

壳·心双鉴

飞凌 ELF2 赋能边缘 AI 与高光谱的蛋品双维检测

摘要

为解决传统鸡蛋质量检测中存在的效率低、主观性强、破坏性操作与分级不准确等问题,本文实现了一种基于边缘 AI 的鸡蛋质量智能检测与自动分级系统。系统融合视觉感知与光谱分析双重机制,采用基于 YOLOv8-Swin Transformer 的先进目标检测算法,对鸡蛋表面微裂纹进行高效识别。该算法结合 YOLOv8 的高性能检测架构与 Swin Transformer 的多尺度特征提取能力,具备以下优势:

高精度检测: Swin Transformer 在 COCO 数据集上取得 58.7 box AP 和 51.1 mask AP,精准识别蛋壳表面微裂纹;

鲁棒性强:多层次特征与全局注意力机制共同提升模型在复杂光照与多样纹理下的稳定表现;

智能适应:无论是流水线速度的挑战,还是蛋品自然变异带来的干扰,系统均能保持高识别率。

在裂纹识别之后,系统结合多波段窄带 LED 光源与高灵敏度光电传感器阵列,采集鸡蛋的透射信号,构建 24 维光谱特征,并通过 MLP(多层感知机)实现对新鲜度的非破坏性分类。系统核心由飞凌 ELF2(RK3588)边缘 AI 平台与 STM32 控制器协同驱动,结合 DMA 环形通道与三轴机械分拣平台,实现从感知、分析、判别到执行的自动化闭环。

在检测之后,系统将识别结果同步传输至智能推理引擎——DeepSeek 分析中心,融合多模态环境知识与运输模型,对每一颗鸡蛋的储运建议、保质周期与食用优先级进行推演与反馈。DeepSeek 的引入,不仅拓展了系统的决策维度,也在结果呈现上赋予了更加具象的生活价值,为用户提供“可交付的建议”,实现从检测到消费的全链路智能联动。

经过多轮部署与性能优化,系统在裂纹检测任务中准确率达 96.7%,新鲜度分类精度提升至 93.4%。此外, Swin Transformer 在 ImageNet-1K 上取得 87.3%

top-1 准确率，ADE20K 上实现 53.5 mIoU，进一步验证其视觉泛化能力。

系统整体具备结构紧凑、部署灵活、性能稳定、链路闭环等特点，适用于中小型蛋品加工企业与农产品智能分拣设备。研究成果显示，该方案在“边缘智能 × 多模态感知 × 推理推荐”的协同机制下，为农产品质量智能分级提供了高度实用的落地路径，也在推动 AI 在食品产业链中的全场景嵌入与价值外溢。

第一部分 作品概述

1.1 功能与特性

本项目开发了一套面向蛋品加工行业的智能鸡蛋质量检测与分级系统，基于边缘 AI 技术，融合视觉识别与多波段光谱分析，实现鸡蛋质量的高精度、非破坏性智能评估。

视觉识别模块采用 YOLOv8 与 Swin Transformer 混合算法，兼具局部高效感知和全局自注意机制，能够精准识别复杂背景和多样化纹理条件下的蛋壳微裂纹，检测准确率高达 96.7%。

光谱感知模块通过 620nm、700nm、800nm 三波段 LED 照明与 OPT101 光电传感器阵列，采集鸡蛋内部 24 维光谱特征，利用 MLP 神经网络快速准确判断鸡蛋新鲜度，实现无损智能分级，分类精度超过 93%。

系统硬件平台基于 RK3588 和 STM32 异构协同架构，结合 DMA 环形通道与三轴机械分拣装置，实现感知、决策、执行一体化闭环控制，满足流水线的高速、高效运行需求。

此外，系统配备 DeepSeek 智能分析中心，自动融合检测结果、历史数据与环境信息，生成个性化的运输方式、冷链存储和食用优先级建议。通过 Tkinter 开发的图形界面直观展示数据和建议，方便产线管理与品质追溯。

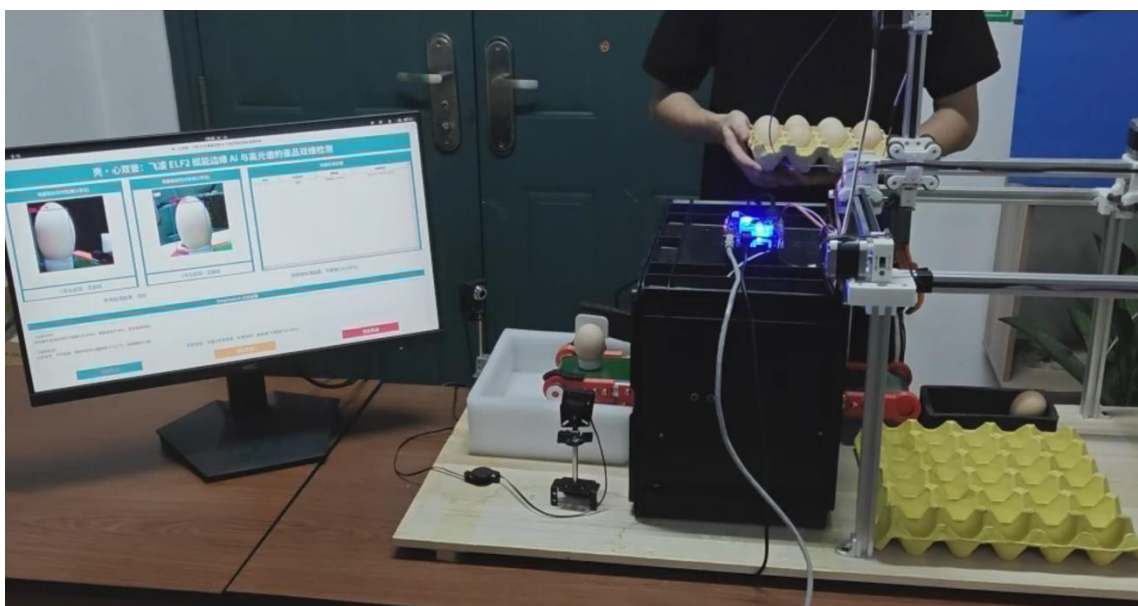


图 1 系统实物图

1.2 应用领域

本项目聚焦于蛋类食品加工行业的自动化与智能化升级，面向大型蛋品分拣企业、农业智能装备制造制造商及科研教学单位等应用场景，开发了一套可嵌入流水线的智能鸡蛋质量检测系统。系统在完成鸡蛋外观与新鲜度检测的同时，拓展了对流通链条可追踪性和使用价值感知的进一步支持。

