

民航自动气象观测系统智慧应急处置平台设计与应用

郑迎宾, 董正洪

民航贵州空管分局, 贵州 贵阳

收稿日期: 2026年9月7日; 录用日期: 2026年9月30日; 发布日期: 2026年10月13日

摘 要

针对民航自动气象观测系统设备故障处置长期依赖人工经验、流程不规范、监控与处置脱节、经验难沉淀等问题, 设计并实现了一套基于B/S架构的智慧应急处置平台。平台采用Flask提供Web服务, 后台线程分别执行网络设备Ping检测、MOXA串口服务器SNMP轮询和传感器状态文件解析, 前端基于Canvas绘制网络拓扑。核心机制包括: 基于五元组的结构化应急处置知识库; 基于设备名称包含的线性匹配算法, 实现告警即推送; 以SQLite未解决事件列表为轻量级工作队列, 实现事件创建、措施推送、执行编辑与保留/复盘; 通过配置文件时间戳检测实现知识库热加载。本文还从AIOps视角简要比较了知识图谱、案例推理与机器学习方法, 指出本平台适用于小规模、强实时、低资源、高可解释性场景, 并讨论了跨机场移植的可行性与挑战。

关键词

应急处置, 闭环管理, 知识库, 自动气象观测系统, 智慧运维

Design and Application of an Intelligent Emergency Disposal Platform for Civil Aviation Automatic Weather Observation System

Yingbin Zheng, Zhenghong Dong

Guizhou Air Traffic Control Sub-Bureau, CAAC, Guiyang Guizhou

Received: September 7, 2026; accepted: September 30, 2026; published: October 13, 2026

Abstract

To address issues such as long-term reliance on manual experience, lack of standardized procedures, disconnection between monitoring and response, and difficulty in knowledge accumulation in handling equipment failures within civil aviation automatic meteorological observation systems, a web-based intelligent emergency response platform based on B/S architecture has been designed and implemented. The platform uses Flask to provide web services, with background threads independently performing network device Ping detection, SNMP polling of MOXA serial servers, and parsing of sensor status files, while the frontend visualizes network topology using Canvas. Key mechanisms include: a structured emergency response knowledge base based on quintuples; a linear matching algorithm based on device names enabling immediate alert push; and a lightweight task queue implemented via an SQLite unresolved event list, supporting event creation, measure distribution, execution editing, and retention/review. Knowledge base hot-loading is achieved through timestamp detection in configuration files. From an AIOps perspective, this paper briefly compares knowledge graphs, case-based reasoning, and machine learning methods, highlighting that the platform is suitable for small-scale, highly real-time, low-resource, and high-explainability scenarios, and discusses the feasibility and challenges of cross-airport deployment.

Keywords

Emergency Disposal, Closed-Loop Management, Knowledge Base, Automatic Weather Observation System, Intelligent Operation and Maintenance

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

1.1. 背景

民航自动气象观测系统提供跑道视程、风向风速、温度、气压、云高等关键气象数据,是航班放行与机场运行的数据生命线[1]。该系统设备种类多、部署分散,故障处置长期依赖人工经验,存在流程无标准、监控与处置脱节、经验难沉淀等问题[2][3]。实践表明[2][4],缺乏标准化流程会显著延长故障恢复时间;数据异常或丢失案例也显示[3],快速、标准化处置是保障数据连续性的关键。

1.2. 研究现状

国内已有气象设备集中监控[1]、SNMP 监控[5]、动环监控[6]等研究,但多聚焦故障发现,对发现后如何规范处置缺乏系统方案[7][8]。AIOps 强调多源监控、异常检测、根因分析与自动修复[9][10]。知识图谱、案例推理和机器学习在复杂系统诊断中具有潜力[11]-[14],但依赖标注数据、可解释性有限,在小规模、强实时、低资源场景落地不充分。

具体而言,民航气象设备监控方面,已有集中监控[1]、SNMP 监控[5]、动环监控[6]、数据传输[15]和多路冗余[16]等研究,但未将发现与处置纳入统一闭环。AIOps 方面,Gartner 提出其核心能力包括多源监控、异常检测、根因分析、事件关联、自动修复与知识管理[9];Dang 等指出其面临数据异构、噪声大、标注少、可解释性差等挑战[10]。知识驱动故障处置方面,知识图谱支持语义检索与推理[11],案例

