

摘要

本课题围绕物流行业对高效分拣的需求，基于STM32单片机设计并实现了一套智能分拣控制系统。系统通过二维码扫描获取包裹的编号、目的地及重量等信息，配合传感器检测与电机驱动，实现包裹的自动识别与分拣；同时构建了分拣传输的机械结构，并设计了友好的人机交互界面，以便于操作与状态监控。论文完成了系统总体方案设计、控制框图与软件流程图的制定，并基于仿真和实际硬件完成样机搭建与调试。实验结果表明，该系统能够稳定完成包裹信息读取与传输分拣，为物流分拣的自动化与智能化提供了可行的参考方案。

关键词： STM32；FreeRTOS；二维码识别技术；直流电机驱动；物流分拣算法；

选题背景与意义

随着电子商务的高速发展，物流行业正面临订单数量持续攀升、作业节奏不断加快的压力，传统依赖人工的分拣方式已难以满足高效率与高准确度的业务要求。在实际仓储环节中，人工分拣不仅劳动强度大、出错率高，而且受人员经验和疲劳程度影响明显，整体效率难以保持稳定，因此物流系统亟需向自动化、智能化方向升级。自动分拣系统通过信息识别、实时控制与机电协同执行，能够在单位时间内处理更多包裹，并显著降低误分率，成为提升仓储作业质量和企业竞争力的关键技术。其中，二维码作为低成本、高稳定性的编码方式，已广泛应用于包裹信息标识，为智能分拣系统提供了可靠的数据入口。

本课题选择以STM32单片机作为核心控制平台，结合二维码识别模块、传感器检测单元与电机驱动机构，构建一套结构紧凑、成本可控、功能完整的智能物流分拣控制系统。系统能够实现包裹信息自动采集、传输路径判定、分拣执行以及状态显示等功能，通过软硬件协同设计提高系统的响应速度与控制精度。研究过程中完成了机械传输结构的建模、控制框图与软件流程图的制定，以及样机的搭建与调试，从而验证整个系统的可行性与可靠性。本课题的研究不仅为中小型物流场景提供了一种易部署、易扩展的智能分拣方案，也为后续进一步实现仓储自动化、智能化奠定了技术基础，具有显著的工程应用价值和现实意义。

国内外研究现状

随着全球电子商务的迅速扩张，物流行业普遍面临包裹数量激增、人工成本上涨以及分拣环节效率不足等挑战，传统人工分拣模式已难以满足高效率与高准确度的要求。在这种背景下，自动化与智能化分拣技术成为各国研究的重点方向。各类基于传感器识别、机器人协作、智能控制与信息处理的分拣系统不断涌现，推动物流装备向高速化、柔性化与智能化发展。对国内外研究现状进行梳理，有助于明确技术发展趋势与关键研究路径，为本课题的系统方案设计提供依据，也为轻量化分拣设备在未来的应用拓展打下技术基础。

国内外在物流分拣系统领域的研究不断深入，取得了显著进展。然而，现有系统仍存在一些不足，如智能化程度不够高、数据处理能力有限、系统稳定性和可靠性有待提升等。因此，基于STM32的物流分拣系统设计与实现成为解决这些问题的关键途径。

1、国内现状

随着我国电商行业的持续高速增长，物流企业面临的包裹处理压力不断攀升，分拣自动化已成为行业发展的核心趋势。在这一背景下，国内对自动分拣系统的研究与应用呈现出快速推进、重点突出的特点，主要集中在低成本自动化设备、柔性分拣技术、智能识别方案、物联网化系统架构等方向。总体来看，国内研究更侧重工程可落地性、系统经济性和场景适配能力，强调在有限成本下实现高效稳定的分拣处理方案。