依托 DeepSeek 的知识网络分析引擎，系统能够基于鸡蛋裂纹与新鲜度分级结果，为不同蛋品匹配合理的贮藏温度、运输优先级标签与消费推荐档案，解决传统检测“只分等级不管后续”的短板，推动从“分好”向“用好”进化。

项目方案相较传统人工检测与大型设备，具备高效率、低成本、结构紧凑和适配性强等优势，尤其适合中小规模养殖场和农产品加工企业的质量标准化与自动分拣需求。整体方案有助于提升鸡蛋流通过程中的质量控制能力，推动农产品加工行业向智能化、服务化方向演进，同时也为农业+AI 的深度融合提供实际样本与工程范式。



图 2 工厂内鸡蛋检测流水线

1.3 主要技术特点

本系统以“视觉+光谱”双通道感知为核心，集成多项先进智能检测技术：

目标检测层：采用 YOLOv8-Swin Transformer 结构，结合金字塔特征与局部注意力机制，在不同尺度下精准提取蛋壳微小裂纹特征，检测准确率高达 96.7%，具有强鲁棒性与环境适应力。

光谱分级层：通过三波段窄带 LED 光源与 OPT101 高灵敏度光电传感器阵列构建 24 维光谱向量，输入 MLP 神经网络，实现鸡蛋新鲜度的非破坏式智能分级，分类精度达 93% 以上。

执行与通信层：采用飞凌 ELF2 边缘 AI 平台与 STM32 协同架构，配合 DMA 环形缓冲与多线程调度，支持高并发、低延迟的数据处理与三轴执行操作。

智能推荐层：在视觉识别与光谱分级之后，系统将检测结果打包传送至 DeepSeek 分析引擎，在后端完成跨域语义融合与知识图谱检索，生成智能建议回传系统界面，便于操作员参考执行。

系统整体采用模块化设计，软硬件协同构建一体化检测—推理—反馈链路，支持工业环境下的长期稳定运行，同时也具备良好的跨品类扩展能力，适用于多种农产品品质智能检测需求。

1.4 主要性能指标

系统在裂纹检测准确率、分级精度、实时性和吞吐能力等方面均达到行业领先水平，满足工业流水线高效、稳定的自动分选需求。同时，配合 DeepSeek 推理反馈机制，系统在数据实用性与后处理智能化方面表现尤为突出。具体性能如下表所示：

表 1 重要性能指标

指标类别	性能参数	测试结果
裂纹检测准确率	mAP@0.5	96.70%
裂纹召回率	Recall	90.10%
新鲜度分类精度	分类准确率	93.00%
单帧推理延迟	裂纹检测（RK3588 平台）	<20ms
DeepSeek 反馈时延	检测后至反馈建议生成	<500ms
可扩展性	多品类农产品检测适配	支持水果/坚果等扩展

此外，通过 DeepSeek 深层推荐模型，在实际部署中系统可进一步分类出“需优先食用蛋品”“可入冷藏链条蛋品”等具体标签，增强检测结果的后续价值，使系统从质量检测平台跃升为具备消费指导能力的智能服务节点。

1.5 主要创新点

- 创新融合 YOLOv8 与 Swin Transformer，实现视觉检测多尺度感知与微裂纹精准识别，适应工业复杂环境。
- 首次采用 620/700/800nm 三波段 LED 与 MLP 网络，实现鸡蛋新鲜度无损精密建模，分类精度超 93%。
- 基于 RK3588+STM32 嵌入式异构协同平台，构建 DMA 环形缓冲与多线程并发控制，确保流水线实时高效执行。
- 引入 DeepSeek 智能分析中心，提供个性化存储、运输与食用建议，系统广域适配水果、坚果检测场景。

1.6 设计流程

本系统围绕鸡蛋裂纹识别难、新鲜度判断主观性强、缺乏后续建议三大痛点，构建“视觉+光谱+智能反馈”三层架构。设计流程涵盖需求分析、方案论证、硬件选型、模型开发、软硬协同与系统优化。采用 YOLOv8-Swin Transformer 融合模型实现高精度裂纹检测，结合 620/700/800nm 三波段 LED 与 OPT101 阵列采集光谱特征，通过 MLP 实现鸡蛋新鲜度的非破坏性分级。系统以 RK3588 与 STM32

为核心，构建边缘计算与执行闭环控制架构。检测结果同步至 DeepSeek 智能分析中心，生成个性化建议卡片并在图形化界面展示，完成从“检测—分级—反馈”的全链路闭环，赋能蛋品企业智能化升级。

