

气象信息网络全链路监控体系构建与故障预警系统设计

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: 本文针对气象信息网络日益复杂、业务连续性要求高的特点, 深入研究全链路监控体系构建与故障预警系统设计。通过分析气象信息网络的业务需求与运行现状, 设计了涵盖数据采集层、数据处理层、分析展示层的全链路监控体系架构, 并基于机器学习算法构建故障预警模型。同时, 详细阐述了系统实现过程中的关键技术, 包括网络性能指标采集、多源数据融合、智能预警算法等。经实践验证, 该系统能够有效提升气象信息网络的故障发现与预警能力, 保障气象业务的稳定运行, 对推动气象信息化建设具有重要意义。

关键词: 气象信息网络; 全链路监控; 故障预警; 多源数据融合; 机器学习

1 引言

气象信息网络是气象业务运行的“神经中枢”, 承担数据采集、传输等关键任务。随着气象现代化推进, 业务对网络实时性、稳定性要求不断提高, 海量观测数据与业务系统运行均依赖高效网络。但当前气象信息网络规模大、结构复杂, 故障频发且定位处理困难, 一旦故障会严重影响气象预报与服务。因此, 构建全链路监控与故障预警系统, 实现网络状态实时监控与智能预警, 对保障气象业务、提升气象服务能力具有重要的现实意义。

2 气象信息网络现状分析

2.1 网络架构特点

气象信息网络通常采用分层、分级的架构设计, 涵盖国家级、省级、市级和县级等多个层级。国家级气象信息网络作为核心枢纽, 负责与国际气象组织、其他国家气象部门以及国内各省级气象网络进行数据交换和通信; 省级气象网络则连接省内各市级网络, 实现气象数据的汇聚与分发; 市级和县级网络主要承担本地气象观测数据的采集和上传工作。在网络类型方面, 气象信息网络融合了有线网络(如光纤网络)、无线网络(如 4G/5G 网络、卫星通信网络)等多种通信方式, 以满足不同场景下的业务需求。例如, 自动气象站等野外监测设备通常通过无线网络将观测数据传输至上级气象部门; 而气象数据中心与业务系统之间则主要依靠高速稳定的有线网络进行数据交互。

2.2 业务需求分析

气象业务对网络的需求集中于数据传输、业务系统运行和气象服务三个方面。在数据传输方面, 气象观测数据具有量大、实时性强的特点。例如, 气象卫星每小时可产生数 TB 级的遥感数据, 这些数据需要在短时间内快速、准确地传输至数据中心进行处理和分析。在业务系统运行方面, 数值天气预报系统、气象灾害预警系统等对网络的稳定性和可靠性要求极高, 网络故障可能导致计算任务中断、预报结果延迟等问题。在气象服务方面, 随着公众对气象服务需求的不断增加, 气象网站、手机 APP 等服务平台需要实时更新气象信息, 这也依赖于稳定的网络环境来保障数据的及时推送。

2.3 现存问题与挑战

当前气象信息网络在运行过程中面临诸多问题与挑战。首先, 网络故障定位困难。由于网络结构复杂, 涉及多种设备和链路, 一旦出现故障, 难以快速准确地确定故障点, 导致故障处理时间延长。其次, 传统的网络监控方式主要依赖人工巡检和简单的阈值告警, 缺乏对网络运行状态的全面、实时监控和智能分析, 无法提前发现潜在的故障隐患。此外, 气象信息网络中的多源数据(如网络设备日志、性能指标数据、业务系统运行数据等)缺乏有效的融合与分析, 难以充分挖掘数据价值, 为网络管理和决策提供支持。

3 全链路监控体系架构设计

3.1 总体架构

气象信息网络全链路监控体系采用分层架构设计, 主

要包括数据采集层、数据处理层、分析展示层，各层之间相互协作，实现对网络全链路的监控与管理。

3.2 数据采集层

数据采集层是全链路监控体系的基础，负责从气象信息网络中的各类设备和系统中采集相关数据。采集对象包括网络设备（如路由器、交换机、防火墙等）、服务器、气象观测设备以及业务系统等。采集的数据类型主要有网络性能指标数据（如带宽利用率、延迟、丢包率等）、设备运行状态数据（如设备温度、CPU 使用率、内存使用率等）、日志数据（如网络设备日志、服务器日志等）以及业务系统数据（如数据传输量、任务执行状态等）。为实现高效的数据采集，采用了多种数据采集技术，如简单网络管理协议（SNMP）、远程登录协议（Telnet）、日志采集工具（如 Flume）等。同时，为保证数据采集的实时性和稳定性，建立了分布式数据采集节点，实现对网络各节点数据的并行采集。

