

# 面向中小物流企业的 AGV 低成本控制系统设计与优化研究

郭峰 汪宁 王鑫 钟鹏超

陕西科技大学镐京学院

DOI:10.32629/pe.v4i2.20011

**[摘要]** 针对中小物流企业在自动导引车(AGV)应用中控制系统成本高昂、场景适配困难的问题,本研究提出基于STM32单片机的低成本AGV控制系统方案。剖析STM32与AGV感知层、控制层、执行层、交互层四层架构的适配逻辑,在电商仓小件搬运、工厂仓重载搬运、柔性仓储动态搬运三类典型场景开展应用验证。结果表明,该方案显著降低AGV采购成本,作业效率满足现场实际需求。针对应用中芯片选型不合理、复杂环境稳定性欠佳、成本控制粗放等问题,从场景化选型体系、软硬件抗干扰设计、全生命周期成本优化三个维度提出改进策略。理论分析与应用实践证明,优化策略可有效提升系统性能与经济效益,为中小物流企业低成本AGV自动化改造提供技术参考。

**[关键词]** STM32单片机; 物流AGV; 嵌入式控制; 场景适配; 系统优化

**中图分类号:** U652.1+2 **文献标识码:** A

## AGV Low-Cost Control System Design and Optimization Research for Small and Medium-Sized Logistics Enterprises

Feng Guo Ning Wang Xin Wang Pengchao Zhong

Haojing College of Shaanxi University of Science&Technology

**[Abstract]** To address the challenges of high control system costs and scenario adaptation difficulties in automated guided vehicle (AGV) applications for small and medium-sized logistics enterprises, this study proposes a low-cost AGV control system solution based on STM32 microcontrollers. The research analyzes the compatibility logic between STM32 and the four-layer architecture of AGVs (sensing layer, control layer, execution layer, and interaction layer), and conducts application validation in three typical scenarios: small-item handling in e-commerce warehouses, heavy-load handling in factory warehouses, and dynamic handling in flexible warehousing. Results demonstrate that this solution significantly reduces AGV procurement costs while meeting operational efficiency requirements for practical field applications. To address issues such as improper chip selection, suboptimal stability in complex environments, and coarse cost control, improvement strategies are proposed from three dimensions: scenario-based selection framework, hardware/software anti-interference design, and lifecycle cost optimization. Both theoretical analysis and practical application prove that these optimization strategies effectively enhance system performance and economic benefits, providing technical references for low-cost AGV automation upgrades in small and medium-sized logistics enterprises.

**[Key words]** STM32 microcontroller; logistics AGV; embedded control; scenario adaptation; system optimization

### 引言

自动导引车(AGV)作为智慧物流的核心装备,广泛应用于电商仓储、工厂物料配送、芯片工厂物流等领域,在数字孪生驱动的无人仓建设中,其路径规划与调度效率直接影响仓储自动化水平。

现阶段物流行业的工作过程中,主要有两种工作方式:一种是传统人力完成货物搬运;另一种货物搬运方式是AGV自动搬运

小车,这是一种有电磁或光学等自动导引装置,利用电磁轨道,通过计算机控制最终能够按照规定的路径行驶的小型智能运输车。要想高效地完成大量货物的分拣运输工作,智能小车是一个不错的选择<sup>[1]</sup>。

我国汽车产业产量增长使自动引导车(AGV)在汽车生产领域应用渐广,其调度算法是提升生产效率和优化流程的核心技术。AGV技术顺应劳动力市场紧缩趋势,降低人力成本,能代替人

工完成危险物料搬运,减少工伤事故。随着计算机等技术进步,AGV更智能高效,简化制造流程、缩短生产周期、减少人为失误,提升生产效率和产品质量,推动工业自动化,为智能物流运输和自动化生产奠定基础,预示智能工厂时代到来<sup>[2]</sup>。

搬运机器人可代替人工在高温、高压、多粉尘等危险环境中作业,节省大量人力资源,大幅提高工作效率。但传统AGV控制系统成本高,单台AGV售价贵,中小物流企业难以承受,制约物流自动化普及。降低AGV控制系统成本、提升场景适配性是推动中小物流企业自动化转型的关键<sup>[3]</sup>。