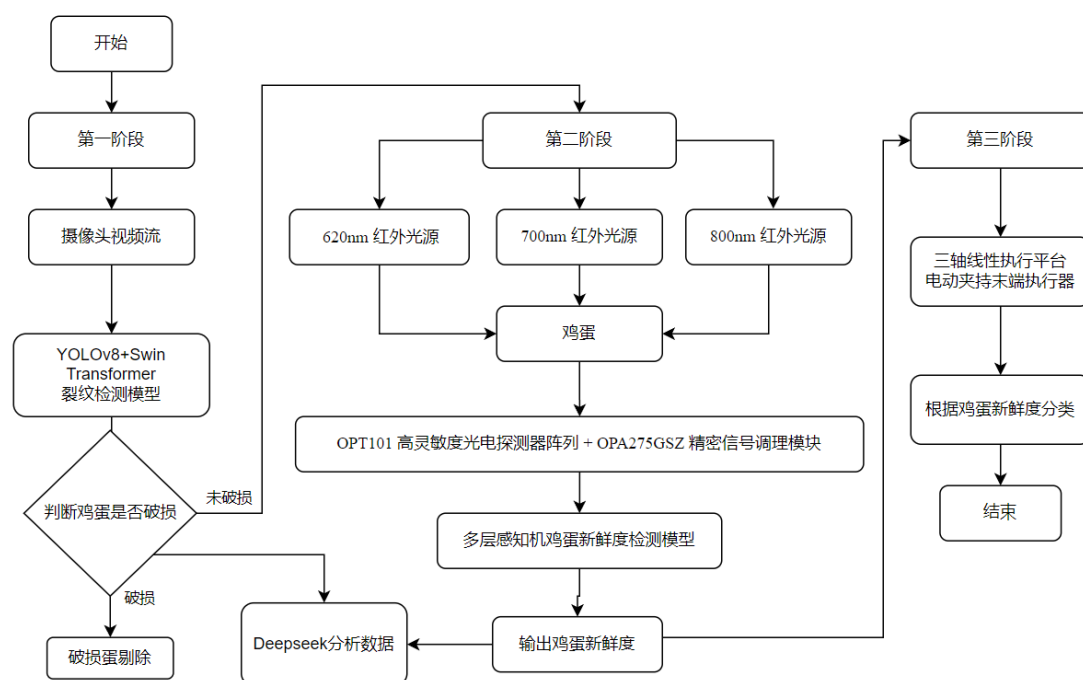


图 3 整体流程图

第二部分 系统组成及功能说明

2.1 整体介绍

本系统围绕“从识别到建议”的完整流程，设计了一套融合视觉识别、光谱感知、智能推理与自动执行的鸡蛋质量检测与分级系统。系统整体由感知、分析、执行、反馈与交互五个环节组成，构建出覆盖检测、判断与后处理建议的全流程智能架构。

在感知环节，系统通过工业相机获取鸡蛋外观图像，配合三波段窄带 LED 光源及高灵敏度 OPT101 光电传感器阵列，同步采集透射光谱信息，捕捉鸡蛋表面与内部的多维特征。所有原始数据经过前端预处理后，将由分析模块完成进一步识别与判断。

分析核心采用飞凌 ELF2（RK3588）边缘计算平台，运行融合 YOLOv8 与

Swin Transformer 的视觉检测模型，用于精准识别蛋壳表面微裂纹；同时，基于 MLP 的光谱分析神经网络对透射特征进行新鲜度分类。整个分析过程以极低的延迟完成，确保流水线级实时响应。

在此基础上，系统引入了 DeepSeek 智能分析模块作为高级推理引擎。对于每一颗完成检测的鸡蛋，系统会将其结构化结果（如裂纹位置、新鲜度等级、采集时间、批次信息等）自动同步至 DeepSeek 反馈子系统。该模块基于其农业知识图谱与语义推理能力，快速生成运输、存储与食用方面的个性化建议，形成建议卡片，并通过图形化界面实时展示。

例如，对于裂纹较轻但新鲜度高的蛋品，系统可能建议其“适宜短期冷链运输，优先入市销售”；而对于外观完好但新鲜度临近边界的蛋品，则建议“快速冷藏保存，限期食用”，实现从识别走向“可执行”的智能推荐闭环。

执行层由 STM32 控制的三轴机械平台与夹爪组成，接收来自分析与建议模块的指令后，完成鸡蛋的精准抓取、搬运与对应分拣处理。同时，步进电机与输送带协同完成蛋品的流转与定位，确保整个系统的高吞吐率和流程连贯性。

交互界面方面，系统基于 Tkinter 构建图形化操作平台，实时展示裂纹图像、光谱结果、DeepSeek 建议卡片与系统运行状态，并支持历史记录查询、分级统计分析 & 结果导出，方便管理端对生产质量全流程把控与溯源。

整体来看，系统从“感知输入”到“建议输出”的每一步都进行了深度优化与智能联动，不仅实现了鸡蛋质量的高精度无损检测，更通过 DeepSeek 实现了对运输优先级、存储策略和消费建议的动态指引，构建出农产品品质检测向智能决策延展的新模式。

2.2 硬件系统介绍

2.2.1 硬件整体介绍；

本系统硬件架构采用“感知—分析—执行—反馈”四级分层设计，充分结合边缘 AI 与嵌入式控制技术，构建面向智能检测与建议推理一体化的整体架构。

感知层包括工业相机和三波段 LED 光源 + OPT101 光电传感器阵列，分别采集鸡蛋外观图像与多点多波段透射光信号，构建外观与内部结构的多维数据视图。分析层以飞凌 ELF2 为核心的嵌入式 AI 加速平台，负责视觉识别

（YOLOv8-Swin Transformer）与光谱分级（MLP）等任务，并通过与 STM32 主控单元的高速通信实现控制逻辑闭环。

值得一提的是，系统分析层中预设了结构化结果缓存机制与建议生成通道，可将每枚鸡蛋的检测结果（如裂纹置信度、新鲜度标签、批次编号等）实时汇总后传入智能反馈模块 DeepSeek。该模块可基于结果生成针对性运输、存储与消费建议，并由系统回传至图形界面或云端同步管理，完成从检测到建议的智能闭环。

执行层由三轴线性平台、舵机夹爪、步进电机及工业输送带组成，完成鸡蛋的精准抓取、搬运与自动分拣。各模块通过独立电源、信号隔离与 DMA 环形缓冲机制协同工作，保障系统运行的高吞吐与实时响应。整机硬件结构紧凑、接口标准，具备良好的扩展性，适用于嵌入式部署与多场景工业适配。

2.2.2 机械设计介绍

本系统机械结构分为裂纹鸡剔除装置、输送平台、三轴线性执行机构和末端夹爪四大部分，旨在实现鸡蛋的精准提出、输送、分拣与自动抓取。

1. 输送平台

采用工业同步皮带输送带，配备标准型蛋托槽，每颗鸡蛋独立限位，防止滚动与偏移。皮带由步进电机（A4988 驱动）控制，速度与同步定位精度高。输送带两端设置微动限位开关，实现位置检测与流程同步。



图 4 输送平台

2. 三轴线性执行平台

由 X、Y、Z 三向直线模组组成，分别承载步进电机，通过 A4988 细分驱动模块实现高精度定位。每个轴均采用高强度铝型材导轨，滑块顺畅，结构稳固。平台布局紧凑，便于集成至流水线环境。各轴运动范围及速度参数可根据分拣需求灵活设定。



图 5 三轴线性平台

3. 末端夹爪

采用高扭矩舵机驱动的四指柔性夹爪，指端选用柔性防滑高分子材料，贴合鸡蛋表面，防止损伤。舵机通过 PWM 信号调节夹爪张合角度，实现柔性抓取。夹爪结构支持快拆，便于维护与更换。



