术的支持才能达成。从数据感知角度出发，对各种来源的数据进行收集、清洗、融合，得到网络运行状况的全貌。自动化的遥测分析、事件关联、修复 workflows 等可以加快对根本

原因的查找速度,并且可以缩短平均修复时间。人工智能算法和模型在智能分析上担负起故障预测、异常检测、根因定位等主要分析工作,生成式 AI 用多模态数据融合建模来达成网络状态的精确表征,创建起故障预估,根因找出以及自愈方案产生的全部链条。从决策执行的角度来说,管理编排和自动化引擎把分析结果转变成可以执行的运维指令,从而达成网络的自配置、自优化、自治愈。2024 年 11 月, TM Forum 同 73 家产业伙伴一起发布了 AN L4 产业蓝图,把智能体技术当作 AN L4 的主要特性,其目的就是实现场景的自动化闭环。仿真验证阶段用数字孪生闭环控制架构很好地解决了传统运维系统响应迟缓、策略固化的问题。以上技术的深度融合和协同演进为技术基础,就形成了 AI 赋能通信网络运维自动化的技术底座。

2 AI 赋能通信网络运维自动化面临的问题

2.1 运维数据质量参差不齐

AI 模型性能的好坏很大程度上取决于训练数据质量的好坏,但是通信网络运维数据质量的问题比较严重。数据来源非常分散,网管系统、性能计数器、日志文件、工单记录等分别使用不同的数据格式和采集频率,使得数据很难整合。通信行业语料建设存在语料共享少、建设成本高、语料质量差这三大问题,严重影响运维智能化的发展。其次就是数据噪声问题严重,大量的冗余告警、重复告警、无效告警混杂其中,当故障出现的时候,问题已经不是单一的告警,而是一场“告警风暴”。故障根因通过网络拓扑“传播扩散”,产生大量的冗余、衍生告警,造成错综复杂的因果链条。语料质量良莠不齐,专业术语混杂、表述不清,造成 AI 模型训练效率低、识别准确率不高。数据质量的问题直接造成 AI 模型“输入不准”的困境,使得之后的分析和决策没有可靠的基础。

2.2 AI 模型泛化能力不足

AI 模型在通信网络运维场景下泛化的程度不够,属于技术上的主要限制。通信环境复杂多变,有各种各样的网络部署、信道条件、用户行为、信号干扰等等,一个在某一网络环境下训练出来的故障检测模型,迁移到其它制式、其它厂商设备或者其它地理区域的网络中时,性能就会出现较大的下降。大语言模型(LLM)的出现似乎带来了一线希望,但是将其直接应用到专业性较强的网络运维场景中去,却遇到了诸多问题,比如多模态语义对齐困难、决策黑箱、因果推理能力差等等。AI 模型一般不能进行泛化,也不适合多种部署环境以及各种应用^[1]。泛化

能力的不足是由诸多因素造成的,通信网络地域上的差别造成训练数据不能涵盖全部场景,网络设备不断更新换代、配置变化都会使模型出现“概念漂移”的情况。

2.3 多厂商异构网络协同困难

通信网络多厂商异构的特点给 AI 赋能运维带来严峻的协同难题。目前网络中存在 2G/4G/5G 多制式共存的情况,无线、传输、核心网等多个领域交错在一起,各个厂商的设备所使用的管理接口、数据模型、告警格式也完全不同。尤其是无线网络,它规模巨大、2/4/5G 多制式共存、跨厂家的复杂异构性,就形成了一个复杂的运维环境。异构网络协同困难表现在各个厂商的设备告警编码体系不一样,同一个故障会生成不一样的告警信息;跨域故障的根因定位要跨越很多专业领域以及厂商设备的边界,因果链条繁杂且很难追查。如果 AI 只能从单一设备供应商的角度去观察网络,那么所谓的自愈网络实际上就是一只眼睛失明的。

2.4 自动化运维可靠性与可解释性不足

由于缺少可靠和可解释的特性, AI 驱动的自动化运维存在着明显不足,进而影响到运维人员对于该系统是否认可。AI 模型的决策不是百分之百的正确,会得出一些看上去合理但是实际上是错误的推理结果。AI 决策过程没有可解释性,不能得到运维人员的信任。决策的黑箱性,推理路径不可解释、难以追溯, LLM 很容易把统计相关性误判为因果关系,造成决策偏差。当 AI 系统出现错误的故障定位或者给出不恰当的修复建议的时候,运维人员没有有效的办法去追踪、检验它的推理过程^[2]。大语言模型有幻觉现象, LLM 幻觉成了自智网络由蓝图变为现实的主要技术障碍之一。自动化运维的闭环控制机制还不健全,在故障发现、根因定位、策略执行和效果验证这一个完整的链条里存在着断点和盲区。

