 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v7i8.11560

Intelligent Kitchen Safety Detection System Based on Multi-Dimensional Spatial-Temporal Characteristics and Dynamic Temporal Logic

Lifen Gao Zhenhua Mu

Guoneng Baosin Railway Group Co., Ltd. Transportation Service Branch, Erdos, Inner Mongolia, 017000, China

Abstract

To address the issues of low efficiency in post-kitchen safety supervision, high false alarm rate of existing visual detection methods, and poor engineering applicability and adaptability, a smart post-kitchen safety detection system was designed. The system utilizes computer vision and deep learning technologies, employs timing fault tolerance and spatio-temporal correlation-based judgment logic, and constructs a detection system covering three scenarios: personal protection, operational norms, and illegal intrusion. It can automatically identify various violations in the post-kitchen and provide real-time warnings, solving the problems of delayed traditional supervision response and high false alarm rate in single-frame detection. At the same time, by optimizing low-latency streaming media and configuring resolution-adaptive ROI, the system's engineering deployment capability is enhanced, maintenance costs are reduced in multi-hardware environments, and problems of detection lag and poor deployment adaptability in complex network environments are addressed. Currently, this system has been implemented as a visual supervision platform and put into actual operation.

Keywords

smart post-kitchen; computer vision; post-kitchen safety detection; timing fault tolerance; spatio-temporal correlation judgment; adaptive ROI

基于多维时空特征与动态时序逻辑的智慧后厨安全检测系统

高丽芬 穆振华

国能包神铁路集团有限责任公司运输服务分公司，中国 · 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘 要

为了解决后厨安全监管效率低、现有视觉检测方法误报率高且工程落地适配性差的问题，研究设计了智慧后厨安全检测系统。系统运用计算机视觉、深度学习等技术，采用时序容错与时空关联的判定逻辑，构建了覆盖个人防护、操作规范、非法闯入三类场景的检测体系，可自动识别后厨多种违规行为并实时预警，解决了传统监管响应滞后、单帧检测误报率高的问题；同时，利用流媒体低延迟优化与分辨率自适应ROI配置技术提升系统工程部署能力，降低多硬件环境下的维护成本，解决复杂网络环境下检测滞后、部署适配性差的问题。目前，该系统已落地为可视化监管平台并投入实际运行。

关键词

智慧后厨；计算机视觉；后厨安全检测；时序容错；时空关联判定；自适应ROI

1 引言

餐饮食品安全在公共卫生安全体系中占有重要地位，为餐饮行业规范化发展与消费者健康权益提供重要保障。近年来，伴随着计算机视觉与物联网技术的发展，后厨监管数字化、餐饮服务“明厨亮灶”成为餐饮行业安全治理的发展方向，通过智能化建设提升后厨安全监管水平，是当前餐饮安全领域的重要工作任务 [1]。

本文第一部分为系统概述，对系统整体架构与核心功能进行说明；第二部分为系统核心检测模块设计，对数据预处理、个人防护检测、操作规范检测等核心模块的技术实现进行详细说明；第三部分为系统原型与测试验证，通过实验测试验证系统性能并介绍平台落地应用情况；第四部分为结语。

2 系统概述

2.1 系统功能叙述

智慧后厨安全检测系统由后台综合管理端和可视化大屏端两部分组成，后台综合管理端供系统运维管理人员使用，用于全平台的设备、点位与数据的统一管控；可视化大屏端供监管人员使用，用于实时监控、预警处置与全局运行

【作者简介】高丽芬（1980–），女，中国内蒙古鄂尔多斯人，本科，工程师，从事AI智能应用研究。

状态展示。系统整体功能如图 1 所示。

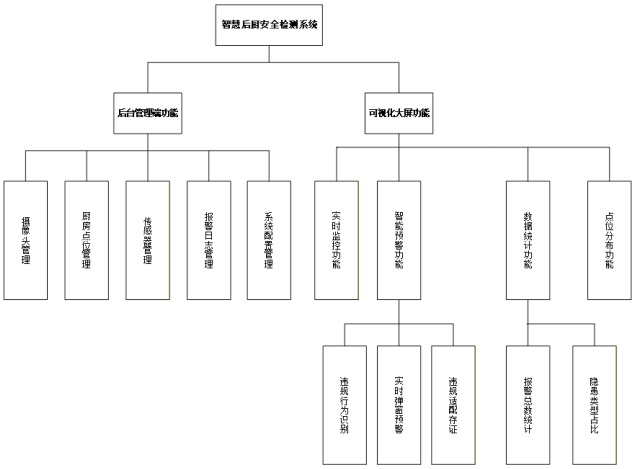


图 1 系统功能图

2.2 系统设计架构

智慧后厨安全检测系统结合工业视频智能分析与管理平台的主流设计方案，采用前后端分离架构，将前端可视化应用与后端业务服务、算法推理模块从逻辑层面进行剥离，前后端通过标准化 RestFul API 进行通信。前端应用包含 Web 管理后台与可视化大屏，服务于安全监管人员与系统运维管理人员；后端采用分层化设计思想，整合流媒体接入、AI 推理、业务管理与数据存储能力，为前端提供稳定的业务支撑。系统整体设计架构图如图 2 所示，各层作用与技术选型设计方案如表 1 所示。