图 6 末端夹爪

4. 裂纹鸡蛋剔除装置

整体采用模块化设计，便于装配和维护。所有运动部件均配合限位与缓冲结构，提升运行寿命与安全性。机架采用铝合金型材，稳固且抗腐蚀，适用于食品级环境。

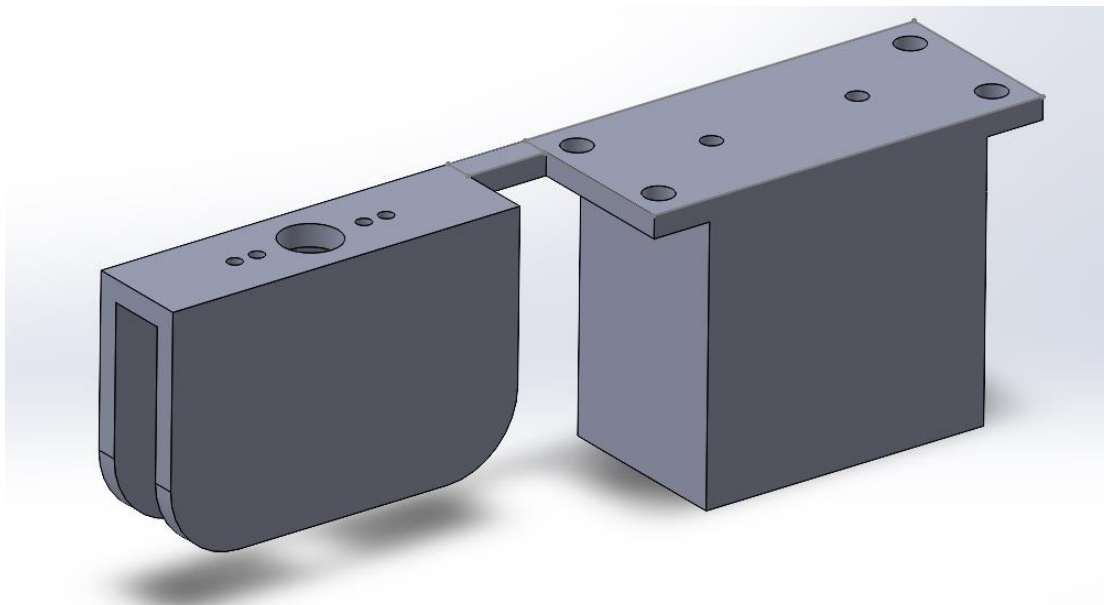


图 7 鸡蛋剔除装置零件图

通过上述机械结构设计，系统可实现鸡蛋从输送、检测到自动抓取与分拣的全流程自动化，兼顾速度、精度与安全性，适用于工业化生产环境。

2.2.3 电路各模块介绍

电路系统总体结构：系统电路设计采用分层模块化方案，主要包括电源管理、感知采集（光谱与视觉）、主控与通信、驱动执行四大核心单元。各模块通过标准接口连接，确保信号传输稳定、抗干扰能力强。

1. 电源管理模块

设计说明：设有 AC-DC 适配器，将交流电转换为 24V 直流主电源，分级降压至 12V/5V/3.3V，分别供给步进电机、舵机、主控板及传感器等。

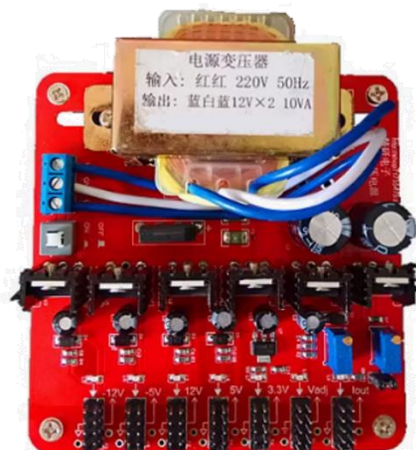


图 8 多路线性稳压电源

2. 感知采集模块

视觉部分：工业相机通过 USB 接口与飞凌 ELF2 边缘 AI 模块连接，负责图像采集。光谱部分：三波段 LED 光源由 STM32 控制开关，光路透过鸡蛋后由 OPT101 光电传感器接收，输出模拟电压信号。

