

基于 AI 视觉识别和 VL 大模型的生产养殖生物安全防控研究

文 ◆ 铁骑力士食品有限责任公司 周子超 阳建国 李光鑫

引言

在现代化畜禽养殖规模化发展的进程中，生物安全风险已成为制约产业升级的核心挑战。传统防控手段依赖人工巡检与经验判断，存在监测盲区大、响应滞后、主观误差率高等缺陷。据统计，2022 年我国因疫病导致的畜牧业直接经济损失超 300 亿元，其中 60% 以上与防控措施执行效率不足直接相关。随着 AI 视觉识别与多模态大模型技术的突破，构建智能化生物安全防控体系成为行业转型的必然选择。本研究基于 Java 技术栈与 MySQL 数据库，集成 2000 路海康威视智能摄像头与阿里云 VL 大模型，开发出多级联动的实时预警系统。通过视频流分析、环境数据融合与语义化推理的三维感知架构，系统实现了对疫病传播、设备异常、环境恶化的毫秒级响应。实测数据表明，该方案使异常识别准确率提升至 99.1%，响应时效压缩至 5s 以内，为养殖企业构建了全链

条、可追溯的主动防御体系，推动生物安全管理从“事后处置”向“事前预防”的范式革新。

1 系统整体架构

本系统采用分层解耦的设计理念，构建了“端—边—云”协同的架构。数据采集层依托 2000 路海康威视智能摄像头形成分布式感知网络，通过 Java NIO 框架实现高并发视频流接入，支持 H.265 编码与 RTSP/



【作者简介】周子超（1988—），男，四川绵阳人，本科，研究方向：云计算、人工智能、服务器运维、物联网、网络建设运维。

ONVIF 双协议传输。边缘计算节点部署轻量化 YOLOv8s 模型，完成视频流的实时解码与初步目标检测，将原始数据吞吐量降低 60%。数据处理层基于 Flink 构建流批一体计算引擎，实现视频关键帧提取、传感器数据对齐以及元数据标准化，通过时间窗口机制保障数据时序一致性。

模型分析层采用混合推理架构，前端通过 TensorRT 加速的检测模型实现 200ms 级实时响应，后端调用阿里云 VL 大模型完成跨模态语义分析。两者通过 RocketMQ 消息中间件实现任务解耦，支持动态负载均衡与故障转移。应用服务层基于 Spring Cloud 微服务框架，开发了生物安全监测、预警处置、应急指挥三大核心模块，通过 OAuth2.0 实现多终端安全访问。系统采用 MySQL 集群实现业务数据持久化，通过分表分区分库策略支撑每日亿级事件记录的高效存取。

在物理部署层面，系统采用三级节点布局。边缘层部署 Intel NUC 迷你主机完成数据预处理，区域中心配置华为 FusionServer 实现模型推理，云端依托阿里云 ECS 集群进行大数据分析 with 知识库更新。网络架构设计双活骨干链路，关键节点间部署 IP-SAN 网络存储以确保数据高可用性^[1]。通过 QoS 策略保障视频流传输优先级，使核心业务流量延迟控制在 50ms 以内，整体系统可用性达到 99.95% SLA 标准。

2 关键技术实现

针对海康 ISC 平台与 AI 预警系统的异构数据融合问题，设计了基于协议转换的双向通信体系。视频流传输采用 RTSP

over TCP 协议，通过 Java Media Framework (JMF) 实现多路视频流并行解码，支持 30fps@4K 分辨率下的实时帧提取。业务数据交互构建 Kafka 消息总线，定义标准化的 Protocol Buffers 数据格式，涵盖设备状态码、异常事件类型等结构化字段。为解决网络抖动导致的数据丢失，设计 ACK+NACK 确认重传机制。生产者端维护发送缓冲区，消费者通过 CRC32 校验失败时触发指定时间窗口（默认 500ms）内的数据重传，实测传输可靠性达 99.99%。

