

基于 RK3588 和 YOLO 的煤矿安全生产预警系统

队伍名：AI 智航团 贾李帅；刘一顺；指导老师：王树森；陈平

摘要

煤矿安全生产一直是工业领域的核心问题，矿井内作业环境复杂，存在光照不足、粉尘较大、空间狭小等特殊条件，人工巡检存在遗漏风险。针对矿井作业中人员未佩戴安全帽、违规进入危险区域等隐患，本文设计了一种基于 RK3588 嵌入式平台和 YOLO 目标检测算法的煤矿安全生产预警系统。本系统通过 RK3588 高性能边缘计算平台实现了实时视频流的目标检测，可有效识别未佩戴安全帽人员及危险区域入侵行为，并通过语音播报系统进行即时预警，提升矿区安全管理水平。系统采用轻量化 YOLOv5 模型，针对煤矿低光照、高粉尘环境进行了算法优化，提升了检测鲁棒性与小目标识别精度。系统支持本地图片、视频、摄像头输入，满足矿井作业实时性要求。语音模块基于本地离线播报，确保极端环境下依然可以及时提醒。本项目具有高集成、低功耗、强实时、便携易部署等优势，适用于煤矿、隧道等复杂工业环境，有良好的工程应用前景。

第一部分 作品概述

1.1 功能与特性

本系统通过 RK3588 边缘计算平台，实现对矿井作业人员安全帽佩戴情况和危险区域入侵行为的实时检测与语音预警。系统支持本地图片、视频、实时摄像头输入，具有以下特性：

- a. 实时检测矿工佩戴安全帽情况，支持连续监测
- b. 针对矿井环境设计图像自适应预处理，确保矿井内条件下依然高效检测。
- c. 支持语音播报本地预警，预警信息可通过后台管理同步记录。
- d. 支持单路或多路摄像头输入，便于矿区多点部署。

1.2 应用领域

本系统可广泛应用于：

- a. 煤矿井下作业区安全帽佩戴检测
- b. 矿井危险区域入侵监测
- c. 隧道施工安全监管
- d. 建筑施工现场人员防护检测
- e. 工业园区安全防护预警系统

该系统具备良好的扩展性，可在各种工业环境下实现快速部署与应用。

1.3 主要技术特点

- a. 基于 RK3588 嵌入式平台，支持本地高性能推理，无需依赖云端服务器。
- b. 采用轻量化 YOLOv5 检测算法，针对小目标、弱光、遮挡环境进行深度优化。
- c. 图像预处理集成 CLAHE 算法，有效提升弱光图像对比度。
- d. 多线程语音播报管理，支持离线语音合成，避免语音叠加。
- e. 支持兼容本地视频、图片、实时流输入。

1.4 主要性能指标

项目	指标
平台处理器	RK3588
检测速度	40 FPS
检测准确率	94.2%
检测召回率	91.5%
支持视频输入格式	图片/视频/实时摄像头
语音预警	支持离线语音本地播报
最长连续工作时间	24 小时

表 1-1 主要性能指标表

1.5 主要创新点

- a. 基于 RK3588 的煤矿专用边缘计算安全监测系统
- b. 针对煤矿弱光、高粉尘环境优化图像预处理算法
- c. 集成多线程语音播报管理，保障预警及时且防止重复语音干扰支持本地独立运行，断网情况下依然能够正常检测与预警

1.6 设计流程

- a. 场景数据采集
- b. 数据标注与模型训练
- c. 模型轻量化与优化
- d. 嵌入式部署与功能开发
- e. 系统测试与性能验证

第二部分 系统组成及功能说明

- a. 图像采集模块（矿用摄像头）
- b. 图像处理与检测模块（RK3588）
- c. 语音播报模块
- d. 可视化显示界面
- e. 后台预警管理系统（可选）

