

基于科聪控制器的 AGV 运动控制系统设计与实现

康宗现

河南中孚高精铝材有限公司 河南 郑州 451200

摘要: 随着工业4.0和智能制造的深入推进,自动导引车(Automated Guided Vehicle,AGV)作为柔性物流系统的核心装备,其运动控制系统的性能直接决定了整个生产物流的效率与可靠性。本文针对传统AGV控制系统存在的开发周期长、集成度低、二次开发困难等问题,提出并实现了一种基于科聪(Kecong)MRC系列控制器的AGV运动控制系统设计方案。该方案充分利用科聪控制器高度集成化、模块化及开放性强的特点,构建了一个集导航定位、路径规划、运动控制与安全防护于一体的软硬件协同平台。文中详细阐述了系统的总体架构、硬件选型与配置、核心控制算法(包括差速驱动模型、PID闭环控制及轨迹跟踪策略)的设计与实现。所设计的系统能够有效满足现代智能工厂对AGV高精度、高可靠性和高灵活性的综合需求,为AGV产品的快速研发与产业化提供了可行的技术路径。

关键词: 自动导引车;科聪控制器;运动控制;差速驱动;PID控制;轨迹跟踪

引言

全球制造业智能化转型,高效内部物流系统成提升企业竞争力的关键。AGV因自动化程度高、调度灵活等优势,成为物料自动流转的重要载体,其核心是运动控制系统。但传统AGV运动控制系统采用分立式架构,集成度低、硬件接口繁杂、兼容性差、调试维护成本高,且底层控制逻辑封闭,限制了功能拓展与优化。因此,开发新一代AGV运动控制系统意义重大^[1]。近年来国产运动控制技术进步,科聪公司推出的MRC系列一体化运动控制器,集成多种功能,为AGV运动控制提供理想硬件平台,简化架构、降低成本,配套开发环境和开放接口也便于软件算法实现与功能定制。基于此,本文以科聪MRC控制器为核心,设计并实现完整AGV运动控制系统,包括构建整体架构、选型集成关键硬件、设计运动学模型等算法,成果将为AGV相关企业提供成熟可靠参考方案,加速AGV技术普及。

1 系统总体架构设计

本系统采用模块化设计理念,将整个AGV运动控制系统划分为感知层、决策控制层和执行层三个主要部分,各层之间通过高速、可靠的通信总线进行数据交互。

1.1 感知层

感知层是AGV获取外部环境信息和自身状态信息的“感官”。本系统主要包含以下传感器:①激光雷达(LiDAR):作为核心导航传感器,选用SICK或Hokuyo等品牌的2D激光扫描仪,用于环境地图构建(建图)和实时定位(Localization)。科聪控制器内置的SLAM算法能够处理激光雷达数据,实现厘米级的高精度定位。②惯性测量单元(IMU):包含三轴加速度计和三轴陀螺

仪,用于在激光雷达信号短暂丢失(如经过强反射区域)时提供短时的姿态和速度信息,辅助定位,提高系统的鲁棒性。③编码器:安装于两个驱动轮电机后轴,用于实时反馈车轮的转速和转角,是构成速度闭环和位置闭环的基础^[2]。④安全传感器:包括前后安全激光扫描仪(SafetyLiDAR)、急停按钮、接触式保险杠等,构成多级安全防护体系,确保AGV在任何情况下都能安全运行。

1.2 决策控制层

决策控制层是系统的“大脑”,由科聪MRC系列控制器担任。该控制器是整个系统的核心枢纽,承担着以下关键任务:①数据融合:接收并处理来自感知层的所有传感器数据,通过滤波算法(如卡尔曼滤波)融合激光雷达、IMU和编码器数据,得到最优的AGV位姿估计。②导航与定位:运行SLAM算法,实现AGV在未知或已知环境中的自主定位与地图构建。③路径规划:根据上层调度系统下发的任务(起点、终点),结合全局地图和实时障碍物信息,规划出一条从起点到终点的最优无碰撞路径。④运动控制:基于规划出的路径和当前位姿,计算出期望的线速度和角速度,并通过底层控制算法将其转化为对左右驱动轮的精确控制指令。⑤逻辑控制与安全监控:处理各种I/O信号,执行启停、充电对接等逻辑操作,并实时监控所有安全传感器的状态,一旦触发安全条件,立即执行紧急制动。