推理复用历史案例[12], 机器学习可实现异常检测和故障预测但依赖标注数据且可解释性有限[13], 故障预测与健康管理的知识库与数据驱动融合[14]。

综上, 现有研究缺少面向自动气象观测系统应急处理的轻量化、可解释、易维护方案。本文以五元组知识库为核心, 以关键词包含匹配为轻量推理, 以未解决事件列表为闭环工作队列, 构建“告警-匹配-推送-执行-保留/复盘”一体化平台。

2. 系统需求分析

自动气象观测系统故障处置全流程包含五个环节: 故障发现(全天候自动监控, 分钟级发现)、故障定位(建立网络连接关系图谱)、处置决策(建立标准化知识库, 自动匹配推送, 秒级决策)、处置执行(实时记录与进度跟踪)、处置复盘(自动归档与多维度检索)。

性能需求: 处置措施推送精准率 100%, 系统全天候连续运行无崩溃, 中央处理器占用不超过 10%, 内存占用不超过 100 兆字节。

3. 系统设计

3.1. 总体架构

平台采用 B/S 三层架构。前端展示层基于 Canvas 实现网络拓扑可视化与事件管理界面, 业务逻辑层由 Web 服务、设备状态管理、措施匹配引擎、事件闭环管理、配置热加载等模块组成, 数据持久层采用 SQLite 数据库存储设备状态、事件记录与拓扑数据, 配置文件存储措施库与设备列表。平台与自动气象观测系统自带告警系统并行运行, 自带系统聚焦传感器硬件故障告警, 本平台聚焦网络层监控与标准化处置推送, 二者独立运行、互不干扰[6][9]。

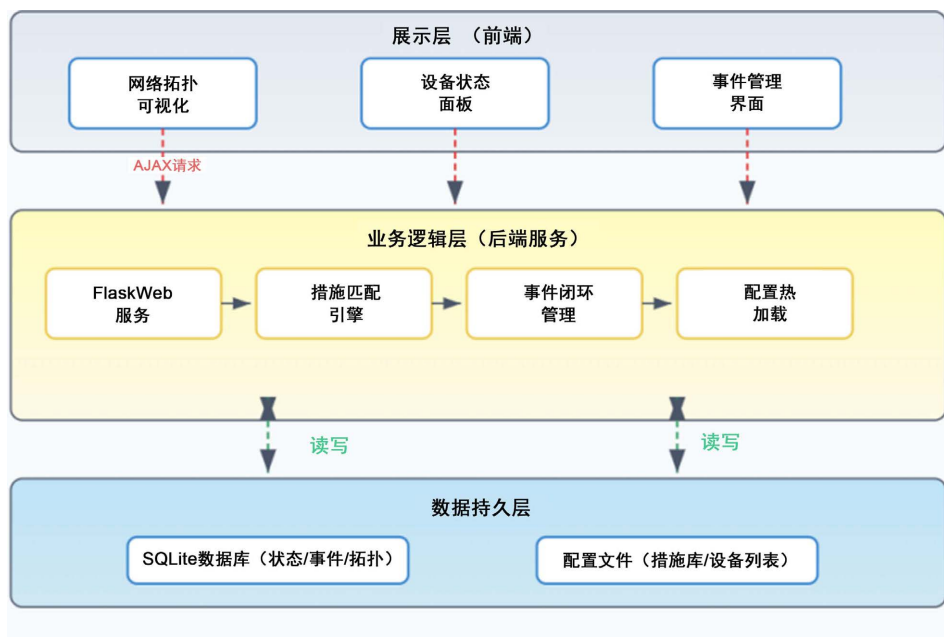


Figure 1. System layered architecture and data flow
图 1. 系统分层架构与数据流向

系统分层架构与数据流向如图 1 所示。前端通过异步请求从后端获取聚合状态数据, 措施匹配引擎

负责将设备告警与知识库中的处置方案自动关联。事件闭环管理模块覆盖事件从创建到归档的完整生命周期。配置热加载机制使措施库可在运行期动态更新, 无需重启服务, 详细设计见 4.3 节。

在集成架构上, 后端采用“Flask Web 服务 + 后台异步采集守护任务”混合模式。Flask 主进程负责 HTTP 路由和 REST API 响应; 后台采集线程内创建独立 `asyncio` 事件循环, 运行 SNMP 异步轮询、ICMP 并发探测和状态文件解析。采集结果写入线程安全状态缓存, Flask 请求仅从缓存读取最新快照或短连接查询 SQLite, 保证 Web 响应稳定。事件引擎作为独立消费者监听状态变化, 当设备状态跃迁为严重告警时, 调用知识库匹配模块创建事件并推送处置建议。

