

货场管控平台智能预警系统的构建与应用

马向原

北京铁路物流中心 北京 100076

DOI:10.12238/ems.v7i12.16423

[摘要] 货场作为物流体系中的核心节点,其运行效率与安全水平直接影响供应链的稳定性。随着物联网、大数据与人工智能技术的深度融合,传统依赖人工巡检与经验判断的货场管理模式已难以满足现代高密度、高频次作业需求。构建货场管控平台智能预警系统,旨在通过多源数据融合、实时状态感知与智能分析决策,实现对货场运行风险的前置识别与动态干预。该系统以数据驱动为核心,集成环境监测、设备状态、人员行为及货物信息等多维数据,运用机器学习算法建立风险预测模型,提升异常事件的响应速度与处置精度。

[关键词] 货场管控平台; 智能预警系统; 构建与应用

引言

货场作为物流网络中的关键枢纽,承担着货物集散、中转存储与配送调度等核心功能,其运行的安全性、效率与稳定性直接关系到整个供应链的畅通。随着物流规模持续扩大与作业复杂度不断提升,传统依赖人工监管与静态规则报警的管理模式已难以应对日益增长的风险挑战,诸如设备突发故障、货物堆放失稳、人员违规操作及环境安全隐患等问题频发,暴露出响应滞后、判断主观与信息割裂等深层次矛盾。在此背景下,融合物联网感知、大数据分析与人机智能决策的智能预警系统成为破解货场管控瓶颈的重要技术路径。通过构建具备实时感知、动态分析与智能预判能力的管控平台,能够实现对货场多维运行数据的深度挖掘与风险态势的精准刻画,推动安全管理由事后处置向事前预防、由碎片化管理向系统化治理转变,为货场的智能化、精细化运营提供坚实支撑。

一、货场管控平台智能预警系统的理论基础与架构设计

(一) 系统构建的现实动因与技术背景

现代货场运营呈现出作业强度高、空间布局复杂、参与主体多元等特点,传统管理模式在应对突发性设备故障、安全隐患或流程阻滞时,往往存在响应滞后、判断主观、信息孤岛等问题。尤其在大型综合物流枢纽中,物流流转涉及装卸、仓储、分拣、运输等多个环节,任何一个节点的异常都可能引发连锁反应,造成资源浪费与运营中断。因此,亟需一种能够实现全局感知、动态分析与主动干预的技术手段,以提升货场运行的韧性与可控性。近年来,物联网技术的成

熟使得对货场内各类物理实体的实时监控成为可能,传感器网络可覆盖温湿度、烟雾、位移、振动、视频图像等多种参数,形成持续的数据流。与此同时,边缘计算与云计算的协同发展,为海量数据的本地处理与集中分析提供了算力保障。在此背景下,将人工智能算法嵌入货场管理流程,构建具备自主学习与预测能力的智能预警系统,已成为提升货场本质安全水平的关键路径。

(二) 系统整体架构的分层逻辑与功能模块

货场管控平台智能预警系统的构建遵循“感知—传输—分析—响应”的分层逻辑,形成一个闭环控制体系。感知层由部署于货场各关键区域的传感器节点构成,包括但不限于RFID标签、高清摄像头、红外探测器、地磅系统、叉车定位终端等,负责采集货物位置、设备运行状态、人员活动轨迹及环境参数等原始数据。传输层依托工业级无线网络(如5G、LoRa或Wi-Fi 6)实现数据的低延迟、高可靠传输,确保信息在复杂电磁环境下的稳定送达。平台层作为系统中枢,承担数据清洗、存储、融合与建模任务,采用分布式数据库与流式计算框架处理实时数据流,并通过数据湖架构保留历史信息以支持深度学习训练。应用层则聚焦于预警逻辑的实现,包含风险识别引擎、阈值动态调整机制、多级报警触发策略及可视化交互界面。各功能模块之间通过标准化接口进行数据交换,确保系统的可扩展性与兼容性。特别地,系统设计中引入微服务架构,使得预警模型的更新与功能模块的迭代可在不影响整体运行的前提下独立完成,增强了系统的灵活性与可维护性。

