

基于 RK3588 边缘计算平台的茶叶瑕疵分拣系统

摘要：

在茶叶加工领域，传统的人工分拣方式存在分拣精度低、人工成本高以及效率难以提升等问题。本作品聚焦于茶叶分拣环节的智能化升级，通过融合机器视觉与边缘计算技术，打造了一套高效精准的茶叶分拣系统。该系统以 RK3588 主控平台为核心，集成视觉模块、三轴运动平台以及抽气吸附装置。在视觉检测方面，创新性地采用 YOLOv8 算法模型，充分利用 RK3588 芯片内置 6TOPS 算力的 NPU 单元，实现毫秒级推理速度，能够精准识别茶叶中的粗叶、团叶与茶梗三类典型瑕疵，实时生成坐标数据。检测到瑕疵后，通过坐标转换算法驱动三轴平台移动，协同吸附装置完成瑕疵剔除。实验结果表明，该系统在茶叶瑕疵识别上表现出色，能够稳定、高效地完成分拣任务，显著提升分拣质量和效率，有效解决了茶叶加工行业长期存在的分拣精度低、人工成本高等痛点。同时，其具备的高性价比与可复制性，为传统制茶工艺的数字化改造提供了优质解决方案，有力推动了茶叶加工行业的智能化转型。

第一部分 作品概述

1.1 功能与特性

- 1) 茶叶杂质检测：该作品能够在茶叶中检测出不同种类的杂质，并通过数据处理，返回出不同种类杂质的名称以及对应的坐标。
- 2) 茶叶定位和吸取：将杂质的坐标经过坐标映射后放入三轴滑台中，在三轴滑台完成杂质定位后启动吸取装置完成杂质的去除。
- 3) MIPI 屏幕实现人机交互：通过采用 MIPI 屏实现人机交互，可实现在屏幕上一键启动，并将检测到的杂质信息放回到屏幕中，更加便利的完成信息的读取。

1.2 应用领域

本作品主要的应用场景如下：

1) 茶叶加工企业的生产环节：在茶叶初制和精制过程中，通过智能分拣系统可以实时监测茶叶的质量和等级，精准识别并剔除粗叶、团叶与茶梗等瑕疵，实现高效、精准的分拣作业，提升产品质量和一致性，降低人工成本。

2) 茶叶质量控制与检测：在茶叶生产和包装过程中，该系统能够对茶叶进行快速、准确的质量检测，确保每一批次的茶叶都符合企业设定的质量标准，帮助企业严格把控产品质量关，提升品牌信誉度。

3) 茶叶深加工与研发：对于从事茶叶深加工和新产品研发的企业，该系统可以用于筛选特定品质或等级的茶叶原料，以满足不同加工工艺和产品研发的需求，为茶叶深加工和创新提供有力支持。

1.3 主要技术特点

1) 选用 RK3588 主控平台，结合其内置的 6TOPS 算力 NPU 单元，为整个检测和分拣系统提供强大的运算支持，确保系统的高效运行和实时响应。

2) 运用 YOLOv8 算法模型，利用其强大的目标检测能力，实现对茶叶中不同种类杂质的精准识别和定位，为后续的杂质去除提供准确的坐标信息。

3) 配备三轴运动平台和负压吸附装置，通过精确的坐标映射和运动控制，实现对杂质的高效定位和去除，保证茶叶分拣的准确性和可靠性。

4) 采用 MIPI 屏实现人机交互，具备直观的数据和图像展示功能，用户可以一键启动检测流程，同时屏幕上能够实时显示检测到的杂质信息，方便用户快速读取和分析数据。

1.4 主要性能指标

表 1-1 杂质检测主要指标

检测茶叶杂质指标	检测杂质种类	检测杂质准确率	检测杂质灵敏度 最小可测杂质大小
	三类典型瑕疵 (粗叶、团叶 与茶梗)	85%	5mm

表 1-2 三轴滑台主要指标

三轴滑台指标	位移范围	步进电机每圈移动距离	控制方式
	X 轴：0-220mm Y 轴：0-200mm Z 轴：0-120mm	8mm	采取 GPIO 发送脉冲控制

1.5 主要创新点

- 1) 算法与硬件协同创新：将 YOLOv8 算法与 RK3588 主控平台的 6TOPS 算力 NPU 单元深度结合，实现毫秒级推理速度，显著提升茶叶瑕疵检测效率与精度。
- 2) 高效人机交互设计：采用 MIPI 屏，实现一键启动检测流程，同时会显示杂质信息，操作便捷。
- 3) 智能分拣与去除：利用三轴滑台与负压吸附装置，通过坐标映射实现杂质的自动定位与去除，降低人工成本。

1.6 设计流程

- 1) 需求分析：针对茶叶加工过程中杂质检测与去除的需求，明确系统需具备杂质识别、定位及去除功能。
- 2) 架构设计：确定以 RK3588 芯片为核心，结合视觉模块（含 USB 摄像头）、三轴运动平台、负压吸附装置、MIPI 显示屏等构成主要系统。
- 3) 软硬件划分：明确 RK3588 负责图像处理、数据运算与系统控制，视觉模块采集图像，三轴平台和吸附装置执行动作，显示屏展示信息。
- 4) 硬件设计：选型并设计各模块电路，特别是视觉模块的接口电路，确保摄像头与 RK3588 的兼容性，同时设计三轴运动平台的驱动电路和负压吸附装置的控制电路。

5) 软件设计：基于 Linux 和 YOLOv8 框架开发 RK3588 端程序，实现图像采集、瑕疵检测、数据处理及控制功能；使用 Qt Creator 开发 MIPI 屏端软件，实现人机交互。