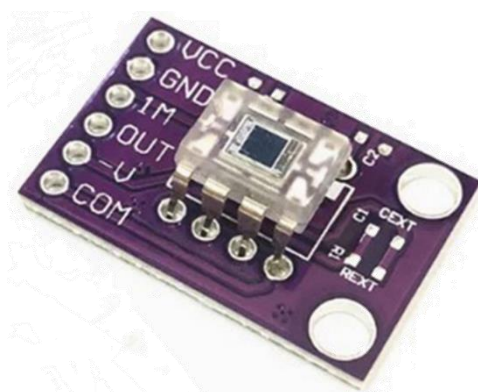


图 9 OPT101

3. 主控与通信模块

主控单元：STM32 微控制器，负责光谱采集、运动控制、数据中转。

AI 加速单元：飞凌 ELF2，负责视觉推理、数据处理。

通信接口：STM32 与飞凌 ELF2 通过 UART 串口实现高速数据交换，支持 DMA 环形缓冲；与执行层通过 GPIO/PWM 等方式通讯。

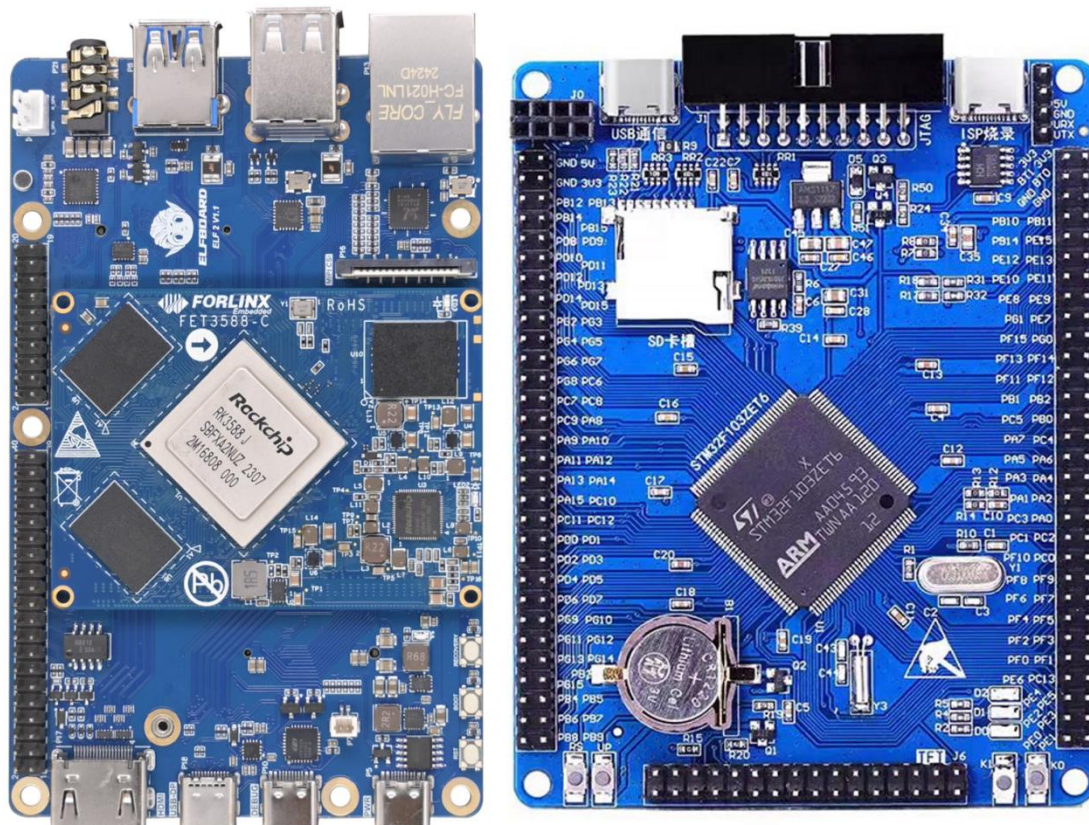


图 10 主控芯片

4. 驱动与执行模块

步进电机驱动：A4988 模块接收 STM32 脉冲信号，控制三轴平台移动。

舵机驱动：STM32 通过 PWM 输出控制夹爪舵机动作。

信号流：脉冲信号（STM32→A4988）、PWM 信号（STM32→舵机）。

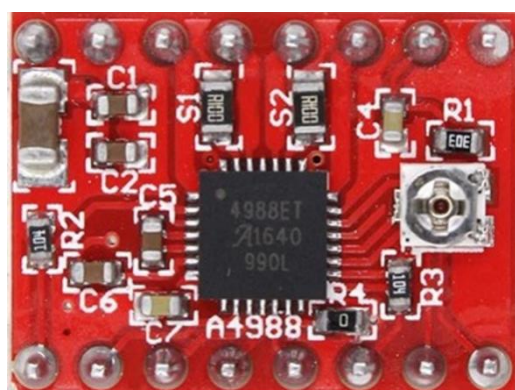


图 11 A4988 步进电机驱动模块

2.3 软件系统介绍

2.3.1 软件整体介绍

本系统软件架构采用模块化设计，分为边缘 AI 推理端、嵌入式控制端、PC 管理界面以及智能反馈辅助模块（DeepSeek）四大核心部分，协同实现鸡蛋的外观裂纹识别、内部新鲜度分级、分拣控制与个性化处理建议输出。

边缘 AI 端基于飞凌 ELF2 平台，集成了融合 YOLOv8 与 Swin Transformer 的视觉检测模型及 MLP 光谱分级神经网络，运行于 Rknn 推理加速环境中，完成对每枚鸡蛋的高效智能判别。检测结果以结构化格式记录，包括检测时间、蛋位编号、裂纹置信度、新鲜度等级、批次编号等关键字段。

结构化结果经由内部接口同步至 DeepSeek 智能反馈模块，该模块基于预置农业知识图谱与语义规则引擎，对检测结果进行语义解析与场景推理，自动生成运输、存储、销售或食用方面的处理建议。例如：“轻微裂纹，建议 3 日内冷藏食用”、“新鲜度良好，适合长途运输”等。建议内容通过标准格式嵌入回原始数据结构，并在 PC 端图形界面中一并展示，用户可直接查看检测结果与建议内容，提升判断效率与可执行性。

STM32 控制端负责多通道 ADC 采集、光源控制、电机调度与分拣流程同步，并通过 UART 与 ELF2 实时通信，保证采集与推理过程的数据一致性和调度准确性。控制逻辑中加入 DMA 环形缓存与状态机机制，实现高并发下的数据无丢包传输与系统稳定运行。

PC 管理界面采用 Tkinter 构建，涵盖系统运行监控、检测图像展示、检测记录列表、统计报表导出与 DeepSeek 建议卡片实时渲染功能。系统支持局域网内访问与历史数据查询，检测结果和建议均支持导出，便于工厂溯源与管理统计。

整体软件系统强调“感知—分析—建议—控制”四位一体，结合硬件底层与智能辅助模块，实现从鸡蛋质量检测到建议生成的智能闭环，进一步提升农产品分级系统的实用性与行业推广价值。

2.3.2 软件各模块介绍

1. 视觉分析模块

功能：调用 YOLOv8-Swin Transformer 推理模型，对工业相机实时采集图像进行检测，识别鸡蛋表面裂纹，输出坐标、类别、置信度、图像编号、时间戳等结构化数据。

关键输入：相机图像帧

关键输出：裂纹检测结果

流程图简述：

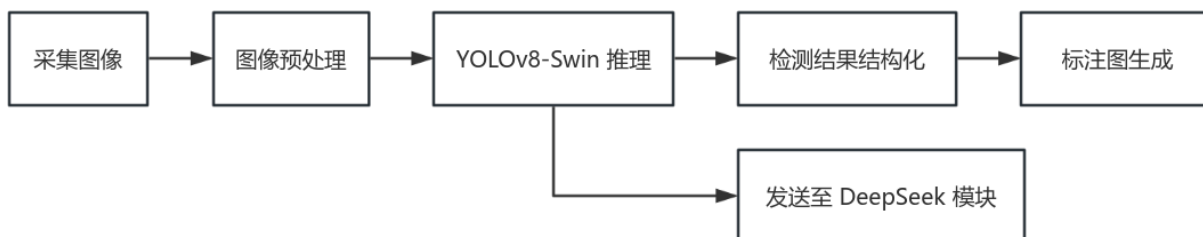


图 12 视觉分析模块流程图

2. 光谱分析模块

功能：通过 STM32 控制三波段 LED 光源采样，并读取由 OPT101 阵列输出的透射信号，形成 24 维光谱特征向量，输入至 MLP 模型完成鸡蛋新鲜度非破坏式分类。

