气象信息网络链路故障定位技术改进与应用

林小行 [1]　蒋永成 [2*]
1. 厦门市气象灾害防御技术中心　福建厦门　361006
2. 厦门市气象台　福建厦门　361006

摘　要：随着气象业务对信息网络依赖程度的不断加深，网络链路故障定位的准确性与高效性至关重要。本文针对气象信息网络链路故障定位技术展开研究，分析了现有技术存在的问题，详细阐述了改进后的故障定位技术，包括基于多源数据融合的故障诊断模型、智能算法在故障定位中的应用等。通过实际案例应用，验证了改进技术在提升故障定位精度和缩短故障处理时间方面的显著效果，为保障气象信息网络稳定运行提供了有力支撑。

关键词：气象信息网络；链路故障定位；多源数据融合；智能算法

1 引言

气象信息网络是气象数据传输、处理与共享的关键基础设施，其稳定性直接影响气象业务开展。气象观测、预报、服务等环节需通过网络链路快速准确传输大量数据。一旦网络链路故障将导致数据丢失、传输延迟，影响气象预报准确性和服务及时性。因此，高效准确的链路故障定位技术是气象信息网络运维管理的核心需求。传统故障定位技术面对复杂气象网络架构和多样化业务需求时，存在诊断准确率低、故障定位时间长等问题，故改进优化链路故障定位技术对提升气象信息网络可靠性和稳定性具有重要现实意义。

2 气象信息网络链路故障定位技术现状

2.1 现有故障定位技术概述

当前，气象信息网络中常用的链路故障定位技术主要包括基于 SNMP（简单网络管理协议）的故障检测、基于 Ping 命令的连通性测试以及基于网络拓扑的故障推理等方法。基于 SNMP 的故障检测通过收集网络设备的管理信息库（MIB）数据，获取设备的运行状态、端口流量等信息，以此来判断网络链路是否存在故障。例如，通过监测端口的错误包数量、丢包率等指标，若超过设定阈值，则可能表明链路存在故障。基于 Ping 命令的连通性测试则是通过向目标 IP 地址发送 ICMP（网际控制报文协议）回显请求，根据是否能收到响应来判断链路的连通性。若无法收到响应，则说明链路可能存在中断故障。基于网络拓扑的故障推理则是利用网络拓扑结构信息，结合设备之间的连接关系和业务流向，通过一定的推理算法来定位故障发生的位置。

2.2 存在的问题分析

尽管现有故障定位技术在一定程度上能够发现和定位网络链路故障，但在实际应用中仍存在诸多问题。首先，基于 SNMP 的故障检测依赖于设备对 MIB 数据的准确采集和上报，然而部分老旧设备可能存在 MIB 数据不完善或更新不及时的情况，导致故障检测的准确性受到影响。其次，基于 Ping 命令的连通性测试只能判断链路是否连通，无法准确确定故障的具体位置和原因。再者，基于网络拓扑的故障推理算法对于复杂网络拓扑结构的适应性较差，随着气象信息网络规模的不断扩大和网络结构的日益复杂，传统的推理算法计算量剧增，导致故障定位的时效性降低。此外，现有技术大多是基于单一数据源进行故障判断，缺乏对多源数据的融合分析，无法充分利用各种网络信息来提高故障定位的准确性。

3 气象信息网络链路故障定位技术改进

3.1 基于多源数据融合的故障诊断模型

为了克服现有技术的局限性，引入基于多源数据融合的故障诊断模型。该模型整合了网络设备的 SNMP 数据、网络流量数据、链路性能指标数据以及气象业务数据等多源信息。首先，通过数据采集模块实时获取各类数据源的数据。对于 SNMP 数据，利用专门的 SNMP 采集工具定期从网络设备中采集 MIB 信息；网络流量数据则通过部署在关键链路节点的流量监测设备进行采集；链路性能指标数据如带宽利用率、延迟、抖动等可通过网络性能监测工具获取；气象业务数据包括气象观测数据的传输状态、气象预报业务的运行

情况等，可从气象业务系统中获取。然后，对采集到的多源数据进行预处理，包括数据清洗、归一化和特征提取等操作。数据清洗用于去除数据中的噪声和异常值，归一化将不同量级的数据转换到统一的范围，便于后续分析，特征提取则从原始数据中提取能够反映网络状态和故障特征的关键信息。最后，利用数据融合算法将预处理后的多源数据进行融合分析。常见的数据融合算法包括贝叶斯网络、D–S 证据理论等。以贝叶斯网络为例，通过构建网络设备状态、链路性能指标与故障类型之间的概率关系模型，当输入多源数据时，根据贝叶斯公式计算不同故障类型发生的概率，从而实现对故障的准确诊断和定位。