6) 系统实现：完成硬件电路的组装，确保各模块稳定连接。编写并调试程序，实现图像采集、瑕疵检测、三轴定位、杂质去除以及信息显示等功能。

7) 系统测试：进行功能测试与性能评估，验证系统在实际茶叶分拣中的准确性和可靠性。

第二部分 系统组成及功能说明

2.1 整体介绍

本项目以 RK3588 芯片为控制核心，用 12V3A 电源适配器为系统供电，系统框架如图 2-1 所示。

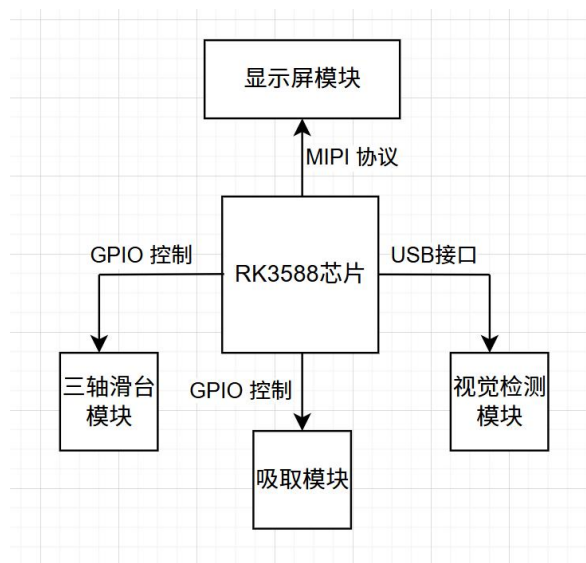


图 2-1 系统框架图

1) 显示模块：用于显示 RK3588 处理后的茶叶瑕疵检测结果，包括杂质种类、坐标等信息，实现人机交互；

2) 视觉检测模块：通过摄像头采集茶叶图像，将图像数据传输至 RK3588 进行处理和分析；

3) 三轴运动平台模块：接收 RK3588 发送的坐标指令，控制滑台精准移动至指定位置；

4) 抽气吸附模块：在三轴平台定位后，根据 RK3588 指令启动，完成对茶叶中杂质的去除；

5) RK3588：作为核心控制器，通过其强大的运算能力和接口，采集视觉模块图像数据并处理，发送控制指令至三轴平台和抽气吸附装置，接收并处理各模块反馈数据，同时将结果显示在串口屏上，实现人机交互。

系统工作流程如图 2-2 所示

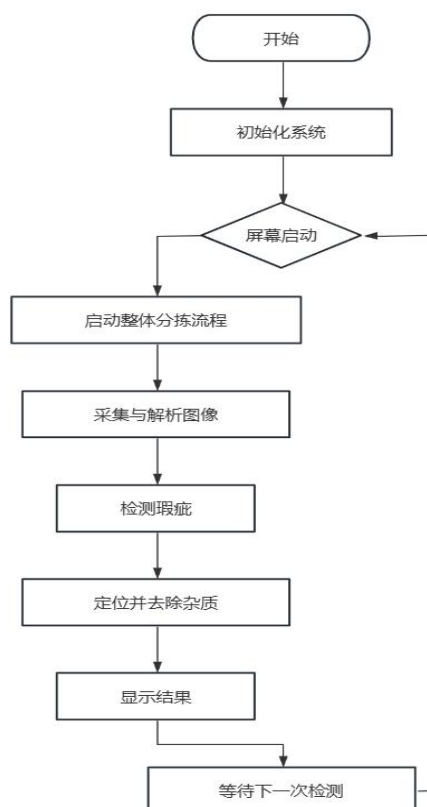


图 2-2 系统工作流程

2.2 硬件系统介绍

2.2.1 硬件整体介绍；

本茶叶智能分拣系统的硬件设计以 RK3588 高性能处理器为核心，搭配高分辨率 USB 摄像头负责茶叶图像采集。通过精心设计的电路，三轴运动平台根据

RK3588 的指令精准定位杂质位置，联动负压吸附装置实现杂质去除。系统配备 MIPI 显示屏，实时显示检测与分拣信息，优化人机交互体验。各模块间接口适配，协同完成高效的茶叶分拣任务

2.2.2 机械设计介绍

整体采用一体化设计，利用亚克力板进行整体固定，减少外界对电源驱动，以及芯片主体的影响

对电路模块，驱动模块和负压吸附模块整体固定，仅留出与参与人机交互 MIPI 显示屏，

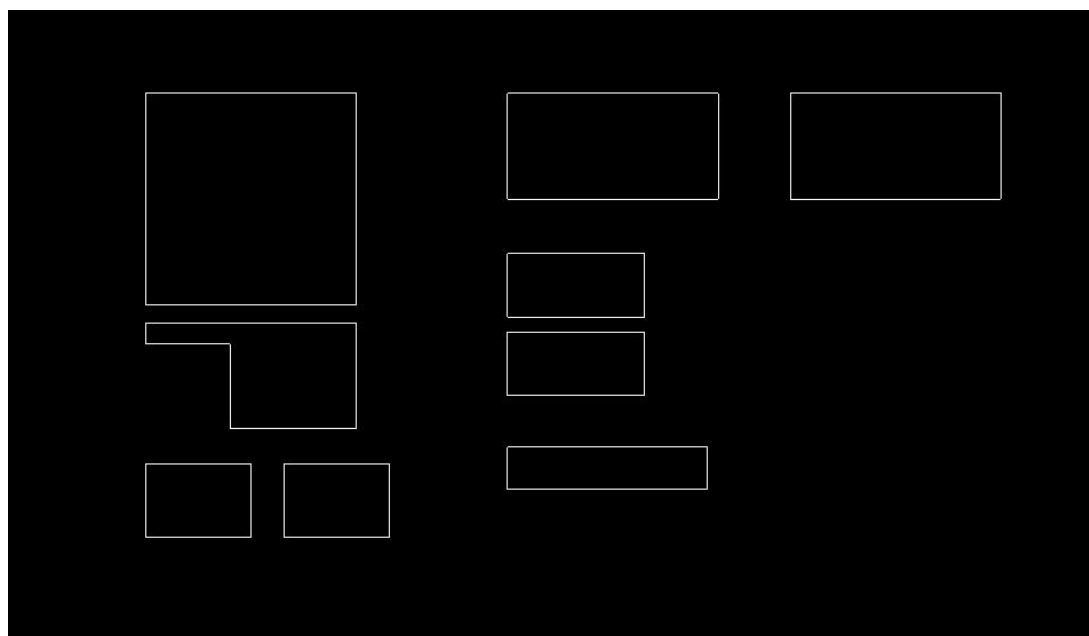


图 2-3 亚克力板 cad 制图

2.2.3 电路各模块介绍

1) 主控模块（RK3588）

RK3588 作为主控芯片，集成四核 Cortex-A76 处理器与 NPU 单元，负责协调视觉识别、电机控制与负压吸附装置操作。通过 GPIO 接口输出脉冲信号控制步进电机，利用 UART 接口与摄像头通信，NPU 加速 YOLOv8 模型推理，实现多任务实时处理。