从行业应用角度来看，国内一线物流企业对智能分拣技术的实践推动了相关技术的进步。以京东物流为例，其自主研发的“智能分拣机器人矩阵”在多个分拣中心投入使用，系统采用底部二维码导航、无线通信、大规模任务调度与路径规划技术，通过小车与分拣格口协作完成包裹投放。该方案的核心优势在于柔性强、部署周期短、可快速扩容，是典型的国内轻量化、低成本高效率分拣系统代表。阿里菜鸟在多地建设覆盖视觉识别、滚筒传输线、自动称量与体积测量的分拣系统，通过多维信息采集减少人工干预，提高数据准确性。顺丰亦在多个中心使用高速交叉带分拣设备并配合工业相机扫描，实现包裹连续高速读码与精准落格。以上企业的实践不仅展示了国内分拣系统的产业化能力，也为高校与研发机构提供了应用需求方向。

在学术研究方面，国内高校围绕分拣控制、机械结构优化、视觉识别算法、路径规划及调度策略等领域开展大量工作。华中科技大学提出基于传感器融合与模型预测控制的高速分拣控制方法，用于提升执行机构的稳定性与响应速度；北京交通大学研究基于多目标优化的分拣路径调度算法，提高分拣机在复杂物流网络中的协同效率；清华大学在物流装备的柔性结构、自动化机构设计与系统级调度方面亦有较多研究成果，关注设备稳定性与长期运行可靠性。部分研究团队探索基于视觉的多维信息采集方案，如通过高帧率相机与深度学习算法实现包裹特征识别、外观检测与异常标记，进一步提高自动化水平。

在硬件技术路线方面，国内正逐步形成高、中、低三档不同应用层级的方案。其中，中高端设备多采用工业 PLC、Servo、工业相机等成熟技术，具有高速处理能力，适用于大型分拨中心；而低成本研究与应用则更多基于 STM32、ESP32、FPGA 等国产或普及型嵌入式平台，配合二维码模块、重量传感器、红外检测等方案，实现便捷部署的分拣功能。尤其在中小仓储、无人化教学与实验室研究中，基于 ESP32 的轻量化设备因成本低、开发性强而得到广泛应用，因此国内关于轻型分拣系统的嵌入式控制研究逐年增多。

在系统架构方面，国内研究越来越注重物联网化与数据可视化能力。一些研究采用 MQTT、HTTP 或 Modbus 作为通信方式，将分拣数据上传至云平台，实现实时监控、异常报警与数据统计；也有团队研究边缘计算方法，通过在设备端执行部分视觉算法或决策逻辑以降低延迟，提高稳定性。随着国产传感器、微控制器与驱动芯片技术持续进步，国内在分拣系统的自主化能力、成本控制及规模化推广方面具备明显优势。

国内自动分拣系统研究呈现明显的应用驱动趋势，强调高性价比、快速部署、结构灵活和适配多类型场景，逐步形成从工业级到轻量级方案的整体体系。本课题基于 ESP32 构建的低成本智能分拣控制系统正契合当前国内小型分拣设备的发展方向，具有良好的研究基础和实际应用价值。

2、国外现状

国外在自动化分拣领域起步较早，整体研究强调系统高吞吐量、高自动化等级以及多机器人协同能力，技术路线更偏重高性能硬件平台、先进的传感与识别技术以及大规模智能调度算法。亚马逊收购的 Kiva Systems 是全球智能仓储与分拣领域的重要里程碑，其移动机器人通过激光反射与二维码导航相结合的定位方式，协同中央调度系统完成货架搬运与分拣作业。Kiva 系统强调群体协作与路径优化，大规模机器人可在仓库中高密度运行，大幅降低人工成本，显著提升分拣效率与仓储吞吐能力。DHL、UPS、FedEx 等国际物流巨头普遍采用高速分拣设备与多层传输线结构，通过线阵相机、RFID 标签识别、激光测量系统等技术实现包裹高速扫码、尺寸测量与自动分流。许多国外分拣线可在每小时处理数万件包裹，并利用工业控制系统实现全流程自动调度。此外，国外在视觉识别算法上的应用也较为成熟，如利用深度学习提升条码识别鲁棒性，对损坏标签、模糊图像或高光反射场景仍能保持高识别率。