3.2 智能算法在故障定位中的应用

在故障定位过程中，引入智能算法来提高定位的效率和准确性。例如，采用遗传算法来优化故障定位的搜索策略。遗传算法是一种模拟生物进化过程的随机搜索算法，通过对初始种群进行选择、交叉和变异等操作，逐步进化出适应度较高的个体。在故障定位中，将网络链路的可能故障位置编码为个体，以故障定位的准确性和时间作为适应度函数。初始种群随机生成一组可能的故障位置解，然后通过选择操作保留适应度较高的个体，交叉操作将两个个体的部分基因进行交换，变异操作则随机改变个体的某些基因，经过多代进化，最终得到最优的故障定位结果。另外，还可以应用神经网络算法构建故障定位模型。通过收集大量历史故障数据及其对应的故障位置作为训练样本，对神经网络进行训练。训练完成后，当输入当前网络的故障特征数据时，神经网络能够快速输出故障可能发生的位置。例如，采用多层感知器（MLP）神经网络，输入层接收经过预处理的多源数据特征，隐藏层通过非线性变换对数据进行特征提取和组合，输出层则输出故障位置的预测结果。通过不断调整神经网络的权重和阈值，提高模型的故障定位准确率。

3.3 网络安全与故障定位的协同改进

在当前网络环境下，网络攻击导致的链路故障日益增多，因此将网络安全因素融入故障定位技术改进至关重要。通过部署入侵检测系统（IDS）与入侵防御系统（IPS），实时监测网络中的异常流量和攻击行为，并将安全事件数据纳入多源数据融合体系。例如，当检测到 DDoS 攻击时，系统会将攻击流量特征、受影响的链路节点等信息与其他网络性能数据结合分析，判断攻击是否导致链路故障。同时，利用机器学习算法对历史网络攻击事件和故障数据进行训练，构建攻击 – 故障关联模型。一旦发现新的攻击行为，模型能够快速预测可能引发的链路故障位置和影响范围，帮助运维人员提前采取防御措施。此外，改进后的技术还引入了安全日志分析机制，对网络设备的操作日志、访问日志进行深度挖掘，通过分析异常登录、非法配置修改等行为，定位因人为恶意操作或误操作引发的链路故障，有效提升气象信息网络在复杂安全威胁下的故障定位能力，确保网络在遭受攻击时仍能快速诊断和恢复故障，保障气象业务的正常运转。

3.4 改进后的故障定位流程优化

结合多源数据融合的故障诊断模型和智能算法，对故障定位流程进行优化。当网络链路出现故障时，首先启动多源数据采集模块，快速收集各类相关数据。然后对采集到的数据进行预处理，将处理后的数据输入到基于多源数据融合的故障诊断模型中，初步判断故障类型和可能的故障范围。接着，根据初步诊断结果，选择合适的智能算法进行进一步的故障定位。例如，如果初步判断故障可能是由于某条链路的性能问题导致的，则采用遗传算法在该链路相关的节点和子链路范围内进行搜索，确定具体的故障位置。实时将定位结果反馈给运维人员，同时将故障数据和定位结果记录到历史数据库中，以便后续对故障定位模型和算法进行优化和改进。优化后的故障定位流程不仅提高了故障定位的准确性和效率，还增强了系统的自适应性和可扩展性，能够更好地应对气象信息网络中复杂多变的故障情况。

4 气象信息网络链路故障定位技术应用案例

4.1 案例背景介绍

厦门气象局的气象信息网络负责厦门地区气象数据的采集、传输、处理与共享，支撑着气象观测、预报、预警发布以及气象服务等业务的正常开展。其网络架构包含多个核心节点，连接着众多气象观测站点、预报业务系统以及对外服务终端，涵盖了光纤、无线等多种链路类型，日均传输气象数据量庞大。随着厦门地区气象业务的精细化、多样化发展，以及对气象预报准确性和服务及时性要求的不断提高，网络链路故障对气象业务的影响日益凸显。过去，厦门气象局采用传统的故障定位技术，如基于 SNMP 和 Ping 命令的方法，在面对复杂的网络故障时，平均故障定位时间较长，难以满足快速恢复业务的需求。