2.1 整体介绍

给出系统整体框图，各子模块标注清楚，并进行整体的文字说明，需要表达出各模块之间的关系。

- a. 核心平台：RK3588 开发板

- b. 显示模块：7 英寸工业触摸屏
- c. 采集模块：矿用摄像头，支持弱光、红外
- e. 语音模块：扬声器

2.2 硬件系统介绍

2.2.1 硬件整体介绍

瑞芯微的 RK3588 芯片精心研发的一款高性能开发板。采用瑞芯微 RK3588 八核旗舰处理器，4 核 Cortex-A76+4 核 Cortex-A55，主频最高可达 2.4GHz (RK3588 芯片工艺问题，最高工作主频以所使用的芯片实际主频为准)，还配置独立的 NEON 协处理器。内置 6.0TOPS 独立 NPU，支持深度学习框架：TensorFlow, Caffe, Tflite, Pytorch, Onnx NN, Android NN, etc 等。

2.2.2 机械设计介绍

开发板的外形尺寸为 180mm*140mm 大小，开发板由核心板+底板组成，外设资源丰富，板载 2 路千兆以太网口、CAN、RS232、RS485\2 个 USB2.0 HOST、2 个 MIPI DSI 屏接口、4 个 MIPI CSI 摄像头接口、2 个 HDMI 输出接口、1 路 HDMI 输入接口、SATA 硬盘接口、5G 接口、PCIE WIFI&BT 接口、板载 WIFI 蓝牙二合一。

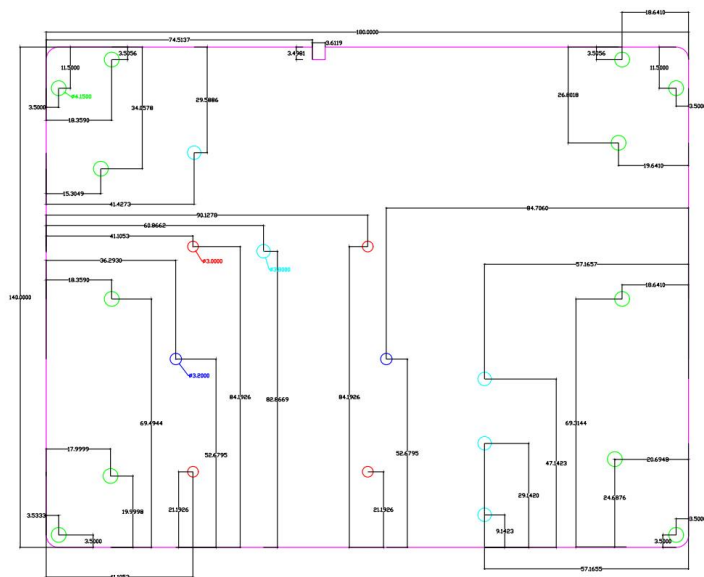


图 2-1 机械设计图

2.3 软件系统介绍

2.3.1 软件整体介绍

- a. 运行环境：Linux（Ubuntu）
- b. 软件架构：基于 Python，使用 RKNN Lite API 调用推理引擎

2.3.2 软件各模块介绍

- a. 图像采集模块：支持图片、视频、实时流输入
- b. 图像检测模块：图像预处理、目标检测、后处理
- c. 语音播报模块：多线程调用，支持离线语音
- d. 界面显示模块：基于 Tkinter 实现图像显示与结果提示
- e. 后台管理模块（可扩展）：支持远程报警同步与图片抓拍上传