近年来,嵌入式技术发展快,以STM32为代表的32位微控制器因高性价比、低功耗和丰富外设等优势,逐渐取代传统PLC,成为中小成本AGV控制系统核心器件。业内围绕STM32在AGV中的应用开展大量研究,如基于STM32F407设计物流搬运车实现货物分拣与循迹控制,以STM32为核心设计AGV小车系统验证调度算法有效性等。然而,现有研究多聚焦单一导航模式或功能模块实现,缺乏对STM32与AGV系统架构适配性的系统分析,在多场景标准化选型、复杂环境可靠性和全生命周期成本控制等方面存在不足,难以满足中小物流企业多样化、低成本应用需求。本文围绕STM32在物流AGV中的适配应用开展系统研究,剖析其与AGV四层架构的适配逻辑,通过多场景应用验证评估效果与问题,提出针对性优化方法并验证有效性,为中小物流企业提供低成本、高可靠的AGV控制系统解决方案。

## 1 系统架构设计与适配性分析

现代物流AGV采用感知层、控制层、执行层和交互层四层架构。感知层由激光雷达等构成,负责环境感知等,是自主运行基础;控制层以控制器为核心,运行导航与调度逻辑,是决策中枢;执行层含驱动电机等,接收指令完成操作;交互层通过CAN总线等实现数据交互。

中小物流企业对AGV核心需求为成本可控、场景适配和稳定可靠,成本是最敏感因素。调研显示,多数企业期望控制采购与维护成本,推动控制系统向低成本、高集成度发展。部分特殊场景对调度效率和定位精度要求高,传统PLC控制系统难以兼顾成本与需求。

STM32系列单片机基于ARMCortex-M内核,适配AGV控制系统。该系列有多种内核,主频能满足不同需求,部分支持FPU,适用于复杂任务,部分性价比高,满足简单场景;芯片集成多种通信接口等,可直连传感器和执行器,降低外围电路设计成本。

STM32F407单片机作为系统主控芯片,负责接收和发送指令,协调整个系统完成设计要求。物品识别通过扫描条形码,读取条形码代表的物品信息,并通过液晶实时显示。光电搬运车,利用条形码进行物品识别,采用TM32F407作为主控芯片,处理速度快,准确性高。并利用PID控制算法,保证了搬运车在工作过程中的平稳运行。除了用于电商物流中心的货物分拣,同样可以应用于工厂不同物料的分拣搬运,具有很高的实用价值。系统采用STM32单片机作为主要控制模块,主要由红外传感器模块、红外光电循迹模块、蓝牙遥控通信模块、舵机驱动机械臂模块及电

机驱动模块等组成,可以实现循迹、蓝牙遥控、搬运、避障等功能<sup>[4]</sup>。AGV车以PLC为核心,辅助STM32单片机系统进行数据采集和运算,并通过无线Wi-Fi模块连接PLC进行通信。AGV采用磁传感器、磁条、RFID标签及其阅读器配合进行定位和寻迹。

STM32能够深度适配AGV的四层架构:控制层作为主控制器,可运行轻量级实时操作系统,实现导航算法、任务调度等多任务并行处理;感知层通过各类接口连接传感器,DMA功能实现高速数据采集并减少CPU占用,提升感知响应速度,相关物流搬运小车控制系统中,便通过该模式实现多传感器数据的高效采集与处理<sup>[5]</sup>;执行层利用STM32的PWM输出控制电机转速,通过定时器捕获编码器反馈实现闭环运动控制,确保AGV运行精度;交互层支持多种通信方式,可与上位机调度系统对接,实现AGV运行状态远程监控与任务调度,相关AGV小车系统设计中便通过该适配特性实现了调度指令的精准传输。不同系列STM32芯片的差异化特性,可实现与不同物流场景的精准适配,为低成本AGV设计提供灵活的选型空间。

## 2 多场景应用验证与问题分析

为验证基于STM32的低成本AGV控制系统成效,选取电商仓小件搬运、工厂仓重载搬运、柔性仓储动态搬运三类典型物流场景开展应用验证,各场景部署一定数量AGV,经连续运行测试,记录作业效率、故障状况和维护成本等数据。

电商仓小件搬运场景,货架密集,搬运小件商品。采用适配STM32芯片为主控芯片,配置视觉和红外传感器实现视觉导航,处理图像数据减少CPU干预。参考相关设计思路,测试期间完成大量搬运任务,作业效率提升,仓储空间利用率提高,采购成本降低,具有投资回报潜力。

工厂仓重载搬运场景,需长距离运输重型部件。采用高性能STM32芯片为主控芯片,集成多线激光雷达和高精度惯性测量单元实现激光同步定位与地图构建导航,通过总线对接工厂系统接收生产指令。借鉴相关设计经验,测试期间AGV可长时间连续运行,定位精度满足生产线要求,采购成本较传统重载AGV降低。