在模型推理层面，采用 Tensor RT 8.6 优化 YOLOv8s 目标检测模型，通过层融合和 FP16 量化技术，将推理延迟从 350ms 压缩至 180ms。VL 大模型调用通过阿里云百炼平台提供的 RESTful API 实现，设计动态批处理机制。当请求队列积累至 128 个任务或等待超时 200ms 时触发批量推理，吞吐量提升 3.2 倍。为增强跨模态对齐能力，构建包含文本特征向量、图像特征向量的联合嵌入空间，通过余弦相似度计算实现《动物防疫技术规范》条款与视频事件的语义关联。

针对预警事件与处置记录的数据一致性难题，基于 MySQL XA 协议实现分布式事务管理。核心业务流程采用 TCC (Try-Confirm-Cancel) 模式。在“异常事件确认”场景中，预检阶段 (Try) 锁定相关摄像头数据写入权限，确认阶段 (Confirm) 同步更新事件状态与处置工单，取消阶段 (Cancel) 则回滚元数据变更。通过 ShardingSphere 5.3.0 实现水平分片，按养殖场 ID 将 tb_alert_event 表划分为 1024 个逻辑分片，结合 CompositeKey (时间戳 + 设备 ID 哈希) 路由策略，使高并发写入场景下的 QPS 提升至 1.2 万。消息推送服务集成 Rabbit 优先级队列 (0 ~ 9 级)，三级预警消息强制持久化并设置 200ms 重试间隔，确保关键告警 100% 可达。

3 多级预警机制与消息推送

本系统构建了三级联动的生物安全预警体系，实现风险事件的精准分级与闭环处置。一级预警聚焦摄像头离线、温控设备故障等设备故障，触发自动化运维流程。系统通过 SNMP 协议获取设备健康状态，连续 5min 断流生成工单，经负载均衡算法派发至最近运维人员，同步锁定关联监控点位^[2]。二级预警针对环境参数越界，启动智能控制系统联动。通过 Modbus TCP 协议调节风机转速、加热通风装置功率等执行机构，同时生成橙色预警事件并推送至养殖场管理层。三级预警关联群体异常行为、单只死亡、典型疫病特征等重大生物风险，立即激活红色应急响应。隔离污染区域、冻结人员动线，并通过视频会商系统连通属地疫控中心，形成多方协同处置机制^[3]。

消息推送系统采用多模态触达策略，基于事件等级与接收角色动态适配通信通道。技术实现上，通过 RabbitMQ 的优先级队列 (0 ~ 9 级) 管理消息流，三级预警强制使用持久化消息并设置独占交换机。移动端集成华为 Push Kit 与极光短信双通道，支持离线消息缓存与送达回执校验，确保关键告警 100% 可达。针对网络不稳定场景，设计自适应重试策略。首次失败后按指数退避算法重试，5 次失败后转存至 MySQL 死信队列人工介入。后台管理界面提供消息链路追踪功能，可实时查看从事

件生成到用户接收的全流程状态^[4]。

4 系统部署与测试

感知层部署 2000 台海康威视 DS-2CD2T85G6 智能摄像机，该型号设备具备 3 项核心能力。（1）支持 4K@30fps 超高清视频采集，具备最低照度 0.001Lux 的星光级夜视性能；（2）内置 AI 加速芯片，可执行边缘侧的人体检测、越界报警等基础算法；（3）IP67 防护等级使其能适应养殖场高湿、多尘环境。计算层采用阿里云 ECS 弹性计算实例，配置 16 核 Intel Xeon Platinum 8269CY 处理器、64GB DDR4 内存以及 1TB NVMe SSD 存储，通过 ESSD 云盘实现每秒 10 万 IOPS 的数据吞吐。网络架构构建双平面传输体系，即千兆光纤专线承载核心视频流数据，内部千兆以太网通过 VLAN 划分实现业务数据与设备管理流的隔离传输。