3.3 数据处理层

数据处理层主要负责对采集到的多源数据进行清洗、转换、融合和存储。首先，对原始数据进行清洗，去除重复、错误和无效的数据，提高数据质量。然后，根据不同的数据格式和需求，对数据进行转换，使其符合统一的数据标准。在数据融合方面，采用基于规则和机器学习相结合的方法，将来自不同数据源的数据进行关联和整合，挖掘数据之间的潜在关系。最后，将处理后的数据存储到数据库中，为后续的分析和应用提供支持。考虑到气象数据的海量性和实时性特点，选择分布式存储系统（如 Hadoop 分布式文件系统 HDFS）和时序数据库（如 InfluxDB）进行数据存储，以满足数据存储和查询的需求。

3.4 分析展示层

分析展示层是全链路监控体系的核心应用层，主要通过数据分析算法和可视化技术，实现对网络运行状态的深入分析和直观展示。在数据分析方面，运用统计分析、机器学习等算法，对网络性能指标、设备运行状态等数据进行分析，识别网络异常行为和潜在故障隐患。例如，采用时间序列分析算法对网络带宽利用率进行预测，提前发现带宽瓶颈；利用聚类算法对设备运行数据进行分类，找出异常设备。在可视化展示方面，采用图表、地图、拓扑图等多种可视化方式，将网络运行状态以直观、易懂的形式呈现给网络管理人员。例如，通过网络拓扑图实时展示网络设备之间的连接关

系和运行状态；利用地理信息系统（GIS）地图展示气象观测设备的分布和数据传输情况。

4 故障预警系统设计

4.1 预警模型构建

故障预警系统基于机器学习算法构建预警模型，实现对网络故障的智能预测。首先，对历史网络故障数据和正常运行数据进行收集和整理，作为训练数据集。然后，选择合适的机器学习算法，如支持向量机（SVM）、随机森林（Random Forest）、长短期记忆网络（LSTM）等，对训练数据集进行训练，建立故障预警模型。在模型训练过程中，通过调整算法参数和特征选择，提高模型的预测准确率和泛化能力。例如，对于时间序列数据，可以采用 LSTM 网络进行训练，利用其对时间序列数据的记忆能力，准确预测网络故障的发生。

4.2 预警规则制定

为提高预警的准确性和实用性，制定了合理的预警规则。预警规则主要基于网络性能指标阈值、设备运行状态变化趋势以及历史故障模式等因素。例如，当网络带宽利用率超过 80% 且持续时间超过 10 分钟时，发出带宽过载预警；当设备 CPU 使用率在短时间内急剧上升且超过 90% 时，发出设备异常预警。同时，结合机器学习模型的预测结果，对预警规则进行动态调整和优化，以适应网络运行环境的变化。

4.3 预警流程设计

故障预警系统的预警流程主要包括数据采集、数据处理、模型预测和预警发布四个环节。首先，数据采集模块从网络设备和系统中实时采集数据，并传输至数据处理模块。数据处理模块对采集到的数据进行清洗、转换和融合后，输入到故障预警模型中进行预测。如果模型预测到网络存在故障隐患或即将发生故障，则根据预警规则生成相应的预警信息，并通过短信、邮件、即时通讯工具等多种方式发送给网络管理人员，以便及时采取措施进行故障排除。

5 系统实现关键技术

5.1 网络性能指标采集技术

网络性能指标采集是全链路监控体系的重要环节。为实现对网络性能指标的准确、实时采集，采用了多种技术手段。对于网络带宽利用率、延迟、丢包率等指标，通过 SNMP 协议从网络设备中获取相关数据。同时，为提高数据采集的精