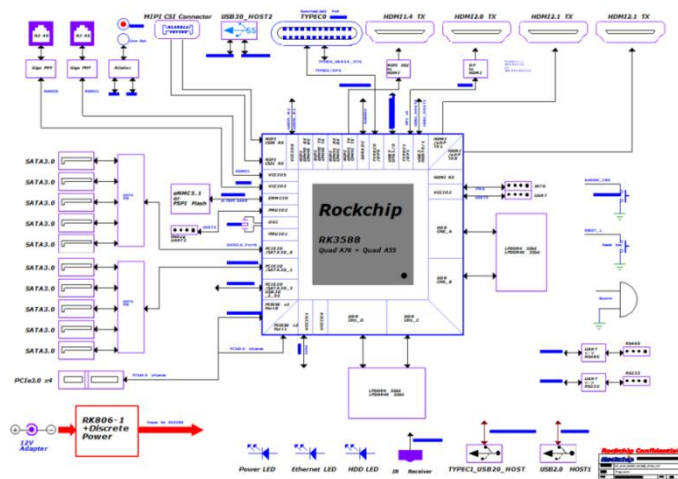


图 2-4 RK3588 原理图框图

2) 视觉检测模块

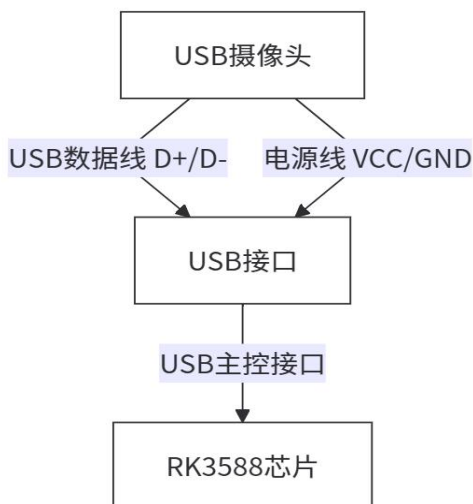


图 2-5 视觉检测模块框图

USB 摄像头通过 USB 接口与 RK3588 芯片相连。RK3588 提供 USB 主控接口，摄像头作为 USB 设备，通过标准 USB 协议进行数据传输。数据线包括 D+ 和 D- 用于差分信号传输，电源线 VCC 和地线 GND 为摄像头提供电力。RK3588 通过 USB 协议接收摄像头采集的图像数据。

3) 三轴滑台模块



图 2-6 三轴滑台模块框图

RK3588 芯片通过 GPIO 接口向三轴滑台模块发送控制信号，每个轴（X/Y/Z）由三个 GPIO 引脚控制：使能引脚、方向引脚和步进脉冲引脚。使能引脚负责启动或停止步进电机，方向引脚设定电机的旋转方向，步进脉冲引脚通过脉冲信号控制电机的步进次数，从而精确控制滑台的位移。以 X 轴为例，使能引脚先启动电机，方向引脚设定转动方向，步进脉冲引脚再发出脉冲信号控制电机转动次数，实现精准定位。这种控制方式确保了三轴滑台模块能够快速、准确地移动到指定位置。下面以 X 轴引脚为例

RK3588 GPIO	TB6600 驱动器
GPIO_B3（脉冲）	PUL+
GPIO_B4（方向）	DIR+
GPIO_B5（使能）	ENA+
GND	PUL-/DIR-/ENA-

表 2-1.三轴步进电机接口电路对应图

4) MIPI 显示屏模块

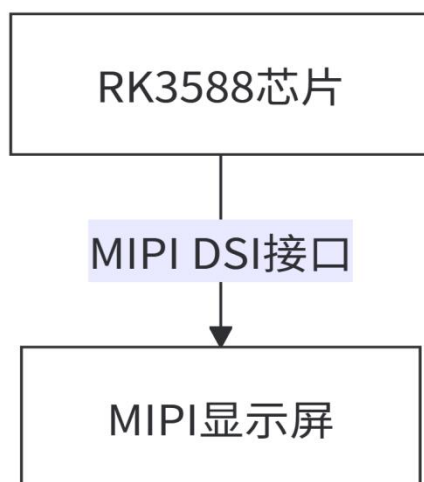


图 2-7 MIPI 显示屏模块框图

RK3588 通过 MIPI DSI 接口将图像数据打包成协议帧，经差分信号线传输至显示屏。显示屏接收并解码这些数据，控制液晶分子排列以显示图像。同时，RK3588 发送同步信号，确保显示屏正确刷新图像。

5) 负压吸附模块

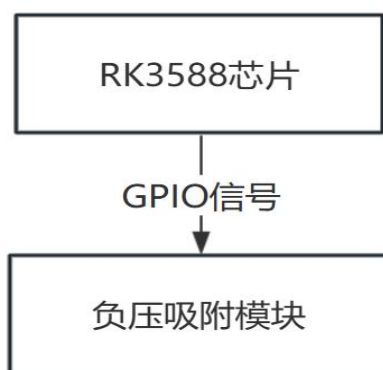


图 2-8 负压吸取模块框图

系统上电后，RK3588 芯片初始化 GPIO 接口并设置为输出模式，负压吸附模块进入待机状态。当视觉模块检测并定位到茶叶中的杂质时，RK3588 芯片通过 GPIO 接口发送高电平信号触发负压吸附模块启动，模块接收到信号后开始工作，产生负压吸附力去除杂质。吸附完成后，RK3588 芯片将 GPIO 电平拉低，使负压吸附模块停止工作，系统复位并准备进行下一次检测与去除任务。

2.3 软件系统介绍

2.3.1 软件整体介绍

软件整体包含 RK3588 端软件和 MIPI 屏界面设计软件。RK3588 端软件采用基于 Linux 的开发环境和 YOLOv8 算法框架，遵循模块化设计降低耦合性，便于调试与维护。开发中利用 RT-Thread 操作系统的底层函数和驱动，实现各模块应用程序开发，软件组件间采用事件驱动模型确保数据高效处理。MIPI 屏软件则通过开源图形化界面设计工具 Qt Creator 和自定义 UI 库，实现直观的数据和图像展示。此外，为满足 YOLOv8 模型训练需求，制作了茶叶杂质数据集。数据集制作涵盖图像采集、标注及格式转换等步骤，经由专业标注工具完成标注后，将数据集依标准比例划分为训练集、验证集和测试集，为模型训练与优化奠定基础。开发环境和界面设计工具如下图所示。