(三) 多源异构数据的融合机制与质量保障

在货场环境中, 数据来源广泛且格式多样, 既有结构化数据(如设备运行日志、出入库记录), 也有非结构化数据(如监控视频、语音指令), 更有半结构化数据(如传感器 JSON 报文)。若直接将这些异构数据投入预警模型, 极易因噪声干扰、时间不同步或语义歧义导致误报或漏报。因此, 必须建立一套高效的数据融合机制。首先, 在数据预处理阶段, 采用滑动窗口滤波、卡尔曼滤波等方法对传感器数据进行去噪与平滑处理; 对于视频流, 则通过轻量级目标检测算法(如 YOLOv5s) 提取关键行为特征, 转化为结构化事件流。其次, 在时间对齐方面, 利用统一的时间戳服务器(NTP) 校准所有采集设备的时钟, 确保跨源数据在时间轴上保持一致。再次, 在语义层面, 构建货场本体模型(Ontology), 定义货物、设备、人员、区域等实体及其相互关系, 为数据赋予上下文含义, 从而实现跨模态信息的关联推理。例如, 当系统检测到某区域烟雾浓度上升的同时, 视频分析显示有明火出现, 且该区域无授权动火作业记录, 则可综合判定为火灾风险, 触发高级别预警。为保障数据质量, 系统还设置数据可信度评估模块, 依据传感器历史稳定性、信号强度、交叉验证结果等指标动态赋权, 避免单一数据源故障引发系统误判。

二、智能预警核心算法的设计与动态优化

(一) 基于机器学习的风险识别模型构建

智能预警系统的核心在于从海量运行数据中挖掘潜在风险模式, 并实现对异常状态的精准识别。传统阈值报警方法依赖人工设定固定参数, 难以适应货场作业的动态变化, 易产生大量无效告警。为此, 系统采用监督与无监督相结合的机器学习方法构建风险识别模型。在监督学习方面, 利用历史事故记录、维修日志及人工标注的异常事件样本, 训练分类模型(如 XGBoost、随机森林) 用于识别已知类型的风险, 如设备过载、货物倾倒、违规闯入等。模型输入特征涵盖设备振动频率、电流波动、货物堆叠高度、人员密度、环境温度湿度等多维度指标, 输出为各类风险的发生概率。在无监督学习方面, 针对尚未发生但可能存在潜在威胁的新类型异常, 采用孤立森林(Isolation Forest)、自编码器(Autoencoder) 等算法对正常运行数据进行建模, 当实时数据偏离正常模式超过一定阈值时, 即判定为异常。此类方法尤其适用于发现隐蔽性高、演变缓慢的系统性风险, 如地基沉降、钢结构疲

劳等。此外, 为提升模型的解释性, 引入 SHAP 值分析技术, 量化各特征对预警结果的贡献度, 帮助管理人员理解预警依据, 增强对系统的信任。

(二) 预警阈值的自适应调整机制

固定阈值在面对季节性波动、作业模式切换或设备老化等场景时表现出明显局限性。例如, 夏季高温环境下设备温度自然升高, 若仍沿用冬季设定的报警温度, 将导致频繁误报; 反之, 若阈值过高, 则可能延误真实故障的发现。因此, 系统设计了基于上下文感知的预警阈值自适应调整机制。该机制通过引入上下文变量(如时间段、天气条件、作业类型、设备使用年限) 作为调节因子, 动态修正风险判定边界。具体而言, 采用在线学习策略, 持续收集当前环境下的正常运行数据, 利用滑动时间窗统计关键参数的分布特性(均值、方差), 并结合贝叶斯推断更新阈值置信区间。例如, 对于叉车电池温度监控, 系统可根据当日气温与连续工作时长, 自动计算出合理的温度上限, 而非采用统一标准。同时, 设置阈值漂移检测模块, 当发现阈值调整趋势异常(如持续放宽) 时, 触发人工复核流程, 防止因模型偏差导致安全标准降低。该机制有效平衡了预警灵敏度与误报率之间的矛盾, 使系统在不同工况下均能保持稳定可靠的判断能力。

(三) 多模态信息协同下的预警等级判定

货场运行风险具有多因性与复合性特征, 单一指标异常往往不足以构成严重威胁, 需结合多种信息进行综合研判。为此, 系统建立多模态协同预警等级判定机制, 依据风险的严重程度、扩散速度与影响范围, 划分不同预警级别(如提示、警告、紧急、危急), 并匹配相应的响应策略。判定过程采用加权融合策略, 将各子系统的预警输出(如火灾探测器报警、视频行为分析告警、气体浓度超标) 作为输入, 结合其置信度、时效性与空间关联性进行评分。例如, 当某仓库区域同时出现烟雾报警(权重 0.4)、视频识别到明火(权重 0.35) 且周边无人员活动(权重 0.25) 时, 系统综合得分为 0.95, 判定为“危急”级别, 立即启动自动灭火装置并切断电源; 若仅有烟雾轻微超标且无其他佐证, 则评为“提示”级别, 仅推送信息至管理人员终端进行核查。该机制避免了“一票否决”式报警带来的过度反应, 也防止了多源信息冲突导致的决策迟疑。更重要的是, 预警等级的划分并非静态, 而是随事态发展动态演进。系统通过持续追踪风险指标的变