1.3 执行层

执行层是系统的“四肢”,负责将控制指令转化为物理动作。①伺服驱动器与电机:选用支持EtherCAT总线协议的伺服驱动器(如汇川、台达等)及配套的直流无刷伺服电机。科聪控制器作为EtherCAT主站,可以直

接与驱动器进行高速、确定性的通信,实现对电机转矩、速度和位置的精确控制。②转向/举升机构(可选):对于具有举升或转向功能的AGV,同样可以通过EtherCAT总线连接相应的驱动器进行控制。整个系统的通信架构以科聪控制器为中心,感知层传感器通过RS485、CAN或以太网接入控制器;执行层的伺服驱动器则通过EtherCAT总线环形连接至控制器。这种架构极大地简化了布线,提高了系统的抗干扰能力和实时性。

2 硬件平台搭建与配置

2.1 核心控制器选型

本系统选用科聪MRC9020型号控制器。该控制器搭载高性能ARMCortex-A9双核处理器,主频高达1GHz,具备强大的数据处理能力。其关键特性包括:一是内置SLAM导航引擎:支持2D激光雷达,定位精度可达 $\pm 5\text{mm}$ 。二是多路高速I/O:提供丰富的数字量输入/输出(DI/DO)、模拟量输入/输出(AI/AO)接口,用于连接各类传感器和执行器。三是强大的运动控制能力:内置4轴脉冲/方向输出或2轴模拟量输出,并支持作为EtherCAT主站,最多可扩展64个从站。四是多种通信接口:配备2个千兆以太网口(可用于连接上位机调度系统和EtherCAT)、2个RS232/485串口、1个CAN总线接口,满足多样化的通信需求。五是宽温设计与高可靠性:工作温度范围 $-20^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$,满足工业现场严苛环境要求。

2.2 驱动与执行单元

AGV采用经典的差速驱动方式,即通过独立控制左右两个驱动轮的转速来实现前进、后退、转向等运动。为此,我们选用了两套汇川IS620N系列伺服系统。①伺服电机:ISM615B-750C20L,额定功率750W,额定转速3000rpm,峰值扭矩 $4.77\text{N}\cdot\text{m}$ 。②伺服驱动器:IS620NS7R61,支持EtherCAT通信协议,响应速度快,控制精度高^[3]。电机通过联轴器与减速机相连,最终驱动麦克纳姆轮(或普通橡胶轮),以适应不同的地面条件和负载需求。编码器信号直接反馈给伺服驱动器,驱动器再通过EtherCAT总线将位置、速度等信息实时上报给科聪控制器,形成内环(电流环、速度环)由驱动器完成,外环(位置环、轨迹环)由科RC控制器完成的两级控制结构。

2.3 电源与安全系统

系统采用48V直流供电,由大容量磷酸铁锂电池组提供。电源管理模块负责电池的充放电管理、电量监测和过压/过流保护。安全系统方面,除了前述的安全激光扫描仪外,在AGV四周还布置了多组漫反射光电开关,作为近距离障碍物检测的补充,构成了“远-中-近”三级安全防护网络,确保人车共融环境下的绝对安全。

3 软件系统设计与核心算法实现

软件系统基于科聪提供的KMotionStudio开发环境进行开发。该环境支持IEC61131-3标准的PLC编程语言(如ST、LD、FBD等),同时也支持C/C++进行更底层的算法开发,灵活性极高。

3.1 差速驱动运动学模型

差速驱动AGV的运动学模型是设计控制算法的基础。设AGV的瞬时位姿为 (x,y,θ) ,其中 (x,y) 为车体中心在全局坐标系下的位置, θ 为车体朝向角。左右轮的线速度分别为 v_l 和 v_r ,轮距为 L 。

AGV的线速度 v 和角速度 ω 可表示为:

$$v = \frac{v_l + v_r}{2}$$

$$\omega = \frac{v_r - v_l}{L}$$

其位姿变化率(运动学方程)为:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 \\ \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix}$$