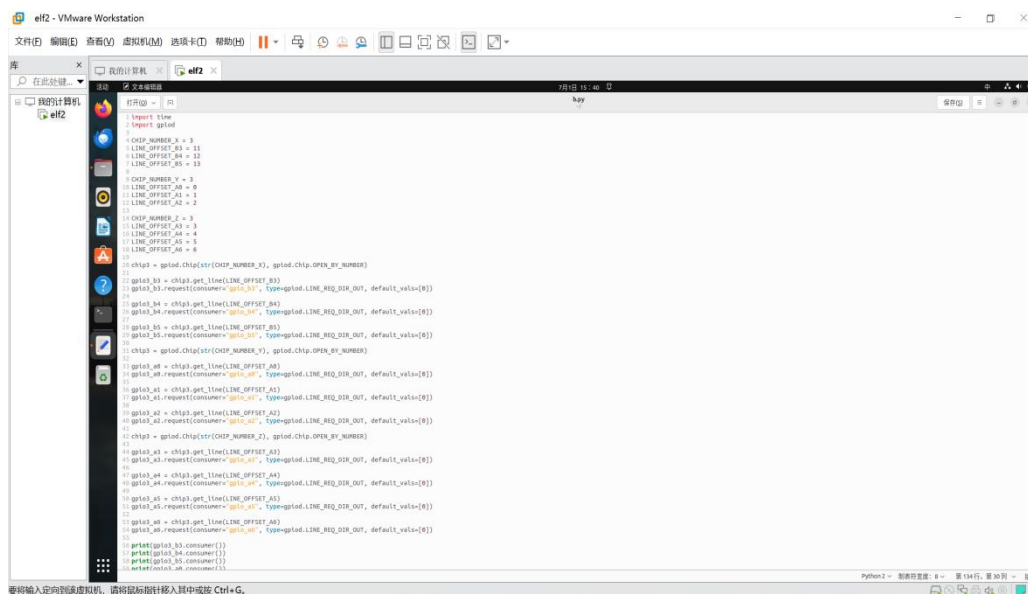


图 2-9 Linux 开发界面

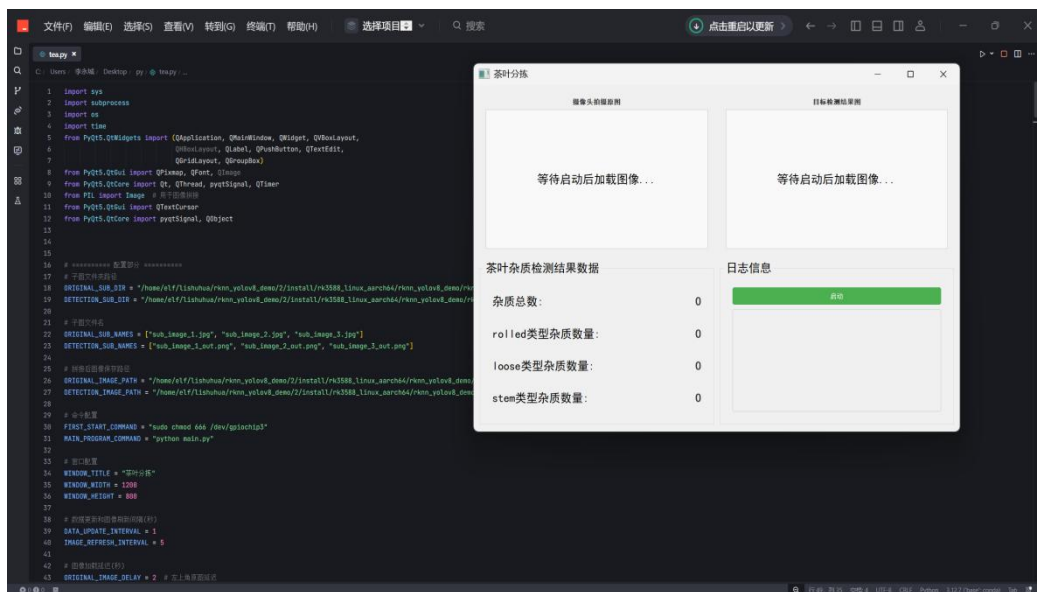


图 2-10 PyQt5 界面设计开发环境

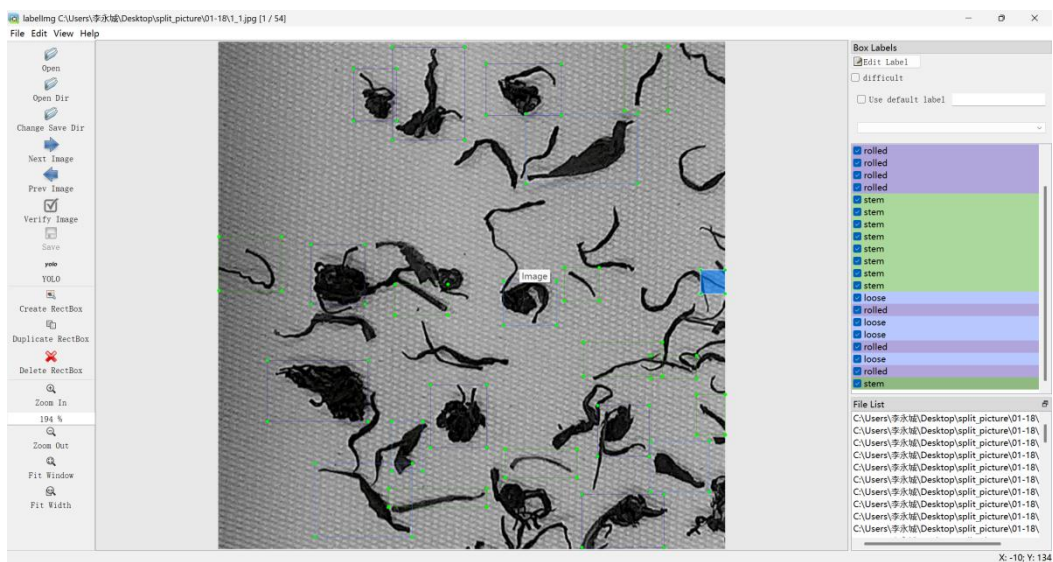


图 2-11 YOLOv8 数据集制作界面

2.3.2 软件各模块介绍（根据总体框图，给出各模块的具体设计说明。从顶层到底层逐次给出各函数的流程图及其关键输入、输出变量）；

1) 整体主流程

系统软件主流程如图 2-12 所示。

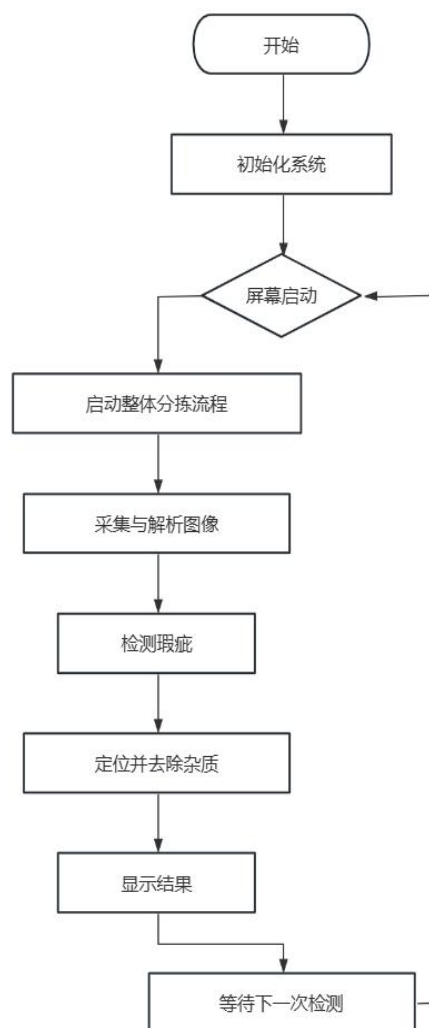


图 2-12 系统软件主流程图

初始化系统：RK3588 芯片进行自检，初始化 GPIO 接口、MIPI DSI 接口和 USB 接口，确保各模块正常工作。

屏幕启动：显示屏使用触摸启动，当启动按键按下，对整个流程发出启动信号

采集与分析图像：当 RK3588 芯片接收到启动信号好，首先通过 USB 接口启动摄像头拍摄图片。图片的分辨率为 1920*1080，然后将图片进行分割为 3 张 640*640 的图片。

检测杂质：分割后的图像输入 YOLOv8 模型，RK3588 芯片的 NPU 加速推理，检测出茶叶中的杂质种类（粗叶、团叶与茶梗）及其坐标位置。

定位并去除杂质：将输出的坐标保存在 txt 文件中，然后三轴滑台读取这些坐标依次移动到杂质的位置后，启动吸取装置分离杂质。