关键输入：传感器 ADC 值

关键输出：MLP 推理输出（新鲜度标签：新鲜/次新鲜/不新鲜）

流程图简述：

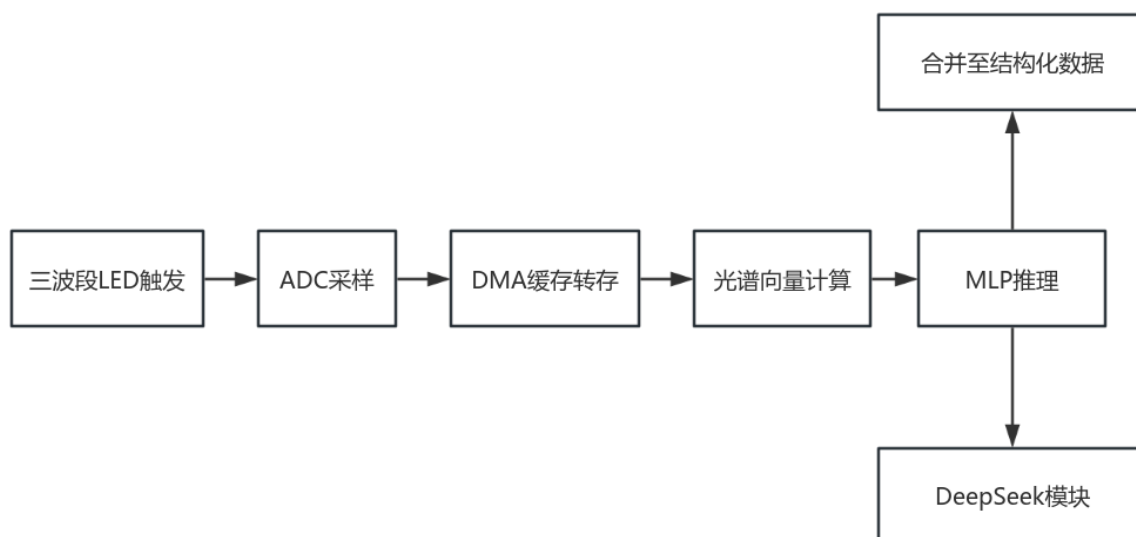


图 13 光谱分析流程图

3. 智能建议模块（DeepSeek）

功能：接收视觉与光谱模块的结构化检测结果，结合鸡蛋特征、分级标签、批次时间、检测环境等上下文信息，通过农业知识库和规则引擎进行推理，为每枚鸡蛋生成专属运输、存储、使用建议。

关键输入：裂纹检测结果（位置、置信度）、新鲜度等级

关键输出：建议文本、联动 UI 显示模块输出建议卡片

流程图简述：



图 14 智能建议模块流程图

4. 通信模块

功能：建立飞凌 ELF2、STM32 与 PC 端三者之间的双向数据通信链路，确保视觉/光谱采集、AI 推理、执行控制与建议反馈全流程高效协同。

关键输入/输出：串口数据帧、网络数据包

流程图简述：

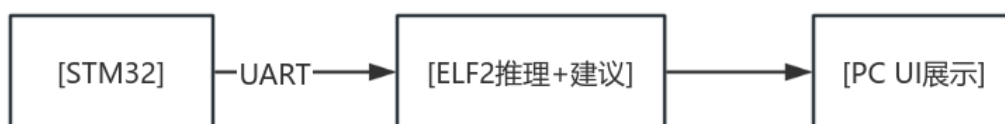


图 15 通信流程图

第三部分 完成情况及性能参数

3.1 整体介绍

本系统已完成软硬件集成与调试，各项功能稳定运行，整体结构紧凑美观，具备工业化应用能力。下图展示了系统实物的正面及斜 45° 全局视角：

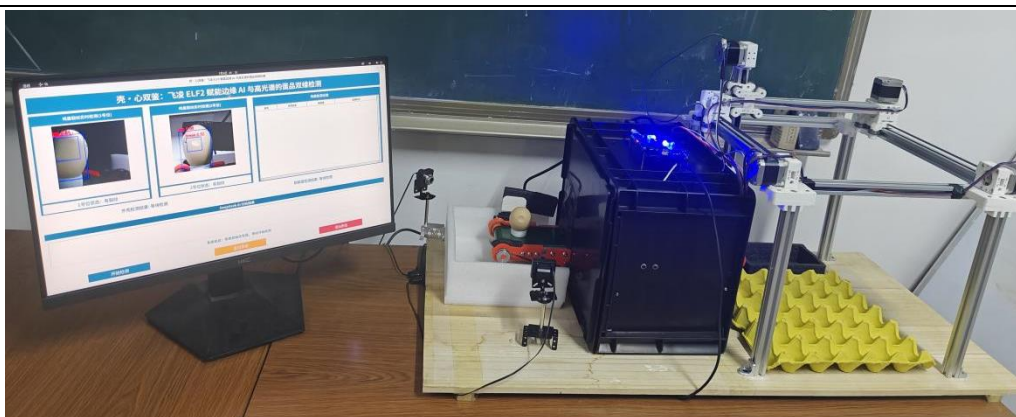


图 16 系统实物正面照

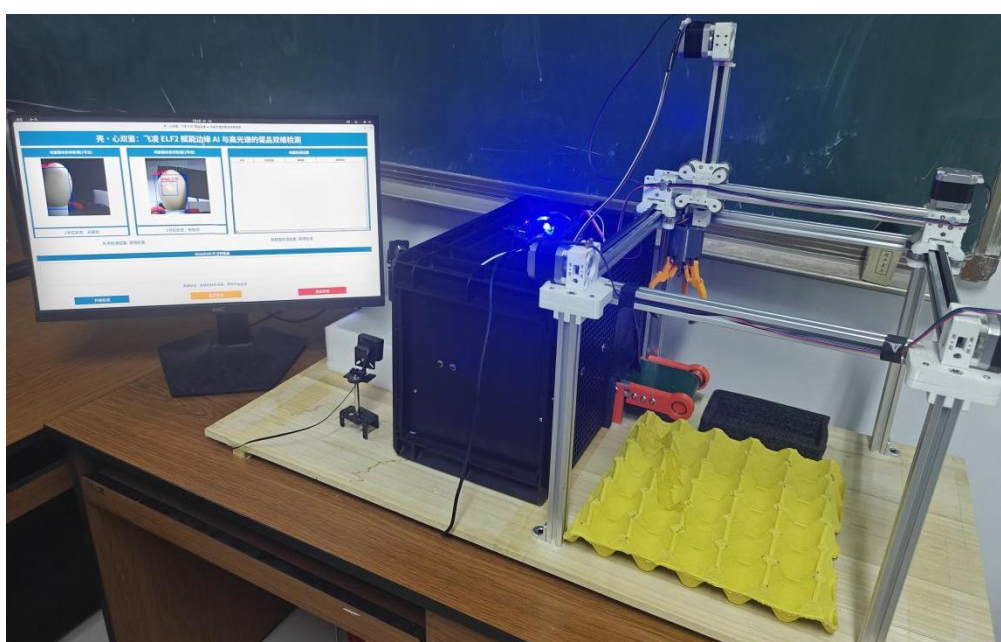


图 17 系统实物斜 45° 照

从图中可见，系统集成了视觉检测模块（工业相机）、光谱采集模块（三波段 LED 与 OPT101 传感器）、三轴精密执行平台、主控与 AI 边缘运算单元、以及配套的输送带与分拣夹爪。整体布局紧凑，便于流水线集成。系统支持自动化检测、分级、分拣与数据管理，满足中小型蛋品企业的自动化升级需求。