在学术研究领域，欧美高校更加注重算法创新与智能化水平。例如 MIT、卡内基梅隆大学等机构研究基于强化学习的自动抓取与分拣策略，可在无规则的包裹堆中实现自主决策；斯坦福大学提出多机器人系统的分布式控制方法，在确保安全的前提下提升群体协作效率；欧洲多所高校研究 AMR+自动分拣工作站的模块化系统，使仓储结构更加灵活可扩展。硬件方面，国外更多使用工业级嵌入式平台，如 NVIDIA Jetson、工业计算机等，以支持复杂视觉算法和机器人控制计算。

国外研究更偏重高性能、高自动化与智能化程度，系统规模大、协同算法复杂，更适用于大型物流中心。与之相比，国内轻量化与成本优化方向更具本土特色。本课题基于低成本 ESP32 的智能分拣系统在功能性与落地适用性方面更契合国内中小型仓储及教学需求。

3、未来发展趋势与展望

随着电子商务和智慧物流的快速发展，智能分拣系统的技术水平和应用范围将持续提升。未来的发展趋势主要体现在以下几个方面：一是智能化水平进一步提高，结合人工智能和机器学习算法，实现对包裹尺寸、形态、优先级的自动识别与优化分拣路径，提高系统自主决策能力；二是多传感器融合与视觉识别技术将更加普及，通过深度学习与计算机视觉实现对损坏标签、模糊二维码及复杂环境下包裹的准确识别；三是分拣系统的柔性化与模块化设计将成为主流，使设备能够快速适应不同仓储规模和分拣任务，提高扩展性和可维护性；四是边缘计算与物联网技术的结合将推动实时数据处理与远程监控，使系统在保证高吞吐量的同时降低延迟和能耗。展望未来，本课题基于 STM32 的智能分拣系统可在中小型仓储和教学实验中实现进一步优化，并有潜力向全流程自动化、智能化和协作化方向发展，为物流行业提供高效、可靠且可扩展的分拣解决方案。

本课题的研究内容、重点及难点

随着智能制造与物联网技术的不断进步，现代仓储与物流系统正逐步向自动化、智能化方向发展。传统的人工分拣方式已难以满足高效率、高精度的分拣需求，因此开发一套具备信息识别与自动控制功能的智能分拣系统具有重要意义。本课题基于STM32单片机平台，结合传感器检测、二维码识别与电机驱动技术，设计并实现一个能够自动识别包裹信息并完成分类的智能分拣控制系统。系统通过二维码扫描获取包裹编号、目的地、重量等信息，根据设定规则实现自动分拣与输送。硬件部分包括传感器模块、执行机构及控制电路，软件部分包括上位机监控界面与分拣控制程序。主要研究内容包括：

- (1) 基于二维码的包裹信息采集与解析；
- (2) STM32外设及控制逻辑设计；
- (3) 自动分拣与传输控制算法实现；
- (4) 分拣传输机构的机械结构建模；
- (5) 人机交互界面与上位机系统开发；
- (6) 系统总体框图与软件流程设计；
- (7) 样机搭建与调试验证，实现智能化分拣的设计目标。

数据及要求：

- (1) 能够分拣的目的地 ≥ 3 处；
- (2) 分拣货物的种类 ≥ 2 种；
- (3) 漏检或错检率 $\leq 5\%$ ；

研究重点：

- (1) 开发高精度的包裹识别与分类模块，确保分拣过程的准确性；
- (2) 实现分拣过程中数据的实时采集与动态处理；
- (3) 设计分拣控制机制，使包裹能够根据目的地自动输送至对应位置。