度和实时性,采用主动探测技术,如发送 ICMP (Internet 控制报文协议) 回声请求包和 TCP (传输控制协议) 连接请求包,测量网络延迟和丢包率。此外,利用网络流量镜像技术,对网络流量进行实时监控和分析,获取网络流量的详细信息,如流量来源、目的地址、协议类型等。

5.2 多源数据融合技术

气象信息网络中的数据来源广泛、类型多样,为充分挖掘数据价值,需要对多源数据进行融合。在数据融合过程中,采用了特征级融合和决策级融合相结合的方法。特征级融合是将来自不同数据源的特征进行提取和整合,形成新的特征向量;决策级融合则是根据不同数据源的决策结果进行综合判断,得出最终的决策结论。例如,将网络设备的性能指标数据和日志数据进行特征级融合,提取设备运行的关键特征;然后,结合机器学习模型对设备状态的预测结果和人工经验,进行决策级融合,判断设备是否存在故障隐患。

5.3 智能预警算法

智能预警算法是故障预警系统的核心。除了前面提到的机器学习算法外,还采用了关联规则挖掘算法和异常检测算法。关联规则挖掘算法用于发现网络性能指标、设备运行状态等数据之间的关联关系,例如,发现当网络延迟增大时,服务器 CPU 使用率也会相应升高的关联规则。异常检测算法则用于识别网络运行过程中的异常行为,如基于密度的聚类算法 (DBSCAN) 可以有效检测出数据集中的异常点,从而发现网络中的异常流量、设备异常运行等情况。

6 系统测试与应用效果

6.1 系统测试

在系统开发完成后,对全链路监控体系和故障预警系统进行了全面的测试。测试内容包括功能测试、性能测试和可靠性测试。功能测试主要验证系统是否能够实现数据采集、处理、分析和预警等功能;性能测试主要评估系统在不同负载情况下的响应时间、吞吐量等性能指标;可靠性测试则通过模拟网络故障、系统崩溃等场景,测试系统的容错能力和恢复能力。测试结果表明,系统各项功能正常,性能指标满足设计要求,具有较高的可靠性和稳定性。

6.2 应用效果

该系统在某省级气象信息网络中进行了实际应用,取得了良好的应用效果。通过全链路监控体系,实现了对网络运

行状态的全面、实时监控,网络管理人员可以及时了解网络设备的运行情况、数据传输状态等信息,提高了网络管理的效率和准确性。故障预警系统能够提前发现网络故障隐患,并及时发出预警信息,使网络管理人员能够在故障发生前采取措施进行处理,有效降低了网络故障的发生率和故障处理时间。据统计,系统应用后,网络故障处理时间平均缩短了 50% 以上,气象业务系统的运行稳定性得到显著提升。

7 结论与展望

本论文针对气象信息网络的特点和需求,设计并实现了气象信息网络全链路监控体系与故障预警系统。通过构建分层架构的全链路监控体系,实现了对气象信息网络全链路的实时监控和多源数据的融合分析;基于机器学习算法构建的故障预警模型,能够准确预测网络故障,提高了网络故障的预警能力。系统在实际应用中取得了良好的效果,有效提升了气象信息网络的运行管理水平和业务保障能力。

随着气象信息化的不断发展,气象信息网络将面临更多的挑战和机遇。未来,可进一步优化全链路监控体系的架构和算法,提高系统的性能和智能化水平。例如,引入人工智能和大数据分析的最新技术,实现对网络故障的自动诊断和快速修复。同时,加强与其他气象业务系统的集成,实现数据共享和业务协同,为气象业务的发展提供更强大的支持。此外,还可以考虑将该系统应用于更广泛的气象领域,如气象卫星通信网络、海洋气象观测网络等,进一步拓展系统的应用范围和价值。

参考文献:

- [1] 吴贵义,贾宁远,张志坚,等.气象数据全链路监控系统的设计与实现[J].广东气象,2021,43(06):77-80.
- [2] 冯超,兰唱,周冬雪.基于大数据分析的气象信息网络数据监控系统设计与实现[J].长江信息通信,2023,36(12):125-127.
- [3] 于璐,刁军.探析气象网络安全隐患的排查方法与处理对策[J].科技与创新,2023,(08):156-158.
- [4] 孙青然,曹伟,吕博,等.聊城气象网络设备监控与故障报警系统[J].福建电脑,2017,33(12):18+47.
- [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.