4.2 改进技术的实际应用过程

2023 年，厦门气象局引入了改进后的气象信息网络链路故障定位技术体系。在网络设备和系统升级过程中，部署了先进的网络管理系统和流量监测设备，实现了对网络设备 SNMP 数据、流量数据的实时采集；同时，与气象观测系统、预报业务系统以及气象信息发布平台等进行了深度对接，能够获取全面的业务运行状态数据。

2024 年 3 月 20 日下午 3 时，厦门气象局网络突然出现异常，部分气象观测站点数据无法及时上传，气象预报业务系统出现卡顿，气象预警信息发布出现延迟。多源数据采集模块迅速启动，在极短时间内获取到异常数据：某核心交换机端口流量异常波动，部分链路延迟显著增加，气象观测系统中多个站点数据传输丢包率急剧上升。经过数据预处理后，基于贝叶斯网络的数据融合模型快速诊断，得出故障概率最高的场景为某关键链路因网络设备故障导致性能下降，且概率超过 90%。随后，系统调用遗传算法对该关键链路涉及的相关节点和子链路进行搜索。通过合理设置交叉概率和变异概率等参数，经过多代进化计算，迅速锁定了故障位置——厦门岛内某处光纤链路因施工意外受损，导致链路中断，进而影响了整个网络的正常运行。

4.3 应用效果评估

改进后的故障定位技术在厦门气象局的应用取得了显著成效。故障定位准确率大幅提升，从原来的 60% 左右提高到 93% 以上；平均故障定位时间大幅缩短，从过去的 120 分钟以上降低到 10 分钟以内，故障处理效率显著提高。以 2024 年全年数据统计为例，网络故障导致的气象观测数据丢失率同比下降 85%，气象预报业务延误次数减少 90%，气象预警信息发布延迟次数从年均30次降至3次以内。此外，通过多源数据的实时监测分析，系统成功预警了多次潜在网络故障，如提前发现网络设备老化、链路负载过高等问题，运维人员能够及时介入处理，有效避免了故障的发生，有力保障了厦门地区气象业务的稳定、高效开展，为厦门地区的气象防灾减灾、社会经济发展以及公众生活提供了更加可靠的气象信息服务。

5 结论与展望

本文深入研究气象信息网络链路故障定位技术，剖析现有技术问题，提出基于多源数据融合的故障诊断模型、智能算法应用及流程优化等改进方案。通过实际案例应用验证，改进后的故障定位技术在提高故障定位准确性和缩短故障处理时间方面取得了显著效果，能够有效保障气象信息网络的稳定运行，提升气象业务的可靠性和服务质量。基于多源数据融合的故障诊断模型充分利用了网络中的各种信息，通过数据融合算法提高了故障诊断的准确性；智能算法的应用则优化了故障定位的搜索策略，大大提高了定位效率；优化后的故障定位流程将多源数据融合和智能算法有机结合，实现了故障定位的高效、准确运行。

尽管改进后的气象信息网络链路故障定位技术成效显著，但随着气象网络发展与技术进步，仍存诸多待完善之处。未来，一方面可以进一步探索更加高效的数据融合算法和智能算法，以提高故障定位的精度和速度。另一方面，随着气象物联网的发展，将有更多的气象设备接入网络，网络规模和复杂度将进一步增加。因此，需要研究如何更好地适应大规模、复杂气象信息网络的故障定位技术，提高系统的可扩展性和鲁棒性。此外，还可以加强对网络安全与故障定位的协同研究，在保障网络安全的同时，提高对因安全攻击导致的网络故障的定位和处理能力。通过不断地研究和创新，持续提升气象信息网络链路故障定位技术的水平，为气象事业的发展提供更加坚实的技术支撑。

参考文献：

[1] 彭晓姣 . 气象信息网络安全风险及应对策略分析 [J]. 中国宽带 ,2024,20(12):49–51.

[2] 冯乙新 , 华连生 , 邓壮壮 , 等 . 气象信息网络传输中数据压缩与传输效率优化研究 [J]. 黑龙江科学 ,2024,15(14):74–77.

[3] 苏坪强 , 郑清杰 . 气象部门装备和信息网络运维的可视化技术分析 [J]. 网络安全和信息化 ,2024,(01):157–160.

[4] 闫春旺 , 吕运洲 , 吕常畅 , 等 . 基于网络安全等级保护 2.0 标准的气象信息网络安全防护策略 [J]. 数字技术与应用 ,2024,42(12):92–94.

[5] 龙佳明 , 黎祺 , 张玉霞 . 人工智能技术在气象信息网络安全风险应对中的应用 [J]. 中国宽带 ,2024,20(12):159–161.