数据持久层选用 SQLite 嵌入式数据库, 主要基于三点考虑: 一是部署简便, 无需独立数据库服务进程, 符合民航气象运维环境不宜引入额外商业软件的约束; 二是资源占用低, 满足 CPU 占用不超过 10%、内存不超过 100 MB 的性能目标; 三是当前场景写并发低, 平台覆盖 20 余个节点, 事件创建频率为分钟级至小时级, 读多写少。为提升并发读写能力, 平台启用 WAL 日志模式。若未来扩展至多机场集中部署, 可迁移至 PostgreSQL 或 MySQL。

3.2. 设备状态监控与故障定位

本节包含设备状态监控采集和故障定位两部分内容。平台通过三种方式获取设备状态: ICMP Ping 检测网络设备连通性、SNMP 异步采集串口状态、解析状态文件获取传感器运行状态[5] [15]。设备状态作为处置流程的触发条件, 当设备转入严重告警时自动启动处置流程。

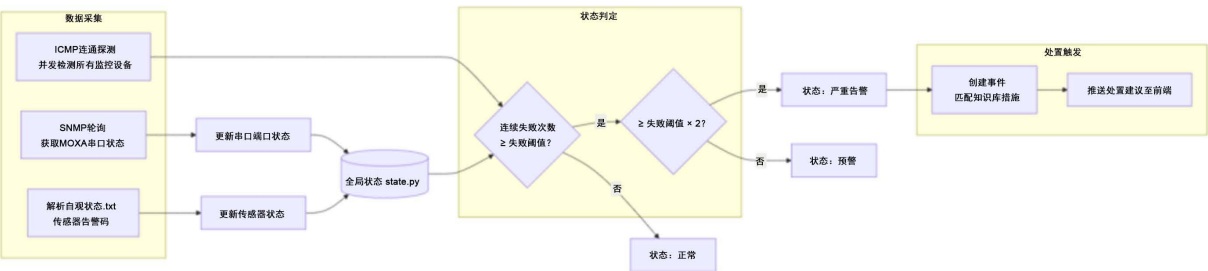


Figure 2. Monitoring data flow and tiered early warning logic
图 2. 监控数据流向与分级预警逻辑

监控数据流向与分级预警逻辑如图 2 所示。设备状态经分级预警引擎判定后, 若触发严重告警则进入应急处置流程。本平台的重点不在于监控技术本身, 而在于告警触发后的标准化处置推送与闭环管理。分级预警引擎判定为严重告警的设备, 自动进入 3.4 节所述匹配流程, 实现从监控告警到处置方案推送的无缝衔接。

在异步采集实现上, SNMP 模块基于 Python 异步事件循环和异步 SNMP 库, 将每台串口服务器的 OID 查询封装为协程任务, 通过信号量限制并发数。ICMP 探测采用异步子进程或线程池并发执行, 记录连续失败次数、丢包率和平均延迟。状态文件解析模块按固定周期读取传感器状态文件, 解析状态码和告警编号。三类采集任务在同一事件循环中调度。采集结果统一写入状态缓存并触发分级预警引擎: 连续失败次数超过阈值判定为严重告警; 少量失败或状态码异常判定为预警; 数据缺失或无法采集标记为离线。该设计既保证采集实时性, 又避免多线程直接操作数据库带来的锁竞争。

在故障定位方面, 平台通过 Canvas 拓扑图建立设备间网络连接关系图谱。拓扑图按核心层、接入层、感知层三层组织, 节点按设备类型显示差异化图形, 边表示网络连接关系, 包括网线、光纤和无线网桥三种类型。当设备触发严重告警时, 拓扑图中对应节点实时变为红色, 相邻连接边同步高亮, 运维人员

可沿拓扑路径快速判断故障影响范围：若某 MOXA 及其下挂多个传感器同时变红，则可定位为 MOXA 侧故障；若仅单个传感器异常，则可定位为传感器自身故障或串口通道故障。该定位逻辑与分级预警引擎联动，为后续措施匹配提供设备上下文。拓扑图的绘制与性能优化详见 4.4 节。

3.3. 标准化应急处置知识库设计

知识库是告警即推送方案的核心支撑。本文设计了基于五元组的结构化知识表达模型，如表 1 所示。

Table 1. Example of the five-tuple structure of the emergency response knowledge base
表 1. 应急处置知识库五元组结构示例