研究难点：

- (1) 包裹分拣机构机械结构的设计；
- (2) 包裹分拣机构软件控制算法的设计；

准备情况（已查阅的参考文献或进行的调研）

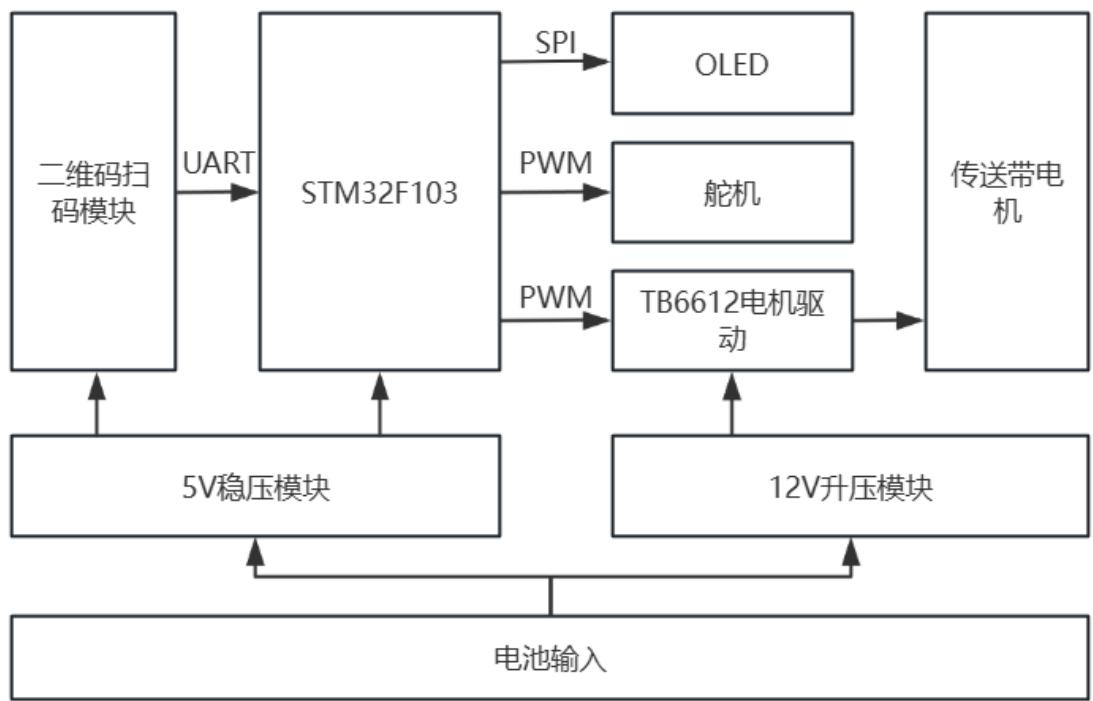
- [1] 喜崇彬. 自动分拣系统市场现状与发展趋势 [J]. 物流技术与应用, 2019(1): 3.
- [2] 王志珍, 张涵跃. 智能小车在物流分拣系统中的应用 [J]. 物流工程与管理, 2018, 40(3): 67-69.
- [3] 朱春华, 顾雪亮. 基于红外反射式传感器TCRT5000的循迹小车设计 [J]. 现代电子技术, 2018, 41(18): 4.
- [4] 向楠. 一种带机械手臂的电商产业园智能分拣小车 [J]. 新余学院学报, 2015, 20(5): 8-11.
- [5] 王政. 嵌入式QR码识别技术及其在档案馆实时盘点中应用的研究 [D]. 南京: 南京师范大学, 2017.
- [6] 黎译繁. 基于二维码识别的快递分拣系统 [D]. 西安: 西安科技大学, 2019.
- [7] 刘磊, 孙晓菲, 张煜. 基于STM32的可遥控智能跟随小车设计[J]. 电子测量技术, 2015(6): 4.
- [8] 喜崇彬. 自动分拣系统市场现状与发展趋势[J]. 物流技术与应用, 2019(1): 3.
- [9] 王志珍, 张涵跃. 智能小车在物流分拣系统中的应用[J]. 物流工程与管理, 2018, 40(3): 67-69.
- [10] 向楠. 一种带机械手臂的电商产业园智能分拣小车[J]. 新余学院学报, 2015, 20(5): 8-11.
- [11] 李星, 杨秀媛, 李银银. 基于直流电机控制的智能寻迹小车[J]. 传感器世界, 2018, 24(1): 5.
- [12] Feichtenhofer C, Fan H Q, Malik J, et al. SlowFast networks for video recognition [C]// 2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), October 27-November 2, 2019, Seoul, Korea (South). IEEE, 2019: 6201-6210.
- [13] He K M, Zhang X Y, Ren S Q, et al. Deep residual learning for image recognition [C]// 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR).