显示结果：将所以杂质的信息以及杂质分析的结果显示在屏幕上。

2) MIPI 屏幕模块

MIPI 屏幕模块的设计基于 PyQt5，界面包含一个启动按钮，按下后可启动茶叶杂质检测与分拣流程。首先调用 camera_controller.py 拍摄一张茶叶的图片，然后调用 Image_processor.py 将图片分割成 3 张 640*640 的图片，然后将图片放入 yolov8.py 文件中进行杂质的区分并将杂质的信息储存在 txt 文件中，然后调用 motor_controller.py 从 txt 文件中读取信息放入三轴滑台中进行杂质定位及吸附。



图 2-13 屏幕软件设计图

3) 图片处理模块

camera_controller.py: 从 USB 摄像头中捕获一帧图片，即拍摄

Image_processor.py: 将 1920*1080 的图片分割成 3 张无重叠的 640*640 的图片

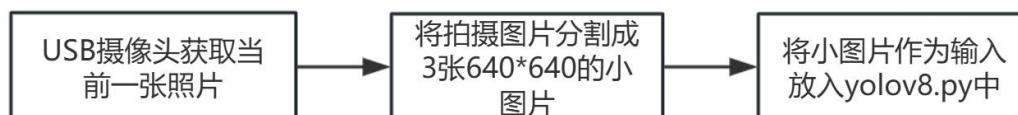


图 2-14 图片处理流程图

4) 数据处理模块

yolov8.py: 将处理好的图片放入 yolov8 模型中进行杂质的识别

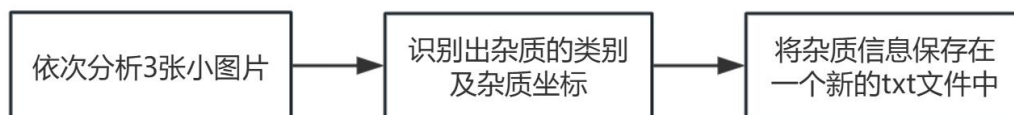


图 2-15 数据处理流程图

5) 电机定位模块

motor_controller.py: 将杂质的坐标进行映射算出电机实际的坐标，然后根据坐标算出步进脉冲，依次输入到电机中，每定位一个杂质就启动负压吸附装置。在所有杂质吸取完成以后，电机回到设定的原点。

