

基于单片机的机电一体化控制系统设计

闫磊 110224198503022011

摘要：本文介绍了基于单片机的机电一体化控制系统设计方法，涵盖单片机选型与硬件架构、传感与驱动模块、嵌入式软件结构与中断设计、控制算法实现及抗干扰措施与性能验证，提出工程化实现要点并展望与 AI、物联网融合的智能化发展路径，为低成本高可靠控制系统设计提供参考。

关键词：单片机;机电一体化;嵌入式控制;传感与驱动;PID 与自适应控制

一、单片机在机电一体化控制系统中的核心作用

单片机作为机电一体化控制系统的核心处理单元，承担着信号采集、数据处理、指令输出、逻辑控制等关键任务，是连接感知层、控制层与执行层的桥梁。单片机具备丰富的外设接口与通信功能，可实现多模块协同工作、数据上传与远程控制，为控制系统的功能扩展提供基础。

二、基于单片机的机电一体化控制系统硬件设计

（一）核心控制模块选型与设计

核心控制模块的选型需兼顾性能需求与应用场景，常用单片机型号包括 51 系列、STM32 系列、PIC 系列等。51 系列单片机结构简单、成本低廉，适用于控制逻辑简单、对实时性要求不高的基础型设备；STM32 系列单片机基于 ARM Cortex-M 内核，具备高速运算能力、丰富的外设资源与低功耗特性，支持复杂控制算法与多任务处理，适配中高端机电一体化设备；PIC 系列单片机抗干扰能力强、指令集简洁，在工业控制领域应用广泛。核心控制模块硬件设计需优化电源电路、时钟电路与复位电路：电源电路采用线性稳压芯片或开关电源模块，提供稳定的 3.3V 或 5V 供电，搭配滤波电容抑制电压波动；时钟电路选用高精度晶振，确保单片机时序稳定性，根据控制需求配置不同频率晶振；复位电路采用上电复位与手动复位结合的设计，保障系统异常时快速恢复正常运行。

（二）感知模块设计

感知模块负责设备运行参数与环境信息的采集，由传感器、信号调理电路与 AD 转换模块组成。根据控制需求选型适配的传感器：位置检测选用光电编码器、霍尔传感器，速度检测采用增量式编码器、测速发电机，压力与温度检测分别选用压力传感器、热电偶或热敏电阻。信号调理电路针对传感器输出信号的微弱性、易干扰性进行优化，通过运算放大器实现信号放大，采用滤波电路滤除高频噪声，利用电平转换电路将信号调整至单片机适配范围。AD 转换模块分为单片机内置 AD 与外置 AD 芯片：内置 AD 模块成本低、集成度高，适用于精度要求不高

的场景；外置高速 AD 芯片转换精度高、采样速率快，满足高精度、高实时性数据采集需求，通过 SPI 或 I2C 接口与单片机通信。

（三）执行驱动模块设计

执行驱动模块作为控制系统的输出终端，负责将单片机的控制指令转化为机械动作，核心包括驱动电路与执行部件。驱动电路需根据执行部件类型设计：直流电机驱动采用 H 桥驱动电路，通过 PWM 信号控制电机转速与转向，常用驱动芯片有 L298N、TB6612FNG 等；步进电机驱动选用专用步进电机驱动芯片，通过控制脉冲频率与数量实现精准定位，支持细分驱动功能以提升运行平稳性；电磁阀、继电器等开关量执行部件通过光电耦合器与驱动三极管组成驱动电路，实现弱电控制强电，避免高电压、大电流对单片机的干扰。执行部件选型需匹配设备负载特性与控制精度要求，确保驱动模块与执行部件的阻抗匹配、功率匹配，提升控制响应速度与动作准确性。

三、基于单片机的机电一体化控制系统软件设计

（一）主程序设计

主程序采用模块化设计思想，构建“初始化—循环执行”的程序框架。初始化阶段完成单片机 IO 口、定时器、中断控制器、外设模块的初始化配置，设定控制参数初始值、阈值范围与通信协议参数，完成系统自检以确保各模块正常工作。循环执行阶段按“数据采集—数据处理—控制决策—指令输出—状态监测”的流程运行：周期性调用数据采集子程序获取传感器数据，通过数据处理子程序进行滤波、校准与异常判断，基于控制算法生成控制指令并发送至执行驱动模块，实时监测设备运行状态与通信数据，实现连续、稳定的闭环控制。主程序设计需优化执行效率，合理分配 CPU 资源，避免程序阻塞，确保各模块协同工作。