柔性仓储动态搬运场景,需处理多种规格货物。采用适配STM32芯片为主控芯片,硬件模块化设计,抓取机构快换,AGV可自动识别货物规格调整抓取策略。参考相关设计逻辑,测试期间处理订单多,作业效率高,订单处理周期缩短,采购成本较传统柔性AGV下降。

三类场景验证表明,基于STM32的AGV成本控制优势明显,作业效率能满足现场需求,具有推广价值。但应用中存在三类问题制约规模化推广:一是芯片选型与场景不匹配,需建立标准化选型体系;二是复杂环境下系统稳定性欠佳,故障频发影响连续运行;三是成本控制缺乏精细化理念,前期开发有不合理采购与重复开发问题,后期维护依赖专业人员且备件管理成本高,与中小物流企业需求相悖。

## 3 优化方法

针对基于STM32的AGV控制系统应用问题,综合现有成果,从

芯片选型、抗干扰设计和成本管控三维度提出递进式优化策略,确保方案实用且经济。

构建场景化芯片选型体系是基础,依据三层映射模型选型。简易磁导航场景选性价比高的STM32芯片;电商仓视觉搬运场景选有相应硬件支持的芯片;工厂仓重载AGV场景选高性能芯片,叉车式AGV寻迹算法研究就实现了算法与硬件适配。同时,传感器和通信模块按场景配置,主控板预留接口。

从硬件和软件层面强化抗干扰设计,提升系统稳定性。硬件借鉴物流搬运小车设计,使用隔离电源模块、防护器件和优化PCB布局减少干扰;软件用组合滤波算法、看门狗监控、参数冗余备份与校验恢复机制及智能功耗管理,减少损耗。

实施全生命周期成本优化策略,覆盖研发、采购与维护。研发按选型指南选芯片,利用开发生态资源,复用组件与代码,如AGV小车系统设计提升了效率;采购采用“核心板外购+底板自研”模式,选择主流标准器件,降低成本;维护通过指示灯诊断故障,实现远程升级与日志回传,推动模块复用,降低备件成本。

该优化策略已在多个项目应用,有效控制芯片成本,改善了系统稳定性,降低故障率和维护成本,验证了可行性和有效性。

#### 4 结论

STM32单片机与AGV的感知层、控制层、执行层、交互层四层架构实现深度适配,凭借其高性价比、丰富的外设资源以及灵活的选型优势,能够满足电商仓库、工厂仓库、柔性仓储等不同物流场景的控制需求。多场景应用验证显示,基于STM32的AGV采购成本相较于传统方案显著降低,作业效率符合现场要求,为中小物流企业提供了低成本的自动化升级路径,契合当前物流AGV的应用发展态势。

当前基于STM32的AGV应用中存在芯片选型不合理、复杂环

境下稳定性欠佳以及成本控制粗放等问题,制约了其规模化推广,且与现有相关研究中所暴露出的技术痛点高度契合。本文提出的场景化芯片选型体系、软硬件抗干扰设计以及全生命周期成本优化方法,可有效解决上述问题,经实践验证,该优化方法能降低芯片成本与维护成本,减少故障率,显著提升系统性能与经济效益。

本研究为中小物流企业低成本AGV自动化改造提供了技术途径,AGV系统将在提升供应链效率、增强柔性能力、实现智能决策等方面发挥更为重要的作用。未来可结合数字孪生、5G等新技术,进一步拓展STM32-AGV的应用场景,优化导航算法与调度策略,推动其在更多专业物流领域的应用落地,为智慧物流的普及提供技术支持。

#### [参考文献]

[1]田杰,胡秋霞,杨毕康.基于STM32的物流搬运小车控制系统设计[J].现代电子技术,2023,46(18):172-176.

[2]余慎飞.基于STM32的AGV小车系统设计和调度算法的验证[D].合肥工业大学,2024.

[3]黄学达,杨俊杰,侯志鹏,等.基于STM32的智能物流机器人[J].电子产品世界,2023,30(04):20-26.

[4]张沛涛,郭颖,齐航,等.基于STM32F407的物流搬运车设计[J].国外电子测量技术,2019,38(04):144-148.

[5]李岩.基于STM32的重载AGV系统设计[J].工业控制计算机,2020,33(03):97-98.

#### 作者简介:

汪宁(1982—),男,汉族,陕西西安人,硕士研究生,研究方向:物流与智能装备。