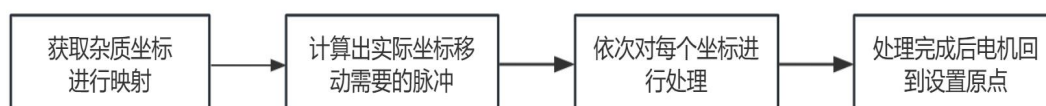


图 2-16 电机定位流程图

第三部分 完成情况及性能参数

3.1 整体介绍

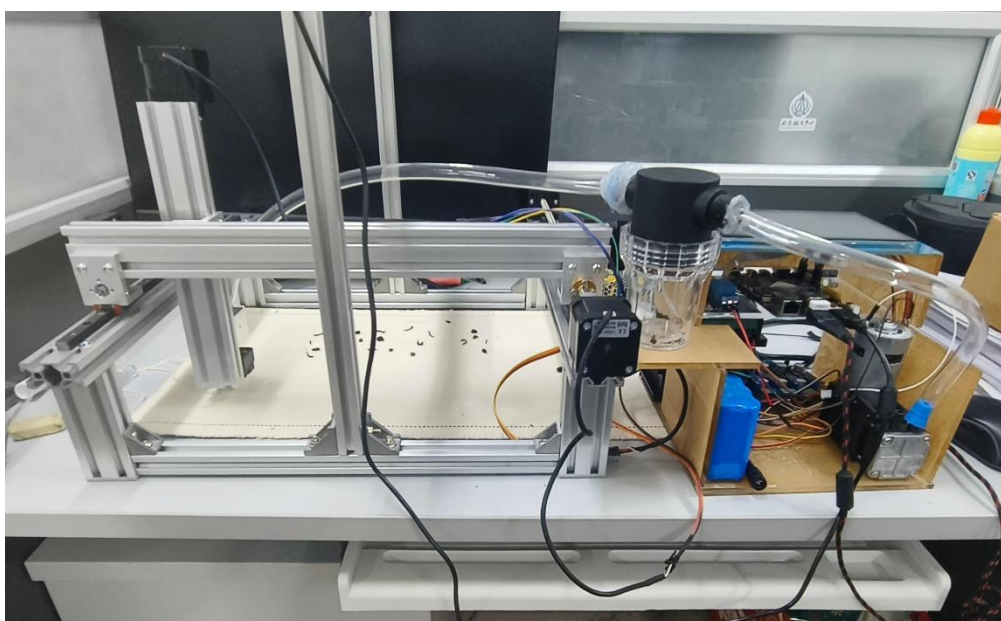


图 3-1 整体系统正面展示

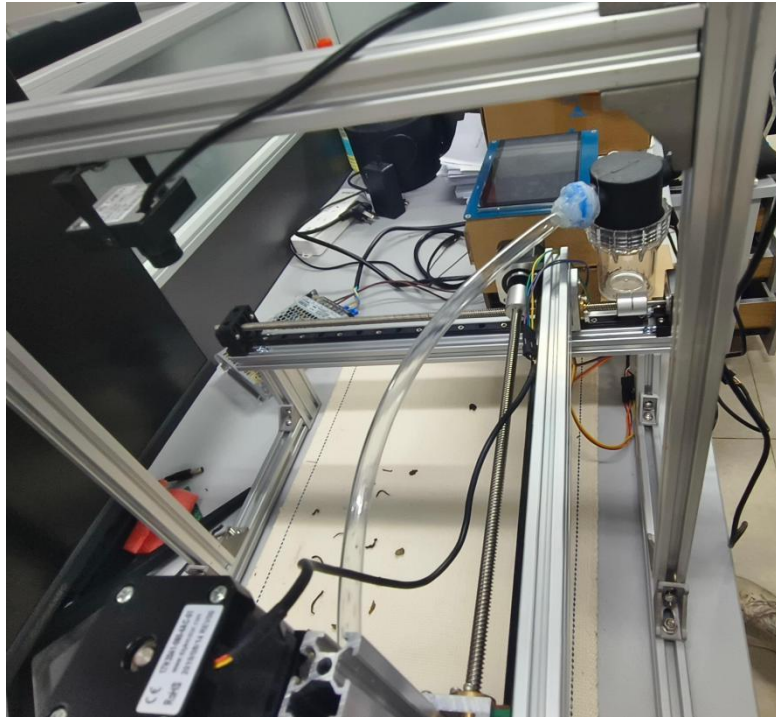


图 3-2 整体系统侧面展示

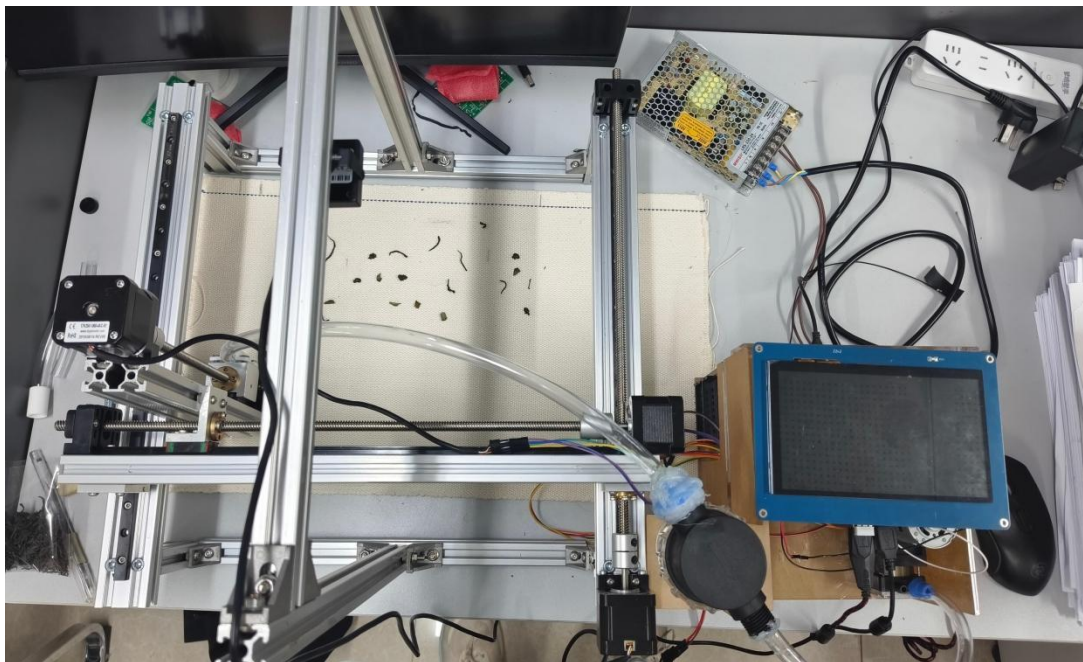


图 3-3 整体系统全面展示

3.2 工程成果（分硬件实物、软件界面等设计结果）

3.2.1 机械成果；

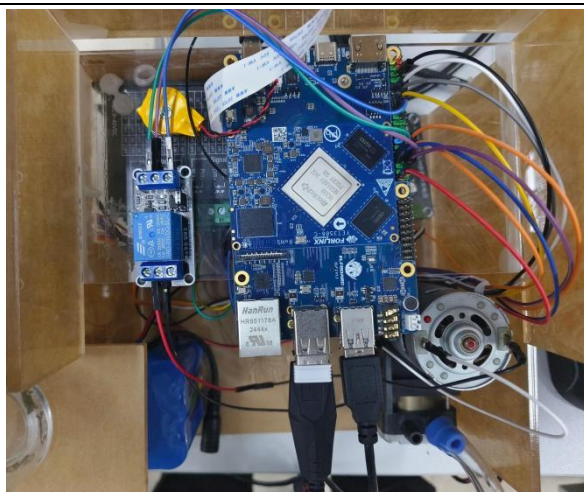


图 3-4 RK3588 开发板

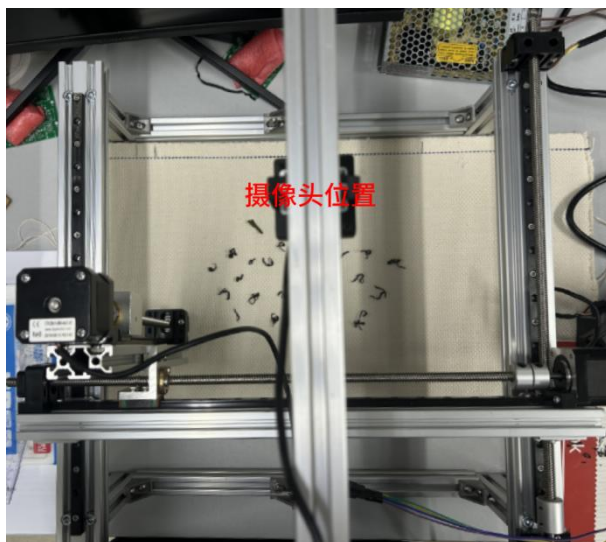


图 3-5 三轴滑台与摄像头



图 3-6 MIPI 显示屏

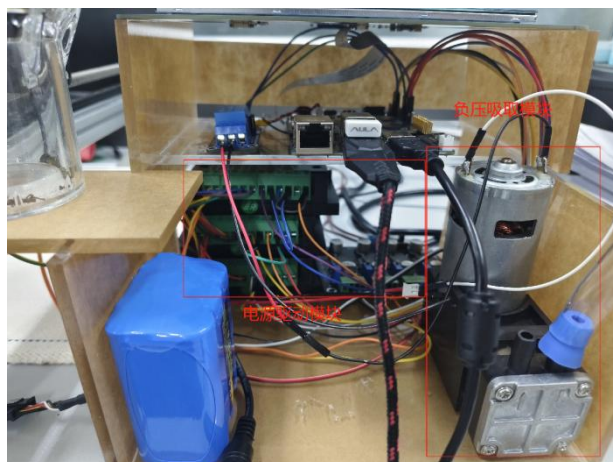


图 3-7 负压吸取模块及电源驱动模块

3.2.2 电路成果；

RK3588 开发板, GPIO 接口用来控制三轴滑台, 同时连接继电器来控制电机吸取。

还有屏幕连接和 USB 摄像头连接



图 3-8 整体系统电路连接

3.2.3 软件成果；

MIPI 屏幕界面设计展示杂质信息包括杂质的种类以及数量, 和经过 YOLOv8 模型分析过的图片对比

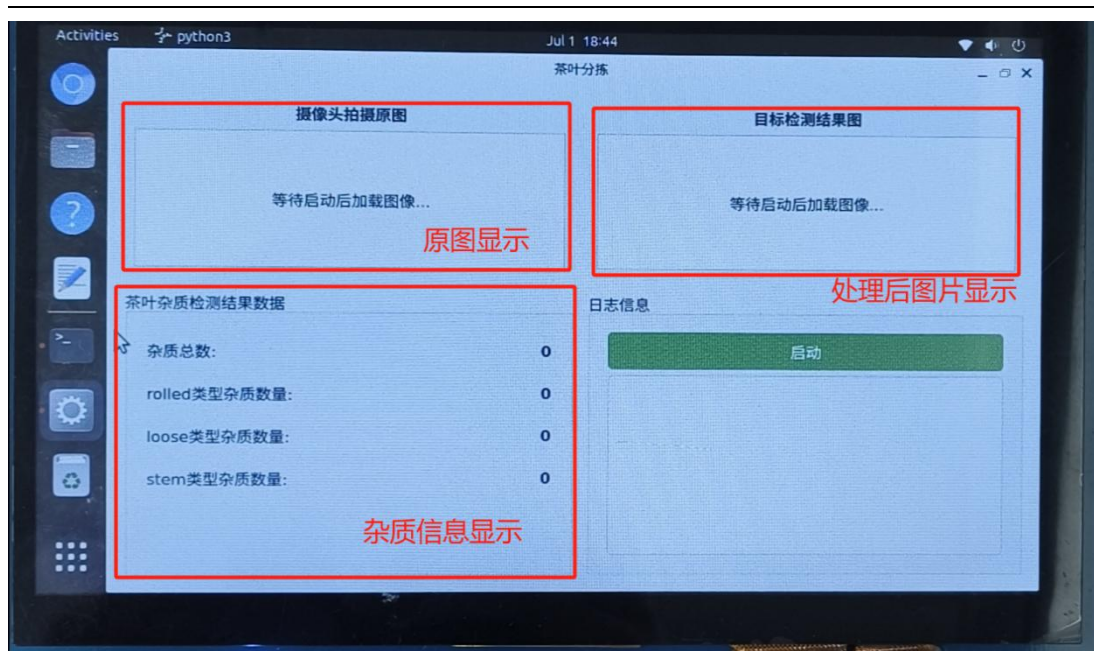


图 3-9 屏幕软件设计图

3.3 特性成果（逐个展示功能、性能参数等量化指标）（可加重要仪器测试或现场照片）；

进入杂质检测：

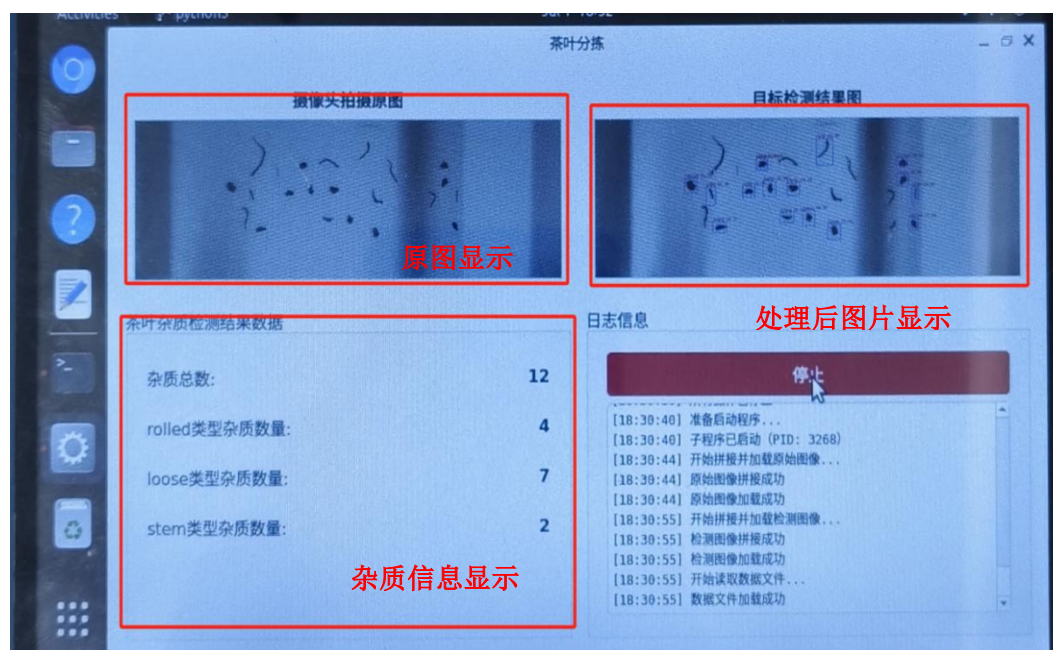


图 3-10 杂质检测

图 3-10 可以看出，绝大部分杂质都被检测到，以及所有种类杂质的数量

三种杂质特征：

粗叶：叶片较大、较厚，叶脉突出，边缘粗糙，颜色较深，呈暗绿色或褐色。

团叶：叶片粘连成团，颜色相近但显暗淡，质地软且易碎。

茶梗：呈细长的圆柱形，是茶叶的茎部，质地较硬颜色较浅，呈黄绿色或浅褐色



表 3-1 杂质测试结果

杂质个数	5 个	8 个	12 个	15 个	18 个