要素	说明	示例
场景名称	故障场景的唯一标识	CDUA 服务器离线
触发条件	该措施生效的前置条件	连续 Ping 失败 10 次
处置步骤	有序操作指令列表	步骤 1：检查 CDUB 状态；步骤 2：远程重启； 步骤 3：现场诊断；步骤 4：通报
责任分工	各步骤的主责与协同岗位	值班工程师负责步骤 1 至 2，技术主管负责步骤 3 至 4
恢复标准	故障恢复的可量化判定条件	CDUA 可 Ping 通，业务恢复正常

知识库按设备层级分类组织，覆盖核心层、接入层和感知层三大类场景。知识库以轻量级标记语言持久化存储，支持运行期热加载更新，运维人员可根据实际处置经验持续优化和补充。当系统检测到设备进入严重告警状态时，自动查询知识库，通过基于设备名称的关键词匹配算法检索对应场景，将匹配到的处置步骤实时推送至前端事件详情界面，实现从故障告警到处置指引的无缝衔接。



Figure 3. Visual editing and hot loading interface of knowledge base
图 3. 知识库可视化编辑与热加载界面

知识库的可视化管理界面如图 3 所示，该界面基于五元组结构提供表单化编辑与分类管理功能，运维人员可直接在界面上完成知识库的新增、修改与删除操作，无需手动编辑配置文件。

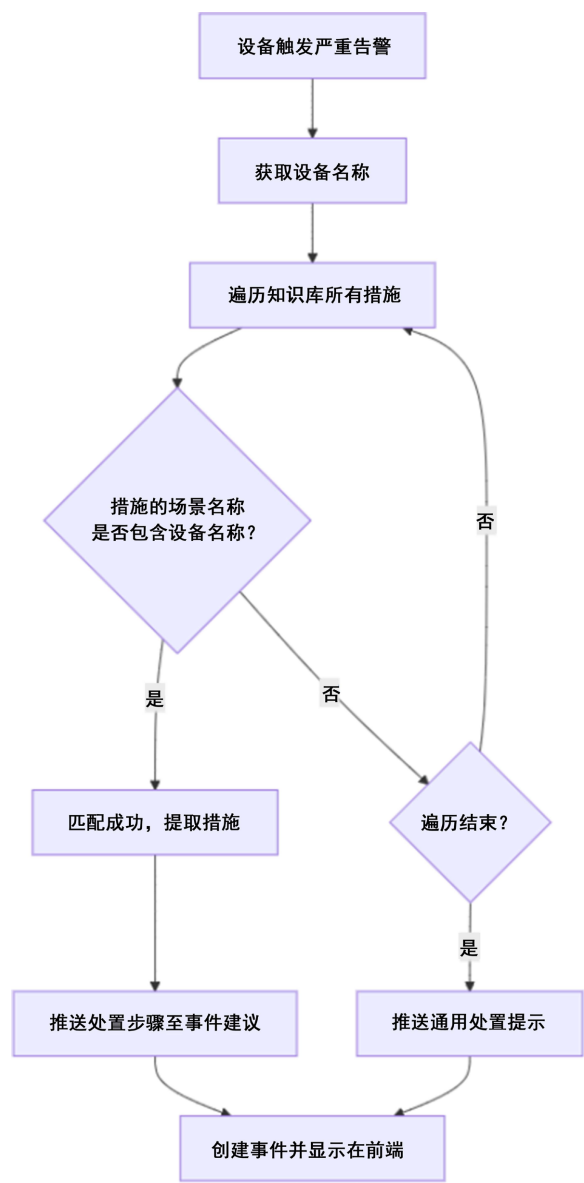


Figure 4. Structure of knowledge base quintuple and matching process
图 4. 知识库五元组结构及匹配流程

图 4 上半部分展示了五元组知识模型及其按层级的分类组织方式。知识库通过场景名称中的设备关键词建立索引，支持基于设备名称的快速检索。下半部分展示了匹配流程，设备触发严重告警后，匹配引擎遍历知识库，通过关键词包含算法定位对应措施，将处置步骤实时推送至前端。

3.4. 告警与处置方案的自动匹配推送机制

匹配算法采用基于设备名称的关键词包含策略。算法流程如下。

- (1) 设备触发严重告警，获取其名称。
- (2) 遍历知识库中所有措施。
- (3) 若措施的场景名称包含设备名称，则匹配成功。
- (4) 提取措施的处置步骤作为处置建议。