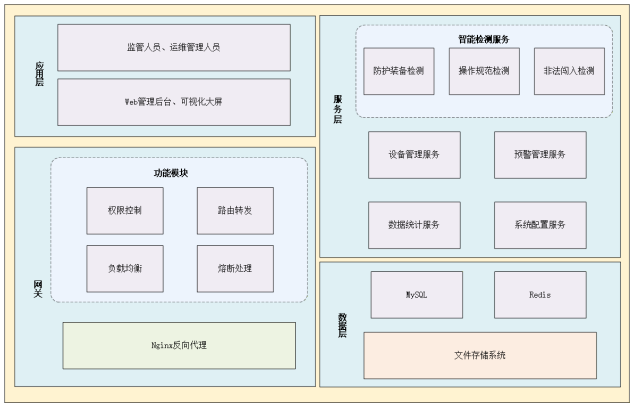


图 2 系统架构图

表 1 系统各层作用与技术选型方案表

层级	作用	技术选型
应用层	负责和用户进行交互，包括 Web 管理后台页面、可视化大屏页面和供第三方调用的接口等。	Web 端与大屏使用 Vue.js、ElementUI、ECharts 等技术。
服务网关	为后端服务提供统一的入口，此外还承担认证授权、访问控制、路由、负载均衡、过滤、熔断等功能。	反向代理服务器：Nginx；服务网关：Spring Cloud Gateway；请求负载均衡：Ribbon；请求熔断处理：Hystrix。
服务层	定义系统要完成的任务，并且负责实现业务规则，是系统核心部分。基础服务和配置服务主要负责微服务的注册发现、系统配置等功能；智能检测服务和设备管理服务主要负责软件核心功能的实现，包括视频流接入、AI 推理、违规判定、预警推送等核心逻辑。	微服务治理：Spring Cloud 组件；注册中心：Eureka 组件；服务间调用：Spring Cloud Feign 组件；业务开发：SpringBoot、MyBatis 框架；AI 推理：PyTorch、YOLOv8、OpenCV。
数据层	该层负责提供数据的存储处理，为服务层提供数据支持。	MySQL：主数据库，存储用户、设备、报警日志等永久数据；Redis：缓存系统配置与实时状态数据；文件存储系统：存储违规取证视频与图片文件。

3 智能检测核心模块设计

智能检测是本系统的核心功能模块，该模块运用目标检测、时序统计、空间关联等技术，构造了分层递进的违规判定模型，从空间匹配与时序校验两个维度对后厨视频画面进行分析，综合多维度判定结果输出结构化的违规预警信息。智能检测的整体流程如图 3 所示：

系统首先对输入的 RTSP/HTTP 视频流进行低延迟优化与 ROI 自适应配置，再通过单阶段检测模型完成多类别基础目标感知，随后将感知结果并行输入至个人防护检测、操作规范检测、非法闯入检测三个独立模块，各模块结合自身的时空判定逻辑输出违规判定结果，最终通过结果融合模块完成结构化输出与资源调度 [2]。

3.1 个人防护违规检测模块

个人防护检测模块接收基础感知层输出的人员、头部、面部、口罩、厨师帽五类检测结果，主要针对口罩与厨师帽的佩戴合规性进行判定。针对口罩目标小、易受油烟遮挡的特点，模块采用双重容错软匹配结合长时序滑动窗口的判定机制，替代传统的单帧硬阈值匹配，以降低动态遮挡场景下的误报率：

3.2 操作规范违规检测模块

操作规范检测模块接收基础感知层输出的人员、手、香烟、明火四类检测结果，主要针对吸烟行为与无人值守明火两类违规进行识别。模块引入多维时空关联逻辑，将单一的视觉目标识别升级为结合后厨业务场景的违规判定，有效过滤正常烹饪操作带来的误报 [4]。