2.5 网络安全与数据隐私风险增加

人工智能驱动运维自动化提高了效率,但是也产生了新的网络安全、数据隐私风险。就数据而言, AI 运维系统要收集并处理大量的网络运行数据,包含用户流量数据,设备配置信息,故障日志等。当 AI 智能体深入网络运维、智慧客服、经营营销、内部办公等主要场景当中之后,决策劫持、算力滥用、工具投毒、数据泄露这些 AI 天生的安全隐患就暴露出来。从模型层面来说, AI 模型本身也可以成为攻击的目标,模型盗窃、对抗性攻击等新的威胁不能小视。智能体安全不再只是单个技术问题,而是一个需要从系统角度来解决的综合难题。另外,由于对第三方

大模型服务有依赖，所以也存在着供应链安全风险。

3 AI 赋能通信网络运维自动化优化策略

3.1 建立统一的智能运维数据治理体系

解决运维数据质量参差不齐问题的关键就是创建起包含数据全生命周期的统一治理体系。首先要建立统一的数据采集标准和接口规范，保证各个数据源的数据可以被标准化地接入系统中。浙江移动与产业链伙伴共同制定了通信行业网络运维领域的语料规范，这是业内第一个包含语料全生命周期的系统性标准，对语料数据采集、文档处理、标注方式、存储安全、隐私保护、版本管理等各个环节都有明确的规定。其次要创建数据质量评定和清洗体系，在自研的流式框架里加入 AI 算法，对告警实施时间、拓扑维度的实时聚类以及根因事件的识别。再次要创建数据标注的标准化流程及质量管理体系，用自动标注加人工校对的方式，把原来需要 10 人天才能完成任务，现在只需要 2 人天就能高效地完成。从数据融合的角度来说，创新性地使用了“静态加动态”的统一建模方法，创建出通信网络的知识图谱，把各种数据的语义联系起来。另外需要创建数据生命周期的管理机制，保证训练数据的时效性以及代表性，给 AI 模型赋予稳定的输入。

3.2 构建持续学习的 AI 模型优化机制

应对 AI 模型泛化能力不足的问题，就要创建起包含模型训练、评价、部署以及迭代全部环节的持续学习体系。模型训练时采用各种各样的训练数据方法，不断充实自身的知识。大模型由于具有很强的学习能力以及泛化性，可以对网络数据中隐藏的价值进行深入挖掘，给网络运维、管理、性能优化等各个方面提供智能决策的依据。模型部署阶段要创建多方面性能评判体系，除了常规的准确率之类指标之外，还要评价模型在各种网络环境中的泛化情况^[3]。就数据安全、模型泛化和系统兼容性这三个问题给出模型轻量化、跨域协同治理的解决办法。模型迭代要创建自动化的模型版本管理机制，用后训练扩展能力，模型可以从中学习新的事件、警报和异常，从而不断改善性能。持续学习机制让 AI 模型可以对网络环境的改变作出及时反应，并且不断改进自己的泛化能力以及运维状况。

3.3 推动多源异构网络统一协同管理

破解多厂商异构网络协同难的问题，就要创建起针对异构环境的统一协同管理架构。从技术角度出发，应推进管理接口标准化和数据规范化工作。中国移动与中兴通讯共同创建了“联创+”自智网络开放实验室，就网络图模型赋能故障根因推理的通用办法展开研究并提出，重点不是直接使用 LLM，而是创建起“知识图谱作为通信网络领域知识骨架、图谱混合搜索作为关联引擎、强推理大模型作为逻辑核心”的融合架构。在建模上，静态资源拓扑图把无线、传输、动环等跨专业对象的物理或者逻辑连接关系细化到颗粒度，形成网络的数字地图。动态根因推理图把静态知识和实时告警状态结合起来，给 AI 赋予了活的网络事实数据。在跨域协同方面，采用时空关联加网络拓扑路径约束的图混合搜索策略来剪枝子图、分层压缩，从千万级节点中找出根因推理子图。从组织上来说应该建立跨厂商、跨专业协同运维机制，明确各方责任和接口，探索技术攻关到现网验证的协同创新之路。