团叶	2	3	4	5	6
粗叶	2	3	4	5	6
茶梗	1	2	4	5	6
正常茶叶	5-10 个	5-10 个	5-10 个	5-10 个	5-10 个
杂质残余	0	1	2	2	3
去除效率	100%	87%. 5	83. 3%	86. 6%	83. 3%

测试结果可知：在杂质数量较少的情况下，可以有效去除全部杂质。随着杂质数量不断增加，去除率会有所下降，但是也能去除绝大部分杂质。

第四部分 总结 可扩展之处

智能决策优化：引入深度学习强化算法，根据分拣结果动态调整分拣策略，提升系统适应性和效率。

远程监控与集群管理：增加网络通信模块，实现多台分拣设备的远程监控与协同管理，适用于大型茶厂的多生产线场景。

分拣结果智能分析：开发基于大数据分析的分拣结果可视化平台，为茶叶质量控制和工艺优化提供数据支持。

模块化设计：将系统各功能模块设计成可插拔式，便于根据实际需求进行灵活配置与升级。无论是增加新的检测功能，还是替换老旧部件，都能快速完成，降低维护成本，提升系统的可扩展性和适应性。

4.2 心得体会

围绕“基于 RK3588 边缘计算平台的茶叶瑕疵分拣系统”这一项目展开研发与制作，对我们而言是一次极其宝贵且充满挑战的经历。从项目构思、方案设计、硬件选型、软件编程到最终的测试与优化，每一步都凝聚了团队成员的智慧与汗水，也让我们深刻体会到了理论与实践相结合的重要性。

在研发初期，我们面临诸多挑战：如何精准检测茶叶瑕疵、实现快速分拣，以及确保系统的稳定性和高效性。通过深入研究，我们选定了 YOLOv8 算法模型，其强大的目标检测能力完美契合项目需求。借助 RK3588 芯片的高性能运算支持，我们成功实现了毫秒级推理速度，为实时检测提供了坚实基础。在这一过程中，团队成员深入钻研算法优化，反复调试参数，确保了检测精度与速度的平衡。

硬件设计同样充满挑战。三轴运动平台的精度直接影响分拣效果，我们通过不断优化机械结构和控制逻辑，实现了高精度的杂质定位与去除。MIPI 显示屏的集成则进一步提升了用户体验，使得操作更加直观便捷。在硬件调试阶段，团队成员夜以继日地排查问题，从电路连接到信号传输，每一个细节都不放过，最终确保了系统的稳定运行。

软件开发过程中，我们采用了模块化设计思想，降低了系统耦合性，提高了代码的可维护性和可扩展性。通过事件驱动模型，我们实现了各模块间的高效数据流动与处理。在开发与调试过程中，团队成员紧密协作，不断优化代码结构，修复潜在漏洞，确保了系统的高效运行。