无人值守明火检测采用时空关联判定模型，将单帧火焰识别升级为时序维度的火灾隐患评估。首先构建包含明火状态与人员状态的二维元组时序队列Q_{fire}。单

帧判定时，当且仅当检测到明火且明火坐标位于核心区内，记($State_{fire}$=$True$)；检测到核心区内存在人员时，记($State_{person}$=$True$)；将二元组(($State_{fire}$,$State_{person}$))压入队列。队列填满后，计算无人值守危险占比(R_{danger})：

$$R_{danger}=\frac{\sum_{j=1}^{N_{max}}(Q_{fire}[j].fire\wedge\neg Q_{fire}[j].person)}{N_{max}}$$

其中，当且仅当明火存在且核心区内无人员时，该帧计为危险帧。当$R_{danger}>0.9$时，触发无人值守明火报警。该机制通过长时序统计，确保只有长时间出现明火且无人值守时才发出警报，解决了厨师正常炒菜时的明火干扰问题，从而降低了无效警报数量。

4 系统原型与测试验证

4.1 系统实用分析

基于多维时空特征与动态时序逻辑的智慧后厨安全检测系统原型已经完成开发，目前，系统共收录了动火离人、未佩戴口罩、未佩戴厨师帽等多种智能检测功能和温度超阈值、湿度超阈值、浸水等多种传感器检测功能，每种检测结果均可在可视化大屏中直观显示。此外可视化大屏还包含了智慧厨房示范点、报警统计、报警记录等功能。在后台管理端，系统运维管理人员可以进行厨房管理、摄像头管理以及传感器管理。该系统提供网页端供管理人员使用，操作简单，易于使用。该系统为厨房管理人员提供了全新的厨房管理模式，极大的提高了后厨安全监管水平和效率，实施效益较好。未来，随着系统收录的检测信息的增加，系统将不断学习新的检测功能，不断提高系统的稳定性和检测的准确性，最终该系统将服务于包头与鄂尔多斯近五十个厨房的管理人员。

4.2 原型展示与测试验证

其中，大屏左侧是设备状态展示，管理人员可以通过该部分查看后厨的温湿度、烟雾浓度等传感器的实时数据和历史记录；大屏中间是视频监控、报警统计和报警记录，管理人员可以通过该部分查看后厨的实时画面和报警情况；大屏右侧是智慧厨房示范点，管理人员可以通过该部分查看厨房所在位置，并通过点选厨房标识切换到该厨房对应的设备状态和视频监控展示。

系统后台管理端功能包含厨房管理模块、传感器管理模块、摄像头管理模块、传感器预警信息模块和摄像头预警信息模块。管理人员可以在这里查看厨房的所有信息，包括厨房名称、经纬度和额外信息，并对厨房进行增加、修改、删除、查询。

管理人员可以在这里查看传感器的所有信息，包括传感器编号、传感器名称、传感器所属厨房、传感器类型、传感器状态等，并对传感器进行增加、修改、删除、查询。

管理人员可以在这里查看摄像头的所有信息，包括摄像头编号、摄像头所属厨房、摄像头位置等，并对摄像头进行增加、修改、删除、查询。

管理人员可以在这里查看所有传感器预警信息，包括传感器名称、位置、报警信息、报警时间，并对传感器预警信息进行增加、修改、删除、查询[3]。

管理人员可以在这里查看所有摄像头预警信息，包括摄像头名称、报警位置、报警信息、报警时间，并对摄像头预警信息进行增加、修改、删除、查询。

5 结语

基于多维时空特征的智慧后厨安全检测系统顺应当代餐饮行业数字化监管的发展需求，综合计算机视觉、深度学习以及物联网技术，打造一款可实现后厨全天候智能监管的安全检测平台，解决目前后厨监管中人工巡检效率低、现有视觉检测误报率高、工程部署适配性差等问题，有效降低监管人力成本、提升安全响应速度。同时，系统将时序容错与时空关联技术应用到违规判定中，通过对人员防护、操作行为、区域闯入等多维度检测结果的综合分析，利用滑动窗口统计、多层级空间约束等方式，为后厨安全监管提供精准的决策支持，提升违规行为检测的准确率与稳定性。

参考文献

[1] 胡正平, 张乐, 殷艳华. 时空深度特征AP聚类的稀疏表示视频异常检测算法[J]. 信号处理, 2019, 35(3): 386-395.

[2] 李臣明, 吴媛媛, 漆美林, 等. 基于双曲空间图卷积的无监督视频异常检测方法[J]. 计算机应用研究, 2025, 42(7): 2234-2240.

[3] 魏明军, 周泰宇, 季展林, 张新南. 基于Mask-YOLO的复杂场景口罩佩戴检测[J]. 应用科学学报, 2022, 40(1): 93-104.