(5) 若遍历结束无匹配, 推送通用处置提示。

匹配成功后, 系统自动创建事件记录, 将处置步骤填充至事件建议字段, 前端实时展示。算法特征、复杂度分析及与其他方法的比较详见 4.1 节。

3.5. 处置全流程闭环管理设计

本文设计了覆盖事件完整生命周期的闭环管理机制, 包含四个阶段。

(1) 告警生成: 设备转入严重告警时, 系统查询该设备是否存在未解决事件, 若无则创建新事件, 记录设备名、事件类型、触发条件及初始处置建议。

(2) 处置推送: 匹配引擎自动关联知识库, 将标准化处置步骤填充至事件建议字段, 运维人员无需查阅手册即可获取操作指引。

(3) 执行记录: 运维人员按推送步骤操作, 可在系统中编辑事件描述和措施内容以记录实际操作差异。系统自动保留每次修改的时间戳, 形成可追溯的执行日志。

(4) 复盘归档: 故障解决后事件保留在数据库, 支持按设备名、时间范围检索。运维人员可添加备注记录经验教训, 形成可持续积累的故障知识库。

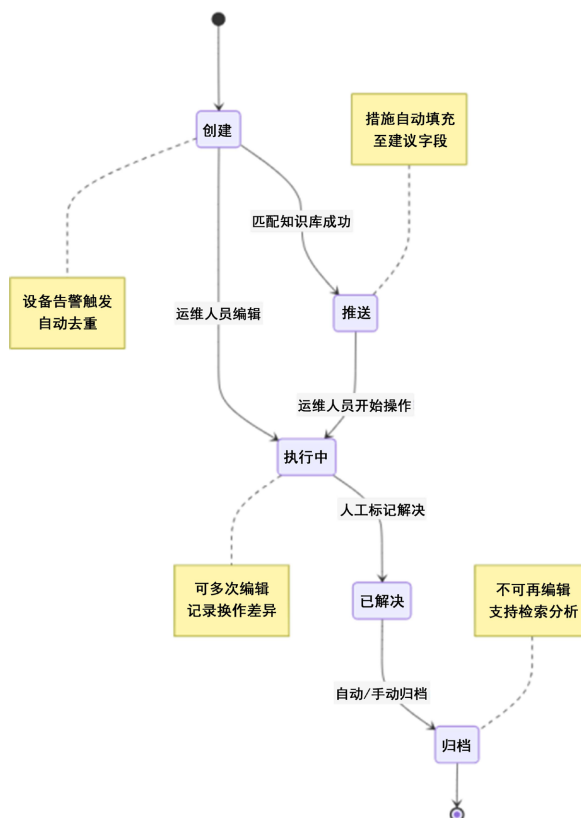


Figure 5. Closed-loop management of the entire event process

图 5. 事件全流程闭环管理

事件的生命周期以状态机形式如图 5 所示。事件从创建状态出发, 经措施推送进入执行中, 运维人员可多次编辑更新记录执行进展, 最终转入已解决并进入归档状态。归档后的事件支持统计分析, 可识别高频故障设备、评估措施有效性、发现设备隐患趋势, 形成从单次处置到知识沉淀的完整闭环。关键

约束包括已归档事件不可再编辑以确保历史记录完整性，以及创建阶段自动去重以避免同一设备同一时段重复创建事件。状态机的形式化设计详见 4.2 节。

4. 关键技术分析与实现机制

4.1. 基于关键词包含的知识库匹配算法

匹配算法是告警即推送的核心。采用基于设备名称的关键词包含策略，具有以下特征：轻量高效，时间复杂度为线性阶，在措施库规模约 20 条时可实现亚毫秒级匹配；运维友好，知识库维护者只需在场景名称中包含设备关键词即可建立关联，无需理解复杂查询语法；容错性强，未匹配到专属措施时推送通用提示，确保任何场景下运维人员都能获得基本指引。从告警触发到方案呈现的端到端响应时间小于 1 秒。与向量检索、语义匹配和知识图谱推理相比，关键词包含算法牺牲了一定语义泛化能力，但换来了可解释、易维护、零额外模型依赖的工程优势。