化趋势(如上升斜率、加速度),预测其未来走向,提前升级或降级预警状态,实现对风险演变过程的全周期掌控。

三、系统在复杂货场环境中的适应性及效能提升

(一) 边缘—云端协同计算架构的部署策略

货场地理范围广、网络条件差异大,若将所有数据上传至中心云平台处理,不仅带宽压力巨大,且难以满足高实时性预警需求(如防撞预警需在毫秒级响应)。为此,系统采用边缘—云端协同计算架构,实现计算任务的合理分配。边缘节点部署于货场本地,通常集成于智能网关或工业计算机中,负责执行低延迟、高频率的实时分析任务,如视频流中的人员闯入检测、叉车速度超限判断、近距离碰撞风险评估等。这些任务对响应时间要求极高,必须在本地完成处理并即时反馈控制指令(如声光报警、自动减速)。而云端平台则承担资源密集型的复杂分析任务,如长期趋势预测、跨区域风险关联分析、模型训练与优化等。边缘节点定期将处理后的摘要数据、异常事件记录及模型更新请求上传至云端,云端在完成深度分析后,将优化后的算法参数或新版本模型下发至边缘端,形成“本地执行—云端优化—本地更新”的闭环迭代。该架构显著降低了网络传输负担,提升了系统整体响应效率,同时保障了关键业务的连续性。即使在断网情况下,边缘节点仍可依据最新模型独立运行,确保基本预警功能不中断。

(二) 预警信息的精准推送与人机协同响应

首先,根据用户角色(如安全主管、调度员、现场巡检员)定义其关注的风险类型与响应权限,确保信息分发的针对性。其次,结合人员实时位置(通过UWB或蓝牙信标定位),将预警信息推送至距离事发地点最近的可响应人员,缩短处置时间。再次,引入情境感知技术,判断当前作业状态(如是否处于装卸高峰期、是否有特殊作业许可),动态调整信息推送优先级与方式。例如,在夜间低流量时段,系统可自动提高报警音量或增加推送频次;而在繁忙时段,则优先通过振动手环或AR眼镜等非干扰方式通知关键人员。

(三) 系统长期运行中的模型迭代与知识积累

智能预警系统并非一次性部署即可长期稳定运行,其效能随货场环境变化、设备更新与作业模式演进而动态波动。为维持系统的持续有效性,必须建立模型迭代与知识积累机

制。系统内置在线学习模块,能够从每一次预警事件(无论是否属实)中提取新特征、修正模型参数。对于误报案例,通过反向传播调整分类边界;对于漏报事件,则扩充训练样本集,增强模型对新风险类型的识别能力。同时,构建货场风险知识图谱,将历史事件、处置方案、专家经验以结构化形式存储,并与实时预警结果进行关联匹配。当系统检测到类似情境时,可自动推荐最优处置策略,辅助决策。知识图谱还支持语义查询,便于管理人员快速检索相似案例,提升应急响应效率。

结论

货场管控平台智能预警系统的构建,标志着货场管理从经验驱动向数据驱动、从被动处置向主动预防的根本性转变。该系统通过深度融合物联网感知、多源数据融合与智能算法分析,实现了对货场运行状态的全面监控与风险的前置识别。其核心价值不仅在于提升异常事件的响应速度与处置精度,更在于通过持续学习与动态优化,不断增强系统对复杂环境的适应能力。在实际应用中,该系统有效降低了安全事故的发生率,减少了因设备故障或流程中断导致的经济损失,同时为管理人员提供了科学决策支持。未来,随着人工智能技术的进一步发展,智能预警系统将向更高层次的自主决策与跨系统协同方向演进,成为现代智慧物流基础设施不可或缺的组成部分。

[参考文献]

- [1] 杨阳, 汪峥, 蒋林, 吴柯江. 铁路集装箱货场智能综合管控系统及自动化装备关键技术分析[J]. 中国设备工程, 2024, (S2): 47-50.
- [2] 苏江涛. 铁路货场精细化管控体系设计[D]. 中国铁道科学研究院, 2023.
- [3] 郭兵, 杨星亮, 王晨, 李生意. 鞍钢鲅鱼圈铁路智能化无人货场研究[A]第十四届中国钢铁年会论文集—15. 冶金物流[C]. 中国金属学会, 中国金属学会, 2023: 5.
- [4] 周银源. 面向铁路货场的三维检测系统的研究与实现[D]. 电子科技大学, 2023.
- [5] 周宝宪, 丁伟, 周子凯. 铁路智能货场生产组织管理系统设计与研究[J]. 中国设备工程, 2022, (22): 137-140.