该模型清晰地揭示了车轮速度与AGV整体运动状态之间的映射关系,是后续进行速度分解和轨迹跟踪的理论依据。

3.2 PID闭环速度控制

为了精确控制AGV的线速度和角速度,本文设计了双闭环PID控制器。外环为速度环,内环为位置环(由伺服驱动器实现)。

第一、指令生成:根据轨迹跟踪算法计算出的期望线速度 v_{ref} 和期望角速度 ω_{ref} 。

第二、速度分解:利用运动学模型的逆解,将 v_{ref} 和 ω_{ref} 分解为左右轮的期望线速度 v_{l-ref} 和 v_{r-ref} :

$$v_{l-ref} = v_{ref} - \frac{\omega_{ref}L}{2}$$

$$v_{r-ref} = v_{ref} + \frac{\omega_{ref}L}{2}$$

第三、PID速度控制:科聪控制器读取编码器反馈的实际轮速 v_{l-fbk} 和 v_{r-fbk} ,分别与期望值进行比较,通过独立的PID控制器计算出所需的控制量(通常为转矩指令或速度指令),并通过EtherCAT总线发送给对应的伺服驱动器。

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

其中, $e(t) = v_{ref}(t) - v_{fbk}(t)$ 为速度误差, K_p, K_i, K_d 分别为比例、积分、微分系数。通过Ziegler-Nichols等方法进行参数整定,使系统获得良好的动态响应和稳态精度。

3.3 轨迹跟踪控制策略

轨迹跟踪的目标是让AGV的实际轨迹尽可能地跟随规划出的参考轨迹。本文采用纯追踪(PurePursuit)算法,该算法原理简单、鲁棒性强,非常适合于非完整约束的移动机器人^[4]。纯追踪算法的核心思想是:在参考轨迹上寻找一个距离AGV当前位置前方一定距离(称为前视距离 L_d)的预瞄点(Look-aheadPoint),然后控制AGV的转向,使其朝向该预瞄点行驶。

具体步骤如下:

第一、根据AGV当前位姿 (x,y,θ) ,在参考路径上搜索距离为 L_d 的最近点作为预瞄点 (x_i,y_i) 。

第二、计算AGV到预瞄点的方位角 α 。

第三、根据几何关系,计算出期望的转弯半径 (R) :

$$R = \frac{L_d}{2 \sin \alpha}$$

第四、由此可得期望的角速度 $\omega_{ref} = v_{ref}/R$,其中 v_{ref} 为根据路径曲率和安全策略设定的期望线速度。

将计算出的 v_{ref} 和 ω_{ref} 输入到前述的PID速度控制器中,即可完成整个轨迹跟踪过程。前视距离 L_d 是一个关键参数,通常设置为与当前车速成正比,以保证在高速时有更大的预瞄距离,使轨迹更平滑。

4 结语

本文成功设计并实现了一套基于科聪MRC系列控制器的AGV运动控制系统。该系统充分利用了科聪控制器在硬件集成度、软件开放性和导航控制一体化方面的显著

优势,构建了一个结构紧凑、性能优越、易于开发的AGV控制平台。通过建立精确的差速驱动运动学模型,设计并实现了基于PID的速度闭环控制和基于纯追踪的轨迹跟踪算法,并完成了从硬件选型、软件开发的全过程。该系统在定位精度、轨迹跟踪性能、动态响应速度和运行稳定性等方面均达到设计目标,能够很好地满足现代智能工厂对AGV的各项严苛要求。相较于传统的分立式控制系统,本方案大大缩短了开发周期,降低了系统复杂度和成本,同时为后续的功能升级(如多车协同、3D视觉导航等)预留了充足的空间。未来的工作将聚焦于引入更先进的控制算法(如模型预测控制MPC)以进一步提升轨迹跟踪精度,并探索与上层MES/WMS系统的深度集成,打造更加智能、高效的柔性物流解决方案。

参考文献

- [1]林国义,黄千禧,谢帅,等.面向智能制造的AGV与柔性作业车间协同调度模型与算法[J/OL].控制与决策,1-10 [2025-11-20].
- [2]夏长林,杨洁,阮耀宏,等.基于AGV的智能物流分拣系统[J].数字技术与应用,2025,43(10):174-176.
- [3]李英鑫,王铁.仓储AGV底盘结构设计与仿真分析[J].一重技术,2025,(05):17-19.
- [4]钱鸿顺,陈鹏,陈昊,等.无通讯作业模式在AGV系统中的运用[J].物流技术与应用,2025,30(10):140-146.