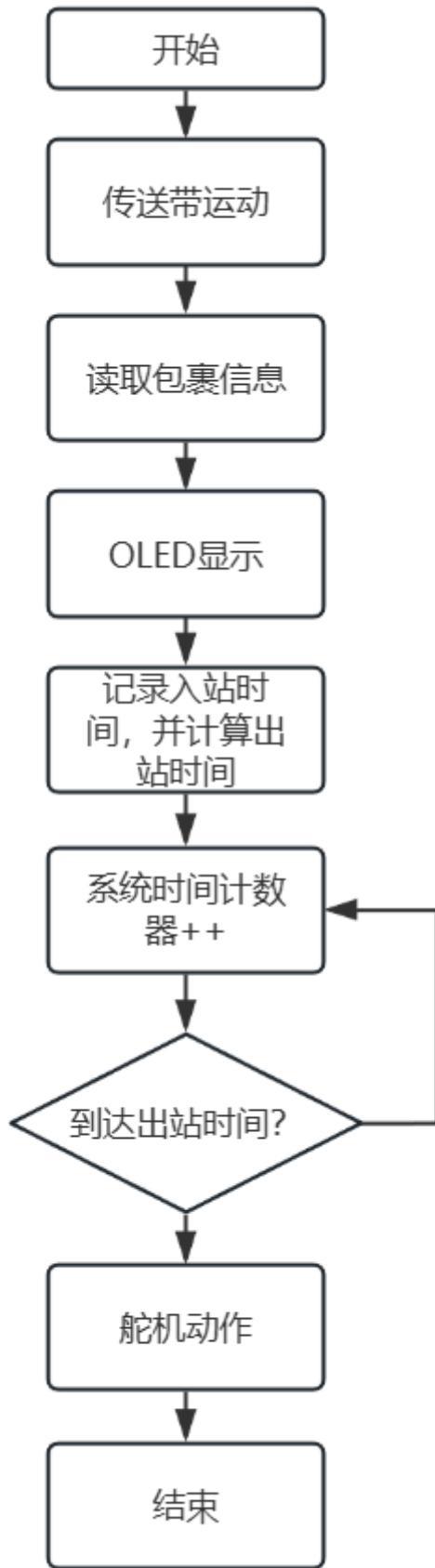
调研情况：调研结果显示，当前物流分拣控制系统广泛依赖自动化分拣算法、机器人控制、图像处理及深度学习等关键技术。系统通常利用传感器与视觉设备获取物品的尺寸、重量、颜色等特征，实现自动识别与分类，并根据物品类别和目的地将其输送至对应区域，从而提升仓储管理效率和分拣准确性。本次调研为系统的设计实现提供了技术依据，并加深了对分拣控制方法及系统优化思路的认识。

实施方案、进度实施计划及预期提交的毕业设计资料

本系统围绕“识别—控制—分拣”流程展开设计，整体分为机械结构、硬件电路及下位机软件三个部分。机械结构负责构建输送与分拣通道；硬件部分以STM32为核心实现传感器采集、驱动控制与通信；下位机软件完成数据处理、运动控制逻辑及与上位机的交互。三个部分协同工作，实现包裹信息识别、路径分配及自动分拣运输的完整流程。