4.2. 事件闭环管理的状态机设计

事件状态转换遵循确定性有限自动机模型。状态集合包括创建、推送、执行中、已解决、归档五个状态。转换条件为设备告警触发创建，匹配成功触发推送，运维编辑或更新进度进入执行中，人工标记进入已解决，自动或手动操作进入归档。关键约束为已归档事件不可再编辑，确保历史记录完整性。该状态机将运维流程固化为可追踪、可审计的数据对象，为后续统计分析和知识沉淀提供结构化基础。

4.3. 配置热加载机制

系统支持运行期知识库动态更新。主控制循环每次迭代检查配置文件修改时间戳，若发生变化则自动重新加载全部配置。运维人员编辑措施库后无需重启服务，新配置在下一检测周期自动生效，生效时间不超过 5 s。该机制使知识库能够随实际运行经验持续演进，特别适用于不能中断监控的运维场景。



Figure 6. Event details and disposal execution interface
图 6. 事件详情与处置执行界面

事件处置执行界面如图 6 所示，该界面集中展示系统自动推送的标准化处置步骤、责任分工及恢复标准，运维人员在执行过程中可直接在界面中记录实际操作差异，系统自动添加时间戳，形成完整可追溯的执行日志。

4.4. Canvas 拓扑可视化性能优化

前端网络拓扑图基于 HTML5 Canvas 绘制。为在 20 余节点规模下保证交互流畅，平台采取以下性能

优化措施：第一，分层渲染，将拓扑图划分为静态背景层、边连接层和动态节点层，静态层预绘制至离屏 Canvas，仅动态节点层频繁重绘；第二，增量重绘，维护设备状态差异集，仅对状态变化的节点及其相邻边进行局部重绘；第三，帧率控制，使用 requestAnimationFrame 调度绘制，状态刷新频率限制为秒级；第四，坐标预计算与变换矩阵，减少重复布局计算；第五，DOM 与 Canvas 分工，设备卡片、筛选器和事件列表使用 DOM 渲染，拓扑图使用 Canvas 渲染；第六，规模约束，当前节点约 20 余个，上述优化可保证交互流畅，若未来节点规模扩大，可进一步引入 Web Worker 和虚拟视口裁剪。

4.5. 与 AIOps 相关方法的比较

从 AIOps 视角看，智能运维通常包含感知、分析、决策、执行和知识沉淀五个层次。本文平台在感知层采用 ICMP、SNMP 和状态文件解析；分析层采用阈值分级预警；决策层采用五元组知识库和关键词匹配；执行层采用事件闭环状态机；知识沉淀层采用归档记录和复盘备注。与通用 AIOps 平台相比，本文未引入复杂机器学习模型，而是以知识驱动和流程闭环为核心，强调可解释性和可维护性。

与知识图谱方法相比，本文五元组知识库构建和维护成本更低，但尚未形成图结构推理能力；与案例推理方法相比，本文复用事件归档和知识库的理念与其一致，但匹配主要依赖设备名称关键词，尚未引入案例特征加权和相似度计算；与机器学习方法相比，本文方法在异常检测和故障预测方面存在局限，但无需大规模标注数据，且决策过程对一线运维人员可解释。在自动气象观测系统当前数据规模和强实时、低资源约束下，直接部署复杂模型可能带来过拟合、维护困难和解释成本高等问题。

因此，本文贡献不在于提出新的通用 AI 算法，而在于面向专用运维场景，将结构化知识库、自动匹配推送、闭环状态机和轻量化部署有机融合，形成可落地、可解释、可复制的工程方案。其局限性在于知识库规模较小、匹配语义能力有限、尚未实现根因推理和预测性维护。未来可引入知识图谱增强设备关联推理，引入案例推理提升相似故障检索能力，引入轻量级机器学习模型进行告警降噪和故障预测，形成“规则知识 + 数据模型”的混合智能处置体系。

5. 系统实现与应用效果

5.1. 系统实现

后端核心模块包括：匹配引擎，遍历知识库执行关键词包含匹配，返回匹配措施或通用提示；事件管理模块，提供事件创建、查询、更新、删除接口；知识库管理模块，支持配置文件读取和动态更新；采集模块，以后台守护线程运行 asyncio 事件循环，并发执行 ICMP 探测、SNMP 轮询和状态文件解析，通过线程安全状态缓存与 Web 服务交互；数据库访问采用 WAL 模式和短连接策略。前端采用原生 JavaScript 与 Canvas 绘图，无第三方可视化依赖[15]。