系统运行于 CentOS 7.9 定制化操作系统，内核版本升级至 5.4.189 以支持 Docker 20.10 容器化部署。视频管理平台采用海康 ISC V3.2 企业版，通过 SDK 二次开发实现以下增强功能。（1）基于 Java JNI 接口的视频流回调机制；（2）设备状态心跳监测（间隔 5s）；（3）GB/T28181 协议级联管理。

业务逻辑层基于 Python 3.9 构建 Flask 2.1 微服务框架，关键扩展包括使用 gevent 实现异步 IO 处理，单节点并发连接数突破 5000；集成 SQLAlchemy 1.4 ORM 组件操作 MySQL 8.0 集群；通过 gRPC 协议对接阿里云百炼 VL 大模型服务，设计自动重试机制（退避间隔 2ⁿ 秒）应对 API 调用超时。AI 服务层调用百炼平台的视觉—语言多模态 API，输入参数包含 512 维图像特征向量与文本查询语句，输出风险概率值（0 ~ 1 区间）及置信区间分析报告。

测试体系从功能验证、性能压测以及生产模拟三大维度，采用白盒与黑盒结合的测试策略。功能测试通过预设 12 类典型场景验证系统全链路处理能力，使用 Postman 构造 REST API 请求模拟业务操作，通过 JUnit5 实现 92 个核心方法的单元测试覆盖。性能测试依托 JMeter 搭建分布式压测集群，模拟 3000 路并发视频流接入，监控 ECS 实例的 CPU/内存波动及网络吞吐量，同时通过阿里云 PTS 工具进行 VL 大模型 API 的极限负载测试（QPS ≥ 500）。生产环境验证选取 10 万头规模生猪养殖场进行 8 周实地测试，部署对比组（传统人工巡检）与实验组（智能系统）进行双盲试验，通过预设 532 个标准测试用例（含不同光照条

件、遮挡场景以及干扰因素）验证识别准确率，使用 ELK 技术栈采集全量日志进行故障根因分析，通过 Wireshark 抓包验证数据传输完整性，最终形成包含系统响应时间、资源利用率、误报率等 18 项核心指标的测试报告。

测试结果与分析。经过为期 60 天的生产环境验证，系统共捕获原始报警事件 165,422 次，经多级过滤机制处理后，有效报警事件 99,253 次（见表 1）。数据分析表明，系统在复杂养殖环境中展现出卓越的稳定性与准确性。

结语

本研究成功构建了 AI 视觉识别与 VL 大模型深度融合的生物安全防控体系，通过 2000 路智能摄像头与阿里云算力的协同部署，实现了养殖场风险监测从“被动响应”到“主动防御”的范式跃迁。该成果为农业智能化提供了可复用的技术范式。未来研究将聚焦联邦学习框架下的模型持续优化与 5G 边缘计算节点的深度适配，推动生物安全防控向全域感知、自主决策的新阶段演进。

引用

[1] 梁雨中.基于SpringBoot+Vue的智慧养殖场环境监控系统[J].电脑知识与技术,2025,21(5):61-63.

[2] 范方舟.现代养殖场中基于深度学习的影像中动物检测与多目标跟踪[D].北京:北京邮电大学,2023.

[3] 张晗芬.基于NB-IoT技术的养殖场环境监控系统设计[D].杭州:浙江工业大学,2020.

[4] 刘生成.基于物联网的养殖场环境远程监控系统的设计与实现[D].长春:吉林大学,2018.

表 1 系统有效性策略结果

指标项	数值 / 比例	说明
原始报警总量	165,422 次	含设备 / 环境 / 生物三类事件
无效报警过滤率	40%	主要来自光照干扰等场景
有效报警识别正确率	99.10%	人工复核确认结果
设备故障报警	58,397 次 (35.3%)	正确率 100%
环境异常报警	79,225 次 (47.9%)	正确率 98.7%
生物风险报警	27,800 次 (16.8%)	正确率 99.4%