本次项目也存在可改进之处。例如，可进一步优化算法以适应更多种类的茶叶和复杂环境；在硬件方面，可探索更高效的机械结构和更低功耗的设计方案。

总的来说，这次项目不仅让我们学到了许多专业知识和技能，更让我深刻体会到了团队合作、理论与实践相结合、持续学习与探索以及创新与优化的重要性。我相信这些经验和体会将对我们未来的学习和工作产生深远的影响。

第五部分 参考文献

- [1]施引文. 茶叶加工过程中杂质检测与去除技术研究进展[J]. 茶叶科学, 2020, 40(3):234-240.
- [2]刘强, 张伟. 基于机器视觉的农产品表面缺陷检测技术研究进展[J]. 农业工程学报, 2019, 35(5):12-21.
- [3]王芳, 李明. YOLOv8 算法在水果表面缺陷检测中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2023, 59(12):102-108.
- [4]张伟, 刘强. 基于深度学习的农产品图像识别技术研究进展[J]. 农业机械学报, 2020, 51(2):120-126.
- [5]李明, 王芳. RT-Thread 操作系统在嵌入式视觉系统中的应用[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2022, 22(6):17-22.
- [6]郑浩峻, 张秀丽. 足式机器人生物控制方法与应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2011.
- [7]李明, 王芳. 基于 PyQt5 的嵌入式人机界面设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(4):123-127.
- [8]刘强, 张伟. 农产品加工中的智能化分拣技术[J]. 农产品加工, 2020, 32(4):45-49.
- [9]张伟, 刘强. 基于机器视觉的茶叶等级自动识别系统[J]. 茶叶通报, 2019, 37(2):56-61.
- [10]王芳, 李明. 嵌入式系统在智能农业中的应用研究[J]. 农业科技通讯, 2022, 54(2):121-126.