3.4 完善智能运维闭环控制体系

就自动化运维可靠性、可解释性问题而言，要创建起包含感知、分析、决策、执行、验证等环节的闭环控制体系，努力加强系统可解释性。闭环控制方面创建起“感知-分析-决策-执行”端到端的自动化闭环。从可靠性保障角度来说，依靠知识图谱作为事实基础、大模型作为推理中枢的智能决策体系，用图谱解决输入不准、不稳的问题，用大模型解决复杂推理难的问题。按照根因推理子图中故障上下文，思维链引导大模型从故障现象告警节点出发，沿着拓扑链路一层层往上传达到每一个节点，用故障传播图检验因果关系。从可解释性角度出发，为了完全解决大模型“黑箱”决策带来的问题，用动态推理图、子图、推理过程可视化的方式来提高运维人员对 AI 决策的信任，实现逻辑可视、可解释、可回溯。把可解释 AI 融入网络管理架构当中，有益于改善对网络运行的认识、预知能力以及信任程度。以下为传统运维模式和智能运维闭环模式主要指标对比表。

表 1 传统运维模式与智能运维闭环模式关键指标对比

对比维度	传统人工运维模式	智能运维闭环模式
根因定位准确率	依赖专家经验，准确率低	突破 90%
推理决策机制	人工经验判断	白盒化可解释决策
故障处理效率	依赖人工排查	提升 80%以上
运维人员依赖度	高度依赖专家	大幅降低
决策可解释性	人工可追溯	可视化推理链
网络自智等级	L2-L3 级	迈向 L4 高阶自智-

3.5 建设安全可信的 AI 运维保障体系

应对网络安全和数据隐私风险要从技术、管理、标准三个方面创建起全方位的安全可信保障体系。从技术上来说应该使用数据加密、联邦学习、差分隐私等技术手段来保证运维数据的安全和隐私，防止高敏感数据流出，保证数据安全。从模型安全角度出发，应该创建模型安全评价及加固体系，防止模型被投毒或者对抗攻击等新型威胁侵袭，智能体安全不再只是单个技术上的问题^[4]。从管理上来说，应该建立 AI 运维系统的安全审计和监控机制，对模型的输入输出进行持续监测和异常告警，当 AI 原生安全风险集中暴露出来之后，企业就需要创建起覆盖数据、模型、应用的全链条安全治理体系。从标准层面来讲，要积极参加并推进 AI 运维安全标准的制订工作，依靠 AI 技术加强威胁监测与反诈能力，从而给高质量发展提供高水平的安全保障。中国移动创建起“全栈式”人工智能安全能力，创建起多个维度的 AI 安全评测平台。依靠技术与管理手段的双重推进，创建起安全可信的 AI 运维保障体系，给智能运维的规模化推行构筑起稳固的基础。

4 结语

AI 加持的通信网络运维自动化就是通信行业走向智能化、自治化的主要途径。自智网络的最终目的就是使网络服务供给模式由“人为主导”向“系统自主”转变。当

前，行业普遍将 2025 年视为 AN L4 商用元年，全球 AN L4 渗透率约 4%，预计 2026 年升至 23%，2030 年达 85%。但是运维数据质量、模型泛化能力、异构网络协同、可靠性与可解释性、安全与隐私等各方面的的问题依然存在。跨越需要解决 LLM 幻觉、可信 AI 和数字孪生技术的障碍。未来随着以智能体（Agent）为代表的 Agentic AI 技术不断深入、产业实践不断深入，AI 运维将会由“AI 辅助自动化”走向“真正的自治网络”。运营商和设备商要不断加大 AI 运维技术的创新投入，使通信网络由原来的“能运行”变为现在的“会思考、能优化”，给数字经济的迅猛发展提供强有力的基础网络支撑。

[参考文献]

- [1]黄明.人工智能赋能通信网络建设优化与智能运维体系构建[J].通讯世界,2026,33(5):196-198.
- [2]朱晓奕.对 AI 技术赋能民航网络安全运维体系的思考[J].民航管理,2026(3):40-44.
- [3]黄海,杜金鑫,戴佳恩.AI 大模型赋能金融数据中心网络智能运维[J].金融经济,2025(11):48-51.
- [4]王子玥.基于 AI 技术的互联网智能运维新模式[J].通讯世界,2025,32(5):22-24.

作者简介：关慧春（1993—），女，山西武乡人，工程师，华侨大学通信工程专业毕业，现就职于国网长治供电分公司信息通信公司（数据中心），从事通信运维检修工作。