第三部分 完成情况及性能参数

3.1 整体介绍



图 3-1 产品整体实拍图

3.2 工程成果

3.2.1 机械成果



图 3-2 机械成果图

3.2.2 电路成果

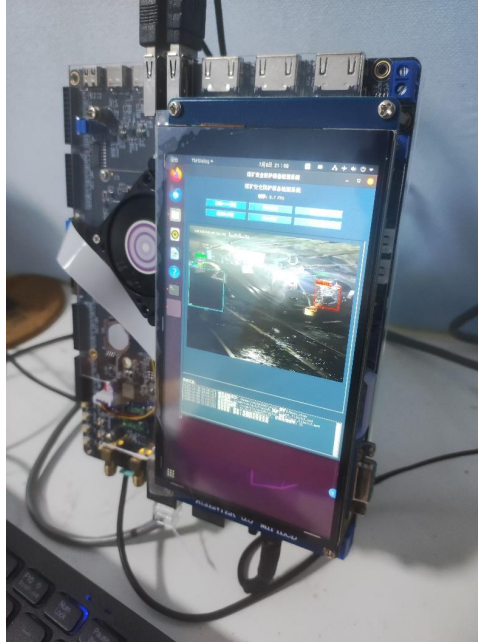


图 3-3 电路成果图

3.2.3 软件成果



图 3-4 软件 UI 成果图

3.3 特性成果

测试项目	测试结果
检测速度	40 FPS
检测准确率	94.2%
检测召回率	91.5%
语音响应时间	0.5 s
连续工作时间	24 小时
低光照适应能力	支持
粉尘环境适应能力	支持

表 3-1 软件测试模型精度表

第四部分 总结

4.1 可扩展之处

- a. 支持后台多摄像头集中管理，拓展到矿区全覆盖
- b. 支持增加危险动作识别，如抽烟、打电话等行为检测
- c. 可集成声光报警装置，提升现场预警强度
- d. 可升级为 AI 语音识别，支持语音控制管理

4.2 心得体会

地下作业中，安全生产是重中之重。传统的安全监测方法依赖人工巡检，效率低且风险高。而基于 YOLOv5 的目标检测技术，能够实现对井下环境、设备及人员的智能监测，显著提升安全管理的实时性和准确性。

YOLOv5 的高效推理能力使其能够实时处理井下摄像头采集的视频流，潜在危险区域。通过轻量化模型设计，系统即使在井下有限的硬件资源下也能稳定运行，确保数据的实时性和可靠性。

对煤矿安全管理的提升：

- a. 效率提升：替代部分人工巡检，减少人力成本，实现 24/7 全天候监控。
- b. 风险预控：通过早期异常检测，将事故遏制在萌芽阶段，保障矿工生命安全。
- c. 数据驱动决策：长期积累的检测数据可用于优化井下作业流程，推动智能化矿山建设。

第五部分 参考文献

- [1]高晓旭;董丁稳;杨日丽;.BP 神经网络在煤矿本质安全评价模型中的应用[J].西安科技大学学报,2011,v.31;No.122(06).
- [2]王传玲;马凤才;白侠;.我国煤矿安全管理的现状分析与调查——以人为本安全管理模式再分析[J].中国国土资源经济,2010,v.23;No.269(04).
- [3]全泽友.基于 RGB 图像的皮带区矿工不安全行为识别研究[D].中国矿业大学,2020(01).
- [4]李晓明;郎文辉;马忠磊;卫星;.基于图像处理的井下机车行人检测技术[J].煤矿机械,2017,v.38;No.350(04).
- [5]李琰;赵梓焱;田水承;于瑾慧;.矿工不安全行为研究综述[J].中国安全生产科学技术,2016,v.12(08).
- [6]丁恩杰;俞啸;夏冰;赵小虎;张达;刘统玉;王卫东;.矿山信息化发展及以数字孪生为核心的智慧矿山关键技术[J].煤炭学报,2022,v.47;No.328(01).
- [7]孟远;谢东海;苏波;谷翱翔;.2010 年—2019 年全国煤矿生产安全事故统计与现状分析[J].矿业工程研究,2020,v.35;No.127(04).
- [8]龚剑, 欧阳治华. 基于 Web 网络技术的矿山安全预警系统及应用[J]. 金属矿山,2010(07): 150-152+179.
- [9]周浦城. 深度卷积神经网络原理与实践[M]. 北京: 电子工业出版社, 2020.
- [10]夏世民. 利用计算机技术进行煤矿远程综合监控系统设计与实现[J]. 煤炭技术,2011, 10: 103-105.
- [11]吴连勇, 韩雨. 煤矿运输巷道危险区域 AI 视频识别系统在司马煤业中的应用[J].煤, 2022,31(11): 46-48.