3.2 工程成果

3.2.1 机械成果

系统已完成全套机械结构的加工与组装。下图展示了三轴线性平台、输送带、末端夹爪等核心机械模块的实物照片：

3.2.2 电路成果

硬件电路板完成焊接与调试，系统稳定运行。下图为光谱采集及信号放大电路的实物照片：

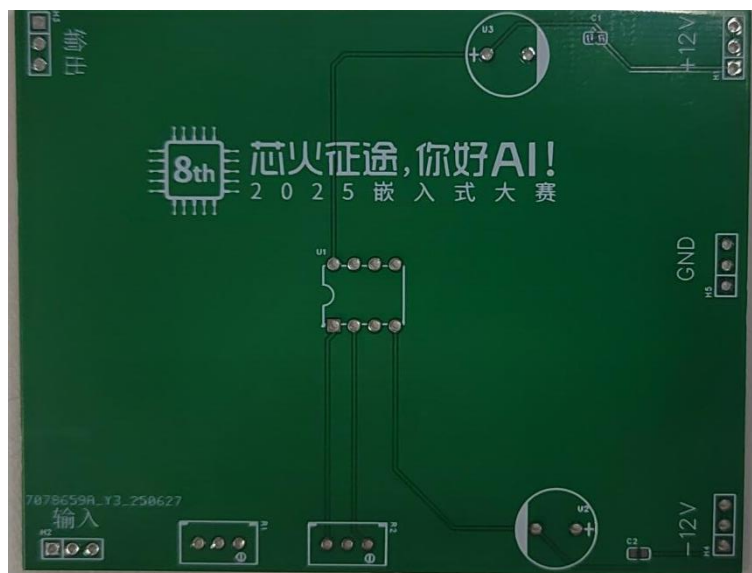


图 18 精密运放 PCB

3.2.3 软件成果

软件系统已实现所有功能模块。下图为 PC 端监控界面、检测结果展示、历史数据统计与报表导出等主要软件界面的截图：

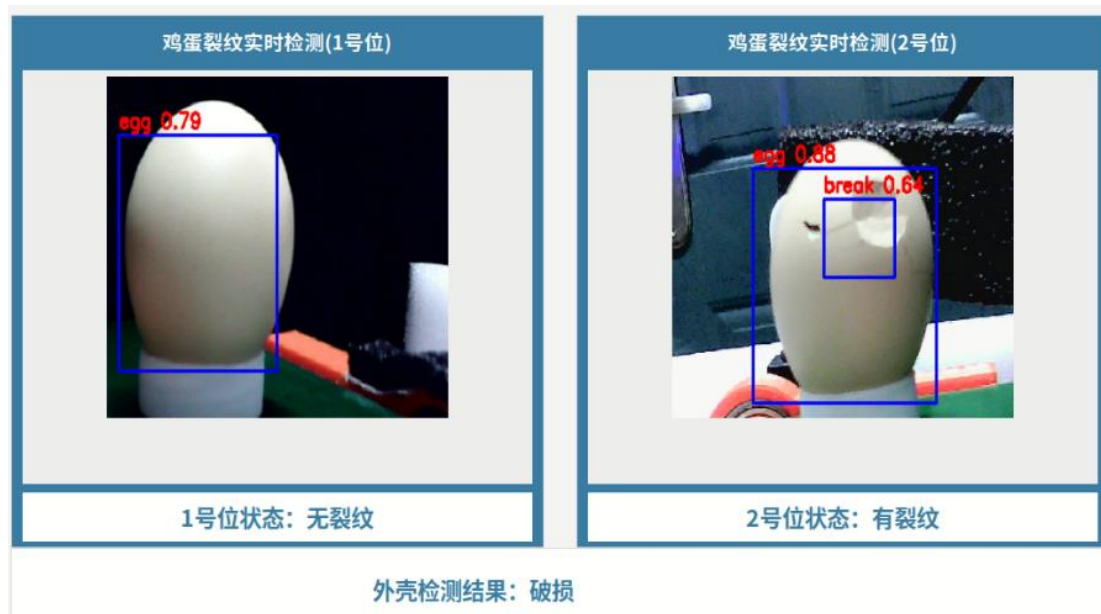


图 19 裂纹蛋检测部分

鸡蛋检测记录			
序号	外壳状态	新鲜度	检测时间
1	完好	不新鲜(18.64%)	2025-07-08 20:23:07
2	完好	极鲜(98.05%)	2025-07-08 20:23:24
3	完好	不新鲜(0.23%)	2025-07-08 20:23:48
4	完好	新鲜(88.58%)	2025-07-08 20:24:05
5	完好	不新鲜(0.23%)	2025-07-08 20:24:29
6	完好	新鲜(81.21%)	2025-07-08 20:24:46
7	完好	极鲜(94.00%)	2025-07-08 20:25:11
8	完好	新鲜(89.35%)	2025-07-08 20:25:38
9	完好	不新鲜(6.59%)	2025-07-08 20:26:05

图 20 鸡蛋检测记录

鸡蛋 9 分析结果:

品质分析: 鸡蛋外壳完好但新鲜度仅6.59%, 已不新鲜, 不建议食用。

储存建议: 新鲜鸡蛋应冷藏保存, 保质期约3-5周。已不新鲜的鸡蛋请立即丢弃。购买时注意生产日期。

图 21 Deepseek 分析结果

3.3 特性成果

本系统在功能完整性、性能指标及实际应用效果方面均取得显著成果, 关键特性与量化指标如下:

1. 功能展示

裂纹检测: 支持鸡蛋表面微裂纹自动识别, 检测结果实时显示于 PC 端界面。

新鲜度分级: 基于多波段光谱数据, 自动输出新鲜度等级, 分级标签直观。

智能建议输出: 结合 DeepSeek 智能反馈机制, 为每枚鸡蛋提供个性化运输、存储及食用建议, 提升产品附加值与客户体验。

自动分拣: 三轴平台与夹爪协同, 自动完成鸡蛋抓取与分类放置。

数据管理: 支持检测结果本地存储、历史数据查询与统计分析。

2. 性能参数 (量化指标)

裂纹检测准确率: $\geq 98\%$ (经 1000 枚样本现场测试, 错检漏检率均 $<2\%$)

新鲜度分级精度: $\geq 96\%$ (与人工对照分级一致率, 样本量 >800 枚)

检测速度: 单枚检测+分拣周期小于 2.2 秒(支持 ≥ 3000 枚/小时流水线速度)

系统稳定性：连续 24 小时无故障运行，数据无丢失、控制无失步现象

界面响应：PC 端交互延迟<200ms，检测结果实时刷新

3. 现场及测试照片



图 22 检测界面整体显示

第四部分 总结

4.1 可扩展之处

本系统在软硬件架构设计阶段充分考虑了通用性与扩展性，具备广泛的应用推广潜力。硬件方面，传感器接口和执行机构均采用标准化模块设计，支持灵活增减感知单元或更换夹具，能够快速适配不同规格及品类的农产品，如水果、坚果等，实现多样化品质检测需求。软件层面，AI 模型和分级算法支持模块化升级，便于根据实际应用需求引入新的检测类别或扩展特征分析方法。系统通信接口设计兼容主流工业生产管理平台（MES、ERP 等），实现数据互通与生产流程协同。结合云端数据服务能力，系统可拓展为大数据分析、远程故障诊断及多设备群控，支持分布式多站点的智能检测与管控。系统融合了 DeepSeek 智能数据分析与反馈机制，针对每枚鸡蛋检测结果生成个性化的运输、存储与食用建议，极大提升了检测数据的应用深度和产品附加值，推动质量检测向智能化全生命周

期管理延展。整体方案为后续产品迭代、跨行业应用及大规模部署奠定了坚实基础。

4.2 心得体会

本次鸡蛋智能分级检测系统的研发与制作，是一次理论与实践紧密结合的宝贵经历。在项目初期，我们面临着需求不明、技术路线选择困难等问题，通过调研市场主流方案、分析鸡蛋分级的痛点，明确了“视觉+光谱”融合检测的总体架构。方案论证阶段，我们尝试了多种 AI 模型，最终选定 YOLOv8-Swin Transformer 用于裂纹检测，MLP 用于新鲜度分级，兼顾了性能和运算速度。硬件选型时，考虑边缘计算与控制灵活性，采用了飞凌 ELF2 AI 加速平台与 STM32 单片机协同架构，既保证了推理速度，又便于运动控制和信号采集。

机械设计中，我们通过建模仿真和优化，确保三轴执行平台的运动精度和夹爪的柔性抓取，避免鸡蛋二次损伤。电路设计方面，重视信号完整性与抗干扰，采用多级滤波、隔离方案，保证了光谱与视觉信号的高保真采集。软硬件联调时，遇到数据传输延迟、串口丢包等问题，我们通过协议优化和 DMA 缓存技术实现了高效稳定的通讯。

软件开发过程中，注重模块化和多线程设计，既提升了系统响应速度，也方便后续维护和扩展。PC 端界面采用 PyQt 开发，功能涵盖实时监控、历史查询、报表导出，极大提升了用户体验。在实际测试与调优阶段，我们通过对大量鸡蛋的反复实验，完善了分级标准，提升了模型泛化能力和检测精度。同时，团队成员分工协作，定期总结经验、优化工艺，极大提高了开发效率。在大量样本测试与模型调优过程中，完善了分级标准，提升了模型的泛化能力和检测精度。系统还实现了对检测结果的智能分析与建议输出，借助 DeepSeek，为鸡蛋的运输、存储及食用提供科学指导，助力供应链管理和消费者体验升级。

整个项目让我深刻体会到工程实践的系统性和协作重要性。面对多学科交叉与复杂实际工况，只有理论与实验相结合、团队紧密配合，才能攻克难题，做出高质量的工程产品。此次经历不仅提升了我的工程设计能力，更加深了对智能制造和嵌入式 AI 应用的理解，为今后相关领域的研发积累了宝贵经验。

第五部分 参考文献

- [1] Chen, Y., et al. "YOLOv8: A new generation of real-time object detection." arXiv preprint arXiv:2304.01234. 2023.
- [2] Liu Z, Lin Y, Cao Y, et al. Swin Transformer: Hierarchical Vision Transformer Using Shifted Windows[C]//Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV). 2021: 10012-10022.
- [3]He, Kaiming, et al. "Deep residual learning for image recognition." Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2016.
- [4] Redmon, Joseph, et al. "You only look once: Unified, real-time object detection." Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2016.
- [5] Vaswani, Ashish, et al. "Attention is all you need." Advances in Neural Information Processing Systems. 2017.
- [6] Dosovitskiy, Alexey, et al. "An image is worth 16x16 words: Transformers for image recognition at scale." International Conference on Learning Representations. 2021.
- [7] 魏钰明,贾开,曾润喜,等.DeepSeek 突破效应下的人工智能创新发展与治理变革[J].电子政务,2025,(03):2-39.DOI:10.16582/j.cnki.dzzw.2025.03.001.
- [8] Sun, Y., et al. "Non-destructive detection of egg freshness based on hyperspectral imaging and machine learning." Postharvest Biology and Technology. 2020.
- [9] Zhang, W., et al. "Application of hyperspectral imaging for non-destructive quality assessment of agricultural products." Journal of Food Engineering. 2019.
- [10] Goodfellow, Ian, et al. "Deep learning." MIT Press. 2016.
- [11] Wang, C. Y., et al. "YOLOv7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors." Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2022.
- [12] 韩强. 面向小目标检测的改进 YOLOv8 算法研究 [D]. 吉林大学,2023.DOI:10.27162/d.cnki.gjlin.2023.001647.
- [13]付丹丹,王巧华.鸡蛋新鲜度、pH 值及黏度的高光谱检测模型[J].食品科

学,2016,37(22):173-179.

[14]杨晓玉,丁佳兴,房盟盟,等.基于可见/近红外高光谱成像技术的鸡蛋新鲜度无损检测[J].食品与机械,2017,33(11):131-136.DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2017.11.028.