（二）中断服务程序设计

中断服务程序用于处理突发事件与实时性要求高的任务，提升系统响应速度。根据控制系统需求配置外部中断、定时器中断与串口中断：外部中断用于处理传感器触发信号、紧急停止信号等外部事件；定时器中断用于实现定时数据采集、PWM 信号生成、定时显示更新等周期性任务；串口中断用于处理通信数据的接收与发送。中断服务程序设计需遵循“快进快出”原则，简化程序逻辑，避免复杂运算，通过设置中断优先级确保关键任务优先响应，同时关闭不必要的中断以防止中断冲突，保障系统稳定性。

（三）控制算法实现

控制算法是控制系统的核心，需根据设备特性与控制要求选型适配。比例 - 积分 - 微分

（PID）控制算法因其结构简单、鲁棒性强，广泛应用于机电一体化控制系统，通过调整比例系数、积分系数与微分系数，实现对系统偏差的快速修正，优化动态响应与稳态精度，可结合

积分分离、抗积分饱和等改进策略提升控制效果。针对非线性、时变特性明显的复杂系统，可采用模糊控制、自适应控制等先进算法：模糊控制无需建立精确数学模型，通过模糊规则库实现对复杂系统的有效控制；自适应控制能够实时调整控制参数，适应系统参数变化与外部干扰，提升控制鲁棒性。算法实现需基于单片机运算能力优化程序代码，采用汇编语言或 C 语言混合编程，平衡控制精度与运算效率。

四、控制系统抗干扰设计与性能验证

（一）抗干扰设计

机电一体化设备多运行于工业复杂环境，电磁干扰、电源干扰等会影响控制系统稳定性，需从硬件与软件两方面进行抗干扰设计。硬件抗干扰措施包括：采用屏蔽线传输传感器信号，避免电磁耦合干扰；电源电路增设 EMI 滤波器、共模电感，抑制电源噪声；电路板设计时优化布线，减少信号线与电源线交叉，增大接地面积，采用单点接地或分区接地方式；关键部件加装瞬态抑制二极管、保险管，防止过电压、过电流损坏。软件抗干扰措施包括：采用软件滤波算法增强数据抗干扰能力；设置程序 watchdog 定时器，避免程序跑飞；对通信数据添加校验位，确保数据传输准确性；采用冗余设计，关键控制逻辑重复执行，提升系统容错能力。

（二）性能验证

控制系统性能验证需从功能验证与指标测试两方面开展。功能验证通过模拟设备实际运行场景，测试各模块协同工作能力：验证数据采集模块能否准确获取传感器信号，控制算法能否根据偏差生成正确控制指令，执行驱动模块能否精准响应，通信模块能否实现数据正常交互，故障诊断模块能否有效识别异常。指标测试聚焦关键性能参数：实时性测试通过测量信号采集、数据处理、指令输出的响应时间，评估系统动态响应能力；控制精度测试对比设定值与实际输出值的偏差，验证控制算法的控制效果；稳定性测试通过长时间连续运行，监测系统是否出现故障、参数漂移等问题；抗干扰测试在模拟工业干扰环境下，评估系统运行稳定性。根据测试结果优化软硬件设计，确保控制系统满足机电一体化设备的应用要求。

五、结论

基于单片机的机电一体化控制系统设计需实现硬件架构的合理性、软件程序的高效性与抗干扰设计的可靠性，未来，随着单片机技术的不断发展，结合人工智能、物联网等新兴技术，将进一步提升控制系统的智能化水平与功能扩展性，推动机电一体化设备向更高性能、更广泛应用场景发展。

参考文献

- [1]全剑. 机电一体化在工程机械中的应用研究[J].企业科技与发展,2022,(04):63-65.
- [2]吴颖.两级除尘系统的尺寸优化及机电一体化实现[D].辽宁工程技术大学,2005.

[3]张奋程,区启光. 单片机在绕线机上的应用[J].电子技术应用,1992,(03):3-5.DOI:10.16157/j.issn.0258-7998.1992.03.001 .