系统主界面左侧如图 7 所示，为 Canvas 绘制的自动气象观测系统三层网络拓扑图，节点按设备类型显示差异化图形，颜色实时映射运行状态。平台采用绿 - 橙 - 红 - 灰四色告警体系：绿色表示正常运行，橙色表示需关注预警，红色表示需立即处置的严重故障，灰色表示数据缺失或离线。该颜色体系贯穿拓扑图节点、设备卡片徽章、串口状态标签和传感器告警详情等所有可视化元素，形成统一、直观的态势感知语言。

设备与传感器状态详细界面如图 8 所示，设备状态面板由设备列表与传感器列表纵向构成。设备列表依据拓扑中已纳入监控的设备清单动态渲染，顶部提供按正常、预警、严重、离线四种状态筛选器。每张设备卡片集中展示设备名称、状态标识、丢包率、平均延迟、连续失败次数及最后检测时间；串口服务器类设备额外呈现四个串口通道的独立通断状态，实现从网络层到串口级的穿透式监控。传感器列表独立刷新，以卡片形式展示显示名称、运行状态、原始状态码及详细告警信息，支持点击弹窗查看完整诊断明细。

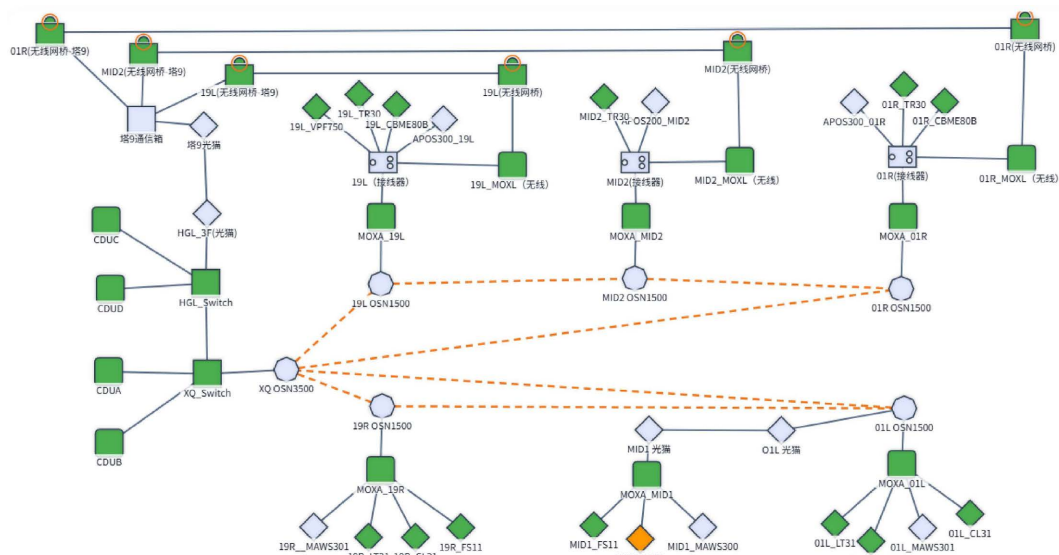


Figure 7. Left side of the system main interface
图 7. 系统主界面左侧



Figure 8. Detailed interface for equipment and sensor status
图 8. 设备与传感器状态详细界面

5.2. 应用效果

平台已在贵阳龙洞堡机场自动气象观测系统运维环境部署试运行，覆盖 2 台服务器、2 台核心交换机、8 台串口服务器及大气透射仪、云高仪、前散射仪、天气现象传感器、雨量传感器等各类传感器共 20 余个节点。

功能验证方面，知识库匹配准确率达 100%，事件闭环管理覆盖创建、推送、编辑、归档全流程。性能测试方面，措施推送响应时间小于 1 秒，配置热加载生效时间不超过 5 秒，系统中央处理器占用不超过 5%，内存占用不超过 80 兆字节，各项指标均优于设计目标。

效率提升方面，处置决策时间从传统查阅手册的 5 至 8 分钟缩短至平台实时推送的小于 1 秒，处置总时间较人工方式缩短 60%以上，知识检索时间从翻阅纸质档案的数分钟缩短至多维度检索的小于 5 秒。