本系统以STM32F103单片机为核心控制单元，构建一个智能物流分拣控制方案。二维码扫描模块通过UART向STM32传输包裹编号、目的地等信息，STM32解析数据后控制舵机和TB6612电机驱动模块，通过PWM信号实现传送带及分拣机构的自动运行，同时通过SPI接口驱动OLED显示屏实时显示包裹信息和系统状态。电源由电池提供，5V稳压模块为STM32及外围传感器供电，12V升压模块为传送带电机提供稳定电压，保证其转速稳定运行。系统结构图如图x所示。流程图如图x所示。





具体的实施方案如下：

(1) 控制核心：系统采用 STM32 作为主控，通过自绘的最小系统板实现核心功能，包括主控芯片、电源、晶振、复位与 SWD 下载电路等。最小系统板结构紧凑，通过排针与底板连接，实现对整套分拣系统的统一调度与控制，兼具稳定性与实时性。

(2) 二维码扫描模块：使用奇弦科技 QX1150 扫码器，识别速度快、接口丰富，能够在传送过程中及时获取包裹信息，为分拣逻辑提供关键数据输入。

(3) 机械结构：整体由传输机构和自制结构组成。传输机构选用成品输送线负责连续输送；其余如传感器支架、挡板、舵机座和外壳面板均在 SolidWorks 建模并通过 3D 打印制作，材料为 PLA，便于快速修改与维护。机械结构以安装精度和调试便利为核心，能根据样机情况快速迭代。

(4) 底板硬件：采用 AD 设计的多层 PCB，集成电机驱动、11V 锂电输入稳压、OLED 显示、12V 升压等模块，并提供标准扩展接口。底板模块化程度高，便于接入传感器与执行机构，为整体系统提供稳定的供电与硬件支撑。

(5) 液晶显示模块：使用带中文字库的 LCD，可通过简单指令实现界面绘制，为系统参数显示、运行监控与操作提供友好的人机界面。

(6) 舵机与分拣执行机构：舵机负责挡板或分拣机构的角度控制，通过 PWM 实现精准定位，确保包裹能够被准确推入指定通道，是系统实现自动分拣的关键执行单元。

(7) 下位机软件：基于 STM32 + FreeRTOS 开发，软件按任务划分，包括数据解析、传感器采集、电机控制与分拣执行等模块。分拣任务根据识别到的包裹信息执行对应动作，任务间通过队列与信号量通信，保证系统实时响应与流程连续性，形成识别—控制—分拣的完整闭环。

研究方法与手段

(一) 文献研究法：文献研究法是本设计研究采用的主要方法，通过查阅期刊，互联网的收集和整理有关对弈机器人系统的资料文献，确定自己的研究思路。

(二) 功能分析法：通过对现阶段五子棋对弈机器人系统广泛应用现状的分析，提出一种可以提高下棋精度对弈机器人系统。

(三) 比较研究法：通过比较市场上的机器人对弈系统来确定自己课题的撰写方向。

(四) 调查法：调查法是科学研究中最常用的方法之一。本课题利用调查法有目的、有计划、有系统地搜集出有关对弈系统的现实状况的材料来进行分析，并对调查所搜集到的大量资料进行分析、综合、比较、归纳，从而为本课题的设计提供规律性的知识。

论文撰写提纲

摘要

Abstract

第1章 绪论

1.1 选题背景及研究意义

1.2 国内外研究现状

1.3 本文研究内容

第2章 智能物流分拣系统总体方案设计

2.1 系统设计方案概述

2.2 机械结构设计方案

2.3 硬件设计方案

2.4 下位机软件设计方案

2.5 器件选型

第3章 硬件设计

3.1 系统硬件设计概述

3.2 STM32最小系统设计

3.3 底板设计

第4章 机械结构设计

4.1 系统机械结构设计概述

4.2 传送带装配

4.3 分拣机构装配

4.4 控制模块装配

第5章 软件设计

5.1 系统软件设计概述

5.2 FreeRTOS操作系统

5.3 二维码识别算法

5.4 物流分拣算法

第6章 样机制作与实物验证

6.1 样机制作

6.2 二维码识别验证

6.3 分拣算法验证

第7章 总结与展望

7.1 总结

7.2 展望

参考文献

附录

致谢