标准化水平方面，平台投用前不同人员对同一故障的处置方式差异大，投用后通过标准化知识库的统一推送，确保了不同班次、不同人员操作流程的一致性。

知识沉淀方面，累计归档处置记录 40 余条，形成可检索的故障知识库。运维团队基于数据分析识别

出串口服务器离线为最高频故障, 占比约 35%, 已针对性调整备件储备策略。

6. 结束语

本文针对自动气象观测系统设备故障处置中无标准可循、监控处置脱节、经验难沉淀的痛点, 设计并实现了一套智慧应急处置平台。核心贡献包括: 提出基于五元组的结构化应急处置知识模型; 设计基于关键词包含的自动匹配推送算法; 建立覆盖事件全生命周期的闭环管理机制; 采用 Flask Web 服务与异步采集守护任务解耦的集成架构; 基于 SQLite 和 Canvas 分层渲染实现轻量化、低资源部署。实际应用表明, 平台显著提升了处置效率和标准化水平。

本文平台属于知识驱动、流程闭环、轻量可解释的专用智能运维实践(见 4.5 节), 在语义推理、相似案例检索和预测能力方面存在局限, 但在当前自动气象观测系统小规模、强实时、低资源、高可解释性要求场景下具有更好的工程可落地性。

关于移植可行性, 平台采用 B/S 架构、Python 开源生态和 SQLite 数据库, 部署条件宽松, 知识库五元组结构具有领域通用性, 向其他机场自动气象观测系统或其他空管气象设备运维场景移植具备较高可行性。移植中需重点解决: 设备命名和拓扑差异, 需重新梳理设备清单、网络连接关系和告警接口; 知识库本地化, 需结合本场故障历史、责任分工和恢复标准重新编制五元组; 数据并发与安全要求, 若多机场集中部署, 应将 SQLite 迁移至 PostgreSQL 或 MySQL, 并完善权限、审计和数据同步机制; 组织流程适配, 标准化处置推送需与现有值班制度、通报流程和应急预案衔接。未来工作将引入机器学习技术, 基于历史事件数据自动优化知识库内容, 实现处置方案智能推荐; 同时探索知识图谱、案例推理和轻量级大语言模型在故障根因分析与处置辅助中的应用, 进一步提升平台智能化水平。

参考文献

- [1] 吴俊佑. 湛江机场气象设备集中监控系统的设计与应用成果分析[J]. 科技与创新, 2024(1): 184-186.
- [2] 郭方. 成都双流国际机场自动气象观测系统故障分析与排除[J]. 科技创新导报, 2019, 16(20): 139-140.
- [3] 吴锐恒. 几起自动气象观测数据异常或丢失的快速应对与思考[J]. 中国航班, 2021(23): 95-99.
- [4] 俞明德. 乌鲁木齐国际机场气象自动观测系统四起典型故障分析[J]. 民航管理, 2014(12): 68-69.
- [5] 索开华. 基于 SNMP 的气象设备监控系统[J]. 信息技术与信息化, 2021(9): 103-105.
- [6] 隋昊达, 胡连军. 空管气象设备动环监控体系研究与实现[J]. 民航学报, 2024, 8(2): 80-83.
- [7] 范大伟. 多普勒天气雷达通信网络监视系统的设计与实现[J]. 软件工程与应用, 2022, 11(3): 596-601.
- [8] 龙妍妍, 张乐, 林灵. 民航气象综合管理系统关键技术研究[J]. 气象水文海洋仪器, 2023, 40(3): 93-94, 105.
- [9] Gartner (2022) Market Guide for AIOps Platforms. Gartner.
- [10] Dang, Y., Lin, Q. and Huang, P. (2019) AIOps: Real-World Challenges and Research Innovations. 2019 *IEEE/ACM 41st International Conference on Software Engineering: Companion Proceedings (ICSE-Companion)*, Montreal, 25-31 May 2019, 4-5. <https://doi.org/10.1109/icse-companion.2019.00023>
- [11] 刘峤, 李杨, 段宏, 等. 知识图谱构建技术综述[J]. 计算机研究与发展, 2016, 53(3): 582-600.
- [12] Aamodt, A. and Plaza, E. (1994) Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches. *AI Communications*, 7, 39-59. <https://doi.org/10.3233/aic-1994-7104>
- [13] 周志华. 机器学习[M]. 北京: 清华大学出版社, 2016.
- [14] 彭宇, 刘大同, 彭喜元. 故障预测与健康管理技术综述[J]. 电子测量与仪器学报, 2010, 24(1): 1-9.
- [15] 周楹粮. 民航气象自动观测系统数据传输方案研究[J]. 数字通信世界, 2023(4): 19-21, 10.
- [16] 雷亚会. 天府国际机场自动气象观测系统设计及应用[J]. 气象水文海洋仪器, 2023, 40(2): 117-119.